

J. Akademi Kim. 2(2): 90-96, May 2013

ISSN 2302-6030

## ANALISIS LOGAM TEMBAGA (Cu) PADA BUANGAN LIMBAH TROMOL (TAILING) PERTAMBANGAN POBOYA

### Analysis of Copper (Cu) Metal on Drum Waste Disposal (Tailings) at Poboya Mining

\*Nuriadi, Mery Napitupulu dan Nurdin Rahman

Pendidikan Kimia/FKIP - Universitas Tadulako, Palu- Indonesia 94118

Received 14 April 2013, Revised 20 May 2013, Accepted 21 May 2013

#### Abstract

*The analyses of Copper (Cu) has been performed in the sample of drum waste (tailings) gold mining in Poboya by using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method. The alkaline destruction by the addition of  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HClO}_4$  has been done by heating then distilled. The absorbance was measured at a wavelength ( $\lambda$ ) = 324.7 nm on copper metal analysis. From the analysis, it was obtained copper metal in each drum consist of as follows drum A. 204.92 mg/kg, drum B 151.85 mg/kg, drum C 79.51 mg/kg, drum D 167.78 mg/kg, drum E 190.68 mg/kg, with the overall average value of 158.94 mg/kg. The data shown that the area gold mining at Poboya contain copper metal ion in high quantity.*

Keywords: Drum Waste (Tailings), Copper (Cu) Metal, Atomic Absorption Spectrophotometer, Poboya Mining

#### Pendahuluan

Tembaga adalah logam yang ditemukan sebagai unsur atau berasosiasi dengan tembaga dan perak. Tembaga ini terdapat dalam jumlah yang relatif besar dan ditemukan selama pemisahan dari bijihnya (coal) pada elektrolisis dan pemurnian tembaga (Hartati, 1996).

Berbagai jenis logam pada tailing dalam bentuk mineral yaitu Cu, As, Pb, Zn, Fe, Hg. Unsur ini merupakan salah satu hasil sampingan dari proses pengolahan bijih logam non-besi terutama emas, yang mempunyai sifat sangat beracun dengan dampak merusak lingkungan (Callahan, dkk, 2006).

Tailing umumnya memiliki komposisi sekitar 50% batuan dan 50% air. Hasil ekstraksi tailing emas masih mengandung beberapa logam dengan kadar tertentu, biasanya mineral yang mengandung emas berasosiasi dengan logam perak, besi, chrom, seng dan tembaga seperti kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) dan berbagai mineral sulfida lain. Karena di dalam tailing kandungan

logam berharga sudah sangat sedikit dan dalam jumlah yang tidak ekonomis, maka tailing ini biasanya dibuang (Siswoyo, 2006).

Tailing adalah limbah hasil proses amalgamasi dan sianidasi selama pemisahan bijih emas (Pond, dkk, 2005). Sedangkan menurut Mendez (2007), Tailing mengandung berbagai logam berat dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga berpotensi merusak lingkungan sekaligus berbahaya bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Kegiatan pertambangan banyak menghasilkan limbah berupa tailing dan dibuang di dataran atau badan air, limbah unsur pencemar kemungkinan tersebar di sekitar wilayah tersebut dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Bahaya pencemaran lingkungan oleh arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), kadmium (Cd) dan tembaga (Cu) mungkin terbentuk jika tailing mengandung unsur-unsur tersebut tidak ditangani secara tepat. Terutama di wilayah tropis, tingginya tingkat pelapukan kimiawi dan aktivitas biokimia akan menunjang percepatan mobilisasi unsur-unsur berpotensi racun (Herman, 2006)

Penyebaran logam berat termasuk tembaga (Cu) mendapat perhatian para pemerhati

\*Correspondence:

Nuriadi

Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako

email: [adhyrasta@gmail.com](mailto:adhyrasta@gmail.com)

Published by Universitas Tadulako 2013

lingkungan, karena sifat logam ini berbahaya bagi manusia, tanaman hewan dan makhluk hidup. Kesulitan dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat disebabkan oleh bentuk dan kandungan logam berat dalam limbah yang sangat bervariasi. Berlebihnya logam berat yang tercemar dapat merusak ekosistem kehidupan yang ada disekitarnya (Widodo, 2008).

Demikian juga yang terjadi pada pertambangan emas di Poboya Sulteng. Salah satu masalah yang paling meresahkan bagi masyarakat disekitar lokasi pertambangan adalah penggunaan merkuri untuk memisahkan dan mengikat biji emas dengan lumpur, pasir, dan air yang tidak dikelola dengan baik akan membawa masalah baik bagi masyarakat dan penambang, dimana merkuri yang telah terpakai untuk pengolahan emas dibuang begitu saja (Widodo, 2008).

Akibat dari penggunaan merkuri (Hg) ini terjadi degradasi pada lahan bekas tambang emas di Poboya meliputi perubahan sifat fisik dan kimia tanah, penurunan drastis jumlah spesies baik flora, fauna serta mikroorganisme tanah, terbukanya kanopi yang menyebabkan suatu tanah cepat kering dan terjadinya perubahan mikroorganisme tanah, sehingga lingkungan tumbuh menjadi kurang optimal bagi tumbuhan (Harianto, 2008).

Irwan dalam Radar Sulteng (2011), menyatakan bahwa di sepanjang muara sungai Poboya ditemukan merkuri didalam air, juga pada biota air yang ada di Teluk Palu.

Sedangkan, Mampiratu (2011) menyatakan telah ada temuan yang mengungkapkan bahwa air kota palu tengah terancam. Ancaman itu berupa merkuri dan sianida. Hal ini bukan lagi sekedar dugaan saja, tapi sudah menjadi fakta tak terbantahkan, dengan mengambil sampel air di bak terbuka yang kotor dan bersih. Setelah itu dianalisis dilaboratorium untuk bak kotor mengandung merkuri dengan konsentrasi 0,005 ppm dan air yang bersih 0,004 ppm. Standar air minum maksimal mengandung merkuri 0,001 ppm. Hasil analisis tersebut menunjukkan ada potensi pencemaran.

Serikawa dkk, (2011), menyatakan bahwa kadar merkuri pada udara luar di dekat fasilitas gelundung Poboya mencapai 45.000 ng/m<sup>3</sup> dan di seputar kota Palu nilainya berkisar antara 1.500-2.300 ng/m<sup>3</sup>.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, penelitian terhadap Cu belum pernah dilakukan, sedangkan tembaga(Cu) seringkali terdapat dalam limbah industry, itulah sebabnya pada penelitian ini difokuskan untuk melihat kemungkinan adanya logam tembaga(Cu) pada tailing daerah pertambangan emas Poboya Sulteng, diharapkan hasil penelitian memberikan manfaat berupa informasi kepada masyarakat selain emas (Au), tembaga (Cu) juga merupakan logam yang mempunyai nilai jual yang tinggi. Sekaligus sebagai masukan bagi penelliti akan pengembangan penelitian tentang proses pengolahan logam tembaga (Cu) pada limbah tromol (tailing).

## Metode

Penelitian ini dilakukan pada daerah pertambangan emas Poboya dengan sampel berupa limbah tromol (tailing), dari lima tempat tromol yang berbeda. Selanjutnya penelitian sampel dianalisis di Laboratorium Fakultas Pertanian UNTAD, dengan cara kerja sebagai berikut.

### Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan adalah pipet tetes, botol fuji film, ayakan, kertas label, penangas, labu ukur 100 mL, gegep, baki, botol semprot, seperangkat alat SSA. Sedangkan Bahan yang digunakan adalah limbah tromol (tailing), aquades, asam nitrat (HNO<sub>3</sub>), asam perklorat (HClO<sub>4</sub>) dan larutan standar tembaga(Cu).

### Prosedur Kerja

#### Pengambilan sampel

Pengambilan sampel yang dilakukan pada sore hari dimana sampel yang diambil sebanyak lima belas sampel dari masing-masing lima tempat tromol yang dipilih secara acak. Setiap tromol diambil sampel dibak penampungan pertama sebanyak tiga sampel yaitu pinggir sebelah kanan, sebelah kiri dan bagian tengah.

#### Pengeringan dan pengukuran sampel

Sampel yang diambil selanjutnya dikeringkan dengan suhu ruang selama tiga hari, selanjutnya sampel digerus menjadi halus setelah itu diayak, dan masing-masing sampel ditimbang dengan berat 1,0 g.

### *Pembuatan larutan standar*

Dipipet masing-masing 10 mL larutan induk 100 ppm untuk jenis logam tembaga (Cu), selanjutnya diencerkan dalam labu ukur 25 mL dan ditepatkan volumenya sampai tanda batas.

### *Pembuatan deret kerja dan kurva kalibrasi*

Dari larutan standar tembaga pada 100 ppm maka dibuat deret kerja yaitu 0,0 ppm, 2,0 ppm, 4,0 ppm, 6,0 ppm, 8,0 ppm. Selanjutnya pada deret ini, diukur serapannya dengan panjang gelombang 324,7 nm, kemudian dibuatkan kurva kalibrasi untuk logam tembaga (Cu).

### *Penentuan kadar logam menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom*

Sampel limbah tromol (Tailing), dikeringkan selama tiga hari, kemudian diayak, selanjutnya dilakukan penimbangan dengan berat sampel 1,0 g, kemudian sampel dimasukkan labu takar ditambahkan dengan larutan HNO<sub>3</sub> dan Asam perklorat (HClO<sub>4</sub>), setelah itu sampel dipanaskan sampai keluar asap berwarna putih kemudian tambahkan dengan aquades sampai 50 mL, kemudian dilakukan pendinginan, dan terakhir proses analisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom pada panjang gelombang 324,7 nm.

Data yang diperoleh dibuat kedalam persamaan kurva kalibrasi sehingga diperoleh nilai konsentrasi dalam sampel (AOAC, 2002; Jones, 1994; USDA, 2004).

## **Hasil dan Pembahasan**

Negara Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang mempunyai banyak kekayaan alam baik yang dapat diperbaharui (renewable) maupun yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable). Jenis kekayaan alam yang tidak dapat diperbaharui contohnya adalah sumber daya alam berupa tambang (Sujatmiko, 2012). Sedangkan daerah pertambangan banyak menyisakan material sisa, residu atau limbah dari suatu proses pemisahan, pengolahan dan/atau ekstraksi mineral berharga dari bijihnya yang dibuang karena dianggap sebagai pengotor dan tidak berharga (Ardha, dkk, 2011).

Pada daerah pertambangan yang paling mencolok adalah limbah dari yang tidak digunakan lagi hasil konsentrat batuan yang

telah dihancurkan maka ini merupakan resiko terbesar dari daerah pertambangan itu sendiri. Ampas adalah material sisa, residu atau limbah dari suatu proses pemisahan, pengolahan dan/atau ekstraksi mineral berharga dari bijihnya yang dibuang karena dianggap sebagai pengotor dan tidak berharga (Ardha, dkk, 2011; Lindayanti, 2007).

Berbagai jenis logam berat yang banyak di dalam tailing adalah merkuri (Hg), emas (Au) besi (Fe), mineral lain seperti chromium (Cr). Sebagian mineral seperti Cu, Fe, Zn dibutuhkan oleh makhluk hidup seperti tanaman maupun manusia dan hewan dalam jumlah tertentu (Siswoyo, 2006).

Keberadaan logam tembaga, cadmium, timbal, dan merkuri, merupakan masalah cukup serius. Limbah yang mengandung logam berat perlu mendapat perhatian khusus, mengingat dalam konsentrasi tertentu dapat memberikan efek toksik yang berbahaya bagi kehidupan manusia dan lingkungan di sekitarnya (Lefifajri, 2010).

Maka dari itu yang menjadi penelitian ini difokuskan analisis tembaga pada limbah tromol (tailing), menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Sebelum melakukan analisis, pertama-tama mengambil sampel limbah tromol (tailing) pada bak penampungan pertama, karena setiap tromol mempunyai tempat penampungan limbah tailing lebih dari satu. Sampel keseluruhan yang diambil pada buangan limbah tromol (tailing) sebanyak 15 sampel dari lima tempat tromol yang dipilih secara acak yaitu tromol pada bawah ada dua tempat dan bagian atas ada tiga tempat tromol, setiap tromol pengambilan sampelnya sebanyak tiga sampel dengan cara pengambilan sampelnya dilakukan pada bagian sisi kanan, tengah dan sisi kiri jadi total keseluruhan sampel sebanyak 15 dari lima tempat tromol yang berbeda.

Proses analisis logam tembaga (Cu) pada tailing dilakukan dengan mengeringkan sampel pada suhu kamar selama tiga hari. Proses pengeringan disini bertujuan untuk menghilangkan air pada sampel, setelah sampel kering kemudian ditumbuk selanjutnya disaring untuk memperoleh sampel yang lebih halus, setelah itu sampel ditimbang dengan berat 1,0 g, kemudian sampel ekstraksi dengan cara pemanasan dimana sampel tersebut dimasukkan kedalam labu erlenmeyer 100

**Tabel 1.** Kadar Cu sampel (mg/kg)

No Tromol	Sampel	Berat Rata-rata Sampel (g)	Volume Cu <sup>2+</sup> (mL)	ABS Rata-rata	[Cu <sup>2+</sup> ] Terukur (mg/L)	(Cu) (mg/kg)
I	A	1,1631	50	0,0195	3,1909	137,53
	B	1,0125	50	0,028	4,6730	231,33
	C	1,1754	50	0,0045	5,7541	245,90
Jumlah rata-rata Cu (mg/kg)						204,92
II	A	1,0121	50	0,0095	1,4472	71,64
	B	1,0901	50	0,0045	5,7541	263,94
	C	1,0095	50	0,0027	2,6155	119,97
Jumlah rata-rata Cu (mg/kg)						151,85
III	A	1,0124	50	0,002	1,3949	69,54
	B	1,0144	50	0,002	1,3949	69,54
	C	1,1573	50	0,0025	2,2667	98,55
Jumlah rata-rata Cu (mg/kg)						79,51
IV	A	1,1705	50	0,0035	4,0104	171,38
	B	1,0146	50	0,033	5,5448	274,49
	C	1,0445	50	0,008	1,1857	57,48
Jumlah rata-rata Cu (mg/kg)						167,78
V	A	1,0118	50	0,0095	1,4472	71,64
	B	1,0619	50	0,0105	1,6216	76,49
	C	1,0901	50	0,0065	9,2414	423,91
Jumlah rata-rata Cu (mg/kg)						190,68
Jumlah rata-rata Cu (mg/kg) keseluruhan						158,94

mL kemudian diisi dengan larutan HNO<sub>3</sub> sebanyak 2 mL dan Larutan HClO<sub>4</sub>, kemudian dipanaskan sampai mendidih hingga keluar asap yang berwarna putih, pada saat keluar asap berwarna putih kemudian ditambahkan dengan aquades sampai batas pada labu erlenmeyer 50 mL maka akan terjadi perubahan warna pada larutan yang dipanaskan awalnya warna larutan keruh setelah ditambahkan aquades larutan akan menjadi jernih.

**Tabel 2.** Pembacaan standar tembaga (Cu)

No	Nama	Konsentrasi (PPM)	Absorban (ABS)
1	Blank	0,0	0,000
2	Standar 1	2,0	0,110
3	Standar 2	4,0	0,237
4	Standar 3	6,0	0,355
5	Standar 4	8,0	0,451

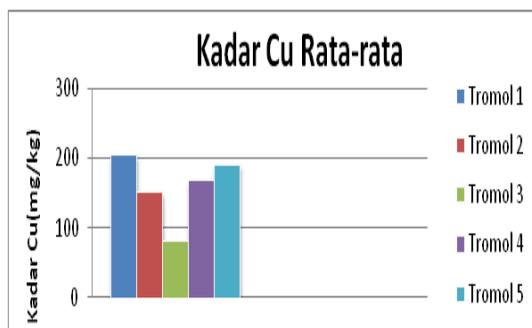
Proses selanjutnya pendinginan dimana larutan yang dipanaskan tersebut didinginkan, setelah sampel tersebut sudah dingin maka selanjutnya sampel tersebut diisi kedalam tebung rol film untuk dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Sebelum pengukuran pada Spektrofotometer

Serapan Atom, terlebih dahulu membuat larutan standart tembaga (Cu) untuk memperoleh kurva kalibrasi dengan panjang gelombang 324,7 nm (Murdiyono, dkk, 2009).

Hasil analisis menggunakan spektrofotometer Serapan Atom berdasarkan perhitungan kurva kalibrasi maka diperoleh nilai rata-rata dari kadar tembaga Cu pada masing masing tromol yaitu pada tromol A. 204,92 mg/kg, Tromol B 151,85 mg/kg, Tromol C 79,51 mg/kg, Tromol D 167,78 mg/kg, Tromol E 190,68 mg/kg, dengan nilai rata keseluruhan 158,94 mg/kg, seperti yang terlihat pada tabel 1. Dari data yang diperoleh hasil analisis bahwa daerah pertambangan Poboya memiliki kandungan logam tembaga yang cukup tinggi.

Semua ion jenis logam konsentrasinya diukur dengan menggunakan spectrophotometer serapan atom (Munaf, dkk, 2009)

Untuk analisis kandungan tembaga (Cu) menggunakan SSA, sampel yang berbentuk padat diubah dalam bentuk larutan atau yang dikenal dengan destruksi, karena logam-logam yang terdapat dalam persenyawaan organik dan anorganik dapat dipisahkan melalui penguraian



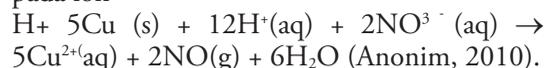
**Gambar 1.** Kadar Rata-rata Tembaga

senyawa tersebut dengan cara destruksi (Agung, dkk, 2008).

Pada analisis yang dilakukan dimana menggunakan destruksi basa. Dekstruksi basah pada prinsipnya adalah penggunaan asam nitrat untuk mendestruksi zat organik pada suhu rendah dengan maksud mengurangi kehilangan mineral akibat penguapan. Pada tahap selanjutnya, proses seringkali berlangsung sangat cepat akibat pengaruh asam perklorat atau hidrat peroksida. Dekstruksi basah pada umumnya digunakan untuk menganalisa arsen, tembaga, timah hitam, timah putih, dan zink (Muchtadi, 1989).

Untuk penelitian yang dilakukan disini yaitu hanya dua jenis larutan yang digunakan yaitu  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{HClO}_4$ .

Tembaga tidak larut dalam asam yang bukan pengoksidasi tetapi tembaga teroksidasi oleh  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{HClO}_4$  sehingga tembaga larut (Sulastri, dkk, 2004). Tembaga bukanlah logam reaktif, namun logam ini dapat diserang oleh asam-asam pekat. Asam yang dapat melarutkan tembaga dan perak adalah asam nitrat,  $\text{HNO}_3$  dan Asam perklorat  $\text{HClO}_4$ . Asam ini adalah salah satu contoh dari asam pengoksidasi, selain ion  $\text{H}^+$ , larutan asam ini juga mengandung ion nitrat, suatu oksidator yang lebih hebat dari pada ion



Banyak reaksi kimia yang terjadi disertai oleh timbulnya endapan atau gas, dengan ditandai oleh timbulnya warna yang baru, saat kita mencampurkan tembaga dengan larutan  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{HClO}_4$ , dapat kita lihat bahwa terjadi perubahan warna dari yang awalnya Keruh menjadi bening.

Reaksi Kimia dapat diamati dengan habisnya zat yang bereaksi disertai dengan

produk baru yang dihasilkan. Suatu reaksi kimia dihasilkan dengan perbandingan massa yang tetap sesudah dan sebelum hasil reaksi. Seperti hilangnya tembaga (Cu) pada saat ditambahkan  $\text{HNO}_3$ . Peristiwa ini dapat terjadi karena adanya interaksi antara molekul Cu dengan molekul  $\text{HNO}_3$ . Pada tahap pelarutan tembaga dengan  $\text{HNO}_3$ , terbentuk gas NO yang kemudian teroksidasi oleh oksigen di udara menjadi gas  $\text{NO}_2$  yang berwarna coklat. Hal ini merupakan gas  $\text{NO}_2$  yang berbahaya dengan bau yang sangat menyengat (Fitrony, dkk, 2013).

Setelah proses pemanasan berlangsung maka terjadi adanya bau bisa timbul pada reaksi kimia dikarenakan pencampuran suatu zat. Pada reaksi logam tembaga (Cu) dengan larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) yang menghasilkan larutan tembaga(II) nitrat, gas nitrogen monoksida, dan air akan menimbulkan bau (Jim, 2007).

### Kesimpulan

Tailing yang berasal dari limbah pengolahan emas pada pertambangan emas Poboya mengandung logam tembaga (Cu) yang cukup banyak. Logam Tembaga (Cu) pada sampel terukur pada konsentrasi masing-masing, 204,92 mg/kg tromol A, 151,85 mg/kg tromol B, 79,51 mg/kg tromol C, 167,78 mg/kg tromol D, 190,68 mg/kg tromol E, dengan nilai rata-rata 158,94 mg/kg.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menghaturkan terima kasih kepada Bapak Caco, dan Ibu Listawati selaku pegawai laboratorium Analisis FAFERTA yang telah banyak membantu dalam penelitian.

### Referensi

- Agung, A. K., & Nasrulloh. (2008). Analisis kadar logam zink (Zn) dan tembaga (Cu) dalam daging dan hati ayam petelur berbulu coklat secara spektropotometer serapan atom. *Jurnal Nusa Kimia*. 8(1). 7–12.
- Anonim. (2010). Standard nasional indonesia (SNI 13-6345-2000), Badan Standardisasi Nasional.
- Ardha, N., & Wahyudi T. (2011). Karakteristik mineral ampas pengolahan biji emas pongkor. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 7(1), 20–33.

- Association Official Agriculture Chemists. (2002). Official methods of analysis of AOAC internasional. *1*, 2.5–2.37.
- Callahan, D. L., Baker, A. J. M., Kolev, S. D., & Weed, A. K. (2006). Metal ion ligands in hyperaccumulating plants. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*, *11*, 2–12.
- Fitrony., Rizqy., Fauzi., Qadariyah, L., & Mahfud. (2013). Pembuatan kristal tembaga sulfat pentahidrat ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) dari tembaga bekas kumparan. *Jurnal Teknik Pomits*, *2*(1), 37-49.
- Hartati, R. D. (1996). Penentuan tembaga dalam contort geokimia di daerah Bangko, cara graphite furnace AAS. *Jurnal Indo Kimia*, *2*(56), 215-220.
- Herianto. (2008). Studi identifikasi dampak lingkungan pertambangan emas skala kecil di kabupaten Garut (Studi kasus di desa Mulyajaya). Puslitbang.
- Herman, D. Z. (2006). Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. *Jurnal Geologi Indonesia*. *1*(1), 31-36.
- Irwan dalam Radar Sulteng. (2011). Merkuri sudah mengancam kota Palu. Sulteng, Palu. Diunduh kembali dari <http://radarsulteng.co.id/index.php/berita/detail/Rubrik/41/495>
- Jones, J. J. B. (1994). Laboratory guide of exercises in conducting soil tests and plant analysis. *Benton Laboratory, INC, Athens. Georgia*, 62.
- Jim, C. (2007). Kompleks ligan tembaga. *Kimia Indonesia*. Diunduh kembali dari <http://chem-is-try.org>.
- Lefifajri. (2010). Adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan lignin dari limbah serbuk kayu gergaji. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. *7*(3), 126-129.
- Lindayanti. (2007). Penambangan emas dan perak di Bengkulu. *Jurnal Masyarakat dan Budaya*, *9*(2), 30-39.
- Mapiratu dalam Majalah silo. (2011). Poboya butuh segera ditangani atau terlambat sama sekali. Yayasan Merah Putih Palu. Diunduh kembali dari <http://www.sarinah.web.id/2013/04/poboya-butuh-segera-ditangani-atau.html>.
- Mendez, M. O., Glenn, E. P. & Maier, R. M. (2007). Phytostabilization potential of quailbush for mine tailings: Growth, metal accumulation, and microbial community changes. *J. Environ. Qual.*, *36*, 245–253.
- Muchtadi, D. (1989). Petunjuk laboratorium evaluasi nilai gizi pangan. Departemen pendidikan dan kebudayaan. Direktorat jenderal pendidikan tinggi. Pusat antar Universitas Pangan dan Gizi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Munaf, E., Suhaili, R., Anwar, Y., Indrawati., & Zein, R. (2009). Dynamic removal of toxic metals from wastewater using perlite as sorbent. *Asian Journal of Chemistry*. *21*(3), 2059-2066.
- Murdiyono, & Nurhidayati. (2009). Analisis kandungan logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb) dalam beberapa produk sayur kacang-kacangan kaleng secara spektropotometer serapan atom. *Jurnal Boidemika*. *2*(1), 19-35.
- Pond, A. P., White, S. A., Milczarekm, M., & Thompson, T. L. (2005). Accelerated weathering of biosolid-amended copper mine tailings. *J. Environ. Qual.*, *34*, 1293–1301.
- Serikawa, Y. T., Inoue, T., Kawakami, B., Cyio, I., Nur & Elvince, R. (2011). Emission and dispersion of gaseous mercury from artisanal and small-scale gold mining plants in the poboya area of Palu city, central Sulawesi, Indonesia. Presented at the 10th international conference on mercury as global pollutant. Halifax, Canada, Toyama Prefectural University; Toyohashi University of Technology; Tadulako University.
- Siswoyo. (2006). Pencemaran merkuri pada tailing. *Jurnal Pengolahan Limbah Tambang*. *7*(2), 55–75.
- Sulastri, S., Susila, K., & Retno., Arianingrum. (2004). Pengaruh perendaman pasir malelo dengan  $\text{HNO}_3$  Terhadap efisiensi penjerapan kromium. *Jurnal Penelitian Sainstek*, *9*(1),

20-39.

Sujatmiko, B. (2012). Penambangan emas tanpa izin di daerah aliran sungai (Das) Arut kecamatan Arut utara ditinjau dari undang-undang nomor 4 tahun 2009. *Jurnal Ilmu Sosial*, 4(1) 60–75.

USDA. (2004). Soil survey laboratory methods manual. p. 167-365, 616-643. In burt, R. (Ed). Soil survey investigations report No. 42, Vers. 4,0. Natural resources conservation service, *United States Departemen of*

*Agriculture*.

Widodo. (2008). Pengaruh perlakuan amalgamasi terhadap tingkat perolehan emas dan kehilangan merkuri. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, 18(1), 47–53.

Widodo. (2008). Pencemaran air raksa (Hg) sebagai dampak pengolahan bijih emas di sungai Ciliunggunung, Waluran, Kabupaten Sukabumi. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(3), 139-149.