

**KARAKTERISASI DAN PENENTUAN KANDUNGAN
LIMBAH *TAILING* PERTAMBANGAN EMAS RAKYAT
DI DAERAH SELOGIRI
KABUPATEN WONOGIRI JAWA TENGAH**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai
gelar Sarjana Sains (S.Si) Program Studi Ilmu Kimia
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia**

Jogjakarta



disusun oleh:

ASEP SYAEFUN NAZMI

No.Mhs : 07 612 011

**JURUSAN ILMU KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2011**

**KARAKTERISASI DAN PENENTUAN KANDUNGAN
LIMBAH TAILING PERTAMBANGAN EMAS RAKYAT
DI DAERAH SELOGIRI
KABUPATEN WONOGIRI JAWA TENGAH**

oleh :

ASEP SYAEFUN NAZMI

No. Mhs : 07 612 011

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi
Jurusan Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Tanggal : 23 Desember 2011

Dewan Penguji

1. Dr. Noor Fitri, S.Si., M.Si.
2. Feris Firdaus, S.Si., M.Sc.
3. Dr. Is Fatimah, S.Si., M.Si.
4. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.

Tanda Tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia.



Yandi Syukri, S.Si., M.Si., Apt.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **KARAKTERISASI DAN PENENTUAN KANDUNGAN LIMBAH TAILING PERTAMBANGAN EMAS RAKYAT DI DAERAH SELOGIRI KABUPATEN WONOGIRI JAWA TENGAH**. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan alam Nabi besar Muhammad SAW yang telah membebaskan umat manusia dari alam kegelapan (kebodohan) menuju alam yang terang benderang, serta para keluarga, sahabat, ulama dan para pengikutnya yang senantiasa istiqomah mengikuti risalah-Nya.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si) Program Studi Ilmu Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

Keberhasilan penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dorongan semua pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang mempunyai peranan penting dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Yandi Syukri, M.Si, Apt, selaku Dekan FMIPA Universitas Islam Indonesia.

2. Bapak Riyanto, M.Si, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Ilmu Kimia FMIPA Universitas Islam Indonesia
3. Ibu Dr. Noor Fitri, M.Si, selaku dosen pembimbing I, terima kasih banyak atas ide, semangat, dukungan dan kesabarannya dalam mengarahkan dan membimbing penelitian serta penyusunan tugas akhir ini sehingga dapat terselesaikan.
4. Bapak Feris Firdaus, M.Sc, selaku pembimbing II yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, saran dan kritik yang membangun sehingga penelitian dan tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Ibu Dr. Is Fatimah, S.Si., M.Si dan Bapak Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D selaku Dosen penguji skripsi I dan II, terima kasih atas arahan dan masukannya untuk perbaikan skripsi ini.
6. Seluruh dosen Jurusan Ilmu Kimia FMIPA, Universitas Islam Indonesia, antara lain: Bapak Riyanto, M.Si, Ph.D, Bapak Prof. Dr. Hardjono Sastrohamidjojo, Ibu Dr. Noor Fitri, M.Si, Ibu Dr. Is Fatimah, M.Si, Bapak Tatang Shabur Julianto, M.Si, Bapak Dwiwarso Rubiyanto, M.Si, Bapak Rudy Syahputra, M.Si, Ph.D, dan Bapak Allwar, M.Sc, Ph.D, terima kasih atas semua bekal ilmu yang telah diberikan.
7. Bapak Dwi Mahmudi BA, Mas Cecep sa'bana Rahmatillah S.Si dan Mas Yusuf Habibi S.Si, selaku laboran yang telah banyak membantu dalam penelitian untuk tugas akhir ini.

8. Kedua orang tua penulis, Bapak H. Abdul Muin dan Alm. Ibu Sipah, serta seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan, memberikan motivasi serta dukungan baik moril maupun materil kepada penulis.
9. Teman-teman Jurusan Ilmu Kimia FMIPA UII angkatan 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 dan teman-teman kimia program alih jalur dari D3 Kimia Analis. Terima kasih telah memberikan dukungan dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan serta jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis mohon maaf dan senantiasa mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca sebagai bahan pertimbangan untuk membuat karya yang lebih baik dan semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Desember 2011

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
INTISARI	x
ABSTRACT	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar belakang	1
I.2 Rumusan masalah	7
I.3 Tujuan	8
I.4 Manfaat	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
BAB III DASAR TEORI	16
3.1 Tailing	16
3.2 Arsen (As)	21
3.3 Merkuri (Hg)	27
3.4 Tembaga (Cu)	32
3.5 Timbal (Pb)	33
3.6 Seng (Zn)	33
3.7 Emas (Au)	34
3.8 Besi (Fe)	36
3.9 ICP MS	37
3.10 X-Ray Diffraction (XRD)	40
3.10.1 Sumber dan sifat sinar X	42
3.10.2 Prinsip metode XRD	43

3.10.3	Tahapan kerja XRD	43
3.11	Analisa Aktivasi Neutron	47
3.11.1	Peralatan instrumentasi AAN	48
3.12	Hipotesis penelitian	51
BAB IV METODE PENELITIAN		52
4.1	Alat	52
4.2	Bahan	52
4.3	Preparasi sampel tailing	52
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		54
5.1	Gambaran umum lokasi penelitian	56
5.2	Alterisasi dan mineralisasi	64
5.3	Preparasi sampel tailing	65
5.4	Karakteristik tailing/slury dengan metode XRD	68
5.5	Hasil analisis tailing/slury dengan metode TD-ICP MS dan INAA	75
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		83
6.1	Kesimpulan	83
6.2	Saran	84

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel. 1 Jenis-jenis Mineral Arsen Yang Penting	25
Tabel. 2 Hasil analisis karakteristik mineral tailing/slury menggunakan XRD.....	74
Tabel. 3 Hasil analisis kimiawi tailing menggunakan INAA dan TD-ICP- MS	76
Tabel. 4 Kandungan unsur terbesar dalam hasil analisis tailing	79



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Alat instrumentasi ICP-MS	38
Gambar 2	Bagian-bagian alat dalam ICP-MS	39
Gambar 3	Difraksi sinar X	46
Gambar 4	Bagan generator Neutron	50
Gambar 5	Peta geologi lokasi pengambilan sampel penelitian	57
Gambar 6	Gelundung (alat pengolah emas sederhana)	60
Gambar 7	Bak penampungan limbah tailing	63
Gambar 8	Geologi daerah selogiri dan sekitarnya	63
Gambar 9	Mineralisasi daerah selogiri	65
Gambar 10	Tailing yang masih basah dan yang sudah kering	66
Gambar 11	Proses Pengayakan dan peremukan sampel tailing	67
Gambar 12	Butiran-butiran tailing ukuran 200 mesh	67
Gambar 13	Pola difraktogram sampel tailing/slury dari Nglenggong SLG-01	69
Gambar 14	Pola difraktogram sampel tailing/slury dari Nglenggong SLG 02	71
Gambar 15	Pola difraktogram sampel tailing/slury dari Keloran SLG 03	72
Gambar 18	Pola difraktogram sampel tailing/slury dari Jendi SLG04	73

**KARAKTERISASI DAN PENENTUAN KANDUNGAN
LIMBAH TAILING PERTAMBANGAN EMAS RAKYAT
DI DAERAH SELOGIRI
KABUPATEN WONOGIRI JAWA TENGAH**

Oleh :

Asep Syaefun Nazmi

No. Mhs : 07 612 011

INTISARI

Telah dilakukan karakterisasi limbah tailing dengan menggunakan metode analisis kimiawi menggunakan *Instrumental Neutron Activation Analysis* (INAA), *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrofotometry* (ICP-MS) dan analisis karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Tahap pertama penelitian adalah preparasi sampel tailing diawali dengan proses pengeringan dengan cara dijemur dan dihomogenkan, kemudian sampel tailing dioven dengan suhu 105°C selama $\pm 2,5$ jam untuk menghilangkan kadar air dalam sampel sampai benar-benar kering. Tahap kedua adalah sampel yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan alu selanjutnya dilakukan proses pengayakan sampel tailing yang telah dihaluskan dengan ayakan ukuran 200 mesh. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan kandungan unsur kimia tailing dari pertambangan emas rakyat. Lokasi pertambangan berada di daerah Selogiri Wonogiri, Jawa Tengah, di tiga lokasi dengan empat titik pengambilan sampel yaitu Nglenggong (SLG 01 dan SLG 02), Keloran (SLG 03) dan Jendi (SLG 04).

Hasil analisis Menggunakan INAA dan TD- ICP-MS menunjukkan bahwa limbah tailing mengandung unsur dalam jumlah yang cukup besar yaitu 59 unsur kimia. Dengan komposisi unsur utama yaitu Hg, Au, Cu, Pb, Zn, As dan Fe, sedangkan karakterisasi tailing menggunakan XRD menunjukkan mineral tailing dari keempat lokasi pengambilan sampel tailing mengandung kuarsa, pirit, magnetit, illit dan pirofilit.

Kata kunci : limbah tailing, preaparasi sampel tailing, INAA, ICP-MS, Hg, Au, Cu, Pb, Zn, As, Fe, XRD, Kuarsa, Pirit, Magnetit, illit dan pirofilit.

**CHARACTERIZATION AND DETERMINATION *TAILINGS* CONTENT IN THE
REGION OF THE TRADITIONAL GOLD MINES SELOGIRI WONOGIRI DISTRICT
CENTRAL JAVA**

by:

Asep Syaefun Nazmi

No. Mhs: 07 61 2011

ABSTRACT

Characterization of tailings have been performed using the method of chemical analysis using Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA), Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrofotometry (ICP-MS) and analytical characterization by X-Ray Diffraction (XRD). The first stage of research is the tailings sample preparation process begins with drying by sun-dried and homogenized, and samples of tailings in the oven with a temperature of 105°C for \pm 2.5 hours to remove moisture present in the sample until it is completely dry. The second stage is a sample that has been dried and then pulverized using a mortar and pestle then performed the sifting process tailings samples have been polished by 200 mesh sieve size.

The purpose of this study was to determine the characteristics and content of chemical elements tailings from gold mining people. Mining site located in the area Selogiri Wonogiri, Central Java in three locations with four sampling points is Nglenggong (SLG 01 and SLG 02), Keloran (SLG 03) and Jendi (SLG 04).

Using the analysis results of INAA and TD-ICP-MS showed that the tailings contain elements in large enough quantities of 59 chemical elements. With major element composition of Hg, Au, Cu, Pb, Zn, As and Fe. While the tailings characterization using XRD showed the mineral tailings from the four sampling sites tailings contain quartz, pyrite, magnetite, illite and pirofilit.

Key words: Tailings, Tailings sample preparation, INAA, ICP-MS, Hg, Au, Cu, Pb, Zn, As, Fe, XRD, Quartz, Pyrite, Magnetite, Pirofilit, and Illite

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri mineral merupakan salah satu unsur penting dalam dunia perekonomian di seluruh dunia, dimana didalamnya termasuk usaha pertambangan yang diharapkan dapat berwawasan lingkungan sehingga dapat mengurangi potensi terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan. Tambang emas skala kecil merupakan fenomena umum di beberapa Negara berkembang. Daerah Selogiri di Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah merupakan salah satu daerah penambangan emas skala kecil di Indonesia. Sejak sekitar tahun 1990 telah dilakukan aktivitas penambangan emas di Selogiri secara ekstensif yang berdampak pada lingkungan.

Indonesia memiliki berbagai macam bahan tambang yang terdapat di berbagai daerah. Minyak bumi, gas alam, emas, batu bara, bijih besi dan aspal merupakan jenis-jenis bahan tambang yang dimiliki oleh Indonesia. Salah satu jenis bahan tambang yang cukup banyak dan tersebar ketersediannya di Indonesia adalah emas. Emas merupakan salah satu jenis bahan tambang yang memiliki nilai ekonomis sangat tinggi. Emas dipasarkan dan diperdagangkan hampir di semua pasar perdagangan emas dalam jumlah yang cukup besar. Bahkan, jika dilihat lebih jauh lagi, emas memberikan kontribusi berupa devisa yang sangat besar bagi Negara-negara pengekspor emas.

Emas tidak terdapat di lapisan tanah yang cukup dalam dari permukaan bumi atau permukaan tanah. Bisa dikatakan bahwa bahan tambang jenis ini terletak di permukaan tanah, daerah aliran sungai yang berisi endapan-endapan mineral, bahkan di daerah hilir sungai yang merupakan akhir dari arah aliran air sungai yang mungkin saja menjadi tepat berkumpulnya arah aliran beberapa sungai yang membawa endapan-endapan mineral. Emas merupakan salah satu jenis mineral yang memiliki banyak manfaat. Jenis mineral ini dapat digunakan sebagai bahan konduktor pengantar panas di beberapa jenis alat elektronik. Namun kegunaan emas yang utama adalah sebagai bahan perhiasan berupa kalung, gelang, cincin dan lain sebagainya. Jadi, secara garis besar emas memiliki berbagai manfaat untuk kehidupan manusia.

Secara global, ekonomi industri telah digunakan sebagai suatu sistem sumber daya terbuka melalui pemanfaatan bahan baku mineral dan energi dengan pembuangan limbah berdampak terhadap pencemaran lingkungan. Tantangan yang dihadapi oleh komunitas global saat ini adalah membuat ekonomi industri lebih mengarah kepada sistem tertutup dengan sasaran penghematan energi, mengurangi limbah, mencegah pencemaran dan mengurangi biaya. Dua unsur penting yang perlu diperhatikan adalah: (1) Industri harus mencakup keefisienan dalam mewujudkan pendekatan produksi lebih bersih, termasuk perolehan maksimum produk dari minimal bahan baku, rancangan produksi, teknologi pengolahan dengan meminimalisasi dampak lingkungan dan penanganan limbah untuk mencegah pencemaran lingkungan, (2) Limbah industri pertambangan

harus dianggap sebagai bahan baku berharga yang dapat diolah lebih lanjut atau dengan kata lain didaur ulang.

Pengolahan emas ini selain menguntungkan juga dapat memberikan beberapa efek negatif. Selain melakukan eksplorasi secara berlebihan, penambangan emas dan pengolahan emas akan menghasilkan limbah yang mencemari lingkungan. Terjadinya pencemaran logam berat terjadi karena pembuangan limbah padat (*tailing*), hal tersebut tidak akan terjadi apabila limbah tersebut sebelum dibuang dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengolahan limbah bertujuan untuk mengurangi kadar limbah seminimal mungkin bahkan jika mungkin menghilangkan sama sekali bahan-bahan beracun yang terdapat dalam limbah sebelum limbah tersebut dibuang. Walaupun peraturan dan tata cara pembuangan limbah beracun telah diatur oleh pemerintah dalam hal ini Kementerian Lingkungan Hidup, tetapi dalam praktiknya dilapangan, masih banyak ditemukan terjadinya pencemaran akibat limbah industri pertambangan.

Beberapa faktor penyebab kerusakan yang telah teridentifikasi adalah: (1) Peningkatan produksi tanpa memperhatikan aspek lingkungan, (2) Teknologi proses yang kurang memadai, (3) Rendahnya kesadaran untuk pengolahan limbah tailing dan (4) Jenis batuan/mineral berasosiasi dengan logam berbahaya seperti arsen. Berdasarkan Warmada et al (2005) batuan emas di daerah selogiri batuan emas berasosiasi dengan arsen yaitu mineral arsenopirit (FeAsS) dan arsenit pirit ($\text{Fe}(\text{AsS})_2$). Proses ekstraksi emas di daerah tersebut menggunakan metode amalgam (Soe, 2005). Limbah tailing yang dihasilkan dari metode ICP MS

menunjukkan kadar total As dalam limbah tailing tersebut berada dalam rentang 5,8-385 ppm (Htun et al, 2006).

Limbah tailing adalah produk samping, dari reagen sisa, serta hasil pengolahan pertambangan yang tidak diperlukan. Tailing hasil penambangan emas biasanya mengandung mineral inert (tidak aktif). Mineral tersebut antara lain: kuarsa, kalsit dan berbagai jenis aluminosilikat. Tailing hasil penambangan emas mengandung salah satu atau lebih bahan berbahaya dan beracun seperti Arsen (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), sianida (CN) dan lainnya. Sebagian logam-logam yang berada dalam tailing adalah logam berat yang masuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Tailing merupakan residu yang berasal dari sisa pengolahan bijih setelah target mineral utama dipisahkan dan biasanya terdiri atas beraneka ukuran butir, yaitu: fraksi berukuran pasir, lanau dan lempung. Tailing yang berasal dari proses amalgamasi emas memungkinkan limbah merkuri tersebar di sekitar wilayah penambangan dan dapat membentuk pencemaran lingkungan oleh merkuri organik dan anorganik. Ketika tailing dibuang dalam bentuk bubur, fraksi pasir cenderung mengendap disekitar titik pembuangan dan lumpur akan mengendap jauh dari titik pembuangan sebagai suspense dalam waktu lama. Fraksi pasir kadang-kadang dimanfaatkan untuk pembuatan konstruksi tanggul atau sebagai bahan pengisi *backfilling* pada tambang bawah permukaan atau bekas galian-galian pada tambang terbuka.

Secara umum pembuangan tailing dilakukan di lingkungan darat yaitu pada depresi topografi atau penampung buatan; sungai atau danau, dan laut.

Tailing sering mengandung konsentrasi mineral berharga yang tidak memenuhi syarat untuk diambil pada saat ditambang, tetapi disimpan untuk penggunaan di masa yang akan mendatang. Secara mineralogi tailing dapat terdiri atas beraneka mineral seperti silika, silikat besi, magnesium, natrium, kalium dan sulfida. Dari mineral-mineral tersebut, sulfida mempunyai sifat aktif secara kimiawi, dan apabila bersentuhan dengan udara akan mengalami oksidasi sehingga akan membentuk garam-garam bersifat asam dan aliran asam mengandung sejumlah logam beracun salah satu diantaranya adalah arsen (As).

Pada awalnya, logam yang terpendam dalam perut bumi tidak berbahaya. Ketika kegiatan penambangan terjadi, logam-logam berat tersebut ikut terangkat bersama batuan-batuan yang digali. Logam-logam itu berubah menjadi ancaman ketika terurai di alam bersama tailing yang dibuang. Selain limbah pertambangan, logam berat juga dapat ditemui pada tubuh manusia, alat-alat rumah tangga (misalnya baterai), obat-obatan, rokok, alat-alat elektronik, insektisida, pipa air, bensin, udara, keramik serta material lainnya. Konsentrasi logam berat pada barang-barang tersebut kecil dan tidak berbahaya, namun menjadi bahaya dan terakumulasi dalam tubuh sehingga mengakibatkan keracunan, bahkan lebih fatal hingga berakibat kematian, disebut logam berbahaya karena umumnya memiliki rapat massa tinggi dan sejumlah konsentrasi kecil dapat bersifat racun dan berbahaya, yang termasuk golongan logam berat adalah elemen logam kimia seperti merkuri atau raksa (Hg), kadmium (Cd), arsen (As), kromium (Cr), talium (Tl) dan timbal (Pb). Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia lewat makanan, air minum, atau melalui udara. Logam-logam berat seperti tembaga,

selenium atau seng dibutuhkan tubuh manusia untuk membantu kinerja metabolisme tubuh. Logam-logam tersebut berpotensi menjadi racun jika konsentrasi dalam tubuh tinggi (Herman, 2006).

Logam berat menjadi berbahaya disebabkan sistem bioakumulasi. Bioakumulasi berarti peningkatan konsentrasi unsur kimia tersebut dalam tubuh makhluk hidup sesuai piramida makanan. Akumulasi atau peningkatan konsentrasi logam berat di alam mengakibatkan konsentrasi logam berat di tubuh manusia adalah tertinggi. Jumlah yang terakumulasi setara dengan jumlah logam berat yang tersimpan dalam tubuh ditambah jumlah yang diambil dari makanan, minuman, atau udara yang terhirup. Jumlah logam berat yang terakumulasi lebih cepat dibandingkan dengan jumlah logam berat yang terakumulasi lebih lambat dibandingkan dengan jumlah yang terekskresi dan terdegradasi.

Arsen (As) adalah suatu zat kimia yang dapat merusak ginjal jika keracunan kuat sekali. Senyawa sulit dideteksi karena tidak memiliki rasa yang khas/menonjol, gejala keracunan senyawa ini adalah sakit di kerongkongan sukar menelan, menyusul rasa nyeri lambung dan muntah-muntah. Kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat dengan penyebaran yang sangat luas di alam didalam Cd bersenyawa dengan Belerang (S) sebagai greenocckite (CdS) yang ditemui bersamaan dengan senyawa spalerite (ZnS). Cadmium merupakan logam lunak (ductile) berwarna putih perak dan mudah teroksidasi oleh udara bebas dan gas Amcnia (NH₃). Logam Kadmium atau Cd juga akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan dan

manusia). Dalam biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan (biomagnifikasi) dan dalam rantai makanan biota yang tertinggi mengalami akumulasi Cd yang banyak. Keracunan kadmium, menimbulkan rasa sakit, panas pada bagian dada, penyakit paru-paru akut dan menimbulkan kematian.

Penelitian yang akan dilakukan adalah Karakterisasi dan penentuan kandungan limbah tailing pertambangan Emas Rakyat. Limbah tailing berasal dari daerah Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah, yang selama ini dibuang tanpa proses pengolahan terlebih dahulu yang menyebabkan terjadinya pencemaran di lingkungan sekitar dan belum pernah dimanfaatkan. Oleh karena itu, untuk mengurangi masalah pencemaran lingkungan oleh limbah tailing yang berdampak pada lingkungan tersebut maka perlu usaha untuk mengatasinya dengan cara memanfaatkan material yang bermanfaat dari tailing, sehingga selain dapat mengurangi masalah limbah tailing, penelitian limbah tailing tersebut dapat bernilai ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi lingkungan pertambangan emas rakyat di daerah Selogiri ditinjau dari aspek mineralisasi dan geokimia?
2. Bagaimana cara mengkarakterisasi sampel limbah tailing pertambangan emas rakyat di daerah Selogiri?

3. Unsur kimia apa yang terkandung dalam limbah tailing pertambangan emas rakyat di daerah Selogiri?.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kondisi lingkungan pertambangan emas skala kecil di daerah Selogiri dan ditinjau dari aspek mineralisasi dan geokimia.
2. Untuk mengetahui proses karakteriasi limbah tailing pertambangan emas rakyat di daerah Selogiri.
3. Untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia dalam limbah tailing pertambangan emas di Selogiri.
4. Mengurangi dampak limbah tailing pertambangan emas rakyat di daerah Selogiri terhadap lingkungan.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kondisi lingkungan pertambangan emas skala kecil di daerah Selogiri yang ditinjau dari aspek kimiawi.
2. Mengetahui cara karakteristik limbah tailing di pertambangan emas rakyat di Selogiri secara mineralogi dan geokimia.
3. Mengetahui kandungan unsur kimia dalam limbah tailing di pertambangan emas rakyat di Selogiri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pertambangan adalah usaha mengelola sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dengan mengambil mineral berharga dari dalam bumi. Dewasa ini paradigma pertambangan sudah mulai bergeser dari pilar keuntungan ekonomi menjadi tiga pilar yaitu orientasi ekonomi, kesejahteraan sosial dan perlindungan lingkungan. Berlanjutnya sistem ekologi disekitar wilayah pertambangan sangat berkaitan pula dengan daya dukung wilayah tersebut. Hal ini disebabkan karena sumberdaya pada suatu daerah yang terganggu oleh aktifitas pertambangan memiliki batas kemampuan untuk menghadapi perubahan, mendukung system perubahan serta menyerap limbah.

Potensi penurunan fungsi lingkungan yang masih mungkin terjadi adalah akibat masuknya tailing sebagai hasil sampingan produk pertambangan kedalam lingkungan, karena pembuangan tailing ini berjalan terus seiring produksi perusahaan maka volume yang dikeluarkan juga akan ada dalam jumlah besar sehingga perlu pengelolaan yang kontinyu dan akurat (Sembiring, 2010).

Menurut penelitian Herman (2006) Ketika tailing dari suatu kegiatan pertambangan dibuang di dataran atau badan air. Limbah unsure pencemar kemungkinan tersebar disekitar wilayah tersebut dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Bahaya pencemaran lingkungan oleh arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb) dan cadmium (Cd) mungkin terbentuk jika tailing mengandung

unsur-unsur tersebut tidak ditangani secara tepat, terutama di wilayah-wilayah tropis. Tingginya tingkat pelapukan kimiawi dan aktifitas biokimia akan menunjang percepatan mobilisasi unsur-unsur berpotensi racun.

Salah satu akibat yang merugikan dari arsen bagi kehidupan manusia adalah apabila air minum mengandung unsur tersebut melebihi nilai ambang batas, dengan gejala keracunan kronis yang ditimbulkannya berupa iritasi usus, kerusakan syaraf dan sel. Penyerapan unsur yang melebihi nilai ambang batas oleh tubuh manusia akan mengangkat secara kuat sejumlah molekul asam amino, hemoglobin, enzim, RNA dan DNA. Hal ini akan mengarah kerusakan saluran metabolitik, hipertensi darah, hiperaktif dan kerusakan otak (Sembiring, 2006).

Tailing sebenarnya merupakan limbah yang dihasilkan oleh proses penggerusan batuan tambang (*ore*) yang mengandung bijih mineral untuk diambil mineral berharganya. Tailing umumnya memiliki komposisi sekitar 50% batuan dan 50% air sehingga sifatnya seperti lumpur (*slurry*). Sebagai limbah, tailing dapat dikatakan sebagai sampah atau limbah dan berpotensi mencemarkan lingkungan baik dilihat dari volume yang dihasilkan maupun potensi rembesan yang mungkin terjadi pada tempat pembuangan tailing. Tailing hasil ekstraksi logam seperti emas dan nikel umumnya masih mengandung beberapa logam tertentu. Logam ini berasal dari logam yang terbentuk bersamaan dengan proses pembentukan mineral berharga itu sendiri. Mineral yang mengandung emas dan perak biasanya berasosiasi dengan logam perak, besi, krom, seng dan tembaga seperti kalkoplorit (CuFeS_2) dan berbagai mineral sulfida lain sehingga dapat

dikatakan bahwa limbah tailing dapat mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) (Ayunita, 2010).

Penelitian limbah tailing sebelumnya menyebutkan bahwa komposisi bahan kimia tailing pada tingkat tertentu dapat menyebabkan pencemaran perairan yang dapat menyebabkan rusaknya sumberdaya ikan disekitar lokasi pembuangan tailing. Pada dasarnya ada beberapa dampak penting yang secara konsisten terjadi didaerah pertambangan yang menggunakan STD/STP sekalipun pengontrolan dilakukan salah satu dampak tersebut adalah penutupan daerah dasar perairan dan bioakumulasi logam Dampak tersebut meliputi aspek fisik, biologi dan kimia (Sembiring, 2010).

Kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan masalah besar dunia saat ini. Persoalan spesifik logam berat di lingkungan terutama karena akumulasinya sampai pada rantai makanan dan keberadaannya di alam, serta meningkatnya sejumlah logam berat yang menyebabkan keracunan terhadap tanah, udara dan air juga meningkat. Seperti halnya sumber-sumber polusi lingkungan lainnya logam berat tersebut dapat ditransfer dalam jangkauan yang sangat jauh di lingkungan yang selanjutnya berpotensi mengganggu kehidupan biota lingkungan dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia walaupun dalam jangka waktu yang lama dan jauh dari sumber polusi utamanya.

Studi aspek geologi dan mineralogi daerah Selogiri, Wonogiri, Jawa Tengah, telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Surono et al (1992) telah melakukan pemetaan geologi regional Surakarta-Giritontro dengan skala

1:100.000. Hasil pemetaan tersebut mengidentifikasi adanya mineral logam mulia emas di daerah Selogiri. Penelitian lanjutan telah dilakukan oleh Herman et al (1996) yaitu eksplorasi mineral logam mulia di daerah Selogiri, kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Penelitian ini membahas studi petrografi, analisis XRD dan geokimia untuk mendiskripsikan peta geologi, alterasi hidrotermal dan mineralisasi sepanjang pegunungan selatan. Hutamadi (1997) juga melakukan penelitian di daerah yang sama dengan aspek yang berbeda yaitu eksplorasi geofisika dengan menggunakan metode *magnetic surveying* untuk estimasi potensi mineralisasi bijih di daerah Selogiri. Penelitian lebih lanjut dilakukan Arifudin (2000) berdasarkan analisis *fluid inclusion* untuk menggambarkan fase dan tipe paragenesis inklusi fluida dan menentukan kedalaman dan horison mineralisasi genesis deposit hidrotermal di daerah Selogiri. Selain itu, Warmada (2005) juga telah membahas geologi dan mineralogi Cu-Au di daerah Selogiri secara komprehensif berdasarkan studi geologi dan pemetaan zona alterasi yang lebih detail dari peneliti sebelumnya, inklusi fluida, studi mikroskop bijih, analisis kimiawi bijih untuk menjelaskan tipe mineralisasi deposit logam mulia tersebut. Adapun aspek lingkungan akibat kontaminasi Arsen dan logam berat lainnya pada daerah Selogiri telah diteliti oleh Warmada (2005) dan Htun (2006).

Warmada (2005) membahas tentang geokimia lingkungan deposit mineral di daerah Selogiri dan aspek geologi, geokimia, fisika, dan toksikologi dari unsur As, Pb, Zn, Hg, dan Cd. Berdasarkan penelitian Htun (2006) terdeteksi arsen total dengan sebaran 5,8 – 385 ppm pada limbah tailing penambangan emas di daerah tersebut. Tingginya kadar Arsen dalam limbah tailing tersebut dapat

mempengaruhi ekosistem lingkungan sekitar dan merupakan masalah pencemaran lingkungan yang serius.

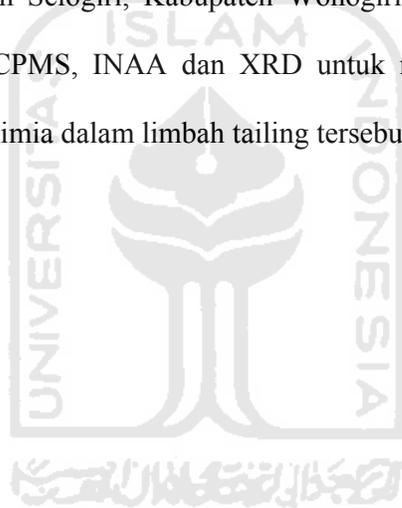
Pemilihan alat instrumentasi analisis kimia sangat penting untuk mendapatkan data unsur utama dan unsure runtu dalam suatu sampel batuan mineral. Dalam penelitian ini, analisis litogeokimia menggunakan instrumen ICP/MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) dan INAA (*Instrumental Neutron Activation Analysis*). Salah satu dari aplikasi yang paling penting dengan menggunakan ICP-MS dan INAA adalah kemampuan instrument tersebut untuk menentukan unsur-unsur baik logam maupun non-logam, juga dapat mengukur ion negative maupun ion positif (Irvan, 2005).

Pada dasarnya peralatan ICP-MS merupakan gabungan dari dua peralatan yang masing-masing sudah berkembang, yakni antara alat eksitasi ICP dan MS-quadropole sebagai detektor. Penggabungan kedua alat ini menggunakan suatu skimmer yakni suatu logam tipis yang mempunyai lubang ditengahnya dengan diameter sekitar 60 μm . Alat ini ditempatkan diantara plasma dan MS.

Prinsip kerja dari ICP-MS adalah sampel diintroduksi ke dalam suatu pusat tabung plasma argon, yang mengkabut, secara cepat tersolvasi dan teruapkan. Selama transit melewati inti plasma proses disosiasi dan ionisasi terjadi. Ion-ion terekstrak dari tabung pusat plasma menuju suatu pompa vakum antar fase, kemudian ditransmisikan ke dalam spectrometer massa. Didalam spectrometer massa ion-ion terpisahkan berdasarkan massa mereka terhadap rasio muatan. Di dalam instrumen, cairan dikonversikan menjadi aerosol melalui proses yang dikenal sebagai nebulisasi. Sampel aerosol ini kemudian ditransportasikan

kedalam plasma dan mengalami disolvasi, vaporisasi, atomisasi, dan eksitasi atau ionisasi oleh plasma. Atom dan ion yang tereksitasi memancarkan radiasi khas mereka yang akan dikumpulkan oleh alat yang memisahkan radiasi melalui panjang gelombangnya untuk analisis semi-kuantitatif. Radiasi ini dideteksi dan diubah menjadi sinyal elektronik yang dikonversi menjadi informasi konsentrasi untuk analisis kuantitatif (Irvan, 2005).

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi limbah tailing pertambangan emas rakyat dari daerah Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah dengan menggunakan metode ICPMS, INAA dan XRD untuk mendeteksi keberadaan kandungan unsur-unsur kimia dalam limbah tailing tersebut.



BAB III

DASAR TEORI

3.1 Pengertian Tailing

Aktivitas tambang emas tak pernah lepas dari limbah hasil proses ekstraksi emas, limbah tersebut biasa disebut tailing. Bentuk fisik limbah dapat berwujud gas, cair, padat. Secara fisik gas buangan mengandung partikel-partikel debu dan secara kimia merupakan larutan berbagai jenis mineral bijih yang diolah. Limbah cair mengandung bahan-bahan kimia beracun dari logam-logam berat dan sianida dengan konsentrasi yang relatif masih tinggi, sedangkan limbah padat mempunyai komposisi kimia utamanya adalah sesuai dengan batuan induknya.

Tailing merupakan residu yang berasal dari sisa bijih setelah target mineral utama dipisahkan dan biasanya terdiri atas beraneka ukuran butir yaitu fraksi pasir, lanau dan lempung. Ketika tailing dibuang dalam bentuk bubur, fraksi pasir cenderung mengendap disekitar titik pembuangan sebagai suspensi dalam waktu yang lama. Fraksi pasir kadang-kadang dimanfaatkan untuk pembuatan konstruksi tanggul atau sebagai bahan pengisi backfilling pada tambang bawah permukaan atau bekas galian-galian tambang terbuka.

Pengertian limbah berdasarkan PP No. 19/1994 tentang pengelolaan limbah berbahaya dan beracun adalah bahan sisa pada suatu kegiatan dan atau proses

produksi. Jika melampaui nilai ambang batas dapat membahayakan lingkungan sekitarnya. Tailing berpotensi sebagai sumber pencemar lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik akan mengakibatkan pengotoran lingkungan, pencemaran air dan tanah. Pengertian tailing diatas dapat diartikan sebagai limbah pada sisa aktifitas pengolahan dan penambangan, tidak terpakai dan dapat membahayakan lingkungan karena harus dikelola dari lingkungan, dengan demikian diperlukan biaya yang tidak sedikit untuk mengelola limbah tailing tersebut.

Tailing penambangan emas sebagai limbah adalah sisa setelah terjadi pemisahan konsentrat atau logam berharga dari bijih batuan di pabrik pengolahan, bentuknya merupakan batuan alami yang telah digerus. Dalam artian sebagai limbah, *tailing* ini tidak bernilai karena hanya sebagai produk sisa atau buangan dari pengambilan emas dan perak.

Limbah tailing merupakan limbah hasil kegiatan pertambangan yang mengandung logam berat. Limbah tailing harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan agar tidak menyebabkan pencemaran lingkungan. Tersebar nya logam berat di tanah, perairan ataupun udara dapat melalui berbagai hal misalnya: pembuangan secara langsung limbah industri, baik limbah padat maupun limbah cair tetapi dapat pula melalui udara karena banyak industri yang membakar begitu saja limbahnya dan membuang hasil pembakaran ke udara tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu.

Banyak orang yang beranggapan bahwa dengan cara membakar maka limbah beracun tersebut akan hilang, padahal sebenarnya kita hanya memindahkan dan menyebarkan limbah beracun tersebut ke udara. Pencemaran dengan cara ini lebih berbahaya karena udara lebih dinamis sehingga dampak yang diakibatkannya juga akan lebih luas dan membersihkannya jauh lebih sulit.

Banyak alternatif yang digunakan untuk mengolah limbah tailing yang mengandung logam berat khususnya merkuri diantaranya adalah dengan teknologi *Low Temperature Thermal Desorption* (LTTD) atau dengan teknologi *phytoremediation*.

1. *Low Temperature Thermal Desorption* (LTTD)

Pada sistem *thermal desorption* material diuraikan pada suhu rendah (< 300 °C) dengan pemanasan tidak langsung serta kondisi tekanan udara yang rendah (vakum), dengan kondisi tersebut material akan lebih mudah diuapkan dibandingkan dalam tekanan tinggi, jadi dalam sistem ini yang terjadi adalah proses fisika tidak ada reaksi kimia seperti misalnya reaksi oksidasi.

Cara ini sangat efektif untuk memisahkan bahan-bahan organik yang mudah menguap misalnya, (*volatile organic compounds/VOCs*), (*semi-volatile organic compounds* (SVOCs)), (*poly aromatic hydrocarbon/PAHs*), (*poly chlorinated biphenyl/PCBs*), minyak, pestisida dan beberapa logam kadmium, merkuri, timbal serta non logam misal arsen, Sulfur, klor dan lain-lain.

Material yang telah terpisah dalam bentuk uapnya akan lebih mudah untuk dikumpulkan kembali dengan cara dikondensasikan, diadsorpsi menggunakan filter, larutan atau media lain sehingga tidak tersebar kemana-mana, dengan sistem *thermal desorption* material yang berbahaya dipisahkan agar lebih mudah untuk ditangani entah akan dibuang atau dimanfaatkan kembali, sedangkan bahan-bahan organik yang sukar menguap akan terkarbonisasi menjadi arang.

Limbah padat yang mengandung polutan merkuri dan arsen dimasukkan ke dalam sistem LTTD, limbah akan mengalami pemanasan tidak langsung dengan kondisi tekanan udara lebih kecil dari 1 atmosfer. Polutan merkuri dan arsen akan menguap (*desorpsi*), sedangkan limbah padat yang telah bersih dari polutan dapat dibuang ke tempat penampungan. Kemudian uap polutan yang terbentuk dialirkan ke dalam media pengabsorpsi (*absorber*). Untuk menangkap uap logam merkuri dapat digunakan butiran logam perak atau tembaga yang kemudian membentuk amalgam. Sedangkan untuk menangkap ion-ion merkuri dan arsen dapat digunakan larutan hidroksida (OH^-) sulfida (S^{2-}) yang akan mengendapkan ion-ion tersebut. Dalam sistem ini perlu ditambahkan *wet scrubber* dan filter karbon untuk menangkap partikulat dan gas-gas beracun yang mungkin terbentuk pada proses *desorpsi*. Keunggulan sistem ini ialah prosesnya cepat dan biaya investasi peralatan dan operasionalnya murah, unitnya dapat dibuat kecil sehingga dapat dibuat sistem yang mobil.

2. *Phytoremediation*

Teknologi mengolah limbah dengan sistem fitoremediasi, menggunakan tanaman sebagai alat pengolah bahan pencemar. Pada limbah padat atau cair yang akan diolah, ditanami dengan tanaman tertentu yang dapat menyerap, mengumpulkan, mendegradasi bahan-bahan pencemar tertentu yang terdapat di dalam limbah tersebut. Banyak istilah yang diberikan pada sistem ini sesuai dengan mekanisme yang terjadi pada prosesnya. Misalnya: *Phytostabilization*: polutan distabilkan di dalam tanah oleh pengaruh tanaman, *Phytostimulation*: akar tanaman menstimulasi penghancuran polutan dengan bantuan bakteri Rhizosphere, *Phytodegradation*: tanaman mendegradasi polutan dengan atau tanpa menyimpannya di dalam daun, batang atau akarnya untuk sementara waktu, *Phytoextraction*: polutan terakumulasi di jaringan tanaman terutama daun, *Phytovolatilization*: polutan oleh tanaman diubah menjadi senyawa yang mudah menguap sehingga dapat dilepaskan ke udara, *Rhizofiltration*: polutan diambil dari air oleh akar tanaman pada sistem hidroponik.

Proses remediasi polutan dari dalam tanah atau air terjadi karena jenis tanaman tertentu dapat melepaskan zat *carriers* yang biasanya berupa senyawaan kelat, protein, glukosida yang berfungsi mengikat zat polutan tertentu kemudian dikumpulkan di jaringan tanaman misalnya pada daun atau akar. Keunggulan sistem fitoremediasi diantaranya ialah biayanya murah dan dapat dikerjakan insitu, tetapi kekurangannya diantaranya ialah perlu waktu yang lama dan diperlukan pupuk untuk menjaga kesuburan tanaman, akar tanaman biasanya pendek sehingga tidak dapat

menjangkau bagian tanah yang dalam. Yang perlu diingat ialah setelah dipanen, tanaman yang kemungkinan masih mengandung polutan beracun ini harus ditangani secara khusus.

3.2 Arsen

Arsen (As) adalah elemen yang tersebar luas dimana-mana dengan sifat seperti mineral. Senyawa arsen sangat kompleks dan berbeda antara arsen bentuk organik dan anorganik. Senyawa arsen anorganik yang terpenting adalah arsen trioksida (As_2O_3 atau As_4O_6). Pada suhu diatas 1.037°C senyawa arsen trioksida dapat dihasilkan dari hasil samping produksi tembaga dan pembakaran batubara. Arsen trioksida mempunyai titik didih 465°C dan akan menyublim pada suhu lebih rendah, kira-kira 2% pada suhu 25°C dan 8,2% pada suhu 98°C . sedikit larut dalam asam klorida dan alkalis.

Senyawa arsen organik sangat jarang dan mahal. Ikatan karbon arsen sangat stabil pada kondisi pH lingkungan dan berpotensi teroksidasi. Beberapa senyawa *methylarsenic* sebagaimana *dimethylarsenic* dan *trimethylarsenic* terjadi secara alami, karena merupakan hasil dari aktifitas biologis. Di dalam air senyawa ini biasa teroksidasi menjadi asam methylarsenic. Senyawa arsen organik lainnya seperti: *arsenobetaine* dan *arsenochlorin* bisa ditemukan pada kehidupan laut dan sangat tahan terhadap degradasi secara kimiawi (Lauweryset al, 1979).

Alkyl chloroarsenes adalah senyawa yang stabil dan mudah terhidrolisa, tetapi sangat reaktif terhadap senyawa pereduksi dari sulfur. Salah satu senyawa tersebut

adalah *2-chlorovynilarsenes dichloride* sering dipakai sebagai gas perang. Doak & Freedman (1970) telah melakukan review sifat fisik dan kimia senyawa arsen baik anorganik maupun organik seperti senyawa *orgoarsenes*. Arsen dapat menyebabkan dampak kesehatan baik akut, sub-akut maupun kronis. Dampak lokal maupun sistemik dari arsen meliputi dampak terhadap fungsi reproduksi dan teratogenitas, non karsinogenik pada pernafasan, kulit, hati, system akrdiovaskular dan system syaraf.

Arsen (As) merupakan unsur yang melimpah secara alami dengan nomor atom 33, berat atom 74,92 gram/mol, memiliki dua bentuk padatan yaitu kuning kehitaman dan abu-abu, termasuk golongan semilogam dan mudah patah. As terdapat di alam biasanya bersama dengan unsure lain yaitu oksigen (O), klor (Cl). Sulfur (S), karbon (C), hidrogen (H), timbal (Pb), besi (Fe) dan emas (Au). Berbagai senyawa As ditemukan di alam biasanya bersama unsure lain antara lain perak, kobalt (Co), nikel (Ni), besi (Fe), antimoni (Sb) atau sulfur (S).

Arsen (As) jarang ditemukan dalam bentuk unsur karena As biasanya membentuk berbagai macam senyawa kompleks, bisa berupa trivalen (As^{+3}) atau pentavalen (As^{+5}), yang terdapat secara luas di alam. Pada umumnya As^{+3} berupa As-anorganik yaitu senyawa As-trioksida, sodium arsenit dan As-triklorida. Sementara itu As^{+5} anorganik antara lain senyawa pentoksida, asam arsenat, Pb-arsenat dan Ca-arsenat. As-organik bisa berupa As^{+3} maupun As^{+5} antara lain asam arsalinat atau

bentuk metilasi. Arsen di dalam tubuh makhluk hidup, baik hewan maupun tanaman, bergabung dengan hidrogen (H) atau carbon (C) membentuk As organik.

Arsen (As) secara kimiawi memiliki karakteristik serupa dengan Fosfor (P) apabila dipanaskan, As akan teroksidasi menjadi oksida arsenic (As_2O_3) yang berbau tajam seperti bawang putih. Arsen banyak digunakan di Persia sejak zaman romawi hingga abad pertengahan sedangkan As_2O_3 berwarna putih dan tidak berasa sehingga sulit di deteks bila diberikan sedikit-sedikit dan dalam jangka panjang.

Arsen di alam ditemukan berupa mineral antara lain arsenopirit ($FeAsS$), lollingit ($FeAsS_2$), smaltit ($CoAs_2$), nikolit ($NiAs$), tennantit ($Cu_8As_3S_7$), enargit (Cu_3AsS), proustit (Ag_3AsS_4) dan orpimen (As_2S_3). Demi keperluan industry mineral, arsen dipanaskan terlebih dahulu sehingga As berkondensasi menjadi bentuk padat.

Arsen merupakan unsur kerak bumi yang berjumlah besar yaitu menempati urutan kedupuluh dari unsure kerak bumi. Sehingga sangat besar kemungkinannya mencemari air tanah dan air minum. Semua batuan mengandung As sebesar 1-5 ppm, konsentrasi yang tinggi ditemukan pada bakuan beku dan sedimen tanah hasil pelapukan batuaan biasanya mengandung arsen sebesar 0,1-40 ppm dengan rata-rata 5-6 ppm. Arsen adalah salah satu logam toksik yang sering diklasifikasikan sebagai logam tetapi bersifat non logam. Tidak seperti logam lain yang berbentuk kation, As di alam berbentuk anion seperti H_2AsO_4 dan H_2AsO . As tidak rusak olehlingkungan hanya berpinnadah menuju air atau tanah yang dibawa oleh debu, hujan atau awan. Beberapa senyawa arsen tidak bisa larut di perairan dan akhirnya akan mengendap

menjadi sedimen. Pada awalnya senyawa As digunakan sebagai pestisida dan herbisida sebelum senyawa organik ditemukan dan sebagai pengawet kayu (*Copper Chromated Arsenic/CCA*).

Di abad 19, senyawa As berupa copper arsenit digunakan sebagai perwarna hijau pada wallpaper sebagai emerald green yang terkenal di Inggris mulai dari istana sampai ke rumah-rumah penduduk. Cu-asetonitrit (Copper acetoarsenite) atau juga disebut paris green digunakan sebagai pigmen hijau. Arsen banyak digunakan sebagai pengawet kayu maupun sebagai bahan pembuatan berbagai macam bahan-bahan pertanian, antara lain pembuatan pestisida, insektisida, herbisida, algisida, rodentisida, pupuk dan sterilan tanah (*soil sterilant*), serta digunakan *shep dip*. Selain itu arsen juga digunakan untuk komponen pengobatan penyakit yang disebabkan oleh parasit, pembuatan obat *doping (doping agent)*, bahan pembuatan *bronzing*, *pyrotechy* dan senjata. As anorganik biasanya digunakan untuk mengawetkan kayu, dalam bentuk tanalith atau CCA, As banyak digunakan untuk *pressure-treated* lumber dan untuk mencegah serangan insekta dan pembusukan pada kayu. Arsen digunakan sebagai bahan campuran pembuatan cat rambut, pigmen dan berbagai jenis macam mainan anak, pembungkus makanan, pewarna baju serta berbagai jenis campuran logam. Dalam jumlah kecil digunakan sebagai campuran pembuatan gelas, logam dan alat elektronik serta berbagai bahan pembuatan transistor.

Berbagai jenis senyawa As yang penting adalah white arsenic, orpiment, realgar, paris green, calcium arsenate dan lead hydrogen arsenate (PbHAsO_4).

Orpiment dan realgar sebagai bahan pembuatan pigmen cat. Namun karena reaktivitas dan toksisitasnya yang tinggi penggunaannya dilarang. Sheele's green sebagai bahan pewarna. Gallium arsenia (GaAs) sangat penting sebagai bahan semikonduktor dalam integrated circuits sedangkan diode laser mampu mengubah aliran listrik menjadi sinar. Monosodium methyl arsenate (MSMA) adalah bentuk As organik yang kurang toksik sebagai pengganti Pb-arsenat sebagai bahan berbagai keperluan di bidang pertanian. Dalam bidang kesehatan As digunakan sebagai bahan pembuatan arsphenamine atau nearsophenamine (oleh Paul Ehrlich) sebagai obat penyakit sifilis dan tripanosomiasis, trioksida-arsenat (oleh Thomas Fowler) untuk terapi kanker dan bahan pembuatan fowlers solution untuk pengobatan.

Tabel 1. Mineral Arsen yang Penting

Nama Mineral	Senyawa	% berat As
Realgar	AgS	70
Orpimen	As ₂ S ₃	60
Arsenopirit	FeAsS	46
Tetraedrit	M ₁₂ R ₄ S ₁₃ *	29
Niceolit	NiAs	56
Enargit	Cu ₃ AsS ₄	19
Amaltit	CoAs ₃	79

* M = Cu, Ag, Hg, Fe atau Zn

R = As atau Sb

Arsen (As) yang bisa digunakan sebagai bahan dari berbagai macam obat, tetapi juga memberikan efek samping. Untuk itu penggunaan obat berbahan baku As harus berhati-hati karena As juga potensial bersifat karsinogenik dan kokarsinogenik.

Gejala toksisitas As per oral antara lain berupa :

1. Ketidaknormalan kulit antara lain berupa spot gelap/terang pada kulit, keratosis pada telapak tangan atau kaki dan akhirnya berkembang menjadi kanker kulit.
2. Peningkatan resiko kanker hati, empedu, ginjal dan paru-paru.
3. Iritasi dan sakit pada alat pencernaan nausea, vomitus dan diare.
4. Mempeparah kondisi malnutrisi.
5. Penurunan produksi sel darah merah dan sel darah putih.
6. Abnormalitas fungsi jantung
7. Kerusakan pembuluh darah
8. Kerusakan hati dan ginjal
9. Gangguan syaraf, menimbulkan rasa panas, rasa tertusuk jarum pada kaki dan tangan.
10. Membahayakan fetus selama masa kehamilan.

Unsur As sebenarnya tidak bersifat toksik. As organik seperti metal arsenic, dimetil arsenic, trimetil-arsenik, merupakan senyawa yang lebih toksik dibandingkan unsure As. Sebagian As di dalam makanan terbentuk As^{+5} yang kurang toksik dibandingkan dengan unsur As yang lainnya. Namun As^{+5} mudah berubah menjadi

As⁺³ dan berubah menjadi metal-arsenik yang bersifat lebih toksik pada makhluk hidup. As anorganik paling toksik dibandingkan As organik, sedangkan As bentuk gas paling rendah toksisitasnya (Deshpande)

Toksisitas arsen dipengaruhi oleh :

1. Susunan/bentuk senyawa As
2. Jumlah dosis/konsentrasi As
3. Bentuk fisik/kimia As
4. As anorganik lebih toksik dibandingkan dengan As organik
5. As yang larut dalam air lebih toksik
6. Manusia lebih sensitif dibandingkan dengan hewan

3.3 Merkuri (Hg)

Sebagai unsur, merkuri (Hg) berbentuk cair keperakan pada suhu kamar. Merkuri membentuk berbagai persenyawaan baik anorganik (seperti oksida, klorida, dan nitrat) maupun organik. Merkuri dapat menjadi senyawa anorganik melalui oksidasi dan kembali menjadi unsur merkuri (Hg) melalui reduksi. Merkuri anorganik menjadi merkuri organik melalui kerja bakteri *anaerobic* tertentu dan senyawa ini secara lambat berdegradasi menjadi merkuri anorganik. Merkuri mempunyai titik leleh-38,87 dan titik didih 35,00°C. Produksi air raksa diperoleh terutama dari biji sinabar (86,2 % air raksa). Salah satu cara melalui pemanasan biji dengan suhu 8000C dengan menggunakan O₂ (udara) Merkuri (Hg), adalah satu-satunya logam yang berwujud cair pada suhu ruang. Merkuri, baik logam maupun *metil* merkuri

(CH_3Hg^+), biasanya masuk tubuh manusia lewat pencernaan. Bisa dari ikan, kerang, udang, maupun perairan yang terkontaminasi. Namun bila dalam bentuk logam, biasanya sebagian besar bisa diekresikan. Sisanya akan menumpuk di ginjal dan sistem saraf, yang suatu saat akan mengganggu bila akumulasinya makin banyak. Merkuri dalam bentuk logam tidak begitu berbahaya, karena hanya 15% yang bisa terserap tubuh manusia. Tetapi begitu terpapar ke alam, dalam kondisi tertentu ia bisa bereaksi dengan metana yang berasal dari dekomposisi senyawa organik membentuk *metil* merkuri yang bersifat toksis. Dalam bentuk *metal* merkuri, sebagian besar akan berakumulasi di otak. Karena penyerapannya besar, dalam waktu singkat bisa menyebabkan berbagai gangguan. Mulai dari rusaknya keseimbangan tubuh, tidak bisa berkonsentrasi, tuli, dan berbagai gangguan lain seperti yang terjadi pada kasus Minamata. Produksi merkuri diperoleh terutama dari bijih sinabar (86,2 % air raksa). Salah satu cara melalui pemanasan bijih dengan suhu 800°C dengan menggunakan O_2 (udara). Sulfur yang dikombinasi dengan gas O_2 , melepaskan merkuri sebagai uap air yang mudah terkonsentrasi. Sinabar juga dapat dipanaskan dengan kapur dan belerang bercampur kalsium, dan akan melepaskan uap logam merkuri. Hal yang tersebut diatas merupakan cara lain, tetapi merkuri umumnya dimurnikan melalui proses destilasi. Bijih merkuri juga ditemukan pada batu dan bercampur dengan bijih lain seperti tembaga, emas, timah, seng dan perak. Toksisitas merkuri inorganik terjadi dalam beberapa bentuk merkuri metalik (Hg), merkuri mercurous (Hg^+), atau merkuri merkuri (Hg^{2+}). Toksisitas dari merkuri inorganik dapat terjadi dari kontak langsung melalui kulit atau saluran gastrointestinal atau melalui uap air merkuri. Uap air

merkuri berdifusi melalui alveoli, terionisasi di darah, dan akhirnya disimpan di sistem saraf pusat.

Secara umum merkuri memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Berwujud cair pada suhu kamar (25°C) dengan titik beku paling rendah 39°C .
2. Masih berwujud cair pada suhu 396°C . Pada temperatur 396°C ini telah terjadi pemuaiian secara menyeluruh.
3. Merupakan logam yang paling mudah menguap jika dibandingkan dengan logam logam yang lain.
4. Tahanan listrik yang dimiliki sangat rendah, sehingga menempatkan merkuri sebagai logam yang sangat baik untuk menghantarkan daya listrik.
5. Dapat melarutkan bermacam-macam logam untuk membentuk alloy yang disebut juga dengan amalgam.
6. Merupakan unsur yang sangat beracun bagi semua makhluk hidup, baik itu dalam bentuk unsur tunggal (logam) maupun dalam bentuk persenyawaan

Merkuri atau air raksa (Hg) muncul di lingkungan secara alamiah dan berada dalam beberapa bentuk yang pada prinsipnya dapat dibagi menjadi 3 bentuk utama yaitu :

- a. Merkuri (Hg) merupakan logam berwarna putih, berkilau dan pada suhu kamar berada dalam bentuk cairan. Pada suhu kamar akan menguap dan membentuk uap merkuri yang tidak berwarna dan tidak berbau. Makin tinggi

suhu, makin banyak yang menguap. Banyak orang yang telah menghirup merkuri mengatakan bahwa terasa logam dimulutnya. Merkuri metal masih digunakan dalam beberapa herbal dan obat tradisional di Amerika Latin dan di Asia, digunakan juga dalam acara ritual seperti Voodoo, Santeria dan Espiritismo suku Caribia di Amerika Latin. Digunakan juga untuk bahan pembuat thermometer, barometer. Merkuri metal banyak digunakan untuk produksi gas klorin dan kaustik soda dan untuk pemurnian emas. Juga digunakan untuk pembuatan baterai, dan saklar listrik. Untuk bahan penambal gigi biasanya mengandung merkuri metal 50%. Estimasi yang dilakukan oleh WHO menyatakan bahwa sekitar 3% dari total konsumsi merkuri digunakan untuk dental amalgam. Dental amalgam ini merupakan campuran dari merkuri yang dicampur dengan perak, dan tin dengan komposisi 45- 50% merkuri, 25- 35% perak, 2-30% tembaga dan 15- 30% tin. Estimasi yang dilakukan terhadap dokter gigi di Amerika menyatakan bahwa penggunaan Hg rata-rata berkisar 0,9 – 1,4 kg amalgam /tahun. Paparan yang ditimbulkannya adalah Hg uap.

- b. Senyawa merkuri anorganik terjadi ketika merkuri dikombinasikan dengan Pada waktu lampau, mercurous klorid digunakan dalam dunia kedokteran untuk obat penjahar (urus-urus), obat cacing dan bahan penambal gigi. Senyawa kimia lain yang mengandung merkuri masih digunakan sebagai anti bakteri. Produk ini termasuk mercurochrome (mengandung 2% merkuri sulfida) dan merkuri oksida digunakan untuk zat warna pada cat, sedangkan

merkuri sulfida digunakan pula sebagai pewarna merah pada tato. Merkuri klorida juga digunakan sebagai katalis, industri baterai kering, dan fungisida dalam pengawetan kayu. Merkuri asetat digunakan untuk sintesa senyawa organomerkuri, sebagai katalis dalam reaksi-reaksi polimerisasi organik dan sebagai reagen dalam kimia analisa. Senyawa-senyawanya banyak digunakan sebagai disinfektan, pestisida, bahan cat, antiseptik, baterai kering, fotografi, di pabrik kayu dan pabrik tekstil.

- c. Senyawa merkuri organik terjadi ketika merkuri bertemu dengan karbon atau organomerkuri. Banyak jenis organomerkuri, tetapi yang paling populer adalah metilmerkuri (dikenal dengan monometilmercuri) $\text{CH}_3 - \text{Hg} - \text{COOH}$. Pada waktu yang lampau, senyawa organomerkuri yang dikenal adalah fenilmerkuri yang digunakan dalam beberapa produk komersial. Organomerkuri lainnya adalah dimetilmerkuri ($\text{CH}_3 - \text{Hg} - \text{CH}_3$) yang juga digunakan sebagai standar referensi tes kimia, di lingkungan ditemukan dalam jumlah kecil namun sangat membahayakan bagi manusia dan hewan. Seperti senyawa merkuri organik, metil merkuri dan fenil merkuri ada dalam bentuk garam-garamnya seperti metal merkuri klorida dan fenil merkuri asetat. Metilmerkuri dihasilkan dari proses mikroorganisme (bakteria dan fungi) di lingkungan. Sampai tahun 1970an metil merkuri dan etil merkuri digunakan untuk mengawetkan biji-bijian dan infeksi fungi. Ketika diketahui adanya efek negatif terhadap kesehatan dari bahan berbahaya metil merkuri dan etil merkuri, maka penggunaan selanjutnya sebagai fungisida biji-bijian dilarang.

Sampai tahun 1991an penggunaan fenil merkuri sebagai antifungi pada cat dalam maupun cat luar bangunan masih diperbolehkan, tetapi penggunaan ini selanjutnya juga dilarang karena akan terjadi penguapan Hg dari cat-cat tersebut. Sabun dan krem yang mengandung merkuri telah digunakan dalam waktu yang lama oleh masyarakat kulit hitam di beberapa wilayah untuk pemutih kulit.

3.4 Tembaga (Cu)

Tembaga dengan nama kimia cupprum dilambangkan dengan Cu. Logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Kadar tembaga pada kerak bumi sekitar 50 mg/kg. Sumber alami tembaga adalah *chalcopyrite* (CuFeS_2), *Copper sulfida* (CuS_2), *malachite* [$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH}_2)$] dan *azurite* [$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH}_2)$]. Secara kimia, senyawa-senyawa dibentuk oleh logam Cu (tembaga) mempunyai bilangan valensi +1 dan +2 yang tidak dapat larut dalam air dingin atau air panas, tetapi mereka dapat dilarutkan dalam larutan asam. Secara fisik, logam Cu (tembaga) digolongkan kedalam kelompok logam-logam penghantar listrik terbaik setelah perak (Argentum – Ag), karena itu logam Cu banyak digunakan dalam bidang elektronika atau pelistrikan. Logam berat Cu digolongkan ke dalam logam berat dipentingkan atau logam berat esensial, artinya meskipun Cu merupakan logam berat beracun, unsur logam berat ini sangat dibutuhkan meski dalam jumlah yang sedikit. Pada manusia, efek keracunan yang di timbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap Cu tersebut adalah terjadinya kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan

hidung. Kerusakan itu, merupakan akibat dari gabungan sifat iritatif yang dimiliki oleh debu atau uap Cu tersebut.

3.5 Timbal (Pb)

Kadar timbal pada kerak bumi sekitar 15 mg/kg. Sumber alami utama timbal adalah *galena* (PbS), *gelesite* (PbSO₄), dan *cerrusite* (PbCO₃). Dahulu digunakan sebagai konstituen didalam cat, baterai, dan saat ini banyak digunakan dalam bensin. Pb organik (TEL = *Tetra Ethyl Lead*) sengaja ditambahkan ke dalam bensin untuk meningkatkan nilai oktan. Pb adalah racun sistemik yang dikenal dengan cara pemasukannya setiap hari dapat melalui makanan, air udara, dan penghirupan asap tembakau. Efek dari keracunan Pb dapat menimbulkan kerusakan pada otak dan penyakit-penyakit yang berhubungan dengan otak, antara lain epilepsi, halusinasi, kerusakan pada otak besar dan delirium (sejenis penyakit gula), kerusakan pada saluran ginjal, ketidaknormalan EKG pada otot jantung.

3.6 Seng (Zn)

Seng termasuk unsur yang terdapat dalam jumlah berlimpah di alam. Kadar seng pada kerak bumi sekitar 70 mg/kg. Sumber alami utama seng adalah *calamine* (ZnCO₃), *Sphalerite* (ZnS), *smithsonite* (ZnCO₃), dan *wilemite* (Zn₂SiO₄). Seng digunakan dalam industri besi, baja, karet, tekstil, kertas, dan bubur kertas. Tubuh memerlukan Zn untuk proses metabolisme, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat racun. Di dalam air minum dapat menimbulkan rasa kesat, dan dapat menimbulkan

gejala muntaber. Seng menyebabkan warna air menjadi opalescent, dan bila dimasak akan timbul endapan seperti pasir. Unsur ini sebenarnya dibutuhkan dan berguna dalam metabolisme, dengan kebutuhan perhari 10-15 mg, karena jika kekurangan Zn dapat menyebabkan hambatan pada pertumbuhan anak. Akan tetapi jika unsur ini terdapat dalam jumlah yang besar dapat menimbulkan rasa pahit.

3.7 Emas (Au)

Emas adalah logam mineral yang merupakan salah satu bahan galian logam yang bernilai tinggi baik dari sisi harga maupun sisi penggunaan. Emas terbentuk dari proses magmatisme atau pengkonsentrasian di permukaan. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal, sedangkan pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan letakan (*placer*).

Emas terdapat di alam dalam dua tipe deposit, pertama sebagai urat (*vein*) dalam batuan beku, kaya besi dan berasosiasi dengan urat kuarsa. Lainnya yaitu endapan atau placer deposit, dimana emas dari batuan asal yang tererosi terangkut oleh aliran sungai dan terendapkan karena berat jenis yang tinggi. Emas terbentuk karena adanya kegiatan vulkanisme, bergerak berdasarkan adanya thermal atau panas di dalam bumi.

Dalam proses geokimia, emas biasanya dapat diangkut dalam bentuk larutan kompleks sulfida atau klorida. Pengendapan emas sangat tergantung kepada besarnya perubahan pH, H₂S, oksidasi, pendidihan, pendinginan, dan adsorpsi oleh mineral

lain. Sebagai contoh, emas akan mengendap jika suasana menjadi sedikit basa dan terjadi perubahan dari reduksi menjadi oksidasi. Atau emas akan mengendap jika terikat mineral lain, seperti pirit.

Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa. Tingkat kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mohs). Berat jenisnya dipengaruhi oleh jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Umumnya emas didapatkan dalam bentuk bongkahan, tetapi di Indonesia hal tersebut sudah jarang ditemukan. Batuan berkadar emas rendah merupakan batuan yang mengandung emas lebih kecil dari 100 mg emas dalam 1 kg batuan. Emas ialah unsur kimia dalam sistem periodik unsur dengan simbol Au (aurum) dan nomor atom 79, merupakan logam lembut, berkilat, berwarna kuning, padat, dan tidak banyak bereaksi dengan kebanyakan bahan kimia, walau dapat bereaksi dengan klorin, fluorin dan aqua regia. Logam ini selalu ada dalam bentuk bongkahan dan butiran batuan maupun dalam pendaman alluvial. Kenampakan fisik bijih emas hampir mirip dengan pirit, markasit, dan kalkopirit dilihat dari warnanya, namun dapat dibedakan dari sifatnya yang lunak dan berat jenis tinggi. Emas berasosiasi dengan kuarsa, pirit, arsenopirit, dan perak. Emas terdapat di alam dalam dua tipe deposit. Pertama sebagai urat/vein dalam batuan beku, kaya besi dan berasosiasi dengan urat kuarsa. Endapan lain adalah placer deposit, dimana emas dari batuan asal yang tererosi terangkut oleh aliran sungai dan terendapkan karena berat jenis yang tinggi. Selain itu, emas sering ditemukan dalam penambangan bijih perak dan tembaga, Logam emas merupakan

logam yang tahan akan korosi, mudah ditempa dan relatif stabil di alam karena tidak banyak bereaksi dengan kebanyakan bahan kimia. Oleh karena itu, logam ini banyak dimanfaatkan di berbagai kehidupan manusia. Pada saat ini, emas banyak digunakan sebagai perhiasan, cadangan kekayaan negara, medali, elektroda, dan komponen di dalam komputer. Oleh karena itu, emas memiliki nilai ekonomi yang tinggi.

3.8 Besi (Fe)

Besi bersifat logam, berwarna putih abu-abu, dapat ditempa merupakan unsur keempat terbanyak penyusun kerak bumi, tergolong unsur transisi dan ditemukan di alam beberapa mineral terutama sebagai hematit (FeO_3), limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$) dan magnetit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$). Logam besi sangat reaktif dan mudah berkarat terutama dalam kondisi udara lembab atau temperatur tinggi. Pada pemanasan, bereaksi dengan unsur non logam. Dapat membentuk senyawa besi (II) atau ferro dan senyawa besi (III) atau ferri disamping dapat membentuk ion kompleks.

Kegunaan logam besi telah dikenal luas dalam kehidupan sehari-hari dan juga besi merupakan konstituen penting dalam sel makhluk hidup. Di dalam air minum, besi menimbulkan rasa, warna kuning, pengendapan pada dinding pipa, pertumbuhan bakteri besi dan kekeruhan. Besi dibutuhkan oleh tubuh dalam pembentukan hemoglobin. Banyaknya besi di dalam tubuh dikendalikan pada fasa adsorpsi. Tubuh manusia tidak dapat mengekskresikan besi. Karenanya mereka yang sering dapat transfusi darah, warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi besi. Sekalipun besi diperlukan oleh tubuh tetapi dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kematian

seringkali disebabkan oleh rusaknya dinding usus ini, debu besi juga dapat diakumulasi di dalam alveoli dan menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru.

3.9 ICP MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)

Pada dasarnya peralatan ICP-MS merupakan gabungan dari dua peralatan yang masing-masing sudah berkembang, yakni antara alat eksitasi ICP dan MS-quadropole sebagai detektor. Penggabungan kedua alat ini menggunakan suatu skimmer yakni suatu logam tipis yang mempunyai lubang ditengahnya dengan diameter sekitar 60 μm . Alat ini ditempatkan diantara plasma dan MS.

Prinsip kerja dari ICP-MS adalah sampel diintroduksi ke dalam suatu pusat tabung plasma argon, yang mengkabut, secara cepat tersolvasi dan teruapkan. Selama transit melewati inti plasma proses disosiasi dan ionisasi terjadi. Ion-ion terekstrak dari tabung pusat plasma menuju suatu pompa vakum antarfase, kemudian ditransmisikan ke dalam spektrometer massa. Didalam spektrometer dan massa ion-ion terpisahkan berdasarkan massa mereka terhadap rasio muatan.

Di dalam instrumen, cairan dikonversikan menjadi aerosol melalui proses yang dikenal sebagai nebulisasi. Sampel aerosol ini kemudian ditransportasikan ke dalam plasma dan mengalami disolvasi, vaporisasi, atomisasi, dan eksitasi atau ionisasi oleh plasma. Atom dan ion yang tereksitasi memancarkan radiasi khas mereka yang akan dikumpulkan oleh alat yang memisahkan radiasi melalui panjang gelombangnya untuk analisis semi-kuantitatif. Radiasi ini dideteksi dan diubah

menjadi sinyal elektronik yang dikonversi menjadi informasi konsentrasi untuk analisis kuantitatif.

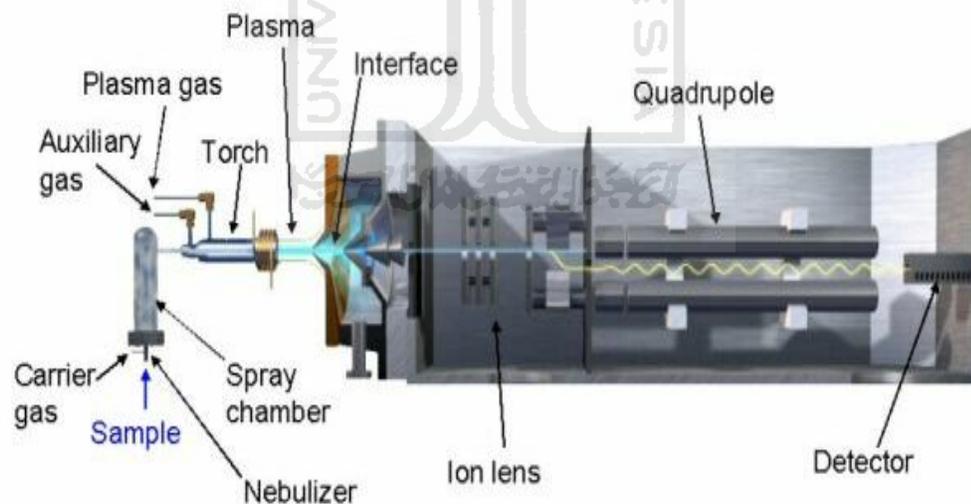


Gambar 1. Alat Instrumentasi ICP MS

ICP-MS dikembangkan sekitar pada tahun 1980 dan telah digunakan di bidang lingkungan hidup karena sensitivitas yang tinggi dan kemampuan analisis multielemen. ICP-MS telah banyak digunakan untuk analisis multielemen secara simultan dan biologis sampel lingkungan setelah dilakukan pemisahan. Sensitivitas sangat baik dan jangkauan kerja yang luas untuk banyak jenis elemen dan rendahnya tingkat gangguan, membuat sebuah metode ICP-MS hampir sangat ideal.

Sebuah ICP dapat digunakan dalam analisis kuantitatif sebagai berikut: Bahan alami seperti batuan, mineral, tanah, udara sedimen, air, dan tumbuhan dan jaringan hewan; murni dan terapan geokimia, mineralogi, pertanian, kehutanan, peternakan, ekologi kimia, ilmu lingkungan dan industri makanan.

Gangguan unsur isobarik dalam ICP-MS disebabkan oleh isotop yang berbeda unsur-unsur membentuk ion atom dengan rasio muatan nominal massa-yang sama (m/z). Sebuah sistem data harus digunakan untuk mengoreksi gangguan ini. Hal ini meliputi penentuan sinyal untuk unsur campur dan mengurangkan sinyal yang sesuai dari analit. Walaupun jenis gangguan biasa, tidak mudah dikoreksi, dan contoh yang menunjukkan masalah yang signifikan dari jenis ini dapat meminta resolusi perbaikan, pemisahan matriks, atau analisis menggunakan lain diverifikasi dan didokumentasikan isotop, atau penggunaan metode lain. Gangguan memori atau carry over dapat terjadi bila ada perbedaan konsentrasi yang besar antar sampel atau standar yang dianalisis secara berurutan.



Gambar 2 : Bagian-bagian alat dalam ICP-MS

3.10 XRD (X-Ray Diffraction)

Spektroskopi difraksi sinar-X (X-ray diffraction/XRD) merupakan salah satu metode karakteristik material yang paling tua dan sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg : $n\lambda = 2d \sin \theta$, dimana $n = 1, 2, \dots$, Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal dan adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan. Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang kristal yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasannya yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan

dengan standar difraksi sinar-X untuk semua jenis material standar ini disebut JCPDS.

Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar X memiliki energi yang sangat tinggi akibat panjang gelombangnya yang pendek. Sinar X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,5-2,0 mikron. Sinar ini dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit elektron tersebut terpental membentuk kekosongan dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X.

Metode difraksi sinar-X digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel holder difraktometer sinar-X. Proses difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar-X, sinar-X yang terpancar dari tabung sinar-X. Sinar-X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima asli dalam posisi simetris dengan respon ke fokus sinar-X. Sinar-X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut, setelah dieliminasi komponen noisenya, dihitung sebagai analisis pulsa tinggi. Teknik difraksi sinar-X juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan, kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

3.10.1 Sumber dan sifat sinar-X

Pada umumnya, sinar diciptakan dengan percepatan arus listrik, atau setara dengan transisi kuantum partikel dari satu energi state ke lainnya. Contoh : radio (elektron berisolasi di antena), lampu merkuri (transisi antara atom). Ketika sebuah elektron menabrak anoda dibagi menjadi dua.

1. Menabrak atom dengan kecepatan perlahan dan menciptakan radiasi dengan panjang gelombang kontinu.
2. Secara langsung menabrak atom dan menyebabkan terjadinya transisi menghasilkan panjang gelombang garis.

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron pada kulit atom. Spektrum sinar-X panjang gelombang 10^{-5} -10 nm, berfrekuensi 10^{17} - 10^{20} Hz dan memiliki energi 10^3 - 10^6 eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal.

Difraksi sinar-X merupakan teknik yang digunakan dalam karakteristik material untuk mendapatkan informasi tentang ukuran atom dari material kristal maupun non kristal. Difraksi tergantung pada struktur kristal dan panjang gelombangnya. Jika panjang gelombang jauh lebih dari pada ukuran atom atau konstanta kisi kristal maka akan terjadi peristiwa difraksi karena sinar akan

dipantulkan sedangkan jika panjang gelombangnya mendekati atau lebih kecil dari ukuran atom atau kristal maka akan terjadi peristiwa difraksi. Ukuran atom dalam orde angstrom (\AA) maka supaya terjadi peristiwa difraksi maka panjang gelombang dari sinar yang melalui kristal harus dalam orde angstrom (\AA).

3.10.2 Prinsip metode XRD

Metode difraksi sinar-X digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel holder difraktometer sinar-X. Proses difraksi sinar-X dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar-X yang terpancar dari tabung sinar-X. Sinar-X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima slit dalam posisi simetris dengan respon ke fokus sinar-X. Sinar-X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut, setelah dieliminasi komponen noisenya sebagai analisa pulsa yang tinggi. Teknik difraksi sinar-X juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama (Riyanto, 2009).

3.10.3 Tahapan Kerja XRD

Tahapan kerja X-Ray Diffraction (XRD) terdiri dari empat tahap yaitu: Produksi, Difraksi, Deteksi dan Interpretasi. Untuk dapat melakukan fungsinya XRD

dilengkapi oleh komponen-komponen yang penting seperti : tabung sinar, monokromator, detektor, dan lain-lain.

1. Produksi

Pada tahap ini elektron yang dihasilkan ketika flamen (katoda) dipanaskan akan dipercepat akibat perbedaan tegangan antara flamen (katoda) dan logam target (anoda). Sehingga terjadi tumbukan dengan logam target. Tumbukan antar elektron yang dipercepat tersebut dengan logam target akan menghasilkan radiasi sinar-X yang akan keluar dari tabung sinar-X dan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji.

2. Difraksi

Pada tahap ini, radiasi sinar-X yang telah dihasilkan oleh tabung sinar-X akan berinteraksi dengan struktur material yang diuji. Material yang akan dianalisis struktur kristalnya harus berada dalam fasa padat karena dalam kondisi tersebut kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan sangat teratur, sehingga membentuk bidang-bidang kristal tersebut, maka akan timbul pola-pola difraksi ketika sinar-X melewati celah-celah kecil antara bidang kristal tersebut. Pola-pola difraksi tersebut sebenarnya menyerupai pola gelap dan terang. Pola gelap terbentuk ketika terjadi interferensi destruktif, sedangkan pola terang terbentuk ketika terjadi interferensi

konstruktif dari pantulan-pantulan gelombang sinar-X yang saling bertemu.

Interferensi konstruktif tersebut terjadi sesuai hukum Bragg yaitu :

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

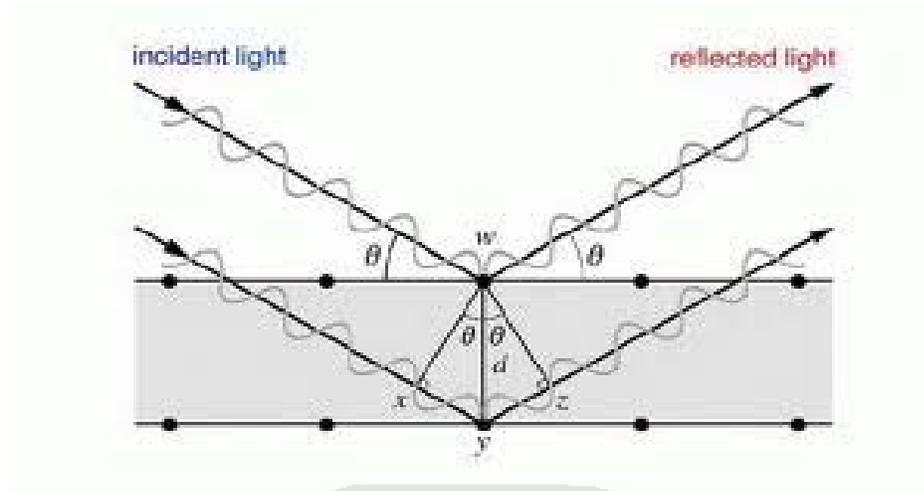
dimana n : Urutan difraksi

 λ : Panjang Gelombang Sinar X

 d : Jarak antar bidang kristal

 θ : Sudut Difraksi

Sinar-X akan menunjukkan gejala difraksi jika jatuh pada benda jarak antar bidangnya kira-kira sama dengan panjang gelombang (λ), jatuh mengenai kristal dengan sudut θ pada bidang-bidang kristal. Jika suatu berkas sinar-X mengenai bidang kristal dari suatu mineral, maka sinar-X tersebut akan dipancarkan oleh atom-atom dalam bidang kristal, untuk memperoleh suatu difraksi, harus terjadi penguatan pada sinar-X yang terpencarkan tersebut pada suatu arah tertentu, penguatan sinar yang terpencarkan menjadi kuantitatif hanya jika hukum Bragg dipatuhi. Pada tahun 1913 William Henry Bragg dan William Lawrence Bragg mengembangkan cara yang mudah untuk memahami dan memprediksikan fenomena difraksi dari kristal. Hukum Bragg menyatakan jika dua berkas sinar-X yang paralel mengenai bidang-bidang kristal yang sama dengan jarak antar bidang (d), maka perbedaan jarak yang ditempuh oleh kedua sinar tersebut berbanding langsung dengan panjang gelombang. Setiap berkas sinar akan terdifraksi sinar akan terdifraksi.



Gambar 3. Difraksi sinar-X

Hasil analisis biasanya ditunjukkan dalam bentuk nilai 2θ yang dapat dikonversikan ke satuan jarak d_{hkl} . Jarak d_{hkl} menunjukkan basal spacing (d_{001}) pada kisaran antara 3 hingga 30 Å, yang bersesuaian dengan sudut 2θ antara 2° dan 30° . Intensitas tertinggi maksimal difraksi diperoleh dari bidang d_{001} . Puncak difraksi d_{001} tingkat pertama, dan bersama dengan puncak difraksi tingkat kedua merupakan penciri identifikasi spesies mineral.

3. Deteksi

Interferensi konstruktif radiasi sinar-X, hasil difraksi struktur kristal material yang diuji selanjutnya akan dideteksi oleh detektor. Agar detektor mendeteksi interferensi konstruktif radiasi sinar-X, hasil difraksi struktur

kristal material yang diuji dengan tepat, maka posisinya harus berada tepat pada arah sudut pantul radiasi sinar-X tersebut.

4. Interpretasi

Interferensi konstruktif radiasi sinar-X yang telah dideteksi oleh detektor, selanjutnya akan diperkuat gelombangnya dengan menggunakan amplifer. Lalu interfensi konstruktif radiasi sinar-X akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan oleh layar komputer. Dengan menganalisis puncak-puncak grafik tersebut struktur kristal suatu material dapat diketahui.

3.11 Analisa Aktivasi Neutron (AAN)

Analisis aktivasi neutron merupakan salah satu analisis unsur secara kualitatif dan kuantitatif. Metode ini didasarkan pada reaksi penangkapan neutron termal oleh inti atom (nuklida) melalui reaksi. Neutron termal akan berinteraksi dengan nuklida menjadi nuklida radioaktif (radionuklida). Radionuklida akan melepaskan kelebihan energinya melalui transisi isomerik atau melalui peluruhan peluruhan β^- atau β^+ yang umumnya diikuti oleh emisi sinar gamma. Sinar gamma yang yang diemisikan bersifat karakteristik yaitu setiap radionuklida mengemisikan sinar gamma engan energi tertentu. Hal ini dapat digunakan untuk analisis kualitatif suatu cuplikan. Jumlah sinar gamma yang diemisikan dapat digunakan untuk analisa kuantitatif. Dalam praktiknya jumlah sinar gamma dinyatakan dalam satuan cacah per detik (count per second; cps)

Berdasarkan prosedur pemisahan yang diperlukan, AAN dibagi menjadi tiga kategori. Kategori pertama yaitu apabila sebelum dan sesudah iradiasi tidak dilakukan pemisahan/perlakuan kimia terhadap cuplikan tersebut analisis aktivasi neutron Instrumental (AANI). Kategori kedua, bila dilakukan pemisahan sebelum cuplikan diiradiasi tersebut analisis aktivasi neutron kimia (AANK). Kategori ketiga adalah bila pemisahan dilakukan setelah cuplikan diiradiasi, disebut analisis aktivasi neutron radiokimia (AANR).

3.11.1 Peralatan Instrumentasi AAN

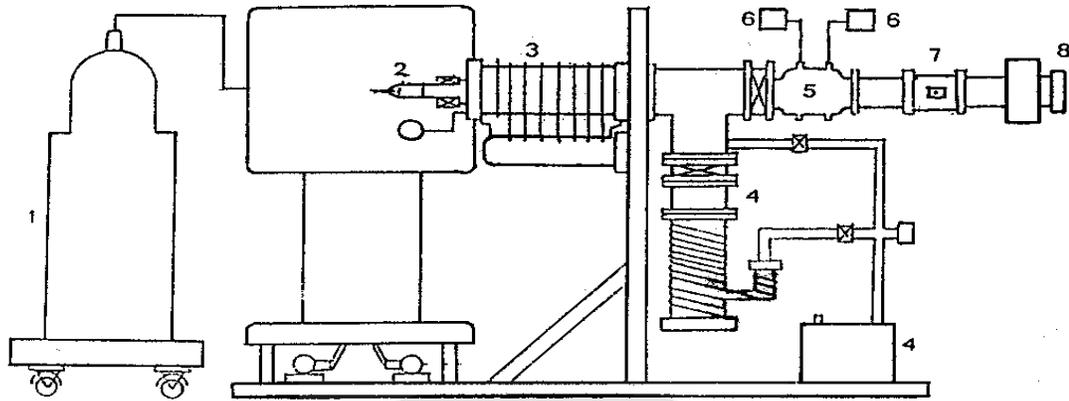
Peralatan dasar yang dibutuhkan dalam melakukan analisis dengan teknik AAN adalah sumber neutron dan spektrometer gamma. Sumber neutron yang umumnya ditemui adalah reaktor, akselator, dan radioisotop pemancar neutron radioisotopik. Dari hasil reaksi pembelahan inti yang terjadi di reaktor nuklir, diperoleh neutron dengan nilai fluks yang tinggi. Tipe reaktor dan posisi di dalam reaktor akan memberikan posisi energi neutron dan fluks. Hal ini karena adanya perbedaan material yang digunakan sebagai moderator dalam reaktor tersebut.

Komponen neutron termal terdiri atas neutron dengan energi rendah (energi dibawah 0,5 eV) dalam kesetimbangan termal dengan atom dalam moderator reaktor. Pada temperatur ruangan, spektrum energi neutron termal secara baik dijelaskan dengan distribusi Maxwell-Boltzmann dengan rerata energi 0,025 eV dan probabilitas kecepatan 2200 m/s. Komponen neutron epitermal terdiri atas neutron dengan energi

dari 0,5 eV sampai dengan 0,5 MeV. Baik neutron termal maupun epitermal, menyebabkan reaksi pada inti target. Neutron cepat merupakan neutron dengan energi lebih dari 0,5 meV, berperan sangat kecil dalam reaksi, dibandingkan reaksi (n,p), (n,n), maupun (n,2n).

Pencacahan sinar gamma dilakukan dengan menggunakan detektor HPGe (high pure germanium) yang mengandung kristal Ge murni (intristik) pada suhu N₂ cair. Kristal Ge disanggah pada kriostat vakum dan dihubungkan secara termal dengan batang tembaga sebagai pendingin, detektor yang digunakan berupa HPGe koaksial yang dapat mengukur sinar gamma pada kisaran energi 60 KeV hingga 3 MeV. Interaksi sinar gammadengan detektor HPGe koaksial akan menghasilkan sinyal pulsa yang tingginya ekuivalen dengan energi sinar gamma.

Sinyal pulsa yang terdeteksi diperkuat secara ganda oleh penguat awal (*preamplifier*) dan *amplifier*. Pulsa listrik akan dipisahkan berdasarkan besar arusnya menggunakan MCA (multi-chanel analyzer) pulsa dan diubah menjadi sinyal digital oleh ADC (analog to digital converter). Data numerik hasil pencacahan cuplikan terus diakumulasikan dalam saluran tertentu pada MCA sampai dengan waktu pencacahan selesai dan akan disimpan dalam unit pengolahan data (komputer). Alur pencacahan cuplikan setelah diiradiasi.



Gambar 4. Bagan generator neutron

Keterangan :

1. Sumber tegangan tinggi
2. Sumber ion
3. Tabung Pemercepat
4. Pompa rotari dan pompa difusi
5. Lensa kuadropol
6. Tegangan tinggi lensa kuadropol
7. Rotating probe
8. Target tritium

3.12 Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah penelitian dan tinjauan pustaka yang dilakukan, maka diperoleh hipotesis yaitu limbah tailing dapat di analisis secara mineral dan kimiawi dengan metode ICP MS, INAA dan XRD untuk mengetahui karakteristiknya dan unsur –unsur kimia yang terkandung di dalam limbah tailing tersebut.



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. ICP MS
2. Analisa Aktivasi Neutron Instrument
3. X-Ray Diffraction (XRD) Merk Rigaku Multiplex
4. Mortar dan alu
5. Pengayak 200 mesh
6. Oven
7. Timbangan Analitik

4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Limbah tailing asal Selogiri
2. Aquades

4.3 Preparasi sampel

Sampel tailing yang masih sedikit basah dan lembab dijemur sampai kering untuk menghilangkan kadar airnya, kemudian dihomogenkan. Selanjutnya Sampel dioven dengan suhu 105°C selama $\pm 2,5$ Jam. Sampel yang sudah kering kemudian diayak untuk dipisahkan dari pengotor-pengotor tailing yang lain

seperti kerikil-kerikil dengan Pengayak 200 mesh. Proses setelah Sampel yang sudah selesai diayak selanjutnya adalah dihaluskan dengan menggunakan mortar dan alu. Sampel yang sudah dihaluskan kemudian ditimbang masing-masing sebanyak 100 gram dan dikemas sesuai masing-masing asal daerah tailing dengan diberi label dan nama kode untuk Nglenggong (SLG 01 dan SLG 02), Keloran (SLG 03) dan Jendi (SLG 04), Untuk kemudian dikirim dengan tujuan dianalisis menggunakan ICP MS , INAA dan XRD. Analisa kimiawi dengan metode ICP MS dan INAA dilakukan di ActLabs, Canada sedangkan Analisa karakteristik Mineral dilakukan di Laboratorium Mineralogi Teknik Geologi, UGM Yogyakarta.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan karakterisasi limbah tailing. Limbah tailing yang digunakan adalah limbah tailing dari pertambangan emas rakyat di daerah Selogiri, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Sampel limbah tailing diambil di tiga lokasi dengan empat titik pengolahan yaitu daerah Ngglenggong (1 dan 2) yang diberi kode sampel SLG 01 dan SLG 02, Keloran (SLG 03), dan Jendi (SLG 04).

Pada bab ini akan dibahas mengenai rangkaian proses penelitian yang telah dihasilkan antara lain : (1) Kondisi wilayah pertambangan emas rakyat di selogiri ditinjau dari aspek mineralisasi, geokimia dan pengelolaannya, (2) Alterisasi dan mineralisasi, (3) Preparasi sampel limbah tailing sebelum dikarakterisasi, (4) Hasil dari karakterisasi limbah tailing pertambangan emas rakyat di daerah selogiri dengan menggunakan metode ICP MS, INAA dan XRD.

Limbah tailing yang masih basah dikeringkan di bawah sinar matahari, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C sampai diperoleh berat tetap. Fungsi oven pada pengeringan tailing untuk menguapkan seluruh molekul-molekul air yang tertinggal sekaligus molekul-molekul organik yang mungkin ada. Hal ini perlu dilakukan dan amatlah sangat penting karena ruang pori pada tailing akan relatif kosong tidak terpenuhi oleh molekul air. Sampel kemudian dihaluskan dengan cara digerus dengan mortar dan diayak dengan pengayak 200 mesh. Sampel disimpan ditempat yang

kering dan siap untuk dianalisis. Sampel kemudian dianalisis XRD untuk mengidentifikasi jenis mineral yang terkandung dan INAA serta TD-ICPMS untuk mengetahui kandungan arsen dalam sampel. Analisis XRD dilakukan di Laboratorium Mineralogi Fakultas Teknik UGM dan analisis INAA serta TD-ICPMS dilaksanakan di Activation Laboratories Ltd. Ontario, Canada.

Metode yang dipakai ketika pengambilan dan pengujian atau analisis sampel (contoh uji) ada dua macam diantaranya adalah metode observasi dan metode pengujian sampel (contoh uji). Metode Observasi bertujuan untuk pengamatan langsung di lapangan dengan tujuan pengambilan sampel (contoh uji). Sedangkan metode pengujian sampel (contoh uji) dilakukan ketika berada di dalam laboratorium pengujian.

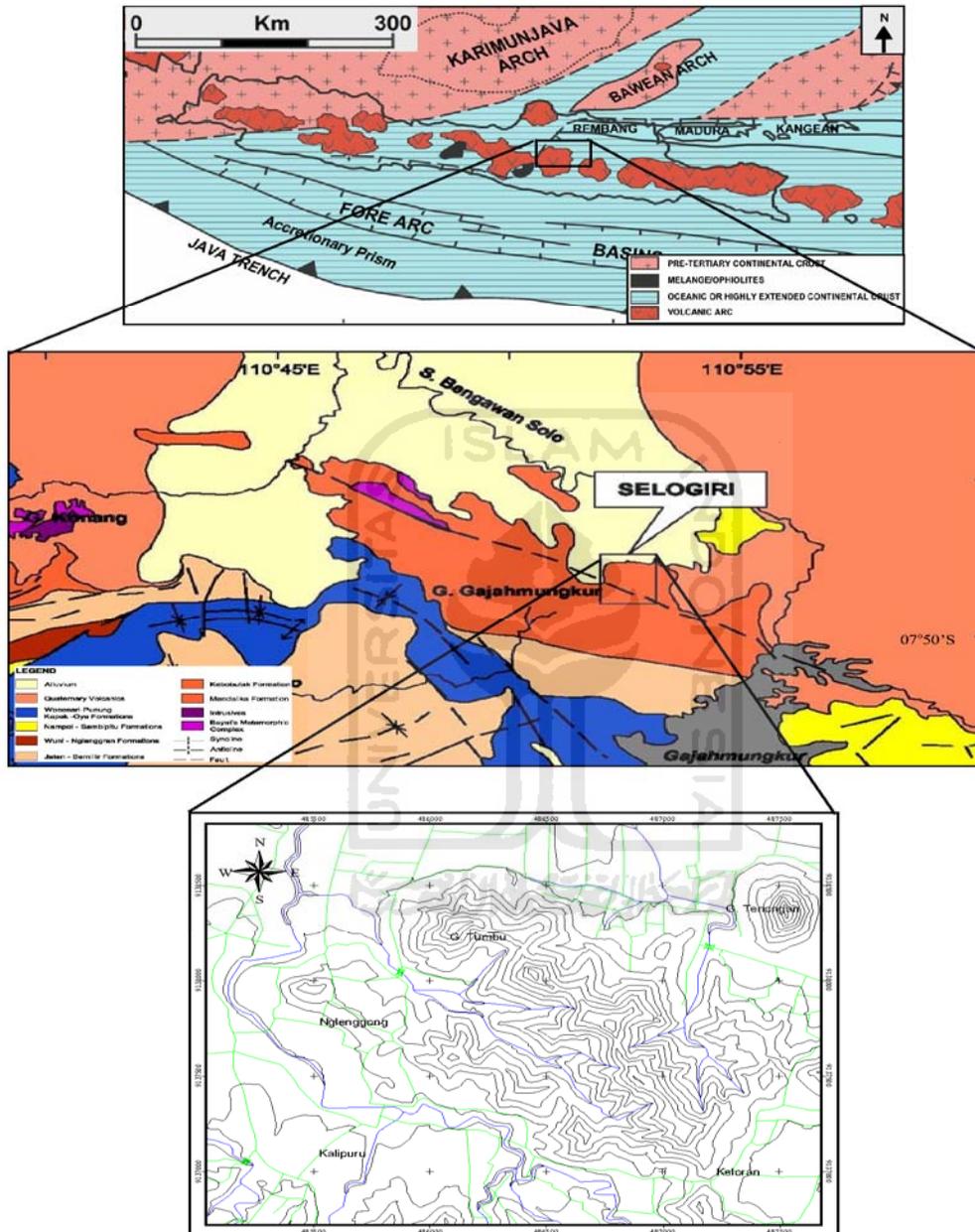
Teknik pengambilan sampel adalah salah satu tahap awal dan penting dari suatu analisis dan identifikasi. Pengambilan sampel harus benar-benar selektif dan teliti serta harus efisien dan efektif dalam pemilihan metode, pengambilan sampel cukup seperlunya saja sesuai kebutuhan analisis dan identifikasi tetapi harus *representative* (mewakili), sampling harus dilakukan dengan benar agar hasil yang didapat mampu mewakili material yang begitu banyak yang akan digunakan untuk berbagai macam analisis dengan metode instrumentasi yang beragam. Hasil sampling yang didapat kemudian dijadikan tolak ukur atau patokan, untuk mengontrol apakah proses pengolahan dan proses analisis pengujian sampel tersebut berjalan dengan baik atau tidak baik dan sesuai atau tidak sesuai harapan.

Metode sampling menggunakan Integrated Sample yaitu sampel diambil dari titik berbeda tetapi pada waktu dan volume yang sama. Pada tahap pekerjaan lapangan ini dilakukan pengumpulan informasi dari pengamatan langsung di lapangan dan juga dilakukan pengambilan beberapa conto tailing/slurry (SLG-01, SLG-02, SLG-03, dan SLG-04) yang tersebar di beberapa lokasi pengolahan bijih emas (amalgamasi).

5.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Wilayah penambangan emas di Kecamatan Selogiri hanya terdapat di sekitar Gunung Tumbu – Kalipuru yang ditempati oleh batuan mikrodiorit terkarsikan dan sebagian ubahan argilik dengan membawa mineralisasi emas, perak dan logam dasar berupa endapan primer tipe urat. Mineralisasi utama terjadi berupa pengisian rekahan oleh jaringan urat kuarsa halus yang mengandung mineral-mineral sulfida berupa pirit dan kalkopirit yang berasosiasi dengan logam mulia emas dan perak.

Daerah Selogiri dan sekitarnya yang secara administratif termasuk ke dalam Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah, yang secara geografis terletak antara $110^{\circ}45'$ - $110^{\circ}56'$ Bujur Timur dan antara $7^{\circ}45'$ - $7^{\circ}56'$ Lintang Selatan. Lokasi daerah kegiatan sekitar 3 Km ke arah barat laut dari Kota Wonogiri. Sebagian besar adalah pegunungan, hutan, sawah, dataran, dan Sungai-sungai di daerah kegiatan termasuk ke dalam sistem Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo. Mata pencaharian sebagian besar penduduk adalah Penambang, pedagang dan buruh tani.



Gambar 5. Lokasi daerah penelitian (pengambilan sampel). Tanda lingkaran merupakan lokasi pengambilan 4 sampel yang dianalisis pada studi ini.

Penambangan emas di Selogiri merupakan penambangan emas rakyat yang dilakukan dengan teknik sederhana dan peralatan seadanya. Penambangan emas dilakukan tanpa melalui ijin dari pemerintah setempat atau lebih dikenal dengan Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI), dengan demikian pendataan tentang jumlah penambang tidak dapat dilakukan dengan baik, ditambah lagi dengan sistem kerja yang tidak mempunyai manajemen sehingga keluar masuknya pekerja sangat mudah.

Penambangan emas dilakukan dengan cara berkelompok-kelompok yang terdiri dari beberapa orang dalam tiap kelompoknya dengan sistem bagi hasil dengan pemilik modal. Semakin besar modal yang dimiliki maka semakin besar atau semakin banyak pula jumlah kelompok kerja yang dibawahinya, dengan demikian semakin banyak pula hasil yang diharapkan dan hal ini berbanding lurus dengan tingkat kerusakan dan pencemaran lingkungan yang terjadi. Setiap orang dalam kelompok telah mempunyai tugas masing-masing ada ketua kelompok yang membawahi, mengatur dan biasanya sekaligus merangkap bekerja dalam proses *amalgamasi* dan pembakaran, ada juga yang bertugas menyiapkan semua peralatan dan barang dalam bekerja dan lain - lain.

Penambang emas merupakan penduduk lokal dan warga pendatang yang berasal dari luar daerah selogiri. Penambangan dilakukan secara berpindah - pindah tempat mengikuti arah urat kuarsa, juga berpindah lokasi ke daerah lain jika ditempat pertama kadar emasnya sudah berkurang. Penambangan emas tidak dilakukan sepanjang tahun, biasanya pada musim hujan para penambang berpindah ke pekerjaan lain seperti bertani dan ke hutan menebang kayu, karena pada musim hujan lokasi penambangan emas

digenangi air dan mempersulit saat membuat terowongan dan sumur untuk mengambil urat kuarsa.

Pada umumnya penambangan emas di Selogiri ini merupakan pertambangan emas yang menggunakan sistem tambang bawah tanah karena dianggap paling cocok dan efisien sesuai dengan bentuk ganesa bijih emas tersebut. Pembuatan lubang dilakukan dengan kedalaman yang bervariasi hingga mencapai ratusan meter, baik untuk arah vertikal maupun horizontal mengikuti arah penyebaran urat kuarsa. Lubang juga digunakan untuk pintu masuk dan sebagai ventilasi untuk memasukkan udara dengan bantuan mesin pompa udara.

Batu dan urat kuarsa yang didapat selanjutnya diangkat kepermukaan lalu ditumbuk agar berukuran sebesar kerikil, kemudian dimasukkan kedalam alat gelundungan (*trommel*) untuk digiling menjadi serbuk pasir lalu ditambah merkuri dan air sebagai media pencampurnya atau yang lebih dikenal dengan proses *amalgamasi*, untuk menggerakkan gelundungan digunakan mesin. Selanjutnya gelundungan yang berisi campuran diputar selama 6 sampai 8 jam, kemudian campuran *amalgam* (*alloy*) dikeluarkan dari dalam gelundungan sambil dicuci dengan disemprot air. Campuran merkuri-emas (*amalgam*) yang sudah bersih dari lumpur dan pasir diperas dengan kain parasut, kemudian langkah terakhir untuk mendapatkan emas murni adalah dengan proses pembakaran.



Gambar 6. Gelundung, alat pengolahan emas tradisional dan sederhana yang menghasilkan tailing.

Tenaga penggerak gelundung menggunakan 2 jenis, yakni dengan dinamo yang menggunakan energi listrik dan dengan tenaga generator diesel. Proses amalgamasi yang menggunakan tenaga penggerak listrik umumnya hanya menggunakan satu gelundung dan tercatat yang paling banyak lima gelundung. Sedangkan proses amalgamasi yang menggunakan tenaga penggerak diesel rata-rata mampu menggerakkan delapan gelundung dengan waktu pengolahan yang relatif sama yaitu 6 – 7 jam sekali proses, sehingga dalam sehari rata-rata penambang hanya melakukan 2 kali proses pengolahan. Pertimbangan ekonomi merupakan hal yang mempengaruhi pemilihan penggunaan jenis tenaga penggerak tersebut dimana tenaga penggerak dinamo listrik relatif lebih ekonomis dibanding tenaga penggerak generator diesel. Media penggerak gelundung terbagimenjadi dua yaitu dengan menggunakan air dan tenaga listrik atau solar. Gelundung yang menggunakan media penggerak air diletakkan dibadan air atau sungai dengan ukuran tertentu namun hanya menggerakkan satu buah gelundung saja, sedangkan waktu yang diperlukan untuk satu kali proses pengolahan

emas sekitar 12 jam. Gelundung yang menggunakan media penggerak listrik atau solar umumnya diletakkan di darat yaitu di sekitar lubang, sekitar sungai dan di rumah penduduk. Dalam satu kali proses pengolahan bijih emas dapat menggerakkan lebih dari satu buah gelundung hingga 10 buah sesuai dengan kemampuan generator atau dynamo penggeraknya. Waktu yang diperlukan sekitar 8 jam/proses. Adapun prosedur pengolahan batuan untuk memperoleh logam mulianya adalah tahap penumbukan, amalgamasi, pencucian dan penggarangan.

Kegiatan penambangan emas primer secara tradisional yang dilakukan oleh masyarakat di Indonesia dicirikan oleh penggunaan teknik eksplorasi dan eksploitasi yang sederhana dan relatif murah. Untuk pekerjaan penggalian atau penambangan dipakai peralatan cangkul, linggis, ganco, palu dan beberapa alat sederhana lainnya. Batuan dan urat kuarsa mengandung emas atau bijih hasil penambangan ditumbuk sampai berukuran 1-2 cm, selanjutnya digiling dengan alat gelundung (trommel, berukuran panjang 55-60 cm dan diameter 30 cm dengan alat penggiling 3-5 batang besi). Bijih seberat 5-10 kg dimasukkan kedalam gelundung dan diputar selama beberapa jam, gelundung dibuka, dibuang ampas (tailing) dan ditambahkan bijih baru, selanjutnya gelundung diputar kembali. Proses pengisian ulang biasanya dilakukan beberapa kali dan penggilingan bijih dapat berlangsung sampai 24 jam.

Proses pengolahan emasnya biasanya menggunakan teknik amalgamasi, yaitu dengan mencampur bijih dengan merkuri untuk membentuk amalgam (logam paduan Au-Hg) dengan media air. Bijih atau pulp yang telah digelundung disaring dan diperas dengan kain parasit untuk memisahkan amalgam dengan ampasnya. Selanjutnya emas

dipisahkan dengan proses penggarangan (penguapan merkuri) pada suhu $\pm 400^{\circ}\text{C}$ di tempat terbuka sampai didapatkan logam paduan emas dan perak (bullion). Produk akhir dijual dalam bentuk bullion dengan memperkirakan kandungan emas pada bullion tersebut (Widodo, 2010).

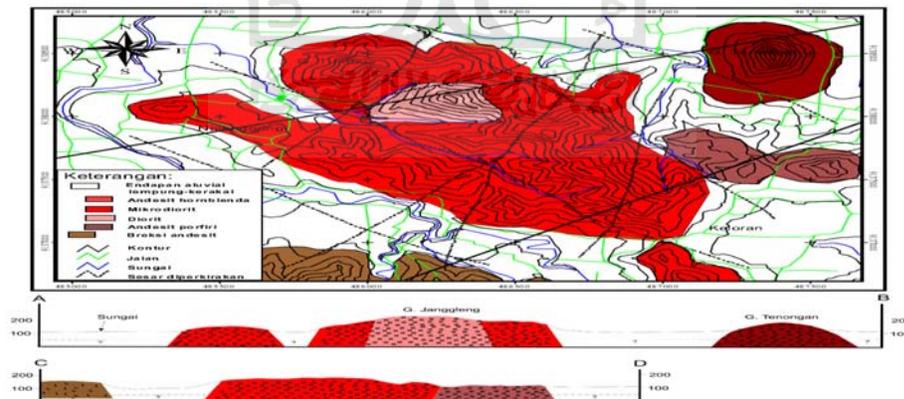
Kegiatan penambangan diawali dengan menggali lubang seeara vertikal mengikuti urat emas yang ada, dari kegiatan penggalian ini menghasilkan limbah padat yang dibuang begitu saja disekitar lubang penambangan, masyarakat setempat menyebutnya dengan istilah *gampingan*. Semakin dalam lubang penggalian dan semakin banyak lubang yang digali semakin banyak limbah batuan (*gampingan*) yang terkumpul di dalam lubang penambangan dilakukan pengambilan batuan yang mengandung emas (bijih emas) dengan menggunakan palu dan pahat. Bijih emas yang terkumpul diangkut dengan menggunakan bak Jerigen) yang ditarik dengan katrol (*goelan*).

Setelah bijih emas didapatkan dari dalam lubang, proses selanjutnya dilakukan pengurangan/pengecilan ukuran bijih emas untuk memudahkan/mempercepat dalam proses pengolahan selanjutnya, selain itu juga dilakukan pemisahan batuan yang tidak mengandung emas. Batuan yang tidak mengandung emas ini dibuang begitu saja (ditumpuk) di sekitar lokasi penambangan, masyarakat setempat menyebutnya dengan istilah *puritan*. Kegiatan penambangan ini berlangsung selama 5 (lima) hari dalam seminggu dan telah berlangsung bertahun-tahun sehingga limbah padat, yang masyarakat setempat menyebutnya dengan istilah *gampingan* dan *piritan* ini terkumpul dan menggunung di sekitar lubang penambangan.



Gambar 7. Bak Penampungan Tailing di salah satu pengolahan Bijih emas Dusun Jendi, Selogiri.

Limbah-limbah padat (*tailing*) berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya, dalam proses pengolahan bijih emas dengan cara amalgamasi menggunakan gelundung. Kemudian *tailing* dari gelundung ini ditampung dalam suatu bak penampungan.



Gambar 8. Geologi daerah Selogiri dan sekitarnya

5.2 Alterasi dan mineralisasi

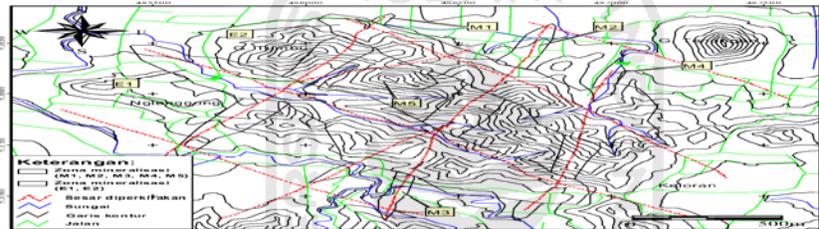
Tipe alterasi yang ada pada daerah Selogiri terdiri atas tiga tipe alterasi, yaitu alterasi argilik, argilik lanjut dan filik (Soe *et al.*, 2004).

1. *Alterasi filik*. Endapan mineral bijih yang ada (pirit, spalerit, kalkopirit, galena, arsenopirit, kalkosit, and emas) mulai terendapkan pada selama alterasi filitik dan argilik terjadi. Alterasi filitik terjadi ketika mikrodiorit yang ada terterobos andesit, dan air yang kaya dengan ion CO₂ menginfiltrasi rekahan-rekahan yang ada pada andesit.
2. *Alterasi argilik lanjut*. Beberapa gas volatil dan juga air hidrotermal yang didominasi SO₂ tercampur pada saat terjadi alterasi argilik di bagian selatan daerah Selogiri tetapi diketahui pada bagian ini bukan merupakan daerah dengan prospek kandungan mineral logam. Alterasi ini menghasilkan mineral-mineral lempung dari breksi andesit yang ada, yaitu berupa alunit dan kaolin.
3. *Alterasi argilik*. Mineral bijih dalam hal ini adalah pirit, kalkopirit, kalkosit dan emas pada endapan porfiri *overprinted* oleh alterasi argilitik ketika fluida hidrotermal terdilusi, dan pada saat fase akhir solidifikasi terobosan retas mikrodiorit inilah yang memicu alterasi argilitik di sekitar G. Tumbu dan G. Janggleng.

Endapan hidrotermal di daerah selogiri merupakan deposit hipotermal dengan temperatur pembentukannya lebih dari 300°C, dengan paleosurface sekitar 1450-1700m (Soe *et al.*, 2004). Hal ini memungkinkan sistem endapan porfiri yang ada terbentuk pada periode yang singkat, dengan temperatur pembentukan yang tinggi dan kedalaman

relatif dalam, dan di daerah ini endapan emas-tembaga epitermal overprinted atau tertumpuk ulang pada endapan porfiri (Soe et al., 2004).

Di Daerah Nglenggong dan sekitarnya terdapat lima arah atau trend utama dari mineralisasi emas-tembaga pada arah utara selatan dan dua trend yang berarah 340°N (Soe, 2005), kedua trend mineralisasi tersebut dipengaruhi dengan struktur geologi yang ada. Mineralisasi emas-tembaga di daerah Selogiri, terbagi menjadi empat trend mineralisasi yaitu M1, M2, M3, dan M4 (Gambar 8).



Gambar 9. Mineralisasi di daerah Selogiri dan sekitarnya

5.3 Preparasi Sampel Tailing

yang digunakan adalah limbah tailing/slury, dimana sampel tersebut masih mempunyai presentasi kandungan Arsen yang yang memenuhi kualitas dan kuantitas untuk diolah kembali.

Pada penelitian ini sampel tailing/slury masih berupa butiran-butiran kasar dan sebagian kecil beberapa dalam kondisi masih lembab atau basah. Karena itu diperlukan proses penjemuran langsung dibawah sinar matahari. Proses penjemuran ini sekaligus untuk menghomogenkan sampel yang diberlakukan untuk semua sampel tailing dari SLG 01, SLG 02, SLG 03 dan SLG 04. Lama proses penjemuran dilakukan selama 5

hari dalam 1 minggu dengan durasi waktu penjemuran selama \pm 6 jam/hari. Setelah sampel tailing sudah cukup kering, untuk benar-benar menghilangkan kadar airnya sampel tailing di oven pada suhu 105° C, lama waktu pengovenan \pm 2 jam. Proses penjemuran dan menghilangkan kadar air dengan oven merupakan salah satu tahap penting dalam analisis ini, agar sampel yang diolah tidak menyebabkan kesalahan-kesalahan analisis pada proses selanjutnya.



Gambar 10. Tailing yang masih basah (kiri) dan yang sudah kering (kanan)

Setelah proses pengovenan berakhir tahap selanjutnya adalah dilakukan Pengayakan menggunakan pengayak 200 mesh untuk menghasilkan ukuran sampel yang sesuai yaitu 200 mesh.



Gambar 11. Proses Pengayakan Tailing (kiri) dan Peremukan sampel tailing (kanan)

Hasil dari proses pengayakan dan peremukan sampel dengan ukuran 200 mesh kemudian dikemas untuk masing-masing sampel dengan jumlah 100 gram yang selanjutnya dikirim untuk dilakukan analisis menggunakan ICP MS, INAA dan XRD.



Gambar 12. butiran-butiran tailing ukuran 200 mesh setelah proses pengayakan dan peremukan

5.4 Karakteristik Tailing/Slury dengan Metode XRD (X-Ray Diffraction)

Metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi tailing atau slurry adalah XRD. Difraksi sinar X (XRD) merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi materi kristalin yang belum diketahui, sinar X monokromatik digunakan untuk mendeterminasi spasi interplanar dari material tertentu, serta menganalisis campuran materi kristalin. Puncak-puncak relatif yang ditampilkan pada grafik keluaran dari analisis yang dilakukan, menunjukkan estimasi jumlah dari material tertentu. Berikut ini adalah salah satu cara kerja dari XRD yang juga digunakan untuk sampel tailing yang akan di analisis karakterisasinya.

a. Bahan yang akan di analisa (sampel)

- Ukuran harus tepat dan specimen (jenis) bahan harus adalah bahan yang bisa di ukur dengan XRD.
- Tempatkan sample/bahan pada XRD. Tempatkan pada tempat sample dan cek ulang bahwa letaknya sudah tepat dan aman.

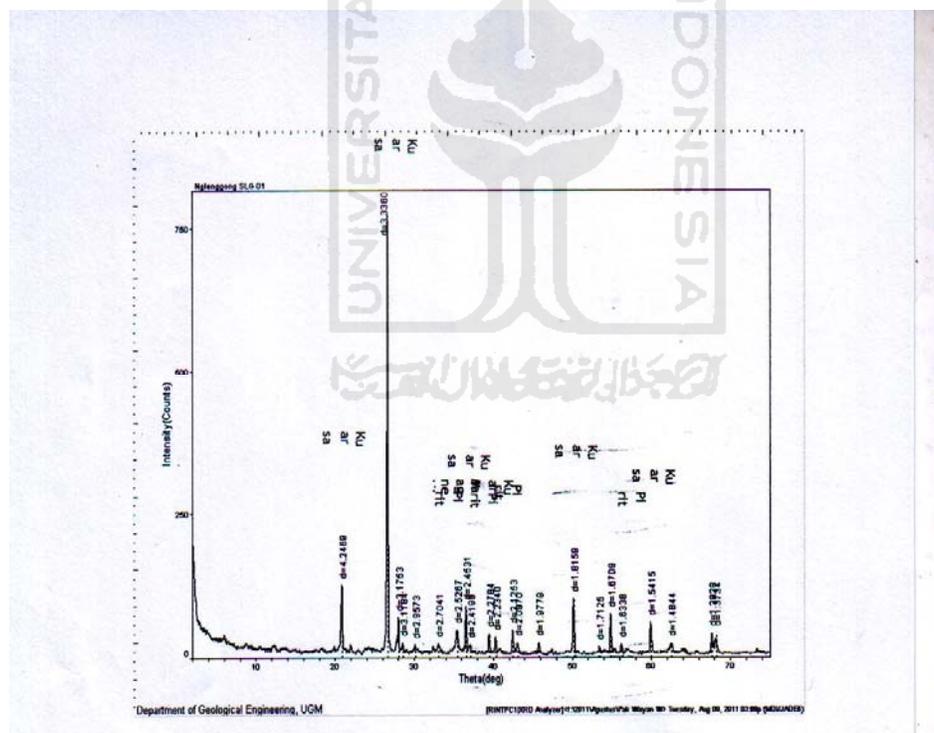
b. Komputer untuk control XRD

- Nyalakan computer dan monitornya.
- Nyalakan mesin XRD.
- Periksa apakah knops dan KV sudah pada posisi nol (0). Set 0 jika posisi belum pada 0
- Jalankan control XRD yang berada pada computer.
- Pilih New kemudian Individual analyze dan biarkan proses inisialisasi berjalan. Jika proses anisialisasi gagal maka klik cancel dan ulangi lagi.
- Jika proses inisialisasi berhasil proses analisa bisa dilakukan.

c. Sesuaikan parameter pada XRD sesuai dengan yang di inginkan. Kemudian pilih mode lambat, sedang atau cepat (waktu analisa). Setelah itu tekan tombol start pada control XRD.

d. Tunggu sampai proses analisa (scan) selesai. Setelah proses analisa selesai maka akan didapatkan data berupa grafis dengan peak-peak (puncak-puncak) nya. Dari grafis itu fokuskan analisa pada puncak yang paling dominan.

Hasil analisis karakterisasi dengan menggunakan XRD menghasilkan empat gambar difraktogram dari keempat jenis sampel tailing dengan asal daerah yang berbeda.

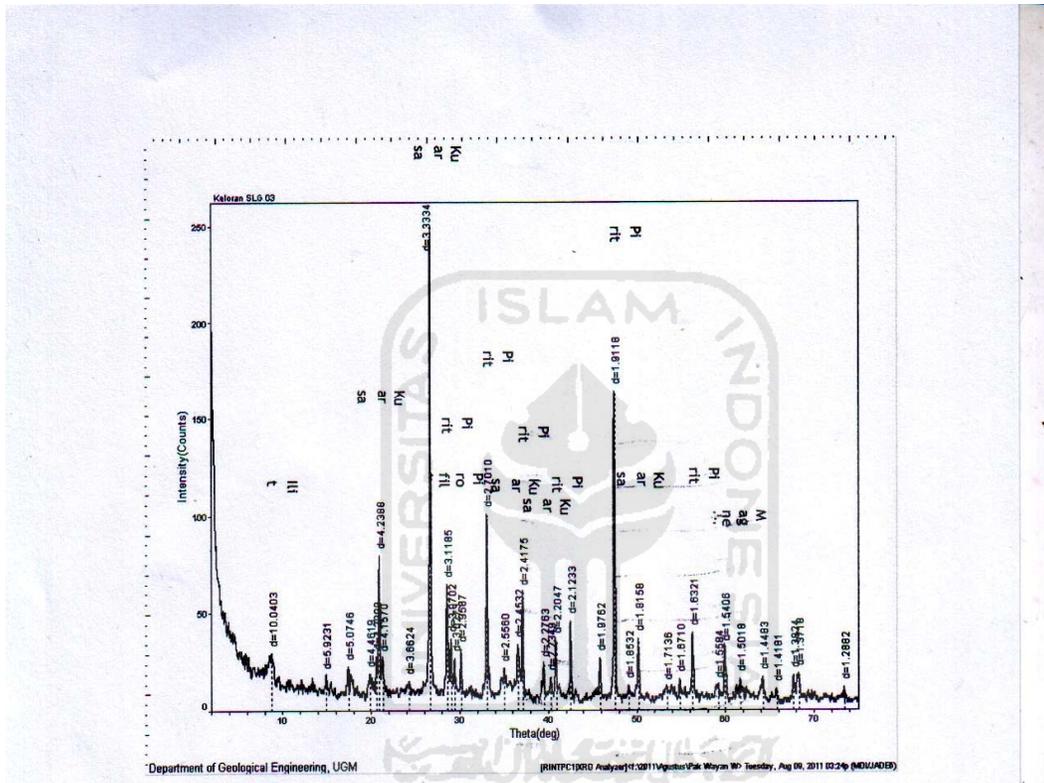


Gambar 13. Pola Difraktogram Sampel Tailing/Slury asal Nglenggong SLG 01

Karakterisasi awal pada tailing dilakukan dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Prinsip dari X-Ray Diffraction (XRD) adalah adanya interaksi gelombang elektromagnetik dengan materi. Interaksi yang terjadi dapat berupa refleksi atau difraksi. Radiasi yang digunakan adalah radiasi sinar-X. Jika sinar-X ini mengenai bidang kisi kristal maka akan memberikan refleksi yang hasilnya ditampilkan dalam bentuk difraktogram. Sifat yang dapat diamati adalah kristalinitas tailing.

Pola difraktogram dari tailing disajikan pada Gambar 13, dapat dilihat kandungan tailing dari daerah Nglenggong SLG 1 adalah kuarsa, pirit dan magnetit.. Berdasarkan *XRD of patern* atau *XRD of profile* tailing untuk mineral kuarsa daerah puncak dan intensitasnya memiliki puncak pada $2\theta = 26,65^\circ$ ($d_1 = 3,342$), $2\theta = 20,85^\circ$ ($d_2 = 4,257$) dan $2\theta = 50,14^\circ$ ($d_3 = 1,818$), jika berdasarkan difraktogram dari sampel tailing SLG 01 diatas, puncak karaktersitik tailing yang muncul bervariasi, yang paling tinggi yaitu $2\theta = 27,50^\circ$ dengan $d = 3,336 \text{ \AA}$ menunjukkan adanya kuarsa. Untuk mineral lain yang terdapat dalam sampel tailing yang terbaca oleh XRD adalah pirit, jika dilihat dari XRD patern of pyrite atau XRD profile of pyrite diperoleh data $2\theta = 56,29^\circ$ ($d_1 = 1,633 \text{ \AA}$), $2\theta = 33,04^\circ$ ($d_2 = 2,709 \text{ \AA}$) dan $2\theta = 37,07^\circ$ ($d_3 = 2,433 \text{ \AA}$) sedangkan pada difraktogram diatas puncak kristalinitas dari tailing dari mineral pirit terbaca pada $2\theta = 60,00^\circ$ dengan $d = 1,541 \text{ \AA}$. Terakhir mineral lain yang terdapat pada tailing SLG 01 adalah magnetit yang berdasarkan XRD Patern of magnetite atau XRD profile of magnetite memiliki puncak pada $2\theta = 35,45^\circ$ ($d_1 = 2,530 \text{ \AA}$), $2\theta = 57,01^\circ$ ($d_2 = 1,614 \text{ \AA}$) dan $2\theta = 62,58^\circ$ ($d_3 = 1,483 \text{ \AA}$). Jika dilihat dari pola difraktogram

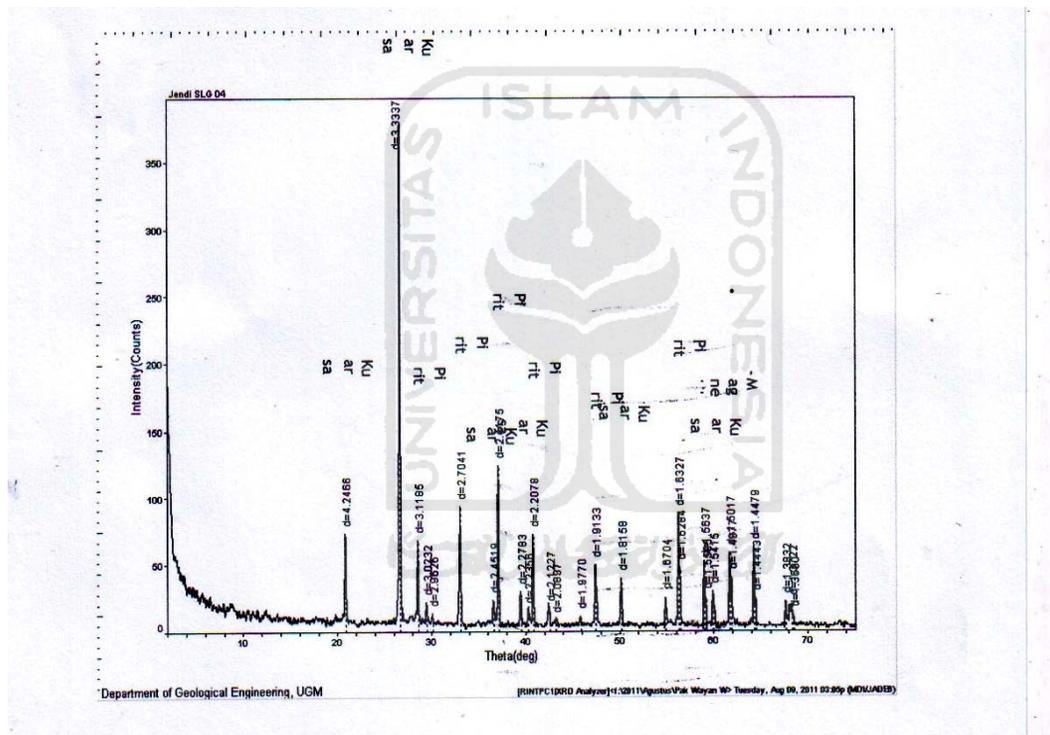
mineral lain seperti kuarsa, pirit dan magnetit mempunyai data standar yang sama dari *XRD Pattern* atau *XRD Profile* seperti pada gambar pola difraktogram sampel tailing SLG 01.



Gambar 15. Pola Difraktogram Tailing/Slury asal Keloran SLG 03

Pada Gambar 14 dapat dilihat puncak yang muncul terdiri atas paling banyak jenis mineral jika dibandingkan sampel tailing dari sampel tailing SLG 01 dan SLG 02 yaitu kuarsa, illit, pirit, magnetit dan pirofilit yang membedakan dengan kedua sampel yang sebelumnya adalah adanya pirofilit. Berdasarkan *XRD profile of pyrofilite* dan *XRD Pattern of pyrofilite* mempunyai data $2\theta = 20,07^\circ$ ($d_1 = 4,420\text{\AA}$), $2\theta = 57,01^\circ$ ($d_2 = 1,641\text{\AA}$) dan $2\theta = 29,06^\circ$ ($d_3 = 1,483\text{\AA}$) sedangkan berdasarkan pola difraktogram diatas

puncak yang terlihat sangat tinggi dimiliki oleh mineral kuarsa yaitu $2\theta = 26,20^\circ$ dengan $d = 3,3334 \text{ \AA}$, sama seperti halnya pada pola difraktogram yang dimiliki oleh SLG 01 dan SLG 02 intensitas yang menunjukkan semakin tinggi maka semakin banyak Kristal yang terbentuk dalam hal ini pada mineral kuarsa. XRD of pattern dan XRD of profile dari kuarsa dengan mineral lainnya seperti magnetit dan pirit sama dengan pada difraktogram sebelumnya.



Gambar 16. Pola Difraktogram Tailing/Slury asal Jendi SLG 04

Pada Gambar 16 diperoleh hasil pembacaan dari XRD, puncak yang muncul mineral yaitu kuarsa, pirit dan magnetit, Pola difraktogram diatas sangat mirip dengan SLG 01 karena ketiga mineral tersebut yang muncul dalam bentuk puncak. Puncak paling tinggi lancip terlihat jelas pada $2\theta = 26,50^\circ$ dengan $d = 3,3337 \text{ \AA}$, kesamaan dari

sampel SLG 04 dengan sampel-sampel sebelumnya adalah pada kuarsa muncul sebagai mineral dengan intensitas yang paling tinggi dengan membentuk Kristal paling banyak. Perbandingan dari data *XRD of Pattern* dan *XRD of profile* untuk mineral kuarsa tersebut sama dengan ketiga sampel sebelumnya begitupula dengan magnetit dan pirit.

Tabel 2. Hasil analisis karakterisasi tailing/slurry dengan metode XRD

No. Sample	SLG-1	SLG-2	SLG-3	SLG-4
Lokasi	Nglenggong I	Nglenggong II	Keloran	Jendi
Illit ($K,H_2O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$		•	•	
Kuarsa (SiO_2)	•	•	•	•
Pirit (FeS_2)	•	•	•	•
Magnetit (Fe_3O_4)	•	•	•	•
Pirofilit $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$			•	

Keterangan: Tanda bulatan menunjukkan mineral yang terkandung dalam tailing sesuai asal lokasi pengambilan sampel tailing

Dari Hasil karakterisasi XRD yang digambarkan dengan masing-masing pola difraktogram terhadap 4 sampel tailing tersebut, dapat disimpulkan bahwa komposisi utama tailing meliputi: kuarsa, pirit, magnetit, illit dan pirofilit. Kuarsa merupakan mineral utama dalam tailing, diikuti pirit, magnetit, illit, dan terakhir pirofilit. Dari empat sampel yang dianalisis, semuanya mengandung kuarsa sebagai mineral utama, pirit dan magnetit. Selain ketiga mineral tersebut, sampel SLG-2 juga mengandung illit sebagai mineral minor, dan sampel SLG-3 terdiri dari mineral kuarsa, pirit, magnetit, illit, dan pirofilit. Mineral-mineral utama arsenik tidak muncul pada analisis XRD, sehingga arsenik kemungkinan besar terdapat pada mineral pirit, sebagai pirit arsenian

(pirit yang kaya arsenik). Unsur arsen tersebut *incorporated* di dalam struktur kristal pirit.

Pirit merupakan senyawa sulfida utama dalam bahan sulfidik yang pembentukannya memerlukan kondisi lingkungan tertentu. Kondisi lingkungan yang sesuai untuk pembentukan pirit adalah kondisi tergenang dan kaya bahan organik. Dekomposisi bahan organik dalam keadaan tergenang menciptakan kondisi tanah menjadi tereduksi tinggi. Bahan organik merupakan sumber energi bagi bakteri pereduksi sulfat. Ion sulfat berperan sebagai penerima elektron hasil respirasi bakteri pereduksi sulfat sehingga tereduksi menjadi sulfida. Sulfida yang terbentuk bereaksi cepat dengan besi ferro atau ferri oksida membentuk besisulfida. Jika pada lingkungan tersebut terdapat senyawa atau ion yang berperan sebagai oksidator seperti O_2 atau besi ferri, sebagian sulfida dapat teroksidasi menjadi unsur S atau ion polisulfida. Selanjutnya unsur S atau ion polisulfida tersebut bereaksi dengan FeS membentuk pirit (FeS_2).

5.5 Hasil Analisis Sampel Tailing/Slury dengan INAA dan TD-ICP-MS

Selain analisis karakteristik dari sampel tailing dengan menggunakan XRD, sampel tailing juga dilakukan analisis secara kimiawi dengan menggunakan metode INAA dan TD-ICP-MS. Metode INAA atau biasa juga disebut dengan Analisis Aktivasi Neutron Instrument yang berprinsip pada reaksi penangkapan neutron termal oleh inti atom (nuklida) melalui reaksi (n,γ) . Neutron termal akan berinteraksi dengan nuklida menjadi nuklida radioaktif (radionuklida). Radionuklida akan melepaskan kelebihan energinya melalui transisi isomerik atau melalui peluruhan peluruhan β^- atau β^+ yang

umumnya diikuti oleh emisi sinar gamma. Sinar gamma yang yang diemisikan bersifat karakteristik yaitu setiap radionuklida mengemisikan sinar gamma engan energi tertentu. Hal ini dapat digunakan untuk analisis kualitatif suatu cuplikan. Jumlah sinar gamma yang diemisikan dapat digunakan untuk analisa kuantitatif. Dalam praktiknya jumlah sinar gamma dinyatakan dalam satuan cacah per detik (cound per second; cps) sedangkan TD-ICP-MS mempunyai prinsip kerja, sampel diintroduksi ke dalam suatu pusat tabung plasma argon, dalam hal ini sampel yang dipakai dalam penelitian adalah tailing yang sebelumnya diberi perlakuan sebelum dianalisis, kemudian setelah dimasukan mengkabut, secara cepat tersolvasi dan teruapkan. Selama transit melewati inti plasma proses disosiasi dan ionisasi terjadi. Ion-ion terekstrak dari tabung pusat plasma menuju suatu pompa vakum antarfase, kemudian ditransmisikan ke dalam spektrometer massa. Didalam spektrometer dan massa ion-ion terpisahkan berdasarkan massa mereka terhadap rasio muatan. Dari hasil kedua metode tersebut diperoleh hasil analisis kandungan unsur atau analit yang terdeteksi dan terkandung dalam tailing sejumlah 59 unsur (tabel 3).

Tabel 3. Hasil analisis tailing dengan metode INAA dan TD-ICP-MS (ActLabs, Canada)

No	Analit	Batas deteksi	Metode analisis	Sampel SLG 01	Sampel SLG 02	Sampel SLG 03	Sampel SLG 04
1	Hg	1 ppm	INAA	78 ppm	644 ppm	414 ppm	828 ppm
2	Sc	0,1 ppm	INAA	9,8 ppm	3,9 ppm	11,6 ppm	3,4 ppm
3	Au	2 ppb	INAA	2990 ppm	11300 ppm	12000 ppm	13700 ppm
4	Ag	0,05 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	2,99 ppm	4,33 ppm	44,6 ppm	16,2 ppm
5	Cu	0,2 ppm	TD-MS	1040 ppm	1170 ppm	6300 ppm	650 ppm
6	Cd	0,1 ppm	TD-MS	2,4 ppm	8,2 ppm	125 ppm	29,1 ppm

7	Mo	0,2 ppm	TD-MS	0,4 ppm	7,3 ppm	3,6 ppm	144 ppm
8	Mn	1 ppm	TD-MS	1160 ppm	409 ppm	448 ppm	516 ppm
9	Pb	0,5 ppm	TD-MS	351 ppm	284 ppm	>5000 ppm	3490 ppm
10	Ni	0,5 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	21,7 ppm	14,8 ppm	9,7 ppm	11,7 ppm
11	Zn	0,05 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	671 ppm	1650 ppm	27300 ppm	6250 ppm
12	As	0,5 ppm	INAA	2990 ppm	545 ppm	287 ppm	143 ppm
13	Ba	1ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	31 ppm	15 ppm	12 ppm	15 ppm
14	Be	0,1 ppm	TD-MS	0,5 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,2 ppm
15	Bi	0,02 ppm	TD-MS	2,12 ppm	9,08 ppm	43 ppm	19,7 ppm
16	Br	0,5 ppm	INAA	<0,5ppm	<0,5 ppm	<0,5 ppm	<0,5 ppm
17	Ca	0,01 %	TD-MS	0,81 %	1,13%	0,28%	1,09 %
18	Co	1 ppm	INAA	20 ppm	49 ppm	12 ppm	41 ppm
19	Cr	2ppm	INAA	121 ppm	25 ppm	32 ppm	26 ppm
20	Cs	0,05 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	0,85 ppm	1 ppm	1,61 ppm	1,03 ppm
21	Fe	0,01 %	INAA	15,6 %	24,1 %	21,7 %	24, 2 %
22	Hf	1 ppm	INAA	2 ppm	<1 ppm	1 ppm	<1 ppm
23	Ga	0,1 ppm	TD-MS	10,6 ppm	4,6 ppm	12,6 ppm	4,1 ppm
24	Ge	0,1 ppm	TD-MS	0,3 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,03 ppm
25	In	0,1 ppm	TD-MS	0,3 ppm	0,03 ppm	3,4 ppm	0,3 ppm
26	Li	0,5 ppm	TD-MS	7,7 ppm	7,2 ppm	3,1 ppm	6,9 ppm
27	Mg	0,01 %	TD-MS	0,67 ppm	0,21 ppm	0,16 ppm	0,21 ppm
28	Na	0,01 %	INAA	0,48 ppm	0,07 ppm	0,04 ppm	0,12 ppm
29	Nb	0,1 ppm	TD-MS	<0,1 ppm	0,5 ppm	1,1 ppm	0,5 ppm
30	Rb	0,2 ppm	TD-MS	10,8 ppm	30 ppm	58,3 ppm	17,5 ppm
31	Re	0,001 ppm	TD-MS	0,006 ppm	0,039 ppm	0,005 ppm	1,02 pm
32	Sb	0,1 ppm	INAA	6,1 ppm	56,6 ppm	6,4 ppm	5,7 ppm
33	Se	0,1 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	1,9 ppm	5,8 ppm	15,8 ppm	9,9 ppm

34	Sn	0,1 ppm	TD-MS	2 ppm	3 ppm	4 ppm	2 ppm
35	Sr	0,2 ppm	TD-MS	56,7 ppm	16 ppm	13,1 ppm	18,1 ppm
36	Ta	0,1 ppm	MULT INAA/TD- ICP-MS	<0,1 ppm	0,1 ppm	<0,1 ppm	<0,1 ppm
37	Te	0,1 ppm	TD-MS	<0,1 ppm	8,5 ppm	23,9 ppm	25,4 ppm
38	Th	0,1 ppm	MULT INAA/TD- ICP-MS	0,5 ppm	0,3 ppm	0,4 ppm	0,6 ppm
39	Ti	0,05 ppm	TD-MS	2,64 ppm	2,58 ppm	0,67 ppm	0,33 ppm
40	U	0,1 ppm	MULT INAA/TD- ICP-MS	0,2 ppm	0,2 ppm	0,4 ppm	0,1 ppm
41	V	1 ppm	TD-MS	311 ppm	34 ppm	135 ppm	40 ppm
42	W	1 ppm	INAA	<1 ppm	2 ppm	3 ppm	<1 ppm
43	Y	0,1 ppm	TD-MS	9,6 ppm	4 ppm	9,7 ppm	4,2 ppm
44	Zr	1 ppm	TD-MS	5 ppm	6 ppm	21 ppm	4 ppm
45	La	0,1 ppm	TD-MS	2,3 ppm	1,3 ppm	2,3 ppm	2,5 ppm
46	K	0,01 %	TD-MS	0,36 ppm	0,74 ppm	1,61 ppm	0,39 ppm
47	Ce	0,1 ppm	TD-MS	7,9 ppm	3,5 ppm	9,5 ppm	5,8 ppm
48	Pr	0,1 ppm	TD-MS	1,4 ppm	0,5 ppm	1,8 ppm	0,7 ppm
49	Nd	0,1 ppm	TD-MS	6,4 ppm	2,4 ppm	8 ppm	3 ppm
50	Sm	0,1 ppm	TD-MS	1,6 ppm	0,6 ppm	1,8 ppm	0,7 ppm
51	Eu	0,05 ppm	TD-MS	0,52 ppm	0,18 ppm	0,39 ppm	0,2 ppm
52	Gd	0,1 ppm	TD-MS	1,9 ppm	0,7 ppm	1,7 ppm	0,7 ppm
53	Dy	0,1 ppm	TD-MS	2 ppm	0,8 ppm	2 ppm	0,8 ppm
54	Tb	0,1 ppm	TD-MS	0,3 ppm	0,1 ppm	0,3 ppm	0,1 ppm
55	Ho	0,1 ppm	TD-MS	0,4 ppm	0,2 ppm	0,4 ppm	0,2 ppm
56	Er	0,1 ppm	TD-MS	1,2 ppm	0,4 ppm	1,2 ppm	0,4 ppm
57	Tm	0,1 ppm	TD-MS	0,2 ppm	<0,1 ppm	0,2 ppm	<0,1 ppm
58	Yb	0,1 ppm	TD-MS	1,1 ppm	0,4 ppm	1,1 ppm	0,4 ppm
59	Lu	0,1 ppm	TD-MS	0,2 ppm	<0,1 ppm	0,2 ppm	<0,1 ppm
60	Mass	G	INAA	24,7 g	32,1 g	24,3 g	33,3 g

Keterangan : SLG 01 : kode sampel tailing asal Nglenggong 1

SLG 02 : kode sampel tailing asal Nglenggong 2

SLG 03 : kode sampel tailing asal Keloran

SLG 04 : kode sampel tailing asal jendi

Hasil Analisis kimiawi sampel tailing yang dilakukan dengan metoda INAA dan TD-ICPMS. Menunjukkan bahwa kandungan mineral di dalam tailing didominasi oleh ketujuh unsur yang lazimnya biasa terdapat dalam tailing dalam jumlah dan konsentrasi yang besar. Unsur tersebut adalah Hg, Au, Cu, Pb, Zn, As dan Fe. Metode INAA digunakan untuk analisis Hg, Au, As, dan Fe sedangkan metoda TD-ICPMS diaplikasikan untuk analit Cu, Pb, dan Zn. Pada Tabel 2 ditampilkan juga batas deteksi alat untuk masing-masing analit. Batas deteksi untuk Hg 1 ppm; Au 2 ppb; Cu 0,2 ppm; Pb, Zn, dan As 0,5 ppm; dan Ca 0,01%. Berdasarkan hasil analisis diketahui kandungan Hg dalam semua sampel masih tinggi, yaitu berkisar antara 78 – 828 ppm. Merkuri dalam tailing bukan berasal dari batuan mineral, namun ditambahkan dalam proses amalgam emas. Kandungan Hg yang tinggi ini menunjukkan bahwa tailing tersebut sangat berbahaya dan harus dikelola sebelum dilepas ke tempat pembuangan. Hal yang menarik adalah kandungan emas dalam tailing juga masih tinggi dan masih ekonomis untuk diekstraksi kembali.

Tabel 4. Kandungan unsur terbesar dari Hasil analisis tailing dengan metode INAA, TD-ICP-MS (ActLabs, Canada).

3	Hg	Au	Cu	Pb	Zn	As	Fe
Satuan unit	Ppm	ppb	ppm	ppm	Ppm	ppm	%
Batas deteksi	1	2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,01
Metoda analisis	INAA	INAA	TD-ICPMS	TD-ICPMS	TD-ICPMS	INAA	INAA

SLG-1	78	2990	1040	351	671	2990	15,6
SLG-2	644	11300	1170	284	1650	545	24,1
SLG-3	414	12000	6300	> 5000	27300	287	21,7
SLG-4	828	13700	650	3490	6260	143	24,2

Selanjutnya dari sebaran nilai setiap unsur yang dianalisis untuk mengetahui pola sebaran konsentrasi setiap unsur dan jumlah populasi yang ada dilakukan pengelompokan berdasarkan metode *persentile* dimana batas nilai ambang ditentukan dengan mengambil sejumlah kecil nilai yang terletak pada bagian ekor sebelah atas suatu populasi. Setiap unsur terbagi kedalam 3 kelas dengan mempertimbangkan konsentrasi unsur masing-masing yang kemudian dipetakan sebarannya pada peta sebaran masing-masing unsur. Dari hasil analisis contoh tersebut di atas, kemudian dilakukan perbandingan dengan beberapa peraturan dan standar yang dapat dianggap sebagai tolok ukur kualitas konsentrasi unsur di alam. Oleh karena itu, beberapa sumber acuan yang dijadikan sebagai pembanding pada penelitian ini salah satu yang digunakan adalah Peraturan Pemerintah no.18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Secara umum, kandungan Hg berbanding lurus dengan kandungan Au, namun berbanding terbalik dengan kandungan As. Sebagai contoh, kandungan terkecil Hg dan Au ada dalam sampel SLG-1 dan kandungan terbesar dalam sampel SLG-4. Sebaliknya untuk As, kadar tertinggi terdapat dalam sampel SLG-1, yaitu 2990 ppm dan kadar terendah, 143 ppm dalam sampel SLG-4. Kadar arsen yang tinggi kemungkinan berasal

dari mineral pirit yang berasosiasi dengan arsen (arsenian pirit). Tingginya kadar arsen mengindikasikan adanya potensi ekstraksi spesi arsen dari tailing untuk dimanfaatkan kembali. Tingginya konsentrasi Au dalam conto tailing menunjukkan besarnya konsentrasi emas dan perak yang terbuang, hal ini mengindikasikan bahwa tingkat perolehan pengolahan emas dengan cara amalgamasi masih rendah. Kondisi tersebut memungkinkan untuk dilakukan upaya pemanfaatan/pengolahan limbah amalgamasi dengan untuk diperoleh kembali emas dan perak yang terbuang ke dalam tailing.

Menurut herman (2006) Cara pengolahan tailing dengan menggunakan *sluice box* kemudian didulang selanjutnya dilakukan amalgamasi merupakan metode untuk memperoleh kembali emas dan perak yang ikut tercampur ke dalam tailing, namun dampak kegiatan ini adalah tingginya konsentrasi unsur merkuri dan logam dasar pada conto sedimen sungai dan air yang disebabkan terlepasnya merkuri dan logam dasar ke aliran sungai karena proses pengolahan tailing tersebut dilakukan di dalam sungai. Tingginya konsentrasi merkuri dalam conto tailing pada umumnya disebabkan oleh proses amalgamasi yang tidak sempurna. Dari beberapa penelitian, diperoleh data yang menunjukkan merkuri yang hilang setelah amalgamasi dapat mencapai 5% - 10% dalam satu kali proses. Kenaikan konsentrasi merkuri yang sangat tinggi berhubungan erat dengan pemakaian merkuri dalam proses penggilingan bijih dengan menggunakan alat gelundung

Timbal dan seng umumnya berasosiasi dalam mineral yang sama. Hal ini terbukti dengan kadar Pb yang berbanding lurus dengan kadar Zn dalam setiap sampel. Adanya pirit, magnetit dan illit dalam sampel dapat dibuktikan dengan tingginya kadar

besi dalam sampel, yaitu antara 15,6 – 24,2 %. Dari keempat sampel, total kandungan logam dalam sampel SLG-3 adalah yang tertinggi, dan hasil analisis ini berkorelasi positif dengan hasil analisis XRD, dimana dalam sampel SLG-3 terdeteksi mineral lebih banyak dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Hasil analisis kimiawi tailing tersebut menunjukkan bahwa limbah tersebut masih dapat dipisahkan dan diolah kembali menghasilkan unsur-unsur berharga.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Hasil analisis karakterisasi mineral dengan menggunakan XRD, tailing dari Nglenggong I (SLG 01) mengandung mineral kuarsa, pirit dan magnetit, tailing dari Nglenggong II (SLG 02) mengandung kuarsa, pirit, magnetit dan ilit, untuk sampel tailing Keloran (SLG 03), sampel tailing tersusun atas kuarsa, pirit, magnetit, ilit dan tambahan pirofilit. Sedangkan sampel yang terakhir dari Jendi SLG 04 mengandung kuarsa, pirit dan magnetit.
2. Hasil analisis limbah tailing menggunakan metode INAA dan TD-ICP-MS mendeteksi sejumlah 59 unsur kimia namun Kandungan tailing pada penelitian ini tersusun dengan dominasi tujuh unsure kimia dengan konsentrasi yang cukup besar, antara lain Untuk Merkuri (Hg) : 78-828 ppm, Emas (Au) : 2990-13700 ppb, T (Cu) : 650-6300, Timbal (Pb) : 3490 - >5000 ppm, seng (Zn) : 671-27300 ppm, Arsen (As) : 143-2990 ppm dan Besi (Fe) : 15, 6-24,2 ppm.

2. Saran

Untuk melengkapi penelitian ini perlu penelitian lebih lanjut mengenai :

1. Metode pengambilan dan preparasi sampel tailing harus sesuai dengan metode standar yang telah divalidasi, agar sampel tailing tidak rusak dan terkontaminasi zat lain.
2. Limbah tailing dapat dimanfaatkan kembali dengan cara proses pengolahan lebih ekonomis dan ramah lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

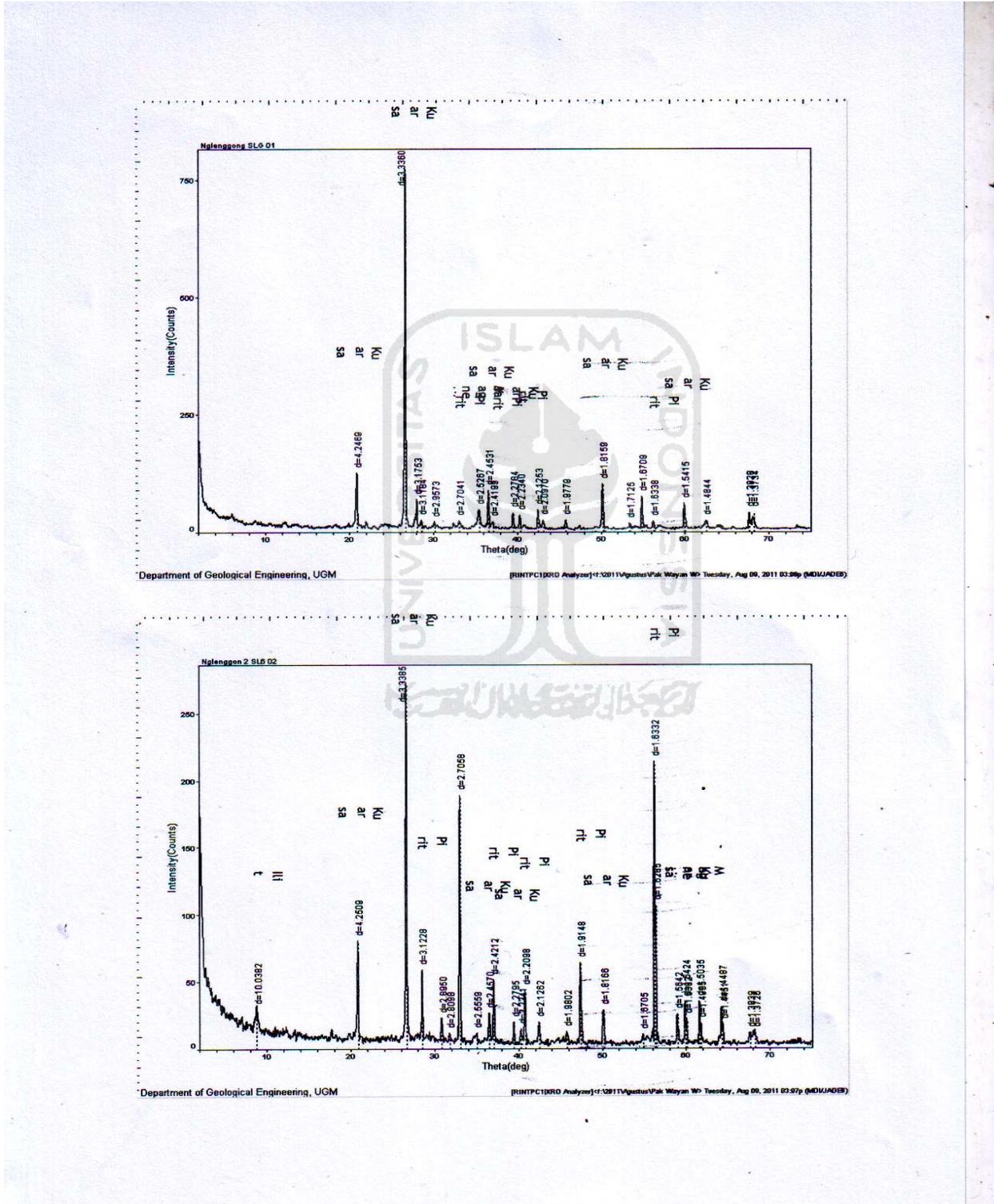
- Ahdiat, A., Hutamadi, R., dan Widhiyatna, D., 2006, *Pendataan Penyebaran Merkuri Pada Wilayah Pertambangan di Daerah Selogiri, Kab. Wonogiri, Jawa Tengah, Proceeding Pemaparan Hasil-hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006*, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Arifudin.,2000,*Determination of mineralization horizon of epithermal gold deposit based on fluid inclusion analysis at Nglenggong area, Wonogiri regency, Central Java, Indonesia*. GadjahMada University, Yogyakarta.
- Ayunita, 2010, *Cradle To Grave LimbahPertambangan (Tailing)*, Jurusan Teknik Lingkungan ITB, Bandung.
- Berry, L.G., Brian Mason, R.V. Dietrich. 1983, *Mineralogy, Second Edition*, W.H. Freeman and Company, New York.
- Day, R, A.,& Underwood, A, L., 2002, *Analisis Kimia Kuantitatif*, edisikeenam, Erlangga, Jakarta.
- Durrant, P.J., Phill., D. & Durrant, B., 1966, *Introduction Advanced Inorganic Chemistry*, Third edition, London, Longmans, Green & Co. Ltd.
- Fitri, N., 2008, *Diferensiasi dan distribusi spesi magnesium , kalsium, mangan, seng, molibden dan kadmium dalam cairan floem tanaman jarak (Ricinus communis L)*, Disertasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Fitri, N., 2009, *Kimia Pestisida*, Diktat Kuliah, Jurusan Kimia FMIPA UII, Yogyakarta.
- Fitri, N, Warmada, W, Nazmi, A.S., Firdaus, F., 2011, *Karakteristik mineralogy dan geokimia limbah tailing penambangan emas: studi pendahuluan pemanfaatan spesi arsen sebagai bahan pestisida*, Prosiding, Seminar Nasional Kimia UNY, Yogyakarta
- Havati, N., 2009, *Analisis Kadar Arsen Pada Kerang (Bivalvia) Yang Berasal Dari Laut Belawan Tahun 2009*, Skripsi, USU, Medan.
- Htun, T, M et al., 2006, *Proceedings: Arsenic and Heavy Metals Contamination in Small Scale Mining, Selogiri Area, Wonogiri Regency, Central Java, Indonesia*, Proceedings of 9th International Symposium on Mineral Exploration ITB, Bandung.
- Herman, D, Z., 2006, *Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dan Sisa Pengolahan Bijih Logam*, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Hutamadi, R.1997. *Eksplorasi geofisika logam di daerah G.Tumbu, desa Jendi, Selogiri, Wonogiri, Jateng*. ITB. Bandung

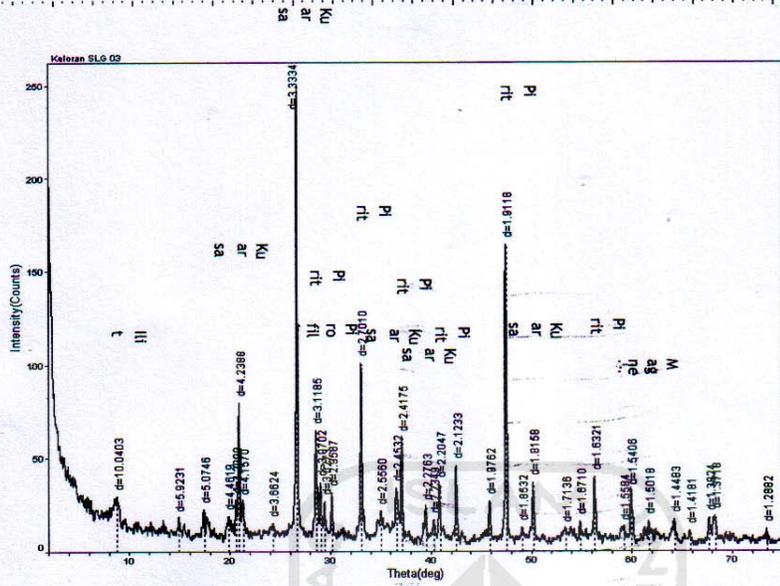
- Irvan, R.U., Syahrul, M., Wahab, A.W., dan Arifudin, 2005, *Analisis kandungan kimia batuan vulkanik dari sangkaropi Sulawesi selatan serta pemanfaatannya dalam klasifikasi batuan dan tatanan tektonik*, Jurusan Kimia Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Johnson , D.L & Braman, R., 1975, *Alkyl and Inorganic arsenic in Air Sample*, Chemosphere, 6: 333-338.
- Khopkar, S.M., 2008, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, UI-Press, Jakarta.
- Mulyono, 2001, *Kamus Kimia*, PT.Grasindo, Bandung.
- Newton, J.,1946, *An Introduction to Metallurgy*, John Wiley & San, New York.
- Peirson, D.H., Cawse, P.A & Cambray, R.S., 1974,*Chemical Uniformity of Airbones Particulate Material and a Maritiame Effect*, Nature (Lond), 251: 675-679).
- Prasetya, R., 2008, *Kajian Pemanfaatan Limbah Penambangan emas (Studi Kasus :Pemanfaatan Tailing di PT. Antam UPPE Pongkur)*, Tesis, Magister Sains Ilmu Lingkungan UI, Jakarta.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, Rosidi, H. M. D., 1995. *Geologi lembar Yogyakarta skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Riyanto, 2008, *Analisis Limbah Beracun dan Berbahaya (B3)*, Diktat, Jurusan Ilmu Kimia FMIPA UII, Yogyakarta.
- Riyanto., 2009, *Kimia Analisis Instrumental 1*, Diktat, Jurusan Ilmu Kimia FMIPA UII, Yogyakarta.
- Sari, H.,2002, *Deteksi Dan Pengendalian Racun Arsen Pada Pekerja*, Majalah Kesehatan Masyarakat, Vol.VI, FKM USU, Medan.
- Sastrohamidjojo, H., 2001, *Spektroskopi*, Liberty, Yogyakarta.
- Sembiring, A., 2010, <http://hukum.kompasiana.com/2010/07/17/bahayanya-limbah-tailing-yang-dilahirkan-dari-perusahaan-tambang/diakse> tanggal 28 mei 2011, pkl. 13.11 Wib.
- Setiabudi, B.T., 2005, *Penyebaran Merkuri akibat usaha pertambangan emas di daerah sangon kabupaten kulonprogo, Yogyakarta*, Kolokium Hasil Lapangn-DIM, Yogyakarta.
- Slamet, 2002, *Kesehatan Lingkungan*, UGM Press, Yogyakarta.
- SmedleyP.L., dan Kinniburgh, D.G. 2001,*a review of the source, behavior, and distribution ofarsenicin natural water*, British Geological survey, Wallingford, Oxan, UK.
- Soe, MT., et al, 2004, *Geology and gold-copper mineralization at Selogiri area, Wonogiri regency, Central Java, Indonesia*. Proceedings of the 1st International Symposium on Earth Resources Engineering and Geological Engineering Education, Yogyakarta, Indonesia 14 Dec. 2004, p. 20-24

- Soe, M.T., 2005, *Geology and copper-gold mineralization at Selogiri area, Wonogiri, Jateng*, Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sudradjat, A., 1999, *Teknologi dan Manajemen Sumberdaya Mineral*, Penerbit ITB, Bandung.
- Sukandarrumidi., 2007, *Geologi Mineral Logam*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sukar., 2003, *Sumber dan Terjadinya Arsen (As) di Lingkungan (Review)*, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Ekologi Kesehatan, Vol. 2, hal: 232-239
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., and Wirjosujono, S., 1992. *Geology of the Surakarta-Giritontro Quadrangle*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung.
- Syarbaini, 2008, *Teknologi ICP MS Dan Aplikasinya Untuk Studi Radioaktivitas Lingkungan*, Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif, Makalah, BATAN, Yogyakarta.
- Tim Workshop Instrumentasi, 2007, *Pelatihan Instrumentasi, Laboratorium Instrumentasi Terpadu UII*, Modul, Laboratorium Terpadu UII, Yogyakarta.
- Toha, B., Resiwati, P., Sriyono, Soetoto, Rahardjo, W. & Pramumijoyo, S., 1994. *Geology of Southern Mountain: A contribution (in Indonesia)*. In: *Proceedings of geology and geotectonic of Java Island from Late Mesozoic – Quaternary*, Teknik Geologi-UGM, Yogyakarta, p. 19-36.
- Warmada, I, W., Soe, M. T., Sinomiya, J., Setijadji, L. D., Imai, A., Watanabe, K., 2005, *Petrology and geochemistry of intrusive rocks from Selogiri area, Central Java, Indonesia*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Earth Resources Engineering and Geological Engineering Education. Bangkok, 12/2005: 163-169.
- Watson, C.C., 1975, *The Contamination of Bacon by Arsenic from Smoke Derived from Preservation Wood*, N.Z.J.Schi, 1: 361-368.
- WHO, 2002, *Bahaya Bahan Kimia Pada Kesehatan Lingkungan*, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Widodo et al, 2010, *Pemanfaatan Tailing Pengolahan Bijih Emas Cara Amalgamsi Untuk Bata Cetak*, LIPI, Sukabumi.
- Widowati, w., 2008, *Efek Toksik Logam*, penerbit Andi, Yogyakarta.

LAMPIRAN 1

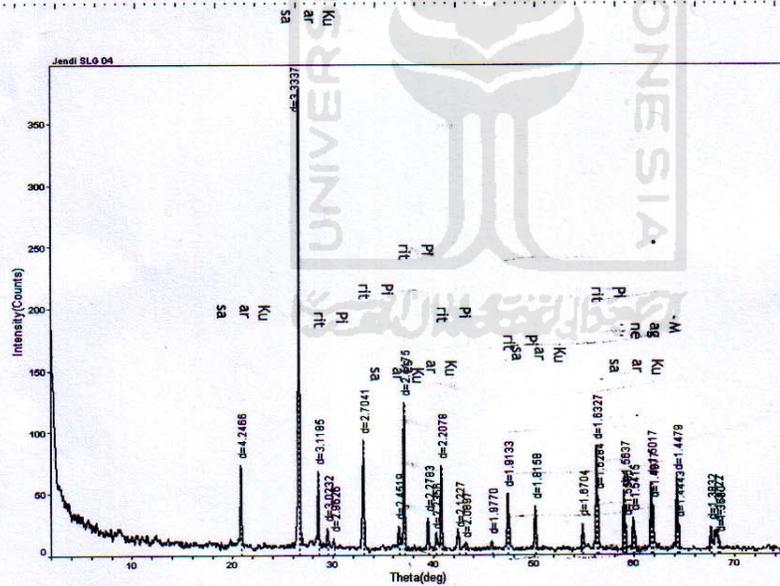
Gambar Pola Difraktogram Karakteristik tailing dari keempat sampel asal Nglenggon (SLG1 dan 2), Keloran (SLG 03) dan Jendi (SLG 04).





Department of Geological Engineering, UGM

[RINTPC10RD Analyzer]1:2011\Agustus\Wak Wayan W\ Tuesday, Aug 09, 2011 03:25p (MOLKAD03)



Department of Geological Engineering, UGM

[RINTPC10RD Analyzer]1:2011\Agustus\Wak Wayan W\ Tuesday, Aug 09, 2011 03:25p (MOLKAD03)

LAMPIRAN 2

Hasil analisis tailing/slury dengan metode INAA dan TD-ICP-MS (ActLabs, Canada)

No	Analit	Batas deteksi	Metode analisis	Sampel SLG 01 (Nglenggong 1)	Sampel SLG 02 (Nglenggong 2)	Sampel SLG 03 (Keloran)	Sampel SLG 04 (Jendi)
1	Hg	1 ppm	INAA	78 ppm	644 ppm	414 ppm	828 ppm
2	Sc	0,1 ppm	INAA	9,8 ppm	3,9 ppm	11,6 ppm	3,4 ppm
3	Au	2 ppb	INAA	2990 ppm	11300 ppm	12000 ppm	13700 ppm
4	Ag	0,05 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	2,99 ppm	4,33 ppm	44,6 ppm	16,2 ppm
5	Cu	0,2 ppm	TD-MS	1040 ppm	1170 ppm	6300 ppm	650 ppm
6	Cd	0,1 ppm	TD-MS	2,4 ppm	8,2 ppm	125 ppm	29,1 ppm
7	Mo	0,2 ppm	TD-MS	0,4 ppm	7,3 ppm	3,6 ppm	144 ppm
8	Mn	1 ppm	TD-MS	1160 ppm	409 ppm	448 ppm	516 ppm
9	Pb	0,5 ppm	TD-MS	351 ppm	284 ppm	>5000 ppm	3490 ppm
10	Ni	0,5 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	21,7 ppm	14,8 ppm	9,7 ppm	11,7 ppm
11	Zn	0,05 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	671 ppm	1650 ppm	27300 ppm	6250 ppm
12	As	0,5 ppm	INAA	2990 ppm	545 ppm	287 ppm	143 ppm
13	Ba	1ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	31 ppm	15 ppm	12 ppm	15 ppm
14	Be	0,1 ppm	TD-MS	0,5 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,2 ppm
15	Bi	0,02 ppm	TD-MS	2,12 ppm	9,08 ppm	43 ppm	19,7 ppm
16	Br	0,5 ppm	INAA	<0,5ppm	<0,5 ppm	<0,5 ppm	<0,5 ppm
17	Ca	0,01 %	TD-MS	0,81 %	1,13%	0,28%	1,09 %
18	Co	1 ppm	INAA	20 ppm	49 ppm	12 ppm	41 ppm
19	Cr	2ppm	INAA	121 ppm	25 ppm	32 ppm	26 ppm
20	Cs	0,05 ppm	MULT INAA/TD-ICP-MS	0,85 ppm	1 ppm	1,61 ppm	1,03 ppm

21	Fe	0,01 %	INAA	15,6 %	24,1 %	21,7 %	24, 2 %
22	Hf	1 ppm	INAA	2 ppm	<1 ppm	1 ppm	<1 ppm
23	Ga	0,1 ppm	TD-MS	10,6 ppm	4,6 ppm	12,6 ppm	4,1 ppm
24	Ge	0,1 ppm	TD-MS	0,3 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,03 ppm
25	In	0,1 ppm	TD-MS	0,3 ppm	0,03 ppm	3,4 ppm	0,3 ppm
26	Li	0,5 ppm	TD-MS	7,7 ppm	7,2 ppm	3,1 ppm	6,9 ppm
27	Mg	0,01 %	TD-MS	0,67 ppm	0,21 ppm	0,16 ppm	0,21 ppm
28	Na	0,01 %	INAA	0,48 ppm	0,07 ppm	0,04 ppm	0,12 ppm
29	Nb	0,1 ppm	TD-MS	<0,1 ppm	0,5 ppm	1,1 ppm	0,5 ppm
30	Rb	0,2 ppm	TD-MS	10,8 ppm	30 ppm	58,3 ppm	17,5 ppm
31	Re	0,001 ppm	TD-MS	0,006 ppm	0,039 ppm	0,005 ppm	1,02 pm
32	Sb	0,1 ppm	INAA	6,1 ppm	56,6 ppm	6,4 ppm	5,7 ppm
33	Se	0,1 ppm	MULT INAA/TD- ICP-MS	1,9 ppm	5,8 ppm	15,8 ppm	9,9 ppm
34	Sn	0,1 ppm	TD-MS	2 ppm	3 ppm	4 ppm	2 ppm
35	Sr	0,2 ppm	TD-MS	56,7 ppm	16 ppm	13,1 ppm	18,1 ppm
36	Ta	0,1 ppm	MULT INAA/TD- ICP-MS	<0,1 ppm	0,1 ppm	<0,1 ppm	<0,1 ppm
37	Te	0,1 ppm	TD-MS	<0,1 ppm	8,5 ppm	23,9 ppm	25,4 ppm
38	Th	0,1 ppm	MULT INAA/TD- ICP-MS	0,5 ppm	0,3 ppm	0,4 ppm	0,6 ppm
39	Ti	0,05 ppm	TD-MS	2,64 ppm	2,58 ppm	0,67 ppm	0,33 ppm
40	U	0,1 ppm	MULT INAA/TD- ICP-MS	0,2 ppm	0,2 ppm	0,4 ppm	0,1 ppm
41	V	1 ppm	TD-MS	311 ppm	34 ppm	135 ppm	40 ppm
42	W	1 ppm	INAA	<1 ppm	2 ppm	3 ppm	<1 ppm
43	Y	0,1 ppm	TD-MS	9,6 ppm	4 ppm	9,7 ppm	4,2 ppm
44	Zr	1 ppm	TD-MS	5 ppm	6 ppm	21 ppm	4 ppm
45	La	0,1 ppm	TD-MS	2,3 ppm	1,3 ppm	2,3 ppm	2,5 ppm
46	K	0,01 %	TD-MS	0,36 ppm	0,74 ppm	1,61 ppm	0,39 ppm
47	Ce	0,1 ppm	TD-MS	7,9 ppm	3,5 ppm	9,5 ppm	5,8 ppm

48	Pr	0,1 ppm	TD-MS	1,4 ppm	0,5 ppm	1,8 ppm	0,7 ppm
49	Nd	0,1 ppm	TD-MS	6,4 ppm	2,4 ppm	8 ppm	3 ppm
50	Sm	0,1 ppm	TD-MS	1,6 ppm	0,6 ppm	1,8 ppm	0,7 ppm
51	Eu	0,05 ppm	TD-MS	0,52 ppm	0,18 ppm	0,39 ppm	0,2 ppm
52	Gd	0,1 ppm	TD-MS	1,9 ppm	0,7 ppm	1,7 ppm	0,7 ppm
53	Dy	0,1 ppm	TD-MS	2 ppm	0,8 ppm	2 ppm	0,8 ppm
54	Tb	0,1 ppm	TD-MS	0,3 ppm	0,1 ppm	0,3 ppm	0,1 ppm
55	Ho	0,1 ppm	TD-MS	0,4 ppm	0,2 ppm	0,4 ppm	0,2 ppm
56	Er	0,1 ppm	TD-MS	1,2 ppm	0,4 ppm	1,2 ppm	0,4 ppm
57	Tm	0,1 ppm	TD-MS	0,2 ppm	<0,1 ppm	0,2 ppm	<0,1 ppm
58	Yb	0,1 ppm	TD-MS	1,1 ppm	0,4 ppm	1,1 ppm	0,4 ppm
59	Lu	0,1 ppm	TD-MS	0,2 ppm	<0,1 ppm	0,2 ppm	<0,1 ppm
60	Mass	g	INAA	24,7 g	32,1 g	24,3 g	33,3 g

