

**FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN KADAR ARSEN
(As) DALAM URIN MASYARAKAT KELURAHAN
KAWATUNA KECAMATAN MANTIKULORE SULAWESI
TENGAH**

***FACTORS RELATED TO ARSENIC LEVEL (As) IN COMMUNITY'S
URINE OF KAWATUNA VILLAGE MANTIKULORE DISTRICT
CENTRAL SULAWESI***

SABRIL MUNANDAR



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN KADAR ARSEN
(As) DALAM URIN MASYARAKAT KELURAHAN
KAWATUNA KECAMATAN MANTIKULORE SULAWESI
TENGAH**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Kesehatan Masyarakat

Disusun dan diajukan oleh

SABRIL MUNANDAR

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

TESIS

FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN KADAR ARSEN (As)
DALAM URIN MASYARAKAT DI KELURAHAN KAWATUNA
KECAMATAN MANTIKULORE SULAWESI TENGAH

Disusun dan diajukan oleh :

SABRIL MUNANDAR
Nomor Pokok P1801211012

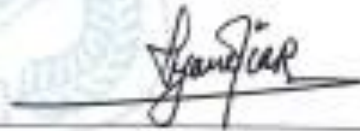
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 20 Agustus 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

MENYETUJUI

KOMISI PENASIHAT,



Dr. Anwar Daud, SKM, M.Kes
Ketua



Dr. dr. Syamsiar S. Russeng, MS
Anggota

Ketua Program Studi
Kesehatan Masyarakat



Dr. dr. H. Noer Bahry Noor, M.Sc

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Mursalin

Pernyataan Keaslian Tesis

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Sabril Munandar

Nomor Pokok : P1801211012

Program Studi : Kesehatan Masyarakat

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa tesis ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2013

Yang Menyatakan

Sabril Munandar

PRAKATA

Puji Syukur kehadiran Allah SWT berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Sesuai dengan eksistensi penulis, maka apa yang tertuang dalam tulisan ini perwujudan dan upaya optimal yang penulis lakukan. Sebagaimana kata pepatah “tak ada gading yang tak retak” seperti itulah kiranya yang bisa penulis ungkapkan, jika dalam tesis ini terdapat adanya kekurangan, baik dalam hal sistematika, pola penyampaian, bahasa, maupun materi yang di luar kemampuan penulis. Hal itu tidak terlepas dari keterbatasan penulis sebagai manusia biasa.

Keberhasilan penulis dalam merampungkan tesis ini tidak terlepas dari motivasi dan bantuan dari berbagai pihak selama proses penulisan. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Bapak Dr. Anwar Daud, SKM., M.Kes sebagai Ketua Komisi Penasihat Tesis dan Ibu Dr. dr. Syamsiar S. Russeng, MS sebagai Anggota Komisi Penasihat atas segala bantuan, bimbingan, nasihat, petunjuk dan saran serta waktu yang telah diberikan selama ini kepada penulis. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis juga haturkan kepada:

1. Direktur Pascasarjana Universitas Hasanuddin Bapak Prof. Dr. Ir. Mursalim, dan segenap Guru Besar, dosen beserta stafnya.

2. Bapak Dr. Ir. Noer Bahry Noor, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat.
3. Bapak Prof. Dr. drg. A. Arsunan Arsin, M.Kes selaku penguji tesis yang telah memberikan banyak masukan bagi kesempurnaan penulisan tesis ini.
4. Bapak dr. M. Furqaan Naiem, M.Sc., PhD yang telah meluangkan waktu sebagai penguji tesis dan telah memberikan banyak masukan bagi penulis.
5. Bapak dr. Hasanuddin Ishak, M.Sc., PhD yang telah meluangkan waktu sebagai penguji tesis dan telah memberikan banyak masukan bagi penulis.
6. Pemerintah Propinsi Sulawesi Tengah, Pemerintah Kota Palu, serta aparat pemerintah pada Kecamatan Mantikulore dan Kelurahan Kawatuna yang telah bekerjasama dan mengizinkan penulis melakukan penelitian di wilayah Kecamatan Mantikulore Kelurahan Kawatuna
7. Kepala Puskesmas Mantikulore beserta staf yang telah bekerjasama dalam membantu penulis melakukan penelitian.
8. Masyarakat Kelurahan Kawatuna yang meluangkan waktu dalam membantu menyelesaikan penelitian.
9. Staf Program Pascasarjana Kesehatan Lingkungan yang selama ini turut membantu penulis dari awal studi hingga akhir.

10. Rekan-rekan mahasiswa pascasarjana unhas dan sahabat-sahabat seperjuangan Konsentrasi Kesehatan Lingkungan angkatan 2011, terima kasih atas kebersamaan, dukungan dan motivasi yang dalam proses pendidikan dan penyelesaian tesis ini.

Ucapan terima kasih tak terhingga orang – orang tercinta khususnya kepada kedua orang tuaku tercinta Ayahanda (alm.) H. Djamran Tawulo dan Ibunda Hj. Naria yang telah membesarkan, mendidik dengan penuh kasih sayang dan selalu memberikan doa dan motivasi kepada penulis, saudaraku tersayang (almh.) Junartin Tawulo, SE, (alm.) Junadi Monaha, SP, dan Adi Ermawan Tawulo, SH yang telah memberi dorongan moril dan doa serta menjadi inspirasi penulis. Serta tak lupa pula kepada adinda Tina Lestari yang telah memberikan bantuan moril dan materil.

Semoga Allah SWT, menilai semua sumbangsih tersebut sebagai amal ibadah yang tak pernah putus dan semoga Allah SWT mengampuni atas segala kekhilafan yang mungkin terjadi selama proses studi selama ini. Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi semua pihak yang membacanya.

Makassar, Agustus 2013

Sabril Munandar

ABSTRAK

SABRIL MUNANDAR. *Faktor yang Berhubungan dengan Kadar Arson (As) dalam Urin Masyarakat Kelurahan Kawatuna Mantikulore Sulawesi Tengah* (dibimbing oleh **Anwar Daud** dan **Syamsiar S. Russeng**)

Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara kadar arsen (As) dalam air minum, lama tinggal, jenis pekerjaan, dan jarak dari sumber pencemaran dengan kadar arsen dalam urin.

Penelitian ini bersifat observasional dengan rancangan cross sectional study. Sampel diambil dari kepala keluarga atau anggota keluarga dan sumber air minum. Pemeriksaan laboratorium menggunakan metode AAS shimidzu versi 7200. Data diolah dengan menggunakan SPSS 18 dan dianalisis dengan menggunakan uji chi square dan regresi logistik.

Hasil penelitian menunjukkan kadar arsen dalam urin 74 responden (74%) dalam kategori normal dan 26 responden (26%) kategori tidak normal ($NAB = <0,035$ mg/L). Kadar arsen dalam sumber air minum 70 responden (70%) menggunakan air minum yang kadar arsennya normal dan 30 responden (30%) kategori tidak normal ($NAB = \leq 0,05$ mg/L). Hasil uji chi square menunjukkan ada hubungan jenis pekerjaan dengan kadar arsen dalam urin ($p=0,000$ ($p<0,05$)). Ada hubungan jarak tempat tinggal dari sumber pencemar dengan kadar arsen dalam urin ($p=0,000$ ($p<0,05$)). Ada hubungan kadar arsen dalam sumber air minum dengan kadar arsen dalam urin ($p=0,000$ ($p<0,05$)). Tidak ada hubungan lama tinggal dengan kadar arsen dalam urin ($p=0,792$ ($p>0,05$)). Hasil uji regresi logistik menunjukkan faktor kadar arsen dalam sumber air minum adalah faktor yang paling berpengaruh (wald 5,910, sig = 0,015, exp. (B) = 19,55)

Kata kunci : cross sectional study, arsen, urin, air minum



ABSTRACT

SABRIL MUNANDAR. *Factors Related to Arsenic Level (As) in Community's Urine of Kawatuna Village, Mantikolore District, Central Sulawesi* (supervised by Anwar Daud and Syamsiar S.Russeng).

The aim of the research is to analyze the relationship between arsenic (As) level in drinking water, length of stay, types of jobs, and the distance from the sources of pollutants and arsenic (As) level in urine.

The research was an observational study with cross sectional study design. The samples were household heads or members of family and the sources of drinking water. Laboratory examination used AAS Shimidzu method of Version 7200. The data were processed using SPSS 18 and analyzed using chi square and logistic regression tests.

The results of the research indicate that arsenic level (As) in urine is normal in 74 respondents (74%) and abnormal (NAB = <0.035 mg/L) in 26 respondents (26%). Arsenic (As) level in drinking water indicates that 70 respondents (70%) used the source of drinking water with normal arsenic level and 30 respondents (30%) used the source of drinking water with abnormal arsenic level (NAB = ≤ 0.05 mg/L). The result of chi square test indicate that there is a relationship between types of jobs and arsenic level in urine ($p=0.000$ ($p<0.05$)); there is a relationship between the distance from the sources of pollutants and arsenic level in urine ($p=0.000$ ($p<0.05$)); there is a relationship between arsenic level in the sources of drinking water and arsenic level in urine ($p=0.000$ ($p<0.05$)); there is no relationship between the length of stay and arsenic level in urine ($p=0.792$ ($p>0.05$)). The result of logistic regression test indicates that arsenic level in the sources of drinking water is the most influencing factor (Wald 5.910, sig = 0.015, Exp. (B) = 19.55)

Key words : cross sectional study, arsenic (As), urine, drinking water, Kawatuna Village, Mantikolore



DAFTAR ISI

	[Halamar
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	13
C. Tujuan Penelitian	13
D. Manfaat Penelitian	14
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Tinjauan Tentang Pencemaran Air.....	16
B. Tinjauan Tentang Logam Berat.....	22
C. Tinjauan Tentang Arsen.....	26
D. Dampak Arsen Pada Lingkungan.....	36

E. Dampak Arsen Pada Kesehatan.....	43
F. Tinjauan Umum Tentang Penambangan Emas Secara Tradisional.....	49
G. Tabel Sintesa.....	56
H. Kerangka Teori	57
I. Kerangka Konsep.....	58
J. Hipotesis Penelitian.....	59
K. Definisi Operasional.....	60
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Rancangan Penelitian.....	62
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	62
C. Populasi dan Sampel	63
D. Tehnik Pengumpulan Data	65
E. Pengolahan dan Analisis Data.....	68
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	71
B. Hasil Penelitian	75
C. Pembahasan.....	91
D. Keterbatasan Penelitian.....	106
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	107
B. Saran	109
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Jenis-Jenis Senyawa Arsen Yang Terdapat Di Lingkungan Kerja.....	26
Tabel 2.	Kandungan PHTE's dari batubara Amerika, Batubara Dunia (ppm)..	37
Tabel 3.	Standar Konsentrasi Arsen Dalam Air.....	38
Tabel 4.	Kandungan Arsen Dalam Batu Api Dan Batuan Alam.....	40
Tabel 5.	Resiko Kesehatan Yang Dapat Terjadi Oleh Konsentrasi Arsen Dalam Air.....	47
Tabel 6.	Toksisitas Arsen (As) Pada Penduduk Bangladesh Yang Minum Air Tercemar Oleh Arsen (As).....	48
Tabel 7.	Sintesa Beberapa Penelitian Arsen di Indonesia.....	55
Tabel 8.	Definisi Operasional.....	58
Tabel 9.	Distribusi sepuluh Penyakit terbesar di Kelurahan Kawatuna (Tahun 2010-2012).....	72
Tabel 10.	Distribusi responden berdasarkan jenis kelamin, kelompok umur, tingkat pendidikan, dan jenis pekerjaan di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	74
Tabel 11.	Deskripsi variabel penelitian berdasarkan Pemeriksaan As dalam Urin di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	76
Tabel 12.	Distribusi Pemeriksaan As dalam Urin berdasarkan jenis pekerjaan di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013....	77
Tabel 13.	Distribusi responden berdasarkan lama tinggal di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	78
Tabel 14.	Distribusi responden jarak tempat tinggal dari pencemar di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	78
Tabel 15.	Distribusi sumber air minum di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	79
Tabel	Distribusi pemeriksaan As untuk jenis sumber air minum di Kelurahan	80

16.	Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	
Tabel 17	Distribusi pemeriksaan As dalam sumber air minum di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	80
Tabel 18	Distribusi Hasil Pemeriksaan As dalam Urin di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	81
Tabel 19	Hubungan Lama Tinggal dengan Kadar As dalam Urin masyarakat di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	82
Tabel 20	Hubungan jenis pekerjaan dengan kadar as dalam urin masyarakat di kelurahan kawatuna kecamatan mantikulore kota palu tahun 2013.....	83
Tabel 21	Hubungan jarak tempat tinggal dari sumber pencemar dengan kadar as dalam urin di kelurahan kawatuna kecamatan mantikulore kota palu tahun 2013.....	83
Tabel 22	Hubungan kadar arsen dalam sumber air minum dengan Kadar As dalam Urin masyarakat di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Kota Palu Tahun 2013.....	85
Tabel 23	Rekapitulasi Variabel Faktor yang Berhubungan dengan Kadar As dalam Urin Masyarakat di Kelurahan Kawatuna Tahun 2013.....	86
Tabel 24	Hasil Analisis Bivariat yang dijadikan Model Analisis Multivariat.....	87
Tabel 25	Hasil Analisis Regresi Logistik antara Variabel Potensial dengan Kadar As dalam masyarakat di Kelurahan Kawatuna Tahun 2013.....	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Kontribusi Logam Berat Timah Hitam (Pb), Arsen (Hg) Dan Kadnium (Cd), Arsenic (As), Dan Cromium (Cr) Pada Intake Manusia.....	23
Gambar 2.	Perjalanan Logam Sampai Ke Tubuh Manusia.....	24
Gambar 3.	Proses Kerja Pada Penambangan Emas Tradisional.....	54
Gambar 4.	Kerangka Teori Penelitian.....	56
Gambar 5.	Kerangka Konsep.....	57
Gambar 6.	Lokasi Penelitian.....	62
Gambar 7.	Grafik Tiga Jenis Penyakit Terbesar pada Tiga Tahun Terakhir di Kawatuna.....	73
Gambar 8.	Grafik Jarak Tempat Tinggal Dari Sumber Pencemar dengan Kadar Arsen Dalam Urin.....	84
Gambar 9.	Grafik Kadar Arsen Dalam Sumber Air Minum dengan Kadar Arsen Dalam Urin.....	85

DAFTAR LAMPIRAN

1. MASTER TABEL
2. KUESIONER
3. HASIL OLAH DATA SPSS
4. LAPORAN HASIL UJI LABORATORIUM
5. SURAT REKOMENDASI IJIN PENELITIAN
6. SURAT KETERANGAN TELAH MELAKUKAN PENELITIAN
7. PETA LOKASI PENELITIAN
8. DOKUMENTASI KEGIATAN PENELITIAN

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang sungguh berlimpah ruah banyaknya. Kekayaan sumber daya alam itu berupa kekayaan minyak dan gas (migas) serta tambang mineral dan batubara. Dalam Siaran Pers Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia Nomor : **41/HUMAS DESDM/2012 tanggal : 26 Desember 2012 mengenai Kinerja Sektor ESDM Tahun 2012**, selama tahun 2012 produksi batubara mencapai 386 juta ton atau sebesar 109 % dari produksi 2011 yang mencapai 353 juta ton. Untuk produk mineral lain selama tahun 2012 realisasi produksi adalah konsentrat tembaga sebesar 804 ribu ton (naik dibanding tahun 2011: 618 ribu ton), emas 66 ton (turun dibanding tahun 2011: 78 ton), timah 91 ribu ton (naik dibanding 2011: 54 ribu ton), bijih nikel 35 juta ton (naik dibanding tahun 2011 sebesar 33 juta ton), ferro nikel 19 ribu ton (tahun 2011: 18 ribu ton), bauksit 29 juta ton (201: 41 juta ton) dan bijih besi 10 juta ton (2011 sebesar 11 juta ton).

Salah satu sumber daya alam (SDA) yang mempunyai nilai penting dan daya tarik tinggi bagi masyarakat kita pada umumnya adalah emas. Emas merupakan logam mulia yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi sehingga hal ini memberikan daya tarik tersendiri yang cukup penting bagi masyarakat dalam upaya untuk peningkatan kesejahteraan

ekonomi masyarakat. Untuk mengeksplorasi emas dari alamnya dibutuhkan teknologi, kerja keras, atau upaya tertentu, baik itu melalui kegiatan penggalian secara tradisional maupun secara modern dalam skala massive maupun dalam skala kecil oleh perusahaan besar maupun dalam tingkatan masyarakat, baik itu secara illegal atau secara legal. Dalam kegiatan penambangan emas tradisional maupun semi-modern skala masyarakat seringkali menggunakan metode, upaya atau teknologi tertentu yang tidak mempertimbangkan aspek kesehatan lingkungan secara luas. Hal penting yang menjadi perhatian utama dari hal tersebut adalah pencemaran lingkungan karena dalam kegiatan penambangan emas digunakan zat kimia tertentu yang sifatnya toksik terhadap lingkungan maupun manusia.

Penambangan emas bertujuan untuk memisahkan emas dari butiran pasir melalui proses amalgamasi (penambahan merkuri dalam air untuk memisahkan emas dengan pasir) dikenal dengan proses tailing dan selanjutnya untuk memisahkan merkuri dari emas melalui proses pembakaran (*alloy*). Tailing yang mengandung Hg dibuang di sekitar pemukiman sehingga berpotensi mencemari tanah dan air tanah, (Setiyono, 2011), serta air limbah dari penirisan tambang emas bersifat asam dan mengandung logam berat (Untung dan Achmad, 1999).

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.

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 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 membentuk garam-garam bersifat asam dan aliran asam mengandung sejumlah logam beracun seperti As, Hg, Pb, dan Cd yang dapat mencemari atau merusak lingkungan (Herman, 2006).

Unsur arsen (As) merupakan salah satu hasil sampingan dari proses pengolahan bijih logam non-besi terutama emas, yang mempunyai sifat sangat beracun dengan dampak merusak lingkungan. Arsen ditemukan pada beberapa cebakan bijih logam. Penambangan cebakan logam mengandung As dan pembuangan tailing dengan keterlibatan atmosfer akan mempercepat mobilisasi unsur tersebut dan selanjutnya memasuki sistem air permukaan atau merembes ke dalam akifer-akifer air tanah setempat. Akibat merugikan dari arsen bagi kesehatan manusia adalah apabila terkandung >100 ppb dalam air minum; dengan gejala keracunan kronis berupa iritasi usus, kerusakan syaraf dan sel, kelainan kulit atau melanoma serta kanker usus. Ini terjadi di negara-negara yang

memproduksi emas dan logam dasar di antaranya Afrika selatan, Zimbabwe, India, Thailand, Cina, Filipina, dan Meksiko (Herman, 2006).

Arsen (As) merupakan unsur kerak bumi yang berjumlah besar, yaitu menempati urutan kedupuluh dari unsur kerak bumi, sehingga sangat besar kemungkinannya mencemari air tanah dan air minum. Jutaan manusia bisa terpapar arsen (As), seperti yang pernah terjadi di Bangladesh, India, Cina (Haryanto, 2008).

Diantara beberapa jenis logam ternyata hanya beberapa logam yang sangat berbahaya dalam jumlah kecil yang dapat menyebabkan keracunan fatal. Menurut Darmono (2001) yang mengutip Gossel dan Bricker, ada lima logam yang berbahaya pada manusia yaitu Arsen (As), Cadmium (Cd), Timbal (Pb), Merkuri (Hg), dan Besi (Fe).

Logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan, yang terutama adalah Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), dan Nikel (Ni). Logam-logam tersebut diketahui dapat mengumpul di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi (Kristanto, 2002).

Kasus keracunan Arsen secara besar-besaran pernah terjadi di Bangladesh tahun 2000. Kasus ini menyerang sekitar 97% penduduk Bangladesh. Penduduk tersebut menderita penyakit kanker paru-paru, kanker perut serta kanker kulit. Menurut penelitian John (2000), Lebih dari 90 persen air tanah di Bangladesh mengandung hampir 50 ppb arsen.

Laporan pertama tentang arsen di sumur-sumur bor, sumur gali dan sumber mata air dilaporkan pada tahun 1976 di India. Tahun yang sama dilaporkan bahwa masyarakat meminum air terkontaminasi arsen di Chandigarh dan beberapa perkampungan seperti Punjab, Haryana, Himachal Pradesh di India bagian utara (Daud, 2009).

Kasus gejala keracunan serupa arsen adalah kasus Teluk Buyat di Minahasa tahun 2004. Banyak warga menderita benjolan di sekujur tubuh, kram, mual, sakit kepala, panas di dada dan penyakit kulit yang parah. Tim penanganan kasus pencemaran dan/atau pengrusakan Lingkungan Hidup di Desa Buyat juga menyampaikan laporan hasil penelitiannya, bahwa Teluk Buyat tercemar logam berat, paling dominan berperan dalam masalah lingkungan dan kesehatan di wilayah tersebut adalah logam arsen (Nurhayati, 2009).

Pencemaran logam berat arsen (As) dapat mempengaruhi kegiatan ekonomi maupun sosial masyarakat dan juga dapat mempengaruhi aspek derajat kesehatan masyarakat. Selain itu, pencemaran logam berat arsen (As) dapat menimbulkan dampak biologi yang serius karena logam berat tersebut dapat terakumulasi pada tubuh biota perairan melalui rantai makanan yang dapat dikonsumsi oleh masyarakat. Pencemaran logam berat ini telah dilaporkan dalam berbagai penelitian ilmiah mengenai efek kesehatan masyarakat yang dapat ditimbulkannya, seperti kelainan dan kanker kulit, kecacatan bahkan kematian.

Efek-efek yang merugikan kesehatan akibat adanya bahan pencemar di lingkungan bersifat terukur, betapapun kecilnya perubahan yang terjadi harus dianggap sebagai ancaman kesehatan. Misalnya, setiap konsentrasi xenobiotik (zat asing) di dalam jaringan tubuh, betapapun rendahnya merupakan bukti bahwa telah terjadi pemajanan yang menyebabkan tubuh mengalami tekanan (Rahman, 2007).

Ada beberapa faktor yang berhubungan erat dengan pajanan logam khususnya terkait dengan penambangan emas seperti logam Hg. Beberapa faktor risiko yang berhubungan dengan pajanan Hg pada masyarakat antara lain lama tinggal, jenis kelamin, jenis pekerjaan, status kesehatan dan jarak dari sumber pencemar sesuai hasil penelitian Ardhi dan Suharyo, 2011, terdapat hubungan yang signifikan antara lama tinggal ($p=0,003$), jarak tempat tinggal ($p=0,002$), jenis pekerjaan ($p=0,004$), sumber air bersih ($p=0,004$), kebiasaan mandi ($p=0,015$) dan konsumsi ikan hasil setempat ($p=0,007$) dengan kadar merkuri pada rambut. Variabel yang berisiko terjadinya kadar merkuri pada rambut melebihi ambang batas adalah lama tinggal ≥ 15 tahun ($OR=7,07$; $95\%CI=2,12-23,57$) dengan nilai probabilitas sebesar 89,3%. Walaupun Hg dan As berbeda jenis tetapi kedua logam tersebut merupakan produk logam sampingan dari proses penambangan dan pengolahan emas.

Faktor – faktor yang mempengaruhi terjadinya pencemaran air minum adalah jarak dari sumber pencemar dan jenis tanah. Jarak sumur gali dengan tempat pembuangan tailing berkisar 0,5 – 4000 meter.

Jarak aman untuk pembuangan bahan kimia adalah 45 meter, dengan syarat telah dilakukan pengolahan terlebih dahulu terhadap tailing yang akan dibuang. Tailing dengan tanpa pengolahan memiliki konsentrasi bahan kimia lebih tinggi akan memasuki akuifer air tanah, jenis tanah merah dan lempung lebih mudah menyerapkan pencemar dibanding tanah padas (Widhiyatna dalam Setiyono, 2011).

Arsen (As) adalah suatu unsur yang ada dimana mana secara alami (Cullen dan Reimer 1989), telah diidentifikasi sebagai penyebab kanker pada manusia oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC, 1987). Paparan kronis ke air minum yang mengandung arsen inorganik tingkat tinggi (iAs) adalah berhubungan dengan manifestasi berbagai penyakit kulit (Tondel et al., 1999), diabetes (Bates et al., 1992; Tseng et al., 2000), penyakit *cardiovascular* (Engel et al. 1994), dan kanker di beberapa organ (Bates et al., 1992; Chen et al., 2005).

Intoksikasi tubuh manusia terhadap arsen dapat berakibat buruk terhadap mata, kulit, darah, dan liver. Efek arsen terhadap mata adalah gangguan penglihatan dan kontraksi mata pada bagian perifer sehingga mengganggu daya pandang (*visual fields*) mata. Pada kulit menyebabkan berwarna gelap (*hyperpigmentasi*), penebalan kulit (*hyperkeratosis*), timbul seperti bubul (*clavus*), infeksi kulit (dermatitis) dan mempunyai efek pencetus kanker (karsinogenik). Pada darah, menyebabkan kegagalan fungsi sumsum tulang dan terjadinya *pancytopenia* (yaitu menurunnya jumlah sel darah perifer). Pada liver, mempunyai efek yang signifikan pada

paparan yang cukup lama (paparan kronis), berupa meningkatnya aktifitas enzim pada liver (enzim SGOT, SGPT, gamma GT), *ichterus* (penyakit kuning), *liver cirrhosis* (jaringan hati berubah menjadi jaringan ikat dan ascites) tertimbunnya cairan dalam ruang perut.

Pada ginjal akan menyebabkan kerusakan ginjal berupa *renal damage* (terjadi *ischemia* dan kerusakan jaringan). Pada saluran pernafasan, akan menyebabkan timbulnya *laryngitis* (infeksi laring), *bronchitis* (infeksi bronchus) dan dapat pula menyebabkan kanker paru. Pada pembuluh darah, logam berat arsen (As) dapat mengganggu fungsi pembuluh darah, sehingga dapat mengakibatkan penyakit *arteriosclerosis* (rusaknya pembuluh darah), *portal hypertention* (hipertensi oleh karena faktor pembuluh darah portal), oedema paru dan penyakit pembuluh darah perifer (varises, penyakit burger).

Pada sistem reproduksi, efek arsen terhadap fungsi reproduksi biasanya fatal dan dapat pula berupa cacat bayi waktu dilahirkan, lazim disebut efek malformasi. Pada sistem imunologi, terjadi penurunan daya tahan tubuh/ penurunan kekebalan, akibatnya peka terhadap bahan karsinogen (pencetus kanker) dan infeksi virus. Pada sistem sel, efek terhadap sel mengakibatkan rusaknya mitokondria dalam inti sel menyebabkan turunnya energi sel dan sel dapat mati. Pada gastrointestinal (saluran pencernaan), arsen (As) akan menyebabkan perasaan mual dan muntah, serta nyeri perut, mual (*nausea*) dan muntah (*vomiting*) (Nurhayati, 2009).

Sekitar 90% arsen yang diabsorpsi dalam tubuh manusia tersimpan dalam hati, ginjal, dinding saluran pencernaan, limfa, dan paru. Juga tersimpan dalam jumlah sedikit dalam rambut dan kuku serta dapat terdeteksi dalam waktu lama, yaitu beberapa tahun setelah keracunan kronis. Di dalam darah yang normal ditemukan arsen 0,2 µg/100ml. Sedangkan pada kondisi keracunan ditemukan 10 µg/100ml dan pada orang yang mati keracunan arsen ditemukan 60-90 µg/100ml (Susanti, dkk.,2012)

Pemeriksaan kontaminasi arsen pada urin umumnya digunakan sebagai biomarker utama paparan dan dianggap sebagai indikator yang paling dapat diandalkan dari paparan baru untuk iAS (Hopenhayn-Rich et al, 1996). Sebuah korelasi positif antara total asupan harian arsenik dari air dan total konsentrasi arsenik dalam urin telah ditemukan ($r = 0,5$, $p < 0,001$) dalam sebuah studi dari Meksiko (Meza et al, 2004).

Arsen sebagian besar diekskresikan melalui ginjal; ekskresi urin As dianggap sebagai indikator biologis yang baik dari pajanan akut dan kronis arsen (*U.S. Environmental Protection Agency*, 1988). Kadar arsenik dalam urin mencerminkan pajanan terbaru dan cenderung sangat berkorelasi dengan *intake* arsenik dari air minum dan sumber makanan (Ahsan et al, 2000;.. Calderon et al, 1999; Pellizzari dan Clayton, 2006; WHO, 2001).

Sampel *The first-morning urine* adalah sample pengujian terbaik karena spesimennya lebih terkonsentrasi karena urine telah berada dalam kandung kemih dalam satu malam (Keir, et al., 2007). Meskipun

pengumpulan urin 24 jam dianggap sebagai sampel optimal karena fluktuasi kurs ekskresi, sebagian besar studi pajanan telah menggunakan *first morning void* atau sampel spot acak karena kemudahan koleksi (U.S. Department of Health and Human Services, 2011). Untuk mengukur konsentrasi penanda paparan dalam urin, sebuah pertanyaan penting adalah apakah mengumpulkan sampel urin 24 jam, sampel urin spot, atau sampel urin pagi. Idealnya, jumlah As dikeluarkan selama periode waktu tertentu harus dinilai. Biasanya ini dilakukan dengan mengukur ekskresi As dalam koleksi 24 jam. Namun, untuk mengumpulkan secara lengkap urin 24-jam mungkin sulit (Bingham dan Cummings 1983; Johansson et al, 1998) dan memerlukan pengawasan dan validasi. Karena kesulitan ini dan masalah lain (misalnya risiko kontaminasi urin selama sampling), urin spot atau sampel urin pertama pagi ini umumnya digunakan untuk pengukuran konsentrasi urin As anorganik atau As metabolit (Mazumder, 2000).

Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Sulawesi Tengah merupakan salah satu lokasi pengolahan emas. Sumber batuan atau bahan baku emas diambil dari penambangan emas tradisional di Kelurahan Poboya yang beroperasi sejak tahun 2009 hingga sekarang kemudian diolah di wilayah Kelurahan Kawatuna, dan menggunakan beberapa teknologi, metode, dan zat kimia tertentu sebagai bahan untuk memisahkan emas dengan pasir atau batuan sehingga masyarakat Kawatuna dan sekitarnya berisiko terkena pencemaran lingkungan

khususnya cemaran arsen (As) dari aktivitas tersebut. Berdasarkan informasi dari Kantor Kelurahan Kawatuna, bahwa selama ini belum ada penelitian mengenai pemeriksaan kontaminasi arsen (As) pada masyarakat baik dalam air minum maupun dalam urin masyarakat.

Badan Lingkungan Hidup Kota Palu (2012), jumlah pengolah emas sebanyak 430 orang, jumlah tromol yang beroperasi berkisar 515 unit, dimana setiap unit menggunakan merkuri 4 ons atau 400 gram per hari, jumlah tong yang digunakan untuk mengambil limbah pasir untuk mengumpulkan emas yang tersisa kemudian dicampurkan dengan sianida yakni berjumlah 32 tong, dimana dalam penambangan emas produk sampingan dari hasil pengolahan emas adalah Arsen (As), sehingga hal ini menjadi kekhawatiran terjadi pencemaran lingkungan sekitar yang sangat berpotensi terjadinya pemajanan pada masyarakat melihat efek kesehatan yang dapat terjadi pada masyarakat.

Melihat aspek kesehatan masyarakat, data dari Puskesmas Kecamatan Mantikulore Kota Palu, penyakit infeksi kulit dan alergi berada dalam posisi 10 besar distribusi penyakit di wilayah kerja Puskesmas Kecamatan Mantikulore. Dimana jumlah penyakit tersebut fluktuatif dari tahun 2010 hingga tahun 2012, pada tahun 2010 mencapai 210 orang, tahun 2011 mencapai 287 orang, dan pada tahun 2012 mencapai 209 orang.

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pajanan arsen (As) terhadap masyarakat melalui

pemeriksaan sumber air minum dan urin masyarakat, kemudian dianalisis faktor risiko pajanan logam arsen (As) serta faktor risiko yang paling berpengaruh pada masyarakat sehingga hal ini dapat menjadi sumber informasi penting bagi masyarakat dan stakeholder terkait dan kemudian menganalisis, mengantisipasi, merumuskan upaya dan kebijakan yang tepat dalam penanganan, pengendalian, bahkan evaluasi khususnya dalam aspek kesehatan masyarakat secara umum pada masyarakat di Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore, Sulawesi Tengah.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah hubungan antara kadar arsen (As) dalam urin dengan kadar arsen (As) dalam air minum, lama tinggal, jenis pekerjaan, dan jarak dari sumber pencemar pada masyarakat Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Sulawesi Tengah ?

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara kadar arsen (As) dalam urin dengan kadar arsen (As) dalam air minum, lama tinggal, jenis pekerjaan, dan jarak dari sumber pencemar pada masyarakat Kelurahan Kawatuna Kecamatan Mantikulore Sulawesi Tengah.

2. Tujuan Khusus

- a. Mengukur konsentrasi arsen (As) dalam urin masyarakat Kelurahan Kawatuna.
- b. Mengukur konsentrasi arsen (As) dalam air minum masyarakat Kelurahan Kawatuna.
- c. Menganalisis hubungan lama tinggal dengan kadar konsentrasi As dalam urin pada masyarakat Kelurahan Kawatuna
- d. Menganalisis hubungan jenis pekerjaan dengan kadar konsentrasi As dalam urin pada masyarakat Kelurahan Kawatuna.
- e. Menganalisis hubungan jarak tempat tinggal dari sumber pencemar dengan kadar konsentrasi As dalam urin pada masyarakat Kelurahan Kawatuna.
- f. Menganalisis hubungan kadar konsentrasi As pada air minum dengan kadar konsentrasi As dalam urin pada masyarakat Kelurahan Kawatuna.
- g. Menganalisis faktor risiko paparan yang paling berpengaruh terhadap kadar konsentrasi As dalam urin pada masyarakat Kelurahan Kawatuna

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi kepada penduduk di Kelurahan Kawatuna tentang bahaya kesehatan yang dapat terjadi akibat mengkonsumsi air yang mengandung arsen (As).
2. Memberikan informasi bagi Badan Lingkungan Hidup (BLH) Propinsi Sulawesi Tengah dan Pemerintah Kota Palu dalam rangka mengantisipasi menurunnya kualitas air minum sehingga dapat dijadikan sebagai dasar pengambilan kebijakan selanjutnya.
3. Sebagai sebuah pengalaman bagi penulis untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh studi di Program Studi Kesehatan Masyarakat Konsentrasi Kesehatan Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin.
4. Memperkaya khasanah ilmiah dan ilmu pengetahuan terkait tema yang diteliti serta sebagai sumber informasi bagi peneliti berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Tentang Pencemaran Air

1. Pengertian Pencemaran Air

Istilah pencemaran air atau polusi air dapat dipersepsikan berbeda oleh satu orang dengan orang lainnya mengingat banyak pustaka acuan yang merumuskan definisi istilah tersebut, baik dalam kamus atau buku teks ilmiah, termasuk definisi dalam peraturan pemerintah sebagai turunan dari undang-undang tentang definisi pencemaran lingkungan.

Definisi pencemaran air mengacu pada Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Undang-Undang Lingkungan Hidup dan dijabarkan dalam Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air dan PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, menjelaskan bahwa pencemaran air adalah :

Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. (Pasal 1, angka 2).

Pencemaran air juga merupakan penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, bukan dari kemurniannya. Air yang ada di bumi ini tidak pernah terdapat dalam keadaan murni bersih, tetapi selalu ada senyawa atau mineral (unsur) lain yang terlarut di dalamnya. Hal ini tidak berarti bahwa semua air di bumi ini telah tercemar. Sebagai contoh, air

yang diambil dari mata air di pegunungan dan air hujan. Keduanya dapat dianggap sebagai air yang bersih, namun senyawa atau mineral (unsur) yang terdapat di dalamnya berlainan seperti tampak pada keterangan berikut ini: Air hujan mengandung: SO_4 , Cl, NH_3 , CO_2 , N_2 , C, O_2 , debu, (Putranto, 2011)

Air dari mata air mengandung Na, Mg, Ca, Fe, O_2 . Selain daripada itu air seringkali juga mengandung bakteri atau mikroorganisme lainnya. Air yang mengandung bakteri atau mikroorganisme tidak dapat langsung digunakan sebagai air minum tetapi harus direbus dulu agar bakteri dan mikroorganismenya mati. Pada batas-batas tertentu air minum justru diharapkan mengandung mineral agar air itu terasa segar. Air murni tanpa mineral justru tidak enak untuk diminum (Wardhana, 1998).

Penggolongan air menurut peruntukkannya yang ditetapkan menurut PP No. 20 Tahun 1990, Bab III, Pasal 7, sebagai berikut :

- a. Golongan A, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu.
- b. Golongan B , yaitu air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum.
- c. Golongan C, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.

- d. Golongan D, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, pembangkit listrik tenaga air.

Penentuan terhadap tercemar atau tidaknya air suatu daerah berdasarkan beberapa peraturan pemerintah diantaranya adalah :

- a. Peraturan Pemerintah (PP) No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- b. PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- c. Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Republik Indonesia No. 416 tahun 1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air.
- d. Permenkes Republik Indonesia No 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

Menurut Wardhana, (1998), indikator atau tanda bahwa air lingkungan telah tercemar adalah adanya perubahan atau tanda yang dapat diamati melalui:

- a. Adanya perubahan suhu air.
- b. Adanya perubahan pH atau konsentrasi ion hidrogen.
- c. Adanya perubahan warna, bau dan rasa air.
- d. Timbulnya endapan, koloidal, bahan terlarut.
- e. Adanya mikroorganisme.
- f. Meningkatnya radioaktivitas air lingkungan.

2. Sumber Polusi Air

Kurangnya fasilitas kebersihan yang cukup adalah suatu sebab utama kontaminasi kotoran dan limbah dari sumber - sumber air di daerah urban dan pabrik. Beberapa Kota Indonesia malah mempunyai suatu sistem pembuangan kotoran yang tidak sempurna, dan karenanya sebagian besar rumah tangga sangat mengandalkan tangki kotoran pribadi atau pembuangan kotoran manusia langsung ke sungai dan kanal. Sumber-sumber polusi air yang lain adalah pertambangan serta pengaliran air yang tidak lancar dan tidak teratur, (Putranto, 2011)..

Perbaikan pasokan air dan sistem sanitasi yang layak mungkin dapat memberikan kontribusi kepada pengurangan kematian diare yang signifikan dan kepada peningkatan hasil kesehatan. Suatu cara pengelolaan sumber air terpadu, termasuk polusi air, dengan pengumpulan data, bagi informasi, analisa dan penggunaan yang cukup, diperlukan dalam suatu konteks dasar. Erat kaitannya dengan masalah indikator pencemaran air dengan komponen pencemar air berperan menentukan indikator tersebut terjadi. Komponen pencemar air menurut Putranto, (2011), dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Bahan buangan padat
- b. Bahan buangan organik
- c. Bahan buangan anorganik
- d. Bahan buangan olahan bahan makanan
- e. Bahan buangan cairan berminyak

- f. Bahan buangan zat kimia
- g. Bahan buangan berupa panas

3. Pencemaran Air Oleh Logam Berat

Logam berat termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah yang sedikit berlebihan, biasanya tidak menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh. Karena unsur besi (Fe) dibutuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen, sedangkan unsur logam berat beracun yang penting diantaranya arsen (Hg), tembaga (Cu), bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh.

Menurut Widiowati, dkk, (2008) terdapat 80 jenis logam berat dari 109 unsur kimia di muka bumi yang terbagi dalam dua jenis yaitu logam berat esensial dan tidak esensial. Logam berat esensial yaitu logam dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme dan dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek toksik, contohnya : Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan logam berat tidak esensial yakni logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat toksik seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lainnya. Agen Lingkungan Amerika Serikat (EPA) di dalam Mursyidin, (2006) melaporkan, terdapat 13 elemen logam berat yang diketahui berbahaya bagi lingkungan. Di alam,

unsur ini biasanya terdapat dalam bentuk terlarut atau tersuspensi (terikat dengan zat padat) serta terdapat sebagai bentuk ionik (Mursyidin, 2006).

Karakteristik dari kelompok logam berat (Palar, 2005) adalah sebagai berikut :

- a. Memiliki spesifikasi gravity yang sangat besar (lebih dari 4)
- b. Mempunyai nomor atom 22 – 34 dan 40 – 50 serta unsur-unsur lantanida dan aktanida.
- c. mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organism hidup.

Niebor dan Richardson dalam Palar (1994) menggunakan istilah logam berat untuk menggantikan pengelompokan ion-ion logam kedalam tiga kelompok biologi dan kimia (biokimia). Pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan *oxigen-seeking metal*.
- b. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga *nitrogen/sulfur seeking metal*.
- c. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam-logam atau ion-ion logam dari kelas A dan Iogam dari kelas B.

Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, menyebabkan alergi, bersifat mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia maupun hewan. Namun efek

gangguan terhadap kesehatan pada manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh dan besarnya dosis paparan.

Tingkat toksisitas logam berat pada manusia dari yang paling toksik adalah $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Ag} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Sn} > \text{Zn}$ sedangkan pada hewan air adalah $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Co}$ (Widiowati, dkk, 2008).

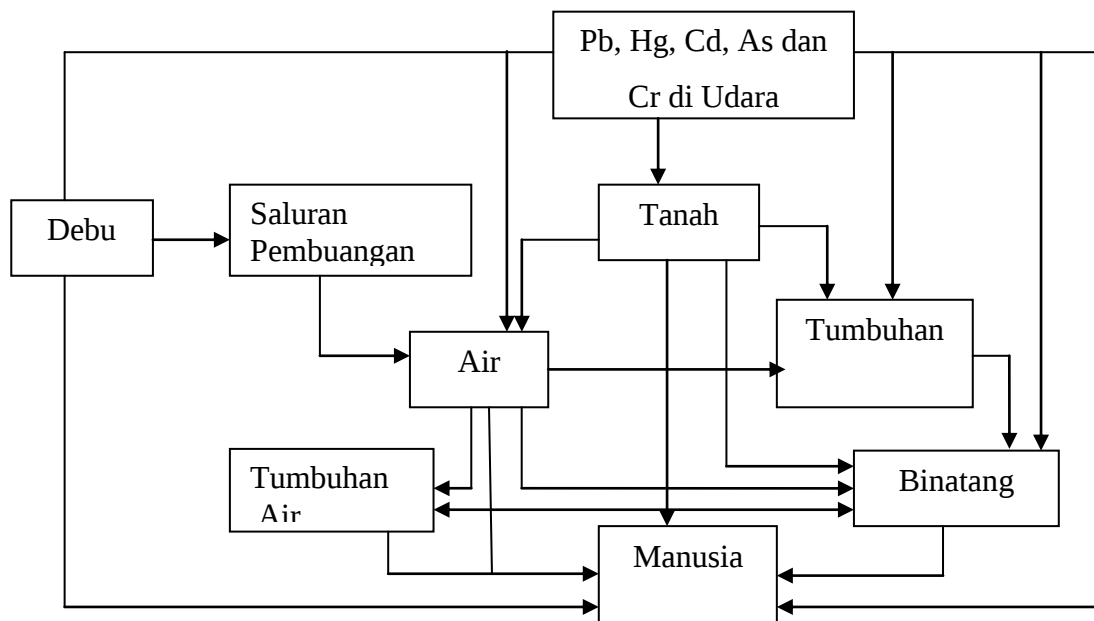
B. Tinjauan Tentang Logam Berat

Logam merupakan bahan pertama yang dikenal oleh manusia dan digunakan sebagai alat-alat yang berperan penting dalam sejarah peradaban manusia. Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam organisme hidup. Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup (Palar, 1994).

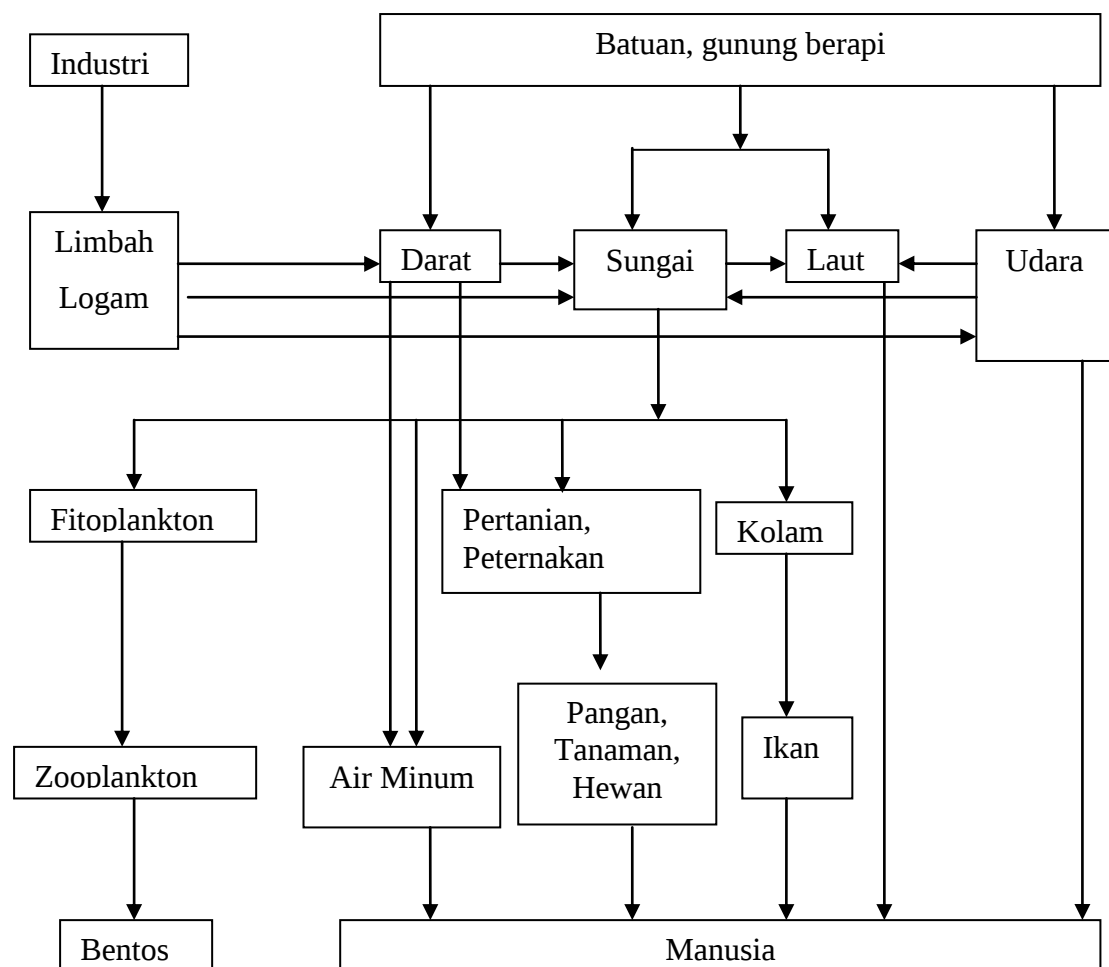
Tidak semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan pada makhluk hidup, besi merupakan logam yang dibutuhkan dalam pembentukan pigmen darah dan zink merupakan kofaktor untuk aktifitas enzim. Keberadaan logam berat dalam lingkungan berasal dari dua sumber. Pertama dari proses alamiah seperti pelapukan secara kimiawi dan kegiatan geokimiawi serta dari tumbuhan dan hewan yang membusuk. Kedua dari hasil aktivitas manusia terutama hasil limbah industri. Dalam neraca global sumber yang berasal dari alam sangat sedikit dibandingkan pembuangan limbah akhir di laut (Purnomo, 2009).

Terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti As, Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh (Purnomo, 2009).

Logam berat masuk ke tubuh manusia dapat melewati beberapa jalur, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar.1 di bawah ini



Gambar 1. Kontribusi Logam Berat Timah Hitam (Pb), Arsen (Hg) Dan Kadnium (Cd), Arsenic (As), Dan Cromium (Cr) Pada Intake Manusia (Sudarmaji, dkk., 2006 dalam Bahar, 2012)



Gambar.2 Perjalanan Logam Sampai Ke Tubuh Manusia (Widowati dkk, 2008).

C. Tinjauan Tentang Arsen

1. Karakteristik Arsen

Arsen (As) merupakan salah satu hasil sampingan dari proses pengolahan bijih logam non-besi terutama emas, yang mempunyai sifat beracun dengan dampak merusak lingkungan. Arsen (As) digunakan untuk campuran logam lain (Pb) dalam pembuatan *shot* (partikel bundar berukuran pasir) dan insektisida berbentuk arsenat-Ca dan Pb (Nurhayati, 2009).

Arsen dapat bersumber pula dari kegiatan peleburan logam, pembakaran batubara, dan pestisida yang mengandung arsen. Kontaminasi tanah oleh arsen berasal dari pabrik peleburan tembaga (Cu), batubara dan herbisida. Logam aluminium (Al_2O_3) dan logam besi (Fe_2O_3) akan mengabsorpsi Arsen (As). Kadar As dalam air adalah 0,5-2,3 $\mu\text{g/liter}$, sedangkan pada sedimen sebesar 7,2-28,8 mg/kg. Bioakumulasi terjadi pada mikroorganisme air seperti pada algae, rumput laut, dan crustacea (Mukono, 2005).

Arsen putih (As_2O_3) biasanya di gunakan untuk membasmi rumput liar; sementara arsenik tertentu di maanfaatkan dalam peleburan gelas, pengawet kayu dan kulit, bahan pencelup, pigmen, petasan/kembang api, dan bahan kimia. Penambangan logam mengandung As dan pembangunan tailing dengan keterlibatan atmosfer akan mempercepat mobilisasi unsur tersebut dan selanjutnya memasuki sistem air permukaan atau merembes ke dalam akifer-akifer air tanah setempat. Akibat merugikan dari arsen bagi kesehatan manusia adalah apabila terkandung lebih dari 100 ppm dalam air minum; dengan gejala

keracunan kronis berupa iritasi usus, kerusakan syaraf dan sel, kelainan kulit atau melanoma serta kanker usus. Ini terjadi di negara-negara yang memproduksi emas dan logam dasar diantaranya Afrika Selatan, Zimbabwe, India, Thailand, Cina, Filipina, dan Meksiko (Nurhayati, 2009)

Arsen, Arsenik, atau arsenikum adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol As dan nomor atom 33. Arsen (As) adalah metal yang mudah patah, berwarna keperakan dan sangat toksik. Arsen (As) elemental didapat alam dalam jumlah yang sangat terbatas, terdapat bersama-sama Cu (Nurhayati, 2009).

Jika dilihat dari sifat kelarutannya, terdapat perbedaan diantara beberapa persenyawaan arsen. hal ini dapat dilihat dari tabel berikut :

Tabel.1 Jenis Senyawa Arsen Yang Terdapat di Lingkungan Kerja

Nama	Rumus Kimia	Sifat fisik - kimia
Arsen trioksida	As_2O_3 atau As_4O_6	Larut dalam air dingin, hangat, basa dan HCl
Arsen pentoksida	As_2O_5	Sangat mudah larut dalam air, basa, dan asam
Arsen trisulfida	As_2S_3	Sulit larut dalam air, mudah larut dalam asam dan basa
Gallium arsenida	GaAs	Sedikit larut dalam air, larut dalam buffer fosfat pH 7

Nama	Rumus Kimia	Sifat Fisik-Kimia
Arsine atau hidrogen arsenida	AsH_3	Gas yang tidak berwarna, tidak <i>flamable</i> , berbau seperti bawang putih (<i>garlic odour</i>).

Sumber : National Academy of Science dalam Bahar (2012).

2. Klasifikasi Arsen

a) Arsen Inorganik

Senyawa arsen dengan oksigen, klorin atau belerang dikenal sebagai arsen inorganik. Arsen trioksida (As_2O_3 atau As_4O_6) dan arsenat/arsenit merupakan bentuk arsen inorganik berbahaya bagi kesehatan manusia. Pada suhu di atas 1.073°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. Kelarutan arsen trioksida dalam air rendah, kira-kira 2% pada suhu 25°C dan 8,2% pada suhu 98°C . Sedikit larut dalam asam membentuk asam arsenide (H_3AsO_3). Arsen trioksida sangat cepat larut dalam asam klorida dan alkalis (Durrant dan Durrant, 1963; Carapella, 1973).

b) Arsen Organik

Senyawa dengan *carbon* dan *hydrogen* dikenal sebagai arsen organik. Arsen bentuk organik yang terakumulasi pada ikan dan kerang-kerangan, yaitu arsenobetaine dan arsenokolin mempunyai sifat nontoksik. Sebagaimana diketahui bahwa arsen inorganik lebih beracun dari pada arsen

organik. Senyawa arsen organik sangat jarang dan mahal. Ikatan carbon-arsen sangat stabil pada kondisi pH lingkungan dan berpotensi teroksidasi. Beberapa senyawa methylarsenic sebagaimana di dan trimethylarsenes terjadi secara alami, karena merupakan hasil dari aktivitas biologik. Di dalam air senyawa ini bisa teroksidasi menjadi methylarsenic acid Senyawa arsen organik lainnya seperti : arsenobetaine dan arsenocholine bisa ditemukan pada kehidupan laut dan sangat tahan terhadap degradasi secara kimiawi (Lauwerys et al, 1979).

Berbagai macam senyawa arsen adalah sebagai berikut:

- a. Asam arsenat (H_3AsO_4)
- b. Asam arsenit (H_3AsO_3)
- c. Arsen trioksida (As_2O_3)
- d. Arsin (Arsen Trihidrida AsH_3)
- e. Kadmium arsenida (Cd_3As_2)
- f. Galium arsenida (GaAs)
- g. Timbal biarsenat (PbHAsO_4)

3. Sumber Arsen

Seperti kebanyakan zat kimia lain, pemaparan manusia terhadap arsenik tersedia dari sumber alami, sumber alami, sumber industri, dan sumber pertanian. Arsenik juga dapat ditemukan dalam bijih tambang berbagai logam seperti emas, timbal, tembaga, timah, dan zink. Arsenik dilepas ke atmosfer sebagai produk samping dari peleburan bijih tambang nonfero, dari proses pembuatan pestisida, dan dari pembakaran kaca yang digunakan untuk pembuatan gelas. Karena

senyawa arsenik terkadang dipakai sebagai pestisida, maka debu dan gas yang dilepaskan dari mesin pemisah biji kapas dan dari mesin pemotong tembakau mengandung arsenik (WHO, 2000).

Dalam kerak bumi, arsen terdapat pada konsentrasi rata-rata 2-5 ppm. Pembakaran bahan bakar fosil terutama batu bara, mengeluarkan sejumlah As_2O_3 ke lingkungan dan sebagian besar akan masuk ke dalam perairan. Arsen terdapat di alam bersama-sama dengan mineral fosfat dan dilepaskan ke lingkungan bersama dengan senyawa fosfor (Achmad, 2004).

Meskipun arsen merupakan logam yang terdapat dimana-mana, kadarnya dalam air dan udara sehari-hari biasanya rendah. Sumber utama pajanan manusia adalah makanan, dan makanan hasil laut kadar arsen dapat mencapai 5 ppm (Nurhayati, 2009).

Sumber alami arsenik dalam air segar terjadi karena erosi permukaan dan erosi batu-batuan vulkanis. Air dimusim semi yang panas ternyata dapat mengandung arsenik sampai 14 ppm. Organisme laut terpapar arsenik dalam konsentrasi 0.01-200 ppm, merupakan konsentrasi yang paling tinggi dari semua binatang yang ada (WHO, 2000).

4. Kegunaan Arsen

Karena arsen dapat berikatan dengan Cu membentuk CuAs sehingga didapat sebagai produk sampingan pabrik peleburan Cu. Arsen sering digunakan untuk racun tikus, pestisida, herbisida, insektisida dan keracunan arsen pada manusia sudah dikenal baik yang disengaja maupun tidak disengaja.

Senyawa arsen terutama digunakan di dalam pertanian dan kehutanan. Sejumlah kecil digunakan dalam industri keramik, gelas, dan sebagai zat aditif. Contoh penggunaan arsen trioksida pada tahun 1975-1978 adalah sebagai berikut : pembuatan zat kimia untuk pertanian (pestisida) 82%, gelas dan peralatan dari gelas (pecah belah) 8%, industri kimia seperti amalgam dari tembaga, timah hitam, dan farmasi 10%.

Di dalam pertanian, senyawa timah arsenat , tembaga acetoarsenit, natrium arsenit, kalsium arsenit, dan senyawa arsen organik digunakan sebagai pestisida. Sejumlah kecil methylarsenik acid dan dimethylarsenik acid secara selektif digunakan sebagai herbisida. Herbisida ini terutama penting untuk pembasmian *sorghum halepense* dalam perkebunan kapas. Bahan-bahan tersebut juga digunakan untuk pembasmian terhadap rerumputan sebagaimana "sandbur" (*cenchrus sp*), cocklebur (*xanthium sp*), dan rumput ketam dalam petak rumput. *Dimethylarsinic acid* digunakan sebagai silvisida dalam perlindungan hutan.

Tembaga arsenat, natrium arsenat, dan seng arsenat bila ditambahkan senyawa kromat dapat digunakan untuk pengawetan kayu (Sukar, 2003), yang mana senyawa ini digunakan di bawah tekanan dan bereaksi dengan kayu dan menghasilkan senyawa tidak larut dalam air. Pengawetan gelondong kayu ini tahan pada serangan jamur dan insektisida (Sukar, 2003). Penggunaan arsen dalam bidang pengawetan kayu ini dari tahun ke tahun semakin bertambah.

Beberapa senyawa *phenylarsenic* sebagaimana *arsenic acid* digunakan sebagai aditif pada peternakan ayam untuk melawan serangan penyakit. Sejumlah kecil senyawa arsen di beberapa negara secara kontinyu digunakan untuk obat-

obatan. Penggunaan lain dari arsen ditemukan dalam bidang peleburan baja, di mana digunakan sebagai doping germanium dan silikon atau dalam produksi gallium arsenida dan indium arsenida (Sukar, 2003).

5. Absorpsi, Distribusi, dan Ekskresi Arsen (As)

Menurut Nurhayati (2009), selain menyebabkan efek lokal di tempat kontak, suatu zat akan menyebabkan kerusakan bila diserap oleh organisme. Absorpsi dapat terjadi melalui kulit, saluran cerna, dan saluran nafas. Selain itu sifat dan hebatnya zat kimia terhadap organisme tergantung dari kadarnya dari organ sasaran. Kadar ini tidak hanya tergantung pada konsentrasi dosis yang diterima, tetapi juga pada faktor lain misalnya derajat absorpsi, distribusi, dan ekskresi.

Racun arsen yang masuk ke dalam saluran cerna akan diserap secara sempurna di dalam usus dan masuk ke aliran darah dan disebar ke seluruh organ tubuh. Sebagai suatu racun protoplasmik arsen melakukan kerjanya melalui efek toksik ganda, yaitu :

1. Arsen mempengaruhi respirasi sel dengan cara mengikat gugus *sulphidril* (SH) pada *dihidrolipoat* sehingga menghambat kerja enzim yang terikat dengan transfer energi, terutama pada *piruvate* dan *succinate oxidative pathway*, sehingga menimbulkan efek patologis yang reversibel. Efek toksik ini dikatakan reversible karena dapat dinetralkan dengan pemberian dithiol, 2,3, dimerkaptopropanol (dimercaprol, *British Anti-Lewisite* atau BAL) yang akan berkomptisi dengan arsen dalam mengikat gugus *sulphidril* (2,3). Selain itu

sebagian arsen juga menggantikan gugus fosfat sehingga terjadi gangguan oksidasi fosforilasi dalam tubuh.

2. Senyawa arsen memiliki tempat predileksi pada endotel pembuluh darah, khususnya di daerah *spalnik* dan menyebabkan paralisis kapiler, dilatasi dan peningkatan permeabilitas yang patologis. Pembuluh darah jantung yang terkena menyebabkan timbulnya *petekie subepikardial* dan *subendokardial* yang jelas serta ekstrasvasi perdarahan. Efek lokal arsen pada kapiler menyebabkan serangkaian respons mulai dari kongesti, statis serta trombosis sehingga menyebabkan nekrosis dan iskemia jaringan.
3. Di dalam darah, arsen yang masuk akan mengikat globulin dalam darah. Dalam waktu 24 jam setelah dikonsumsi, arsen dapat ditemukan dalam konsentrasi tinggi di berbagai organ tubuh, seperti hati, ginjal, limpa, paru-paru serta saluran cerna, dimana arsen akan mengikat gugus sulfhidril dalam protein jaringan. Sebagian kecil dari arsen yang menembus *blood brain barrier*. Di dalam tulang arsen menggantikan posisi fosfor, sehingga arsen dapat dideteksi di dalam tulang setelah bertahun-tahun kemudian.

Sebagian arsen dibuang melalui urin dalam bentuk methylated arsenik dan sebagian lainnya ditimbun dalam kulit, kuku dan rambut. Fakta terakhir ini penting, karena setiap kali ada paparan arsen, maka menambah depot arsen dalam kulit, kuku dan rambut. Dalam penyidikan kasus pembunuhan dengan menggunakan arsen, adanya persamaan peracunan kronis dan berulang dapat

dilacak dengan melakukan pemeriksaan kadar arsen pada berbagai bagian (fragmen) potongan rambut dari pangkal sampai ujungnya.

Bentuk fisik senyawa arsen yang masuk ke dalam tubuh mempengaruhi efeknya pada tubuh. Menelan senyawa atau garam arsen dalam bentuk larutan lebih cepat penyerapannya dibandingkan penyerapan arsen dalam bentuk padat. Penyerapan senyawa arsen dalam bentuk padat halus lebih cepat dibandingkan bentuk padat kasar, sehingga gejala klinis yang terjadipun lebih berat juga. Secara umum efek arsen terhadap tubuh tergantung dari sifat fisik dan kimiawi racun, jumlah racun yang masuk, kecepatan absorpsi, serta kecepatan dan jumlah eliminasi, baik yang terjadi alamiah (melalui muntah atau diare) maupun buatan, misalnya akibat pengobatan.

Arsen anorganik yang masuk ke tubuh wanita hamil dapat menembus pembuluh darah plasenta dan masuk ke tubuh janin. Pada keadaan ini pemberian obat *BAL* tampaknya aman, tetapi D-penicillamin tidak boleh diberikan karena bersifat teratogen pada janin (Nurhayati, 2009).

Untuk eliminasi satu dosis terapeutik arsen dari semua jaringan (kecuali rambut dan kuku) diperlukan waktu 2 minggu. Setelah itu sejumlah kecil arsen akan tetap dijumpai dalam urin dan feses selama berbulan-bulan kemudian setelah paparan arsen jangka panjang dihentikan. Ekskresi arsen lewat urin mencapai puncaknya dalam beberapa hari setelah *intake* oral dosis tunggal atau setelah penghentian paparan kronis. Eliminasi melalui urin ini tidak berlangsung seragam, sehingga kadarnya dalam urin bervariasi dari hari ke hari. Dengan demikian untuk mendapatkan data akurat mengenai keadaan pasien dan respons terhadap terapi,

maka pemeriksaan urin harus dilakukan pemeriksaan serial pada beberapa sampel urin 24 jam (Nurhayati, 2009).

D. Dampak Arsen Pada Lingkungan

1. Pencemaran Lingkungan Oleh Arsen

Pembakaran batubara dan pelelehan logam merupakan sumber utama pencemaran arsen dalam udara. Pencemaran arsen terdapat di sekitar pelelehan logam (tembaga dan timah hitam). Arsen merupakan salah satu hasil sampingan dari proses pengolahan bijih logam non-besi terutama emas, yang mempunyai sifat sangat beracun. Ketika tailing dari suatu kegiatan pertambangan dibuang di dataran atau badan air, limbah unsur pencemar kemungkinan tersebar di sekitar wilayah tersebut dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Bahaya pencemaran lingkungan ini terbentuk jika tailing yang mengandung unsur tersebut tidak ditangani secara tepat.

Tingginya tingkat pelapukan kimiawi dan aktivitas biokimia pada wilayah tropis, akan menunjang percepatan mobilisasi unsur-unsur berpotensi racun. Selanjutnya dapat memasuki sistem air permukaan atau merembes ke dalam akifer-akifer air tanah setempat. Ini terjadi di negara-negara yang memproduksi emas dan logam dasar (Adnan, 2011).

Sumber pencemaran arsen juga dapat berasal dari:

1. Pembakaran kayu yang diawetkan oleh senyawa arsen pentavalen, dapat menaikkan kadar arsen di udara.
2. Pusat listrik tenaga panas bumi (geothermal) yang dapat menyebabkan kontaminasi arsen pada udara ambient.

3. Pupuk yang di dalamnya mengandung arsen.

2. Keberadaan Arsen di Perairan

Arsen terlarut dalam air dalam bentuk organik dan anorganik (Braman, 1973; Crecelius, 1974). Jenis arsen bentuk organik adalah *methylarsenic acid* dan *methylarsenic acid*, sedang anorganik dalam bentuk arsenit dan arsenat. Kandungan arsen pada air permukaan di lokasi tercemar bervariasi yaitu berkisar 1 µg/l. Hasil studi di Amerika Serikat pada 80% sampel air sungai menunjukkan kandungan arsen kurang dari 0,01 mg/l (Durum, 1971). Sedangkan jurnal kutipan Sukar (2003) mendapatkan rata-rata kadar arsen 0,003 mg/l di air sungai dan 0,004 mg/l dalam air danau di Jerman Barat. Rata-rata kadar arsen 0,0025 mg/l telah dilaporkan dalam beberapa sungai di Norwegia (Lenvink, 1978). Kadar arsen tertinggi telah dilaporkan di Antofagasta, Chile, di mana rata-rata kadar arsen dalam air sungai yang digunakan untuk suplai air minum antara tahun 1958 sampai 1970 rata-rata adalah 0,8 mg/l (Borgono, 1977). Bentuk oksida arsen pada air permukaan dari berbagai belahan dunia belum diketahui secara pasti sampai saat ini. Braman dan Foreback (1973) menemukan bahwa rasio kadar arsen anorganik bentuk trivalen dan pentavalen adalah 0,06 dan 6,7 mg/l. Clement dan Faust (1973) telah menganalisa dua sampel air tanah ternyata kandungan arsen cukup tinggi yaitu 224 dan 280 mg/l dan menemukan bahwa kira-kira 50% terlarut dalam bentuk arsen trivalen, sedang air tanah yang mengalir 26%.

Penrose (1977) melaporkan bahwa air laut mengandung kadar arsen antara 0,0010,008 mg/l. Kadar arsen 0,002 mg/l juga telah dilaporkan oleh Johnson dan Braman (1975a).

Selain itu As juga terlarut dalam air sumur dalam. Dari suatu daerah di Alaska terdeteksi kadar arsen cukup tinggi yaitu antara 0,52-3,6 mg/l dari 5 sampel air yang diambil, sedangkan yang terlarut sebagai arsen trivalen (3-39%) sisanya arsen pentavalen, sedangkan metil arsenat tidak terdeteksi (Harrington, 1978).

Arsen merupakan salah satu dari 14 logam berat berbahaya yang terkandung dalam batubara, berikut di bawah ini tabel dari kandungan PHTE's (*potentially hazardous trace elements*) dari batubara di dunia.

Tabel. 2 Kandungan PHTE's dari batubara Amerika, batubara Dunia (ppm)

Elemen	Batubara Amerika ^{a)}		Batubara Dunia ^{b)}		Nilai Clarke ^{c)}
	Kisaran	Rata-rata	Kisaran	Rata-rata	
As	0.1-420	24	0.5-80	5	1.8
Cd	0.01-170	0.47	0.1-3	0.3	0.2
Co	0.06-930	6.1	0.5-30	5	25
Cr	0.25-43	15	0.5-60	10	100
Cu	0.13-433	16	0.5-50	15	55
Hg	0.01-8	0.17	0.02-1.0	0.012	0.08
Mn	0.75-3500	43	5-300	50	950
Mo	0.1-280	3.3	0.1-10	5	1.5
Ni	0.32-580	14	0.5-50	15	75
Pb	0.3-590	11	2-80	25	12.5
Sb	0.04-43	1.2	0.05-10	3	0.2
U	0.04-79	2.1	0.5-1	1-3	1.8
V	0.1-5100	22	2-100	25	135
Zn	0.85-5100	53	5-300	50	70

Sumber : Syam, 2008

Kadar arsen tinggi juga ditemukan pada air di lokasi di mana terdapat aktivitas panas bumi (*geothermal*). Air panas bumi di New Zealand menunjukkan kadar arsen di atas 8,5 mg/l (Sukar, 2003). Sedangkan panas bumi di Jepang kandungan arsen antara 1,8-6,4 mg/l, dan air yang mengalir mengandung arsen kira-kira 0,002 mg/l. Pada pengeboran panas bumi, 90% kadar arsen bentuk trivalen (Nakahara, 1978).

Tabel.3 Standar Konsentrasi Arsen Dalam Air

No	Peruntukan Air	Kadar yang diperbolehkan	Peraturan / Dasar Hukum
1	Air minum	0,01 mg/l	Permenkes 907 tahun 2002
2	Air bersih	0,05 mg/l	Permenkes 416 tahun 1990
3	Air Golongan A (standar air minum)	0,05 mg/l	Kep. Men KLH no 2 tahun 1988
4	Air Golongan B (perikanan)	0,05 mg/l	Kep. Men KLH no 2 tahun 1988
5	Air Golongan C (pertanian)	0,05 mg/l	Kep. Men KLH no 2 tahun 1988
6	Air Golongan D	0,5 mg/l	Kep. Men KLH no 2 tahun 1988

Sumber : (Wardhana, 2004)

1. Keberadaan Arsen di Tanah (Sedimen)

Di batuan atau tanah, arsen (As) terdistribusi sebagai mineral. Kadar As tertinggi dalam bentuk arsenida dari amalgam tembaga, timah hitam, perak dan bentuk sulfida dari emas. Mineral lain yang mengandung arsen adalah arsenopyrite (FeAsS), realgar (As_4S_4), dan orpiment (As_2S_3). Secara kasar kandungan arsen di bumi antara 1,5-2 mg/kg (NAS, 1977). Bentuk oksida arsen banyak ditemukan pada deposit/sedimen, dan akan stabil bila berada di lingkungan. Tabel 1 menunjukkan kandungan arsen dalam batu api dan batuan alam dimana kadar As terendah adalah jenis *andesitas* yang merupakan batu api dengan kadar antara 0,5-5,8 mg/kg. Sedangkan kadar As tertinggi adalah pada jenis *shales and clay* jenis batuan sedimen dengan kadar antara 0,3-490 mg/kg.

Kadar arsen tinggi bisa terjadi di batubara. Rata-rata kandungan As pada batubara di Amerika Serikat antara 1-10 mg/kg (Davis, 1977). Di beberapa

tambang batubara di Cekoslowakia ternyata sangat tinggi kadar arsennya yaitu 1500 mg/kg (Cmarko, 1963).

Tanah yang tidak terkontaminasi arsen ditemukan mengandung kadar As antara 0,240 mg/kg, sedang yang terkontaminasi mengandung kadar As rata-rata lebih dari 550 mg/kg (Walsh dan Keeney, 1975). Tanah di kota Antofagasta, Chile, secara alami mengandung As kira-kira 3,2 mg/kg (Borgono dan Greiber, 1972). Di Comarca Lagunera, Meksiko, kadar As antara 3-9 mg/kg di permukaan tanah dan 20 mg/kg di bagian dalamnya (Gonzalez, 1977). Secara alami kandungan arsen dalam sedimen biasanya di bawah 10 mg/kg berat kering. Sedimen bagian bawah dapat terjadi karena kontaminasi yang berasal dari sumber buatan kering ditemukan pada sedimen bagian bawah yang dekat dengan buangan pelelehan tembaga di Washington, Amerika Serikat (Crecelius, 1974).

95% arsen yang dibebaskan ke tanah berasal dari kegiatan industri. Misalnya, penggunaan pestisida, limbah disposal, dan limbah lumpur industri (Widowati dkk, 2008).

Tabel.4 Kandungan arsen dalam batu api dan batuan alam

Jenis	Kandungan As (mg/kg)
<u>Batu api</u> (<i>igneous rocks</i>)	
Ultrabasic	0.3-16
Basalts	0.06-113
Andesites	0.5-5.8
Granitic	0.2-13.8
Silicic, volcanic	0.2-12.2
<u>Batuan sedimen</u> (<i>sediment rocks</i>)	
Limestones	0.1-20
Sandstones	0.6-120
Shales and clay	0.3-490
Phosphorites	0.4-188

Sumber : National Academy of Science dalam Sukar, 2003

Adanya arsen dalam sedimen sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh WALHI yang menyatakan bahwa pencemaran arsen di sedimen Teluk Buyat mencapai 666 mg/kg sehingga di kategorikan tercemar berdasarkan acuan data di Kelauan ASEAN (ASEAN marine guideline) yang seharusnya hanya sebesar 50-300 mg/kg, yang melampaui standar baku sedimen Amerika Serikat, Kanada, dan Selandia Baru, yakni sebesar 42 mg/kg (Widowati, 2008).

3. Keberadaan Arsen di Biota Perairan

Penyerapan ion arsenat dalam tanah oleh komponen besi dan aluminium, sebagian besar merupakan kebalikan dari penyerapan arsen pada tanaman (Wallsh, 1977). Kandungan arsen dalam tanaman yang tumbuh pada tanah yang tidak tercemari pestisida bervariasi antara 0,01-5 mg/kg berat kering (NAS, 1977). Tanaman yang tumbuh pada tanah yang terkontaminasi arsen selayaknya mengandung kadar arsen tinggi, khususnya di bagian akar (Walsh dan Keene, 1975; Dobbs dan Grant, 1977). Beberapa rerumputan yang mengandung kadar arsen tinggi merupakan petunjuk/indikator kandungan arsen dalam tanah (Porter dan Peterson, 1975). Anderson dan Nilson (1972) melaporkan bahwa lumpur yang mengandung arsen sangat baik digunakan untuk tanaman. Kebalikan dengan hal tersebut Furr dalam Sukar (2003) mengklaim bahwa tanah yang mengandung arsen tidak baik untuk tanaman.

Ganggang laut dan rumput laut umumnya mengandung sejumlah kecil arsen. Tembaga arsenat, natrium arsenat, dan seng arsenat bila ditambahkan senyawa kromat dapat digunakan untuk pengawetan kayu (Sukar, 2003), yang mana senyawa ini digunakan di bawah tekanan dan bereaksi dengan kayu dan

menghasilkan senyawa tidak larut dalam air. Pengawetan gelondong kayu ini tahan pada serangan jamur dan insektisida (Sukar, 2003). Penggunaan arsen dalam bidang pengawetan kayu ini dari tahun ke tahun semakin bertambah.

Beberapa senyawa phenylarsenic sebagaimana *arsenic acid* digunakan sebagai aditif pada peternakan ayam untuk melawan serangan penyakit. Sejumlah kecil senyawa arsen di beberapa negara secara kontinyu digunakan untuk obat-obatan. Penggunaan lain dari arsen ditemukan dalam bidang peleburan baja, di mana digunakan sebagai doping germanium dan silikon atau dalam produksi gallium arsenida dan indium arsenida.

Keberadaan arsen di biota juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh WALHI bahwa, kadar arsen (As) rata-rata pada ikan Teluk Buyat adalah sebesar 1,37 mg/kg melampaui baku mutu kadar total arsen yang ditetapkan oleh Ditjen POM, yakni sebesar 1 mg/kg.

Begitu pula pada plankton, konsentrasi arsen pada plankton di teluk buyat cukup tinggi. Plankton mengandung arsen sebesar 17,48 ppm, sedangkan penelitian lain menunjukkan kadar arsen dalam ikan sebesar 1,38 ppm. Jika masuk ke dalam rantai makanandan melalui biomagnifikasi, pada akhirnya arsen dapat ditemukan di dalam tubuh manusia (WHO, 2004).

E. Dampak Arsen Pada Kesehatan

Intoksikasi tubuh manusia terhadap arsen dapat berakibat buruk terhadap mata, kulit, darah, dan liver. Efek arsen terhadap mata adalah gangguan penglihatan dan kontraksi mata pada bagian perifer sehingga mengganggu daya pandang (*visual fields*) mata.

Pada kulit menyebabkan berwarna gelap (hiperpigmentasi), penebalan kulit (hiperkeratosis), timbul seperti bubul (clavus), infeksi kulit (dermatitis) dan mempunyai efek pencetus kanker (karcinogenik). Pada darah, menyebabkan kegagalan fungsi sumsum tulang dan terjadinya pancytopenia (yaitu menurunnya jumlah sel darah perifer). Pada liver, mempunyai efek yang signifikan pada paparan yang cukup lama (paparan kronis), berupa meningkatnya aktifitas enzim pada liver (enzim SGOT, SGPT, gamma GT), *ichterus* (penyakit kuning), *liver cirrhosis* (jaringan hati berubah menjadi jaringan ikat dan ascites) tertimbunnya cairan dalam ruang perut.

SGOT dan SGPT merupakan dua enzim *transaminase* yang dihasilkan terutama oleh sel-sel hati. Bila sel-sel hati rusak, biasanya kadar kedua enzim ini meningkat sedangkan Gamma GT adalah enzim yang berhubungan dengan penanda adanya sumbatan pada kantung empedu.

Pada ginjalakan menyebabkan kerusakan ginjal berupa *renal damage* (terjadi ischemia dan kerusakan jaringan). Pada saluran pernafasan, akan menyebabkan timbulnya laryngitis (infeksi laring), bronchitis (infeksi bronchus) dan dapat pula menyebabkan kanker paru. Pada pembuluh darah, logam berat arsen (As) dapat mengganggu fungsi pembuluh darah, sehingga dapat megakibatkan penyakit arteriosclerosis (rusaknya pembuluh darah), *portal hypertention* (hipertensi oleh karena faktor pembuluh darah portal), oedema paru dan penyakit pembuluh darah perifer (varises, penyakit burger).

Pada sistem reproduksi, efek arsen terhadap fungsi reproduksi biasanya fatal dan dapat pula berupa cacat bayi waktu dilahirkan, lazim disebut efelk

malformasi. Pada sistem imunologi, terjadi penurunan daya tahan tubuh/ penurunan kekebalan, akibatnya peka terhadap bahan karsinogen (pencetus kanker) dan infeksi virus. Pada sistem sel, efek terhadap sel mengakibatkan rusaknya mitokondria dalam inti sel menyebabkan turunnya energi sel dan sel dapat mati. Pada gastrointestinal (saluran pencernaan), arsen (As) akan menyebabkan perasaan mual dan muntah, serta nyeri perut, mual (*nausea*) dan muntah (*vomiting*) (Nurhayati, 2009).

1. Secara Akut

Pada konsentrasi 0,05 mg/l telah menimbulkan bahaya pada lingkungan laut (Nurhayati, 2009). Apabila arsen termakan dalam jumlah sedikit, tanda dan gejalanya mungkin tidak akan terlihat, akibatnya diagnosis pasti tidak dapat diketahui. Tetapi bila termakan dalam jumlah besar, kematian dapat terjadi dengan mendadak dan biasanya tanpa memperlihatkan gejala klinis. Bau bafas yang khas seperti bau bawang putih tercium pada nafas korban keracunan dan hal ini dapat dipakai sebagai petunjuk yang kuat dari keracunan arsen akut.

Pertama terjadi dilatasi pembuluh darah kapiler, kemudian terjadi kerusakan arteriola (arteri paru) dan myocardial (arteri otot jantung). Bila penderita dapat bertahan pada toksisitas akut ini gambaran ECG (*Electro Cardiografi*) terlihat abnormal dan mungkin akan terjadi selama beberapa bulan. Pada umumnya reaksi toksis pada peristiwa keracunan akut ini terjadi 30 menit sampai 1 jam setelah menelan arsen dalam dosis yang tinggi.

Gejala yang terlihat menunjukkan adanya tanda-tanda radang lambung dan usus (gastroenteritis) yang parah, dimulai dengan rasa terbakar tenggorakan ,

sulit untuk menelan, dan sakit perut yang sangat. Gejala ini diikuti dengan rasa mual (*nausea*), rasa ingin muntah dan diare. Diare profus dengan feces bercampur air dan lendir. Gejala ini mirip dengan kolera, tetapi segera diikuti dengan diare bercampur darah. Hal ini disebabkan karena terjadinya iritasi dan pembengkakan dinding mukosa lambung yang terisi transudat (cairan dari kapiler darah).

Bila vesicula pecah dan cairan masuk ke dalam saluran gastro intestinal jaringan mengelupas, plasma darah masuk dalam rongga usus dan terjadi koagulasi. Volume cairan yang meningkat dalam usus, akan menyebabkan diare campur darah. Perdarahan saluran pencernaan dapat menyebabkan penurunan tekanan darah dengan cepat sehingga darah menjadi kolaps.

Kerusakan ginjal terjadi pada pembuluh darah kapiler dalam tubulus dan glomerulus. Glomerulus ginjal rusak dan terisi dengan plasma protein di dalam kapiler yang dilatasi. Tubulus ginjal menjadi nekrosis sehingga penurunan urine yang keluar menyebabkan *annuria* (tidak dapat kencing).

Hasil pemeriksaan darah memperlihatkan adanya perubahan bentuk sel darah, dan jumlah sel darah merah dan putih sangat menurun. Hati menunjukkan adanya degenerasi lemak, diikuti dengan nekrosis centralis disertai dengan sirosis hepatis.

Tanda-tanda toksitas arsen yang akut juga terlihat jelas dengan ditemukannya gejala rambut rontol (*kebotakan/alopsea*), tidak berfungsinya saraf tepi yang ditandai dengan kelumpuhan anggota gerak bagian bawah, kaki lemas, persendian tangan lumpuh, dan daya releks menurun.

2. Secara Kronis

Toksisitas kronis terjadi bila preparat arsen (As) sebagai obat, yang paling populer ialah obat penyakit kulit tertentu. Bila kulit diolesi obat yang mengandung arsen dosis rendah, akan terlihat warna kemerahan pada kulit tersebut, hal ini disebabkan oleh adanya pelebaran pembuluh darah kapiler kulit (fase dilator). Bila pemberian dilakukan terus-menerus akan terjadi hyperkeratosis, keratosis telapak tangan dan kaki serta dermatitis, terutama di daerah yang mengeluarkan keringat seperti ketiak dan persendian. Dermatitis disebabkan oleh pengaruh iritasi dan sensitifitas terhadap arsen (As).

Keracunan kronis juga terjadi dari dalam tubuh (per oral dosis rendah) yang terlihat dari gejala kelemahan, kurang nafsu makan, berat badan menurun dan iritabilitas. Gejala tersebut merupakan gejala umum yang tidak menimbulkan gejala khas keracunan arsen. Gejala yang khas dari keracunan arsen ini ialah warna cokelat gelap pada kulit dan perubahan kulit. Kuku menebal, terciri dengan garis putih diatas persambungan kuku.

Gangguan saraf perifer akan mulai terlihat pada fase lanjut. Saraf kaki akan lebih parah daripada saraf tangan, menyebabkan kelumpuhan pada saraf motorik dan sensorik. Terlihat kecenderungan terjadinya ulcer (borok) dalam saluran pencernaan, hepatitis kronis, dan sirosis.

Pada pemeriksaan darah tepi terlihat adanya pancytopenia (sel darah berkurang), terutama neutropenia (sel darah putih menurun). Produksi sel darah merah terhenti dan adanya gambaran *basofilik stippling*. Anemia yang ada hubungannya dengan defisiensi asam folat juga terlihat.

Pada penelitian epidemiologi, nyata hubungannya antara toksisitas kronis dari arsentrivalen dan arsenpentavelan dengan ditemukannya kasus kanker paru, kanker limfa dan kanker kulit (Nurhayati, 2009).

Beberapa jenis penyakit dan organ tubuh yang diserang akibat paparan arsen secara kronis dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel.5 Resiko Kesehatan yang dapat terjadi oleh Konsentrasi Arsen dalam air

No.	Efek kesehatan	Gejala	Dosis Paparan (mg/kg/hari)	Kuantitas minum dalam 1 hari (L/hari)	Konsentrasi Arsenik dalam air minum (µg/l)
1	Efek Pernapasan	Gangguan Batuk, Sputun, rhinorrhea dan kerongkongan	0.03-0.05	2 L/hari	900-1500 µg/l
				3 L/hari	600-1000µg/l
				5 L/hari	360-600µg/l
2	Efek Vascular	Blackfoot Disease : Kehilangan sirkulasi pada tangan dan kaki dengan gangguan berat nekrosis dan gangren	-		
		Kardiovaskulerarteri, arterioles dan penyakit serebrovaskular	-		
3	Efek Gastrointestinal	Tanda klinis pada iritasi gastrointestinal yang diobservasi	0.01/0.04	2 L/hari	300µg/l ' 1200µg/l
				3 L/hari	200 µg/l/800µg/l
				5 L/hari	120µg/l /480µg/l
		Anemia dan Leukopenia	0.05	2 L/hari	1500µg/l
				3 L/hari	1000µg/l
				5 L/hari	600µg/l
4	Efek Hematologi	Uji klinis jarang menunjukkan efek pada liver dan analisis pada darah terkadang gmenunjukkan level elevasi pada enzim hepatic	0.01-0.1/0.06	2 L/hari	300-3000 /180µg/l
				3 L/hari	200-2000 /120µg/l
				5 L/hari	120-1200 / 72µg/l
5	Efek Renal	Lambung kurang sensitif terhadap arsenik dan pada beberpa sistem organ			
6	Efek Endokrin	Diabetes			
7	Efek Dermal (efek non cancer)	Perubahan kulit dengan hiperkeratosis	0.04 (6 bulanhingga 3 tahun)	2 L/hari	1200µg/l
				3 L/hari	600µg/l
				5 L/hari	480µg/l

8	Efek ocular	Edema pada wajah	0.05 (2-3 minggu)	2 L/hari	1500µg/l
				3 L/hari	1000µg/l
				5 L/hari	600µg/l
9	Efek pada Berat Badan	Kehilangan berat : kehilangan 40 pounds (18 kg) per orang	0.06 (4 bulan)	2 L/hari	1800µg/l
				3 L/hari	1200µg/l
				5 L/hari	720µg/l
10	Efek imunologis dan lymphoproliferatif				
11	Efek Neurologikal	Neuropathy Periferik simetris : Sakit kepala, bersin, insomnia, mimpiburuk	0.03-0.1	2 L/hari	900-3000
				3 L/hari	600-2000
				5 L/hari	360-1200
12	Efek reproduksi	Aborsi spontan			
13	Efek Genotoksik	Efek kromosomal			
14	Kanker	Kanker kulit	Kurang dari 1 tahun		500
		Kanker internal : Ginjal, Lambung, liver, paru-paru, prostat			

Sumber : *An Overview Of Current Operational Response to the Arsenic Issue in South and East Asia*. Amal Tabi (World Bank dalam Bahar (2012))

Tabel.6 Toksisitas arsen (As) pada penduduk Bangladesh yang minum air tercemar oleh arsen (As). (O'Connor, 2002d)

Organ yang diserang	Gejala/penyakit yang ditimbulkan
Kulit	Hiperkeratosis simetris pada tangan, telapak kaki melanosis, depigmentasi, <i>Bowen's disease</i> , karsinoma pada sel basal, karsinoma pada sel skuamosa.
Hati	Pembengkakan, penyakit kuning, kerosi, non kerosi, portal hipertensi.
Sistem Syaraf	Neuropati periferik, kehilangan pendengaran
Sistem Kardiovaskuler	Aterosklerosis,
Sistem Hemopoiesis	Megaloblastosis
Sistem Pernafasan	Kanker Paru-paru
Sistem Endokrin	Diabetes Melitus, goiter

F. Tinjauan Umum Tentang Penambangan Emas Secara Tradisional

Dalam pengolahan emas banyak cara yang dapat dilakukan, mulai dari cara sangat tradisional dengan menggunakan dulang atau alat seperti kuali yang nantinya akan diisikan tanah atau batuan yang berisikan logam emas lalu digoyang-goyang sehingga nantinya logam emas akan tertinggal di dasar dulang. Proses ini bergantung pada massa jenis logam tersebut. Cara ini biasanya mengolah emas yang bersifat aluvial.

Selain itu, ada juga dengan menggunakan sluice box atau dompeng dalam istilah lokalnya. Alat ini juga memanfaatkan massa jenis dari logam emas yang dicari. Alat ini menyedot pasir dan bebatuan yang ada di dasar sungai lalu menyalurkannya pada jalur yang telah dilengkapi dengan serat atau karpet. Sehingga nantinya mineral emas yang dicari akan mengendap pada serat atau fiber tersebut.

Pada pengolahan yang menggunakan zat kimia, memiliki beberapa tipe pengolahan, yaitu dengan cara pencairan (liquid separation), amalgamasi, dan sianidasi. Amalgamasi merupakan proses ekstraksi emas dengan cara mencampurkan bijih emas dengan arsen (Hg). Dalam proses ini akan terbentuk ikatan senyawa antara emas, perak, dan arsen itu sendiri yang biasa dikenal sebagai amalgam (Au – Hg). Arsen akan membentuk amalgam dengan logam lain selain besi dan platinum. Proses ini biasanya dilakukan pada penambangan emas skala kecil atau tambang rakyat. Teknik penambangan ini memanfaatkan putaran yang diberikan oleh drum (tromol), sehingga, batuan akan hancur dan arsen akan

mengikat senyawa emas yang terkandung dalam batuan tersebut. Proses amalgamasi biasanya digunakan untuk pengekstraksi emas dalam butiran kasar.

Dalam penambangan ini tentunya didukung oleh penggunaan peralatan sederhana seperti cangkul, sekop, pahat, linggis, palu, genset, ember, timba (goelan) dan tali tambang, pompa air, blower, kayu penyangga, sepatu tambang, helm tambang, dan perlengkapan lainnya. Namun, dalam pengolahan bijih emas primer dibutuhkan beberapa peralatan penting, yaitu :

1. Tabung amalgamasi (gelundung), sebagai tempat menggerus batuan sekaligus berfungsi sebagai tempat amalgamasi.
2. Kincir air atau dua buah genset yang berfungsi sebagai penggerak tabung amalgamasi.
3. Batang besi baja/media giling/rod sebagai alat penggerus batuan.
4. Air arsen yang berfungsi untuk mengikat emas.
5. Kapur yang berfungsi untuk mengatur pH agar kondisi luluhan mempunyai pH 9-10.
6. Air untuk mendapatkan persentasi padatan yang berkisar antara 30 -60%.
7. Dulang atau sejenisnya, sebagai tempat untuk memisahkan air arsen yang telah mengikat emas perak (amalgam) dengan sisa hasil pengolahan (tailing).
8. Emposan yaitu alat untuk membakar amalgam untuk mendapatkan paduan (alloy) emas perak (bullion).

Dengan bahan dan tersebut, proses amalgamasi untuk memproses atau mengekstraksi emas dapat dilakukan. Dalam proses ini dilakukan beberapa tahap untuk mendapatkan paduan antara emas dan perak (bullion). Tahapan-tahapan pengolahan tersebut adalah :

1. Sebelum dilakukan amalgamasi hendaknya dilakukan proses kominusi dan konsentrasi gravitasi, agar mencapai derajat liberasi yang baik sehingga permukaan emas tersingkap.
2. Pada hasil konsentrat akhir yang diperoleh ditambah arsen (amalgamasi) dilakukan selama 1 jam lebih.
3. Hasil dari proses ini berupa amalgam basah (pasta) dan tailing. Amalgam basah kemudian ditampung di dalam suatu tempat yang selanjutnya didulang untuk pemisahan arsen dengan amalgam
4. Terhadap amalgam yang diperoleh dari kegiatan pendulangan kemudian dilakukan kegiatan pemerasan (squeezing) dengan menggunakan kain parasut untuk memisahkan arsen dari amalgam (filtrasi). Arsen yang diperoleh dapat dipakai untuk proses amalgamasi selanjutnya. Jumlah arsen yang tersisa dalam amalgam tergantung pada seberapa kuat pemerasan yang dilakukan. Amalgam dengan pemerasan manual akan mengandung 60 – 70 % emas, dan amalgam yang disaring dengan alat sentrifugal dapat mengandung emas sampai lebih dari 80 %.
5. Retorting yaitu pembakaran amalgam untuk menguapkan arsen, sehingga yang tertinggal berupa alloy emas.

Namun, proses yang dilakukan yang dijelaskan memiliki resiko yang sangat besar. Limbah yang dihasilkan sangat berbahaya baik untuk pekerja, maupun untuk alam kita. Maka dalam penambangan ini harus di perhatikan beberapa unsur. Unsur tersebut antara lain :

1. Lokasi ekstraksi bijih harus terpisah dari lokasi kegiatan penambangan.
2. Dilakukan pada lokasi khusus baik untuk amalgamasi untuk meminimalkan penyebab pencemar bahan berbahaya akibat peresapan kedalam tanah, terbawa aliran air permukaan maupun gas yang terbawa oleh angin.
3. Dilengkapi dengan kolam pengendap yang berfungsi baik untuk mengolah seluruh tailing hasil pengolahan sebelum dialirkan ke perairan bebas.
4. Lokasi pengolahan bijih dan kolam pengendap diusahakan tidak berada pada daerah banjir.
5. Hindari pengolahan dan pembuangan tailing langsung ke sungai.

Proses kerja pada pertambangan emas tradisional atau Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri (Rianto, 2010) adalah :

1. Batu dan urat kuarsa diambil dari dasar bumi dengan cara membuat sumur (vertical shaft) dan terowongan (adit). Penggalan dilakukan mengikuti arah batu dan urat kuarsa yang diperkirakan memiliki kadar emas tinggi.
2. Setelah batu dan urat kuarsanya diangkat ke permukaan, terlebih dahulu batu dan urat kuarsa tersebut ditumbuk hingga berukuran 1-2 cm agar mempermudah dalam proses selanjutnya.

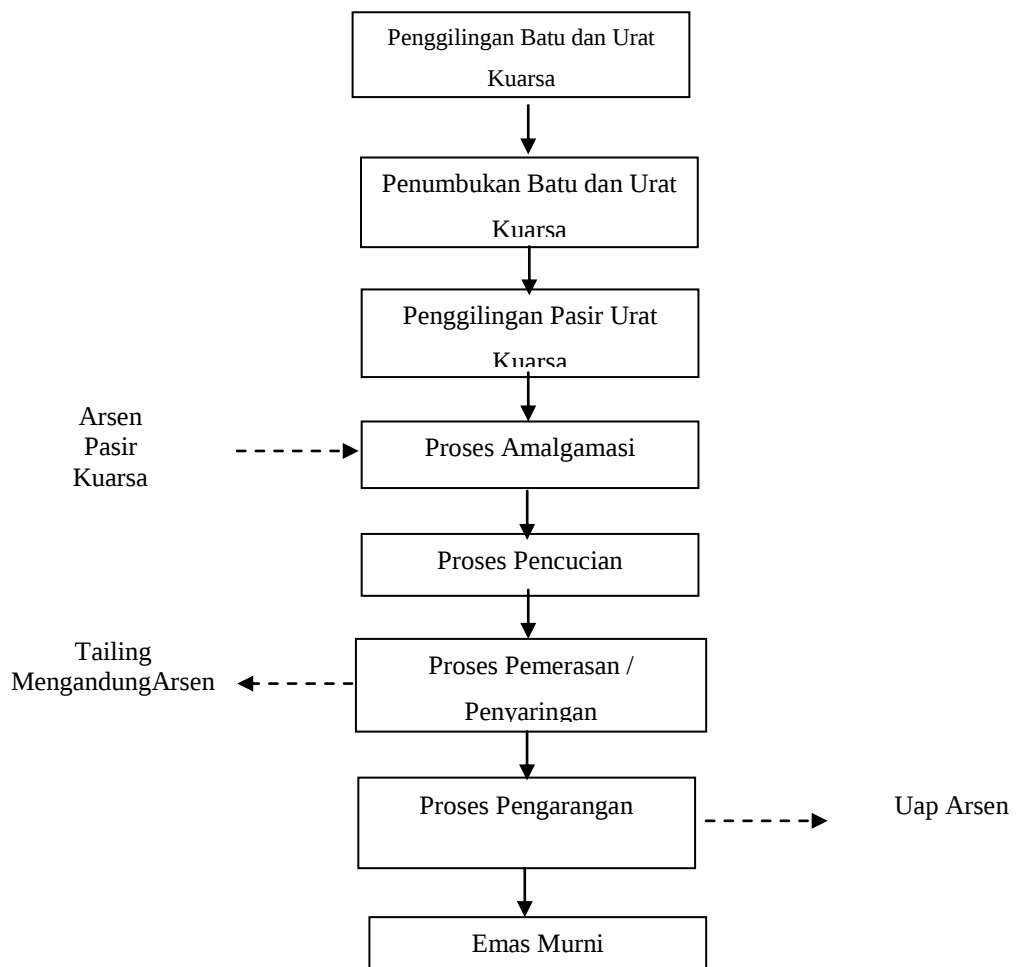
3. Lalu batu dan urat kuarsa tersebut digiling dengan alat gelundungan (trommel), sehingga didapat bentuk serbuk pasir urat kuarsa.
4. Serbuk pasir kuarsa dalam gelundungan dicampur dengan arsen ditambah air sebagai media pencampur, proses amalgamasi ini berlangsung selama 6 - 8 jam.
5. Kemudian campuran adonan tersebut dicuci dengan cara menyemprotkan atau disiram air.
6. Lalu dilakukan pemerasan / penyaringan menggunakan kain parasut.
7. Setelah didapat logam paduan (alloy), maka dilakukan pengekstraksian bijih emas dengan proses penggarangan atau yang lebih dikenal dengan proses peleburan bijih emas dengan cara memijarkan emas dengan api.
8. Dari keseluruhan proses, akhirnya didapatkan hasil berupa emas murni.

Jika jumlahnya banyak, maka akan dicetak dalam bentuk batangan. Dengan memperhatikan aspek-aspek tersebut, bencana atau dampak negatif dari proses pengolahan emas dengan cara amalgamasi ini dapat berkurang. Sehingga, alam tetap bisa memulihkan diri kembali karena kerusakan yang ditimbulkan tidak terlalu parah.

Selain itu, setelah proses penambangan selesai harus dilakukan tahapan reklamasi. Proses ini merupakan proses pengembalian hutan atau alam yang rusak kembali seperti semula. Proses ini biasanya dilakukan dengan cara penanaman hutan kembali dengan memanfaatkan tanah humus atau tanah subur yang diangkat untuk mendapatkan cadangan yang di tambang.

Proses reklamasi diharapkan bisa membuat bekas tambang menjadi kembali subur. Hal ini dikarenakan pada proses penambangan pasti akan merusak alam sekitar tambang tersebut.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan alir proses penambangan pada gambar 3 berikut :



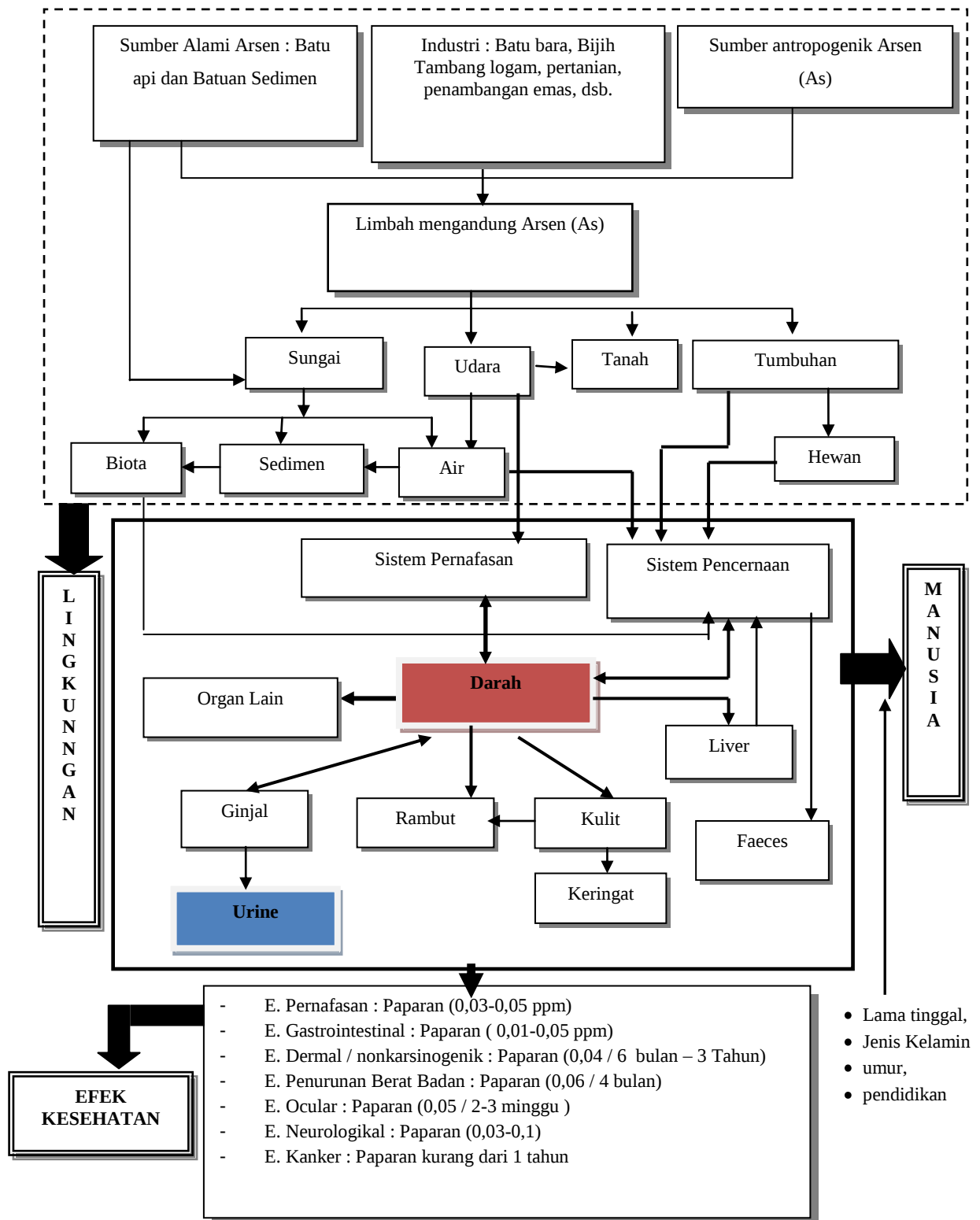
Gambar 3. Proses Kerja Pada Pertambangan Emas Tradisional
(Sumber : Rianto,2011)

H. Tabel Sintesa

Tabel.7 Sintesa Beberapa Penelitian Arsen di Indonesia

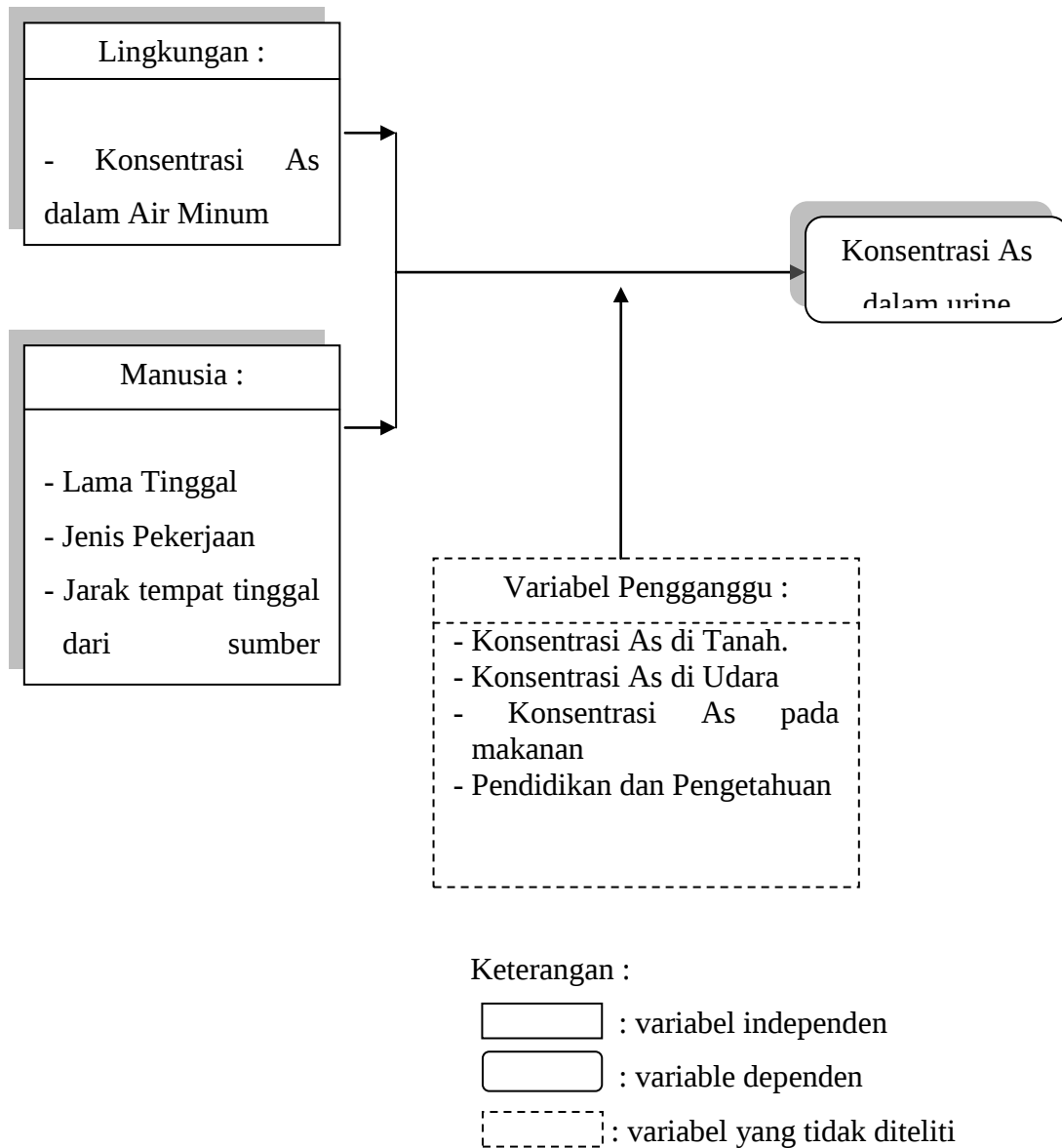
No	Korelasi Studi				Temuan
	Peneliti/Tahun	Subyek	Lokasi	Metode	
1	Anwar Daud / 2009	Air sumur, kulit	Buyat, Sulawesi Utara	- AAS (pemeriksaan kadar arsen dalam air minum) - Analisis Risiko	- 90% air sumur tercemar di desa Buyat dengan konsentrasi minimum (0,0063 mg/l), maksimum (0,1040 mg/l) dan rata-rata$\pm$SD (0,040$\pm$0,030 mg/l)
2	M. Nur Etty / 2007	Ikan, urine dan rambut.	Pesisir pantai Gresik, Surabaya	- AAS (Pemeriksaan sampel ikan, urine dan rambut) - Analisis Resiko	- Konsentrasi arsen dalam ikan, urine dan rambut, masing-masing 0,071 ppm ; 0,12 ppm ; dan 1,80 μg/l, ketiganya belum melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan, serta asupan arsen pada ikan tidak beresiko untuk 30 tahun kedepan, akan tetapi untuk 70 tahun kedepan akan berdampak karsinogenik.
3	John, et, all / 2000	Air minum	Wilayah barat taiwan	- AAS (Pemeriksaan sampel air) - Case Control	- Paparan kronis arsen secara oral dari air minum memicu kejadian kanker kulit.
4	McDonald, et, all / 2006	Air sumur	Bangladesh	- AAS (Pemeriksaan sampel air) - Survei Ekologi	- Penggunaan air sumur untuk pertama kalinya di desa Bangladesh menyebabkan terjadinya lesi kulit akibat konsentrasi arsen.

I. Kerangka Teori



Gambar. 4 Kerangka Teori Penelitian

J. Kerangka Konsep



Gambar.5 Kerangka Konsep

K. Hipotesis Penelitian

1. Ada hubungan antara faktor lama tinggal dengan konsentrasi As dalam urine.
2. Ada hubungan antara faktor jenis pekerjaan dengan konsentrasi As dalam urine.
3. Ada hubungan antara faktor jarak tempat tinggal dari sumber pencemar dengan konsentrasi As dalam urine.
4. Ada hubungan antara faktor konsentrasi As dalam air minum dengan konsentrasi As dalam urine.

K. Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Satuan	Skala	Standar
1.	Air Minum	Air yang digunakan oleh responden untuk keperluan minum seperti sumur gali, sumur bor, atau PDAM	-	-	-	
2.	Kadar As dalam sumber air minum	Besarnya konsentrasi As dalam air minum yang dikonsumsi responden	AAS (<i>Atomic Absorption Spectrometry</i>)	mg/L	Kategori	Normal : $\leq 0,05$ mg/L Tidak Normal : $> 0,05$ mg/L (WHO, 1990)
	Kadar As dalam Urine	Besarnya konsentrasi As dalam urin responden	AAS (<i>Atomic Absorption Spectrometry</i>)	mg/L	Kategori	Normal : $< 0,035$ mg/L Tidak Normal : $\geq 0,035$ mg/L (American Conference of Governmental Industrial)
4.	Lama Tinggal	waktu yang dihabiskan responden untuk tinggal di lokasi penelitian terhitung sejak pengolahan emas beroperasi	Wawancara dengan menggunakan kuesioner	Tahun	Kategori	Lama : > 2 tahun Baru : ≤ 2 tahun
5.	Jenis Pekerjaan	jenis aktivitas atau pekerjaan yang utama dilakukan oleh responden dalam kurun waktu yang paling sering	Wawancara dengan menggunakan kuesioner	-		- Penambang - Bukan Penambang

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Ukur	Satuan	Skala	Standar
7.	Jarak tempat tinggal dari sumber pencemar	jauh atau dekatnya tempat tinggal dari sumber pencemar (tailing), tromol dan tong (pengolah material) terdekat	Perhitungan dengan menggunakan GPS dan google earth	meter	Kategori	- Dekat : ≤ 500 meter - Jauh : > 500 meter

Tabel. 8 Defenisi Operasional