KAJIAN PENYEBARAN MERKURI PADA SEDIMEN SUNGAI DAN AIR TANAH AKIBAT LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS DENGAN AMALGAMASI DI SUNGAI SANGON II DUSUN SANGON II KALIREJO KOKAP DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

TESIS

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Oleh :

NAMA : ERRY SUMARJONO

NIM : 212140039

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"

YOGYAKARTA

2018

KAJIAN PENYEBARAN MERKURI PADA SEDIMEN SUNGAI DAN AIR TANAH AKIBAT LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS DENGAN AMALGAMASI DI SUNGAI SANGON II DUSUN SANGON II KALIREJO KOKAP DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Oleh :

NAMA : ERRY SUMARJONO

NIM : 212140039

Disetujui untuk

Program Studi Magister Teknik Pertambangan

Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Tanggal : 17/12/2018

Pembimbing I,	Pembimbing II,
(Ir. Gunawan Nusanto, M.T.)	(Ir. Suyono, M.S.)

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Pembangunan Nasional ”Veteran” Yogyakarta, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Pembangunan Nasional ”Veteran” Yogyakarta. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Dekan Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional ”Veteran” Yogyakarta.

Dipersembahkan untuk :
Orang tuaku, Bapak Soetomo dan Ibu Sri Kasmini, istriku, Dewi Widyanti dan anakku, Zahra Dzakiyyah Hanifa

RINGKASAN

Pengolahan bijih Emas dengan menggunakan Merkuri (amalgamasi) dilakukan oleh penambang emas skala kecil (PESK) di Dusun Sangon II, Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengolahan bijih emas dengan menggunakan merkuri menghasilkan air limbah atau *tailing* yang masih mengandung merkuri yang dialirkan ke sungai. Berdasarkan sifat–sifat fisika dan kimia yang dimiliki Merkuri, Merkuri dapat terbawa ke dalam air sungai,kemudian terendapkan pada sedimen sungai dan / atau meresap ke dalam air tanah. Keberadaan Merkuri di dalam lingkungan dapat menurunkan kualitas lingkungan, karena Merkuri merupakan salah satu logam berat yang bersifat sangat toksik dan berbahaya bagi lingkungan dan manusia.

Penelitian yang dilakukan di sepanjang aliran Sungai Sangon II, Dusun Sangon II, Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap ini dilakukan untuk mengukur kandungan merkuri yang terdapat dalam sedimen sungai, air tanah, bijih dan air limbah. Metode pengujian laboratorium untuk menganalisis kandungan merkuri dengan menggunakan alat M*ercury Analyzer Lab 254* yang dilakukan di Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

Kandungan Merkuri dalam 8 sampel sedimen sungai terdapat kandungan Merkuri (SSD 1 = 0,20 mg/Kg pada jarak 530 m, SSD 2 = 1,96 mg/Kg pada jarak 450 m, SSD 3 = 0,82 mg/Kg pada jarak 350 m, SSD 4 = 0,03 mg/Kg pada jarak 230 m, SSD 5 = 0,007 mg/Kg pada jarak 170, SSD 6 = 0,93 mg/Kg pada jarak 0 m, SSD 7 = 0,44 mg/Kg pada jarak 60 m dan SSD 8 = 0,12 mg/Kg pada jarak 110 m), 3 sampel air tanah terdapat kandungan Merkuri (S 1 = 0,00030 mg/L pada jarak 550 m, S 2 = 0,00087 mg/L pada jarak 200 m dan S 3 = 0,00039 mg/L pada jarak 510 m), 2 sampel bijih terdapat Merkuri (SBj = 0,28 mg/L dan SBj 2 = 0,14181 mg/Kg) dan 1 sampel air limbah dengan kandungan Merkuri (SLi = 0, 99994 m/L).

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah Merkuri mengendap pada sedimen sungai dengan dengan konsentrasi yang berbeda-beda berdasarkan jarak dari sumber pencemar dan air tanah pada daerah tersebut telah terkontaminasi merkuri yang menurun konsentrasinya berdasarkan jarak. Air tanah di daerah tersebut telah terkontaminasi Merkuri, meskipun kandungan Merkuri dalam air tanah masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.

Kata kunci : **Merkuri, Emas, Limbah, Sedimen Sungai, Air Tanah, Penambang Emas Skala Kecil (PESK)**

ABSTRACT

Amalgamation processing is used to extract Gold by using Mercury to form the amalgam (Au – Hg). Gold processing using amalgamation process is done by artisanal and small scale gold miner(ASGM) in Sangon II Sub Village, Kalirejo Village, Kokap District, Special Region of Yogyakarta. The tailing which still containing Mercury has produced by amalgamation processing that will through out to the river. The degradation of the environment's quality could caused by Mercury when the Mercury's concentrations is out of it's threshold value limit, because mercury is a dangerous and very toxic heavy metal that could cause multi dangerous effects to the environment and the human's healthy.

The aims of the research of mercury in Sangon II Sub Village, Kalirejo Village, Kokap District are to determine the concentrations of mercury, especially the river's sediment, the groundwater, the ores and the tailing of amalgamation processing. The samples of the river's water, the river's sediment, the groundwater, the ore and the tailing of amalgamation processing are analyzed by Mercury analyzing using Mercury Analyzer Lab 254 in Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu (LPPT), Gadjah Mada University.

The results of Mercury's analyzed by laboratory shown that 8 samples of the river's sediment had contained mercury (SSD 1 = 0,20 mg/Kg at 530 m distance , SSD 2 = 1,96 mg/Kg at 450 m distance, SSD 3 = 0,82 mg/Kg at 350 distance, SSD 4 = 0,03 mg/Kg at 230 m distance, SSD 5 = 0,007 mg/Kg at 170 distance, SSD 6 = 0,93 mg/Kg at 0 m distance, SSD 7 = 0,44 mg/Kg at 60 m distance and SSD 8 = 0,12 mg/Kg at 110 m distance), 3 samples of the groundwater had contained Mercury (S 1 = 0,00030 mg/L at 550 m distance, S 2 = 0,00087 mg/L at 200 m distance dan S 3 = 0,00039 mg/L at 510 distance), 2 samples of the ore had contained Mercury (SBj = 0,28 mg/L dan SBj 2 = 0,14181 mg/Kg) and 1 sample of the tailing of amalgamation processing had contained Mercury (SLi = 0,99994 mg/L).

The conclusions of this research is the concentrations of Mercury in the river's sediment have difference concentration based on it's distance in the river and the groundwater is contaminated by Mercury and the concentrations are lower to the farther distance from the source, though the all of the samples are still shown that the concentrations are below the threshold value of Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.

Keywords : ***Mercury, Gold, Tailing, River's Sediment, Groundwater, Artisanal and Small Scale Gold Miner (ASGM)***

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, atas Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Kajian Penyebaran Merkuri Pada Sungai Sedimen Sungai Dan Air Tanah Akibat Limbah Pengolahan Bijih Emas Dengan Amalgamasi Di Sungai Sangon II Dusun Sangon II Kalirejo Kokap Daerah Istimewa Yogyakarta, ini dapat diselesaikan.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Sari Bahagiarti Kusumayudha, M.Sc., Rektor Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
2. Dr. Ir. Suharsono, M.T., Dekan Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
3. Dr. Ir. Edi Nursanto, M.T., Ketua Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
4. Dr. Ir. Barlian Dwinagara, M.T., Koordinator Program Studi Magister Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
5. Ir. Gunawan Nusanto, M.T., sebagai Pembimbing I.
6. Ir. Suyono, M.S., sebagai Pembimbing II.
7. Prof. Ir. D. Haryanto,,M.Sc., Ph.D., sebagai Pembahas I
8. Ir. Said Fadillah Alatas, M.Si., sebagai Pembahas II
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tesis ini.

Harapan penulis, semoga Tesis ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu dan pengetahuan pada umumnya, dan khususnya ilmu pertambangan.

Yogyakarta, Desember 2018 Penulis,

(Erry Sumarjono)

DAFTAR ISI

		Halaman
HALAMAN JUDUL		i
HALAMAN PENGESAHAN		ii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS		iii
HALAMAN PERSEMBAHAN		iv
RINGKASAN		v
ABSTRACT		vi
KATA PENGANTAR		vii
DAFTAR ISI		viii
DAFTAR GAMBAR		x
DAFTAR TABEL		xii
DAFTAR LAMPIRAN		xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG		xv
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1. Latar Belakang Masalah	1
	1.2. Perumusan Masalah	4
	1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	4
	1.4. Batasan Masalah	5
	1.5. Tinjauan Pustaka	6
	1.6. Hipotesis	15
	1.7. Manfaat Penelitian	16
	1.8. Metodologi Penelitian	16
BAB II	TINJAUAN UMUM	20
	2.1. Lokasi Dan Kesampaian Daerah	20
	2.1. Keadaan Geologi	21
	2.1. Iklim Dan Cuaca Waktu Penelitian	28
BAB III	LANDASAN TEORI	30
	3.1 .Emas Dan Genesa Emas	30
	3.2. Merkuri	34

3.3. Metode Amalgamasi 40
3.4. Air Dan Pencemaran Air 44
3.5. Baku Mutu Air Limbah Dan Baku Mutu Air 54
3.6. Penentuan Status Mutu Air 56
3.7. Analisis Korelasi Dan Regresi Linear Sederhana 58
3.8. Metode Uji Laboratorium *Mercury Analyzer Lab 254* 66

BAB IV HASIL PENELITIAN 69

4.1. Data Primer Penelitian 69
4.2. Data Sekunder Penelitian 72
4.3. Pengolahan Data 74

BAB V PEMBAHASAN 81

5.1. Merkuri Dalam Bijih 81
5.2. Merkuri Dalam Sedimen Sungai 88
5.3. Merkuri Dalam Air Tanah 98
5.4. Merkuri Dalam Air Limbah 108
5.5. Merkuri Dalam Air Tanah Dan Sedimen Sungai 112
5.6. Penentuan Status Mutu Air 116
5.7. Keberadaan Merkuri Di Sungai Sangon II Dan Sekitarnya 119
5.8. Pengaruh Topografi Dan Jarak Sumber Pencemar Terhadap Proses Penyebaran Merkuri Pada Sedimen Sungai Dan Air Tanah 124

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 126

6.1. Kesimpulan 126
6.2. Saran 126

DAFTAR PUSTAKA 128

LAMPIRAN 137

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Bagan Alir Tahapan Penelitian	19
2.1. Lokasi Penelitian.....	20
2.2. Peta Geologi Kubah Kulonprogo	21
2.3. Kolom Stratigrafi Regional Pegunungan Kulonprogo.....	24
2.4. Peta Kelurusan Struktur Geologi Pegunungan Kulonprogo	25
2.5. Peta Kelurusan Struktur Geologi di Sangon	26
3.1. Kriteria Kuadrat Kecil.....	61
3.2. Total Variasi Yang Dapat Dijelaskan Dan Variasi Yang Tidak Dapat Dijelaskan	63
3.3. Alat Pengambil Contoh Dengan Botol	67
3.4. Gayung Plastik Bertangkai Panjang	67
4.1. Arah Umum Kekar Yang Terisi Urat Kuarsa Di Sangon	72
4.2.Merkuri Pada Sedimen Berdasarkan Jarak Dari Sumber Pencemar.....	76
4.3. Penampang Aliran Sungai Dan Titik-Titik Pengambilan Sampel.....	77
4.4. Grade/Kemiringan Antar Titik-Titik Sampel Pada Aliran Sungai	77
4.5. Konsentrasi Merkuri Pada Air Tanah Dibandingkan Dengan Baku Mutu.....	78
4.6. Konsentrasi Pada Air Limbah Dibandingkan Dengan Baku Mutu	79
5.1. Kekar-Kekar Pada Batu Andesit Yang Tidak Terisi Urat Kuarsa	83
5.2. Kekar-Kekar Pada Batu Andesit Yang Terisi Urat Kuarsa.....	84
5.3. Merkuri Dalam Sedimen Dibandingkan Asumsi Rona Awal	90

5.4. Kandungan Merkuri Pada Sedimen Berdasarkan
Jarak Dari Sumber Pencemar 93

5.5. Kekar–Kekar Pada Batuan Dasar Sungai Sangon II 101

5.6. Batuan Andesit Dasar Dan Kekar Sungai Sangon II 102

5.7. Sumur Bor Penduduk Di Aliran Sungai Sangon II..... 103

5.8. Sumur Gali Bekas *Shaft* Penambangan Penduduk
Di Dekat Aliran Sungai Sangon II..... 104

5.9. Konsentrasi Merkuri Pada Air Tanah
Dibandingkan Dengan Baku Mutu 105

5.10. Kandungan Merkuri Dalam Air Tanah 107

5.11. Konsentrasi Merkuri Pada Air Limbah
Dibandingkan Dengan Baku Mutu..... 110

5.12. Kekar–Kekar Pada Batu Andesit
Yang Ditambang 121

5.13. Kekar–Kekar Yang Saling Berhubungan..... 122

L.1. Korelasi Kemiringan Topografi Dan Kandungan Merkuri
Pada Sedimen Sungai 158

L.2. Regresi Linear Kemiringan Topografi Dan Kandungan Merkuri
Pada Sedimen Sungai 159

M.1 Korelasi Jarak Dari Sumber Pencemaran
Dan Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai 160

M.2. Regresi Linear Jarak Dari Sumber Pencemaran
Dan Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai..... 161

N.1. Korelasi Jarak Dari Sumber Pencemaran
Dan Kandungan Merkuri Pada Air Tanah 162

N.2. Regresi Linear Jarak Dari Sumber Pencemaran
Dan Kandungan Merkuri Pada Air Tanah 163

O.1. Terowongan Penambangan 164

O.2. Gelundung Amalgamasi Di Dusun Sangon II..... 164

O.3. Bijih Emas Untuk Umpan Amalgamasi..... 165

O.4. Urat KuarsaTermineralisasi 165

P.1. Pengukuran *Strike* Kekar 166

P.2. Pengukuran *Dip* Kekar 166

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Kualifikasi Curah Hujan Daerah Istimewa Yogyakarta	29
2.2. Sebaran Curah Hujan Daerah Kulonprogo	29
3.1. Sifat–Sifat Emas.....	31
3.2. Klasifikasi Endapan Hidrotermal (Lindgren, 1933)	32
3.3. Kelimpahan Rata–Rata Merkuri Dalam Batuan Yang Tidak Termineralisasi	37
3.4. Kelimpahan Rata–Rata Merkuri Dalam Air Dan Sedimen	38
3.5. Ukuran Efektif Butir Emas Dan Metode Pengolahan.....	40
3.6. Tingkat Biaya Relatif Dan Akibat Lingkungan	42
3.7. Klasifikasi Sedimen Dasar Sungai Berdasarkan Diameter Partikel.....	45
3.8. Klasifikasi Sumber Pencemar Air	51
3.9. Baku Mutu Merkuri (Hg) Pada Air Limbah	54
3.10. Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas Air	55
3.11. Interpretasi Koefisien Korelasi	60
4.1. Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai	69
4.2. Kandungan Merkuri Pada Air Tanah	70
4.3. Kandungan Merkuri Pada Air Limbah	70
4.4. Kandungan Merkuri Pada Bijih	71
4.5. Kandungan Merkuri Pada Air Sungai	71
4.6. Kualifikasi Curah Hujan Daerah Istimewa Yogyakarta	73
4.7. Sebaran Curah Hujan Daerah Kulonprogo	73
4.8. Kandungan Merkuri Pada Sedimen Berdasarkan Jarak Dari Sumber Pencemar	75
4.9. Jarak Dan Ketinggian Topografi Titik Pengambilan Sampel	75
4.10. Jarak Antar Titik Pengambilan Sampel Dan *Grade*/ Kemiringan.....	76

4.11. Kandungan Merkuri Air Tanah
Berdasarkan Baku Mutu 78

4.12. Kandungan Merkuri Air Limbah
Berdasarkan Baku Mutu 79

5.1. Hasil Penelitian Merkuri Dalam
Bijih Tahun 2005, 2006 Dan 2017 82

5.2. Hasil Penelitian Merkuri Dalam
Sedimen Sungai Tahun 2005 Dan 2017 91

5.3. Kandungan Merkuri Dalam Bijih, Limbah
Dan Sedimen Sungai 97

5.4. Hasil Penelitian Merkuri Dalam
Air Tanah Tahun 2010 Dan 2017 106

5.5. Hasil Penelitian Kandungan Merkuri Dalam Air Limbah
Tahun 2005 Dan 2017 109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. DATA CURAH HUJAN HARIAN STASIUN BPP KOKAP	138
B. PETA GEOLOGI LEMBAR YOGYAKARTA	139
C. CITRA SATELIT DAERAH PENELITIAN.....	140
D. PETA TOPOGRAFI DAERAH PENELITIAN	141
E. TOPOGRAFI DAN TITIK PENGAMBILAN SAMPEL	142
F. HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM	143
G. PETA ZONASI MERKURI DI SANGON PENELITIAN TAHUN 2005.....	149
H. HASIL UJI LABORATORIUM PENELITIAN TAHUN 2010	151
I. PETA TITIK PENGAMBILAN SAMPEL TAHUN 2010.....	154
J. FLOWNET ALIRAN AIR TANAH.....	155
K. PENENTUAN STATUS MUTU AIR TANAH.....	156
L. KORELASI DAN REGRESI KEMIRINGAN TOPOGRAFI DAN KANDUNGAN MERKURI PADA SEDIMEN SUNGAI.....	158
M. KORELASI DAN REGRESI JARAK DARI SUMBER PENCEMAR DAN KANDUNGAN MERKURI PADA SEDIMEN SUNGAI.....	160
N. KORELASI DAN REGRESI JARAK DARI SUMBER PENCEMAR DAN KANDUNGAN MERKURI PADA AIR TANAH	162
O. FOTO PENAMBANGAN DAN PENGOLAHAN DI DUSUN SANGON II	164
P. FOTO PENGUKURAN *STRIKE/DIP* KEKAR	166
Q. PREPARASI SAMPEL	167

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
AAS	*Atomic Absorbtion Spectophotometry*	13
BT	Bujur Timur	20
cm	centimeter	11
cm^3	centimeter kubik	3
dpl	di atas permukaan laut	75
EDL	*Electrodeless Low- pressure Mercury lamp*	66
GPS	*Global Positioning System*	17
gr	gram	3
Kg	Kilogram	36
L	Liter	13
LS	Lintang Selatan	20
m	meter	17
mg	miligram	17
mm	milimeter	8
OAF	*Old Andesite Formation*	23
PE	*Poli Etilen*	68
PP	*Poli Propilen*	68
pH	*Potensial Hidrogen*	15
ppm	*Part Per Million*	13
PTFE	*Poli Tetra Flouro Etilen*	68
S	Kode Sampel Air Tanah	70
SBj	Kode Sampel Bijih	71
SLi	Kode Sampel Air Limbah	70

SNI	Standar Nasional Indonesia	66
SRTM	*Shuttle Radar Topography Mission*	6
SSD	Kode Sampel Sedimen	69
USGS	*United States Geological Survey*	17
UV	*Ultra Violet*	66
WHO	*World Healty Organization*	14

LAMBANG

C_i	Konsentrasi Parameter	58
L_i	Konsentrasi Baku Mutu	58
PI_j	Indeks Pencemaran	58
µg	microgram	10

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Metode amalgamasi merupakan salah satu metode dari beberapa metode pengolahan bahan galian untuk mendapatkan Emas dari bijih Emas. Prinsip proses amalgamasi adalah terdapatnya reaksi pengikatan unsur Emas yang terdapat dalam bijih Emas dengan menggunakan Merkuri. Pengolahan bijih Emas yang menggunakan metode amalgamasi masih dilakukan oleh penambang-penambang skala kecil (penambang emas skala kecil/PESK). Metode amalgamasi tidak digunakan untuk proses pengolahan bijih Emas pada industri pertambangan skala besar, karena adanya penggunaan Merkuri dalam proses tersebut dan Merkuri adalah salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup, sehingga tidak diijinkan untuk digunakan pada industri skala besar. Keberadaan Merkuri dalam proses pengolahan bijih Emas tersebut dapat terlepas ke lingkungan, kemudian dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui mekanisme secara kimia pada rantai makanan dan manusia menduduki posisi tertinggi dalam rantai makanan tersebut (Rianto, Sugeng., Setiani, Onny., Budiyono., 2012).

Penggunaan Merkuri pada proses pengolahan bijih Emas dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan (degradasi lingkungan), hal tersebut disebabkan oleh terjadinya peningkatan kandungan Merkuri pada lingkungan dari rona awal lingkungan, meskipun Merkuri juga dapat berada di lingkungan secara alami melalui suatu proses mineralisasi logam. Merkuri yang digunakan untuk mengikat Emas dapat tertinggal di lingkungan sekitar tempat pengolahan, karena Merkuri yang tercampur dengan bijih Emas dan membentuk amalgam basah pada proses pengolahan tersebut menghasilkan air limbah/*tailing* yang masih mengandung Merkuri di dalamnya, selain itu pada metode amalgamasi juga terdapat proses pemerasan (*squeezing*)/ filtrasi untuk menghasilkan amalgam (Au-

Hg). Merkuri dapat tertinggal di lingkungan pada proses pemerasan ini,karena hasil pemerasan masih mengandung Merkuri. Proses pemisahan amalgam (Au-Hg) yang merupakan campuran Emas-Merkuri tersebut, dilakukan dengan proses *retorting* untuk menguapkan Merkuri, uap yang mengandung Merkuri juga dapat tertinggal pada sirkulasi udara di lingkungan sekitar.

Penambang bijih Emas tradisional di Dusun Sangon II Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta, mengggunakan metode amalgamasi untuk mendapatkan Emas dari bijihnya. Umpan (*feed*) pengolahan bijih Emas didapatkan dari penambangan pada urat-urat bijih Emas yang dilakukan oleh masyarakat setempat. Penambangan urat-urat bijih dilakukan dengan metode yang sederhana yaitu menggali lubang bawah tanah/ terowongan (*gophering*), dengan mengikuti urat-urat bijih Emas yang mengisi kekar-kekar batuan andesit . Urat-urat kuarsa mengisi kekar-kekar batuan andesit di daerah tersebut mengandung bijih Emas yang terbentuk pada proses mineralisasi. Terowongan untuk penambangan bijih dibuat dengan cara yang sangat sederhana yaitu dengan menggunakan pahat, palu dan linggis. Penyanggaan dilakukan dengan cara yang sangat sederhana yaitu dengan menggunakan kayu atau bambu sebagai tiang penyangga. Penyanggaan dilakukan di dalam terowongan pada tempat-tempat yang memiliki potensi keruntuhan, karena di dalam batuan andesit tersebut terkadang ditemukan lokasi-lokasi tertentu yang terdiri dari batuan yang sudah lapuk.

Batuan yang mengandung bijih Emas tersebut diolah dengan menggunakan metode amalgamasi. Metode pengolahan amalgamasi menggunakan Merkuri sebagai unsur pengikat Emas pada bijih Emas tentunya menghasilkan Merkuri dalam *tailing* dan dalam bentuk gas/uap, ketika *bullion* Au-Hg dipanaskan dalam *retorting*, untuk memisahkan Au dan Hg. Pengolahan bijih Emas yang menggunakan proses amalgamasi di dusun tersebut, berdekatan dengan pemukiman penduduk dan limbah hasil pengolahan (*tailing*) ditampung pada kolam pengendapan dan dibuang pada aliran sungai yang terdapat di daerah tersebut. Merkuri yang tertinggal akibat proses pemisahan amalgam di lingkungan

sekitar tempat pengolahan tersebut, dapat menyebabkan peningkatan kandungan Merkuri pada sedimen sungai dan air tanah. Peningkatan kandungan Merkuri air tanah pada daerah tersebut, dapat mengubah kelas air, karena terjadi penurunan kualitas air yang ada di daerah tersebut, akibat adanya kandungan Merkuri di dalam air tersebut. Disamping itu, berdasarkan sifat fisik Merkuri yang memiliki berat jenis 13,6 gr/cm^3, berat jenis Merkuri jauh lebih tinggi dari berat jenis air (1gr/cm^3), hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya pengendapan Merkuri pada sedimen di dasar sungai.

Pembuangan limbah/*tailing* proses amalgamasi pada aliran sungai tersebut, dapat menimbulkan permasalahan penurunan kualitas air tanah di dekat aliran sungai, selain itu, hal tersebut juga dapat menyebabkan terjadinya pengendapan Merkuri pada sedimen yang terdapat pada aliran sungai tersebut, sehingga diperlukan suatu penelitian tentang kadar Merkuri pada sedimen sungai dan air tanah di aliran sungai di dekat tempat pengolahan bijih Emas tersebut. Penelitian tentang kadar Merkuri di aliran sungai tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat kandungan Merkuri pada sedimen sungai dan air tanah yang terdapat di dekat tempat pengolahan tersebut dan berapakah kadar Merkuri pada sedimen sungai dan air tanah yang terdapat di sepanjang 530 meter dari lokasi pengolahan amalgamasi tersebut. Pengujian sampel air limbah dilakukan untuk mengetahui kandungan Merkuri dalam air limbah tersebut.

Pengujian laboratorium juga dilakukan untuk sampel bijih Emas yang diolah, untuk mengetahui apakah di dalam bijih tersebut terdapat kandungan Merkuri ataukah tidak, sebab secara alami, melalui proses mineralisasi, Merkuri juga dapat membentuk amalgam dengan Emas. Penelitian juga dilakukan melalui pendekatan ilmu Geologi, untuk mengetahui proses-proses geologi yang berkembang pada daerah penelitian tersebut, termasuk genesa terbentuknya Emas pada daerah tersebut melalui penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli geologi di daerah tersebut. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat sumber lain mengenai keterdapatan Merkuri pada daerah penelitian,

selain dari pembuangan air limbah pengolahan bijih Emas. Pembahasan dan kesimpulan dari hasil penelitian tentang Merkuri pada penelitian ini, didasarkan pada data-data yang diambil pada waktu penelitian ini dilakukan, sehingga untuk penelitian di daerah penelitian yang sama pada waktu lain dapat memberikan kemungkinan dengan hasil kesimpulan penelitian yang berbeda, karena waktu dapat memberikan perubahan-perubahan dari faktor alamiah dan non-alamiah yang terjadi pada daerah tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan-permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah :

1. Berapakah kadar Merkuri pada sedimen sungai (aliran sungai sepanjang 530 m) dari lokasi pengolahan Emas, air tanah, *tailing* dan bijih Emas hasil penambangan di Dusun Sangon II Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Apakah terjadi pengendapan Merkuri pada sedimen sungai dan penurunan kualitas air tanah di dekat aliran sungai di Dusun Sangon II Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta
3. Jika terjadi pengendapan Merkuri pada sedimen sungai, bagaimanakah penyebaran kadar Merkuri tersebut, berdasarkan jarak dari sumber pencemar.
4. Apakah terdapat sumber lain keterdapatan Merkuri pada media polusi (sedimen sungai dan air tanah), selain dari limbah hasil pengolahan amalgamasi.

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengukur kadar Merkuri pada sedimen sungai dan air tanah dengan melakukan uji laboratorium dengan alat *Mercury Analyzer*, terhadap sampel-sampel penelitian, serta mengetahui adanya pengendapan Merkuri pada sedimen sungai pada aliran sungai sepanjang 530 m di dekat lokasi pengolahan amalgamasi di Dusun Sangon II Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta dan mengetahui sumber keterdapatan Merkuri pada daerah penelitian

tersebut (dengan batasan-batasan yang dilakukan pada penelitian). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mengukur kadar Merkuri pada sedimen sungai sepanjang 530 meter dari lokasi pengolahan amalgamasi, air tanah, *tailing* dan bijih Emas dari hasil penambangan bijih emas di Dusun Sangon II Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Menentukan apakah terjadi pengendapan Merkuri pada sedimen sungai dan penurunan kualitas air tanah di Dusun Sangon II Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta.
3. Menentukan bagaimanakah penyebaran Merkuri pada sedimen berdasarkan jarak dari sumber pencemar.
4. Menentukan apakah terdapat kontribusi lain selain Merkuri yang terdapat dalam air limbah terhadap kandungan Merkuri yang terdapat pada sedimen sungai dan air tanah di daerah tersebut.

1.4. Batasan Masalah

Batasan - batasan permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur kadar Merkuri pada sedimen sungai sepanjang 530 meter dari lokasi pengolahan bijih Emas.
2. Penelitian yang dilakukan untuk mengukur kadar Merkuri pada air tanah, sampel air tanah diambil dari sumur bor/sumur gali dekat aliran sungai di lokasi pengolahan bijih Emas.
3. Metode pengambilan sampel-sampel sedimen sungai dan air tanah yang dengan menggunakan metode *grab sampling*.
4. Metode pengukuran yang digunakan untuk mengukur kadar Merkuri adalah uji laboratorium dengan alat *Mercury Analyzer Lab* 254 di Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada.
5. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah :
   a. Kadar Merkuri pada sedimen sungai, air tanah, bijih dan tailing.
   b. Analisis dilakukan dengan membandingkan antara kadar Merkuri pada air tanah dengan baku mutu yang ditetapkan.

c. Penentuan status mutu air pada air tanah dilakukan dengan perhitungan berdasarkan Metode Indeks Pencemaran.
d. Kadar Merkuri pada sedimen sungai dengan jarak dari sumber pencemar dan topografi aliran sungai, kadar Merkuri dalam bijih dan tailing digunakan sebagai pembanding kadar Merkuri yang terdapat pada sedimen sungai dan air tanah.
e. Data–data penelitian yang diperoleh dikaji dengan data penelitian - penelitian terdahulu yang telah dilakukan pada lokasi yang sama dan dihubungkan dengan landasan teori dan kajian pustaka yang mendukung penelitian. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan aplikasi *software Microsoft Excel 2010*, Citra Satelit USGS dengan Teknik *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan *ArcGIS 10.3*.

1.5. Tinjauan Pustaka

Merkuri adalah unsur kimia logam yang digolongkan sebagai salah satu logam berat yang sangat beracun dan berbahaya bagi manusia dan lingkungan hidup. Merkuri dalam bentuk senyawanya bersifat sangat toksik dan dapat menimbulkan bahaya terhadap kesehatan manusia, satwa dan ekosistem. Merkuri yang terlepas ke dalam lingkungan dapat bergerak mengikuti aliran air ataupun udara, oleh adanya siklus hidrologi, Merkuri dapat jatuh kembali ke atas permukaan bumi. Hal tersebut dapat terjadi dekat dengan sumber asalnya maupun jauh dari sumber asalnya. Siklus hidrologi dapat menyebabkan Merkuri meresap ke dalam tanah, mengikuti aliran air tanah kemudian mengalir ke dalam sumber-sumber mata air, sungai-sungai, danau-danau maupun samudera, sehingga pada akhirnya Merkuri dapat berpindah mengikuti arus laut dan hewan-hewan yang bermigrasi (*International Pops Elimination Network*, 2009). Siklus hidrologi dapat membawa Merkuri ke atmosfer. Polusi yang terjadi pada atmosfer dapat terjadi pada skala internasional dengan kecepatan penyebaran yang sangat tinggi, sehingga polusi industri tidak dapat dibatasi dengan adanya batas negara (Appelo, C.A.J., 2001).

Methylmercury merupakan suatu senyawa Merkuri yang bersifat lebih toksik yang berasal dari Merkuri. Merkuri yang masuk ke lingkungan perairan

tertansformasi oleh mikroorganisme menjadi senyawa *methylmercury* tersebut. Merkuri masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui rantai makanan dalam bentuk *methylmercury* tersebut. M*ethylmercury* masuk ke dalam tubuh manusia terjadi pada mekanisme dalam sistem rantai makanan. M*ethylmercury* dapat terakumulasi dan terkonsentrasikan pada organisme perairan misalnya; ikan dan kerang, kemudian melalui rantai makanan *methylmercury* tersebut masuk ke dalam tubuh burung atau mamalia lainnya dan manusia berada di tingkat paling tinggi pada akhir rantai makanan tersebut. Konsentrasi *methylmercury* dapat mencapai satu juta kali lipat lebih besar daripada konsentrasi dalam perairan tempat ikan itu berada pada beberapa jenis ikan (*International Pops Elimination Network*, 2009).

Perbandingan jumlah Merkuri yang masuk ke lingkungan adalah sepertiga dari Merkuri berasal dari sumber-sumber alamiah misalnya ; proses vulkanisme, proses mineralisasi, proses pelapukan batuan dan erosi, sedangkan dua pertiga lainnya berasal dari hasil kegiatan-kegiatan manusia misalnya ; industri dan pertambangan. Jumlah total Merkuri yang berada di atmosfer, tanah, danau, sungai dan laut telah meningkat menjadi dua sampai empat kali lebih banyak dari sejak awal era industrialisasi. Kesetimbangan alam dapat terganggu oleh adanya peningkatan jumlah kandungan Merkuri di dalam lingkungan, jika kandungan Merkuri dalam lingkungan tersebut lebih tinggi dari kondisi alamiahnya. Merkuri yang dihasilkan oleh kegiatan manusia dalam jumlah besar masih digunakan dalam proses industri seperti pabrik *chloralkali* dan proses kataliktik, meskipun alternatif pengganti yang baik sudah tersedia (*International Pops Elimination Network*, 2009). Para ahli berpendapat bahwa siklus Merkuri terjadi di alam telah berlangsung jutaan tahun antara litosfer, atmosfer, hidrosfer dan biosfer. Jumlah Merkuri di alam adalah tetap, sama dengan unsur logam lainnya, hal ini disebabkan oleh sifat Merkuri yang mudah menguap, proses metilasi dan mudah larutnya HgCl dalam air. Pencemaran lingkungan terjadi ketika manusia memindahkan Merkuri dari satu tempat ke tempat lainnya dan mengubah satu bentuk senyawa ke bentuk lainnya, sehingga mengakibatkan terganggunya

kesetimbangan alamiah siklusnya dan terjadi pencemaran lingkungan (Gold-Water & Clarkson., 1972 dalam Hutagalung, Horas, P., 1985).

Pengolahan bijih Emas dengan menggunakan Merkuri masih banyak dilakukan untuk penambangan bijih Emas dalam skala kecil, meskipun Merkuri dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dengan tingkat yang tinggi. Merkuri dapat bergerak melintasi jarak yang jauh dari lingkungan tempatnya berasal, karena Merkuri dapat bergerak mengikuti sirkulasi udara dan jatuh kembali ke bumi melalui siklus hidrologi. Merkuri dapat jatuh kembali ke bumi bersama air hujan kemudian meresap mengikuti aliran air tanah dan bergerak menuju ke sumber-sumber air misalnya; mata air, sungai, danau dsb. Pergerakan Merkuri yang terlepas ke dalam lingkungan tidak dapat dibatasi oleh apapun juga, selain itu akibat yang ditimbulkan Merkuri terhadap lingkungan juga tidak dapat dibatasi oleh apapun juga, sehingga suatu negara ataupun daerah tidak dapat melakukan tindakan sendiri untuk melindungi masyarakat dan lingkungannya dari bahaya pencemaran Merkuri (*International Pops Elimination Network*, 2009).

Merkuri adalah salah satu unsur logam yang sangat jarang dalam kerak bumi. Keberadaan Merkuri secara alami dapat terjadi pada daerah-daerah yang terdapat kegiatan vulkanisme dan terjadi proses pengendapan mineral bijih beserta logam berat. Merkuri adalah logam berat yang merupakan bahan pencemar yang paling berbahaya dan beracun diantara logam-logam berat lainnya (Darmono., 2010). Sumber pencemar yang menghasilkan unsur Merkuri dapat berasal dari kegiatan manusia misalnya; penambangan atau pengolahan bijih Emas. Merkuri berada dalam proses pengolahan bijih Emas dalam tahapan penggilingan bijih Emas dalam tromol/gelundung. Penggilingan bijih bersama Merkuri dalam tromol/gelundung dapat menyebabkan Merkuri terpecah menjadi butiran-butiran halus yang sifatnya sukar dipisahkan, sehingga Merkuri dapat lepas dari tromol atau gelundung (Juliawan, et al., 2005, dalam Zulfikah., Basir, Muhammad., Isrun., 2014). Merkuri dalam proses penggilingan ikut terpecah menjadi bentuk bola-bola kecil dengan diameter <1 mm disebut tepung Merkuri (*mercury flour*).

Tepung Merkuri (*mercury flour*) tersebut dapat terbuang bersama *tailing* pada lingkungan sekitar, kemudian masuk ke dalam ekosistem dan membahayakan bagi lingkungan di bagian hilir (*downstream*) penambangan/pengolahan (Appel, Peter, W. U., Na-Oy, Leoncio., 2012). Merkuri terlepas ke dalam lingkungan dapat berupa tepung Merkuri (*floured mercury*), butiran-butiran amalgam (*amalgam flocs*), amalgam (*fine amalgam*), Emas yang teramalgamasi sebagian (*partially amalgamated gold*) dan uap (*vapour*) (Wotruba, Hermann., Weithkämper, Lars., 2016). Butiran-butiran Merkuri dalam bentuk tepung (*flour mercury*) tidak efektif untuk dapat mengumpulkan butiran Emas dalam bentuk amalgam, Merkuri tersebut dapat hilang dalam proses amalgamasi dan dapat masuk ke dalam lingkungan (Silva, Michael., 1986). Secara umum, jumlah kehilangan Merkuri terdapat dalam bentuk tepung (*flour mercury*) sekitar 25–30 % di dalam air limbah atau *tailing* (Egleston., 1887, Brading and Cross., 1972 dalam Nriagu, Jerome. O., 1994). Merkuri dapat menjadi butiran-butiran yang kecil/ *flouring* pada pengolahan bijih Emas yang menggunakan amalgamasi langsung, dan butiran-butiran tersebut tidak efektif dalam mengikat Emas, sehingga Merkuri dalam bentuk tersebut dapat terbuang bersama *tailing* ke dalam lingkungan (Peele., 1956 dalam Widodo., 2008). Hal-hal tersebut memberikan penjelasan bahwa Merkuri dapat terlepas ke dalam lingkungan dalam bentuk butiran-butiran kecil, sehingga disebabkan oleh berat jenis Merkuri yang besar, maka Merkuri dapat mengendap pada sedimen di aliran sungai.

Pengolahan bijih Emas dengan menggunakan metode amalgamasi memiliki kekurangan yaitu tingkat perolehan Emas yang rendah dan tingkat kehilangan air raksa/Merkuri yang tinggi, sehingga perolehan Emas melalui cara amalgamasi tidak optimal (Sevruykov drr., 1960 dalam Widodo., 2008), pengolahan bijih Emas sebenarnya hanya membutuhkan 1 gram Merkuri untuk mengekstrak 1 gram Emas (Appel, Peter, W. U., Na-Oy, Leoncio., 2012). Penggunaan Merkuri dalam proses amalgamasi dapat mencemari tanah, air dan udara, hal tersebut dikarenakan penguapan Merkuri pada proses pemanasan dalam *retorting* dapat masuk langsung ke lingkungan darat atau air (Splitz dan Trudinger, 2009 dalam

Gunradi, Rudy., 2011). Logam berat dapat masuk ke dalam lingkungan perairan melalui mekanisme pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian terjadi penyerapan oleh organisme yang hidup di perairan tersebut, apabila daya terlarut komponen yang terbentuk antara logam dan asam yang ada dalam air, seperti hidroksil dan klorida lebih kecil daripada konsentrasi logam berat, maka proses pengendapan logam berat akan terjadi (Ruslan., 2010, dalam Purnawan, Sandi., Sikanna, Rismawati., Prismawiryanti., 2013). Logam berat mengendap di dasar perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara absorbsi dan kombinasi (Djuangsih, N., dkk., 1982). Merkuri akan mengendap di bagian bawah sedimen sungai dan umumnya memiliki mobilitas yang rendah. Kehadiran Merkuri dalam perairan tergantung kepada kondisi sifat biologis, fisik dan geologi (*limnological conditions*) dari perairan tersebut. Sifat fisik Merkuri memiliki peran yang besar terhadap sistem transport Merkuri dalam aliran air dan letak pengendapan pada tempat-tempat tertentu dalam aliran air (Diaz, Elmer., 2000).

Keberadaan logam berat di dalam air dari segi jumlah kandungannya dalam air perlu mendapat pengawasan dan perhatian (Noviardi drr., 2007 dalam Widodo., 2008). Konsentrasi logam berat di perairan secara alami sangat kecil, konsentrasi Merkuri secara alami di dalam air sungai adalah 0,007 µg/L (Waldichuk., 1974 dalam Darmono., 2010). Keterdapatan logam berat dalam air secara alami ditemukan dengan jumlah yang sangat sedikit yaitu kurang dari 1 µg/L, tetapi apabila terjadi erosi maka konsentrasi logam dapat meningkat. Penyebab polusi tertinggi di dalam air adalah bahan partikel yang tidak terlarut dalam air misalnya; pasir, lumpur, tanah, bahan kimia inorganik dan organik yang membentuk bahan yang tersuspensi (campuran fluida yang mengandung partikel padat) di dalam air. Partikel yang tersuspensi dalam air dapat menyebabkan kekeruhan dan pengendapan sedimen, di dalam sedimen tersebut dapat terakumulasi bahan beracun misalnya senyawa logam. Kehadiran senyawa Metil Merkuri di alam memiliki sifat yang berkesinambungan/terus menerus (persisten), senyawa MetilMerkuri dapat tertinggal dalam sedimen sungai dengan waktu

mencapai 70 tahun. (Darmono., 2010). Bagian ekosistem air yang memiliki kandungan logam berat yang paling besar adalah sedimen di dasar air (Hart dan Lake., 1987 dalam Darmono., 2010). Dalam perairan, Merkuri terendapkan dalam sedimen dan tertransportasi ke hilir, bagian terbesar dari sedimen terdapat pada dasar sungai dan tertutupi oleh material endapan atau tebing sungai yang tererosi (Miller and Lechler., 2003 dalam Lovitz, Sara Beth., 2006).

Meluasnya lokasi penyebaran Merkuri disebabkan karena Merkuri merupakan bahan kimia yang umum digunakan dan paling efisien pada pengolahan bijih Emas (Muddarisna et al., 2013; Logsdon., 1999, dalam Sugianti, Titin., Sudjudi dan Syahri., 2014). Kegiatan manusia terutama kegiatan industri merupakan faktor non–alamiah yang mengontrol penyebaran Merkuri, yang dapat menyebabkan peningkatan kadar logam Merkuri jauh melebihi ambang batas lingkungan hidup. Merkuri yang berasal dari pengolahan bijih Emas masuk ke dalam lingkungan berasal dari lokasi pengolahan mineral bijih Emas yang umumnya berdekatan dengan lokasi penggalian bijih (Fahmi, Fraga Luzmi., Budianta, Wawan., Idrus, Arifudin., 2014). Musim memiliki pengaruh terhadap distribusi logam berat, pada musim kemarau, dimana debit air sungai akan menurun, maka konsentrasi Merkuri pada suatu tempat dapat menjadi lebih besar karena pergerakan Merkuri tidak akan jauh dari tempat pengolahannya (Y. Miu., 2013 dalam Sugianti, Titin., Sudjudi dan Syahri., 2014). Penyebaran konsentrasi Merkuri tertinggi pada sedimen terdapat pada daerah yang merupakan daerah pertambangan rakyat (Simange, Silvanus Maxwel., 2015). Penyebaran Merkuri pada suatu daerah tergantung pada musim dan lokasi pengolahan yang menggunakan Merkuri.

Penyebaran Merkuri yang dikontrol oleh faktor alamiah dipengaruhi oleh proses geologi yang terjadi di alam. Proses geologi yang terjadi pada suatu daerah dapat mengubah tatanan geokimia pada suatu daerah, selain itu dengan adanya siklus hidrologi yang terjadi di alam dapat membantu proses terjadinya mekanisme transportasi zat pencemar. Penyebaran urat-urat yang berasal dari proses

mineralisasi hidrotermal mengontrol proses pencemaran Merkuri yang masuk ke dalam batuan dan air tanah. Struktur geologi yang berkembang pada suatu daerah dapat mengontrol proses penyebaran urat-urat, keberadaan kekar-kekar, rongga atau zona lemah lainnya umumnya mengontrol proses penyebaran urat-urat tersebut. Proses diferensiasi magma yang membawa fluida hidrotermal dapat mengisi kekar-kekar, rekahan-rekahan atau sesar pada suatu massa batuan, mineral logam Emas dan mineral bijih lainnya dapat terendapkan pada proses tersebut, bersama dengan mineral lainnya serta unsur-unsur yang berasosiasi dengan proses mineralisasi tersebut pada suhu tertentu sesuai dengan perjalanan pembekuan magma ke permukaan bumi (F. Hakim., 2014 dalam Fahmi, Fraga Luzmi., Budianta, Wawan., Idrus, Arifudin., 2014).

Merkuri yang berada di permukaan tanah dapat menyebar ke dalam air tanah dengan mengikuti penyebaran urat-urat yang terbentuk pada kekar-kekar, retakan ataupun sesar akibat adanya proses mineralisasi. Air di permukaan tanah akan bergerak dari tempat yang tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah, pergerakan aliran permukaan dikontrol oleh gradien hidraulik, air akan bergerak dari gradien hidraulik yang lebih tinggi menuju daerah dengan gradien hidraulik yang lebih rendah. Merkuri yang terdapat pada aliran pemukaan akan terendapkan bersama sedimen sungai. Kecepatan aliran sungai mempengaruhi terjadinya proses/ mekanisme transport air sungai dan sedimen sungai. Aliran air sungai memiliki kecepatan maksimum di sekitar bagian tengah dan mengalami penurunan pada bagian dasar akibat adanya gesekan dengan material dasar sungai (H.F. Hemond dan E.J. Fechner-Levy., 2000 dalam Fahmi, Fraga Luzmi., Budianta, Wawan., Idrus, Arifudin., 2014). Fraga Luzmi Fahmi, Wawan Budianta dan Arifudin Idrus (2014), melakukan penelitian tentang dampak pencemaran Merkuri terhadap media geologi pada pertambangan rakyat di Banyumas, Jawa Tengah menyatakan bahwa penyebaran Merkuri dalam media geologi telah terjadi pada daerah tersebut dan faktor geologi yang memberikan kontribusi secara signifikan terhadap penyebaran Merkuri pada media geologi di daerah penelitiannya adalah permeabilitas tanah dan aliran permukaan.

Penelitian-penelitian tentang Merkuri sebelumnya telah dilakukan di Daerah Sangon. Kalirejo. Bambang Tjahjono Setiabudi pada Tahun 2005, melakukan penelitian di daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Metode yang digunakan untuk pengujian kandungan Merkuri dalam sampel adalah uji laboratorium dengan menggunakan *Atomic Absorbtion Spectophotometry* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan analisis sampel air permukaan yang dianalisis tidak terkontaminasi oleh Merkuri dan logam berat lainnya (< 0,5 ppb atau < 0,00005 ppm), tetapi Bambang Thahjono Setiabudi menyatakan bahwa pengolahan Emas dengan cara amalgamasi telah menyebabkan kontaminasi pada aliran sungai, dimana kadar Hg, Pb, Zn, As dan Cd menunjukkan nilai yang sangat tinggi dan berpotensi untuk menimbulkan dampak lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan masyarakat di sekitar lokasi penambangan. Hasil analisis sampel tanah menunjukkan kadar Merkuri yang sangat tinggi > 50 ppm Hg. Sampel *tailing* yang diambil dari 9 lokasi pengolahan memiliki kadar Merkuri sangat tinggi berkisar antara 800–900 ppm. Sampel sedimen sungai memiliki kandungan Merkuri 8,549 ppm, 11,4 ppm dan 97,84 ppm. Sampel bijih dinyatakan mengandung Merkuri 92 ppm dan 18 ppm. Ditinjau dari segi tingkat keasaman (pH) dari aliran Sungai Sangon II penelitian Bambang Thahjono Setiabudi, Tahun 2005, mendapatkan data bahwa berdasarkan hasil pengukuran pH berkisar antara 7,3–8,3, dengan pH rata-rata 7 (Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005). Data lain yang didapatkan makalah ilmiah Sabtanto Joko Suprapto menyatakan bahwa terdapat kandungan Merkuri dalam bijih di Sangon adalah 14,15 ppm dan kandungan Merkuri dalam air limbah adalah 0,8–6,9 ppm (Suprapto, Sabtanto Joko., 2006).

Dalam penelitian Bambang Tjahjono Setiabudi juga mengemukakan bahwa, sifat penyebaran Merkuri akibat usaha pertambangan Emas rakyat di daerah Sangon, Kalirejo diperkirakan masih dalam skala lokal, tetapi untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan yang lebih besar maka hal tersebut perlu mendapatkan perhatian yang lebih besar. Husodo., dkk. (2005) melakukan penelitian terhadap kandungan darah para pekerja di Desa Kalirejo, dalam jurnal

yang diterbitkan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Gadjah Mada menyebutkan bahwa 30,76 % penambang Emas di Desa Kalirejo dalam darahnya mengandung Merkuri dengan level tertinggi 13,7 µg/L dan para penambang memiliki kemungkinan 1,5 kali lebih besar terkontaminasi Merkuri dibandingkan penduduk sekitar. Kandungan Merkuri dalam darah para penambang tersebut sudah melampaui ambang batas normal yang ditetapkan oleh WHO pada Tahun 1990 yaitu 5–10 µg/L (Majalah Tempo., 2004). Sifat lokal penyebaran Merkuri di Sangon berkaitan dengan jumlah penggunaan Merkuri.

Denni Widhiyatna, Bambang Tjahjono, Rudy Gunrady, Mulyana Sukandar dan Zamri Ta'in pada Tahun 2005, menyatakan bahwa nilai konsentrasi Merkuri dalam air di daerah Sangon, Kalirejo masih di bawah Baku Mutu yang ditetapkan dan apabila dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah No.82/2001 tentang kriteria mutu air, maka air di daerah tersebut masih dalam kondisi yang baik. Kekeruhan pada air permukaan merupakan dampak negatif yang terlihat muncul akibat pengolahan Emas tersebut (Widhiyatna, Denni., Tjahjono, Bambang., Gunrady, Rudy., 2005) . Permasalahan mengenai sifat penyebaran, Denni Widhiyatna., Dkk mengemukakan hal yang sama dengan Bambang Thahjono Setiabudi, bahwa penyebaran Merkuri akibat usaha pertambangan Emas rakyat di Daerah Sangon diperkirakan masih bersifat lokal, tetapi Denni Widhiyatna., Dkk lebih menekankan bahwa sifat kelokalan penyebaran Merkuri tersebut dipengaruhi oleh kemampuan dispersi Merkuri tersebut, selain itu dikemukakan juga bahwa pengelompokkan konsentrasi Merkuri yang tinggi ditemukan pada daerah pengolahan bijih Emas (Widhiyatna, Denni.,, Hutamadi, R., Ahdiat, Asep., 2006). Penelitian-penelitian yang telah dilakukan peneliti-peneliti terdahulu menyatakan bahwa sifat penyebaran Merkuri akibat adanya pengolahan bijih Emas di daerah Sangon masih bersifat lokal.

Penelitian lain tentang kandungan Merkuri dalam air tanah di Dusun Sangon juga dilakukan oleh Agus Suyono untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Lingkungan, UPN "Veteran" Yogyakarta pada Tahun 2010. Penelitian

dilakukan dengan mengambil 5 sampel air tanah pada titik-titik di dekat aliran Sungai Sangon II. Sampel-sampel air tanah diuji dengan menggunakan alat *Mercury Analyzer* dengan batas deteksi alat adalah 0,01 ppb. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Merkuri dalam air tanah adalah 0,00019 ppm, 0,00018 ppm, 0,00020 ppm, 0,00023 ppm dan 0,00029 ppm. Kesimpulan dari penelitian tersebut menyatakan bahwa kandungan Merkuri dalam air tanah di Dusun Sangon II masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan, sedangkan hasil uji laboratorium pada penelitian Agus Suyono, Tahun 2010, memperoleh hasil pH aliran air sungai Sangon II antara 7,59–8,37. Arah aliran air tanah bergerak dari arah utara-menuju ke selatan, sesuai dengan topografi yang menurun dari utara ke selatan di dusun tersebut (Suyono, Agus., 2011).

Berdasarkan tinjauan pustaka dan penelitian-penelitian terdahulu, dapat diberikan suatu kesimpulan bahwa pengolahan bijih Emas dengan amalgamasi yang menggunakan Merkuri dapat menimbulkan bahaya terhadap turunnya kualitas lingkungan hidup. Merkuri yang terdapat pada *tailing*/air limbah hasil pengolahan bijih Emas dengan metode amalgamasi yang dialirkan ke dalam aliran sungai dapat menimbulkan pencemaran pada sungai tersebut. Ditinjau dari penelitian terdahulu pada daerah penelitian yang sama, terdapat sumber Merkuri yang lain selain dari hasil proses amalgamasi yaitu dari bijih yang mengandung Merkuri. Ditinjau berdasarkan sifat fisika dan kimia serta karakteristik yang dimiliki Merkuri, maka Merkuri yang terdapat dalam air limbah yang dialirkan ke dalam aliran sungai dapat mengendap pada sedimen sungai, selain itu, keberadaan Merkuri di daerah tersebut juga dapat memberikan potensi untuk mencemari air tanah pada daerah penelitian.

1.6. Hipotesis

Hipotesis-hipotesis yang dapat dikemukakan dalam penelitian ini adalah :

1. Topografi berpengaruh terhadap pengendapan Merkuri terjadi pada sedimen sungai, kandungan Merkuri yang terendapkan berbanding terbalik dengan kemiringan topografi.

2. Jumlah kandungan Merkuri yang terdapat dalam sedimen sungai tidak tergantung dengan jarak dari sumber pencemaran.
3. Kandungan Merkuri dalam air tanah berbanding terbalik dengan jarak dari sumber pencemar.

1.7. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat-manfaat sebagai berikut :

1. Mengembangkan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan Merkuri tentang bahaya, sifat penyebaran dan pengetahuan-pengetahuan lain yang berkaitan dengan Merkuri.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang bahaya Merkuri bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup, sehingga masyarakat dapat meningkatkan kewaspadaan terhadap Merkuri.
3. Dapat memberikan sumbangan saran untuk meminimalkan dampak negatif Merkuri yang dapat timbul kepada masyarakat dan kebijakan pemerintah yang disesuaikan dengan kondisi daerah tersebut.

1.8. Metodologi Penelitian

Kegiatan penelitian Merkuri di Dusun Sangon II, Kalirejo, Kokap, Daerah Istimewa Yogyakarta dilakukan dengan tahapan (Gambar 1.1.) sebagai berikut :

a. Kajian pustaka mengenai jurnal–jurnal, makalah ilmiah, penelitian-penelitian terdahulu dan dasar-dasar teori tentang permasalahan yang berhubungan dengan Merkuri, Emas dan genesanya, kondisi geologi daerah penelitian, metode pengolahan amalgamasi, sungai, sedimen sungai, air tanah dan pencemaran air untuk mendapatkan hipotesa penelitian.
b. *Survey* lapangan untuk melakukan pendataan awal mengenai lokasi penelitian di sepanjang aliran sungai dan menggali informasi-informasi yang mendukung penelitian tentang keberadaan Merkuri dan penggunaan Merkuri pada proses amalgamasi di daerah penelitian. Informasi–informasi tersebut didapatkan yang didapatkan dari masyarakat dan penambang daerah penelitian, dengan melakukan wawancara untuk mengumpulkan informasi.

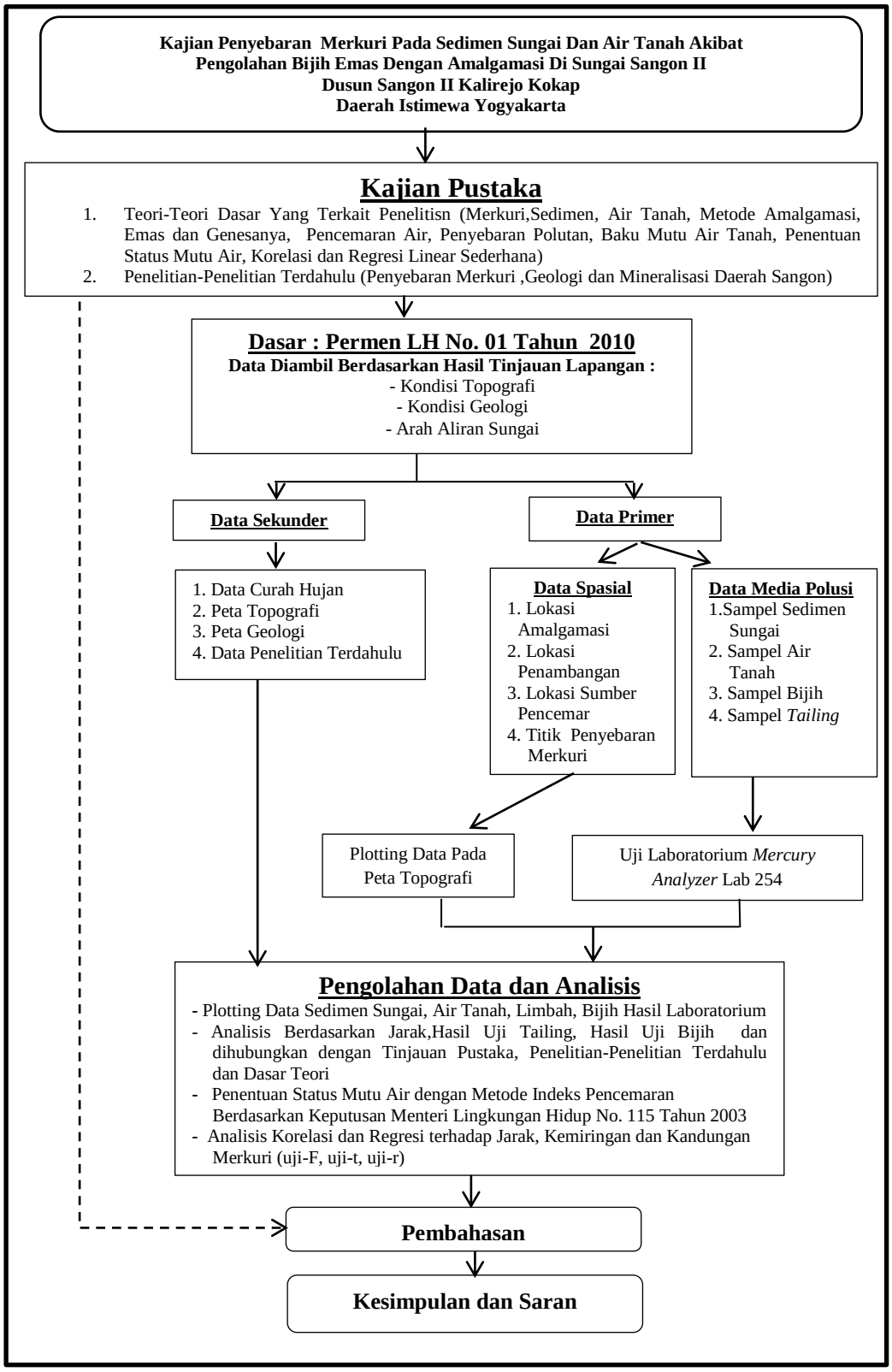
c. Validasi data dilakukan untuk memastikan data-data yang diperlukan untuk penelitian. Validasi data didasarkan pada ketentuan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 01 Tahun 2010, mengenai prioritas lokasi tes lapangan/pengambilan sampel untuk lokasi sumber tertentu (*point sources*). Sumber pencemar pada daerah penelitian termasuk klasifikasi dengan lokasi sumber tertentu, yang berasal dari kegiatan manusia. Kegiatan validasi data dilakukan dengan tinjauan langsung ke lapangan untuk melakukan pengamatan tentang kondisi topografi daerah, arah aliran sungai dan kondisi geologi daerah penelitian.

d. Pengumpulan data-data sekunder dari jurnal–jurnal, makalah ilmiah, penelitian–penelitian terdahulu dan penentuan lokasi pengambilan sampel air tanah dan sedimen sungai. Pengumpulan data dilakukan dilakukan dengan cara pemantauan langsung kondisi geologi dan lingkungan tambang. Peta topografi didapatkan dari citra satelit diolah dengan menggunakan Citra Satelit USGS *software* ArcGIS 10.3. Pengukuran lokasi geografis lokasi penambangan dan lokasi pengolahan amalgamasi dilakukan dengan menggunakan GPS (Garmin 60 CSX). Pengamatan geologi didasarkan pada referensi Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa skala 1 : 100.000 (Rahardjo, Wartono., Sukandarrumidi., Rosidi , H.,M., D., 1977).

e. Pengumpulan data geokimia dilakukan dengan mengambil sampel sedimen sungai, air tanah, *tailing* dan bijih. Sampel sedimen sungai (8 sampel) diambil dari hulu sungai sampai hilir sungai pertemuan dengan Sungai Plampang, pada titik-titik yang berjarak 0 m, 60 m, 110 m, 170 m, 230 m, 350 m, 450 m, 530 m dari lokasi pengolahan amalgamasi dan dicatat ketinggian topografi sungai pada masing–masing titik pengambilan sampel. Sampel-sampel diambil pada jarak tertentu dengan pertimbangan topografi sungai yang tidak memungkinkan pengambilan sampel dengan selang jarak yang sama (teratur) antara satu titik dengan titik lainnya, terdapat beberapa tempat yang curam sehingga tidak terjangkau oleh peneliti dengan berjalan kaki. Sampel air tanah diambil dari tiga lokasi sumur yang digunakan oleh masyarakat setempat di dekat aliran sungai. Sampel *tailing* (1 sampel) diambil dari lokasi pengolahan

amalgamasi. Sampel bijih diambil dari lokasi penambangan sebanyak 2 sampel. Sampel air permukaan (6 sampel), diambil dengan tujuan sebagai pembanding apakah terdapat merkuri/tidak dalam air permukaan tersebut. Pengukuran kandungan Merkuri dalam sampel-sampel tersebut dengan metode pengujian sampel di laboratorium dengan menggunakan alat *Mercury Analyzer Lab 254* di Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada.

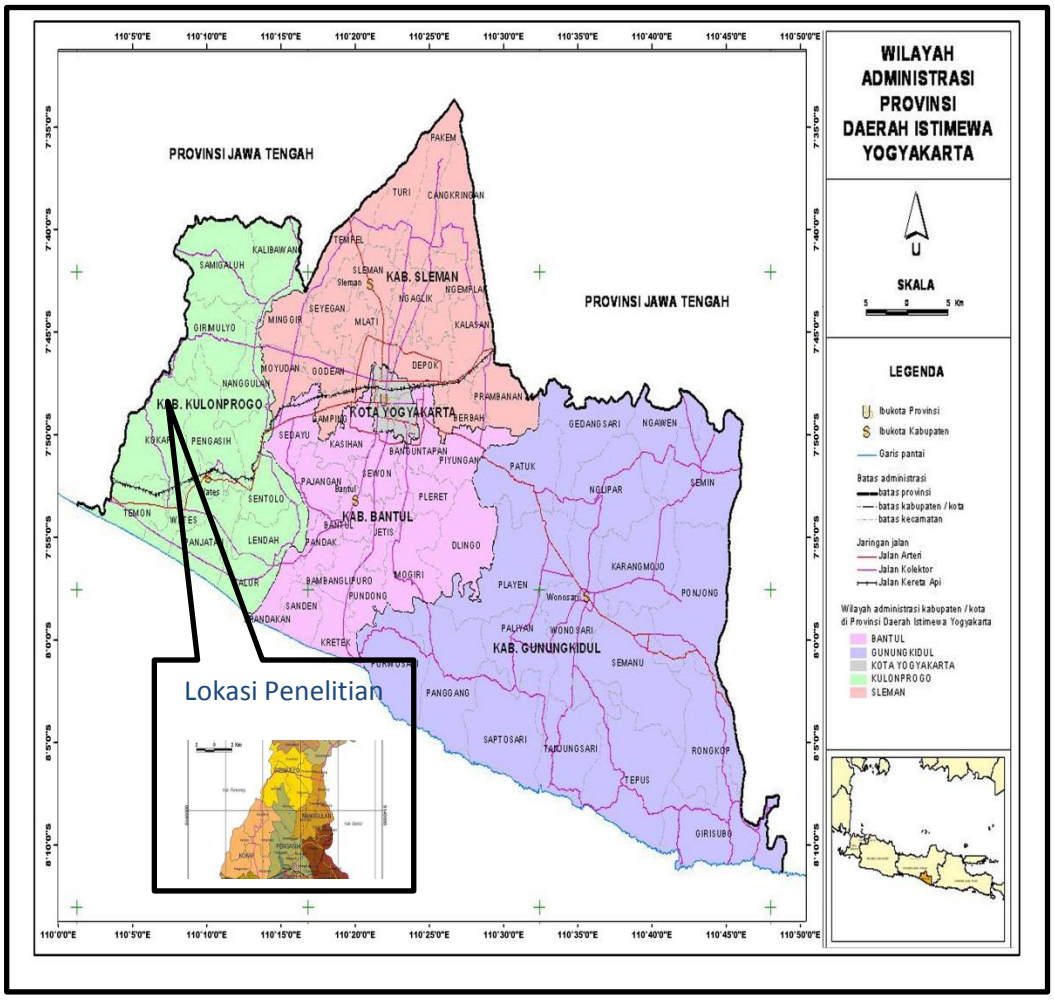
f. Pengolahan data dan analisis hasil penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil uji laboratorium air tanah dengan Baku Mutu Air Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 dan dilakukan perhitungan dengan Metode Indeks Pencemaran untuk menentukan status mutu air berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003, sehingga diketahui apakah terjadi penurunan kualitas air atau tidak. Analisis kandungan Merkuri pada sedimen sungai berdasarkan kadar Merkuri pada sedimen jarak tertentu dari lokasi pengolahan, analisis juga dilakukan dengan membandingkan hasil uji laboratorium sedimen sungai terhadap hasil uji laboratorium *tailing* yang dibuang ke sungai dan sampel bijih. Analisis korelasi dan regresi linear sederhana (uji-F, uji-t, uji-r) dengan menggunakan fasilitas *data analysisMicrosoft Excel 2010*, dilakukan untuk mengetahui bagaimanakah hubungan jarak, kemiringan topografi dengan kandungan Merkuri dalam air tanah dan sedimen sungai. Selain hal tersebut, berdasarkan landasan teori, tinjauan pustaka penelitian, kelimpahan rata-rata Merkuri dalam batuan, sedimen dan air, data dari pengamatan lapangan dan data–data sekunder yang didapatkan dari penelitian–penelitian terdahulu tentang Merkuri yang terdapat dalam air tanah, batuan dan sedimen sungai dapat dianalisis apakah sedimen sungai dan air tanah terpengaruh oleh pembuangan *tailing* pengolahan amalgamasi.



Gambar 1.1. Bagan Alir Tahapan Penelitian

BAB II
TINJAUAN UMUM

2.1. Lokasi Dan Kesampaian Daerah



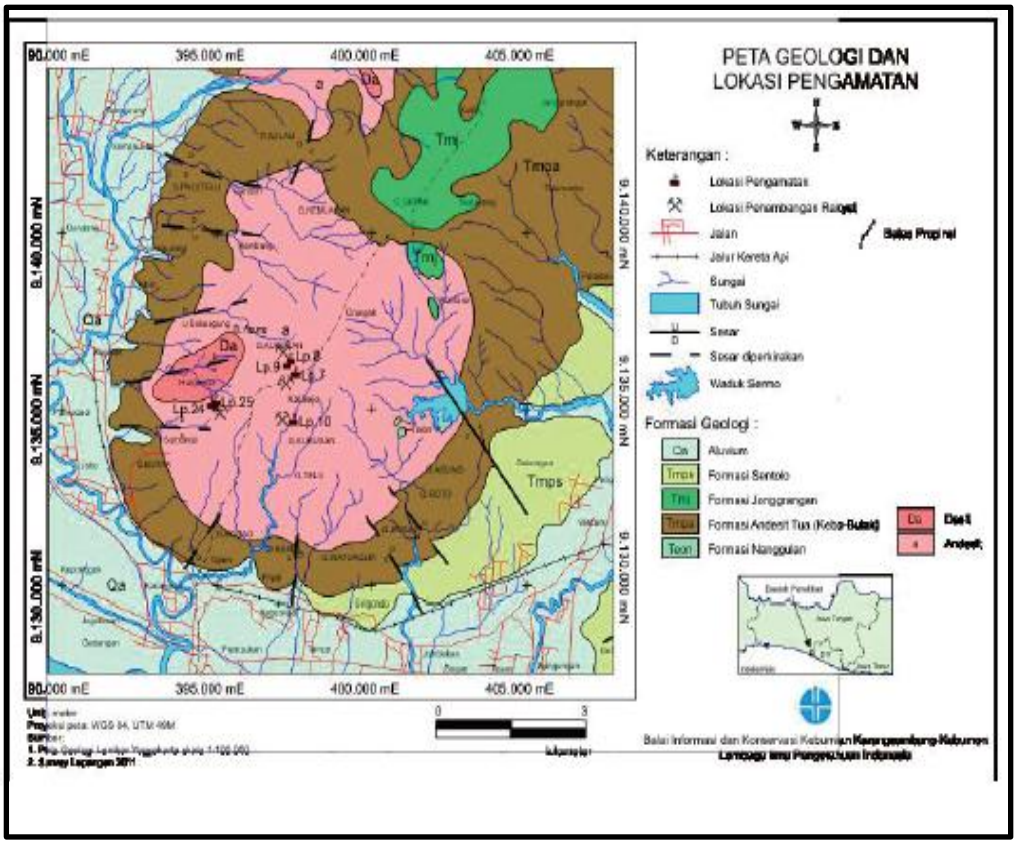
Sumber : www.dppka.jogjaprov.go.id.

Gambar 2.1.
Lokasi Daerah Penelitian

Kabupaten Kulonprogo adalah salah satu kabupaten di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara geografis terletak antara (7° 38' 42" -7° 38' 42" LS) dan (110 ^{o} 01' 37" - 110 ^{o} 01' 37" BT). Letak Kabupaten Kulonprogo berbatasan dengan Kabupaten Magelang di sebelah Utara, Kabupaten Sleman dan Bantul di

sebelah Timur, Kabupaten Purworejo di sebelah Barat dan Samudera Indonesia di sebelah Selatan. Lokasi penelitian adalah Dusun Sangon II, secara administrasi terletak di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo. Dusun tersebut dapat ditempuh melalui perjalanan darat dari Yogyakarta selama 1,5 jam (Lihat Gambar 2.1.).

2.2. Keadaan Geologi



Sumber : Ansori, Chusni., Hastria, Defry., 2013

Gambar 2.2.
Peta Geologi Kubah Kulonprogo

Pegunungan Kulonprogo merupakan bagian dari Kompleks Pegunungan Serayu Selatan yang terletak di ujung bagian Timur. Kompleks Pegunungan Serayu Selatan, secara umum berarah Barat– Timur, sedangkan Pegunungan Kulonprogo berarah hampir Selatan–Utara atau Barat Daya–Timur Laut yang berlainan dengan arah umum kompleks tersebut. Pegunungan Kulonprogo merupakan suatu kubah atau *dome* berbentuk empat persegi panjang. Sumbu panjang kubah (± 32

Km) berarah Selatan–Barat Daya–Utara–Timur Laut, sedangkan sumbu pendek (± 20 Km) berarah Barat–Barat Laut–Timur Tenggara. Bagian atas kubah merupakan suatu dataran tinggi (859 m dpl) yang terkenal dengan nama *plato* Jonggrangan (Van Bemmelen., 1949 dalam Ansori, Chusni., Hastria, Defry., 2013) (Lihat Gambar 2.2.).

Secara fisiografis Pegunungan Kulonprogo termasuk ke dalam *dome* atau bagian tengah zona depresi yang berada di bagian timur zona Pegunungan Serayu Selatan dengan arah yang agak berbeda, mengarah Barat Daya–Timur Laut dari arah umum Barat–Timur. Bentuk wilayah ini diakibatkan oleh proses periode tektonik yang berbeda dengan melibatkan formasi-formasi batuan yang berlainan dan tektonik aktif yang terlihat dari pola deformasinya (Budiadi., 2008 dalam Ansori, Chusni., Hastria, Defry., 2013).

Tiga evolusi utama tektonik utama yang terjadi pada jalur pegunungan Kulonprogo yaitu pada akhir Paleogen, Miosen Tengah dan akhir Pliosen digambarkan sebagai siklus orogenesa Tersier jalur Pegunungan Kulonprogo, jika ditinjau dari segi tektonik. Berdasarkan kondisi litologi, fisiografi, secara regional, daerah Kubah Kulonprogo (*Kulonprogo Dome*) terbagi atas tiga jalur yang disebabkan oleh subduksi yang membentuk kubah (Van Bemmelen., 1949 dalam Isjudarto, A., 2009), yaitu :

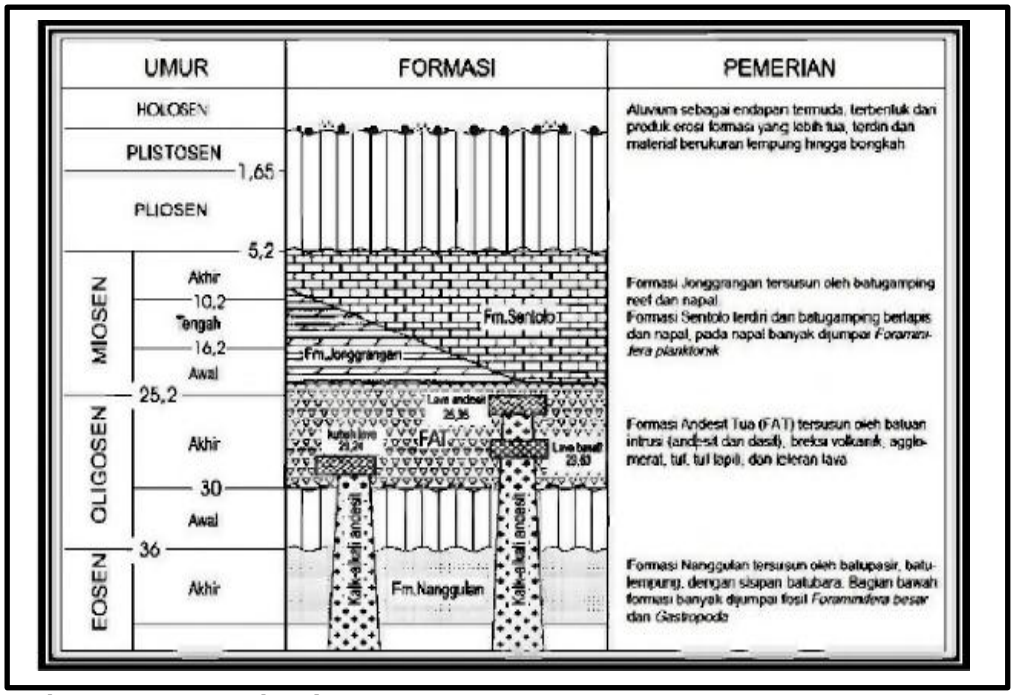
1. Jalur sedimen sebelah selatan merupakan jalur yang terdiri dari sedimen-sedimen Paleogen yang ditutup secara diskordan oleh lapisan yang berumur lebih muda. Lapisan Paleogen ini umumnya terlipat, tersesarkan dan memiliki sumbu lipatan-lipatan berarah Barat–Barat Laut.
2. Jalur eruptiva bagian tengah, jalur ini sebagian besar terdiri dari Formasi Andesit Tua dengan sedimen-sedimen yang berumur Paleogen. Pembentukan Emas dalam proses mineralisasi berpotensi terjadi pada jalur ini. Daerah Sangon terletak pada jalur eruptiva bagian tengah ini. Batuan yang menyusun daerah Sangon termasuk dalam Formasi Andesit Tua.

3. Jalur sedimen sebelah utara, jalur ini terdiri endapan-endapan geosinklinal seperti lipatan-lipatan dari Formasi Kerek, Formasi Tuban dan lain-lain yang ditutupi secara diskordan oleh lapisan vulkanik berumur Pliosen.

Van Bemmelen., 1949 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, menyebutkan bahwa seluruh batuan vulkanik di Kulonprogo sebagai Formasi Andesit Tua (OAF/ *Old Andesite Formation*). Kulonprogo dibentuk oleh batuan berumur Tersier sampai Kuarter yaitu Formasi Nanggulan, Formasi Kebobutak, Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo, serta batuan intrusi intermediet–felsik. Formasi Nanggulan (Eosen–Oligosen) disusun oleh batupasir bersisipan dengan lignit, napal pasiran, batulempung *limonitic*, sisipan napal dan batugamping, batupasir dan tuf. Formasi Kebobutak (Oligosen–Miosen) berupa breksi, andesit, tuf, tuf lapilli, aglomerat dan lava andesit. Formasi Jonggrangan (Miosen) disusun oleh konglomerat, napal tufan, batupasir gampingan bersisipan lignit, batugamping berlapis dan batugamping koral. Formasi Sentolo (Miosen–Pliosen) disusun oleh batugamping dan batupasir napalan, sedangkan batuan intrusi yang menerobos Formasi Kebobutak (Miosen) berkomposisi andesit hipersten, andesit augit, trakiandesit, sampai dasit (Rahardjo, drr., 1995 dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005).

Penelitian-penelitian dilakukan oleh para ahli geologi untuk mengetahui stratigrafi regional daerah Kulonprogo dengan berbagai pendekatan antara lain ; Van Bemmelen (1949), Marks (1957), Suyanto dan Roskamil (1977), Rahardjo dkk (1977), Harsono dan Riyanto (1981) dan Soeri-Atmaja dkk (1991) (Lihat Gambar 2.3.). Stratigrafi regional Kulonprogo secara garis besar berurutan dari tua ke muda adalah Formasi Nanggulan, Formasi Andesit Tua, Formasi Jonggrangan, Formasi Sentolo dan Endapan Gunung Api Kuarter Muda, dalam stratigrafi tersebut, pada Formasi Andesit Tua terdapat urat-urat kuarsa pembawa logam (Isjudarto, A., 2009). Daerah Sangon didominasi oleh batuan andesit porfiri dan sedikit endapan alluvial kuarter, sebagian andesit mengalami breksiasi, silisifikasi dan ubahan propilitik sampai filik. Beberapa urat kuarsa yang mengisi bidang

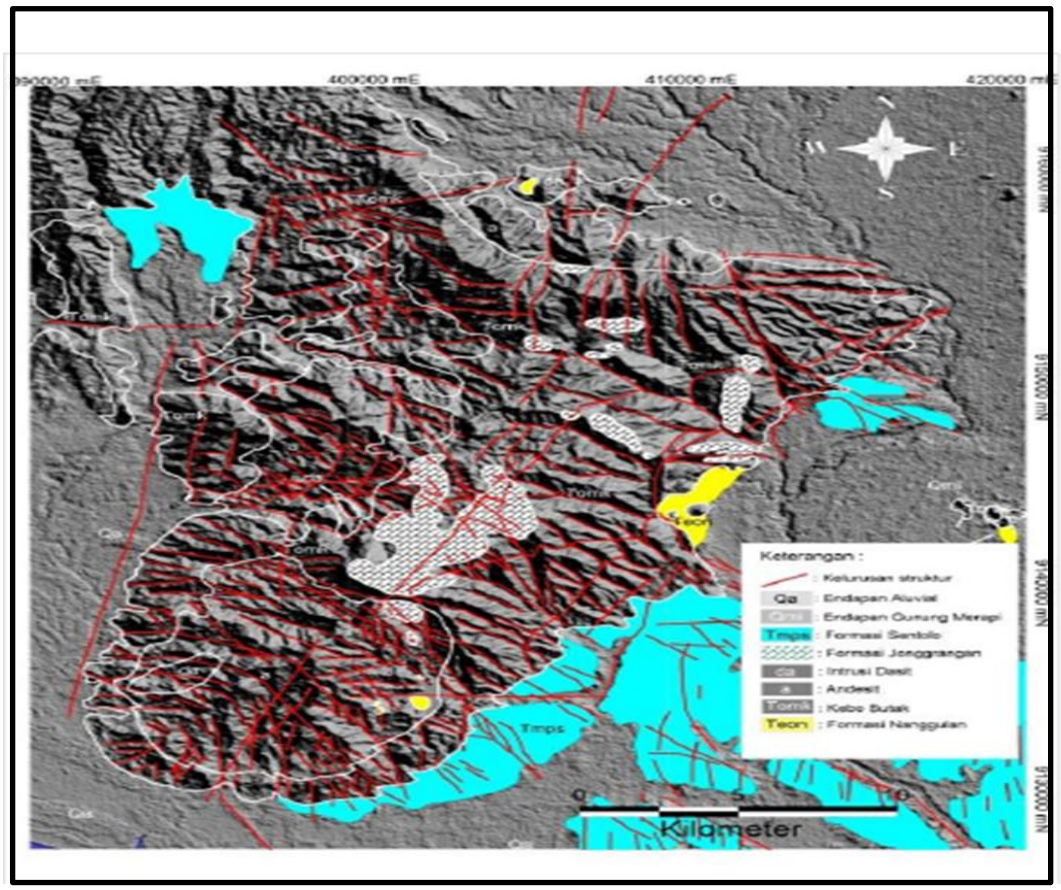
rekahan dan zona geser menunjukkan mineralisasi Emas berasosiasi dengan pirit dan sulfida logam dasar. Struktur geologi lokal dijumpai berupa kekar dan breksiasi pada batuan andesit. Sesar normal minor berarah Barat Laut–Tenggara dan Timur Laut–Barat Daya.



Sumber : Suyanto., Roskamil., 1975 ; Pringgoprawiro., Riyanto., 1986 ; Soeria Atmaja *et al*., 1991, Suyono., 2004 dalam Purnamawati, Dwi Endah., Tapilatu, Stiwinder Renata., 2012.

Gambar 2.3.
Kolom Stratigrafi Regional Pegunungan Kulonprogo

Mineralisasi Emas di Sangon tersebar tidak merata dalam urat kuarsa yang mengandung sulfida dan kadang-kadang berasosiasi dengan lempung ubahan filik –argilik yang penyebarannya dikontrol oleh bidang–bidang rekahan membentuk *stockwork veins*. Urat kuarsa dengan tebal bervariasi < 1 cm - 50 cm, membentuk jalur mineralisasi umumnya berarah N 60^0 E – N 110^0 E dengan kemiringan 70^0 – 80^0. Mineralisasi Emas pada beberapa lokasi ditemukan terdapat dalam urat kuarsa halus (1–50 mm) membentuk *stockwork veinlets* pada batuan andesit terubah. Emas dan perak terdistribusi secara acak dalam urat kuarsa dengan kadar 1–13,88 ppm Au dan 5,4–63,2 ppm Ag (Gunawan, drr., 2001 dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005).

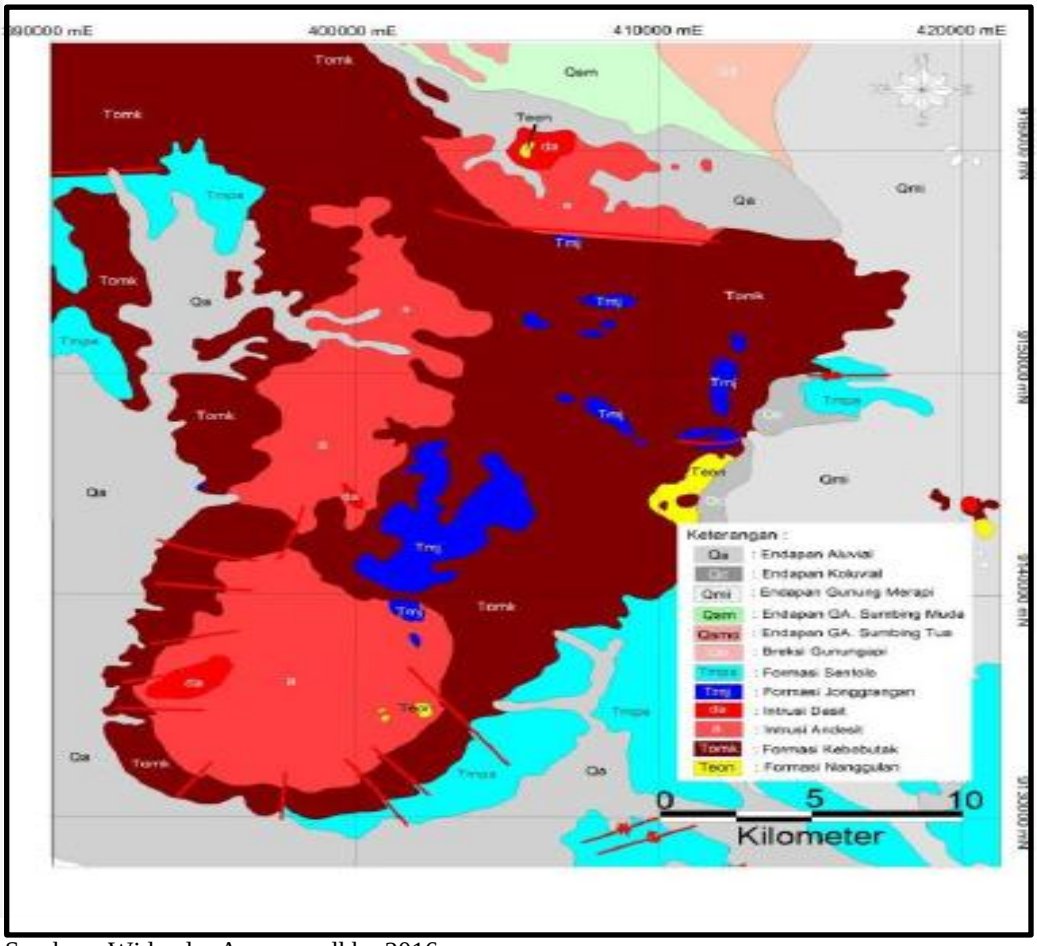


Sumber : Widagdo, Asmoro., dkk.,2016

Gambar 2.4.
Peta Kelurusan Struktur Geologi Pegunungan Kulonprogo

Kelurusan struktur sesar di Pegunungan Kulonprogo berarah Barat Laut – tenggara berkembang pada bagiang Tengah dan Selatan. Bagian Tengah merupakan tubuh dari pusat vulkanisme Gajah (Barianto., *et al*., 2010 dalam Widagdo, Asmoro., 2016) dan Harjanto., 2011 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, menyebutnya sebagai pusat vulkanisme Gunung Api Jonggrangan. Hasil kegiatan vulkanisme Paleogen yang pertama muncul di Pegunungan Kulonprogo membentuk Formasi Gadjah yang berumur Oligosen di bagian Tengah Pegunungan Kulonprogo (Barianto., *et al*., 2010 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016). Umur Gunung Api Gadjah adalah 25,4–29,6 juta tahun, dengan demikian kelurusan berarah Barat Laut–Tenggara pada Gunung Gadjah berumur Miosen Awal atau tidak lebih muda dari umur Gunung Ijo (Soeria-Atmaja., *et al*., 1994 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016). Kelurusan struktur berarah Barat Laut–

Tenggara juga banyak berkembang pada bagian Selatan Pegunungan Kulonprogo, Barianto., et al., 2010 dan Harjanto.,2011 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, menyebutnya sebagai tubuh Gunung Api Ijo. Soeria-Atmaja., 1994 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, menyebutkan bahwa umur Gunung Api ijo adalah 17,0 ± 2,2 juta tahun (Miosen Tengah). Pada tubuh gunung api ini kelurusan berarah Barat Laut-Tenggara berkembang pada bagian Selatan dan Timur. Kelurusan ini membentuk kurva sehingga pada bagian Barat laut Gunung Ijo berubah arah menjadi arah Barat–Timur. Kelurusan ini diperkirakan sebagai kelurusan sesar normal dengan kenampakan jelas yang jelas di bagian Barat laut Gunung Ijo atau di daerah Kaligesing, Purworejo. Sesar–sesar normal ini memiliki kemiringan ke arah Barat Daya (Lihat Gambar 2.4).



Sumber : Widagdo, Asmoro., dkk., 2016.

Gambar 2.5.
Peta Kelurusan Struktur Geologi di Sangon

Kelurusan struktur berarah Utara–Selatan banyak berkembang di bagian Selatan, Barat dan Utara Pegunungan Kulonprogo (Lihat Gambar 2.5.). Kelurusan ini digambarkan sebagai sesar mendatar mengiri yang memotong Formasi Kebobutak dan Andesit di Bagian Selatan Selatan Gunung Ijo di daerah Sangon (Rahardjo., dkk., 1995 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016). Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, menyebutkan bahwa struktur gunung api dan struktur geologi sekunder mengontrol sebaran batuan di Pegunungan Kulonprogo. Sebaran batuan vulkanik Gunung Api Gajah, Ijo dan Menoreh dikontrol oleh struktur tubuh gunung api. Struktur sesar normal Barat Laut–Tenggara, sesar naik Barat Daya–Timur Laut dan sesar geser berarah Utara–Timur laut merupakan struktur sekunder yang mengontrol sebaran batuan di Pegunungan Kulonprogo.

Penelitian tentang genesa, mineralisasi Emas dan asosiasinya di daerah Sangon, dilakukan dengan melakukan analisis petrografi dan analisis *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS). Hasil analisis petrografi pada batuan di daerah Sangon menunjukkan bahwa mineralisasi Emas dan asosiasinya di daerah Sangon didominasi oleh alterasi bertipe propilitik dan termasuk dalam sistem hidrotermal jenis mesotermal. Hasil analisis petrografi dengan menggunakan metode *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS), kandungan/ kadar mineral logam Au yang terdapat di Sangon, memiliki kandungan/kadar paling rendah dibandingkan dengan asosiasi mineral logam lainnya (Purnamawati, Dwi Endah., Tapilatu, Stiwinder Renata., 2012).

Alterasi tipe propilitik, menurut Creasy,1966; Lowell dan Guilbert,1970 dalam Purnamawati, Dwi Endah., Tapilatu, Stiwinder Renata., 2012, terbentuk pada Temperatur 200 – 300^0 C, salinitas beragam, PH mendekati netral, daerah dengan permeabilitas rendah dan dicirikan dengan mineral-mineral kunci seperti klorit, epidot dan karbonat. Alterasi bertipe propilitik, menurut Lindgren, 1933; Krauskopf, 1979; Jensen dan Bateman, 1981 dalam Purnamawati, Dwi Endah., Tapilatu, Stiwinder Renata., 2012, dengan ciri-ciri tersebut maka genesa daerah Sangon termasuk ke dalam sistem hidrotermal jenis mesotermal.

Genesa atau proses pembentukan mineral logam secara primer oleh pembekuan magma dinamakan proses diferensiasi magma. Proses diferensiasi magma adalah proses pembekuan magma karena pendinginan/ penurunan suhu/ temperatur membentuk satu atau lebih batuan beku. Proses diferensiasi magma terdapat tiga tahapan, yaitu endapan magmatis, endapan pegmatitis-pneumatolitis (metasomatis kontak) dan endapan hidrotermal. Endapan hidrotermal dihasilkan oleh proses pengendapan larutan sisa magma dengan temperatur cukup rendah (± 372^0). Larutan hidrotermal tersebut mengandung oksida dan atau sulfida sulfida pada logam Au, Ag, Pb, Zn, Sb, Hg dan Fe. Mineral kuarsa umumnya ditemukan pada endapan hidrotermal. Mineralisasi di daerah Sangon termasuk endapan hidrotermal jenis mesotermal. Endapan mesotermal memiliki salah satu cirinya adalah berasosiasi dengan batuan beku asam–intermediet dan mineral-mineral sulfida (Purnamawati, Dwi Endah., Tapilatu, Stiwinder Renata., 2012).

2.3. Iklim Dan Cuaca Waktu Penelitian

Tabel 2.1. menunjukkan kualifikasi curah hujan untuk Daerah Istimewa Yogyakarta pada bulan April 2017 s/d Agustus 2017. Secara umum kondisi curah hujan di daerah penelitian pada saat penelitian dilakukan adalah rendah (musim kemarau). Curah hujan untuk daerah penelitian secara umum didapatkan dari data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, sedangkan analisis data curah hujan untuk wilayah Yogyakarta didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Yogyakarta (Lihat Tabel 2.1.).

Tabel 2.1.
Kualifikasi Curah Hujan Daerah Istimewa Yogyakarta

Bulan (2017)	Curah Hujan (mm)	Kategori Hujan
April	300 - 400	Tinggi
Mei	50 - 100	Rendah
Juni	50 - 100	Rendah
Juli	50 - 100	Rendah
Agustus	0 - 20	Rendah

Sumber : Analisis Curah Hujan, BMKG,2017.

Menurut data Analisis Curah Hujan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (Lihat Lampiran A), maka curah hujan di Daerah Istimewa Yogyakarta untuk bulan April 2017 s/d Agustus 2017 dapat dikelompokkan sebagai berikut (Lihat Tabel 2.2.) :

Tabel 2.2.
Sebaran Curah Hujan Daerah Kulonprogo

Sebaran Curah Hujan Bulan Agustus 2017	Curah Hujan (mm)	Kategori Hujan
Dasarian I (Tgl 1 s/d 10)	0 - 10	Rendah
Dasarian II (Tgl 11 s/d 20)	0 - 10	Rendah
Dasarian III (Tgl 21 s/d 31)	0 - 10	Rendah

Sumber : Analisis Curah Hujan, BMKG Stasiun Klimatologi Yogyakarta, 2017.

Curah hujan harian daerah penelitian selama Tahun 2017 didapatkan dari data Analisis Curah Hujan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Yogyakarta, untuk bulan Januari 2017 s/d Oktober 2017 (Lihat Lampiran A).

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Emas Dan Genesa Emas

Emas merupakan unsur kimia logam yang memiliki nomor atom 79, bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5–3 (skala Mohs), kilap metalik, densitas murni 19,3 gr/cm^3 (*pure*) atau densitasnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya, memiliki sifat kemagnetan yang rendah, berwarna kuning keemasan, putih keperakan dan merah oranye (jarang), titik lebur 1064,43^{0}C (1948^{0}F) (Lihat Tabel 3.1.) . Emas dikenal sebagai bahan yang tidak bernilai harganya karena Emas memiliki komposisi unik dari sifat fisika dan kimia Emas, hal itu menjadikan Emas sebagai bahan yang tidak bernilai harganya dan memiliki ketahanan dalam penggunaan. Emas tidak mengalami oksidasi, udara tidak dapat memudarkan Emas, perubahan temperatur tidak mempengaruhi kondisi Emas, Emas juga tidak bereaksi (*inert*) dengan campuran alkalin kuat dan semua asam, kecuali asam *selenic.* Emas tidak terbentuk secara murni (*pure*) di alam, larutan hidrotermal pada proses diferensiasi magma membawa Emas , selain meluruhkan (*leaching*) unsur-unsur lain dari batuan yang dilaluinya. Emas secara alami, keterdapatannya merupakan suatu campuran dengan Perak, Tembaga, Merkuri, Tellurium dan sedikit bercampur dengan Titanium, Bismuth, Palladium, Timah dan Seng. Merkuri merupakan unsur yang memiliki daya tarik menarik/afinitas yang sangat tinggi dengan Emas, secara alami, Merkuri akan membentuk amalgam (Au_2Hg_3) dengan Emas (Macdonald, Eoin H.,2007).

Beberapa mineral bijih Emas yang penting adalah Emas murni, Tellurida Emas, Electron dan amalgam. Senyawa tellurida antara lain ; Cavalerit ($AuTe_2$), Sylvanit ($(AuAg)Te_2$), Krennerit ($(AuAg)Te_2$) dan Petzit ($(AuAg)_2Te$. Kilap putih yang dihasilkan Emas, disebabkan bahwa hampir semua bijih Emas mengandung Perak, maka makin besar kandungan Peraknya, kilapnya semakin putih.

Keberadaan bijih Emas di alam, terdapat dalam batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf serta seluruh formasi geologi. Mineral Kuarsa, mineral Karbonat, Turmalin dan Fluorit merupakan mineral-mineral *gangue* yang umum didapatkan bersama dengan bijih Emas . Emas umumnya terikat di dalam sulfida-sulfida logam dan hasil pelapukannya. Sulfida-sulfida logam tersebut adalah Pirit, Kalkopirit, Galenit, Stibnite, Tetrahedrit, Sfalerit, Arsenopirit, Molybdenit (Sukandarrumidi., 2009).

Tabel 3.1.
Sifat-Sifat Emas

Simbol Kimia	Au
Nomor Atom	79
Berat Atom	197
Bentuk Kristal	Kubis
Warna	Kuning keemasan,putih keperakan, merah oranye (jarang)
Titik Lebur	$1064{,}43^0$ C (1948^0 F)
Kekerasan	2,5 – 3,0 (skala Mohs)
Densitas	19,3 gr/cm^3(*pure*)
Kemagnetan	Rendah
Kilap	Metalik
Kuat tarik	138 MPa

Sumber : Macdonald, Eoin H.,2007.

Genesa atau proses pembentukan mineral logam secara primer terjadi karena proses pembekuan magma/ diferensiasi magma dengan melalui suatu proses penurunan tekanan dan suhu dalam perjalanan magma ke permukaan bumi. Proses pembekuan magma tersebut dapat mengendapkan mineral-mineral logam pada tahapan tertentu dalam perjalanan magma menuju ke permukaan bumi. Diferensiasi magma melalui beberapa tahapan yaitu tahapan hipotermal, mesotermal dan epitermal. Teori yang membahas tentang perjalanan magma/diferensiasi magma ke permukaan bumi diberikan oleh Lindgren., 1933. Lindgren., 1933 dalam Isjudarto, A., 2008, membagi klasifikasi pembentukan endapan deposit bijih berdasarkan temperatur, tekanan dan kedalamannya. Klasifikasi endapan hidrotermal tersebut terdapat pada Tabel 3. 2.

Tabel 3.2.
Klasifikasi Endapan Hidrotermal (Lindgren, 1933)

Endapan / Dasar	Hipotermal	Mesotermal	Epitermal
Kedalaman/Temperatur	3000 – 15.000 m/ 300^0 – 600^0 C	1200 – 4500 m/ 200^0 – 300^0 C	Dekat permukaan – 1500 m/ 50^0 – 200^0C
Pembentukan	Batuan Plutonik Asam, precambrium	Pada/dekat batuan intrusif	Berkaitan dengan batuan intrusif dangkal
Logam Berharga	Au, Sn, Mo, W, Pb, Zn, As	Au, Ag, Cu, As, Pb, Zn, Ni, Co, W, Mo, U	Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Se, Bi, U
Mineral Bijih	Magnetit, Pirotit, Kasiterit, Arsenopirit, Molibdenit, Bornit, Kalkopirit, Elektrum, Wolframit, Scheelit, Pirit, Galena	Au-*native*, Kalkopirit, Bornit, Pirit, Sfalerit, Galena, Enargit, Kalkosit, Argentit, Picthblende, Nocolit, Cobaltit, Tentrahedrit	Au – *native*, Ag, Cu, Bi, Pirit, Markasit, Sfalerit, Galena, Kalkopirit, Sinabar, Stibnit, Realgar, Orpiment, Argentit
Mineral Pengotor	Garnet, Plagioklas, Biotit, Muskovit, Topas, Turmalin, Epidot, Klorit	Albit, Kuarsa, Serisit, Klorit, Karbonat, Siderit, Epidot	Chert, Kalsedon, Klorit, Epidot, Karbonat, Flourit, Barit, Adularia, Serisit, Dickit, Rodokrosit, Zeolit
Tekstur dan Struktur	Sangat kasar, Banded	Tidak begitu kasar, kadang Banded	Crustiform, Banded, Cockade, Vuggy

Sumber : Isjudarto, A., 2009.

Menurut Lindgren., 1933 vide Bateman., 1950 dalam Isjudarto, A., 2009, mengemukakan teori tentang faktor–faktor yang memegang peranan penting dalam pembentukan deposit hidrotermal yaitu tersedianya larutan mineralisasi, terdapatnya pori-pori atau rekahan–rekahan batuan sehingga larutan dapat bergerak ke atas permukaan bumi, terdapat reaksi dan perubahan kimia yang menyebabkan terbentuknya deposit bijih, temperatur dan tekanan yang cukup untuk terjadinya reaksi dan konsentrasi yang cukup untuk menghasilkan endapan yang ekonomis. Ditinjau dari teori lainnya, Emas ditemukan di alam, umumnya, dalam bentuk logam yang terdapat dalam retakan-retakan batuan kuarsa, dalam bentuk mineral, selain itu Emas juga ditemukan dalam bentuk aluvial yang terbentuk karena proses pelapukan batuan yang mengandung Emas (Huheey,J.E., Keiter, E.A., Keiter, R.L., 1993).

Peninjauan ukuran butir dibutuhkan pada penelitian ini karena efektifitas dan efisiensi proses pengolahan bijih Emas juga tergantung pada ukuran butiran Emas pada bijih. Efektifitas pengolahan bijih Emas akan berpengaruh terhadap tingkat kehilangan Merkuri. Ditinjau dari segi ukuran butiran Emas yang terbentuk pada genesa Emas, ukuran butiran Emas dalam bijih dalam endapan aluvial, menurut kajian beberapa literatur memiliki ukuran yang bervariasi dari ukuran pasir sangat halus (< 0,75 µm) s/d ukuran pasir kasar (> 5 mm). Ukuran butiran lebih dari 5 mm dapat ditemui di Mount Kare, SW of Porgera, Papua New Guinea (Bartram et al., 1991 dalam Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997), Lubuk Mandi Area, Trengganu, Malaysia (Henney et al., 1994 dalam Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997), Equador (Styles et al., 1992 dalam Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997). Bijih yang terdapat pada batuan memiliki ukuran butir Emas dalam bijih berkisar antara < 3 µm sd > 500 µm, dengan rata-rata ukuran butir < 100 µm. Emas terjadi pada berbagai ukuran partikel dari ukuran butir sangat halus inklusi pada phyrite (*ultra fine*) yang memiliki ukuran butir < 1 µm dan sering dinamakan Emas tak terlihat (*invisible gold*) sampai dengan butiran Emas yang bebas atau *native*, dengan diameter > 1 mm sampai pada ukuran pasir (*coarse*) (Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997).

Di Indonesia, jalur memanjang dari ujung Sumatera membujur sepanjang Bukit Barisan sampai ke Jawa adalah wilayah di Indonesia yang mengalami proses mineralisasi Emas dan Perak. Endapan bijih Emas dalam jalur tersebut berhubungan dengan proses diferensiasi magma pada tahapan hidrotermal. Endapan bijih epitermal dan hipotermal yang terkandung dalam daerah ini berhubungan secara hidrotermal yang berkaitan dengan gunung api andesit dan basalt yang berumur Tersier Tengah sampai Tersier Atas. Mineralisasi endapan bijih tersebut berkaitan dengan batuan lain seperti dasit, liparit dan granit dan berhubungan juga dengan metasomatis sentuhan di dalam batugamping dan sabak yang berumur Paleozoikum. Endapan Emas di Jawa banyak ditemukan dalam bentuk Emas aluvial disamping sumber-sumber Emas primer. Emas aluvial yang berada di Jawa digunakan sebagai indikasi endapan primer dan belum banyak berarti sebagai endapan yang ekonomis. Pada umumnya endapan mineralisasi Emas di Jawa terbagi menjadi dua bagian dengan umur dan jalur yang berbeda :

1. Endapan yang terbentuk pada jalur geantiklin Jawa Selatan (Banten Barat Daya dan pegunungan sebelah utara, berumur akhir Miosen Tengah).
2. Endapan yang terbentuk pada geosinklin Jawa Utara (zona Bogor dan Gunung Parang),yang berumur Mio-Pliosen (Sukandarrumidi, 2009).

3.2. Merkuri

Merkuri adalah salah satu dari lima unsur yang masuk ke dalam golongan logam transisi bersama Cesium, Fransium, Galium, dan Brom, berwarna putih keperakan, berbentuk cair dalam suhu kamar, mudah menguap, membeku pada temperatur -38,9^{0}C, memiliki sifat konduktor listrik yang cukup baik, sifat konduktor panas kurang baik, mendidih pada temperatur 357^{0}C (Stwertka., 1998 dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005). Merkuri merupakan jenis logam berat yang memiliki sifat sangat toksik, jika dibandingkan dengan logam berat lainnya (Hellawel., 1986 dalam Effendi, Hefni., 2003). Merkuri tidak mudah dioksidasi , tahan terhadap udara, uapnya sangat beracun, dapat melarutkan semua logam kecuali Platina, Nikel dan Besi, berat jenisnya 13,6 gr/cm^3, tahanan jenisnya 0,95 ohm mm^2/m, koefisien suhu tahanan 0,00027. Bahan galian yang

diusahakan untuk mendapatkan Merkuri dengan penambangan hanya satu yaitu Cinnabar (HgS) dengan kadar 82,6% Merkuri, dari 17 mineral yang mengandung Merkuri (Sukandarrumidi., 2009). Mineral-mineral lain yang mengandung Merkuri adalah Metasinabarit, Kalomel, Terlinguait, Eglestonit, Montroidit dan Merkuri murni (Herman, Danny Zulkifli., 2006).

Merkuri memiliki warna putih perak dalam fasa cair, pada titik didihnya (suhu 357^0 C) dapat bereaksi dengan oksigen membentuk HgO yang berwarna merah dan abu-abu jika berada dalam fasa padat, densitasnya tertinggi diantara semua zat cair, tegangan permukaan 547 dine (sangat tinggi jika dibandingkan air-73 dine dan alkohol-22 dine). Merkuri memiliki potensial oksidasi yang rendah (0,799 volt), hal tersebut menyebabkan Merkuri tidak dapat bereaksi dengan oksigen pada suhu kamar dan tahan terhadap korosi. Senyawa HgO merupakan senyawa yang tidak stabil, sehingga oksigen dilepaskan kembali ketika dipanaskan pada suhu yang lebih tinggi ($\pm$ 500^0C). Merkuri tidak dapat bereaksi dengan air, uap, alkalis dan asam-asam yang bukan oksidator kuat, tetapi merkuri dapat bereaksi dengan cepat jika bertemu dengan gas-gas Cl_2, S, Br_2, J_2 dan N_2O (Durrant., 1960 dalam Hutagalung, Horas, P., 1985). Pelarut-pelarut umum, misalnya air dan aseton sukar untuk melarutkan Merkuri, pada suhu 40^0C kelarutan merkuri dalam air 0,002 ppm; methanol 0,6 ppm; pentana 0,6 ppm. Bilangan oksidasi Merkuri bervariasi yaitu nol, 1 dan 2 (Hutagalung, Horas, P., 1985).

Merkuri ditemukan secara umum di alam berada dalam bentuk berikatan/ bersenyawa dengan unsur kimia lainnya dalam air, batuan dan mineral. Senyawa Merkuri yang terbentuk dalam air tawar tergantung pada pH air. Senyawa Merkuri berbentuk HgOHCl pada pH = 6, $HgCl_2$ pada pH < 6 dan $Hg(OH)_2$ pada pH > 6 (Anfalt, et al., 1972 dalam Hutagalung, Horas, P., 1985). Merkuri memiliki sifat *inert* dan sukar larut di dalam air, sehingga Merkuri dalam bentuk logam tidak mungkin dapat mencemari lingkungan air. Bentuk Merkuri yang dapat air adalah Merkuri yang berada dalam bentuk garam-garam, baik garam organik maupun garam anorganik. Contoh bentuk garam-garam organik Merkuri adalah Metil

Merkuri, Etil Merkuri dan Penil Merkuri, sedangkan Merkuri dalam bentuk garam anorganik adalah Merkuri Klorida. Penil Merkuri memiliki daya toksik 2 x dari Merkuri Klorida, tetapi tidak semua bentuk Merkuri berbahaya bagi organisme, Merkuri sangat berbahaya bagi lingkungan ketika berada dalam bentuk Metil Merkuri dan Etil Merkuri (Suprijanto, Inwiasri., Lubis, Agustina., 1988). Senyawa kimia yang terbentuk di alam dari Merkuri dapat mencapai dalam jumlah ratusan. Ratusan senyawa kimia Merkuri tersebut dikelompokkan menjadi 5 kelompok (Goldwater & Stopford., 1977 dalam Hutagalung, Horas, P., 1985), yaitu :

1. Merkuri metalik, misalnya ; cairan atau padatan Merkuri.
2. Garam-garam anorganik,misalnya Merkuri Sulfida, Merkuri Klorida dan Merkuri Oksida.
3. Senyawa-senyawa alkil, yaitu senyawa Merkuri yang mengandung gugus metil ($-CH_3$) atau etil ($-C_2H_5$).
4. Senyawa alkoksi-alkil, senyawa yang kompleks.
5. Senyawa aril, yaitu senyawa Merkuri yang mengandung gugus fenil ($-C_6H_5$).

Keterdapatan Merkuri dalam kerak bumi secara teori, sangat sedikit, yaitu sekitar 0,08 mg/Kg, sehingga Merkuri merupakan unsur renik dalam kerak bumi, unsur bumi yang sangat kecil (Moore., 1991 dalam Effendi, Hefni., 2003). Merkuri secara alami dapat ditemukan pada perairan dalam jumlah yang sangat kecil. Merkuri dapat berikatan dengan sulfur pada dasar perairan yang anaerobik. Dimetil Merkuri dapat terbentuk dari Merkuri anorganik dengan bantuan aktivitas mikroba dalam kondisi aerob ataupun anaerob. Dimetil Merkuri dapat terbentuk dari Merkuri anorganik yang berkadar rendah, sedangkan Merkuri anorganik yang berkadar tinggi akan membentuk Monometil Merkuri. Kadar Monometil Merkuri dan Dimetil Merkuri dipengaruhi oleh keberadaan mikroba, karbon organik, kadar Merkuri anorganik, pH dan suhu. Senyawa Monometil Merkuri dan Dimetil Merkuri dapat dipecah oleh bakteri yang terdapat pada sedimen pada perairan dan dapat mengalami proses bioakumulasi dan biomagnifikasi pada biota perairan (Effendi, Hefni., 2003). Merkuri memiliki keterdapatan yang sangat sedikit pada kerak bumi, tetapi Merkuri merupakan logam berat yang sangat berbahaya.

Terdapat 3 jenis bentuk Merkuri yang bersifat toksik bagi manusia yaitu Merkuri elemen (Merkuri murni), bentuk garam inorganik dan bentuk organik. Garam Merkuri inorganik dapat berbentuk Merkuri (Hg^{2+}) dan Merkuro (Hg^{+}). Merkuri yang berbentuk garam Merkuri lebih toksik daripada Merkuri dalam bentuk Merkuro. Bentuk garam Merkuri yang lainnya misalnya ; Aril, Alkil dan Alkoksi Alkil sangat beracun diantara garam lainnya. Bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh Merkuri bagi manusia tidak dapat dilakukan atau dideteksi dengan uji biokimiawi, tingkat keracunan Merkuri yang terjadi pada manusia hanya dapat didiagnosis melalui analisis kadar Merkuri dalam darah, urin dan rambut pada manusia tersebut (Darmono., 2010).

Kelimpahan rata-rata Merkuri pada berbagai jenis batuan yang tidak termineralisasi (*Field's Geologist Manual* dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005), adalah batuan Basalt 0,08 ppm, batuan Granodiorit 0,08 ppm, Granit 0,08 ppm, Serpih 0,5 ppm dan Batugamping 0,05 ppm (Lihat Tabel 3.3.). Kelimpahan rata-rata Merkuri (Hg) yang terdapat di dalam tanah, air dan sedimen sungai (*Techniques in Mineral Exploration* dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono, 2005), adalah tanah < 10–300 ppb, air 0,01-0,05 ppb dan sedimen sungai < 10–100 ppb (Lihat Tabel 3.4.).

Tabel 3.3.
Kelimpahan Rata-Rata Merkuri Dalam Jenis Batuan
Yang Tidak Termineralisasi

Unsur	Kelimpahan rata-rata (dalam ppm)				
	Basalt	Granodiorit	Granit	Serpih	Batugamping
Au	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
Ag	0,1	0,07	0,04	0,05	1
Hg	0,08	0,08	0,08	0,5	0,05
As	2	2	1,5	15	2,5
Cu	100	30	10	50	15
Pb	5	15	20	20	8
Zn	100	60	40	100	25
Cd	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1

Sumber : *Field's Geologist Manual* dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005.

Tabel 3.4.
Kelimpahan Rata-Rata Merkuri Dalam
Air Dan Sedimen Sungai

Unsur	Kelimpahan (dalam ppb)		
	Tanah	Air	Sedimen Sungai
Au	<10 - 50	0,002	-
Ag	<0,1 - 1	0,01 – 0,7	-
Hg	<10 -300	0,01 – 0,05	<10 -100
As	1000 - 50000	1 - 30	1000 - 50000
Cu	5000 - 100000	8	5000 - 80000
Pb	5000 - 50000	3	5000 - 80000
Zn	10000 - 300000	1 - 20	10000 - 200000
Cd	<1000 - 1000	0,2	-

Sumber : *Techniques in Mineral Exploration* dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005.

Secara alamiah, pencemaran Merkuri berasal dari kegiatan gunung api/vulkanisme, proses mineralisasi atau rembesan air tanah yang melewati deposit Merkuri. Merkuri mudah berikatan dengan Klor yang ada dalam air laut, apabila Merkuri memasuki perairan, dan membentuk ikatan HgCl. Dalam bentuk ini, Merkuri mudah masuk ke dalam plankton dan bisa berpindah ke biota laut lain. Merkuri anorganik (HgCl) akan berubah menjadi Merkuri organik (Metil Merkuri-CH_3Hg^+) oleh peran mikroorganisme yang terjadi pada sedimen dasar perairan. Kelimpahan Merkuri di bumi menempati di urutan ke-67 di antara elemen lainnya pada kerak bumi. Merkuri ditemukan di alam dalam bermacam-macam bentuk geokimia antara lain unsur Merkuri, Merkuri monovalen/ ionik/ Merkuri teroksidasi (Hg^{1+}) dan bivalen (Hg^{2+}), serta dalam bentuk organik, Metil Merkuri (CH_3Hg^+).

Cinnabar (HgS) merupakan salah satu mineral di alam sebagai sumber alami Merkuri yang paling banyak ditemukan (No-votny dan Olem dalam Effendi, Hefni., 2003), tetapi selain keterdapatannya dalam Cinnabar, Merkuri juga dapat ditemukan bersama-sama dalam mineral-mineral sulfida misalnya ; Sphalerite (ZnS), Wurtzite (ZnS), Chalcopyrite (CuFeS) dan Galena (PbS). Cinnabar (HgS)

adalah mineral yang memiliki sifat sukar larut dalam air, tetapi jika pada suatu daerah terdapat proses secara alami yang terjadi misalnya pelapukan batuan dan erosi tanah dapat menyebabkan Merkuri yang terdapat dalam Cinnabar tersebut dapat terlepas ke dalam lingkungan air (McNeely et al., 1979 dalam Effendi, Hefni., 2003). Kadar Merkuri dalam perairan air tawar secara alami sangat kecil berkisar antara 10–100 ng/L dan di dalam perairan laut berkisar antara < 10–30 ng/L (Moore., 1991 dalam Effendi, Hefni., 2003).

Merkuri masuk ke dalam perairan sungai umumnya dalam bentuk Hg unsur (Hg^0). Densitasnya yang tinggi menyebabkan Merkuri tenggelam ke dasar perairan/sungai atau terakumulasi di dalam sedimen sungai pada kedalaman 5–15 cm di bawah permukaan sedimen. Aktivitas bakteri menyebabkan Merkuri unsur tersebut dapat berubah menjadi Merkuri organik yaitu Metil Merkuri (CH_3Hg), yang memiliki sifat racun dan daya ikat yang sangat kuat serta kelarutan yang tinggi terutama dalam tubuh hewan air, misalnya ikan (Budiono, A., 2003 dalam Kitong, Melin T., Abidjulu, Jemmy., Koleangan, Harry S. J., 2012). Keberadaan Merkuri dalam lingkungan perlu diwaspadai karena Merkuri yang dapat terbentuk sebagai fraksi halus, unsur penjejak dan ion dapat terakumulasi dalam jumlah yang signifikan dan membahayakan lingkungan (Herman, Danny Zulkifli., 2006).

Merkuri dapat pula bersenyawa dengan karbon membentuk senyawa organo-Merkuri. Senyawa organo-Merkuri yang paling umum adalah Metil Merkuri (CH_3Hg^+), yang dihasilkan oleh mikroorganisme dalam air dan tanah. Mikroorganisme kemudian termakan oleh ikan sehingga konsentrasi Merkuri dalam ikan meningkat. Metil Merkuri (CH_3Hg^+) memiliki kelarutan tinggi dalam tubuh hewan air sehingga Merkuri terakumulasi melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam jaringan tubuh hewan air, dikarenakan pengambilan Merkuri oleh organisme air yang lebih cepat dibandingkan proses ekskresi. Keracunan kronis oleh Merkuri dapat terjadi akibat kontak kulit, makanan, minuman, dan pernapasan. Perubahan dari unsur Merkuri menjadi Metil

Merkuri (CH_3Hg^+) adalah suatu proses biogeokimia yang kompleks, proses perubahan tersebut sedikitnya membutuhkan dua langkah yaitu proses oksidasi dari Hg^0 menjadi Hg^{2+}, diikuti dengan perubahan bentuk dari Hg^{2+} menjadi CH_3Hg^+. Perubahan bentuk dari Hg^{2+} menjadi CH_3Hg^+ dinamakan *methylation*. Merkuri *methylation* dikontrol oleh bakteri pereduksi sulfat dan mikroba lain yang tumbuh berkembang pada kondisi kandungan oksigen terlarut yang rendah, misalnya pada sedimen dasar air. Faktor lingkungan yang mempengaruhi laju *methylation* ataupun reaksi baliknya, *demethylation*, adalah temperatur, karbon organik terlarut, salinitas, tingkat keasaman (pH), kondisi reduksi-oksidasi dan konsentrasi Sulfur di air dan sedimen (Alpers, Charles N., Hunerlach, Michael P., 2000).

3.3. Metode Amalgamasi

Tabel 3.5., menunjukkan ukuran efektif butir emas dengan metode pengolahan dengan efisiensi *recovery*.

Tabel 3.5.
Ukuran Efektif Butir Emas Dan Metode Pengolahan

Metode	**Ukuran Butir Efektif (µm) *)**	**Efisiensi *Recovery***
Sluice Boxes	100 - 2500	20%, untuk <100 µm, sampai 96% untuk < 1000 µm
Jigs	75 - 2500	50%, untuk 100 µm sampai 98% untuk 1000 µm
Shaking Tables	15 – 3000	20%, untuk 20 – 40 µm sampai 90 % untuk > 40 µm
Spirals	75 - 3000	65% - 80 %
Rotating Cones & Bowl Concentrator	30 – 6000	sampai 99%
Amalgamasi	70 – 1500	65%, untuk ukuran < 75µm, sampai 98% untuk < 500 µm
Sianidasi	Lebih halus dari 200 µm	80 % s/d 99 %

*) Ukuran ini berdasarkan kondisi alamiah maupun hasil operasi pengolahan
Sumber : Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997.

Emas dapat diolah dari bijihnya melalui berbagai macam metode. Metode yang dapat digunakan untuk mengambil Emas dari bijihnya antara lain: metode berdasarkan gravitasi (*gravity methods*), metode non-gravitasi (*non- gravity methods*) dan metode kimia (*chemical methods*). Metode yang dilakukan berdasarkan gravitasi (*gravity methods*), dengan memanfaatkan *density* Emas, misalnya *; jig, sluice box, shaking table, spiral concentrator, rotating cone, bowl concentrator* dan *drum concentrator*. Metode non-gravitasi (non-gravity methods), metode ini secara garis besarnya memanfaatkan sifat-sifat selain karakteristik *density* dari Emas, misalnya ; *magnetic separation, electrostatic separation, hydrocyclone* dan flotasi. Metode kimia merupakan metode yang menggunakan bahan-bahan kimia uantuk memperoleh Emas misalnya ; amalgamasi, sianidasi, *carbon in pulp, carbon in coloumn* dan *carbon in leach*). Metode-metode untuk pengolahan bijih Emas tersebut masing-masing memiliki ukuran butir Emas yang efektif untuk diolah, dan mempengaruhi tingkat efektifitas perolehan Emas (*recovery*), biaya dan tingkat resiko terhadap lingkungan (Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997).

Pengolahan amalgamasi memiliki tingkat perolehan yang efektif pada ukuran butir Emas antara 1,5 mm s/d 70 µm. Tingkat perolehan Emas turun pada ukuran butir di bawah 70 µm, perolehan Emas hanya 65 % untuk ukuran butir < 75µm (Lihat Tabel 3.5.) (Eltham., 1994 dalam Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997). Metode–metode pengolahan bijih Emas masing–masing memiliki biaya relatif secara operasional. Perbandingan biaya relatif antara metode-metode pengolahan untuk mengolah bijih Emas dapat dilihat pada Tabel 3.6. Pada Tabel 3.6. menunjukkan bahwa proses amalgamasi memiliki biaya operasional yang relatif rendah, tetapi memiliki akibat terhadap lingkungan yang paling tinggi (dengan angka 4, pada skala 4), bersama–sama dengan proses *froth flotation* dan sianidasi. Pengolahan amalgamasi banyak digunakan oleh penambang tradisional disebabkan oleh rendahnya biaya operasionalnya, tetapi di sisi lain pengolahan tersebut memiliki resiko yang tinggi terhadap lingkungan. Merkuri yang digunakan dalam proses pengolahan tersebut dapat lepas ke dalam lingkungan

sekitar pengolahan dan dengan adanya siklus hidrologi dapat menyebar ke daerah yang lebih luas tanpa dapat dibatasi oleh apapun juga.

Tabel 3.6.
Tingkat Biaya Relatif Dan Akibat Lingkungan *)

Metode Pengolahan	Biaya Relatif	Akibat Lingkungan
Sluice Box	1	1
Jig	3	1
Shaking Table	2	1
Spiral	3	1
Rotating Cone	2	1
Bowl	4	1
Drum	4	1
Magnetic Separation	4	1
Electrostatic Separation	4	1
Hydrocycloning	2	1
Froth Flotation	3-4	4
Amalgamasi	2	4
Sianidasi	3-4	4

*) Tingkat dari yang rendah (1) ke yang tinggi (4)
Sumber : Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997.

Pengolahan bijih Emas dengan menggunakan metode amalgamasi adalah suatu proses ekstraksi Emas dengan cara mencampurkan bijih Emas yang telah diremukkan dengan ukuran tertentu dengan Merkuri dalam suatu gelundung. Pada proses ini, Merkuri akan membentuk ikatan senyawa kimia dengan Emas dalam bentuk amalgam (Au-Hg). Pada skala industri, Emas diperoleh dengan cara mengisolasi batuan yang mengandung bijih Emas, metode isolasi Emas yang banyak digunakan pada skala industri adalah metode sianida (sianidasi) dan amalgamasi. Merkuri yang digunakan untuk mengikat Emas dalam gelundung dapat terpecah-pecah menjadi butiran-butiran kecil, kemudian lepas ke dalam lingkungan sekitar melalui air limbah.

Teknik pengolahan amalgamasi menggunakan gelundung (drum) dengan batang-batang besi baja sebagai tempat menggerus batuan yang mengandung bijih Emas

(*milling*) dan tempat dicampurkannya Merkuri sebagai pengikat Emas. Pengolahan amalgamasi bijih Emas primer membutuhkan beberapa peralatan, yaitu :

1. Tabung amalgamasi (gelundung), sebagai tempat menggerus batuan (*milling*) dan berfungsi sebagai tempat amalgamasi.
2. Kincir angin/genset yang berfungsi sebagai penggerak untuk memutarkan tabung amalgamasi.
3. Batang–batang besi baja (*rod*) yang ditempatkan dalam gelundung, sebagai alat peremuk dan penghalus batuan.
4. Larutan Merkuri digunakan sebagai pengikat Emas.
5. Kapur digunakan untuk mengatur pH dalam gelundung.
6. Air untuk mendapatkan persentase *solid* antara 30%-60%.
7. Dulang yang berfungsi sebagai tempat untuk memisahkan larutan Merkuri yang telah mengikat Emas dengan sisa hasil pengolahan (*tailing*).
8. Emposan yang berfungsi untuk membakar amalgam sehingga didapatkan Emas (digunakan untuk pemanasan dalam sebuah *retort / retorting*).

Tahapan proses pengolahan bijih Emas dengan menggunakan amalgamasi menggunakan alat-alat dan bahan-bahan tersebut. Tahapan proses amalgamasi tersebut adalah :

a. Proses kominusi dan gravitasi konsentrasi, proses ini dilakukan untuk mencapai derajat liberasi yang baik, sehingga permukaan Emas tersingkap.
b. Bijih Emas dengan derajat liberasi yang baik dimasukan ke dalam gelundung dengan ditambahkan Merkuri.
c. Hasil akhir proses amalgamasi adalah amalgam basah (pasta) dan tailing, amalgam basah ditampung pada suatu tempat untuk dilakukan pendulangan yang memisahkan Merkuri dengan amalgam.
d. Proses selanjutnya, dilakukan pemerasan (*squeezing*) dengan menggunakan kain untuk memisahkan Merkuri dari amalgam (filtrasi). Merkuri (Hg) yang didapat dari hasil filtrasi dapat dipergunakan kembali untuk proses amalgamasi berikutnya. Jumlah Merkuri yang tersisa tergantung pada kuat

atau tidaknya pemerasan, dengan pemerasan manual amalgam mengandung 60%-70% Emas, jika menggunakan alat pemeras sentrifugal maka kandungan Emas dapat mencapai > 80%.

e. Pemisahan Merkuri dan Emas dilakukan dengan melakukan pemanasan pada suatu *retort* (*retorting*).

3.4. Air Dan Pencemaran Air

3.4.1. Perairan Mengalir (Sungai)

Sungai merupakan salah satu sumber air yang terdapat di permukaan tanah. Kegiatan manusia dapat menghasilkan zat-zat pengotor (limbah) yang masuk ke dalam sungai dan mencemari air sungai. Limbah dalam konsentrasi yang kecil dapat dilarutkan oleh air sungai, karena dalam air sungai terdapat bakteri/ mikroorganisme/proses oksidasi yang dapat mengurai kandungan zat pengotor yang ada pada limbah tersebut dibantu oleh panas dari sinar matahari. Proses secara alami untuk membersihkan limbah dari air berlangsung dengan kecepatan yang relatif lambat, alam memiliki keseimbangan yang sudah terbentuk selama jutaan tahun yang lalu, alam dapat memulihkan dirinya sendiri ketika beban lingkungan tidak berlebihan. Salah satu polutan hasil kegiatan manusia yang dapat mencemari sungai adalah bahan kimia beracun dari logam-logam berat, misalnya Merkuri dan sedimen (Prodjosantoso, A. K., P., Regina Tutik., 2011).

Ciri-ciri sungai adalah perairan mengalir (perairan *lotik*) yang memiliki arus searah dan relatif kencang dengan kecepatan berkisar 0,1–1,0 m/detik, dipengaruhi oleh waktu, iklim dan pola drainase, biasanya terjadi terjadi percampuran massa air secara menyeluruh, tidak terbentuk stratifikasi vertikal kolom air seperti pada air menggenang (perairan *lentik*). Variabel yang mempengaruhi kehidupan flora dan fauna di sungai adalah kecepatan arus, erosi dan sedimentasi, karena hal-hal tersebut merupakan fenomena yang biasa terjadi di sungai. Perairan mengalir dipengaruhi oleh kecepatan arus/pergerakan air, jenis sedimen dasar, erosi dan sedimentasi (Haslam., 1995 ; Jeffries dan Mills, 1996 dalam Effendi, Hefni., 2003).

Tabel 3.7.
Klasifikasi Sedimen Dasar Sungai Berdasarkan Diameter Partikel

Klasifikasi Sedimen	Diameter Partikel (mm)
Batu kali (*bedrock*)	-
Bulder (*boulder*)	> 256
Kobel besar (*large cobble*)	128 - 256
Kobel kecil (*small cobble*)	64 - 128
Pebel besar (*large pebble*)	32 - 64
Pebel kecil (*small pebble*)	16 - 32
Batu kerikil kasar (*coarse gravel*)	8 - 16
Batu kerikil sedang (*medium gravel*)	4 - 8
Batu kerikil kecil (*fine gravel*)	2 – 4
Pasir sangat kasar (*very coarse*)	0,5 - 1
Pasir kasar (*coarse*)	0,25 – 0,5
Pasir sedang (*medium*)	0,125 – 0,25
Pasir halus (*fine*)	0,063 – 0,125
Pasir sangat halus (*very fine*)	0,032 – 0,063
Lumpur (*silt*)	< 0,032
Tanah liat (*clay*)	-

Sumber : Jeffries dan Mills, 1996 dalam Effendi, Hefni., 2003.

Faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kecepatan arus dan pergerakan air sungai adalah jenis bentang alam (*landscape*), jenis batuan dasar, curah hujan. Kecepatan arus air semakin cepat dan pergerakan air semakin kuat, jika bentang alam kondisinya semakin rumit, batuan dasarnya semakin besar ukurannya dan semakin banyak curah hujan. Keberagaman jenis sedimen sungai mempengaruhi karakteristik kimia air sungai, pergerakan air dan porositas dasar sungai. Klasifikasi sedimen dasar sungai adalah batu kali (*bedrock*), bulder (*boulder*), kobel (*cobble*), pebel (*pebble*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lumpur (*silt*) dan tanah liat (*clay*) (Lihat Tabel 3.7.). Sumber sedimen yang terangkut di sungai dibagi menjadi dua yaitu material dasar yang membentuk sungai dan material halus yang berasal dari tebing-tebing sungai dan daerah aliran sungai (DAS) sebagai muatan yang terhanyutkan (*washload*) (Richardson dkk., 1990 dalam Kodoatie, Robert J., 2013).

Pada saluran alami (sungai) kecepatan dan arah aliran dapat berubah-ubah dari satu tempat ke tempat lainnya, dari satu bagian ke bagian lainnya. Arus sungai tidak sama dari satu titik dengan titik lainnya. Arus sungai memiliki kedinamisan, berubah terus-menerus dalam posisi dan bentuk arus. Arus sungai mengalami gaya-gaya yang mengakibatkan perubahan-perubahan tersebut, perubahan-perubahan tersebut dapat berlangsung dengan cepat atau lambat. Arus sungai memiliki perubahan-perubahan dalam ruang dan waktu. Arus sungai dapat mengendapkan material-material (material-material tererosi, batuan,pasir,lumpur) yang tersedimentasi di dasar sungai. Sedimen yang terangkut oleh arus sungai dapat mengendap pada bagian hilir sungai, dimana kecepatan arus berkurang, sehingga kapasitas pemindahan sedimen oleh arus sungai berkurang . Kecepatan aliran sungai berpengaruh terhadap proses sedimentasi di sungai, kecepatan yang semakin besar memberikan daya muatan yang lebih besar juga dan hal tersebut mempengaruhi proses pengendapan sedimen (*American Association of State Highway and Transportation,* 1992).

Henderson., 1966 dan Hicks., 1998 dalam Kodoatie, Robert J., 2013, memberikan penjelasan tentang sifat aliran yang terjadi pada saluran terbuka, keduanya menyatakan bahwa hampir pada semua saluran terbuka, misalnya sungai, memiliki sifat aliran turbulen, aliran yang bersifat laminar hanya terjadi sebagian kecil pada batas-batasnya atau dasar saluran dan tebing sungai. Raju, K. G. Ranga., 1986 menyatakan bahwa sifat aliran turbulen adalah memiliki kecepatan yang berubah-ubah dalam setiap arah menurut waktu, sesuai dengan definisi gerak turbulen yaitu sebuah gerak yang berubah-ubah di atas gerakan rata-rata. Pada aliran turbulen, perubahan turbulensi ke arah yang berbeda-beda menurut waktu dapat menyebabkan berhentinya sedimen dan dispersi pengotoran secara efektif. Proses transport sedimen dalam aliran air/fluida memiliki perbedaan-perbedaan waktu dan tempat dimana suatu partikel sedimen tersebut akan diendapkan, karena suatu ukuran butiran tertentu partikel hanya dapat terendapkan ketika turbulensi fluida berkurang pada suatu titik tertentu (Suryono, Sugeng S., Amijaya, Hendra D., 2017).

3.4.2. Air Tanah

Air tanah menurut akuifernya dapat dibedakan menjadi dua yaitu air tanah yang tidak tertekan (*unconfined*) dan air tanah tertekan (*confined*). Air tanah yang tidak tertekan terletak pada akuifer yang terisi sebagian air, mempunyai permukaan yang bebas dan terletak pada suatu dasar lapisan yang kedap air. Air tanah tertekan adalah air tanah yang terdapat pada akuifer yang dibatasi dua lapisan yang kedap air pada bagian atas dan bawahnya. Air tanah (*groundwater*) adalah air yang terdapat di bawah permukaan tanah dan ditemukan pada akifer. Kecepatan arus air tanah sangat lambat yaitu 10^{-10}– 10^{-3} m/detik, kecepatan air tanah tersebut dipengaruhi oleh porositas, permeabilitas tanah/batuan dan pengisian kembali (*recharge*). Perbedaan utama karakteristik antara air tanah dan air permukaan adalah pergerakannya yang sangat lambat dan waktu tinggal (*residence time*) yang sangat lama, sehingga dapat mencapai puluhan sampai ratusan tahun. Air tanah yang mengalami pencemaran sulit untuk pulih kembali karena lamanya waktu tinggal dan pergerakannya yang sangat lambat. Air permukaan yang masuk ke dalam tanah mengalami kontak dengan mineral-mineral yang terdapat dalam tanah/batuan, sehingga mineral-mineral tersebut terlarut ke dalam air dan dapat menyebabkan kualitas air tanah mengalami perubahan, karena terjadi reaksi kimia (Effendi, Hefni., 2003).

Air tanah yang meresap ke dalam tanah melalui zona batuan yang termineralisasi dapat mengandung lebih banyak logam berat (Klusman & Edwards., 1977 dalam Fetter, C.W., 2001). Mineral-mineral yang ditemukan dalam akuifer berada dalam fase alamiahnya (*pure phases*). Tetapi, hasil dari analisis mineral tersebut dengan menggunakan alat mikroanalisis menunjukkan bahwa kondisi mineral dalam akuifer tidak seperti kondisi alaminya, campuran dengan berbagai macam mineral lainnya menjadikan bentuk sebagai campuran padatan (*solid solution*). Campuran padatan tersebut biasanya diabaikan dalam geokimia air tanah. Hal tersebut disebabkan oleh kondisi tersebut menimbulkan kesulitan untuk menghitung komposisi kimia mineral dengan berbagai macam komposisi yang terjadi dalam akuifer. Geokimia air tanah adalah suatu ilmu pengetahuan antar

disiplin ilmu (*interdisciplinary science*) yang berkaitan dengan kimia air di bawah permukaan tanah. Komposisi kimia air tanah merupakan hasil kombinasi komposisi kimia air yang masuk ke dalam akuifer dan reaksi kimia dengan batuan yang dilaluinya, sehingga dapat merubah komposisi kimianya. Proses-proses alamiah tersebut merupakan faktor yang mengontrol kualitas air tanah, selain itu keterdapatan polutan yang masuk ke dalam lingkungan juga berpengaruh terhadap kualitas air tanah. Air tanah memiliki waktu tinggal yang lama di dalam tanah, sehingga akibat yang ditimbulkan oleh polutan yang terdapat di dalam air tanah akan muncul puluhan tahun atau ratusan tahun setelah polutan tersebut masuk ke dalam air tanah. Komposisi kimia air tanah juga dapat dijadikan suatu parameter untuk dapat mengetahui kondisi awal dan kondisi lingkungan yang telah dilaluinya, hal tersebut disebabkan oleh komposisi kimia air tanah merupakan hasil reaksi kimia dengan lingkungan yang dilaluinya menuju ke bawah permukaan tanah (Appelo, C.A.J., Postma, D., 1993).

Gerakan air tanah dapat disebabkan oleh adanya perbedaan potensi kelembaban total dan kemiringan antara dua titik/lokasi. Pergerakan air dapat terjadi dari tempat dengan potensi kelembaban yang tinggi ke tempat dengan potensi kelembaban yang rendah, kemudian air akan bergerak mengikuti kemiringan lapisan formasi geologi suatu daerah, tetapi gerakan air dapat terjadi pula sebaliknya, dari tempat kering ke tempat basah misalnya proses perkolasi air tanah. Gerakan perkolasi tersebut disebabkan oleh adanya pengaruh energi matahari, sehingga air bergerak ke atas, kemudian menguap (Asdak., 1995 dalam Kusumawati, Trisna., 2012). Pergerakan kandungan padatan dalam air tanah yang melalui media pori merupakan suatu hal yang kompleks. Terdapat dua proses dasar mengenai permasalahan transport padatan, proses tersebut adalah difusi (*diffusion*) dan adveksi (*advection*) . Proses difusi adalah suatu proses yang terjadi antara ion dan molekul dalam air yang bergerak dari daerah dengan konsentrasi yang tinggi menuju ke daerah dengan konsentrasi yang rendah. Proses adveksi adalah proses pergerakan air tanah yang membawa partikel padatan tersebut. Tetapi, ketika campuran padatan dan cairan (*solution*) melalui suatu media pori,

proses dispersi (*dispersion*) akan terjadi dengan mengencerkan campuran tersebut dan menjadikan konsentrasi menjadi lebih rendah, kemudian proses kimia dan fisika dapat menyebabkan terjadinya proses *retardation* misalnya; terjadinya pertukaran ion, sehingga campuran padatan tersebut tidak dapat bergerak sesuai dengan perhitungan kecepatan adveksi (Fetter, C.W., 2001).

Kualitas air tanah secara alami dipengaruhi oleh iklim, geologi dan proses biokimia yang terjadi. Aliran air tanah adalah suatu hal yang sangat dipertimbangkan untuk menentukan kemampuan air dalam melarutkan polutan (Chapman, D., 1996 dalam Yorhanita, Frista., 2001). Pencemar yang masuk ke dalam air tanah keberadaannya akan berkurang dengan berjalannya waktu dan jarak yang ditempuh oleh pencemar. Pencemar yang masuk ke dalam air tanah akan membentuk *plume,* yang tergantung pada struktur geologi, aliran air tanah, tipe dan konsentrasi dari pencemar, kesinambungan pembuangan limbah dan modifikasi yang dilakukan manusia terhadap sistem air tanah (Todd, D., 1980 dalam Yorhanita, Frista., 2001). Penentuan sumber pencemar dapat dilakukan dengan perbandingan komposisi kimia air tanah dengan komposisi kimia air permukaan serta susunan kimia batuan lapisan pembawa airnya. Limbah buangan manusia di permukaan tanah adalah sumber pencemar yang paling banyak dijumpai sampai saat ini (Freeze et. al., 1979 ; Mathes et. al., 1982 dalam Djuwansah, M. Rachman., dkk., 2009).

Meluasnya kontaminasi dari kontaminan terhadap air tanah tergantung pada sifat-sifat alamiah kontaminan dan kondisi hidrogeologi suatu daerah. Kontaminan yang tidak berinteraksi dengan kondisi geologi suatu material dapat meluas sampai tempat yang jauh dibandingkan dengan kontaminan yang berinteraksi dengan kondisi geologi material. Kontaminan dapat menyebar lebih jauh pada material yang memiliki sifat permiabel ketika kecepatan aliran tanah menjadi lebih besar. Pada beberapa kasus, air tanah yang terkontaminasi tidak akan jauh dari sumber pencemar, jarak yang ditempuh beberapa ribu *feet* atau ratusan *feet* dari sumber pencemar. Kontaminan berasal dari satu sumber pencemar maka

kontaminasinya hanya bersifat lokal, tetapi jika berasal dari beberapa sumber maka kontaminasi akan lebih meluas areanya. Kontaminasi air tanah bukan suatu proses yang tidak berbalik (*irreversible process*). Proses-proses alamiah yang terjadi akan bereaksi untuk mengurai kontaminan tersebut. Mekanisme-mekanisme penguraian kontaminan yang masuk ke dalam air tanah tersebut antara lain ; dilusi, dispersi, filtrasi mekanis, penguapan, aktivitas biologi, pertukaran ion, adsorbsi partikel tanah di permukaan, reaksi kimia dan penguraian oleh radioaktif (Fetter, C.W., 2001).

Air tanah juga memiliki pengaruh terhadap kondisi pada air permukaan. Air tanah tidak selalu berada di dalam tanah (akuifer), air tanah dapat bergerak ke permukaan tanah melalui evapotranspirasi, keluar pada mata air menuju sungai dan samudera, sehingga kontaminasi logam berat pada air tanah juga dapat berpengaruh terhadap air permukaan. Jumlah polutan yang terdapat di dalam air tanah tergantung pada beberapa variabel misalnya ; kondisi masukan air ke dalam tanah (*input*), kondisi geologi suatu daerah, tinggi muka air tanah dan kondisi air permukaan. Air tanah secara umumnya memiliki kandungan garam-garam terlarut yang lebih tinggi dibandingkan dengan air permukaan, sehingga air tanah lebih banyak memiliki kandungan mineral di dalamnya dibandingkan dengan air permukaan (Nemerow, Nelson L., 1991). Air tanah dan air permukaan memiliki hubungan timbal balik antara satu dengan lainnya. Air permukaan dapat berasal dari air tanah yang keluar ke atas permukaan tanah melalui sumber-sumber mata air, tetapi air tanah juga dapat dipengaruhi oleh air permukaan, yang berasal dari proses infiltrasi air permukaan ke dalam tanah (Viessman et. al., 1977 dalam Nemerow, Nelson L., 1991).

3.4.3. Pencemaran Air

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, air adalah semua yang terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah, kecuali air laut dan air fosil. Pencemaran air adalah masuknya 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 dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Status mutu air ditetapkan untuk menyatakan : a. kondisi cemar, apabila mutu air tidak memenuhi baku mutu air, b. kondisi baik, apabila mutu air memenuhi baku mutu air. Air dapat dikatakan terkena polusi ketika terdapat zat-zat pengotor masuk ke dalamnya, kandungan zat-zat pengotor tersebut masih dapat ditoleransi di alam, tingkat toleransi kandungan zat pengotor tergantung pada pemanfaatan air tersebut (baku mutu pemanfaatan air sesuai dengan kelas air untuk penggunaanya).

Sumber pencemaran air dapat diklasifikasikan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010, sumber pencemar air tertentu (*point sources*) adalah sumber pencemar yang dapat ditentukan secara tepat letak geografisnya, sedangkan sumber pencemar air tak tentu (*diffuse sources*) tidak dapat ditentukan letak geografisnya secara tepat karena umumnya terdiri dari sejumlah besar sumber-sumber individu yang relatif kecil (Lihat Tabel 3.8.), sebagai berikut :

Tabel 3.8.
Klasifikasi Sumber Pencemar Air

Karakteristik Limbah	**Sumber Tertentu (*Point Sources*)**	**Sumber Tak Tentu (*Diffuse Sources*)**
Limbah Domestik	Aliran limbah urban dalam sistem saluran dan sistem pembuangan limbah domestik terpadu	Aliran limbah daerah pemukiman di Indonesia pada umumnya
Limbah Non-Domestik	Aliran limbah industri, pertambangan	Aliran limbah pertanian, peternakan dan kegiatan usaha kecil - menengah

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010.

Pencemaran air dapat disebabkan oleh adanya polutan (zat pencemar). Polutan merupakan bahan-bahan yang bersifat asing bagi alam atau bahan yang memasuki suatu ekosistem yang berasal dari alam itu sendiri, sehingga dengan adanya polutan tersebut dalam suatu ekosistem dapat mengganggu peruntukkan

ekosistem tersebut. Pengelompokkan polutan berdasarkan cara masuknya ke dalam lingkungan adalah :

1. Polutan alamiah, polutan alamiah memasuki lingkungan (badan air) secara alami contohnya ; kegiatan gunung berapi, erosi tanah dan proses-proses alami lainnya. Polutan alamiah sukar dikendalikan ketika memasuki suatu lingkungan.
2. Polutan antropogenik, polutan yang memasuki lingkungan (badan air) yang disebabkan oleh kegiatan manusia misalnya ; kegiatan domestik (rumah tangga), kegiatan urban (perkotaan) dan kegiatan industri. Polutan antropogenik dapat dikendalikan dengan mengontrol kegiatan yang menyebabkan polutan tersebut (Effendi, Hefni., 2003)

Polutan dikelompokkan menurut sifat toksiknya menjadi dua yaitu :

1. Polutan tak toksik, polutan ini telah berada di lingkungan secara alami, keberadaannya dapat mengganggu ekosistem ketika jumlah polutan berlebihan di dalam ekosistem.
2. Polutan toksik, polutan ini dapat menyebabkan kematian (*lethal*), bukan kematian (*sub-lethal*) misalnya ; terganggunya pertumbuhan, tingkah laku dan karakteristik morfologi berbagai organisme akuatik.

Polutan berupa bahan-bahan kimia (*rekalsitran*), memiliki sifat stabil dan sulit mengalami degradasi, sehingga tetap berada di alam (persisten) dalam kurun waktu yang lama (Effendi, Hefni., 2003).

Salah satu zat pencemar (polutan) yang memiliki efek berbahaya ketika memasuki lingkungan adalah logam berat. Logam berat adalah logam dengan massa jenis 5 atau lebih, dengan nomor atom 22 sampai dengan 92. Mason., 1993 dalam Effendi, Hefni., 2003, menyatakan bahwa logam berat adalah logam yang memiliki nomor atom > 20, sehingga logam alkali, alkali tanah, lantanida dan aktinida tidak termasuk logam berat. Logam berat sangat berbahaya karena sifatnya tidak dapat diuraikan secara biologis dan bersifat stabil di lingkungan. Logam berat merupakan zat pencemar yang sangat berbahaya karena logam berat

memiliki sifat tidak dapat dihancurkan oleh mikroorganisme yang hidup di lingkungan dan dapat terakumulasi dalam komponen-komponen lingkungan, terutama air, dengan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorbsi dan kombinasi (Ridhowati, Sherly., 2013).

Logam berat secara alamiah biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit dalam air, yaitu kurang dari 1 µg/L. Keberadaan logam dalam suatu kompartemen menentukan apakah logam tersebut berikatan dalam senyawa kimia atau dalam bentuk logam ion ketika berada dalam air. Hart dan Lake.,1987 dalam Darmono., 2010, memberikan pembagian siklus biogeokimiawi logam dalam air terdapat dalam 4 kompartemen, yaitu :

1. Kompartemen logam yang terlarut yaitu ion logam bebas, kompleks dan koloidal ikatan senyawanya.
2. Kompartemen partikel abiotik yang terdiri dari bahan kimia inorganik dan organik.
3. Kompartemen partikel biotik yang terdiri dari fitoplankton dan bakteria dalam laut dangkal dan laut dalam, daerah pantai dan tanaman yang menempel pada muara sungai.
4. Kompartemen terbesar logam berat adalah sedimen di dasar air dalam setiap ekosistem air.

Proses penyebaran polutan di sungai melalui dua mekanisme yaitu difusi dan konveksi. Mekanisme difusi merupakan penyebaran yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi dan bergantung pada sifat polutan (koefisien difusi), sedangkan konveksi disebabkan oleh adanya aliran fluida (air). Aliran air yang mengalir menyebabkan proses penyebaran polutan secara konveksi. Sifat aliran air di sungai dapat dipastikan berupa aliran turbulen (konveksi-difusi), dimana kecepatan aliran air berubah-ubah, sehingga menyebabkan konsentrasi polutan dalam air sungai juga berubah-ubah (Istiarto., 2014). Aliran turbulen adalah suatu aliran dimana partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, jika ditinjau berdasarkan ruang dan waktu (Suripin., 2004).

3.5. Baku Mutu Air Limbah dan Baku Mutu Air

Tabel 3.9.
Baku Mutu Merkuri (Hg) Pada Air Limbah

Parameter	Satuan	GOLONGAN	
		I	II
Temperatur	°C	38	40
Zat padat larut (TDS)	mg/L	2.000	4.000
Zat padat suspensi (TSS)	mg/L	200	400
pH	-	6,0-9,0	6,0-9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
Barium (Ba)	mg/L	2	3
Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
Seng (Zn)	mg/L	5	10
Krom Heksavalen (Cr^{6+})	mg/L	0,1	0,5
Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
Stanum (Sn)	mg/L	2	3
Arsen (As)	mg/L	0,1	0,5
Selenium (Se)	mg/L	0,05	0,5
Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
Sulfida (H_2S)	mg/L	0,5	1
Fluorida (F)	mg/L	2	3
Klorin bebas (Cl_2)	mg/L	1	2
Amonia-Nitrogen (NH_3-N)	mg/L	5	10
Nitrat (NO_3-N)	mg/L	20	30
Nitrit (NO_2-N)	mg/L	1	3
Total Nitrogen	mg/L	30	60
BOD_5	mg/L	50	150
COD	mg/L	100	300
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
Fenol	mg/L	0,5	1
Minyak & Lemak	mg/L	10	20
Total Bakteri Koliform	MPN/100 mL	10.000	

Sumber : Peraturan Menteri LH No. 5 Tahun 2014, Lampiran XLVII.

Pengertian air limbah, berdasarkan definisi dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014, tentang Baku Mutu Air Limbah, Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Proses pengolahan amalgamasi yang menggunakan air sebagai media di dalam gelundung untuk mendapatkan persentase padatan, menghasilkan air limbah yang harus dibuang, setelah selesai proses pengolahan. Merkuri yang dicampurkan dengan bijih Emas dapat terpecah-pecah menjadi butiran-butiran ketika digerus di dalam gelundung. Air limbah sebagai hasil dari proses amalgamasi masih mengandung Merkuri di dalamnya, sehingga Baku mutu air limbah untuk kandungan Merkuri yang sesuai dengan peraturan tersebut dapat dilihat dalam

Tabel 3.9. Tabel 3.9. tersebut, menunjukkan baku mutu yang ditetapkan untuk air limbah bagi usaha yang baku mutu air limbahnya belum ditetapkan dalam peraturan tersebut. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tersebut, belum memasukkan secara khusus peraturan baku mutu untuk air limbah pengolahan bijih Emas dengan menggunakan amalgamasi, sehingga untuk baku mutu air limbah pengolahan amalgamasi menggunakan peraturan yang terdapat di lembar Lampiran XLVII, yaitu baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan. Baku mutu air limbah untuk Merkuri pada peraturan tersebut adalah 0,002 mg/L untuk air kelas I dan 0,005 mg/L untuk air kelas II.

Tabel 3.10.
Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas Air

PARAMETER	SATUAN	KELAS			
		I	II	III	IV
FISIKA					
Mangan	mg/L	0.1	(-)	(-)	(-)
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2
Khlorida	mg/L	600	(-)	(-)	(-)
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)
Khlorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)
Belerang sebagai H_2S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)

Sumber : Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001

Penentuan kriteria mutu air berdasarkan kelas air ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, kandungan Merkuri (Hg) dalam air dapat dilihat pada Tabel 3.10., tentang Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas Air. Klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 kelas berdasarkan peruntukannya/pemanfaatannya, klasifikasi kelas mutu air tersebut ditetapkan dalam Pasal 8 Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, yaitu :

a. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaannya.
b. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman dan/atau peruntukan lain yang yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaannya.
c. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.
d. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

3.6. Penentuan Status Mutu Air

Penentuan status mutu air dapat dilakukan berdasarkan pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Penentuan status mutu air digunakan untuk menentukan apakah kondisi air berada dalam kondisi tercemar atau dalam kondisi baik, melalui perhitungan-perhitungan yang ditetapkan oleh peraturan tersebut. Pengertian mengenai mutu air, status mutu air dan sumber air diberikan pada Pasal 1 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 tersebut, yaitu :

a. Mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan perundang-undangan yang berlaku.
b. Status mutu air adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan baku mutu air yang ditetapkan.
c. Sumber air adalah wadah air yang terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini akuifer, mata air, sungai, rawa, waduk dan muara.

Penentuan status mutu air suatu sumber air dapat dihitung sesuai dengan ketentuan pada Pasal 2 peraturan tersebut, yaitu dengan menggunakan Metode STORET atau Metode Indeks Pencemaran.

3.6.1. Metode STORET

Metode STORET digunakan untuk menentukan status mutu air, sehingga dapat diketahui parameter-parameter yang telah memenuhi atau melampaui baku mutu air. Penentuan status mutu air dengan menggunakan metode STORET adalah dengan perbandingan antara data kualitas air dengan baku mutu yang sesuai dengan peruntukannya. Klasifikasi mutu air berdasarkan perhitungan skor pada Metode STORET dibagi menjadi empat kelas yang didasarkan pada sistem nilai dari "US-EPA" (*United States-Environmental Protection Agency*) dengan menggunakan skor sebagai dasar pembagian kelas, yaitu :

1. Kelas A : baik sekali, skor = 0 , artinya memenuhi baku mutu
2. Kelas B : baik, skor = -1 s/d -10, artinya cemar ringan
3. Kelas C : sedang, skor = -11 s/d -30, artinya cemar sedang
4. Kelas D : buruk, skor ≥ -31, artinya cemar berat

Perhitungan untuk penentuan status mutu air dapat dilihat pada bagian Lampiran I Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003. Metode STORET digunakan untuk menentukan status mutu air dengan melakukan perhitungan total parameter-parameter yang ada dalam mutu air. Parameter-parameter yang dihitung adalah parameter fisika, kimia dan biologi untuk mendapatkan skor total dari mutu air tersebut, kemudian berdasarkan skor total tersebut dapat ditentukan kelas klasifikasi mutu airnya.

3.6.2. Metode Indeks Pencemaran

Metode Indeks Pencemaran dikemukakan oleh Sumitomo dan Nemerrow dari Universitas Texas, Amerika Serikat pada Tahun 1970, yang mengusulkan suatu indeks yang berkaitan dengan senyawa pencemar yang bermakna untuk suatu peruntukan. Indeks Pencemaran digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan, ditentukan untuk suatu

peruntukan dan dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai. Penentuan status mutu air dengan Metode Indeks Pencemaran dilakukan dengan memberikan evaluasi terhadap hasil perhitungan PI_j (Indeks Pencemaran bagi peruntukannya), perhitungan PI_j merupakan fungsi dari C_i (Konsentrasi parameter kualitas air yang diperoleh dari analisis hasil cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan air) dan L_i (Konsentrasi parameter kualitas yang dicantumkan Baku Mutu Peruntukan Air). Metode Indeks Pencemaran dapat digunakan untuk menghubungkan secara langsung tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter-parameter tertentu. Klasifikasi mutu air berdasarkan perhitungan Metode Indeks Pencemaran sebagai berikut :

$$IP_j = \sqrt{\frac{\left(\frac{Ci}{Lij}\right) M^2 + \left(\frac{Ci}{Lij}\right) R^2}{2}}$$

dimana, IP_j = Indeks Pencemaran bagi peruntukannya

$\left(\frac{Ci}{Lij}\right) M$ = Nilai $\left(\frac{Ci}{Lij}\right)$ Rata-rata

$\left(\frac{Ci}{Lij}\right) R$ = Nilai $\left(\frac{Ci}{Lij}\right)$ Maksimum

Kriteria hasil perhitungan tersebut di atas adalah sebagai berikut :

1. $0 \leq PI_j \leq 1{,}0$, artinya memenuhi baku mutu (kondisi baik)
2. $1{,}0 \leq PI_j \leq 5{,}0$, artinya cemar ringan
3. $5{,}0 \leq PI_j \leq 10$, artinya cemar sedang
4. $PI_j > 10$, artinya cemar berat

3.7. Analisis Korelasi Dan Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi dan korelasi merupakan suatu analisis untuk dilakukan untuk menyatakan hubungan antara variabel terikat dengan satu hanya satu variabel bebas. Analisis korelasi menunjukkan keeratan hubungan (kuat atau lemahnya) hubungan antara variabel terikat dan bebas, sedangkan analisis regresi linear

sederhana menunjukkan sifat atau pola hubungan antara dua variabel tersebut dan bagaimana pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikatnya.

3.7.1. Analisis Korelasi

Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui kuat-lemahnya (keeratan) hubungan antara variabel bebas X dan variabel terikat Y, tanpa melihat apakah hubungannya linear atau tan-linear. Alat untuk mengukur keeratan hubungan tersebut adalah dilihat koefisien korelasinya (r), sedangkan alat untuk mengukur ketepatan garis regresinya terhadap sebaran data menggunakan koefisien determinasinya (r^2). Analisis korelasi dan regresi biasanya dilakukan bersama-sama, sehingga koefisien korelasi (r) adalah akar dari koefisien determinasi (r^2), dengan rumus sebagai berikut :

$$r = \sqrt{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum(Yi - \hat{Y})^2}{\sum(Yi - \bar{Y})^2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

3.7.1.1. Koefisien Korelasi (r) Melalui Analisis Regresi

Nilai r dapat menunjukkan positif dan negatif. Nilai r positif (+ r) menunjukkan hubungan antara variabel X dan Y searah, yang berarti bahwa jika nilai X meningkat maka nilai Y juga meningkat, demikian juga sebaliknya. Nilai r negatif (- r), menunjukkan bahwa variabel X dan Y berlawanan arah, yang berarti bahwa jika nilai X meningkat maka nilai Y menurun, demikian juga jika X menurun maka Y akan meningkat. Nilai r = 0 menunjukkan bahwa antara variabel X dan Y tidak terdapat hubungan linear, tetapi mungkin juga terjadi hubungan secara tan-linear.

Koefisien korelasi r yang dihitung ($r \neq 0$), berdasarkan koefisien determinasi r^2 memiliki kelemahan, yaitu koefisien korelasinya tidak menunjukkan arah hubungan yang spesifik, negatif atau positif. Hal ini disebabkan oleh hasil dari akar dua dari bilangan positif dapat berupa angka positif maupun negatif, tetapi kelemahan ini dapat dihilangkan dengan cara mengikuti koefisien regresinya, jika

koefisien regresinya positif maka koefisien korelasinya juga positif, demikian juga sebaliknya.

3.7.1.2. Koefisien Korelasi (r) Tanpa Analisis Regresi

Koefisien korelasi dapat dihitung secara langsung tanpa melalui analisis regresi, hal ini dapat dilakukan hanya untuk mengetahui kuat-lemahnya hubungan antar variabel tanpa mengetahui lebih lanjut pengaruh salah satu variabel (bebas) dengan variabel lainnya (terikat). Perhitungan koefisien korelasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satu cara yang digunakan adalah Metode Karl Pearson atau Produk *Moment*, yaitu :

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \sqrt{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}}$$

Dimana, n = banyaknya pasangan data

X_i = Variabel bebas yang ke – i (nilai pengamatan)

Y_i = Variabel terikat yang ke – i (nilai pengamatan)

Derajat hubungan antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y), (diberikan oleh Elifson, et al., 1990 dalam Wirawan, Nata., 2016), dapat dilihat dalam tabel 3.11., di bawah ini.

Tabel 3.11.
Interpretasi Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi (r) (positif/negatif)	Interpretasi
0,01 – 0,30	Korelasi lemah
0,31 – 0,70	Korelasi moderat
0,71 – 0,99	Korelasi kuat atau tinggi
1	Korelasi sempurna

3.7.2. Analisis Regresi

Analisis regresi dilakukan untuk beberapa tujuan yaitu :

1. Memperoleh suatu persamaan garis yang menunjukkan hubungan antara dua variabel (persamaan regresi).

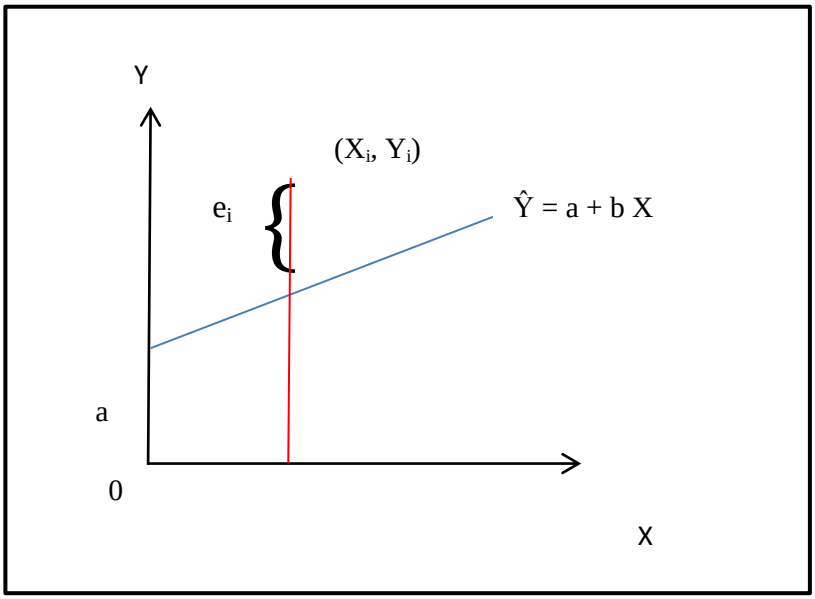
2. Mengetahui besarnya perubahan variabel terikat dari tiap unit variabel bebasnya.
3. Menaksir besarnya variabel terikat berdasarkan variabel bebas yang telah diketahui.

3.7.2.1. Analisis Regresi Linear Sederhana

Persamaan garis lurus secara umumnya, dapat dinyatakan dengan menggunakan rumus (Lihat Gambar 3.1.), sebagai berikut :

$$\hat{Y} = a + b\,X \;\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

Data-data sampel (X_i, Y_i), dengan i = 1,2,3…. n, dapat dibuat diagram pencarnya, dari semua kemungkinan garis lurus yang dapat dibuat, maka metode kuadrat terkecil (*Least Squares Method*) akan memberikan kuadrat deviasi vertikal tegak dari titik-titik observasi ke garis regresi sekecil mungkin atau memberikan $\sum(Y_i-\hat{Y})^2 = \sum(e_i)^2$ yang terkecil, sedangkan $(Y_i-\hat{Y}) = e$ adalah residual.



Sumber : Wirawan, Nata., 2016.

Gambar 3.1.
Kriteria Kuadrat Kecil

Untuk membuat kuadrat simpangan vertikal ($\sum(Y_i-\hat{Y})^2$) ke garis regresi (a-b), maka $\sum(Y_i-\hat{Y})^2 = \sum(e_i)^2$ diminimumkan terhadap garis a-b. Kalkulus diferensial

digunakan untuk membantu memperoleh persamaan normal, maka nilai a dan b dari persamaan linear $\hat{Y} = a + b X$ (Lihat Gambar 3.1.), dapat dihitung berikut ini :

$$\sum Y_i = n.a + b \sum X_i \text{ .....(2)}$$

$$\sum Xi.Yi = a \sum X + b \sum X^2 \text{.....(3)}$$

Bentuk lain dari persamaan normal di atas adalah :

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \text{ .....(4)}$$

$$a = \bar{Y} - b \ddot{X} \text{.....(5)}$$

Dimana, a = Konstanta/ titik potong dengan sumbu Y, jika X = 0

b = Slope garis/ arah regresi, yang menyatakan perubahan nilai Y akibat perubahan 1 unit X

$\hat{Y}$ = Taksiran nilai Y

X = Variabel bebas

Y= Variabel terikatType equation here.

n = Banyaknya pasangan data

Koefisien regresi merupakan bentuk deviasi/penyimpangan masing-masing data terhadap *mean*-nya masing-masing, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2} \text{ .....(6)}$$

3.7.2.2. Nilai Koefisien Regresi

Nilai koefisien regresi dapat menunjukkan positif atau negatif. Nilai positif dan negatif nilai korelasi menunjukkan arah hubungan antara variabel bebas dan terikat. Nilai positif menunjukkan bahwa pengaruh positif variabel bebas X terhadap variabel terikat Y, demikian juga sebaliknya. Penafsiran terhadap nilai koefisien regresi b adalah sebagai berikut :

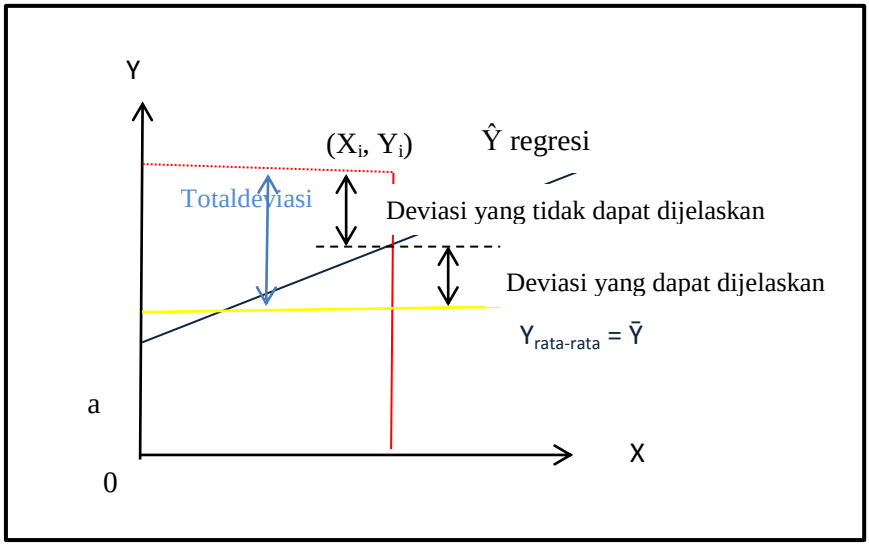
1. b = k (k bertanda positif), berarti nilai variabel terikat Y akan naik sebesar k unit dari variabel bebas X, dengan hal-hal lain tetap sama (*ceteris paribus*), demikian juga sebaliknya.
2. b = - k (k bertanda negatif), berarti nilai variabel terikat Y akan turun, jika variabel bebas X naik, dengan hal-hal lain tetap sama (*ceteris paribus*), demikian juga sebaliknya.

3.7.2.3. Koefisien Determinasi (r^2)

Koefisien determinasi adalah alat utama untuk mengukur ketepatan/kesesuaian (*goodness of fit*) garis regresi terhadap datanya. Koefisien determinasi dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{Koefisien determinasi } (r^2) = \frac{Variasi\ yang\ dapat\ dijelaskan}{Variasi\ total}$$

Gambar 3.2. di bawah ini, menjelaskan hubungan antara total variasi yang dapat dijelaskan dan variasi yang tidak dapat dijelaskan.



Sumber : Wirawan, Nata., 2016.

Gambar 3.2.
Total Variasi Yang Dapat Dijelaskan dan
Variasi Yang Tidak Dapat Dijelaskan

Koefisien determinasi bernilai antara 0 dan 1, $0 \leq r^2 \leq 1$, artinya $r^2 = 1$ adalah 100% total variasi variabel terikat dijelaskan oleh variabel bebasnya, dan menunjukkan ketepatan yang baik, sedangkan $r^2 = 0$ adalah tidak ada total variasi variabel terikat yang dijelaskan oleh variabel bebasnya. Perhitungan r^2 rumus per rumus dalam praktek adalah suatu hal yang sulit dilakukan (Wirawan, Nata., 2016.), maka untuk penyelesaian perhitungan koefisien determinasi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang lebih sederhana, yaitu :

$$r^2 = \frac{a \sum Y_i + b \sum X_i Y_i - n\,(\bar{Y})^2}{\sum Y^{i2} - n\,(\bar{Y})^2}$$

3.7.3. Kesalahan Baku dari Dugaan

Kesalahan baku dari dugaan (S_{Yx}) adalah besaran yang menyatakan penyimpangan titik-titik diagram pencar terhadap garis regresinya. Rumus yang digunakan untuk menghitung kesalahan baku dari dugaan adalah :

$$S_{Yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y})^2}{n-2}} \quad \text{atau,} \quad S_{Yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i{}^2 - a\sum Y_i - b\sum X_i Y_i}{n-2}}$$

dimana, S_{Yx} = Kesalahan baku dari dugaan

Y_i = Nilai variabel terikat (pengamatan) yang ke- i

X_i = Nilai variabel bebas (pengamatan) yang ke- i

$\hat{Y}$ = Taksiran nilai Y atau nilai regresi

n = Banyaknya pasangan data sampel

Tingkat pencaran data ditunjukkan secara langsung oleh kesalahan baku dari dugaan tersebut, sehingga semakin besar nilai S_{Yx}, maka keberadaan titik-titik tersebut semakin tersebar di sekitar garis regresi (semakin jauh dari garis regresi), demikian juga jika nilai S_{Yx} semakin kecil maka titik-titik tersebut berada di dekat garis regresi. Jika S_{Yx} = 0, maka semua titik berada tepat pada garis regresi, yang berarti garis regresi dapat dipergunakan untuk menaksir variabel terikat secara sempurna.

3.7.4. Uji Hipotesis (uji-F, uji-t, uji-r)

Pengujian hipotesis dapat dilakukan dengan uji ragam regresi/uji-F regresi, uji koefisien regresi/uji-t dan uji-r. Uji-F, H_0 merupakan hipotesis yang harus ditolak untuk mendapatkan hipotesis, H_0 memiliki arti bahwa koefisien arah regresi tidak berarti (b=0), H_1 berarti koefisien arah regresi itu berarti ($b \neq 0$), dengan $\propto$ (taraf nyata) = 5%, dengan daerah kritis, H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau *Significance* F < 0,05. Pengujian F membuktikan suatu hipotesis 0 atau H_0 : $F_{hit} = 0$ dan H_1: $F_{hit} > 0$, kemudian F_{hitung} dibandingkan dengan F_{tabel} ($F_{hitung} \approx F_{tabel}$), kriteria pengujian F_{hitung} adalah :

1. Jika $F_{hitung} \leq F_{(tabel,5\%)}$, berarti garis regresi penduga ($\hat{Y}$) linear sederhana bukan garis regresi yang terbaik untuk mendekati pasangan pengamatan X, Y atau terdapat hubungan yang bukan linear pada pasangan pengamatan X, Y.

2. Jika $F_{hitung} > F_{(tabel,5\%)}$, berarti garis regresi penduga ($\hat{Y}$) linear sederhana merupakan garis regresi yang terbaik untuk mendekati pasangan pengamatan X, Y atau terdapat hubungan yang linear pada pasangan pengamatan X, Y.

Pengujian dengan uji-F memberikan petunjuk bahwa apakah setiap variabel X menunjukkan pengaruh atau hubungan yang nyata. Jika $F_{hitung} > F_{(tabel,5\%)}$ maka dilanjutkan dengan uji-t. Uji-t dilakukan untuk pengujian hipotesis nol atau H_0:b_i = 0 dan H_1: minimal satu dari $b_i \neq 0$, kemudian t-hitung dibandingkan dengan t tabel ($t_{hit} \approx t_{tabel}$), dimana $t_{tabel} = t_{(\alpha/2,n-2)}$, $\propto$ = taraf nyata. Kriteria pengujian nilai t_{hit} adalah :

1. Jika $t_{hit} \leq t_{(tabel\ 5\%,db\ galat)}$, maka H_0 diterima, pengujian b_0 berarti bahwa b_0 melalui titik acuan (titik 0,0), yaitu nilai Y = 0 jika X = 0. Untuk b_1, $t_{hit} \leq t_{(tabel\ 5\%,db\ galat)}$ maka garis regresi penduga ($\hat{Y}$) dikatakan sejajar dengan sumbu X pada nilai b_0.
2. Jika $t_{hit} > t_{(tabel\ 5\%,db\ galat)}$, maka H_0 ditolak, yang berarti garis regresi penduga ($\hat{Y}$) tidak melalui titik acuan (titik 0,0), hal tersebut menunjukkan bahwa koefisien arah b_1 dapat digunakan untuk penduga/peramalan yang dapat dipercaya.

Uji-r untuk pengujian keeratan hubungan dengan menggunakan parameter yaitu koefisien korelasi dengan simbol r_{xy} atau r_{yx} atau ditulis r saja. Koefisien korelasi r disebut juga koefisien korelasi sederhana atau koefisien korelasi order nol atau koefisien korelasi *product moment*/ koefisien korelasi Pearson. Nilai r berada antara $-1 \leq r \leq +1$, jadi nilai r selalu dalam pecahan misalnya; r = 0,91, r = 0,54 dan lain sebagainya. Jika nilai koefisien regresinya (b_1) negatif, maka nilai korelasi r juga negatif. Uji-r dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien korelasi hitung dengan r tabel ($r_{hit} \approx r_{tabel}$), dimana $r_{tabel} = r_{(\alpha/2,n-2)}$, n-2 = db galat, $\propto$ = taraf nyata. Kriteria pengujian nilai r_{hitung} adalah :

1. Jika $r_{hit} \leq r_{(tabel,5\%,db\ galat)}$, maka tidak terdapat hubungan linear antara variabel satu dengan yang lainnya.
2. Jika $r_{hit} > r_{(tabel,5\%,db\ galat)}$, H_0 ditolak, terdapat hubungan yang linear antara variabel satu dengan yang lainnya.

3.8. Metode Uji Laboratorium *Mercury Analyzer Lab* 254

Pengujian kandungan Merkuri pada sampel air sungai, air tanah, sedimen dan bijih dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT), Universitas Gadjah Mada. Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada memiliki alat *Mercury Analyzer Lab* 254, alat tersebut digunakan untuk menganalisa Merkuri secara cepat, mempunyai sensitivitas yang tinggi dan dapat menentukan jumlah Merkuri pada sampel padat, cair dan gas. Prinsip kerja *Mercury Analyzer* adalah sampel disuntikkan secara otomatis ke dalam aliran kontinyu cairan pembawa yang mencampur dengan larutan lain yang terus mengalir sebelum mencapai detektor. Sumber cahaya yang digunakan adalah *Electrodeless Low- pressure mercury lamp* (EDL). Spesifikasi *Mercury Analyzer Lab* 254 adalah : rentang pengukuran : 0,01 ppb–10 ppb, panjang gelombang : 253,7 nm, detektor : UV, sensitivitas : 5 ng/L atau 0,05 ng *absolute*.

3.8.1. Metode Pengambilan Sampel dan Data

Metode pengambilan sampel dalam penelitian ini digunakan metode *grab sampling*, pengambilan sampel dilakukan sesaat pada tempat yang dianggap dapat mewakili penyelesaian penelitian. Pada penelitian ini pengambilan sampel air dilakukan pada air tanah yang berasal dari sumur gali bekas bekas *shaft* penambangan bijih Emas dan sumur bor yang terletak di dekat aliran sungai. Preparasi sampel dapat dilihat pada Lampiran Q.

3.8.1.1. Metode Pengambilan Sampel Air dan Air Limbah (Air Permukaan)

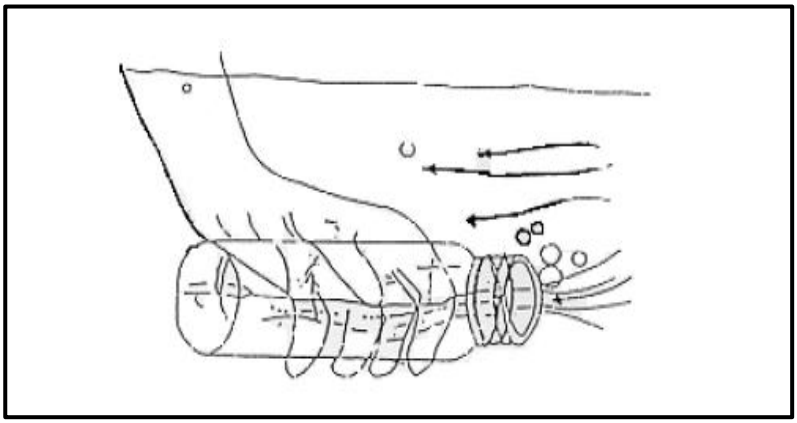
Metode pengambilan sampel air dan air limbah (air permukaan) berdasarkan SNI 6989.57 : 2008, tentang metode pengambilan sampel air permukaan untuk keperluan pengujian sifat fisika dan kimia air permukaan. Menurut SNI 6989.57:2008, persyaratan alat pengambil contoh adalah :

a) Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat contoh.
b) Mudah dicuci dari bekas sebelumnya.
c) Contoh mudah dipindahkan ke dalam wadah penampung, tanpa ada sisa bahan tersuspensi di dalamnya.

d) Mudah dan aman dibawa.

e) Kapasitas alat tergantung dari tujuan pengujian.

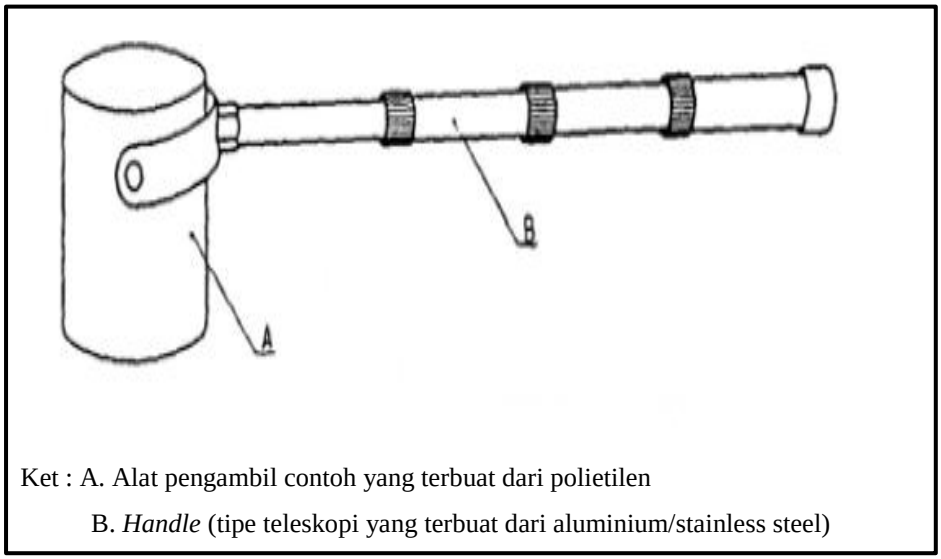
Alat pengambil contoh yang sederhana adalah digunakan botol biasa dengan cara langsung (Lihat Gambar 3.3.).



Sumber : SNI 6989.57:2008

Gambar 3.3.
Alat Pengambil Contoh Dengan Botol

Alat sederhana lain yang dapat digunakan untuk mengambil contoh air limbah sesuai dengan SNI 6989.57: 2008 adalah gayung plastik bertangkai panjang (Lihat Gambar 3.4.).



Ket : A. Alat pengambil contoh yang terbuat dari polietilen

B. *Handle* (tipe teleskopi yang terbuat dari aluminium/stainless steel)

Sumber : SNI 6989.57: 2008

Gambar 3.4.
Gayung Plastik Bertangkai Panjang

Persyaratan untuk wadah yang digunakan menyimpan contoh, sesuai dengan SNI 6989.57: 2008 , adalah : a. Terbuat dari bahan gelas atau *Poli Etilen* (PE) atau *Poli Propilen* (PP) atau *Teflon (Poli Tetra Fluoro Etilen, PTFE*), b. Dapat tertutup dengan kuat dan rapat, c. Bersih dan bebas kontaminan, d. Tidak mudah pecah, e. Tidak berinteraksi dengan contoh.

Persiapan untuk wadah contoh pengujian logam terlarut adalah sebagai berikut :

1. Botol gelas atau plastik dicuci dengan deterjen, kemudian dibilas dengan air bersih.
2. Botol gelas atau plastik tersebut dibilas dengan asam nitrat (HNO_3), kemudian dibilas lagi dengan air bebas analit sebanyak 3 kali dan dibiarkan mengering, setelah kering ditutup rapat dengan tutup botolnya.

3.8.1.2. Metode Pengambilan Sampel Batuan

Metode pengambilan sampel batuan, dalam penelitian ini sampel adalah bijih yang diolah dengan amalgamasi, berdasarkan SNI 03-6889-2002, tentang Tata Cara Pengambilan Contoh Agregat. Peralatan yang digunakan untuk mengambil contoh untuk sumber batuan kompak (*massive*), adalah : Palu geologi, Cangkul, Linggis, Belincong, Meteran, Timbangan. Perlengkapan yang digunakan untuk mengambil contoh batuan, adalah sebagai berikut : Karung atau kantong plastik, Tali plastik, Formulir atau label, Pensil. Sampel batuan/bijih yang diambil dari bijih yang akan diolah tersebut, dimasukkan ke dalam karung atau kantong plastik, diberikan keterangan atau label yang sesuai, kemudian karung atau kantong plastik tersebut diikat dengan tali plastik.

3.8.1.3. Metode Pengambilan Sampel Sedimen

Sampel sedimen sungai diambil berdasarkan teori bahwa Merkuri yang memiliki densitas yang tinggi akan tenggelam dan terakumulasi di sedimen pada kedalaman 5–15 cm di bawah permukaan sedimen. Pada penelitian ini, sampel sedimen sungai diambil 5–15 cm di bawah permukaan sedimen, pada jarak tertentu dari sumber pencemaran.

BAB IV
HASIL PENELITIAN

4.1. Data Primer Penelitian

4.1.1. Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai

Data hasil uji laboratorium kandungan merkuri pada sedimen air sungai ditampilkan pada Tabel 4.1. (Lihat Lampiran F). Sampel sedimen sungai diambil sebanyak 8 sampel. Sampel sedimen sungai diambil pada kedalaman 5-15 cm dari permukaan sedimen sungai (sesuai dengan teori pengendapan Merkuri bahwa Merkuri akan mengendap pada sedimen pada kedalaman 5-5 cm). Sampel diambil pada titik-titik dengan jarak 0 m, 60 m, 110 m, 170 m, 230 m, 350 m, 450 m dan 530 m dari sumber pencemar di sepanjang hilir sepanjang aliran sungai Sangon II. Titik-titik pengambilan sampel sedimen dapat dilihat pada citra satelit daerah penelitian (Lihat Lampiran C dan Lampiran D).

Tabel 4.1.
Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai

No	Kode Sampel	Koordinat		Kadar Hg (ppm)	Metode Uji Laboratorium
		S	E		
1	SSD 1	07^0 50 ‘ 17,7”	110^0 03‘ 55,0”	0,20	Mercury Analyzer
2	SSD 2	07^0 50 ‘ 14,6”	110^0 03‘ 53,3”	1,96	Mercury Analyzer
3	SSD 3	07^0 50 ‘ 11,8”	110^0 03‘ 50,8”	0,82	Mercury Analyzer
4	SSD 4	07^0 50 ’ 10,3”	110^0 03‘ 48,4”	0,03	Mercury Analyzer
5	SSD 5	07^0 50 ‘ 08,0”	110^0 03‘ 46,4”	0,07	Mercury Analyzer
6	SSD 6	07^0 50 ‘ 01,5”	110^0 03‘ 45,9”	0,93	Mercury Analyzer
7	SSD 7	07^0 50 ‘ 04,0”	110^0 03‘ 46,3”	0,44	Mercury Analyzer
8	SSD 8	07^0 50 ‘ 05,7”	110^0 03‘ 46,3”	0,12	Mercury Analyzer

Sumber : Laporan Hasil Uji Laboratorium, 2017.

4.1.2. Kandungan Merkuri Pada Air Tanah

Sampel air tanah diambil dari sumur-sumur yang dimanfaatkan oleh penduduk sekitar untuk keperluan sehari-hari, air sumur tersebut berasal dari pemboran air tanah yang terdapat di tepi sungai Sangon II atau sumur gali bekas *shaft*

penambangan di dekat sungai. Data hasil uji laboratorium kandungan merkuri pada air tanah ditampilkan pada Tabel 4.2 (Lihat Lampiran F). Sampel air tanah diambil sebanyak 3 sampel dengan jarak ; S1 jarak 550 m dan S3 dengan jarak 510 m dari sumber pencemar dan S2 dengan jarak 200 m dari sumber pencemar.

Tabel 4.2.
Kandungan Merkuri Pada Air Tanah

No	Kode Sampel	Koordinat		Kadar Hg (mg/L)	Metode Uji Laboratorium
		S	E		
1	S 1	07^0 50' 18,6"	110^0 03' 53,4"	0,00030	Mercury Analyzer
2	S 2	07^0 50' 06,3"	110^0 03' 45,4"	0,00087	Mercury Analyzer
3	S 3	07^0 50' 17,1"	110^0 03' 53,4"	0,00039	Mercury Analyzer

Sumber : Laporan Hasil Uji Laboratorium, 2017.

4.1.3. Kandungan Merkuri Pada Air Limbah

Sampel air limbah diambil dari pembuangan air limbah dari pengolahan bijih Emas. Data hasil uji laboratorium kandungan Merkuri pada air limbah, sampel diambil dari lokasi pembuangan air limbah ditampilkan pada Tabel 4.3. (Lihat Lampiran F).

Tabel 4.3.
Kandungan Merkuri Pada Air Limbah

No	Kode Sampel	Koordinat		Kadar Hg (mg/L)	Metode Uji Laboratorium
		S	E		
1	SLi	07^0 50 ' 01,5"	110^0 03' 45,9"	0,99994	Mercury Analyzer

Sumber : Laporan Hasil Uji Laboratorium, 2017.

4.1.4. Kandungan Merkuri Pada Bijih

Data hasil uji laboratorium kandungan Merkuri pada bijih ditampilkan pada Tabel 4.4. (Lihat Lampiran F). Bijih Emas diambil sebanyak 2 sampel yang didapatkan dari lokasi penambangan.

Tabel 4.4.
Kandungan Merkuri Pada Bijih

No	Kode Sampel	Koordinat		Kadar Hg (ppm)	Metode Uji Laboratorium
		S	E		
1	SBj	07^0 50 ‘ 01,5”	110^0 03‘ 45,9”	0,28	Mercury Analyzer
2	SBj 2	07^0 50 ‘ 01,5”	110^0 03‘ 45,9”	0,14181	Mercury Analyzer

Sumber : Laporan Hasil Uji Laboratorium, 2017.

4.1.5. Kandungan Merkuri Pada Air Sungai

Sampel air sungai untuk pengujian kandungan merkuri diambil pada beberapa tempat pada aliran sungai di Dusun Sangon II dan pertemuan sungai tersebut dengan Sungai Plampang, yaitu :

1. Titik sebelum masuknya pembuangan tailing ke sungai (SA 4).
2. Tepat pada titik pembuangan tailing ke sungai (SA 5).
3. Setelah titik pembuangan tailing ke sungai (SA 6).
4. Muara pertemuan dengan Sungai Plampang (SA 3)
5. Titik sebelum pertemuan dengan Sungai Plampang (SA 1).
6. Titik setelah pertemuan dengan Sungai Plampang (SA 2).

Data hasil uji laboratorium kandungan merkuri pada air sungai tersebut ditampilkan pada Tabel 4.5. (Lihat Lampiran F).

Tabel 4.5.
Kandungan Merkuri Pada Air Sungai

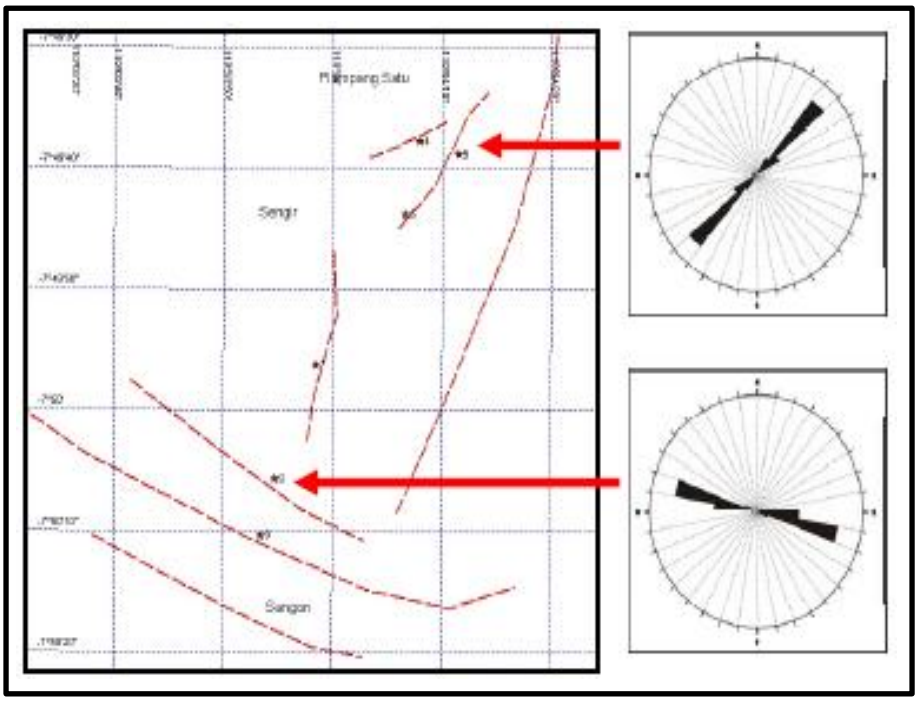
No	Kode Sampel	Koordinat		Kadar Hg (mg/L)	Metode
		S	E		
1	SA 1	07^0 50 ‘ 16,9”	110^0 03‘ 56,2”	< 0,00006	Mercury Analyzer
2	SA 2	07^0 50 ‘ 19,2”	110^0 03‘ 55,1”	< 0,00006	Mercury Analyzer
3	SA 3	07^0 50 ‘ 18,0”	110^0 03‘ 55,4”	< 0,00006	Mercury Analyzer
4	SA 4	07^0 50 ‘ 00,2”	110^0 03‘ 45,4”	< 0,00006	Mercury Analyzer
5	SA 5	07^0 50 ‘ 02,0”	110^0 03‘ 46,1”	< 0,00006	Mercury Analyzer
6	SA 6	07^0 50 ‘ 03,4”	110^0 03‘ 46,3”	< 0,00006	Mercury Analyzer

Sumber : Laporan Hasil Uji Laboratorium, 2017.

4.2. Data Sekunder Penelitian

4.2.1. Kekar Dan Sesar Di Sangon

Penelitian terhadap kekar dan sesar yang terdapat di Sangon telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Isjudarto, A., 2009). Pembentukan kekar yang terdapat didaerah tersebut melalui dua fase pembentukan kekar. Fase pembentukan kekar pertama kali membentuk kekar-kekar yang berarah Timur Laut-Barat Daya dan Barat Laut-Tenggara. Fase pembentukan kekar kedua kali membentuk kekar yang berarah Barat-Timur. Kekar-kekar terisi oleh urat-urat kuarsa yang mengandung logam berharga pada fase pembentukan pertama, sedangkan kekar-kekar yang terbentuk pada fase kedua tidak terisi oleh urat kuarsa.



Sumber : Isjudarto, A., 2009.

Gambar 4.1.
Arah Umum Kekar Yang Terisi Urat Kuarsa Di Sangon

Sesar yang terdapat di daerah Sangon merupakan sesar turun yang memiliki dua arah kelurusan utama yaitu Barat Laut-Tenggara (NW-SE) dan Timur Laut-Barat Daya (NE-SW). Sesar-sesar yang berarah Timur Laut-Barat Daya dipotong sesar-sesar yang berarah Barat Laut-Tenggara, sehingga dalam penelitian tersebut ditafsirkan bahwa sesar-sesar yang berarah Barat Laut-Tenggara berumur lebih

muda dari sesar-sesar yang berarah Timur Laut-Barat Daya. Bidang-bidang sesar di sungai Sangon, yang diukur dengan pengukuran semi detil memiliki arah N 65^0 E/ 80^0, N 100^0 E/80^0 dan N 155^0 E/ 85^0. Urat kuarsa mengisi kekar-kekar yang melengkung di bagian barat dengan arah umum Barat Laut-Tenggara (NW-SE), semakin ke Timur, kekar-kekar tersebut memiliki arah Timur Laut-Barat Daya (Lihat Gambar 4.1.).

4.2.2. Curah Hujan

Penelitian dilakukan selama bulan Agustus 2017, Kualifikasi curah hujan Daerah Istimewa Yogyakarta pada Tabel 4.6., menunjukkan, bahwa secara umum pada sebaran curah hujan untuk wilayah Kulonprogo dari Analisis Curah Hujan, BMKG Stasiun Klimatologi, Yogyakarta Agustus 2017 (Lihat Tabel 4.7), adalah rendah (0-10 mm). Data curah hujan selama 3 bulan berturut-turut (Juni 2017, Juli 2017 dan Agustus 2017), selengkapnya terdapat di Lampiran A.

Tabel 4.6.
Kualifikasi Curah Hujan Daerah Istimewa Yogyakarta

Bulan (2017)	Curah Hujan (mm)	Kategori Hujan
April	300 - 400	Tinggi
Mei	50 - 100	Rendah
Juni	50 - 100	Rendah
Juli	50 - 100	Rendah
Agustus	0 - 20	Rendah

Sumber : Peta Analisis Curah Hujan, BMKG,2017.

Tabel 4.7.
Sebaran Curah Hujan Daerah Kulonprogo

Sebaran Curah Hujan Bulan Agustus 2017	Curah Hujan (mm)	Kategori Hujan
Dasarian I (Tgl 1 s/d 10)	0 - 10	Rendah
Dasarian II (Tgl 11 s/d 20)	0 - 10	Rendah
Dasarian III (Tgl 21 s/d 31)	0 - 10	Rendah

Sumber : Analisis Curah Hujan, BMKG Stasiun Klimatologi Yogyakarta, 2017.

4.2.3. Peta Topografi

Peta topografi dan citra satelit daerah penelitian Lampiran C dan Lampiran D.

4.2.4. Peta Geologi Daerah Kulonprogo

Peta geologi daerah Kulonprogo didapatkan dari Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia Rahardjo, Wartono., Sukandarrumidi, Rosidi , H.,M., D., 1977 (Lihat Lampiran B).

4.2.5. Baku Mutu Air Limbah Dan Air

4.2.5.1. Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah yang ditetapkan melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 terdapat pada Bab III Sub Bab 3.5. Tabel 3.9.

4.2.5.2. Baku Mutu Air

Baku mutu air berdasarkan kelas air ditetapkan oleh pemerintah melalui Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 terdapat pada Bab III Sub Bab 3.5 Tabel 3.10.

4.2.6. Kelimpahan Rata-Rata Merkuri

4.2.6.1. Kelimpahan Rata-Rata Merkuri Dalam Batuan Yang Tidak Termineralisasi

Kelimpahan rata-rata merkuri pada berbagai jenis batuan yang tidak termineralisasi, berdasarkan pada *Field's Geologist Manual* dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005, kelimpahan merkuri tersebut menjadi pedoman untuk kegiatan eksplorasi mineral logam terdapat pada Bab III Sub Bab 3.2 Tabel 3.3.

4.2.6.2. Kelimpahan Rata-Rata Merkuri Dalam Air Dan Sedimen

Kelimpahan rata-rata merkuri pada air dan sedimen berdasarkan pada *Techniques in Mineral Exploration* dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005 , terdapat pada Bab III Sub Bab 3.2. Tabel 3.4.

4.3. Pengolahan Data

4.3.1. Kandungan Merkuri Sedimen Sungai

Sampel sedimen sungai untuk pengujian merkuri diambil pada sedimen sungai sepanjang ± 530 meter dari sumber pencemaran. Sedimen sungai diambil pada jarak tertentu (diketahui dari pengukuran GPS), jarak antara satu titik dengan titik

lainnya tidak sama, hal tersebut disebabkan oleh faktor lokasi aliran sungai dan topografi sungai. Titik-titik pengambilan sampel sedimen sungai diambil berdasarkan jarak dari sumber pencemar yaitu : sedimen sungai pada jarak 0 m, 60 m, 110 m, 170 m, 230 m, 350 m, 450 m dan 530 m dari sumber pencemar (Lihat Tabel 4.8.). Data kandungan Merkuri pada sedimen sungai berdasarkan jarak dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8.
Kandungan Merkuri Sedimen Sungai
Berdasarkan Jarak Dari Sumber Pencemar

No	Kode Sampel	Jarak (m)	Kadar Hg (ppm)
1	SSD 6	0	0,93
2	SSD 7	60	0,44
3	SSD 8	110	0,12
4	SSD 5	170	0,07
5	SSD 4	230	0,03
6	SSD 3	350	0,82
7	SSD 2	450	1,96
8	SSD 1	530	0,20

Sumber : Pengukuran GPS Garmin 60CSX, 2017, diolah dengan ArcGIS 10.3.

Tabel 4.9.
Jarak Dan Ketinggian Topografi Titik Pengambilan Sampel

No	Kode Sampel	Jarak (m)	Ketinggian (m dpl)
1	SSD 6	0	143
2	SSD 7	60	131
3	SSD 8	110	115
4	SSD 5	170	100
5	SSD 4	230	87
6	SSD 3	350	81
7	SSD 2	450	70
8	SSD 1	530	56

Sumber : Pengukuran GPS Garmin 60CSX, 2017, diolah dengan ArcGIS 10.3.

Data jarak pengambilan sampel satu dengan yang lainnya dan ketinggian topografi titik pengambilan sampel, pengambilan jarak dan ketinggian topografi didasarkan pada pengukuran dengan GPS Garmin 60 CSX. Data tersebut diolah

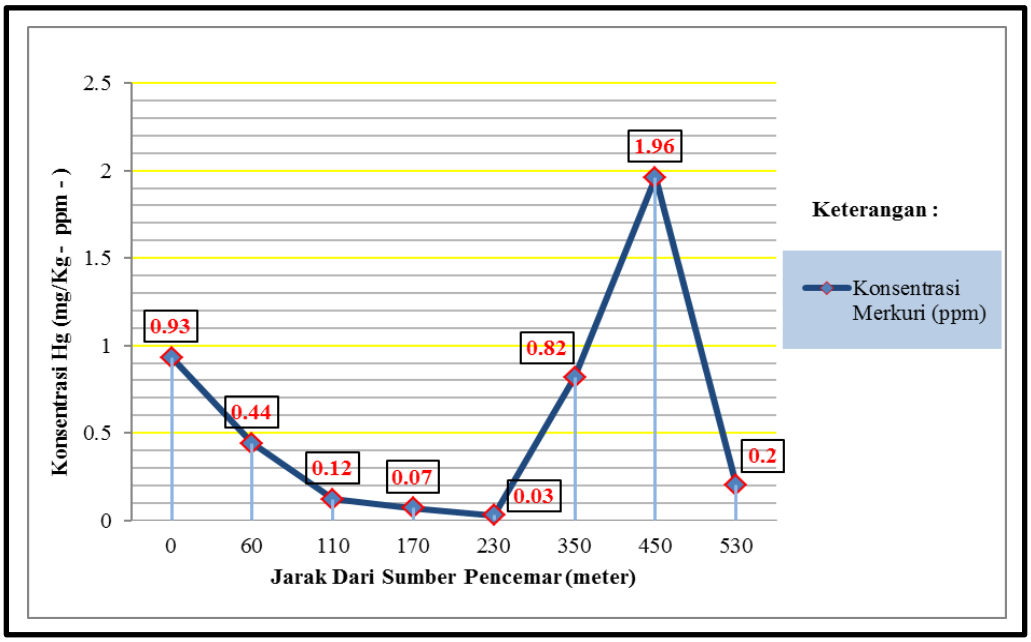
dengan menggunakan Citra Satelit USGS dengan Teknik *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan *ArchGIS 10.3*.. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.9. *Grade*/kemiringan topografi aliran sungai antara satu titik dengan titik pengambilan sampel lainnya, dapat dilihat pada Tabel 4.10., dibawah ini. Kemiringan sungai berdasarkan topografi aliran sungai dapat dilihat pada Gambar 4.3. dan Gambar 4.4.

Tabel 4.10.
Jarak Antar Titik Pengambilan Sampel Dan *Grade*/Kemiringan

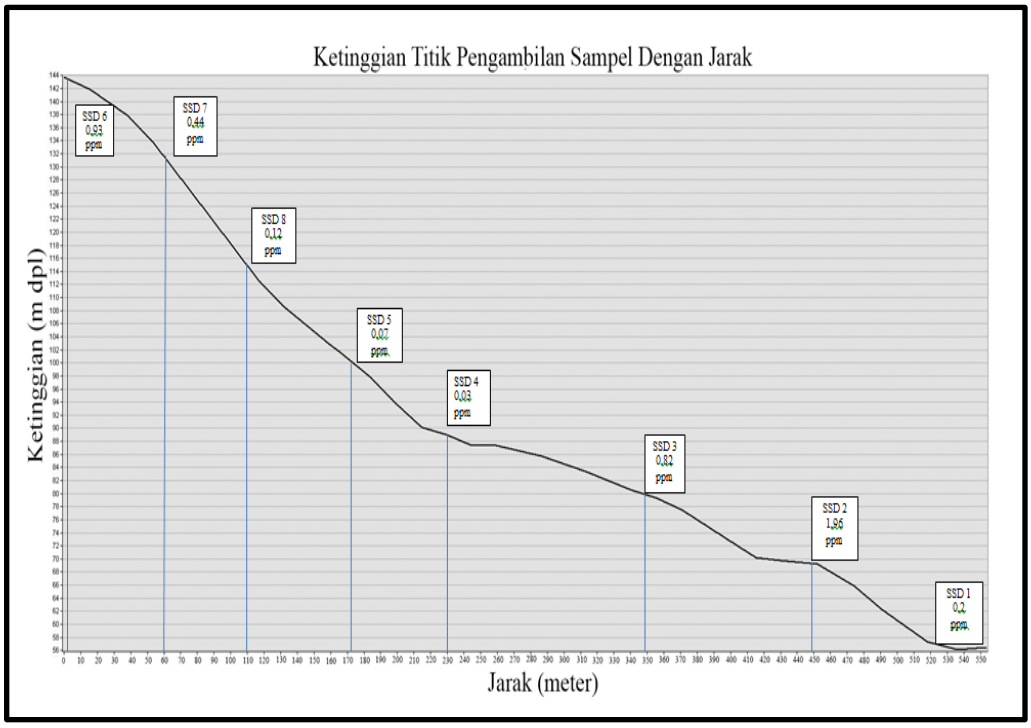
No	Kode Sampel	Jarak Antar Titik (m)	Grade/ Kemiringan (%)
1	SSD 6 – SSD 7	60	(-) 20
2	SSD 7 – SSD 8	50	(-) 32
3	SSD 8 – SSD 5	60	(-) 25
4	SSD 5 – SSD 4	60	(-) 21,7
5	SSD 4 – SSD 3	120	(-) 5
6	SSD 3 – SSD 2	100	(-) 2
7	SSD 2 – SSD 1	80	(-) 17,5

Sumber : Pengukuran GPS Garmin 60CSX, 2017, diolah dengan ArcGis 10.3.

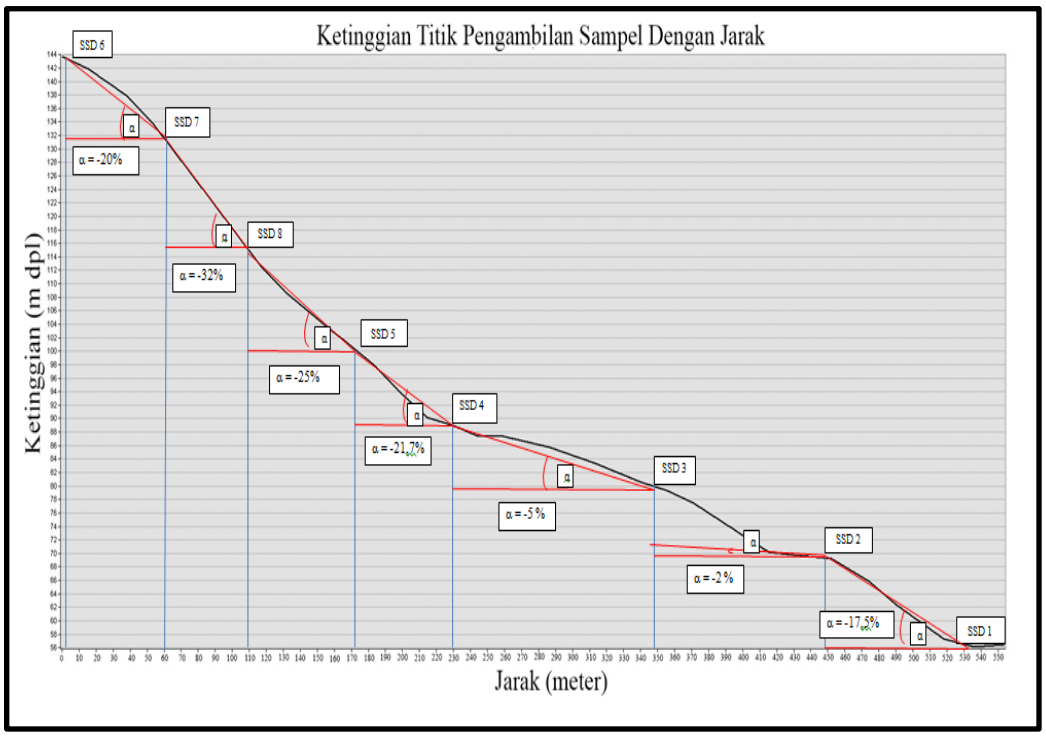
Kandungan merkuri pada sedimen sungai berdasarkan jarak dari sumber pencemar dapat dilihat pada Gambar 4.2. di bawah ini :



Gambar 4.2.
Merkuri Pada Sedimen Berdasarkan Jarak Dari Sumber Pencemar



Gambar 4.3.
Penampang Aliran Sungai Dan Titik-Titik Pengambilan Sampel



Gambar 4.4.
Grade/Kemiringan Antar Titik-Titik Sampel Pada Aliran Sungai

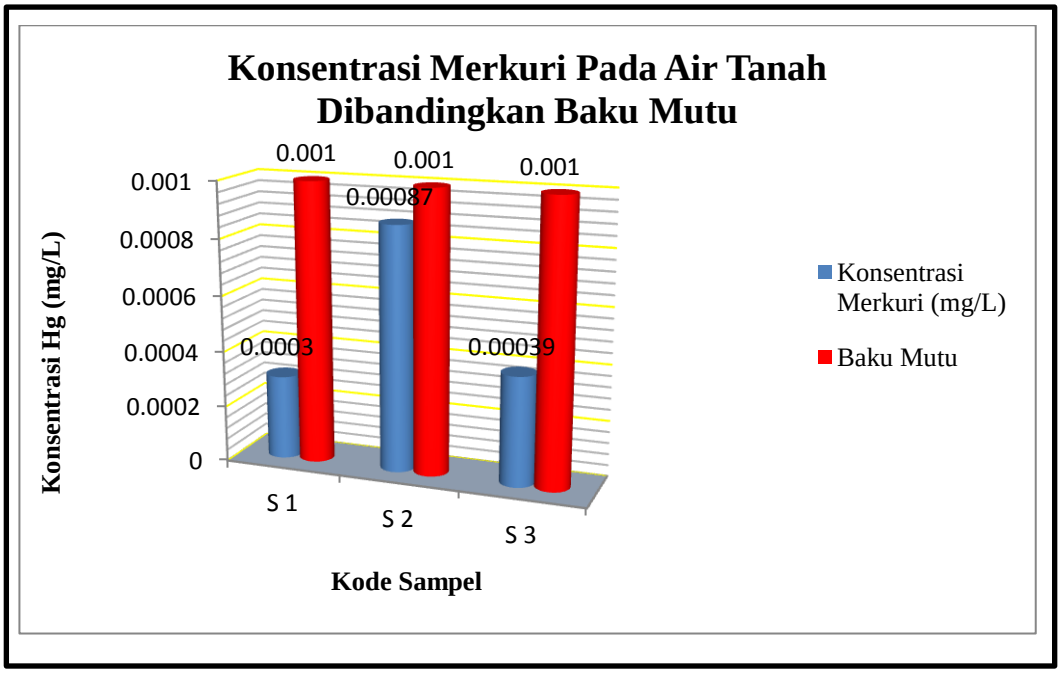
4.3.2. Kandungan Merkuri Air Tanah Berdasarkan Baku Mutu

Sampel air tanah pada penelitian ini diambil pada titik–titik di dekat aliran sungai, penduduk sekitar aliran sungai membuat sumur–sumur pemboran di dekat aliran sungai/ sumur gali yang berasal dari bekas *shaft* penambangan bijih Emas yang telah ditinggalkan. Tabel 4.11. di bawah ini, menunjukkan perbandingan antara kandungan Merkuri dalam air tanah dan Baku Mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001. Baku Mutu untuk Merkuri dalam air tanah yang digunakan untuk konsumsi/kebutuhan air minum adalah dibawah 0,001 mg/L.

Tabel 4.11.
Kandungan Merkuri Air Tanah Berdasarkan Baku Mutu

No	Kode Sampel	Kadar Hg (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Keterangan
1	S 1	0,00030	0,001	di bawah baku mutu
2	S 2	0,00087	0,001	di bawah baku mutu
3	S 3	0,00039	0,001	di bawah baku mutu

Sumber : Laporan Hasil Uji Laboratorium, 2017.



Gambar 4.5.
Konsentrasi Merkuri Pada Air Tanah Dibandingkan Baku Mutu

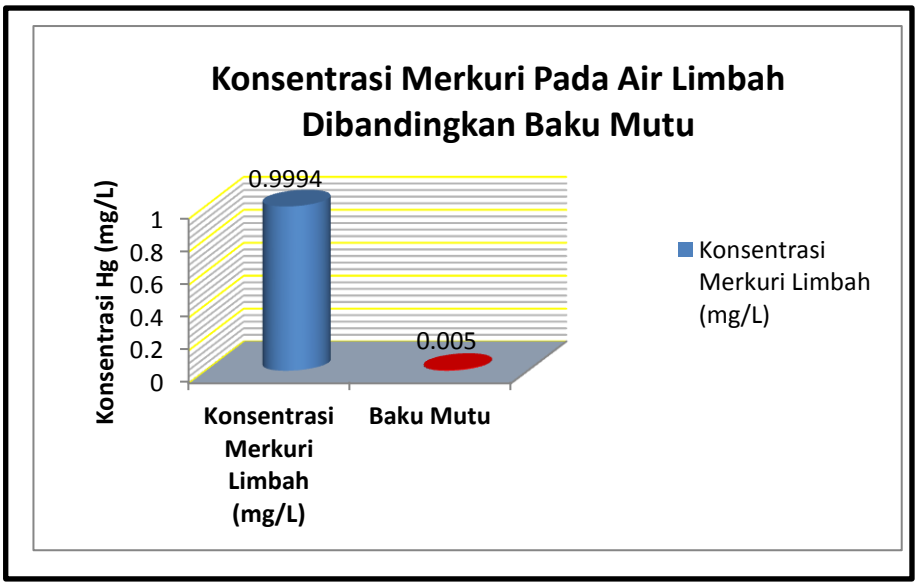
Air tanah di dekat aliran sungai di Dusun Sangon II terdeteksi mengandung merkuri, tetapi masih di bawah ambang batas yang ditetapkan melalui Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Baku mutu pada peraturan tersebut adalah 0,001 mg/L untuk air Kelas I. Hasil uji laboratorium ditampilkan dalam Tabel 4.2. (Lihat Lampiran F). Perbandingan kandungan merkuri dalam air tanah, jika dibandingkan dengan baku mutu pada Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 ditampilkan pada Gambar 4.5.

4.3.3. Kandungan Merkuri Air Limbah Berdasarkan Baku Mutu

Tabel 4.12.
Kandungan Merkuri Air Limbah Berdasarkan Baku Mutu

No	Kode Sampel	Kadar Hg (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Keterangan
1	SLi	0,99994	0,005	di atas baku mutu

Sumber : Laporan Hasil Uji Laboratorium, 2017.



Gambar 4.6.
Konsentrasi Merkuri Pada Air Limbah Dibandingkan Baku Mutu

Sampel air limbah hasil pengolahan bijih emas memiliki kandungan 0,99994 mg/L (Lihat Tabel 4.3.), hasil uji laboratorium tersebut dibandingkan dengan baku mutu dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, Lampiran

XLVII. Baku mutu yang digunakan untuk perbandingan adalah baku mutu air kelas II pada peraturan tersebut yaitu 0,005 mg/L. Kandungan merkuri di dalam air limbah jika dibandingkan dengan baku mutu air limbah, baku mutu air limbah untuk kelas II adalah 0,005 mg/L, sungai tempat pembuangan air limbah merupakan sungai kelas II (Lihat Tabel 4.12. dan Gambar 4.6.).

BAB V
PEMBAHASAN

5.1. Merkuri Dalam Bijih

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium didapatkan bahwa bijih Emas di daerah tersebut juga mengandung Merkuri. Pada penelitian ini diambil 2 sampel bijih dari lokasi penambangan. Kandungan Merkuri dalam bijih pada penelitian ini adalah 0,28 mg/Kg (ppm) dan 0,14181 mg/Kg (ppm). Pada penelitian lainnya, kandungan Merkuri dalam bijih didapatkan 92 ppm dan 18 ppm (Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005) dan pada laporan penelitian lainnya, kadar Merkuri dalam bijih didapatkan 14,15 ppm (Suprapto, Sabtanto Joko., 2006). Hasil penelitian kandungan Merkuri dalam bijih pada penelitian–penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1. Berdasarkan data-data yang diperoleh pada penelitian ini dan data-data yang diperoleh oleh penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa pada bijih Emas daerah Sangon II memiliki kandungan Merkuri yang berkaitan erat dengan proses pembentukan mineral/mineralisasinya dalam proses diferensiasi magma.

Perbedaan hasil uji laboratorium kadar Merkuri pada bijih yang didapatkan antara penelitian Tahun 2005, Tahun 2017 dan berdasarkan laporan penelitian Tahun 2006 (Lihat Tabel 5.1.), dapat disebabkan oleh lokasi titik pengambilan sampel yang berbeda, karena secara alami, proses yang mengontrol pembentukan mineral adalah proses geologi yang mengakibatkan proses terbentuknya mineral pada suatu tempat dapat berbeda dengan tempat lainnya, meskipun dalam satu daerah. Proses geologi yang mengontrol terbentuknya mineralisasi (genesa) mineral pada suatu daerah dan proses geologi yang membentuk mineral ataupun struktur yang berkembang pada suatu daerah tersebut adalah suatu proses yang alamiah, sehingga kandungan mineral pada satu titik tempat dapat berbeda dengan titik tempat yang lainnya, meskipun dalam satu lokasi daerah.

Merkuri terdeteksi oleh uji laboratorium terdapat di dalam sampel bijih yang diambil di Dusun Sangon II. Daerah Sangon termasuk dalam wilayah Pegunungan Kulonprogo. Kajian terhadap keberadaan Merkuri dalam bijih tersebut dapat dilakukan berdasarkan kondisi geologi dan genesa terbentuknya Emas pada daerah tersebut. Pegunungan Kulonprogo termasuk dalam *dome* atau bagian tengah zona depresi akibat proses periode tektonik (Budiadi., 2008 dalam Ansori, Chusni., Hastria, Defry., 2013). Menurut Van Bemmelen., 1949 dalam Isjudarto, A., 2009, diantara tiga jalur yang membentuk kubah Kulonprogo yaitu jalur sedimen sebelah selatan, jalur eruptiva bagian tengah dan jalur sedimen sebelah utara, potensi pembentukan Emas terjadi pada jalur eruptiva bagian tengah yang sebagian besar terdiri dari Formasi Andesit Tua. Keberadaan urat-urat kuarsa yang membawa logam pada daerah tersebut terdapat dalam Formasi Andesit Tua (Isjudarto, A., 2009).

Tabel 5.1.
Hasil Penelitian Merkuri Dalam Bijih
Tahun 2005, 2006 Dan 2017

Penelitian Tahun 2005 (Musim Kemarau)			**Penelitian Tahun 2006 (Musim -)**			**Penelitian Tahun 2017 (Musim Kemarau)**		
Bambang Thahjono Setiabudi			**Sabtanto Joko Suprapto**			**Erry Sumarjono**		
Sampel	**Kadar Hg (ppm)**	**Metode**	**Sampel**	**Kadar Hg (ppm)**	**Metode**	**Sampel**	**Kadar Hg (mg/Kg) (ppm)**	**Metode**
1	92	AAS	1	14,15	-	SBj	0,28	Mercury Analyzer
2	18	AAS				SBj 2	0,14181	Mercury Analyzer

Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Ditinjau dari peta geologi oleh Rahardjo, Wartono., Sukandarrumidi., Rosidi , H. M. D., 1977, maka formasi batuan yang membentuk Dusun Sangon adalah andesit. Berdasarkan tinjauan-tinjauan geologi yang telah dilakukan para ahli geologi dan berdasarkan pengamatan selama melakukan penelitian, di daerah tersebut terdapat singkapan–singkapan batuan andesit dengan kekar–kekar yang terisi urat-urat kuarsa. Kekar–kekar yang terisi oleh urat–urat kuarsa yang terdapat mineralisasi logam terbentuk pada fase pertama pada proses pembentukan kekar

(Gambar 5.1.), pembentukan kekar pada fase kedua tidak terjadi proses mineralisasi logam (Gambar 5.2.), arah dominan kekar-kekar yang terisi urat kuarsa di Dusun Sangon adalah N 280^0–290^0 E, arah kekar-kekar tersebut agak melengkung di bagian barat dengan arah umum Barat Laut-Tenggara (NW-SE) semakin ke timur arahnya menjadi Timur Laut-Barat Daya (NE-SW) (Isjudarto, A., 2009) (Lihat Gambar 4.1 dan Lampiran P).

Gambar 5.1.
Kekar-Kekar Pada Batu Andesit Yang Tidak Terisi Urat Kuarsa

Proses terbentuknya mineral pada batuan berhubungan dengan proses diferensiasi magma atau pembekuan magma. Pada setiap tahap perjalanan magma menuju permukaan bumi diiringi pembentukan–pembentukan mineral tertentu. Penurunan suhu dan tekanan dari dalam bumi menuju ke permukaan mengendapkan mineral-mineral tertentu dan unsur–unsur tertentu. Ditinjau secara teori yang dikemukakan Lindgren., 1933 dalam Isjudarto, A., 2009, proses diferensiasi magma melalui beberapa tahapan yaitu hipotermal, mesotermal dan epitermal dan setiap tahapan tersebut memiliki ciri–ciri tertentu yang menunjukkan proses terbentuknya endapan mineral (Lihat Bab III Sub Bab 3.1 Tabel 3.2.).

Berdasarkan teori proses diferensiasi magma tersebut diatas, maka unsur Merkuri dapat terbentuk pada tahapan epitermal. Tahapan epitermal terbentuk pada dekat permukaan bumi sampai kedalaman 1500 m, suhu 50^0C–200^0C, berhubungan dengan batuan intrusi dangkal, logam–logam berharga yang dapat mengendap pada tahapan ini Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Se, Bi dan U, mineral–mineral yang mengendap adalah Au–*native*, Ag, Cu, Bi, Pirit, Markasit, Sfalerit, Galena, Kalkopirit, Sinabar, Stibnit, Realgar, Orpiment dan Argentit, mineral pengotornya adalah Chert, Kalsedon, Klorit, Epidot, Karbonat, Flourit, Barit, Adularia, Serisit, Dickit, Rodokrosit dan Zeolit (Lindgren., 1933 dalam Isjudarto, A., 2009) .

.

Gambar 5.2.
Kekar-Kekar Pada Batu Andesit Yang Terisi Urat Kuarsa

Penelitian-penelitian untuk mengetahui mineral-mineral yang ada di batuan daerah Sangon dilakukan oleh Agus Harjanto dari Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, selain itu penelitian terhadap sayatan petrografi batuan juga dilakukan oleh Dwi Indah Purnamawati dan Stiwinder Renata Tapilatu dari Teknik Geologi Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta. Menurut peneliti, berdasarkan hasil penelitian tersebut

terdapat perbedaan-perbedaan hasil analisis petrografi dari kedua penelitian tersebut terhadap batuan andesit di Daerah Sangon.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Agus Harjanto, andesit hornblena pembentuk batuan di Daerah Sangon berwarna abu-abu, sebagian telah mengalami ubahan lemah–kuat sehingga warnanya abu-abu kehijauan, memiliki struktur massif dan sebagian sudah terkekarkan (lebar 1–2 mm). Mineral pirit, kalkopirit, kuarsa dan terdapat sebagian mineralisasi mengisi kekar–kekar tersebut. Contoh batuan andesit hornblende yang sebagian mengalami ubahan dan pada beberapa tempat dapat ditemukan urat-urat kuarsa, menghasilkan himpunan mineral sekunder antara lain kuarsa, klorit, aktinolit, kalsit dan karbonat. Mineral penyusun andesit tersebut adalah plagioklas, hornblende, kuarsa, K–feldspar, biotit dan mineral opak. Hasil petrografi menyatakan bahwa mineral opak yang mengisi urat-urat adalah hematit, pirit, kalkopirit, sfalerit , galena dan mineral opak berasosiasi dengan klorit dan aktinolit (Harjanto, Agus., 2011).

Penelitian yang dilakukan oleh Dwi Indah Purnamawati dan Stiwinder Renata Tapilatu, menyatakan hasil analisis petrografi terhadap batuan di Daerah Sangon menunjukkan bahwa terdapat mineral–mineral kunci dalam batuan tersebut antara lain klorit, epidot dan karbonat. Mineralisasi Emas dan asosiasinya pada batuan di Daerah Sangon tersebut mengalami ubahan dan menghasilkan alterasi bertipe propilitik. Menurut penelitian tersebut yang didasarkan pada pendapat Creasy., 1966 ; Lowel dan Guilbert., 1970 ; Lindgren., 1933; Krauskoff dan Garlick., 1979 dalam Jensen dan Bateman., 1981, menyatakan bahwa mineral–mineral kunci tersebut menunjukkan alterasi bertipe propilitik dan tipe propilitik tersebut masuk ke dalam sistem hidrotermal jenis mesotermal (Purnamawati, Dwi Endah., Tapilatu, Stiwinder Renata., 2012).

Perbedaan dalam penelitian tersebut menurut peneliti adalah proses pembentukan mineral–mineral yang terdapat dalam batuan di daerah penelitian tersebut. Dibandingkan dengan penelitian–penelitian mengenai keterdapatan Merkuri

dalam bijih / batuan di daerah Sangon. Hasil uji laboratorium pada penelitian ini menyatakan bahwa terdapat kandungan Merkuri dalam bijih yaitu 0,28 mg/Kg dan 0,14181 mg/Kg. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Bambang Thahjono Setiabudi yang menyatakan bahwa terdapat kandungan Merkuri dalam batuan di daerah Sangon yaitu 92 ppm dan 18 ppm. dalam makalah ilmiah yang lain oleh Sabtanto Joko Suprapto juga terdapat Merkuri dalam batuan di daerah tersebut yaitu 14,15 ppm.

Keterdapatan Merkuri dalam batuan/dalam bijih di Sangon dapat ditinjau berdasarkan teori yang dikemukakan Lindgren., 1933 dalam Isjudarto., 2009 (Bab III Sub Bab 3.1 Tabel 3.2.), bahwa Merkuri dapat terbentuk pada proses diferensiasi magma pada tahapan epitermal atau tahapan akhir proses hidrotermal. Penelitian yang dilakukan oleh Dwi Indah Purnamawati dan Stiwinder Renata Tapilatu, menyatakan bahwa batuan tersebut terbentuk pada tahapan mesotermal, sementara hasil uji laboratorium pada beberapa penelitian menyatakan bahwa dalam bijih / batuan terdapat kandungan Merkuri dan menurut klasifikasi yang dikemukakan Lindgren., 1933, kehadiran Merkuri terdapat pada tahapan epitermal, pada tahapan mesotermal tidak didapati Merkuri, meskipun pada penelitian tersebut dinyatakan bahwa terdapat mineral kunci yaitu klorit dan karbonat sebagai tanda tahapan mesotermal, tetapi klorit dan karbonat juga dapat hadir dalam tahapan epitermal.

Ditinjau dengan penelitian yang dilakukan oleh Agus Harjanto, hasil analisis petrografi pada batuan Daerah Sangon terdapat mineral–mineral opak yang hadir mengisi urat–urat antara lain hematit, pirit, kalkopirit, sfalerit dan galena. Kehadiran sfalerit dan galena memang dapat terjadi pada dua tahapan sistem hidrotermal yaitu mesotermal dan epitermal, tetapi pada tahapan mesotermal tidak akan didapati kehadiran Merkuri. Menurut klasifikasi sistem hidrotermal dari Lindgren., 1933, Merkuri hanya terbentuk pada proses epitermal. Hal tersebut juga sesuai dengan pendapat No-votny dan Olem., 1994 dalam Effendi, Hefni., 2003, bahwa sumber Merkuri alami yang paling umum adalah cinnabar (HgS),

tetapi Merkuri juga dapat terdapat pada mineral–mineral sulfida misalnya sfalerit (ZnS), wurtzite (ZnS), kalkopirit (CuFeS) dan galena (PbS). Berdasarkan penelitian petrografi Agus Harjanto., 2011, memang tidak dinyatakan adanya cinnabar dalam sayatan petrografi, tetapi terdapatnya sfalerit dan galena, secara teori, dapat memperkuat adanya Merkuri di formasi batuan di Daerah Sangon tersebut, karena Merkuri dapat muncul bersama dengan keberadaan sfalerit dan galena.

Ditinjau secara teori yang berhubungan dengan pembentukan/genesa Emas mengenai Merkuri, secara alami Merkuri memiliki daya tarik/afinitas yang sangat tinggi dengan Emas dengan membentuk amalgam (Au_2Hg_3) (Macdonald, Eoin H.,2007). Emas umumnya terikat di dalam sulfida-sulfida logam dan hasil pelapukannya, sulfida-sulfida tersebut adalah pirit, kalkopirit, galenit, stibnite, tetrahedrit, sfalerit, arsenopirit, molybdenit (Sukandarrumidi., 2009). Teori-teori tersebut menyatakan bahwa Emas dan Merkuri secara alami memiliki daya tarik yang sangat tinggi, Emas mudah terikat dalam sulfida–sulfida logam, demikian juga Merkuri sangat mudah berikatan dengan sulfida–sulfida atau dalam teori lain mudah berikatan dengan larutan yang bersifat asam. Keterdapatan sfalerit dan galena pada sayatan petrografi dapat memberikan kemungkinan kehadiran Merkuri dalam batuan/dalam urat–urat kuarsa yang mengisi rekahan–rekahan/kekar–kekar yang ada dalam batuan di Daerah Sangon tersebut.

Ditinjau berdasarkan penelitian–penelitian yang dilakukan telah sebelumnya dan didukung data–data yang diperoleh dari penelitian ini serta penelaahan teori–teori tentang terbentuknya Merkuri dalam batuan, peneliti lebih cenderung menyatakan bahwa proses mineralisasi pada urat–urat kuarsa di Daerah Sangon II termasuk dalam tahapan epitermal. Kehadiran unsur Merkuri dalam bijih atau batuan adalah hal penting yang menjadikan proses mineralisasi tersebut termasuk pada tahapan epitermal, dan kehadiran Merkuri merupakan suatu tanda–tanda yang membedakan dengan proses mesotermal pada klasifikasi sistem hidrotermal yang dikemukakan oleh Lindgren., 1933, meskipun pada tahapan mesotermal dan

hipotermal terdapat beberapa kesamaan pembentukan mineral–mineral, tetapi kehadiran Merkuri dalam endapan batuan andesit pada daerah tersebut, termasuk menjadi penentu ciri–ciri dari kedua tahapan tersebut.

5.2. Merkuri Dalam Sedimen Sungai

Penggunaan Merkuri dalam proses amalgamasi dapat memberikan dampak pada lingkungan sekitar, karena Merkuri adalah logam berat yang berbentuk cair pada suhu kamar, sesuai dengan landasan teori, Merkuri memiliki sifat-sifat yang dapat membahayakan bagi lingkungan dan makhluk hidup antara lain ; mudah dioksidasi, mudah menguap dan uapnya sangat beracun (Sukandarrumidi., 2009). Logam berat memiliki sifat-sifat yang tidak dapat dihancurkan oleh mikroorganisme dan dapat terakumulasi pada komponen-komponen lingkungan (Ridhowati, Sherly., 2013). Merkuri yang terakumulasi pada sedimen merupakan permasalahan yang perlu diperhatikan, karena proses biokimia dan biomagnifikasi Merkuri yang dapat membahayakan makhluk hidup dapat terjadi pada sedimen.

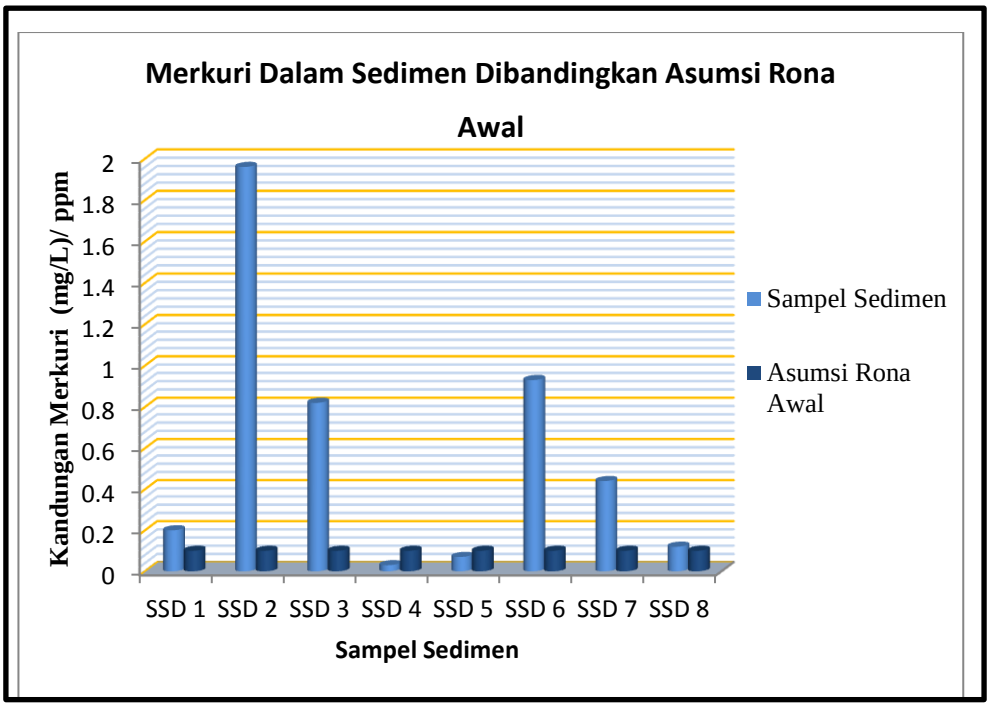
Proses mengendapnya Merkuri dalam sedimen dapat dikaji berdasarkan tingkat keasaman aliran sungai di daerah tersebut. Merkuri memiliki sifat yang mudah bereaksi dengan larutan sulfida (yang bersifat asam), sedangkan penelitian sebelumnya menyatakan bahwa aliran sungai di daerah tersebut cenderung bersifat netral-basa, sehingga dengan kondisi tersebut Merkuri tidak akan bereaksi dengan aliran sungai, tetapi akan mengendap pada dasar sungai. Pengkajian faktor tingkat keasaman (pH) aliran sungai tersebut (kondisinya dari netral–basa) (Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005; Suyono, Agus., 2011), dapat juga dilakukan pendekatan berdasarkan keadaaan geologi daerah Kulonprogo yang dikemukakan oleh Van Bemmelen., 1949 dalam Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, menyebutkan bahwa seluruh batuan vulkanik di Kulonprogo sebagai Formasi Andesit Tua (OAF/ *Old Andesite Formation*). Kulonprogo dibentuk oleh batuan berumur Tersier sampai Kuarter yaitu Formasi Nanggulan, Formasi Kebobutak, Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo, serta batuan intrusi intermediet–felsik, sementara pada Formasi Nanggulan, Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo

terdapat susunan batu gamping di dalamnya. Batu gamping adalah batuan yang mengandung kalsium karbonat ($CaCO_3$), sedangkan kalsium karbonat adalah senyawa yang memberikan sumbangan terbesar terhadap nilai alkalinitas dan kesadahan perairan tawar. Alkalinitas merupakan gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam. Alkalinitas juga memberikan gambaran tentang adanya kandungan karbonat dalam tanah, batuan dan sedimen dasar sungai yang dilewati oleh air (Effendi, Hefni., 2003). Ditinjau secara geologi, dalam formasi-formasi batuan yang membentuk daerah tersebut, salah satunya adanya keterdapatan batu gamping , proses alamiah yang terjadi pada daerah tersebut misalnya ; adanya erosi dan pelapukan pada batuan, sehingga dengan adanya air dapat menyebabkan larutnya batu gamping yang mengandung $CaCO_3$ ke dalam aliran sungai, hal tersebut sejalan dengan teori-teori yang telah disampaikan sebelumnya.

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang dilakukan kedua peneliti sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa kondisi pH air sungai adalah antara netral menuju ke basa, sedangkan jika ditinjau secara teori mineralogi, aliran yang dapat menyebabkan kehadiran Merkuri dalam air adalah aliran asam. Berdasarkan teori tersebut, maka hal tersebut dapat dipahami, sebagai salah satu faktor yang menyebabkan sedikitnya jumlah kandungan Merkuri dalam air sungai. Salah satu penyebab aliran tingginya pH (netral–basa) pada air adalah adanya kehadiran bikarbonat (HCO_3) dan karbonat (CO_3^-) atau hidroksida (OH^-), hal tersebut dimungkinkan oleh adanya proses larutnya batu kapur ($CaCO_3$) ke dalam air (Herlambang, Ari., 2006). Berdasarkan proses amalgamasi, kapur juga digunakan untuk proses amalgamasi dengan tujuan untuk mempertahankan pH, sehingga proses pembentukan amalgam tidak terganggu, karena jika pH air yang digunakan dalam gelundung menuju ke tingkat asam, maka Merkuri akan larut ke dalam air dan tidak dapat membentuk amalgam, sehingga air limbah hasil proses amalgamasi tersebut yang masih mengandung kapur dibuang ke aliran sungai. Kapur secara teori mineralogi mengandung karbonat, karbonat dapat berekasi dengan air dan membentuk sifat ke-basa-an terhadap air, sehingga dengan sifat ke-basa-an tersebut, hal tersebut dapat menyebabkan Merkuri tidak akan bereaksi

dengan air tersebut, selain juga karena Merkuri memiliki sifat yang sulit larut ke dalam air, maka Merkuri akan mengendap di dasar sungai bersama sedimen sungai.

Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4. (Bab IV Sub Bab 4.3.1.), menunjukkan hasil uji laboratorium kandungan Merkuri pada jarak tertentu dari sumber pencemar. Perhitungan jarak dilakukan dengan menggunakan pengukuran GPS Garmin 60 CSX, jarak tersebut adalah hasil pembulatan/pendekatan terhadap jarak yang tercatat pada GPS. Hal tersebut disebabkan oleh faktor sulitnya medan sungai, banyak pepohonan yang tumbang ke sungai dan pada beberapa tempat tidak dapat dijangkau oleh peneliti dengan jalan kaki karena keterjalannya.



Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Gambar 5.3.
Merkuri Dalam Sedimen Dibandingkan Asumsi Rona Awal

Menurut landasan teori tentang sedimen sungai, sedimen sungai dapat dihasilkan dari material dasar sungai maupun material-material lain yang berasal dari erosi ataupun kegiatan manusia lainnya. Sumber sedimen di sungai Sangon II tersebut, menurut pengamatan adalah berasal dari kedua faktor tersebut, yaitu dari material

dasar sungai dan material lainnya termasuk dari pengolahan bijih Emas. Berdasarkan landasan teori pada Tabel 3.7. pada Bab III Sub Bab 3.4.1., tentang klasifikasi dasar sedimen berdasarkan ukuran diameter partikel, maka sedimen Sungai Sangon II yang diambil sebagai sampel memiliki ukuran dari lumpur s/d batu kerikil kecil. Berdasarkan teori tentang sedimen pada perairan, maka sedimen dasar sungai merupakan tempat terakumulasinya logam-logam berat termasuk Merkuri yang terbesar pada lingkungan perairan. Sesuai dengan teori tersebut, pada penelitian ini kandungan Merkuri yang tidak berada pada aliran air sungai, tetapi Merkuri terdeteksi pada sedimen sungai.

Tabel 5.2.
Hasil Penelitian Merkuri Dalam Sedimen Sungai
Tahun 2005 Dan 2017

Penelitian Tahun 2005 (Musim Kemarau)			**Penelitian Tahun 2017 (Musim Kemarau)**		
Bambang Thahjono Setiabudi			**Erry Sumarjono**		
Sampel	**Kadar Hg (ppm) (mg/L)**	**Metode**	**Sampel**	**Kadar Hg (ppm) (mg/L)**	**Metode**
KO-001-SS	8,459	AAS	SSD 1	0,2	Mercury Analyzer
			SSD 2	1,96	Mercury Analyzer
KO-070-SS	11,443	AAS	SSD 3	0,82	Mercury Analyzer
			SSD 4	0,03	Mercury Analyzer
KO-071-SS	97,840	AAS	SSD 5	0,07	Mercury Analyzer
			SSD 6	0,93	Mercury Analyzer
			SSD 7	0,44	Mercury Analyzer
			SSD 8	0,12	Mercury Analyzer

Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Bambang Thahjono Setiabudi Tahun 2005 melakukan penelitian kandungan Merkuri pada daerah Sangon dan sekitarnya, dengan mengambil 7 sampel sedimen sungai dari aliran sungai-sungai yang batuannya tidak mengalami mineralisasi sulfida dan tidak ada kegiatan pengolahan bijih Emas, berdasarkan data yang ada dalam penelitiannya memberikan kesimpulan bahwa, dari ke 7 sampel tersebut memberikan hasil < 0,1 ppm, maka nilai < 0,1 ppm dianggap

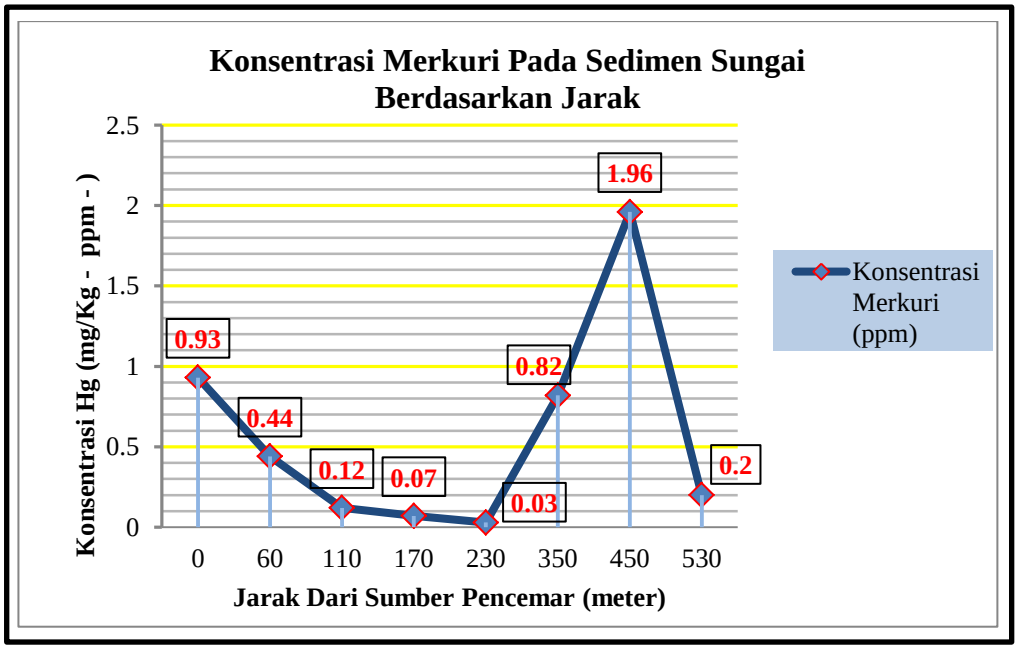
mewakili rona awal unsur Merkuri di daerah Sangon (Lihat Gambar 5.3.). Hasil penelitian Tahun 2005 dan Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Berdasarkan penelitian Tahun 2005 (Lihat Lampiran H), dapat digunakan sebagai asumsi bahwa rona awal daerah Sangon II untuk kandungan Merkuri dalam sedimen adalah < 0,1 ppm , maka berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini terdapat 6 sampel sedimen yang berada di atas rona awal daerah tersebut yaitu SSD1 (0,2 ppm) pada jarak 530 m, SSD2 (1,96 ppm) pada jarak 450 m, SSD3 (0,82 ppm) pada jarak 350 m, SSD6 (0,93 ppm) pada jarak 0 m, SSD7 (0,44 ppm) pada jarak 60 m dan SSD8 (0,12 ppm) pada jarak 110 m dari titik sumber pencemar. Asumsi rona awal untuk daerah tersebut memiliki nilai yang sama dengan perbandingan kandungan Merkuri jika dibandingkan dengan kelimpahan rata-rata Merkuri dalam sedimen (< 0,01–0,1 ppm). Perbandingan kandungan Merkuri dengan rona awal tersebut memberikan gambaran bahwa telah terjadi perubahan kualitas lingkungan pada daerah tersebut.

Berdasarkan kelimpahan rata-rata pada sedimen (*Techniques in Mineral Exploration* dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005), kelimpahan rata–rata Merkuri dalam sedimen sungai adalah < 10–100 ppb atau < 0,01–0,1 ppm. Data kandungan sedimen sungai yang didapatkan dari hasil penelitian adalah berkisar antara 0,03–1,96 ppm, dari 8 sampel sedimen sungai terdapat 2 sampel yang berada di bawah kelimpahan rata-ratanya, yaitu SSD4 (0,03 ppm), pada jarak 330 m dan SSD5 (0,07 ppm), pada jarak 270 m. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya proses penyebaran Merkuri oleh aliran air. Kandungan Merkuri di atas kelimpahan rata–rata tersebut dapat disebabkan oleh adanya mineralisasi pada batuan dan pengolahan bijih Emas di daerah tersebut.

Hasil uji laboratorium antara penelitian Tahun 2005 dan Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.2., perbedaan-perbedaan ini dapat terjadi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Perbedaan waktu penelitian (selang 12 tahun), perbedaan waktu penelitian selama 12 tahun terhadap suatu daerah dapat menyebabkan perubahan-perubahan terjadi pada daerah tersebut. Perubahan-perubahan yang dapat terjadi antara lain ; jumlah dan tingkat atau frekuensi aktifitas penambangan dan pengolahan yang menggunakan Merkuri dan perubahan kondisi alamiah pada daerah tersebut (tingkat sedimentasi, erosi, debit air sungai yang membawa sedimen atau reaksi-reaksi kimia alamiah yang menyertakan unsur Merkuri alami di daerah tersebut).
2. Perbedaan metode pengujian, pada penelitian Tahun 2005 dilakukan dengan metode AAS, sedangkan penelitian Tahun 2017 dengan metode *Mercury Analyzer*.
3. Perbedaan titik-titik pengambilan sampel sedimen pada aliran sungai, karena tingkat sedimentasi akan dipengaruhi oleh kecepatan aliran sungai, debit air sungai. Kecepatan aliran sungai berubah-ubah berdasarkan waktu, sehingga proses pengendapan Merkuri yang terbawa aliran air sungai juga berbeda-beda menurut waktu.



Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Gambar 5.4.
Kandungan Merkuri Pada Sedimen Berdasarkan Jarak Dari Sumber Pencemar

Gambar 5.4. menunjukkan hasil penelitian yang dilakukan pada Tahun 2017, kandungan Merkuri pada sedimen sungai berdasarkan jarak dari titik sumber pencemar. Pengambilan sampel dilakukan mulai pada hilir sungai menyusuri ke arah hulu, dari atas pertemuan Sungai Sangon II dan Sungai Plampang (SSD1 s/d SSD5), kemudian dari titik sumber pencemar ke arah hilir (SSD6 s/d SSD8), ke arah titik pertemuan Sungai Sangon II dan Sungai Plampang. Sampel- sampel tersebut diambil pada kedalaman 5–15 cm dari permukaan sedimen (sesuai dengan teori akumulasi logam berat pada sedimen), kemudian diujikan di laboratorium. Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.5. tersebut, terjadi penurunan konsentrasi Merkuri dari SSD6 s/d SSD4 (jarak 0 m s/d 230 m dari titik sumber pencemar), kemudian terjadi peningkatan konsentrasi Merkuri dari SSD4 s/d SSD 2 (jarak 230 m s/d 450 m dari titik sumber pencemar) dan terjadi penurunan kembali dari SSD2 s/d SSD1 (jarak 450 m s/d 530 m dari titik sumber pencemar).

Penurunan dan kenaikan konsentrasi Merkuri pada sedimen berdasarkan jarak dapat dilakukan pendekatan kajian dengan mendasarkan pada teori-teori tentang aliran pada saluran terbuka / sungai. Aliran terbuka / sungai memiliki sifat aliran turbulen (Raju, K. G. Ranga., 1986 ; Henderson ., 1966 dan Hicks .,1998 dalam Kodoatie, Robert J., 2013 ; Suripin., 2004 ; Istiarto, 2014 ; *American Association of State Highway and Transportation,* 1992 ; Suryono, Sugeng S., Amijaya, Hendra D., 2017). Sifat aliran turbulen adalah memiliki kecepatan berubah-ubah menurut ruang dan waktu. Perubahan-perubahan tersebut dapat berlangsung dengan cepat atau lambat. sehingga dengan adanya perubahan turbulensi kearah yang berbeda-beda menyebabkan terhentinya sedimen. Proses sedimentasi dapat terjadi ketika kecepatan arus sungai yang mengangkut sedimen berkurang terutama pada hilir sungai atau pada tempat-tempat yang memiliki topografi landai pada aliran sungai.

Menurut hasil pengukuran dengan GPS 60 CSX selama dalam penelitian (topografi daerah penelitian dapat dilihat pada Lampiran C), kondisi topografi dari

jarak 0 m s/d 170 m cenderung terjal dan curam, agak melandai dari jarak 170 m s/d 230 m, sehingga kecepatan arus sungai pada jarak tersebut cenderung tinggi. Kecepatan arus sungai yang tinggi menyebabkan aliran sungai dapat membawa lebih banyak sedimen, sehingga sedimen yang dapat mengendap lebih sedikit. Sesuai dengan teori bahwa kecepatan arus sungai yang berubah-ubah (bersifat turbulen) dapat menyebabkan konsentrasi pengendapan dalam air sungai berubah-ubah juga (Istiarto, 2014), hal ini berarti bahwa kecepatan aliran sungai pada titik 0 m s/d 170 m yang cenderung tinggi karena topografi yang curam, kemudian agak melandai pada jarak 170 m s/d 230 m dapat menyebabkan penurunan konsentrasi Merkuri pada sedimen sungai berdasarkan jarak tersebut. Konsentrasi Merkuri dalam sedimen mengalami kenaikan lagi pada jarak 230 m, 350 m sampai dengan 450 m. Kenaikan konsentrasi Merkuri ini berhubungan dengan kelandaian topografi sungai, sehingga kecepatan arus sungai melambat dan menyebabkan meningkatnya peningkatan pengendapan sedimen pada jarak tersebut. Demikian pula, terjadinya penurunan konsentrasi pada jarak 450 m s/d 530 m, hal tersebut berhubungan dengan kecepatan arus sungai yang meningkat karena topografi pada jarak tersebut menurun kembali menuju titik pertemuan dengan Sungai Plampang.

Kemiringan sungai dapat dihitung dengan membagi menjadi beberapa pias/lajur/bagian. Kemiringan sungai dapat mempengaruhi kecepatan aliran sungai, dimana semakin besar kemiringan maka kecepatan aliran akan semakin tinggi juga, karena air mengalir dipengaruhi oleh gravitasi (Triatmojo, Bambang., 2008). Perhitungan *grade* / kemiringan topografi sungai didasarkan pada data yang diambil dari GPS Garmin 60CSX dihubungkan dengan jarak mendatar, kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan Citra Satelit USGS dengan Teknik *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan topografi daerah penelitian diolah *ArchGIS 10.3*.. Perhitungan kemiringan dilakukan dengan mengemukakan asumsi bahwa perubahan ketinggian pada jarak-jarak tersebut dianggap dalam kondisi ideal, sehingga dapat diambil perhitungan rata–rata kemiringan dari titik pengambilan sampel yang satu dengan yang lain (Lihat

Gambar 4.3. Bab IV sub Bab 4.3.1.). Kemiringan / *grade* titik – titik pengambilan adalah SSD6–SSD7 (-) 20 %, SSD7–SSD8 (-) 32%, SSD8–SSD5 (-) 25%, SSD5–SSD4 (-) 21,7 %, SSD4–SSD3 (-) 5 %, SSD3–SSD2 (-) 2 % dan SSD2–SSD1 (-) 17,5%, tanda (-) adalah menunjukkan penurunan pada topografi daerah penelitian.

Ditinjau dari kemiringan titik per titik pengambilan sampel, maka dapat disimpulkan bahwa kemiringan topografi aliran sungai memiliki pengaruh terhadap konsentrasi Merkuri yang diendapkan pada titik–titik tersebut. Kemiringan topografi sungai berpengaruh terhadap kecepatan aliran sungai, dimana semakin topografi sungai itu curam / terjal (dengan kemiringan yang besar) maka kecepatan aliran sungai akan meningkat juga, dengan kata lain, kemiringan sungai berbanding lurus dengan kecepatan aliran sungai. Hal tersebut sesuai dengan teori–teori yang telah disampaikan bahwa kecepatan sungai berpengaruh terhadap proses pengendapan sedimen dan jumlah sedimen yang terbawa oleh aliran air.

Baku mutu untuk menentukan ambang batas kandungan Merkuri dalam sedimen belum ada, tetapi keberadaan Merkuri dalam sedimen di Sungai Sangon II yang melebihi kelimpahan rata-ratanya dalam sedimen dan melebihi rona awal (yang diasumsikan berdasarkan data sekunder yaitu < 0,01 ppm, perlu mendapatkan perhatian, karena proses kimia yang dapat merubah Merkuri (Hg^0) menjadi Hg^{2+} dan Hg^{2+} menjadi metil Merkuri (CH_3Hg^+) dapat terjadi pada sedimen. Perubahan Hg^0 menjadi Hg^{2+} dapat mudah terjadi, karena menurut sifat kimianya, Merkuri adalah unsur yang mudah teroksidasi. Perubahan Hg^{2+} menjadi metil Merkuri (CH_3Hg^+) dapat terjadi pada sedimen, karena adanya bakteri pereduksi sulfat dan mikroba lain yang terdapat pada kondisi kandungan oksigen terlarut yang rendah sedimen dasar air.

Berdasarkan hasil penelitian dan data sekunder mengenai terdapatnya Merkuri pada sedimen Sungai Sangon II (Lihat Tabel 5.3), jika dikaitkan dengan

kemungkinan terjadinya proses kimia yang menyebabkan berubahnya Merkuri menjadi metil Merkuri, maka keterdapatan Merkuri di sedimen air sungai yang melebihi kelimpahan rata-rata dan rona awal daerah tersebut, perlu mendapatkan perhatian, untuk mennghindari akumulasi Merkuri yang lebih banyak di waktu mendatang. Keterdapatan Merkuri dalam sedimen di sungai tersebut akan berubah-ubah menurut waktu, berdasarkan perbandingan data-data peneliti terdahulu dengan penelitian saat ini, terjadi perubahan kandungan Merkuri pada sedimen, hal tersebut dapat dipahami, karena faktor perubahan waktu memberikan akibat perubahan-perubahan faktor alamiah (perbedaan debit air sungai musim kemarau dan penghujan) dan non-alamiah (jumlah kegiatan penambangan dan pengolahan bijih Emas) yang terjadi di daerah tersebut, tetapi hal yang harus diperhatikan adalah dengan terdapatnya kandungan Merkuri pada data-data penelitian, maka daerah aliran sungai tersebut telah terindikasi terkontaminasi oleh Merkuri.

Tabel 5.3.
Kandungan Merkuri Dalam Bijih, Limbah Dan Sedimen Sungai

Kandungan Merkuri (ppm atau mg/Kg atau mg/L)		
Bijih (mg/Kg)	**Limbah (mg/L)**	**Sedimen Sungai (mg/Kg)**
0,28	0,99994	0,93
0,14181		0,44
		0,12
		0,07
		0,03
		1,82
		1,96
		0,20

Merkuri memiliki potensial oksidasi yang rendah sebesar 0,799 volt, sehingga Merkuri tidak dapat bereaksi dengan Oksigen pada suhu kamar, hanya dapat bereaksi dengan Oksigen ketika berada pada suhu titik didihnya 357^0C membentuk HgO. Merkuri tidak dapat bereaksi dengan air dan sukar larut pada pelarut umum (dalam hal ini air), kelarutan merkuri pada suhu 40^0C di air adalah

0,002 ppm (Durrant., 1960 dalam Hutagalung, Horas, P., 1985). Merkuri yang masuk ke dalam perairan umumnya berbentuk Hg unsur (Hg^0) yang memiliki densitas tinggi sehingga mengendap dalam sedimen. Berdasarkan hal-hal tersebut dapat disimpulkan bahwa keberadaan Merkuri dalam sedimen merupakan Merkuri yang berada dalam bentuk unsur logam, yang berasal dari limbah pengolahan bijih emas yang menggunakan Merkuri maupun dari bijih emas itu sendiri, karena pada bijih emas juga mengandung Merkuri.

5.3. Merkuri Dalam Air Tanah

Pencemaran air dapat terjadi karena masuknya zat–zat/sesuatu lainnya sehingga dapat menyebabkan kualitas air menjadi turun dan tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan sesuai peruntukannya. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010, sumber pencemaran di aliran Sungai Sangon II termasuk dalam klasifikasi sumber tertentu dengan menghasilkan limbah non-domestik. Ditinjau dari cara masuk ke dalam lingkungan, maka sumber pencemaran tersebut dikelompokkan ke dalam polutan antropogenik, polutan yang dihasilkan oleh hasil kegiatan manusia. Ditinjau dari sifat toksiknya, maka termasuk dalam kategori polutan toksik, karena sifat Merkuri yang sangat beracun dan Merkuri merupakan logam berat dengan tingkat ketoksikan paling tinggi dari logam–logam berat lainnya, Merkuri memiliki tingkat resiko tinggi terhadap manusia dan ligkungan.

Kualitas air tanah dapat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal yang ada pada suatu daerah. Proses pembentukan batuan dengan mineral-mineral pembentuk batuan dapat mempengaruhi kualitas air tanah. Unsur-unsur dalam mineral-mineral pembentuk batuan/ unsur-unsur yang berada di tanah, dapat ikut larut ke dalam air selama transportasi dalam media batuan atau tanah melalui pori, rekahan/kekar atau bidang lemah lainnya. Menurut Matthess., 1992 dalam Listyani R. A. T., 2009, material akuifer dapat mempengaruhi kualitas air tanah karena perubahan diagenetik yang terjadi selama air tanah melewati akuifer misalnya ; karena proses hidrokimia. Proses hidrokimia tersebut antara lain

disolusi–hidrolisis–presipitasi, absorbsi, pertukaran ion, reduksi–oksidasi, percampuran/*mixing*, membran filtrasi, metabolisme mikrobiologi, komposisi kimia air tanah juga bergantung pada komposisi kimia air di daerah imbuhan dan reaksi–reaksi kimia yang terjadi pada sistem aliran air tanah tersebut. Suharyadi., 1984 dalam Listyani R. A. T., 2009 menyatakan bahwa, kualitas air tanah dimungkinkan berbeda-beda pada setiap tempat, perbedaan kualitas air tanah tersebut disebabkan terdapatnya komponen-komponen lain yang saling berinteraksi membentuk air tanah tersebut.

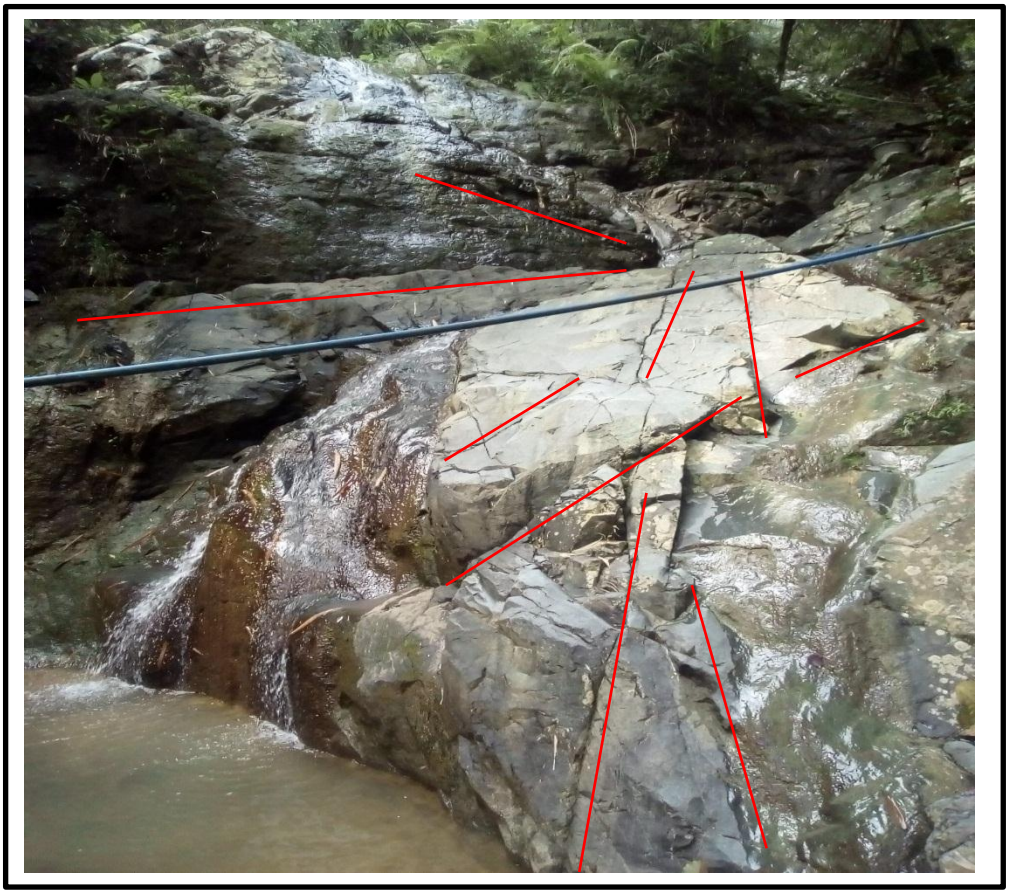
Berdasarkan kajian pada tinjauan pustaka, F. Hakim, 2014 dalam Fahmi, Fraga Luzmi. Budianta, Wawan. Idrus, Arifudin., 2014 menyatakan bahwa, pencemaran Merkuri yang masuk ke dalam batuan dan air tanah dikontrol oleh penyebaran urat-urat yang berasal dari proses mineralisasi hidrotermal. Proses penyebaran urat-urat umumnya dikontrol oleh adanya rongga atau zona lemah yang disebabkan struktur geologi. Fluida hidrotermal yang mengisi pada kekar atau sesar dapat mengendapkan mineral logam Emas dan mineral bijih lainnya serta unsur-unsur yang berasosiasi dengan proses mineralisasi tersebut (F. Hakim, 2014 dalam Fahmi, Fraga Luzmi. Budianta, Wawan. Idrus, Arifudin., 2014). Struktur geologi batuan yang berkembang di daerah penelitian banyak memiliki kekar-kekar, baik yang terisi urat kuarsa yang termineralisasi ataupun tidak.

Air tanah pada suatu wilayah yang terdapat pengolahan amalgamasi dapat mengalami pencemaran oleh Merkuri. Dampak minimum yang dapat terjadi pada daerah tersebut adalah adanya kandungan Merkuri dalam batas-batas tertentu pada air tanahnya. Hal tersebut dapat terjadi disebabkan proses penyebaran Merkuri dapat terjadi, apabila Merkuri yang terdapat pada tanah, udara atau aliran permukaan masuk ke dalam tanah, air yang mengandung Merkuri meresap atau mengalir melalui pori-pori batuan, bidang-bidang lemah berupa kekar, perlapisan dan sesar yang dapat menjadi media masuknya Merkuri ke dalam tanah (Lihat Gambar 5.5.). Keterdapatan Merkuri dalam air tanah perlu mendapatkan perhatian karena Merkuri sebagai salah satu logam berat yang sangat berbahaya. Merkuri

sebagai logam berat memiliki sifat-sifat yang sulit diuraikan oleh proses alamiah yang terjadi dalam proses pemulihan (*self purification*) misalnya adanya kegiatan mikroorganisme dan reaksi kimia yang terjadi dalam akuifer, sehingga keterdapatan Merkuri dalam air tanah dapat berlangsung puluhan bahkan ratusan tahun. Hal tersebut sesuai dengan sifat-sifat air tanah yang dapat berada dalam akuifer selama puluhan atau ratusan tahun, karena pergerakan air tanah yang sangat lambat.

Secara teori, polutan yang masuk ke dalam lingkungan (air tanah) dapat diuraikan dengan adanya proses alamiah yang terjadi pada lingkungan tersebut misalnya ; pertukaran ion, reaksi kimia, penguraian oleh bakteri atau mikroorganisme. Tetapi, berdasarkan data-data yang didapat dalam penelitian, keberadaan Merkuri dalam air tanah di Dusun Sangon terdapat pada data-data penelitian sebelumnya dan penelitian ini. hal tersebut membuktikan bahwa memang terdapat kandungan Merkuri dalam air tanah di Dusun Sangon tersebut. Keterdapatan Merkuri dalam air tanah tersebut sejalan dengan teori bahwa logam berat memiliki sifat yang sulit untuk diuraikan secara alamiah oleh proses-proses alami.

Urat-urat kuarsa yang terbentuk sebagai bagian pada proses diferensiasi magma dapat menjadi media penyebaran Merkuri karena urat-urat kuarsa tersebut mengisi rekahan-rekahan atau kekar-kekar yang terbentuk pada batuan, sehingga adanya rekahan-rekahan atau kekar–kekar yang terisi urat-urat kuarsa tersebut tetap merupakan suatu bidang lemah pada batuan. Fase pembentukan yang berbeda antara terbentuknya massa batuan dan kuarsa yang mengisi batuan dapat membentuk bidang lemah berupa perlapisan-perlapisan tipis antara massa batuan dengan kuarsa. Perbedaan densitas antara massa batuan induk dengan kuarsa yang mengisi massa batuan tersebut juga dapat membentuk bidang lemah pada massa batuan, jika kuarsa memiliki densitas yang lebih rendah dari batuan induk (andesit), maka secara teori, kuarsa memiliki lebih banyak pori/rongga daripada batuan induknya dan pori/ rongga tersebut dapat menjadi media untuk tranport Merkuri ke dalam air tanah.



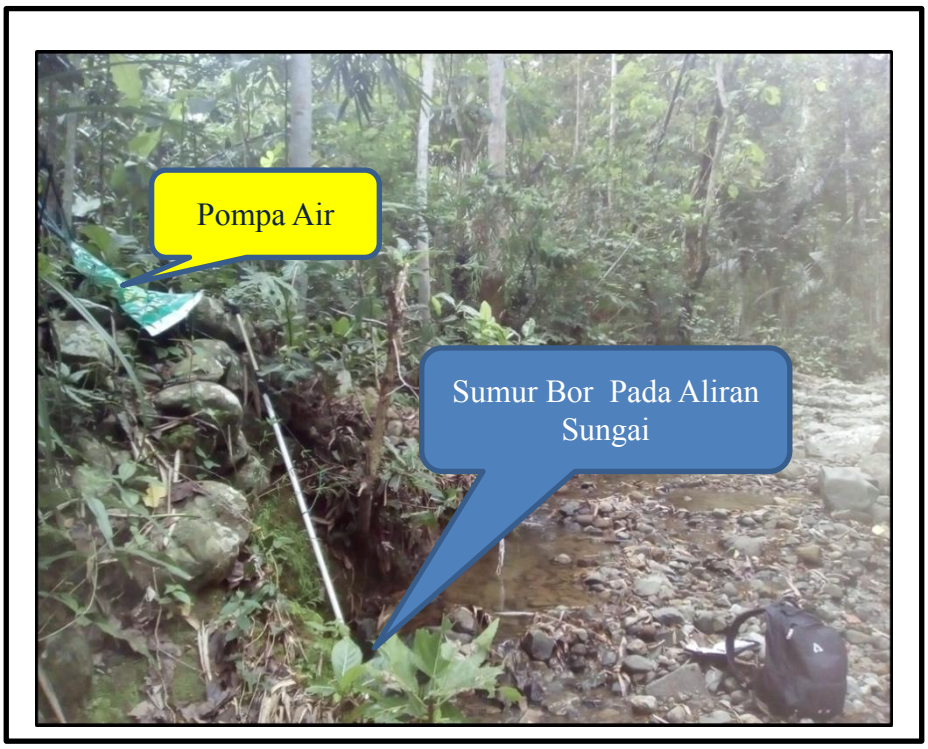
Gambar 5.5.
Kekar–Kekar Pada Batuan Dasar Sungai Sangon II

Mineralisasi pada urat-urat kuarsa juga dapat mempengaruhi kandungan unsur-unsur di dalam air tanah. Mineralisasi Emas pada proses diferensiasi magma membawa mineral-mineral lain turut serta dalam proses pengendapannya, pada tahapan tertentu Emas berasosiasi dengan mineral–mineral lainnya dan di dalam mineral tersebut terdapat unsur-unsur yang menyertai dan memiliki ciri–ciri tertentu yang mengikuti masing-masing pada tahapan proses pembekuan magma, hal tersebut sesuai teori klasifikasi diferensiasi magma yang disampaikan oleh Lindgren., 1933 (Isjudarto. A., 2009). Kekar–kekar pada batuan di Dusun Sangon II (termasuk dalam daerah Kokap) terbentuk dalam 2 fase pembentukan yaitu pada fase pertama pembentukan kekar-kekar, fase pertama tersebut adalah fase terbentuknya mineralisasi logam di daerah tersebut , sedangkan fase kedua

hanya terbentuk kekar–kekar tanpa adanya proses mineralisasi yang mengikutinya (Isjudarto., 2009) (Lihat Gambar 5.6.).

Gambar 5.6.
Batuan Andesit Dasar Dan Kekar Sungai Sangon II

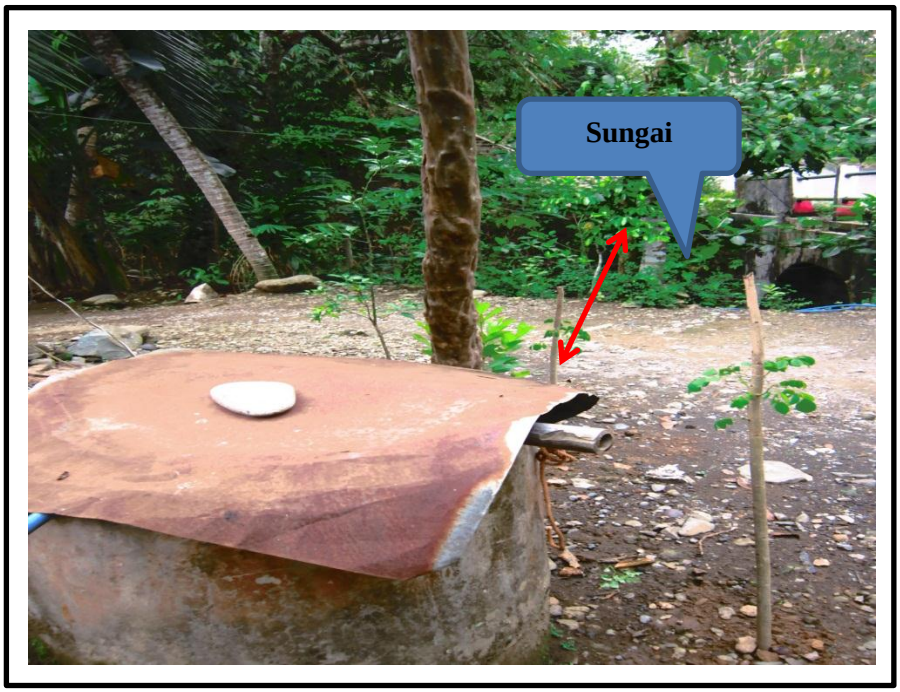
Air tanah yang terdapat di Dusun Sangon II menurut keberadaanya termasuk ke dalam air tanah dalam sistem akuifer bebas yang memiliki kedalaman 5-6 meter dari permukaan tanah, digunakan oleh penduduk sekitar untuk keperluan konsumsi sehari-hari misalnya memasak, air minum, mandi dan cuci. Kandungan Merkuri dalam air tanah di daerah Sangon II telah diteliti oleh Agus Suyono pada Tahun 2010 (Lihat Lampiran I, Lampiran J dan Lampiran K). Sampel air tanah diambil pada 5 titik pada sumur gali penduduk yang berdekatan dengan aliran Sungai Sangon II (berjarak sekitar 20 m dari sungai, Suyono, Agus., 2011). Penelitian tersebut memberikan hasil uji laboratorium kandungan Merkuri dalam air tanah berkisar antara 0,00018–0,00029 ppm.



Gambar 5.7.
Sumur Bor Penduduk Di Aliran Sungai Sangon II

Penelitian Tahun 2017 dilakukan oleh peneliti, sampel air tanah diambil sebanyak 3 sampel, jika dihitung berdasarkan jarak dari titik sumber pencemar, sampel S3 diambil pada jarak 510 m, sampel S1 pada jarak 550 m dan 1 sampel (S2) diambil pada jarak 200 m. Berdasarkan jarak dari aliran sungai, 1 sampel (S2) diambil dari jarak < 20 m dan 2 sampel (S2 dan S3) diambil pada jarak < 5 m, sumber air tanah penduduk di daerah tersebut diambil pada sumur-sumur bor di sepanjang aliran sungai dan sumur bekas galian penambangan bijih Emas (Lihat Gambar 5.7. dan 5.8.), hal tersebut menurut hasil wawancara dengan penduduk, dikarenakan air tanah masih tetap ada meskipun dalam musim kemarau, jika sumur di bor di dekat sungai. Penduduk setempat juga menggunakan sumur gali bekas *shaft* penambangan sebagai sumber konsumsi air tanah (Lihat Gambar 5.8.), berdasarkan pengukuran jarak dengan GPS Garmin 60 CSX, sumur gali yang ada di titik berjarak 540 m dari sumber pencemar dan berjarak 15 m dari aliran sungai, sumur tersebut merupakan pemanfaatan bekas galian terowongan/ *shaft*

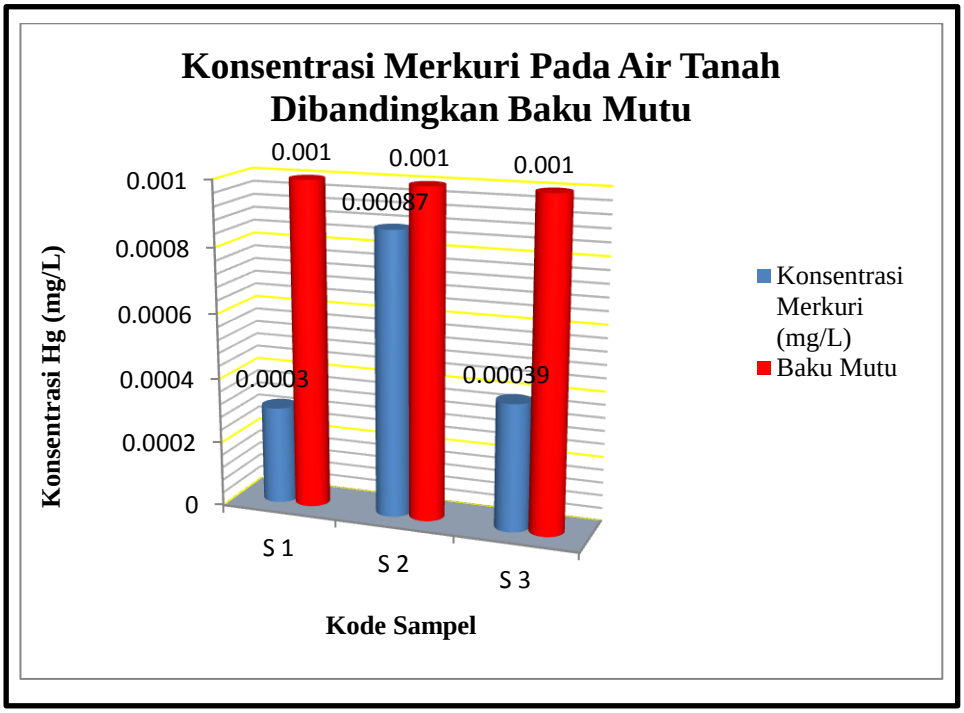
penambangan bijih Emas, dengan kedalaman muka air tanah 5–6 m dari permukaan tanah.



Gambar 5.8.
Sumur Gali Bekas *Shaft* Penambangan Penduduk
Di Dekat Aliran Sungai Sangon II

Kandungan Merkuri dalam air tanah pada penelitian ini didapatkan sampel S1 0,00030 mg/L (ppm), sampel S2 0,00087 mg/L (ppm) dan sampel S3 0,00039 mg/L (ppm). Ditinjau dari baku mutu kelas air, air tanah ini digunakan untuk kebutuhan konsumsi penduduk setempat, sehingga digunakan baku mutu air Kelas I, yaitu 0,001 mg/L. Sampel S2 yang diambil dari jarak 200 m dari sumber pencemar dan < 20 m dari aliran sungai memiliki kandungan Merkuri terbesar yaitu 0,00087 mg/L, sedangkan sampel S1 dan S3 diambil berdekatan lokasinya, dekat dengan titik pertemuan Sungai Sangon II dan Sungai Plampang, berjarak ±500 m dari titik sumber pencemar dan < 5 m dari aliran sungai, memilki kandungan yang hampir sama yaitu 0,00030 mg/L dan 0, 00039 mg/L. Sampel S2 yang memiliki kandungan Merkuri 0,00087 mg/L mendekati baku mutu yang ditetapkan. Perbandingan masing-masing sampel dengan baku mutu dapat dilihat pada Gambar 5.9. Sampel S2 memiliki kandungan Merkuri tertinggi bila

dibandingan dengan sampel S1 dan S3, hal tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa keberadaan pencemar dalam air tanah akan berkurang berdasarkan jarak dan waktu yang ditempuh oleh pencemar (Todd, D. K., 1980 dalam Yorhanita, Frista., 2001).



Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Gambar 5.9.
Konsentrasi Merkuri Pada Air Tanah Dibandingkan Baku Mutu

Ditinjau dari apakah air tanah di Dusun Sangon II telah tercemari polutan atau tidak, Thornton et al., 1995 menyatakan bahwa terdapat perbedaan definisi antara polusi dan kontaminasi, polusi adalah suatu proses yang menyebabkan keracunan, penurunan kualitas lingkungan, kerusakan terhadap infrastruktur dan membahayakan bagi kesehatan manusia, sedangkan kontaminasi adalah suatu proses yang tidak menimbulkan akibat yang membahayakan lingkungan (Lottermoser, Bernd G., 2010). Berdasarkan data-data primer dan data-data penelitian terdahulu yang didapatkan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa air tanah di dusun tersebut termasuk dalam kondisi

terkontaminasi, meskipun kandungan Merkuri di dalam air tanah masih jauh di bawah ambang batas, tetapi terdapat kandungan Merkuri dalam air tanahnya.

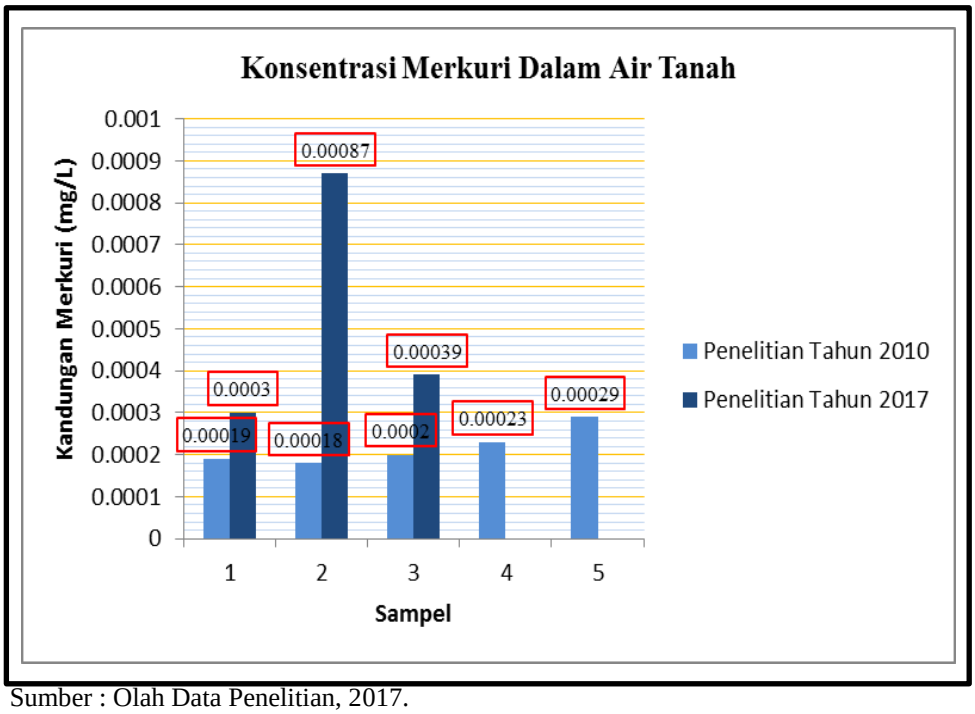
Tabel 5.4.
Hasil Penelitian Merkuri Dalam Air Tanah
Tahun 2010 Dan 2017

Penelitian Tahun 2010 (Musim Penghujan)		**Penelitian Tahun 2017 (Musim Kemarau)**	
Agus Suyono		**Erry Sumarjono**	
Sampel	**Kadar Hg (ppm) (mg/L)**	**Sampel**	**Kadar Hg (ppm) (mg/L)**
I	0,00019	S 1	0,00030
II	0,00018	S 2	0,00087
III	0,00020	S 3	0,00039
IV	0,00023		
V	0,00029		

Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Kandungan Merkuri dalam air tanah di daerah penelitian dapat dikaji dengan menggunakan hasil penelitian sebelumnya, karena sifat air tanah memiliki waktu tinggal yang lama dalam akuifernya, pergerakannya sangat lambat dan air tanah berada pada tempatnya dalam waktu puluhan bahkan ratusan tahun. Hasil penelitian Tahun 2010 dan Tahun 2017 (Lihat Tabel 5.4.) , penelitian dilakukan dengan metode uji laboratorium yang sama yaitu *Mercury Analyzer*. Kajian yang dapat dilakukan terhadap kandungan air tanah di Dusun Sangon II, dengan mengabaikan perbedaan faktor jarak, jumlah dan letak titik pengambilan sampel antara kedua penelitian tersebut adalah terdapat peningkatan kandungan Merkuri dalam air tanah dari Tahun 2010 sampai dengan Tahun 2017. Kandungan Merkuri dalam air tanah di Dusun Sangon II pada penelitian Tahun 2010 tertinggi pada konsentrasi 0,00029 mg/L, tetapi pada penelitian Tahun 2017 konsentrasi terendah Merkuri adalah 0,0003 mg/L. Ditinjau dari perbedaan paling minimum antara kedua penelitian tersebut, maka terdapat peningkatan konsentrasi Merkuri sebesar 0,00001 mg/L .

Peningkatan kandungan Merkuri dalam air tanah selang waktu 7 tahun perlu mendapatkan perhatian, karena sifat air tanah memiliki pergerakan yang sangat lambat, sehingga air tanah dapat berada di daerah tersebut dalam waktu puluhan tahun sampai ratusan tahun, meskipun berdasarkan data penelitian peningkatan paling minimum adalah 0,00001 mg/L. Berdasarkan perbandingan data kedua penelitian didapatkan persentase minimum peningkatan kandungan Merkuri tersebut adalah 3,5% dalam selang waktu 7 tahun (Lihat Gambar 5.10.). Jika perbandingan kedua penelitian didasarkan pada nilai rata-ratanya, maka nilai rata-rata kandungan Merkuri pada penelitian Tahun 2010 adalah 0,000278 mg/L dan nilai rata-rata kandungan Merkuri pada penelitian tahun 2017 adalah 0,00052 mg/L, maka tingkat kenaikan rata-rata kandungan Merkuri adalah 87,05%. Jika diasumsikan bahwa sampel S2 (diasumsikan untuk diabaikan, karena memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dari 2 sampel lainnya) , yang memiliki nilai tertinggi tidak dihitung untuk nilai rata-ratanya, maka nilai rata-rata kandungan Merkuri pada penelitian Tahun 2017 adalah 0,000345 mg/L, maka tingkat kenaikan rata-ratanya adalah 24,1 %.



Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Gambar 5.10.
Kandungan Merkuri Dalam Air Tanah

Berdasarkan teori bahwa air yang tercemar dapat melakukan pemulihan terhadap dirinya sendiri (*self purification*) terhadap adanya bahan pencemar (Agustiningsih dkk., 2012 dalam Widiyanto, Agnes Fitria., Yuniarno, Saudin., Kuswanto., 2015), tetapi jika ditinjau berdasarkan sifat air tanah yang memiliki pergerakan yang lambat dan tinggal dalam waktu yang lama, maka air tanah yang mengalami pencemaran akan sulit untuk dipulihkan kembali. Peningkatan kandungan Merkuri dalam air tanah berdasarkan perbandingan kedua data penelitian melalui beberapa macam perbandingan tersebut perlu mendapatkan perhatian, karena telah terjadi peningkatan kandungan Merkuri, meskipun peningkatannya kecil, karena air tanah tersebut digunakan untuk keperluan konsumsi oleh penduduk setempat baik pada musim penghujan ataupun musim kemarau. Hal tersebut dapat membuktikan teori bahwa air tanah sulit melakukan pemulihan terhadap dirinya sendiri (*self purification*) terhadap adanya bahan pencemar yang masuk ke dalamnya. Air yang tercemar dapat melakukan pemulihan terhadap dirinya sendiri secara alami, jika beban zat pencemar yang masuk ke dalam air masih berada di bawah kemampuan air tersebut untuk melakukan pemulihan.

5.4. Merkuri Dalam Air Limbah

Ditinjau secara teori mineralogi, di dalam *tailing* dapat terdiri dari berbagai mineral misalnya; silika, silikat besi, magnesium, natrium dan sulfida, Keberadaan mineral sulfida dalam *tailing* dapat menyebabkan permasalahan terhadap adanya Merkuri, karena sulfida memiliki sifat yang aktif secara kimiawi, apabila bersentuhan dengan udara akan mengalami oksidasi sehingga membentuk garam-garam yang bersifat asam dan aliran asam dapat mengandung logam-logam beracun misalnya; arsen , Merkuri, timbal dan kadmiun (Herman, Danny Zulkifli, 2006) dan garam-garam yang terbentuk dari Merkuri memiliki sifat sangat toksik (Darmono., 2010).

Pengkajian faktor tingkat keasaman (pH) aliran sungai tersebut (kondisinya dari netral–basa), dapat juga dilakukan pendekatan berdasarkan keadaaan geologi daerah Kulonprogo yang dikemukakan oleh Van Bemmelen., 1949 dalam

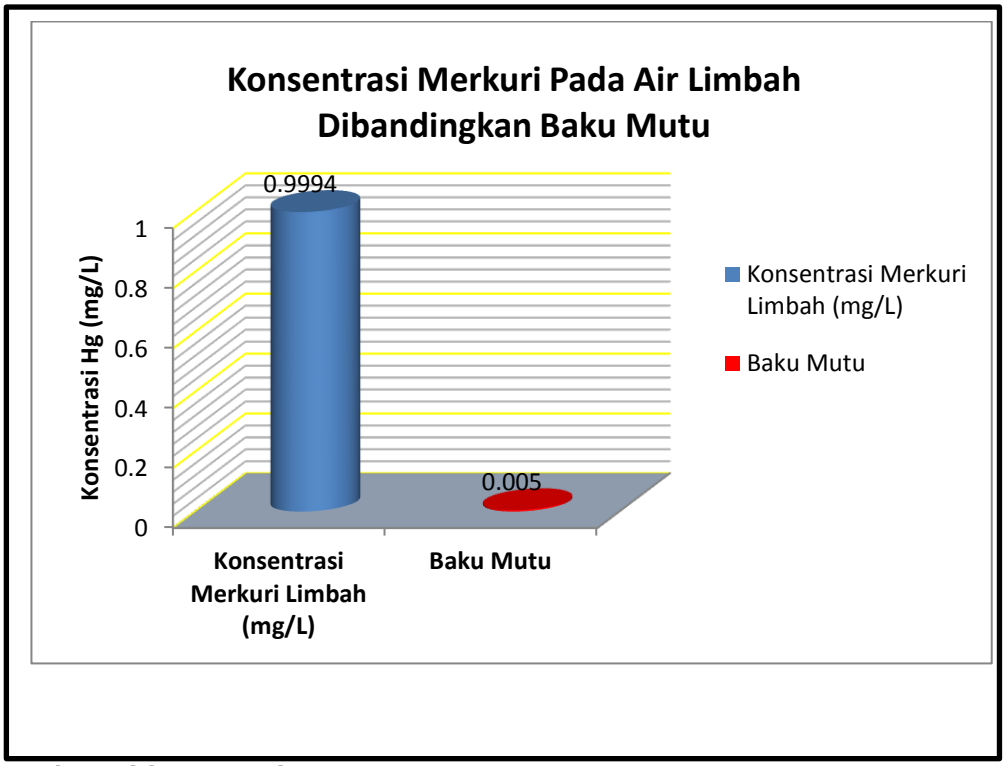
Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, menyebutkan bahwa seluruh batuan vulkanik di Kulonprogo sebagai Formasi Andesit Tua (OAF/ *Old Andesite Formation*). Kulonprogo dibentuk oleh batuan berumur Tersier sampai Kuarter yaitu Formasi Nanggulan, Formasi Kebobutak, Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo, serta batuan intrusi intermediet–felsik, sementara pada Formasi Nanggulan, Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo terdapat susunan batu gamping di dalamnya. Batu gamping adalah batuan yang mengandung kalsium karbonat ($CaCO_3$), sedangkan kalsium karbonat adalah senyawa yang memberikan sumbangan terbesar terhadap nilai alkalinitas dan kesadahan perairan tawar. Alkalinitas merupakan gambaran kapasitas air untuk menetralkan asam. Alkalinitas juga memberikan gambaran tentang adanya kandungan karbonat dalam tanah, batuan dan sedimen dasar sungai yang dilewati oleh air (Effendi, Hefni., 2003).

Tabel 5.5.
Hasil Penelitian Merkuri Dalam Air Limbah
Tahun 2005 Dan 2017

Penelitian Tahun 2005 (Musim Kemarau)			**Penelitian Tahun 2017 (Musim Kemarau)**		
Bambang Thahjono Setiabudi			**Erry Sumarjono**		
Sampel	**Kadar Hg (ppm) (mg/L)**	**Metode**	**Sampel**	**Kadar Hg (ppm) (mg/L)**	**Metode**
9 Sampel	**800 - 6900**	AAS	1 Sampel	0,99994	Mercury Analyzer

Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Pengolahan bijih Emas Di Dusun Sangon II dengan menggunakan amalgamasi menghasilkan air limbah yang dibuang ke sungai. Air limbah ditampung dalam kolam pengendapan sebelum dibuang ke sungai. Pada penelitian ini diambil 1 sampel air limbah yang berasal dari hasil pengolahan amalgamasi untuk diujikan ke laboratorium. Kandungan Merkuri dalam air limbah pada penelitian ini adalah 0,99994 mg/L. Ditinjau dari baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, Lampiran XLVII, maka kandungan Merkuri pada air limbah tersebut jauh melebihi baku mutu yang ditetapkan yaitu 0,005 mg/L (Gambar 5.11.).



Sumber : Olah Data Penelitian, 2017.

Gambar 5.11.
Konsentrasi Merkuri Pada Air Limbah Dibandingkan Baku Mutu

Bambang Thahjono Setiabudi pada Tahun 2005 telah melakukan penelitian terhadap air limbah di Dusun Sangon tersebut. Pada penelitian tersebut diambil 9 sampel dari 9 lokasi pengolahan rakyat, berdasarkan data penelitian kandungan Merkuri dalam air limbah berkisar antara 800–6900 ppm. Penelitian terhadap air limbah Tahun 2017, yang dilakukan oleh peneliti, diambil 1 sampel air limbah yang berasal dari 1 lokasi pengolahan di Dusun Sangon II, karena hanya ada 1 tempat pengolahan yang masih aktif di dusun tersebut. Hasil penelitian Tahun 2005 dan Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 5.4. Laporan hasil penelitian lainnya, kandungan Merkuri dalam air limbah adalah 0,8–6,9 ppm (Suprapto, Sabtanto Joko., 2006). Hasil penelitian memiliki kesamaan kesimpulan yaitu kandungan Merkuri dalam air limbah sangat tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian Tahun 2005 dan Tahun 2017 (Lihat Tabel 5.5), terdapat perbedaan yang sangat besar pada jumlah kandungan Merkuri dalam air

limbah, perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan penggunaan jumlah Merkuri dalam pengolahan pada saat penelitian tersebut dilakukan berbeda dengan penelitian saat ini, efektifitas pengolahan saat penelitian dan perbedaan metode pengujian. Pada laporan penelitian yang lain (Suprapto, Sabtanto Joko., 2006), didapatkan kandungan Merkuri yang hampir sama dengan penelitian tahun 2017, yaitu berkisar antara 0,8–6,9 ppm . Tingginya kandungan Merkuri dalam air limbah berkaitan dengan jumlah penggunaan Merkuri dalam proses pengolahan, kenaikan konsentrasi Merkuri dalam air limbah berhubungan erat dengan pemakaian Merkuri dalam gelundung (Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005). Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rohmana, Suharsono Kamal dan Suhandi pada Tahun 2006, dalam penelitian tersebut juga dinyatakan bahwa konsentrasi Merkuri yang tinggi dalam air limbah berhubungan erat dengan jumlah pemakaian Merkuri untuk mendapatkan logam Emas. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat perolehan pengolahan tidak optimal dan tidak dilakukan penanganan pengolahan secara baik terhadap *tailing*/air limbah (Rohmana., Kamal, Suharsono., Suhandi., 2006).

Berdasarkan pengalaman dari percobaan dan penelitian terdahulu bahwa di dalam pengolahan bijih Emas dengan menggunakan amalgamasi, terjadi kehilangan Merkuri sebanyak 5% - 10% (Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005) dan 4,13% - 8,07% (Widodo., 2008), jika diambil rata-rata dari kedua penelitian tersebut, maka tingkat kehilangan Merkuri adalah 4%-10%. Berdasarkan hasil wawancara dengan Bapak X sebagai penambang dan pengolah bijih, dengan asumsi tersebut, maka setiap kali pengolahan digunakan 0,5 kg–1 kg Merkuri, maka tingkat kehilangan minimum Merkuri adalah 20 gr–50 gr. Tingkat kehilangan Merkuri yang tinggi tersebut terdeteksi dalam air limbah sebesar 0,99994 mg/L.

Berdasarkan asumsi tingkat kehilangan Merkuri tersebut di atas, maka Merkuri yang hilang akibat proses pengolahan tersebut terbagi menjadi 2 yaitu ; larut dengan air limbah dan mengendap di dasar air limbah karena densitas Merkuri yang tinggi, hal ini sejalan dengan fakta bahwa air limbah yang ditampung di

kolam penampungan dibiarkan mengendap, kemudian endapan tersebut ditampung kembali untuk dijual kepada pembeli, menurut Bapak X, endapan-endapan tersebut akan diambil Merkurinya kembali atau diambil Emasnya kembali, mengingat tingkat perolehan Emas dengan amalgamasi berdasarkan percobaan adalah 38,40 %-53,33 % (Widodo., 2008) dan < 85% (Sevruykov, et.al, 1960 dalam Widodo., 2008), sehingga dalam tailing tersebut masih ada kandungan Emasnya.

Pengolahan bijih Emas di Dusun Sangon II dilakukan hanya berdasarkan dari pengalaman dari para penambang, sehingga jumlah penggunaan Merkuri yang dimasukkan ke dalam gelundung bersumber dari pengalaman (Lihat Lampiran L). Pengetahuan tentang jumlah penggunaan Merkuri yang efektif untuk mendapatkan tingkat perolehan Emas yang efektif sangat minimum, sehingga tingginya kandungan Merkuri dalam air limbah berkaitan erat dengan jumlah penggunaan Merkuri dalam setiap pengolahan. Hal tersebut sejalan dengan kesimpulan penelitian-penelitian sebelumnya.

5.5. Merkuri Dalam Air Tanah Dan Sedimen Sungai

Merkuri yang terdapat dalam sedimen sungai dan air tanah dapat dikaji secara parsial. Freeze et. al., 1979 ; Mathes et. al., 1982 dalam Djuwansah, M. Rachman., dkk., 2009, memberikan pendapat bahwa penentuan sumber pencemar dapat dilakukan dengan perbandingan komposisi kimia air tanah dengan komposisi kimia air permukaan serta susunan kimia batuan lapisan pembawa airnya dan limbah buangan manusia di permukaan tanah adalah sumber pencemar yang paling banyak dijumpai sampai saat ini. Berdasarkan hal tersebut, menurut pengukuran uji laboratorium dengan batas deteksi = 0,06 µg/L. Merkuri tidak terdeteksi berada dalam air permukaan (Lihat Lampiran F), demikian juga kesimpulan penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya terhadap air permukaan di daerah tersebut (nilai Merkuri < 0,0005 ppm, Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005). Dengan demikian, terdapat perbedaan komposisi kimia Merkuri antara air permukaan dan air tanah yang terdapat pada daerah tersebut. Air tanah

di daerah tersebut memiliki kandungan Merkuri (Lihat Tabel 4.2. dan 4.11. pada Bab IV). Kesimpulan yang dapat diberikan adalah bahwa terdapatnya Merkuri dalam air tanah tidak berasal dari air permukaan (air sungai) yang terdapat dalam aliran sungai.

Merkuri dalam air tanah dapat dianalisis berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki oleh Merkuri. Merkuri memiliki potensial oksidasi yang rendah (0,799 volt), hal tersebut menyebabkan Merkuri tidak dapat bereaksi dengan oksigen pada suhu kamar dan tahan terhadap korosi. Merkuri tidak dapat bereaksi dengan air, uap, alkalis dan asam-asam yang bukan oksidator kuat, tetapi merkuri dapat bereaksi dengan cepat jika bertemu dengan gas-gas Cl_2, S, Br_2, J_2 dan N_2O (Durrant., 1960 dalam Hutagalung, Horas, P., 1985). Pelarut-pelarut umum, misalnya air dan aseton sukar untuk melarutkan Merkuri, pada suhu 40^0C kelarutan merkuri dalam air 0,002 ppm (Hutagalung, Horas, P., 1985). Dengan demikian, Merkuri yang terdapat dalam air tanah tidak dalam bentuk logam, tetapi berbentuk ion., sedangkan Merkuri dalam bentuk ion merupakan hasil Merkuri (CH_3Hg^+) adalah suatu proses biogeokimia yang kompleks, proses perubahan tersebut sedikitnya membutuhkan dua langkah yaitu proses oksidasi dari Hg^0 menjadi Hg^{2+}, diikuti dengan perubahan bentuk dari Hg^{2+} menjadi CH_3Hg^+. Perubahan bentuk dari Hg^{2+} menjadi CH_3Hg^+ dinamakan *methylation* (Alpers, Charles N., Hunerlach, Michael P., 2000).

Air sukar melarutkan Merkuri, Merkuri dapat larut ke dalam air dengan suhu 40^0C dengan kelarutan sebesar 0,002 ppm, sedangkan suhu air tanah di daerah penelitian tidak akan mencapai suhu tersebut, karena daerah tersebut tidak terdapat aktivitas vulkanik yang dapat menyebabkan peningkatan suhu sampai 40^0C. Jika air sukar melarutkan Merkuri, maka terdapat hal lain yang menyebabkan Merkuri terdapat sebagai ion dalam air tanah. Merkuri dapat bereaksi dengan cepat jika bertemu dengan unsur S (sulfida), sedangkan mineralisasi Emas di Sangon tersebar tidak merata dalam urat kuarsa yang mengandung sulfida dan kadang-kadang berasosiasi dengan lempung ubahan

filik–argilik yang penyebarannya dikontrol oleh bidang–bidang rekahan membentuk *stockwork veins*. Urat kuarsa dengan tebal bervariasi < 1 cm - 50 cm (Lihat Gambar O.4. Lampiran O), membentuk jalur mineralisasi umumnya berarah N 60^0 E – N 110^0 E dengan kemiringan 70^0 – 80^0 (Gunawan, drr., 2001 dalam Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005). Hal tersebut menjelaskan bahwa di dalam urat-urat kuarsa terdapat kandungan sulfida yang dapat bereaksi dengan Merkuri yang terdapat dalam bijih dan Merkuri dapat berubah menjadi Merkuri dalam bentuk ion dalam air tanah. Hal tersebut dapat memberikan kesimpulan bahwa Merkuri yang terdapat dalam air tanah dikontrol oleh Merkuri yang terdapat dalam bijih melalui reaksi biogeokimia yang kompleks dan tersebar melalui kekar-kekar dan urat-urat kuarsa ke dalam air tanah. Selain itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan, bahwa peningkatan kandungan merkuri dalam air tanah selama kurun waktu 7 tahun (penelitian Tahun 2010 dan 2017), menunjukkan bahwa kandungan Merkuri dalam air tanah relatif sama, meskipun terdapat sedikit peningkatan kandungan Merkuri. Hal tersebut menunjukkan, bahwa proses amalgamasi yang terus menerus dilakukan selama kurun waktu tersebut, dengan proses pembuangan limbah yang mengandung Merkuri tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kandungan Merkuri dalam air tanah di daerah tersebut.

Proses pengolahan bahan galian/*mineral dressing* memiliki salah satu ciri yaitu proses tersebut tidak merubah sifat kimia suatu bahan galian, dengan demikian mineral yang terdapat dalam bijih akan tetap berbentuk mineral (bukan logam). Logam akan terbentuk atau didapatkan setelah konsentrat yang didapatkan dari pengolahan tersebut masuk ke proses metalurgi/*mineral processing*. Pada pengolahan bijih Emas yang menggunakan amalgamasi dapat dibedakan menjadi 2 tahapan, pertama, proses pengolahan bijih pada gelundung (Lihat Gambar O.2. Lampiran O) untuk meliberasi mineral-mineral yang terdapat dalam bijih (*crushing* dan *grinding*) (Lihat Gambar O.3. Lampiran O), kemudian ditambah dengan Merkuri sebagai pengikat butiran Emas dan dilakukan penyaringan dengan parasut, yang kedua, hasil tahap pertama tersebut masuk ke dalam proses

smelting sederhana, dengan menggunakan suhu yang tinggi untuk memisahkan amalgam (*retorting*), sehingga Emas dalam amalgam terpisah dengan Merkuri.

Pemisahan amalgam dengan suhu tinggi akan menguapkan Merkuri dan meninggalkan Emas, karena titik didih Merkuri (357^0 C), jauh berada dibawah titik lebur Emas ($1064,43^0$ C), sehingga Merkuri yang terbuang adalah berada dalam fase gas. Limbah yang berada dalam fase cair yang dibuang pada proses pengolahan tersebut merupakan hasil dari proses tahap pertama yang berasal dari gelundung (dari gelundung maupun hasil proses pemerasan/*squeezing*). Proses yang pertama inilah, yang dapat menghasilkan limbah cair yang dibuang ke sungai dan mengandung Merkuri. Ditinjau dari masukan (*feed* dan proses) pada metode amalgamasi, terdapat dua masukan yang mengandung Merkuri, pertama, bijih Emas yang diolah mengandung Merkuri, kedua, Merkuri digunakan secara langsung dalam proses amalgamasi tersebut. Merkuri yang terdapat dalam bijih bukan Merkuri yang berbentuk unsur, tetapi terdapat dalam bentuk mineral, sedangkan Merkuri yang digunakan untuk proses amalgamasi merupakan Merkuri yang berbentuk unsur (logam). Berdasarkan sifat pengolahan bahan galian (*mineral dressing*), yang tidak merubah sifat kimia dari mineral, maka Merkuri yang berbentuk mineral dalam bijih akan tetap berbentuk mineral, yang akhirnya ikut terbuang bersama *tailing*, sehingga dalam *tailing* terdapat dua bentuk Merkuri, pertama, Merkuri yang berada dalam bentuk mineral yang berasal dari bijih yang diliberasi, kedua, Merkuri dalam bentuk unsur (logam) yang berasal dari Merkuri yang digunakan dalam proses amalgamasi. Berdasarkan hal tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa kandungan merkuri yang terdapat dalam sedimen sungai berasal dari dua sumber yaitu Merkuri dalam bentuk unsur/logam yang digunakan untuk mengikat Emas, yang ikut terbuang bersama tailing dan mengendap pada sedimen sungai dan Merkuri alami akibat mineralisasi yang terdapat dalam bijih Emas yang diolah (Merkuri yang terdapat dalam bijih Emas berbentuk mineral, karena sifat proses pengolahan/*mineral dressing* tidak merubah sifat fisik mineral, mineral dalam bijih tetap berada dalam bentuk mineral sebagai hasil pengolahan).

5.6. Penentuan Status Mutu Air

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003, penentuan klasifikasi pencemaran air, baik air permukaan maupun air tanah dapat ditentukan dengan perhitungan berdasarkan Metode STORET dan Metode Indeks Pencemaran. Metode STORET digunakan untuk menentukan klasifikasi mutu air secara menyeluruh, karena perhitungan metode tersebut menggunakan perhitungan total dari parameter-parameter kualitas air (parameter fisika, kimia dan biologi). Parameter-parameter yang memiliki baku mutu dihitung dengan cara tertentu sehingga menghasilkan nilai total /skor dari parameter-parameter tersebut. Nilai total/skor yang didapatkan dari perhitungan tersebut kemudian dijadikan dasar sebagai pembagian kelas mutu air. Metode Indeks Pencemaran dapat digunakan untuk menentukan status mutu air dengan berdasarkan perameter tertentu saja, yaitu dengan melakukan perhitungan pada parameter-parameter tertentu misalnya dalam penelitian ini adalah status mutu air berdasarkan kandungan Merkuri dalam air tanah, sehingga klasifikasi mutu air ditentukan berdasarkan parameter per parameter.

Kelebihan penentuan status mutu air dengan menggunakan Metode STORET adalah status mutu air dapat ditentukan berdasarkan dari perhitungan semua parameter yang menyangkut kualitas air. Parameter-parameter (parameter kimia, fisika dan biologi) yang memiliki baku mutu dihitung nilai skornya, sehingga dapat diketahui status mutu air total dari beberapa parameter tersebut. Kekurangan Metode STORET adalah status mutu air tidak dapat ditentukan, jika parameter-parameter yang didapatkan tidak lengkap, karena nilai skor yang dihitung tidak memenuhi kriteria penilaian secara total. Hal tersebut dapat didiskripsikan sebagai berikut, dimisalkan terdapat salah satu parameter kimia yang memiliki baku mutu, tetapi dalam penelitian tidak terdapat data parameter tersebut, maka penilaian skor total tidak lengkap, sehingga penentuan status mutu air menjadi kurang lengkap perhitungannya. Penilaian status mutu air dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran dapat dilakukan berdasarkan parameter-parameter tertentu saja, sehingga status mutu air dapat dinilai berdasarkan pada suatu parameter tertentu

tersebut. Hal tersebut dapat berarti bahwa status mutu air suatu sumber air dalam satu parameter dapat memenuhi baku mutu, tetapi dapat juga terjadi pada parameter lain tidak memenuhi baku mutunya.

Perhitungan status mutu air pada penelitian ini menggunakan Metode Indeks Pencemaran, karena penentuan status mutu air hanya didasarkan pada satu parameter yaitu kandungan Merkuri, sehingga Metode STORET tidak dapat digunakan untuk menyelesaikan penentuan status mutu air pada permasalahan penelitian ini. Hasil perhitungan penentuan status mutu air tanah pada daerah penelitian ini memiliki Indeks Pencemaran (IP_j) sebesar 0,717 (Lihat Lampiran K). Klasifikasi mutu air sebesar 0,717 menurut evaluasi terhadap nilai IP_j berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 masuk dalam kategori dalam kondisi yang baik (Lihat Bab III Sub Bab 3.6.2.). Hal tersebut berarti bahwa air tanah yang berada di Dusun Sangon II masih berada di bawah baku mutu yang ditentukan dan masih layak untuk memenuhi kebutuhan konsumsi.

Berdasarkan perhitungan penentuan status mutu air dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran untuk air sungai dan air tanah di Dusun Sangon II, status mutu air tanah dalam kondisi baik (masih di bawah baku mutu), sehingga masih layak untuk digunakan sesuai dengan peruntukannya. Di sisi lain, terdapat suatu permasalahan lain yang harus dicermati yaitu terdapatnya peningkatan kandungan Merkuri dalam air tanah berdasarkan data penelitian tahun 2010 dan Tahun 2017, jika dilihat dalam grafik (Lihat Gambar 5.10), meskipun peningkatan kandungan Merkuri dalam air tanah tersebut relatif sangat kecil, tetapi terdapat kecenderungan mengenai hal tersebut, hal ini menunjukkan bahwa Merkuri memang terdapat dalam air tanah di Dusun Sangon II dan harus mendapatkan perhatian. Hal-hal yang dapat dijadikan pertimbangan keberadaan Merkuri dalam air tanah adalah :

1. Kondisi geologi dan genesa terbentuknya Emas pada daerah tersebut yang diperkuat dengan hasil uji laboratorium bahwa terdapat Merkuri secara alami

di daerah tersebut pada penelitian ini maupun penelitian-penelitia sebelumnya, menyimpulkan bahwa Merkuri memang terdapat pada proses mineralisasi di Dusun Sangon.

2. Terdapatnya aktifitas penambangan dan pengolahan yang menggunakan Merkuri di daerah tersebut, yang merupakan sumber keberadaan Merkuri di daerah tersebut.

Ditinjau dari kondisi geologi dan genesa terbentuknya Emas kemudian diperkuat dengan hasil uji laboratorium tentang adanya Merkuri secara alami di daerah tersebut, maka Merkuri alami tersebut dapat bereaksi secara kimiawi dengan air yang melarutkan sulfida-sulfida. Merkuri memiliki sifat mudah bereaksi dengan sulfida sehingga ketika air permukaan meresap ke dalam tanah dan melarutkan sulfida-sulfida yang terdapat di dalam tanah/batuan, Merkuri dapat terlarut dan ikut meresap ke dalam tanah melalui kekar, retakan ataupun pori batuan. Secara teori, proses geologi yang berkembang pada suatu daerah terjadi dalam jangka waktu berjuta- jutaan tahun yang lalu , serta proses-proses kimia yang terjadi pada suatu daerah, yang mengikuti proses geologi juga terjadi dalam waktu jutaan tahun.

Dengan demikian, kesetimbangan alam sudah terjadi selama jutaan tahun juga di Dusun Sangon II juga, proses alami yang menyebabkan keberadaan Merkuri dalam air tanah di dusun tersebut, secara alami, telah berlangsung dalam waktu yang sangat lama (jutaan tahun-waktu geologi). Jika pada kurun waktu sebelum adanya aktifitas penambangan dan pengolahan yang mengggunakan Merkuri tidak terjadi suatu permasalahan mengenai kandungan Merkuri yang terdapat di daerah tersebut dan jika dalam waktu setelah terdapat kegiatan pengolahan tersebut terjadi peningkatan kandungan Merkuri di daerah tersebut, pada air tanah khususnya, maka dapat disimpulkan bahwa kegiatan penambangan dan pengolahan yang menggunakan Merkuri juga memberikan sumbangan terhadap peningkatan kandungan Merkuri di daerah tersebut, meskipun peran proses tersebut tidak signifikan untuk keberadaan Merkuri dalam air tanah.

5.7. Keberadaan Merkuri Di Sungai Sangon II Dan Sekitarnya

Penambangan bijih Emas di Dusun Sangon dan sekitarnya telah dilakukan sejak Tahun 1990-an. Bijih Emas didapatkan dari penambangan tradisional secara manual, dengan membuat terowongan (*ghopering*) (Lihat Gambar O.1. Lampiran O) mengikuti urat-urat kuarsa. Menurut hasil wawancara peneliti dengan penduduk setempat, penambangan awal dilakukan oleh orang-orang dari Jawa Barat (Garut, Tasikmalaya dan sekitarnya), kemudian pada akhir Tahun 1990–an, mereka mulai meninggalkan daerah Sangon dan sekitarnya, sehingga penambangan diteruskan oleh penduduk setempat. Penambangan bijih Emas tersebut dilakukan dengan alat sederhana misalnya ; palu, pahat dan linggis.

Berdasarkan data–data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan pada sub bab–sub bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa, keberadaan Merkuri di aliran Sungai Sangon II terdapat pada sedimen sungai dan air tanah. Panjang aliran sungai tersebut berdasarkan pengukuran GPS adalah 560 m dari sumber yang diduga sebagai sumber pencemaran Merkuri pada daerah tersebut, sampai dengan pertemuan Sungai Sangon II dan Sungai Plampang . Menurut pendapat peneliti, hal yang menyebabkan Merkuri terdapat pada sedimen sungai dan air tanah adalah pertama, sifat penambangan dan pengolahan yang fluktuatif dan tidak menerus pada daerah tersebut, menyebabkan Merkuri tidak berada di aliran permukaan karena jumlah limbah yang dibuang ke dalam aliran sungai juga tidak menentu dan sifat fisik Merkuri yang memiliki berat jenis yang tinggi, sehingga Merkuri akan mengendap di dasar sungai. Pada suatu tepat pembuangan limbah Merkuri akan berada dalam air permukaan dan akan mengendap pada dasar sungai. Merkuri dalam air sungai dapat menurun dengan berjalannya waktu dan jarak, kedua, berdasarkan data–data sekunder yang didapatkan peneliti, sifat aliran sungai tersebut adalah memiliki tingkat keasaman dari netral menuju basa, sedangkan Merkuri memiliki sifat dapat hadir dengan adanya sulfida (aliran asam), dengan adanya sifat aliran dari netral–basa pada aliran sungai tersebut maka Merkuri kemungkinan tidak terdapat pada air sungai tersebut dan mengendap di dasar sungai. Penyebab terjadinya sifat aliran sungai dari netral–

basa pada aliran sungai Sangon II dapat dilihat pada Sub Bab 5.2. pada bab pembahasan ini.

Menurut pendapat peneliti, penyebab terdapatnya kandungan Merkuri pada aliran Sungai Sangon II harus dikaji secara parsial antara kandungan Merkuri yang terdapat dalam sedimen sungai dan air tanah. Pada sedimen sungai, kandungan Merkuri pada sedimen sungai kemungkinan besar berasal dari pengendapan Merkuri dari air limbah yang dibuang oleh pengolahan amalgamasi, Merkuri dengan densitasnya yang tinggi memiliki peran besar dalam proses pengendapan tersebut. Pada air tanah, kandungan Merkuri dalam air tanah yang terdapat pada sumur bor ataupun sumur gali penduduk setempat dapat berasal dari dua penyebab yaitu berasal dari Merkuri yang terkandung dalam sedimen yang mengendap pada dasar sungai dan proses kimia secara alami yang melibatkan pelarutan Merkuri yang terdapat pada urat–urat kuarsa yang termineralisasi karena hasil uji laboratorium menyatakan bahwa terdapat kandungan Merkuri pada bijih.

Hasil uji laboratorium kandungan Merkuri dalam bijih pada penelitian ini didukung oleh data–data penelitian terdahulu dan berdasarkan teori–teori mineralisasi Daerah Sangon yang dikemukakan oleh para ahli, sehingga dalam proses mineralisasi daerah tersebut memang terdapat Merkuri pada batuan ataupun bijih. Merkuri yang terdapat pada mineralisasi bersama Emas dalam batuan dengan proses kimia secara alami dapat terlarut ke dalam air tanah yang meresap pada batuan tersebut. Hal tersebut dapat terjadi seuai dengan teori bahwa Merkuri mudah bereaksi dengan sulfida–sulfida, sedangkan air yang meresap ke dalam tanah dapat bereaksi membentuk larutan sulfida (bersifat asam) jika di dalam batuan terdapat mineral–mineral sulfida, sehingga proses tersebut dapat membentuk larutan yang bersifat asam.

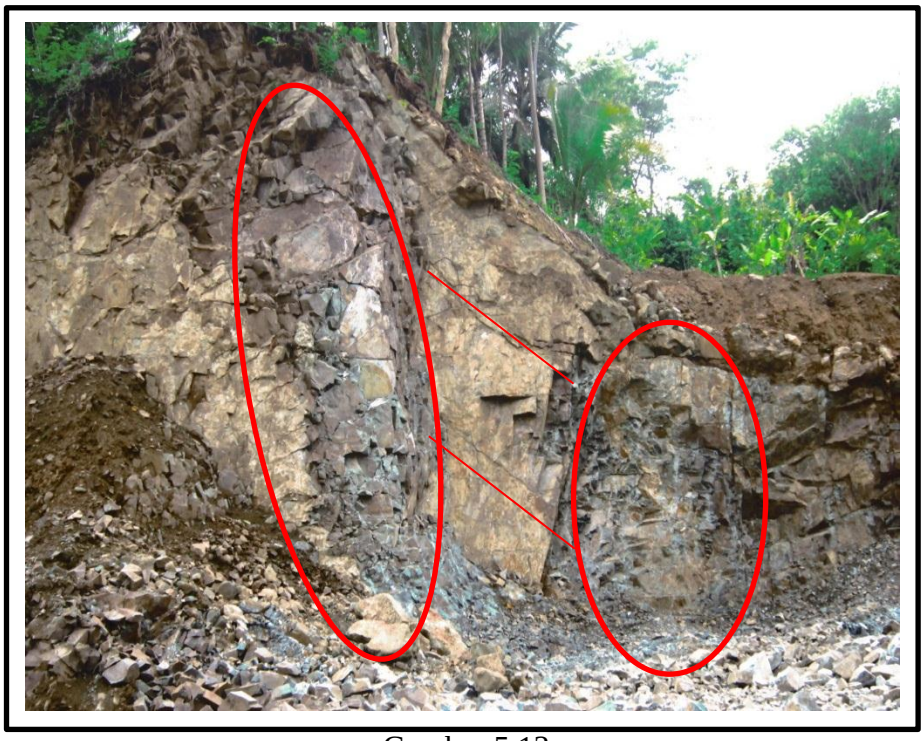
Pengendapan Merkuri yang berasal dari sedimen sungai dan batuan yang termineralisasi dan mengandung Merkuri di dalamnya, dapat meresap ke dalam tanah melalui kekar–kekar atau rekahan–rekahan yang berada batuan dasar

sungai. Menurut data–data yang didapatkan selama penelitian batuan dasar Sungai Sangon II adalah batu andesit yang terdapat kekar–kekar. Kekar–kekar tersebut dapat menjadi media proses meresapnya Merkuri ke dalam air tanah. Pada lokasi penelitian terdapat penambangan batu andesit yang dapat menyingkap struktur kekar yang ada pada batuan andesit, hal ini dapat dijadikan sebagai pembanding bahwa kekar–kekar yang terdapat pada daerah tersebut saling berhubungan, karena dalam penelitian ini tidak dilakukan pemboran pada batuan andesit, untuk mengetahui kondisi batuan tersebut, sehingga menurut peneliti perlu diadakan suatu pendekatan (Lihat Gambar 5.12.).

Gambar 5.12.
Kekar–Kekar Dalam Batuan Andesit Yang Ditambang

Pendekatan kondisi bawah permukaan daerah penelitian dilakukan dengan membandingkan kondisi batuan bawah permukaan pada lokasi penambangan batu andesit ini terletak di dekat daerah penelitian dengan koordinat S 07^0 50’ 13,4” dan E 110^0 03’ 50,4”, dengan ketinggian 89 m dpl. Penambangan tersebut menyingkap batuan andesit yang berada di bawah permukaan daerah Sangon II. Penambangan tersebut berlokasi di dekat daerah aliran sungai yang menjadi

obyek penelitian. Sungai Sangon II memiliki batuan dasar yang tersingkap oleh air sungai, batuan tersebut adalah batuan andesit, batuan yang sama dengan penambangan, sehingga struktur geologi pada batuan andesit di lokasi penambangan dapat dijadikan pembanding sebagai suatu upaya pendekatan kondisi di bawah permukaan tanah daerah tersebut. Hal ini menunjukkan adanya struktur geologi berupa kekar-kekar ataupun sesar yang berkembang pada daerah tersebut.



Gambar 5.13.
Kekar–Kekar Yang Saling Berhubungan

Struktur geologi yang terdapat pada lokasi penambangan berupa kekar–kekar dan sesar, hal tersebut sesuai dengan pendapat para ahli geologi dalam penelitian-penelitian mengenai struktur geologi yang berkembang di daerah tersebut. Gambar 5.12. menunjukkan kekar–kekar yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya. Hal yang dapat dilakukan sebagai upaya pendekatan untuk kondisi bawah sungai adalah dengan mengasumsikan bahwa kondisi kekar pada batuan dasar sungai sesuai dengan kondisi kekar pada batuan andesit yang ditambang tersebut, sehingga Merkuri yang terdapat dalam sedimen sungai juga dapat

meresap dengan air melalui kekar–kekar pada batuan dasar sungai. Keberadaan kekar–kekar dan struktur geologi yang berkembang di Daerah Sangon merupakan hasil dari proses geologi yang berkembang pada daerah tersebut (Lihat Gambar 5.13). Proses geologi yang terjadi dan berkembang pada daerah penelitian dapat dilihat dasar pembahasannya pada Bab II mengenai tinjauan geologi di Dusun Sangon.

Pengendapan Merkuri pada sedimen sungai dapat berubah–ubah berdasarkan waktu, karena pengaruh dari besar atau kecilnya debit air pada aliran sungai. Besar kecilnya debit Sungai Sangon II tergantung pada musim. Debit air merupakan fungsi dari kecepatan aliran, luas permukaan aliran sungai dan satuan waktu, hal tersebut berarti bahwa dengan kecepatan air yang meningkat berbanding lurus dengan debit air. Kecepatan aliran sungai merupakan fungsi dari banyaknya sedimen yang dapat diangkut dalam aliran air tersebut, kecepatan semakin tinggi maka sedimen yang terangkut semakin banyak, dan terendapkan pada tempat yang lebih jauh. Debit air Sungai Sangon II tergantung pada musim, pada musim penghujan dapat dipastikan memiliki debit lebih besar dari musim kemarau, sehingga jumlah dan kecepatan aliran sungai tersebut juga berubah–ubah menurut waktu, hal tersebut juga menyebabkan pengendapan Merkuri pada sedimen sungai dapat berubah–ubah menurut waktu.

Ditinjau dari elevasi sumur gali dan sungai, maka elevasi sumur berada di bawah elevasi sungai pada ketinggian topografi yang sama. Elevasi sumur berada 4-5 m di bawah elevasi sungai. Jika dilihat dari data kandungan Merkuri yang terdapat di air sungai (Lihat Tabel IV.5. Bab IV) dan air tanah (Lihat Tabel IV.2. Bab IV), maka dapat disimpulkan bahwa kandungan Merkuri dalam air tanah tidak dipengaruhi oleh air sungai, karena kandungan Merkuri dalam air sungai tidak terdeteksi sampai batas deteksi alat (0,00006 mg/L). Dengan demikian, meskipun kekar-kekar yang terdapat pada daerah tersebut dapat saling berhubungan, tetapi kandungan Merkuri yang terdapat dalam air tanah tidak berasal dari air sungai, karena dalam air sungai tidak terdeteksi adanya Merkuri.

Berdasarkan data–data penelitian yang didapatkan pada penelitian ini dan dibandingkan dengan data–data penelitian sebelumnya, Merkuri di daerah penelitian terdapat pada sedimen sungai dan air tanah. Berdasarkan perbandingan data–data penelitian, yang perlu mendapatkan perhatian adalah terjadinya peningkatan pada kandungan Merkuri dalam air tanah di Dusun Sangon II, meskipun jumlah peningkatan tidak berarti dan jauh dibawah baku mutu, tetapi terjadinya peningkatan kandungan Merkuri dalam air tanah merupakan hal yang dapat menjadi suatu indikasi berbahaya, karena air tanah di daerah tersebut untuk kebutuhan konsumsi sehari–hari.

5.8. Pengaruh Topografi Dan Jarak Sumber Pencemar Terhadap Proses Penyebaran Merkuri Pada Sedimen Sungai Dan Air Tanah

Topografi memiliki kontrol terhadap proses penyebaran Merkuri pada sedimen sungai. Hal tersebut ditunjukkan dengan hasil uji korelasi dengan nilai r^2 = 0,7123 (Lihat Gambar L.1. Lampiran L), berarti bahwa faktor yang mempengaruhi penyebaran Merkuri pada sedimen dapat dijelaskan sebesar 71,23% oleh adanya topografi, sedangkan faktor lainnya yang tidak dapat dijelaskan oleh model persamaan sebesar 28,77% disebabkan faktor lainnya. Analisis regresi sederhana (Lihat Gambar L.2. Lampiran L), memberikan nilai r = 0,8439673, berarti bahwa topografi memiliki korelasi yang kuat terhadap penyebaran Merkuri pada sedimen sungai. Nilai *significance* F = 0,016950804, nilai *significance* F < 0,05, berarti maka topografi memiliki pengaruh terhadap penyebaran Merkuri pada sedimen sungai. Nilai P- *value* = 0,0052193, nilai P-*value*/ *sig*-t < 0,05, berarti topografi memiliki pengaruh terhadap penyebaran Merkuri pada sedimen sungai.

Jarak sumber pencemar tidak memiliki pengaruh yang kuat terhadap penyebaran Merkuri pada sedimen sungai. Hasil uji korelasi nilai r^2 = 0,2211 (Lihat Gambar M.1. Lampiran M), berarti penyebaran Merkuri pada sedimen sungai dapat dijelaskan oleh faktor jarak dari sumber pencemar hanya sebesar 22,11%, sisanya 77,89% disebabkan faktor lain yang tidak dapat dijelaskan. Analisis regresi linear (Lihat Gambar M.2. Lampiran M), nilai r = 0,470205603 menunjukkan bahwa,

jarak dari sumber pencemar memiliki korelasi moderat terhadap penyebaran Merkuri dalam sedimen sungai. Nilai *significance* F = 0,286988578 > 0,05, menunjukkan jarak dari sumber pencemar tidak berpengaruh terhadap penyebaran Merkuri pada sedimen sungai. Nilai P-*value*/*sig*-t = 0,968247 > 0,05, menunjukkan bahwa jarak dari sumber pencemar tidak berpengaruh terhadap penyebaran Merkuri pada sedimen sungai.

Jarak dari sumber pencemar memiliki kontrol terhadap proses penyebaran Merkuri pada air tanah. Hal tersebut ditunjukkan dengan hasil uji korelasi dengan nilai r^2 = 0,9982 (Lihat Gambar N.1. Lampiran N), berarti bahwa faktor yang mempengaruhi penyebaran Merkuri pada air tanah dapat dijelaskan sebesar 99,82% oleh jarak dari sumber pencemar, sedangkan faktor lainnya yang tidak dapat dijelaskan oleh model persamaan sebesar 0,18% disebabkan faktor lainnya. Analisis regresi sederhana (Lihat Gambar N.2. Lampiran N), memberikan nilai r = 0,999084424, berarti bahwa jarak dari sumber pencemar memiliki korelasi yang kuat terhadap penyebaran Merkuri pada air tanah. Nilai *significance* F = 0,02724429, nilai *significance* F < 0,05, berarti maka jarak dari sumber pencemar memiliki pengaruh terhadap penyebaran Merkuri pada air tanah. Nilai P-*value* = 0,016387639, nilai P-*value*/ *sig*-t < 0,05, berarti jarak memiliki pengaruh terhadap penyebaran Merkuri pada air tanah.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan pada bab–bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Topografi merupakan kontrol yang besar terhadap penyebaran Merkuri pada sedimen sungai, dimana semakin besar kemiringan topografi maka jumlah kandungan Merkuri yang mengendap pada sedimen sungai akan semakin kecil.
2. Jarak tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses penyebaran jumlah kandungan Merkuri pada sedimen sungai, dimana tidak terdapat korelasi yang kuat antara jarak dari sumber pencemar dengan kandungan Merkuri pada jarak tertentu dari sumber pencemar pada sedimen sungai.
3. Jarak dari sumber pencemar memiliki pengaruh yang kuat terhadap kandungan Merkuri dalam air tanah, dimana semakin jauh dari sumber pencemar maka kandungan Merkuri akan semakin kecil dan terjadi penurunan kualitas air tanah di daerah tersebut.
4. Sumber keterdapatan Merkuri dalam sedimen sungai dipengaruhi oleh Merkuri yang terdapat dalam bijih Emas dan Merkuri yang digunakan sebagai pengikat butiran Emas dalam proses pengolahan Amalgamasi, sedangkan sumber keterdapatan Merkuri dalam air tanah lebih dipengaruhi oleh proses biogeokimia yang melibatkan reaksi kimia kompleks secara alami antara air sebagai pelarut Merkuri dengan susunan kimia batuan yang mengandung sulfida dengan Merkuri yang terdapat pada bijih.

6.2. Saran

Saran–saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk melengkapi hasil penelitian ini untuk menguji bentuk Merkuri yang terdapat dalam sedimen sungai dan air tanah.

2. Perlu dilakukan penelitian mengenai susunan kimia batuan/lapisan batuan daerah penelitian ini, yang menjadi pembawa air tanah, sehingga dapat diketahui apakah terdapat pengaruh susunan kimia batuan tersebut terhadap keberadaan Merkuri dalam air tanah.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai kandungan Merkuri dalam sedimen di dalam sumur gali.
4. Perlu dilakukan penelitian mengenai kondisi hidrogeologi dan massa batuan penyusun daerah penelitian.
5. Peran pemerintah untuk menginformasikan hasil–hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti dalam rangka mengurangi dampak penggunaaan Merkuri, karena masyarakat mengolah bijih Emas berdasarkan pengalaman dan pengetahuan mereka yang terbatas mengenai bahaya Merkuri.

DAFTAR PUSTAKA

Alpers, Charles N., Hunerlach, Michael P., 2000, *Mercury Contamination from Historic Gold Mining in California*, USGS Fact Sheet FS-061-00, U.S. Geological Survey, Page 5.

Appel, Peter, W. U., Na-Oy, Leoncio., 2012, *The Borax Method Of Gold Extraction For Small-Scale Miners*, Blacksmith Institute Journal of Health & Pollution Vol. 2, No. 3 – June 2012, Page 6-7.

Appelo, C.A.J., Postma, D., 1993, *Geochemistry, Groundwater And Pollution*, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, Page 1, 7, 27, 62.

Anshori, Chusni., Hastria, Defry., 2013, *Studi Alterasi Dan Mineralisasi Di Sekitar Gunung Agung Kabupaten Kulonprogo – Purworejo*, Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangsambung LIPI – Kebumen, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 8 Nomor 2 – 2013.

Darmono., 2010, *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Logam*, Penerbit Universitas Indonesia, Hal 79 – 85, 148 – 150.

Djuangsih, N., Benito, A. K. dan Salim, H., 1982, *Aspek Toksikologi Lingkungan, Laporan Analisis Dampak Lingkungan*, Lembaga Ekologi, Universitas Padjajaran, Bandung.

Djuwansah, M. Rachman., dkk., 2009, *Pencemaran Air Permukaan Dan Air Tanah Dangkal Di Hilir Kota Cianjur*, Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan Jilid 19 No. 2 (2009), 109 – 121, Hal. 112.

Effendi, Hefni., 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber daya Dan Lingkungan Perairan*, Penerbit P.T. Kanisius, Yogyakarta, Hal 42 – 47, 94 – 97, 179 – 182, 195 – 198.

Fetter, C.W., 2001, *Applied Hydrogeology*, University of Wisconsin-Oskosh, 4th Edition, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, United States of America, ISBN 0-13-088239-9, Page 400, 416, 423.

Fahmi, Fraga Luzmi., Budianta, Wawan., Idrus, Arifudin., 2014, *Dampak Pencemaran Merkuri Terhadap Media Geologi Pada Pertambangan Rakyat di Banyumas, Jawa Tengah*, Prosiding Seminar Nasional

Kebumian Ke-7, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, 30 – 31 Oktober 2014, Yogyakarta.

Gunradi, Rudy., 2011, *Penelitian Geologi Medis di Daerah Cisoka, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten*, Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2011, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Harjanto, Agus., 2011, *Petrologi Dan Geokimia Batuan Volkanik Di Daerah Kulonprogo Dan Sekitarnya Daerah Istimewa Yogyakarta*, Teknik Geologi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jurnal Ilmiah MTG. Vol. 4, No. 1, Januari 2011.

Herlambang, Ari., 2006, *Pencemaran Air Dan Strategi Penanggulangannya, Peneliti Pusat Teknologi Lingkungan*, BPPT, JAI Vol. 2, No. 1, 2006. Hal 16 – 29.

Herman, Danny Zulkifli., 2006, *Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) Dari Sisa Pengolahan Bijih Logam*, Pusat Sumber Daya Geologi, Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 1, No. 1, Maret 2006, Hal 31 – 36.

Herry Poernomo, Rahardjo, Tri Suyatno., 2005, *Reduksi Merkuri Dalam Air Limbah Penambangan Emas Dengan Zeolit Dan Secara Pengenapan*, Prosiding PPI-PDIPTN 2005, Puslitbang Teknologi Maju – BATAN, Yogyakarta.

Hilamuhu, Fendrawati., Kandowangko, Y. Novri., Baderan, W. K. Dewi., 2014, *Kandungan Merkuri (Hg) pada Tumbuhan di Kawasan Penambangan Emas Desa Ilangata Kecamatan Anggrek* Kabupaten Gorontalo Utara, Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Gorontalo.

Huheey, J.E., Keiter, E.A., Keiter, R.L. , 1993, *Inorganic Chemistry Principle of Structure and Reactivity 4th edition*, Harper Collins College Publisher: New York, Page 106.

Husodo, Adi Heru KRT, Sarwono, Djoko R., Suhardini, Sri Mukti., Wijonarko, Didik., Siran., Mardani, Tri., Iskandar, Gamal., Kasjono, Heru Subaris., Supriadi, Taviv., (2005), *Kontaminasi Merkuri di Kalangan Pekerja Yogyakarta Kasus Penambangan Emas di Kulonprogo*, Jurnal LPPM Universitas Gadjah Mada, ISSN : 1693-1033.

Hutagalung, Horas, P., 1985, *Raksa (Hg)*, Oseana, Volume X, Nomor 3 : 93-105, Pusat Penelitian Ekologi Laut, Lembaga Oseanologi Nasional, LIPI, Jakarta, Hal 93-105.

Isjudarto, A., 2009, *Hubungan Tektonik Pembentukan Kubah Kulonprogo Dengan Terdapatnya Endapan Mineral Logam Di Daerah Kokap Kulonprogo*,

Prosiding Seminar Nasional Ke- 4 Tahun 2009, Rekayasa Teknologi Dan Informasi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta. Hal 205 – 211.

Kitong, Melin T., Abidjulu, Jemmy., Koleangan, Harry S. J., (2012), *Analisis Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di Sedimen Sungai Ranoyapo Kecamatan Amurang Sulawesi Utara*, Jurnal MIPA UNSRAT online 1 (1) 16-19, hhtp://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo, FMIPA UNSRAT, Manado.

Klein, C. & Hurbult, C.S. , 1985, *Manual of Mineralogy 20th edition*, John Willey & Sons Inc, New York, United States of America.

Kodoatie, Robert J., 2013, *Rekayasa Dan Manajemen Banjir Kota*, Penerbit ANDI, Yogyakarta, Hal 100, 124 dan 130.

Kusumawati, Trisna., 2012, *Kajian Degradasi Air Tanah Dangkal Akibat Air Lindi (Leachate) Di Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir Putri Cempo Surakarta*, Tesis, Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Hal 28.

Listyani R. A. T., 2009, *Hidrokimia Dan Geologi Air Panas Daerah Parang Wedang, Kabupaten Bantul, Yogyakarta*, Prosiding Seminar Nasional Ke- 4 Tahun 2009, Rekayasa Teknologi Dan Informasi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta, Hal 162.

Lottermoser, Bernd G., 2010, *Mine Waste Characterization, Treatment And Enviromental Impacts, 3rd Edition*, Springer, *Page* 22.

Lovitz, Sara Beth., 2006, *Scales Of Responsible Gold Mining Overcoming Barriers To Cleaner Artisanal Mining In Southern Ecuador*, Thesis, The Degree of Master of Science Specializing in Natural Resource Planning, The Faculty of the Graduate College of The University of Vermont, United States of America, Page 10.

Macdonald, Eoin H., 2007, *Handbook of Gold Exploration and Evaluation*, Woodhead Publishing Limited, England, Page 5-6, 10-11.

Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M. T., 1997, *A Review Of Gold Particle – Size And Recovery Methods*, Technical Report WC/97/14, Overseas Geology Series, British Geological Survey, United Kingdom, Page 1 – 34.

Nemerow, Nelson L., 1991, *Stream, Lake, Estuary And Ocean Pollution*, Second Edition, Environmental Engineering Series, VAN NOSTRAND REINHOLD, New York, United States of America, ISBN 0-442-00767-1, Page 75.

Nriagu, Jerome. O., 1994, *Mercury Pollution From The Past Mining Of Gold And Silver In The Americas*, Department of Environment and Industrial

Health, School of Public Health, The University of Michigan, United States of America, The Science of The Total Environment 149 (1994) 167 – 181, Page 177.

Prodjosantoso, A. K., P, Regina Tutik., 2011, *Kimia Lingkungan (Teori, Eksperimen Dan Aplikas*i, Universitas Negeri Yogyakarta, Penerbit Kanisius, Yogyakarta, Hal 51 - 87.

Purnamawati, Dwi Endah., Tapilatu, Stiwinder Renata., 2012, *Genesa Dan Kelimpahan Mineral Logam Emas Dan Asosiasinya Berdasarkan Analisis Petrografi Dan Atomic Absorbsion Spectrophotometry (AAS) Di Daerah Sangon Kabupaten Kulonprogo Propinsi DIY*, Jurnal Teknologi, Volume 5 Nomor 2, Desember 2012.

Purnawan, Sandi., Sikanna, Rismawati., Prismawiryanti., 2013, *Distribusi Logam Merkuri pada Sedimen Laut di Sekitar Muara Sungai Poboya*, Online Jurnal of Natural Science, Vol. 2 (1) : 18 -24, Maret 2013, ISSN : 2338-0950.

Rahardjo, Wartono., Sukandarrumidi., Rosidi , H. M. D., 1977, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.

Raju, K. G. Ranga., 1986, *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, Alih Bahasa : Yan Piter Pangaribuan B.E (Civil)., M. Eng., Penerbit Erlangga, Jakarta, Hal 3 dan 4.

Rianto, Sugeng., Setiani, Onny., Budiyono., 2012, *Analisis Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Keracunan Merkuri Pada Penambangan Emas Tradisional Di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri*, Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia Vol. 11 No. 1/April 2012.

Ridhowati, Sherly., 2013, *Mengenal Pencemaran Logam*, Graha Ilmu, Yogyakarta, Hal Pengantar i - vii.

Rohmana., Kamal, Suharsono., Suhandi., 2006, *Pendataan Penyebaran Unsur Merkuri Pada Wilayah Pertambangan Emas Daerah Gunung Gede, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat*, Kelompok Program dan Penelitian Konservasi, *Proceeding* Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Setiabudi, Bambang Tjahjono., 2005, *Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta*, Subdit Konservasi, Kolokium Hasil Lapangan-DIM, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Silva, Michael., 1986, *Placer Gold Recovery Methods*, Special Publication 87, California Department Of Conservation, Division of Mines And Geology, United States of America, Page 10.

Simange, Silvanus Maxwel., 2015, *Penyebaran Merkuri dan Sianida akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Teluk Kao, Kabupaten Halmahera Utara*, Jurnal Agroforestri X Nomor 2 Juni 2015, ISSN: 1907 - 7556.

Sugianti, Titin., Sudjudi dan Syahri, 2014, *Penyebaran Cemaran Merkuri pada Tanah Sawah Dampak Pengolahan Emas Tradisional di Pulau Lombok NTB*, Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal, ISBN : 979-587-529-9, Palembang 26 – 27 September 2014.

Sukandarrumidi, 2009, *Geologi Mineral Logam*, Gadjah Mada University Press,Yogyakarta.

Suprapto, Sabtanto Joko., 2006, *Sumber Daya Emas Primer Skala Kecil Untuk Pengembangan Wilayah Pertambangan Rakyat Dengan Konsep Custom Mill*, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 1 Nomor 3 – 2006, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung, Hal 5, 7 dan 8.

Suprijanto, Inwiasri., Lubis, Agustina., 1988, *Kandungan Logam Berat Dalam Sumber Air Minum Di DKI Jakarta*, Pusat Penelitian Ekologi Kesehatan, Balitbang Kesehatan, Buletin Penelitian Kesehatan 16 (2) 1988, Hal 24.

Suripin., 2004, *Sistem Drainase Kota Yang Berkelanjutan*, Penerbit ANDI, Yogyakarta, Hal 121 – 123.

Suryono, Sugeng S., Amijaya, Hendra D., 2017, *Sedimentologi*, Gadjah Mada University Press, ISBN-13 : 978-979-420-904-2 Hal 28 – 29.

Suyono, Agus., 2011, *Dampak Penggunaan Hg Pada Penambangan Emas Rakyat Terhadap Lingkungan (Studi Kasus Di Desa Sangon Kelurahan Kalirejo Kecamatan Kokap Kabupaten Kulonprogo Provinsi DIY*, Skripsi, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan "Veteran" Yogyakarta, Yogyakarta.

Triatmodjo, Bambang., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset Yogyakarta, ISBN : 978-979-8541-40-7, Hal. 10.

Wardiyatun, Siti. dan Hartini, Eko., 2009, *Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Kadar Merkuri dalam Urine pada Pekerja Tambang Emas di Desa Rengas Tujuh Kecamatan Tumbang Titi Kabupaten Ketapang Kalimantan Barat*, Jurnal Visikes Vol. 8/ No. 2/ September 2009.

Widagdo, Asmoro., dkk., 2016, *Kajian Pendahuluan Kontrol Struktur Geologi Terhadap Sebaran Batuan-Batuan Di daerah Pegunungan Kulonprogo – Yogyakarta*, Proceeding, Seminar Nasional Kebumian Ke- 9, Peran Penelitian Ilmu Kebumian Dalam Pemberdayaan Masyarakat, 6 – 7 Oktober 2016, Grha Sabha Pramana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Widhiyatna, Denni., Tjahjono, Bambang., Gunrady, Rudy.,2005, *Pendataan Sebaran Merkuri di Daerah Cineam, Kab. Tasikmalaya dan Sangon, Kab. Kulonprogo, DI Yogyakarta*, Subdit Konservasi, Kolokium Hasil Lapangan – DIM 2005, Pusat Sumberdaya Geologi, Bandung.

Widhiyatna, Denni.,, Hutamadi, R., Ahdiat, Asep., 2006, *Pendataan Penyebaran Merkuri Pada Wilayah Pertambangan Di Daerah Selogiri Kab. Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah*, Laporan Pendataan Penyebaran Unsur Merkuri Pada Wilayah Pertambangan Selogiri Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah, Pusat Sumberdaya Geologi, Bandung.

Widodo., 2008, *Pengaruh Perlakuan Amalgamasi Terhadap Tingkat Perolehan Emas Dan Kehilangan Merkuri*, UPT Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon – LIPI, Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan Jilid 18 No. I (2008), Hal 47 -53.

Widodo., 2008, *Pencemaran Air Raksa (Hg) Sebagai Dampak Pengolahan Bijih Emas Di Sungai Cilinggunung Waluran Kabupaten Sukabumi*, Jurnal Geologi Indonesia Vol. 3 No. 3 September 2008 : 139 – 149.

Widodo, Aminuddin., 2011, *Upaya Peningkatan Perolehan Emas Dengan Metode Amalgamasi Tidak Langsung (Studi Kasus : Pertambangan Rakyat Desa Waluran Kecamatan Waluran Kabupaten Sukabumi)*, Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI, Bandung.

Widiyanto, Agnes Fitria., Yuniarno, Saudin., Kuswanto., 2015, *Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri Dan Limbah Rumah Tangga*, Jurnal Kesehatan Masyarakat, Universitas Negeri Semarang, ISSN 1858 – 1196, Hal 246 – 254.

Wirawan, Nata., 2016., *Cara Mudah Memahami Statistika Ekonomi Dan Bisnis (Statistika Deskriptif)*, Penerbit Keraras Emas, Denpasar, Bali, ISBN : 979-99456-2-3, Hal. 224 – 247).

Yorhanita, Frista., 2001, *Zonasi Potensi Pencemaran Air Tanah Pada Teras Sungai Code Yogyakarta*, Manusia Dan Lingkungan, Vol VIII, No. 2 Agustus 2001, Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Hal 61 – 69.

Zulfikah., Basir, Muhammad., Isrun., 2014, *Konsentrasi Merkuri (Hg) dalam Tanah dan Jaringan Tanaman Kangkung (Ipomoea reptan) yang diberi Bokashi Kirinyu (Chromonela odorata L.) pada Limbah Tailing Penambangan Emas Poboya* Kota Palu, e-J Agrotebis 2 (6) : 587-595, Desember 2014, ISSN : 2338 – 3011.

"----------", 2017, *Data Curah Hujan Harian (Milimeter) Stasiun BPP Kokap/Selo Timur*, Nomor : KT.401/SMN/XII/2017, Badan Meteorologi, Klimatologi Dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Klas IV Mlati, Yogyakarta.

"----------", 1992, *Pedoman Drainase Jalan Raya, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, Penerjemah : Ir Sutanto, M.Sc., Pendamping : Ir. Sidharta Kamarwan, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, Hal 237 – 241.

"----------", *Tata Cara Pengambilan Contoh Agregat,* SNI 03-6889-2002, Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

"----------", *Air dan Air Limbah - Bagian 57 : Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan Dan Air Limbah*, SNI 6989.57: 2008, Badan Standarisasi Nasional Indonesia.

"----------", 2001, *Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001*, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Sekretaris Negara Republik Indonesia, Lembaran Negara Republik Indonesia 1461.

"----------", 2003, *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Status Mutu Air*, Salinan Deputi MENLH Bidang Kebijakan Dan Kelembagaan Lingkungan Hidup

"----------", 2010, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 01 Tahun 2010, tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air*, Deputi MENLH Bidang Penataan Lingkungan.

"----------", 2014, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014*, tentang Baku Mutu Air Limbah, Berita Republik Indonesia No. 1815 Tahun 2014.

"----------", 2017, Laporan Hasil Uji, Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, No. Sertifikat : 013920/01/LPPT/VIII/2017, No. Pengujian : 17070101392, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

"----------", 2017, Laporan Hasil Uji, Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, No. Sertifikat : 01567.a/01/LPPT/VIII/2017, No. Pengujian : 17080101567, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

"----------", 2017, Laporan Hasil Uji, Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, No. Sertifikat : 01567.b/01/LPPT/VIII/2017, No. Pengujian : 17080101567, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

"----------", 2017, Laporan Hasil Uji, Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, No. Sertifikat : 01879/01/LPPT/X/2017, No. Pengujian : 1709101879, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

"----------", 2017, Lembar Kerja Kompilasi Data Laboratorium Pengujian "LPPT" UGM, RDP/5.10.2/LPPT, Tanggal Pengujian 24 Juli 2017, Kode Sampel : 170701011392, Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

"----------", 2017, Lembar Kerja Kompilasi Data Laboratorium Pengujian "LPPT" UGM, RDP/5.10.2/LPPT, Tanggal Pengujian 14 Agustus 2017, Kode Sampel : 17080101567, Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

"----------", 2017, Lembar Kerja Kompilasi Data Laboratorium Pengujian "LPPT" UGM, RDP/5.10.2/LPPT, Tanggal Pengujian 25 September 2017, Kode Sampel : 17090101879, Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Pustaka dari Situs Internet :

Diaz, Elmer., 2000, *Mercury Pollution at Gold Mining Sites in The Amazon Environment,* Principle of Environmental Toxicology, University of Idaho, United States of America, www.academia.edu, diunduh pada 27 Mei 2016, Page 10.

Istiarto., 2014, *Transpor Polutan, Bahan Ajar Kuliah*, www. istiarto.staff.ugm. ac.id/docs/transpol/TS Transpor Polutan 2014.pdf, diunduh pada 17 September 2017.

Wotruba, Hermann., Weithkämper, Lars., 2016, *Technologies for Small Scale Primary Gold Mining Traditional Vs Alternative Processing Methods*, Department of Mineral Processing, RWTH, Aachen University of Technology, Aachen, Germany, CSM ASIA Workshop – ASM technological and sosio cultural issues, diunduh pada 27 Mei 2016, Page 6.

Analisis Curah Hujan Dasarian, Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Stasiun Klimatologi Yogyakarta, http://www.staklimyogya.com/data-iklim, diunduh pada 14 September 2017.

Peta Analisis Curah Hujan, 2017, Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika, http://www.bmkg.go.id/iklim/informasi-hujan-bulanan.bmkg?p=analisis-curah-hujan-dan-sifat-hujan, diunduh pada 14 September 2017.

International Pops Elimination Network, 2009, Pandangan IPEN terhadap Perjanjian Global tentang Merkuri, www.ipen.org, diakses tanggal 19 Mei 2016.

"----------", 2004, Merkuri Dalam Darah Warga Buyat Di Atas Batas Normal, Majalah Tempo, hhtp://www.bisnis.tempo.co.id,diunduh pada 1 November 2017.

"----------", 2012, *Mercury Emissions And Risks*, Idaho Department Of Environmental Quality Waste Water Managemen And Remediation Division, http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=113&tid=24, diunduh pada 3 Maret 2017, Page 1.

"----------", 2015, Peta Wilayah Adiministrasi Daerah Istimewa Yogyakarta, www.dppka.jogjaprov.go.id/peta-diy.html, diunduh 6 November 2017.

"----------", 2017, Metode Uji *Mercury Analyzer Lab* 254, www. lppt.ugm.ac.id, diunduh pada 9 Juli 2017.

L A M P I R A N

LAMPIRAN A

DATA CURAH HUJAN HARIAN STASIUN BPP KOKAP

BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA
STASIUN KLIMATOLOGI KLAS IV MLATI

BMKG

Jl. Kabupaten Km 5.5 Duwet, Sendangadi, Mlati, Sleman, D. I. Yogyakarta
Telp : (0274) 2880151 / 2880152 Fax : (0274) 2880151 Kode Pos : 55285
Email : staklim.yogya@gmail.com

PELAYANAN JASA INFORMASI KLIMATOLOGI

omor : KT.401/ /SMN/XII/2017
ATA CURAH HUJAN HARIAN (MILIMETER)
ama Propinsi : DIY
ama Kabupaten : KULON PROGO
ama Stasiun : BPP KOKAP/SELO TIMUR

Lintang : 07° 52' 23.1" LS
Bujur : 110° 06' 21.4" BT
Tinggi :

hun : 2017

anggal	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	-	35	25	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	61	9	7	-	-	-	4	-	2	-	
3	29	-	3	20	-	-	-	1	-	-	-	
4	-	-	-	10	5	-	-	8	-	-	35	
5	27	-	7	5	-	-	-	-	-	-	6	
6	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-	14	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	
8	25	28	-	4	-	-	3	-	-	-	-	
9	10	2	-	10	-	-	-	-	-	-	4	
10	71	20	-	7	-	-	-	-	-	-	25	
11	2	4	-	5	-	-	-	-	-	-	6	
12	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	4	
13	15	3	4	-	-	-	-	-	-	-	13	
14	-	10	2	-	-	-	-	-	-	-	98	
15	10	25	-	-	-	-	-	-	-	85	20	
16	-	23	5	-	-	-	-	-	-	75	-	
17	45	-	-	-	-	-	-	-	-	19	15	
18	20	-	10	18	-	-	-	-	-	10	-	
19	10	-	36	4	-	-	2	-	-	7	11	
20	5	20	25	12	-	-	-	-	-	7	10	
21	9	10	10	6	-	-	-	-	-	-	10	
22	15	-	2	-	-	-	-	-	-	-	6	
23	4	15	-	2	-	-	-	-	-	-	15	
24	-	10	2	-	-	-	-	-	-	2	17	
25	15	4	31	-	-	-	-	-	3	2	10	
26	7	35	50	17	-	-	-	-	2	4	-	
27	-	25	5	-	-	-	2	-	15	10	4	
28	14	5	-	-	-	-	11	-	31	35	135	
29	10		2	40	6	-	-	-	-	95	202	
30	7		-	10	-	-	-	-	-	5	15	
31	-		-		-		-	-		-		

eterangan : - = Tidak ada hujan.

A.N KEPALA,
KOORDINATOR OPERASIONAL

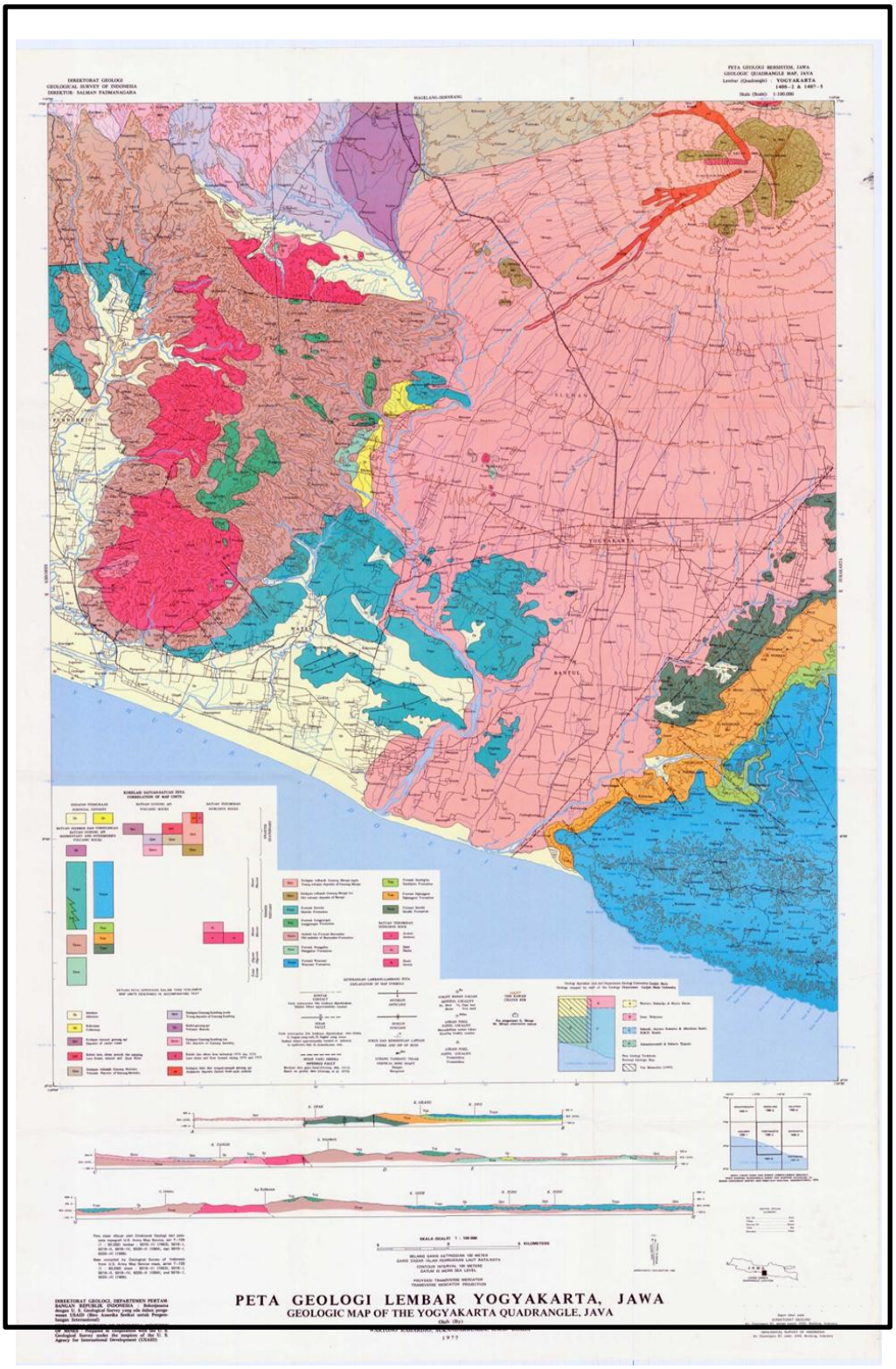
DJOKO BUDIYONO, S.Si, M.Si
NIP. 197106211995031001

Sleman, 6 Desember 2017
PEMBERI INFORMASI

SUTAMSI,SP
NIP. 196702171991021001

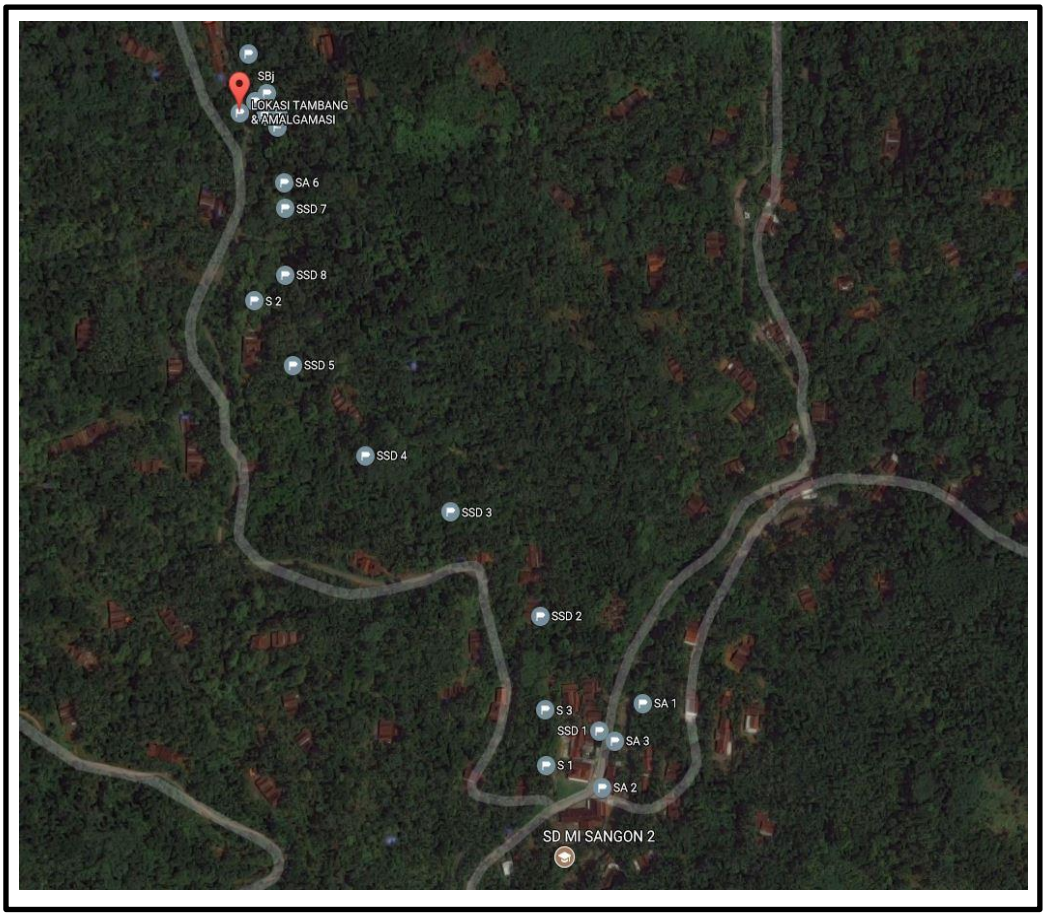
LAMPIRAN B

PETA GEOLOGI LEMBAR YOGYAKARTA



LAMPIRAN C

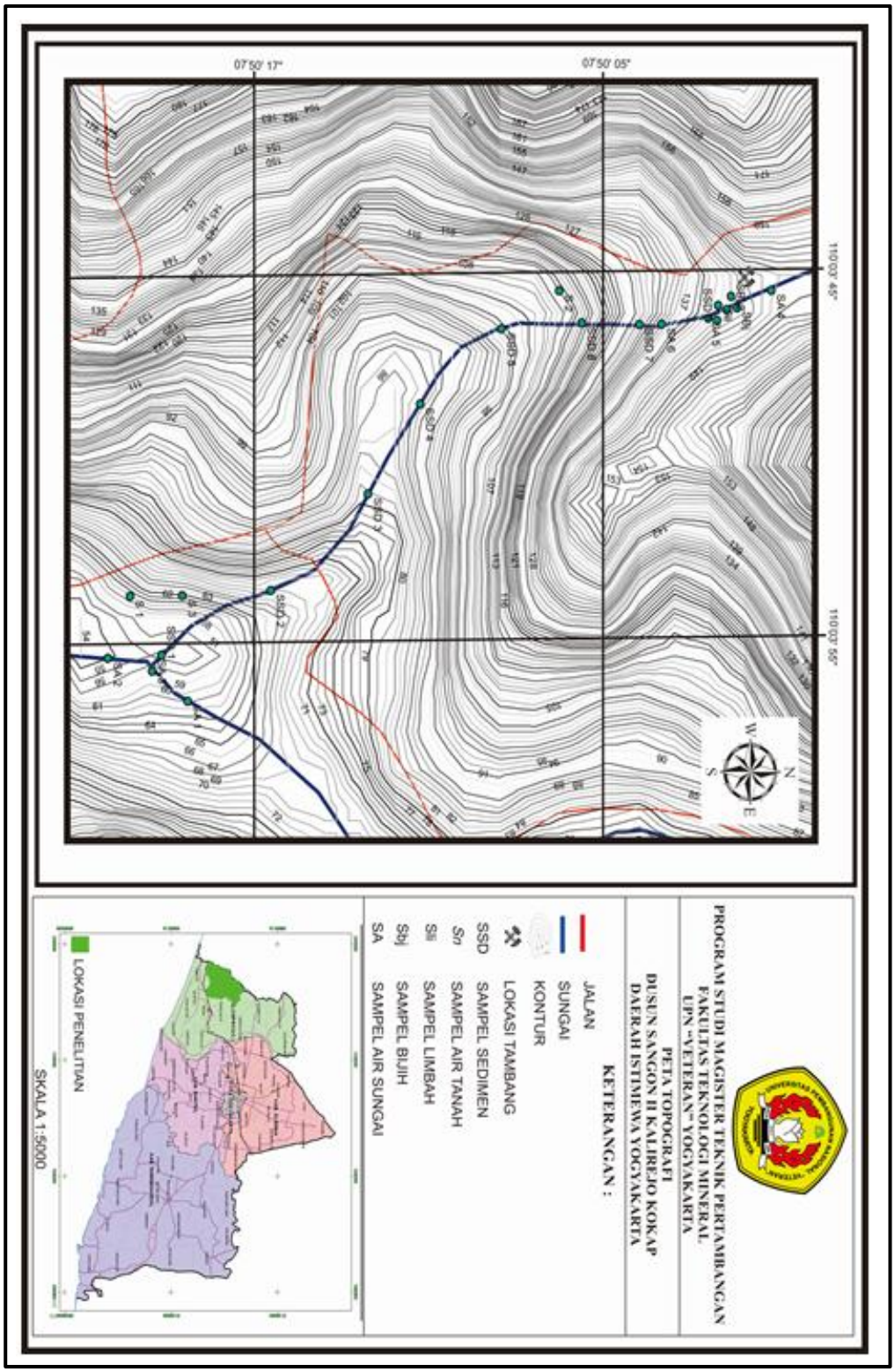
CITRA SATELIT DAERAH PENELITIAN



Sumber : Diolah dengan Google Satelit

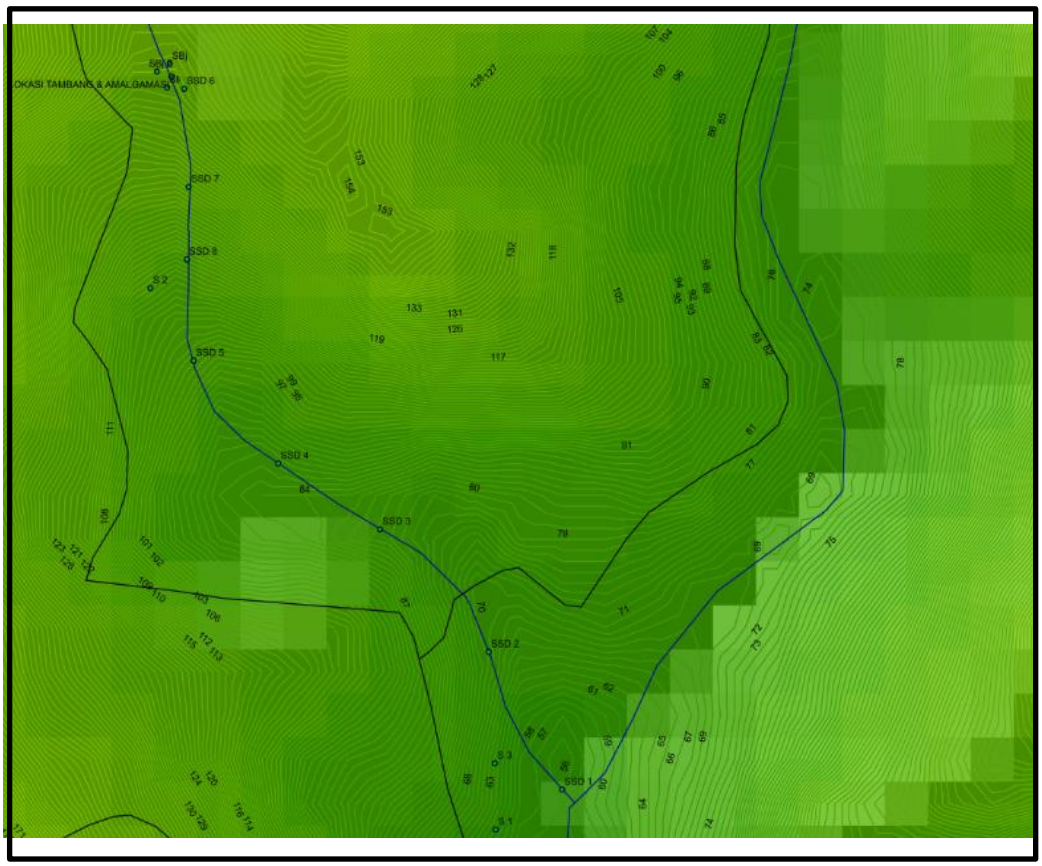
LAMPIRAN D

PETA TOPOGRAFI DAERAH PENELITIAN



LAMPIRAN E

TOPOGRAFI DAN TITIK-TITIK PENGAMBILAN SAMPEL



Sumber : Data diolah dengan ArcGIS 10.3.

LAMPIRAN F
HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM

UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU

RDP/5.10.01/LPPT
Rev. 1
Halaman 1 dari 2

LAPORAN HASIL UJI

No. Sertifikat : 01567.a/01/LPPT/VIII/2017
No. Pengujian : 17080101567

Informasi Customer

Nama : Erry Sumarjono
Alamat : Magister Teknik Pertambangan UPN

Tanggal Penerimaan : 14 Agustus 2017
Tanggal Pengujian : 14 Agustus 2017

Hasil Pengujian

1. Air Permukaan (SA1)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	< 0,06	µg/L	IKU/5.4/MA-01 *Mercury Analyzer*

2. Air Permukaan (SA2)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	< 0,06	µg/L	IKU/5.4/MA-01 *Mercury Analyzer*

3. Air Permukaan (SA3)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	< 0,06	µg/L	IKU/5.4/MA-01 *Mercury Analyzer*

4. Air Permukaan (SA4)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	< 0,06	µg/L	IKU/5.4/MA-01 *Mercury Analyzer*

5. Air Permukaan (SA5)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	< 0,06	µg/L	IKU/5.4/MA-01 *Mercury Analyzer*

6. Air Permukaan (SA6)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	< 0,06	µg/L	IKU/5.4/MA-01 *Mercury Analyzer*

Perhatian :
1. LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan.
2. LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini.
3. LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini.
4. Tidak diperkenankan menggandakan LHU ini tanpa izin dari LPPT UGM

7. Sedimen (SSD6)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,93	mg/kg	*Mercury Analyzer*

8. Sedimen (SSD7)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,44	mg/kg	*Mercury Analyzer*

9. Sedimen (SSD8)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,12	mg/kg	*Mercury Analyzer*

Batas Deteksi (LoD) Hg (Merkuri) = 0,06 µg/L

Yogyakarta, 25 Agustus 2017
Manajer Teknik,

Prof. Dr. Abdul Rohman, M.Si., Apt.
NIP.197701202005011002

Perhatian :
1. LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan.
2. LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini.
3. LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini.
4. Tidak diperkenankan menggandakan LHU ini tanpa izin dari LPPT UGM

UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU

RDP/5.10.01/LPPT
Rev. 1
Halaman 1 dari 2

LAPORAN HASIL UJI

No. Sertifikat : 01567.b/01/LPPT/VIII/2017
No. Pengujian : 17080101567

Informasi Customer

Nama : Erry Sumarjono
Alamat : Magister Teknik Pertambangan UPN

Tanggal Penerimaan : 14 Agustus 2017
Tanggal Pengujian : 14 Agustus 2017

Hasil Pengujian

1. Bijih (SBj)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,28	mg/kg	*Mercury Analyzer*

2. Sedimen (SSD1)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,20	mg/kg	*Mercury Analyzer*

3. Sedimen (SSD2)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	1,96	mg/kg	*Mercury Analyzer*

4. Sedimen (SSD3)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,82	mg/kg	*Mercury Analyzer*

5. Sedimen (SSD4)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,03	mg/kg	*Mercury Analyzer*

6. Sedimen (SSD5)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,07	mg/kg	*Mercury Analyzer*

Perhatian :
1. LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan.
2. LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini.
3. LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini.
4. Tidak diperkenankan menggandakan LHU ini tanpa izin dari LPPT UGM

7. Air Limbah (SLi)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	999,94	µg/L	IKU/5.4/MA-01 *Mercury Analyzer*

Batas Deteksi (LoD) Hg (Merkuri) = 0,06 µg/L

Yogyakarta, 25 Agustus 2017
Manajer Teknik,

Prof. Dr. Abdul Rohman, M.Si., Apt.
NIP.197701202005011002

Perhatian :
1. *LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan.*
2. *LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini.*
3. *LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini.*
4. *Tidak diperkenankan menggandakan LHU ini tanpa izin dari LPPT UGM*

UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU

RDP/5.10.01/LPPT
Rev. 1
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL UJI

No. Sertifikat : 01392/01/LPPT/VIII/2017
No. Pengujian : 17070101392

Informasi Customer

Nama : Erry Sumarjono
Alamat : Teknik Pertambangan STTNAS Yogyakarta

Tanggal Penerimaan : 24 Juli 2017
Tanggal Pengujian : 24 Juli 2017

Hasil Pengujian

1. Air Tanah (S1)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,30	µg/L	*Mercury Analyzer*

2. Air Tanah (S2)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,87	µg/L	*Mercury Analyzer*

3. Air Tanah (S3)

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
Hg (Merkuri)	0,39	µg/L	*Mercury Analyzer*

Yogyakarta, 02 Agustus 2017
Manajer Teknik,

Prof. Dr. Abdul Rohman, M.Si., Apt.
NIP.197701202005011002

Perhatian :
1. LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan.
2. LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini.
3. LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini.
4. Tidak diperkenankan menggandakan LHU ini tanpa izin dari LPPT UGM

	LEMBAR KERJA KOMPILASI DATA LABORATORIUM PENGUJIAN "LPPT-UGM"	RDP/5.10.2/LPPT Rev 1

Nama Sampel	Batuan	No Pengujian	
Kode Sampel	17090101879	Tanggal Diterima	
Tanggal Pengujian	25 September 2017	Tanggal Selesai	4 Oktober 2017
Suhu Ruangan	26	Kelembaban	63
Metode Uji	1. Merkuri Analyzer	2.	
	3.	4.	

No	Kode	Berat Spl (gr)	Vol Akhir (mL)	Hg Baca (µg/Kg)	Hg Akhir (µg/Kg)	**Hg Rata2 (µg/Kg)**
1	Batuan ul1	1,0051	50	3,06	137,7972341	**141,81**
	Batuan ul2	1,0047	50	3,22	145,814671	
2	Blanko			0,29		

A. PEMBUATAN KURVA BAKU DAN PEMBACAAN SAMPEL

1. Pipet 1 mL larutan induk Hg 100 ppm, masukkan dalam labu takar 100 mL, tepatkan dengan aquadest sampai dengan tanda tera (Hg : 1000 ppb)
2. Pipet 1 mL larutan induk Hg 1000 ppb, masukkan dalam labu takar 10 mL, tepatkan dengan aquadest hingga batas tanda tera (Hg : 100 ppb)
3. Buat konsentrasi standar dengan rentang (ppb): 0,5 ; 1,00; 2,50 ; 7,50; 10,00 ; 15,00 ;20,00 dengan cara :
   Pipet masing-masing (mL) 0,05 ; 0,10; 0,25; 0,75; 1,00; 1,50; 2,00 masukan dalam labu takar 10 mL,tepatkan 10 mL dengan aquadest, tuang dalam tabung reaksi + $KMnO_4$ 0,1 mL gojog + Hydroxyl-aminehydrochloride 0,1 mL gojog + 0,5 mL $SnCl_2.2H_2O$.
4. Baca dengan mercury analyzer

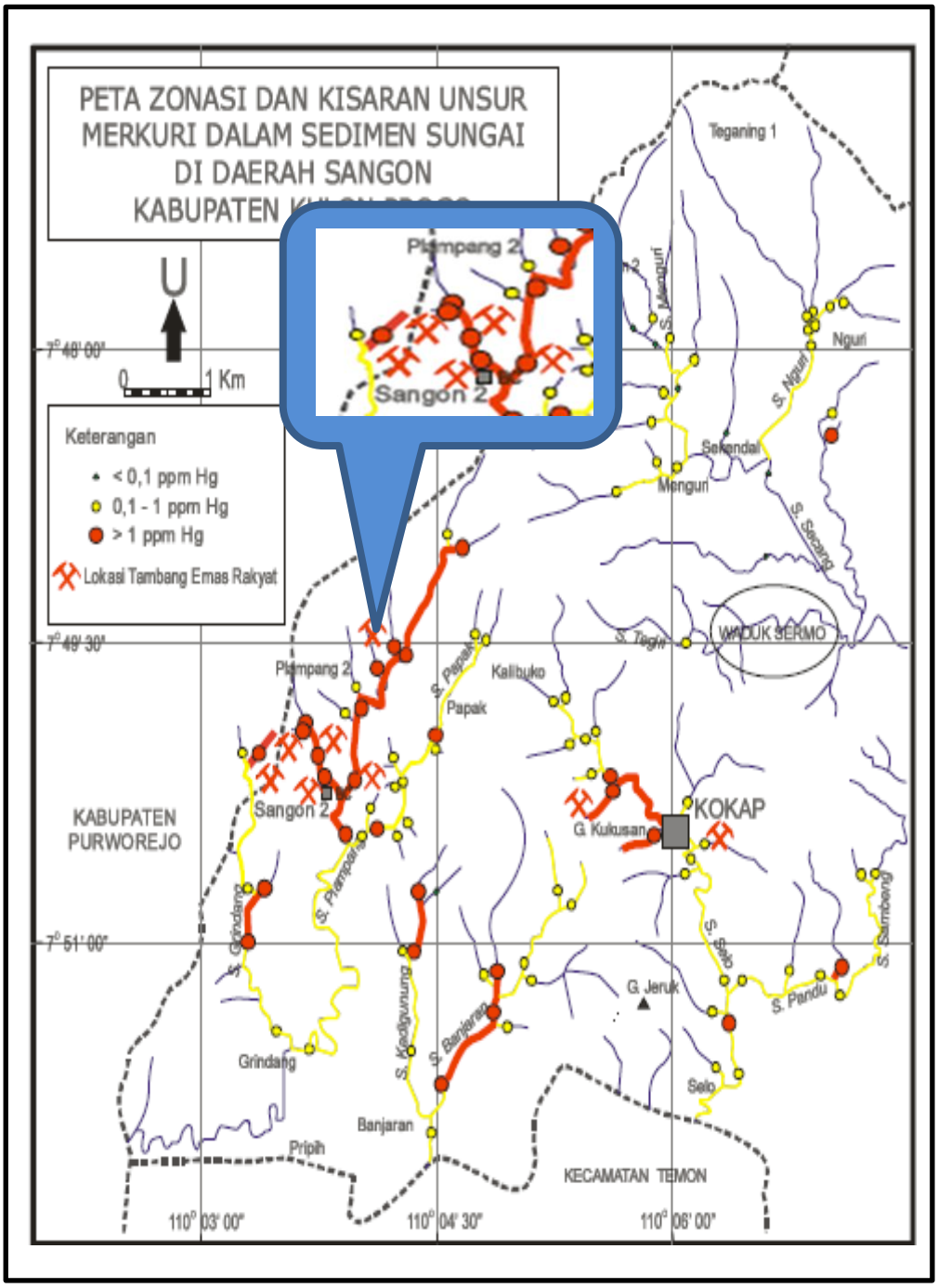
B. PREPARASI SAMPEL

1. Ditimbang dan dimasukkan dalam Erlenmeyer 100 mL
2. Ditambah 10 mL HNO3:$HCLO_4$ (1:1)
3. Dipanaskan diatas hotplate hingga jernih dan keluar asap putih
4. Saring dan tepatkan 50 mL dengan labu takar
5. Buat blanko dengan perlakuan sama tanpa sampel
6. Ambil sampel dengan labu takar 10 mL, dimasukan dalam tabung reaksi
7. Ditambah $KMnO_4$ 0,1 % 0,1 mL gojog + Hydroxylaminehydrochloride 0,1 mL gojog + 0,5 mL $SnCl_2.2\ H_2O$,
8. Baca dengan mercury analyzer
9. Hitung Hg Total dengan rumus :

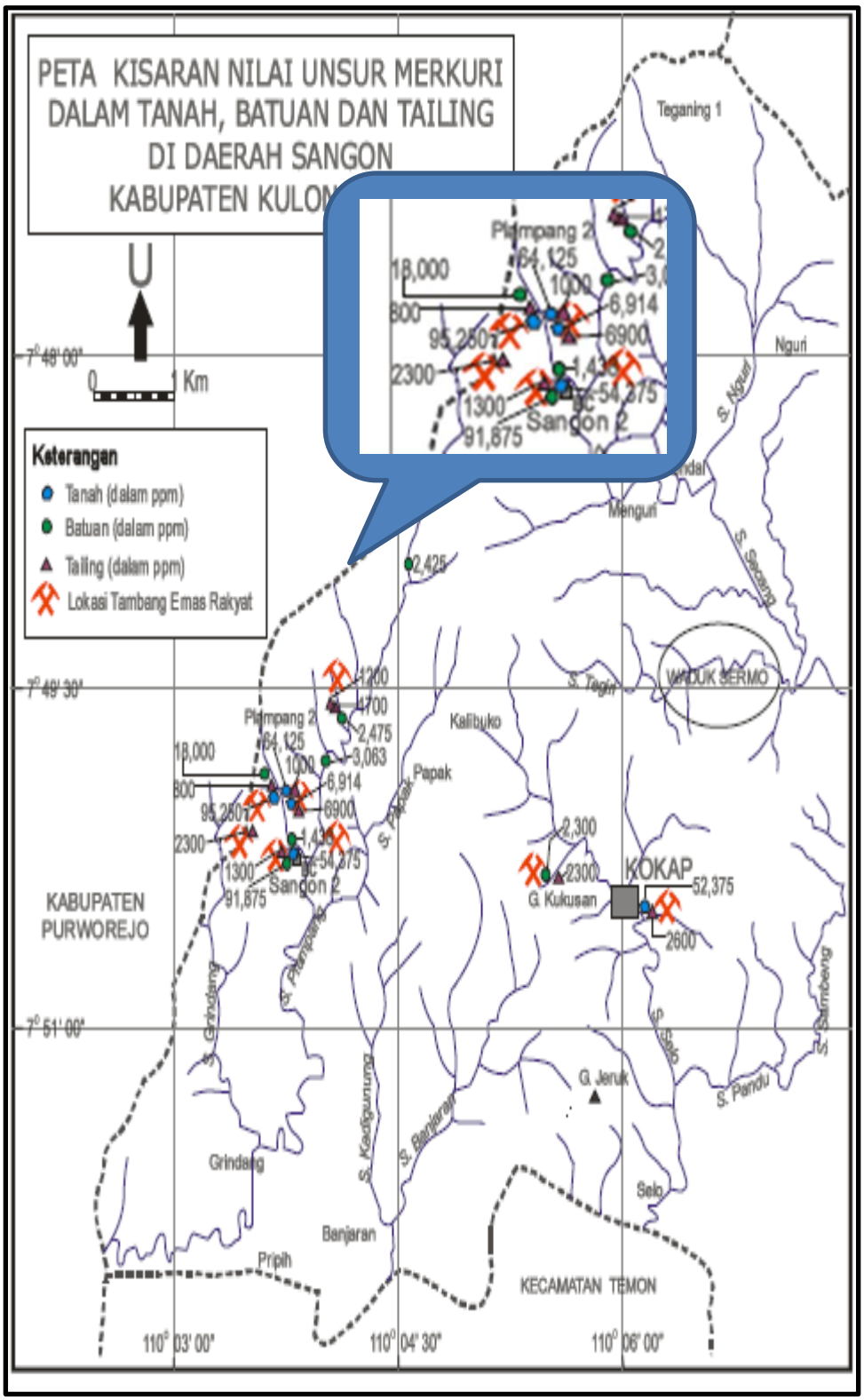
$$\text{Hg Total (ppb)} = \frac{(\text{Hg Baca - Blanko}) \times \text{Volume Akhir} \times \text{Fp}}{\text{Berat sampel}}$$

LAMPIRAN G

PETA ZONASI MERKURI DI SANGON PENELITIAN TAHUN 2005



Sumber : Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005.



Sumber : Setiabudi, Bambang Thahjono., 2005.

LAMPIRAN H

HASIL UJI LABORATORIUM PENELITIAN TAHUN 2010

UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU

DR/5.10.01/LPPT
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL UJI

Nomor : 4424/LPPT-UGM/U/VIII/2010

Laporan hasil pengujian dibuat untuk	:
Nama	: Agus Suyono
Institusi	: Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Yogyakarta
Nomor sampel	: 152-03-006-5978
Nama sampel	: Tanah, air
Jumlah sampel	: 6
Parameter uji	: Hg, pH, TDS, kekeruhan
Metode	: Mercury analyzer, SNI, Konduktometri, Turbidimetri
Tanggal terima sampel	: 11 Agustus 2010
Tanggal pengujian	: 11 Agustus 2010

HASIL UJI

Parameter uji	Hasil			Satuan	Metode
	Tanah I	Tanah II	Tanah III		
Hg	5,59	62,05	20,28	ppm	Mercury analyzer (IKU/5.4/MA-03)

No	Parameter uji	Hasil			Satuan	Metode
		Air I	Air II	Air III		
1	Hg	0,77	0,04	< 0,01	ppb	Mercury analyzer (IKU/5.4/MA-03)
2	pH (T)	7,92 (27,1°C)	7,59 (26,4°C)	7,81 (26,5°C)	-	SNI 06-6989.11-2004
3	TDS (T)	0,354 (28,4°C)	0,565 (28,1°C)	0,415 (28,1°C)	ppm	Konduktometri
4	Kekeruhan	2,959	6,497	2,669	NTU	Turbidimetri (IKU/5.4/AK-13)

Batas deteksi Hg = 0,01 ppb

Yogyakarta, 19 Agustus 2010
Manajer Teknik,

Kepala,

Prof. Sismindari, Apt., SU, Ph.D.

Dr. Tri Joko Raharjo, M.Si.

Hasil pengujian ini berlaku hanya untuk sampel yang diujikan
Tidak diperkenankan untuk menggandakan dokumen ini tanpa seijin LPPT-UGM

Sekip Utara, Jl. Kaliurang Km. 4 Yogyakarta 55281 - Telp. (0274) 545048, 548866 - Fax (0274) 548346
E-mail : lppt_info@mail.ugm.ac.id - Website : www.lppt.ugm.ac.id

Sumber : Suyono, Agus., 2011.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU

DPIS.10.01/LPPT
Rev. 1
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL UJI

Nomor : 4832/LPPT-UGM/U/I/2011

Laporan hasil pengujian dibuat untuk	:
Nama	: Agus Suyono
Institusi	: Teknik Lingkungan / UPN "Veteran" Yogyakarta
Nomor sampel	: 152-03-006-6487
Nama sampel	: Tanah, air sungai
Jumlah sampel	: 3
Parameter uji	: pH, Hg, TDS, kekeruhan
Metode	: SNI, Mercury analyzer, Konduktometri, Turbidimetri
Tanggal terima sampel	: 10 Januari 2011
Tanggal pengujian	: 11 Januari 2011

HASIL UJI

- Sampel : Tanah

Parameter uji	Hasil			Satuan	Metode
	4	5	6		
Hg	6,47	3,69	7,35	ppb	Mercury analyzer (IKU/5.4/MA-03)

- Sampel : Air sungai

No	Parameter uji	Hasil			Satuan	Metode
		4	5	6		
1	pH (T)	8,15 (26,4°C)	8,31 (26,4°C)	8,37 (26,6°C)	-	SNI 06-6989.11-2004
2	Hg	0,09	0,22	0,28	ppb	Mercury analyzer (IKU/5.4/MA-03)
3	TDS (T)	235 (26,7°C)	243 (26,8°C)	253 (27,0°C)	ppm	Konduktometri
4	Kekeruhan	10,86	17,73	12,45	NTU	Turbidimetri (IKU/5.4/AK-13)

Yogyakarta, 24 Januari 2011
Manajer Teknik

Abdul Rohman, M.Si., Apt.

Hasil pengujian ini berlaku hanya untuk sampel yang diujiKan
Tidak diperkenankan untuk menggandakan dokumen ini tanpa seijin LPPT-UGM

Sumber : Suyono, Agus., 2011.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU

RDF.6.10.01/LPPT
Rev. 1
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL UJI

Nomor : 5294/LPPT-UGM/U/V/2011

Laporan hasil pengujian dibuat untuk	:
Nama	: Agus Suyono
Institusi	: Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Yogyakarta
Nomor sampel	: 152-03-005-7179
Nama sampel	: Air tanah
Jumlah sampel	: 5
Parameter uji	: Hg (merkuri)
Metode	: Mercury analyzer (IKU/S.4/MA-03)
Tanggal terima sampel	: 23 Mei 2011
Tanggal pengujian	: 23 Mei 2011

HASIL UJI

No	Kode sampel	Kadar Hg (merkuri)	Satuan
1	I	0,19	ppb
2	II	0,18	ppb
3	III	0,20	ppb
4	IV	0,23	ppb
5	V	0,29	ppb

Yogyakarta, 31 Mei 2011
Manajer Teknik,

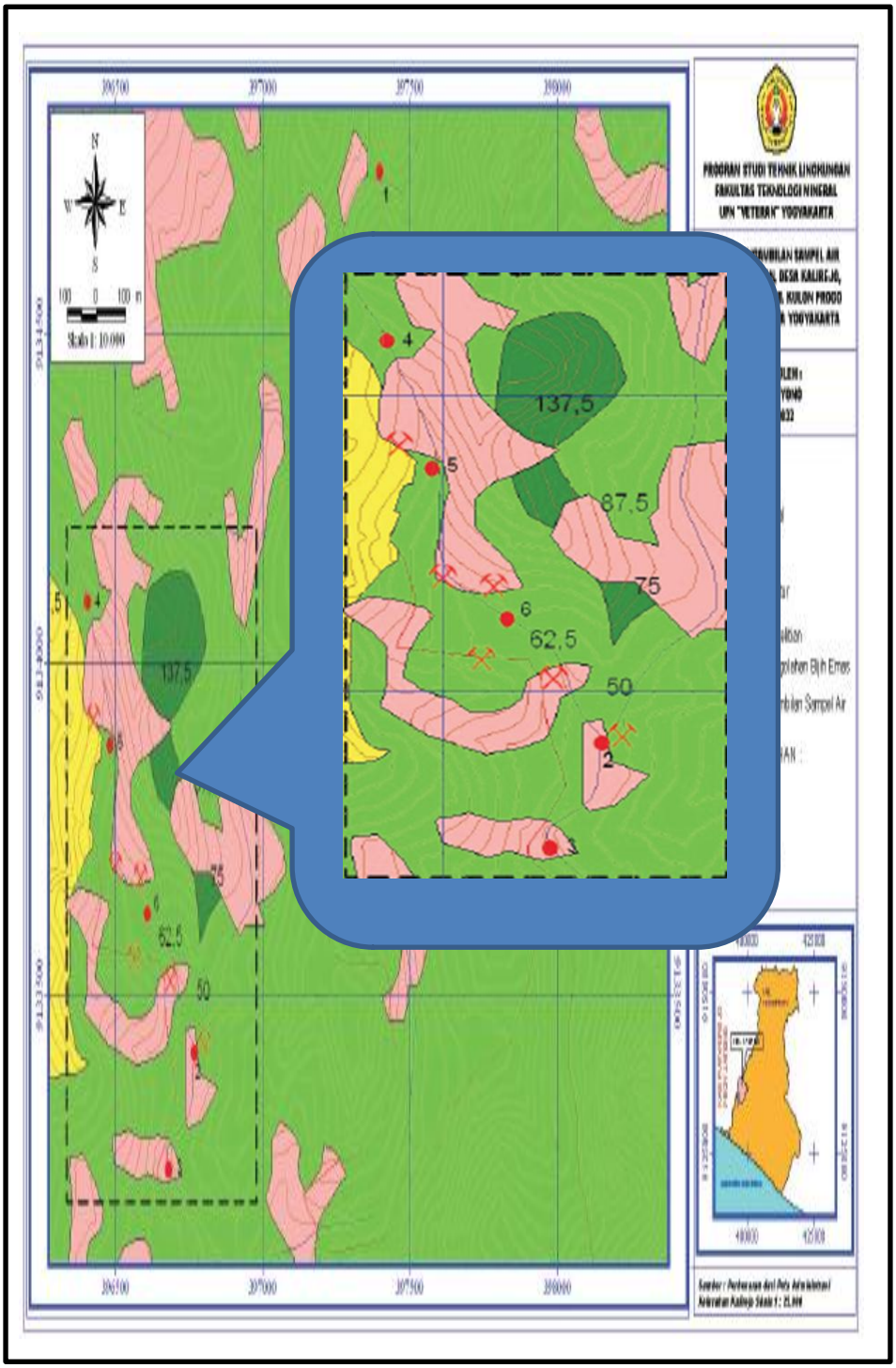
Dr. Abdul Rohman, M.Si., Apt.

Hasil pengujian ini berlaku hanya untuk sampel yang diujikan
Tidak diperkenankan untuk menggandakan dokumen ini tanpa seijin LPPT-UGM

Sumber : Suyono, Agus., 2011.

LAMPIRAN I

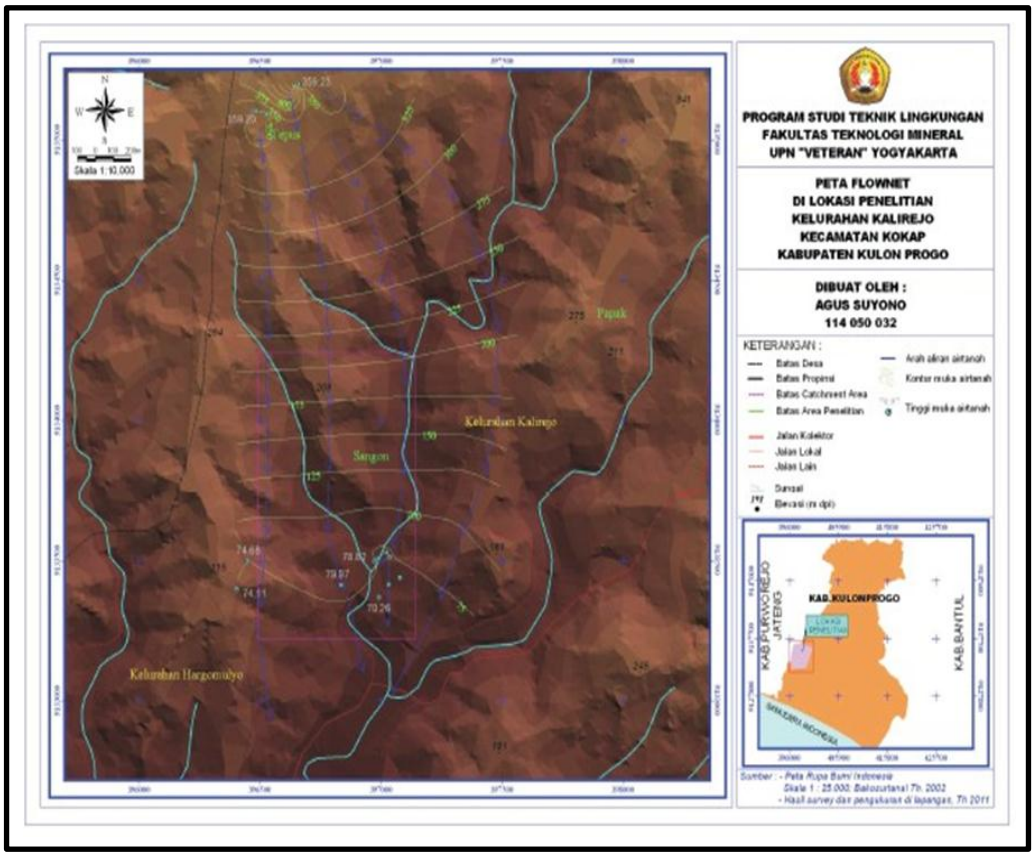
TITIK-TITIK PENGAMBILAN SAMPEL PENELITIAN
TAHUN 2010



Sumber : Suyono, Agus., 2011.

LAMPIRAN J

FLOWNET ALIRAN AIR TANAH



Sumber: Suyono,Agus.,2011.

LAMPIRAN K

PENENTUAN STATUS MUTU AIR TANAH

Penentuan status mutu air dilakukan dengan perhitungan yang didasarkan pada Metode Indeks Pencemaran yang terdapat pada Lampiran II Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003. Klasifikasi mutu air untuk air tanah pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan perhitungan Metode Indeks Pencemaran (IP_j), karena dengan metode tersebut dapat dihitung berdasarkan parameter merkuri dalam air tanah. Data-data sampel air tanah dari hasil uji laboratorium sesuai dengan titik lokasi geografis (Lihat Tabel 4.2.), adalah : S 1 = 0,00030 mg/L, S2 = 0,00087 mg/L, S3 = 0,00039 mg/L.

Perhitungan berdasarkan rumus Metode Indeks Pencemaran (IP_j) di bawah ini :

Diketahui :

S 1 = C_1 = 0,00030 mg/L, S 2 = C_2 = 0,00087 mg/L, S 3 = C_3 = 0,00039 mg/L, dengan Baku Mutu sesuai Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, untuk peruntukan kelas I (L_{1j}, L_{2j}, L_{3j}) = 0,001 mg/L.

Ditanya : Perhitungan Indeks Pencemaran (IP_j) ?

Jawab :

Perhitungan $\frac{Ci}{Lij}$ tiap-tiap sampel :

- Sampel S 1 = $\frac{C1}{L1j} = \frac{0,00030}{0,001}$ = 0,3
- Sampel S 2 = $\frac{C2}{L2j} = \frac{0,00087}{0,001}$ = 0,87
- Sampel S 3 = $\frac{C3}{L3j} = \frac{0,00039}{0,001}$ = 0,39

Perhitungan nilai rata-rata $\frac{Ci}{Lij}$ dan nilai maksimal $\frac{Ci}{Lij}$ adalah :

Nilai rata-rata $(\frac{Ci}{Lij})_R = \frac{0,3+0,87+0,39}{3}$ = 0,52, Nilai maksimum $(\frac{Ci}{Lij})_M$ = 0,87

Perhitungan Indeks Pencemaran (IP_j) =

$$IP_j = \sqrt{\frac{\left(\frac{Ci}{Lij}\right) M^2 + (\frac{Ci}{Lij}) R^{\,2}}{2}}$$

$$IP_j = \sqrt{\frac{(0{,}87)^2 + (0{,}52)^{\,2}}{2}}$$

$$IP_j = \sqrt{\frac{(0{,}7569) \quad + (0{,}2704)}{2}}$$

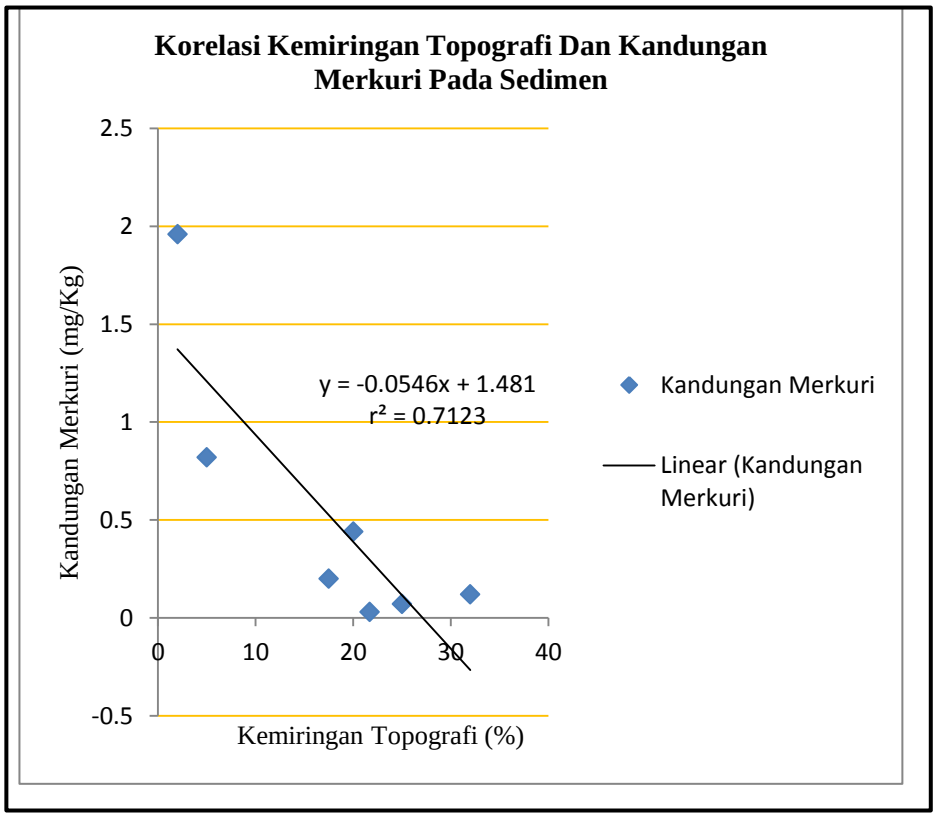
IP_j = 0,717 (dengan pembulatan 3 angka di belakang koma)

Maka, **Nilai Indeks Pencemaran (IP_j) air tanah adalah 0,717**.

LAMPIRAN L

KORELASI DAN REGRESI KEMIRINGAN TOPOGRAFI DAN KANDUNGAN MERKURI PADA SEDIMEN SUNGAI

Grafik korelasi kemiringan topografi aliran sungai dengan kandungan Merkuri dalam sedimen sungai dapat dilihat pada Gambar L.1.



Gambar L.1.
Grafik korelasi Kemiringan Topografi Dan Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai

Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan Y = - 0,0546 X + 1,481, dengan r^2 = 0,7123, sedangkan regresi linear antara kemiringan topografi dan kandungan Merkuri dapat dilihat pada Gambar L.2.

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.8439673
R Square	0.7122808
Adjusted R Square	0.65473696
Standard Error	0.40674137
Observations	7

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	2.047807299	2.047807	12.378055	0.016950804
Residual	5	0.827192701	0.165439		
Total	6	2.875			

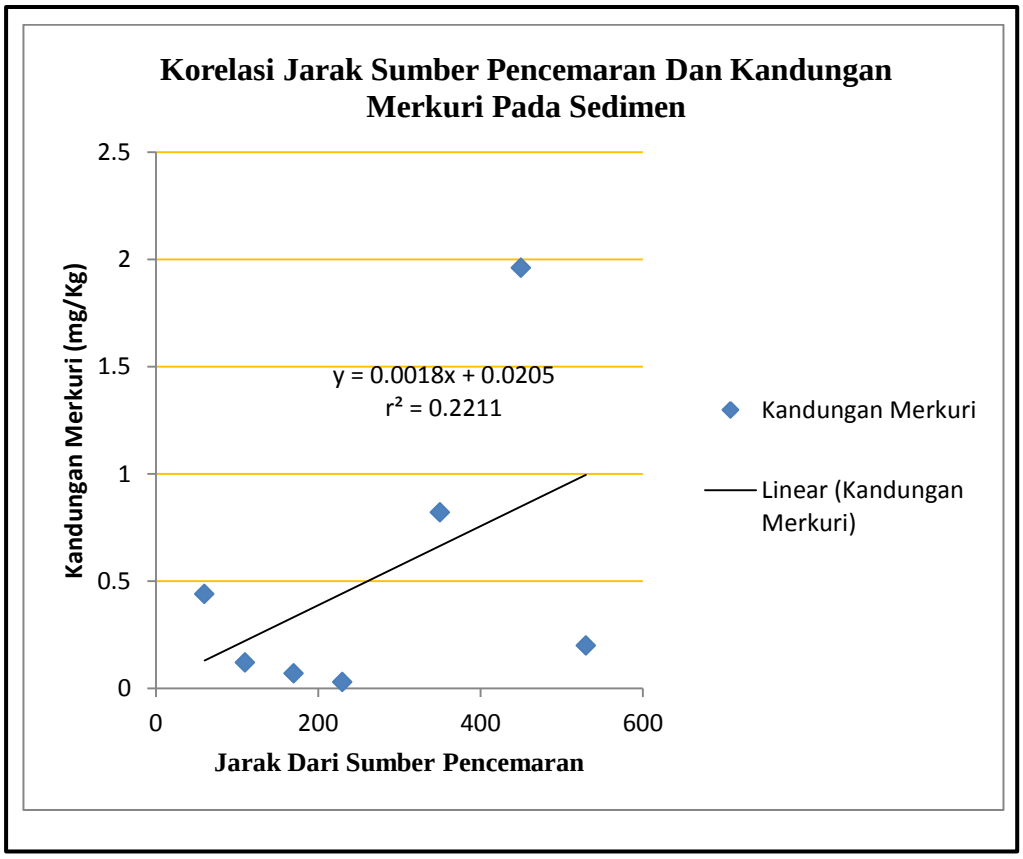
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	1.48102734	0.313445156	4.724997	0.0052193	0.675290919	2.28676377	0.67529092	2.286763767
X Variable 1	-0.0546038	0.015520184	-3.51825	0.0169508	-0.09449973	-0.0147079	-0.09449973	-0.014707922

Gambar L.2.
Regresi Linear Kemiringan Topografi Dan Kandungan Merkuri
Pada Sedimen Sungai

LAMPIRAN M

KORELASI DAN REGRESI JARAK DARI SUMBER PENCEMAR DAN KANDUNGAN MERKURI PADA SEDIMEN SUNGAI

Grafik korelasi jarak dari sumber pencemar dengan kandungan Merkuri dalam sedimen sungai dapat dilihat pada Gambar M.1. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan Y = 0,00018 X + 0,0205, dengan r^2 = 0,2211.



Gambar M.1.
Grafik Korelasi Jarak Dari Sumber Pencemaran Dan Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai

Regresi linear jarak dari sumber pencemaran dengan kandungan Merkuri pada sedimen sungai dapat dilihat dalam Gambar M.2.

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.470205603
R Square	0.221093309
Adjusted R Square	0.065311971
Standard Error	0.669231908
Observations	7

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	0.635643264	0.635643	1.419254	0.286988578
Residual	5	2.239356736	0.447871		
Total	6	2.875			

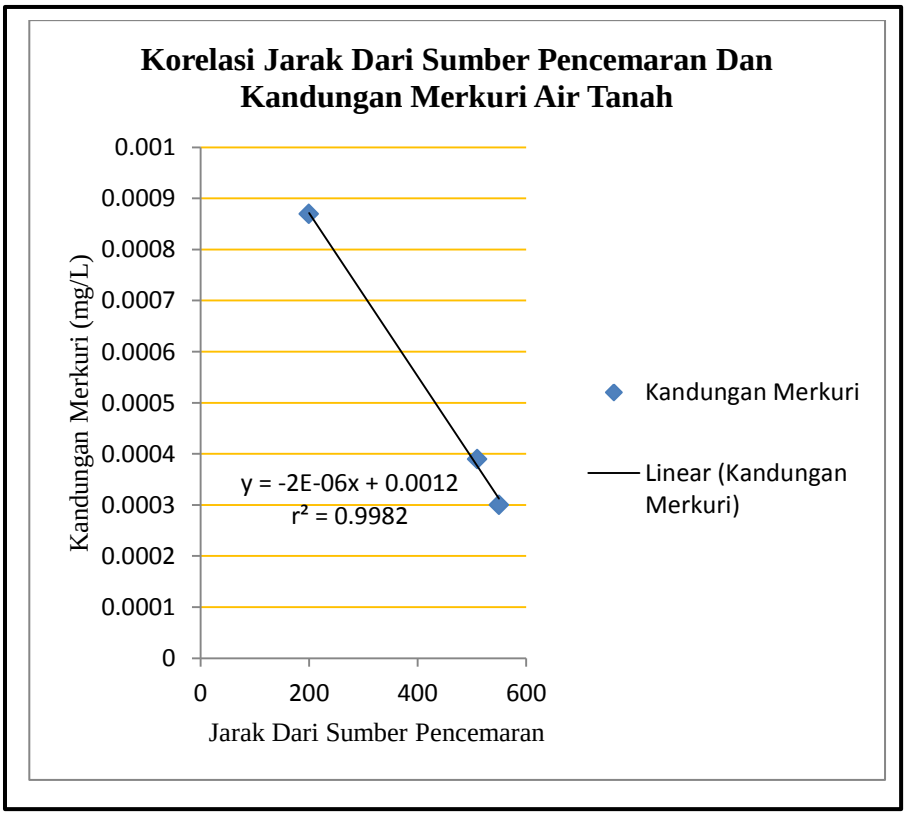
	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0.020487137	0.489680932	0.041838	0.968247	-1.238277772	1.279252045	-1.23827777	1.279252045
X Variable 1	0.001840311	0.00154476	1.191325	0.286989	-0.002130622	0.005811243	-0.00213062	0.005811243

Gambar M.2.
Regresi Linear Jarak Dari Sumber Pencemaran Dan Kandungan Merkuri Pada Sedimen Sungai

LAMPIRAN N

KORELASI DAN REGRESI JARAK DARI SUMBER PENCEMAR DAN KANDUNGAN MERKURI PADA AIR TANAH

Grafik korelasi jarak dari sumber pencemar dengan kandungan Merkuri dalam air tanah dapat dilihat pada Gambar N.1. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan $Y = - 2 . 10^{-6} X + 0,0205$, dengan $r^2 = 0,9982$.



Gambar N.1.
Grafik Korelasi Jarak Sumber Pencemaran Dan Kandungan Merkuri Pada Air Tanah

Regresi linear jarak dari sumber pencemar dan kandungan Merkuri pada air tanah dapat dilihat pada Gambar N.2.

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.999084424
R Square	0.998169686
Adjusted R Square	0.996339372
Standard Error	1.854E-05
Observations	3

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	1.87456E-07	1.8746E-07	545.3543401	0.02724429
Residual	1	3.43733E-10	3.4373E-10		
Total	2	1.878E-07			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0.001191199	3.06702E-05	38.8389773	0.016387639	0.000801497	0.001580901	0.0008015	0.001580901
X Variable 1	-1.59809E-06	6.84325E-08	-23.352823	0.02724429	-2.46761E-06	-7.2857E-07	-2.4676E-06	-7.2857E-07

Gambar N.2.
Regresi Linear Jarak Dari Sumber Pencemaran Dan Kandungan Merkuri Pada Air Tanah

LAMPIRAN O

FOTO PENAMBANGAN DAN PENGOLAHAN DI DUSUN SANGON II

Gambar O.1
Terowongan Penambangan

Gambar O.2.
Gelundung Amalgamasi Di Dusun Sangon II

Gambar O.3.
Bijih Emas Untuk Umpan Amalgamasi

Gambar O.4.
Urat Kuarsa Termineralisasi

LAMPIRAN P

FOTO PENGUKURAN *STRIKE/DIP* KEKAR

Gambar P.1.
Pengukuran *Strike* Kekar

Gambar P.2.
Pengukuran *Dip* Kekar

LAMPIRAN Q
PREPARASI SAMPEL

N. Preparasi Sampel

Langkah-langkah preparasi sampel berdasarkan penjelasan dari Lembar Kerja Kompilasi Data Laboratorium Pengujian "LPPT" Universitas Gadjah Mada.

N.1. Preparasi Sampel Air Tanah

Langkah – langkah preparasi untuk pengujian sampel air sungai sebagai berikut :

1. Mengambil sampel homogen dengan labu takar 100 ml.
2. Menyaring dengan penyaring 0,42 µl.
3. Mengambil sampel dengan labu takar 10 mL, dimasukkan ke dalam tabung reaksi.
4. Sampel ditambah $KMnO_4$ 0,1%, 0,1 mL digojog + Hydroxylaminehydrochloride 0,1 mL digojog + 0,5 mL $SnCl_2.2\ H_2O$.
5. Dibaca dengan *mercury analyzer*.
6. Menghitung Hg Total dengan rumus :

$$\text{Hg Total } (\mu g/L) = \frac{(\text{Hg Baca} - \text{Blanko}) \times \text{Volume Akhir} \times \text{Fp}}{\text{Volume sampel}}$$

N.2. Preparasi Sampel Air Limbah

Langkah – langkah preparasi untuk pengujian sampel air limbah sebagai berikut :

1. Mengambil sampel 100 ml
2. Memasukkan ke dalam Erlenmeyer 100 mL.
3. Menambahkan 10 mL HNO_3.
4. Memanaskan di atas *hotplate* hingga jernih dan mengeluarkan asap putih.
5. Menyaring dan mengukur dengan tepat sebanyak 100 ml dengan labu takar.
6. Membuat blanko dengan perlakuan sama tanpa label.

7. Mengambil sampel dengan labu takar 10 mL, dimasukkan dalam tabung reaksi.
8. Sampel ditambah $KMnO_4$ 0,1%, 0,1 mL digojog + Hydroxylaminehydrochloride 0,1 mL digojog + 0,5 mL $SnCl_2.2\ H_2O$.
9. Dibaca dengan *mercury analyzer*.
10. Menghitung Hg Total dengan rumus :

$$\text{Hg Total } (\mu g/L) = \frac{(\text{Hg Baca} - \text{Blanko}) \times \text{Volume Akhir} \times \text{Fp}}{\text{Berat sampel}}$$

N.3. Preparasi Sampel Sedimen Dan Bijih

Langkah-langkah preparasi untuk pengujian sampel sedimen dan bijih sebagai berikut :

1. Menimbang 1 gram dan memasukkan dalam Erlenmeyer 100 mL
2. Menambahkan 10 mL HNO_3 : $HCLO_4$ (1 : 1)
3. Memanaskan di atas *hotplate* hingga jernih dan keluar asap putih
4. Menyaring dan menepatkan 50 ml dengan labu takar
5. Membuat blanko dengan perlakuan sama tanpa sampel
6. Sampel ditambah $KMnO_4$ 0,1%, 0,1 mL digojog + Hydroxylaminehydrochloride 0,1 mL digojog + 0,5 mL $SnCl_2.2\ H_2O$.
7. Dibaca dengan *mercury analyzer*.