



TESIS- RE142541

PENCEMARAN MERKURI DI LAHAN PERTAMBANGAN EMAS RAKYAT DAN STRATEGI PENGENDALIANNYA

**ZOFAR AGLUIS BANUNAEK
3314201016**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc**

**PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



TESIS- RE142541

MERCURY POLLUTION FROM ARTISANAL GOLD MINING AND ITS STRATEGY MANAGEMENT

ZOFAR AGLUIS BANUNAEK
3314201016

SUPERVISOR
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc

MASTER PROGRAME
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh :

Zofar Agluis Banunaek
NRP. 3314201016

Tanggal Ujian : 13 Juli 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui Oleh :


1. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc
NIP : 195307061984032004

(Pembimbing)


2. Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, MT
NIP : 195602041992032001

(Penguji)


3. Arseto Y. Bagastyo, ST., MT., M.Phil., Ph.D
NIP : 198208042005011001

(Penguji)


4. Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D
NIP : 197111142003122001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,




Prof. Ir. Djauhar Manfaat, MSc., Ph.D
NIP. 196012021987011001

PENCEMARAN MERKURI DI LAHAN PERTAMBANGAN EMAS RAKYAT DAN STRATEGI PENGENDALIANNYA

Nama Mahasiswa : Zofar Agluis Banunaek

NRP : 3314201016

Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Yulina Trihadiningrum, MAppSc.

ABSTRAK

Tanah di lokasi penambangan emas rakyat Desa Kalirejo Kabupaten Kulon Progo tercemar merkuri. Pencemaran terjadi akibat sisa *tailing* dari proses pengolahan emas dengan amalgamasi tercecer keluar dari bak penampungan sehingga mengontaminasi tanah di sekitar area penambangan. Hal tersebut dapat membahayakan manusia dan lingkungan. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi sumber-sumber pencemaran merkuri dari proses pertambangan emas rakyat Kulon Progo, membandingkan tingkat pencemaran merkuri dengan Peraturan Pemerintah No 101 tahun 2014 dan merumuskan strategi pengendalian pencemaran merkuri ditinjau dari aspek teknis, hukum dan sosial.

Metode uji partikel tanah mengacu pada ASTM D422 tentang *method of test for determination of particle size analysis of soil*. Uji pH mengacu pada method 9045D USEPA tentang *soil and waste pH*. Uji kadar air dilakukan mengacu pada ASTM D2216-71 dengan pendekatan metode gravimetrik. Uji permeabilitas mengacu pada ASTM 2434 – 68 tentang *permeability test*, sedangkan uji kadar merkuri menggunakan metode *dhithizone*. Pengumpulan data menggunakan metode wawancara dan kuisisioner kepada 25 responden, dengan parameter berupa masalah keselamatan, kesehatan kerja (K3), produk hukum, kejadian penyakit yang ditimbulkan, mata pencaharian penduduk dan ekonomi masyarakat. Penentuan strategi menggunakan metode *strengths, weaknesses, opportunities, threats* (SWOT).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sumber pencemaran merkuri berasal dari proses pemisahan amalgam yang mengakibatkan merkuri terbuang ke tanah dan mencemari lingkungan. Hasil analisis konsentrasi merkuri dalam tanah berkisar antara 0,30-22,51 mg/kg, sehingga dikatakan telah melebihi baku mutu tanah tercemar merkuri sesuai Peraturan Pemerintah No 101 tahun 2014 yaitu sebesar 0,3 mg/kg. Konsentrasi merkuri pada *tailing* berkisar antara 164,16–383,21 mg/kg. Nilai tersebut telah melebihi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 202 tahun 2004 tentang baku mutu air limbah bagi kegiatan penambangan bijih emas dan tembaga sebesar 0,005 mg/L atau setara dengan 0,005 mg/kg. Hasil analisis SWOT berupa strategi pengendalian pencemaran merkuri yaitu program jangka pendek, menengah dan jangka panjang.

Program jangka pendek berupa pemerintah menutup sementara aktifitas pertambangan emas rakyat sambil menunggu pengurusan izin dari para penambang. Program jangka menengah berupa sosialisasi peraturan dari pemerintah berkaitan dengan pertambangan emas rakyat. Program jangka panjang berupa pemantauan konsentrasi merkuri dalam tanah serta remediasi lahan tercemar merkuri.

Kata kunci: pencemaran, tambang emas rakyat, merkuri.

Halaman ini sengaja dikosongkan

MERCURY POLLUTION FROM ARTISANAL GOLD MINING AND ITS STRATEGY MANAGEMENT

Student : Zofar Agluis Banunaek
Student ID : 3314201016
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc.

ABSTRACT

Soil at the Kalirejo artisanal gold mining, Kulon Progo has been contaminated with mercury. The pollution occurred due to tailing residue from gold amalgamation process. The tailing residue spilled of the tank and contaminated the soil around the mining area. It can harm people and the environment. This research aims to identify the sources of mercury pollution in the Kulon Progo artisanal gold mining area, compare the contamination level of mercury with the Government Regulation No 101/2014 and formulate strategies to control mercury pollution in terms of technical, legal, and social aspects.

Particle size analysis of soils refers to ASTM D422, pH analysis refers to SW-846 Test Method 9045D US EPA, moisture content analysis refers to ASTM D2216-71, and permeability analysis refers to ASTM 2434-68. Mercury content was analyzed with dhithizone method. The data collection with interview and questionnaire method was done with 25 respondents. Parameter for the interview and questionnaire consist of safety, occupational health, law regulations, disease, occupation, and public economy matters. SWOT method (Strength, weakness, opportunities, threats method) was used to defining the strategy.

The result showed that the source of mercury pollution proceed from the amalgam separation process which result in mercury contamination in the soil and contaminated the environment. The results of the analysis showed that the mercury concentrations in the soil were 0.30-22.51 mg/kg and exceeded the soil quality standard according to the Government Regulation No. 101/2014 (0.3 mg/kg). Mercury concentrations in the tailing were 164.16-383.21 mg/kg. The mercury concentration in the tailing also exceeded the tailing quality standard according to the Ministry of Environment Regulation No. 202/2004 (0.005 mg/kg). The SWOT analysis produced the strategies to control mercury pollution in the short-term, medium-term, and long-term period. The short-term period strategy was to close temporarily the artisanal gold mining while waiting for permit from government. The medium-term period strategy was by socialization of government regulation that was related to the artisanal gold mining. The long-term period strategies were done with monitoring of mercury concentration in the soil and remediation of the soil contaminated with mercury.

Key words: pollution, artisanal gold mining, mercury

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Pencemaran Lingkungan	5
2.2 Akibat Pencemaran Lingkungan	6
2.3 Teknik Penambangan	6
2.3.1 Endapan Aluvial di Darat	7
2.3.2 Endapan Aluvial Dasar Sungai	7
2.3.3 Teknik Penambangan Emas Tradisional.....	7
2.4 Kegiatan Tambang Emas Rakyat.....	8
2.5 Pengolahan Emas Secara Tradisional	10
2.6 Logam Berat Merkuri (Hg)	13
2.7 Pencemaran Merkuri Dalam Tanah	14
2.8 Pencemaran Merkuri Dalam <i>Tailing</i>	15
2.9 Dampak Pencemaran Merkuri.....	16
2.10 Uji Parikel Tanah	17
2.11 Uji pH	18
2.12 Uji Kadar Air.....	18
2.13 Permeabilitas.....	20
2.14 Uji Kadar Merkuri.....	21
2.15 Wadah Sampel.....	21

2.16 Teknik Sampling Tanah.....	23
2.17 Metode Pengambilan Contoh Tanah.....	24
2.18 Aspek Teknis.....	26
2.19 Aspek Hukum.....	27
2.20 Aspek Sosial.....	28
2.21 Analisis SWOT	31
2.22 Penelitian Terdahulu.....	32

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian	35
3.2 Tahapan Penelitian	36
3.2.1 Ide Penelitian	36
3.2.2 Studi Literatur	36
3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan	37
3.2.4 Pemilihan Sampel Tanah.....	37
3.2.5 Pemilihan Sampel <i>Tailing</i>	38
3.2.6 Perlakuan Sampel.....	38
3.2.7 Partikel Tanah.....	38
3.2.8 Uji pH.....	38
3.2.9 Uji Kadar Air.....	40
3.2.10 Uji Permeabilitas.....	40
3.2.11 Uji Kadar Merkuri Dalam Tanah dan <i>Tailing</i>	40
3.2.12 Pengumpulan Data	41
3.2.13 Metode Evaluasi.....	42
3.2.14 Strategi Pengendalian Pencemaran.....	42
3.2.15. Kesimpulan dan Saran	42

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aspek Teknis.....	43
4.1.1 Sumber-Sumber Pencemaran Merkuri Di Daerah Pertambangan Emas Rakyat Kulon Progo.....	44
4.1.2 Hasil Uji Ukuran Partikel Tanah.....	46
4.1.3 Hasil Uji Ukuran pH Tanah dan <i>Tailing</i>	47
4.1.4 Hasil Uji Kadar Air.....	49

4.1.5 Hasil Uji Permeabilitas.....	50
4.1.6 Tingkat Pencemaran Merkuri.....	50
4.1.6.1 Hasil Uji Kadar Merkuri dalam Tanah.....	52
4.1.6.2 Hasil Uji Kadar Merkuri dalam <i>Tailing</i>	53
4.1.6.3 Hasil Uji Tanah Kontrol.....	54
4.2 Aspek Hukum.....	57
4.3 Aspek Sosial.....	59
4.4 Strategi Pengendalian Pencemaran Merkuri.....	59
4.4.1 Analisis SWOT.....	64
4.4.2 Pemilihan Strategi.....	62
4.4.3 Penetapan Strategi Pengendalian Pencemaran.....	65
BAB V PENUTUP	68
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN A PROSEDUR UJI	81
LAMPIRAN B PERHITUNGAN KADAR AIR	83
LAMPIRAN C HASIL ANALISIS PARTIKEL TANAH.....	98
LAMPIRAN D HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM.....	101
LAMPIRAN E HASIL KUESIONER.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Permeabilitas Tanah	20
Tabel 2.2 Analisis SWOT.....	27
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu.....	31
Tabel 4.1 Hasil Analisis Pembagian Butir Tanah	45
Tabel 4.2 Hasil Uji pH Tanah	46
Tabel 4.3 Hasil Uji pH <i>Tailing</i>	47
Tabel 4.4 Hasil Uji Kadar Air	48
Tabel 4.5 Hasil Uji Kadar Permeabilitas.....	49
Tabel 4.6 Hasil Uji Kadar Merkuri Dalam Tanah	50
Tabel 4.7 Hasil Uji Kadar Merkuri Dalam <i>Tailing</i>	52
Tabel 4.8 Hasil Uji Tanah Kontrol.....	53
Tabel 4.9 Peraturan Hukum.....	57
Tabel 4.10 Faktor-Faktor Internal.....	61
Tabel 4.11 Faktor-Faktor Eksternal.....	61
Tabel 4.12 Matriks Analisis SWOT.....	64
Tabel 4.13 Strategi Pengendalian Pencemaran Merkuri.....	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Terowongan Penambangan.....	7
Gambar 2.2 Pengolahan Emas Secara Amalgamasi.....	9
Gambar 2.3 Tromol	10
Gambar 2.4 Tong Sianida.....	11
Gambar 2.5 Logam merkuri	13
Gambar 2.6 Variasi Kecepatan Aliran V.....	19
Gambar 2.7 Kuadran SWOT.....	30
Gambar 3.1 Kerangka Metode Penelitian.....	35
Gambar 3.2 Sampel Tanah Terganggu.....	37
Gambar 3.3 Peta Titik Sampling Tanah.....	39
Gambar 4.1 Diagram Alir Sumber Pencemaran Merkuri.....	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha pertambangan, oleh sebagian masyarakat sering dianggap sebagai penyebab kerusakan dan pencemaran lingkungan. Pada kegiatan usaha pertambangan emas skala kecil, pengolahan bijih dilakukan dengan proses amalgamasi dimana merkuri (Hg) digunakan sebagai media untuk mengikat emas. Amalgamasi adalah metode yang sering digunakan penambang emas tradisional skala kecil dalam memisahkan emas dengan bahan kimia pengikat (Delgado, *et al.*, 2012). Pencemaran merkuri banyak sekali ditemukan pada penambang emas tradisional. Penambang Emas Tanpa Izin (PETI) ditemukan diberbagai tempat di Indonesia antara lain di Pongkor, Jawa Barat, Sulawesi Selatan dan Kalimantan Tengah (Lestaris, 2010).

Pertambangan emas rakyat di Kecamatan Kokap Kabupaten Kulon Progo mulai muncul pada tahun 1995 oleh penambang asal Tasikmalaya, yang kemudian diikuti oleh penduduk setempat. Sejak awal mula kemunculannya di Kokap, yaitu di Desa Kalirejo, penambangan dilakukan dengan cara sederhana dengan sistem tambang bawah tanah dengan cara membuat terowongan dan sumur (vertical shaft). Satu lokasi pengolahan bijih emas menggunakan 1 – 10 gelundung dan setiap gelundung dapat mengolah 15 – 25 kg bijih dalam sehari. Bijih yang telah ditumpuk dimasukkan kedalam gelundung berisi potongan besi (rod), ditambahkan air, merkuri dan semen dan selanjutnya diputar selama beberapa jam dengan tenaga listrik (generator). Setelah proses amalgamasi selesai, amalgam dipisahkan dari *tailing* dengan cara diperas dengan kain parasit dan *tailing* dialirkan kedalam bak penampung *tailing* atau dibiarkan mengalir ke halaman rumah (Sambowo dkk., 2012).

Peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014 tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, pasal 31 ayat 1 menyebutkan setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengumpulan limbah B3 yang

dihasilkan. Namun pada kenyataannya, usaha pengolahan emas dengan cara amalgamasi telah membuang limbah hasil pengolahannya dilingkungan sekitar.

Pencemaran merkuri dari penambangan emas terjadi ketika proses pengolahan berlangsung yang mengakibatkan sisa *tailing* tercecer pada saat pemindahan dan saat kondisi bak penampungan penuh, sehingga *tailing* meluap dan mengalir ke sungai, terutama jika terjadi hujan, maka terjadi kontaminasi merkuri dilingkungan sekitarnya. Hasil analisis contoh tanah di daerah Sangon, Kulon Progo menunjukkan kadar merkuri yang sangat tinggi >50 ppm Hg (Setiabudi, 2005). Berdasarkan PP No 101 tahun 2014, baku mutu tanah tidak tercemar merkuri tidak boleh melebihi ambang batas yang ditetapkan sebesar 0,3 ppm.

Kadar merkuri yang tinggi pada perairan umumnya diakibatkan oleh buangan industri. Merkuri yang dihasilkan oleh kegiatan industri dan proses penambangan, terendapkan di dalam permukaan mengakibatkan masuknya polusi merkuri ke dalam tanah dan masuk ke dalam lingkungan air tanah melalui pori-pori dengan dibawa oleh air hujan yang masuk ke dalam tanah. Pencemaran unsur merkuri dalam tanah terjadi karena proses pelapukan batuan termineralisasi atau akibat penggarangan pada pengolahan emas (Putranto, 2011). Oleh karena itu berkaitan dengan latar belakang di atas maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui ***Pencemaran Merkuri di Lahan Pertambangan Emas Rakyat dan Strategi Pengendaliannya.***

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, dapat dirumuskan beberapa masalah:

1. Dari mana sumber-sumber pencemaran merkuri dari proses pertambangan emas rakyat Kulon Progo?
2. Bagaimana tingkat pencemaran merkuri di daerah pertambangan emas rakyat Kulon Progo menurut Peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014?
3. Bagaimana strategi pengendalian pencemaran merkuri di lokasi pertambangan emas rakyat Kulon Progo?

1.3 Tujuan

Tujuan yang diwujudkan pada penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi sumber-sumber pencemaran merkuri dari proses pertambangan emas rakyat Kulon Progo.
2. Membandingkan tingkat pencemaran merkuri di daerah pertambangan emas rakyat Kulon Progo menurut Peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014.
3. Merumuskan strategi pengendalian pencemaran merkuri di lokasi pertambangan emas rakyat Desa Kalirejo ditinjau dari aspek teknis, hukum dan sosial.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil setelah penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan informasi tentang jenis limbah dan karakteristik limbah dari pertambangan emas rakyat.
2. Menyediakan informasi dan rekomendasi tentang strategi pengendalian pencemaran merkuri di lahan pertambangan emas rakyat.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dan lapangan.
2. Sampel tanah tercemar merkuri diambil di lima titik lokasi pengolahan emas yang masih aktif di Desa Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Yogyakarta

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Definisi ini sesuai dengan pengertian pencemaran menurut Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH).

2.2 Akibat Pencemaran Lingkungan

Menurut Wardhana (2004), akibat-akibat pencemaran lingkungan dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Pencemaran air:
 - a) Timbulnya berbagai penyakit (perut, kerusakan organ tubuh akibat keracunan).
 - b) Penurunan oksigen terlarut di perairan (berakibat kematian pada makhluk hidup pada perairan).
 - c) Terjadinya pertumbuhan berlebih alga (nitrat dan fosfat berakibat adanya eutrofikasi).
 - d) Masuknya racun kedalam sistem perairan (dapat berakumulasi pada makhluk hidup di perairan).
 - e) Kematian makhluk hidup di perairan.
2. Pencemaran tanah:
 - a) Kerusakan struktur tanah
 - b) Penurunan produktifitas tumbuhan
 - c) Kematian tumbuhan dan hewan
 - d) Gangguan keindahan, tidak sedap dipandang, bau

3. Akibat Pencemaran Udara:

- a) Gangguan visibilitas
- b) Gangguan psikologis (akibat kebisingan)
- c) Timbulnya penyakit-penyakit pada alat pernapasan
- d) Penurunan produktivitas tumbuhan dan hewan (akibat hujan asam)
- e) Kerusakan pada bangunan (akibat hujan asam)

2.3 Teknik Penambangan

Menurut Greenwood (1989), teknik Pertambangan Emas Rakyat (PER) dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

1. Teknik Penambangan Endapan Alluvial di Darat

Metode penambangan emas alluvial di darat dengan menggunakan metode semprot (*Hydrolic Mining*). Metode ini umumnya menggunakan dua buah mesin berfungsi sebagai penyedot air dari sungai atau rawa dan yang lainnya digunakan untuk menyedot lumpur yang mengandung bijih emas, kemudian disaring disluice box dan ditambahkan merkuri/air raksa kedalam sedimen yang tersaring, maka akan diperoleh bijih emas kotor berupa amalgam (emas + merkuri). Sedimen yang mengandung bijih emas kotor ini diolah langsung di lokasi penambangan kemudian bijih emas kotor ini diambil dan disisihkan dari sedimen/lumpur (*sludge*). Kemudian amalgam dibakar untuk mendapatkan bijih emas murni.

2. Teknik Penambangan Endapan Alluvial Dasar Sungai

Metode penambangan ini menggunakan metode kapal keruk (*Dreging*) dan perahu atau tongkang dengan menggunakan mesin dompeng. Pada metode ini, lumpur yang mengandung bijih emas di dasar sungai disedot dari mesin dompeng yang berada di atas perahu atau tongkang, kemudian alat ini dilengkapi dengan alat pemisah/pengolah (*sluice box*) yang berfungsi sebagai penyaring. Proses pendulangan/penambahan merkuri berlangsung diatas perahu maupun pada kolam-kolam yang telah disediakan. Kemudian dihasilkan amalgam (emas + merkuri) dan untuk mendapatkan bijih emas murni maka amalgam tersebut dibakar dengan suhu yang tinggi.

3. Teknik Penambangan Emas Tradisional

Penambangan untuk mendapatkan bijih emas primer ini dilakukan dengan cara tambang bawah tanah. Metode penambangan emas ini dilakukan dengan menggali sumur atau terowongan sampai menemukan emas. sumur/lubang yang dibuat dapat berukuran 1.5 m x 1.5 m. Kegiatan didalam sumuran atau terowongan berupa pengambilan batuan yang mengandung emas (bijih emas) dengan menggunakan palu dan pahat (Suyono,2011).

Penggalian batuan mengikuti arah urat kuarsa. Batuan yang mengandung bijih emas diangkut dengan menggunakan ember dari dalam terowongan. Salah satu tempat penggalian bahan galian dengan membuat terowongan dapat disajikan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Terowongan penambangan (Suyono, 2011)

Selanjutnya batuan yang mengandung emas dihancurkan dengan Road Mill, kemudian hasil hancuran ini ditambahkan air raksa, kapur dan daun tanpa getah. Lumpur hasil gelundungan dipisahkan dan *tailing* dibuang dan amalgam kemudian diperas menggunakan kain kasa. Sisa merkuri dapat dipakai lagi dan amalgam kemudian dipanaskan untuk menghasilkan emas murni, semua pekerjaan ini dilakukan di darat.

2.4 Kegiatan Tambang Emas Rakyat

Kegiatan penambangan emas tradisional di Indonesia dicirikan oleh penggunaan teknik eksplorasi dan eksploitasi yang sederhana dan murah. Adanya kegiatan penambangan emas ini, sering menimbulkan masalah yang menimpa kelompok masyarakat setempat yang pada umumnya hidup dalam kemiskinan dan tidak memiliki pendidikan cukup. Mereka memanfaatkan sumber daya alam yang ada seperti menambang emas yang diolah dengan cara yang sederhana. Inilah yang disebut dengan kelompok tambang emas skala kecil, tambang emas rakyat atau tambang emas tradisional atau Penambang Emas Tanpa Izin (PETI). Jumlah kegiatan penambangan skala kecil di Indonesia ada 713 lokasi yang tersebar di Jawa, Sumatra, Kalimantan, dan Sulawesi dengan 6000 penambang skala kecil (Martono, 2007).

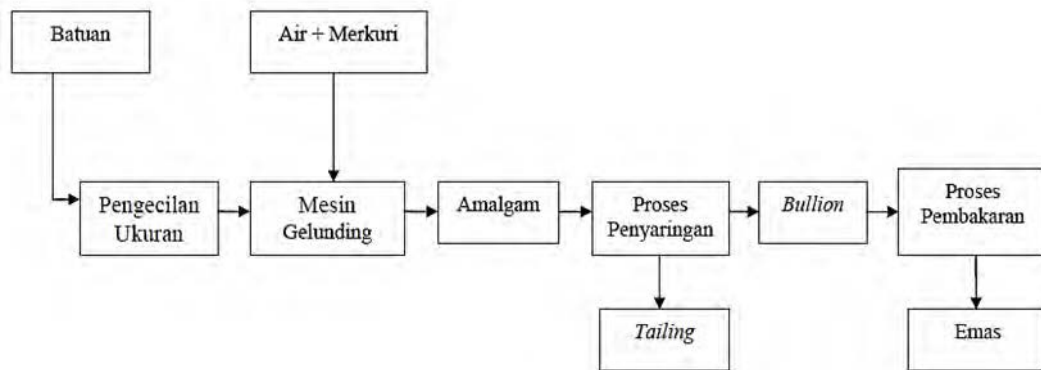
Kegiatan penambangan emas skala kecil pada umumnya terdiri dari penggalian bahan tambang, penghancuran, atau penghalusan, amalgamasi dan sianidasi. Untuk pekerjaan penambangan dipakai peralatan cangkul, linggis, ganco, palu, dan beberapa alat sederhana lainnya. Batuan dan urat kuarsa mengandung emas atau biji ditumbuk sampai berukuran 1-2 cm, selanjutnya digiling dengan alat gelundung (trombol, berukuran panjang 55 – 60 cm, dan diameter 30 cm dengan alat penggiling 3-5 batang besi) (Subanri, 2005).

2.5 Pengolahan Emas Secara Tradisional

Emas diperoleh dengan cara mengisolasi dari batuan bijih emas. Metode isolasi emas yang saat ini banyak digunakan untuk eksploitasi emas skala industri adalah metode sianida dan metode amalgamasi (Susiyadi *et al.*, 2010).

a Pengolahan emas dengan metode amalgamasi

Metode amalgamasi yaitu proses pengikatan logam emas dari bijih tersebut dengan menggunakan merkuri (Hg) dalam tabung yang disebut sebagai gelundung. Amalgam merupakan proses ekstraksi emas yang paling sederhana dan murah. Gambar pengolahan emas rakyat secara amalgamasi dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Pengolahan emas tradisional cara amalgamasi (Suyono, 2011)

Gelunding atau tromol berfungsi sebagai tempat proses amalgamasi dan berperan mereduksi ukuran butir bijih dari yang berbutir kasar (1 cm) hingga berbutir halus (80-200 mesh) menggunakan media gerus berupa lempeng/batang besi bekas rel. Tromol diputar menggunakan tenaga penggerak air sungai melalui kincir atau tenaga listrik (dinamo). Penambang mengambil tanah atau batuan yang mengandung emas kemudian tanah atau batuan tersebut ditumbuk sehingga menjadi ukuran yang lebih kecil/halus (Widodo, 2008).

Tanah yang sudah halus tersebut dimasukkan ke dalam tromol dengan ditambah air (1:1) dan ditambahkan merkuri. Penambahan merkuri sangat bervariasi, tergantung kandungan emas yang ada dalam bijihnya (Widodo, 2008). Penambang cenderung menambahkan merkuri dalam jumlah yang berlebih dengan maksud agar emas yang terikat lebih banyak. Selanjutnya, tromol ditutup dengan rapat dan diputar 4 - 6 jam. Setelah diputar emas amalgam dipisahkan dari batuan, air, dan merkuri sisa dengan cara disaring. Pada saat penyaringan banyak merkuri yang terbuang ke lingkungan yang akhirnya terjadi pencemaran lingkungan. Emas amalgam yang dihasilkan dipijarkan/dibakar untuk memisahkan merkuri dengan emas (Martono, 2007). Gambar tromol dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Tromol (Suryani, 2011)

b Pengolahan emas dengan metode sianidasi

Sianidasi tidak banyak dilakukan di Indonesia hanya dijumpai di beberapa daerah di Indonesia, salah satunya di daerah Talawaan/Tetelu, Sulawesi Utara. Proses ini digunakan setelah proses amalgamasi. Ampas/*tailing* proses amalgamasi ditambah kapur hingga $\text{pH} = 10$ dan ditambah NaCN kemudian diaduk. Bubur yang terjadi kemudian pada larutan/*leaching* ditambah karbon sehingga terbentuk karbon emas. Karbon emas akhirnya dibakar untuk memisahkan emas dan CO_2 ke udara (Inswiasri dan Martono, 2007).

Sianida disemprotkan pada gundukan bahan tambang, kemudian *leaching* yang kaya dengan sianida dikumpulkan dari bagian bawah. Proses sianidasi di Daerah Talawaan dilakukan pada lingkungan terbuka. Industri tambang menggunakan sianida > 180.000 ton/tahun. Sianida merupakan bahan berbahaya, dengan 1 sendok teh 2% sianida sudah dapat membunuh manusia. Gambar Tong Sianida dapat dilihat di Gambar 2.4



Gambar 2.4 Tong Sianida (Suryani, 2011)

2.6 Logam Berat Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) merupakan salah satu unsur logam berat yang banyak digunakan oleh manusia dalam proses industri ataupun pertambangan. Merkuri mempunyai titik beku $-38,87$ dan titik didih $356,90^{\circ}\text{C}$ serta berat jenis $13,55\text{ gram/cm}^3$. Sifat penting merkuri lainnya adalah kemampuan untuk melarutkan logam lain dan membentuk logam paduan atau alloy (Mirdat, 2013).

Logam merkuri (Hg), mempunyai nama kimia *hydrargyrum* yang berarti cair. Logam merkuri dilambangkan dengan Hg. Pada periodik unsur kimia Hg menempati urutan (NA) 80 dan mempunyai bobot atom (BA 200,59). Merkuri telah dikenal manusia sejak manusia mengenal peradapan. Merkuri yang telah dilepaskan kemudian dikondensasi, sehingga diperoleh logam cair murni. Logam cair inilah yang kemudian digunakan oleh manusia untuk bermacam-macam keperluan (Subanri, 2008).

Merkuri mempunyai sifat toksisitas dan volatilitas yang tinggi, serta kemudahan bioakumulasi. Merkuri yang termetilasi memiliki afinitas tinggi untuk jaringan lemak dalam organisme dan dapat terakumulasi melalui rantai makanan ke tingkat yang lebih beracun dalam organisme tersebut (Zhang, 2009). Metil merkuri mempunyai daya ikat yang kuat dalam tubuh hewan air dan tumbuhan, dengan

adanya bioakumulasi dan biomagnifikasi merkuri dapat membahayakan kesehatan manusia (Wang *et al.*, 2012).

Merkuri adalah satu-satunya logam yang berwujud cair pada suhu ruang. Merkuri, baik logam maupun metil merkuri (CH_3Hg^+) biasanya masuk tubuh manusia lewat pencernaan dan pernafasan. Namun bila dalam bentuk logam, biasanya sebagian besar bisa diekskresikan. Sisanya akan menumpuk di ginjal dan sistem saraf, yang suatu saat akan mengganggu bila akumulasinya makin banyak. Merkuri pada umumnya terdiri dari tiga bentuk, yaitu merkuri elemental (Hg^0), ion merkuri (Hg^{2+}), dan merkuri organik kompleks (Alfian, 2006). Menurut Warlina (1997), merkuri dapat dijumpai dalam 3 jenis yaitu:

1. Merkuri Elemental (Hg^0)

Merupakan logam berwarna putih, berkilau dan pada suhu kamar berada dalam bentuk cairan. Pada suhu kamar akan menguap dan membentuk uap merkuri yang tidak berwarna dan tidak berbau. Makin tinggi suhu, makin banyak yang menguap. Metil merkuri banyak digunakan untuk pemurnian emas dan digunakan pada thermometer.

2. Merkuri Inorganik

Terdapat dalam bentuk Hg^{++} (mercuric) dan Hg^+ (mercurous). Sebagai contoh yaitu merkuri klorida (HgCl_2) yang merupakan salah satu bentuk Hg inorganik yang sangat toksik, kaustik dan digunakan sebagai desinfektan.

3. Merkuri Organik

Senyawa merkuri organik terjadi ketika merkuri bertemu dengan karbon atau organometri. Yang paling populer adalah metil merkuri (dikenal monometil mercuri) $\text{CH}_3 - \text{Hg} - \text{COOH}$. Merkuri organik sebagai contoh metil merkuri yang secara komersial digunakan sebagai fungisida, desinfektan, dan sebagai pengawet cat. Gambar logam merkuri dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Logam Merkuri (Putranto, 2011)

2.7 Pencemaran Merkuri Dalam Tanah

Dalam proses penambangan emas, masyarakat cenderung menambahkan Hg dalam jumlah yang berlebih dengan maksud agar emas yang terikat lebih banyak. Disisi lain penambahan Hg yang berlebih menyebabkan Hg yang terbuang ke lingkungan juga lebih tinggi, kalau kadar emas yang terkandung dalam bijih tidak sebesar yang diharapkan masyarakat mencoba-coba dengan mengharapkan hasil maksimal (Martono, 2007).

Menurut Alvian (2006), merkuri merupakan salah satu unsur logam berat yang banyak digunakan oleh manusia dalam proses industri ataupun pertambangan. Di alam, merkuri merupakan salah satu logam yang dapat ditemukan dalam dua bentuk, yakni organik dan anorganik. Merkuri organik merupakan senyawa merkuri yang berikatan dengan unsur karbon membentuk metil, etil, ataupun gugus fungsi yang sejenis. Sedangkan merkuri anorganik meliputi uap merkuri (Hg^0), garam merkuri (Hg^{2+}) serta logam merkuri. Merkuri organik merupakan bentuk geokimia dari merkuri yang mempunyai tingkat toksisitas paling tinggi terhadap manusia (Alpers dan Hunerlach, 2000).

Proses penambangan emas tradisional merupakan kontributor *anthropogenic* terbesar pencemaran merkuri, salah satu metode ekstraksi biji emas

yang banyak digunakan oleh penambangan emas tradisional adalah amalgamasi (Appel dan Na-Oy, 2014).

Pada proses penambangan emas, masyarakat cenderung menambahkan merkuri dalam jumlah yang berlebih agar emas yang terikat lebih banyak. Penambahan merkuri yang berlebih menyebabkan merkuri yang terbang ke lingkungan akan lebih tinggi. Kadar emas yang terkandung dalam bijih tidak sebesar yang diharapkan masyarakat sehingga dilakukan percobaan penambahan merkuri dengan mengharapkan hasil maksimal (Martono, 2007).

Contoh uji tanah yang diteliti oleh Setiabudi (2005), di lokasi penambangan emas rakyat di daerah Sangon, Yogyakarta menunjukkan bahwa kadar merkuri yang sangat tinggi, 4 contoh mengandung >50 ppm Hg dan 1 contoh mengandung 7 ppm Hg. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa wilayah di sekitar tempat pengolahan emas rakyat telah mengalami kontaminasi merkuri yang signifikan.

2.8 Pencemaran Merkuri Dalam *Tailing*

Tailing secara teknis didefinisikan sebagai material halus yang merupakan mineral yang tersisa setelah mineral berharganya diambil dalam suatu proses pengolahan bijih (Wills, 1988). *Tailing* juga dianggap ampas yang sudah tidak mengandung mineral berharga lagi, namun mengingat perolehan pengolahan yang tidak mencapai 100% maka masih memungkinkan terdapat emas di dalam *tailing* tersebut (Pohan *et al.*, 2007; Widodo, 2008).

Tailing hasil penambangan emas mengandung salah satu atau lebih bahan berbahaya beracun seperti arsen (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), sianida (Sn) dan lainnya (Mirdat *et al.*, 2013; Setiabudi, 2005). *Tailing* terdiri dari batuan yang telah hancur, berasal dari batuan mineral yang telah diambil mineralnya. *Tailing* dapat berupa padatan semacam pasir yang sangat halus atau *slurry* yaitu *tailing* padat yang bercampur dengan air membentuk lapisan tipis (Purwantari, 2007).

Tailing memiliki porositas tinggi sehingga kapasitas memegang air (*holding capacity*) rendah, struktur tidak stabil, sangat miskin bahan organik, bahkan dapat dikatakan tidak ada bahan organik, miskin unsur hara mikro dan makro, aktivitas mikroba juga tidak ada sama sekali. Sehingga memerlukan waktu yang relatif lama dan strategi tertentu untuk mengelolanya menjadi area atau lahan yang lebih produktif. *Tailing* yang telah direklamasi memerlukan waktu lebih dari 10 tahun untuk membentuk top soil setebal 10 cm (Purwantari, 2007).

Fakta yang terjadi di lapangan menunjukkan bahwa pencemaran lingkungan karena pembuangan limbah *tailing* bijih emas secara tidak benar masih banyak terjadi di beberapa lokasi pengolahan biji emas (Widodo *et al.*, 2010). Konsentrasi merkuri yang tinggi dalam contoh *tailing* pada umumnya disebabkan oleh proses amalgamasi yang tidak sempurna. Dari beberapa penelitian, diperoleh data yang menunjukkan merkuri yang hilang setelah amalgamasi dapat mencapai 5% - 10%. Merkuri yang dimasukkan ke dalam tabung amalgamasi (tromol) berkurang sampai 10 % pada saat akhir proses, hal ini disebabkan karena pada tahap pencucian terbawa ke *tailing* (Rohmana *et al.*, 2006).

Contoh analisis *tailing* yang diteliti oleh Setiabudi (2005), di lokasi pertambangan emas rakyat di daerah Sangon Yogyakarta menunjukkan bahwa dari 9 lokasi pengolahan emas rakyat di Sangon, semuanya menunjukkan nilai konsentrasi Hg yang sangat tinggi, yaitu 800 – 6900 ppm. Kenaikan konsentrasi merkuri yang sangat tinggi berhubungan erat dengan pemakaian merkuri dalam proses penggilingan bijih dengan menggunakan alat gelundung.

2.9 Dampak Pencemaran Merkuri

Merkuri di alam umumnya terdapat sebagai methyl merkuri ($\text{CH}_3\text{-Hg}$), yaitu bentuk senyawa organik dengan daya racun tinggi dan sukar terurai dibandingkan zat asalnya. Menurut Rani (2012), dampak merkuri bagi kesehatan manusia dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Pengaruh terhadap fisiologis

Toksitas Hg terutama pada sistem saluran pencernaan (SSP) dan ginjal terutama akibat merkuri terakumulasi. Jangka waktu, intensitas dan jalur

paparan serta bentuk Hg sangat berpengaruh terhadap sistim yang dipengaruhi. Organ utama yang terkena pada paparan kronik oleh elemen Hg dan organ merkuri adalah SSP sedang garam merkuri akan berpengaruh terhadap kerusakan ginjal. Keracunan akut oleh elemen merkuri yang terhisap mempunyai efek terhadap sistim pernafasan sedang garam merkuri yang tertelan akan berpengaruh terhadap SSP.

b. Pengaruh terhadap sistim saraf

Hg yang masuk dalam pencernaan akan memperlambat SSP yang mungkin tidak dirasakan pada pemaparan setelah beberapa bulan sebagai gejala pertama sering tidak spesifik seperti pandangan kabur atau pendengaran hilang (ketulian).

c. Pengaruh terhadap ginjal

Apabila terjadi akumulasi pada ginjal yang diakibatkan oleh masuknya garam anorganik Hg atau phenylmercury melalui SSP akan menyebabkan naiknya permeabilitas epitel tubulus sehingga akan menurunkan kemampuan fungsi ginjal (disfungsi ginjal). Paparan melalui uap merkuri atau garam merkuri melalui saluran pernafasan juga dapat mengakibatkan kegagalan ginjal karena terjadinya proteinuria atau nephrotik sindrom dan tubular nekrosis akut.

d. Pengaruh terhadap pertumbuhan

Terutama terhadap bayi dari ibu yang terpajan oleh MeHg, dari hasil studi membuktikan ada kaitan yang signifikan bayi yang dilahirkan dari ibu yang makan gandum yang telah ditaburi pestisida, maka bayi yang dilahirkan mengalami gangguan kerusakan otak yaitu retardasi mental, tuli, penciutan lapangan pandang, microcephaly, buta dan gangguan menelan.

2.10 Uji Partikel Tanah

Terdapat 2 cara untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel tanah yakni analisa ayakan atau analisa saringan (*Sieve Analysis*), untuk ukuran partikel berdiameter lebih besar dari 0.075 mm dan analisa hidrometer (*Hydrometer Analysis*), untuk ukuran partikel berdiameter lebih kecil dari 0.075 mm. Analisis saringan dan hidrometer diperlukan untuk klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirnya.

Pemeriksaan analisis saringan dan hidrometer ini untuk menentukan penyebaran butiran atau gradasi dari suatu sampel tanah dengan menggunakan saringan dan hidrometer sehingga dapat diketahui jenis tanah berdasarkan diameter butirnya. Analisis saringan dilakukan dengan cara mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set alat ayakan, dimana lubang lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan, kemudian hasil dari analisis saringan tersebut diplotkan pada kurva distribusi ukuran- butiran. Diameter butiran digambarkan dalam skala logaritmik, dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa (Mochtar *et al.*,2012).

Pada analisis hidrometer pemeriksaan ini untuk memperpanjang atau melanjutkan batas kurva distribusi ukuran butiran / gradasi dan untuk memperkirakan ukuran yang lebih kecil dari saringan No.200, pemeriksaan dengan analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi butir butir tanah dalam air, tiap partikel partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda beda (Zaenal, 2005).

2.11 Uji pH

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan, air murni bersifat netral yaitu mendekati pH 7.0 pada suhu 25⁰C, jika pH kurang dari 7.0 dikatakan bersifat asam sedangkan untuk pH lebih dari 7.0 dikatakan bersifat basa atau alkalin. Karena pH adalah skala logaritmik, maka perbedaan satu unit pH setara dengan sepuluh kali lipat perbedaan dalam konsentrasi ion hydrogen (Sakakibara *et al.*,2014). Untuk mengetahui nilai pH air dapat digunakan alat pengukur pH digital yang disebut dengan pH meter. pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan di dalam air, selain itu ikan dan makhluk-makhluk akuatik lainnya hidup pada selang pH tertentu, sehingga dengan diketahuinya nilai pH maka akan diketahui air tersebut sesuai atau tidak untuk menunjang kehidupan (Mochtar *et al.*,2012). Fluktuasi pH air sangat ditentukan oleh alkalinitas air, apabila alkalinitasnya tinggi maka air akan mudah mengembalikan pH-nya ke nilai semula dari setiap

gangguan terhadap perubahan pH. Dengan demikian, kunci dari penurunan pH terletak pada penanganan alkalinitas dan tingkat kesadahan air (Ayuningtyas, 2009).

2.12 Uji Kadar Air

Teknik pengukuran kadar air tanah diklasifikasikan ke dalam dua cara, yaitu langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah berupa pemisahan air dari matrik tanah dan pengukuran langsung dari jumlah air yang dipisahkan tersebut. Pemisahan air dari matriks tanah dapat dicapai melalui: (1) pemanasan; (2) ekstraksi dan penggantian oleh larutan; atau (3) reaksi kimia. Jumlah air yang dipisahkan ditentukan dengan: (1) mengukur perubahan massa/berat setelah pemanasan dan (2) pengukuran kuantitatif dari hasil reaksi. Pemisahan air dengan pemanasan biasa disebut dengan metode gravimetrik, dan merupakan metode pengukuran secara langsung (Das *et al.*, 1998).

Metode tidak langsung adalah dengan mengukur beberapa sifat fisik atau kimia tanah yang berhubungan dengan kadar air tanah. Sifat ini meliputi konstanta dielektrik (*permittivity relatif*), konduktivitas elektrik, kapasitas panas, kandungan ion H, dan kepekaan magnetik. Berlawanan dengan metode langsung, metode tidak langsung bersifat lebih tidak merusak atau nondestruktif, sehingga kandungan air dalam contoh tidak berubah selama pengukuran. Akurasi dan ketepatan dari metode ini tergantung kepada kedekatan hubungan antara sifat yang diukur dan kadar air volumetrik (θ_v).

2.13 Permeabilitas

Menurut Das, dkk (1998), di dalam ilmu kebumihan, permeabilitas (k) merupakan kemampuan suatu material (khususnya batuan) untuk melewatkan fluida. Besaran ini dapat diperoleh melalui perhitungan hukum Darcy. Di dalam hukum Darcy, permeabilitas merupakan bagian dari konstanta perbandingan yang berhubungan dengan laju aliran dan sifat fisis fluida (viskositas) dengan gradien tekanan yang diberikan pada medium berpori. Pada tahun 1856, Darcy memperkenalkan suatu persamaan sederhana yang digunakan untuk menghitung

kecepatan aliran air yang mengalir dalam tanah yang jenuh, dinyatakan sebagai berikut :

$$v = ki \quad (2.1)$$

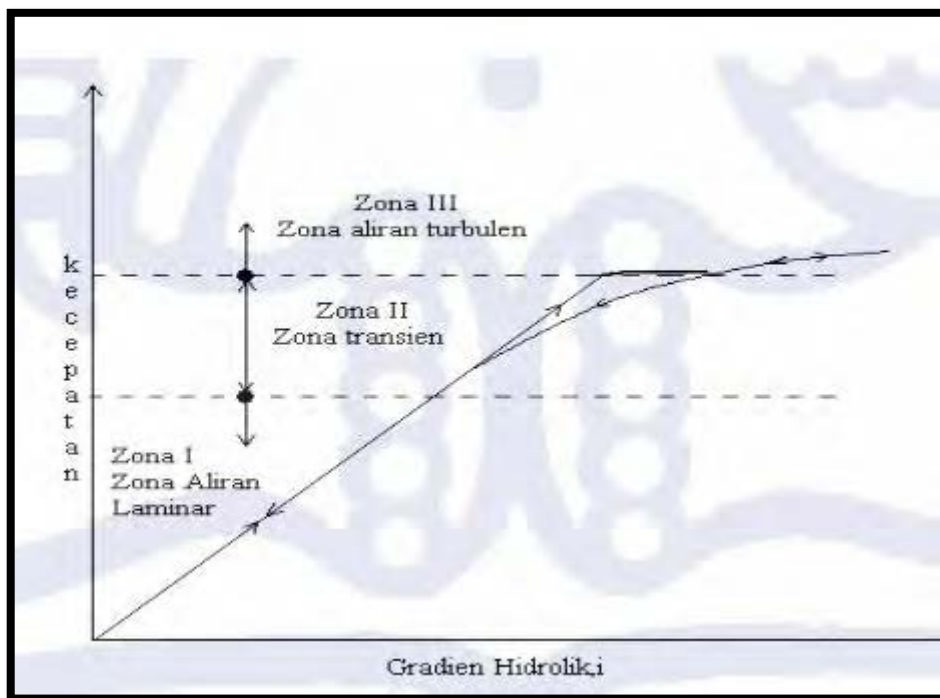
di mana :

v = kecepatan aliran, yaitu banyaknya air yang mengalir dalam satuan waktu melalui suatu satuan luas penampang melintang tanah yang tegak lurus arah aliran

k = koefisien rembesan

i = Gradien hidrolis

Variasi kecepatan aliran v dengan gradien hidrolis i dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Variasi kecepatan aliran v dengan gradien hidrolis i

Sumber: Das, 1998

Dalam persamaan (2.1), v adalah kecepatan aliran air didasarkan pada luas penampang melintang tanah total (luas pori-pori + luas butiran dari penampang melintang tanah). Tetapi, kecepatan sesungguhnya dari air yang melalui ruang pori yaitu kecepatan rembesan (v_s) adalah lebih besar dari v . Hubungan antara kecepatan aliran dan kecepatan rembesan dapat diturunkan dengan menggunakan

Gambar 2.6, yang menunjukkan bahwa panjang tanah L dengan penampang melintang total A. Apabila jumlah air yang mengalir melalui tanah satu satuan waktu q maka :

$$q = vA = A_v v_s \quad (2.2)$$

di mana :

v_s = kecepatan rembesan yang melalui pori-pori tanah

A_v = luas pori-pori penampang melintang contoh tanah.

Tetapi,

$$A = A_v + A_s \quad (2.3)$$

di mana A_s = luas butiran dari penampang melintang contoh tanah.

Dengan menggabungkan persamaan (2.2) dan (2.3), didapat:

$$q = v (A_v + A_s) = A_v v_s$$

hukum Darcy yang didefinisikan oleh persamaan (2.1) menunjukkan bahwa kecepatan aliran v mempunyai hubungan linear dengan gradient hidrolis i . Permeabilitas tanah dapat dikelompokkan berdasarkan kelas kecepatannya. Umland and O'neal (1951) mengelompokkan kelas permeabilitas tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Permeabilitas Tanah.

Kelas	Permeabilitas (cm/jam)
Sangat lambat	< 0,125
Lambat	0,125-0,50
Agak lambat	0,50-2,00
Sedang	2,00-6,25
Agak cepat	6,25-12,50
Cepat	12,50-25,00
Sangat cepat	> 25,00

Sumber: Umland and O'neal, 1951

Menurut Hanafiah (2007), permeabilitas timbul karena adanya pori kapiler yang saling bersambungan satu dengan yang lain. Secara kuantitatif permeabilitas dapat dinyatakan sebagai kecepatan Bergeraknya suatu cairan pada media berpori dalam keadaan jenuh. Beberapa faktor yang mempengaruhi permeabilitas

diantaranya tekstur tanah, bahan organik tanah, kerapatan massa tanah (*bulk density*), kerapatan partikel tanah (*particle density*), porositas tanah dan kedalaman efektif tanah.

2.14 Uji Kadar Merkuri (Hg)

Penentuan kadar merkuri dalam sampel dapat dilakukan menggunakan metode *absorption spectrometry* atau disebut juga *dhithizone colorimetry*. Pada metode tersebut, *dhithizone* akan membentuk kompleks dengan ion logam dan menghasilkan larutan berwarna yang intensitasnya tergantung pada konsentrasi merkuri pada sampel (Japan Ministry of Environment, 2004). Sebelum dilakukan prosedur analisis dengan metode di atas, terlebih dahulu sampel harus didigesti menggunakan metode *Nitric Acid Digestion* sesuai Standard Method 3030-E tentang *Nitric Acid Digestion of Metal Samples* (APHA, 1992).

Komposisi kimia maupun karakteristik fisik dari sampel *tailing* dapat di analisis dengan menggunakan beberapa teknik, diantaranya yaitu metode *Atomic Absorption Spectrometry (AA-S)*, *Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICP-S)* dan *Colorimetry* (US EPA, 2003). Sebelum diuji menggunakan salah satu dari ketiga metode di atas, sampel *tailing* terlebih dahulu dilarutkan menggunakan larutan asam kuat seperti terdapat pada US EPA Method 3050B tentang *Acid Digestion of Sediment, Sludges and Soils for Metals Analysis by FLAA/ICP or GFAA/ICPMS*. Untuk keperluan proses digesti dibutuhkan 1-2 gram sampel dalam berat basah ataupun 1 gram sampel dalam berat kering. Sampel didigesti dengan menambahkan asam nitrat dan hidrogen peroksida secara berulang (US EPA, 1996).

2.15 Wadah Sampel

Menurut SNI 6989.59-2008 (BSN, 2008), wadah dan cara pengawetan sampel merupakan satu kesatuan dan merupakan bagian penting dalam perencanaan pengambilan sampel lingkungan. Secara umum wadah yang digunakan harus memenuhi persyaratan antara lain:

1. Terbuat dari gelas atau plastik (*polypropylene, polyethylene, dan Teflon*) sesuai jenis sampel yang diambil
2. Dapat ditutup dengan kuat dan rapat
3. Bersih dan bebas kontaminan
4. Tidak mudah pecah atau bocor
5. Tidak menimbulkan reaksi antara bahan wadah dan sampel

2.16 Metode Pengambilan Contoh Tanah Utuh dan Tidak Terganggu

Analisis sifat fisik tanah memerlukan contoh tanah yang berbeda, tergantung tujuannya. Ada beberapa jenis contoh tanah, diantaranya contoh tanah utuh (*undisturbed soil sample*), agregat utuh (*undisturbed soil aggregate*), dan contoh tanah tidak utuh (*disturbed soil sample*) yang peruntukan analisisnya berbeda. Menurut Suganda dkk, (2006), pengambilan sampel tanah merupakan tahapan terpenting didalam program uji tanah. Contoh tanah diambil dapat berbentuk:

1. Tanah utuh atau tidak terganggu

Contoh tanah utuh dapat diambil menggunakan tabung logam yang terbuat dari tembaga, kuningan, dan besi. Dengan ukuran tinggi 4 cm, diameter dalam 7,63 cm, dan diameter luar 7,93 cm. Tabung tersebut ditutup dengan plastik di kedua ujungnya. Contoh tanah utuh merupakan contoh tanah yang diambil dari lapisan tanah tertentu dalam keadaan tidak terganggu, sehingga kondisinya hampir menyamai kondisi di lapangan. Contoh tanah tersebut digunakan untuk penetapan angka berat volume (berat isi, *bulk density*) dan permeabilitas.

2. Tanah terganggu

Contoh tanah terganggu dapat juga digunakan untuk analisis sifat- sifat kimia tanah. Kondisi contoh tanah terganggu tidak sama dengan keadaan di lapangan, karena sudah terganggu sejak dalam pengambilan contoh. Contoh tanah ini dapat dikemas menggunakan kantong plastik tebal atau tipis. Kemudian diberi label yang berisikan informasi tentang lokasi, tanggal pengambilan, dan kedalaman tanah. Pengangkutan semua contoh tanah hendaknya berpegang kepada prinsip dasar, bahwa contoh tanah tidak boleh tercampur satu sama lain

dan tidak mengalami perubahan apapun selama dalam perjalanan. Selanjutnya pada teknik pengambilan sampel tanah, Menurut *Shaw Environmental Inc* (2009), teknik sampling diawali dengan mengambil tanah hingga kedalaman 30 cm dari permukaan guna menentukan apakah tindakan remediasi dibutuhkan. Apabila hasil uji contoh tanah positif tercemar, kegiatan remediasi perlu dilakukan hingga kedalaman 60 cm.

2.17 Aspek Teknis

Menurut Suyono (2011), banyak cara yang dapat ditempuh dalam penanggulangan secara teknis. Adapun kriteria yang digunakan dalam memilih dan menentukan cara yang digunakan dalam penanggulangan secara teknis tergantung pada faktor berikut ini yaitu mengutamakan keselamatan lingkungan, teknologi yang harus dilakukan dan ekonomis dapat dipertanggungjawabkan. Adapun upaya pengendalian pencemaran lingkungan hidup yang harus dilakukan yaitu:

1. Pembuatan bak/kolam penampungan limbah yang memadai sehingga limbah tidak di buang ke sungai secara terus menerus atau meresap ke tanah.
2. Memberikan penyuluhan tata cara penambangan dan pengolahan emas yang baik dan benar, sehingga limbah hasil olahan tidak mencemari lingkungan.
3. Memilih teknik penggalian yang ramah lingkungan yaitu pertambangan tertutup, dengan begitu memperkecil keluarnya merkuri dari dalam tanah.
4. Melakukan remediasi lahan tercemar merkuri. Adapun teknologi yang dapat diterapkan dalam upaya pengendalian pencemaran merkuri antara lain :

a) Proses Fisik

Proses fisik dilakukan dengan metode stabilisasi/ solidifikasi. Stabilisasi merupakan teknik mereduksi potensi bahaya limbah dengan tidak merubah sifat fisik dari material yang diolah (Desogus *et al.*,2013). Menurut Trihadiningrum (2000), solidifikasi merupakan tahapan proses dalam mengolah limbah B3 yang bertujuan untuk mengurangi potensi racun dari kandungan yang terdapat pada limbah B3 dengan cara memperkecil/membatasi daya larut dan kontaminasi unsur-unsur yang bersifat racun. Proses S/S dapat berlangsung baik dengan penggunaan bahan pengikat (*binder*) anorganik. Jenis *binder* yang umum digunakan adalah bahan yang mengandung silika atau bahan alumina yang mempunyai sifat seperti

semen seperti *fly ash*, *clay* dan tras (EPA, 2006). Pada tahap ini dilakukan uji kuat tekan produk S/S, juga diuji kadar toksik dari lindi yang dihasilkan melalui prosedur uji TCLP. Seluruh hasil uji yang didapat selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Baku mutu kuat tekan menurut US EPA yaitu 35 ton/m². Sedangkan baku mutu TCLP berdasarkan PP No 101 tahun 2014 untuk merkuri sebesar 0,3 mg/L.

b) Proses Kimia

Upaya penanganan pencemaran logam berat sebenarnya dapat dilakukan dengan menggunakan proses kimia. Seperti penambahan senyawa kimia tertentu untuk proses pemisahan ion logam berat atau dengan resin penukar ion (*exchange resins*), serta beberapa metode lain seperti penyerapan menggunakan karbon aktif, *electrodialysis* dan *reverse osmosis*. Namun proses ini relatif mahal dan cenderung menimbulkan permasalahan baru yaitu akumulasi senyawa tersebut dalam sedimen dan organisme perairan (Putranto, 2011)

c) Proses Biologi

Menurut US-EPA, bioremediasi adalah teknologi pengolahan limbah dengan memanfaatkan agen biologi (makhluk hidup) seperti mikroorganisme dan tumbuh-tumbuhan sebagai proses utamanya. Berdasarkan proses biologis, bioremediasi dapat dibagi dalam empat kelompok yakni fitoremediasi, bioremediasi in-situ, bioremediasi ex-situ, dan bioaugmentasi. Dari ke empat proses biologis fitoremediasi sering digunakan sebagai metode pembersihan lahan tercemar merkuri dengan tanaman yang dapat menyerap logam berat. Menurut Palapa (2009), menunjukkan bahwa tumbuhan air: kangkung air (*Laquatica*), teratai (*N. nelumbo*), enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) mampu mengakumulasi logam berat merkuri dari air limbah tambang emas rakyat di Kecamatan Dimembe. Pada umur 30 hari bioakumulasi merkuri oleh kangkung air sebesar 54,525 ppm, teratai 75,120 ppm dan enceng gondok 42,425 ppm. Dengan demikian penanganan logam berat dengan mikroorganisme menjadi alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi tingkat keracunan logam berat khususnya di lingkungan perairan. Metode dan teknologi ini sangat menarik untuk dikembangkan dan diterapkan, karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses kimiawi. Dengan kata lain

penanganan logam berat dengan mikroorganisme relatif mudah dilakukan, murah dan cenderung tidak berbahaya bagi lingkungan.

2.18 Aspek Hukum

Secara umum beberapa perundang-undangan dan peraturan yang terkait dengan pertambangan emas rakyat yaitu:

Undang-Undang:

Undang-Undang Republik Indonesia No 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Peraturan Pemerintah:

1. Peraturan Pemerintah No 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun
2. Peraturan Pemerintah No 04 tahun 2014 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara

Keputusan Menteri

1. Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi tentang Alat Pelindung Diri
2. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 202 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas atau Tembaga.

Keputusan Bupati

Keputusan Bupati Daerah Kulon Progo No 04 tahun 2014 tentang Pengelolaan Pertambangan Mineral dan Batubara.

Disamping perundang-undangan, peraturan dan kebijakan diatas, operasional harus mengacu pada standarisasi yang sudah ada seperti :

- SK-SNI 6989.59-2008 tentang Wadah dan Cara Pengawetan Sampel

Berbagai Undang-Undang, Peraturan Pemerintah sampai dengan Standar Nasional Indonesia sudah dikeluarkan dengan harapan dapat meminimalisir dampak yang terjadi akibat aktifitas penambangan emas rakyat, serta dapat memberikan manfaat ekonomi, kesehatan bagi masyarakat serta aman bagi lingkungan.

2.19 Aspek Sosial

Menurut Budiyono (2012), terdapat 3 kelompok gejala keracunan merkuri anorganik adalah pemajanan kadar tinggi uap merkuri, pemajanan berulang uap merkuri dan pemajanan senyawa merkuri anorganik. Pemajanan ini berpotensi menimbulkan gejala klinik pada manusia berupa: *respiratory distress* (*bronkhitis*, sukar bernafas dan batuk), kerusakan ginjal, gejala neurologi dan *irritability* (tidak dapat tidur, ketidakstabilan emosi, dan lain-lain). Bila pemajanan tidak berlangsung lama bisa diharapkan penderita bisa pulih kembali. Pemajanan berulang uap merkuri merupakan pemajanan jangka panjang dan organ sasarannya adalah susunan syaraf. Pada konsentrasi tinggi akan timbul gejala-gejala: rongga mulut (sensasi gigi mengambang, nyeri gigi), *proteinuria* tanpa kejelasan adanya disfungsi ginjal. Pada konsentrasi rendah akan timbul gejala-gejala: lemah, cepat lelah, kehilangan nafsu makan, kehilangan berat badan dan disfungsi pencernaan.

a. Keracunan Akut

Keracunan Hg yang akut dapat menyebabkan terjadinya kerusakan saluran pencernaan, gangguan kardiovaskuler, kegagalan ginjal akut maupu shock. Pada pemeriksaan laboratorium tampak terjadinya denaturasi protein enzim yang tidak aktif dan kerusakan membran sel. Gejala keracunan akut antara lain seperti kehilangan nafsu makan, berat badan menurun dan *shyness*. Gejala keracunan kronik ringan adalah erethism, paraesthesia, kehilangan daya ingat, insomnia, tremor dan gingivitis, sweating (Hunter *et al.*, 1980).

b. Keracunan Kronis

Keracunan kronik merkuri organik sangat berbahaya karena mengakibatkan gangguan sistem syaraf pusat (central nervous system). Gejala pertama (sindrom) yang dirasakan antara lain rasa kesemutan, rasa gatal pada kulit, jarak pandang mata menyempit, pendengaran berkurang, berjalan limbung, tremor, dan daya ingat yang berkurang, gangguan fungsi ginjal dan kesuburan, menimbulkan efek membahayakan terhadap otak janin (teratogenik) dan dapat menimbulkan cacat seumur hidup.

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI No 08 tahun 2010, Alat Pelindung Diri (APD) adalah kelengkapan yang wajib digunakan saat

bekerja sesuai bahaya dan risiko kerja untuk menjaga keselamatan pekerja itu sendiri dan orang di sekelilingnya. Jenis-jenis APD adalah topi Pelindung/Pengaman (Safety Helmet), rompi (safety vest), sepatu pelindung (safety shoes), alat pelindung mata (eye protector), alat pelindung pernafasan (respiration protector), alat pelindung telinga (ear protector) dan sarung tangan (work gloves).

2.20 Analisis SWOT (Kekuatan, Kelemahan, Kesempatan, Ancaman)

Analisis SWOT adalah identifikasi berbagai faktor secara sistematis untuk merumuskan strategi yang klasik. Analisis ini didasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan (*strengths*) dan peluang (*opportunities*), namun secara bersamaan dapat meminimalisasikan kelemahan (*weaknesses*) dan ancaman (*treaths*) (Suryana, 2013).

Ada dua macam pendekatan dalam analisis SWOT, yaitu

A. Pendekatan Kualitatif Matriks SWOT

Pendekatan kualitatif matriks SWOT sebagaimana dikembangkan oleh Kearns menampilkan delapan kotak, yaitu dua paling atas adalah kotak faktor eksternal (Peluang dan Tantangan) sedangkan dua kotak sebelah kiri adalah faktor internal (Kekuatan dan Kelamahan). Empat kotak lainnya merupakan kotak isu-isu strategis yang timbul sebagai hasil titik pertemuan antara faktor-faktor internal dan eksternal. Analisis SWOT dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Analisis SWOT

INTERNAL \ EKSTERNAL	OPPORTUNITY	TREATHS
STRENGTH	Comparative Advantage	Mobilization
WEAKNESS	Divestment/Investment	Damage Control

Sumber: Hisyam, 1998

Keterangan :

Sel A: *Comparative Advantages*

Sel ini merupakan pertemuan dua elemen kekuatan dan peluang sehingga memberikan kemungkinan bagi suatu organisasi untuk bisa berkembang lebih cepat.

Sel B: *Mobilization*

Sel ini merupakan interaksi antara ancaman dan kekuatan. Di sini harus dilakukan upaya mobilisasi sumber daya yang merupakan kekuatan organisasi untuk memperlunak ancaman dari luar tersebut, bahkan kemudian merubah ancaman itu menjadi sebuah peluang.

Sel C: *Divestment*

Sel ini merupakan interaksi antara kelemahan organisasi dan peluang dari luar. Situasi seperti ini memberikan suatu pilihan pada situasi yang kabur. Peluang yang tersedia sangat meyakinkan namun tidak dapat dimanfaatkan karena kekuatan yang ada tidak cukup untuk menggarapnya. Pilihan keputusan yang diambil adalah (melepas peluang yang ada untuk dimanfaatkan organisasi lain) atau memaksakan menggarap peluang itu (investasi).

Sel D: *Damage control*

Sel ini merupakan kondisi yang paling lemah dari semua sel karena merupakan pertemuan antara kelemahan organisasi dengan ancaman dari luar, dan karenanya keputusan yang salah akan membawa bencana yang besar bagi organisasi. Strategi yang harus diambil adalah *Damage Control* (mengendalikan kerugian) sehingga tidak menjadi lebih parah dari yang diperkirakan

B. Pendekatan Kuantitatif Analisis SWOT

Data SWOT kualitatif di atas dapat dikembangkan secara kuantitatif melalui perhitungan analisis SWOT yang dikembangkan oleh Pearce dan Robinson (1998) agar diketahui secara pasti posisi organisasi yang sesungguhnya. Perhitungan yang dilakukan melalui tiga tahap, yaitu:

1. Melakukan perhitungan skor (a) dan bobot (b) point faktor serta jumlah total perkalian skor dan bobot ($c = a \times b$) pada setiap faktor S-W-O-T; Menghitung skor (a) masing-masing point faktor dilakukan secara saling bebas penilaian terhadap sebuah point faktor tidak boleh dipengaruhi atau

mempengaruhi penilaian terhadap point faktor lainnya. Perhitungan bobot (b) masing-masing point faktor dilaksanakan secara saling ketergantungan, artinya penilaian terhadap satu point faktor adalah dengan membandingkan tingkat kepentingannya dengan point faktor lainnya. Sehingga formulasi perhitungannya adalah nilai yang telah didapat.

2. Melakukan pengurangan antara jumlah total faktor S dengan W (d) dan faktor O dengan T (e); perolehan angka ($d = x$) selanjutnya menjadi nilai atau titik pada sumbu X, sementara perolehan angka ($e = y$) selanjutnya menjadi nilai atau titik pada sumbu Y;
3. Mencari posisi organisasi yang ditunjukkan oleh titik (x,y) pada kuadran SWOT.

a) Kuadran I (positif, positif)

Posisi ini menandakan sebuah organisasi yang kuat dan berpeluang, Rekomendasi strategi yang diberikan adalah progresif, artinya organisasi dalam kondisi prima dan mantap sehingga sangat dimungkinkan untuk terus melakukan ekspansi, memperbesar pertumbuhan dan meraih kemajuan secara maksimal.

b) Kuadran II (positif, negatif)

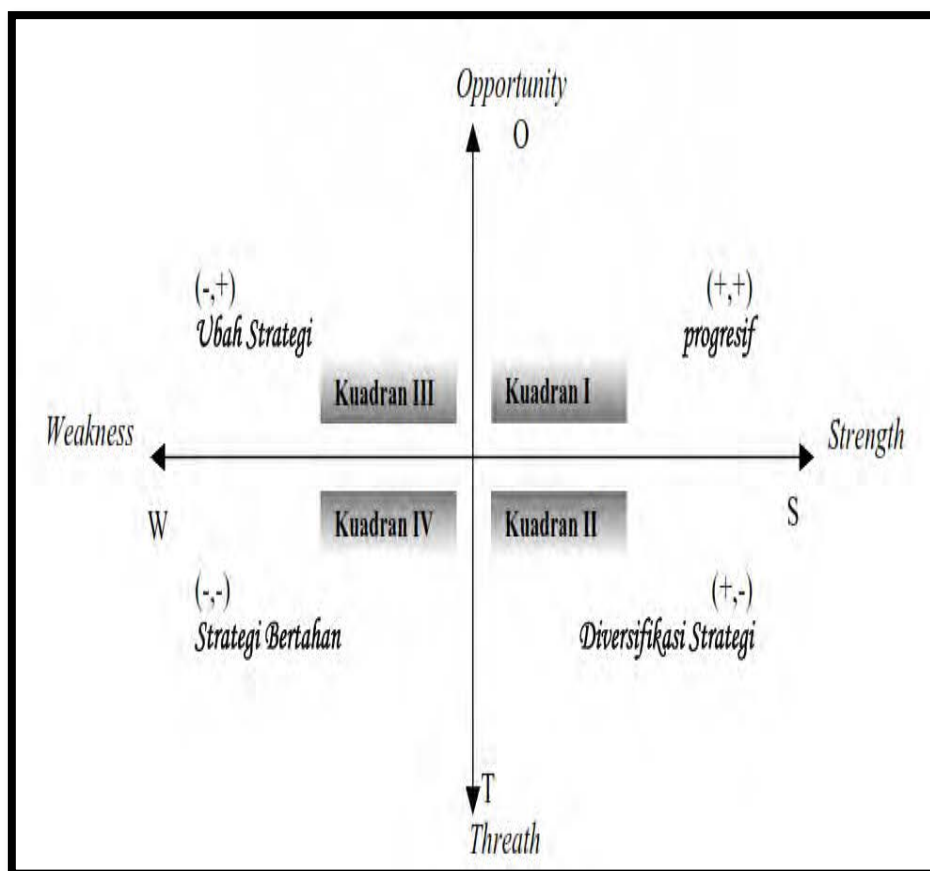
Posisi ini menandakan sebuah organisasi yang kuat namun menghadapi tantangan yang besar. Rekomendasi strategi yang diberikan adalah diversifikasi strategi, artinya organisasi dalam kondisi mantap namun menghadapi sejumlah tantangan berat. Oleh karena, organisasi disarankan untuk segera memperbanyak ragam strategi taktisnya.

c. Kuadran III (negatif, positif)

Posisi ini menandakan sebuah organisasi yang lemah namun sangat berpeluang. Rekomendasi strategi yang diberikan adalah ubah strategi, artinya organisasi disarankan untuk mengubah strategi sebelumnya. Sebab, strategi yang lama dikhawatirkan sulit untuk dapat menangkap peluang yang ada sekaligus memperbaiki kinerja organisasi.

d. Kuadran IV (negatif, negatif)

Posisi ini menandakan sebuah organisasi yang lemah dan menghadapi tantangan besar. Rekomendasi strategi yang diberikan adalah strategi bertahan, artinya kondisi internal organisasi berada pada pilihan dilematis. Oleh sebab itu disarankan untuk menggunakan strategi bertahan, mengendalikan kinerja internal agar tidak semakin terperosok. Kuadran SWOT dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Kuadran SWOT

Sumber: Hisyam, 1998

2.21 Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini, dan berfungsi mempermudah dalam pelaksanaan penelitian. Beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.3

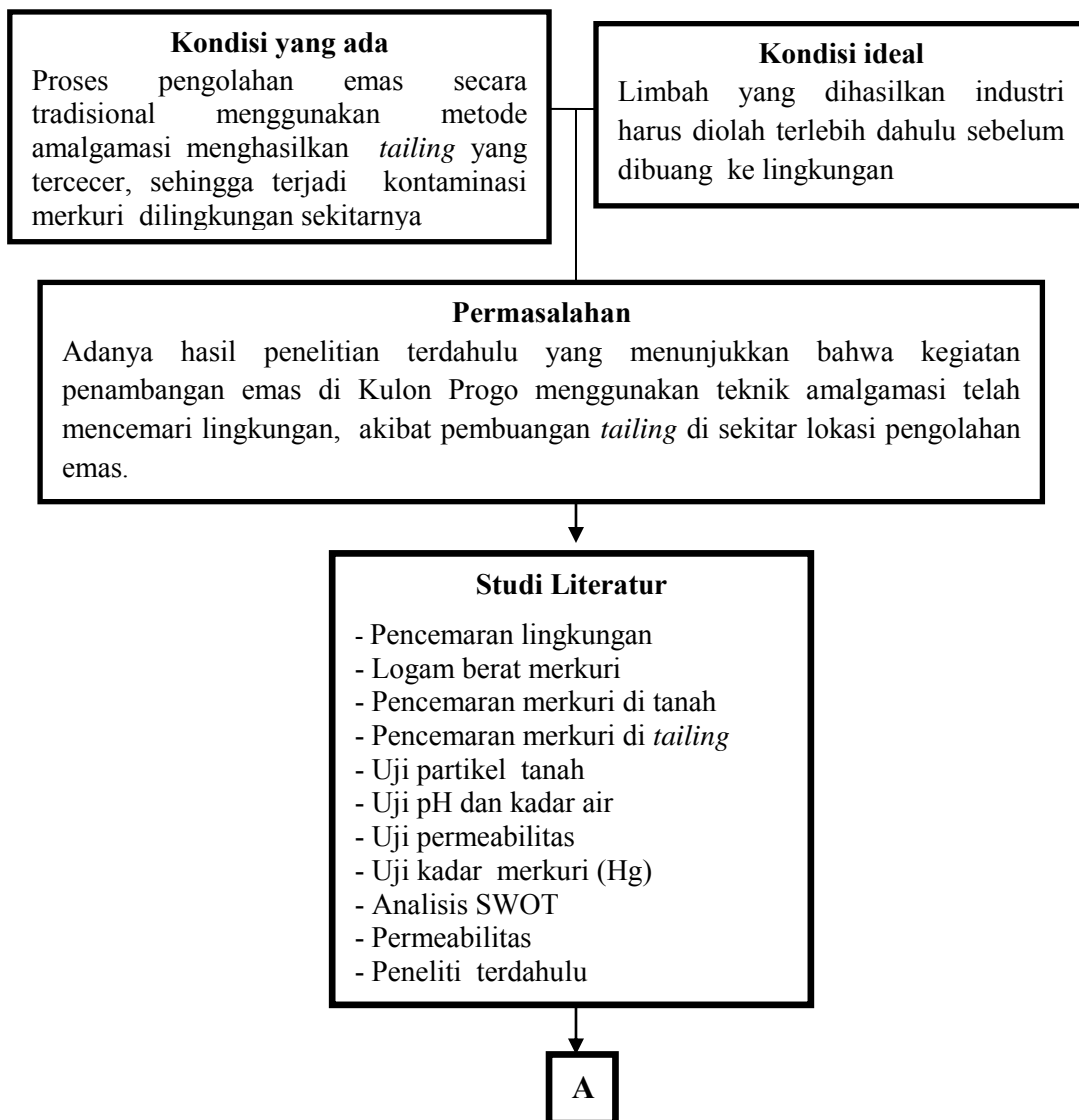
Tabel 2.3 Beberapa Penelitian Terdahulu

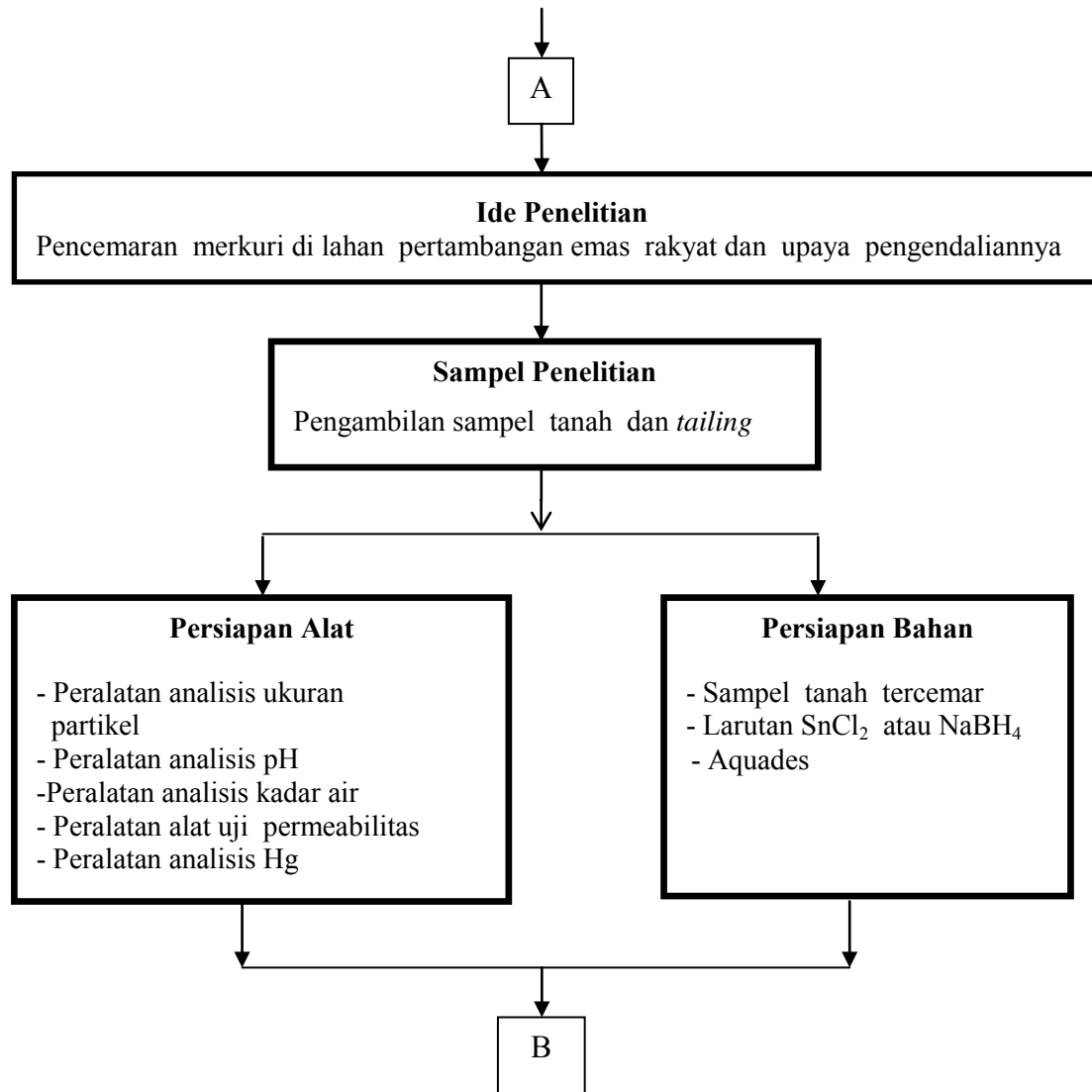
No	Sumber	Hasil Penelitian
1	Widodo, 2014	Hasil penelitian di daerah Waluran, Kabupaten Sukabumi, metode amalgamasi dengan cara tidak langsung mampu meningkatkan perolehan logam emas hingga 14,580% dan menekan tingkat kehilangan merkuri (Hg) hingga 3,933%.
2	Mirdat, 2013	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan merkuri pada semua sampel tanah dan <i>tailing</i> sangat tinggi dari ambang batas yang ditentukan. Konsentrasi normal merkuri dalam tanah 0,03 ppm dan konsentrasi kritis 0,3-0,5 ppm; sedangkan konsentrasi merkuri dalam tanah di lokasi penelitian berkisar antara 0,057 ppm sampai 8,19 ppm, dan dalam <i>tailing</i> berkisar 84,15 ppm-575,16 ppm
3	Koleangan, 2012	Analisis merkuri (Hg) dan Arsen (As) di sedimen sungai menunjukkan konsentrasi total merkuri di sedimen sungai berturut-turut yaitu 0,05 ppm, 1,3 ppm, 0,18 ppm. Konsentrasi tertinggi terjadi di daerah pertambangan emas rakyat.
4	Putranto, 2011	Konsentrasi air raksa yang dideteksi kira-kira 25% dari air tanah dan air permukaan. Hal ini diketahui dari hasil sampel yang berasal dari 2,783 lokasi barang sisa yang penuh resiko diuji oleh U.S Enviromental Protection Agency (EPA).
5	Laksono, 2007	Proses stabilisasi /solidifikasi merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah B3. Inti dari proses S/S adalah menurunkan mobilitas dan kelarutan logam berat (pencemar) dalam limbah. Semen Portland digunakan pada proses S/S karena semen mempunyai komposisi konsisten dan murah.
6	Herman, 2006	Tinjauan terhadap <i>tailing</i> yang mengandung unsur pencemaran arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) dari sisi pengolahan biji logam, menunjukkan bahwa <i>tailing</i> yang berasal dari proses amalgamasi bijih emas memungkinkan limbah merkuri tersebar di sekitar wilayah pertambangan dan dapat membentuk pencemaran lingkungan oleh merkuri organik atau anorganik.
7	Setiabudi, 2005	Hasil analisis contoh tanah menunjukkan kadar merkuri yang sangat tinggi >50 ppm Hg. Demikian pula dengan contoh <i>tailing</i> menunjukkan konsentrasi Hg yang tinggi yakni 800 – 6900 ppm.

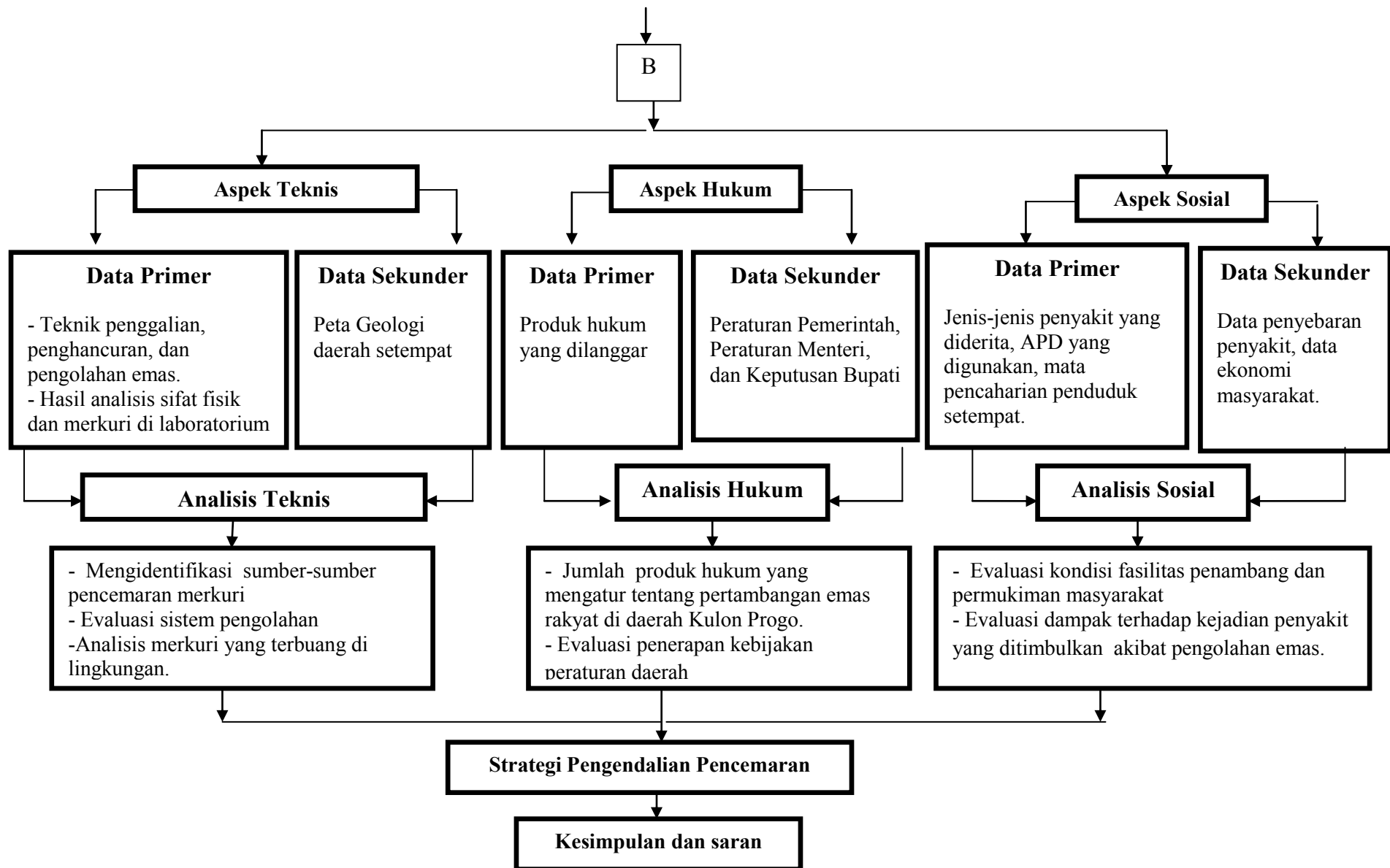
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini merupakan gambaran awal dari penelitian, sehingga akan mempermudah dalam penelitian dan penulisan laporan. Kerangka penelitian juga dapat mempermudah pembaca untuk memahami apa yang dilakukan oleh peneliti. Berdasarkan ide yang telah dibuat, maka kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1







Gambar 3.1 Kerangka Metode Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian adalah langkah-langkah apa saja yang akan dilakukan. Tujuan dari tahapan penelitian ini adalah untuk menjelaskan lebih rinci apa saja yang telah ada dalam kerangka penelitian, serta untuk memudahkan pemahaman. Berikut ini adalah tahapan-tahapan yang akan dilakukan :

1. Ide Penelitian

Hal yang pertama kali dilakukan adalah menemukan ide yang berasal dari permasalahan yang ada di sekitar kita. Ide penelitian ini muncul akibat adanya hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kegiatan penambangan emas di Kulon Progo menggunakan teknik amalgamasi telah mencemari lingkungan, akibat pembuangan *tailing* di sekitar lokasi pengolahan emas. Penelitian kali ini adalah pencemaran merkuri di lahan pertambangan emas rakyat dan upaya pengendaliannya.

2. Studi Literatur

Studi literatur ini digunakan untuk membantu dan mendukung ide penelitian, dan juga untuk meningkatkan pemahaman lebih lanjut terhadap ide yang akan diteliti. Sumber literatur yang akan digunakan adalah *jurnal internasional*, *jurnal nasional*, peraturan pemerintah, *text book*, makalah seminar, dan tugas akhir terdahulu yang berhubungan dengan penelitian.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Cangkul dan kantong plastik
- Peralatan uji analisis saringan yaitu sendok semen, timbangan digital, oven, saringan untuk agregat halus no 4,75 sampai dengan pan
- Peralatan uji pH, yaitu pH meter, kaca elektroda, *beaker*, *thermometer*, timbangan analitis.
- Peralatan untuk uji kadar merkuri yaitu *beaker glass*, pipet ukur, *electric stove*, spektrofotometer uap dingin

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

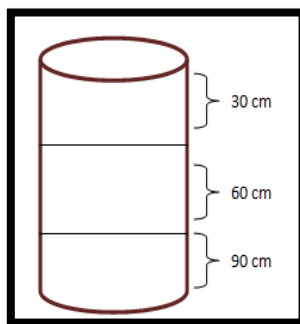
- Bahan uji partikel tanah dan pH yaitu: sampel tanah tercemar.
- Bahan uji kadar merkuri yaitu: larutan SnCl_2 atau NaBH_4 , akuades

4. Pemilihan Sampel Tanah

Sampel diambil dari lokasi penambangan emas di Desa Kalirejo Kecamatan Kokap Kabupaten Kulon Progo. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada:

1. Tanah tercemar

Sampel tanah terganggu diambil menggunakan cangkul dan pipa ukuran panjang 20 cm dengan diameter 6 cm, pada setiap kedalaman 30 cm, 60 dan 90 cm (Gambar 3.2). Jumlah sampel yang diambil sebanyak 15 sampel dari lima titik penambangan emas yang masih aktif.



Gambar 3.2 Sampel tanah terganggu

2. Tanah tidak tercemar

Sampel tanah tidak terganggu diambil di lokasi yang tidak terpengaruh oleh aktifitas penambangan. Penentuan titik sampling dilakukan seperti pada tanah terganggu. Namun pada masing-masing titik diambil pada kedalaman 30 cm, 60 cm dan 90 cm. Sehingga terdapat 6 buah sampel yang diambil dari dua titik tersebut.

5. Pengambilan Sampel *Tailing*

Tailing atau limbah dari pengolahan bijih emas diambil berdasarkan SNI 6989-59-2008, dimana untuk air limbah industri dengan proses pengumpulan berasal dari satu saluran pembuangan. Pengambilan contoh dilakukan pada saluran sebelum masuk ke perairan penerima air limbah, dengan cara sesaat (*grab*

sampling). Contoh *tailing* diambil sesuai keperluan penelitian, dengan tujuan memperoleh informasi mengenai kandungan merkuri dalam *tailing*.

6. Perlakuan Sampel

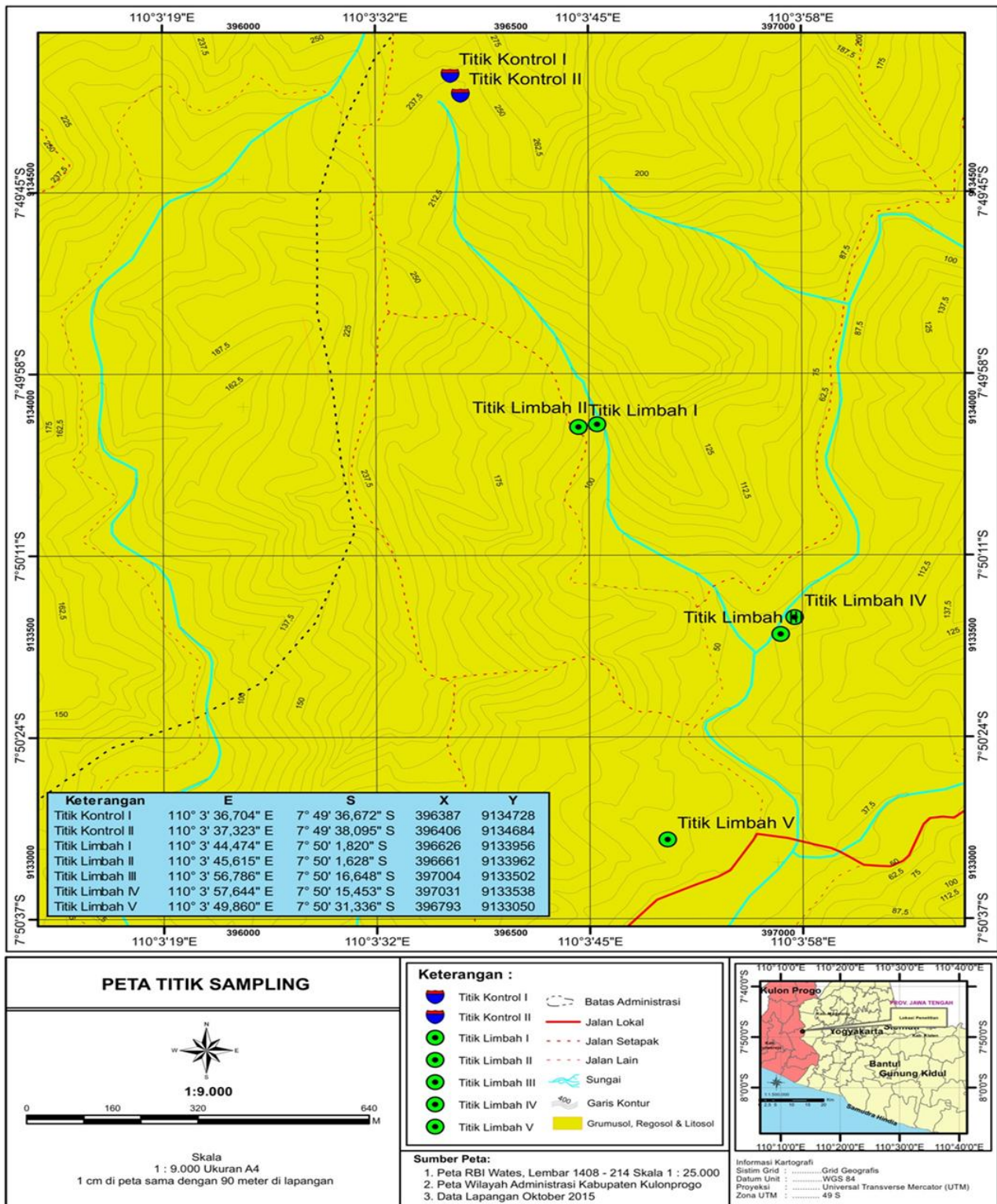
Setiap sampel tanah maupun sampel *tailing* dimasukan kedalam wadah yang terbuat dari gelas atau plastik (*polypropylene, polyethylene, dan Teflon*) yang bersih, tidak mudah pecah dan bocor, tidak menimbulkan reaksi antara bahan wadah dan sampel, serta diberi kode yang jelas.

7. Uji Partikel Tanah

Uji partikel diperlukan untuk mengklasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirnya. Pada uji partikel tanah, digunakan sampel tanah sebanyak 500 g untuk setiap kedalaman lubang bor. Sampel tanah dimasukkan kedalam saringan, dimulai dari saringan yang paling atas. Kemudian saringan ditutup dengan rapat. Selanjutnya penjepit mesin dikencangkan dan mesin penggetar dihidupkan selama kira-kira 15 menit. Setelah itu dilakukan penimbangan masing-masing sampel tanah yang tertahan dan yang lolos. Uji partikel tanah yang dilakukan mengacu pada ASTM D422 tentang *method of test for determination of particle size analysis of soil* (Lampiran A).

8. Uji pH

Uji pH dilakukan mengacu pada method 9045D USEPA tentang *soil and waste pH*. Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/elektrometri dengan menggunakan pH meter. Uji pH dilakukan pada tanah dan *tailing* masing-masing 2 sampel (duplo), dan diambil secukupnya untuk keperluan penelitian di laboratorium (Lampiran A).



Gambar 3.4 Peta Titik *Sampling* Tanah Tercemar Merkuri di Desa Kalirejo Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo

9. Uji Kadar Air

Uji kadar air dilakukan mengacu pada ASTM D2216-71 tentang *water content*. Metode yang digunakan ialah metode gravimetrik. Metode gravimetrik adalah metode yang paling sederhana secara konseptual dalam menentukan kadar air tanah. Pada prinsipnya mencakup pengukuran kehilangan air dengan menimbang contoh tanah sebelum dan sesudah dikeringkan pada suhu 105 – 110 °C dalam oven. Uji kadar air dilakukan kepada 15 sampel tanah dan diambil secukupnya untuk keperluan penelitian di laboratorium.

10. Uji Permeabilitas

Uji permeabilitas dilakukan mengacu pada ASTM 2434 – 68 tentang *permeability test*. Metode tes ini meliputi prosedur untuk menetapkan koefisien permeabilitas dengan cara *falling head* untuk aliran air yang berbutir halus sehingga sesuai dengan aslinya di lapangan. Uji permeabilitas diambil menggunakan paralon dengan panjang 20 cm dan diameter 3'', dengan kedalaman 30 cm, 60 cm dan 90 cm. Sehingga terdapat 15 buah sampel yang diambil dari lima titik tersebut.

11. Uji Kadar Merkuri (Hg) Dalam Tanah dan *Tailing*

Sebelum melakukan uji kadar merkuri pada sampel tanah maka terlebih dahulu dilakukan pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) dengan metode *Nitric Acid Digestion* (APHA 1998). Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan metode tersebut antara lain:

- Mencampur sampel yang akan diuji dengan cairan asam sebanyak 100 mL pada *beaker glass*
- Menambahkan HNO₃ sebanyak 5 mL
- Panaskan secara perlahan pada *beaker glass* hingga mendidih sampai terjadi pengurangan volume hingga 10 mL – 20 mL
- Tambahkan HNO₃ yang diperlukan sampai proses *digestion* selesai dan tunggu hingga warna larutan menjadi bening
- Tambahkan filtrat dengan 100 mL aquades dan dinginkan sampel dengan cara diaduk.

Setelah didapatkan hasil dari metode *Nitric Acid Digestion*, maka sampel yang berbentuk cair dapat dilakukan pengukuran menggunakan metode *dhithizone*. *Dhithizone method* adalah pencampuran sampel dengan larutan *ammoniacal citrate-cyanide* yang telah diekstraksi dengan *dhithizone* didalam larutan klorofom. Sampel diambil dan warna larutan sampel diukur dengan menggunakan spektrofotometri dengan panjang gelombang 510 nm. Prosedur dapat dilihat pada lampiran A.

12. Pengumpulan Data

Metoda pengumpulan data penelitian dibagi menjadi dua yaitu pengumpulan data primer dan sekunder.

- a. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari lapangan selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai meliputi: ukuran partikel tanah, pH, kadar air, permeabilitas dan kadar merkuri dalam tanah dan *tailing*.
- b. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber yang ada berupa data dari Puskesmas Kalirejo, Kantor Kelurahan Kalirejo, Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Kulon Progo. Adapun data sekunder antara lain : data ekonomi masyarakat, data penyebaran penyakit, data baku mutu air limbah, peta aliran air dan peta geologi daerah setempat.

13. Metode Evaluasi

Data primer dan data sekunder yang telah dikumpulkan akan dianalisa dengan melakukan tinjauan terhadap aspek teknis, hukum dan sosial kemasyarakatan.

13.1 Aspek Teknis

Analisis aspek teknis dilakukan dengan menganalisis kondisi eksisting, berupa mengidentifikasi sumber-sumber pencemaran merkuri, sistem pengolahan yang digunakan serta analisis kadar merkuri yang terbuang ke lingkungan. Hasil analisis kadar merkuri di laboratorium akan dibandingkan dengan baku mutu tanah

tidak tercemar merkuri yang diatur dalam Peraturan Pemerintah No 101 tahun 2014.

13.2 Aspek Hukum

Pada aspek hukum mengkaji jumlah produk hukum yang di keluarkan oleh pemerintah daerah setempat tentang pertambangan emas rakyat. Pada aspek ini dilakukan wawancara atau penyebaran kuesioner, selanjutnya akan dianalisa secara deskriptif yang nantinya akan menjelaskan jumlah produk hukum yang digunakan serta penerapan kebijakan peraturan daerah. Analisa tersebut dilakukan untuk menciptakan peraturan perundangan yang dapat merencanakan, mengatur dan mengawasi segala macam bentuk kegiatan industri dan teknologi sehingga tidak terjadi pencemaran.

13.3 Aspek Sosial Kemasyarakatan

Pada aspek sosial kemasyarakatan akan dilakukan wawancara, penyebaran kuesioner dan pengamatan langsung terhadap kondisi fasilitas penambang dan permukiman masyarakat serta dampak terhadap kejadian penyakit yang ditimbulkan akibat pengolahan emas. Selanjutnya, dengan data-data sekunder dan pengamatan langsung dianalisa secara deskriptif yang nantinya akan menjelaskan tingkat kejadian penyakit yang kemungkinan adalah dampak langsung dan tidak langsung dari adanya pengelolaan emas dengan metode amalgamasi.

14 Strategi Pengendalian Pencemaran

Hasil evaluasi dari aspek teknis, hukum dan sosial kemasyarakatan akan dianalisa menggunakan analisa SWOT sehingga diperoleh strategi pengendalian pencemaran merkuri di lahan pertambangan emas rakyat.

15 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis untuk menjawab rumusan masalah yang ada. Strategi upaya pengendalian pencemaran merkuri pada tambang emas rakyat dapat disampaikan. Selain itu, perbaikan demi kelengkapan dan evaluasi lebih mendalam diperlukan sebagai penelitian lanjutan bagi peneliti lain.

BAB 4

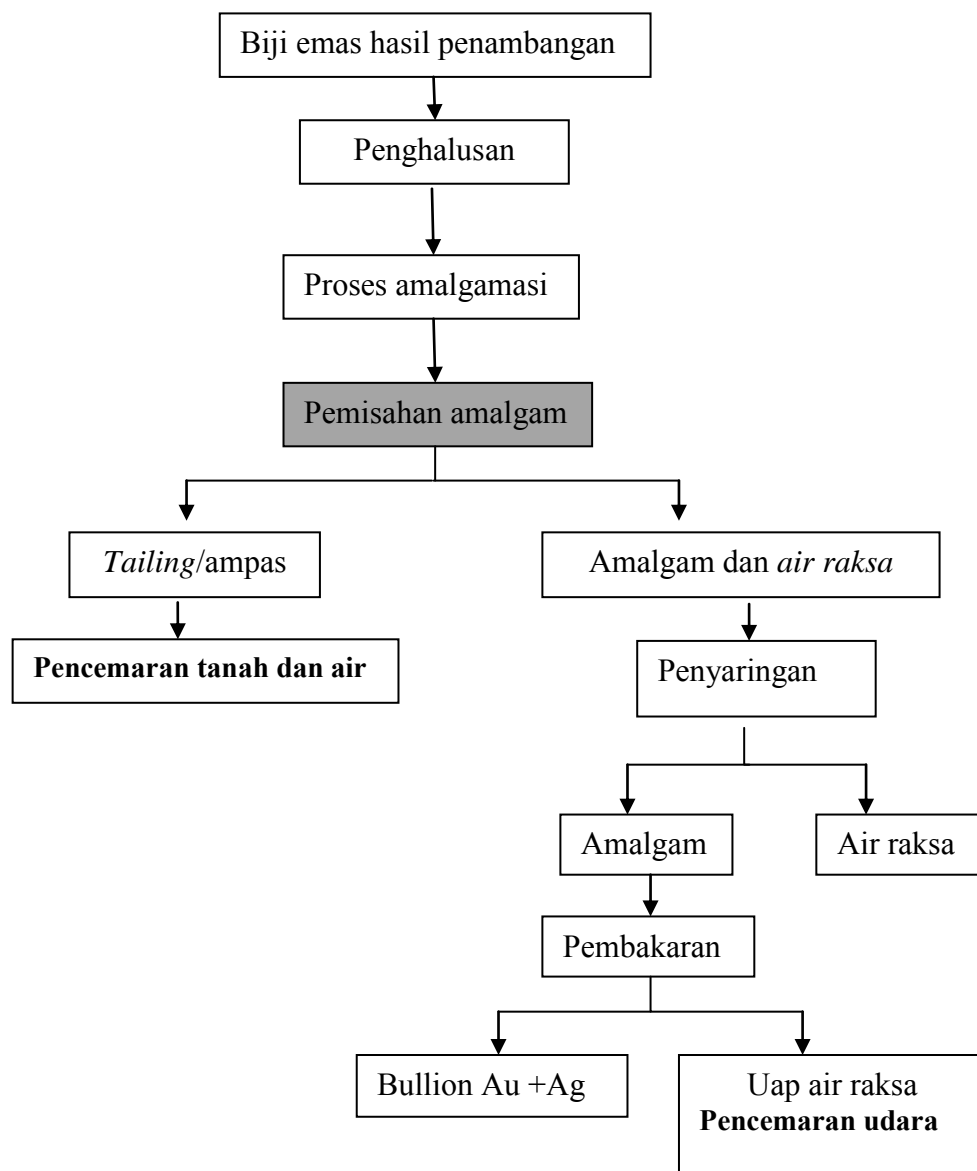
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aspek Teknis

4.1.1 Sumber-Sumber Pencemaran Merkuri di Daerah Pertambangan Emas Rakyat Kulon Progo

Sumber pencemaran merkuri pada pengolahan emas di Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Kokab, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta, terjadi dari aktifitas pengolahan bijih emas dengan proses amalgamasi. Pada proses amalgamasi, emas dipisahkan dari pengikatnya dimana bijih emas yang sudah dalam bentuk butiran halus dilakukan proses amalgamasi yaitu proses pengikatan logam emas dari bijih tersebut dengan menggunakan merkuri (Hg) dalam tabung yang disebut sebagai gelundung (amalgamator). Merkuri secara otomatis akan mengikat emas. *Tailing* atau limbah penambangan dari proses amalgamasi yang banyak mengandung merkuri langsung dibuang ke lingkungan (sungai) tanpa diproses terlebih dahulu, sehingga sangat memungkinkan menyebabkan pencemaran pada air dan tanah di lokasi penambangan emas.

Pengolahan bijih emas dengan metode amalgamasi dapat memperoleh hasil 38,40-47,98%, sehingga emas yang terbuang bersama ampas sebesar 52,02-62.60% (Widodo, 2011). Perolehan emas dengan metode amalgamasi yang rendah (<60%) menimbulkan masalah pencemaran air sungai dari merkuri dan logam-logam berat. Menurut Widhiyatna (2005), pada proses amalgamasi merkuri (Hg) juga terlepas ke lingkungan pada proses pencucian. Sebagian merkuri yang terikat dengan emas disaring dan akan memisahkan emas dan merkuri secara terpisah. Sisa merkuri hasil saringan ini biasanya masih dapat dipergunakan lagi. Emas yang tersisa biasanya akan dibakar untuk mendapatkan emas murni, pembakaran di tempat terbuka akan menimbulkan emisi uap merkuri yang mengakibatkan pencemaran udara. Uap hasil pembakaran emas akan terbuang ke lingkungan sebesar 25-30% (Veiga *et al.*, 2009). Oleh sebab itu, dapat dipastikan sumber pencemaran merkuri terjadi pada air, tanah dan juga udara. Diagram alir sumber pencemaran merkuri dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Diagram Alir Sumber Pencemaran Merkuri

Berdasarkan Gambar 4.1, diperoleh bahwa salah satu sumber pencemaran merkuri dalam tanah berasal dari proses penambangan atau pengolahan emas pada tahap pemisahan amalgam (perpaduan logam emas/perak dengan Hg) dari ampas (*tailing*). Kondisi ini terus terjadi ketika bak penampungan penuh dan *tailing* terececer ke luar sehingga mengalir di sekitar halaman rumah. Fakta yang terjadi di lapangan menunjukkan bahwa terjadi pencemaran lingkungan karena pembuangan

limbah *tailing* bijih emas secara tidak benar masih banyak terjadi di beberapa lokasi pengolahan biji emas (Widodo *et al.*, 2006).

4.1.2 Hasil Uji Ukuran Partikel Tanah

Analisis pembagian butir, mengacu pada ASTM D422 tentang *method of test for determination of particle size analysis of soil*. Hasil analisis pembagian butir tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Analisis Pembagian Butir Tanah

Sampel	Proporsi (%) Fraksi Tanah			Kelas Tekstur
	Pasir	Lanau	Liat	
TA 1-30	76,23	8,49	15,28	Lempung berpasir
TA 1-60	71,37	10,23	18,40	Lempung berpasir
TA 1-90	32,33	48,37	19,29	Lempung
TA II-30	53,73	28,46	17,80	Lempung berpasir
TA II-60	43,92	45,74	10,34	Lempung
TA II-90	35,40	44,87	19,73	Lempung
TA III-30	32,33	48,37	19,29	Lempung
TA III-60	25,53	47,29	27,18	Lempung berliat
TA III-90	13,93	52,86	33,21	Lempung liat berlanau
TA IV-30	57,04	30,69	12,27	Lempung berpasir
TA IV-60	36,24	50,72	13,04	Lempung berlanau
TA IV-90	28,44	25,57	45,98	Liat
TA V-30	71,41	10,65	17,94	Lempung berpasir
TA V-60	55,99	31,35	12,66	Lempung berpasir
TA V-90	18,35	59,95	21,70	Lempung berlanau

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa sampel tanah pada masing-masing titik dan kedalaman memiliki persentase kandungan pasir, lanau dan liat yang berbeda. Tanah yang mengandung fraksi pasir yang tinggi akan mempermudah masuknya air permukaan ke dalam tanah, karena pasir tidak memiliki daya ikat air yang tinggi sehingga berpengaruh terhadap cepat meresapnya logam berat ke dalam tanah dibandingkan dengan tanah liat (Mirdat, 2013). Tanah yang mengandung fraksi berliat jika liatnya >35 % memiliki kemampuan menyimpan air dan hara yang sangat tinggi, sehingga berpengaruh terhadap keadaan logam berat yang terserap di dalam tanah dengan cepat namun sulit dilepaskan ketika kondisi tanah yang mengandung logam berat tersebut kering. Tanah yang memiliki kandungan lempung berlanau dan lempung liat berlanau dipengaruhi oleh kecilnya ruang pori tanah yang menyebabkan tanah memiliki daya hantar air yang lambat sehingga

berpengaruh terhadap lambat meresapnya logam berat ke dalam tanah (Islami dan Utomo, 1995). Sistem klasifikasi fraksi partikel yang digunakan menurut *United States Department of Agriculture (USDA)*. Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah yaitu:

Pasir : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 2,0 mm

Lanau : butiran dengan diameter 0,002 sampai dengan 0,05 mm

Liat : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm

Menurut Agus *et al.*, (2012), tanah dengan berbagai perbandingan pasir, lanau dan liat dikelompokkan atas berbagai kelas tekstur seperti yang digambarkan pada segitiga tekstur (Lampiran D).

4.1.3 Hasil Uji pH Tanah Dan *Tailing*

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Jika pH kurang dari 7.0 dikatakan bersifat asam sedangkan pH lebih dari 7.0 dikatakan bersifat basa atau alkalin (Ayuningtyas, 2009). Uji pH tanah dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Uji pH dilakukan kepada 15 sampel tanah. Hasil pengujian nilai pH tanah dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Nilai pH Tanah

Kode Sampel	Nilai pH Tanah
TA 1-30	7,05
TA 1-60	6,65
TA 1-90	6,00
TA II-30	6,15
TA II-60	6,30
TA II-90	6,30
TA III-30	6,35
TA III-60	6,36
TA III-90	6,36
TA IV-30	6,15
TA IV-60	6,20
TA IV-90	6,30
TA V-30	6,40
TA V-60	6,60
TA V-90	6,60

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat nilai derajat keasaman pH tanah di lokasi penelitian bersifat asam yaitu berkisar antara 6,00-7,05. Nilai pH tanah mencerminkan kelarutan ion hidrogen dalam tanah serta menggambarkan tingkat keasaman tanah. Semakin rendah nilai pH semakin tinggi kelarutan logam berat di dalam tanah yang berpengaruh pada tercemarnya tanah (LaGrega *et al.*, 2001). Pada tanah asam tanaman mempunyai kemungkinan besar untuk teracuni logam berat yang pada akhirnya dapat mati karena keracunan tersebut. Pengaruh utama pH di dalam tanah adalah pada ketersediaan dan sifat beracun unsur seperti Fe (besi), Al (aluminium), Mn (mangan), B (boron), Cu (seng). Di dalam tanah pH sangat penting dalam menentukan aktifitas dan dominasi mikroorganisme dalam hubungannya dengan proses proses mikroorganisme seperti siklus hara, penyakit tanaman, dekomposisi dan sintesis senyawa kimia organik dan transport gas ke atmosfer (Bailey *et.al.*, 1986).

Uji pH *tailing* dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu UGM. Uji pH *tailing* dilakukan kepada 5 sampel *tailing* di 5 titik pengolahan emas. Hasil pengujian nilai pH *tailing* dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Nilai pH *Tailing*

Kode Sampel	Nilai pH <i>Tailing</i>
TL I	8,56
TL II	7,76
TL III	7,88
TL IV	8,18
TL V	7,48

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan nilai pH *tailing* berkisar antara 7,48 – 8,56. Sehingga dapat dikatakan hasil pengukuran nilai pH *tailing* tergolong netral hingga agak basa. Peraturan Menteri LH RI No 51 tahun 1999 tentang baku mutu limbah cair untuk kegiatan industri, standar pH yang ditetapkan adalah 6,0 – 9,0. Semakin tinggi nilai pH semakin rendah kelarutan logam berat di dalam tanah yang berpengaruh pada tercemarnya tanah (LaGrega *et al.*, 2001). Kondisi tanah yang memiliki pH basa akan membahayakan kelangsungan hidup organisme karena akan menyebabkan terjadinya gangguan metabolisme dan respirasi (Bailey *et al.*, 1986).

4.1.4 Hasil Uji Kadar Air

Uji kadar air dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah. Uji ini menggunakan metode gravimetrik. Pada prinsipnya mencakup pengukuran kehilangan air dengan menimbang contoh tanah sebelum dan sesudah dikeringkan pada suhu 105 - 110⁰ C dalam oven. Hasilnya dinyatakan dalam persentase air dalam tanah, yang dapat diekspresikan dalam persentase terhadap berat kering dan berat basah. Uji kadar air dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS. Uji ini dilakukan kepada 15 sampel tanah. Hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kadar Air Pada Sampel Tanah Tercemar Merkuri

Kode Sampel	Kadar Air (%)
TA 1-30	13,18
TA 1-60	15,75
TA 1-90	12,60
TA II-30	12,71
TA II-60	13,37
TA II-90	13,71
TA III-30	17,50
TA III-60	17,99
TA III-90	19,20
TA IV-30	11,66
TA IV-60	13,60
TA IV-90	14,45
TA V-30	12,75
TA V-60	12,70
TA V-90	18,52

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat nilai kadar air yang bervariasi pada masing-masing titik dan kedalaman. Rata-rata kadar air dari 15 sampel tanah yaitu 14,64 %. Hasil yang diperoleh, diketahui kandungan air tanah di dalam tanah tergolong rendah. Keadaan tersebut dipengaruhi oleh adanya kandungan bahan organik dalam tanah. Menurut Hanafiah (2007), kadar air tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah. Makin tinggi kandungan bahan organik tanah, akan semakin tinggi kadar air.

Kadar air dalam tanah berhubungan erat dengan kapasitas lapang. Kapasitas lapang adalah volume air yang dapat ditahan oleh tanah yang dipengaruhi oleh tarikan gaya gravitasi. Kapasitas lapang berperan penting dalam proses pelindian. Semakin tinggi nilai kadar air maka semakin tinggi tingkat pelindian merkuri dalam tanah. Oleh sebab itu pengukuran kadar air berhubungan erat dengan konsentrasi merkuri dalam tanah. Semakin tinggi tingkat pelindian dalam tanah berpengaruh terhadap tingginya merkuri dalam tanah (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

4.1.5 Hasil Uji Konsolidasi Tanah

Uji konsolidasi tanah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan ITS. Uji ini dilakukan kepada 15 sampel tanah di 5 titik pengolahan emas. Sampel tanah diambil dengan menggunakan parolon sepanjang 20 cm. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kemungkinan adanya infiltrasi merkuri pada tanah. Nilai k permeabilitas hasil uji konsolidasi tanah dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Nilai k Permeabilitas Hasil Uji Konsolidasi Tanah

No Sampel	k (consolidation)	
	(cm/detik)	(cm/jam)
TA 1-30	$3,26 \times 10^{-13}$	$1,17 \times 10^{-09}$
TA 1-60	$4,40 \times 10^{-13}$	$1,58 \times 10^{-09}$
TA 1-90	$4,40 \times 10^{-13}$	$1,58 \times 10^{-09}$
TA II-30	$6,23 \times 10^{-13}$	$2,24 \times 10^{-09}$
TA II-60	$5,31 \times 10^{-13}$	$1,91 \times 10^{-09}$
TA II-90	$4,58 \times 10^{-13}$	$1,64 \times 10^{-09}$
TA III-30	$1,03 \times 10^{-12}$	$3,70 \times 10^{-09}$
TA III-60	$7,32 \times 10^{-13}$	$2,63 \times 10^{-09}$
TA III-90	$4,4 \times 10^{-13}$	$1,58 \times 10^{-09}$
TA IV-30	$2,76 \times 10^{-13}$	$9,93 \times 10^{-10}$
TA IV-60	$3,05 \times 10^{-13}$	$1,09 \times 10^{-09}$
TA IV-90	$3,68 \times 10^{-13}$	$1,32 \times 10^{-09}$
TA V-30	$1,82 \times 10^{-13}$	$6,55 \times 10^{-10}$
TA V-60	$4,15 \times 10^{-13}$	$1,05 \times 10^{-09}$
TA V-90	$5,06 \times 10^{-13}$	$1,82 \times 10^{-09}$

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai permeabilitas berkisar antara $1,05 \times 10^{-09}$ - $9,93 \times 10^{-10}$. Rata-rata nilai uji permeabilitas sebesar $2,65 \times 10^{-09}$ cm/jam. Menurut Uhland and O'neal (1951), nilai permeabilitas tanah di Desa

Kalirejo masuk dalam kategori sangat lambat yaitu $< 0,125$ cm/jam. Menurut Hanafiah (2010), ukuran pori sangat menentukan sekali dalam permeabilitas tanah, semakin kecil pori dalam tanah maka semakin lambat permeabilitas dalam tanah tersebut. Kerapatan tanah berpengaruh besar terhadap masuknya air dalam tanah yang mengandung logam berat, hal itu mengakibatkan tingginya kadar logam berat merkuri dalam tanah. Oleh sebab itu semakin kecil nilai permeabilitas tanah maka semakin rendah kadar merkuri dalam tanah (Mirdat, 2013).

4.1.6 Tingkat Pencemaran Merkuri Di Daerah Pertambangan Emas Rakyat Kulon Progo Dengan Peraturan Pemerintah RI No 101 Tahun 2014

4.1.6.1 Hasil Uji Kadar Merkuri Dalam Tanah

Uji kadar merkuri dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu UGM. Uji ini dilakukan kepada 15 sampel tanah tercemar merkuri. Hasil uji kadar merkuri dalam tanah di lokasi penambangan emas rakyat Desa Kalirejo Kecamatan Kokab Kabupaten Kulon Progo D.I Yogyakarta berkisar antara 0,30-22,51 mg/kg. Hasil analisis total konsentrasi merkuri pada tanah dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Analisis Total Konsentrasi Merkuri Pada Tanah

Kode Sampel	Jumlah Tromol (Unit)	Jumlah Merkuri Yang Digunakan (kg Hg)	Kadar Hg mg/kg	Baku Mutu (mg/kg)
				PP 101 tahun 2014
TA 1-30	12	6	5,34	0,3
TA 1-60			22,51	0,3
TA 1-90			3,22	0,3
TA II-30	10	5	0,42	0,3
TA II-60			1,01	0,3
TA II-90			0,78	0,3
TA III-30	4	2	0,75	0,3
TA III-60			1,06	0,3
TA III-90			0,88	0,3
TA IV-30	6	3	4,81	0,3
TA IV-60			3,49	0,3
TA IV-90			0,89	0,3
TA V-30	12	6	0,74	0,3
TA V-60			0,30	0,3
TA V-90			4,22	0,3

Berdasarkan hasil tersebut maka konsentrasi merkuri dalam tanah sangat tinggi yakni berada diatas ambang baku mutu tanah tercemar merkuri sesuai Peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dengan standar yang ditetapkan adalah 0,3 mg/kg. Kondisi tanah di lokasi penambangan emas dapat dikatakan telah tercemar merkuri. Menurut Suhandi (2005), konsentrasi merkuri yang sangat tinggi pada tanah terjadi mengingat penambang emas yang mengolah bijih emas membuang material atau lumpur *tailing*-nya di lingkungan sekitar, baik di darat maupun ke badan sungai.

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan kadar merkuri pada setiap titik dan kedalaman. Pada titik sampel pertama kadar merkuri sangat tinggi terjadi pada kedalaman 60 cm yaitu sebesar 22,51 mg/kg dikarenakan tanah tersebut mengandung lempung berpasir yang memiliki daya hantar air yang cepat sehingga mempengaruhi kecepatan rembesan logam berat ke dalam tanah (Mirdat, 2013), sedangkan kadar merkuri yang rendah berada pada kedalaman 90 cm yaitu sebesar 3,22 mg/kg dikarenakan tanah tersebut mengandung lempung dimana sifat lempung memiliki butiran yang sangat halus dan juga memiliki permeabilitas yang rendah sehingga memungkinkan sulit ditembus oleh logam berat. Pada titik sampel kedua cenderung nilai kadar merkuri lebih rendah dari titik sampel pertama kondisi ini disebabkan karena tekstur tanah didominasi oleh kandungan lempung sehingga logam berat sulit melewati pori-pori tanah (Rhani, 2012). Pada titik sampel ketiga kadar merkuri memiliki perbedaan yang sangat kecil antara kedalaman 30, 60 dan 90 cm. Kondisi ini diakibatkan oleh sifat merkuri yang mudah menguap ketika berada di permukaan tanah, akibat adanya reaksi antara merkuri dan lingkungan luar serta dipengaruhi oleh tekstur tanah setempat yang memiliki kandungan lempung sehingga menyebabkan kecilnya pori-pori dalam tanah yang berpengaruh pada rendahnya daya serapan logam berat ke dalam tanah. Pada titik sampel empat ditemukan kadar merkuri sangat tinggi berada pada kedalaman 30 cm yaitu sebesar 4,81 mg/kg dan terendah pada kedalaman 90 cm sebesar 0,89 mg/kg. Kadar merkuri yang tinggi pada kedalaman 30 cm dipengaruhi oleh penggunaan merkuri yang sangat banyak pada proses pengolahan emas. Kadar merkuri yang rendah pada kedalaman 90 cm diduga sebagian besar logam berat menghilang dari dalam tanah karena mengalami metilasi menjadi bentuk molekul-

molekul volatil dan mengalami volatilisasi atau penguapan (Fardiaz,1992). Selain itu dipengaruhi oleh tekstur tanah yang tergolong tanah liat yang memiliki sifat cenderung lengket bila dalam keadaan basah dan kuat menyatu antara butiran tanah yang satu dengan yang lainnya sehingga berpengaruh terhadap rendahnya serapan logam berat ke dalam tanah. Menurut Alloway (1990), fraksi liat merupakan jenis tanah yang penting dalam menyerap ion-ion logam berat. Pada titik sampel lima didapati kadar merkuri cukup tinggi pada kedalaman 90 cm sebesar 4,22 mg/kg. Kondisi ini disebabkan oleh penggunaan merkuri yang berlebih dalam pengolahan emas serta pada kedalaman 30 cm dan 60 cm memiliki tekstur tanah yang didominasi oleh lempung berpasir sehingga mempengaruhi kecepatan rembesan merkuri pada kedalaman 90 cm lebih banyak. Tanah berpasir yang tersusun atas 70 % partikel tanah berukuran besar (0,05 mm- 2,0 mm) memiliki kemampuan mengikat air sangat rendah (Darmanti, 2013).

4.1.6.2 Hasil Uji Kadar Merkuri Pada Limbah Tambang *Tailing*

Uji kadar merkuri pada limbah tambang *tailing* dilakukan untuk mengetahui konsentrasi merkuri dalam *tailing*. Uji ini dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu UGM kepada 5 sampel *tailing* di 5 titik pengolahan emas. Hasil analisis konsentrasi merkuri pada limbah tambang *tailing* dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Analisis Konsentrasi Merkuri Pada Limbah Tambang *Tailing*

Kode Sampel	Kadar Hg (mg/kg)
	PERMEN LH No 202 tahun 2004
TL I	352,32
TL II	326,66
TL III	164,19
TL IV	251,51
TL V	383,21

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kadar merkuri yang paling tinggi berada pada titik lima sebesar 383,21 mg/kg. Kenaikan konsentrasi merkuri dalam *tailing* yang tinggi berhubungan erat dengan volume pemakaian merkuri dalam proses pengolahan emas dengan menggunakan alat gelundung. Sedangkan pada titik tiga konsentrasi merkuri cukup rendah sebesar 164,19 mg/kg. Kondisi ini

dikarenakan penggunaan volume merkuri yang sedikit. Berdasarkan penelitian Mirdat (2013) tingginya kandungan merkuri pada area pengolahan dikarenakan penggunaan merkuri pada saat pengolahan mencapai 500 gram Hg per tromol per satu kali pengolahan. Dengan demikian limbah *tailing* dari proses pengolahan emas secara konvensional dengan menggunakan merkuri telah melebihi baku mutu, sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 202 tahun 2004 tentang baku mutu air limbah bagi kegiatan penambangan bijih emas dan tembaga dengan standar yang ditetapkan adalah 0.005 mg/L atau setara dengan 0.005 mg/kg.

4.1.6.3 Hasil Uji Tanah Kontrol

Uji tanah kontrol dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam berat merkuri dalam tanah yang tidak tercemar merkuri. Uji ini dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu UGM kepada 6 sampel *tailing* di 2 titik lahan yang tidak tercemar merkuri atau yang jauh dari aktifitas penambangan emas. Hasil analisis tanah kontrol dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Analisis Tanah Kontrol

Kode Sampel	Kadar Hg ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Kadar Hg (mg/kg)
TA 1-30	197,48	0,19748
TA 1-60	24,22	0,02422
TA 1-90	< 0,10	< 0,0001

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa kadar merkuri pada tanah kontrol di setiap titik dan kedalaman lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang tercemar sesuai dengan baku mutu tanah tercemar yaitu 0,3 mg/kg. Hal ini dapat terlihat semakin ke dalam maka semakin rendah konsentrasi merkuri dalam tanah. Pada kedalaman 30 cm nilai kadar merkuri sebesar 0,19748 mg/kg. Kondisi ini disebabkan karena selama proses pembakaran emas dengan merkuri, berlangsung di tempat terbuka yang menimbulkan emisi uap merkuri yang terbawa oleh angin sehingga menyebabkan uap merkuri terbang ke tanah. Uap hasil pembakaran emas akan terbang ke lingkungan sebesar 25-30% (Veiga *et al.*,2009). Pada kedalamannya 90 cm kadar merkuri lebih rendah sebesar < 0,0001 mg/kg. Kondisi ini disebabkan karena sifat merkuri yang mudah menguap ketika berinteraksi

dengan lingkungan sekitar. Rendahnya kadar merkuri disebabkan karena faktor jarak dari tanah kontrol yang lebih jauh dari sumber tercemar. Menurut Siregar (2006), pada suatu tempat tertentu konsentrasi dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan diantaranya jarak dari sumber pencemar, topografi, altitude (ketinggian dari permukaan laut), pencemar udara, hujan, radiasi matahari, serta arah dan kecepatan angin.

4.2 Aspek Hukum

Aspek hukum sangat penting dalam mengawasi kegiatan penambangan emas rakyat. Hasil kuisioner yang dilakukan pada 25 responden di sekitar tempat pengolahan emas, menunjukkan bahwa penambangan emas di Desa Kalirejo masih bersifat *illegal* atau belum memiliki izin dari pemerintah setempat. 23 responden (92%) mengatakan bahwa lebih dari 25 hektar lahan digunakan untuk aktifitas penambangan emas. 25 responden (100%) mengatakan bahwa aktifitas penambangan diketahui oleh Pemerintah Daerah dan pernah ditutup sementara karena belum memiliki izin namun dibuka kembali. 13 responden (52%) menyatakan bahwa tidak mengetahui adanya peraturan tentang pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun yang tertuang dalam PP No 101 tahun 2014. 13 responden (52%) pernah melaporkan kepada aparat Desa Kalirejo tentang terjadinya kerusakan lingkungan akibat pengolahan emas.

Menurut hasil wawancara dengan salah seorang penambang emas, salah satu penyebab pencemaran lingkungan yaitu kurangnya pendidikan yang baik bagi para penambang yang lebih mengejar target mendapatkan emas dibanding mematuhi setiap peraturan terkait yang mengatur tentang tata cara penambangan yang baik. Selain itu lemahnya Pemerintah Daerah untuk mengawasi seluruh kegiatan penambangan emas karena banyak penambang emas belum memiliki izin pertambangan rakyat (IPR).

Dalam usaha mengurangi dan menanggulangi pencemaran lingkungan dikenal dengan cara menciptakan peraturan perundangan yang dapat merencanakan, mengatur dan mengawasi segala macam bentuk kegiatan penambangan sehingga tidak terjadi pencemaran lingkungan. Berdasarkan Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa peraturan tentang pengendalian pencemaran lingkungan

hidup sangat penting untuk mengatur seluruh aktifitas yang dilakukan oleh para penambang emas. Tanpa adanya peraturan yang mengikat segala upaya untuk meningkatkan kualitas lingkungan dalam hal ini lingkungan tambang di Desa Kalirejo, tidak akan berhasil. Fakta yang ada adalah kegiatan pertambangan emas rakyat yang tidak ramah lingkungan masih berlangsung terjadi, dikarenakan kurangnya pengetahuan pekerja tambang tentang bahaya penggunaan merkuri yang berdampak pada pencemaran lingkungan, dan juga peraturan hukum yang dibuat pemerintah dilanggar oleh para penambang.

Berikut peraturan hukum yang berkaitan dengan pencemaran lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.9

4.3. Aspek Sosial

4.3.1 Sosial Ekonomi

Berdasarkan hasil kuisioner terdapat 15 responden (60%) mengatakan bahwa penduduk Desa Kalirejo bermata pencaharian sebagai petani sekaligus sebagai penambang emas sedangkan 10 responden (40%) sebagai peternak. Ketika musim hujan tiba, penduduk Desa Kalirejo beralih profesi dari penambang emas menjadi petani, hal ini dilakukan karena pada musim hujan aktifitas penambangan terganggu oleh air hujan yang masuk ke dalam lubang tambang. Ketika musim hujan berhenti penduduk Desa Kalirejo kembali menambang.

4.3.2 Kesehatan Masyarakat

Desa Kalirejo terdapat 1 puskesmas yang dapat melayani masyarakat ketika dalam keadaan sakit. Hasil kuisioner menunjukkan bahwa 19 responden (76%) pernah melakukan pemeriksaan kesehatan di puskesmas tersebut. Banyak keluhan yang terjadi dimana 20 responden (80%) pernah mengeluhkan penyakit nyeri pada dada, rasa gatal pada kulit, sulit bernafas, sakit kepala dan gangguan tenggorokan. Sedangkan 22 responden (88%) mengatakan selama ada aktifitas penambangan emas, petugas kesehatan belum pernah ke lokasi untuk memeriksa kesehatan para pekerja dan masyarakat sekitar.

Tabel 4.9 Peraturan Hukum Berkaitan dengan Pencemaran Lingkungan

No	Sisi Tinjauan	Deskripsi	Dasar Hukum Yang Dilanggar
1	Izin dan luas wilayah pertambangan emas rakyat	<ul style="list-style-type: none"> - Kegiatan penambangan emas mulai muncul sejak tahun 1995, namun belum ada satupun penambang emas yang telah mengurus surat izin penambangan emas kepada Pemerintah Daerah setempat. - Penambang emas menggunakan lahan tanpa memperhatikan batas maksimum yang ditentukan untuk aktifitas penambangan emas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peraturan Bupati Kulon Progo No 4 tahun 2014 pasal 7 ayat 1 mengatakan bahwa setiap orang yang melakukan kegiatan usaha pertambangan wajib memiliki izin pertambangan dari Bupati. - Peraturan Bupati Kulon Progo No 4 tahun 2014 pasal 27 ayat 4 mengatakan bahwa luas wilayah pertambangan rakyat dapat diberikan kepada perseorangan sebesar 1.000 meter persegi, kelompok 5.000 meter persegi dan koperasi 10.000 meter persegi.
2	Penggunaan APD (Alat Pelindung Diri)	<ul style="list-style-type: none"> - Pekerja tambang tidak menggunakan APD yang sesuai. Berdasarkan pengamatan di lapangan, walaupun sebagian pekerja sudah menggunakan masker, akan tetapi jenis masker yang digunakan hanya terbuat dari bahan kaos sehingga tidak kuat untuk menghalau uap merkuri masuk ke dalam tubuh melalui inhalasi. Hal sama juga terjadi pada penggunaan alat pelindung kaki dan tangan. 	Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No 8 tahun 2010 tentang alat pelindung diri pasal 2 ayat 2 dan pasal 3 dikatakan bahwa jenis dan fungsi APD yang digunakan harus sesuai dengan SNI yang berlaku. Salah satu contoh untuk alat pelindung tangan harus terbuat dari logam, kulit, kain kanvas, kain atau kain berpelapis, karet dan sarung tangan yang tahan bahan kimia.
3	Limbah B3	<ul style="list-style-type: none"> - Aktifitas penambangan emas rakyat di Desa Kalirejo terbukti telah membuang limbah hasil pengolahan emas ke tanah. 	Peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun, pasal 3 ayat 1 setiap orang yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbah B3 yang dihasilkannya.
4.	Baku Mutu tanah dan <i>tailing</i> tambang tercemar merkuri	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil uji karakterisasi merkuri dalam tanah berkisar 0,30-22,51 ppm Hg dan telah melebihi baku mutu tanah tercemar merkuri sedangkan pada <i>tailing</i> juga cukup tinggi berkisar 164,19 	Peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014 baku mutu tanah tercemar merkuri yang ditetapkan adalah 0.3 ppm. Selanjutnya dijelaskan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 202 tahun 2004 tentang baku mutu air limbah

		ppm-383,21 ppm Hg dan telah melebihi baku mutu air limbah bagi kegiatan penambangan.	bagi kegiatan penambangan bijih emas atau tembaga dengan standar yang ditetapkan adalah 0.005 mg/L.
5	Penanggulangan pencemaran	Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan ditemukan bahwa para penambang emas terbukti membuang limbah hasil pengolahan emas pada tanah dan sungai. Namun belum ada satupun yang mengatakan aktifitas penambangan yang dilakukan telah menimbulkan masalah pencemaran lingkungan.	Peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014 pasal 198 dijelaskan bahwa setiap orang yang menghasilkan limbah B3 dan yang melakukan pencemaran lingkungan hidup wajib melaksanakan penanggulangan pencemaran dan pemulihan fungsi lingkungan.
6	Reklamasi dan pasca tambang lahan bekas tambang emas	Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan terdapat beberapa titik penambangan emas yang sudah tidak aktif lagi namun belum ada upaya dari penambang emas untuk menutup lubang bekas tambang serta menanam pohon pelindung agar tidak terjadi longsor.	Peraturan Pemerintah No 4 tahun 2009 pasal 99 dan juga yang termuat dalam Peraturan Bupati Kulon Progo No 4 tahun 2014 pasal 43 ayat 1 pemegang izin usaha pertambangan wajib melaksanakan kegiatan reklamasi dan pasca tambang terhadap lahan terganggu pada tanah bekas tambang secara bertahap sesuai rencana penambangannya.

4.3.3 Keselamatan Kesehatan Kerja

Adapun tujuan keselamatan kesehatan kerja yaitu untuk menciptakan keselamatan tenaga kerja dalam melakukan pekerjaan. Berdasarkan hasil kuisioner dan juga pengamatan di lapangan didapatkan 14 responden (56%) mengetahui sebagian pekerja, tidak menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) saat melakukan aktifitas penambangan emas dan 20 responden (80%) mengatakan bahwa pekerja tidak menggunakan APD yang sesuai dengan peraturan yang dikeluarkan menteri tenaga kerja dan transmigrasi. Selama bertahun tahun aktifitas penambangan dilakukan di sekitar halaman rumah dengan jarak berkisar 5 sampai 10 meter dari rumah penduduk. Sebagian besar mengetahui merkuri adalah logam berat, 23 orang responden (92%) mengatakan bahwa para pekerja tambang membuang limbah hasil pengolahan emas di sekitar halaman rumah dikarenakan tempat penampungan limbah yang penuh dan tidak permanen. 2 orang responden (8%) mengatakan bahwa limbah hasil pengolahan emas langsung dibuang ke sungai.

Menurut data kesehatan dari Puskesmas Kalirejo (2011), penyakit yang sering di derita oleh masyarakat Desa Kalirejo adalah nyeri pada dada, sulit bernafas dan batuk-batuk, muntah, diare, sakit kepala, rasa gatal pada kulit dan gangguan pada tenggorokan. Menurut Rani (2012), semua komponen merkuri baik dalam bentuk metil maupun bentuk alkil yang masuk ke dalam tubuh manusia akan menyebabkan kerusakan permanen pada otak, hati dan ginjal.

Resiko tinggi pemaparan merkuri pada pengolahan emas tradisional adalah pada saat proses penyaringan dan pemijaran. Pada proses penyaringan, merkuri yang masih dalam bentuk anorganik akan diserap dan masuk ke dalam tubuh melalui kulit karena pada proses penyaringan dilakukan pencampuran merkuri, sedangkan pada proses pemijaran maka pengolah akan terpajan uap merkuri melalui inhalasi karena bijih emas yang telah diikat dengan merkuri akan dipanaskan pada suhu yang sangat tinggi dan akan terjadi penguapan merkuri (Sambowo, 2012). Seharusnya jenis masker yang digunakan adalah respirator, kondisi inilah yang menyebabkan uap merkuri berpeluang masuk kedalam paru-paru, demikian halnya penggunaan sarungtangan yang kedap air (dari karet) dan penggunaan sepatu boot yang dapat mencegah terabsorbsinya merkuri ke dalam saluran darah mengingat pekerja selalu kontak dengan merkuri setiap hari maka

dimungkinkan semua ini akan dapat masuk ke dalam tubuh. Sarung tangan yang dipakai sebagian pekerja terbuat dari kain dengan demikian jika basah maka merkuri akan terserap pada sarung tangan kain tersebut, hal ini memungkinkan kontak antara merkuri dan kulit semakin lama selanjutnya berimbas pada kadar merkuri yang masuk ke dalam darah.

4.4 Strategi Pengendalian Pencemaran Merkuri Di Lahan Pertambangan Emas Rakyat Kulon Progo Dengan Analisa SWOT

Pencemaran lingkungan mempunyai dampak yang sangat luas dan sangat merugikan manusia maka perlu diusahakan pengurangan pencemaran lingkungan bila mungkin meniadakan sama sekali. Untuk mengatasi berbagai persoalan lingkungan akibat penambangan emas tradisional di Desa Kalirejo maka dilakukan berbagai upaya pengendalian pencemaran. Adapun upaya pengendalian pencemaran yang dilakukan setelah mengumpulkan data hasil pengisian kuisisioner maupun wawancara langsung kepada masyarakat. Hasil tersebut untuk menjawab aspek teknis, hukum dan sosial sekaligus menjawab strategi yang diterapkan dalam upaya pengendalian pencemaran merkuri.

4.4.1 Analisis SWOT

Matriks SWOT merupakan pendekatan yang paling sederhana dan cenderung bersifat subyektif-kualitatif. Matriks ini menggambarkan secara jelas bagaimana peluang dan ancaman eksternal yang dihadapi organisasi dapat disesuaikan dengan kekuatan dan kelemahan yang dimilikinya. Keseluruhan faktor internal dan eksternal yang telah diidentifikasi dikelompokkan dalam matriks SWOT yang kemudian secara kualitatif dikombinasikan untuk menghasilkan klasifikasi strategi yang meliputi empat set kemungkinan alternatif strategi, yaitu:

1. Strategi S-O (*Strengths – Opportunities*)

Kategori ini mengandung berbagai alternatif strategi yang bersifat memanfaatkan peluang dengan mendayagunakan kekuatan/kelebihan yang dimiliki. Strategi ini dipilih bila skor eksternal lebih besar daripada 2 dan skor internal lebih besar daripada 2.

2. Strategi W-O (*Weaknesses – Opportunities*)

Kategori yang bersifat memanfaatkan peluang eksternal untuk mengatasi kelemahan. Strategi ini dipilih bila skor eksternal lebih besar dari pada 2 dan skor internal lebih kecil atau sama dengan 2.

3. Strategi S-T (*Strengths – Threats*)

Kategori alternatif strategi yang memanfaatkan atau mendayagunakan kekuatan untuk mengatasi ancaman. Strategi ini dipilih bila skor eksternal lebih kecil atau sama dengan 2 dan skor internal lebih besar daripada 2.

4. Strategi W-T (*Weaknesses – Threats*)

Kategori alternatif strategi sebagai solusi dari penilaian atas kelemahan dan ancaman yang dihadapi, atau usaha menghindari ancaman untuk mengatasi kelemahan. Strategi ini dipilih bila skor eksternal lebih kecil atau sama dengan 2 dan skor internal lebih kecil atau sama dengan 2.

1. Analisis Faktor Internal

Bertujuan untuk mengetahui kelemahan (*weaknesses*) dan kekuatan (*strengths*). Kelemahan internal merupakan kendala untuk mencapai tujuan sedangkan kekuatan internal merupakan aset yang tak terlihat yang dapat digunakan untuk mengurangi maupun menghilangkan kelemahan yang ada sekaligus menjadi pendorong tercapainya tujuan. Analisis faktor internal diidentifikasi pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Faktor-Faktor Internal Pertambangan Emas Rakyat

No	Sisi Tinjauan	Deskripsi
1	Kekuatan (<i>Strengths</i>)	Tanah di Desa Kalirejo mengandung emas. Keberadaan emas pada tanah merupakan suatu potensi sumber daya alam yang terbesar dan dapat dimanfaatkan untuk kehidupan yang ada di Desa Kalirejo Kecamatan Kokab Kabupaten Kulon progo Provinsi Yogyakarta. Berdasarkan hasil kuisisioner ditemukan bahwa penambangan emas rakyat sudah terjadi sejak tahun 1995 oleh penambang asal tasikmalaya.
2	Kelemahan (<i>Weakness</i>)	1. Penambang emas belum memiliki surat izin kegiatan Pertambangan 2. Penambang menggunakan lahan selebihnya untuk kegiatan pertambangan. 3. Sebagian besar <i>tailing</i> dibuang di atas tanah atau di

		<p>sekitar halaman rumah dan langsung ke sungai karena belum memiliki tempat pembuangan limbah yang permanen.</p> <p>4. Adanya penggunaan merkuri yang berlebih sehingga mencemari tanah di sekitar pengolahan emas yang melampaui baku mutu</p> <p>5. Penambang tidak menggunakan APD sesuai dengan SNI</p> <p>6. Timbulnya penyakit yang merupakan indikasi pencemaran oleh merkuri seperti nyeri pada dada, sulit bernafas dan batuk-batuk, muntah, diare, sakit kepala, rasa gatal pada kulit dan gangguan pada tenggorokan.</p> <p>7. Banyak lubang bekas tambang yang tidak ditutup.</p>
--	--	--

2. Analisis Faktor Eksternal

Merupakan kondisi di luar yang secara langsung maupun tidak langsung akan mempengaruhi proses upaya pengendalian pencemaran merkuri di Desa Kalirejo, yang pada akhirnya akan ikut menentukan keberhasilan dalam mencapai sasaran yang telah ditetapkan. Analisis faktor internal diidentifikasi pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Faktor-Faktor Eksternal Pada Pertambangan Emas Rakyat

No	Sisi Tinjauan	Deskripsi
1	Peluang (<i>Opportunities</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sudah ada peraturan tentang izin pertambangan emas rakyat 2. Sudah ada peraturan tentang luas wilayah pertambangan rakyat 3. Sudah ada peraturan tentang pengelolaan limbah B3. 4. Sudah ada peraturan tentang keselamatan kesehatan kerja 5. Sudah ada peraturan tentang reklamasi dan pasca tambang
2	Identifikasi Ancaman (<i>Threats</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adanya rencana pemerintah menutup usaha pertambangan emas rakyat di Desa Kalirejo. 2. Meluasnya daerah pertambangan mengakibatkan lahan pertanian semakin berkurang 3. Kurangnya peran pemerintah dalam mensosialisasi bahaya merkuri serta cara menambang yang baik 4. Merkuri sangat mudah dan murah didapatkan di pasaran. 5. Para penambang emas tidak menggunakan APD sesuai SNI sehingga berpotensi mengakibatkan keracunan merkuri. 6. Belum tersedianya sarana kesehatan yang memadai di Desa Kalirejo 7. Aktifitas pertambangan berpotensi mengakibatkan bencana longsor.

3. Analisis Strategi

Berdasarkan hasil identifikasi terhadap faktor-faktor internal dan eksternal yang diperoleh melalui tinjauan aspek teknis, hukum dan sosial maka dapat disusun strategi pengendalian pencemaran merkuri di Desa Kalirejo. Strategi ini disusun untuk memanfaatkan semua kekuatan dan peluang yang dimiliki serta mengatasi kelemahan dan ancaman yang ada. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk matriks seperti yang tertera pada tabel 4.12

4.4.2 Pemilihan Strategi

Berdasarkan hasil analisis SWOT, maka strategi pengendalian pencemaran merkuri pada tambang emas rakyat, dapat diuraikan pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Strategi Pengendalian Pencemaran Merkuri di Desa Kalirejo

No	Strategi	Deskripsi
1	Penegakan hukum	Pemerintah menutup sementara kegiatan pertambangan emas karena belum memiliki izin penambangan
2	Pendekatan sosial	Pemerintah Daerah mensosialisasikan peraturan-peraturan tentang pertambangan emas rakyat.
3	Penanggulangan secara teknis	1. Instansi yang berwenang melakukan pemantauan konsentrasi merkuri pada tanah dan <i>tailing</i> 2. Pemerintah bekerjasama dengan masyarakat setempat melakukan remediasi lahan tercemar merkuri

4.4.3 Penetapan Strategi Pengendalian Pencemaran

Setelah ditentukan strategi yang akan dilaksanakan, selanjutnya ditentukan:

1. Sasaran

Sasaran merupakan penjabaran dari kebijakan strategi secara terukur dalam jangka pendek, menengah dan panjang, menyangkut sesuatu yang akan dicapai secara nyata melalui kegiatan yang akan dilakukan.

2. Menentukan program kerja

Merupakan kumpulan kegiatan nyata, sistematis dan terpadu yang dilaksanakan oleh pemerintah dan para penambang untuk mencapai sasaran yang telah ditetapkan

3. Menentukan kegiatan

Kegiatan nyata dalam jangka pendek, menengah dan panjang oleh Pemerintah Daerah serta pihak-pihak terkait dengan memanfaatkan sumber daya yang ada.

Tabel 4.12 Matriks Analisis SWOT

INTERNAL EKSTERNAL	KEKUATAN (S)	KELEMAHAN (W)
	Tanah di Desa Kalirejo mengandung emas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penambang emas belum memiliki surat izin kegiatan pertambangan 2. Penambang menggunakan lahan selebihnya untuk kegiatan pertambangan. 3. Sebagian besar <i>tailing</i> dibuang di atas tanah atau di sekitar halaman rumah dan langsung ke sungai karena belum memiliki tempat pembuangan limbah yang permanen. 4. Adanya penggunaan merkuri yang berlebih sehingga mencemari tanah di sekitar tempat pengolahan emas yang melampaui baku mutu 5. Penambang tidak menggunakan APD sesuai dengan SNI 6. Timbulnya penyakit yang merupakan indikasi pencemaran oleh merkuri seperti nyeri pada dada, sulit bernafas, batuk-batuk, muntah, diare, sakit kepala, rasa gatal pada kulit dan gangguan pada tenggorokan. 7. Banyak lubang bekas tambang yang tidak ditutup.
PELUANG (O)	STRATEGI (S-O)	STRATEGI (W-O)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Sudah ada peraturan tentang izin pertambangan emas rakyat 2. Sudah ada peraturan tentang luas wilayah pertambangan 3. Sudah ada peraturan tentang pengelolaan limbah B3. 4. Sudah ada peraturan tentang keselamatan kesehatan kerja 5. Sudah ada peraturan tentang reklamasi dan pasca tambang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemerintah menerapkan peraturan tentang izin pertambangan emas 2. Pemerintah menerapkan peraturan tentang luas wilayah pertambangan 3. Pemerintah menerapkan peraturan tentang pengelolaan limbah B3 4. Pemerintah menerapkan peraturan tentang keselamatan kesehatan kerja 5. Pemerintah menerapkan peraturan tentang reklamasi dan pasca tambang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemerintah mensosialisasikan tentang pentingnya memiliki izin pertambangan 2. Pemerintah mensosialisasikan luas wilayah pertambangan yang harus digunakan untuk penambangan 3. Instansi berwenang melakukan sosialisasi tentang pengelolaan limbah B3 4. Instansi berwenang mensosialisasikan tentang bahaya merkuri 5. Instansi berwenang melakukan sosialisasi tentang keselamatan dan kesehatan kerja 6. Instansi berwenang mensosialisasikan jenis penyakit yang

		terjadi akibat pencemaran merkuri serta upaya antisipasi. 7. Pemerintah bekerjasama dengan masyarakat setempat melakukan remediasi lahan tercemar merkuri
--	--	--

ANCAMAN (T)	STRATEGI (S-T)	STRATEGI (W-T)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Adanya rencana pemerintah menutup usaha pertambangan emas rakyat di Desa Kalirejo. 2. Meluasnya daerah pertambangan mengakibatkan lahan pertanian semakin berkurang 3. Kurangnya peran pemerintah dalam mensosialisasi bahaya merkuri serta cara menambang yang baik 4. Merkuri sangat mudah dan murah didapatkan dipasaran. 5. Para penambang emas tidak menggunakan APD sesuai SNI sehingga berpotensi mengakibatkan keracunan merkuri. 6. Belum tersedianya sarana kesehatan yang memadai di Desa Kalirejo 7. Aktifitas pertambangan berpotensi mengakibatkan bencana longsor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemerintah memberikan surat teguran tentang pertambangan emas rakyat yang belum memiliki izin 2. Pemerintah memberikan batasan penggunaan lahan penambangan emas sesuai Peraturan Bupati No 4 tahun 2014. 3. Instansi yang berwenang melakukan sosialisasi tentang bahaya merkuri serta tatacara penambangan yang baik. 4. Pemerintah melakukan pengawasan penjualan atau distribusi merkuri di Kulon Progo 5. Instansi yang berwenang melakukan sosialisasi tentang penggunaan APD yang sesuai SNI. 6. Instansi yang berwenang melakukan pemeriksaan kesehatan secara berkala kepada para penambang emas 7. Instansi yang berwenang melakukan pengawasan terkait penutupan lahan bekas tambang emas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemerintah menindak tegas dengan menutup sementara kegiatan pertambangan emas rakyat 2. Pemerintah menindak tegas para penambang yang terbukti menggunakan lahan melebihi peraturan yang berlaku 3. Instansi berwenang menindak tegas para penambang emas yang membuang limbah hasil penambangan yang dapat mencemari lingkungan. 4. Pemerintah menindak tegas para distributor merkuri yang terbukti memasok merkuri di Kulon Progo 5. Instansi terkait memberikan sanksi tegas bagi para penambang yang tidak menggunakan APD yang sesuai standar 6. Pemerintah Daerah menyediakan fasilitas kesehatan yang memadai untuk masyarakat dan pekerja tambang. 7. Pemerintah memberikan sanksi kepada para penambang emas yang terbukti tidak menutup lubang galian tambang emas saat selesai melakukan penambangan.

Adapun perencanaan dari ketiga strategi diatas adalah sebagai berikut:

1. Program jangka pendek (2016-2017):

- Pemerintah daerah menutup sementara aktifitas pertambangan emas rakyat karena belum memiliki izin pertambangan rakyat.
- Para penambang emas diberikan kesempatan mengurus surat izin pertambangan kepada Pemerintah Daerah setempat.

2. Program jangka menengah (2018-2021)

- Pemerintah Daerah melakukan sosialisasi kepada para penambang tentang cara menambang yang baik dan benar.
- Pemerintah Daerah melakukan sosialisasi peraturan tentang pengelolaan limbah B3, keselamatan kesehatan kerja, dan luas wilayah pertambangan rakyat.
- Pemerintah melakukan pengawasan penjualan atau distribusi merkuri serta menindak tegas para distributor yang terbukti memasok merkuri di Kulon Progo.
- Pemerintah Daerah bekerjasama dengan aparat Desa Kalirejo untuk melakukan pengawasan pada aktifitas pengolahan emas rakyat, serta memberikan sanksi tegas kepada para penambang emas, jika terbukti mencemari lingkungan.
- Instansi yang berwenang menyediakan fasilitas kesehatan yang memadai untuk masyarakat dan pekerja tambang.

3. Program jangka panjang (2022-2029)

- Pemerintah Daerah bekerjasama dengan aparat Desa Kalirejo melakukan upaya pemantauan lingkungan secara berkesinambungan sehingga lingkungan tidak lagi tercemar.
- Pemerintah bekerjasama dengan masyarakat setempat melakukan remediasi lahan tercemar merkuri.

- *Halaman ini sengaja dikosongkan*

LAMPIRAN A
PROSEDUR PENGUJIAN

I. Uji Partikel Tanah (Analisis Saringan)

Prosedur uji Partikel berdasarkan ASTM D422 adalah sebagai berikut:

- a) Mengambil sampel tanah sebanyak 500 gram, memeriksa kadar airnya
- b) Meletakkan susunan saringan diatas mesin penggetar dan memasukkan Sampel tanah pada susunan yang paling atas kemudian menutup rapat.
- c) Mengencangkan penjepit mesin dan menghidupkan mesin penggetar selama Kira-kira 15 menit.
- d) Menimbang masing-masing saringan beserta sampel tanah yang tertahan Diatasnya.

Perhitungan :

- a. Berat masing-masing saringan (W_{ci})
- b. Berat masing-masing saringan beserta sampel tanah yang tertahan (W_{bi})
- c. Berat tanah yang tertahan : (W_{ai}) = ($W_{bi} - W_{ci}$)
- d. Jumlah seluruh berat tanah yang tertahan diatas saringan ($(\sum W_{ai} \approx W_{tot})$)
- e. Persentase berat tanah yang tertahan diatas masing-masing saringan (P_i)

$$P_i = \frac{(W_{bi} - W_{ci})}{W_{total}} \times 100\%$$

- f. Persentase berat tanah yang lolos masing-masing saringan (q)

$$q_1 = 100\% - p_1 \%$$

$$q_{(i+1)} = q_i - p_{(i+1)}$$

Dimana : $i = 1$ (saringan yang dipakai dari saringan dengan diameter maksimum sampai saringan No. 200)

II. Prosedur uji pH

Berdasarkan US EPA method 9045D tentang Soil and Waste pH, prosedur untuk uji pH adalah sebagai berikut:

- a) Uji pH pengukuran tanah
 - Masukkan 20 gr sampel tanah ke dalam *beaker glass* 50 ml
 - Tambahkan 20 ml aquades, tutup dan aduk selama 5 menit
 - Biarkan tersuspensi/mengendap selama 1 jam. sehingga yang ada hanya cairan
 - Mencelepkan pH meter ke dalam air, kemudian mencatat yang ditunjukkan oleh pH meter.
- b) Uji pH pengukuran limbah
 - . Masukkan 20 gr sampel limbah ke dalam *beaker glass* 50 ml
 - Tambahkan 20 ml aquades dan aduk selama 5 menit
 - Biarkan tersuspensi/mengendap selama 15 menit. Sehingga yang ada hanya cairan
 - Mencelepkan pH meter ke dalam air, kemudian mencatat yang ditunjukkan oleh pH meter

III Prosedur Uji Kadar Air

Berdasarkan ASTM D2216-71 , prosedur untuk uji kadar air adalah sebagai berikut:

1. Ambil contoh tanah asli secukupnya dan masukkan ke dalam cawan yang telah ditimbang.
2. Masing-masing cawan yang telah diisi contoh tanah kemudian ditimbang dan dicatat beratnya.
3. Selanjutnya cawan-cawan tersebut dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam
Pada temperature lebih kurang 110⁰c
4. Setelah dioven selama 24 jam, cawan + tanah tersebut ditimbang dan dicatat.

Kadar air dapat dihitung sebagai berikut :

Berat cawan = W_1 gram

Berat cawan + tanah basah = W_2 gram

Berat cawan + tanah kering = W_3 gram

Kadar air w (%) = $\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$

IV Prosedur Kadar Merkuri

Prosedur *Nitric Acid Digestion*

Kadar merkuri dalam padatan tanah dapat dianalisis dengan mendestruksi merkuri dalam tanah dengan metode *Nitric Acid Digestion*, dengan kadar kontaminan yang tinggi. Prosedur dari *Nitric Acid Digestion* menurut APHA *et al.* (1998) adalah:

- a. Campurkan sampel dengan volume tertentu dengan cairan asam sebanyak 100 mL di dalam *beaker glass*
- b. Tambahkan 5 mL HNO_3
- c. Tutup *beaker glass* untuk mengurangi kontaminasi uap dari campuran sampel dan asam
- d. Didihkan perlahan sampai mencapai volume sampel terendah (10 – 20 mL) sebelum terjadi pengendapan.
- e. Terus didihkan dan tambahkan HNO_3 yang diperlukan sampai proses *digestion* selesai, yang ditunjukkan dari berubahnya warna larutan menjadi bening, jangan sampai kering.
- f. Encerkan filtrat dengan 100 mL aquades
- g. Dinginkan sampel dan diaduk, lalu ambil sejumlah sampel yang digunakan untuk analisis selanjutnya dengan metode *Dhitizone*.

Prosedur Kadar Merkuri (Metode *Dhitizone*)

1. Persiapan reagen yang dibutuhkan:

- HNO_3 1+4 → Dilarutkan 200 mL konsentrat HNO_3 dengan aquades hingga volumenya menjadi 1000 mL.

- NH_4OH 1+9 → Dilarutkan 10 mL konsentrat NH_4OH dengan aquades hingga volumenya menjadi 1000 mL.
- Larutan Citrate-cyanide reducing → Dilarutkan 400 g dibasic ammonium sitrat ($(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$), 20 g anhydrous sodium sulfit (Na_2SO_3), 10 g Hydroxylamine-hydrochloride ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$), dan 40 g potassium sianida (KCN) ke dalam aquades dan dilarutkan dengan aquades hingga volumenya 1000 mL. Kemudian ditambahkan 2000 mL NH_4OH dan dikocok.
- Larutan stok dithizone
 - ✓ Dilarutkan 100 mg dithizone ke dalam 50 mL CHCl_3 menggunakan beaker glass 150 mL.
 - ✓ Filter menggunakan kertas saring whatman No.42, hasil filtrat dimasukkan kedalam 250 mL erlenmeyer.
 - ✓ Kertas saring dicuci menggunakan 2 x 5 mL CHCl_3 dan difilter ulang.
 - ✓ Kertas saring dicuci kembali menggunakan 3 x 5 mL CHCl_3 dan difilter ulang.
 - ✓ Dimasukkan hasil akhir penyaringan ke dalam corong pemisah 500 mL.
 - ✓ Ditambahkan 100 mL 1+99 NH_4OH , dikocok ± 1 menit.
 - ✓ Setelah terpisah menjadi dua lapisan, dikocok kembali untuk mendapatkan lapisan CHCl_3 di bagian bawah permukaan lapisan air.
 - ✓ Layer CHCl_3 dimasukkan ke dalam corong pemisah 250 mL. Layer yang berwarna orange-merah dipisahkan dan disimpan ke dalam corong pemisah 500 mL.
 - ✓ Ulangi ekstraksi, pisahkan layer CHCl_3 ke dalam corong pemisah 250 mL. dipindahkan lapisan air menggunakan 1+99 NH_4OH ke dalam corong pemisah 500 mL. Layer CHCl_3 dipisahkan.
 - ✓ Ekstrak digabungkan kedalam 500 mL corong pemisah dan ditambahkan 1+1 HCl sebanyak 2 mL, lalu dikocok hingga terjadi pengendapan dithizone dan warna sampel tidak lagi merah-orange.
 - ✓ Endapan dithizone diekstrak menggunakan 25 mL CHCl_3 .
 - ✓ Dilarutkan kombinasi ekstrak menjadi 100 mL dengan CHCl_3 .

- Larutan dithizone
Dilarutkan 100 mL larutan stok dithizone menjadi 250 mL menggunakan CHCl_3 .
- Larutan spesial dithizone
Dilarutkan 250 mg dithizone ke dalam 250mL CHCl_3 .
- Larutan sodium sulfat
Dilarutkan 5 g anhydrous Na_2SO_3 ke dalam 100 mL aquades.

2. Prosedur penelitian:

- Sampel diambil sebanyak 20 mL dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL.
- Cek pH → atur pH hingga pH=2 dengan menambahkan asam asetat.
- Ditambahkan 1 + 4 HNO_3 sebanyak 20 mL.
- Kemudian sampel disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 541.
- Bilas erlenmeyer yang digunakan untuk meletakkan sampel dengan 50 mL aquades, dan air bilasan dilewatkan kembali pada kertas filter.
- Ditambahkan 50 mL larutan ammoniacal citrate-cyanide, dikocok dan didinginkan pada suhu ruangan.
- Ditambahkan 10 mL dithizone, dikocok dengan kuat hingga terbentuk dua lapisan.
- Diambil ekstraknya lalu dimasukkan ke dalam kuvet. Diukur absorbansinya dengan panjang gelombang 510 nm.
- Setelah dilakukan pengukuran menggunakan spektrofotometer dan didapatkan absorbansinya. Hasil absorbansi diplotkan ke dalam kurva kalibrasi dan dilakukan perhitungan menggunakan rumus:

$$\text{mg Hg /L} = \frac{\mu\text{g Hg (in 10 mL dari kurva kalibrasi)}}{\text{mL sampel}}$$

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN KADAR AIR SAMPEL TANAH

Pengukuran kadar air sampel tanah dilakukan dua kali pengulangan.

Perhitungan kadar air sampel tanah adalah sebagai berikut :

TA 1-30

$$\begin{aligned} a &= 49,936 \text{ g} \\ b &= 141,914 \text{ g} \\ c &= 129,792 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{129,792 - 49,936}{141,914 - 49,936} \times 100\% \\ &= 86,821\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 86,821 \\ &= 13,18\% \end{aligned}$$

TA 1-60

$$\begin{aligned} a &= 48,754 \text{ g} \\ b &= 158,656 \text{ g} \\ c &= 141,348 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{141,348 - 48,754}{158,656 - 48,754} \times 100\% \\ &= 84,251\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 84,251 \\ &= 15,749\% \end{aligned}$$

TA 1-90

$$\begin{aligned} a &= 42,583 \text{ g} \\ b &= 162,789 \text{ g} \\ c &= 147,634 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{147,634 - 42,583}{162,789 - 42,583} \times 100\% \\ &= 87,392\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 87,392 \\ &= 12,608\% \end{aligned}$$

TA II-30

$$\begin{aligned} a &= 39,500 \text{ g} \\ b &= 151,330 \text{ g} \\ c &= 137,118 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{137,118 - 39,500}{151,330 - 39,500} \times 100\% \\ &= 87,291\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 87,291 \\ &= 12,709\% \end{aligned}$$

TA II-60

$$\begin{aligned} a &= 40,093 \text{ g} \\ b &= 130,120 \text{ g} \\ c &= 118,085 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{118,085 - 40,093}{130,120 - 40,093} \times 100\% \\ &= 86,632\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 86,632 \\ &= 13,368\% \end{aligned}$$

TA II-90

$$\begin{aligned} a &= 38,413 \text{ g} \\ b &= 121,180 \text{ g} \\ c &= 109,834 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{109,834 - 38,413}{121,180 - 38,413} \times 100\% \\ &= 86,292\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 86,292 \\ &= 13,708\% \end{aligned}$$

TA III-30

$$\begin{aligned} a &= 50,546 \text{ g} \\ b &= 163,344 \text{ g} \\ c &= 143,604 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{143,604 - 50,546}{163,344 - 50,546} \times 100\% \\ &= 82,500\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 82,500 \\ &= 17,50\% \end{aligned}$$

TA III-60

$$\begin{aligned} a &= 42,873 \text{ g} \\ b &= 135,911 \text{ g} \\ c &= 119,174 \text{ g} \\ \text{Berat kering} &= \frac{119,174 - 42,873}{135,911 - 42,873} \times 100\% \\ &= 82,011\% \\ \text{Kadar Air} &= 100 - 82,011 \\ &= 17,989\% \end{aligned}$$

TA III-90

$$a = 38,999 \text{ g}$$

$$b = 127,148 \text{ g}$$

$$c = 110,225 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = \frac{110,225 - 38,999}{127,148 - 38,999} \times 100\%$$

$$= 80,802\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100 - 80,802$$

$$13,18 \%$$

TA IV-60

$$a = 47,877 \text{ g}$$

$$b = 148,536 \text{ g}$$

$$c = 134,847 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = \frac{134,847 - 47,877}{148,536 - 47,877} \times 100\%$$

$$= 86,401\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100 - 86,401$$

$$13,599 \%$$

TA V-30

$$a = 38,953 \text{ g}$$

$$b = 146,125 \text{ g}$$

$$c = 132,466 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = \frac{132,466 - 38,953}{146,125 - 38,953} \times 100\%$$

$$= 87,255\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100 - 87,255$$

$$12,745 \%$$

TA V-90

$$a = 38,468 \text{ g}$$

$$b = 145,268 \text{ g}$$

$$c = 125,483 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = \frac{125,483 - 38,468}{145,268 - 38,468} \times 100\%$$

$$= 81,475\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100 - 81,475$$

$$18,525 \%$$

TA IV-30

$$a = 50,460 \text{ g}$$

$$b = 117,883 \text{ g}$$

$$c = 110,025 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = \frac{110,025 - 50,460}{117,883 - 50,460} \times 100\%$$

$$= 88,345\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100 - 88,345$$

$$11,655 \%$$

TA IV-90

$$a = 38,847 \text{ g}$$

$$b = 160,890 \text{ g}$$

$$c = 143,250 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = \frac{143,250 - 38,847}{160,890 - 38,847} \times 100\%$$

$$= 85,546\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100 - 85,546$$

$$14,454 \%$$

TA V-60

$$a = 39,139 \text{ g}$$

$$b = 151,000 \text{ g}$$

$$c = 136,799 \text{ g}$$

$$\text{Berat kering} = \frac{136,799 - 39,139}{151,000 - 39,139} \times 100\%$$

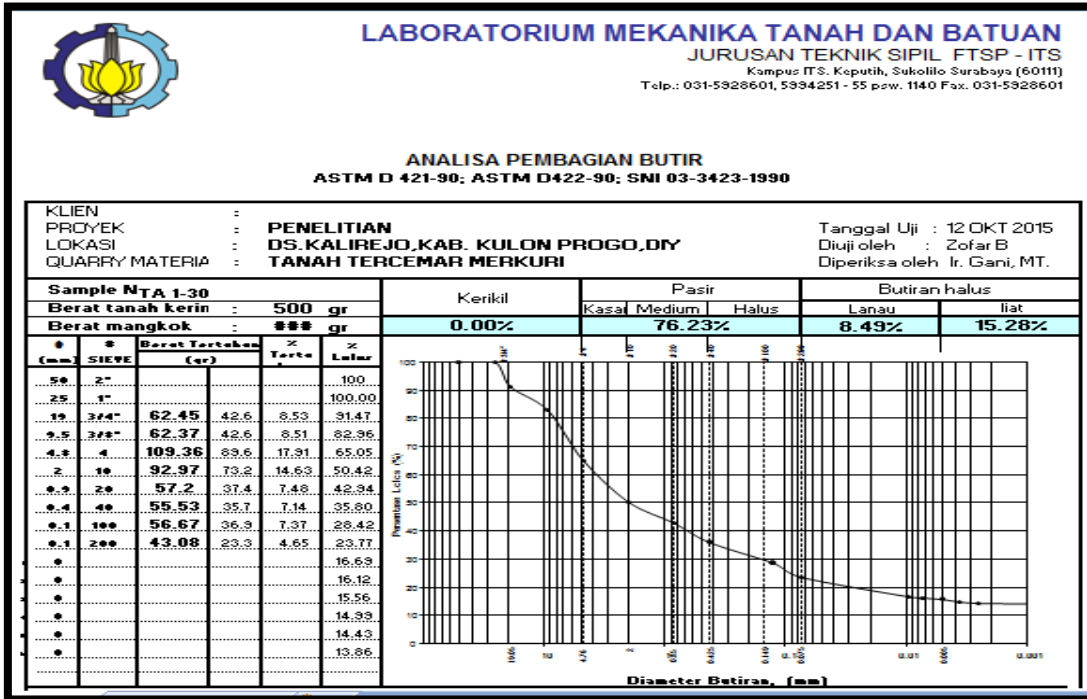
$$= 87,305\%$$

$$\text{Kadar Air} = 100 - 87,305$$

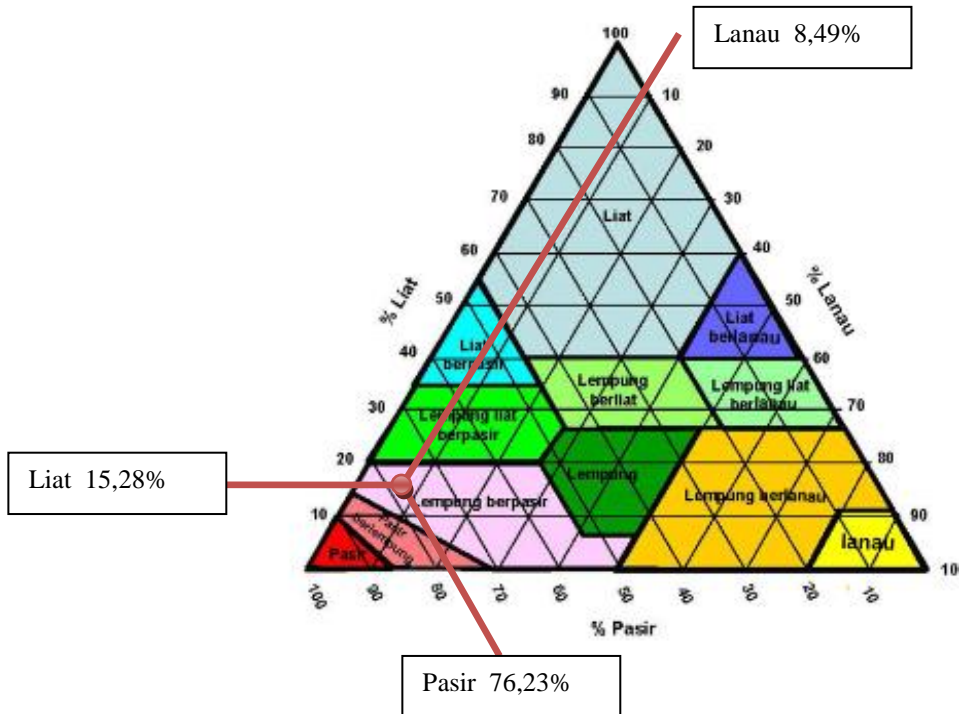
$$12,695 \%$$

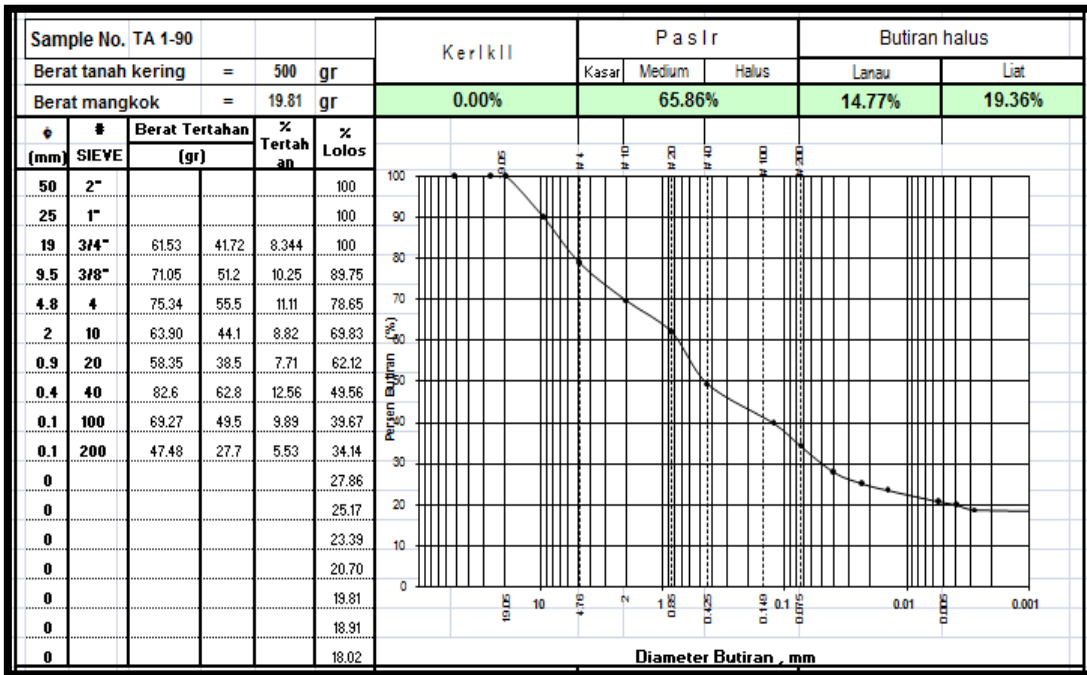
LAMPIRAN C

HASIL ANALISIS PARTIKEL TANAH DAN GAMBAR SEGITIGA TEKSTUR

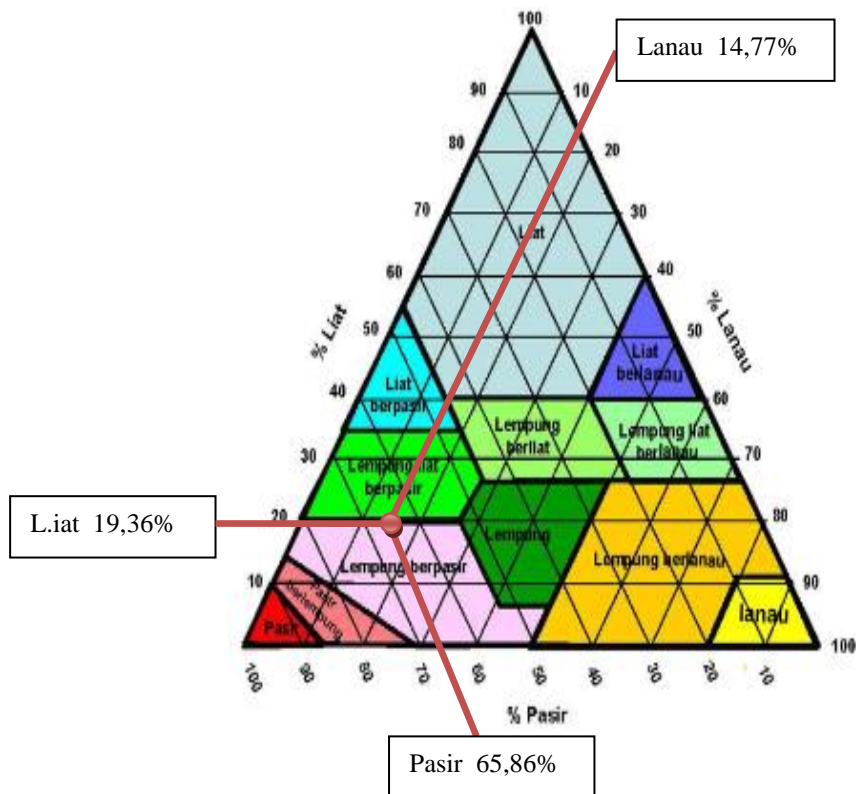


SEGITIGA TEKSTUR





SEGITIGA TEKSTUR



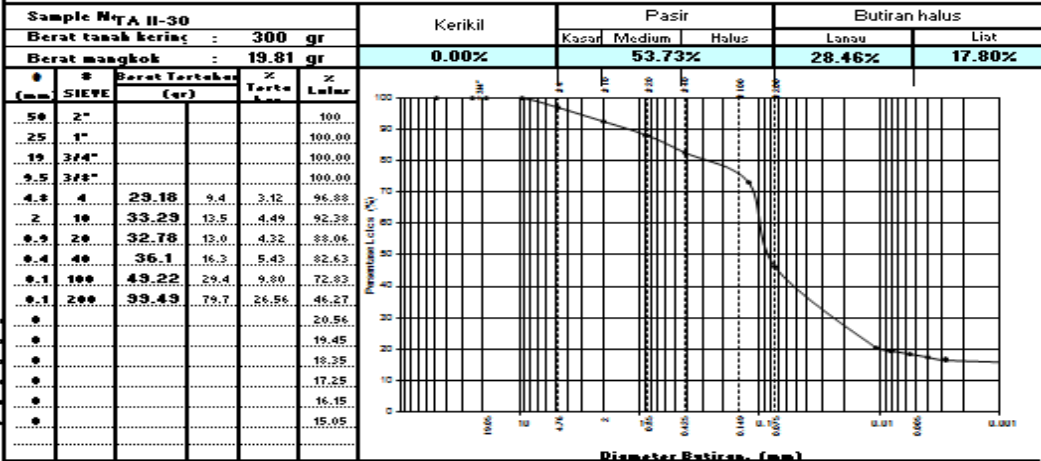


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH DAN BATUAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

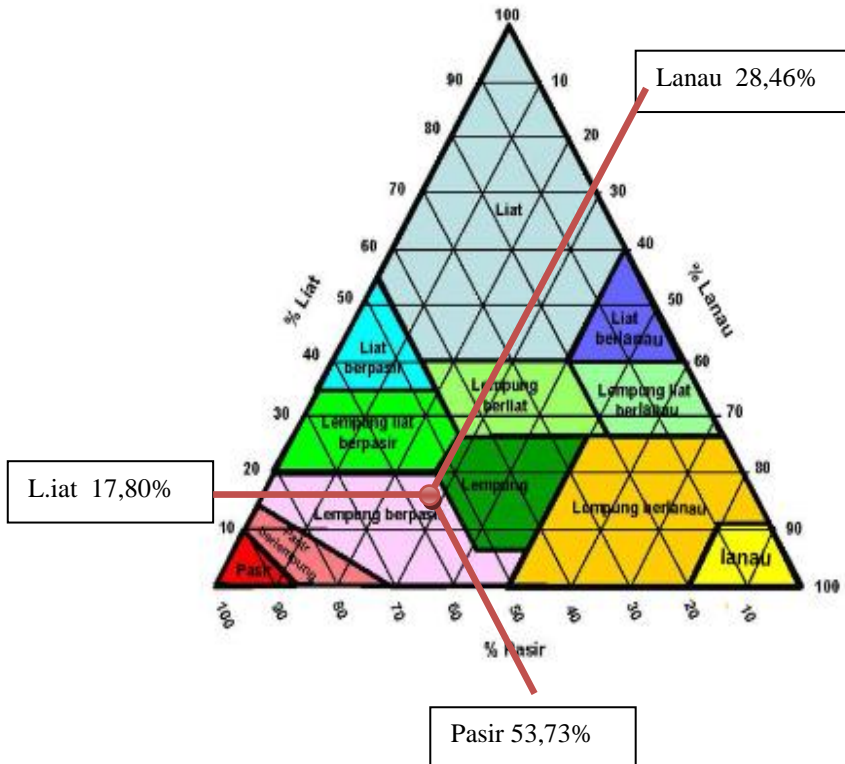
Kampus ITS, Keputih, Sukolilo Surabaya (60111)
 Telp.: 031-5923601, 5994251-55 p.r.u. 1140 Fax: 031-5923601

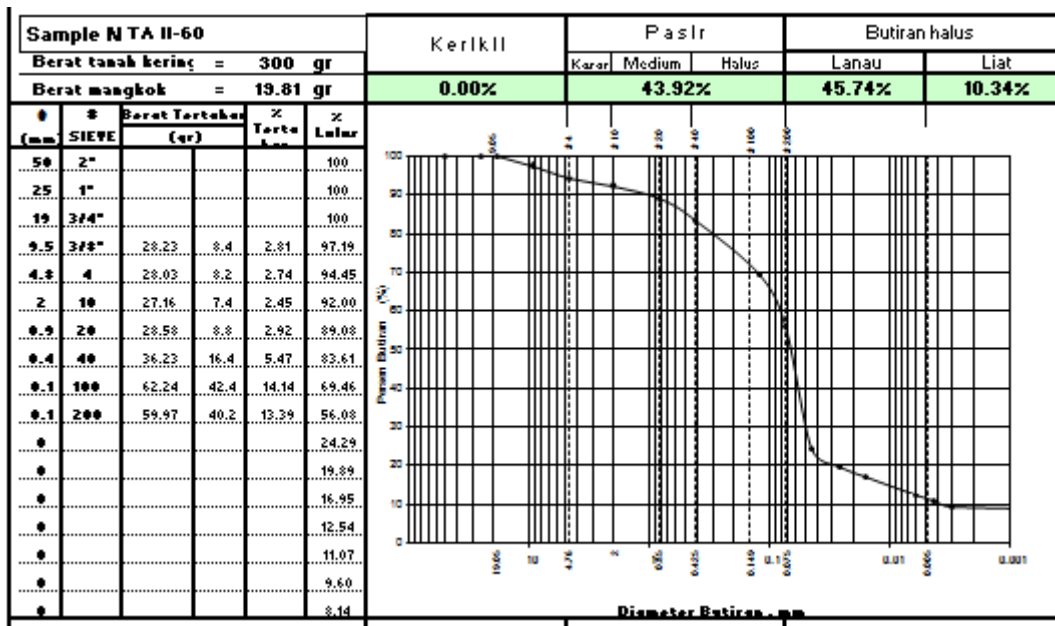
ANALISA PEMBAGIAN BUTIR
ASTM D 421-90; ASTM D422-90; SNI 03-3423-1990

KLIEN :
 PROYEK : **PENELITIAN** Tanggal Uji : 12 OKT 2015
 LOKASI : **DS.KALIREJO,KAB. KULON PROGO,DIY** Diuji oleh : Zofar B
 QUARRY MATERI : **TANAH TERCEMAR MERKURI** Diperiksa oleh: Ir. Gani, MT.

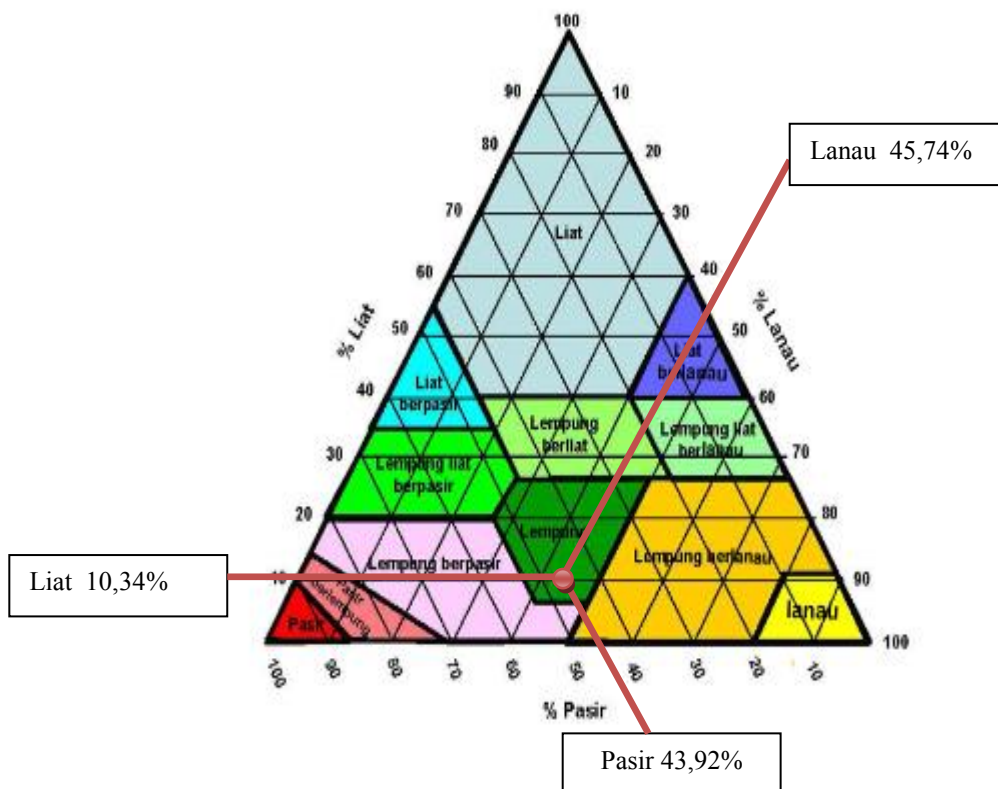


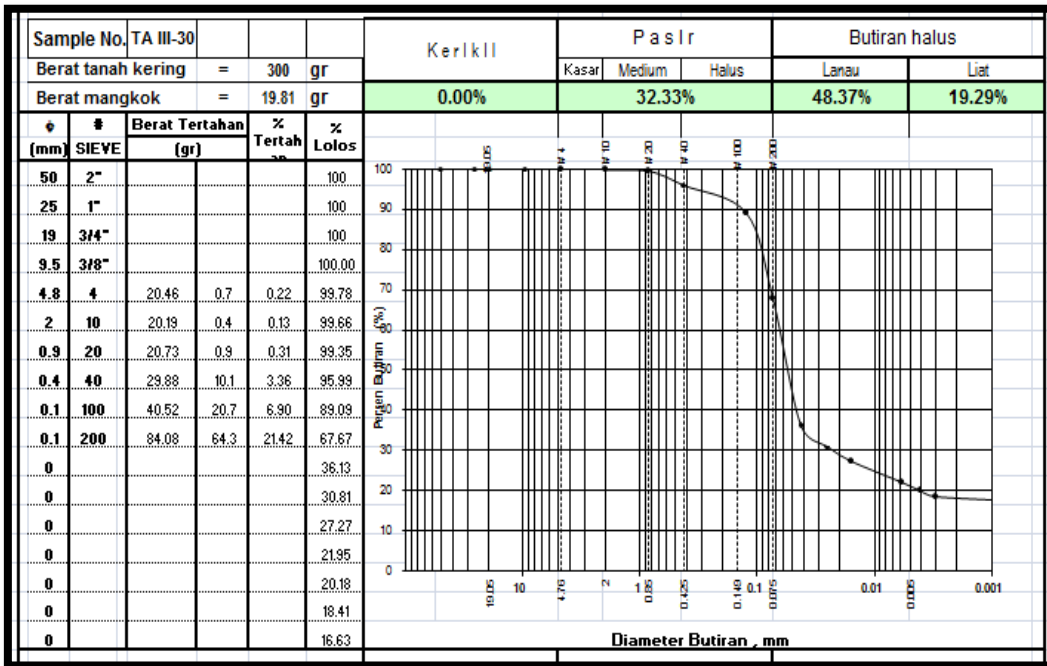
SEGITIGA TEKSTUR



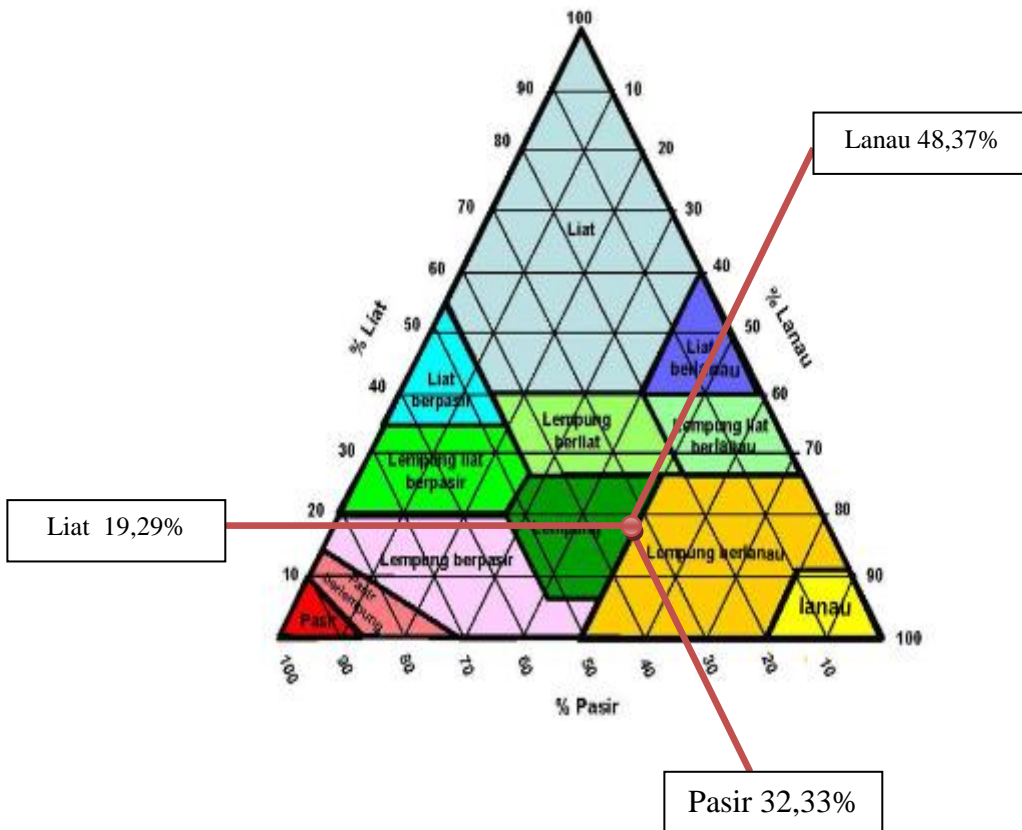


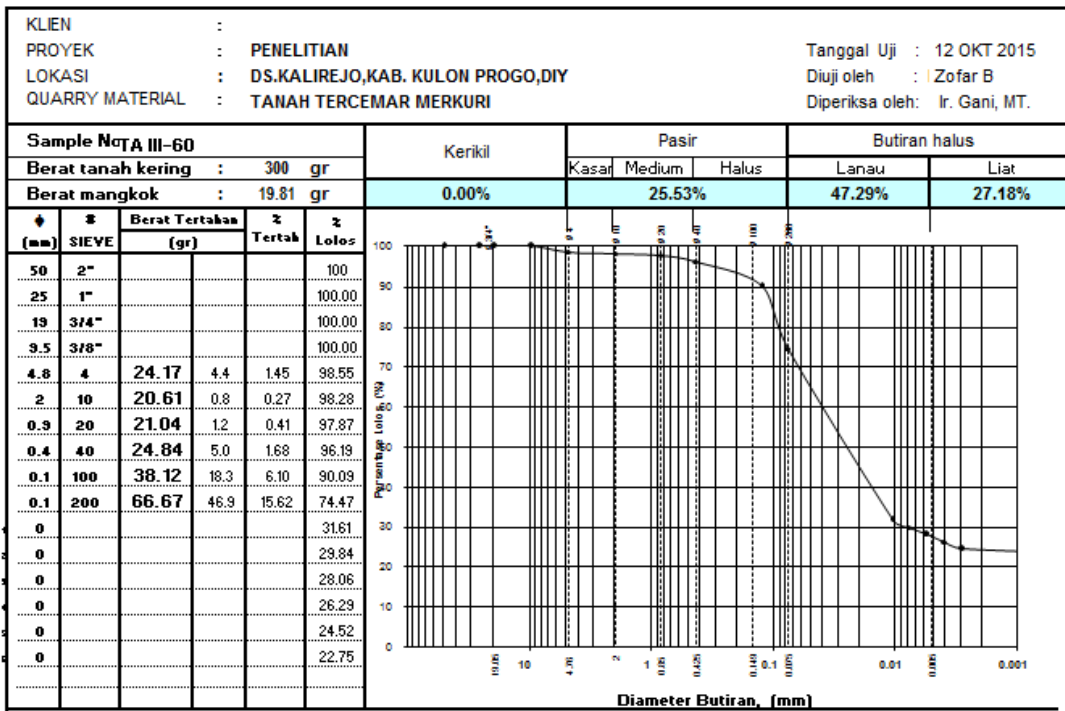
SEGITIGA TEKSTUR



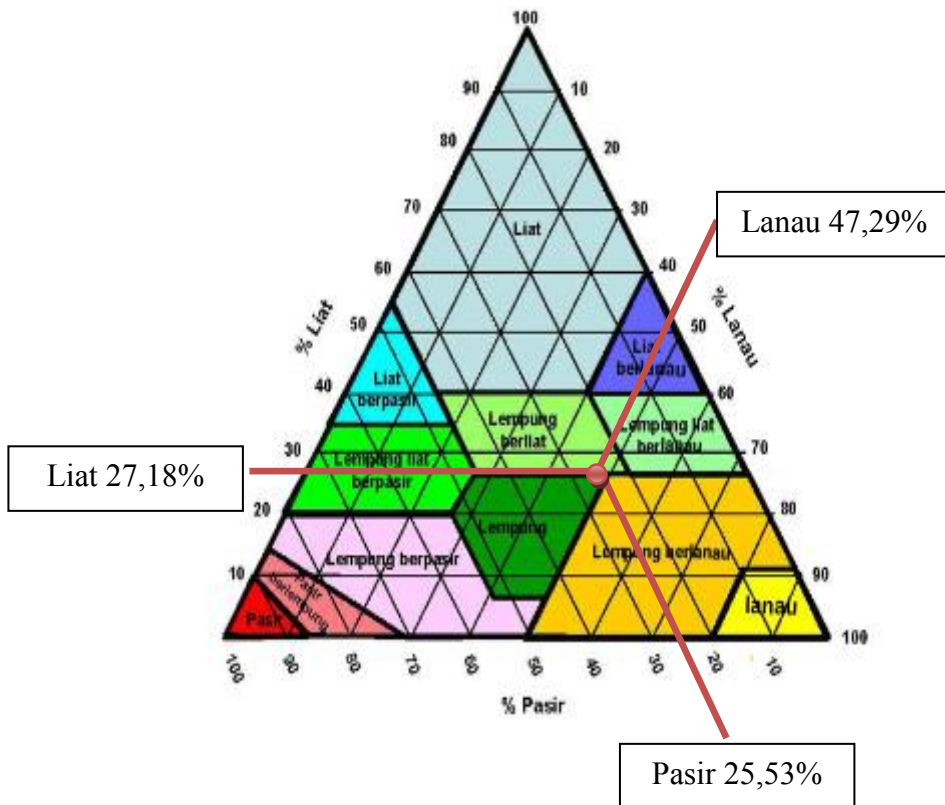


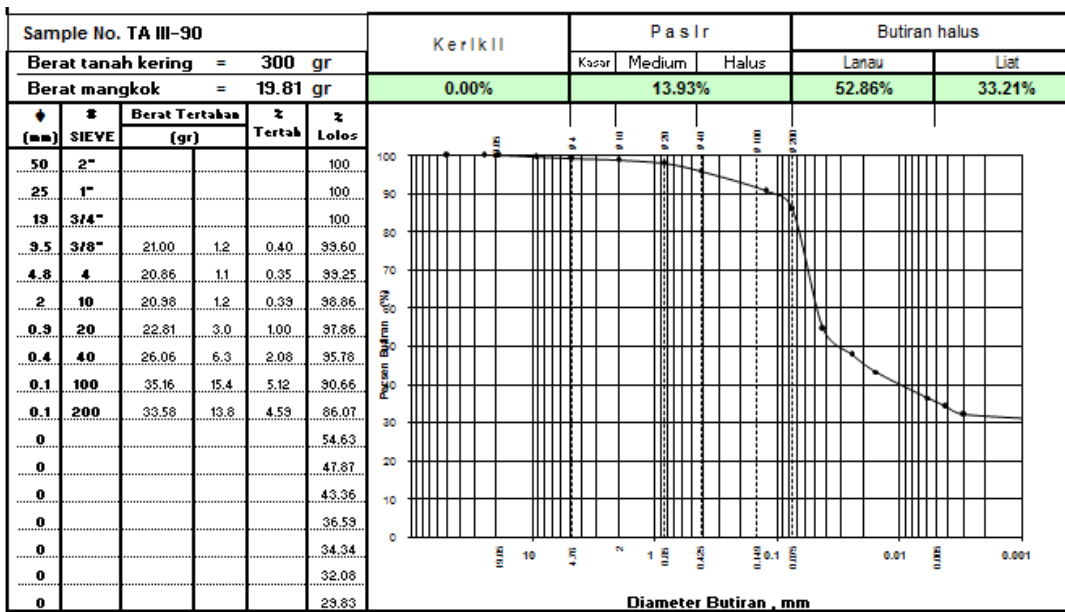
SEGITIGA TEKSTUR



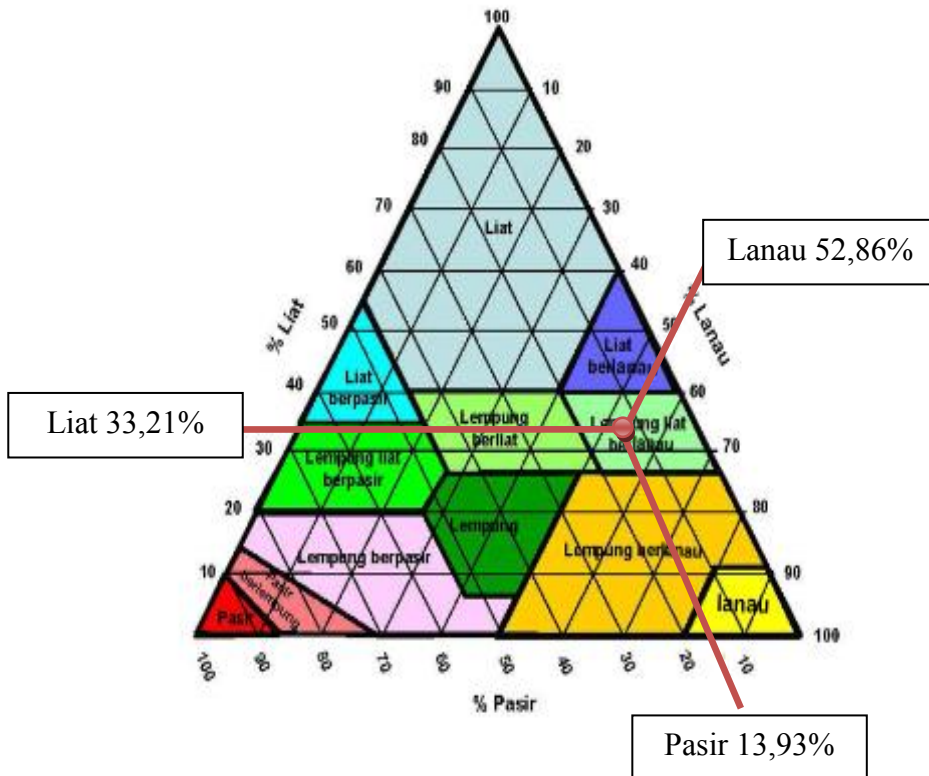


SEGITIGA TEKSTUR



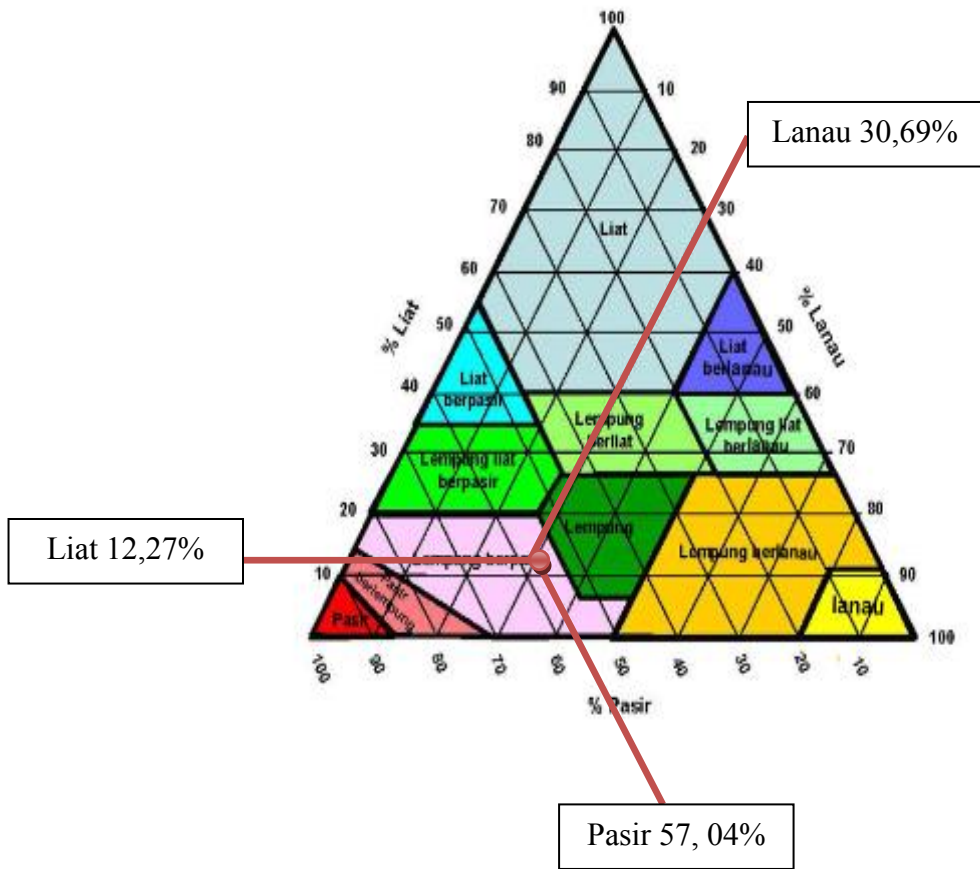


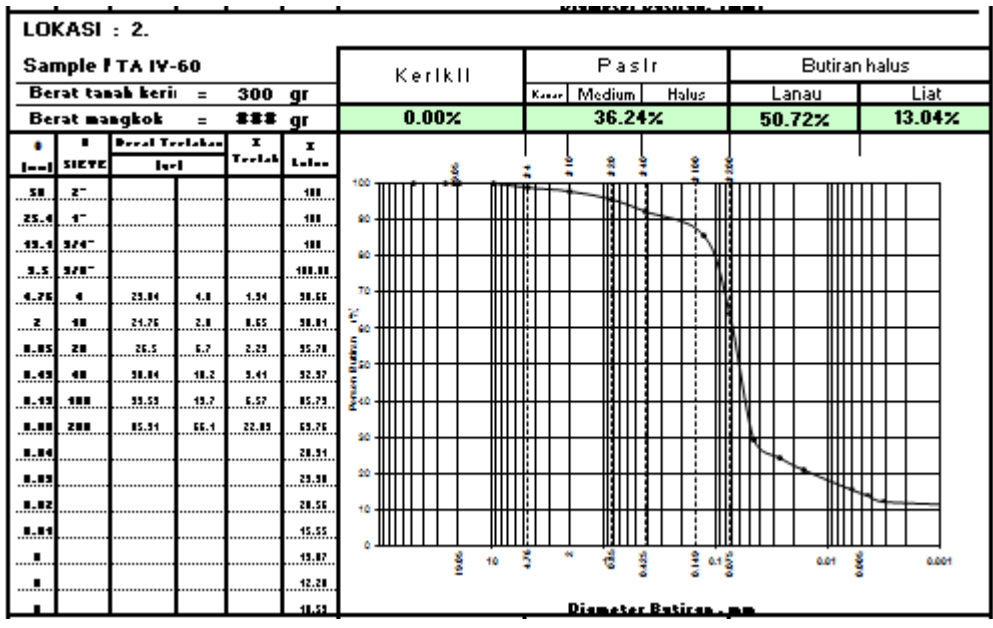
SEGITIGA TEKSTUR



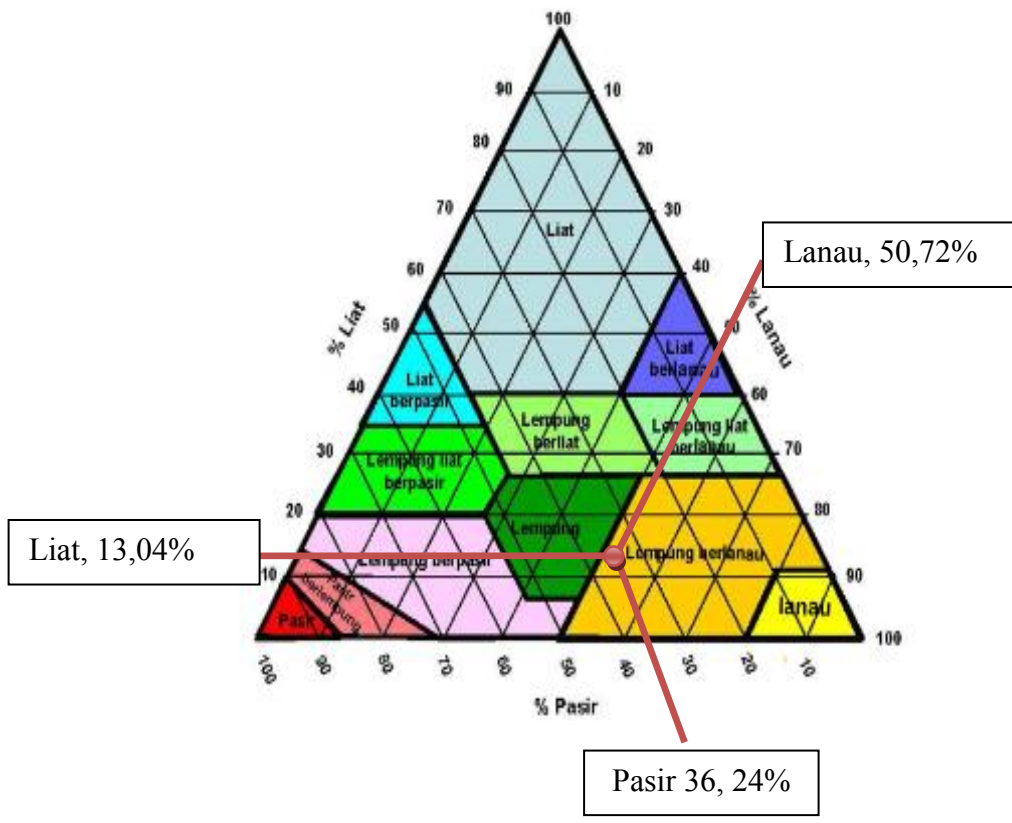
KLIEN :	PROYEK :	PENELITIAN	Tanggal Uji :	12 OKT 2015			
LOKASI :	DS. KALIREJO, KAB. KULON PROGO, DIY		Diuji oleh :	Zofar B.			
QUARRY MATEF :	TANAH TERCEMAR MERKURI		Diperiksa oleh :	Ir. Gani, MT.			
Sample No. IV-30							
Berat tanah kering :	300 gr	Kerikil	Pasir		Butiran halus		
Berat mangkok :	333 gr	0.00%	Kasar	Medium	Halus	Lanau	Liat
			57.04%			30.69%	12.27%
φ (mm)	SIEVE	Debit Terlewat (gr)	X Terlewat	X Lulus			
50	2"			100			
25.4	1"			100.00			
19.0	3/4"			100.00			
9.5	3/8"			100.00			
4.75	#4	25.40	5.6	1.86	98.14		
2	#10	28.51	8.7	2.90	95.24		
0.85	#20	38	18.2	6.07	89.17		
0.425	#40	39.6	19.7	6.58	82.59		
0.25	#60	54.4	34.6	11.52	71.07		
0.15	#100	104	84.3	28.10	42.96		
0.075	#200				14.83		
0.0425					13.80		
0.025					12.78		
0.015					11.76		
0.0075					10.74		
					9.71		

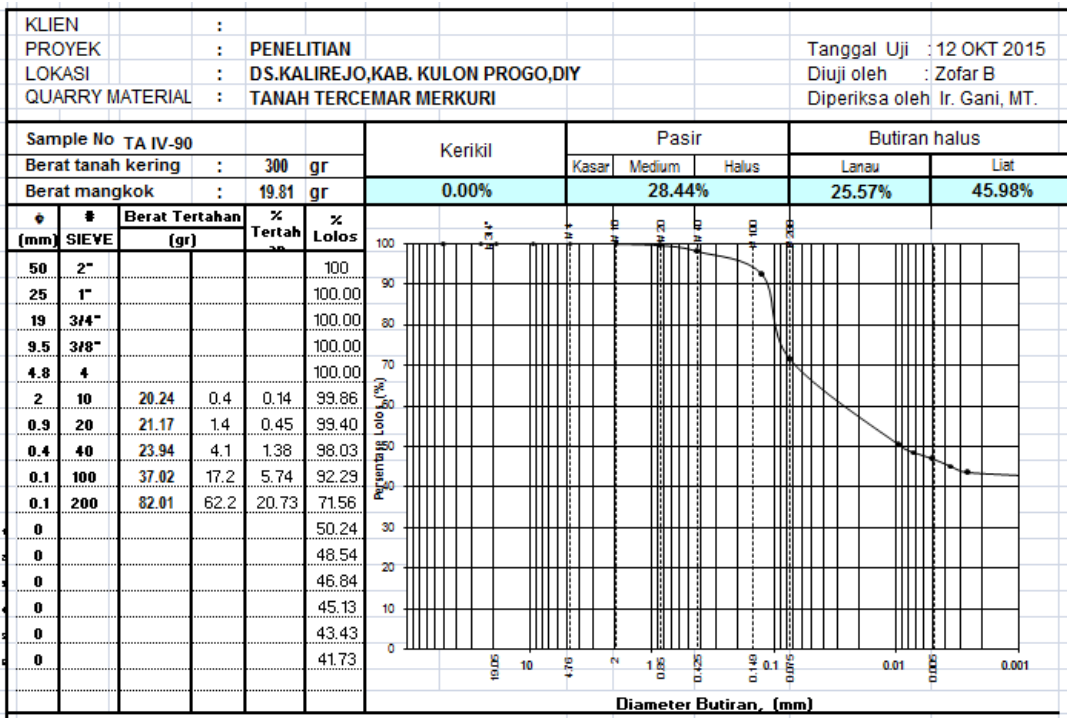
SEGITIGA TEKSTUR



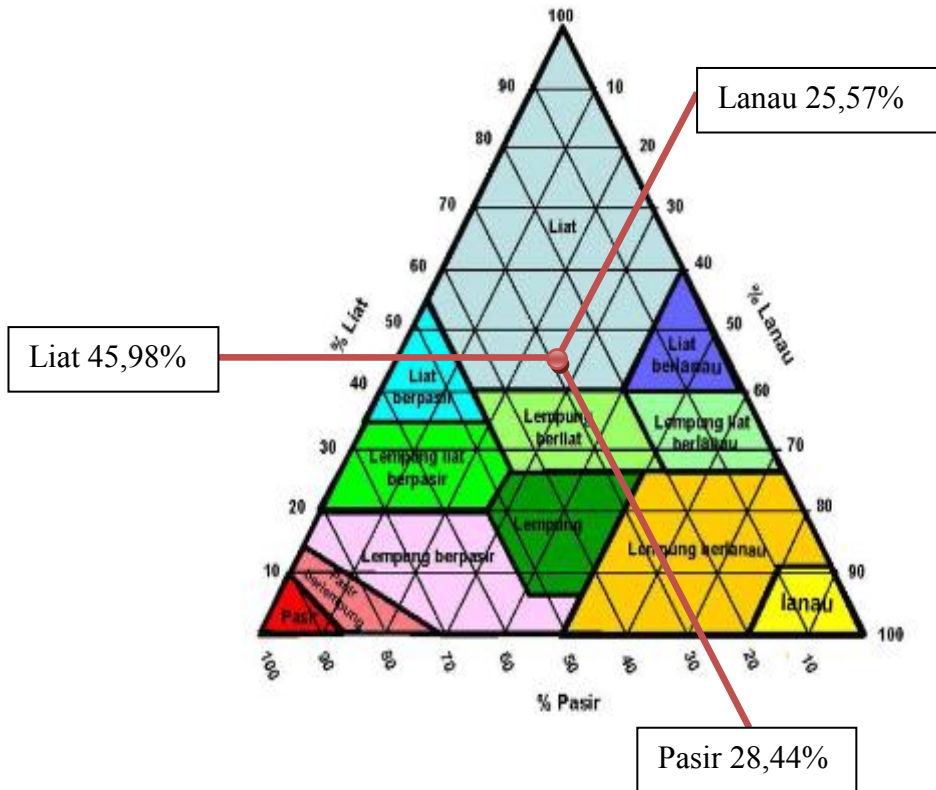


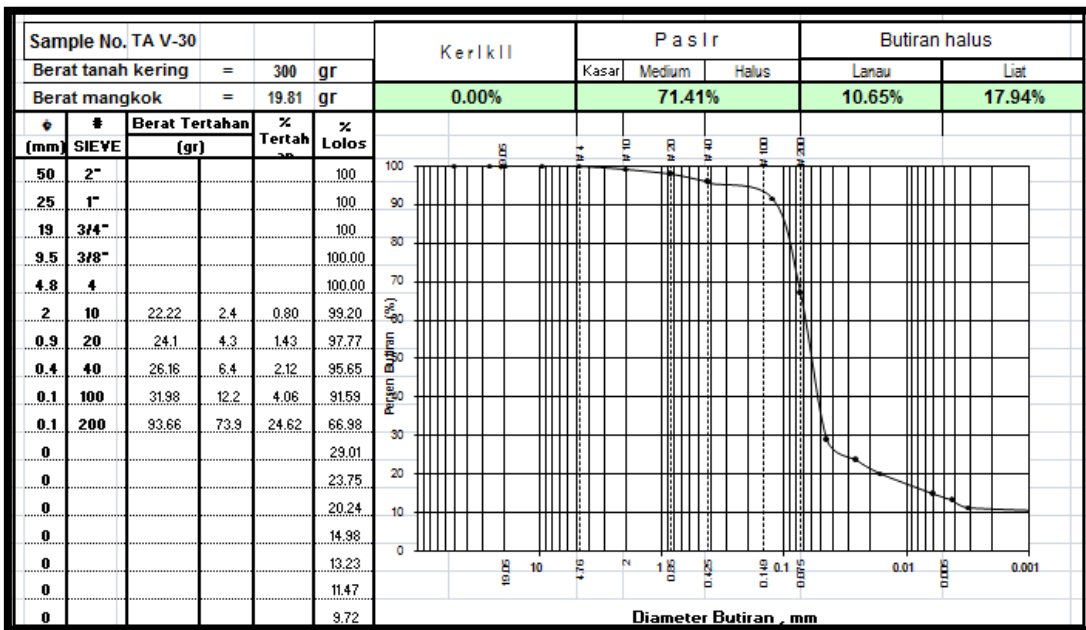
SEGITIGA TEKSTUR



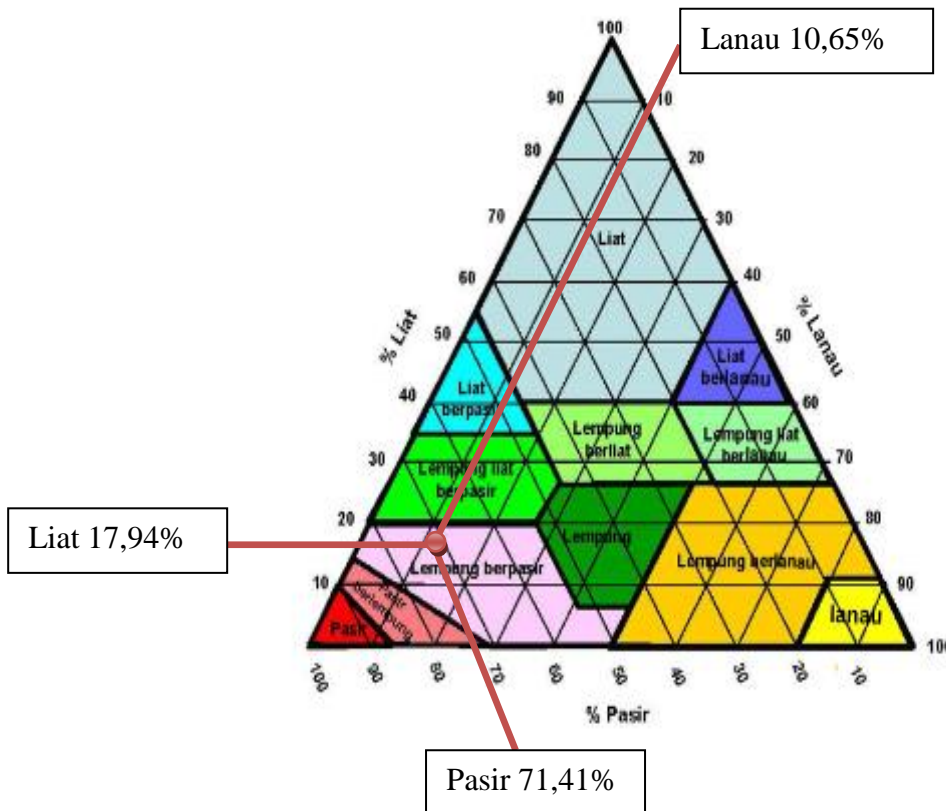


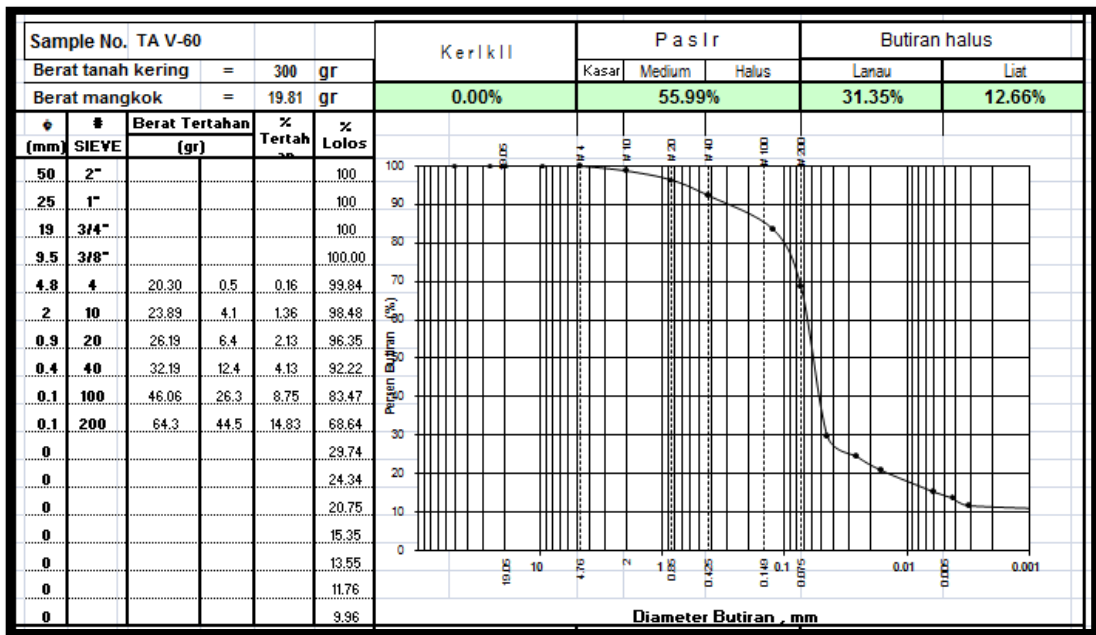
SEGITIGA TEKSTUR



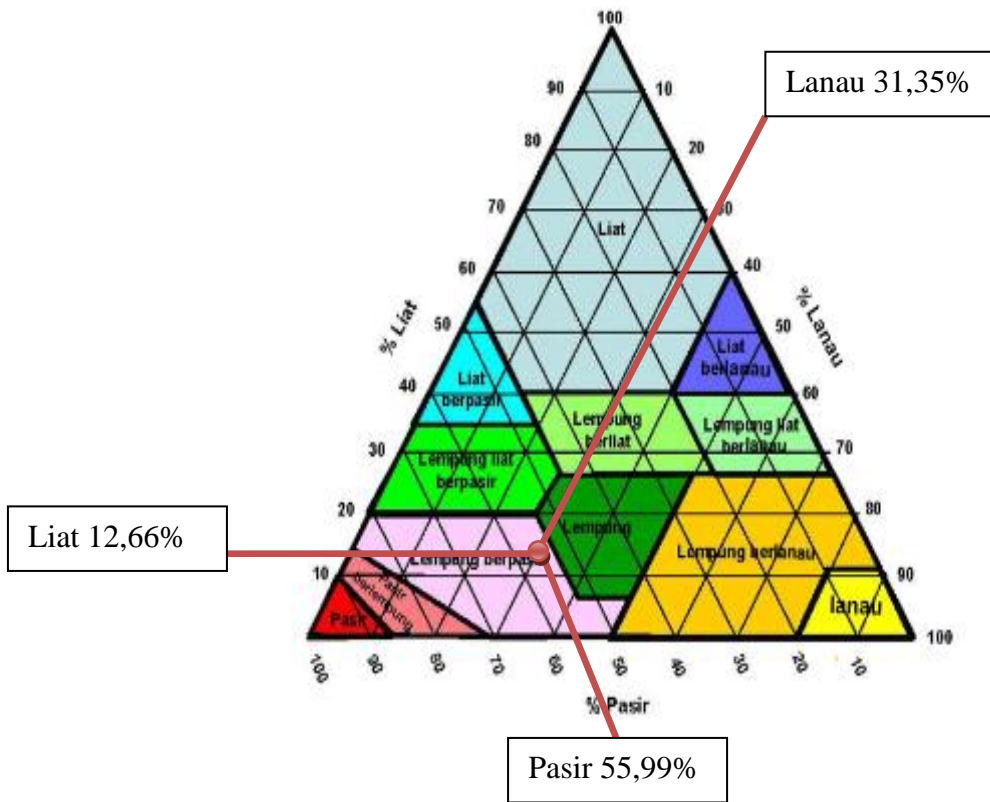


SEGITIGA TEKSTUR



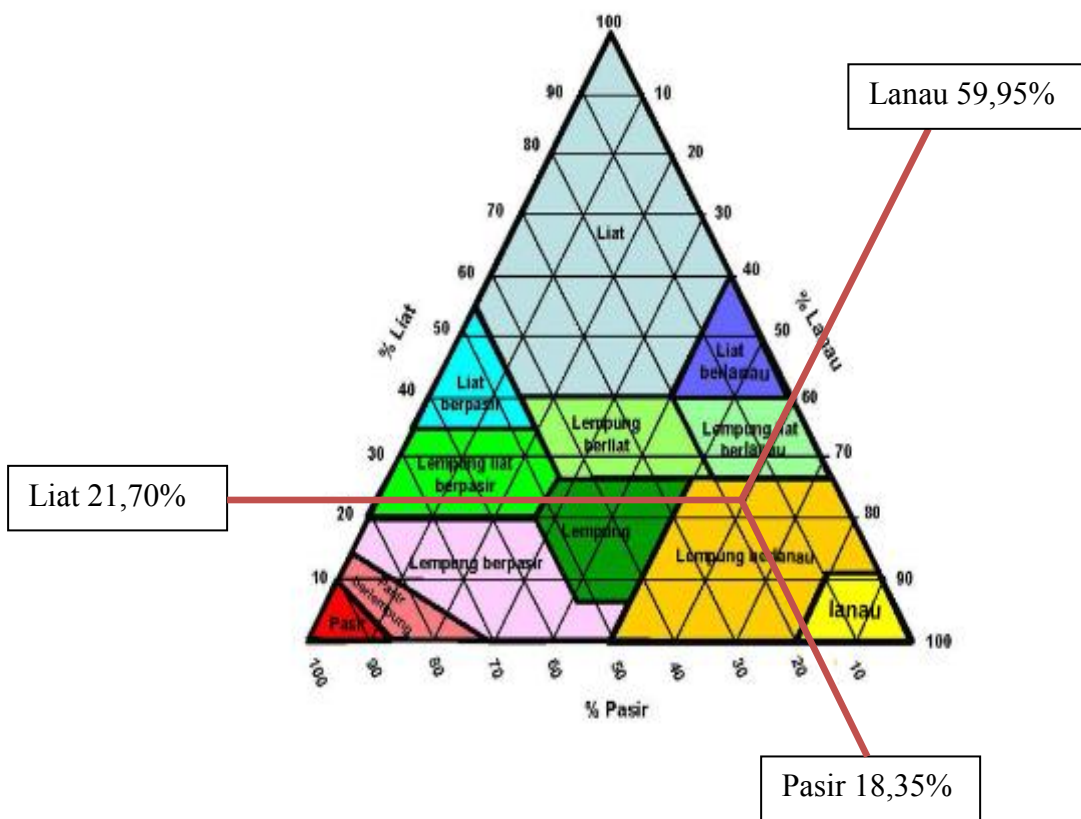


SEGITIGA TEKSTUR



KLIEN	:					Tanggal Uji	: 12 OKT 2015			
PROYEK	:	PENELITIAN				Diuji oleh	: Zofar B.			
LOKASI	:	DS.KALIREJO,KAB. KULON PROGO,DIY				Diperiksa oleh	: Ir. Gani, MT.			
QUARRY MATERIAL	:	TANAH TERCEMAR MERKURI								
Sample No	TA V-90				Kerikil	Pasir		Butiran halus		
Berat tanah kering	:	300 gr				Kasar	Medium	Halus	Lanau	Liat
Berat mangkok	:	19.81 gr			0.00%	18.35%		59.95%	21.70%	
ϕ (mm)	# SIEVE	Berat Tertahan (gr)		% Tertahan	% Lolos					
50	2"				100					
25	1"				100.00					
19	3/4"				100.00					
9.5	3/8"				100.00					
4.8	4				100.00					
2	10	19.95	0.1	0.05	99.95					
0.9	20	20.72	0.9	0.30	99.65					
0.4	40	21.77	2.0	0.65	99.00					
0.1	100	42.4	22.6	7.53	91.47					
0.1	200	49.26	29.5	9.82	81.65					
0					26.56					
0					24.62					
0					22.67					
0					20.73					
0					18.79					
0					16.84					

SEGITIGA TEKSTUR



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil dalam penelitian ini adalah:

1. Sumber pencemaran merkuri pada pertambangan emas rakyat Desa Kalirejo Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta, terjadi akibat proses amalgamasi dimana pada saat pemisahan amalgam, *tailing* atau limbah penambangan yang mengandung merkuri terbuang bersama dengan emas ke tanah, yang menimbulkan pencemaran pada tanah.
2. Berdasarkan hasil uji kadar merkuri dalam tanah menunjukkan konsentrasi merkuri berkisar 0,30-22,51 mg/kg sehingga dapat dikatakan telah melebihi baku mutu tanah tercemar merkuri menurut Peraturan Pemerintah No 101 tahun 2014 dengan standar yang ditetapkan adalah 0,3 mg/kg. Sedangkan pada *tailing* menunjukkan konsentrasi yang cukup tinggi berkisar 164,16–383,21 mg/kg dan telah melebihi baku mutu limbah tambang emas menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 202 tahun 2004 dengan standar yang ditetapkan adalah 0,005 mg/L atau setara dengan 0,005 mg/kg.
3. Strategi pengendalian pencemaran merkuri disusun melalui analisis SWOT berdasarkan hasil analisis dari aspek teknis, hukum dan sosial. Adapun tahapan implementasi strategi adalah sebagai berikut:
 - Program jangka pendek (2016-2017) berupa Pemerintah Daerah menutup sementara aktifitas penambangan emas rakyat dan selanjutnya para penambang emas mengurus surat izin pertambangan.
 - Program jangka menengah (2018-2021) berupa sosialisasi kepada para penambang tentang cara menambang yang baik dan benar serta sosialisasi tentang peraturan pemerintah yang berkaitan dengan pertambangan emas rakyat.
 - Program jangka panjang (2022-2029) berupa pemantauan lingkungan secara berkesinambungan dan bersama masyarakat setempat melakukan remediasi lahan yang tercemar merkuri.

5.2 Saran

Perlu adanya pembuatan tempat pembuangan *tailing* yang permanen, sehingga *tailing* tidak tercecer keluar dan meresap mencemari tanah dan air tanah. Selanjutnya perlu adanya kerjasama instansi berwenang dengan para penambang dalam meremediasi lahan yang tercemar dan perlu adanya penelitian intensif tentang kandungan logam berat merkuri agar dapat diadakan pencegahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus F., Sutono, Yusrial. 2012. **Penetapan Tekstur Tanah**.
- Alfian, Z. 2006. **Merkuri: Antara Manfaat Dan Efek Penggunaannya Bagi Kesehatan Manusia Dan Lingkungan**. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Alpers, C.N. dan Hunerlach, M.P. 2000. **Mercury Contamination From Historic Gold Mining in California**. Geological Survey, California, US
- Alloway. 1990. **Soil Processes and Behaviour of Metals. In Alloway Heavy Metals In Soils**. Blackie Glasgow and London Halsted Press. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- APHA, AWWA, dan WEF. 1998. **Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water**. 20th ed., APHA, Washington DC, USA.
- Appel, P.W.U., dan Na-Oy, L.D. 2014. **Mercury Free Gold Extraction Using Borax for Small Scale Gold Minner**. Journal of Environmental Protection, 5, 493-499
- ASTM D 2434-68. **Permeability Test**. Washington DC, USA.
- ASTM D 422. 2001. **Method of Test For Determination of Particle Size Analysis of Soils**. Washington DC, USA
- ASTM D2216-71. **Water Content**. Washington DC, USA.
- Ayuningtyas. 2009. **Teori Dasar pH**. Universitas Sumatra Utara.
- Badan Standar Nasional. 2008. SNI 6989.59-2008. **Metode Pengambilan Contoh Air Limbah**.

- Bailey, H.H., Diha, M.A., Nugroho, S.G., Lubis, A.M., dan Hakim. N. 1986. **Dasar-Dasar Ilmu Tanah**. Jilid 1. Universitas Lampung. Lampung.
- Budiyono. 2012. **Analisis Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Merkuri Pada Penambang Emas Tradisional di Desa Jendi Kecamatan Selogiri Kabupaten Wonogiri**. Vol 11, hal 54-60.
- Darmanti, S., dan Sinulingga, M. 2013. **Kemampuan Mengikat Air Oleh Tanah Pasir**. Vol 1, Jurnal MIPA. 32-38
- Das, B.,M. 1998. **Mekanika Tanah**. Jilid 1. Erlangga. Jakarta
- Delgado,A.L., Lopez, F.A.,Alguacil, F.J., Padilla, I., dan Guarreero. A.2012. **A Microencapsulation Process of Liquid Mercury by Sulfur Polymer Stabilization/Solidification Technology. Part I: Characterization of Materials, Revista de Metalurgia**, 48 (1) 45-57.
- Departemen Pertanian Yogyakarta. 2001. **Tata Cara Pengambilan Contoh Tanah Untuk Uji Tanah**. diunduh tanggal 11 mei 2015.
- Desogus, P., Manca, P.P., Orru, G., dan Zucca, A. 2013. **Stabilization/Solidification Treatment of Mine Tailings Using Portland Cement, Potassium Dihydrogen Phosphate and Ferric Chloride Hexahydrate**. Journal of Minerals Engineering, 45, 47-54
- EPA. 1992. **Nitric Acid Digestion** Washington DC, USA
- EPA. 1996. **Acid Digestion of Sediments, Sludge and Soil**. Washington DC, USA
- EPA. 2004. **Soil dan Waste PH**. Washington DC,USA.
- EPA. 2006. **In Situ Treatment Technologies for Contaminated Soil**. EPA 542-F-06-013.

- EPA. 2007. **Mercury in Solid or Semi Solid Waste**. Washington DC,USA.
- Fardiaz, S. 1992. **Mikrobiologi Pangan 1**. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Giesy, J. P., Wang, T., Shi, Y., dan Luo W., 2008. **Distribution and Sources Of Mercury in Soils From Former Industrialized Urban Areas Of Beijing,China**. Environ Monit Assess.
- Greenwood. 1989. **Teknik Pertambangan Emas Rakyat (PER)**.
- Hanafiah, K., A. 2007. **Dasar-Dasar Ilmu Tanah**. Rajawali Pers : Jakarta
- Hardjowigeno, S. 2003. **Ilmu Tanah**. Akademika Pressindo. Jakarta
- Herman, D. 2006. **Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd)**. Vol 1, Jurnal Geologi Indonesia. 31-36.
- Islami dan Utomo. 1995. **Hubungan Tanah, Air dan Tanaman**. IKIP Semarang Press. Semarang.
- Koleangan, H. 2012. **Analisis Merkuri (Hg), Arsen (As), di Sedimen Sungai Ranoyapo Kecamatan Amurang Sulawesi Utara**. Vol 1, Jurnal MIPA 16-19
- Laboratorium Mekanika Tanah. **Buku Panduan Praktikum Mekanika Tanah**. ITB. 2005.
- LaGrega, Michael D., Buckingham, Phillip L., Evans, Jeffrey C. 2001. **Hazardous Waste Management**. McGraw Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering

- Lestaris, T.2010. **Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Keracunan Merkuri (Hg) Pada Penambang Emas Tanpa Izin (PETI) di Kecamatan Kurun, Gunung Mas, Kalimantan Tengah.** Universitas Diponegoro, Semarang.
- Martono,H. 2007.. **Pencemaran di Wilayah Tambang Emas Rakyat.** Vol.XVII, Media Litbang Kesehatan.
- Mirdat dan Isrun Yosep S. 2013. **Status Logam Berat Merkuri Dalam Tanah Pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas di Kelurahan Poboya. Kota Palu.** Palu.
- Mochtar, I., Khoiri, M.,and Lastiasih, Y. 2012. **Panduan Praktikum Mekanika Tanah,** ITS. Surabaya.
- Nurhayati Hakim, 1986. **Dasar-Dasar Ilmu Tanah.** Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Lampung.
- Peraturan Bupati Kulon Progo No 4 tahun 2014 tentang **Pengelolaan Pertambangan Mineral dan Batubara**
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 202 tahun 2004 tentang **Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Penambangan Bijih Emas Atau Tembaga**
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No 8 tahun 2010 tentang **Alat Pelindung Diri**
- Peraturan Pemerintah No 32 tahun 2009 tentang **Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup**
- Peraturan Pemerintah No 101 tahun 2014 tentang **Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.**
- Peraturan Pemerintah No 4 tahun 2009 tentang **Reklamasi dan Pasca Tambang**

- Pintor, S. 2013. **Penyelidikan Tanah di Lapangan**. Universitas Mercu Buana.
- Pohan, M.P. Denni, Sabtando, dan Asep. **Penyelidikan Potensi Bahan Galian Pada Tailing PT Freeport Indonesia Di Kabupaten Mimika, Provinsi Papua**. Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan Tahun 2007, Pusat Sumber Daya Geologi
- Purwantari, N.D. 2007. **Reklamasi Area Tailing Di Pertambangan Dengan Tanaman Pakan Ternak; Mungkinkah?**. Wartazoa, Vol. 17, No. 3, 101-108
- Putranto, T. 2011. **Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Air Tanah**. Jurnal Teknik, 32, 62-7.
- Rani, B. 2012. **Hazards of Mercury Poisoning and Prevention Strategies**. Vol. 3, No. 1, hal 4-6.
- Rohmana, Kamal, S., dan Suhandi. **Pendataan Penyebaran Unsur Merkuri Pada Wilayah Pertambangan Emas Daerah Gunung Gede, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat**
- Sabarudin, A., Sulistryati, H., Nashukha, A. 2014. **Uji Linieritas, Selektivitas, dan Validitas Metode Analisis Merkuri (II) Secara Spektrofotometrik Berdasarkan Penurunan Absorbansi Kompleksi Besi (III) Tiosianat**. Kimia student jurnal, 2, 492-498.
- Sambowo, K.A. 2012. **Valuasi Ekonomi eksternalitas penggunaan merkuri pada Pertambangan emas rakyat dan peran pemerintah daerah mengatasi pencemaran merkuri (Studi kasus PETI di kecamatan Kokap Kulon Progo**. IV. 48-63.

- Setiabudi, B.T. 2005. **Penyebaran Merkuri akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta.**
- Shaw Environmental Inc. 2009. **Soil Sampling and Analysis Plan Collinsville Soil Program**
- Siregar, E. 2005. **Pencemaran Udara Respon Tanaman dan Pengaruhnya Terhadap Manusia.** Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Subandri. 2008. **Kajian Beban Pencemaran Merkuri (Hg) Terhadap Air Sungai Menyuke dan Gangguan Kesehatan pada Penambang sebagai akibat Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) di Kecamatan Menyuke Kabupaten Landak Kalimantan Barat.** Universitas Diponegoro, Semarang.
- Suganda.,Ahmad R., dan Sutono. **Petunjuk Pengambilan Contoh Tanah** .diunduh 19 mei 2015.
- Suhandi, S. 2005. **Pedataan Sebaran Unsur Merkuri Pada Wilayah Pertambangan Gunung Pani dan Sekitarnya.** Subdit Konserfasi.diunduh 12 mei 2015.
- Suryana,L. 2013. **Analisis SWOT Sebagai Dasar Penetapan Strategi Pemasaran Pada Perusahaan Jamu Cuk Sirih Di Banjarmasin.** Vol.14. Hal 31-38.
- Susiyadi, D.M., Dasna, I.W., dan Budiasih, E. 2013. **Pemisahan Dan Karakterisasi Emas Dari Batuan Alam Dengan Metode Natrium Bisulfit.** Jurnal online Universitas Negeri Malang Vol.2, No.1, 1-11
- Suyono., A. 2011. **Dampak Penggunaan Hg Pada Penambangan Emas Rakyat Terhadap Lingkungan.** Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional, Veteran, Yogyakarta

- Tchobanoglous,G.,Theisen,H., dan Vigil,S. 1993. **Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues**. New York: Mc GrawHill Inc.
- Trihadiningrum, Y. 2000. **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS, Surabaya
- Uhland and O’Neal. 1951. **Soil Permeability Determination for Use In Soil and Water Conservation Service**. Washington,D.C
- Veiga, M.M., Nunes D., dan Sousa, R.N 2009. **Mill Leaching: A Viable Substitute For Merkury Amalgamation In The Artisanal Gold Mining Sector**. *Jornal of Cleaner Production*, 17,1373-1381.
- Wang, W.X. 2012. **Biodynamic Understanding of Mercury Accumulation in Marine and Freshwater Fish**. *Advances in Environmental Research*, Vol. 1, No. 1, 15-35
- Wardhana, W. A . 2004. **Dampak Pencemaran Lingkungan**. 3rd edition, Andi, Yogyakarta.
- Warlina, L. 2004. **Pencemaran Air, Sumber dan Penanggulangannya**. Makalah Pengantar ke Falsafah Sains, Sekolah Pasca Sarjana, IPB, Bogor
- Widhiyatna,D. 2005. **Pendataan Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Tasikmalaya, Propinsi Jawa Barat – Kolokium Hasil Lapangan**.
- Widiastuti,T., Burhanuddin, Ferianto. 2012. **Kadar dan Sebaran Pencemaran Merkuri Akibat Penambangan Emas Rakyat di Lokasi Hutan Karangas Kecamatan Mandor Kabupaten Landak**.
- Widodo, F. 2012. **Dampak Pencemaran Merkuri Terhadap Biota Air dan Manusia**. diunduh tanggal 20 mei 2015.

Wills, B.A. 1988. **Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery**. 4th edition, Pergamon Press

Zaenal. 2005. **Teori dasar Tanah**. diunduh tanggal 23 juli 2015.

Zhang, X.Y., Wang, Q.C., Zhang, S.Q., Sun, X.J., dan Zhang, Z.S. 2009. **Stabilization/Solidification (S/S) Of Mercury-Contaminated Hazardous Wastes Using Thiol-Functionalized Zeolite And Portland Cement**. *Journal of Hazardous Materials*, 168 , 1575 – 1580

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Zofar Agluis Banunaek lahir di Kupang Propinsi Nusa Tenggara Timur pada tanggal 21 Agustus 1990 merupakan anak keempat dari lima bersaudara. Penulis lahir dari pasangan suami istri Bapak Nimrot Banunaek (Alm) dan Ibu Yuliana Nenabu. Penulis sekarang bertempat tinggal di Jln Rumbia No 14 Naikolan Kecamatan Maulafa – Kupang.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di Sekolah Dasar Negeri Naikoten 2 Kota Kupang lulus pada tahun 2002, lalu melanjutkan sekolah menengah pertama di SLTP Negeri 3 Kota Kupang dan lulus pada tahun 2005, dan kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Katolik Giovanni Kupang dan lulus pada tahun 2008, kemudian melanjutkan jenjang pendidikan Sarjana Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Nusa Cendana Kupang (UNDANA) dan lulus pada Tahun 2013. Setelah itu melanjutkan Program Magister Teknik pada Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan lulus pada tahun 2016. Jika ada hal yang ingin ditanyakan lebih lanjut maka dapat menghubungi saya lewat email : zofar.banunaek@gmail.com.