



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**STABILISASI/SOLIDIFIKASI *TAILING* TAMBANG EMAS  
RAKYAT KULON PROGO MENGGUNAKAN SEMEN  
*PORTLAND* DAN TANAH TRAS**

**THANIYA TRIAGUSTINE KALIMANTORO  
3312100083**

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - RE 141581**

**STABILIZATION/SOLIDIFICATION OF TAILING IN KULON  
PROGO ARTISANAL GOLD MINES USING PORTLAND  
CEMENT AND TRASS SOIL**

**THANIYA TRIAGUSTINE KALIMANTORO  
3312100083**

**SUPERVISOR  
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

# LEMBAR PENGESAHAN

## STABILISASI/SOLIDIFIKASI *TAILING* TAMBANG EMAS RAKYAT KULON PROGO MENGGUNAKAN SEMEN *PORTLAND* DAN TANAH TRAS

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**THANIYA TRIAGUSTINE KALIMANTORO**

NRP 3312 100 083

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



**Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc.**

NIP. 19530706 198403 2 004



# Stabilisasi/Solidifikasi *Tailing* Tambang Emas Rakyat Kulon Progo Menggunakan Semen *Portland* dan Tanah Tras

Nama : Thaniya Triagustine Kalimantanoro  
NRP : 3312100083  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc.

## ABSTRAK

Merkuri yang digunakan dalam proses amalgamasi pada tambang emas rakyat seringkali mencemari tanah maupun badan air di sekitar lokasi tambang. Hal ini terutama disebabkan oleh penanganan *tailing* mengandung merkuri yang tidak benar. Kolam *tailing* yang ada seringkali dibiarkan hingga penuh dan meluap sehingga mencemari lingkungan di sekitarnya. Kandungan merkuri dalam *tailing* tambang emas rakyat Kulon Progo, DI Yogyakarta mencapai 302,31 mg/kg. *Tailing* dari kegiatan pertambangan dikategorikan sebagai Limbah B3 Kategori 2 menurut Lampiran I PP No 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3. Upaya pengolahan terhadap limbah B3 yang dihasilkan perlu dilakukan yaitu melalui teknik Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) menggunakan semen *Portland* dan tanah tras. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi antara semen *portland* dan tanah tras serta komposisi antara *binder* dan *tailing* yang digunakan dalam proses S/S.

*Tailing* diambil dari lokasi tambang emas rakyat Kulon Progo. Pengambilan sampel *tailing* dilakukan pada kolam *tailing* dengan kedalaman pengambilan 10 cm dari permukaan sedimen. Benda uji dibuat menggunakan cetakan kubus dengan ukuran tiap sisi 5 cm. Variasi komposisi antara semen *Portland* dan tanah tras adalah 100:0; 90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50; 40:60; 30:70; 20:80 dan 10:90. Sedangkan variasi komposisi antara *binder* dan *tailing* yaitu 50:50; 40:60; 30:70; 20:80 dan 10:90. Kualitas benda uji diukur melalui uji kuat tekan dan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Baku mutu hasil uji TCLP menurut Lampiran IV PP No 101 Tahun 2014 sebesar 0,05 mg/L. Baku mutu kuat tekan untuk limbah B3 menurut Keputusan

Kepala Bapedal No. KEP-03/BAPEDAL/09/1995 sebesar 10 ton/m<sup>2</sup> atau setara dengan 1 kg/cm<sup>2</sup>.

Komposisi antara semen Portland dan tanah tras ditetapkan 40:60 dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan sebesar 260 kg/cm<sup>2</sup>. Komposisi antara binder dan tailing ditetapkan pada komposisi 50:50 dengan nilai kuat tekan 92,4 kg/cm<sup>2</sup> dan hasil uji TCLP kurang dari 0,21 mg/L.

**Kata kunci : Merkuri, semen *Portland*, stabilisasi/solidifikasi, *tailing*, tanah tras**

# **Stabilization/Solidification of Tailing in Kulon Progo Artisanal Gold Mines Using Portland Cement and Trass Soil**

Name : Thaniya Triagustine Kalimantanoro  
Student ID : 3312100083  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc.

## **ABSTRACT**

Mercury, which is used in artisanal gold mining activity, has often contaminated soil and water body near the mining site. The main cause was the improper tailing handling. Tailing of artisanal gold mining in Sangon, Kulon Progo, contained 302,31 mg/kg of mercury. The tailing pools have frequently become overload and caused the mercury to flow over the land. Tailing from this mining activity is classified as hazardous and toxic waste of category 2 according to Appendix I of Government Decree No. 101/104 concerning Hazardous Waste Management. In order to manage the tailing residue properly, it is necessary to apply stabilization/solidification (S/S) method. This research was aimed to determine best composition of portland cement and trass soil in the S/S process of the tailing residue. Besides, the composition between binder and tailing which produced best performance in the S/S process was examined.

Tailing residue was collected from artisanal gold mine in Kulon Progo. Samples were collected from tailing pools up to 10 cm depth. Mortar was made using 5x5x5 cm specimen mould. Mixtures of portland cement and trass soil as binders were made using 100:0; 90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50; 40:60; 30:70; 20:80 and 10:90 variations. Whereas variations of binder and tailing compositions were 50:50; 40:60; 30:70; 20:80 and 10:90. Quality of the S/S product was examined using compressive strength and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) tests. According to Appendix IV of Government Decree No. 101/2014, the maximum allowable value of TCLP test result is 0,05 mg/L. Whereas, that of the Head of Environmental Impact Control Agency (BAPEDAL) Decree No. KEP-

03/BAPEDAL/09/1995, stipulates the minimum value of compressive strength standard of  $10 \text{ tonnes/m}^2$ , or equals to  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

Best performance of the S/S product was observed in portland cement and trass soil composition of 40:60, which resulted in a compressive strength value of  $260 \text{ kg/cm}^2$ . Proper composition of binder and tailing was decided to be 50:50, which resulted in a compressive strength value of  $92,4 \text{ kg/cm}^2$  and TCLP result value of less than  $0,21 \text{ mg/L}$ .

**Keyword(s) : mercury, portland cement, stabilization/solidification, tailing, trass soil**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Karakteristik Merkuri .....	7
2.2 Potensi Bahaya Kontaminasi Merkuri.....	8
2.3 Pencemaran Merkuri di Dusun Sangon, Kulon Progo.	11
2.4 Proses Stabilisasi dan Solidifikasi .....	13
2.5 Penggunaan Semen <i>Portland</i> dalam Proses Stabilisasi dan Solidifikasi .....	14
2.6 Penggunaan Tanah Tras dalam Proses Stabilisasi dan Solidifikasi.....	17
2.7 Teknik Pengambilan dan Persiapan Sampel <i>Tailing</i> ...	19
2.8 Uji Kadar Merkuri dan Karakterisasi Sampel.....	21

2.9	Uji Konsistensi Normal.....	22
2.10	Teknik Pembuatan dan Perawatan Benda Uji.....	22
2.11	Uji TCLP ( <i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i> ) .....	23
2.12	Uji Kuat Tekan .....	24
2.13	Penelitian Terdahulu .....	25
BAB III METODE PENELITIAN .....		27
3.1	Kerangka Penelitian.....	27
3.2	Tahapan Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		43
4.1	Pengambilan Sampel Tailing Tambang Emas Rakyat Kulon Progo.....	43
4.2	Karakteristik Tailing .....	44
4.3	Penelitian Tahap I.....	46
4.3.1	Uji Konsistensi Normal Penelitian Tahap I .....	46
4.3.2	Uji Kuat Tekan Penelitian Tahap I .....	47
4.4	Penelitian Tahap II .....	54
4.4.1	Uji Konsistensi Normal Penelitian Tahap II .....	54
4.4.2	Uji Kuat Tekan Penelitian Tahap II .....	55
4.4.3	Uji TCLP dan Kadar Merkuri.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		65
5.1	Kesimpulan .....	65
5.2	Saran .....	65
DAFTAR PUSTAKA.....		67
LAMPIRAN .....		75
BIOGRAFI PENULIS .....		119

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logam Merkuri pada Suhu Ruang .....	7
Gambar 2.2 Diagram Kegiatan Pengolahan Emas .....	9
Gambar 2.3 <i>Mercury Flour</i> pada Biji Emas .....	10
Gambar 2.4 Kolam <i>Tailing</i> pada Lokasi Penambangan Emas Rakyat Dsn. Sangon .....	12
Gambar 2.5 <i>Tailing</i> Mengandung Merkuri dibuang Langsung ke Tanah Sekitar Lokasi Gelundung Daerah Sangon ..	12
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian .....	30
Gambar 3.2 Lokasi Titik <i>Sampling</i> .....	34
Gambar 3.3 Lokasi Sampling pada Bak Penampungan <i>Tailing</i> ..	35
Gambar 3.4 Luberan <i>Tailing</i> pada Tanah Sekitar Gelundung ....	35
Gambar 3.5 Botol HDPE Bermulut Lebar .....	36
Gambar 3.6 <i>Specimen Mould</i> .....	37
Gambar 3.7 Alat Vicat untuk Uji Konsistensi Normal .....	37
Gambar 3.8 Prosedur <i>Moisture Curing</i> .....	39
Gambar 4.1 Kondisi Sungai di Sekitar Lokasi Tambang .....	44
Gambar 4.2 Karakteristik Fisik Sampel <i>Tailing</i> .....	44
Gambar 4.3 Benda Uji Setelah Menjalani Masa Curing .....	48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Umum <i>Portland Cement</i> .....	15
Tabel 2.2 Kandungan Kalsium dalam Masing-Masing Tipe <i>Portland Cement</i> .....	15
Tabel 2.3 Penentuan Kedalaman Pengambilan Sampel Sedimen serta Alat <i>Sampling</i> yang digunakan.....	20
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu.....	25
Tabel 3.1 Variabel Penelitian Tahap I .....	32
Tabel 3.2 Variabel Penelitian Tahap II .....	32
Tabel 3.3 Berat Tiap Bahan untuk Masing-Masing Komposisi pada Penelitian Tahap I .....	38
Tabel 3.4 Berat Tiap Bahan pada Penelitian Tahap II .....	38
Tabel 4.1 Koordinat Titik <i>Sampling Tailing</i> .....	43
Tabel 4.2 Hasil Pengujian pH Tailing .....	44
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kadar Air Tailing .....	45
Tabel 4.4 Konsentrasi Merkuri pada Tailing .....	46
Tabel 4.5 Kebutuhan Air Benda Uji Tahap I .....	47
Tabel 4.6 Data Hasil Uji Kuat Tekan Tahap I .....	48
Tabel 4.7 Nilai Kuat Tekan Tahap I .....	49
Tabel 4.8 Kebutuhan Air Benda Uji Tahap II .....	55
Tabel 4.9 Data Hasil Uji Kuat Tekan Tahap II .....	55
Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Tekan Tahap II .....	56
Tabel 4.11 Hasil Pengukuran pH Sampel Setelah <i>Preliminary Evaluation</i> .....	58
Tabel 4.12 Hasil Uji TCLP pada Benda Uji Tahap II .....	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap I.....	50
Grafik 4.2 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap II.....	57
Grafik 4.3 Kurva Regresi antara Hasil Uji TCLP dengan Nilai Kuat Tekan Tahap .....	62
Grafik 4.4 Hasil Uji TCLP dan Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap II.....	63

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A PROSEDUR KERJA .....	75
Lampiran B PERHITUNGAN DATA .....	89
Lampiran C PETA DAN GAMBAR .....	97
Lampiran D LAMPIRAN PERATURAN PERUNDANGAN .....	111

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Emisi merkuri terbesar negara Indonesia berasal dari kegiatan pertambangan emas skala kecil (*artisanal gold mining*) (UNEP, 2008). Di Indonesia dikenal adanya istilah Pertambangan Tanpa Izin (PETI), yaitu usaha pertambangan yang pelaksanaan kegiatannya tanpa dilandasi oleh ketentuan hukum pertambangan resmi dari Pemerintah Pusat maupun Pemerintah Daerah (Herman, 2006). Salah satu usaha PETI untuk bahan galian emas yang masih beroperasi di Indonesia adalah pertambangan emas rakyat Dusun Sangon, Kulon Progo, DI Yogyakarta. Lemahnya pemahaman pelaku usaha PETI terhadap hukum pertambangan mengakibatkan pelaksanaan kegiatan penambangan kurang memperhatikan kelayakan pembuangan limbah yang dihasilkan. *Tailing* yang dihasilkan dari kegiatan pengolahan emas Dusun Sangon sebagian besar dibuang langsung ke halaman sekitar lokasi tambang atau dialirkan menuju kolam *tailing*. Kolam *tailing* seringkali dibiarkan hingga penuh dan meluap sehingga terjadi pencemaran merkuri (Hg) terhadap tanah disekitarnya (Setiabudi, 2005).

Tailing dari proses pengolahan bijih mineral logam pada industri pertambangan tergolong sebagai limbah B3 kategori 2 menurut Tabel 4 Lampiran I PP No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Konsentrasi merkuri pada *tailing* tambang emas rakyat daerah Sangon, Kulon Progo tergolong cukup tinggi yaitu berkisar 800-6900 ppm (Setiabudi, 2005). Total konsentrasi merkuri berdasarkan hasil karakterisasi sampel *tailing* pada penelitian ini yaitu 302,31 mg/kg. Padahal, kelimpahan unsur Hg di dalam tanah umumnya hanya berkisar antara 0,03 hingga 0,1 mg Hg/kg berat tanah (Wang, 2012). Merkuri yang terkandung dalam *tailing* dapat mencemari tanah, air tanah maupun air permukaan dan menjadi media perantara dalam mekanisme paparan merkuri ke tubuh manusia. Merkuri di dalam tubuh manusia dapat memberikan

efek yang berbahaya terhadap kesehatan, yaitu diantaranya dapat mengakibatkan gangguan pada sistem saraf, sistem pencernaan, sistem kekebalan tubuh serta mengakibatkan kerusakan paru-paru bahkan kematian.

Mengingat kandungan merkuri di dalam *tailing* sangat tinggi dan beresiko membahayakan kesehatan tubuh manusia, maka banyak dilakukan pengembangan terhadap upaya-upaya pengolahan *tailing* mengandung merkuri (Wang, *et al.*, 2012). Salah satu proses pengolahan yang dapat diaplikasikan untuk *tailing* mengandung merkuri yaitu melalui proses stabilisasi dan/atau solidifikasi (S/S) (Zhang, dkk, 2009). Kelebihan proses S/S dibandingkan teknik lainnya seperti vitrifikasi atau fitoremediasi yaitu produk hasil S/S memiliki stabilitas fisik dan kimia jangka panjang yang baik karena kontaminan terikat secara fisik maupun kimia dalam suatu material padat. Produk juga resisten terhadap proses biodegradasi dan memiliki permeabilitas air yang rendah. Selain itu kebutuhan biaya yang relatif rendah serta kemudahan penerapannya menjadikan teknik S/S salah satu pilihan utama dalam upaya penanganan pencemaran logam berat. Hanya saja, keberhasilan produk ini sangat bergantung pada bahan pengikat atau *binder* yang digunakan. Pada umumnya, dalam proses S/S digunakan semen *Portland* dan/atau *binder* lain yang kompatibel dengan karakteristik kontaminan.

Semen *Portland* merupakan *binder* yang sering digunakan dalam proses S/S. *Binder* ini memiliki kemampuan mengikat kontaminan yang baik sebab mengandung gugus aluminat maupun silikat yang menghasilkan kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat ketika bereaksi dengan air (Weitzman, 1990). Kedua hidrat tersebut akan membentuk kesatuan massa yang padat pada pasta semen. Namun penggunaan semen perlu dibatasi karena proses produksinya yang mahal dan membutuhkan energi dalam jumlah tinggi. Selain itu, dalam proses produksinya juga dihasilkan gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub> dalam jumlah besar (Tariq dan Yanful, 2013). Oleh karena itu, untuk mengurangi penggunaan semen dalam proses S/S perlu ditambahkan bahan aditif lain yang juga memiliki sifat dapat mengeras seperti semen ketika bereaksi dengan air.

Salah satu bahan pengganti semen yang dapat digunakan adalah tanah tras (Bone, 2004). Tanah tras merupakan tanah hasil pelapukan batuan dari aktivitas gunung berapi yang mengandung silika dalam jumlah tinggi. Tanah tras dengan butiran silika yang sangat halus dapat mengisi ruang antar partikel dalam beton sehingga dapat memadatkan dan menguatkan struktur beton. Ketika silika bereaksi dengan kapur dan air, maka akan terbentuk persenyawaan silika-kapur yang dapat mengeras dan tidak larut dalam air (Palar, dkk., 2013). Kandungan aluminat dalam tanah tras juga dapat membantu dalam mempercepat proses pengerasan. Penggunaan tras dalam campuran beton juga mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap serangan sulfat (Tugino, 2010). Selain dapat meningkatkan performa semen dalam proses S/S, keberadaan tanah tras juga banyak tersebar di Indonesia. Daerah Kulon Progo sendiri merupakan salah satu kabupaten penghasil bahan galian mineral tanah tras (Ulanadhari, 2014).

Prosentase penggunaan tanah tras sebagai pengganti semen umumnya berkisar antara 10% hingga 35% dari berat semen (Pamuji, 2007). Hasil studi menunjukkan bahwa penambahan tanah tras sebanyak 17% dari berat semen dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 43%, yaitu dari 115,198 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 165,207 kg/cm<sup>2</sup> (Pamuji, 2007). Menurut Kep Bapedal No. KEP-03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, baku mutu kuat tekan untuk limbah B3 yaitu sebesar 10 ton/m<sup>2</sup>. Peningkatan nilai kuat tekan tersebut terutama terkait dengan penurunan permeabilitas oksigen terhadap beton sebagai akibat dari penggunaan tanah tras. Adanya kandungan silika dalam tanah tras akan memperkecil porositas beton sehingga keberadaan oksigen dapat diminimalkan. Dengan rendahnya kandungan oksigen pada beton maka nilai kuat tekannya dapat ditingkatkan (Paria dan Yuet, 2006). Adapun baku mutu TCLP menurut Lampiran IV PP No 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yaitu sebesar 0,05 mg/L.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa komposisi terbaik antara semen *Portland* dan tanah tras?
2. Berapa komposisi terbaik antara *binder* (semen Portland dan tanah tras) dan *tailing*?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan komposisi terbaik antara semen *Portland* dan tanah tras.
2. Menentukan komposisi terbaik antara *binder* (semen Portland dan tanah tras) dan *tailing*.

## 1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberi masukan teknologi untuk meremediasi lahan tercemar merkuri di kawasan tambang emas rakyat daerah Kulon Progo.
2. Memberikan alternatif proses S/S yang lebih murah dan efektif.

## 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Sampel yang digunakan merupakan *tailing* tambang emas rakyat di Dusun Sangon, Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo.

3. *Binder* yang digunakan merupakan campuran dari Semen *Portland* dan tanah tras dengan berbagai variasi komposisi.
4. Variabel penelitian :
  - a. Penelitian Tahap I :  
Variasi komposisi semen *Portland* dan tanah tras.
  - b. Penelitian Tahap II :  
Variasi komposisi *binder* (semen Portland dan tanah tras) dan *tailing*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Karakteristik Merkuri

Merkuri merupakan salah satu *trace element* dengan karakteristik sebagai logam cair berwarna putih keperakan pada temperatur ruang dan merupakan konduktor listrik yang baik. Logam merkuri dalam suhu ruang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Berat jenis logam merkuri cukup besar, yaitu sebesar  $13,55 \text{ gram/cm}^3$  (Sudarmaji, dkk, 2006). Merkuri juga memiliki titik didih dan titik beku masing-masing sebesar  $357,0^\circ\text{C}$  dan  $-38,9^\circ\text{C}$  (Stwertka, 1998). Merkuri memiliki kemampuan untuk melarutkan logam lain dalam bentuk logam paduan yang disebut dengan amalgam (Widhiyatna, dkk., 2005). Oleh karena itu, logam merkuri banyak digunakan untuk berbagai keperluan industri misalnya sebagai bahan pembuatan termometer, barometer, termostat, lampu fluorescent, obat-obatan, insektisida, dan sebagainya. Selain itu merkuri juga dimanfaatkan dalam kegiatan pertambangan emas, terutama dalam proses amalgamasi.



Gambar 2.1 Logam Merkuri pada Suhu Ruang  
Sumber : Tumenbayar, 2006

Merkuri dapat dijumpai dalam 3 jenis, di antaranya yaitu (Warlina, 1997) :

1. Merkuri Elemental (Hg)

Terdapat dalam gelas thermometer, tensimeter air raksa, amalgam gigi, alat elektronik, batu baterai dan cat. Selain itu juga digunakan sebagai katalisator dalam produksi soda kaustik dan desinfektan, serta untuk

produksi klorin dan Sodium klorida. Merkuri elemental memiliki volatilitas yang tinggi.

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

Terdapat dalam bentuk Metil merkuri dan Etil merkuri yang termasuk dalam bentuk alkil rantai pendek dan dijumpai sebagai kontaminan logam di lingkungan. Merkuri dalam bentuk alkil dan aril rantai panjang umumnya digunakan sebagai antiseptic dan fungisida.

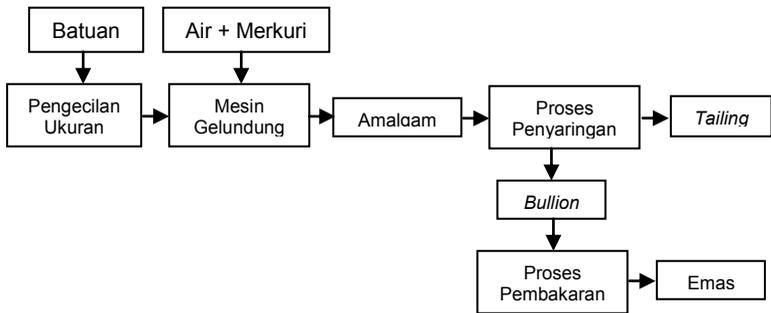
Sebagian merkuri yang digunakan dalam proses amalgamasi ada yang terbawa ke dalam *tailing* dan berakhir di kolam penampungan atau ke tanah disekitarnya. Di dalam kolam penampungan ataupun di lingkungan, merkuri bereaksi dengan asam organik membentuk persenyawaan  $Hg^{++}$ . (Viega dan Baker, 2004). Adapun konsentrasi merkuri di dalam tanah umumnya berkisar antara 0,03 hingga 0,1 mg/kg dengan konsentrasi rata-ratanya sebesar 0,06 mg/kg (Wang, 2012).

## 2.2 Potensi Bahaya Kontaminasi Merkuri

Merkuri memiliki potensi bahaya cukup tinggi terhadap kesehatan manusia. Hal ini terkait dengan tingkat toksisitas, mobilitas serta lamanya waktu tinggal merkuri di alam, termasuk juga di dalam tanah. Merkuri yang terlepas ke atmosfer dapat bertahan selama 6 hingga 24 bulan sebelum akhirnya terdeposisi kembali ke dalam tanah (Dastoor dan Larocque, 2004). *Substance Priority List (SPL)* menempatkan merkuri pada peringkat ketiga dalam daftar prioritas zat berbahaya setelah arsen dan timbal (ATSDR, 2013).

Sumber emisi merkuri secara global paling besar berasal dari kegiatan pada pembangkit listrik, yaitu sebesar 45% dari total emisi antropogenik. Walau demikian, pada beberapa negara

seperti Brazil, Kolumbia dan Indonesia, emisi merkuri terbesar berasal dari kegiatan penambangan emas skala kecil (UNEP, 2008). Pencemaran merkuri terhadap lingkungan sekitar tambang emas dapat terjadi melalui berbagai mekanisme yang sebagian besar diantaranya berasal dari proses amalgamasi untuk memperoleh emas seperti terlihat pada Gambar 2.2. Penggunaan merkuri bertujuan untuk mengekstrak emas dari bijihnya sekaligus memisahkannya dari zat pengotor lain. Tanah mengandung bijih emas yang telah dihancurkan menjadi butiran kecil dimasukkan ke dalam drum bersamaan dengan air dan merkuri, lalu diagitasi selama beberapa jam. Lamanya proses pengadukan tergantung pada kekerasan dari bijih emas. Selama proses penggilingan atau pengadukan, merkuri akan mengikat emas yang terkandung dalam tanah dan membentuk amalgam emas-merkuri. Merkuri dan amalgam emas-merkuri memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan zat pengotor lainnya, sehingga keduanya akan mengendap di dasar bak (Alpers dan Hunerlach, 2000).



Gambar 2.2 Diagram Kegiatan Pengolahan Emas  
 Sumber : Suyono, 2011

Amalgam yang terbentuk kemudian dipanaskan untuk menguapkan merkuri sehingga tersisa logam emas dengan kadar merkuri sekitar 5% hingga 10% (Appel dan Na-Oy, 2014). Uap merkuri yang terbentuk selanjutnya dapat terdeposisi pada tanah maupun badan air dan mengakibatkan pencemaran (Widhiyatna,

dkk, 2005). Selain itu, proses pengolahan emas juga menghasilkan *tailing* yang dimungkinkan masih mengandung *mercury flour* dengan konsentrasi tinggi. *Mercury flour* merupakan butiran merkuri cair dengan diameter kurang dari 1 milimeter yang tidak dapat bersatu dan tersebar di seluruh bijih emas seperti terlihat pada Gambar 2.3 (Appel dan Na-Oy, 2014). Ukuran *mercury flour* sangat kecil dan cukup banyak jumlahnya sehingga menyulitkan penambang untuk memisahkannya. Oleh karena itu, *mercury flour* umumnya banyak yang berakhir ke dalam *tailing*. *Tailing* yang dihasilkan apabila tidak ditangani dengan benar dapat mengakibatkan terjadinya pencemaran tanah oleh merkuri.



Gambar 2.3 *Mercury Flour* pada Biji Emas  
Sumber : Appel dan Na-Oy, 2014

Merkuri yang terkandung dalam *tailing* dapat masuk ke dalam aliran air tanah ataupun air permukaan. Apabila dikonsumsi oleh manusia ataupun organisme lainnya maka akan memasuki rantai makanan melalui mekanisme bioakumulasi dan biomagnifikasi. Di dalam tubuh organisme, merkuri dapat berubah menjadi bentuk yang jauh lebih toksik, yaitu metil merkuri (MeHg). Merkuri maupun metal merkuri sangat berbahaya terhadap sistem saraf pusat dan saraf tepi manusia. Apabila uap merkuri terhirup oleh manusia, maka akan menimbulkan gangguan terhadap sistem saraf, sistem pencernaan, sistem kekebalan tubuh serta dapat mengakibatkan kerusakan paru-paru dan ginjal, bahkan tak jarang berakibat kematian (WHO, 2007).

### 2.3 Pencemaran Merkuri di Dusun Sangon, Kulon Progo

Pertambangan emas rakyat atau skala kecil umumnya tidak terlalu memperhatikan limbah atau *tailing* yang dihasilkan dari kegiatan pertambangannya karena keterbatasan dana untuk keperluan investasi instrumen kontrol polusi dari limbahnya (UNEP, 2008). Oleh karena itu, kasus pencemaran tanah oleh merkuri di sekitar lokasi tambang emas rakyat pada negara berkembang seperti Indonesia cukup tinggi frekuensinya. Di Indonesia sendiri, kegiatan penambangan emas skala kecil salah satunya masih berlangsung di Dusun Sangon, Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta. Lokasi dapat ditempuh dari Kota Yogyakarta dalam waktu 1,5 jam melalui perjalanan darat. Pada Dusun Sangon banyak dijumpai kegiatan pengolahan emas dengan menggunakan mesin gelundung. Setidaknya terdapat 25 lokasi penambangan emas tradisional di Dsn. Sangon yang tercatat pada tahun 2001. Namun untuk saat ini banyak diantaranya yang sudah tidak aktif. Usaha pertambangan yang masih aktif beroperasi yaitu antara lain tambang emas Nurwaji, Suwiji, Sunarto, Nurkadi, Sarjan, Ponirin dan Anwar (Setiabudi, 2005). Sebagian besar kegiatan tersebut dilakukan di lokasi pemukiman dan juga di kawasan kebun pemilik usaha tambang. Adapun limbah dari kegiatan penambangan berupa *tailing* banyak yang tidak dikelola dengan baik. Banyak diantaranya yang dibuang langsung ke halaman di sekitar lokasi gelundung ataupun melalui parit disekitarnya menuju kolam *tailing* yang seringkali dibiarkan hingga penuh dan meluber ke tanah disekitarnya seperti terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5. *Tailing* yang tertampung pada kolam tersebut nantinya akan digunakan kembali untuk proses pengolahan sebab dimungkinkan masih mengandung merkuri dalam konsentrasi cukup tinggi. Konsentrasi merkuri pada *tailing* yang masih aktif digunakan berkisar antara 800-6900 ppm. Sedangkan konsentrasi merkuri pada *tailing* yang sudah tidak digunakan lagi yaitu sebesar 800 ppm (Setiabudi, 2005).



Gambar 2.4 Kolam *Tailing* pada Lokasi Penambangan Emas Rakyat Dsn. Sangon  
Sumber : Setiabudi, 2005

Sebuah penelitian telah dilakukan untuk menguji kandungan merkuri pada tanah, air sungai dan air tanah di sekitar kawasan tambang emas rakyat Dusun Sangon. Pengambilan sampel tanah dilakukan secara acak pada beberapa titik. Dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa 3 dari 6 sampel tanah yang diuji, yaitu sampel tanah nomor 1, 2 dan 3, memiliki kandungan merkuri masing-masing sebesar 5,59 ppm, 62,05 ppm dan 20,28 ppm (Suyono, 2011). Pada penelitian tersebut juga dilakukan pengukuran terhadap tingkat infiltrasi tanah pada musim penghujan pada 2 titik yang berbeda dengan hasil pengukuran untuk masing-masing titik adalah sebesar 0,357 cm/menit dan 0,49 cm/menit. Adapun kemiringan lahan untuk daerah Sangon yang sebagian besar tanah penyusunnya merupakan batuan andesit tersebut mengarah dari utara ke bagian selatan. Peta kontur serta peta peruntukan lahan Kabupaten Kulon Progo dapat dilihat pada halaman terlampir.



Gambar 2.5 *Tailing* Mengandung Merkuri dibuang Langsung ke Tanah Sekitar Lokasi Gelundung Daerah Sangon  
Sumber : Setiabudi, 2005

## 2.4 Proses Stabilisasi dan Solidifikasi

Stabilisasi merupakan proses yang melibatkan reaksi kimia dengan tujuan untuk menjadikan komponen toksik yang terkandung dalam suatu media menjadi bentuk yang secara kimia lebih stabil dan tidak atau kurang toksik dibandingkan sebelumnya. Mekanisme stabilisasi dapat juga diartikan sebagai reaksi kimia yang dilangsungkan untuk menurunkan kemampuan pelindian dari kontaminan maupun tingkat mobilitasnya (Barth, 1990 ; Weitzman, 1990). Dalam proses S/S, mekanisme stabilisasi dapat dilakukan melalui 3 cara di bawah ini (Paria dan Yuet, 2006) :

1. Fiksasi kimia kontaminan yang terjadi melalui interaksi antara produk dari proses hidrasi semen serta kontaminan itu sendiri.
2. Adsorpsi kontaminan secara fisik yang terjadi di permukaan produk hasil hidrasi semen.
3. Enkapsulasi fisik terhadap limbah ataupun tanah yang terkontaminasi.

Solidifikasi adalah suatu proses yang melibatkan penambahan bahan aditif tertentu ke dalam limbah untuk mengubah kontaminan dari fase cair menjadi padat sehingga dapat memperkecil luas permukaan dari limbah yang diolah dengan mekanisme ini (Barth, 1990). Proses solidifikasi dapat berlangsung baik melalui ikatan kimia antara kontaminan toksik dengan bahan aditif ataupun tidak. Bahan aditif seperti *binder* yang digunakan dalam proses solidifikasi dapat berupa *Portland cement, fly ash, lime, clay, zeolite*, dan sebagainya (Weitzman, 1990).

Dalam pengaplikasiannya untuk limbah mengandung merkuri, merkuri terlebih dahulu akan diendapkan dalam bentuk presipitat hidroksida maupun garam karbonat. Selanjutnya merkuri akan diikat dalam struktur kristalin yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan *binder* lain (Trihadiningrum, 2000).

Teknik S/S memiliki kelebihan seperti di bawah ini (Paria dan Yuet, 2006) :

1. Memiliki stabilitas fisik dan kimia jangka panjang yang baik.
2. Menggunakan bahan kimia yang tidak toksik.
3. Memiliki resistensi yang tinggi terhadap biodegradasi.
4. Memiliki permeabilitas air yang relatif rendah.
5. Membutuhkan biaya relatif rendah dan pelaksanaan proses relatif mudah.

Keefektifan remediasi dengan teknik S/S tergantung pada *binding agent* yang digunakan serta karakteristik kontaminan itu sendiri. *Binder* yang sering digunakan dalam proses S/S (Stabilisasi dan Solidifikasi) dapat dibagi dalam 2 golongan utama, yaitu (Wiles, 1987): (1) *binder* organik dan (2) *binder* anorganik. Aspal atau bitumen, organofilik clay ataupun karbon aktif merupakan contoh dari golongan *binder* organik. Sedangkan yang tergolong dalam *binder* anorganik sebagai contoh adalah semen, *fly ash*, *lime*, fosfat, sulfur dan silikat (US EPA, 2009).

## **2.5 Penggunaan Semen *Portland* dalam Proses Stabilisasi dan Solidifikasi**

*Portland cement (PC)* merupakan campuran dari berbagai mineral yang memungkinkan terjadinya reaksi hidrasi dengan air. *Portland cement* dibuat melalui pemanasan campuran batu kapur, clay dan material lain seperti *fly ash* pada suhu 1450°C hingga terbentuk arang besi atau *clinker*. *Clinker* yang terbentuk kemudian dicampur dengan sedikit gypsum dan ditumbuk hingga halus sehingga lebih dari 90%-nya lolos dari saringan 90  $\mu\text{m}$  (Paria dan Yuet, 2006).

Komponen terpenting di dalam *portland cement* antara lain kalsium silikat, kalsium aluminat dan besi oksida (Weitzman, 1990).  $\text{SiO}_2$  berfungsi sebagai bahan pengisi.  $\text{CaO}$  berfungsi untuk proses perekatan atau pengikatan. Sedangkan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  berfungsi mempercepat proses pengerasan (Wiryasa dan

Sudarsana, 2009). Komposisi *Portland cement* pada umumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1. Sedangkan kandungan silikat dan aluminat dalam masing-masing tipe *Portland cement* dapat dilihat pada Tabel 2.2. Berdasarkan Tabel 2.2, *Portland cement* tipe I memiliki kandungan aluminat dan silikat yang tergolong tinggi dengan harga yang cenderung lebih murah dari tipe lainnya (Zhang, 2002).

Tabel 2.1 Komposisi Umum *Portland Cement*

Komponen	Prosentase (%)		
	Minimal	Rata-Rata	Maksimal
SiO <sub>2</sub>	18,4	21,02	24,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16	2,85	5,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,1	5,04	7,56
CaO	58,1	64,18	68
MgO	0,02	1,67	7,1
Na <sub>2</sub> O	0	0,24	0,78
K <sub>2</sub> O	0,04	0,7	1,66
SO <sub>3</sub>	0	2,58	5,35
<i>Free lime</i>	0,03	1,24	3,68
Klorida	0	0,016	0,047

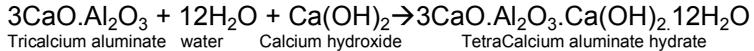
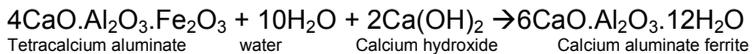
Sumber : Paria dan Yuet, 2006

Tabel 2.2 Kandungan Kalsium dalam Masing-Masing Tipe *Portland Cement*

<i>Compound</i>	(wt.%)			
	I	II	III	IV
<i>Tricalcium silicate</i>	53	47	58	25
<i>Dicalcium silicate</i>	24	32	16	54
<i>Tricalcium aluminate</i>	8	3	8	2
<i>Tetracalcium aluminate</i>	8	12	8	12
<i>Total</i>	93	94	90	93

Sumber : Weitzman, 1990

Mekanisme *cementing* sebagian besar dipicu dari adanya reaksi hidrasi yang terjadi ketika semen, air, kontaminan dan aditif lainnya bercampur. Di- dan tri-kalsium silikat yang terdapat dalam semen akan membentuk hidrat dan menghasilkan kalsium hidroksida. Air dan kalsium hidroksida yang terbentuk kemudian akan mengalami reaksi lanjut dengan tri- dan tetra-kalsium aluminat sehingga menghasilkan hidrat dari senyawa-senyawa tersebut. Hidrat yang terbentuk selanjutnya akan bereaksi dengan air untuk membentuk struktur *crystalline hydrate* yang memperkuat matriks padat dari campuran yang ada (Weitzman, 1990). Reaksi kimia yang terjadi selama proses sementasi adalah sebagai berikut (Weitzman, 1990) :



Semen *Portland* dapat dikategorikan ke dalam 5 jenis berdasarkan faktor penggunaannya, yaitu (BSN, 2004) :

1. Semen *Portland* Tipe I  
Semen *Portland* Tipe I atau yang biasa disebut dengan *Ordinary Portland Cement (OPC)* merupakan semen yang digunakan untuk keperluan umum dan tidak membutuhkan persyaratan-persyaratan khusus seperti untuk penggunaan semen tipe lain.
2. Semen *Portland* Tipe II  
Semen *Portland* Tipe II atau yang biasa disebut dengan *Moderate Heat Portland Cement* merupakan semen yang dalam penggunaannya membutuhkan ketahanan terhadap Sulfat atau kalor hidrasi sedang.

3. Semen *Portland* Tipe III  
Semen *Portland* Tipe III atau yang biasa disebut dengan *High Early Portland Cement* merupakan semen yang dalam penggunaannya membutuhkan kekuatan tinggi di tahap awal setelah proses pengikatan terjadi.
4. Semen *Portland* Tipe IV  
Semen *Portland* Tipe IV atau yang biasa disebut dengan *Low Heat Portland Cement* merupakan semen yang dalam penggunaannya membutuhkan kalor hidrasi rendah.
5. Semen *Portland* Tipe V  
Semen *Portland* Tipe V atau yang biasa disebut dengan *Sulfate Resistance Portland Cement* merupakan semen yang dalam penggunaannya membutuhkan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

## **2.6 Penggunaan Tanah Tras dalam Proses Stabilisasi dan Solidifikasi**

Tanah tras merupakan salah satu jenis pozzolan alam yang dapat digunakan bersama dengan semen dalam proses S/S logam merkuri. Pozzolan sendiri merupakan material yang dapat bereaksi dengan *lime* dan memiliki kemampuan memperkuat ketika bereaksi dengan air (Neville, 1996). Tanah tras mengandung komponen silikat dan aluminat yang akan menghasilkan reaksi *pozzolanic* ketika bereaksi dengan air dan kapur (Budi, dkk., 2003). Reaksi *pozzolanic* tersebut menghasilkan kalsium silikat hidrat, kalsium aluminat hidrat dan kalsium silikat aluminat hidrat yang memberikan sifat keras pada pozzolan (Hatmoko dan Lulie, 2007).

Tanah tras banyak terdapat pada daerah dekat dengan gunung berapi, diantaranya yaitu di daerah Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jambi, Bengkulu, Lampung Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTT, NTB, Sulawesi Utara dan

Sulawesi Selatan (Taquimi, 2013). Susunan kimia tanah tras umumnya terdiri atas material berikut ini (Palar, dkk., 2013) :

- |                     |                                   |             |
|---------------------|-----------------------------------|-------------|
| 1. Silika           | (SiO <sub>2</sub> )               | : 46% - 59% |
| 2. Oksida Aluminium | (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | : 10% - 19% |
| 3. Air kristal      | (H <sub>2</sub> O)                | : 3% - 12%  |
| 4. Oksida Besi      | (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | : 4% - 12%  |
| 5. Kalsium Oksida   | (CaO)                             | : 1% - 7%   |
| 6. Magnesium Oksida | (MgO)                             | : 1% - 6%   |
| 7. Natrium Oksida   | (Na <sub>2</sub> O)               | : 3% - 10%  |
| 8. Kalsium Oksida   | (K <sub>2</sub> O)                | : 3% - 10%  |

Sebagai persyaratan agar dapat digunakan sebagai campuran dalam pembuatan beton, tanah tras harus memiliki kandungan total SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> minimal sebesar 70% (ASTM, 2012). Prosentase penggunaan tanah tras sebagai pengganti semen umumnya sebesar 10% - 35% dari berat semen. Sebuah penelitian terhadap hasil kuat tekan beton dengan variasi tanah tras 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dari berat semen menghasilkan nilai kuat tekan optimum dicapai pada penambahan 17% tanah tras, yaitu sebesar 165.207 kg/cm<sup>2</sup> (Pamuji, 2007).

Tanah tras dapat dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu tanah tras alam dan tanah tras buatan. Perbedaan dari kedua tipe tanah tras tersebut adalah sebagai berikut (Tugino, 2010):

1. Tras alam, yaitu tanah tras yang terdiri atas batuan atau abu gunung berapi yang mengalami pelapukan dan umumnya mengandung silikat dan aluminat dalam jumlah tinggi. Selain itu tras alam juga mengandung senyawa alkali, besi dan kapur walau dalam jumlah relatif sedikit.
2. Tras buatan, yaitu tanah tras yang merupakan hasil dari pembakaran tanah liat merah ataupun pecahan bata atau genting. Mutu dari tras buatan sangat bergantung pada proses dan temperatur pembakaran untuk melangsungkan pembakaran yang sempurna.

Tanah tras memiliki beberapa sifat yang menguntungkan dalam proses S/S, yaitu antara lain (Tugino, 2010) :

1. Tras akan mengeras menjadi massa yang padat apabila bereaksi dengan kapur dan air. Mekanisme pengerasan dapat terjadi karena silikat dan aluminat yang terkandung didalamnya membentuk persenyawaan dengan kapur melalui reaksi hidrasi. Semakin halus butiran tanah tras, maka semakin kuat produk hasil hidrasi.
2. Tras dapat menyempurnakan proses pengerasan semen apabila bereaksi dengan semen. Butiran silikat yang sangat halus juga dapat mengisi rongga antar partikel semen sehingga campuran menjadi lebih padat.
3. Beton yang mengandung campuran semen dan tras menjadi lebih kedap air karena tras bersifat kedap air.
4. Tras dapat memperkecil kemungkinan peretakan (*cracking*) pada beton akibat proses hidrasi semen yang terlalu cepat.

## **2.7 Teknik Pengambilan dan Persiapan Sampel *Tailing***

Dalam suatu penelitian guna mengetahui persebaran merkuri di daerah tambang emas rakyat Dusun Sangon, penentuan titik pengambilan sampel tanah tercemar merkuri dilakukan secara acak (*random sampling*) (Suyono, 2011). Adapun lokasi pengambilan sampel *tailing* yang terbaik yaitu pada titik dimana *tailing* tersebut terakumulasi dan terkonsentrasi (EPA Victoria, 2009).

Teknik pengambilan sampel secara acak terstratifikasi dapat digunakan untuk memastikan bahwa keseluruhan populasi target telah terwakili oleh  $n$  sampel yang diambil pada tiap strata yang dibuat. Teknik ini umumnya digunakan pada studi eksplorasi dimana diasumsikan bahwa populasi terbagi atas strata tertentu. Pada sistem tersebut, sampel diambil pada sembarang titik di tiap strata (US EPA, 2002).

Pengambilan sampel *tailing* dilakukan pada lokasi penampungan *tailing* berupa kolam buatan yang dibuat di halaman ataupun kebun sekitar lokasi tambang (Setiabudi, 2005). Setidaknya sedimen *tailing* diambil pada kedalaman penetrasi 10 cm dari permukaan sedimen (Henry, 2013). Kedalaman pengambilan sampel *tailing* tergantung pada jenis sedimen yang akan diambil, ketebalan sedimen serta lapisan air di atasnya seperti terlihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penentuan Kedalaman Pengambilan Sampel Sedimen serta Alat *Sampling* yang digunakan

Jenis Sedimen	Ketebalan Sedimen (cm)	Ketebalan Lapisan Air (cm)	Alat <i>Sampling</i> yang Digunakan
<i>Surface Sediment</i>	0-15	0-30	<i>Spade, shovel, trowel</i> atau <i>scoop</i>
<i>Surface Sediment</i>	0-15	0-60	<i>Bucket auger</i> atau <i>tube auger</i>
<i>Surface Sediment</i>	0-15	0-60	<i>Bucket auger</i> atau <i>tube auger</i>
<i>Subsurface Sediment</i>	15-60	0-60	<i>Ekman dredge</i> untuk sedimen dengan tekstur halus. <i>Ponar dredge</i> untuk sedimen dengan tekstur halus hingga kasar.
<i>Deep Sediment</i>	15-45 atau lebih	0-60	<i>Bucket auger</i> atau <i>tube auger</i>

Sumber : US EPA, 1994

Wadah sampel *tailing* dapat menggunakan *polypropylene zip-lock bag* (Chunhacherdchai, *et al.*, 2011). Selain itu juga dapat menggunakan botol HDPE ataupun botol kaca *borosilicate* apabila tidak ada logam lain yang akan dianalisis. Wadah berbahan polyethylene (PE) tidak dianjurkan sebagai wadah

sampel *tailing* yang akan diuji kadar merkurnya (EPA Victoria, 2009). Setelah dimasukkan ke dalam wadah dan diberi label, sampel dimasukkan ke dalam kotak pendingin (*cool box*) berisi es batu selama transportasi. Sampel selanjutnya dapat disimpan dalam ruang beku (*freezer*) untuk mencegah aktivitas mikroba pada *tailing* (Kitong, dkk., 2012). Selama masa pengangkutan dari lokasi *sampling* menuju lokasi analisis, sampel didinginkan dengan *holding time* maksimum selama 28 hari (EPA Victoria, 2009).

Untuk keperluan analisis dan karakterisasi selanjutnya, sampel perlu dikeringkan pada suhu 110°-120°C. Proses pengeringan sampel *tailing* akan menghasilkan kesatuan massa padat yang selanjutnya harus dihaluskan hingga setidaknya 85% sampel lolos saringan 200 mesh (Gruenwald dan Makepeace, 2010). Pengeringan juga dapat dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2,5 jam untuk menghilangkan kadar air dalam sampel (Nazmi, 2011).

## 2.8 Uji Kadar Merkuri dan Karakterisasi Sampel

Pengujian kadar merkuri dalam sampel *tailing* dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa teknik, diantaranya yaitu metode *Atomic Absorption Spectrometry* (AA-S), *Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry* (ICP-AES) dan *Colorimetry* (US EPA, 2003). Selain itu, pengujian konsentrasi merkuri juga dapat dilakukan menggunakan *Mercury Analyzer*. Penentuan konsentrasi merkuri menggunakan *Mercury Analyzer* dilakukan melalui perhitungan sesuai persamaan berikut ini :

$$\text{Hg total} = \frac{(\text{Hg baca} - \text{blanko}) \times V \text{ akhir} \times Fp}{\text{berat sampel}} \dots\dots (1)$$

Dimana :

- Hg total = konsentrasi Hg dalam sampel (mg/kg)
- Hg baca = konsentrasi Hg pada larutan sampel yang terbaca pada alat (µg/kg)
- Blanko = Konsentrasi larutan blanko yang terbaca pada alat (µg/kg)

V akhir = Volume larutan sampel (mL)  
Fp = Faktor pengenceran  
Berat = Berat sampel terambil (gram)

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). Adapun pengujian kadar merkuri dan logam lain dengan menggunakan metode ICP-AES mengacu pada EPA Method 6010C.

Kadar air dari sampel tailing dilakukan menggunakan metode gravimetri. Sedangkan pengukuran pH sampel dapat dilakukan menggunakan pH-meter. Perhitungan kadar air dalam sampel dilakukan menggunakan persamaan berikut ini (LaGrega, et al., 1994) :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat sebelum dioven} - \text{Berat setelah dioven}}{\text{Berat sebelum dioven}} \times 100\% \dots\dots(2)$$

## 2.9 Uji Konsistensi Normal

Uji konsistensi normal dilakukan untuk menentukan volume air yang dibutuhkan dalam mempersiapkan pasta semen hidrolik yang diperlukan untuk tes standar tertentu. Konsistensi normal semen Portland adalah kadar air pasta semen yang apabila jarum vicat diletakkan di permukaanya dalam interval waktu 30 detik akan terjadi penetrasi sedalam 10 mm. Uji konsistensi normal dilakukan dengan menggunakan alat vicat.

## 2.10 Teknik Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Menurut Meynarti (2008), *curing* merupakan langkah atau tindakan yang dilakukan untuk memberikan kesempatan pada semen dalam meningkatkan kekuatannya secara wajar dan sempurna. Sedangkan tujuan dari perawatan beton atau benda uji adalah sebagai berikut (Syamsuddin, dkk., 2011) :

1. Mencegah kehilangan kelembaban pada beton
2. Mempertahankan suhu yang baik dalam durasi waktu tertentu (di atas suhu beku dan di bawah 50°C)

Adapun beberapa teknik *curing* yang dapat dilakukan yaitu antara lain (Syamsuddin, dkk., 2011) :

1. *Steam Curing* : Baik digunakan untuk memperoleh kekuatan awal beton.
2. Penyemprotan (*Fogging*) : Baik digunakan untuk kondisi suhu di atas suhu beku dan humiditas rendah.
3. Penggenangan atau Perendaman : Ideal untuk mencegah hilangnya kelembaban dan mempertahankan suhu yang seragam.
4. Lembaran Plastik : Menggunakan lapisan polyethylene dengan ketebalan 4 mm yang ringan, mudah diterapkan dan efektif untuk mencegah hilangnya kelembaban.
5. Penutup Basah : Menggunakan bahan yang dapat mempertahankan kelembaban seperti karung goni yang dibasahi. Kelebihan dari metode ini yaitu dapat mencegah *discoloration* dan tahan terhadap api.
6. *Curing Compound* : Dalam pengaplikasian metode ini akan dihasilkan lapisan tipis pada permukaan benda uji untuk menghambat penguapan.

## **2.11 Uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*)**

TCLP merupakan standar tes yang harus dilakukan untuk mengetahui potensi mobilitas dari kontaminan yang terkandung dalam limbah melalui serangkaian simulasi terhadap kondisi yang mungkin terjadi di lokasi pembuangan (*landfill*). Dalam tes, sampel akan diekstrak menggunakan asam organik encer dan diuji dengan berbagai simulasi kondisi di lokasi pembuangan (US EPA, 2009).

Di dalam TCLP, sampel akan diperkecil ukurannya sehingga mampu melewati saringan 9,5 mm. Sampel kemudian akan ditambahkan ke dalam larutan asam asetat buffer dan

diagitasi selama 18 jam. Setelah 18 jam, sampel disaring melalui filter 0,7  $\mu\text{m}$  dan filtrate yang diperoleh akan diukur konsentrasi kontaminan yang ada di dalamnya. Berdasarkan PP Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah B-3, baku mutu TCLP-A untuk logam merkuri adalah sebesar 0,3 mg/L. Sedangkan prosedur untuk uji TCLP yang digunakan mengacu pada US EPA *Standard Method* 1311.

## 2.12 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan merupakan tes yang bertujuan untuk menguji kekuatan dari suatu produk terhadap tekanan yang diberikan kepadanya (Paria dan Yuet, 2006). Dalam praktik S/S dengan menggunakan *cement-based binder*, uji kuat tekan memiliki fungsi yang sangat penting sebagai indikator tingkat keberhasilan atau efektifitas dari proses S/S. Penentuan nilai kuat tekan untuk mortar semen *Portland* mengacu pada ASTM C 109/109 M-02 tentang *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar*. Adapun alat uji kuat tekan yang digunakan yaitu *Toorse Universal Testing Machine*. Baku mutu kuat tekan untuk hasil S/S menurut Kep Bapedal No. KEP-03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun adalah 10 ton/m<sup>2</sup>.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan pada benda uji hasil S/S adalah faktor air dan semen (FAS). Kebutuhan air untuk bereaksi dengan semen umumnya hanya berkisar 25% dari berat semen (Suparjo, 2005). Semakin tinggi FAS yang diaplikasikan pada proses S/S, maka nilai kuat tekan dari produk hasil S/S akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan pada setiap penambahan FAS, akan terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen sehingga terdapat rongga pada beton atau produk S/S. Rongga yang terbentuk pada akhirnya akan menyebabkan penurunan terhadap nilai kuat tekan beton (Nugroho dan Widodo, 2010).

Menurut SNI 03-1974-1990 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton, penentuan nilai kuat tekan dari hasil uji kuat tekan dapat dilakukan melalui persamaan berikut :

$$F = \frac{P}{A} \quad \dots (3)$$

Dimana, F = nilai kuat tekan ( $\text{kg/cm}^2$ )  
P = beban maksimum (kg)  
A = luas penampang ( $\text{cm}^2$ ).

### 2.13 Penelitian Terdahulu

Sebagai referensi dalam penentuan ide penelitian ini, berikut adalah Tabel 2.4 yang memuat penelitian-penelitian yang sebelumnya telah dilakukan berkaitan dengan ide penelitian. Dengan adanya tabel penelitian terdahulu tersebut, diharapkan dapat mempermudah pelaksanaan penelitian serta sekaligus sebagai pembanding dalam penentuan proses S/S yang akan dilakukan.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Sumber	Rincian Penelitian
1	Suyono, 2011	Kandungan merkuri di dalam <i>tailing</i> tambang emas rakyat Dsn, Sangon berkisar antara 800-6800 ppm Hg. <i>Tailing</i> tersebut ditampung dalam kolam <i>tailing</i> dan seringkali meluber ke tanah disekitarnya akibat dibiarkan hingga penuh.
2	US EPA, 2009	EPA melalui Superfund berhasil melakukan remediasi lahan Pepper Steel and yang tercemar VOC, PAHs, dan logam berat menggunakan teknik S/S <i>cement-based</i> .
3	Pamuji, 2007	Hasil kuat tekan beton optimum dicapai pada penambahan 17% tanah tras, yaitu sebesar 165.207 $\text{kg/cm}^2$ .

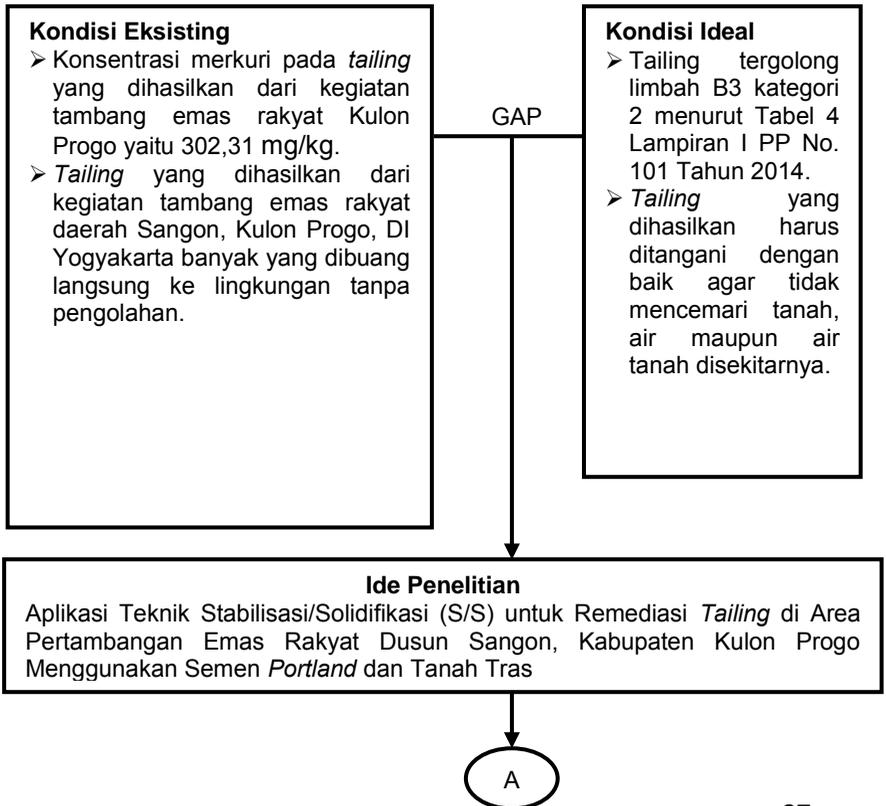
No	Sumber	Rincian Penelitian
4	Suparjo, 2005	Kebutuhan air untuk hidrasi semen sebesar 25% dari berat semen atau kurang (Suparjo, 2005). Penambahan air lebih besar 25% menunjukkan penurunan terhadap nilai kuat tekan beton.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disusun dengan tujuan untuk memberikan gambaran awal dari tahapan penelitian serta sebagai panduan dalam penulisan laporan tugas akhir secara sistematis. Selain itu, dengan disusunnya kerangka penelitian ini akan memudahkan dalam memahami tahapan penelitian yang akan dilakukan serta mempermudah perincian hal-hal terkait dengan pelaksanaan penelitian.

Kerangka penelitian berdasarkan ide penelitian yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.1.



A

**Rumusan Masalah**

- Berapa komposisi terbaik antara semen *Portland* dan tanah tras?
- Berapa komposisi terbaik antara *binder* (semen *Portland* dan tanah tras) dan *tailing*?

**Tujuan Penelitian**

- Menentukan komposisi terbaik antara semen *Portland* dan tanah tras.
- Menentukan komposisi terbaik antara *binder* (semen *Portland* dan tanah tras) dan *tailing*.

**Studi Literatur**

- Karakteristik logam berat merkuri
- Merkuri dalam *tailing* tambang emas
- Pencemaran merkuri di lingkungan
- Proses S/S
- Semen *Portland*
- Tanah tras
- Uji kandungan merkuri dan karakterisasi sampel
- Uji Kuat Tekan
- Uji TCLP
- Uji Konsistensi Normal
- Teknik pembuatan benda uji
- Teknik perawatan benda uji
- Teknik sampling dan persiapan sampel *tailing*
- Penelitian terdahulu

**Penentuan Variabel & Parameter**

**Variabel :**

**Penelitian Tahap I**

- Variasi komposisi semen *Portland* : tanah tras

**Penelitian Tahap II**

- Variasi komposisi *binder* (semen *Portland* dan tanah tras) dan *tailing*

**Parameter :**

- Nilai Kuat Tekan
- Nilai TCLP

B

E

D

B



### Persiapan Alat dan Bahan

**Alat :**

1. Cetakan berbentuk kubus (*specimen mould*) dengan panjang tiap sisi 5 cm
2. Peralatan uji kadar merkuri
3. Peralatan untuk proses *curing*
4. Alat uji kuat tekan (*Toorse Universal Testing Machine*)
5. Peralatan uji TCLP

**Bahan :**

1. *Tailing*
2. Semen *Portland*
3. Tanah tras
4. Aquades
5. Bahan uji TCLP (HCl, HNO<sub>3</sub>, NaOH, Asam asetat glacial)



### Pelaksanaan Penelitian

- Melakukan pengambilan sampel *tailing* di Dusun Sangon, Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta.
- Melakukan uji konsentrasi merkuri pada *tailing* serta karakterisasi *tailing*.
- Melakukan penelitian tahap I untuk mendapatkan komposisi terbaik antara semen dan tanah tras.
- Melakukan uji kuat tekan terhadap benda uji pada penelitian tahap I.
- Melakukan penelitian tahap II untuk mendapatkan komposisi terbaik antara *binder* (semen dan tanah tras) dengan *tailing*.
- Melakukan uji kuat tekan dan uji TCLP terhadap benda uji pada penelitian tahap II.
- Melakukan proses perawatan mortar (*curing*) selama 28 hari pada suhu ruang  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ .



### Analisis Data



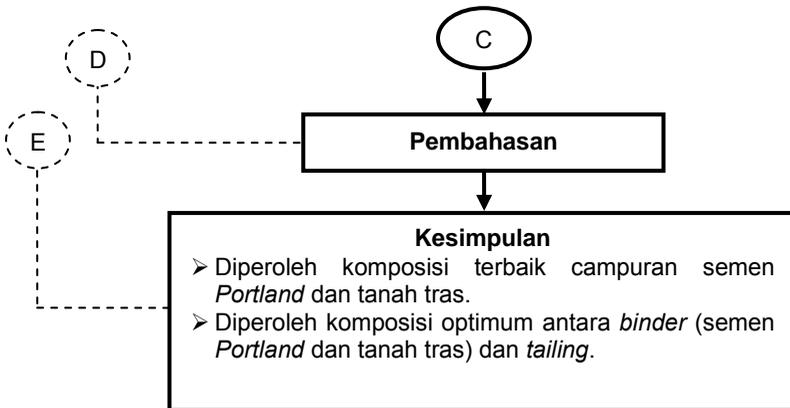
C

D

E

D

E



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini menjelaskan secara rinci tahapan dalam penelitian yang telah disusun dalam kerangka penelitian. Tahapan penelitian diharapkan dapat mempermudah pemahaman sebab tiap tahapan dijelaskan secara rinci dalam bentuk deskriptif. Berikut merupakan tahapan penelitian yang dilakukan:

#### 1. Ide Penelitian

Ide penelitian diperoleh dengan membandingkan kondisi eksisting yang ada dengan kondisi ideal yang seharusnya. Ide dari penelitian ini yaitu upaya remediasi *tailing* dari aktivitas tambang emas rakyat daerah Sangon, Kulon Progo, DI Yogyakarta menggunakan teknik Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) dengan menggunakan semen *Portland* dan tanah tras. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi terbaik antara semen dan tanah tras serta menentukan komposisi terbaik antara *binder* (semen *Portland* dan tanah tras) dengan *tailing*.

## 2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan melalui studi mandiri maupun diskusi terhadap jurnal internasional, jurnal nasional, *text book*, makalah, hasil *proceeding* atau seminar, tugas akhir, tesis maupun disertasi yang terkait dengan ide penelitian. Studi literatur perlu dilakukan untuk mendukung, membandingkan, maupun meningkatkan pemahaman terkait dengan penelitian yang dilakukan. Adapun topik-topik yang dipelajari antara lain :

- Karakteristik logam berat merkuri
- Merkuri dalam *tailing* tambang emas
- Pencemaran merkuri di lingkungan
- Proses S/S
- Semen *Portland*
- Tanah tras
- Uji kandungan merkuri dan karakterisasi sampel
- Uji Kuat Tekan
- Uji TCLP
- Uji Konsistensi Normal
- Teknik pembuatan benda uji
- Teknik perawatan benda uji
- Teknik sampling dan persiapan sampel *tailing*
- Penelitian terdahulu

## 3. Penentuan Variabel

Variabel pada penelitian tahap I adalah variasi komposisi semen dan tanah tras. Komposisi terbaik antara semen dan tanah tras yang diperoleh dari penelitian tahap I selanjutnya digunakan dalam penelitian tahap II. Adapun variabel pada penelitian tahap II adalah variasi komposisi antara *binder* dan *tailing*. Perbandingan semen dan tanah tras pada *binder* yang digunakan dalam penelitian tahap II merupakan komposisi optimum yang diperoleh dari penelitian tahap I.

Variasi komposisi untuk penelitian tahap I dan penelitian tahap II masing-masing dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian Tahap I

Semen <i>Portland</i> : Tanah Tras	Nilai Kuat Tekan, KT (ton/m <sup>2</sup> )
100 : 0	KT <sub>A1</sub>
90 : 10	KT <sub>A2</sub>
80 : 20	KT <sub>A3</sub>
70 : 30	KT <sub>A4</sub>
60 : 40	KT <sub>A5</sub>
50 : 50	KT <sub>A6</sub>
40 : 60	KT <sub>A7</sub>
30 : 70	KT <sub>A8</sub>
20 : 80	KT <sub>A9</sub>
10 : 90	KT <sub>A10</sub>

Tabel 3.2 Variabel Penelitian Tahap II

<i>Binder</i> : <i>Tailing</i>	Nilai Kuat Tekan, KTS (ton/m <sup>2</sup> )	Nilai TCLP. TCLPS (mg/L)
50 : 50	KT <sub>B1</sub>	TCLP <sub>1</sub>
40 : 60	KT <sub>B2</sub>	TCLP <sub>2</sub>
30 : 70	KT <sub>B3</sub>	TCLP <sub>3</sub>
20 : 80	KT <sub>B4</sub>	TCLP <sub>4</sub>
10 : 90	KT <sub>B5</sub>	TCLP <sub>5</sub>

#### 4. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Cetakan kubus dengan ukuran masing-masing sisi 5 cm, mixer, pisau perata, ayakan 300  $\mu$ m, alat vicat, gelas ukur.
- Alat bor tangan (*hand auger*), cangkul, botol HDPE mulut lebar, kantong plastik dan kertas label.
- Peralatan uji kadar air yaitu cawan petri, neraca analitik, oven.
- Peralatan uji nilai pH yaitu pH-meter, *magnetic stirrer*, *beaker glass*.

- Alat uji kuat tekan *Tourse Universal Testing Machine Type RAT-200*. MFG No. 20380 CAP 200 tf
- Peralatan uji TCLP yaitu pH meter, pipet ukur, *glassware*, saringan *borosilicate* 0,8  $\mu\text{m}$ , *Rotary Agitator*, kompor elektrik, neraca analitik

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Semen *Portland*, tanah tras, *tailing*, aquades
- Bahan untuk uji TCLP, yaitu :
  - Aquades
  - Asam klorida (HCl) 1 N
  - Asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 1 N
  - Sodium hidroksida (NaOH)
  - Asam asetat glacial ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OOH}$ )
  - Larutan ekstraksi 1
  - Larutan ekstraksi 2

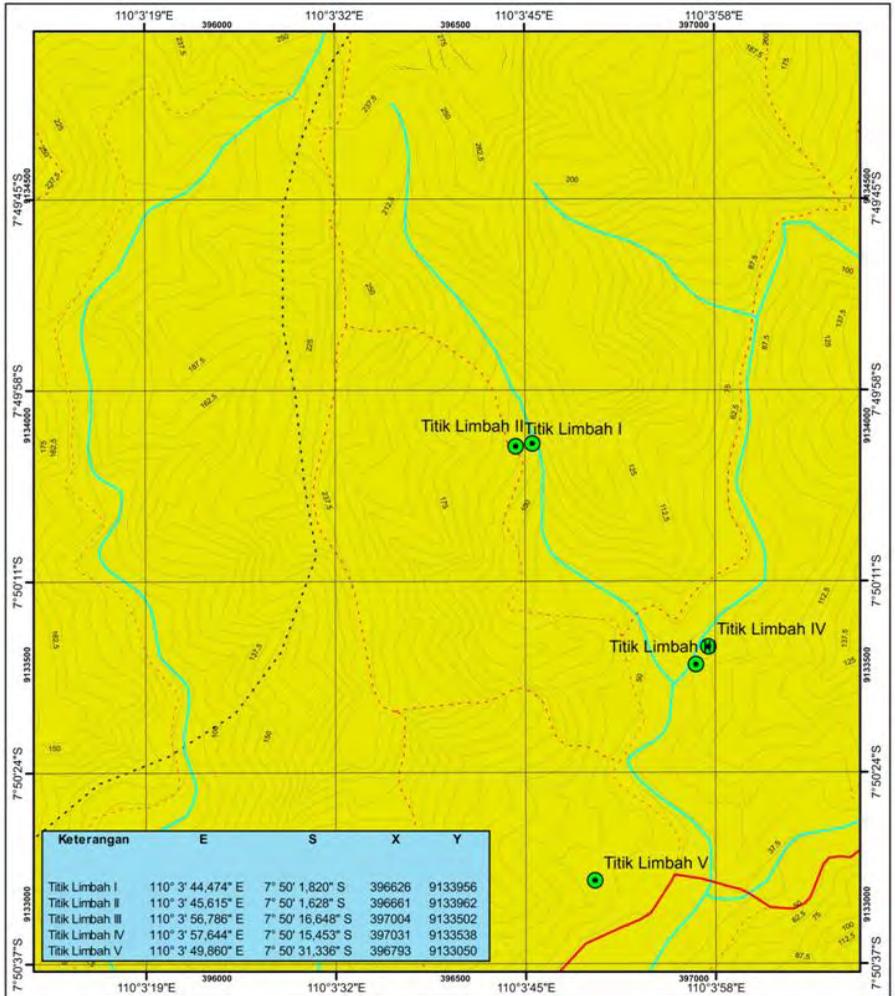
## 5. Pengambilan Sampel *Tailing*

Sampel *tailing* diambil dari lokasi tambang emas di Dusun Sangon, Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta. Teknik pengambilan sampel yang digunakan yaitu teknik acak sederhana pada 5 kolam penampungan *tailing*. Sedimen *tailing* diambil pada masing-masing titik sampel dengan kedalaman pengambilan 10 cm dari permukaan sedimen. Kelima titik sampel dapat dilihat pada Gambar 3.2. Kolam penampungan *tailing* serta luberan *tailing* di sekitar kolam dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.

Pada masing-masing titik diambil 1,5 kg sedimen *tailing*. *Tailing* yang terambil dari kelima titik sampel selanjutnya dikompositkan untuk selanjutnya dilakukan uji kadar merkuri dan karakterisasi *tailing*. Dengan demikian maka total *tailing* terambil dari lokasi *sampling* adalah sebagai berikut ini :

- *Tailing* terambil tiap titik *sampling* = 1,5 kg
- Jumlah titik *sampling* = 5 titik *sampling*

- Total *tailing* terambil = 1,5 kg x 5 titik *sampling*  
 = 7,5 kg



Gambar 3.2 Lokasi Titik *Sampling*



Gambar 3.3 Lokasi Sampling pada Bak Penampungan Tailing



Gambar 3.4 Luberan Tailing pada Tanah Sekitar Gelundung

*Tailing* yang digunakan untuk pembuatan benda uji tahap II sebesar 1050 gram. Karena benda uji dibuat secara duplo, maka total kebutuhan *tailing* untuk kegiatan penelitian adalah :

$$\begin{aligned} \text{- Kebutuhan } \textit{tailing} &= 1,5 \text{ kg} \times 2 \times 150\% \\ &= 4,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sampel *tailing* selanjutnya disimpan pada wadah HDPE bermulut lebar seperti terlihat pada Gambar 3.5. Selama mobilisasi sampel dari lokasi *sampling* menuju laboratorium, sampel *tailing* disimpan pada *cool box* berisi es batu. Prosedur pelaksanaan pengambilan sampel dapat dilihat pada Lampiran A.

## 6. Uji Kadar Merkuri dan Karakterisasi Bahan

Uji kadar merkuri terhadap sampel *tailing* dilakukan di LPPT UGM Yogyakarta menggunakan *Mercury Analyzer*.

Selanjutnya dilakukan persiapan terhadap sampel *tailing*. Persiapan sampel dilakukan dengan mengeringkan *tailing* menggunakan oven bersuhu 105°C selama 2,5 jam guna menghilangkan kandungan air dalam sampel. Tahap persiapan ini sekaligus digunakan untuk mengukur kadar air serta pH dari *tailing*. Kadar air dianalisis menggunakan metode gravimetri, sedangkan analisis pH dilakukan menggunakan pH-meter. *Tailing* yang telah dikeringkan selanjutnya dihaluskan menggunakan mesin *bond ball mild* dan diayak menggunakan ayakan 300 µm.



Gambar 3.5 Botol HDPE Bermulut Lebar  
Sumber : <http://id.aliexpress.com>

Karakterisasi *tailing* berupa pengujian pH dan kadar air dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS. Prosedur pelaksanaan uji kadar merkuri dan karakterisasi dapat dilihat pada Lampiran A.

## 7. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm yang disebut *Specimen Mould* seperti terlihat pada Gambar 3.6. Penuangan adonan beton haruslah tepat di tengah-tengah cetakan sesuai SNI 03-3976-1995 tentang tata cara pengadukan dan pengecoran beton. Sedangkan tata cara untuk pengadukan, pembuatan benda uji, pemadatan dan perawatan benda uji mengacu pada SNI 2493:2011. Prosedur pembuatan benda uji dapat dilihat pada Lampiran A.

Pelaksanaan uji konsistensi dilakukan sesuai prosedur pada ASTM C 187-11 tentang Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland dengan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. Kondisi konsisten normal tercapai ketika batang vicat yang dilepaskan di atas permukaan pasta benda uji mengalami penurunan sebesar 10 mm dalam kurun waktu 30 detik. Adapun gambar dari alat vicat dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6 *Specimen Mould*  
Sumber : <http://www.controls-group.com>



Gambar 3.7 Alat Vicat untuk Uji Konsistensi Normal

Berat semen dan tanah tras untuk masing-masing komposisi yang digunakan pada penelitian tahap I dapat dilihat pada Tabel 3.3. Berat *binder* (semen dan tanah tras) serta *tailing* yang digunakan pada penelitian tahap II dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Berat Tiap Bahan untuk Masing-Masing Komposisi pada Penelitian Tahap I

Komposisi PC : TT	Berat (gram)	
	Semen Portland	Tanah Tras
100 : 0	300	0
90 : 10	270	30
80 : 20	240	60
70 : 30	210	90
60 : 40	180	120
50 : 50	150	150
40 : 60	120	180
30 : 70	90	210
20 : 80	60	240
10 : 90	30	270
Total	1620	1080

Tabel 3.4 Berat Tiap Bahan pada Penelitian Tahap II

Binder : Tailing	Berat (gram)		
	Semen Portland	Tanah Tras	Tailing
50 : 50	60	90	150
40 : 60	48	72	180
30 : 70	36	54	210
20 : 80	24	36	240
10 : 90	12	18	270
Total	180	270	1050

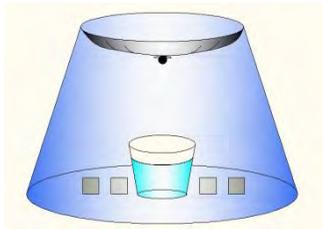
Dengan demikian, maka total kebutuhan untuk masing-masing bahan adalah sebagai berikut ini :

- a. Semen *Portland*
  - Tahap I = 1620 gram x 2 = 3240 gram
  - Tahap II = 180 gram x 2 = 360 gram

- Total = 3240 g + 360 g = 3600 gram = 3,60 kg
- b. Tanah Tras
  - Tahap I = 1080 gram x 2 = 2160 gram
  - Tahap II = 270 gram x 2 = 540 gram
  - Total = 2160 g + 540 g = 3150 gram = 3,15 kg

#### 8. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan mortar dilakukan menggunakan teknik *moisture curing* yaitu dengan meletakkan benda uji pada bak tertutup beserta wadah berisi air didalamnya seperti terlihat pada Gambar 3.8. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya retak pada benda uji yang dapat terjadi bila kadar air dalam beton kurang. Benda uji diletakkan pada suhu ruang ( $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ) selama 28 hari. Benda uji sebisa mungkin dijaga agar tidak bersentuhan dengan air untuk menghindari peluruhan logam berat dari dalam benda uji menuju ke air. Sedangkan untuk menghindari hilangnya kandungan air pada beton, dilakukan penutupan menggunakan bak yang ditutupkan pada benda uji. Yang perlu diperhatikan yaitu penutup tidak diperbolehkan menyentuh benda uji. Prosedur perawatan benda uji (*curing*) dapat dilihat pada Lampiran A.



Gambar 3.8 Prosedur *Moisture Curing*

#### 9. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besarnya kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol. Berdasarkan Kep Bapedal No. KEP-03/BAPEDAL/09/1995

tentang persyaratan teknis pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun, baku mutu kuat tekan untuk limbah B3 yaitu sebesar  $10 \text{ ton/m}^2$  atau setara dengan  $1 \text{ kg/cm}^2$ . Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS menggunakan *Tourse Universal Testing Machine Type RAT-200 MFG No. 20380 CAP.200 tf*. Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada benda uji dan benda kontrol berumur 28 hari. Prosedur uji kuat tekan mengacu pada ASTM C109 tentang *Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (using 2 inch or 50 mm)* yang dapat dilihat pada Lampiran A. Toleransi waktu pengujian yang diperbolehkan untuk umur mortar 28 hari yaitu maksimal 12 jam menurut SNI 15-2049-2004 tentang Semen *Portland*.

#### 10. Uji TCLP

Uji TCLP dilakukan untuk mengetahui tingkat pelindian kontaminan ketika berada pada kondisi asam. Baku mutu TCLP sesuai PP No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B-3 untuk TCLP-A sebesar  $0,3 \text{ mg/L}$ . Prosedur uji TCLP mengacu pada US EPA *Standard Method* 1311. Prosedur uji TCLP dapat dilihat pada Lampiran A.

Dalam uji TCLP, merkuri dilarutkan menggunakan larutan asam asetat glasial pada pH rendah. Selama proses ekstraksi, dilakukan rotasi-agitasi dengan kecepatan  $30 \pm 2 \text{ rpm}$  menggunakan *rotary agitator* selama  $18 \pm 2 \text{ jam}$  agar sampel dapat terekstrak secara sempurna. Sampel kemudian diendapkan dan disaring untuk diambil filtratnya. Filtrat kemudian disimpan dalam botol kaca berwarna coklat untuk selanjutnya diuji kadar merkurnya.

Pengujian kadar merkuri pada filtrat hasil uji TCLP dilakukan di Laboratorium *Center for Drug Evaluation and Analysis* (CDEA) Universitas Surabaya. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES).

## 11. Analisis Data

Pada penelitian tahap I dilakukan pengujian terhadap 10 komposisi benda uji yang berbeda. Setelah dilakukan uji kuat tekan, selanjutnya ditentukan komposisi optimum antara semen *Portland* dan tanah tras. Sedangkan pada penelitian tahap II akan dilakukan uji TCLP dan uji kuat tekan terhadap 5 komposisi benda uji yang berbeda. Berdasarkan nilai kuat tekan dan konsentrasi merkuri hasil uji TCLP, selanjutnya ditentukan komposisi optimum antara *binder* (semen *Portland* dan tanah tras) dan *tailing*.

Adapun hasil analisis penelitian tahap I disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara komposisi semen *Portland* dan tanah tras dengan nilai kuat tekan. Sedangkan hasil analisis penelitian tahap II akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara komposisi binder (semen *Portland* dan tanah tras) dan *tailing* dengan hasil uji TCLP dan kuat tekan.

## 12. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan selanjutnya ditarik kesimpulan yang dibandingkan dengan tujuan penelitian. Sehingga pada kesimpulan ini akan diperoleh komposisi optimum semen *Portland* dan tanah tras untuk proses S/S serta komposisi optimum *tailing* yang dapat ditambahkan ke dalam campuran optimum semen *Portland* dan tanah tras yang diperoleh dari penelitian pendahuluan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengambilan Sampel Tailing Tambang Emas Rakyat Kulon Progo

Pengambilan sampel tailing dilakukan pada bulan Oktober 2015. Debit air Sungai Sangon di dekat lokasi pengambilan sampel dalam kondisi relatif kecil. Gambar 4.1 menunjukkan kondisi sungai pada saat dilakukan pengambilan sampel pada area sekitar gelundung yang berada tidak jauh dari sungai. Pengambilan sampel dilakukan pada musim kemarau dan merupakan waktu yang tepat sebab belum terjadi penambahan volume air pada tailing. Tailing yang ditampung pada kolam buatan di sekitar gelundung sering kali meluber ke tanah disekitarnya ketika musim hujan dan tentunya akan mempersulit penentuan titik sampling. Pengambilan sampel dilakukan pada 5 titik dengan koordinat seperti dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Koordinat Titik *Sampling Tailing*

Titik <i>Sampling</i>	Titik Koordinat	
	Bujur	Lintang
Titik Sampling I	110° 3' 44,474" E	7° 50' 1,820" S
Titik Sampling II	110° 3' 45,615" E	7° 50' 1,628" S
Titik Sampling III	110° 3' 56,786" E	7° 50' 16,648" S
Titik Sampling IV	110° 3' 57,644" E	7° 50' 15,453" S
Titik Sampling V	110° 3' 49,860" E	7° 50' 31,336" S

Adapun karakteristik fisik dari sampel tailing yang terambil yaitu berupa sedimen berwarna abu-abu serta coklat dengan butir halus seperti pada Gambar 4.2. Ukuran butiran sedimen tailing relatif homogen. Hal ini dikarenakan sebelum masuk ke dalam mesin gelundung, batuan atau urat yang mengandung emas terlebih dahulu diperkecil ukurannya. Sampel tailing terambil selanjutnya disimpan di dalam wadah tertutup. Selama proses pengangkutan, tailing disimpan di dalam *cool box* berisi es untuk

mencegah hilangnya merkuri dalam sampel akibat penguapan berlebih. Selanjutnya dilakukan uji karakterisasi terhadap sampel tailing.



Gambar 4.1 Kondisi Sungai di Sekitar Lokasi Tambang



Gambar 4.2 Karakteristik Fisik Sampel Tailing

## 4.2 Karakteristik Sampel Tailing

Karakterisasi tailing meliputi pengujian pH, kadar air serta total konsentrasi merkuri pada tailing. Hasil pengukuran pH yang dilakukan secara duplo terhadap komposit sampel tailing dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian pH Tailing

Nama Sampel	Nilai pH
pH Ulangan 1	8,30
pH Ulangan 2	8,35
Rata-rata	8,33

Sampel tailing dengan pH 8,33 tergolong basa. Hal ini dikarenakan dalam proses pengolahan emas di Dusun Sangon dilakukan penambahan semen untuk mengikat zat pengotor selain emas. Kalsium, silikat dan aluminat yang terkandung dalam semen bereaksi dengan air sehingga terjadi reaksi hidrasi yang menghasilkan kalsium hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$  yang bersifat basa (Putra, 2006).

Pengujian kadar air dilakukan menggunakan metode gravimetri yang dilakukan secara duplo dengan hasil seperti pada Tabel 4.3. Kadar air dalam sampel ditentukan melalui perhitungan menggunakan persamaan (2). Perhitungan kadar air secara rinci dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kadar Air Tailing

Nama Sampel	Prosentase Kadar Air
Kadar Air Ulangan 1	8,55%
Kadar Air Ulangan 2	7,14%
Rata-rata	7,85%

Kadar air pada tailing tergolong masih cukup tinggi, yaitu sebesar 7,85%. Hal ini dikarenakan sampel tailing diambil langsung dari dasar kolam penampungan tailing yang juga bercampur dengan air sisa proses. Karena kandungan air pada tailing masih tinggi, maka terlebih dahulu harus dilakukan pengeringan terhadap sampel tailing sebelum digunakan dalam pembuatan benda uji.

Pengujian total konsentrasi merkuri pada tailing dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Pengujian konsentrasi merkuri tersebut dilakukan menggunakan *Mercury Analyzer* secara duplo. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil pembacaan Hg sebesar 0,17 dan 0,16  $\mu\text{g/kg}$ . Konsentrasi merkuri akhir ( $\text{mg/kg}$ ) ditentukan melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (1). Perhitungan lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil perhitungan total konsentrasi merkuri dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Konsentrasi Merkuri pada Tailing

Nama Sampel	Konsentrasi Merkuri (mg/kg)
Total Konsentrasi Ulangan 1	313,66
Total Konsentrasi Ulangan 2	290,96
Rata-rata	302,31
Standar Deviasi	16,051

Menurut Simamora (2000), data dinyatakan tidak bias apabila standar deviasi  $\leq 10\%$  nilai data tertinggi. Nilai standar deviasi lebih rendah dibandingkan nilai 10% data tertinggi, yaitu 31,37. Dengan demikian, data dinyatakan tidak bias dengan rata-rata total konsentrasi merkuri pada tailing sebesar 302,31 mg/kg. Berdasarkan Tabel 4 Lampiran I PP No 101 tahun 2014, tailing yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan tergolong sebagai limbah B3 kategori 2. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya pengolahan terhadap tailing yang dihasilkan dari kegiatan tambang emas rakyat di Kulon Progo mengingat tingginya konsentrasi merkuri dalam tailing.

### **4.3 Penelitian Tahap I**

Penelitian Tahap I dilakukan untuk menentukan komposisi terbaik dari campuran semen Portland dan tanah tras. Komposisi terbaik ditentukan dari nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh benda uji untuk masing-masing komposisi. Komposisi terbaik yang diperoleh selanjutnya akan digunakan dalam penelitian Tahap II.

#### **4.3.1 Uji Konsistensi Normal Penelitian Tahap I**

Uji konsistensi normal perlu dilakukan guna menentukan kebutuhan air yang harus ditambahkan ke dalam benda uji. Uji konsistensi normal penelitian tahap I dilakukan terhadap campuran semen dan tanah tras dengan komposisi tertentu. Adapun hasil uji konsistensi normal untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Semakin tinggi kandungan tanah tras dalam campuran benda uji, volume air yang dibutuhkan juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan tanah tras mengandung unsur silikat dan aluminat yang reaktif (Hargono, 2009). Silikat dapat melakukan kemisorpsi dengan air. Reaksi antara silikat dan air menghasilkan dua gugus Si-OH (Sulastri dan Kristianingrum, 2010). Karena reaktivitas silikat yang terkandung di dalamnya terhadap air, maka semakin tinggi persen tanah tras kebutuhan airnya juga semakin besar.

Tabel 4.5 Kebutuhan Air Benda Uji Tahap I

Semen : Tanah Tras	Volume Air (mL)
100 : 0	78
90 : 10	75
80 : 20	75
70 : 30	77
60 : 40	76
50 : 50	78
40 : 60	78
30 : 70	79
20 : 80	82
10 : 90	84

#### 4.3.2 Uji Kuat Tekan Penelitian Tahap I

Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran sisi masing-masing 5 cm. Setelah menjalani masa *curing* selama 28 hari, benda uji terlihat seperti pada Gambar 4.6. Proses curing dilaksanakan selama 28 hari sebab mortar baru mencapai kekuatan optimumnya setelah 28 hari. Setelah menjalani masa curing, dilakukan uji kuat tekan terhadap benda uji tahap I. Dari pengujian tersebut, diperoleh data berupa berat, beban maksimum kuat tekan dan luas penampang masing-masing benda uji. Data yang diperoleh dari uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.6.



Gambar 4.3 Benda Uji Setelah Menjalani Masa Curing

Tabel 4.6 Data Hasil Uji Kuat Tekan Tahap I

Semen : Tras	Berat (gram)		Luas Penampang A (cm)	Beban maksimum $P$ (kg)	
	Benda Uji 1	Benda Uji 2		Benda Uji 1	Benda Uji 2
10 : 90	230.60	231.50	25	1800	3000
20 : 80	234.6	231.50	25	3550	5000
30 : 70	286.1	237.50	25	4900	5400
40 : 60	254.9	238.40	25	6900	6100
50 : 50	250.1	245.40	25	7000	6100
60 : 40	248.9	254.40	25	6550	9200
70 : 30	252.7	260.90	25	9150	11000
80 : 20	259.2	262.20	25	10900	9600
90 : 10	266.2	261.40	25	10750	8800
100 : 0	272.7	260.10	25	12350	12000

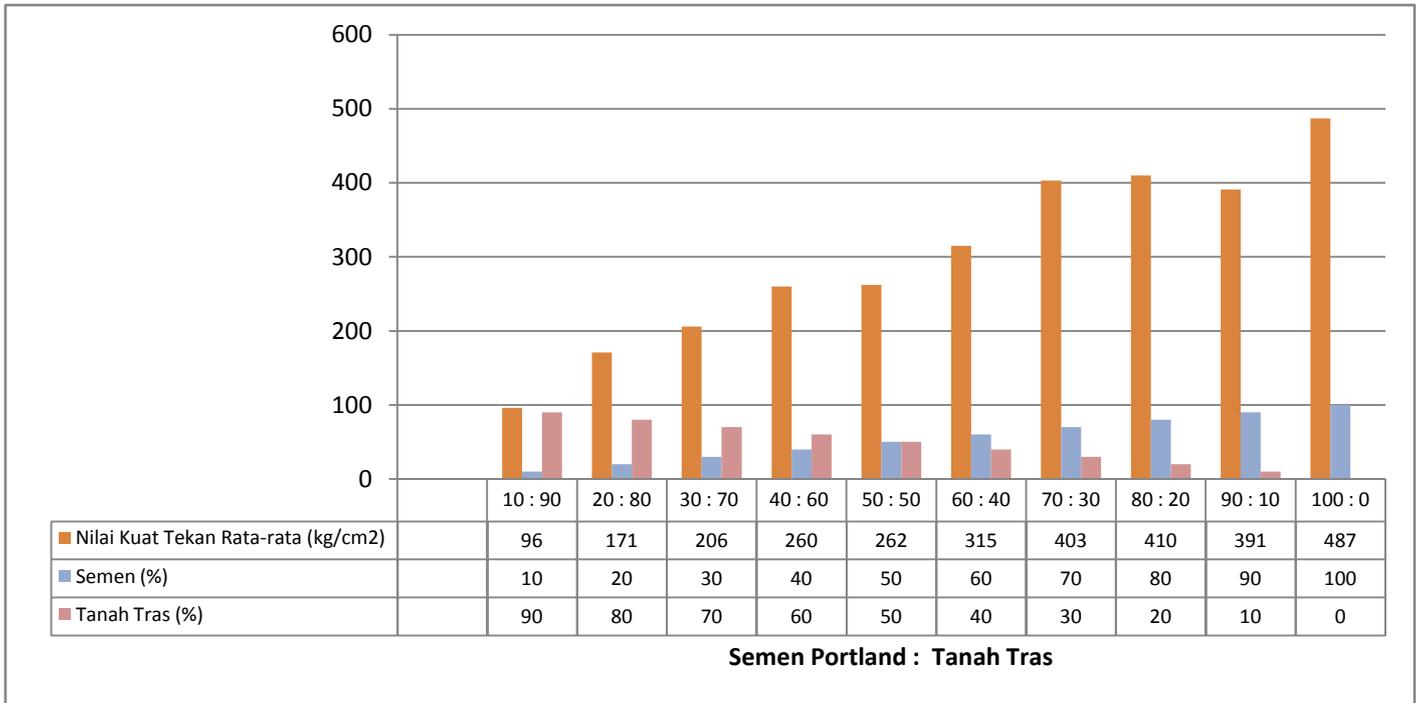
Dalam uji kuat tekan, berat tiap benda uji diukur terlebih dahulu untuk menentukan kisaran beban yang diberikan oleh alat uji kuat tekan *Tourse Universal Testing Machine Type* RAT-200. MFG No. 20380 CAP 200 tf kepada benda uji. Adapun nilai kuat tekan dapat ditentukan melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (3). Nilai kuat tekan masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.7. Adapun perhitungan lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 4.7 Nilai Kuat Tekan Tahap I

Semen : Tras	Nilai Kuat Tekan $F$ (kg/cm <sup>2</sup> )		F Rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
10 : 90	72	120	96
20 : 80	142	200	171
30 : 70	196	216	206
40 : 60	276	244	260
50 : 50	280	244	262
60 : 40	262	368	315
70 : 30	366	440	403
80 : 20	436	384	410
90 : 10	430	352	391
100 : 0	494	480	487

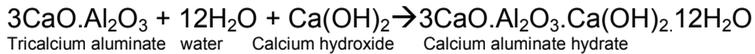
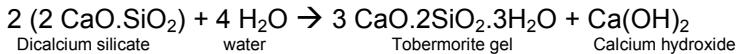
Grafik nilai kuat tekan tiap benda uji serta persen semen dan tanah tras yang terkandung di dalamnya dapat dilihat pada Grafik 4.1. Berdasarkan Grafik 4.1, semakin tinggi persen semen maka nilai kuat tekannya juga semakin tinggi. Kekuatan dari benda uji dipengaruhi oleh dua reaksi utama, yaitu :

1. Reaksi hidrasi antara senyawa potensial dalam semen (kalsium silikat dan kalsium aluminat) dengan air yang menghasilkan kristal senyawa hidrat (kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat) dan  $\text{Ca(OH)}_2$ .
2. Reaksi pozzolanic antara silikat dan aluminat yang terkandung dalam tanah tras dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen.



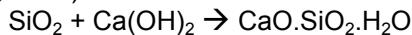
Grafik 4.1 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap I

Semakin tinggi persen semen, maka senyawa hidrat yang terbentuk melalui reaksi hidrasi semen juga semakin banyak. Reaksi hidrasi yang berlangsung adalah sebagai berikut (Weitzman, 1990) :



Reaksi hidrasi antara di-kalsium silikat dan tri-kalsium silikat dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (*tobermorite gel*) dan kalsium hidroksida. Kalsium hidroksida yang terbentuk selanjutnya akan digunakan dalam reaksi hidrasi antara tri-kalsium aluminat dengan air yang menghasilkan tetrakalsium aluminat hidrat. Senyawa hidrat tersebut merupakan faktor utama yang menentukan kekuatan benda uji. Keduanya akan membentuk kristal halus yang menambah kekuatan dan kepadatan benda uji.

Selain melalui reaksi hidrasi, kalsium silikat hidrat juga dihasilkan melalui reaksi pozzolanic pada tanah tras berikut ini (Putra, 2006) :



Tanah tras dalam keadaan halus dapat bereaksi dengan kapur bebas dan air membentuk suatu massa padat yang tidak larut dalam air (Mulyati, dkk., 2012). Hal ini dikarenakan tanah tras mengandung komponen silikat yang akan menghasilkan reaksi *pozzolanic* ketika bereaksi dengan air dan kapur (Budi, dkk., 2003). Terbentuknya massa padat yang tidak larut dalam air tersebut terjadi karena adanya kalsium silikat hidrat yang memberikan sifat hidrolis pada tanah tras.

Namun sebagai pozzolan, tanah tras tidak dapat memiliki sifat semen tanpa adanya kalsium hidroksida yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen. Dengan demikian, keberlangsungan reaksi

pozzolanic sangat bergantung pada ketersediaan kapur bebas ataupun kalsium hidroksida pada semen. Bahkan kadar kapur yang terlalu rendah tidak dapat menghasilkan proses hidrasi atau reaksi pozzolanic sama sekali (Hatmoko dan Lulie, 2007). Peningkatan persen tanah tras tanpa diimbangi dengan peningkatan persen semen tidak menghasilkan peningkatan nilai kuat tekan sebab reaksi hidrasi dan pozzolanic tidak berlangsung sempurna.

Selain itu, semakin tinggi persen tanah tras maka silika yang tersedia juga semakin tinggi. Kandungan silika pada tanah tras mencapai 46% hingga 59% (Palar, dkk., 2013). Kandungan silika yang berlebihan dapat menurunkan nilai kuat tekan akibat timbulnya reaksi alkali silika. Reaksi alkali silika merupakan reaksi antara silika aktif yang terkandung dalam tanah tras dengan alkali silika yang terdapat pada semen. Reaksi tersebut membentuk gel alkali yang dikelilingi oleh pasta semen dan mengakibatkan pemuaian pada benda uji. Pemuaian yang terjadi akan berakibat pada retak atau pecahnya pasta semen sehingga menurunkan nilai kuat tekan benda uji (Mulyati, dkk., 2012). Hal tersebut sesuai dengan hasil uji kuat tekan pada benda uji tahap I yang menunjukkan penurunan nilai kuat tekan seiring dengan peningkatan persen tanah tras.

Namun pada benda uji dengan komposisi 90 : 10 yang terdiri dari 90% semen dan 10% tanah tras terjadi penurunan nilai kuat tekan padahal persen semennya meningkat seperti dapat dilihat pada Grafik 4.1. Faktor yang mempengaruhi kekuatan beton selain sifat dari bahan dasar penyusunnya yaitu antara lain (Suwignyo, 2015) :

1. Perbandingan bahan penyusun
2. Cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penguangan adukan beton
3. Cara pemadatan
4. Cara perawatan selama proses pengerasan

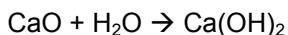
Penurunan nilai kuat tekan pada komposisi 90 : 10 dikarenakan pengadukan dan pemadatan yang kurang

sempurna. Pemadatan yang kurang sempurna mengakibatkan adanya rongga udara di antara agregat yang mengurangi tingkat kepadatan beton. Selain itu, pengadukan yang kurang baik juga mengakibatkan terperangkapnya air di antara adukan beton. Ketika memasuki masa pengerasan, air akan menguap dan menyisakan rongga pada beton. Rongga-rongga pada beton menjadikannya rapuh sehingga menurunkan nilai kuat tekan (Mulyati, dkk., 2012).

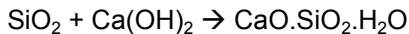
Hasil kuat tekan kesepuluh benda uji memenuhi baku mutu kuat tekan untuk limbah B3 menurut Kep Bapedal No. KEP-03/BAPEDAL/09/1995 tentang persyaratan teknis pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun, yaitu sebesar  $10 \text{ ton/m}^2$  atau setara dengan  $1 \text{ kg/cm}^2$ . Setelah diperoleh nilai kuat tekan dari masing-masing benda uji, maka selanjutnya ditentukan komposisi *binder* yang digunakan untuk penelitian tahap II. Komposisi *binder* yang dipilih sebisa mungkin memiliki persentase semen yang rendah untuk menekan konsumsi semen. Namun, pemilihan komposisi tetap harus memperhatikan ketersediaan kapur atau kalsium hidroksida yang dibutuhkan untuk melangsungkan reaksi pozzolanic.

Berdasarkan hasil uji kuat tekan, benda uji dengan komposisi semen : tras = 10% : 90% telah memenuhi baku mutu nilai kuat tekan. Namun berdasarkan perhitungan secara stoikiometri pada Lampiran B, dengan semen sebesar 10% tidak tersedia  $\text{Ca(OH)}_2$  yang cukup untuk melangsungkan reaksi pozzolanic pada 90% tanah tras sisanya.  $\text{Ca(OH)}_2$  yang dibutuhkan tanah tras yaitu sebesar 153,18 gram, sedangkan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang tersedia dari reaksi hidrasi semen hanya sebesar 50,42 gram.

Kebutuhan  $\text{Ca(OH)}_2$  untuk reaksi pozzolanic terpenuhi pada komposisi semen : tanah tras = 40% : 60%. Dengan komposisi tersebut, dari reaksi hidrasi semen dihasilkan 118,42 gram  $\text{Ca(OH)}_2$ . Reaksi pembentukan  $\text{Ca(OH)}_2$  adalah sebagai berikut :



CaO yang bereaksi berasal dari semen dan tanah tras. Semen mengandung 64,18% CaO, sedangkan tanah tras mengandung 7% CaO. Tanah tras juga mengandung 46% SiO<sub>2</sub>. Senyawa SiO<sub>2</sub> membutuhkan Ca(OH)<sub>2</sub> untuk melangsungkan reaksi pozzolanic. Reaksi pemakaian Ca(OH)<sub>2</sub> adalah sebagai berikut :



Berat Ca(OH)<sub>2</sub> yang dibutuhkan untuk benda uji dengan komposisi semen : tanah tras = 40% : 60% adalah sebesar 102,12 gram. Ketersediaan kapur yang cukup pada komposisi ini memungkinkan terjadinya reaksi hidrasi dan pozzolanic secara sempurna. Dengan demikian, komposisi terbaik antara semen dan tanah tras yang selanjutnya digunakan untuk penelitian tahap II yaitu 40:60.

#### **4.4 Penelitian Tahap II**

Penelitian tahap II dilakukan untuk menentukan komposisi terbaik antara *binder* dengan tailing. *Binder* yang digunakan terdiri dari 40% semen dan 60% tanah tras. Perbandingan semen dan tanah tras tersebut diperoleh dari penelitian tahap I.

##### **4.4.1 Uji Konsistensi Normal Penelitian Tahap II**

Uji konsistensi normal penelitian tahap II dilakukan terhadap benda uji hasil campuran *binder* dan tailing dengan komposisi tertentu. Adapun hasil uji konsistensi normal untuk tiap-tiap komposisi dapat dilihat pada Tabel 4.8. Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kandungan tailing dalam benda uji maka kebutuhan airnya juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan bijih emas yang diolah pada penambangan emas rakyat Dusun Sangon banyak berasal dari batuan andesit. Batuan andesit terdiri dari unsur-unsur kimia antara lain silikat, aluminium, besi, kalsium, magnesium, natrium, kalium, tembaga, mangan, fosfor, sulfur, klor, nikel, barium, seng, dan air (Ahmad. 2011). Adapun komponen utama penyusunnya adalah silikat (Yuliandini dan Putra, 2013). Silikat reaktif akan bereaksi dengan air sehingga menambah kebutuhan air pada adonan mortar

(Sulastrri dan Kristianingrum, 2010). Dengan demikian, semakin tinggi persen tailing maka volume air yang dibutuhkan juga semakin besar.

Tabel 4.8 Kebutuhan Air Benda Uji Tahap II

Binder : Tailing	Volume Air (mL)
50 : 50	79
40 : 60	80
30 : 70	80
20 : 80	81
10 : 90	82
100 : 0	83

#### 4.4.2 Uji Kuat Tekan Penelitian Tahap II

Benda uji Tahap II merupakan mortar berbentuk kubus dengan ukuran tiap sisi sebesar 5 cm. Setelah masa curing, selanjutnya dilakukan uji kuat tekan terhadap benda uji Tahap II. Seperti pada penelitian Tahap I, sebelum diuji nilai kuat tekannya terlebih dahulu diukur berat tiap benda uji. Data berat benda uji diperlukan untuk menentukan beban yang diberlakukan kepada tiap-tiap benda uji. Berat masing-masing benda uji beserta beban kuat tekannya ( $P$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Hasil Uji Kuat Tekan Tahap II

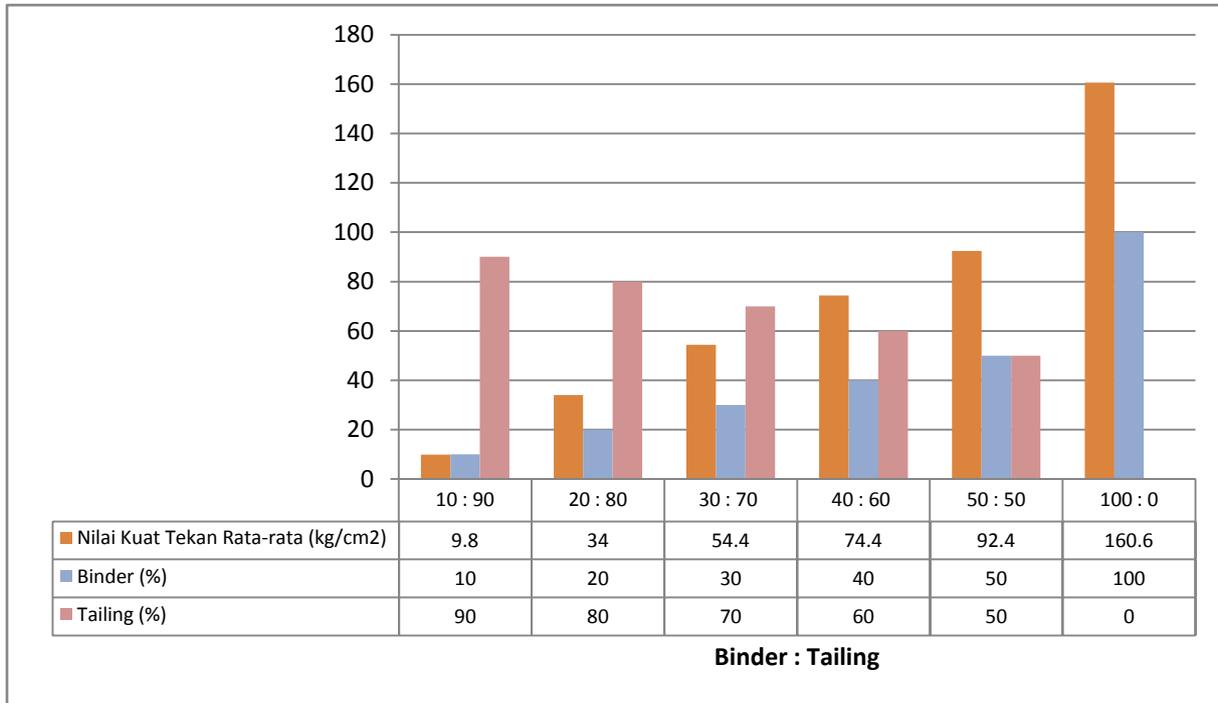
Binder : Tailing	Berat (g)		Luas Penampang A (cm)	Beban maksimum $P$ (kg)	
	Benda Uji 1	Benda Uji 2		Benda Uji 1	Benda Uji 2
10 : 90	219.30	225.70	25	200	290
20 : 80	228.60	233.50	25	920	780
30 : 70	232.70	232.70	25	1260	1460
40 : 60	220.60	227.60	25	1840	1880
50 : 50	235.80	236.40	25	2280	2340
100 : 0	236.30	237.90	25	3950	4080

Data yang diperoleh dari pengujian di atas selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai kuat tekan. Penentuan nilai kuat tekan dilakukan melalui perhitungan menggunakan persamaan (2). Nilai kuat tekan masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.10. Sedangkan grafik nilai kuat tekan tiap benda uji serta persen binder dan tailing dapat dilihat pada Grafik 4.2.

Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Tekan Tahap II

Binder : Tailing	Nilai Kuat Tekan $F$ (kg/cm <sup>2</sup> )		F Rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
10 : 90	8	11.6	9.8
20 : 80	36.8	31.2	34
30 : 70	50.4	58.4	54.4
40 : 60	73.6	75.2	74.4
50 : 50	91.2	93.6	92.4
100 : 0	158	163.2	160.6

Berdasarkan Tabel 4.10 dan Grafik 4.2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kandungan semen dan tanah tras maka nilai kuat tekannya juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin banyak *binder* (semen dan tanah tras) maka partikel dalam benda uji akan terikat semakin kuat dan meningkatkan nilai kuat tekannya (Hatmoko dan Lulie, 2007). Semen dan tanah tras mengandung komponen kalsium, silikat dan aluminat yang berperan penting dalam meningkatkan kuat tekan produk hasil S/S. Silikat berfungsi sebagai bahan pengisi di antara rongga-rongga benda uji sehingga menjadi lebih padat. Kalsium berfungsi untuk proses perekatan atau pengikatan melalui proses hidrasi pada semen maupun melalui reaksi pozzolanic dengan tanah tras. Sedangkan aluminat berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan (Wiryasa dan Sudarsana, 2009).



Grafik 4.2 Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap II

Hasil kuat tekan seluruh benda uji memenuhi baku mutu kuat tekan untuk limbah B3 menurut Kep Bapedal No. KEP-03/BAPEDAL/09/1995 tentang persyaratan teknis pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun, yaitu sebesar 10 ton/m<sup>2</sup> atau setara dengan 1 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.4.3 Uji TCLP dan Kadar Merkuri

Uji TCLP dilakukan untuk menguji keefektifan proses solidifikasi/stabilisasi dalam menurunkan tingkat pelindian dan kelarutan kontaminan atau logam berat pada kondisi asam. Prosedur TCLP mengacu pada US EPA Method 1311 seperti dapat dilihat pada Lampiran A.

Sebelum dilakukan proses ekstraksi, terlebih dahulu dilakukan *preliminary evaluation* untuk menentukan jenis larutan ekstraksi yang akan digunakan dalam proses pelarutan merkuri dengan larutan asam. Penentuan larutan ekstraksi didasarkan pada pH sampel setelah dilakukan proses *preliminary evaluation*. Apabila pH < 5, maka digunakan larutan ekstraksi 1 dengan pH 4,93. Sedangkan apabila pH > 5, maka digunakan larutan ekstraksi 2 dengan pH 2,88. Hasil pengukuran pH sampel setelah proses *preliminary evaluation* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pengukuran pH Sampel Setelah *Preliminary Evaluation*

Binder : Tailing	pH Setelah <i>Preliminary Evaluation</i>
10 : 90	8,47
20 : 80	8,21
30 : 70	8,08
40 : 60	7,93
50 : 50	7,88
100 : 0	7,14

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa pH sampel setelah *preliminary evaluation* seluruhnya pH > 5. Dengan demikian, dalam proses ekstraksi digunakan larutan ekstraksi 2. Larutan ekstraksi 2 mengandung asam asetat glasial. Merkuri

dalam bentuk presipitat HgO bereaksi dengan asam asetat glasial (CH<sub>3</sub>COOH) dalam larutan ekstraksi. pH larutan yang asam memungkinkan terlarutnya merkuri dengan membentuk senyawa Hg(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> yang bersifat larut. Adapun reaksi yang terjadi selama proses ekstraksi adalah sebagai berikut :



Selanjutnya dilakukan pengujian kadar merkuri yang terkandung dalam filtrat hasil uji TCLP. Adapun kadar merkuri yang terukur mewakili besarnya kandungan merkuri dalam benda uji yang berhasil terlindikan. Sehingga hasil uji kadar merkuri pada tahap ini sangat menentukan tingkat keberhasilan proses S/S. Nilai TCLP dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Uji TCLP pada Benda Uji Tahap II

Binder : Tailing	Hasil Uji TCLP (mg/L)
10 : 90	4,92*
20 : 80	4,61
30 : 70	4,09
40 : 60	1,83
50 : 50	TD** (kadar Hg < 0,21 mg/L)
100 : 0	TD** (kadar Hg < 0,21 mg/L)

\* : Hasil estimasi

\*\* : Tidak terdeteksi (LOD = 0,21 mg/L)

Pada benda uji dengan komposisi 50:50 dan 100:0, hasil pengukuran tidak terdeteksi sebab kandungan merkuri pada sampel lebih rendah dari batas konsentrasi terendah yang dapat dibaca (*limit of detection*) oleh alat ukur. Adapun *limit of detection* dari alat yang digunakan yaitu sebesar 0,21 mg/L. Dengan demikian maka dapat dinyatakan bahwa nilai TCLP dari benda uji dengan komposisi 50:50 dan 100:0 adalah kurang dari 0,21 mg/L.

Berdasarkan Tabel 4.12, semakin tinggi persen binder maka nilai hasil uji TCLP semakin rendah. Nilai TCLP untuk komposisi binder : tailing = 10 : 90 merupakan hasil estimasi sebab nilai TCLP dari hasil pengukuran dinilai menyimpang terlalu jauh dari rangkaian data lainnya sehingga ditetapkan sebagai *outlier*. Estimasi dilakukan dengan menggunakan Grafik 4.3 dan diperoleh persamaan regresi antara nilai kuat tekan (x) dengan hasil uji TCLP (y) sebagai berikut :

$$y = -0,038x + 5,292$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, estimasi nilai TCLP dari benda uji komposisi 10:90 yaitu sebesar 4,92 mg/L. Perhitungan lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran B.

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi persen *binder* pada benda uji maka hasil uji TCLP semakin rendah. Semakin rendah hasil uji TCLP menunjukkan konsentrasi merkuri yang berhasil terlindikan juga semakin rendah. Hal ini dikarenakan semakin banyak merkuri yang terikat dalam matriks semen dan tanah tras. Merkuri terikat secara kimia ketika bereaksi dengan senyawa basa dan karbonat yang terdapat dalam semen (LaGrega, et al., 1994). Ketika merkuri bereaksi dengan larutan basa akan terbentuk kristal HgO yang tidak larut meski dilakukan penambahan larutan basa secara berlebihan (Sugiata, 2010). Proses pembentukan kristal HgO dapat dilihat melalui reaksi berikut :

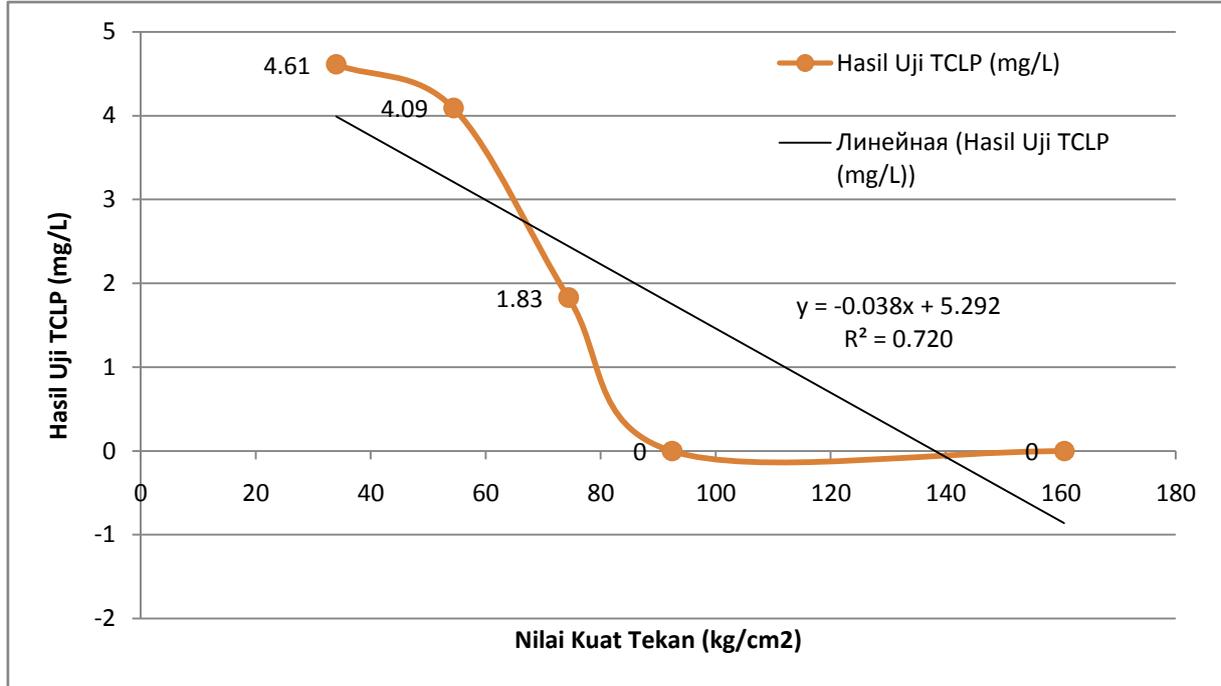


Proses hidrasi semen menghasilkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang merupakan basa kuat.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang terbentuk selanjutnya bereaksi dengan  $\text{Hg}^{2+}$  dan membentuk kristal HgO sesuai reaksi di atas.

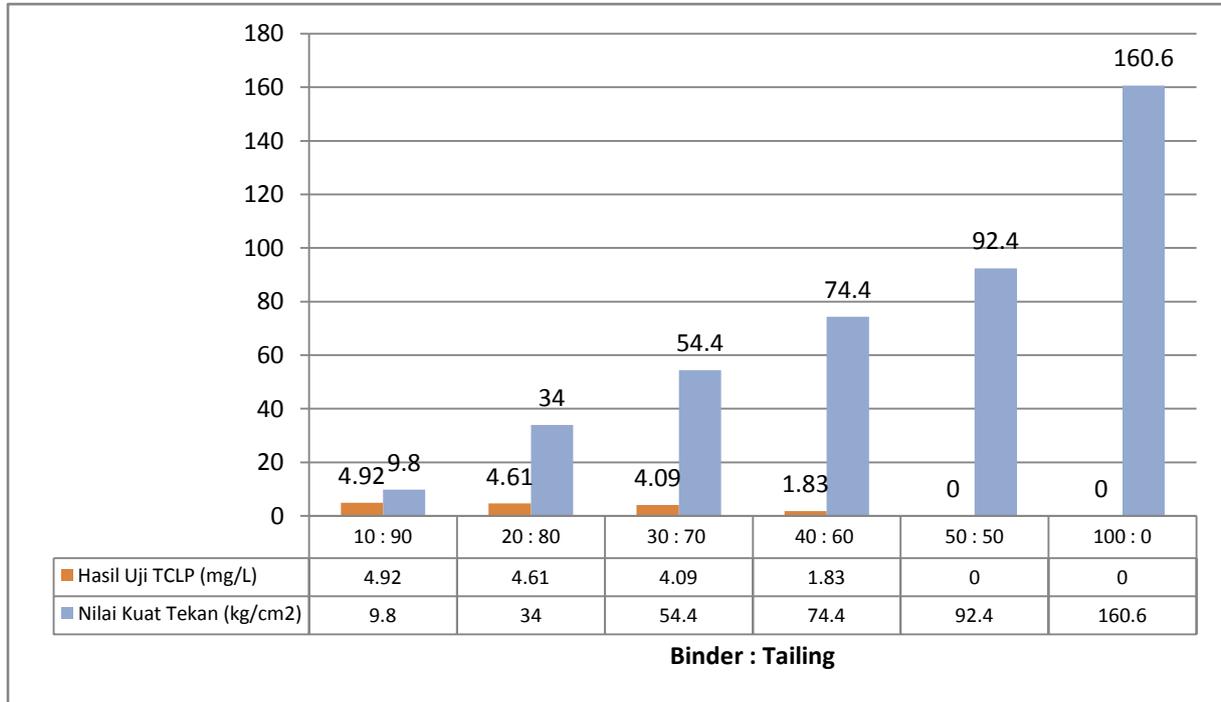
Kristal HgO yang secara kimia lebih stabil dibandingkan  $\text{Hg}^{2+}$  selanjutnya diikat secara fisik dalam matriks kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat dari proses hidrasi semen dan reaksi pozzolanic tanah tras. Merkuri dalam bentuk presipitat hidroksida dan garam karbonat tersebut terikat dalam struktur kristalin yang tidak larut (Trihadiningrum, 2000).

Grafik 4.4 menunjukkan hasil uji TCLP dan nilai kuat tekan untuk tiap-tiap benda uji. Semakin tinggi nilai kuat tekan, maka hasil uji TCLP semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kekuatan beton atau benda uji, maka merkuri juga terikat semakin kuat dalam struktur kristal yang dibentuk senyawa hidrat hasil reaksi hidrasi dan pozzolanik. Hal tersebut menjadikan tingkat kelarutan merkuri rendah meskipun beton dalam kondisi hancur saat pelaksanaan proses ekstraksi dalam uji TCLP.

Berdasarkan baku mutu TCLP menurut Lampiran IV PP No 101 tahun 2014 yaitu sebesar 0,05 mg/L, hanya benda uji dengan komposisi 50:50 yang memenuhi baku mutu. Dengan demikian ditetapkan komposisi antara *binder* dan *tailing* yang dapat digunakan dalam aplikasi S/S limbah *tailing* tambang emas rakyat di Kulon Progo adalah 50:50.



Grafik 4.3 Kurva Regresi antara Hasil Uji TCLP dengan Nilai Kuat Tekan Tahap II



Grafik 4.4 Hasil Uji TCLP dan Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tahap II

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN A PROSEDUR KERJA

### I. Prosedur Sampling Tanah

Metode sampling yang digunakan yaitu *Random Stratified Sampling*. Penentuan titik pengambilan sampel dilakukan secara acak pada kolam *tailing* tambang emas yang masih aktif beroperasi. Pengambilan dilakukan pada kedalaman 10 cm dari permukaan sedimen *tailing*.

Alat yang diperlukan pada kegiatan pengambilan sampel yaitu antara lain:

- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| 1. Bor tangan             | 12. Masker        |
| 2. Cangkul                | 13. Cool box      |
| 3. Cetok                  | 14. Es batu       |
| 4. Botol HDPE mulut lebar | 15. Selotip       |
| 5. Ember                  | 16. Gunting       |
| 6. Gayung                 | 17. Pisau         |
| 7. Kertas label           | 18. Patok         |
| 8. Timbangan              | 19. Spidol        |
| 9. Sarung tangan          | 20. Tongkat/galah |
| 10. Meteran               | 21. GPS           |
| 11. Sepatu boot           | 22.               |

Adapun prosedur sampling *tailing* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan observasi jumlah kolam *tailing* yang masih aktif dioperasikan.
- b. Menentukan titik sampling (kolam *tailing*) yang dianggap representatif.
- c. Mengenakan sarung tangan, masker dan sepatu boot atau sepatu tertutup lainnya.
- d. Menentukan koordinat titik pengambilan sampel menggunakan GPS.
- e. Mengambil sampel *tailing* menggunakan bor tangan pada kedalaman 10 cm dari permukaan sedimen.

- f. Memisahkan sampel dari akar, batu ataupun pengotor lain.
- g. Memasukkan sampel *tailing* ke dalam botol bermulut lebar dan diberi label.
- h. Menimbang *tailing* hingga mencapai berat yang diperlukan untuk tiap titik.
- i. Melakukan pengambilan sampel *tailing* untuk titik lain. Alat sampling dibersihkan dahulu sebelum memulai pengambilan di titik selanjutnya untuk mencegah terjadinya kontaminasi.
- j. Menutup rapat botol berisi sampel dan menyimpannya di dalam *cool box* berisi es.

## **II. Persiapan Sampel Tailing**

Persiapan sampel *tailing* perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum memulai kegiatan penelitian. Berikut adalah prosedur persiapan untuk sampel *tailing* :

1. Homogenkan sampel *tailing* hingga diperoleh komposit sampel *tailing* dari 5 titik *sampling*.
2. Keringkan sampel pada oven bersuhu 105°C selama 2,5 jam.
3. Dinginkan sampel pada desikator hingga mencapai suhu ruangan  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ .
4. Perkecil ukuran partikel sampel menggunakan mesin *bond ball mild*.
5. Ayak menggunakan ayakan 300  $\mu\text{m}$ .
6. Simpan pada wadah dan tutup rapat.

## **III. Uji Kadar Air**

Uji kadar air dilakukan menggunakan metode gravimetri. Prosedur uji kadar air adalah sebagai berikut :

1. Masukkan cawan petri ke dalam oven 105°C selama 24 jam. Setelah 24 jam masukkan cawan petri ke dalam desikator selama 15 menit.
2. Ambil *tailing* secukupnya lalu letakkan ke dalam cawan petri.

3. Timbang cawan petri berisi tailing menggunakan neraca analitik (a gram).
4. Masukkan cawan petri dan tailing ke dalam oven 105°C selama 24 jam. Setelah 24 jam masukkan cawan petri ke dalam desikator selama 15 menit.
5. Timbang kembali berat cawan petri dan tailing setelah dioven (b gram).
6. Hitung kadar air dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(a \text{ gram}) - (b \text{ gram})}{(a \text{ gram})} \times 100$$

#### **IV. Uji Nilai pH**

Uji pH tailing dilakukan menggunakan pH meter. Prosedur uji pH tailing adalah sebagai berikut :

1. Ambil tailing secukupnya pada beaker glass.
2. Tambahkan aquades hingga 2/3 bagian beaker glass terisi.
3. Aduk hingga homogen menggunakan magnetic stirrer.
4. Ukur pH tailing dengan menggunakan pH meter.

#### **V. Prosedur Acid Digestion**

Prosedur kerja metode *Acid Digestion* dapat berbeda-beda sesuai dengan tujuan atau analisis selanjutnya yang akan dilakukan. *Nitric Acid Digestion* sesuai *Standard Method 3030-E* tentang *Nitric Acid Digestion of Metals Samples* digunakan untuk proses digesti sampel yang akan diuji kadar logam didalamnya. Sedangkan *Standard Method 3050-B* tentang *Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils for Metals Analysis by FLAA/ICP or GFAA/ICPMS* digunakan apabila nantinya hasil digesti akan menjalani uji FLAA/ICP maupun GFAA/ICPMS.

##### ***A. Nitric Acid Digestion sesuai Standard Method 3030-E***

Prosedur dari metode *Nitric Acid Digestion* sesuai US EPA Method 3050-E tentang *Acid Digestion of Sediment, Sludges and Soils* adalah sebagai berikut ini :

1. Tambahkan cairan asam (*perchloric, hydrochloric* atau *sulfuric acid*) ke dalam gelas beaker berisi sampel *tailing* hingga volume mencapai 100 mL.
2. Tambahkan 5 mL Asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) dan tutup rapat gelas beaker.
3. Didihkan larutan hingga volume larutan pada kondisi homogen mencapai 10-20 mL.
4. Lanjutkan pemanasan hingga proses digestion selesai yaitu ketika larutan berubah warna menjadi bening. Agar sampel tidak kering selama proses pemanasan, tambahkan  $\text{HNO}_3$  ke dalam larutan secukupnya.
5. Lakukan filtrasi terhadap larutan hasil pemanasan hingga diperoleh filtrate dari larutan.
6. Encerkan filtrat dari larutan hasil digestion dengan aquades hingga volumenya menjadi 100 mL.
7. Setelah dingin, ambil sejumlah filtrat untuk dianalisis kadar merkurnya menggunakan metode Dhitizone.

B. *Nitric Acid Digestion* sesuai *Standard Method 3050-B* tentang *Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils for Metals Analysis by FLAA/ICP or GFAA/ICPMS*

Prosedur dari metode *Nitric Acid Digestion* sesuai *Standard Method 3050-B* adalah sebagai berikut ini :

1. Timbang 1-2 gram (berat basah) atau 1 gram (berat kering) sampel.
2. Panaskan hingga terbentuk larutan berwarna bening. Selama pemanasan tambahkan asam nitrat dan hidrogen peroksida secukupnya secara berulang agar sampel tidak kering.
3. Tambahkan 10 mL asam klorida ( $\text{HNO}_3$ ) dan tutup rapat gelas beaker.
4. Panaskan larutan hingga mencapai suhu  $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  dan refluks selama 10-15 menit tanpa pemanasan.
5. Tambahkan 5 mL  $\text{HNO}_3$  secara kontinyu hingga tidak terbentuk asap coklat mengindikasikan adanya proses oksidasi  $\text{HNO}_3$  terhadap sampel.

6. Uapkan larutan tanpa pemanasan sehingga tersisa 5 mL atau panaskan pada suhu  $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam.
7. Dinginkan sampel dan tambahkan 2 mL aquades serta 3 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%, lalu tutup.
8. Kembali panaskan larutan dan tambahkan 1 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% hingga larutan stabil
9. Lanjutkan pemanasan hingga tersisa 5 mL atau panaskan pada suhu  $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam.
10. Tambahkan 10 mL HCl dan tutup, lalu refluks larutan pada suhu  $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit.
11. Filter larutan menggunakan kertas paper Whatman No. 41 dan masukkan filtrat ke dalam 100 mL labu ukur.
12. Tambahkan aquades hingga volume yang dibutuhkan untuk keperluan uji AAS atau ICP.

## **VI. Prosedur Pembuatan dan Perawatan Benda Uji**

Prosedur untuk pembuatan dan perawatan benda uji mengacu pada ketentuan yang terdapat dalam SNI 2493:2011 tentang Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.

### **A. Pengadukan Beton**

Pengadukan beton dilakukan secara manual, tidak menggunakan mesin. Prosedur pengadukan manual dengan tangan adalah sebagai berikut ini :

1. Aduk semen, bahan tambahan serbuk yang tidak larut dalam air dan agregat halus hingga homogen tanpa menambahkan air.
2. Tambahkan agregat kasar dan aduk hingga rata tanpa penambahan air.
3. Tambahkan air dan aduk hingga homogen serta memiliki konsistensi yang diinginkan.
4. Tutup campuran saat tidak sedang diaduk atau diambil untuk menghindari penguapan.

## B. Uji Konsistensi Normal

Prosedur uji konsistensi normal mengacu pada ASTM C 187-11 tentang Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland dengan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil. Adapun prosedur untuk uji konsistensi normal adalah sebagai berikut ini :

1. Buat 300 gram campuran pasta benda uji sesuai komposisi yang ada. Gunakan acuan volume air awal yang ditambahkan sebesar 84 mL.
2. Buat bola dari pasta yang telah tercampur rata dengan cara melemparkan pasta dari tangan kanan ke tangan kiri secara berulang sebanyak 6 kali lemparan. Gunakan jarak lemparan  $\pm 15$  cm.
3. Letakkan cetakan di atas pelat kaca, lalu masukkan bola pasta ke dalam cetakan. Hentakkan beberapa kali hingga tidak ada rongga pada pasta di dalam cetakan.
4. Ratakan permukaan pasta menggunakan pisau perata.
5. Letakkan cetakan berisi pasta di bawah jarum vicat.
6. Lepaskan jarum dan setelah 30 detik catat penurunan pada jarum vicat.
7. Konsistensi normal tercapai ketika terjadi penurunan sebesar 10 mm dalam 30 detik.

## C. Pembuatan Benda Uji

Ketentuan untuk penempatan cetakan adalah sebagai berikut ini :

1. Cetak benda uji sedekat mungkin dengan tempat penyimpanan selama 24 jam pertama.
2. Jika tidak memungkinkan untuk memperoleh lokasi pencetakan yang dekat dengan ruang penyimpanan, pindahkan benda uji sesegera mungkin ke tempat penyimpanan setelah perataan.
3. Letakkan cetakan pada permukaan yang kaku, bebas dari getaran dan gangguan lain.

4. Hindari gangguan, benturan ataupun goresan pada permukaan benda uji saat proses pemindahan.

Ketentuan untuk penempatan benda uji adalah sebagai berikut ini :

1. Masukkan adonan beton dari wadah pengaduk ke dalam cetakan menggunakan sekop beton tumpul.
2. Aduk kembali sesekali adonan beton untuk mencegah terjadinya segregasi selama pencetakan benda uji.
3. Gerakkan sekop ke sekeliling sisi atas cetakan saat beton dituangkan untuk memastikan beton tersebar merata dan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya segregasi agregat kasar dalam cetakan.
4. Sebarkan beton secara merata dengan menggunakan tongkat penusuk sebelum memulai pemadatan.
5. Lakukan penuangan secara bertahap sehingga membentuk sejumlah lapisan. Untuk benda uji berbentuk kubus dengan panjang tiap sisi 15 cm, jumlah lapisan yang diperlukan yaitu sebanyak 2 lapis dengan ketebalan yang sama.

#### D. Pemadatan

Ketentuan untuk proses pemadatan adalah sebagai berikut ini :

1. Pemadatan untuk benda uji dengan ukuran tiap sisi 15 cm adalah dengan menggunakan metode penumbukan memakai tongkat penusuk.
2. Untuk benda uji berupa kubus dengan luas permukaan 160 atau kurang, gunakan diameter penumbuk 10 mm dan jumlah tumbukan per lapisan sebanyak 25 tumbukan.
3. Tumbuk lapisan paling bawah hingga ke ketebalan lapisannya, sebarkan tumbukan secara seragam ke seluruh penampang cetakan.
4. Tumbuk lapisan yang lebih atas hingga masuk kira-kira 12 mm ke dalam lapisan di bawahnya bila tebal

lapisan kurang dari 10 mm dan kira-kira 25 mm bila tebal lapisan 10 mm atau lebih.

5. Setelah setiap lapisan selesai ditusuk, ketok bagian laur cetakan pelan-pelan sebanyak 10-15 kali menggunakan tongkat karet atau tangan.
6. Setelah pengetokan, bersihkan sepanjang sisi dan ujung cetakan beton menggunakan sendok beton atau alat lain yang sesuai.

#### E. Pekerjaan Akhir

1. Setelah pemadatan, ratakan permukaan beton dan licinkan dengan perata kayu atau magnesium.
2. Lakukan pekerjaan air dengan gangguan minimum untuk menghasilkan permukaan yang datar dan rata serta tidak terdapat lekukan atau tonjolan melebihi 3,2 mm.

#### F. Perawatan Benda Uji

Teknik perawatan benda uji yang digunakan yaitu *moisture curing* dengan ketentuan berikut ini :

1. Tutup segera benda uji dengan ember atau penutup lain setelah pekerjaan akhir dilakukan.
2. Lindungi permukaan luar benda uji dari kontak langsung dengan penutup.
3. Simpan benda uji dalam kondisi tertutup bersama ember berisi air untuk menciptakan kondisi ruangan yang jenuh air sehingga memperkecil penguapan air dari beton.
4. Tidak dibenarkan untuk meletakkan benda uji pada air mengalir atau air yang menetes.
5. Penyimpanan dilakukan pada suhu  $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ .
6. Selama 48 jam pertama dari proses perawatan, benda uji harus dijaga pada lingkungan yang bebas getaran.
7. Lepaskan benda uji dari cetakan setelah 24 jam  $\pm$  8 jam dari waktu pencetakan.

## **VII. Prosedur Uji Kuat Tekan**

Prosedur uji kuat tekan berdasarkan ASTM C 109 tentang *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars* sebagai berikut:

1. Keluarkan benda yang akan diuji dari cetakan.
2. Nyalakan mesin yang akan digunakan untuk uji kuat tekan.
3. Atur kapasitas pembebanan yang sesuai dengan benda yang akan diuji. Perhatikan bahwa jarum penunjuk pada mesin harus dinolkan sebelum siap digunakan.
4. Angkat *hammer* pembeban dengan memutar tombol pengangkat.
5. Letakkan benda uji pada alas *hammer* pembeban.
6. Letakkan *hammer* pembeban hingga menyentuh permukaan benda uji.
7. Putar *hammer* pembeban perlahan-lahan hingga menekan benda uji. Kecepatan pembebanan 1,4-3,4 kg/cm<sup>2</sup>.detik.
8. Catat hasil pembacaan yang ada di meteran setelah jarum berhenti.
9. Pengujian pada benda uji dilakukan hingga benda uji hancur.

## **VIII. Prosedur Uji TCLP**

Prosedur uji TCLP yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan pada *standard method* 1311 dari US EPA sebagai berikut ini :

### **A. Alat yang Digunakan**

Alat yang digunakan untuk melakukan uji TCLP dari tanah yang tercemar logam berat merkuri adalah sebagai berikut ini :

#### **1. Peralatan untuk Proses Agitasi**

Alat agitasi harus mampu untuk melakukan proses agitasi dengan kecepatan  $30 \pm 2$  rpm.

2. Alat Ekstraksi

Ekstraksi dapat dilakukan pada botol ekstraksi berbahan *borosilicate* atau *polytetrafluoroethylene*.

3. Peralatan Filtrasi

Untuk melaksanakan proses filtrasi dibutuhkan beberapa peralatan di bawah ini :

- *Filter Holder* : *Filter holder* setidaknya memiliki volume 300 mL dan dapat digunakan untuk menyangga filter dengan ukuran minimum 47 mm.
- Filter : Filter harus terbuat dari kaca fiber borosilikat, tidak mengandung material binder serta memiliki ukuran pori efektif 0,6 – 0,8 mm.
- pH Meter : pH meter harus memiliki tingkat akurasi sebesar  $\pm 0,05$  unit pada suhu 25°C.

4. Neraca analitik

5. Gelas beaker atau labu erlenmeyer ukuran 500 mL

6. *Magnetic stirrer*.

B. Bahan yang Dibutuhkan

Bahan yang dibutuhkan untuk melakukan uji TCLP dari tanah yang tercemar logam berat merkuri adalah sebagai berikut ini :

1. Aquades
2. Asam klorida (HCl) 1 N
3. Asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 1 N
4. Sodium hidroksida (NaOH)
5. Asam asetat glacial (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OOH)
6. Larutan ekstraksi 1
7. Larutan ekstraksi 2

C. Pembuatan Larutan Ekstraksi 1

Prosedur pembuatan untuk larutan ekstraksi 1 adalah sebagai berikut ini :

1. Tambahkan 5,7 mL asam asetat glacial ke dalam 500 mL aquades
2. Tambahkan 64,3 mL NaOH 1 N

3. Encerkan dengan menambahkan aquades hingga volume larutan mencapai 1 L
4. Uji nilai pH dan pastikan nilai pH berkisar  $4,93 \pm 0,05$ .

D. Pembuatan Larutan Ekstraksi 2

1. Encerkan 5,7 mL asam asetat glacial dengan menggunakan aquades hingga volume larutan mencapai 1 L
2. Ukur nilai pH dan pastikan nilai pH berkisar  $2,88 \pm 0,05$ .

E. Persiapan Sampel

1. Sebelum dilakukan proses ekstraksi tidak diperbolehkan menambahkan pengawet ke dalam sampel. Untuk keperluan penyimpanan sebelum dilakukan pengujian, sampel dapat disimpan di dalam lemari pendingin sepanjang tidak menyebabkan perubahan fisik pada sampel.
2. Untuk sampel dengan kandungan *solid*  $\geq 0,5\%$  sebaiknya dipisahkan dari cairannya (bila ada) sebelum dilakukan proses ekstraksi
3. Sampel berupa padatan diekstraksi menggunakan larutan ekstraksi sebesar 20 kali berat (W) sampel yang diekstraksi. Untuk perhitungan volume (V) larutan ekstraksi yang dibutuhkan dapat menggunakan formula di bawah ini :

$$V_{\text{Larutan Ekstraksi (mL)}} = 20 \times W_{\text{Sampel (gram)}}$$

F. *Preliminary Evaluation*

*Preliminary evaluation* perlu dilakukan terutama untuk menentukan jenis larutan ekstraksi yang akan digunakan dalam proses ekstraksi. Penentuan tersebut didasarkan pada pH terukur pada sampel setelah melalui proses *preliminary evaluation*. Berikut adalah prosedur untuk pelaksanaan *preliminary evaluation* :

1. Ayak sampel hingga lolos saringan 1 mm
2. Masukkan 5 gram sampel tanah ke dalam gelas beaker atau Erlenmeyer 500 mL

3. Tambahkan 96,5 mL aquades ke dalam 5 gram sampel dan tutup rapat
4. Aduk selama 5 menit menggunakan *magnetic stirrer*
5. Ukur nilai pH larutan menggunakan pH meter
6. Jika nilai pH < 5,0 maka gunakan larutan ekstraksi 1
7. Jika nilai pH > 5,0 maka lakukan prosedur di bawah ini :
  - Tambahkan 3,5 mL HCl 1N, aduk rata dan tutup rapat
  - Panaskan pada suhu 50°C selama 10 menit
  - Dinginkan hingga mencapai suhu ruangan dan ukur nilai pH larutan dengan pH meter
8. Jika nilai pH larutan dari langkah 7 < 5 maka gunakan larutan ekstraksi 1
9. Jika nilai pH larutan dari langkah 7 > 5 maka gunakan larutan ekstraksi 2.

#### G. Rotasi dan Agitasi

Berikut merupakan prosedur untuk pelaksanaan proses agitasi cairan hasil ekstraksi :

1. Tentukan berat cairan ekstraksi yang akan di agitasi
2. Masukkan cairan ekstraksi hasil perhitungan ke dalam botol ekstraksi dan tutup rapat
3. Lakukan proses rotasi dengan kecepatan  $30 \pm 2$  rpm selama  $18 \pm 2$  jam pada suhu  $23 \pm 2$  °C
4. Pisahkan padatan dari larutan dengan menggunakan filter dari kaca fiber
5. Analisis kandungan merkuri pada filtrat menggunakan Metode Dhitizone

### **IX. Prosedur Analisis Kadar Merkuri Menggunakan *Mercury Analyzer***

Pengujian kadar merkuri dapat dilakukan menggunakan *Mercury Analyzer*. Adapun prosedur pengujian menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

- A. Pembuatan Kurva Standar dan Pembacaan Sampel :
1. Tambahkan aquades ke dalam 1 mL larutan induk Hg 100 ppm hingga volume mencapai 100 mL (larutan Hg 1000 ppb)
  2. Tambahkan aquades ke dalam 0,1 mL larutan induk Hg 1000 ppb hingga volume mencapai 10 mL (larutan Hg 10 ppb)
  3. Tambahkan aquades ke dalam 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,8 ; 1,6 dan 3,2 mL larutan Hg 10 ppb hingga volume mencapai 10 mL
  4. Tambahkan 0,1 mL  $\text{KMnO}_4$  ke dalam masing-masing larutan lalu kocok hingga homogen
  5. Tambahkan 0,1 mL Hydroxyl-aminehydrochloride ke dalam masing-masing larutan lalu kocok hingga homogen
  6. Tambahkan 0,5 mL larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ke dalam masing-masing larutan
  7. Baca konsentrasi merkuri pada masing-masing larutan menggunakan *Mercury Analyzer*.
- B. Pengujian Kadar Merkuri :
1. Timbang *tailing* dan masukkan ke dalam Erlenmeyer 100 mL
  2. Tambahkan 5 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$
  3. Tambahkan 5 mL  $\text{HNO}_3$  :  $\text{HClO}_4$  (1:1)
  4. Panaskan sampel hingga jernih dan mengeluarkan asap putih
  5. Saring dan tambahkan aquades hingga volume mencapai 50 mL.
  6. Buat larutan blanko dengan perlakuan sama namun tanpa sampel *tailing*
  7. Ambil 10 mL larutan sampel dan tambahkan 0,1 mL  $\text{KMnO}_4$  0,1% lalu kocok hingga homogen
  8. Tambahkan 0,1 mL larutan Hydroxyl-aminehydrochloride lalu kocok hingga homogen
  9. Tambahkan 0,5 mL larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
  10. Baca konsentrasi merkuri menggunakan *Mercury Analyzer*

11. Hitung merkuri total menggunakan rumus di bawah ini :

$$\text{Kadar Merkuri} = \frac{(\text{Hg baca} - \text{blanko}) \times \text{Volume akhir} \times Fp}{\text{berat sampel}}$$

**X. Prosedur Analisis Kadar Merkuri Menggunakan Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)**

Pengujian kadar merkuri dapat dilakukan menggunakan *Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry*. Adapun prosedur pengujian berdasarkan *EPA Method 6010C* ini adalah sebagai berikut :

1. Siapkan larutan stock merkuri dengan cara berikut :
  - Larutkan 1,354 gram  $\text{HgCl}_2$  ke dalam aquades (perbandingan Hg = 0,7388)
  - Tambahkan 50 mL  $\text{HNO}_3$  pekat
  - Tambahkan aquades hingga volume mencapai 1000 mL.
2. Siapkan larutan blanko
3. Buat kurva standar
4. Baca konsentrasi merkuri pada tiap sampel
5. Hitung total merkuri dari hasil pembacaan.

## LAMPIRAN B PERHITUNGAN DATA

### I. PERHITUNGAN KONSENTRASI MERKURI PADA TAILING

Sampel	Berat Sampel (gram)	V Akhir (mL)	Hg Baca (µg/kg)	Fp
Komposit Tailing A	1,0202	50	0,17	40000
Komposit Tailing A	1,0242	50	0,16	40000
Blanko			0,11	40000

$$\begin{aligned}
 \text{- Tot. Konsentrasi Ulangan 1} &= \frac{(Hg \text{ baca} - \text{blanko}) \times \text{Volume akhir} \times Fp}{\text{berat sampel}} \\
 &= \frac{(0,17 - 0,11) \times 50 \times 40000}{1,0202} \\
 &= 313.663,99 \mu\text{g/kg} \\
 &= 313,66 \text{ mg/kg} \\
 \text{- Tot. Konsentrasi Ulangan 2} &= \frac{(Hg \text{ baca} - \text{blanko}) \times \text{Volume akhir} \times Fp}{\text{berat sampel}} \\
 &= \frac{(0,16 - 0,11) \times 50 \times 40000}{1,0242} \\
 &= 290.958,79 \mu\text{g/kg} \\
 &= 290,96 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

### II. PERHITUNGAN KADAR AIR

$$\begin{aligned}
 \text{- Kadar Air Ulangan 1 (\%)} &= \frac{56,7727 \text{ gram} - 51,9172 \text{ gram}}{56,7727 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 8,55 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Kadar Air Ulangan 2 (\%)} &= \frac{73,4150 \text{ gram} - 68,1760 \text{ gram}}{73,4150 \text{ gram}} \times 100\% \\
 &= 7,14 \%
 \end{aligned}$$

### III. PERHITUNGAN NILAI KUAT TEKAN (F) TAHAP I

#### a. Benda Uji Semen : Tras = 100 : 0

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{12350 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 494 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{12000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 480 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{494 + 480}{2} = 487 \text{ kg/cm}^2$$

#### b. Benda Uji Semen : Tras = 90 : 10

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{10750 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 430 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{8800 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 352 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{430 + 352}{2} = 436 \text{ kg/cm}^2$$

#### c. Benda Uji Semen : Tras = 80 : 20

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{10900 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 436 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{9600 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 384 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{436 + 384}{2} = 410 \text{ kg/cm}^2$$

#### d. Benda Uji Semen : Tras = 70 : 30

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{9150 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 366 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{11000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 440 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{366 + 440}{2} = 403 \text{ kg/cm}^2$$

**e. Benda Uji Semen : Tras = 60 : 40**

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{6550 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 262 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{9200 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 368 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{262 + 368}{2} = 315 \text{ kg/cm}^2$$

**f. Benda Uji Semen : Tras = 50 : 50**

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{7000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 276 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{6100 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 244 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{276 + 244}{2} = 262 \text{ kg/cm}^2$$

**g. Benda Uji Semen : Tras = 40 : 60**

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{7000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{6100 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 244 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{280 + 244}{2} = 260 \text{ kg/cm}^2$$

**h. Benda Uji Semen : Tras = 30 : 70**

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{4900 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 196 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{5400 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 216 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{196+216}{2} = 206 \text{ kg/cm}^2$$

**i. Benda Uji Semen : Tras = 20 : 80**

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{3550 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 142 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{5000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{142+200}{2} = 171 \text{ kg/cm}^2$$

**j. Benda Uji Semen : Tras = 10 : 90**

$$F_{\text{mortar 1}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{1800 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 72 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{mortar 2}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{3000 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 120 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{72+120}{2} = 96 \text{ kg/cm}^2$$

**IV. PERHITUNGAN NILAI KUAT TEKAN (F) TAHAP II**

**a. Benda Uji *Binder* : Tailing = 100 : 0**

$$F_{\text{mortar}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{3950 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 158,00 \text{ kg/cm}^2$$

**b. Benda Uji *Binder* : Tailing = 50 : 50**

$$F_{\text{mortar}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{2280 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 91,20 \text{ kg/cm}^2$$

**c. Benda Uji *Binder* : Tailing = 40 : 60**

$$F_{\text{mortar}} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{1840 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 73,60 \text{ kg/cm}^2$$

**d. Benda Uji *Binder* : Tailing = 30 : 70**

$$F \text{ mortar A} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{1260 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 50,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$F \text{ mortar B} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{1460 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 58,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{58,4 + 54,4}{2} = 54,40 \text{ kg/cm}^2$$

**e. Benda Uji *Binder* : Tailing = 20 : 80**

$$F \text{ mortar A} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{920 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 36,80 \text{ kg/cm}^2$$

$$F \text{ mortar B} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{780 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 31,20 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{72 + 120}{2} = 34,00 \text{ kg/cm}^2$$

**f. Benda Uji *Binder* : Tailing = 10 : 90**

$$F \text{ mortar A} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{200 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 8,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$F \text{ mortar B} = \frac{\text{Beban kuat tekan}}{\text{Luas permukaan}} = \frac{290 \text{ kg}}{25 \text{ cm}^2} = 11,60 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{\text{Rata-rata}} = \frac{F_{\text{mortar A}} + F_{\text{mortar B}}}{2} = \frac{8,00 + 11,60}{2} = 9,80 \text{ kg/cm}^2$$

## V. PERHITUNGAN STOIKIOMETRI KETERSEDIAAN DAN KEBUTUHAN $\text{Ca(OH)}_2$

- Reaksi pembentukan  $\text{Ca(OH)}_2$  dari reaksi hidrasi :  
 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
- Reaksi pemakaian  $\text{Ca(OH)}_2$  dalam reaksi pozzolanic :  
 $\text{SiO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Berat (gram) =  $\text{mol} \times \text{Mr}$
- % CaO pada semen : 64,18%

- % CaO pada tanah tras : 7%
- % SiO<sub>2</sub> pada tanah tras : 46%

Semen : Tras	Persentase		Berat (gram)	
	Semen	Tras	Semen	Tras
10 : 90	10%	90%	30	270
20 : 80	20%	80%	60	240
30 : 70	30%	70%	90	210
40 : 60	40%	60%	120	180
50 : 50	50%	50%	150	150
60 : 40	60%	40%	180	120
70 : 30	70%	30%	210	90
80 : 20	80%	20%	240	60
90 : 10	90%	10%	270	30
100 : 0	100%	0%	300	0

Semen : Tras	Berat (gram)		
	CaO semen	CaO tanah tras	SiO <sub>2</sub> tanah tras
10 : 90	19.25	18.90	124.20
20 : 80	38.51	16.80	110.40
30 : 70	57.76	14.70	96.60
40 : 60	77.02	12.60	82.80
50 : 50	96.27	10.50	69.00
60 : 40	115.52	8.40	55.20
70 : 30	134.78	6.30	41.40
80 : 20	154.03	4.20	27.60
90 : 10	173.29	2.10	13.80
100 : 0	192.54	0.00	0.00

Mr		
CaO	56	gram/mol
H <sub>2</sub> O	18	gram/mol
Ca(OH) <sub>2</sub>	74	gram/mol
SiO <sub>2</sub>	60	gram/mol

Contoh perhitungan berat Ca(OH)<sub>2</sub> yang dihasilkan dan yang dibutuhkan untuk pelaksanaan proses hidrasi dan pozzolanic pada benda uji dengan komposisi semen : tanah tras = 10 : 90 adalah sebagai berikut :

Reaksi hidrasi menghasilkan Ca(OH)<sub>2</sub> sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat CaO} &= \text{CaO semen} + \text{CaO tanah tras} \\
 &= 19,25 \text{ gram} + 18,9 \text{ gram} \\
 &= 38,15 \text{ gram} \\
 \text{mol CaO} &= 0,68 \text{ mol} \\
 \text{mol Ca(OH)}_2 &= \text{mol CaO} \\
 &= 0,68 \text{ mol} \\
 \text{Berat Ca(OH)}_2 &= 50,42 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Reaksi pozzolanic membutuhkan Ca(OH)<sub>2</sub> sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat SiO}_2 &= 124,20 \text{ gram} \\
 \text{mol SiO}_2 &= 2,07 \text{ mol} \\
 \text{mol Ca(OH)}_2 &= \text{mol SiO}_2 \\
 &= 2,07 \text{ mol} \\
 \text{Berat Ca(OH)}_2 &= 153,18 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Dengan contoh perhitungan di atas, selanjutnya diperoleh berat Ca(OH)<sub>2</sub> yang dihasilkan dan yang dibutuhkan seperti terlihat pada tabel berikut :

Semen : Tras	Berat (gram)	
	Ca(OH) <sub>2</sub> dihasilkan	Ca(OH) <sub>2</sub> dibutuhkan
10 : 90	50,42	153,18
20 : 80	73,09	136,16
30 : 70	95,75	119,14
40 : 60	118,42	102,12
50 : 50	141,09	85,10
60 : 40	163,76	68,08
70 : 30	186,42	51,06
80 : 20	209,09	34,04
90 : 10	231,76	17,02
100 : 0	254,43	0,00

## VI. PENAKSIRAN NILAI TCLP MENGGUNAKAN PERSAMAAN REGRESI

- Persamaan Regresi :

$$y = -0,038x + 5,292$$

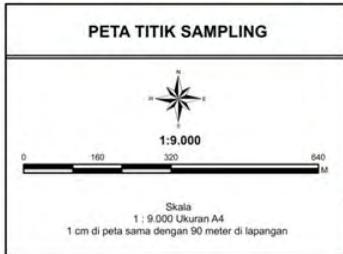
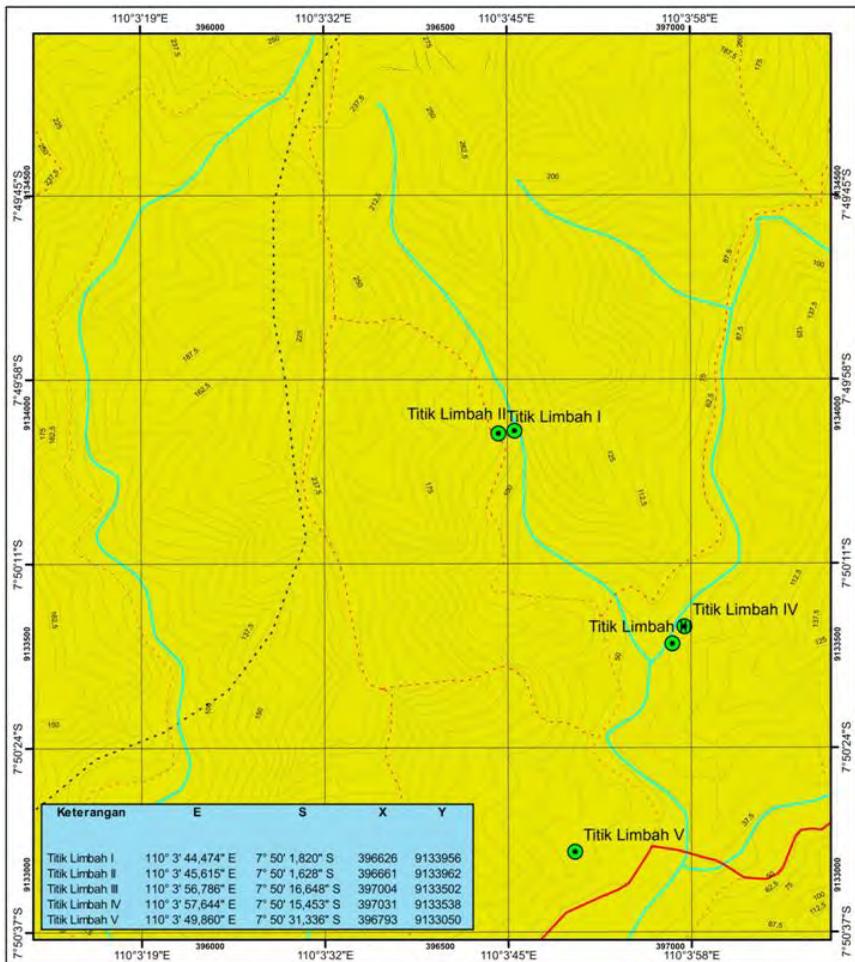
dengan, y = Nilai TCLP (mg/L)

$$x = \text{Nilai Kuat Tekan (kg/cm}^2\text{)}$$

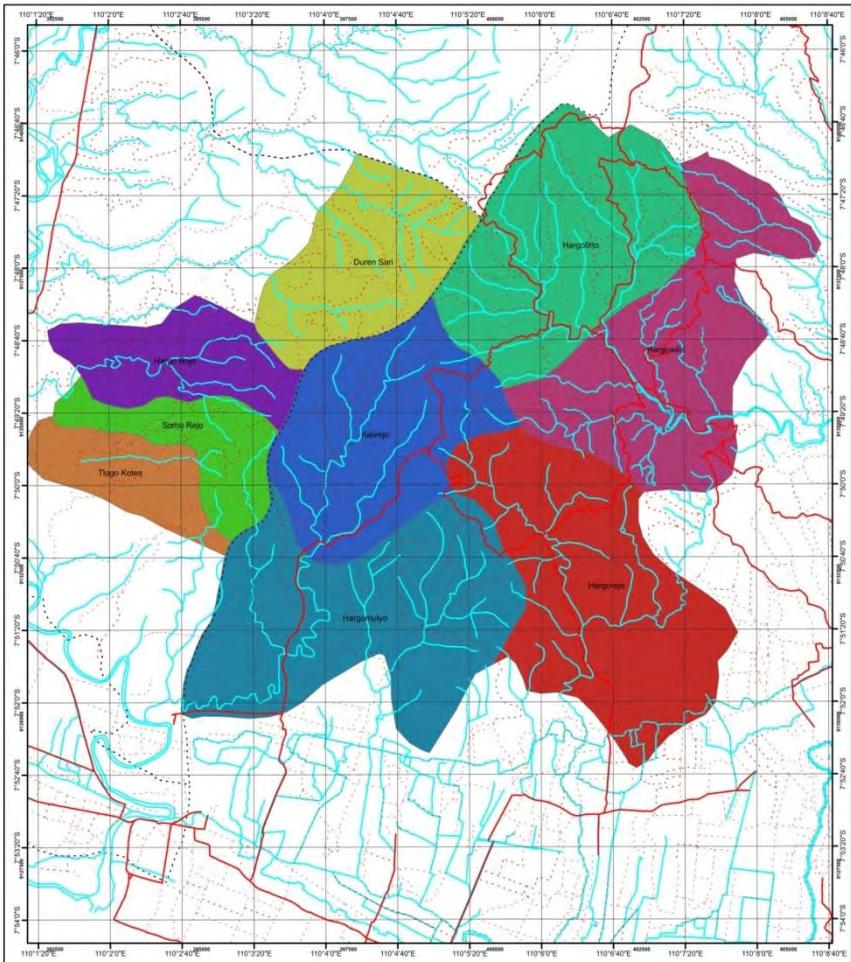
- Nilai kuat tekan komposisi 10:90 (x) = 9,8 kg/cm<sup>2</sup>
- Nilai TCLP komposisi 10:90 (y) = -0,038x + 5,292  
= (-0,038 x 9,8) + 5,292  
= 4,92 mg/L

**LAMPIRAN C**  
**PETA DAN GAMBAR**

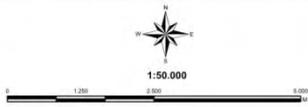
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**PETA ADMINISTRASI**



**Keterangan :**

- - adm\_jateng
- Jalan Lokal
- - - Jalan Setapak
- - - Jalan Lain
- Sungai

- Duren Sari
- Hargojo
- Hargomulyo
- Hargorejo
- Hargolito
- Hargowilis
- Kallirejo
- Somo Rejo
- Tiogo Kotes

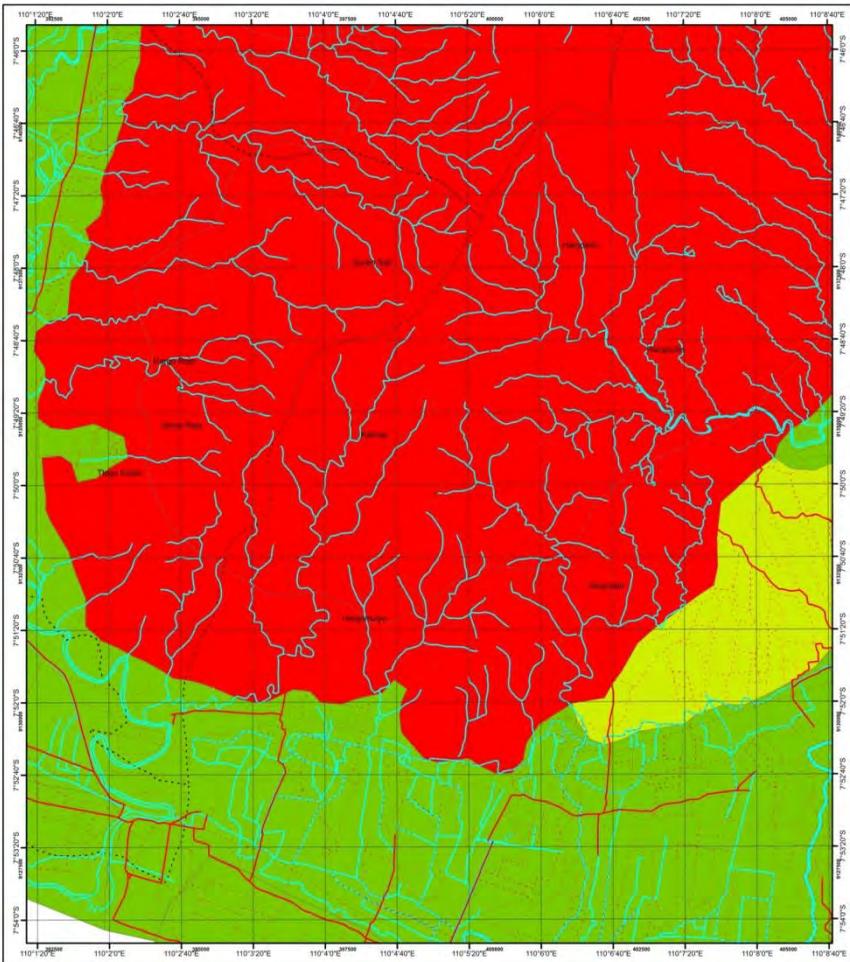
**Sumber Peta:**

1. Peta RBI Wates, Lembar 1408 - 214 Skala 1 : 25.000
2. Peta Wilayah Administrasi Kabupaten Kulonprogo

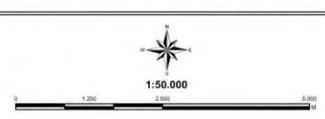


**Informasi Kartografi**  
 Sistem Grid : Grid Geografis  
 Datum Unit : WGS 84  
 Proyeksi : Universal Transverse Mercator  
 Zona UTM : 49 S

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



### PETA KEMIRIGAN LERENG



Skala  
1 : 50.000 Ukuran A4  
1 cm di peta sama dengan 500 meter di lapangan

#### Keterangan :

- - - adm. piling
  - == Jalan Lokal
  - - - Jalan Setapak
  - - - Jalan Lain
  - ~ Sungai
- 0 - 8% (Datar)
  - 15 - 25% (Landa)
  - 25 - 40% (Agak Curam)
  - 8 - 15% (Curam)
  - > 40% (Sangat Curam)

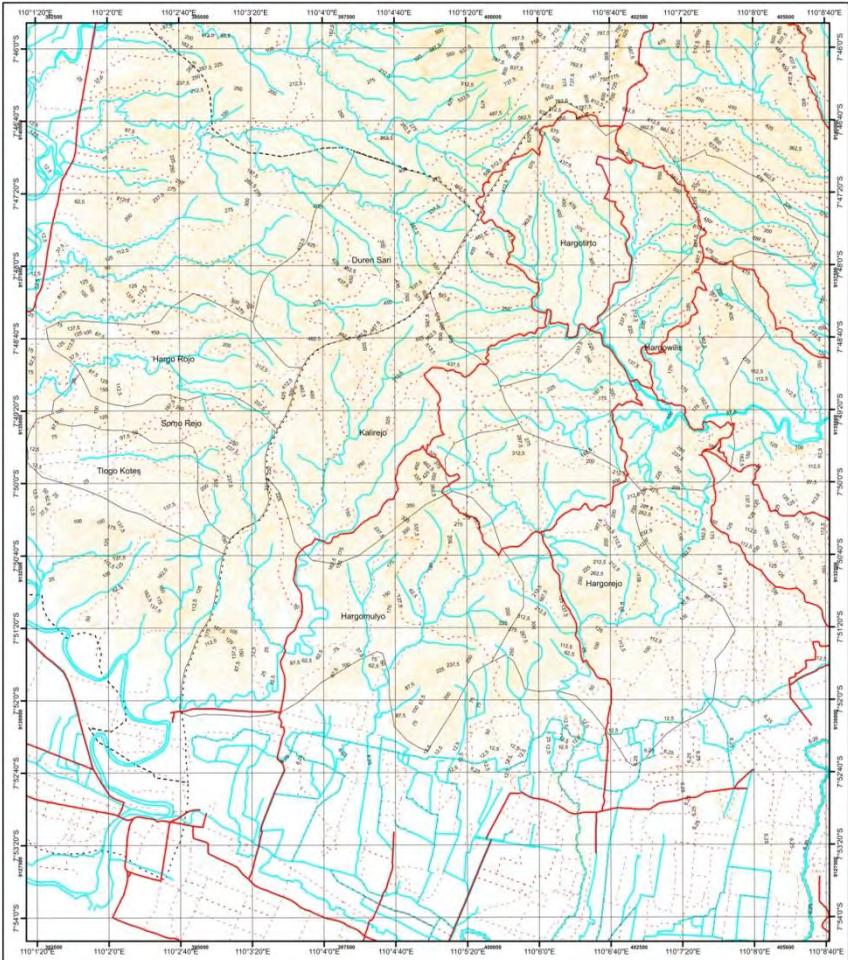
#### Sumber Peta:

1. Citra SRTM 30 M
2. Peta Wilayah Administrasi Kabupaten Kulonprogo



Informasi Kartografi  
Sistem Grid : Grid Geografis  
Datum UTM : WGS 84  
Proyeksi : Universal Transverse Mercator  
Zona UTM : 49 S

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**PETA TOPOGRAFI**



Skala  
1 : 50.000 Ukuran A4  
1 cm di peta sama dengan 500 meter di lapangan

**Keterangan :**

- - adm\_jaleng
- Jalan Lokal
- - - Jalan Setapak
- - - Jalan Lain
- Sungai
- Garis Kontur

**Sumber Peta:**

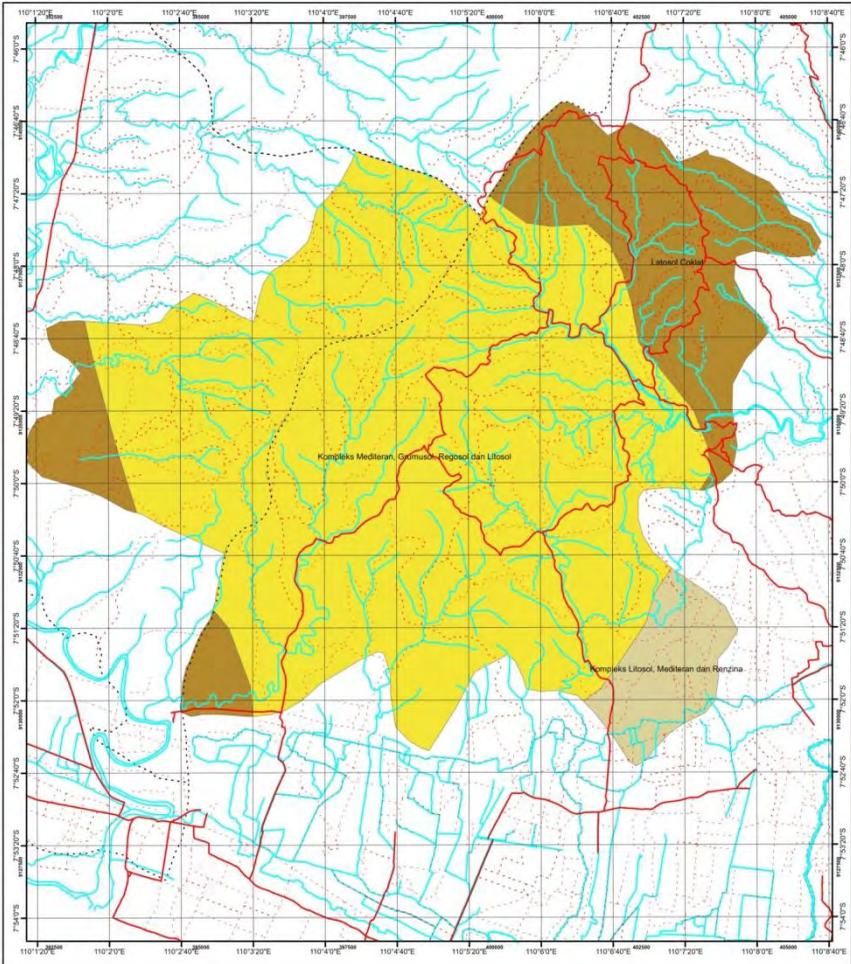
1. Citra SRTM 30 M
2. Peta Wilayah Administrasi Kabupaten Kulonprogo



**Informasi Kartografi**

- Sistem Grid : ..... Grid Geografis
- Datum Unik : ..... WGS 84
- Proyeksi : ..... Universal Transverse Mercator
- Zona UTM : ..... 49 S

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**PETA JENIS TANAH**



- Keterangan :**
- - - adm. jating
  - Jalan Lokal
  - - - Jalan Setapak
  - - - Jalan Lain
  - Sungai
- Kompleks Litosol, Mediteran dan Renzina
  - Kompleks Mediteran, Grumusal, Regosol dan Litosol
  - Litosol Coklat

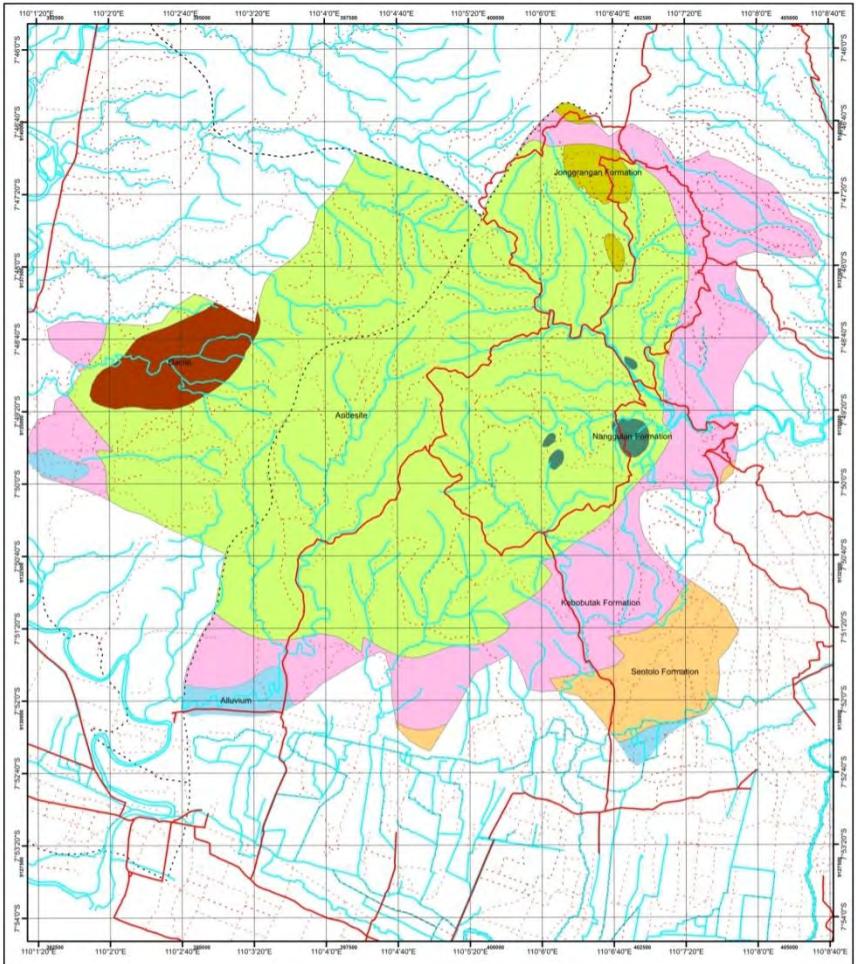
- Sumber Peta:**
1. Peta Jenis Tanah Regional Kulon Progo Skala 1 : 25.000
  2. Peta Wilayah Administrasi Kabupaten Kulonprogo



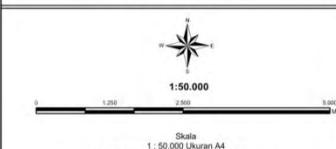
**Informasi Kartografi**

Sistem Grid : ..... Grid Geografis  
 Datum Unit : ..... WGS 84  
 Proyeksi : ..... Universal Transverse Mercator  
 Zona UTM : ..... 49 S

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



**PETA GEOLOGI**



**Keterangan :**

- - adm. jating
- Jalan Lokal
- - Jalan Setapak
- - Jalan Lain
- Sungai

- Alluvium
- Andesite
- Diale
- Zonggrangan Formation
- Habohuk Formation
- Nangulan Formation
- Sectolo Formation



**Sumber Peta:**

1. Peta RBI Notes, Lembar 1408 - 214 Skala 1 : 25.000
2. Peta Wilayah Administrasi Kabupaten Kulonprogo

Informasi Kartografi  
 Sistem Grid : Grid Geografis  
 Datum Unit : WGS 84  
 Proyeksi : Universal Transverse Mercator  
 Zona UTM : 49 S

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LAMPIRAN D**  
**LAMPIRAN PERATURAN PERUNDANGAN**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN I PP NO 101 TAHUN 2014



PRESIDEN  
REPUBLIC INDONESIA

- 64 -

TABEL 4. DAFTAR LIMBAH B3 DARI SUMBER SPESIFIK KHUSUS

KODE LIMBAH	JENIS LIMBAH B3	SUMBER LIMBAH	KATEGORI BAHAYA
B401	<i>Copper slag</i>	Proses peleburan bijih tembaga ( <i>smelter</i> ) dari proses primer dan sekunder.	2
B402	<i>Steel slag</i>	Proses peleburan bijih dan/atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>electric arc furnace (EAF)</i> , <i>blast furnace</i> , <i>basic oxygen furnace (BOF)</i> , <i>induction furnace</i> , <i>kupola</i> , dan/atau <i>submerge arc furnace</i>	2
B403	<i>Slag nikel</i>	Proses peleburan bijih nikel	2
B404	<i>Slag timah putih</i>	Proses peleburan timah putih ( <i>Sn</i> )	2
B405	<i>Iron concentrate</i>	Proses peleburan bijih dan/atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>electric arc furnace (EAF)</i>	2
B406	<i>Mill scale</i>	Proses peleburan bijih dan/atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>electric arc furnace (EAF)</i> dan/atau proses <i>reheating furnace</i>	2
B407	Debu <i>EAF</i>	Proses peleburan bijih dan/atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>electric arc furnace (EAF)</i>	2
B408	<i>PS ball</i>	Proses peleburan bijih dan/atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>electric arc furnace (EAF)</i>	2
B409	<i>Fly ash</i>	Proses pembakaran batubara pada fasilitas pembangkitan listrik tenaga uap <i>PLTU</i> , <i>boiler</i> dan/atau tungku industri	2
B410	<i>Bottom ash</i>	Proses pembakaran batubara pada fasilitas <i>PLTU</i> , <i>boiler</i> dan/atau tungku industri	2
B411	<i>Sludge IPAL</i>	Proses Pengolahan Air Limbah dari industri pulp	2



PRESIDEN  
REPUBLIK INDONESIA

- 65 -

KODE LIMBAH	JENIS LIMBAH B3	SUMBER LIMBAH	KATEGORI BAHAYA
E412	Dreg dan grits	Proses <i>recovery black liquor</i> dari industri <i>virgin pulp</i>	2
E413	<i>Spent bleaching earth</i>	Proses industri <i>oleochemical</i> dan/atau pengolahan minyak hewani atau nabati	2
E414	Gypsum	1. Proses desulfurisasi pada PLTU; 2. Proses pembuatan pupuk fosfat dengan proses basah menggunakan asam sulfat pada industri pupuk; dan/atau 3. Proses dekalnsifikasi tetes tebu dengan asam sulfat pada industri <i>mono sodium glutamate (MSG)</i>	2
E415	Kapur (CaCO <sub>3</sub> )	Proses pembuatan pupuk amonium sulfat ( <i>suavelmaer amonia</i> ) pada industri pupuk	2
E416	Tailing	Proses pengolahan bijih mineral logam pada industri pertambangan.	2
E417	Refraktori bekas yang dihasilkan dari fasilitas termal	Proses industri yang menggunakan fasilitas termal antara lain berupa tungku bakar, boiler, <i>pot lining</i> , dan fasilitas sejenis	2

PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA,

tttd.

DR. H. SUSILO BAMBANG YUDHOYONO

Salinan sesuai dengan aslinya  
KEMENTERIAN SEKRETARIAT NEGARA  
REPUBLIK INDONESIA

Deputi Perundang-undangan  
Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian,



Silvanna Djaman

## LAMPIRAN IV PP NO 101 TAHUN 2014



PRESIDEN  
REPUBLIK INDONESIA

LAMPIRAN IV  
PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK  
INDONESIA  
NOMOR 101 TAHUN 2014  
TENTANG  
PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA  
DAN BERACUN

BAKU MUTU KARAKTERISTIK BERACUN MELALUI TCLP UNTUK PENETAPAN  
STANDAR PENGOLAHAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN  
SEBELUM DITEMPATKAN DI FASILITAS PENIMBUSAN AKHIR

ZAT PENCEMAR	TCLP
Satuan (berat kering)	(mg/L)
<b>PARAMETER WAJIB</b>	
<b>ANORGANIK</b>	
Antimoni, Sb	1
Arsen, As	0,5
Barium, Ba	35
Berilium, Be	0,5
Boron, B	25
Kadmium, Cd	0,15
Krom valensi enam, Cr <sup>6+</sup>	2,5
Tembaga, Cu	10
Timbal, Pb	0,5
Mercuri, Hg	0,05
Molibdenum, Mo	3,5
Nikel, Ni	3,5
Selenium, Se	0,5
Perak, Ag	5
Tribungitin oxide	0,05
Seng, Zn	50
<b>ANION</b>	
Klorida, Cl <sup>-</sup>	12500
Sianida (total), CN <sup>-</sup>	3,5
Fluorida, F <sup>-</sup>	75
Iodida, I <sup>-</sup>	5
Nitrat, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2500



PRESIDEN  
REPUBLIK INDONESIA

- 2 -

ZAT PENCEMAR	TCLP
Satuan (berat kering)	(mg/L)
Nitrit, $\text{NO}_2^-$	150
ORGANIK	
Benzena	0,5
Benzo(a)pirena	0,0005
Karbon tetraklorida	0,2
Klorobenzena	15
Kloroform	3
2 Klorofenol	5
Kresol (total)	100
Di (2 etilheksil) ftalat	0,4
1,2-Diklorobenzena	50
1,4-Diklorobenzena	15
1,2-Dikloroetana	2,5
1,1-Dikloroetana	3
1-2-Dikloroetana	2,5
Diklorometana (metilen klorida)	1
2,4-Diklorofenol	10
2,4-Dinitrotoluena	0,065
Etilbenzena	15
Ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA)	30
Formaldehida	25
Heksklorobutadiena	0,03
Metil etil keton	100
Nitrobenzena	1
Fenol (total, non-terhalogenasi)	7
Stirena	1
1,1,1,2-Tetrakloroetana	4
1,1,2,2-Tetrakloroetana	0,65
Tetrakloroetana	2,5
Toluena	35
Triklorobenzena (total)	1,5
1,1,1-Trikloroetana	15
1,1,2-Trikloroetana	0,6
Trikloroetana	0,25
2,4,5-Triklorofenol	200



PRESIDEN  
REPUBLIK INDONESIA

- 3 -

ZAT PENCEMAR	TCLF
Satuan (berat kering)	(mg/L)
2,4,6-Triklorofenol	1
Vinil Klorida	0,015
Ksilena (total)	25
PESTISIDA	
Aldrin + dieldrin	0,0015
DDT + DDD + DDE	0,05
2,4-D	1,5
Klordana	0,01
Heptaklor	0,015
Lindana	0,1
Metokniklor	1
Pentaklorofenol	0,45
PARAMETER TAMBAHAN	
Endrin	0,02
Heksaklorobenzena	0,15
Heksakloroetana	3
Piridina	5
Toksafena	0,5
2,4,5-TP (silvax)	1

Keterangan:  
Analisis terhadap parameter tambahan dilakukan secara langsung (*purposive*) terhadap limbah yang mengandung zat pencemar dimaksud.

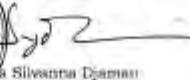
PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA,

td.

DR. H. SUSILO BAMBANG YUDHOYONO

Salinan sesuai dengan aslinya  
KEMENTERIAN SEKRETARIAT NEGARA  
REPUBLIK INDONESIA

Deputi Perundang-undangan  
dan Perencanaan,  
Silvanna Djaman



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Komposisi optimum antara semen *Portland* dan tanah tras adalah 40:60 dengan nilai kuat tekan sebesar 260,00 kg/cm<sup>2</sup>.
2. Komposisi optimum antara campuran *binder* (semen dan tanah tras) dan *tailing* adalah 50:50 dengan nilai kuat tekan 92,40 kg/cm<sup>2</sup> dan hasil uji TCLP < 0,21 mg/L.

#### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan dari hasil dan pelaksanaan penelitian ini yaitu dalam melaksanakan pengujian konsentrasi merkuri sebaiknya menggunakan metode dengan range *limit of detection* (LOD) yang lebih besar. Dengan demikian, sampel dengan konsentrasi merkuri yang sangat rendah ataupun sangat tinggi tetap dapat terukur. Hal tersebut dapat mempermudah penentuan tingkat efektifitas proses S/S dengan menentukan efisiensi pengikatan merkuri dalam matriks *binder* yang digunakan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). *Priority List of Hazardous Substances*. Web page : [www.atsdr.cdc.gov](http://www.atsdr.cdc.gov). Diakses pada : 26 Maret 2015
- Ahmad, A. 2011. *Meningkatkan Pelepasan Unsur Hara dari Batuan Beku dengan Senyawa Humat*. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Alpers, C. N. dan M. P. Hunerlach. 2000. *Mercury Contamination from Historic Gold Mining in California*. US Geological Survey, Fact Sheet FS-061-00
- Appel, P.W.U. dan Na-Oy, L.D. 2014. *Mercury-Free Gold Extraction Using Borax for Small-Scale Gold Miners*. Journal of Environmental Protection, 5:493-499
- ASTM International. 2012. ASTM C618-12A : *Standar Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*
- BSN. 1995. *SNI 03-3976-1995 Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton*
- BSN. 2004. *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*
- BSN. 2008. *SNI 1972-2008 Cara Uji Slump Beton*
- BSN. 2011. *SNI 2493-2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*
- Barth, E.F. 1990. *An Overview of the History, Present Status, and Future Direction of Solidification/Stabilization Technologies for Hazardous Waste Treatment*. Journal of Hazardous Materials, 24:103-109
- Bone, B.D., Barnard, L.H. dan Hills, C.D. 2004. *Guidance on the Use of Stabilisation/Solidification fir the Treatment of*

*Contaminated Soil*. Science Report : SC980003/SR1,  
Environment Agency

- Budi, G.S., Cristanto, A. dan Setiawan, E. 2003. *Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif*. Civil Engineering Dimension, Vol. 5 No.1:20-24
- Chunhacherdchai, L., Chotpantararat, S. dan Tongcumpou, C. 2011. *Investigating of Heavy Metals in Different Depths of Soil Tailings from Akara Gold Mine, Thailand Using Three-Steps Modified BCR Sequential Extraction*. 2011 2<sup>nd</sup> International Conference on Environmental Science and Technology. IPCBEE vol. 6 IACSIT Press Singapore
- Crane, R.E., Cassidy, D.P., Srivastava, V.J. 2014. *Activated Carbon Preconditioning to Reduce Contaminant Leaching in Cement-Based Stabilization of Soils*. Journal of Environmental Engineering 2014.140
- Dastoor, A.P. dan Larocque, Y. 2004. *Global Circulation of Atmospheric Mercury : A Modelling Study*. Atmospheric Environment, 38:147-161
- Day, R.L. dan L. Konecny. 1989. *Relationships between Permeability and Microstructural Characteristic of Fly Ash Mortars*. Materials Research Society Symposium Proceedings, 137:391-402
- Diamond, S. 1986. *Chloride Concentration in Concrete Pore Solution Resulting from Calcium and Sodium Chloride Admixtures*. Cement, Concrete and Aggregates, Volume 8, Issue 2
- EPA Victoria. 2009. *Industrial Waste Resources Guidelines*. Environmental Protection (Industrial Waste Resource) Regulations 2009
- Ganjidoust, H., Hassani, A., Ashkiki, A. 2009. *Cement-Based Solidification/Stabilization of Heavy Metal Contaminated Soils with The Objective of Achieving High Compression*

*Strength for The Final Matrix*. Scientia Iranica, 16:107-115

- Gibb, H. dan O'Leary, K. G. 2014. *Mercury Exposure and Health Impacts among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Community : A Comprehensive Review*. Environmental Health Perspectives, 122:667-672
- Gruenwald, W. dan Makepeace, D. 2010. *Technical Report on the Blackdome Mine Tailings Clinton, British Columbia*
- Hagemann, S. 2009. *Technologies for the Stabilization of Elemental Mercury and Mercury-Containing Wastes*. Final Report GRS-252
- Hargono, Jaeni, M. dan Budi, F. S. 2009. *Pengaruh Perbandingan Semen Pozolan dan Semen Portland terhadap Kekekalan Bentuk dan Kuat Tekan Semen*. Momentum Vol. 5 No. 2 : 21-25
- Hatmoko, J.T. dan Lulie, Y. 2007. UCS Tanah Lempung Ekspansif yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur. Jurnal Teknik Sipil Vol. 8 No. 1:64-77
- Henry, D. 2013. *An Environmental Assessment of Mercury Released by Small and Medium Scale Miners in Upper Mazaruni (Imbaimadai & Ominike)*. Final year Project Report 2012/2013
- Herman, D. Z. 2006. *Pertambangan Tanpa Izin (PETI) dan Kemungkinan Alih Status Menjadi Pertambangan Skala Kecil*. Buletin Vol. 1, No. 2 Penyelidik Bumi Madya, Kelompok Kerja Konservasi, Pusat Sumber Daya Geologi
- Kalb, P.D., Melamed, D., Patel, B.R. dan Fuhrmann. 2002. *Treatment of Mercury Containing Waste*. United State Patent, Patent No : US 6,399,849 B1
- Kitong, M.T., Abidjulu, J dan Koleangan, H.S.J. 2012. *Analisis Merkuri (Hg) dan Arsen (As) di Sedimen Sungai*

*Ranoyapo Kecamatan Amurang Sulawesi Utara. Jurnal MIPA UNSRAT Online 1, 1:16-19*

- LaGrega, M.D., Buckingham, P.I. dan Evans, J.C. 1994. *Hazardous Waste Management*. Singapore : McGraw-Hill, Inc
- Mulyati, S., Dahlan, D. dan Adril, E. 2012. *Pengaruh Persen Massa Hasil Pembakaran Serbuk Kayu dan Ampas Tebu pada Mortar terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisisnya*. Jurnal Ilmu Fisika Vol. 4 No. 1
- Nazmi, A.S. 2011. *Karakterisasi dan Penentuan Kandungan Limbah Tailing Pertambangan Emas Rakyat di Daerah Selogiri Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Nugroho, A.Z. dan Widodo, S. 2010. *Efek Perbedaan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Agregat Breksi Batu Apung*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Yogyakarta
- Palar, H., Monintja, S., Turangan, A.E. dan Sarajar, A.N. 2013. *Pengaruh Pencampuran Tras dan Kapur Pada Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung*. Jurnal Sipil Statik, 1, 6:390-399
- Pamuji, A.L. 2007. *Pengaruh Penambahan Tras Muria Sebagai Bahan Ikat Tambahan pada Pembuatan Paving Block Ditinjau terhadap Nilai Kuat Tekan, Ketahanan Aus dan Serapan Air*. Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang
- Paria, S. dan Yuet, P. K. 2006. *Solidification/Stabilization of Organic and Inorganic Contaminants Using Portland Cement : A Literature Review*. Environmental Reviews, Volume 14:217-255
- Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Pemerintah Republik Indonesia

- Putra, D. 2006. *Penambahan Abu Sekam pada Beton dalam Mengantisipasi Kerusakan Akibat Magnesium Sulfat pada Air Laut*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 10 No. 2
- Setiabudi, B.T. 2005. *Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta*. Kolokium Hasil Lapangan-DIM Subdit Konservasi
- Simamora, B. 2000. *Panduan Riset Perilaku Konsumen*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- Stwertka, A. 1998. *Guide to The Elements*. New York : Oxford University Press
- Sudarmadji. 2006. *Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan*. Kesehatan Lingkungan FKM Universitas Airlangga
- Sugiata. 2010. *Identifikasi Kation Secara Basah*. Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika Dan IPA, Universitas Pendidikan Ganesha Singaraja
- Sulastrri, S. dan Kristianingrum, S. 2010. *Berbagai Macam Senyawa Silika : Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 15 Mei 2010
- Suparjo, M dan Suhana. 2005. *Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Komposisi Campuran Beton Ringan Tanpa Pasir dengan Agregat Limbah Batu Apung*. Alamat Web : <http://ejournal.ftunram.ac.id/abstrak.php?id=3&vol=3&edisi=1&idisi=144&baca=1>. Diakses pada : 20 Agustus 2015
- Suwignyo, G. A. L. 2015. *Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus dengan Serbuk Kaca Terhadap Sifat Mekanik Beton*. Thesis Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

- Suyono, A. 2011. *Dampak Penggunaan Hg pada Penambangan Emas Rakyat terhadap Lingkungan (Studi Kasus Dusun Sangon Kelurahan Kalirejo Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo Provinsi DIY)*. Prodi Teknik Lingkungan FTM Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
- Syamsuddin, R., Wicaksono, A dan Fazairin, M.F. 2011. *Pengaruh Air Laut pada Perawatan (Curing) Beton Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Variasi Faktor Air Smen dan Durasi Perawatan*. Jurnal Rekayasa Sipil, 5:68-75
- Tampenawas, R.J., Manalip, H., Pandaleke, R. dan Khosama, L.K. *Optimalisasi Konsentrasi Tailing Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Beragregat Halus Pecahan Kaca dan Pasir*. Jurnal Sipil Statik, 1, 2:70-76
- Tariq, A. dan Yanful, E. K. 2013. *A Review of Binders Used in Cemented paste tailings for Underground and Surface Disposal Practices*. Journal of Environmental Management, 131:138-149
- Taqumi, T. 2013. *Bahan Galian Industri*. Alamat Web : <http://taqwateknikpertambanganumi.blogspot.co.id/>. Diakses pada : 11 September 2015
- Trihadiningrum, Y. 2000. *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS Surabaya
- Tugino. 2010. *Model Kuat Tekan dan Tarik Proporsi Tras Muria dengan Kapur untuk Bahan Dasar Mortar*. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan, 12, 1:1-10
- Tumenbayar, B. 2006. *Environmental Sampling for Mercury Study*. Bandung : Workshop on the State-of-the Art of Science and Technology to Protect the Environment and People

- Ulanadhari, O.W. 2014. *Sistem Informasi Geografis Inventarisasi Bahan Galian Mineral dan Batu Bara Di Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta Berbasis Web (Studi Kasus : Dinas Perindustrian Perdagangan dan Energi Sumber Daya Mineral Kabupaten Kulon Progo)*. Fakultas Teknik, Sains dan Matematika, UPN Veteran Yogyakarta
- UNEP. 2008. *The Global Atmospheric Mercury Assesment : Sources, Emissions and Transport*. Geneva : UNEP-Chemicals
- US EPA. 1994. *SOP# 2016 Sediment Sampling*
- US EPA. 1996. *Method 3050B Acid Digestion of Sediment, Sludges and Soils*
- US EPA. 2002. *Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection for Use in Developing a Quality Assurance Project Plan*
- US EPA. 2003. *Appendix C : Characterization of Ore, Waste Rock and Tailings*. EPA and Hardrock Mining : A Source Book for Industry in the Northwest and Alaska
- Viega, M.M. dan Baker, R.F. 2004. *Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners*. Vienna, Austria : GEF/UNDP/UNIDO, 2004:294
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C.W.N. dan Shang, L. 2012. *Remediation of Mercury Contaminated Sites – A Review*. Journal of Hazardous Materials 221-222:1-18
- Warlina, L. 2004. *Pencemaran Air, Sumber dan Penanggulangannya*. Bogor : Program Pasca Sarjana IPB
- Weitzman, L. 1990. *Factors for Selecting Appropriate Solidification/Stabilization Methods*. Journal of Hazardous Materials, 24:157-168

- WHO (World Health Organization). 2007. *Exposure to Mercury : A Major Public Health Concern*. Geneva : WHO.
- Widhiyatna, D., Tjahjono, B., Gunrady, R., Sukandar, M. dan Ta'in, Z. 2005. *Pendataan Sebaran Merkuri di Daerah Cineam, Kab.Tasikmalaya, Jawa Barat dan Sangon, Kab. Kulon Progo, DI Yogyakarta*. Kolokium Hasil Lapangan-DIM 2005, Subdit Konservasi
- Wiles, C.C. 1987. *A Review of Solidification/Stabilization Technology*. Journal of Hazardous Materials, 14:5-21
- Wiryasa, N.M.A dan Sudarsana, I.W. 2009. *Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Bahan Substitusi Semen dalam Pembuatan Bata Beton Pejal*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 13, 1:39-46
- Yuliandini, A. dan Putra, A. 2013. *Pengaruh Formasi Batuan Terhadap Karakteristik Hidrokimia Lima Sumber Mata Air Panas di Daerah Sapan, Pinang Awan, Kecamatan Alam Pauah Duo, Kabupaten Solok Selatan*. Jurnal Fisika Unand Vol. 2 No. 4

## BIOGRAFI PENULIS



Thaniya Triagustine Kalimantanoro lahir di Pacitan pada tanggal 3 Agustus 1993. Penulis memulai pendidikan dasar di SD Negeri Baleharjo II Pacitan pada tahun 2000-2006. Penulis kemudian melanjutkan studi di SMP Negeri 1 Pacitan pada tahun 2006-2009 dan di SMA Negeri 10 Malang-Sampoerna Academy tahun 2009-2012. Penulis menempuh pendidikan S1 pada tahun 2012-2016 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah menjabat sebagai Bendahara *Environmental Engineering English Community* (EEEEC) dan staf bidang Human Resource Departemen Event Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) periode 2013-2014. Penulis juga aktif mengikuti berbagai seminar dan pelatihan baik di dalam maupun di luar kampus.

Pengalaman kerja yang dimiliki oleh penulis yaitu sebagai peserta Kerja Praktik di bagian Instalasi Sanitasi RSUD Haji Surabaya pada tahun 2014. Penulis juga bekerja sebagai tenaga peneliti dalam “Kajian Status Lingkungan Pesisir dan Laut” oleh Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Gresik pada tahun 2016. Penulis dapat dihubungi via email [thaniyatk@gmail.com](mailto:thaniyatk@gmail.com).