



TUGAS AKHIR - RE 141581

**STABILISASI/SOLIDIFIKASI LIMBAH B-3
MENGANDUNG LOGAM BERAT DAN
HIDROKARBON DENGAN SEMEN *PORTLAND* DAN
TANAH TRAS**

Ristra Megawati Asti Pratiwi
NRP 3311 100 046

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RE 141581

**STABILIZATION/SOLIDIFICATION OF
HAZARDOUS WASTE CONTAINING HEAVY
METALS AND HYDROCARBONS WITH PORTLAND
CEMENT AND TRAS SOIL**

Ristra Megawati Asti Pratiwi
NRP 3311 100 046

Supervisor
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN
STABILISASI/SOLIDIFIKASI LIMBAH B-3
MENGANDUNG LOGAM BERAT DAN
HIDROKARBON DENGAN SEMEN PORTLAND DAN
TANAH TRAS
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana
Pada

Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
RISTRA MEGAWATI ASTI PRATIWI
3311100046

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc
NIP. 19530706 198403 2 004

SURABAYA, JANUARI 2015



ABSTRAK

Stabilisasi/Solidifikasi Limbah B-3 Mengandung Logam Berat dan Hidrokarbon dengan Semen *Portland* dan Tanah Tras

Nama Mahasiswa : Ristra Megawati Asti Pratiwi
NRP : 3311 100 046
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah T., MAppSc.

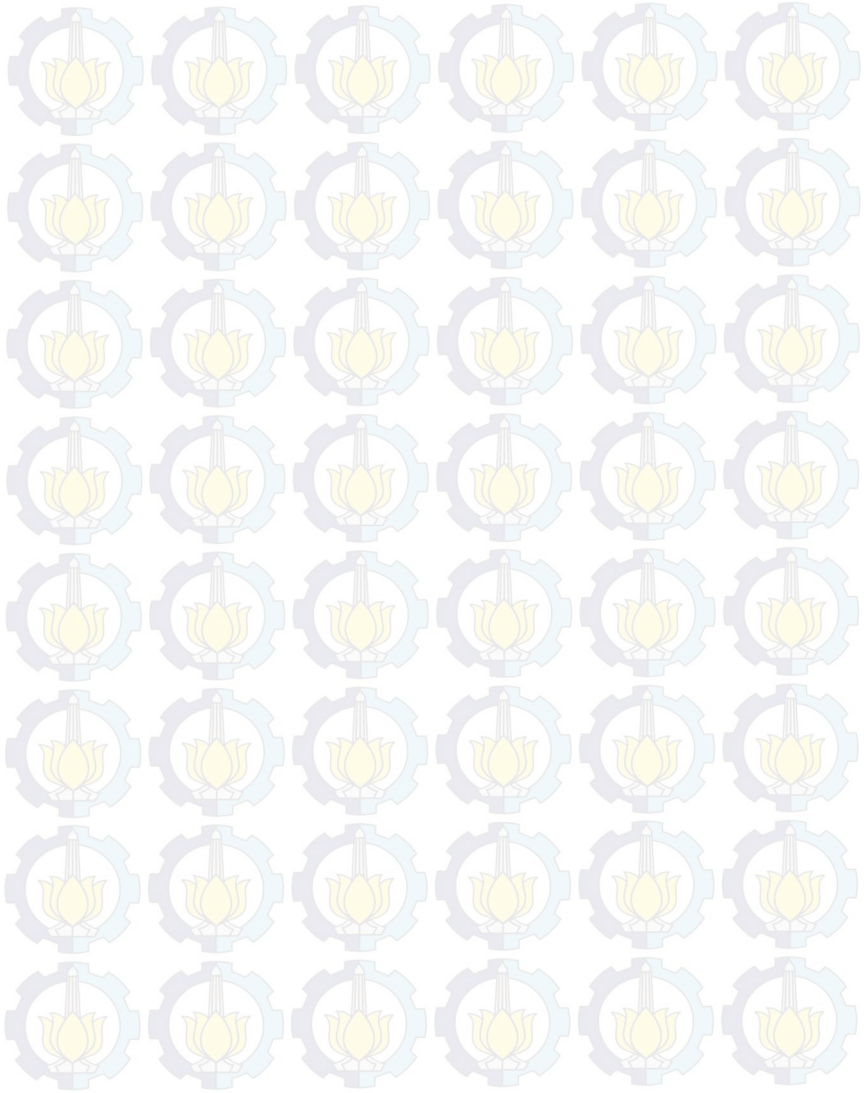
Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) merupakan salah satu teknologi pengolahan limbah B3 mengandung logam berat. Tujuan penelitian adalah: (1) menentukan komposisi optimum campuran semen *portland* dan tanah tras untuk mengikat logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb pada limbah sintetik, (2) menentukan pengaruh hidrokarbon pada limbah terhadap mutu produk hasil S/S.

Komposisi semen *Portland* dan tanah tras divariasikan pada perbandingan 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100. Parafin yang digunakan sebagai wakil senyawa hidrokarbon ditambahkan pada komposisi optimum semen-tras dengan proporsi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Uji kualitas produk S/S yang dilakukan adalah uji kuat tekan, uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), dan *paint filter test*. Metode analisis logam berat yang digunakan yaitu metode kolorimetri untuk Cr (VI), neocuproine untuk Cu, dan dithizone untuk Pb.

Hasil penelitian menunjukkan komposisi semen *Portland* dan tanah tras 50:50 merupakan komposisi optimum untuk proses S/S limbah mengandung parafin. Hasil uji TCLP untuk logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb masing-masing sebesar 0,02, 3,68, dan 0,01 mg/L. Hasil tersebut memenuhi baku mutu uji TCLP untuk ketiga jenis logam berat. Hasil uji kuat tekan pada komposisi iadalah 1750 ton/m², yang memenuhi baku mutu sebesar 10 ton/m². Nilai kuat tekan maksimum pada penambahan hidrokarbon 2,5% adalah 2550 ton/m², dan menurun hingga 1700 ton/m² dengan penambahan parafin 10%. Hasil *paint filter test* menunjukkan tidak adanya cairan bebas yang tersisa.

Kata kunci: Logam berat, semen portland, stabilisasi/solidifikasi, tanah tras.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ABSTRACT

Stabilization/Solidification of Hazardous Waste Containing Heavy Metals and Hydrocarbon using Portland Cement and Tras Soil

Name : Ristra Megawati Asti Pratiwi
NRP : 3311 100 046
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah T., MAppSc.

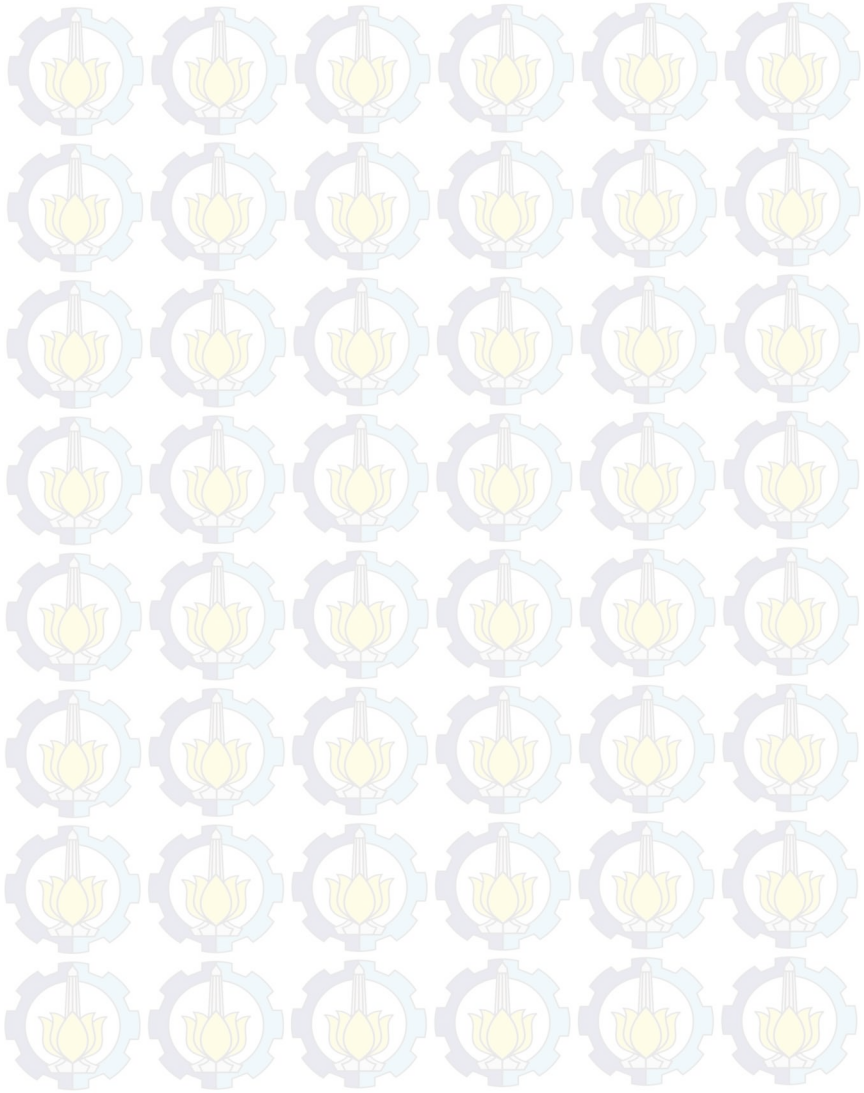
Stabilization/Solidification (S/S) is one of inorganic hazardous waste treatment options. The objectives of this research are: (1) determine the optimum mixture of portland cement and tras soil to solidify simulated hazardous wastewater containing copper, chromium (VI), and lead, (2) to determine the effect of hydrocarbon to the S/S product quality.

The composition of *portland* cement and tras soil was varied using 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100 ratios. Paraffin as hydrocarbon representative was added to the optimum mixture of cement and tras in 2,5%, 5%, 7,5%, and 10% proportions. The S/S product quality was tested according to compressive strength, Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), and paint filter tests. Measurement of chromium (VI), copper, and lead were conducted using colorimetric, neocuproine, and dithizone methods respectively.

The research resulted in the optimum composition of cement and tras of 50:50. This composition was selected for determining the effect of paraffin addition. The results of TCLP test for copper, chromium (VI), and lead were 0.02, 3.68, and 0.01 mg/L respectively, which were bellow the TCLP quality standards. The compressive strength of the S/S product was 1750 ton/m², which met the standard of 10 ton/m². The maximum compressive strength of the S/S product with the addition of 2,5% of paraffin was 2550 ton/m², and decreased to 1700 ton/m² with the addition of 10% of paraffin. The paint filter tests in all paraffin added samples showed no free liquid seeped out.

Keywords: heavy metals, portland cement, stabilization/solidification, tras soil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KATA PENGANTAR

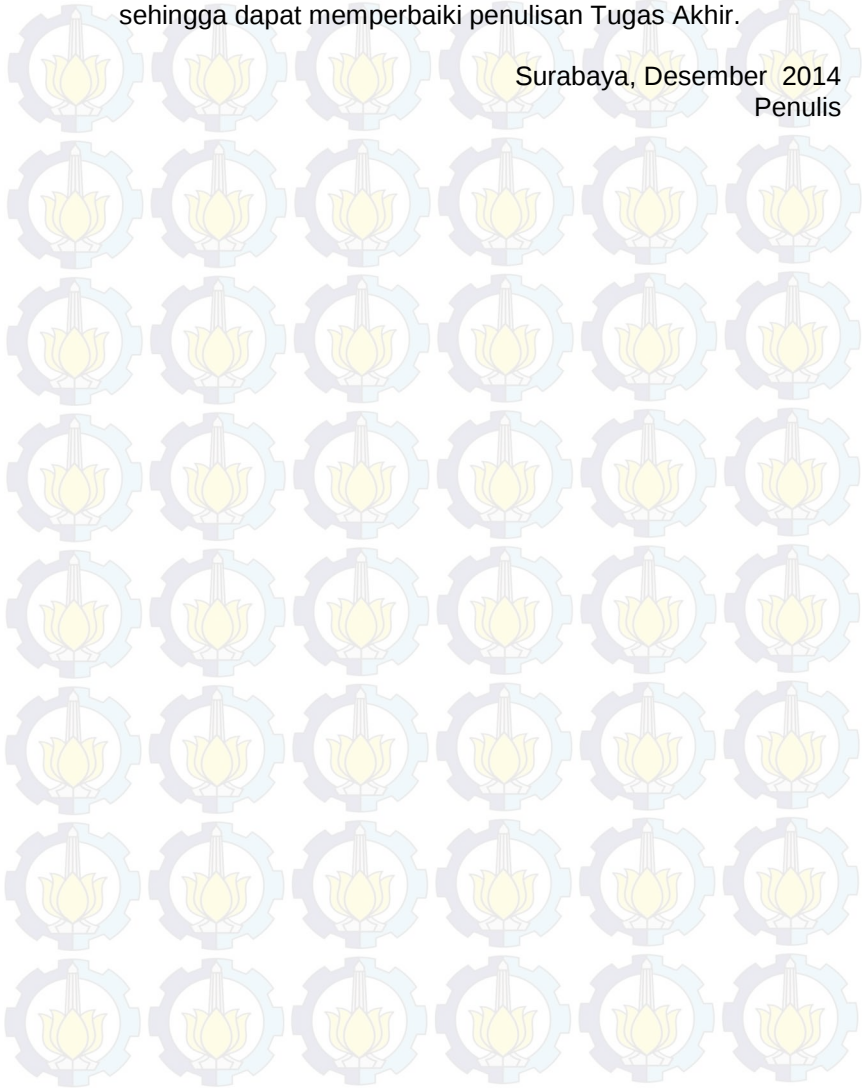
Puji syukur ke hadirat Tuhan YME atas rahmat dan berkah, sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul “Penentuan Korelasi Perubahan Kecepatan Angin dan Kekuatan Radiasi Terhadap Ketinggian Lapisan Inversi dan Hubungannya dengan Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya” dapat terselesaikan. Laporan Tugas Akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan kelulusan program S1 Teknik Lingkungan.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT., terima kasih atas segala ilmu, arahan dan kesabarannya dalam membimbing penulis.
2. Para dosen penguji Tugas Akhir, Bapak Prof. Joni Hermana, Ir., MScES., Ph.D., Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., Ph.D., Bapak Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM., Ph.D., Ibu Alia Damayanti, ST., MT., PhD. dan Bapak Abdu Fadli Assomadi, SSi., MT. sekaligus Co. Pembimbing yang telah bersedia memberi kritik dan arahan untuk tugas akhir ini.
3. Dosen wali Ibu Dr. Ir. Elina, MT., yang telah memberikan perhatian terhadap anak walinya.
4. Bapak Dr. Sutikno, S.Si. M.Si dan Bapak Hastuardi Harsa yang telah membantu untuk mendapatkan data meteorologi pada penelitian ini.
5. Para teman-teman khususnya angkatan 2011 yang berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan TA pada semester ini.
6. Teman-teman seperjuangan angkatan 2011 yang akan menempuh TA tahun depan, geng susah senang bareng, bebas crew, dan junior yang selalu memberi semangat dan membantu penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman-teman Laboratorium Pemantauan Kualitas Udara Novi dan Alvin yang bersama-sama selalu terjaga hingga pagi hari untuk menyelesaikan TA ini.
8. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan, dan mengingatkan semua hal kepada penulis.

Penulis sangat berharap atas saran dan kritik yang membangun dalam penulisan Proposal Tugas Akhir, sehingga dapat memperbaiki penulisan Tugas Akhir.

Surabaya, Desember 2014
Penulis



DAFTAR ISI

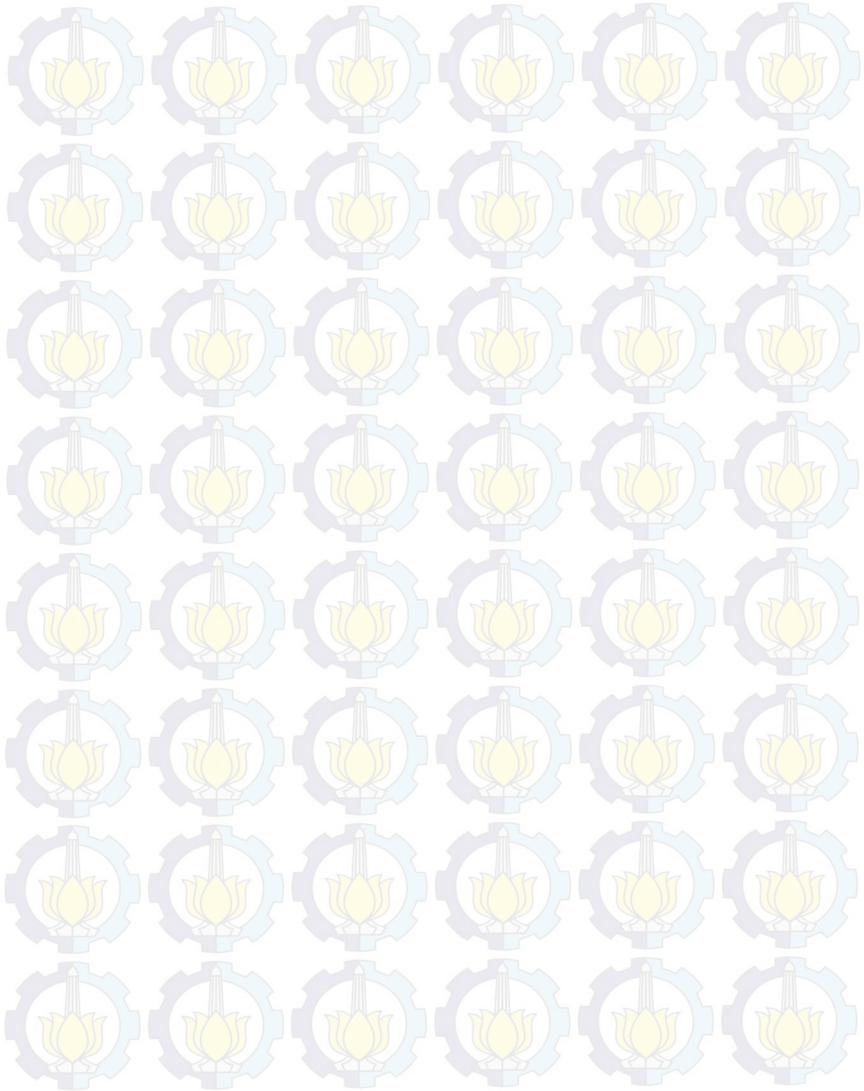
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah B-3	5
2.1.1 Definisi Limbah B-3	5
2.1.2 Jenis Limbah B-3	5
2.1.3 Karakteristik Limbah B-3	6
2.1.5 Teknik Pembuangan Limbah B-3	7
2.2 Stabilisasi/Solidifikasi (S/S)	10
2.2.1 Pengertian Stabilisasi/Solidifikasi	10
2.2.2 Tujuan Stabilisasi/Solidifikasi	11
2.2.3 Tata Cara Stabilisasi/Solidifikasi	11
2.2.4 Pengaruh Zat Organik Terhadap S/S	12
2.3 Logam Berat	12
2.3.1 Tembaga (Cu)	13
2.3.2 Kromium (VI) (Cr(VI))	13
2.3.3 Timbal (Pb)	14
2.4 Tanah Tras	14
2.5 Semen <i>Portland</i>	16
2.6 Uji Kuat Tekan	18
2.7 Uji TCLP (<i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure</i>)	21
2.7.1 Baku Mutu Uji TCLP	21
2.8 <i>Paint Filter Test</i>	21
2.9 Teknik Perawatan (<i>Curing</i>)	22
2.10 Penelitian Terdahulu	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Kerangka Penelitian	25

3.2 Tahapan Penelitian	27
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Karakteristik Material	33
4.1.1 Karakteristik Semen <i>Portland Tipe I</i>	33
4.1.2 Karakteristik Tanah Tras	33
4.1.3 Karakteristik Limbah Buatan	34
4.2 Uji Konsistensi Normal	35
4.2.1 Hasil Uji Konsistensi Normal	36
4.3 Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon	37
4.3.1 Pembuatan Benda Uji	37
4.3.2 Uji Kuat Tekan	38
4.3.3 Uji TCLP	43
4.4 Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon	50
4.4.1 Pembuatan Benda Uji	50
4.4.2 Uji Kuat Tekan	51
4.4.3 Uji TCLP	53
4.4.4 <i>Paint Filter Test</i>	57
4.5 Pengaruh Zat Organik terhadap Mutu Produk S/S	58
4.5.1 Pengaruh Zat Organik terhadap Nilai Kuat Tekan	58
4.5.2 Pengaruh Zat Organik terhadap Hasil Uji TCLP	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN A	1
LAMPIRAN B	1
LAMPIRAN C	1
LAMPIRAN D	1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Total Kadar Maksimum Limbah B-3 yang Belum Terolah dan Tempat Penimbunannya	8
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Tanah Tras	14
Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Semen <i>Portland</i> Tipe I	17
Tabel 3. 1 Perbandingan Variasi Semen <i>Portland</i> dan Tanah Tras	29
Tabel 3. 2 Perbandingan Variasi Hidrokarbon	30
Tabel 4. 1 Karakteristik Limbah Buatan	35
Tabel 4. 2 Hasil Uji Konsistensi Semen <i>Portland</i> dan Tanah Tras	36
Tabel 4. 3 Hasil Uji Konsistensi Semen <i>Portland</i> dan Tanah Tras dengan Hidrokarbon	37
Tabel 4. 4 Jumlah Semen <i>Portland</i> dan Tanah Tras yang Ditambahkan	37
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran pH Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon	43
Tabel 4. 6 Jumlah Material yang Ditambahkan untuk Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon	50
Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran pH Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon	53
Tabel 4. 8 Hasil <i>Paint Filter Test</i>	57

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rancang bangun atau desain pelapisan dasar tempat penimbunan limbah B-3 (<i>landfill</i>) kategori I, kategori II, kategori III.	10
Gambar 2.2 Pelapis penutup akhir (<i>final cover</i>) tempat penimbunan limbah B-3 (<i>landfill</i>) kategori I, II, dan III.	11
Gambar 2.3 Peta sebaran tanah tras	18
Gambar 3.1 Kerangka penelitian.....	26
Gambar 3.2 <i>Specimen mold</i>	28
Gambar 3.3 Skema komposisi campuran semen <i>portland</i> dan tanah tras	29
Gambar 3.4 Skema komposisi semen dan tanah tras optimum dengan hidrokarbon	130
Gambar 4.1 Semen <i>Portland</i> Tipe I.....	33
Gambar 4.2 (a) Tanah Tras Sebelum Digiling; (b) Tanah Tras Sesudah Digiling	34
Gambar 4.3 Kristal $K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4.5H_2O$, dan $Pb(NO_3)_2$	35
Gambar 4.4 Nilai Uji Kuat Tekan Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon.....	39
Gambar 4.5 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dengan Densitas Benda Uji pada Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon.....	41
Gambar 4.6 Kondisi Benda Uji Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon setelah <i>Curing</i> 28 Hari	42
Gambar 4.7 Kadar Pb pada Penelitian Tanpa Penambahan	44
Gambar 4.8 Kadar Cu Pada Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon.....	46
Gambar 4.9 Kadar Cr(VI) pada Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon.....	48
Gambar 4.10 Nilai Kuat Tekan Penelitian Tahap II.....	51
Gambar 4.11 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dengan Densitas Benda Uji pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon.....	52
Gambar 4.12 Kondisi Benda Uji Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon setelah <i>Curing</i> 28 Hari	53
Gambar 4.13 Kadar Pb pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon.....	54

Gambar 4.14 Kadar Cu pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon.....	55
Gambar 4.15 Kadar Cr(VI) pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon	56
Gambar 4.16 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon.....	58
Gambar 4.17 Perbandingan Kadar Pb Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon.....	59
Gambar 4.18 Perbandingan Kadar Cu Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon.....	60
Gambar 4.19 Perbandingan Kadar Cr(VI) Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon.....	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam berat menjadi salah satu masalah lingkungan yang paling serius saat ini (Karnib dkk, 2014). Menurut Giyatmi dkk (2008), pencemaran logam berat dapat disebabkan oleh buangan limbah anorganik industri yang dalam prosesnya melibatkan penggunaan unsur-unsur logam berat seperti, merkuri (Hg), timbal (Pb), kobalt (Co), tembaga (Cu), dan seng (Zn). Paparan logam berat tertentu dalam level yang rendah diketahui menyebabkan bahaya terhadap kesehatan manusia (Karnib dkk, 2014).

Beberapa industri seperti pertambangan, elektroplating, penerbangan, penyamakan kulit, produksi energi dan bahan bakar menghasilkan buangan mengandung berbagai jenis logam berat. Logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb sering ditemukan dalam limbah industri (Carpio, 2014). Berdasarkan tingkat toksisitasnya logam berat dibagi menjadi tiga kelompok. Bersifat toksisitas tinggi yaitu Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn, toksisitas sedang yaitu Cr(VI), Ni, dan Co, serta toksisitas rendah yaitu Fe dan Mn (Hartati dkk, 2011). Berdasarkan hal tersebut limbah industri yang mengandung logam berat harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

US EPA menyatakan bahwa stabilisasi/solidifikasi merupakan teknologi terbaik yang dapat diterapkan untuk 57 jenis limbah (Desogus dkk, 2013). Dalam penelitiannya, Desogus dkk (2013) menyatakan bahwa hasil dari proses stabilisasi/solidifikasi dapat digunakan kembali untuk bahan bangunan, bahan konstruksi, bahan jalan, atau material untuk urugan. Stabilisasi/Solidifikasi (S/S) merupakan suatu teknologi yang berfungsi untuk mengikat kontaminan yang ada dalam limbah dengan penambahan bahan pengikat hidrolis (Leonard dan Stegemann, 2009). S/S hanya digunakan dalam limbah anorganik dan kurang sesuai digunakan untuk limbah organik karena komponen organik dapat menghalangi hidrasi bahan pengikat. Penelitian yang terdahulu menunjukkan bahwa semen *portland* hanya mengikat sistem dan tidak efektif untuk mengikat kontaminan organik termasuk hidrokarbon. Material yang dapat dikombinasikan dengan semen *portland* dalam proses S/S untuk

limbah organik, yaitu bahan yang mempunyai sifat *pozzolanik* (Leonard dan Stegemann, 2009).

Pozzolan pada dasarnya merupakan bahan alam atau buatan yang sebagian besar kandungannya terdiri dari unsur-unsur silika, alumina, atau keduanya (Wiqoyah, 2007). Di Indonesia terdapat banyak jenis *pozzolan* alam yang dapat dimanfaatkan, salah satunya adalah tanah tras. Indonesia memiliki potensi bahan galian tras, khususnya di Jawa Tengah, yaitu tras Muria Kudus (Suryoatmono dan Susilorini, 2003). Menurut Salia (2011), sebaran tanah tras meliputi pulau Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi, dan Maluku. Tras merupakan tanah yang berasal dari letusan gunung berapi. Tras berbentuk butiran halus dengan kandungan oksida silika (SiO_2) yang telah mengalami proses pelapukan hingga derajat tertentu. Tanah tras yang dicampurkan dengan air dan kapur akan membentuk massa yang padat, keras, dan tidak larut di dalam air (Monintja dkk, 2013).

Pozzolan yang dalam hal ini tanah tras, dapat digunakan sebagai bahan tambahan atau pengganti sebagian semen *portland*, sehingga semen *portland* yang digunakan lebih sedikit (Suarnita, 2011). Beberapa penelitian menyatakan bahwa kuat tekan mortar dengan campuran semen *portland* dan tanah tras lebih besar. Berdasarkan hal tersebut, dalam penelitian kali ini digunakan tanah tras sebagai *pozzolan* yang diharapkan dapat menaikkan nilai kuat tekan dan mengikat kontaminan organik pada limbah. Leonard dan Stegemann (2009) menyatakan S/S lebih sering digunakan untuk pengolahan limbah mengandung logam berat. Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai stabilisasi/solidifikasi limbah mengandung logam berat dan hidrokarbon.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi dasar dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi optimum semen *portland* dan tanah tras untuk mengikat logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb pada limbah?
2. Bagaimana pengaruh zat organik berupa hidrokarbon pada limbah terhadap mutu produk hasil S/S?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan komposisi optimum semen *portland* dan tanah tras untuk mengikat logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb.
2. Menganalisis pengaruh zat organik berupa hidrokarbon pada limbah terhadap mutu produk hasil S/S.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

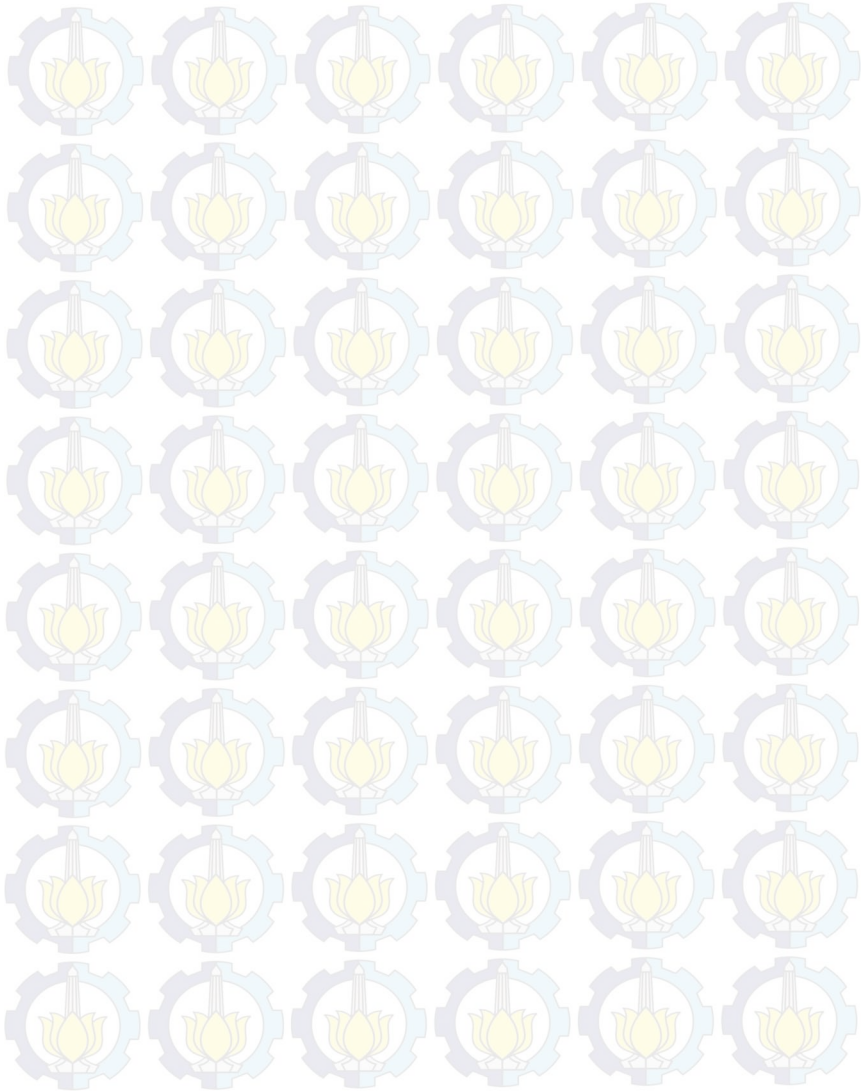
1. Memberikan informasi tentang alternatif pengolahan terhadap limbah yang mengandung logam berat maupun hidrokarbon.
2. Memberikan informasi tentang potensi tanah tras untuk stabilisasi/solidifikasi limbah industri.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Limbah Padat dan B-3 Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
2. Analisis mutu produk S/S dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dan Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
3. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah buatan Cu, Cr(VI), Pb, dan hidrokarbon berupa *parafin liquid*.
4. Uji yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji kuat tekan, uji TCLP, dan uji *paint filter test*.
5. Bahan yang digunakan adalah semen *portland* dan tanah tras yang diambil dari PT. Varia Usaha (Persero).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah B-3

2.1.1 Definisi Limbah B-3

Pengertian limbah B-3 dalam Peraturan Pemerintah RI No.18 tahun 1999 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Dalam RCRA (*Resource Conservation and Recovery Act*) disebutkan bahwa limbah B-3 adalah limbah (padat) atau gabungan dari berbagai limbah (padat) yang karena jumlah dan konsentrasinya atau karena karakteristik fisik-kimianya dan daya infeksiusnya bersifat:

- Dapat mengakibatkan timbulnya atau menyebabkan semakin parahnya penyakit yang tidak dapat disembuhkan atau penyakit yang melumpuhkan.
- Menyebabkan atau berpotensi timbulnya gangguan terhadap kesehatan manusia atau lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

2.1.2 Jenis Limbah B-3

Menurut Peraturan Pemerintah No. 85 tahun 1999 tentang perubahan atas Peraturan Pemerintah No.18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, jenis limbah B-3 menurut sumbernya meliputi:

1. Limbah B-3 dari sumber tidak spesifik.
2. Limbah B-3 sumber spesifik.
3. Limbah B-3 dari bahan kimia kadaluarsa, tumpahan, bekas kemasan, dan buangan produk yang tidak memenuhi spesifikasi.

Limbah B-3 dapat diidentifikasi menurut sumbernya, uji karakteristik, dan atau uji toksikologi. Namun, untuk limbah yang mempunyai kode D220, D221, D222, dan D223 (jenis limbah yang

dilarang diimpor ke wilayah RI) dapat dinyatakan sebagai limbah B-3 apabila telah dilakukan uji karakteristik dan atau uji toksikologi.

2.1.3 Karakteristik Limbah B-3

Berikut karakteristik limbah B-3 berdasarkan PP RI No. 85 tahun 1999:

1. Limbah Mudah Meledak

Limbah mudah meledak adalah limbah yang pada suhu dan tekanan standar (25° C, 760 mmHg) dapat meledak atau melalui reaksi kimia dan/atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.

2. Limbah Mudah Terbakar

Limbah yang mudah terbakar adalah limbah-limbah yang mempunyai salah satu sifat-sifat sebagai berikut:

- Limbah yang berupa cairan yang mengandung alkohol kurang dari 24% volume dan/atau pada titik nyala tidak lebih dari 60° C (140° F) akan menyala apabila terjadi kontak dengan api, percikan api, atau sumber nyala lain pada tekanan udara 760 mmHg.
- Limbah yang bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar (25° C, 760 mmHg) dapat menyebabkan kebakaran melalui gesekan, penyerapan uap air, atau perubahan kimia secara spontan dan apabila terbakar dapat menyebabkan kebakaran secara terus menerus.
- Merupakan limbah yang bertekanan yang mudah terbakar.
- Merupakan limbah pengoksidasi.

3. Limbah Reaktif

Limbah yang bersifat reaktif adalah limbah-limbah yang mempunyai salah satu sifat-sifat sebagai berikut:

- Limbah yang pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan.
- Limbah yang dapat bereaksi hebat dengan air.
- Limbah yang apabila bercampur dengan air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.

- Merupakan limbah sianida, sulfida, atau amoniak yang pada kondisi pH antara 2 dan 12,5 dapat menghasilkan gas, uap, atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan.
- Limbah yang dapat mudah meledak atau bereaksi pada suhu dan tekanan standar (25^o C, 760 mmHg).
- Limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepas atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.

4. Limbah Beracun

Limbah beracun adalah limbah yang mengandung pencemar yang bersifat racun bagi manusia atau lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, kulit, atau mulut.

5. Limbah Infeksius

Limbah infeksius yaitu limbah yang menyebabkan infeksi, bagian tubuh manusia yang diamputasi dan cairan dari tubuh manusia yang terkena infeksi, limbah dari laboratorium atau limbah lainnya yang terinfeksi kuman penyakit yang dapat menular. Limbah ini berbahaya karena mengandung kuman penyakit seperti hepatitis dan kolera yang ditularkan pada pekerja, pembersih jalan, dan masyarakat disekitar lokasi pembuangan limbah.

6. Limbah Korosif

Limbah bersifat korosif adalah limbah yang mempunyai salah satu sifat sebagai berikut:

- Menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit.
- Menyebabkan proses pengkaratan pada lempeng baja (SAE 1020) dengan laju korosi lebih besar dari 6,35 mm/tahun dengan temperatur pengujian 55^o C.
- Mempunyai pH sama atau kurang dari 2 untuk limbah bersifat asam dan sama atau lebih besar dari 12,5 untuk yang bersifat basa.

2.1.5 Teknik Pembuangan Limbah B-3

Pembuangan limbah B-3 harus dilakukan secara tepat, meliputi pemilihan lokasi pembuangan, teknik pembuangan, dan teknik pengendalian pencemaran. Tujuan dari pembuangan limbah B-3 ini adalah untuk mengisolasi limbah yang sudah tidak

dapat dimanfaatkan lagi agar tidak mencemari lingkungan (Trihadiningrum, 2000).

Teknik pembuangan limbah B-3 yang sering digunakan adalah teknik *secure landfill*. Rancang bangun *landfill* untuk limbah B-3 dibuat berdasarkan jenis dan karakteristik limbah yang akan ditimbun. Dalam Keputusan Kepala BAPEDAL No. 04 (1995), *landfill* dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan kadar maksimum komponen B-3 yang terdapat dalam limbah, yaitu:

1. *Landfill* kategori I (*secure landfill double liner*)
Landfill yang digunakan untuk menimbun limbah B-3 dengan kandungan maksimum bahan pencemar lebih besar dari atau sama dengan kadar yang tercantum di kolom A pada Tabel 2.1.
2. *Landfill* kategori II (*secure landfill single liner*)
Landfill yang digunakan untuk menimbun limbah B-3 dengan kandungan maksimum bahan pencemar lebih kecil dari kadar yang tercantum yang tercantum di kolom A pada Tabel 2.1.
3. *Landfill* kategori III (*secure landfill clay liner*)
Landfill yang digunakan untuk menimbun limbah B-3 dengan kandungan maksimum bahan pencemar lebih kecil atau sama dengan kadar yang tercantum di kolom B pada Tabel 2.1.

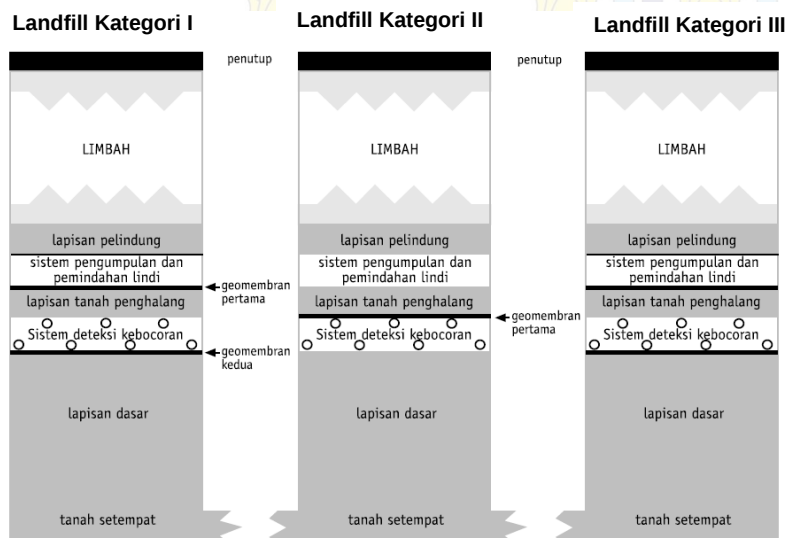
Tabel 2. 1 Total Kadar Maksimum Limbah B-3 yang Belum Terolah dan Tempat Penimbunannya

Bahan Pencemar	Total kadar maksimum (mg/kg berat kering) KOLOM A	Total kadar maksimum (mg/kg berat kering) KOLOM B
Krom	2500	250
Tembaga	1000	100
Timbal	3000	300
Total Petroleum Hydrocarbons (C ₆ to C ₉)	1000	100
TPH (all C _n)	-	-
Total Petroleum Hydrocarbons (>C ₉)	10000	1000
Catatan :	Lebih besar dari atau sama dengan, tempat penimbunannya di <i>landfill</i> KATEGORI I.	Lebih kecil dari atau sama dengan, tempat penimbunannya di <i>landfill</i> KATEGORI III.

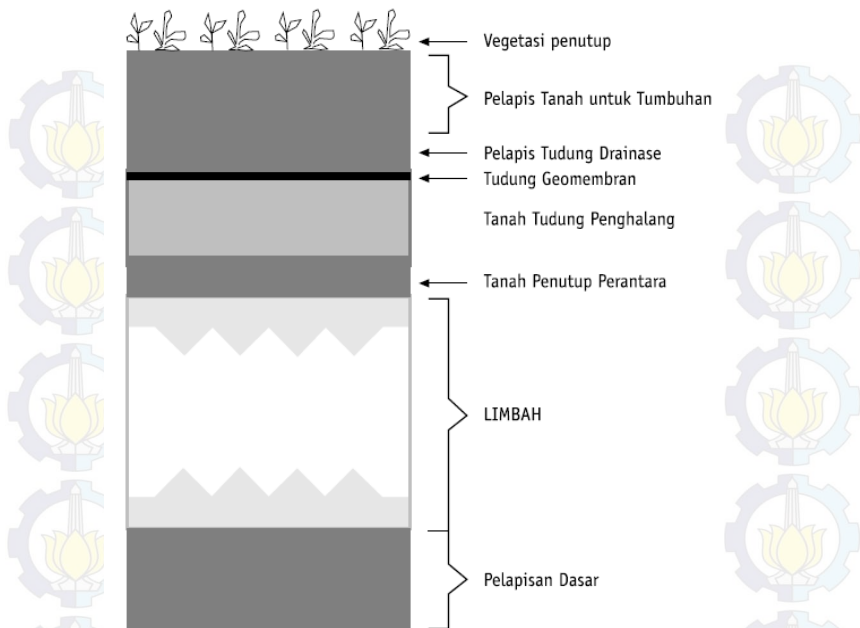
Bahan Pencemar	Total kadar maksimum (mg/kg berat kering) KOLOM A	Total kadar maksimum (mg/kg berat kering) KOLOM B
	Lebih kecil dari, tempat penimbunanya di <i>landfill</i> KATEGORI II.	

Sumber: Keputusan Kepala BAPEDAL No. 04 Tahun 1995

Tempat penimbunan limbah B-3 yang telah disebutkan dapat dilihat pada Gambar 2.1, untuk pelapis penutup akhir dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Rancang Bangun atau Desain Pelapisan Dasar Tempat Penimbunan Limbah B-3 (*Landfill*) Kategori I, Kategori II, Kategori III. (Sumber: Keputusan Kepala BAPEDAL No. 04 Tahun 1995)



Gambar 2. 2 Pelapis Penutup Akhir (*Final Cover*) Tempat Penimbunan Limbah B-3 (*Landfill*) Kategori I, II, Dan III. (Sumber: Keputusan Kepala BAPEDAL No. 04 Tahun 1995)

2.2 Stabilisasi/Solidifikasi (S/S)

2.2.1 Pengertian Stabilisasi/Solidifikasi

Stabilisasi merupakan suatu teknik untuk meminimisasi mobilisasi atau kelarutan kontaminan dalam limbah, dengan atau tanpa terjadinya perubahan pada sifat fisik limbah tersebut. Solidifikasi merupakan penanganan limbah yang mengubah limbah menjadi bentuk padatan yang memiliki identitas struktural yang tinggi (Utomo dan Laksono, 2007).

Menurut Gailius dkk (2010), stabilisasi dan solidifikasi adalah suatu teknologi yang digunakan sebagai pengolahan terakhir yang utama sebelum pembuangan dari limbah radioaktif dan limbah kimia yang bersifat B-3. Stabilisasi dimaksudkan untuk mengubah kontaminan limbah menjadi lebih stabil secara kimiawi, dengan demikian maka limbah yang dihasilkan akan lebih ramah

terhadap lingkungan. Biasanya, proses stabilisasi juga melibatkan beberapa bentuk dari stabilisasi secara fisik.

Namun pendapat lain menyatakan bahwa stabilisasi adalah teknik yang berfungsi untuk mengurangi potensi berbahaya dari suatu limbah, mengurangi kelarutan kontaminan, perpindahan kontaminan ke lingkungan, atau bentuk toksik. Stabilisasi tidak menyebabkan perubahan pada ciri khas fisik dari material yang diolah dan tidak melibatkan interaksi kimia antara limbah dengan bahan pengeras/pengikat. Solidifikasi adalah teknik pengkapsulan limbah menjadi struktur monolitik dengan struktur yang mempunyai daya ikat tinggi (Desogus dkk, 2013).

2.2.2 Tujuan Stabilisasi/Solidifikasi

Menurut Utomo dan Laksono (2007), tujuan dari stabilisasi/solidifikasi ini adalah:

- Menurunkan mobilitas dan kelarutan kontaminan.
- Meningkatkan penanganan dan karakteristik fisik limbah dengan cara menciptakan suatu matrik padatan yang bebas air.
- Menurunkan luas permukaan limbah dengan cara mentransfer kontaminan yang terdapat dalam padatan limbah.

2.2.3 Tata Cara Stabilisasi/Solidifikasi

Menurut Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 Tahun 1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun adalah sebagai berikut:

1. Limbah B-3 sebelum di stabilisasi/solidifikasi harus dianalisis karakteristiknya guna menetapkan resep stabilisasi/solidifikasi yang diperlukan terhadap limbah B-3 tersebut.
2. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap hasil olahan tersebut dilakukan uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*extract/eluate*) sebagaimana yang tercantum dalam baku mutu TCLP. Hasil uji TCLP sebagaimana dimaksud, kadarnya tidak boleh melewati nilai ambang batas yang ditetapkan.
3. Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*compressive strength*) dengan "*Soil Penetrometer test*" dan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² dan lolos uji "*paint filter test*".

4. Limbah B-3 olahan yang memenuhi persyaratan kadar TCLP, nilai uji kuat tekan dan lolos *paint filter test*, selanjutnya harus ditimbun ditempat penimbunan (*landfill*) yang ditetapkan pemerintah atau yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

2.2.4 Pengaruh Zat Organik Terhadap S/S

Volgar dan Lestan (2011) menyatakan bahwa stabilisasi/solidifikasi tidak sesuai digunakan untuk limbah yang mengandung zat organik. Komponen organik dalam limbah akan menghambat hidrasi pada semen dan umumnya secara kimia tidak dapat terikat dengan produk hidrasi bahan pengikat (semen *portland*). Pendapat lain menyatakan bahwa proses stabilisasi/solidifikasi dengan menggunakan semen *portland* tidak dianjurkan untuk limbah yang mengandung organik. Hal ini dikarenakan bahan organik dapat mengurangi formasi struktur kristal dan akan menghasilkan mineral yang tidak berbentuk yang dapat menyebabkan menurunnya nilai kuat tekan. Oleh karena itu, ditambahkan bahan yang dapat menyerap senyawa organik ke dalam campuran S/S. Bahan tambahan ini dapat berupa tanah liat alami maupun yang sudah dimodifikasi, vermikulit, dan sodium silikat yang larut dalam air (Wijaya, 2005).

Penelitian lain yang dilakukan Minocha dkk (2003), zat organik yang ditambahkan lebih dari 10% dalam proses S/S akan mempengaruhi proses hidrasi semen. Dalam penelitian ini dijelaskan zat organik mudah luluh dari matrik semen, dan proses *curing*-nya membutuhkan waktu lebih lama yaitu selama 6 bulan.

2.3 Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai berat molekul tinggi (Notohadiprawiro, 2006). Logam berat termasuk ke dalam limbah B-3 karena sifatnya yang beracun terhadap manusia dan lingkungan dalam konsentrasi tertentu (Ritayani, 2014). Menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup tahun 1990, sifat toksisitas logam berat dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu bersifat toksisitas tinggi yang terdiri atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn, bersifat toksisitas sedang yang terdiri atas unsur-unsur Cr(VI), Ni, dan Co, serta bersifat toksisitas rendah yang terdiri atas unsur-unsur Fe dan Mn (Hartati dkk, 2011).

2.3.1 Tembaga (Cu)

Menurut Putra dkk (2014), tembaga (Cu) berasal dari bahasa latin *cuprum* yang termasuk logam golongan IB. Tembaga mempunyai nomor atom 29 dengan berat atom 63,546. Cu merupakan logam padat, berwarna coklat kemerah-merahan, kukuh, dan dapat ditarik. Logam ini memiliki massa jenis $8,93 \text{ g/cm}^3$ dengan titik didih 2310° C . Pada bidang industri, Cu digunakan sebagai alat-alat listrik seperti generator, motor listrik, dan peralatan yang memerlukan tembaga sebagai penghantar listrik.

Cu merupakan salah satu jenis logam yang esensial. Logam esensial adalah logam yang pada jumlah tertentu dibutuhkan tubuh dalam proses metabolisme dan dalam beberapa hal digunakan dalam proses industri. Logam tersebut dapat menimbulkan permasalahan bagi makhluk hidup maupun lingkungan dalam kadar yang melebihi batas maksimum (Tiyas, 2014).

Cu masuk ke dalam lingkungan secara alamiah maupun non alamiah. Secara alamiah, Cu masuk ke dalam lingkungan akibat peristiwa alam seperti pengikisan batuan mineral, debu atau partikulat Cu yang ada pada lapisan udara dibawa turun oleh air hujan, sedangkan secara non alamiah, Cu masuk ke dalam lingkungan sebagai akibat dan buangan dari aktivitas manusia seperti buangan industri yang menggunakan Cu dalam proses produksinya (Meynarti, 2008).

2.3.2 Kromium (VI) (Cr(VI))

Kromium termasuk dalam logam golongan transisi. Kromium berasal dari bahasa Yunani yaitu *chroma* yang berarti warna. Kromium dalam bahasa kimia dilambangkan dengan simbol Cr. Sebagai salah satu unsur logam berat, Kromium mempunyai nomor atom 24 dengan berat atom 51,996. Logam Cr murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lainnya. Sebagai bahan mineral, Cr paling banyak ditemukan dalam bentuk *chromite* (FeOCr_2O_3) (Asmadi dkk, 2009).

Limbah logam berat Cr(VI) biasanya berasal dari industri pelapisan logam (*electroplating*), industri cat/pigmen, dan industri penyamakan kulit (*leather tanning*). Cr terdapat di alam dalam 2

bentuk oksida, yaitu oksida Cr(III) dan Cr(VI). Cr(VI) mempunyai sifat karsinogenik, tingkat toksisitas yang dimiliki Cr(III) hanya 1/100 kali dari Cr(VI). Cr(VI) mudah larut didalam air dan membentuk *divalent axyanion* yaitu *chromate* (CrO_4^{2-}) dan *dichromate* ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) (Slamet dkk, 2003).

2.3.3 Timbal (Pb)

Timbal atau dalam keseharian dikenal dengan nama timah hitam mempunyai bahasa ilmiahnya dinamakan *plumbum* dan diberi simbol Pb. Pb mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,2. Pb adalah jenis logam lunak yang mempunyai warna kehitaman dan mudah dimurnikan. Pb tersebar luas dibandingkan dengan kebanyakan logam toksik jenis lainnya dan secara alamiah terdapat pada batu-batuan serta lapisan kerak bumi. Logam Pb banyak digunakan dalam industri sebagai zat tambahan bahan bakar, pigmen timbal dalam cat yang merupakan penyebab utama peningkatan kadar Pb dalam lingkungan (Bangun, 2005).

Pb merupakan logam berat yang sangat beracun. Pb menunjukkan beracun pada sistem saraf, *hematologic*, *hemetotoxic*, dan mempengaruhi kerja ginjal.

2.4 Tanah Tras

Wiqoyah (2007) menyatakan bahwa tras merupakan istilah lokal di Indonesia, sedangkan istilah Internasional dikenal dengan sebutan *pozzolan* yang memiliki sifat *pozzolanic*. Menurut Monintja dkk (2013), tras merupakan tanah yang berasal dari hasil letusan gunung berapi yang berbentuk butiran halus dengan kandungan oksida silika (SiO_2) yang telah mengalami proses pelapukan hingga derajat tertentu. Tras merupakan bahan *pozzolan* alam karena sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silika dan atau aluminat yang bersifat reaktif. Apabila dicampur dengan air dan kapur akan membentuk massa yang padat, keras, dan tidak larut didalam air. Berikut susunan kimia dari tanah tras dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Tanah Tras

Komposisi Kima	Nama Kimia	%
Silika	SiO_2	46 - 59
Oksida Aluminium	Al_2O_3	10 - 19

Komposisi Kima	Nama Kimia	%
Air Kristal	H ₂ O	3 - 12
Oksida Besi	Fe ₂ O ₃	4 - 12
Kalsium Oksida	CaO	1 - 7
Magnesium Oksida	MgO	1 - 6
Natrium Oksida	Na ₂ O	3 - 10
Kalsium Oksida	K ₂ O	3 - 10

Sumber: Monintja dkk, 2013

Menurut Pribadi (2011), tras dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1. Tras alam

Tras alam merupakan lapukan batu-batuan yang berasal dari gunung berapi yang banyak mengandung silika, yang dalam keadaan halus apabila dicampur dengan kapur dan air dapat mengeras pada suhu yang hangat, membentuk masa yang padat dan sukar larut di dalam air.

2. Tras buatan

Tras buatan biasa disebut dengan semen merah, yang merupakan bahan yang didapatkan dengan cara menggiling halus batu bata, genting, dan barang-barang bakaran tanah liat lainnya yang memiliki sifat-sifat seperti tras.

Potensi tras tidak asing lagi sebagai *pozzolan* alam di Indonesia. Sebagai agregat alternatif, tras berfungsi sebagai agregat halus yang dapat diaplikasikan pada campuran pasta semen, pembuatan batako, campuran pembuatan beton, campuran plester, dan tanah urug (Susilorini, 2003). Tras memiliki beberapa keunggulan yaitu tahan terhadap alkali, kelulusan yang sangat kecil, bersifat lentur apabila ditekan, tahan terhadap asam-asam tanah dan air laut. Keunggulan lain dari tras yaitu penggerusannya berjalan lambat dan selama proses ini terjadi maka daya tahan tekan dan daya tariknya akan menjadi lebih kuat (Prasetyo, 2005).

Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah menunjukkan bahwa kuat tekan optimal dicapai beton dengan campuran tras muria kudus sebesar 29,802 MPa yang melebihi syarat kuat rencana (19 MPa). Namun, kemampuan aduk tras untuk mengeras sangat dipengaruhi oleh bagian-bagian yang sangat halus. Oleh karena itu, kehalusan dari *pozzolan* sangat mempengaruhi sifat-sifat aduk. Semakin halus butiran tras maka

semakin tinggi pula daya tahan tekannya. Dengan perkataan lain, tras yang memiliki butiran kasar akan lebih rendah mutunya daripada tras yang memiliki butiran yang halus (Monintja, 2013). Menurut Salia (2011), persebaran tanah tras di Indonesia mengikuti jalur rangkaian gunung api tersier dan kuarter yang dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Peta Sebaran Tanah Tras
(Sumber: Salia, 2011)

2.5 Semen Portland

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Berdasarkan jenis dan penggunaannya, semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

- *Semen Portland* Jenis I: Semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- *Semen Portland* Jenis II: Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

- *Semen Portland* Jenis III: Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- *Semen Portland* jenis IV: Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- *Semen Portland* Jenis V: Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Komposisi kimia semen *portland* tipe I dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Semen *Portland* Tipe I

No.	Komposisi Senyawa	Nama Kimia	Persentase (%)
1	Silika min.	SiO ₂	11,32
2	Oksida aluminium maks.	Al ₂ O ₃	4,92
3	Oksid Besi maks.	Fe ₂ O ₃	7,96
4	Kalsium oksida	CaO	72,40
5	Senyawa lain	-	3,40

Sumber: Wijaya, 2005

Menurut Prasetyo (2005), semen *portland* mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kehalusan butir

Pada umumnya semen memiliki kehalusan. Semakin halus butirannya maka semakin cepat persenyawaannya sehingga luas permukaan butir untuk suatu jumlah berat semen akan menjadi lebih besar. Semakin luas permukaan butir ini maka semakin banyak pula air yang dibutuhkan. Kehalusan butir semen dapat diketahui dengan menggunakan pengayakan.

2. Berat jenis semen

Semen mempunyai berat jenis yang pada umumnya berkisar antara 3,10 – 3,30, dan rata-rata berat jenis ditentukan 3,15. Untuk mengukur tercampur atau tidaknya semen dengan bahan lainnya dipakai angka berat jenis 3,00. Jika suatu semen mempunyai berat jenis kurang dari 3,00 maka kemungkinan semen telah mengeras.

3. Waktu Pengerasan

Waktu pengerasan semen dapat ditentukan dengan cara menentukan waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir. Waktu pengikatan awal adalah saat semen mulai terkena

air hingga terjadi pengerasan, sedangkan waktu pengikatan akhir adalah saat semen tidak mengalami penurunan lagi.

4. Kekekalan Bentuk

Kekekalan bentuk adalah sifat dari pasta semen yang telah mengeras, yang apabila semen telah dibentuk sedemikian rupa dan direbus didalam air, maka tidak akan terjadi perubahan bentuk. Apabila semen yang telah mengeras tersebut mengalami keretakan, penyusutan, ataupun melengkung, berarti semen tersebut tidak baik atau dapat dikatakan tidak memiliki sifat tetap bentuk.

Menurut Utomo dan Laksono (2007), keuntungan penggunaan semen *portland* dalam proses S/S adalah sebagai berikut:

- Mengandung komposisi yang konsisten.
- Reaksi *setting*, pengerasan dan fiksasi berjalan lebih bagus dibandingkan semen *pozzolan* lain.
- Telah banyak digunakan penelitian tentang peluluhan logam menggunakan semen *portland*, sehingga banyak acuan yang dapat digunakan.
- Harganya relatif murah.

2.6 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan kemampuan suatu benda untuk memikul suatu beban tekan (Wijaya, 2005). Penentuan uji kuat tekan untuk mortar semen *portland* mengacu pada ASTM C 109/109 M-02 *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar*. Berdasarkan SNI 15-2049-2004, uji kuat tekan mortar semen hidrolis ini menggunakan cetakan kubus dengan ukuran sisi 50 mm.

Adapun syarat-syarat cetakan yang digunakan untuk pembuatan mortar semen:

- Cetakan tidak boleh lebih dari 3 kompartmen dan dipisahkan menjadi tidak lebih dari dua bagian.
- Cetakan yang akan digunakan untuk pembuatan mortar semen terbuat dari logam yang kuat yang tidak berpengaruh oleh mortar semen.
- Sisi dari cetakan harus memiliki kekakuan yang dapat mencegah pelebaran atau pembengkokkan selama uji dilakukan.

Benda uji dibiarkan pada cetakan dalam ruang lembab selama 1 hari, setelah itu cetakan dapat dibuka. Jika benda uji dikeluarkan dari cetakan sebelum 24 jam, maka benda uji harus dijaga selalu berada dalam ruang lembab sampai umur pengujian 24 jam. Jika pengujian lebih dari 24 jam, benda uji disimpan dalam ruang penyimpanan yang terbuat dari bahan yang tidak berkarat dan berisi air kapur jernih, air kapur tersebut dijaga agar tetap jernih.

Benda uji harus segera dites kuat tekan setelah dikeluarkan dari ruang lembab (untuk waktu pengujian 24 jam) atau dari rendaman air (untuk pengujian lebih dari 24 jam), benda uji diuji kuat tekannya sampai pecah dengan ketentuan waktu seperti yang tertera pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Toleransi Waktu Pengujian

Umur Pengujian	Toleransi yang diperbolehkan
24 jam	± 0,5 jam
3 hari	± 1 jam
7 hari	± 3 jam
28 hari	± 12 jam

Sumber: SNI 15-2049-2004

Kuat tekan dapat dihitung berdasarkan rumus dibawah ini (SNI 15-2049, 2004):

$$F_m = P/A$$

Keterangan:

F_m = Kuat tekan dalam psi atau MPa

P = Beban maksimum total dalam N

A = Luas dari permukaan yang dibebani dalam mm²

Menurut Wijaya (2005), faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan pada beton:

1. Faktor Air Semen (FAS)

Semakin rendah faktor air semen yang digunakan maka kuat tekan beton akan semakin tinggi, dan sebaliknya. Dengan demikian, maka ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menyebabkan kuat tekan beton optimum. Jika FAS lebih besar dari 0,6 maka kekuatan beton akan semakin turun, dan sebaliknya.

2. Umur Beton

Pada keadaan normal, nilai kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kuat tekan beton ini tergantung pada jenis semen, suhu, dan FAS. Semakin banyak kandungan alumina, maka semakin cepat pengerasannya dan akan terus berlanjut secara lambat sampai beberapa tahun. Jika FAS semakin tinggi, maka semakin lambat kenaikan nilai kuat betonnya, sedangkan semakin tinggi suhu perawatannya maka proses pengerasan akan semakin cepat.

3. Jenis Semen

Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh jenis semen yang digunakan. Pada dasarnya, banyak air yang diperlukan untuk proses hidrasi adalah $\pm 32\%$ dari berat semen. Penambahan air akan mempengaruhi kekuatannya setelah beton tersebut mengeras. Penambahan air secara berlebihan akan menyebabkan pengerasan berjalan kurang baik dan berongga.

4. Jumlah Semen

Banyaknya kandungan semen yang digunakan dalam beton akan berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Jika digunakan FAS yang sama, beton dengan kandungan semen tertentu mempunyai kuat tekan yang tinggi.

Jumlah semen yang terlalu sedikit dengan air yang sedikit maka akan mengakibatkan adukan beton sulit untuk dipadatkan sehingga kuat tekan beton akan menurun. Jika semen yang digunakan berlebihan dengan banyaknya air yang juga berlebihan maka beton akan mempunyai banyak pori sehingga kuat tekannya berkurang.

5. Sifat Agregat

Agregat tidak berpengaruh besar terhadap kekuatan beton, karena biasanya kekuatan agregat lebih besar daripada kekuatan pastanya. Permukaan agregat berpengaruh terhadap kuat tekan beton, hal ini disebabkan karena agregat yang mempunyai permukaan yang kasar akan berpengaruh pada retakan dan besar tegangan saat retakan beton mulai terbentuk.

Dalam pembuatan mortar semen, air merupakan bahan dasar yang paling penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan sebagai pelumas untuk butir-butir agregat agar mudah

untuk dipadatkan. Hubungan antara berat air dan berat semen yang digunakan:

$$\text{FAS} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat semen}}$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat diketahui faktor air semen yang digunakan. Air yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 persen dari berat semen, namun pada kenyataannya faktor air semen yang dipakai tidak pernah kurang dari 0,35 (Suparjo, 2005). Menurut Senhadji (2013), faktor air semen yang digunakan untuk campuran semen *portland* dan *pozzolan* alam adalah 0,5.

2.7 Uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*)

Hasil dari limbah yang telah stabil biasanya diukur kelarutannya dan tes ekstraksi. Tes kelarutan dilihat dari seberapa potensial limbah yang telah stabil tersebut melepaskan kontaminan ke lingkungan. Uji TCLP cocok digunakan untuk menentukan perpindahan dari senyawa organik dan anorganik dalam air, padatan, maupun berbagai jenis limbah.

2.7.1 Baku Mutu Uji TCLP

Baku mutu uji TCLP telah ditetapkan dalam PP RI No. 85 tahun 1999 dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Baku Mutu TCLP (Hasil Ekstraksi/Lindi)

No.	Parameter	Konsentrasi dalam ekstraksi limbah (mg/l)
1	Krom	5,0
2	Tembaga	10,0
3	Timbal	5,0

Sumber: PP RI No. 85 tahun 1999

2.8 *Paint Filter Test*

Paint Filter Test ini dilakukan berdasarkan US EPA Method 9095B yang bertujuan untuk mengetahui adanya kandungan *free liquid* yang masih tersisa dalam proses stabilisasi/solidifikasi. Berikut ini adalah prosedur untuk *paint filter test* menurut *United Stated Environmental Protection Agency*:

1. Sampel diletakkan pada filter ukuran 60 mesh.
2. Biarkan sampel sampai mengalir menuju *graduated cylinder* selama 5 menit.
3. Jika tidak ada material yang tersaring pada *graduated cylinder* maka pengamatan dihentikan.
4. Jika ada material yang terkandung pada *graduated cylinder* maka material dianggap mengandung *free liquid*.

2.9 Teknik Perawatan (Curing)

Menurut Meynarti (2008), perawatan beton adalah suatu cara untuk memberikan waktu kepada beton untuk mengembangkan kekuatannya secara wajar dan sempurna. Untuk mencapai hasil tersebut, maka beton perlu dijaga agar tetap lembab sejak adukan beton dipadatkan hingga beton tersebut mengeras, agar selama proses hidrasi semen berjalan sempurna dan tidak terdapat retakan-retakan.

Meynarti (2008) menyatakan *curing* adalah suatu cara untuk perawatan beton yang berfungsi untuk meningkatkan proses pengerasan beton pada suhu dan kelembaban tertentu agar perkembangan peningkatan penyusun semen berlangsung secara sempurna. Metode *curing* dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Perawatan Normal
 - Menempatkan beton didalam ruang yang lembab.
 - Menempatkan beton diatas genangan air.
 - Menggenangi beton dengan air.
 - Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
 - Menyirami permukaan beton dengan air bersih secara terus-menerus.
2. Perawatan Dipercepat
 - Menutup permukaan beton dengan lembaran isolasi (*poly urethane sheef*).
 - Menyimpan beton didalam air panas suhu 55° C.
 - Untuk beton bertulang diberi aliran listrik (*electric curing*).
 - Pengeringan dengan menggunakan uap (*steam curing*).

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini, dan berfungsi untuk mempermudah pelaksanaan penelitian ini. Selain itu, penelitian terdahulu dapat digunakan

sebagai pembanding. Beberapa penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu

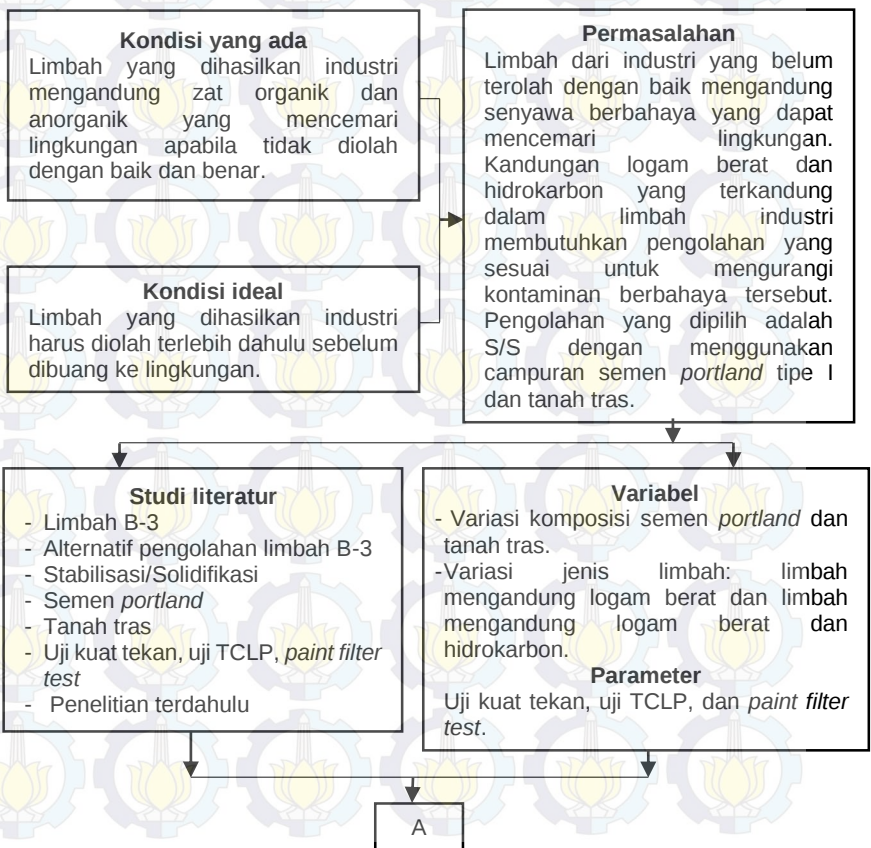
No.	Sumber	Hasil Penelitian
1	Ritayani, 2014	Dalam penelitian ini digunakan bentonit sebagai pozzolan. komposisi optimum semen bentonit : lumpur adalah 40% : 60% karena pada komposisi ini terjadi adsorpsi Cu sebesar 99,6%. Efisiensi pengolahan limbah organik dengan metode S/S dapat ditingkatkan dengan penambahan absorben (clay, zeolite, <i>fly ash</i>, dll) ataupun dengan melakukan <i>pretreatment</i>.
2	Desogus dkk, 2013	Penelitian S/S menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara mobilitas dari kontaminan logam berat dengan pH. Penggunaan semen menaikkan sifat basa, sebagai penentuan pelepasan logam berat dalam lindi.
3	Leonard dan Stegemann, 2009	Dalam penelitian ini digunakan HCFA (<i>high carbon fly ash</i>) sebagai bahan tambahan yang digunakan untuk mengikat kontaminan organik. Penambahan HCFA secara signifikan mengurangi luluhnya kontaminan hidrokarbon. Formula <i>binder</i>, rasio <i>binder</i> dengan limbah, dan <i>curing time</i> sangat berpengaruh terhadap hasil S/S. Angka kuat tekan rata-rata 1,7 sampai 36,3 MPa setelah 7 hari <i>curing time</i>, dengan signifikan meningkat menjadi 4,7 sampai 36,3 MPa setelah 56 hari <i>curing time</i>.
4	Gailius dkk, 2010	Dengan menggunakan komposisi <i>Fluid fly ash:classic fly ash:semen limbah B-3</i> 40%:20%:10%:30% didapatkan hasil kuat tekan sebesar 6,2 N/mm². Sedangkan komposisi efektif <i>fluid fly ash:classic fly ash:semen:limbah B-3</i> 20%:40%:10%:30% dapat menurunkan kontaminan yang terkandung dalam limbah kecuali Hg.

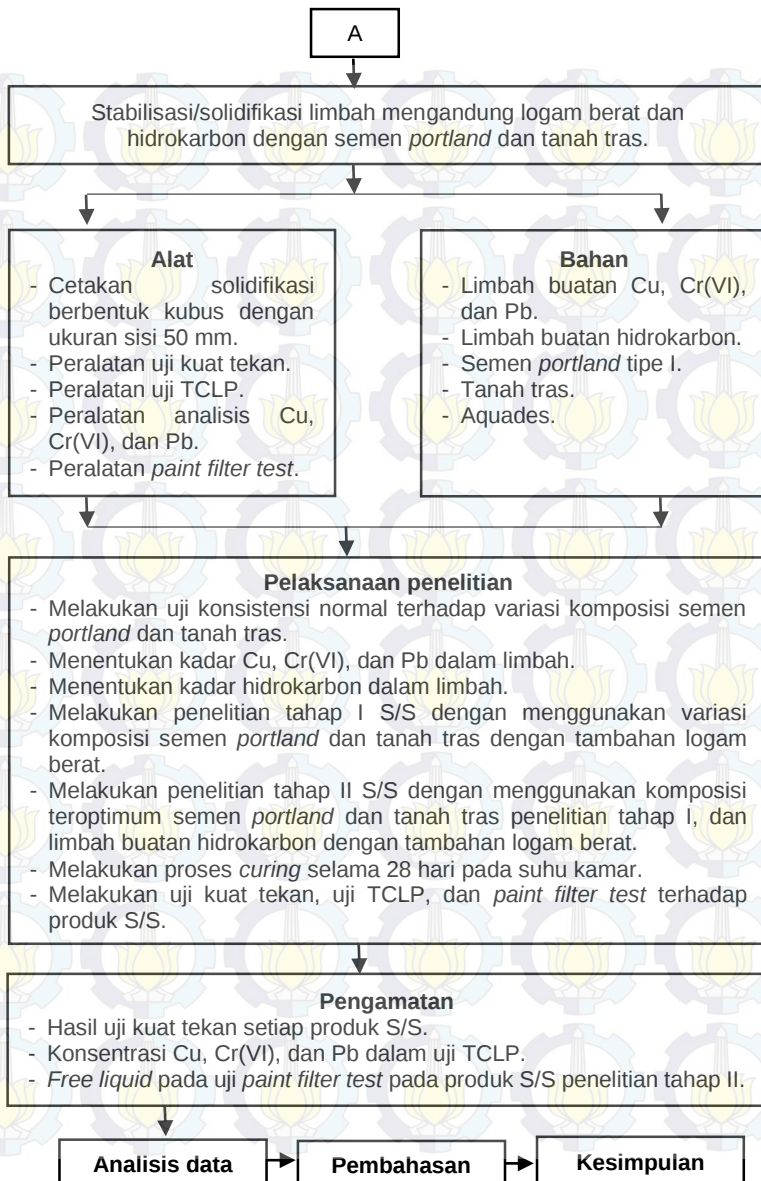
No.	Sumber	Hasil Penelitian
5	Meynarti, 2008	Dalam penelitian uji efektifitas solidifikasi Cu degan menggunakan <i>fly ash</i> digunakan variasi komposisi semen portland:<i>fly ash</i> sebagai berikut: 75:25;50:50;25:75. Didapatkan nilai kuat tekan terendah terdapat pada komposisi 25:75 sebesar 9,3 kg/cm², sedangkan nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada komposisi 75:25 sebesar 13,8 kg/cm². Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak <i>fly ash</i> yang diberikan maka akan menurunkan nilai kuat tekan benda uji.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

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





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

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

1. Ide Penelitian

Hal yang pertama kali dilakukan adalah menemukan ide yang berasal dari permasalahan yang ada disekitar kita berdasarkan kondisi saat ini. Kemudian dibandingkan dengan kondisi idealnya. Penelitian kali ini adalah stabilisasi/solidifikasi limbah mengandung logam berat dan hidrokarbon dengan semen *portland* dan tanah tras.

2. Studi Literatur

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

3. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan ini bertujuan untuk menyiapkan semua alat dan bahan yang dibutuhkan untuk penelitian.

4. Pelaksanaan Uji Konsistensi Normal

Uji konsistensi normal bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan dalam campuran semen *portland* dan tanah tras. Uji konsistensi normal yang dilakukan mengacu pada ASTM C187-11 tentang *standard test method for amount of water required for normal consistency of hydraulic cement paste*. Uji konsistensi normal dilakukan dua kali.

Pertama dilakukan pada variasi komposisi semen *portland* dan tanah tras. Kedua dilakukan pada komposisi semen *portland* dan tanah tras yang digunakan pada penelitian tahap kedua dengan campuran hidrokarbon.

5. Pembuatan Limbah Buatan

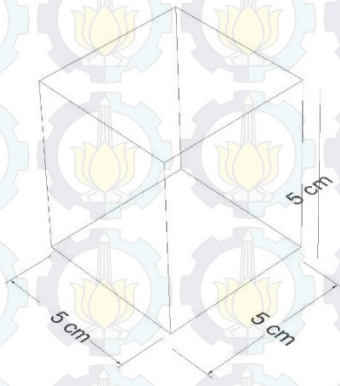
Limbah buatan yang akan diteliti adalah limbah buatan dalam campuran semen *portland* dan tanah tras. Limbah buatan logam berat yang akan digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan limbah yang belum terolah yang akan

dibuang ke *landfill* kategori I dimana kandungan logam berat Cu lebih tinggi atau sama dengan 1000 mg/kg berat kering limbah, Cr(VI) lebih tinggi atau sama dengan 2500 mg/kg berat kering limbah, dan Pb lebih tinggi atau sama dengan 3000 mg/kg berat kering limbah. Untuk limbah buatan mengandung hidrokarbon menggunakan variasi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%.

Pembuatan limbah buatan logam berat Cu menggunakan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, logam berat Cr(VI) menggunakan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, dan logam berat Pb menggunakan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, sedangkan untuk limbah buatan mengandung hidrokarbon menggunakan *paraffin liquid* p.a.

6. Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini akan dicetak dalam cetakan kubus yang disebut *specimen mold* dengan ukuran sisi 50 mm. Gambar *specimen mold* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Specimen Mold
(Sumber: Ritayani, 2014)

Pada penelitian ini digunakan semen *portland* tipe I dan tanah tras yang berasal dari PT. Varia Usaha (Persero). Tanah tras yang akan digunakan akan diayak terlebih dahulu untuk mendapatkan ukuran partikel yang sama.

Pembuatan benda uji dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama merupakan campuran dari semen *portland* dengan tanah tras dan limbah buatan logam berat (Cu, Cr(VI), dan Pb).

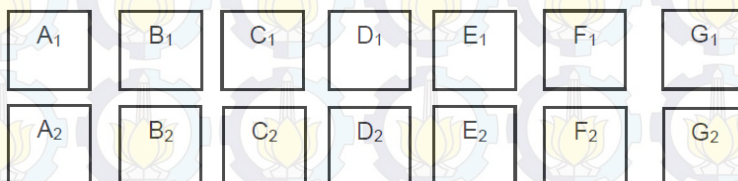
Pembuatan benda uji tahap pertama ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi optimum dari campuran semen *portland* dengan tanah tras. Jumlah benda uji pada tahap pertama sebanyak 14 buah. Variasi komposisi semen *portland* dan tanah tras dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perbandingan Variasi Semen *Portland* dan Tanah Tras

	Nama Benda	Semen <i>Portland</i> (%)	Tanah Tras (%)	Limbah Buatan (mg/kg)		
				Cu	Cr(VI)	Pb
Kontrol I	A	100	0	0	0	0
	B	100	0	1000	2500	3000
	C	75	25	1000	2500	3000
	D	50	50	1000	2500	3000
	E	25	75	1000	2500	3000
	F	0	100	1000	2500	3000
Kontrol II	G	0	100	0	0	0

(contoh perhitungan kadar Cu, Cr(VI), dan Pb dapat dilihat pada lampiran B)

Dari tabel diatas didapatkan gambar matriks dari tiap-tiap benda uji yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Skema Komposisi Campuran Semen *Portland* dan Tanah Tras

Pembuatan benda uji untuk penelitian tahap kedua bertujuan untuk menganalisis pengaruh hidrokarbon terhadap mutu produk S/S. Bahan yang akan digunakan untuk penelitian tahap kedua ini adalah komposisi optimum semen *portland* dan tanah tras pada benda uji tahap pertama. Komposisi optimum ini dilihat berdasarkan hasil uji kuat tekan dan uji TCLP, namun

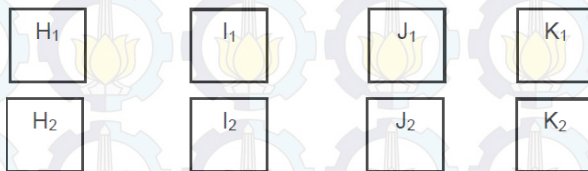
yang akan diprioritaskan adalah uji TCLP, setelah itu uji kuat tekan.

Pada pembuatan benda uji tahap kedua ditambahkan logam berat dengan jumlah yang sama pada pembuatan benda uji tahap satu dan ditambahkan hidrokarbon dengan komposisi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Jumlah benda uji pada tahap kedua sebanyak 8 buah. Variasi hidrokarbon dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Perbandingan Variasi Hidrokarbon

Nama Benda	Semen Portland (%)	Tanah Tras (%)	Limbah Buatan (mg/kg)			Hidro-karbon (%)
			Cu	Cr(VI)	Pb	
H	Komposisi optimum penelitian tahap I		0	0	0	2,5
I			1000	2500	3000	5
J			1000	2500	3000	7,5
K			1000	2500	3000	10

Dari tabel diatas didapatkan gambar matriks dari tiap-tiap benda uji yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema Komposisi Semen dan Tanah Tras Optimum dengan Hidrokarbon

Pada penelitian tahap kedua, jumlah hidrokarbon yang akan ditambahkan merupakan % dari berat campuran semen *portland* dan tanah tras. Dalam 1 *mortar* campuran semen *portland* dan tanah tras adalah 300 gram. Apabila hidrokarbon yang ditambahkan adalah 10%, maka campuran semen *portland* dan tanah trasnya adalah 90%.

7. Perawatan (Curing)

Perawatan ini dilakukan dengan cara meletakkan benda uji S/S pada suhu ruangan selama 28 hari. Dalam waktu 28 hari ini diharapkan benda uji S/S sudah mengeras. Selain itu,

kelembaban benda uji S/S ini harus dipertahankan untuk mencegah terjadinya retak pada benda uji S/S selama masa perawatan. Dalam penelitian ini dilakukan *moisture curing*, yaitu dengan cara meletakkan benda uji diatas genangan air dan menutupnya dengan kain basah. Namun, benda uji tidak bersentuhan dengan air secara langsung agar meminimalisir terjadinya peluluhan logam berat.

8. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besaran beban tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol. Berdasarkan Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 Tahun 1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, kuat tekan minimal yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol minimum 10 ton/m². Uji kuat tekan ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, dengan menggunakan alat bernama *Versa Tester Soil Test Type: Model ODP/91211 FRAME 56*. Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada benda uji dan benda kontrol yang sudah telah melewati masa *curing* selama 28 hari. Sebelum diuji kuat tekan, dilakukan pengamatan terhadap benda uji dan benda kontrol terlebih dahulu. Untuk menghitung kuat tekan benda uji digunakan rumus:

$$F_m = P/A$$

Keterangan:

F_m = Kuat Tekan Mortar (Mpa)

P = Gaya Tekan (N)

A = Luas (mm²)

Prosedur uji kuat tekan mengacu pada ASTM C 109/109 M-02 *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar* yang dapat dilihat pada lampiran A. Uji kuat tekan akan dilakukan pada 14 benda uji untuk penelitian tahap pertama dan 8 benda uji untuk penelitian tahap kedua.

9. Uji TCLP

Uji TCLP bertujuan untuk mengetahui apakah benda uji S/S masih dapat melepaskan kontaminan ke lingkungan. Apabila saat diuji TCLP menghasilkan konsentrasi zat beracun melebihi ambang batas yang telah ditetapkan pada PP RI No. 85 tahun 1999, maka limbah tersebut tidak dapat dibuang ke *landfill*

maupun dimanfaatkan. Uji TCLP yang akan dilakukan mengacu *Standard Method for the examination of water and wastewater* yang dapat dilihat pada lampiran A.

Uji TCLP akan dilakukan pada 14 benda uji untuk penelitian tahap pertama dan 8 benda uji untuk penelitian tahap kedua. Parameter yang akan diuji adalah logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb.

10. Paint Filter Test

Paint filter test dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui adanya kandungan *free liquid* yang masih tersisa pada sampel. *Paint filter test* yang akan dilakukan mengacu pada metode US EPA 9095B yang dapat dilihat pada lampiran A.

Paint filter test akan dilakukan pada 14 benda uji untuk penelitian tahap pertama dan 8 benda uji untuk penelitian tahap kedua.

11. Analisis Data

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis secara statistik dengan menggunakan metode ANOVA (*analysis of variance*) *one way*, analisis data dibagi ke dalam dua tahap yaitu:

I. Penelitian tahap pertama

Data yang akan digunakan adalah hasil uji kuat tekan dan uji TCLP. Analisis menggunakan metode statistik pada hasil penelitian tahap pertama ini adalah untuk mengetahui hasil dari kedua uji tersebut berbeda signifikan atau tidak berbeda signifikan.

II. Penelitian tahap kedua

Data yang akan digunakan adalah hasil uji kuat tekan dan uji TCLP. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh zat organik berupa hidrokarbon terhadap mutu produk hasil S/S.

12. Kesimpulan

Kesimpulan ini merupakan tahap akhir dari proses penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan maka selanjutnya dirumuskan kesimpulan yang mencakup seluruh proses dari penelitian.

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *portland* tipe I, tanah tras, limbah buatan mengandung logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb, dan limbah buatan mengandung hidrokarbon.

4.1.1 Karakteristik Semen *Portland* Tipe I

Semen digunakan dalam S/S karena semen dapat mengurangi pelepasan kontaminan berbahaya ke lingkungan (Leisinger dkk, 2014). Penggunaan semen *portland* tipe I dalam proses S/S dikarenakan harganya lebih murah dan tidak dibutuhkannya sifat-sifat khusus pada semen tipe ini. Semen *portland* tipe I yang digunakan berasal dari PT. Varia Usaha (Gresik) yang memiliki karakteristik fisik berwarna abu-abu yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



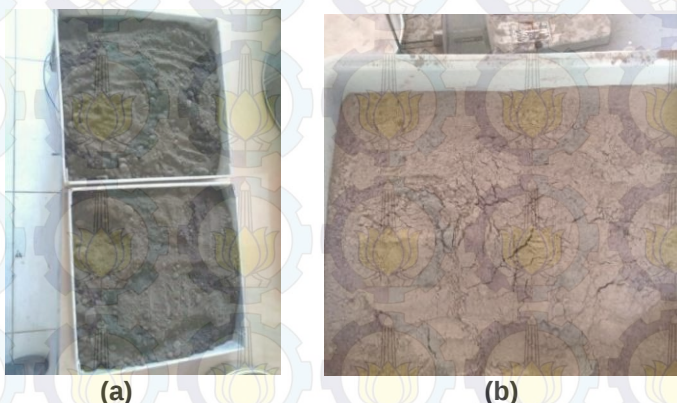
Gambar 4. 1 Semen *Portland* Tipe I

4.1.2 Karakteristik Tanah Tras

Tanah tras yang digunakan berasal dari PT. Varia Usaha (Gresik) yang diambil dari Kota Pasuruan. Tanah tras ini memiliki karakteristik fisik seperti pasir, kasar, berwarna hitam, dan dalam keadaan basah. Untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam tanah tras, maka harus dimasukkan terlebih dahulu ke dalam oven dalam waktu ± 24 jam. Setelah itu, tanah tras dimasukkan ke dalam mesin penggiling *bond ball mill* selama ± 2

jam dengan kecepatan 56 rpm. Tujuan dari penggilingan ini adalah untuk mendapatkan ukuran tanah tras yang lebih halus.

Tanah tras yang telah dikeluarkan dari penggilingan memiliki karakteristik fisik yang berbeda yaitu butirannya sangat halus dan berwarna coklat muda. Pada Gambar 4.2 dapat dilihat karakteristik tanah tras sebelum dan setelah dikeluarkan dari alat penggilingan. Sebelum digunakan tanah tras harus diayak terlebih dahulu untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam. Pengayakan dilakukan menggunakan alat ayak ukuran 200 mesh.



Gambar 4. 2 (a) Tanah Tras Sebelum Digiling; (b) Tanah Tras Sesudah Digiling

Kemampuan tras mengeras dalam campuran semen *portland* disebabkan karena bagian-bagian silika (SiO_2) pada tras yang sangat halus, dapat bereaksi dengan kapur pada semen. Reaksi ini akan membentuk ikatan atau senyawa silika dengan kapur yang dapat mengeras menyerupai batu dan tidak larut dalam air (Monintja dkk, 2013).

4.1.3 Karakteristik Limbah Buatan

Limbah buatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah buatan mengandung logam berat dan hidrokarbon. Limbah buatan logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb masing-masing menggunakan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Pada limbah yang mengandung hidrokarbon, jenis hidrokarbon yang digunakan adalah alkana, yaitu *parafin liquid*. Penggunaan *parafin* dalam bentuk *liquid* adalah untuk mempermudah pencampurannya dengan *pozzolan*. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat karakteristik limbah buatan yang digunakan dalam proses S/S.

Tabel 4. 1 Karakteristik Limbah Buatan

No.	Limbah buatan	Karakteristik			
		Bentuk	Warna	Bau	pH
1	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Kristal	Biru Muda	Tidak berbau	2,58
2	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Kristal	Orange Cerah	Tidak berbau	2,87
3	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Kristal	Putih	Tidak berbau	2,33
4	Parafin	<i>Liquid</i>	Bening	Tidak berbau	-

Sedangkan untuk masing-masing logam berat yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Kristal $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

4.2 Uji Konsistensi Normal

Uji konsistensi normal bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan dalam campuran semen *portland* dan tanah tras. Konsistensi normal semen adalah kadar air dalam pasta semen yang apabila jarum vicat diletakkan pada permukaannya, akan terjadi penurunan sedalam 10 mm dalam waktu 30 detik. Uji

konsistensi normal ini mengacu pada ASTM C187-11 tentang *standard test method for amount of water required for normal consistency of hydraulic cement paste*. Peralatan yang digunakan dalam uji konsistensi normal adalah:

1. Mesin pengaduk (*mixer*) yang dilengkapi dengan mangkok pengaduk.
2. Alat vicat sesuai dengan standar ASTM C187-11 yang terdiri dari:
 - a) Batang vicat.
 - b) Cetakan berbentuk kerucut dengan diameter atas 60 mm, diameter bawah 70 mm, dan tinggi 40 mm.
 - c) Pelat kaca dengan ukuran 102,5 x 102,5 x 50 mm dan 110 x 110 x 20 mm.
3. Gelas ukur dengan kapasitas 100-200 mL dan pipet tetes yang digunakan untuk mengukur jumlah air yang ditambahkan dalam adonan pasta semen.
4. Timbangan dengan berat maksimum 560 g dan memiliki ketelitian 0,1 g.

4.2.1 Hasil Uji Konsistensi Normal

Uji konsistensi normal dilakukan pada benda uji dengan semua variasi komposisi, karena berbeda komposisi antara semen *portland* dan tanah tras maka berbeda pula jumlah air yang harus ditambahkan. Hasil uji konsistensi campuran semen *portland* dan tanah tras dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Konsistensi Semen *Portland* dan Tanah Tras

No.	% Perbandingan		Berat (g)		Jumlah Air (mL)
	Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	
1	100	0	300	0	82
2	75	25	225	75	92
3	50	50	150	150	103
4	25	75	75	225	111
5	0	100	0	300	120

Berdasarkan hasil uji konsistensi diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak *pozzolan* (tanah tras) yang ditambahkan maka semakin banyak pula jumlah air yang dibutuhkan.

Selanjutnya dapat dilakukan pembuatan benda uji dengan komposisi dan jumlah air yang sudah ditentukan.

Uji konsistensi normal juga dilakukan untuk campuran semen *portland* dan tanah tras dengan hidrokarbon. Berdasarkan hasil uji konsistensi, semakin banyaknya jumlah hidrokarbon yang ditambahkan maka semakin sedikit pula jumlah air yang diperlukan. Hasil uji konsistensi normal campuran semen *portland* dan tanah tras dengan hidrokarbon dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Konsistensi Semen *Portland* dan Tanah Tras dengan Hidrokarbon

No.	% Perbandingan		Parafin		Jumlah Air (mL)
	Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	Persentase (%)	Massa (g)	
1	50	50	2,5	7,5	91
2			5	15	86
3			7,5	22,5	82,5
4			10	30	81

Menurut Utomo dan Laksono (2007), rasio air dan semen merupakan hal yang sangat penting dalam proses S/S karena akan mempengaruhi ukuran pori dari benda uji. Rasio air-semen yang rendah akan menyebabkan ukuran pori yang kecil. Pori yang kecil merupakan hal penting dalam proses S/S, karena kontaminan akan terjebak di dalam pori tersebut sehingga mobilitasnya akan berkurang.

4.3 Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon

4.3.1 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji untuk penelitian tanpa penambahan hidrokarbon menggunakan variasi komposisi semen *portland* dan tanah tras. Untuk 1 cetakan *mortar* dibutuhkan bahan campuran semen *portland* dan tanah tras sebanyak 300 g. Banyaknya jumlah semen *portland* dan tanah tras yang ditambahkan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Jumlah Semen *Portland* dan Tanah Tras yang Ditambahkan

Komposisi (%)		Berat (g)	
Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras
100	0	300	0
75	25	225	75
50	50	150	150
25	75	75	225
0	100	0	0

Pada penelitian tahap I ditambahkan logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb yang masing-masing diencerkan terlebih dahulu. Jumlah air yang digunakan untuk pengenceran logam berat ini sesuai dengan hasil uji konsistensi. Semen *portland*, tanah tras, dan logam berat dimasukkan ke dalam mangkuk pengaduk dan diaduk menggunakan *mixer* selama ± 2 menit. Tujuan pengadukan menggunakan *mixer* ini adalah agar pencampuran antara material dan logam berat berlangsung secara sempurna. Setelah itu, adonan dimasukkan ke dalam cetakan.

Kemudian dilakukan *curing* (perawatan) selama 28 hari. *Curing* bertujuan untuk merawat benda uji agar tidak terjadi keretakan akibat hidrasi semen. Metode *curing* yang dilakukan adalah *moisture curing*, dengan cara meletakkan benda uji diatas genangan air dan menutupnya dengan kain basah. Pemilihan *moisture curing* dalam penelitian ini adalah untuk meminimalisir terjadi pelindian logam berat pada benda uji.

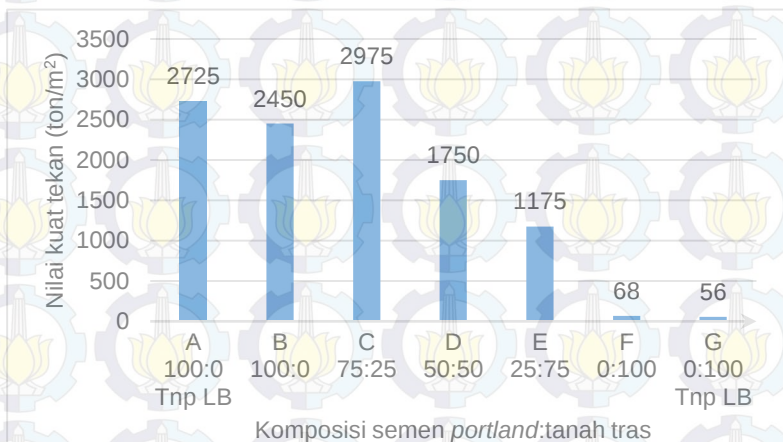
4.3.2 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan kemampuan suatu benda untuk memikul suatu beban tekan (Wijaya, 2005). Menurut Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 Tahun 1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahaya dan Beracun, kuat tekan minimum benda hasil stabilisasi/solidifikasi adalah 10 ton/m². Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS dengan alat *Versa Tester Soil Test Type*:

Model ODP/91211 FRAME 56. Uji kuat tekan ini dilakukan pada 14 benda uji untuk penelitian tanpa penambahan hidrokarbon.

4.3.2.1 Pengaruh Campuran Semen *Portland* dan Tanah Tras terhadap Uji Kuat Tekan

Pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon akan diketahui pengaruh komposisi semen *portland* dan tanah tras terhadap nilai kuat tekan. Sebelum dilakukan uji kuat tekan, masing-masing benda uji ditimbang terlebih dahulu. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Nilai Uji Kuat Tekan Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon

Pada grafik diatas dapat dilihat nilai kuat tekan pada benda uji tanpa penambahan hidrokarbon berkisar antara 56 ton/m² hingga 2975 ton/m². Kuat tekan rata-rata tertinggi dimiliki oleh benda uji C dengan komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25, yaitu sebesar 2975 ton/m². Sedangkan, nilai kuat tekan minimum rata-rata sebesar 56 ton/m² yang dimiliki oleh benda uji G dengan komposisi tanah tras 100% tanpa ditambahkan logam berat. Pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon, semua nilai kuat tekan pada benda uji masih memenuhi batas minimum yang telah

ditetapkan oleh Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03 tahun 1995 yaitu sebesar 10 ton/m².

Berdasarkan hasil uji kuat tekan, penambahan tanah tras pada campuran semen *portland* mengakibatkan semakin menurunnya nilai kuat tekan. Hal ini berlaku pada setiap benda uji kecuali benda uji C. Pada benda uji C dengan perbandingan semen *portland* dan tanah tras 75:25 memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan benda uji dengan komposisi semen *portland* 100%. Sesuai dengan pernyataan Suryoatmono dan Susilorini (2003) bahwa kuat tekan optimal yang dapat dicapai pada beton dengan campuran tanah tras mencapai 29,802 MPa atau setara dengan 2980,2 ton/m². Selain itu, nilai kuat tekan ini juga dipengaruhi oleh jumlah air yang ditambahkan dalam setiap adonan. Jumlah air yang ditambahkan dalam adonan semen harus sesuai, apabila terlalu sedikit atau terlalu banyak maka akan menurunkan nilai kuat tekannya.

Selama masa *curing* 28 hari benda uji dengan campuran semen *portland* dan tanah tras tidak mengalami keretakan. Hal ini disebabkan metode *curing* yang digunakan sesuai sehingga proses hidrasi pada semen *portland* berjalan sempurna karena benda uji dijaga untuk tetap lembab sejak pertama kali dilepaskan dari cetakan. Namun, hal ini berbeda pada benda uji dengan komposisi tanah tras 100% yang mengalami keretakan selama masa *curing* 28 hari. Hal ini dimungkinkan karena tanah tras membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengering dan mengeras dari pada semen. Sehingga saat dilepaskan dari cetakan, keadaan tanah tras masih belum mengeras secara sempurna. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat gambar benda uji setelah 28 hari masa *curing*.



(a) benda uji A



(b) benda uji B



(c) benda uji C



(d) benda uji D



(e) benda uji E



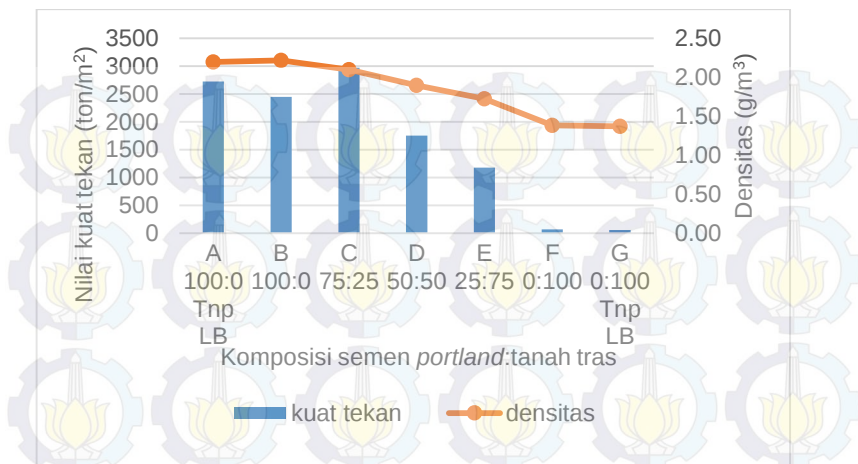
(f) benda uji F



(g) benda uji G

Gambar 4. 6 Kondisi Benda Uji Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon setelah *Curing* 28 Hari

Benda uji dengan komposisi dan perlakuan yang sama dapat menghasilkan kuat tekan yang berbeda. Perbedaan nilai kuat tekan ini dapat diakibatkan karena terdapatnya rongga pada benda uji. Rongga pada benda uji ini disebabkan karena pada saat pencetakan, pemadatan yang dilakukan kurang optimal. Tingkat kepadatan benda uji akan berpengaruh terhadap rongga yang dihasilkan, semakin padat benda uji maka semakin sedikit rongga yang akan muncul pada benda uji tersebut. Adanya rongga pada benda uji ini dapat menyebabkan berat benda uji berkurang, apabila berat benda uji berkurang maka densitas dari benda uji tersebut pun akan semakin kecil. Menurut Utomo dan Laksono (2007), benda uji yang tidak kuat dan padat dapat meningkatkan resiko terjadinya pelindian logam berat. Dalam penelitiannya Utomo dan Laksono (2007) menyatakan bahwa ukuran pori yang kecil merupakan suatu hal yang penting dalam S/S, karena kontaminan akan terjebak didalamnya sehingga mobilitasnya akan berkurang. Gambar 4.5 dapat dilihat perbandingan nilai kuat tekan dengan densitas benda uji.



Gambar 4. 5 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dengan Densitas Benda Uji pada Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon

Dapat dilihat bahwa semakin rendahnya densitas benda uji maka semakin rendah pula nilai kuat tekan. Hal ini berlaku hampir pada semua benda uji. Namun, pada komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25 dengan nilai kuat tekan tinggi dihasilkan densitas yang rendah. Hal ini dapat disebabkan ketelitian alat kuat tekan yang rendah.

Setelah benda uji hancur saat uji kuat tekan, benda uji tersebut harus dihancurkan hingga halus dan lolos ayakan ukuran 10 mm. Benda uji yang telah dihancurkan tersebut akan digunakan pada uji TCLP untuk mengetahui pelindian logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb.

Nilai signifikansi data kuat tekan dianalisis menggunakan metode statistik ANOVA *one way*. Analisis ini menggunakan *software* Minitab 16. Berdasarkan analisis data tersebut didapatkan nilai P sebesar 0,009 sehingga data kuat tekan yang didapatkan pada penelitian ini adalah berbeda signifikan. Hal ini berarti komposisi semen *portland*:tanah tras mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan benda uji.

4.3.3 Uji TCLP

Uji TCLP dilakukan untuk mengetahui besarnya pelindian logam berat yang terjadi pada benda uji hasil S/S. Untuk mengetahui hal tersebut, sampel harus di rotasi-agitasi terlebih dahulu selama ± 18 jam. Rotasi-agitasi dilakukan dengan menggunakan alat *Rotary Agitator* model S0192. Kemudian, sampel tersebut dianalisis menggunakan metode kolorimetri untuk logam berat Cr(VI), metode neocuproine untuk logam berat Cu, dan dithizone untuk logam berat Pb.

Sebelum dilakukan uji TCLP, dilakukan analisis pH untuk mengetahui cairan ekstraksi yang akan digunakan. Pada Tabel 4.5 dapat dilihat pH pada sampel dengan variasi komposisi semen *portland* dan tanah tras.

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran pH Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon

Komposisi semen <i>portland</i> : tras	Nama Benda Uji	pH	Rata-rata pH
100:0 Tnp LB	A	A1	12,22
		A2	12,23
100:0	B	B1	12,1
		B2	12,11
75:25	C	C1	12,23
		C2	12,30
50:50	D	D1	11,93
		D2	11,94
25:75	E	E1	11,34
		E2	11,36
0:100	F	F1	7,83
		F2	7,91
0:100 Tnp LB	G	G1	9,21
		G2	9,18

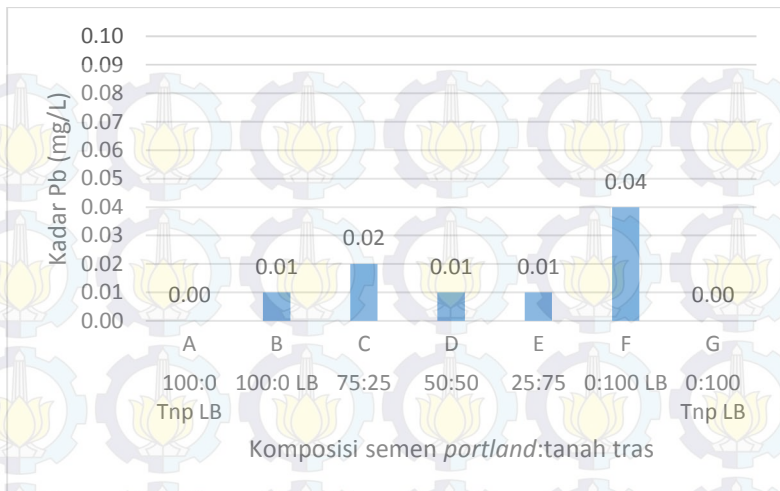
Berdasarkan dari pengukuran pH, menunjukkan bahwa semua sampel memiliki pH basa. Oleh karena itu, untuk uji TCLP digunakan cairan ekstraksi 2. Cairan ekstraksi 2 ini menggunakan larutan buffer dengan pH $2,88 \pm 0,05$. Pembuatan larutan ini dengan cara menambahkan $\pm 3-5$ mL asam asetat ke dalam 200 mL aquades. Setelah itu ditambahkan 10 g sampel ke dalam 200 mL aquades kemudian dilakukan rotasi-agitasi.

Larutan sampel setelah rotasi-agitasi harus didiamkan terlebih dahulu agar terjadi pengendapan pada sampel. Tujuan dari perlakuan ini adalah agar sampel lebih jernih. Setelah itu, sampel dianalisis menggunakan metode spektrofotometer. Prinsip kerja spektrofotometer adalah bila cahaya (monokromatik maupun campuran) jatuh pada suatu medium homogen, sebagian dari sinar yang masuk akan dipantulkan, sebagian akan diserap dalam medium itu, dan sisanya akan diteruskan. Nilai yang didapatkan dari cahaya yang diteruskan dinyatakan dalam nilai absorbansi karena memiliki hubungan dengan konsentrasi sampel (Bashar, 2012).

4.3.3.1 Pengaruh Variasi Komposisi Semen *Portland* dan Tanah Tras Terhadap Uji TCLP

Pada penelitian ini dapat dilihat pengaruh variasi komposisi semen *portland* dan tanah tras terhadap pelindian logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb. Kadar logam berat Pb pada sampel dianalisis menggunakan metode dithizone. Prinsip metode dithizone yaitu menggunakan sampel yang telah diasamkan yang mengandung sejumlah Pb, kemudian dicampur dengan *ammoniacal citrate-cyanide reducing solution* dan di ekstrak menggunakan dithizone dengan klorofom untuk membentuk timbal dithizonate berwarna kemerahan (Eaton dkk, 2005).

Masing-masing sampel diukur absorbansinya menggunakan panjang gelombang 510 nm. Hasil absorbansi tersebut di plotkan ke dalam kurva standard Pb dan didapatkan kadar Pb yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Kadar Pb pada Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon

Hasil uji TCLP menunjukkan pelindian logam berat Pb berkisar antara 0,00 mg/L hingga 0,04 mg/L. Berdasarkan hal tersebut maka hasil uji TCLP pelindian Pb masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pada PP RI No. 85 tahun 1999 yaitu sebesar 5 mg/L. Pada komposisi semen *portland* 100% tanpa penambahan logam berat tidak terjadi pelindian Pb yang terdeteksi. Sedangkan benda uji dengan komposisi semen *portland* 100% dengan penambahan logam berat menunjukkan terjadinya pelindian logam berat Pb sebesar 0,01 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa semen *portland* mampu mengikat Pb dengan baik.

Pada komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25 terjadi pelindian Pb sebesar 0,02 mg/L. Sedangkan pada komposisi 50:50 dan komposisi 25:75 terjadi pelindian Pb yaitu sebesar 0,01 mg/L. Namun, pada komposisi tanah tras 100% dengan penambahan logam berat terjadi peningkatan pelindian Pb sebesar 0,04 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa dengan komposisi tanah tras 100% masih mampu mengikat Pb dengan baik sehingga pelindiannya masih memenuhi baku mutu. Komposisi 100% tanah tras tanpa

penambahan logam berat Pb menunjukkan tidak terjadinya pelindian Pb.

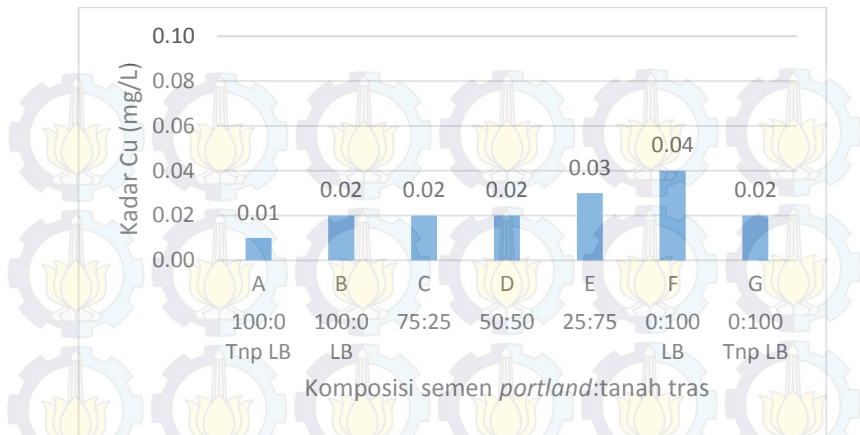
Hal ini sesuai dengan pernyataan Utomo dan Laksono (2007), dalam proses S/S penghilangan Pb berlangsung secara cepat dalam kurun waktu setengah menit 93% Pb dapat dihilangkan dari larutannya dan 90% dari tanah yang terkontaminasi. Penelitian lain menyatakan bahwa proses S/S mampu menghilangkan Pb sebesar 99% (Bajceta dkk, 2013).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Lee (2007), bahwa dalam proses solidifikasi Pb tergabung ke dalam C-S-H (*calcium-silicate-hydrate*) matriks. Sedangkan menurut Utomo dan Laksono (2007), sebagian kecil Pb berada di permukaan partikel semen sebagai hasil penyerapan/penggabungan dengan struktur silika, dan sebagian besar Pb lainnya tersebar secara luas pada seluruh matriks pada antar bidang partikel. Oleh karena itu, pelindian Pb sangat kecil.

Data pelindian logam berat Pb dianalisis menggunakan metode statistik ANOVA *one way* untuk mengetahui signifikansi data. Berdasarkan uji statistik tersebut didapatkan nilai P sebesar 0,934 yang berarti data pelindian Pb tidak berbeda signifikan. Hal ini disebabkan nilai pelindian Pb hampir sama yaitu antara 0,00 mg/L hingga 0,04 mg/L.

Selain logam berat Pb, pelindian Cu dalam sampel juga dianalisis. Analisis logam berat Cu menggunakan metode neocuproine. Prinsip metode neocuproine adalah reaksi yang terjadi antara ion Cu^+ dengan 2,9-dimethyl-1,10-phenanthroline (neocuproine) untuk membentuk senyawa kompleks yaitu 2 mol neocuproine yang terikat pada 1 mol ion Cu^+ . Senyawa kompleks ini diekstraksi dengan beberapa pelarut organik seperti klorofom dan methanol untuk memberikan warna kuning pada larutan yang kemudian diukur absorbansinya dengan panjang gelombang 450 nm (Eaton dkk, 2005).

Sampel dan blanko diperlakukan sama kemudian dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer dan hasilnya diplotkan pada kurva standard Cu. Hasil TCLP logam berat Cu dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Kadar Cu Pada Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon

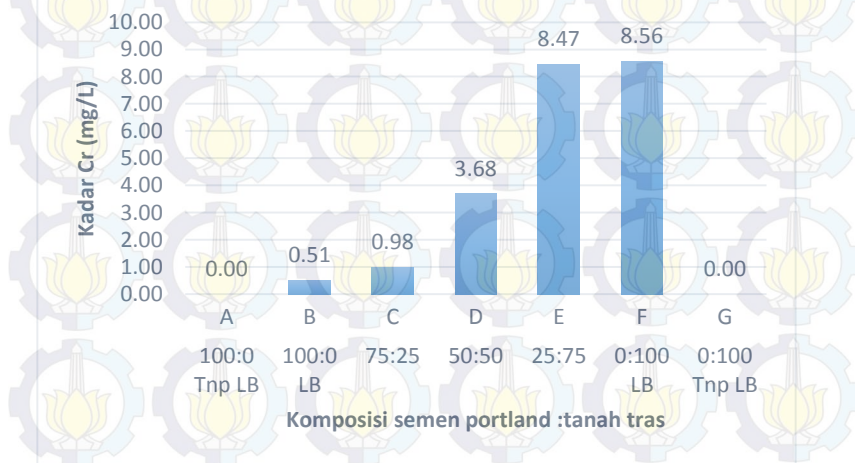
Pelindian logam berat Cu pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon berkisar antara 0,01 mg/L hingga 0,04 mg/L. Berdasarkan hal tersebut maka hasil pelindian logam berat Cu tersebut masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pada PP RI No. 85 Tahun 1999 yaitu sebesar 10 mg/L.

Sampel A dengan komposisi semen 100% tanpa penambahan logam berat terjadi pelindian logam berat Cu sebesar 0,01 mg/L. Sedangkan pada benda uji B, C, dan D terjadi pelindian logam berat Cu sebesar 0,02 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tanah tras sebagai pengganti semen hingga 50% berat semen tidak berpengaruh terhadap pelindian logam berat Cu. Namun pada benda uji E dan F terjadi peningkatan pelindian logam berat yaitu masing-masing sebesar 0,03 mg/L dan 0,04 mg/L. Hal ini menunjukkan pada komposisi 100% tanah tras dengan penambahan logam berat masih mampu mengikat logam berat Cu dengan baik sehingga pelindiannya masih memenuhi baku mutu. Menurut Bath dkk (2010) *pozzolan* alam (bentonit) mampu mengikat Cu dalam larutan dengan konsentrasi 100 mg/L sebesar 99,16%. Bajceta dkk (2013) menyatakan bahwa proses S/S dapat meremoval Cu di atas 99% dalam sampel dengan kandungan Ca(OH)_2 yang tinggi.

Data pelindian logam berat Cu pada penelitian tanpa penambahan logam berat dianalisis menggunakan metode statistik ANOVA *one way* untuk mengetahui signifikansi data. Berdasarkan uji statistik tersebut didapatkan nilai P sebesar 0,709 yang berarti data pelindian Cu tidak berbeda signifikan. Hal ini disebabkan nilai pelindian Cu hampir sama yaitu berkisar antara 0,01 mg/L hingga 0,04 mg/L.

Selain logam berat Pb, dan Cu, kadar logam berat Cr(VI) juga dianalisis. Penentuan kadar Cr(VI) menggunakan metode kolorimetri. Metode kolorimetri merupakan metode yang digunakan untuk mengukur hexavalent krom (Cr^{+6}). Cr^{+6} ditentukan secara kolorimetri oleh reaksi yang terjadi dengan diphenylcarbazide pada larutan asam. Setelah larutan direaksikan dengan diphenylcarbazide, larutan akan menjadi berwarna merah keunguan. Larutan inilah yang diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm (Eaton dkk, 2005).

Larutan sampel dan blanko dibuat dengan perlakuan yang sama. Kemudian dilakukan pengukuran absorbansi dengan menggunakan spektrofotometer kemudian hasilnya diplotkan pada kurva standard Cr(VI). Hasil TCLP logam berat Cr(VI) dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Kadar Cr(VI) pada Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon

Baku mutu uji TCLP untuk logam berat Cr(VI) berdasarkan PP RI No. 85 tahun 1999 adalah sebesar 5 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Cr(VI) yang terkandung dalam ekstraksi sampel antara 0,00 mg/L sampai 8,56 mg/L. Maka benda uji E dengan komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25, dan benda uji F dengan komposisi 100% tanah tras tidak memenuhi baku mutu.

Pada sampel A, sampel B, sampel C, dan sampel D terjadi penyerapan Cr(VI) dengan baik yaitu masing-masing sebesar 0,00 mg/L, 0,51 mg/L, 0,98 mg/L, dan 3,68 mg/L. Namun, pada sampel E dan F terjadi penurunan penyerapan Cr(VI) sehingga kadarnya tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Sampel E merupakan komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25, hal ini menunjukkan bahwa komposisi tersebut kurang sesuai digunakan untuk mengikat logam berat Cr(VI) pada limbah. Sedangkan pada sampel F dengan komposisi tanah tras 100% yang ditambahkan limbah buatan logam berat terjadi pelindian Cr(VI) sebesar 8,56 mg/L. Hal ini menunjukkan penambahan semen sebesar 25% (benda uji E) pada campuran adonan tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap penyerapan Cr(VI) jika dibandingkan dengan komposisi tanah tras 100%. Sesuai pernyataan Utomo dan Laksono (2007), semen *portland* yang ditambahkan dalam proses solidifikasi berfungsi sebagai pengikat yang dapat menciptakan bentuk limbah yang lebih stabil. Sehingga semakin sedikit semen *portland* yang ditambahkan kedalam campuran adonan, maka semakin tinggi pelindian logam beratnya. Menurut Jain dan Garg (2008), penurunan pelindian Cr(VI) pada sampel bergantung terhadap waktu *curing*. Pada waktu 28 hari pelindian Cr(VI) tinggi dan menurun dalam kurun waktu *curing* 90 hari, 160 hari, dan 360 hari.

Data pelindian logam berat Cr(VI) pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon dianalisis menggunakan metode statistik ANOVA *one way* untuk mengetahui signifikansi data. Berdasarkan uji statistik tersebut didapatkan nilai P sebesar 0,654 yang berarti data pelindian Cr(VI) tidak berbeda signifikan.

Pada ketiga hasil uji logam berat dalam sampel didapatkan bahwa Cr(VI) yang paling mudah terlarut sehingga membuat larutan hasil TCLP berwarna kuning. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lee (2007) bahwa dalam proses S/S logam berat Pb dan As bergabung ke dalam C-S-H matriks, sebagian besar Cd

berada pada pori semen sebagai partikel diskrit sedangkan Cr(VI) sebagian besar terbebas sebagai ion CrO_4^{2-} .

Berdasarkan hasil analisis kadar logam berat Pb, Cu, dan Cr(VI) maka perbandingan komposisi semen *portland*:tanah tras 50:50 yang dipertimbangkan sebagai komposisi optimum. Hal pertama yang diperhatikan pada penentuan komposisi optimum ini adalah kadar Cr(VI) pada sampel, karena Cr(VI) sangat larut dalam air dan kadarnya yang relatif besar dalam sampel. Pada komposisi 50:50 kadar Cr(VI) sebesar 3,68 mg/L yang masih memenuhi baku mutu berdasarkan PP RI No.85 Tahun 1999 yaitu sebesar 5 mg/L. Setelah itu dilihat kadar Pb dan Cu dalam sampel yang masih memenuhi baku mutu yaitu masing-masing sebesar 0,01 mg/L dan 0,02 mg/L.

4.4 Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

4.4.1 Pembuatan Benda Uji

Penelitian dengan penambahan hidrokarbon bertujuan untuk mengetahui pengaruh hidrokarbon terhadap mutu produk hasil S/S. Komposisi yang akan digunakan pada penelitian tahap kedua ini adalah komposisi optimum pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon. Komposisi yang digunakan adalah semen *portland*:tanah tras 50:50. Dilakukan penambahan hidrokarbon dengan variasi 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% pada penelitian ini. Banyaknya semen *portland*, tanah tras, dan hidrokarbon yang ditambahkan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Jumlah Material yang Ditambahkan untuk Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

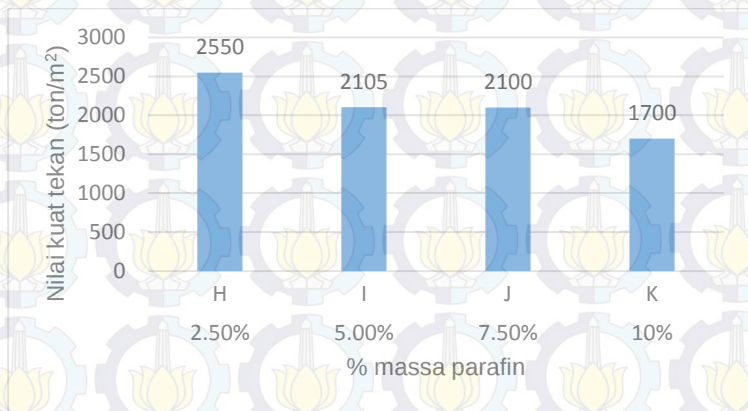
Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras	Parafin		Semen <i>Portland</i>	Tanah Tras
% Komposisi		Persentase%	Berat (g)	Berat (g)	
50	50	2,5	7,5	146,25	146,25
		5	15	142,50	142,50
		7,5	22,5	138,75	138,75
		10	30	135,00	135,00

Pada penelitian dengan penambahan hidrokarbon, hidrokarbon dicampurkan terlebih dahulu dengan tanah tras. Hal ini dimaksudkan agar hidrokarbon dapat bercampur secara merata. Setelah itu semen *portland* dimasukkan dan ditambahkan logam berat yang telah diencerkan. Adonan yang telah siap dimasukkan kedalam cetakan dan diperlakukan sama seperti benda uji pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon.

4.4.2 Uji Kuat Tekan

4.4.2.1 Pengaruh Hidrokarbon terhadap Nilai Uji Kuat Tekan

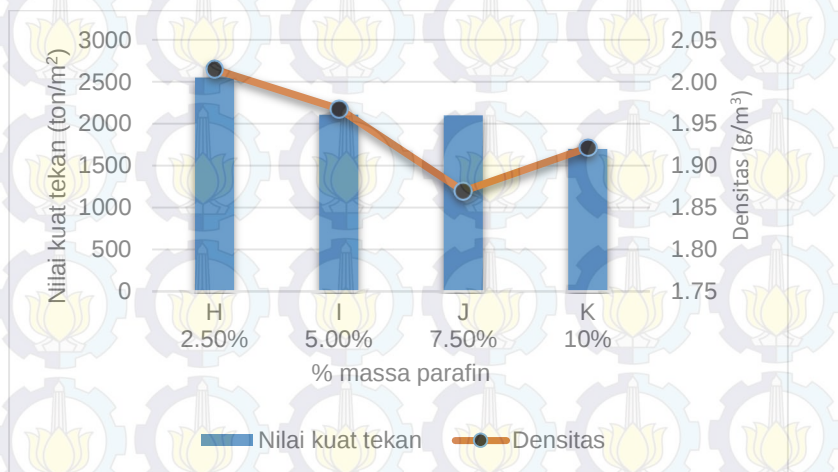
Pada penelitian tahap kedua ini dapat dilihat pengaruh penambahan hidrokarbon terhadap nilai kuat tekan. Pada Tabel 4.10 dapat dilihat nilai uji kuat tekan.



Gambar 4. 10 Nilai Kuat Tekan Penelitian Tahap II

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat adanya pengaruh penambahan hidrokarbon, yaitu semakin banyaknya hidrokarbon yang ditambahkan maka semakin rendah pula nilai kuat tekannya. Pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon, nilai kuat tekan rata-rata komposisi semen *portland*:tanah tras 50:50 sebesar 1750 ton/m². Hal ini berbeda dengan nilai kuat tekan benda uji dengan penambahan hidrokarbon yang lebih besar hasil nilai kuat tekannya. Selain itu, densitas komposisi semen *portland*:tanah tras 50:50 pada penelitian tanpa penambahan

hidrokarbon berbeda dengan penelitian dengan penambahan hidrokarbon. Densitas benda uji pada penelitian dengan penambahan hidrokarbon lebih besar daripada benda uji tanpa ditamahnya hidrokarbon, sehingga kuat tekannya menjadi lebih besar. Hal ini dimungkinkan karena perbedaan kepadatan pada benda uji. Densitas benda uji pada penelitian dengan penambahan hidrokarbon dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dengan Densitas Benda Uji pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

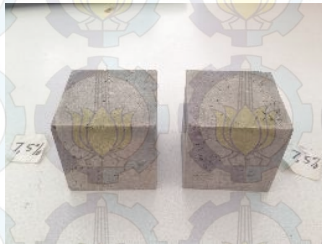
Semakin tinggi densitas maka semakin tinggi pula kuat tekannya. Hal ini berlaku pada benda uji H, benda uji I, dan benda uji K. Namun pada benda uji J dengan kuat tekan yang tinggi memiliki densitas yang rendah. Perbedaan ini dimungkinkan disebabkan oleh ketelitian alat kuat tekan yang digunakan rendah. Pada Gambar 4.12 dapat dilihat kondisi benda uji penelitian tahap dengan penambahan hidrokarbon setelah *curing* selama 28 hari.



(a) benda uji H



(b) benda uji I



(c) benda uji J



(d) benda uji K

Gambar 4. 12 Kondisi Benda Uji Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon setelah *Curing* 28 Hari

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat semakin banyaknya massa parafin yang ditambahkan maka semakin banyak pula rongga yang ada pada benda uji. Hal ini disebabkan karena semen tidak dapat menyatu dengan hidrokarbon yang ditambahkan sehingga membentuk rongga-rongga pada benda uji. Leonard dan Stegemann (2009) menyatakan bahwa komponen organik tidak sesuai dengan matriks semen sehingga dapat menghambat terjadinya proses hidrasi. Proses hidrasi ini sangat penting untuk menentukan kekuatan semen, sehingga apabila hidrasi pada semen terganggu maka kuat tekan yang dihasilkan dari semen tersebut menjadi kurang optimal.

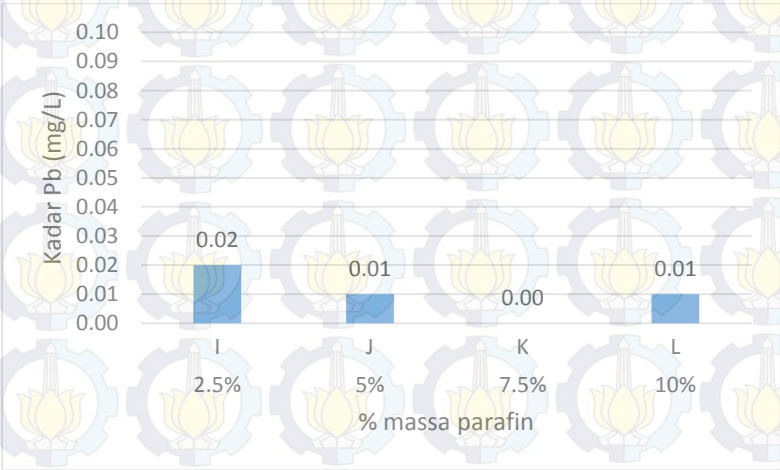
4.4.3 Uji TCLP

Sebelum dilakukan uji TCLP, dilakukan analisis pH untuk mengetahui cairan ekstraksi yang akan digunakan. Hasil analisis pH dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran pH Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

% Massa Parafin	Nama Benda Uji		pH	Rata-rata pH
2,5%	H	H1	10,88	10,86
		H2	10,85	
5%	I	I1	10,88	10,99
		I2	11,10	
7,5%	J	J1	11,36	11,12
		J2	10,88	
10%	K	K1	11,10	11,12
		K2	11,13	

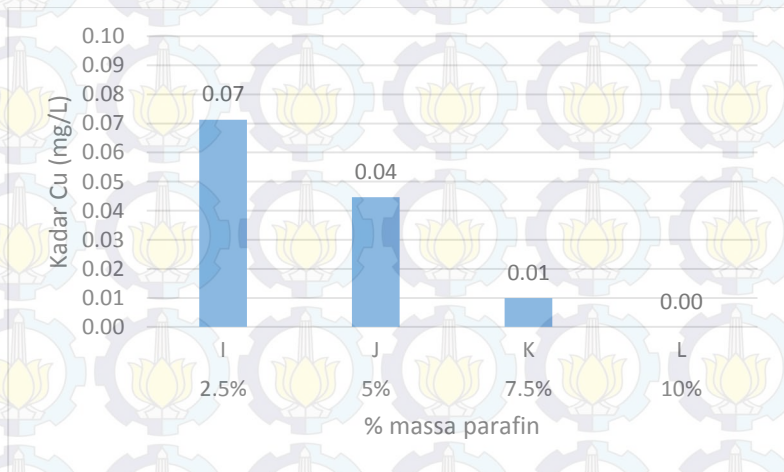
Berdasarkan pengukuran pH didapatkan bahwa seluruh sampel memiliki pH basa. Untuk uji TCLP maka digunakan cairan ekstraksi 2 dan dilakukan rotasi-agitasi pada sampel selama ± 18 jam. Pengukuran kadar Pb pada sampel dilakukan dengan menggunakan metode dithizone dengan perlakuan yang sama seperti penelitian tanpa penambahan hidrokarbon. Pada Gambar 4.13 dapat dilihat kadar Pb pada penelitian dengan penambahan hidrokarbon.



Gambar 4. 13 Kadar Pb pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa pelindian Pb berkisar antara 0,00 mg/L hingga 0,02 mg/L. Pelindian Pb yang diizinkan pada sampel menurut PP RI No. 85 Tahun 1999 yaitu 5 mg/L. Hal ini menunjukkan kadar Pb pada penelitian tahap kedua masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Penambahan parafin sebanyak 2,5% massa adonan menyebabkan pelindian Pb pada sampel sebesar 0,02 mg/L. Pelindian Pb menurun hingga 0,01 mg/L dan 0,00 mg/L pada penambahan parafin 5% dan 7,5%, dan kembali meningkat pada penambahan 10% parafin yaitu sebesar 0,01 mg/L. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan parafin sebesar 10% dari berat campuran semen *portland* dan tras tidak berpengaruh besar terhadap pelindian Pb.

Selain logam berat Pb, kadar logam berat Cu pada penelitian dengan penambahan hidrokarbon dianalisis menggunakan metode neocuproine dengan perlakuan yang sama seperti penelitian tanpa penambahan hidrokarbon. Kadar Cu pada sampel dapat dilihat pada Gambar 4.14.

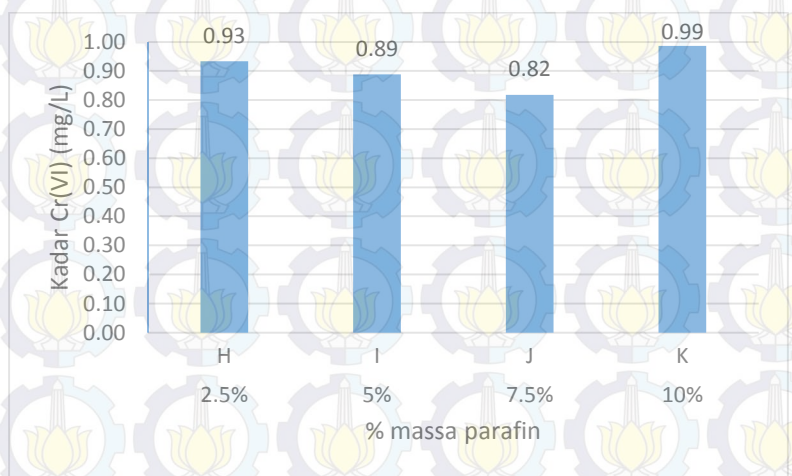


Gambar 4. 14 Kadar Cu pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

Pelindian logam berat Cu pada penelitian tahap kedua berkisar antara 0,00 mg/L hingga 0,07 mg/L. Pada penambahan

parafin sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% terjadi pelindian Cu masing-masing 0,07 mg/L, 0,04 mg/L, 0,01 mg/L, dan 0,00 mg/L. Berdasarkan PP RI No. 85 tahun 1999 baku mutu TCLP zat pencemar dalam limbah untuk Cu sebesar 10 mg/L. Dengan demikian maka pelindian Cu pada penelitian tahap kedua masih memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Dapat dilihat pada semakin banyaknya parafin yang ditambahkan maka semakin kecil pula terjadinya pelindian Cu. Hal ini dimungkinkan terjadi karena semakin banyaknya parafin maka semakin banyaknya logam berat yang tersisa dalam mangkuk pengaduk karena parafin tidak dapat menyatu dengan semen *portland*.

Selanjutnya uji TCLP untuk logam berat Cr(VI) pada penelitian dengan penambahan hidrokarbon diperlakukan sama seperti pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon yaitu dengan menggunakan metode kolorimetri. Hasil TCLP logam berat Cr(VI) dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Kadar Cr(VI) pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat pelindian logam berat Cr(VI) pada masing-masing sampel. Semakin besar persentase massa parafin yang ditambahkan maka semakin kecil pula pelindian logam beratnya. Hal ini berlaku untuk benda uji H,

benda uji I, dan benda uji J masing-masing kadar Cr(VI) pada sampel sebesar 0,93 mg/L, 0,89 mg/L, dan 0,82 mg/L. Namun, pada benda uji K terjadi peningkatan pelindian Cr(VI) yaitu sebesar 0,99 mg/L.

Dari hasil uji TCLP ketiga jenis logam berat tersebut dapat dilihat hasil pelindian yang tidak stabil. Hal ini dimungkinkan disebabkan karena adanya pengaruh dari komponen organik pada sampel. Menurut Minocha dkk (2003), kehadiran komponen organik memberikan efek pada kepadatan, kestabilan kimia, dan kekuatan pada proses S/S menggunakan semen *portland*. Selain itu, untuk analisis kadar logam berat Cu menggunakan pelarut organik (klorofom dan methanol) untuk ekstraksi, sedangkan untuk logam berat Pb menggunakan pelarut organik klorofom untuk ekstraksi. Pada penelitian tahap kedua sampel mengandung hidrokarbon sehingga saat diekstraksi menggunakan pelarut organik, hidrokarbon yang ada pada sampel akan terlarut dalam larutan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ferdianto (2014) bahwa pelarut organik memiliki kemampuan melarutkan dan mendispersikan lemak, minyak, dan cat. Pada sampel yang mengandung hidrokarbon, pelarut organik akan melarutkan hidrokarbon pada sampel sehingga logam berat yang ada pada sampel tidak terlarut dengan sempurna. Hal ini menyebabkan kecilnya pelindian logam berat yang terdeteksi.

4.4.4 *Paint Filter Test*

Paint filter test bertujuan untuk mengetahui adanya sisa *free liquid* yang masih tersisa pada benda uji hasil S/S. *Paint filter test* ini mengacu pada US EPA Method 9095B dengan menggunakan *paint filter strainer*. Hasil *paint filter test* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil *Paint Filter Test*

% massa parafin	Nama Benda Uji		Hasil uji <i>paint filter test</i>
2,5%	H	H1	Tidak ada cairan bebas
		H2	Tidak ada cairan bebas
5%	I	I1	Tidak ada cairan bebas

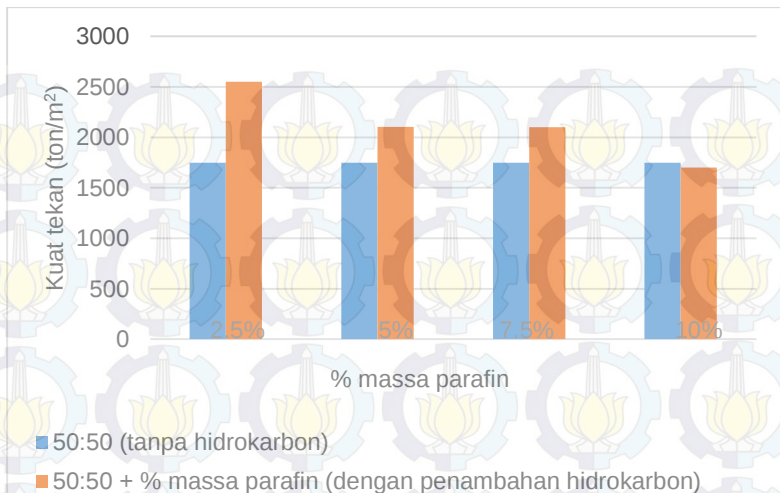
% massa parafin	Nama Benda Uji	Hasil uji <i>paint filter test</i>
7,5%	I2	Tidak ada cairan bebas
	J1	Tidak ada cairan bebas
	J2	Tidak ada cairan bebas
10%	K1	Tidak ada cairan bebas
	K2	Tidak ada cairan bebas

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa tidak adanya cairan bebas yang masih tersisa dalam sampel sehingga seluruh sampel hasil S/S lolos *paint filter test*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan massa parafin hingga 10% dari berat campuran semen *portland*:tanah tras masih dapat terikat pada semen meskipun berpengaruh terhadap nilai kuat tekan dan hasil pelindian logam beratnya.

4.5 Pengaruh Zat Organik terhadap Mutu Produk S/S

4.5.1 Pengaruh Zat Organik terhadap Nilai Kuat Tekan

Pengaruh zat organik terhadap mutu produk S/S dilihat berdasarkan nilai uji kuat tekan dan kadar pelindian logam berat setelah uji TCLP. Berikut akan dijelaskan mengenai pengaruh zat organik terhadap nilai kuat tekan benda uji hasil S/S. Pada Gambar 4.16 dapat dilihat perbandingan nilai uji kuat tekan pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon dan penelitian dengan penambahan hidrokarbon.



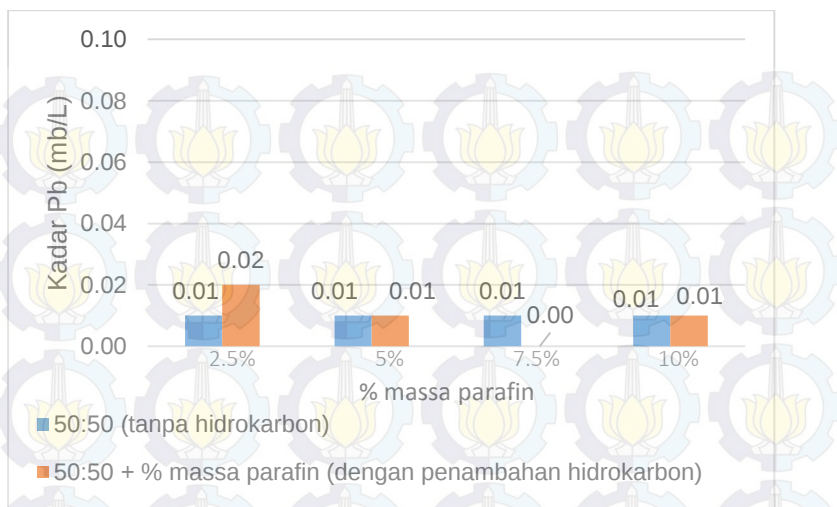
Gambar 4. 16 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Benda Uji Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon

Pada gambar diatas dapat dilihat semakin banyaknya massa parafin yang ditambahkan maka semakin rendah pula kuat tekannya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Minocha dkk (2003) bahwa komponen organik yang terdapat pada limbah berpengaruh terhadap kekuatan limbah hasil S/S. Selain itu kandungan bahan organik juga berpengaruh pada lama hidrasi semen sehingga proses hidrasi pada semen akan terhambat dan menyebabkan nilai kuat tekannya rendah.

Penentuan pengaruh zat organik terhadap nilai kuat tekan menggunakan uji statistik dengan metode ANOVA One Way. Analisis tersebut menggunakan *software* Minitab 16. Berdasarkan hasil yang didapatkan yaitu nilai $P = 0,05$. Apabila nilai $P \leq 0,05$ maka data yang disajikan berbeda signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan massa parafin menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat tekan.

4.5.2 Pengaruh Zat Organik terhadap Hasil Uji TCLP

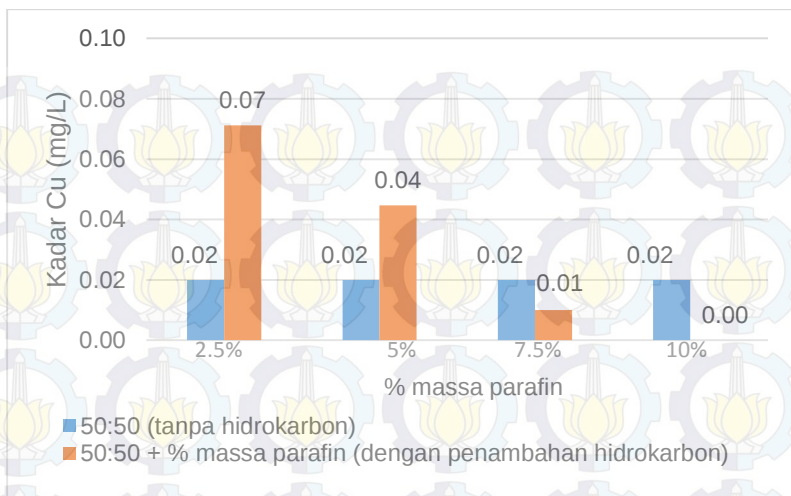
Pengaruh zat organik juga terlihat pada ketidakstabilan pelindian logam berat hasil uji TCLP. Pada Gambar 4.17 dapat dilihat pengaruh zat organik terhadap pelindian logam berat Pb.



Gambar 4. 17 Perbandingan Kadar Pb Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon

Penelitian tahap I memperlihatkan bahwa pelindian Pb sebesar 0,01 mg/L. Sedangkan pada penelitian tahap kedua pelindian Pb menjadi tidak stabil pada kisaran 0,02 mg/L dengan penambahan 2,5% parafin, 0,01 mg/L dengan penambahan 5% parafin, 0,00 mg/L pada penambahan 7,5% parafin, dan 0,02 mg/L pada penambahan 10% parafin.

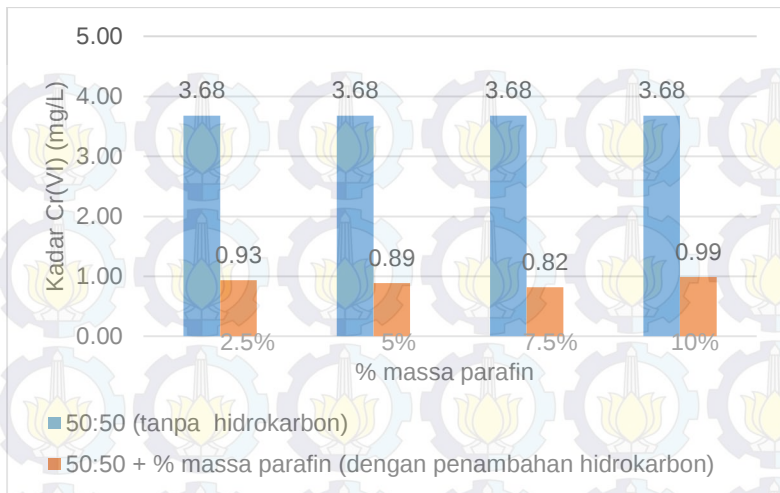
Berdasarkan uji statistik menggunakan metode ANOVA one way didapatkan nilai P sebesar 0,368 yang menunjukkan bahwa penambahan parafin pada benda uji tidak mempengaruhi pelindian Pb. Hal ini dikarenakan pelindian Pb pada masing-masing sampel tidak signifikan (hampir sama). Selain logam berat Pb, dilakukan analisis pengaruh penambahan zat organik terhadap pelindian logam berat Cu yang dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Perbandingan Kadar Cu Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon

Pada Gambar 4.18 dapat dilihat perbedaan pelindian Cu pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon dan penelitian dengan penambahan hidrokarbon. Pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon pelindian Cu hanya 0,02 mg/L, sedangkan pada penelitian dengan penambahan hidrokarbon pelindian Cu meningkat. Namun pelindian Cu menurun seiring dengan semakin banyaknya % massa parafin yang ditambahkan. Penambahan % massa parafin sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% menghasilkan pelindian Cu masing-masing sebesar 0,07 mg/L, 0,04 mg/L, 0,01 mg/L, dan 0,00 mg/L. Apabila dilihat pada gambar diatas maka penambahan parafin berpengaruh terhadap pelindian logam berat Cu. Hal ini juga didukung oleh uji statistik menggunakan metode ANOVA *one way* dengan nilai P yang didapatkan adalah 0,02. Berdasarkan uji statistik tersebut maka pelindian Cu dipengaruhi oleh penambahan parafin pada sampel.

Selanjutnya dilakukan analisis mengenai pengaruh zat organik terhadap pelindian logam berat Cr(VI). Pada Gambar 4.19 dapat dilihat perbandingan kadar Cr(VI) pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon dan penelitian dengan penambahan hidrokarbon.



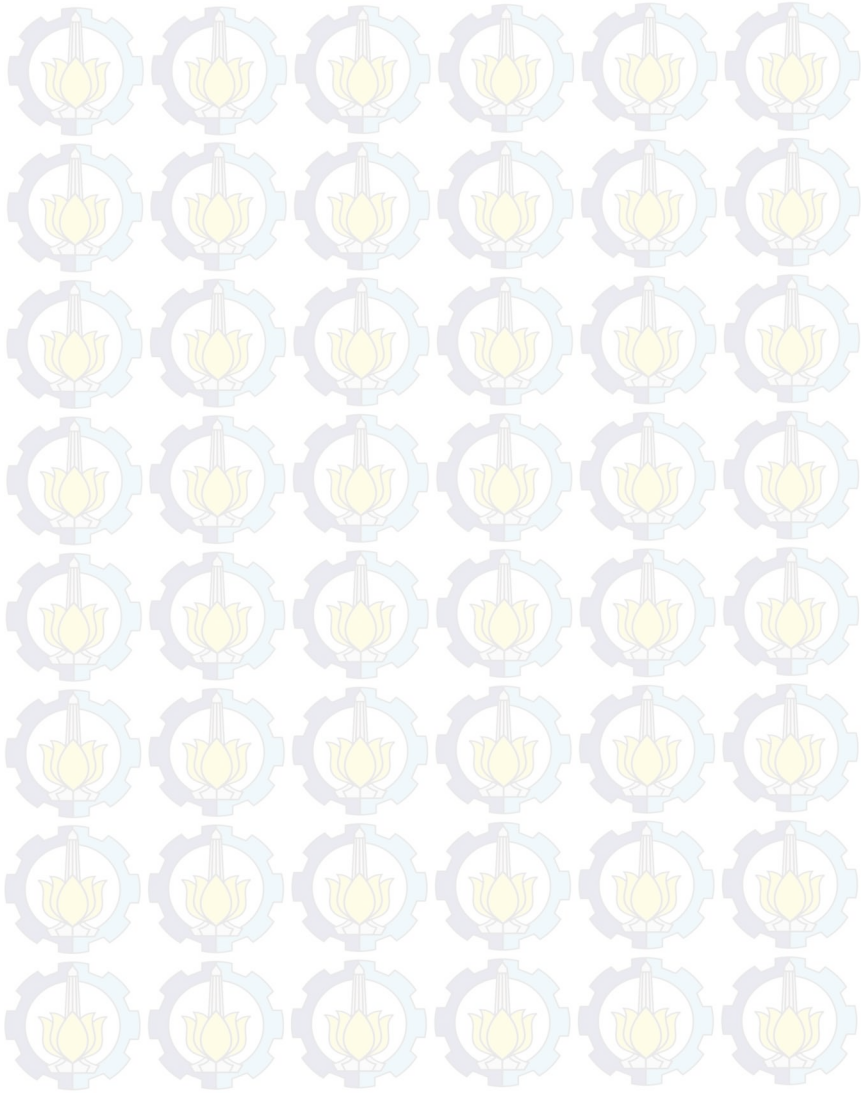
Gambar 4. 19 Perbandingan Kadar Cr(VI) Penelitian Tanpa Penambahan Hidrokarbon dan dengan Penambahan Hidrokarbon

Pada gambar diatas dapat dilihat penambahan parafin memperkecil pelindian logam berat Cr(VI). Pada penelitian tanpa penambahan hidrokarbon pelindian sebesar 3,68 mg/L. Penelitian dengan penambahan hidrokarbon menyebabkan semakin kecilnya pelindian logam berat Cr(VI). Penambahan parafin sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% menyebabkan pelindian logam berat Cr(VI) masing-masing sebesar 0,93 mg/L, 0,89 mg/L, 0,82 mg/L, dan 0,99 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat penambahan parafin hinggaa 10% tidak menunjukkan hasil pelindian yang berbeda jauh. Hal ini didukung oleh hasil uji statistik menggunakan metode ANOVA *one way* dengan nilai P yang didapatkan adalah 0,8. Berdasarkan uji statistik tersebut maka pelindian Cr(VI) pada penelitian dengan tambahan hidrokarbon tidak dipengaruhi oleh penambahan parafin pada sampel.

Hasil pelindian logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb tidak stabil. Hal ini sesuai dengan pernyataan Minocha dkk (2003) bahwa komponen organik pada limbah dapat mengganggu kestabilan kimia pada benda uji hasil S/S. Selain itu, semakin kecilnya pelindian yang terjadi pada Cu dan Pb dimungkinkan karena saat mengekstrak menggunakan pelarut organik, sehingga yang

dilarutkan adalah parafin yang ada pada sampel. Hal ini menyebabkan logam berat Cu dan Pb pada sampel yang terdeteksi kecil. Pada logam berat Cr(VI) hasil pelindian yang lebih kecil pada pelindian dengan penambahan hidrokarbon, dimungkinkan disebabkan karena Cr(VI) tidak terlarut dalam hidrokarbon.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

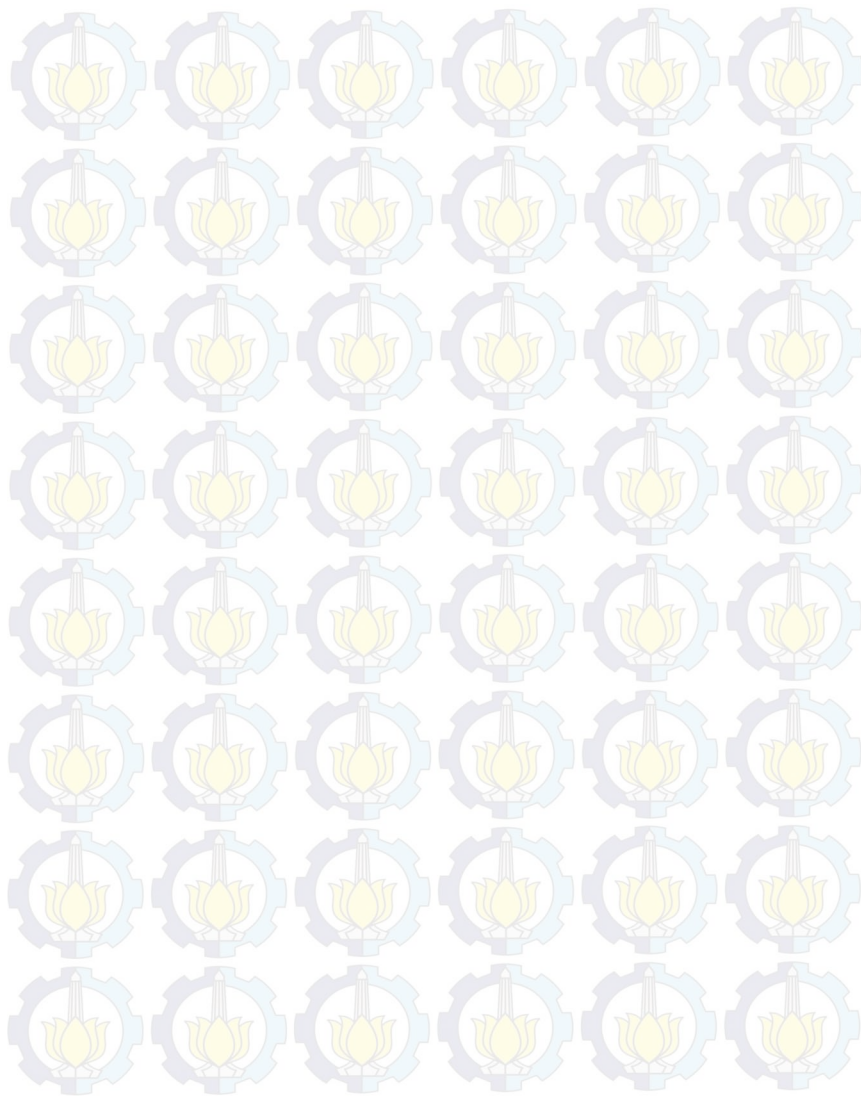
1. Komposisi semen *portland*:tanah tras 50:50 dipertimbangkan sebagai komposisi optimum. Nilai kuat tekan pada komposisi ini sebesar 1750 ton/m² telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu sebesar 10 ton/m². Untuk pelindian logam berat Pb, Cu, dan Cr(VI) masing-masing sebesar 0,00 mg/L, 0,01 mg/L, dan 3,68 mg/L.
2. Zat organik berpengaruh terhadap nilai kuat tekan, yaitu semakin banyaknya zat organik berupa hidrokarbon yang ditambahkan maka semakin rendah pula kuat tekannya. Namun, pengaruh zat organik terhadap analisis kadar logam hasil uji TCLP tidak dapat disimpulkan karena hasil yang didapatkan tidak stabil yang disebabkan karena adanya pengaruh dari hidrokarbon.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Analisis logam berat Cu menggunakan metode neocuproine dan Pb menggunakan metode dithizone kurang sesuai untuk digunakan pada limbah mengandung zat organik. Hal ini dikarenakan pada kedua metode tersebut digunakan pelarut organik untuk mengekstrak sampel, sehingga zat organik akan semakin terlarut pada sampel dan mengganggu pembacaan pada spektrofotometer. Sebaiknya sebelum proses ekstraksi, hidrokarbon harus dihilangkan terlebih dahulu selanjutnya logam berat dapat diekstrak.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan komposisi semen *portland*:tanah tras 75:25 untuk mengetahui nilai kuat tekan yang didapatkan.
3. Sebaiknya penelitian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, agar apabila data yang tidak sesuai masih dapat dibandingkan dengan data yang lainnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

- Asmadi, Endro, S., dan Oktiawan, W. 2009. "Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , dan NaHCO_3 (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang)". JAI 5 (1).
- ASTM C109. 2004. Tentang "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars". Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C187-11. 2005. Tentang "Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste". Annual Books of ASTM Standards, USA.
- Bajceta, D.I., Kamberovic, Z., korac, M., dan Gavrilovski, M. 2013. "A Solidification/Stabilization Process for Wastewater Treatment Sludge from a Primary Copper Smelter". *Journal of The Serbian Chemical Society*. 78 (5): 725-739.
- Bangun, J.M. 2005. "Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Air, Sedimen, dan Organ Tubuh Ikan Sokang (*Triacanthus nieuhofi*) di Perairan Ancol, teluk Jakarta". Skripsi. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Bogor.
- Bashar, L.Y. 2012. "Spektrofotometer". Makalah Instrumentasi. Akademi Analisis Kesehatan Bina Husada. Kendari
- Bath, D.S., Siregar, J.M., dan Lubiz, M.T. 2010. "Penggunaan Tanah Bentonit sebagai Adsorben Logam Cu". *Jurnal Teknik Kimia USU* 1 (1).
- Carpio, I.E.M., Machado-santelli, G., Sakata, S.K., Filho, S.S.F., dan Rodrigues, D.F. 2014. "Copper Removal Using A Heavy-Metal Resistant Microbial Consortium in A Fixed-Bed Reactor". *Water Research* 62: 156-166.
- Desogus, P., Manca, P.P., Orru, G., dan Zucca, A. 2013. "Stabilization-solidification Treatment of Mine Tailing Using Portland Cement, Pottasium Dihydrogen Phospate, and Ferric Chloride Hexahydrate". *Minerals Engineering* 45: 47-54.

- Eaton, A.D., Clescer, L.S., Rice, E.W., dan Greenberg, A.E. 2005. "21st Edition Standards Methods for The Examination of Water & Wastewater". Washington: American Public Health Association.
- Ferdianto. 2014. "Bahaya Pelarut Organik pada Pekerja", <URL:<http://prodiaohi.co.id/bahaya-pelarut-organik-pada-pekerja-2.html>>.
- Gailius, A., Vacenovska, B., dan Drochytka, R. 2010. "Hazardous Wastes Recycling by Solidification/Stabilization Method". *Materials Science (Medziagotyra)* 16 (2):165-169.
- Giyatmi, Kamal, Z., dan Melati, D. 2008. "Penurunan Kadar Cu, Cr, dan Ag dalam Limbah Cair Industri Perak di Kota Gede Setelah di Adsorpsi dengan Tanah Liat dari Daerah Godean". *Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta 25-26 agustus 2008.
- Hartati, I., Riwayati, I., dan Kurniasari, L. 2011. "Potensi Xanthate Pulpa Kopi sebagai Adsorben pada Pemisahan Ion Timbal dari Limbah Industri Batik". *Momentum* 7 (2): 25-30.
- Jain, N., dan Garg, M. 2008. "Effect of Cr(VI) on the Hydration Behavior of Marble Dust Blended Cement: Solidification, Leachability and XRD Analyses". *Construction and Building Materials* 22: 1851-1856.
- Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., dan Olama, Z. 2014. "Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica, and Silica Activated Carbon Composite". *Energy Procedia* 50: 113-120.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 03 Tahun 1995 tentang "Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". BAPEDAL. Jakarta
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 04 Tahun 1995 tentang "Tata Cara Persyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengolahan dan Lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". BAPEDAL. Jakarta
- Lee, D. 2007. "Formation of Leadhillite and Calcium Lead Silicate Hydrate (C-Pb-S-H) in The Solidification/Stabilization of Lead Contaminants". *Chemosphere* 66: 1727-1733.

- Leonard, S.A., dan Stegemann, J.A. 2009. "Stabilization/solidification of Petroleum Drill Cuttings: Leaching Studies". *Journal Of Hazardous Materials* 174: 484-491.
- Lesinger, S.M., Bhatnagar, A., Lothenbach, B., dan Johnson, A. 2014. "Solubility of Chromate in A Hydrated OPC". *Journal of Applied Geochemistry* 48: 132-140.
- Meynarti, R. 2008. "Uji Efektifitas Solidifikasi Cu dengan Campuran Fly Ash". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Minocha, A.K., Jain, N., dan Verma, C.L. 2003. "Effect of Organic Materials on The Solidification of Heavy Metal Sludge". *Journal of Construction and Building Materials* 17: 77-81.
- Monintja, S., Turangan, A.E., dan Sarajar, A.N. 2013. "Pengaruh Campuran Tras dan Kapur pada Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung". *Jurnal Sipil Statik* 1 (6): 390-399.
- Notohadiprawiro, T. 2006. "Logam Berat Dalam Pertanian". Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada.
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 18 Tahun 1999 tentang "Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". Pemerintah RI. Jakarta
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 1999 tentang "Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". Pemerintah RI. Jakarta
- Prasetyo, H.D. 2005. "Pengujian Kuat Tekan Batako dengan Menggunakan Campuran Trass". Program Studi Diploma III Teknik Sipil Program Studi Teknik. Universitas Jember.
- Pribadi, A.P. 2011. "Paving Block Menggunakan Campuran Tras". Laporan Proyek akhir. Program Studi Diploma III Teknik Sipil Program Studi Teknik. Universitas Jember.
- Putra, H., Fadhilah, dan Nasra, E. 2014. "Pengolahan Tembaga (Cu) dalam Sampel Batuan Menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut Kelat Ditizon dengan Variasi Waktu dan pH Optimum". Jurusan Teknik Pertambangan, FT Universitas Negeri Padang.

- Ritayani, K. 2014. "Stabilisasi Limbah Mengandung Cu dengan Campuran Semen Portland dan Bentonit". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Salia, R. 2011. "Bahan Galian Industri yang Berkaitan dengan Gunung Api", <URL:<http://minerpadang.blogspot.com/2011/12/bahan-galian-industri-yang-berkaitan.html>>.
- Senhadji, Y., Escadeillas, G., Mouli, M., Khelafi, H., dan Benosman. 2013. "Influence of Natural Pozzolan, Silica Fume, and Limestone Fine on Strength, Acid Resistance and Microstructur of Mortar". *Powder Technology* 254: 314-323.
- Slamet, Syakur, R., dan Danumulyo, W. 2003. "Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (VI) dengan Fotokatalis TiO_2 ". *Makara, Teknologi* 7 (1).
- SNI 15-2049-2004 tentang "Semen Portland". Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Suarnita, I.W. 2011. "Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli". *Jurnal SMARTek* 9 (1): 1-10.
- Suparjo, Merdana, dan Suhana. 2005. "Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Komposisi Campuran Beton Ringan Tanpa Pasir dengan Agregat Limbah Batu Apung".
- Suryoatmono, B., dan Susilorini, Rr.M.I.R. 2003. "Trass, Masa Depan Bagi *Pozzolan* Alam Sebagai Agregat Alternatif Untuk Campuran Beton". *Seminar Nasional: Sustainability Dalam Bidang Material, Rekayasa, dan Konstruksi Beton*.
- Susilorini, R. 2003. "Trass Muria Kudus, Menggali Potensi Alam Sebagai Bahan Bangunan Rakyat". Prosiding seminar lingkungan hidup. Unika Soegijapranata. Semarang 15-16 September 2003.
- Tiyas, A.A. 2014. "Isolasi dan Karakteristik Logam Berat Tembaga dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Menggunakan Elektrolisis". Skripsi. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember.
- Trihadiningrum, Y. 2000. "Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3)". Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.

U.S EPA. 1992. "Toxicity Characteristic Leaching Procedure". U.S Environmental Protection Agencies.

U.S EPA. 2004. "Paint Filter Liquid Test". U.S Environmental Protection Agencies.

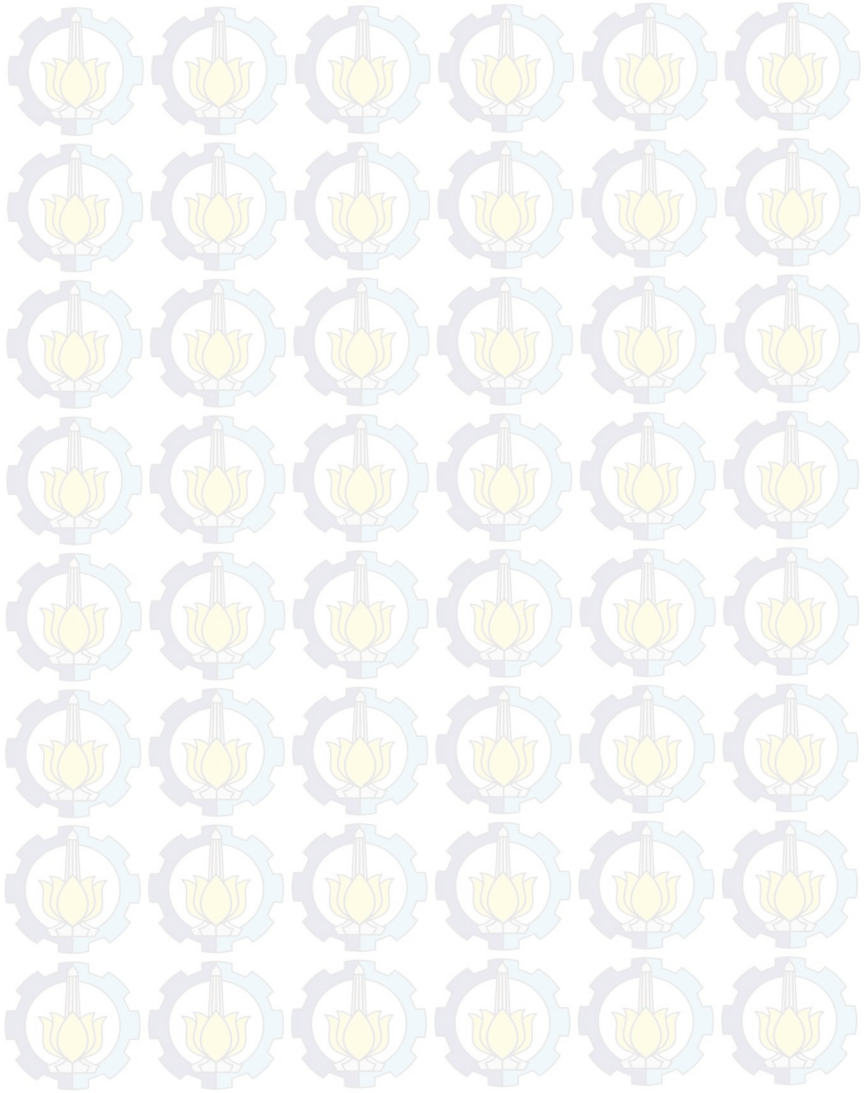
Utomo, M.P., dan Laksono, E.W. 2007. "Kajian Tentang Proses Solidifikasi/Stabilisasi Logam Berat Dalam Limbah Dengan Semen Portland". Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA. Yogyakarta, 25 Agustus.

Voglar, G.E., dan Lestan, D. 2011. "Efficiency Modeling of Solidification/Stabilization of Multi-Metal Contaminated Industrial Soil Using Cement and Additives". *Journal of Hazardous Materials* 192: 753-762.

Wijaya, D. 2005. "Pengaruh Fly Ash dan pH Terhadap Kestabilan Benda Hasil Proses Solidifikasi Limbah Cr(VI)". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.

Wiqoyah, Q. 2007. "Pengaruh Tras Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Lempung". *Dinamika Teknik Sipil* 7 (2): 147-153.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN A PROSEDUR PENELITIAN

I. Uji Konsistensi Normal Semen Portland

Prosedur uji konsistensi normal semen *portland* berdasarkan ASTM C187-11 adalah sebagai berikut:

1. Disiapkan benda dengan masing-masing komposisi.
2. Dituangkan 84 ml aquades ke dalam mangkok pengaduk, kemudian dimasukkan secara perlahan semen sebanyak 300 gram.
3. Kedua bahan yang telah disiapkan diaduk selama 30 detik dengan kecepatan pengaduk 140 ± 5 putaran per menit.
4. Pengadukan dihentikan selama 15 detik, sementara itu pasta yang menempel pada dinding mangkok pengaduk dibersihkan.
5. Pasta semen diaduk kembali selama 60 detik dengan kecepatan pengaduk 285 ± 10 putaran per menit.
6. Dibuat bola dari pasta semen menggunakan tangan, lalu dilemparkan 6 kali dari tangan kiri ke tangan kanan dan sebaliknya dengan jarak lemparan 15 cm.
7. Bola pasta yang terbentuk diletakkan di salah satu tangan, sedang tangan lainnya memegang cetakan benda uji. Melalui lubang dasarnya, bola pasta dimasukkan ke dalam cetakan benda uji sampai terisi penuh dan kelebihan pasta diratakan pada dasar cincin dengan sekali gerakan telapak tangan.
8. Dasar cincin diletakkan pada pelat kaca. Permukaan atas pasta semen diratakan dengan sekali gerakan sendok perata dalam posisi miring dan permukaan pasta dihaluskan dengan ujung sendok perata tanpa mengadakan tekanan pada pasta.
9. Cetakan benda uji yang berisi pasta diletakkan pada alat vicat, lalu ujung batang vicat diletakkan pada bagian tengah permukaan pasta dan posisi batang vicat dikencangkan.
10. Pembacaan skala diletakkan pada angka nol dan dengan segera batang vicat dilepaskan sehingga dengan bebas dapat menembus permukaan pasta, setelah 30 detik besarnya penetrasi batang vicat dicatat; pekerjaan ini harus selesai dalam waktu 60 detik setelah pengadukan

11. Pekerjaan diulangi hingga saat jarum vicat diletakkan pada permukaan pasta semen terjadi penurunan sedalam 10 mm dalam waktu 30 detik.

II. Uji kuat tekan

Prosedur uji kuat tekan berdasarkan ASTM C109 adalah sebagai berikut:

- a) Benda uji ditimbang terlebih dahulu.
- b) Mesin yang akan digunakan untuk menguji kuat tekan dihidupkan, diatur kapasitas pembebanan yang sesuai dengan benda yang akan diuji. Perhatikan jarum penunjuk pada mesin harus dinolkan dan diatur agar siap pakai.
- c) *Hammer* pembeban diangkat dengan memutar tombol pengangkat lalu benda yang akan diuji diletakkan pada alas *hammer* pembeban.
- d) *Hammer* pembeban diletakkan hingga menyentuh permukaan benda uji.
- e) *Hammer* pembeban diputar perlahan-lahan hingga menekan benda uji. Kecepatan pembebanan 1,4-3,4 kg/cm².detik.
- f) Hasil pembacaan yang ada pada meteran setelah jarum berhenti dapat dicatat.
- g) Pengujian pada benda uji dilakukan sampai benda uji hancur.

III. Prosedur uji TCLP

Berdasarkan US EPA method 1311 tentang Uji TCLP, prosedur untuk uji TCLP adalah sebagai berikut:

- a) *Preliminary Evaluation*
 - Sampel diayak hingga lolos saringan 1 mm.
 - 5 mg sampel dimasukkan ke dalam *beaker glass*.
 - Ditambahkan 96,5 mL aquades dan diaduk selama 5 menit
 - Cek pH, jika:
 - pH <5, maka digunakan cairan ekstraksi 1
 - pH >5, maka digunakan cairan ekstraksi 2
- b) Pembuatan sampel
 - Rumus yang digunakan = $20 \times \text{berat padatan}$

- Jika padatan 10 gram, maka aquades yang ditambahkan 200 mL.

c) Cairan ekstraksi 1

- Ditambahkan 3-5 mL asam asetat untuk tiap sampel ke dalam 200 ml aquades.
- Ditambahkan 64,3 mL NaOH 1 N untuk tiap sampel.
- Ditambahkan aquades hingga volume sampel yang diinginkan.
- Atur pH hingga $4,93 \pm 0,5$.
Jika pH < 4,93 ditambahkan NaOH 1 N
Jika pH > 4,93 ditambahkan CH₃COOH

d) Cairan ekstraksi 2

- Ditambahkan 5,7 ml asam asetat untuk tiap sampel ke dalam 200 ml aquades.
- Atur pH hingga $2,88 \pm 0,5$.
Jika pH < 2,88 ditambahkan NaOH 1 N
Jika pH > 2,88 ditambahkan CH₃COOH

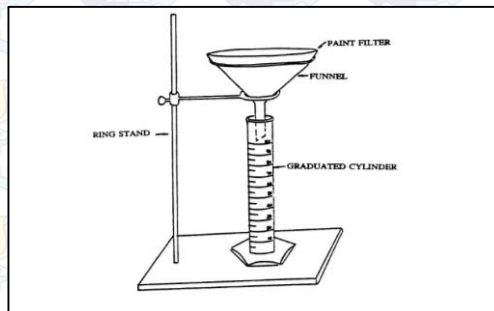
e) Rotasi dan Agitasi

- Sampel ke dimasukkan dalam botol berbahan *polyethylene*.
- Dilakukan rotasi-agitasi dengan kecepatan 30 rpm, selama 18 ± 2 jam.

IV. Prosedur *paint filter test*

Prosedur *paint filter test* berdasarkan US EPA 9095B adalah sebagai berikut:

- Bahan-bahan yang digunakan dirangkai seperti pada Gambar dibawah ini.



Gambar pemasangan peralatan *paint filter test*

- Sampel diletakkan pada filter dengan ukuran 60 mesh.
- Biarkan sampel sampai mengalir menuju *graduated cylinder* dengan ukuran 100 mL.
- Jika tidak ada material yang tersaring pada *graduated cylinder* maka pengamatan dihentikan.
- Jika ada material yang terkandung pada *graduated cylinder* maka material dianggap mengandung *free liquid*.

VI. Prosedur uji kolorimetri untuk logam berat Cr(VI)

Prosedur uji kolorimetri untuk logam berat Cr(VI) berdasarkan *standard method* adalah sebagai berikut:

1. Persiapan reagen yang dibutuhkan:

- Larutan stok kromium
Dilarutkan 141,4 mg $K_2Cr(VI)_2O_7$ ke dalam 100 mL aquades. (1 mL = 500 μg Cr(VI))
- Larutan standard kromium
Dilarutkan 1 mL larutan stock kromium ke dalam 100 mL aquades. (1 mL = 5 μg Cr(VI))
- HNO_3 (Asam nitrat).
- H_2SO_4 (Asam sulfat) 18N dan 6N.
- H_2SO_4 (Asam sulfat) 0,2 N: Dilarutkan 17 mL 6N H_2SO_4 dengan aquades hingga mencapai 500 mL.
- H_3PO_4 (Asam Fosfat)
- Larutan Diphenylcarbazide
Dilarutkan 250 mg 1,5 diphenylcarbazide (1,5-diphenylcarbohydrazide) ke dalam 50 mL aceton, kemudian disimpan dalam labu ukur dan lapisi dengan aluminium foil.
- Natriumhidroksida 1N: dilarutkan 40 g NaOH ke dalam 1 L aquades, kemudian disimpan dalam botol plastik.

2. Prosedur penelitian:

- Diambil 5 mL sampel dimasukkan ke dalam Erlenmeyer.
- Ditambahkan 5 tetes H_3PO_4 → atur pH hingga $2,0 \pm 0,5$ dengan menambahkan H_2SO_4 .
- Dilarutkan dengan menggunakan aquades hingga volumenya mencapai 100 mL.

- Ditambahkan 2 mL diphenylcarbazide, kemudian didiamkan selama 5-10 menit untuk mendapatkan warna yang stabil.
- Diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm.
- Kemudian diplotkan hasil absorbansi dengan kurva kalibrasi Cr(VI) dengan satuan μg , untuk mendapatkan kadar Cr(VI) dalam satuan mg/L menggunakan perhitungan dibawah ini:

$$\text{mg Cr(VI)/L} = \frac{\mu\text{g Cr}}{A}$$

VII. Prosedur uji neocuproine untuk logam berat Cu

1. Persiapan reagen yang dibutuhkan:

- Larutan stok tembaga
200 mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan dengan 10 mL aquades, dan ditambahkan dengan HNO_3 . Dipanaskan diatas *hot plate*, setelah itu didinginkan dan ditambahkan 50 mL aquades. Dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan aquades hingga volumenya menjadi 1000 mL.
- Larutan standard tembaga
Dilartukan 50 mL stok tembaga dengan aquades hingga mencapai 500 mL.
- H_2SO_4
- Larutan Hydroxylamine-hydrochloride
Dilartukan 50 g $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ ke dalam 450 mL aquades.
- Larutan sodium sitrat
Dilartukan 150 g $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 400 mL aquades. Ditambahkan larutan Hydroxylamine-hydrochloride sebanyak 5 mL, dan ditambahkan 10 mL
- Amonium hidroksida (NH_4OH) 5 N
Dilartukan 330 mL konsentrat NH_4OH (28-29%) menjadi 1000 mL dengan aquades.

- Neocuproine reagent
Dilarutkan 100 mg 2,9-dimethyl-1,10 phenanthroline hemihydrate dengan 100 mL methanol.
- Klorofom (CHCl_3)
- Methanol (CH_3OH)
- Asam nitrat (HNO_3)
- Hydrochloric acid (HCl)

2. Prosedur penelitian:

- Diambil sampel sebanyak 100 mL.
- Ditambahkan 1 mL H_2SO_4 .
- Ditambahkan 5 mL HNO_3 .
- Dipanaskan diatas *hot plate* dan ditambahkan batu didih untuk menghindari terjadinya letupan. Pemanasan ini bertujuan untuk meghilangkan SO_3 . Jika sampel masih mengandung warna ditambahkan 5 mL HNO_3 dan dipanaskan kembali. Perlakuan ini diulangi jika sampel masih mengandung warna.
- Sampel didinginkan kemudian ditambahkan dengan 80 mL aquades. Dipanaskan kembali diatas *hot plate* hingga mendidih. Setelah itu sampel didinginkan.
- Sampel dipindahkan ke dalam labu ukur dan dilarutkan hingga 100 mL dengan menggunakan aquades.
- Diambil 50 mL sampel kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL.
- Ditambahkan 5 mL larutan $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$.
- Ditambahkan 10 mL sodium sitrat.
- pH dicek dan diatur hingga mencapai pH 4-6 dengan menambahkan NH_4OH .
- Ditambahkan 10 mL neocuproine.
- Ditambahkan 10 mL CHCl_3 , dikocok selama 30 detik. Setelah terbentuk 2 layer dipisahkan ekstrak dari airnya.
- Air yang telah dipisahkan dari ekstrakya tersebut ditambahkan 10 mL CHCl_3 dan diekstrak kembali.
- Kemudian dicampurkan hasil ekstrak yang pertama dengan air ekstrakya kembali.

- Dikocok 30 detik, ditambahkan CH_3OH dan dikocok kembali. Kemudian dipisahkan ekstrak dari airnya.
- Dimasukkan ekstrak tersebut ke dalam kuvet, kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 450 nm.
- Kemudian hasil absorbansi diplotkan pada kurva kalibrasi Cu dengan satuan μg , untuk mendapatkan kadar Cu dalam satuan mg/L menggunakan perhitungan dibawah ini:

$$\text{mg Cu/L} = \frac{\mu\text{g Cu}}{\text{mL (air yang diambil untuk ekstraksi)}}$$

VIII. Prosedur uji dithizone untuk logam berat Pb

1. Persiapan reagen yang dibutuhkan:

- Larutan stok timbal
Dilarutkan 0,1599 g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ke dalam 200 mL aquades. Ditambahkan 10 mL HNO_3 dan dilarutkan hingga 1000 mL dengan aquades. (1 mL = 100 μg Pb)
- Larutan standart timbal
Dilarutkan 2 mL larutan stok timbal kedalam 100 mL aquades. (1 mL = 2 μg Pb)
- HNO_3 1+4 → Dilarutkan 200 mL konsentrat HNO_3 dengan aquades hingga volumenya menjadi 1000 mL.
- NH_4OH 1+9 → Dilarutkan 10 mL konsentrat NH_4OH dengan aquades hingga volumenya menjadi 1000 mL.
- Larutan Citrate-cyanide reducing → Dilarutkan 400 g dibasic ammonium sitrat ($(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$), 20 g anhydrous sodium sulfit (Na_2SO_3), 10 g Hydroxylamine-hydrochloride ($\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$), dan 40 g potassium sianida (KCN) ke dalam aquades dan dilarutkan dengan aquades hingga volumenya 1000 mL. Kemudian ditambahkan 2000 mL NH_4OH dan dikocok.
- Larutan stok dithizone
 - ✓ Dilarutkan 100 mg dithizone ke dalam 50 mL CHCl_3 menggunakan beaker glass 150 mL.

- ✓ Filter menggunakan kertas saring whatman No.42, hasil filtrat dimasukkan kedalam 250 mL erlenmeyer.
- ✓ Kertas saring dicuci menggunakan 2 x 5 mL CHCl_3 dan difilter ulang.
- ✓ Kertas saring dicuci kembali menggunakan 3 x 5 mL CHCl_3 dan difilter ulang.
- ✓ Dimasukkan hasil akhir penyaringan ke dalam corong pemisah 500 mL.
- ✓ Ditambahkan 100 mL 1+99 NH_4OH , dikocok $\pm$ 1 menit.
- ✓ Setelah terpisah menjadi dua lapisan, dikocok kembali untuk mendapatkan lapisan CHCl_3 di bagian bawah permukaan lapisan air.
- ✓ Layer CHCl_3 dimasukkan ke dalam corong pemisah 250 mL. Layer yang berwarna orange-merah dipisahkan dan disimpan ke dalam corong pemisah 500 mL.
- ✓ Ulangi ekstraksi, pisahkan layer CHCl_3 ke dalam corong pemisah 250 mL. dipindahkan lapisan air menggunakan 1+99 NH_4OH ke dalam corong pemisah 500 mL. Layer CHCl_3 dipisahkan.
- ✓ Ekstrak digabungkan kedalam 500 mL corong pemisah dan ditambahkan 1+1 HCl sebanyak 2 mL, lalu dikocok hingga terjadi pengendapan dithizone dan warna sampel tidak lagi merah-orange.
- ✓ Endapan dithizone diekstrak menggunakan 25 mL CHCl_3 .
- ✓ Dilarutkan kombinasi ekstrak menjadi 100 mL dengan CHCl_3 .

- Larutan dithizone
Dilarutkan 100 mL larutan stok dithizone menjadi 250 mL menggunakan CHCl_3 .
- Larutan spesial dithizone
Dilarutkan 250 mg dithizone ke dalam 250mL CHCl_3 .

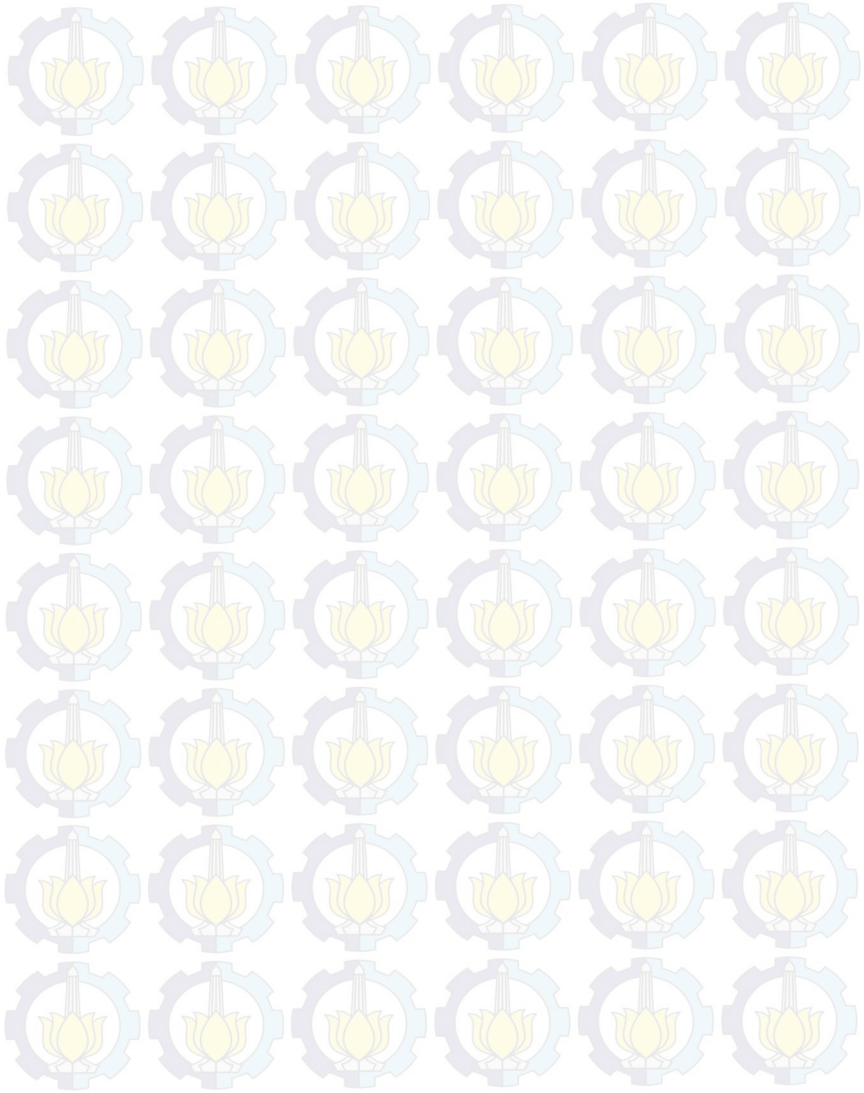
- Larutan sodium sulfat
Dilarutkan 5 g anhydrous Na_2SO_3 ke dalam 100 mL aquades.

2. Prosedur penelitian:

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

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR PUSTAKA

- Asmadi, Endro, S., dan Oktiawan, W. 2009. "Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , dan NaHCO_3 (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang)". JAI 5 (1).
- ASTM C109. 2004. Tentang "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars". Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C187-11. 2005. Tentang "Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste". Annual Books of ASTM Standards, USA.
- Bajceta, D.I., Kamberovic, Z., korac, M., dan Gavrilovski, M. 2013. "A Solidification/Stabilization Process for Wastewater Treatment Sludge from a Primary Copper Smelter". *Journal of The Serbian Chemical Society*. 78 (5): 725-739.
- Bangun, J.M. 2005. "Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Air, Sedimen, dan Organ Tubuh Ikan Sokang (*Triacanthus nieuhofi*) di Perairan Ancol, teluk Jakarta". Skripsi. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Bogor.
- Bashar, L.Y. 2012. "Spektrofotometer". Makalah Instrumentasi. Akademi Analisis Kesehatan Bina Husada. Kendari
- Bath, D.S., Siregar, J.M., dan Lubiz, M.T. 2010. "Penggunaan Tanah Bentonit sebagai Adsorben Logam Cu". *Jurnal Teknik Kimia USU* 1 (1).
- Carpio, I.E.M., Machado-santelli, G., Sakata, S.K., Filho, S.S.F., dan Rodrigues, D.F. 2014. "Copper Removal Using A Heavy-Metal Resistant Microbial Consortium in A Fixed-Bed Reactor". *Water Research* 62: 156-166.
- Desogus, P., Manca, P.P., Orru, G., dan Zucca, A. 2013. "Stabilization-solidification Treatment of Mine Tailing Using Portland Cement, Pottasium Dihydrogen Phospate, and Ferric Chloride Hexahydrate". *Minerals Engineering* 45: 47-54.

- Eaton, A.D., Clescer, L.S., Rice, E.W., dan Greenberg, A.E. 2005. "21st Edition Standards Methods for The Examination of Water & Wastewater". Washington: American Public Health Association.
- Ferdianto. 2014. "Bahaya Pelarut Organik pada Pekerja", <URL:<http://prodiaohi.co.id/bahaya-pelarut-organik-pada-pekerja-2.html>>.
- Gailius, A., Vacenovska, B., dan Drochytka, R. 2010. "Hazardous Wastes Recycling by Solidification/Stabilization Method". *Materials Science (Medziagotyra)* 16 (2):165-169.
- Giyatmi, Kamal, Z., dan Melati, D. 2008. "Penurunan Kadar Cu, Cr, dan Ag dalam Limbah Cair Industri Perak di Kota Gede Setelah di Adsorpsi dengan Tanah Liat dari Daerah Godean". *Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta 25-26 agustus 2008.
- Hartati, I., Riwayati, I., dan Kurniasari, L. 2011. "Potensi Xanthate Pulpa Kopi sebagai Adsorben pada Pemisahan Ion Timbal dari Limbah Industri Batik". *Momentum* 7 (2): 25-30.
- Jain, N., dan Garg, M. 2008. "Effect of Cr(VI) on the Hydration Behavior of Marble Dust Blended Cement: Solidification, Leachability and XRD Analyses". *Construction and Building Materials* 22: 1851-1856.
- Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., dan Olama, Z. 2014. "Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica, and Silica Activated Carbon Composite". *Energy Procedia* 50: 113-120.
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 03 Tahun 1995 tentang "Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". BAPEDAL. Jakarta
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 04 Tahun 1995 tentang "Tata Cara Persyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengolahan dan Lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". BAPEDAL. Jakarta
- Lee, D. 2007. "Formation of Leadhillite and Calcium Lead Silicate Hydrate (C-Pb-S-H) in The Solidification/Stabilization of Lead Contaminants". *Chemosphere* 66: 1727-1733.

- Leonard, S.A., dan Stegemann, J.A. 2009. "Stabilization/solidification of Petroleum Drill Cuttings: Leaching Studies". *Journal Of Hazardous Materials* 174: 484-491.
- Lesinger, S.M., Bhatnagar, A., Lothenbach, B., dan Johnson, A. 2014. "Solubility of Chromate in A Hydrated OPC". *Journal of Applied Geochemistry* 48: 132-140.
- Meynarti, R. 2008. "Uji Efektifitas Solidifikasi Cu dengan Campuran Fly Ash". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Minocha, A.K., Jain, N., dan Verma, C.L. 2003. "Effect of Organic Materials on The Solidification of Heavy Metal Sludge". *Journal of Construction and Building Materials* 17: 77-81.
- Monintja, S., Turangan, A.E., dan Sarajar, A.N. 2013. "Pengaruh Campuran Tras dan Kapur pada Lempung Ekspansif Terhadap Nilai Daya Dukung". *Jurnal Sipil Statik* 1 (6): 390-399.
- Notohadiprawiro, T. 2006. "Logam Berat Dalam Pertanian". Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada.
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 18 Tahun 1999 tentang "Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". Pemerintah RI. Jakarta
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 1999 tentang "Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun". Pemerintah RI. Jakarta
- Prasetyo, H.D. 2005. "Pengujian Kuat Tekan Batako dengan Menggunakan Campuran Trass". Program Studi Diploma III Teknik Sipil Program Studi Teknik. Universitas Jember.
- Pribadi, A.P. 2011. "Paving Block Menggunakan Campuran Tras". Laporan Proyek akhir. Program Studi Diploma III Teknik Sipil Program Studi Teknik. Universitas Jember.
- Putra, H., Fadhilah, dan Nasra, E. 2014. "Pengolahan Tembaga (Cu) dalam Sampel Batuan Menggunakan Metode Ekstraksi Pelarut Kelat Ditizon dengan Variasi Waktu dan pH Optimum". Jurusan Teknik Pertambangan, FT Universitas Negeri Padang.

- Ritayani, K. 2014. "Stabilisasi Limbah Mengandung Cu dengan Campuran Semen Portland dan Bentonit". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Salia, R. 2011. "Bahan Galian Industri yang Berkaitan dengan Gunung Api", <URL:<http://minerpadang.blogspot.com/2011/12/bahan-galian-industri-yang-berkaitan.html>>.
- Senhadji, Y., Escadeillas, G., Mouli, M., Khelafi, H., dan Benosman. 2013. "Influence of Natural Pozzolan, Silica Fume, and Limestone Fine on Strength, Acid Resistance and Microstructur of Mortar". *Powder Technology* 254: 314-323.
- Slamet, Syakur, R., dan Danumulyo, W. 2003. "Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (VI) dengan Fotokatalis TiO_2 ". *Makara, Teknologi* 7 (1).
- SNI 15-2049-2004 tentang "Semen Portland". Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Suarnita, I.W. 2011. "Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli". *Jurnal SMARTek* 9 (1): 1-10.
- Suparjo, Merdana, dan Suhana. 2005. "Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Komposisi Campuran Beton Ringan Tanpa Pasir dengan Agregat Limbah Batu Apung".
- Suryoatmono, B., dan Susilorini, Rr.M.I.R. 2003. "Trass, Masa Depan Bagi *Pozzolan* Alam Sebagai Agregat Alternatif Untuk Campuran Beton". *Seminar Nasional: Sustainability Dalam Bidang Material, Rekayasa, dan Konstruksi Beton*.
- Susilorini, R. 2003. "Trass Muria Kudus, Menggali Potensi Alam Sebagai Bahan Bangunan Rakyat". Prosiding seminar lingkungan hidup. Unika Soegijapranata. Semarang 15-16 September 2003.
- Tiyas, A.A. 2014. "Isolasi dan Karakteristik Logam Berat Tembaga dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Menggunakan Elektrolisis". Skripsi. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember.
- Trihadiningrum, Y. 2000. "Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3)". Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.

U.S EPA. 1992. "Toxicity Characteristic Leaching Procedure". U.S Environmental Protection Agencies.

U.S EPA. 2004. "Paint Filter Liquid Test". U.S Environmental Protection Agencies.

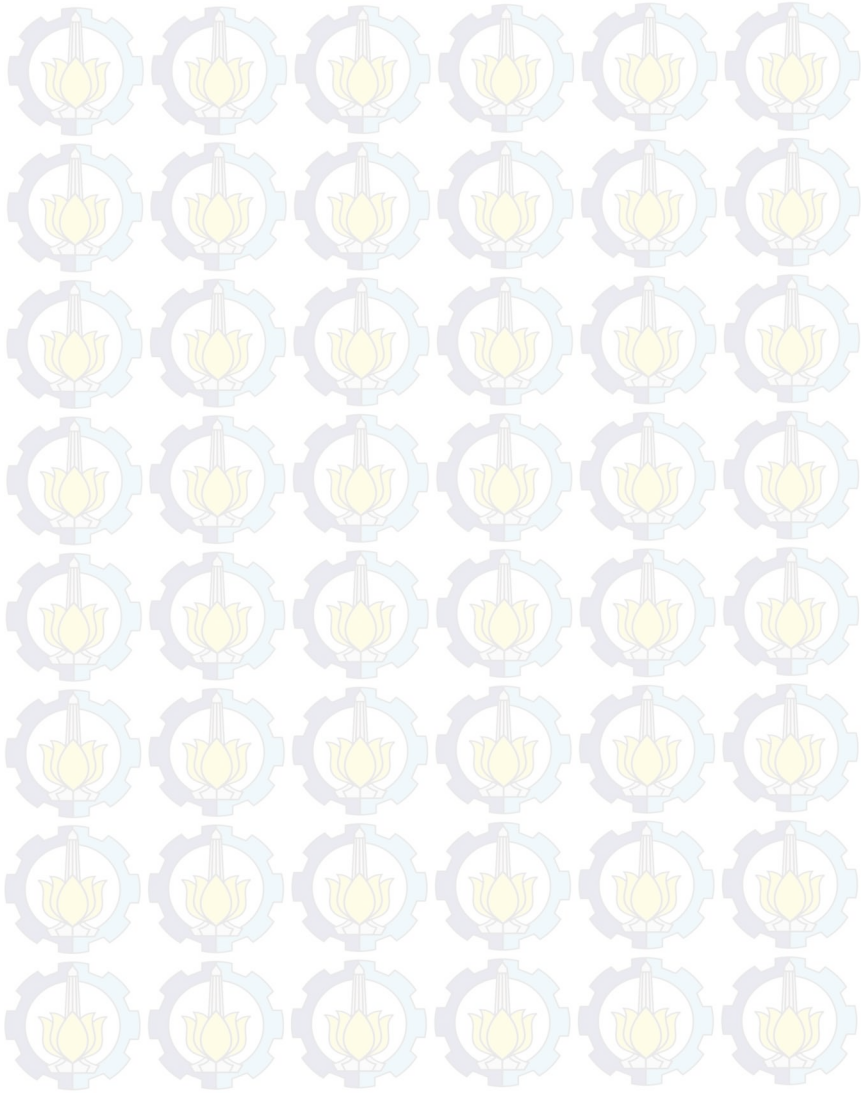
Utomo, M.P., dan Laksono, E.W. 2007. "Kajian Tentang Proses Solidifikasi/Stabilisasi Logam Berat Dalam Limbah Dengan Semen Portland". Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA. Yogyakarta, 25 Agustus.

Voglar, G.E., dan Lestan, D. 2011. "Efficiency Modeling of Solidification/Stabilization of Multi-Metal Contaminated Industrial Soil Using Cement and Additives". *Journal of Hazardous Materials* 192: 753-762.

Wijaya, D. 2005. "Pengaruh Fly Ash dan pH Terhadap Kestabilan Benda Hasil Proses Solidifikasi Limbah Cr(VI)". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS.

Wiqoyah, Q. 2007. "Pengaruh Tras Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Lempung". *Dinamika Teknik Sipil* 7 (2): 147-153.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN B PERHITUNGAN PENDAHULUAN

Perhitungan massa logam berat yang dibutuhkan:

- Massa $K_2Cr_2O_7$ yang dibutuhkan untuk mendapatkan kandungan Cr(VI) 2500 mg/kg:

Berat atom Cr = 51,996

Berat atom K = 39

Berat atom O = 16

A = massa $K_2Cr_2O_7$ yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} Cr &= \frac{(2 \times \text{berat atom Cr})}{(2 \times \text{berat atom K}) + (2 \times \text{berat atom Cr}) + (7 \times \text{berat atom O})} \times A \\ 2500 &= \frac{(2 \times 51,996)}{(2 \times 39) + (2 \times 51,996) + (7 \times 16)} \times A \\ 2500 &= \frac{103,992}{293,992} \times A \\ 2500 &= 0,353 \times A \\ A &= 7067,66 \text{ mg/kg} \\ A &= 7,067 \text{ g/kg} \end{aligned}$$

- Massa $Pb(NO_3)_2$ yang dibutuhkan untuk mendapatkan kandungan Pb 3000 mg/kg:

Berat atom Pb = 207,2

Berat atom N = 14

Berat atom O = 16

A = massa $PbNO_3$ yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} Pb &= \frac{(1 \times \text{berat atom Pb})}{(1 \times \text{berat atom Pb}) + (2 \times \text{berat atom N}) + (6 \times \text{berat atom O})} \times A \\ 3000 &= \frac{(1 \times 207,2)}{(1 \times 207,2) + (2 \times 14) + (6 \times 16)} \times A \\ 3000 &= \frac{207,2}{331,2} \times A \\ 3000 &= 0,626 \times A \\ A &= 4795,367 \text{ mg/kg} \\ A &= 4,795 \text{ g/kg} \end{aligned}$$

- Massa $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ yang dibutuhkan untuk mendapatkan kandungan Cu 1000 mg/kg:

Berat atom Cu = 63,546

Berat atom S = 32

Berat atom O = 16

A = massa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dibutuhkan

$$\text{Cu} = \frac{(1 \times \text{BA Cu})}{(1 \times \text{BA Cu}) + (1 \times \text{BA S}) + (4 \times \text{BA O}) + (10 \times \text{BA H}) + (5 \times \text{BA O})} \times A$$

$$1000 = \frac{(1 \times 63,546)}{(1 \times 63,546) + (1 \times 32) + (4 \times 16) + (10 \times 1) + (5 \times 16)} \times A$$

$$1000 = \frac{63,546}{249,546} \times A$$

$$1000 = 0,25 \times A$$

$$A = 3927,01 \text{ mg/kg}$$

$$A = 3,927 \text{ g/kg}$$

LAMPIRAN C DATA HASIL PENELITIAN

Tabel 1 Densitas Benda Uji Penelitian tanpa Penambahan Hidrokarbon

Komposisi Semen <i>Portland</i> :Tanah Tras	Nama Benda Uji	Volume (m ³)	Berat (kg)	Densitas (g/m ³)
100:0 Tnp LB	A	125	274,61	2,20
100:0	B	125	277,46	2,22
75:25	C	125	262,56	2,10
50:50	D	125	237,30	1,90
25:75	E	125	215,37	1,72
0:100	F	125	173,01	1,38
0:100 Tnp LB	G	125	171,20	1,37

Tabel 2 Densitas Benda Uji Penelitian Dengan Penambahan Hidrokarbon

% Massa Parafin	Nama Benda Uji	Volume (m ³)	Berat (kg)	Densitas (g/m ³)
2,5	H	125	251,85	2,01
5	I	125	245,96	1,97
7,5	J	125	233,73	1,87
10	K	125	240,15	1,92

Tabel 3 Nilai Uji Kuat Tekan Penelitian tanpa Penambahan Hidrokarbon

Komposisi Semen <i>Portland</i> :Tanah Tras	Nama Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (ton/m ²)	Nilai kuat tekan rata-rata (ton/m ²)
100:0 Tnp LB	A1	2500	2725
	A2	2950	

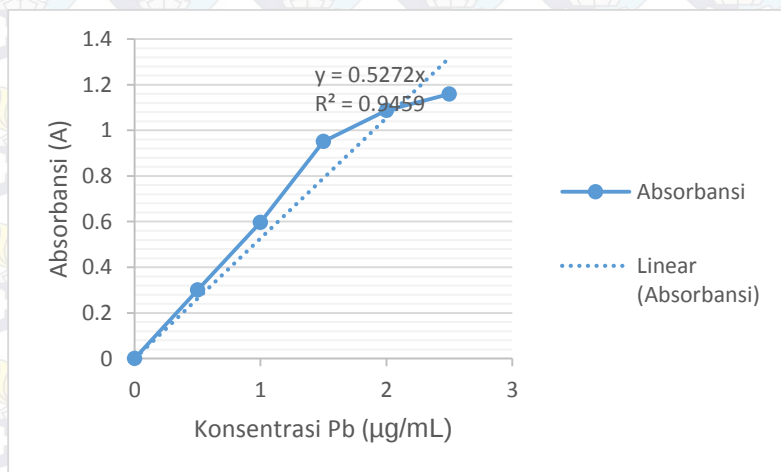
Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Nama Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (ton/m ²)	Nilai kuat tekan rata-rata (ton/m ²)
100:0	B	B1	2500
		B2	2400
75:25	C	C1	2100
		C2	3850
50:50	D	D1	1850
		D2	1650
25:75	E	E1	1000
		E2	1350
0:100	F	F1	40
		F2	96
0:100 Tnp LB	G	G1	34
		G2	78

Tabel 4 Nilai Uji Kuat Tekan Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

% Massa Parafin	Nama Benda Uji	Nilai Kuat Tekan (ton/m ²)	Nilai kuat tekan rata-rata (ton/m ²)
2,5%	H	H1	2450
		H2	2650
5%	I	I1	1950
		I2	2260
7,5%	J	J1	2260
		J2	1940
10%	K	K1	1450
		K2	1950

Tabel 5 Data untuk Kurva Standar Pb

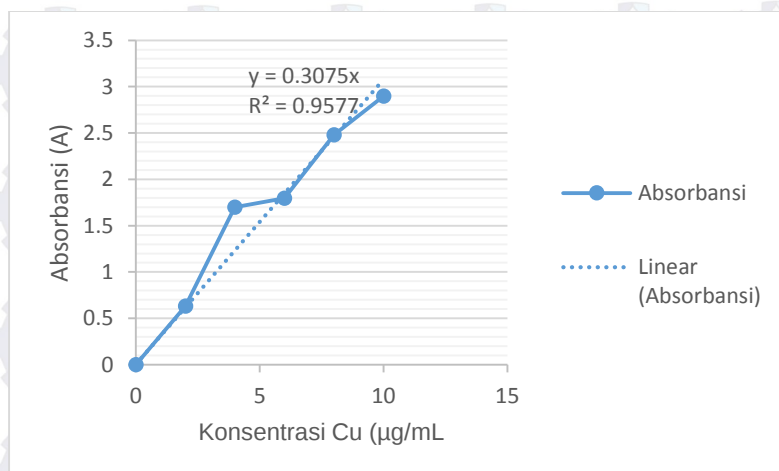
Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbansi (A)
0	0
0.5	0.3
1	0.597
1.5	0.952
2	1.088
2.5	1.159



Gambar Kurva Stadard Pb

Tabel 6 Data untuk Kurva Standar Cu

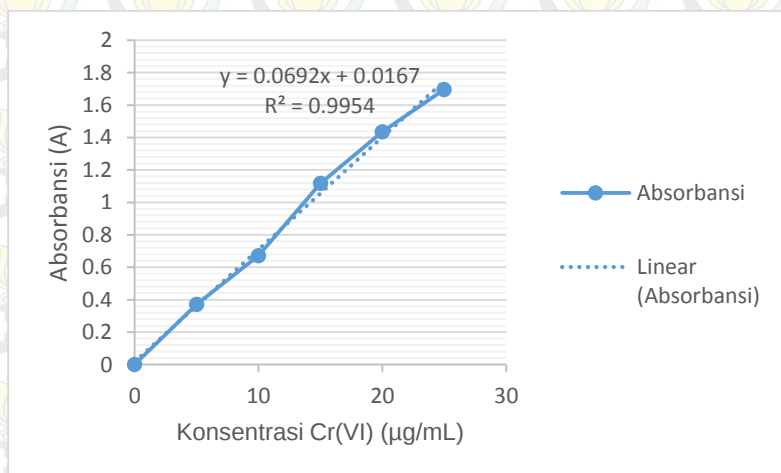
Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbansi (A)
0	0
2	0.632
4	1.699
6	1.795
8	2.479
10	2.899



Gambar Kurva Standar Cu

Tabel 7 Data untuk Kurva Standar Cr(VI)

Konsentrasi ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbansi (A)
0	0
5	0.372
10	0.671
15	1.118
20	1.436
25	1.695



Gambar Kurva Standar Cr(VI)

Tabel 5 Kadar Pb dalam Cairan Ekstraksi pada Penelitian tanpa Penambahan Hidrokarbon

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Pb (µg)	Kadar Pb (mg/L)	Rata-rata Kadar Pb (mg/L)	Rerata Kadar Pb (mg/L)
A1	100:0 Tnp LB	1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0	0,00	0,00		
		3	0	0,00	0,00		
A2	100:0 Tnp LB	1	0	0,00	0,00	0,00	
		2	0	0,00	0,00		
		3	0	0,00	0,00		
B1	100:0 LB	1	0,05	0,09	0,00	0,00	
		2	0,04	0,08	0,00		
		3	0,06	0,11	0,01		
B2	100:0 LB	1	0,08	0,15	0,01	0,01	
		2	0,1	0,19	0,01		
		3	0,108	0,20	0,01		
C1	75:25	1	0,334	0,63	0,03	0,03	0,02
		2	0,347	0,66	0,03		
		3	0,371	0,70	0,04		

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Pb (µg)	Kadar Pb (mg/L)	Rata-rata Kadar Pb (mg/L)	Rerata Kadar Pb (mg/L)
C2	75:25	1	0,127	0,24	0,01	0,01	0,01
		2	0,131	0,25	0,01		
		3	0,144	0,27	0,01		
D1	50:50	1	0,063	0,12	0,01	0,01	
		2	0,065	0,12	0,01		
		3	0,065	0,12	0,01		
D2	50:50	1	0,045	0,09	0,00	0,00	
		2	0,047	0,09	0,00		
		3	0,05	0,09	0,00		
E1	25:75	1	0,106	0,20	0,01	0,01	
		2	0,116	0,22	0,01		
		3	0,122	0,23	0,01		
E2	25:75	1	0,151	0,29	0,01	0,01	
		2	0,153	0,29	0,01		
		3	0,162	0,31	0,02		

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Pb (µg)	Kadar Pb (mg/L)	Rata-rata Kadar Pb (mg/L)	Rerata Kadar Pb (mg/L)
F1	0:100 LB	1	0,077	0,15	0,01	0,01	0,04
		2	0,078	0,15	0,01		
		3	0,079	0,15	0,01		
F2	0:100 LB	1	0,774	1,47	0,07	0,08	
		2	0,796	1,51	0,08		
		3	0,824	1,56	0,08		
G1	0:100 Tnp LB	1	0	0,00	0,00	0,00	
		2	0	0,00	0,00		
		3	0	0,00	0,00		
G2	0:100 Tnp LB	1	0,008	0,02	0,00	0,00	
		2	0,009	0,02	0,00		
		3	0,01	0,02	0,00		

Tabel 6 Kadar Cu dalam Cairan Ekstraksi pada Penelitian tanpa Penambahan Hidrokarbon

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cu (μg)	Kadar Cu (mg/L)	Rata-rata Kadar Cu (mg/L)	Rerata Kadar Cu (mg/L)
A1	100:0 Tnp LB	1	0,158	0,51	0,01	0,01	0,01
		2	0,199	0,65	0,01		
		3	0,129	0,42	0,01		
A2	100:0 Tnp LB	1	0,11	0,36	0,01	0,01	0,01
		2	0,09	0,29	0,01		
		3	0,082	0,27	0,01		
B1	100:0 LB	1	0,301	0,98	0,02	0,02	0,02
		2	0,347	1,13	0,02		
		3	0,371	1,21	0,02		
B2	100:0 LB	1	0,345	1,12	0,02	0,02	0,02
		2	0,327	1,06	0,02		
		3	0,396	1,29	0,03		
C1	75:25	1	0,29	0,94	0,02	0,02	0,02
		2	0,425	1,38	0,03		

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cu (µg)	Kadar Cu (mg/L)	Rata-rata Kadar Cu (mg/L)	Rerata Kadar Cu (mg/L)
C2	75:25	3	0,425	1,38	0,03	0,01	0,02
		1	0,107	0,35	0,01		
		2	0,101	0,33	0,01		
		3	0,103	0,33	0,01		
D1	50:50	1	0,52	1,69	0,03	0,03	
		2	0,508	1,65	0,03		
		3	0,464	1,51	0,03		
D2	50:50	1	0,207	0,67	0,01	0,01	
		2	0,209	0,68	0,01		
		3	0,219	0,71	0,01		
E1	25:75	1	0,309	1,00	0,02	0,02	
		2	0,291	0,95	0,02		
		3	0,33	1,07	0,02		
E2	25:75	1	0,598	1,94	0,04	0,04	0,03
		2	0,609	1,98	0,04		
		3	0,623	2,03	0,04		

C-10

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cu (μg)	Kadar Cu (mg/L)	Rata-rata Kadar Cu (mg/L)	Rerata Kadar Cu (mg/L)
F1	0:100 LB	1	0,662	2,15	0,04	0,04	
		2	0,755	2,46	0,05		
		3	0,634	2,06	0,04		
F2	0:100 LB	1	0,628	2,04	0,04	0,04	0,04
		2	0,719	2,34	0,05		
		3	0,624	2,03	0,04		
G1	0:100 Tnp LB	1	0,001	0,00	0,00	0,00	0,02
		2	0,002	0,01	0,00		
		3	0,001	0,00	0,00		
G2	0:100 Tnp LB	1	0,449	1,46	0,03	0,03	
		2	0,489	1,59	0,03		
		3	0,546	1,78	0,04		

Tabel 7 Kadar Cr(VI) dalam Cairan Ekstraksi pada Penelitian tanpa Penambahan Hidrokarbon

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cr(VI) (µg)	Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rata-rata Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rerata Kadar Cr(VI) (mg/L)	
A1	100:0 Tnp LB	1	0,006	-0,15	-0,03	0,00	0,00	
		2	0,005	-0,17	-0,03			
		3	0,005	-0,17	-0,03			
A2	100:0 Tnp LB	1	0,003	-0,20	-0,04	0,00		
		2	0,003	-0,20	-0,04			
		3	0,003	-0,20	-0,04			
B1	100:0 LB	1	0,234	3,14	0,63	0,63		0,51
		2	0,234	3,14	0,63			
		3	0,233	3,13	0,63			
B2	100:0 LB	1	0,155	2,00	0,40	0,40		
		2	0,155	2,00	0,40			
		3	0,155	2,00	0,40			
C1	75:25	1	0,425	5,90	1,18	1,18	0,98	
		2	0,425	5,90	1,18			
		3	0,425	5,90	1,18			

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cr(VI) (µg)	Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rata-rata Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rerata Kadar Cr(VI) (mg/L)
C2	75:25	1	0,287	3,91	0,78	0,78	3,68
		2	0,288	3,92	0,78		
		3	0,287	3,91	0,78		
D1	50:50	1	1,305	18,62	3,72	3,72	
		2	1,305	18,62	3,72		
		3	1,305	18,62	3,72		
D2	50:50	1	1,276	18,20	3,64	3,64	
		2	1,276	18,20	3,64		
		3	1,279	18,24	3,65		
E1	25:75	1	0,306	4,18	8,36	8,36	8,47
		2	0,306	4,18	8,36		
		3	0,306	4,18	8,36		
E2	25:75	1	0,312	4,27	8,53	8,53	
		2	0,314	4,30	8,59		
		3	0,314	4,30	8,59		

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cr(VI) (µg)	Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rata-rata Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rerata Kadar Cr(VI) (mg/L)
F1	0:100 LB	1	0,303	4,14	8,27	8,31	8,56
		2	0,304	4,15	8,30		
		3	0,306	4,18	8,36		
F2	0:100 LB	1	0,322	4,41	8,82	8,81	8,56
		2	0,321	4,40	8,79		
		3	0,322	4,41	8,82		
G1	0:100 Tnp LB	1	0,001	-0,23	-0,05	0,00	0,00
		2	0,002	-0,21	-0,04		
		3	0,001	-0,23	-0,05		
G2	0:100 Tnp LB	1	0,001	-0,23	-0,05	0,00	0,00
		2	0,001	-0,23	-0,05		
		3	0,002	-0,21	-0,04		

Tabel 8 Kadar Pb dalam Cairan Ekstraksi pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Pb (μg)	Kadar Pb (mg/L)	Rata-rata Kadar Pb (mg/L)	Rerata Kadar Pb (mg/L)
H1	2,5 %	1	0,197	0,37	0,02	0,019	0,02
		2	0,196	0,37	0,02		
		3	0,196	0,37	0,02		
H2	2,5 %	1	0,204	0,39	0,02	0,020	0,02
		2	0,203	0,39	0,02		
		3	0,216	0,41	0,02		
I1	5%	1	0,09	0,17	0,01	0,010	0,01
		2	0,1	0,19	0,01		
		3	0,12	0,23	0,01		
I2	5%	1	0,079	0,15	0,01	0,009	0,01
		2	0,09	0,17	0,01		
		3	0,115	0,22	0,01		
J1	7,5%	1	0,06	0,11	0,01	0,004	0,00
		2	0,08	0,15	0,01		

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Pb (µg)	Kadar Pb (mg/L)	Rata-rata Kadar Pb (mg/L)	Rerata Kadar Pb (mg/L)
J2	7,5%	3	0	0,00	0,00	0,005	0,01
		1	0,048	0,09	0,00		
		2	0,047	0,09	0,00		
		3	0,049	0,09	0,00		
K1	10%	1	0,142	0,27	0,01	0,013	
		2	0,14	0,27	0,01		
		3	0,139	0,26	0,01		
K2	10%	1	0,143	0,27	0,01	0,014	
		2	0,15	0,28	0,01		
		3	0,147	0,28	0,01		

Tabel 9 Kadar Cu dalam Cairan Ekstraksi pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cu (µg)	Kadar Cu (mg/L)	Rata-rata Kadar Cu (mg/L)	Rerata Kadar Cu (mg/L)
H1	2,5 %	1	1,23	3,77	0,08	0,07	0,07
		2	1,23	3,77	0,08		
		3	1,186	3,62	0,07		
H2	2,5 %	1	1,1	3,32	0,07	0,07	
		2	1,208	3,69	0,07		
		3	1,07	3,21	0,06		
I1	5%	1	0,837	2,40	0,05	0,05	0,04
		2	0,808	2,30	0,05		
		3	0,777	2,19	0,04		
I2	5%	1	0,807	2,30	0,05	0,04	
		2	0,744	2,08	0,04		
		3	0,757	2,12	0,04		
J1	7,5%	1	0,234	0,31	0,01	0,01	0,01
		2	0,192	0,16	0,00		

Nama Benda Uji	Komposisi Semen Portland: Tanah Tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cu (µg)	Kadar Cu (mg/L)	Rata-rata Kadar Cu (mg/L)	Rerata Kadar Cu (mg/L)
J2	7,5%	3	0,192	0,16	0,00	0,01	0,00
		1	0,276	0,45	0,01		
		2	0,227	0,28	0,01		
		3	0,123	-0,08	0,00		
K1	10%	1	0,131	-0,05	0,00	0,00	
		2	0,106	-0,14	0,00		
		3	0,1	-0,16	0,00		
K2	10%	1	0,109	-0,13	0,00	0,00	
		2	0,148	0,01	0,00		
		3	0,124	-0,08	0,00		

Tabel 10 Kadar Cr(VI) dalam Cairan Ekstraksi pada Penelitian dengan Penambahan Hidrokarbon

Nama benda uji	Komposisi semen portland: tanah tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cr(VI) (µg)	Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rata-rata kadar Cr(VI) (mg/L)	Rerata kadar Cr(VI) (mg/L)
H1	2,5 %	1	0,348	4,79	0,96	0,96	0,93
		2	0,349	4,80	0,96		
		3	0,349	4,80	0,96		
H2	2,5 %	1	0,331	4,54	0,91	0,91	
		2	0,332	4,56	0,91		
		3	0,33	4,53	0,91		
I1	5%	1	0,362	4,99	1,00	1,00	0,89
		2	0,363	5,00	1,00		
		3	0,363	5,00	1,00		
I2	5%	1	0,284	3,86	0,77	0,78	
		2	0,287	3,91	0,78		
		3	0,285	3,88	0,78		
J1	7,5%	1	0,302	4,12	0,82	0,83	0,82
		2	0,302	4,12	0,82		

Nama benda uji	Komposisi semen portland: tanah tras	Pengulangan	Absorbansi (A)	Kadar Cr(VI) (µg)	Kadar Cr(VI) (mg/L)	Rata-rata kadar Cr(VI) (mg/L)	Rerata kadar Cr(VI) (mg/L)
J2	7,5%	3	0,303	4,14	0,83	0,81	0,99
		1	0,295	4,02	0,80		
		2	0,298	4,07	0,81		
		3	0,298	4,07	0,81		
K1	10%	1	0,296	4,04	0,81	0,81	
		2	0,295	4,02	0,80		
		3	0,295	4,02	0,80		
K2	10%	1	0,421	5,84	1,17	1,17	
		2	0,421	5,84	1,17		
		3	0,42	5,83	1,17		

Tabel 11 ANOVA nilai kuat tekan dengan komposisi semen *portland*:tanah tras (tanpa penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	8774950	2193738	115,81	0,009
Residual Error	2	37885	18942		
Total	6	8812835			

Tabel 12 ANOVA kadar Pb dalam sampel dengan komposisi semen *portland*:tanah tras (tanpa penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,000293	0,000073	0,17	0,934
Residual Error	2	0,00085	0,000425		
Total	6	0,001143			

Tabel 13 ANOVA kadar Cu dalam sampel dengan komposisi semen *portland*:tanah tras (tanpa penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0,000293	0,000073	0,59	0,709
Residual Error	2	0,00025	0,000125		
Total	6	0,000543			

Tabel 14 ANOVA kadar Cr(VI) dalam sampel dengan komposisi semen *portland*:tanah tras (tanpa penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	52,6	13,1	0,71	0,654
Residual Error	2	36,8	18,4		
Total	6	89,4			

Tabel 15 ANOVA Nilai Kuat Tekan dengan % massa penambahan parafin (penelitian dengan penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	326401	326401	18,46	0,05
Residual Error	2	35368	17684		
Total	3	361769			

Tabel 16 ANOVA % massa parafin dengan kadar Pb pada sampel (penelitian dengan penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00008	0,00008	1,33	0,368
Residual Error	2	0,00012	0,00006		
Total	3	0,0002			

Tabel 17 ANOVA % massa parafin dengan kadar Cu pada sampel (penelitian dengan penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00288	0,0028	48	0,02
Residual Error	2	0,00012	0,00006		
Total	3	0,003			

Tabel 18 ANOVA % massa parafin dengan kadar Cr(VI) pada sampel (penelitian dengan penambahan hidrokarbon)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,000605	0,000605	0,08	0,801
Residual Error	2	0,01467	0,007335		
Total	3	0,015275			

LAMPIRAN D DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN



Gambar 1 Bond ball mill



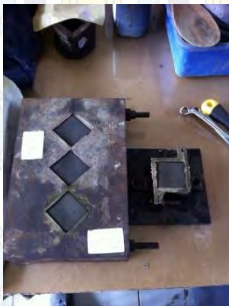
Gambar 2 Ayakan 200 mesh



Gambar 3 Mesin pengaduk



Gambar 4 Peralatan vicat



Gambar 5 Benda uji
dalam cetakan



Gambar 6 Benda uji hasil S/S



Gambar 7 Curing



Gambar 8 Penimbangan benda uji



Gambar 9 Uji kuat tekan



Gambar 10 Pengukuran sampel benda uji



Gambar 11 Sampel benda uji



Gambar 12 Rotasi-agitasi



Gambar 13 paint filter test



Gambar 14 larutan standar Cu



Gambar 15 larutan standar Cr(VI)



Gambar 16 larutan standar Pb

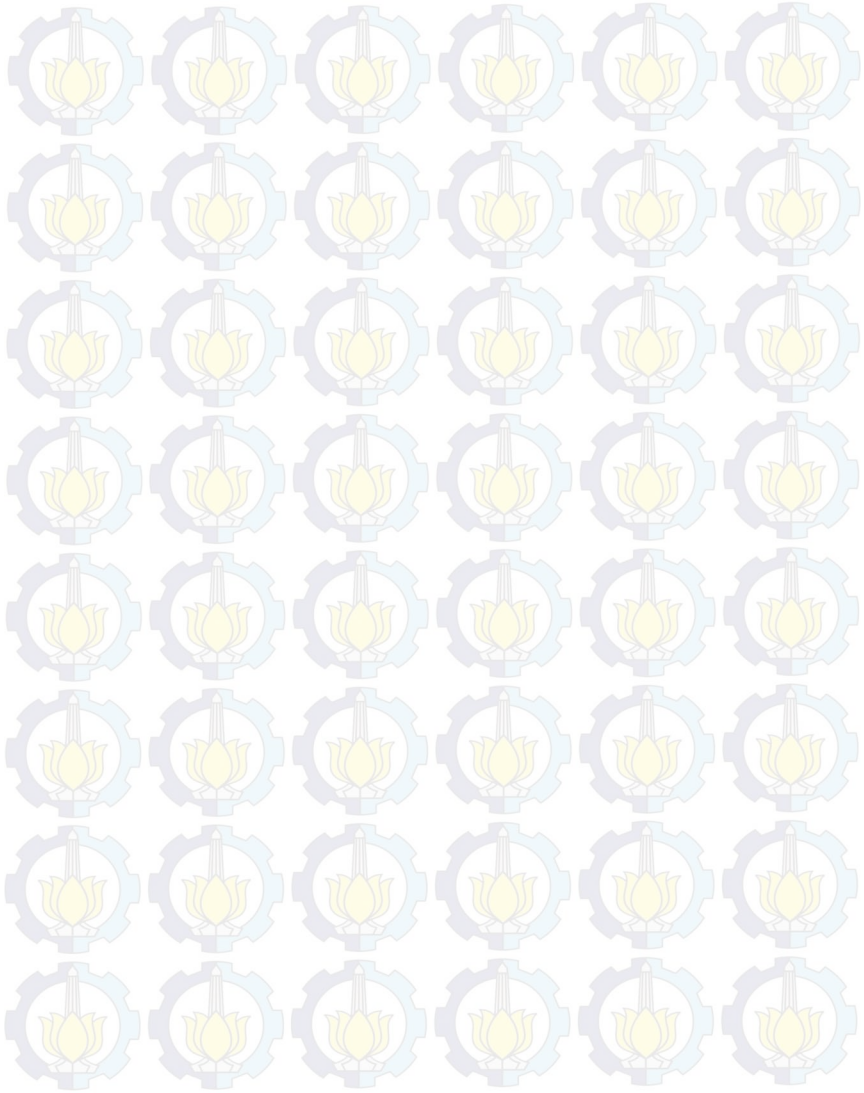


Gambar 17 Citrate-Reducing cyanide solution



Gambar 18 Pemanasan untuk metode neocuproine

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 19 April 1994, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Manggala Surabaya, SDN Manukan Kulon IV Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Negeri 4 Surabaya. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknis Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (FTSP-ITS) Surabaya. Selama masa perkuliahan penulis pernah aktif sebagai anggota

Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) 2012-2013 dan 2013-2014. Selain itu penulis juga aktif sebagai pengurus Badan Eksekutif Mahasiswa FTSP (BEM FTSP) 2012-2013 dan 2013-2014. Penulis pernah mengikuti beberapa seminar dan pelatihan yang diselenggarakan lingkup jurusan dan institut. Pada tahun 2014, penulis melaksanakan kerja praktik di JOB P-PEJ (*Joint Operatig Body Pertamina-Petrochina East Java*). Penulis dapat dihubungi melalui email ristramegawati@gmail.com.