

ABSTRAK

Stabilisasi Limbah Mengandung Cu dengan Campuran Semen Portland dan Bentonit

Nama Mahasiswa : Komang Ritayani
NRP : 3310 100 054
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah T. M. App.Sc.

Proses solidifikasi/stabilisasi (S/S) merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah B-3, terutama limbah mengandung logam berat. Proses S/S pada umumnya menggunakan semen sebagai agen solidifikasi. Penambahan pozzolan alam dapat mengurangi penggunaan semen guna menekan biaya pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimum campuran semen dan bentonit pada proses S/S, dan menentukan pengaruh variasi komposisi dan jenis lumpur yang ditambahkan ke dalam campuran semen dan bentonit terhadap mutu produk S/S.

Limbah mengandung Cu dicampur dengan semen *portland* tipe 1 dan bentonit dalam cetakan kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm. Variasi komposisi semen dan bentonit (dalam % berat) sebesar 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100. Variasi komposisi semen dan bentonit : lumpur sebesar 85:15, 70:30, 55:45, 40:60. Selanjutnya dilakukan uji mutu hasil S/S dengan uji kuat tekan dan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Konsentrasi Cu dalam benda hasil S/S diukur dengan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

Hasil penelitian menunjukkan komposisi semen:bentonit 50:50 dapat dipertimbangkan sebagai komposisi optimum untuk proses S/S lumpur mengandung logam berat. Nilai kuat tekan dan hasil uji TCLP pada komposisi campuran 50 % semen dan 50% bentonit masing masing sebesar 591 ton/m² dan 0,12 mg/L. Hasil

uji tersebut memenuhi baku mutu yang diizinkan untuk kuat tekan minimum hasil S/S sebesar 10 ton/m², dan kadar Cu maksimum pada hasil uji TCLP sebesar 10 mg/L. Penambahan lumpur berminyak ke dalam campuran semen dan bentonit menyebabkan semakin rendahnya nilai kuat tekan, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil uji TCLP.

Kata kunci : bentonit, lumpur berminyak, semen portland, solidifikasi, tembaga

ABSTRACT

Stabilization of Wastes Containing Copper using Mixture of Portland Cement and Bentonite

Name of student : Komang Ritayani
Student ID : 3310 100 054
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah T., M.App.Sc.

Solidification/stabilization (S/S) process is an alternative of hazardous waste treatment options, particularly for waste containing heavy metals. Generally, S/S process uses cement as a solidification agent. Addition of natural pozzolanic materials can reduce the use of cement, and thus reduce the treatment cost. The objectives of this research are (1) to determine the optimum composition of cement and bentonite in the S/S process of waste containing copper, and (2) to determine the effect oily sludge addition to the S/S product quality.

Waste containing copper was molded with portland cement type I and bentonite in cubes of 5 x 5 x 5 cm dimensions. Composition variations of cement and bentonite were of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 ratios. Composition variations of cement and bentonite : oily sludge were of 85:15, 70:30, 55:45, 40:60 ratios. The S/S product qualities were examined using compressive strength tests and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) tests. Copper concentrations in TCLP test results were measured using the Atomic Absorption Spectroscopy method.

The results showed that cement: bentonite ratio of 50: 50 could be considered as the optimum composition for the S/S process. Results of the compressive strength and TCLP values were at 591 ton/m² and 0,12 mg/L respectively. These values

meet the quality standards, where the minimum compressive strength of S/S product is 10 ton/m², and the maximum copper concentration in TCLP test results is 10 mg/L. Addition of the oily sludge in cement and bentonite mixture lowered the compressive strength value in higher concentrations. However, addition of the oily sludge did not affect the TCLP test results significantly.

Keywords: bentonite, copper, oily sludge, portland cement, solidification

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah B-3

Menurut Peraturan Pemerintah RI no. 18/1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Pasal 1, limbah B-3 adalah sisa suatu kegiatan dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun, yang 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.

Limbah yang dikategorikan sebagai limbah B-3 menurut PP RI no. 18/1999 Pasal 8, adalah limbah yang setelah melalui pengujian memiliki salah satu atau lebih karakteristik sebagai berikut: mudah meledak, mudah terbakar, bersifat reaktif, beracun, menyebabkan infeksi, dan bersifat korosif. Sumber utama limbah B-3 diantaranya, lumpur limbah industri, cat, pelarut mudah terbakar, pembersih kaustik, baterai bekas, dan lumpur metalurgi (Khan dan Shrivastava, 2012).

Karakteristik limbah B-3 sebagaimana tercantum dalam PP RI No. 85 tahun 1999 adalah sebagai berikut:

- a. 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.
- b. Limbah mudah terbakar adalah limbah-limbah yang mempunyai salah satu sifat-sifat sebagai berikut:
 1. 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.

2. Limbah yang bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar (25 °C, 760 mmHg) dapat mudah menyebabkan kebakaran melalui gesekan, penyerapan uap air atau perubahan kimia secara spontan dan apabila terbakar dapat menyebabkan kebakaran yang terus menerus.
 3. Merupakan limbah yang bertekanan yang mudah terbakar.
 4. Merupakan limbah pengoksidasi.
- c. Limbah yang bersifat reaktif adalah limbah-limbah yang mempunyai salah satu sifat-sifat sebagai berikut:
1. Limbah yang pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan.
 2. Limbah yang dapat bereaksi hebat dengan air.
 3. Limbah yang jika bercampur dengan air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan.
 4. 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.
 5. Limbah yang dapat mudah meledak atau bereaksi pada suhu dan tekanan standar (25°C, 760 mmHg).
 6. Limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepas atau menerima oksigen.
- d. 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. Penentuan sifat racun untuk identifikasi limbah ini dapat menggunakan baku mutu konsentrasi TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) pencemar organik dan anorganik dalam limbah sebagaimana yang tercantum dalam Lampiran II PP No. 85/1999. Apabila limbah mengandung

salah satu pencemar yang terdapat dalam Lampiran II PP No. 85/1999, dengan konsentrasi sama atau lebih besar dari nilai dalam lampiran, maka limbah tersebut merupakan limbah B3. Bila nilai konsentrasi zat pencemar lebih kecil dari nilai ambang batas, maka dilakukan uji toksikologi.

- e. Limbah yang menyebabkan infeksi yaitu 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 di sekitar lokasi pembuangan limbah.
- f. Limbah bersifat korosif adalah limbah yang mempunyai salah satu sifat sebagai berikut:
 1. Menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit.
 2. Menyebabkan proses pengkaratan pada lempeng baja (SAE 1020) dengan laju korosi lebih besar dari 6,35 mm/tahun dengan temperatur 55°C.
 3. Mempunyai pH sama atau kurang dari 2 untuk limbah bersifat asam dan sama atau lebih besar dari 12,5 untuk yang bersifat basa

Alternatif pengolahan limbah B-3 menurut Paria dan Yuet (2006), yaitu:

1. Pengolahan fisik-kimia untuk limbah mudah meledak, reaktif, beracun, korosif, limbah organik beracun.
2. Insinerasi: limbah mudah terbakar, beracun, infeksius.
3. Pemanfaatan kembali (3R): limbah korosif, limbah anorganik beracun.
4. S/S: limbah mudah meledak, reaktif, beracun, limbah anorganik beracun.

Proses pengolahan secara kimia: reduksi-oksidasi, elektrolisis, netralisasi, presipitasi, solidifikasi/stabilisasi, absorpsi, penukar ion (*ion exchange*), pirolisis. Proses pengolahan secara biologi: aerobik, anaerobik, *land treatment*, biodegradasi pencemar, sistem enzimatik. Pengolahan secara

fisik: elektrostatik presipitator, penyaringan partikel, *wet scrubbing*, adsorpsi dengan karbon aktif.

Tingkat bahaya yang tinggi bagi kesehatan manusia dan semakin ketatnya peraturan mengenai pembuangan limbah B-3, mengakibatkan berkembangnya teknologi pengelolaan limbah B-3 seperti *secured landfill* dan teknik S/S (Vyas, 2011). Dikenakan biaya yang sangat tinggi bagi penghasil limbah B-3 apabila langsung membuang limbah ke *secured landfill* tanpa pengolahan terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan, biaya investasi dan operasional *secured landfill* yang tinggi.

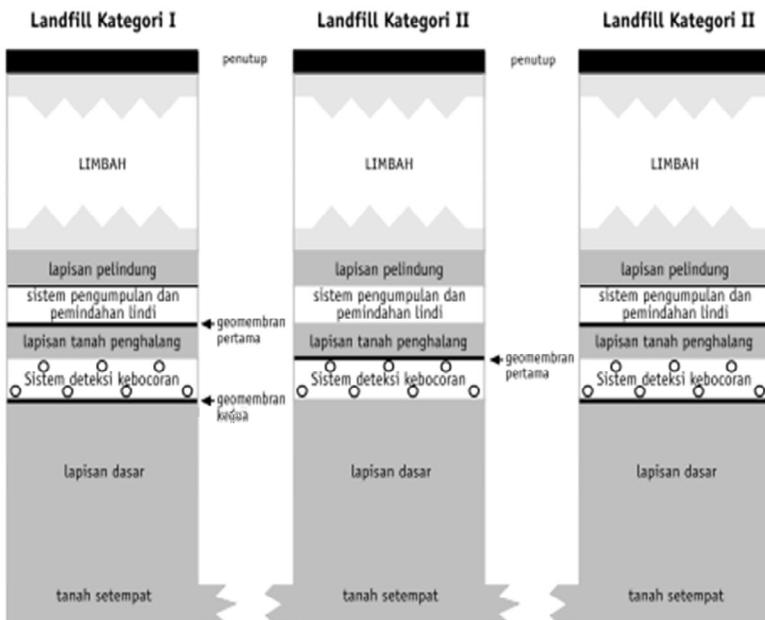
Pembuangan limbah B-3 yang sebelumnya diolah dengan teknik S/S jauh lebih efisien, karena dikenakan biaya lebih rendah untuk pembuangan limbah yang telah diolah (Gailius dkk. 2010). Berdasarkan keputusan KABAPEDAL No. 09 Tahun 1995 ditentukan kadar maksimum limbah B3 belum terolah dan tempat penimbunannya, dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.1.

Tabel 2.1 Kadar maksimum limbah B3 belum terolah

Bahan Pencemar	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)
	KOLOM A	KOLOM B
Catatan	Lebih besar dari atau sama dengan tempat penimbunannya di landfill kategori I Lebih kecil dari... tempat penimbunannya di landfill kategori II	Lebih besar dari atau sama dengan tempat penimbunannya di landfill kategori III
Arsenic	300	30
Cadmium	50	5
Chromium	2500	250
Copper	1000	100

Bahan Pencemar	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)
	KOLOM A	KOLOM B
Cobalt	500	50
Lead	3000	300
Mercury	20	2

Gambar 2.1 Disain pelapisan dasar landfill kategori I, kategori II, kategori III



2.2 Solidifikasi/stabilisasi

Proses S/S diklasifikasikan berdasarkan agen stabilisasinya, dapat menggunakan semen/ kapur, pozzolan, silikat, metode

termoplastik, metode polimerisasi organik, dan metode enkapsulasi (Sharma, 1994 dalam Paria dan Yuet, 2006). Masing-masing teknik mempunyai kelebihan dan kekurangan. Teknik menggunakan semen dan pozzolan, lebih banyak dipilih karena biaya untuk bahan dan peralatannya murah, serta produk padatan yang dihasilkan cukup baik. Beberapa logam seperti arsen (As^{3+}), kromium (Cr^{6+}), dan merkuri tidak tepat menggunakan pengolahan jenis ini karena tidak membentuk *insoluble hydroxides* (Mulligan dkk, 2001). Pembentukan *insoluble hydroxides* merupakan aspek penting dalam teknologi S/S menggunakan semen.

Prajonto dan Widjajanti (2007) menyatakan bahwa, senyawa organik tidak mengubah sifat semen, sehingga limbah-limbah dari senyawa organik jarang ditangani dengan proses S/S. Umumnya, proses S/S digunakan untuk menangani limbah-limbah mengandung logam. Proses S/S sangat efektif digunakan dalam pengolahan limbah radioaktif dan logam (Yang dan Min, 2008). Tabel 2.2 menunjukkan kompatibilitas kategori limbah dengan teknik S/S yang berbeda.

Tabel 2.2 Kompatibilitas jenis limbah dengan teknik S/S

Jenis Limbah	Tipe Pengolahan Menggunakan			
	Semen	Pozzolan	Termoplastik	Enkapsulasi Permukaan
Organik				
Pelarut organik dan minyak	Menghambat setting, bisa lepas melalui penguapan	Menghambat setting, bisa lepas melalui penguapan	Zat organik menguap dalam pemanasan	Harus diadsorpsi terlebih dulu dalam matriks padat
Anorganik padat (plastik, resin, tar)	Bisa meningkatkan daya tahan	Bisa meningkatkan daya tahan	Digunakan sebagai agen pengikat dalam sistem ini	Kompatibel Banyak material enkapsulasi adalah plastik

Jenis Limbah	Tipe Pengolahan Menggunakan			
	Semen	Pozzolan	Termoplastik	Enkapsulasi Permukaan
Anorganik				
Limbah asam	Semen akan menetralkan asam	Kompatibel. Menetralkan asam	Dinetralsiasi sebelum penggabungan	Dinetralsiasi sebelum penggabungan
Oksidator	Kompatibel	Kompatibel	Mengakibatkan matrik pecah, terbakar	Menyusutnya material enkapsulasi
Sulfat	Menghambat setting	Kompatibel	Mengalami dehidrasi	Kompatibel
Halida	Menghambat setting, dan mudah luluh	Menghambat setting, dan mudah luluh	Mengalami dehidrasi dan rehidrasi	Kompatibel
Logam Berat	Kompatibel	Kompatibel	Kompatibel	Kompatibel
Zat Radioaktif	Kompatibel	Kompatibel	Kompatibel	Kompatibel

Sumber: Yang dan Min, 2008

Keuntungan dari proses S/S dibandingkan teknik remediasi lahan lainnya adalah biayanya relatif murah, relatif cepat, dan bisa dimanfaatkan secara ex-situ atau in-situ. Pada umumnya proses S/S dipilih karena dapat meminimumkan transportasi limbah (Yang dan Min, 2008).

Salah satu alternatif pengolahan limbah dengan tujuan mengurangi pencemaran lingkungan adalah teknik solidifikasi. Teknologi solidifikasi/stabilisasi limbah didasarkan pada interaksi limbah membentuk padatan limbah, baik secara fisik maupun kimiawi. Semen, kapur, dan silika terlarut merupakan bahan yang sering digunakan pada solidifikasi/stabilisasi limbah. Semen Portland digunakan sebagai matrik solidifikasi karena semen banyak digunakan dalam dunia perdagangan maupun penelitian (Utomo dan Laksono, 2000).

Kapsulasi termoplastik atau mikro enkapsulasi dilakukan dengan mencampur bahan termoplastik dan limbah yang telah

dikeringkan lalu memanaskannya pada suhu sekitar 100⁰C. Setelah tercampur dengan baik kemudian dilakukan pendinginan (Trihadiningrum, 2000). Bahan termoplastik adalah jenis bahan plastis yang dapat meleleh bila dipanaskan dan mengeras bila didinginkan. Beberapa penerapan S/S dengan bahan termoplastik adalah *sulfur polymer stabilization/solidification, chemically bonded phosphate ceramic encapsulation, and polyethylene encapsulation*. Teknologi lain yang sedang dikembangkan adalah enkapsulasi dengan aspal, resin poliester, elastomer sintetik, polysiloxane, dan dolocrete (Chattopadhyay dan Condit, 2002)

Delgado dkk (2012) menyatakan bahwa teknologi S/S menggunakan sulfur polimer dapat digunakan untuk mengolah limbah mengandung merkuri dan disimpan dalam jangka panjang. Hal tersebut didasarkan pada penggunaan *sulfur polymer cement* (SPC) yaitu sebuah bahan termoplastik yang diproduksi beberapa perusahaan dan telah dipasarkan. Sulfur bisa juga ditambahkan pada aspal karena dapat menambah kekuatan fisik dan struktur produk (Trihadiningrum, 2000).

Menurut Yilmas dkk (2003), tujuan dari proses S/S yaitu,

1. Menurunkan mobilitas atau kelarutan kontaminan.
2. Meningkatkan penanganan dan karakteristik fisik limbah dengan cara menciptakan suatu matrik padatan yang tidak bebas air.
3. Menurunkan luas permukaan limbah dengan mentransfer kontaminan yang mungkin terdapat dalam padatan limbah.

Gailius dkk (2010) menyatakan bahwa penanganan proses S/S dikatakan berhasil bila dihasilkan produk limbah yang kuat dan tahan lama setelah melalui uji kuat tekan. Selain itu, produk S/S tidak meluluhkan logam dalam jangka waktu pendek maupun panjang. Tingkat peluluhan dapat diketahui melalui uji TCLP.

2.3 Logam Berat

Logam berat diklasifikasikan ke dalam limbah B3 lebih dikarenakan sifatnya yang beracun. Menurut Paria dan Yuet

(2006), yang membedakan logam berat dengan logam-logam lain yaitu:

- Logam berat memiliki *specific gravity* yang besar, yaitu lebih dari 4 gr/m^3
- Mempunyai respon biokimia yang khas pada makhluk hidup.

Di antara logam berat dan beracun, arsen, kadmium, nikel, timah, tembaga, merkuri dan seng dianggap merusak lingkungan, ketika konsentrasinya lebih dari batas yang telah ditetapkan. Penurunan kualitas lingkungan terutama disebabkan oleh industri tembaga, timbal dan seng (Vyas, 2011).

Tembaga adalah unsur kimia dengan simbol Cu dengan nomor atom 29 dan massa atom relatif 63,54. Tembaga ditemukan sebagai bijih tembaga yang masih bersenyawa dengan zat asam, asam belerang atau bersenyawa dengan kedua zat tadi (Setyowati dkk, 2003). Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu^+ atau Cu^{2+} dalam garam inorganik dan kompleks inorganik. Perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah bumi ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan pH (Whitacre, 2011).

Paria dan Yuet (2006) menyatakan bahwa logam Cu termasuk logam berat esensial, meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan manusia dalam jumlah kecil. Toksisitas yang dimiliki Cu akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait. Secara alamiah Cu masuk ke dalam perairan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan, dan hujan. Dari aktifitas manusia Cu dihasilkan melalui kegiatan industri, pertambangan Cu, industri galangan kapal beserta kegiatan di pelabuhan. Industri tekstil paling banyak menggunakan logam Cu dalam proses pencucian. Bentuk tembaga yang paling beracun berupa debu-debu Cu yang dapat mengakibatkan kematian pada dosis $3,5 \text{ mg/kg}$. Pada manusia, efek keracunan utama ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap logam Cu. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada jalur pernafasan sebelah atas, juga kerusakan

atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung. Kerusakan itu merupakan akibat dari gabungan sifat iritatif yang dimiliki oleh debu atau uap Cu tersebut.

Dari evaluasi salah satu pabrik tekstil di Jawa Barat dalam tanah di sekitar pabrik tekstil kadar Cu, Zn, dan Cr ditemukan paling tinggi dibandingkan dengan unsur lainnya, yakni berturut-turut 210 mg/L, 682 mg/L, dan 452 mg/L (Suganda dkk, 2003). Sementara itu, berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 03 Tahun 2010 konsentrasi maksimum tembaga (Cu) yang diperbolehkan ada dalam limbah industri hanya 2 mg/L. Konsentrasi Cu dalam limbah elektroplating berkisar 5,7 mg/L, sementara baku mutu limbah elektroplating berdasarkan SKGUB Jawa Timur No.45 Tahun 2002 untuk tembaga adalah 0,6 mg/L (Sumada, 2006).

2.4 Bentonit

Bentonit adalah *clay* yang sebagian besar terdiri dari montmorillonit dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, feldspars dan mineral lainnya. Montmorillonit merupakan bagian dari kelompok *smectit* dengan komposisi kimia secara umum $(Mg,Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$ (Gonzalez dkk, 2008). Nama monmorillonit berasal dari Perancis pada tahun 1847 untuk penamaan sejenis lempung yang terdapat di Monmorillon Perancis yang dipublikasikan pada tahun 1853-1856 (Borgnino dkk, 2009).

Bentonit berbeda dari *clay* lainnya karena hampir seluruhnya merupakan mineral monmorillonit. Mineral monmorillonit terdiri dari partikel yang sangat kecil sehingga hanya dapat diketahui melalui studi menggunakan *X-Ray Diffraction* (Tahir dkk, 2013). Larosa (2007) menyatakan bahwa, berdasarkan kandungan alumino silikat hidrat yang terdapat dalam bentonit, bentonit dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu:

- a. *Activated clay*, merupakan lempung yang mempunyai daya pemucatan yang rendah.

- b. *Fuller's earth*, merupakan lempung yang secara alami mempunyai sifat daya serap terhadap zat warna pada minyak, lemak, dan pelumas.

Menurut Stankovic dkk (2011), berdasarkan tipenya bentonit dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Na-bentonit: memiliki daya mengembang hingga delapan kali jika dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Dalam kondisi kering berwarna putih atau krem, pada keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Suspensi koloidal mempunyai pH: 8,5-9,8.
2. Ca-bentonit: kurang mengembang jika dicelupkan ke dalam air, tetapi secara alami setelah diaktifkan mempunyai sifat menyerap yang baik. Dalam keadaan kering berwarna abu-abu, biru, kuning, merah, coklat. Suspensi koloidal mempunyai pH: 4-7.

Na-bentonit dimanfaatkan sebagai bahan perekat dan pengisi lumpur bor sesuai dengan sifatnya yang mampu membentuk suspensi koloidal setelah bercampur dengan air. Sementara itu, Ca-bentonit sering digunakan sebagai bahan penyerap.

Menurut Moll (2006), secara umum asal mula terjadinya bentonit ada empat, yaitu:

1. Proses pelapukan batuan: faktor utama yang menyebabkan pelapukan adalah faktor kimiawi mineral batuan induk, dan kelarutannya dalam air. Secara umum, faktor yang mempengaruhi pelapukan batuan ini adalah iklim, relief, dan tumbuh-tumbuhan yang berada di atas batuan tersebut. Pembentukan bentonit disebabkan juga oleh reaksi ion-ion hidrogen di dalam air, dan tanah dengan persenyawaan silikat.
2. Proses hidrotermal di alam: proses batuan mempengaruhi alternasi yang sangat lemah, sehingga mineral-mineral yang kaya kan magnesium, seperti biotit cenderung membentuk mineral klorit. Kehadiran unsur logam alkali

dan alkali tanah (kecuali kalium), minelar mika, ferromagnesia, feldsfar, dan plagioklas akan membentuk monmorillonit. Larutan alkali selanjutnya terbawa keluar dan bersifat basa dan bertahan selama unsur alkali tanah masih terbentuk. Adanya unsur alkali tanah akan membentuk bentonit.

3. Proses transformasi: proses transformasi (pengabuan) abu vulkanik yang mempunyai komposisi gelas akan menjadi mineral lempung yang lebih sempurna, terutama pada daerah danau, lautan, dan cekungan sedimentasi. Transformasi dari gunung berapi yang sempurna akan terjadi apabila debu gunung berapi diendapkan dalam cekungan seperti danau. Bentonit yang terjadi akibat proses transformasi pada umumnya bercampur dengan sedimen laut lainnya yang berasal dari daratan, seperti batu pasir.
4. Proses pengendapan batuan: proses pengendapan bentonit secara kimiawi dapat terjadi sebagai endapan sedimen dalam suasana basa (alkali), dan terbentuk pada cekungan sedimen yang bersifat basa. Unsur pembentuk bentonit antara lain: karbonat, silika, fosfat dan unsur lain yang bersenyawa dengan unsur aluminium dan magnesium.

Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam bentonit ditunjukkan pada Tabel 2.3. Sedangkan contoh tanah bentonit dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Tabel 2.3 Komposisi kimia bentonit

Komposisi Kimia	Na-bentonit (%)	Ca-bentonit (%)
SiO ₂	61,3-61,4	62,12
Al ₂ O ₃	19,8	17,33
Fe ₂ O ₃	3,9	5,3
CaO	0,6	3,68
MgO	1,3	3,3
Na ₂ O	2,2	0,5

Komposisi Kimia	Na-bentonit (%)	Ca-bentonit (%)
K ₂ O	0,4	0,55
H ₂ O	7,2	7,22

Sumber: Stankovic dkk,2011



Gambar 2.2 Tanah bentonit

Pemanfaatan bentonit sebagai bahan penukar ion didasarkan pada sifat permukaan bentonit yang bermuatan negatif. Dengan demikian, kation-kation dapat terikat secara elektrostatis pada permukaan bentonit (Li dkk, 2009). Bentonit di Indonesia memiliki daya tukar kation yang berbeda untuk masing-masing daerah tergantung komposisi kimianya, dimana berkisar antara 50-100 meq/100g (Larosa, 2007).

2.5 Semen Portland

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 ditinjau dari penggunaannya, semen portland dapat dibedakan menjadi lima tipe, yaitu:

- ❖ Tipe I semen portland jenis umum (*normal portland cement*) yaitu jenis semen portland untuk penggunaan dalam konstruksi beton secara umum yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus.
- ❖ Tipe II semen jenis umum dengan perubahan-perubahan (*modified portland cement*). Jenis ini memiliki panas hidrasi yang lebih rendah dan keluarnya panas lebih lambat daripada

semen tipe I. Jenis ini digunakan untuk bangunan-bangunan tebal, seperti pilar ukuran besar, tumpuan dan dinding penahan tanah yang tebal. Panas hidrasi yang rendah dapat mengurangi terjadinya retak-retak pengerasan. Jenis ini juga digunakan untuk bangunan-bangunan drainase di tempat yang memiliki konsentrasi sulfat agak tinggi.

- ❖ Tipe III semen portland dengan kekuatan awal tinggi (*high early strength portland cement*). Jenis ini memperoleh kekuatan besar dalam waktu singkat, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan atau yang acuannya perlu segera dilepas. Selain itu juga dapat dipergunakan pada daerah yang memiliki temperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin
- ❖ Tipe IV semen portland dengan panas hidrasi yang rendah (*low heat portland cement*). Merupakan jenis khusus untuk penggunaan yang memerlukan panas hidrasi serendah-rendahnya. Jenis ini digunakan untuk bangunan beton seperti bendungan-bendungan gravitasi besar.
- ❖ Tipe V – semen portland tahan sulfat (*sulfate resisting portland cement*). Jenis ini merupakan jenis khusus yang penggunaannya untuk bangunan-bangunan yang kena sulfat, seperti di tanah atau air yang tinggi kadar alkalinnya. Pengerasan berjalan lebih lambat daripada semen *portland* biasa.

Menurut Mulyono (2005) fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam campuran hanya sekitar 10% namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka semen menjadi penting. Tabel 2.4 menunjukkan komposisi kimia dari semen portland.

Tabel 2.4 Komposisi kimia semen portland

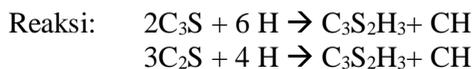
Oksida	Komposisi kimia
--------	-----------------

	(% berat)
CaO	61-67
SiO ₂	17-24
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	1-6
MgO	0,1-4
Na ₂ O+ K ₂ O	0,5-1,5
SO ₃	1-3

Sumber: Mulyono (2005)

Penambahan air pada semen akan menyebabkan reaksi antara air dan semen yang disebut hidrasi. Reaksi hidrasi ini menghasilkan senyawa-senyawa hidrat diantaranya kalsium silikat hidrat ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kalsium aluminat hidrat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kalsium sulfat aluminat hidrat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4$). Menurut Paria dan Yuet (2006) reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

1. Penambahan air menyebabkan kalsium silikat terhidroksi menjadi kalsium silikat hidrat ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) dan kalsium hidroksida (CH).



Adanya kalsium hidroksida (CH) akan membuat pasta semen bersifat basa kuat yang menyebabkan semen sensitif terhadap lingkungan asam dan air laut.

2. Penambahan air akan menyebabkan C_3A bereaksi dengan gipsum (CaSO_4) yang ada pada semen menghasilkan kalsium sulfat aluminat hidrat.



Kalsium sulfat aluminat hidrat akan membungkus permukaan C_3A , sehingga reaksi dari C_3A akan terhalangi dan proses setting time akan tertunda. Akibat dari proses osmosis lapisan pembungkus akan pecah dan C_3A akan bereaksi kembali dengan gipsum membuat lapisan pembungkus, begitu seterusnya sampai gipsum habis terpakai. Selanjutnya C_3A akan bereaksi dengan CH membentuk kalsium aluminat hidrat.

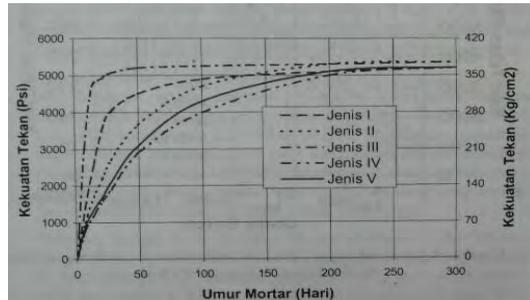


3. Tahap awal C_4AF bereaksi dengan gipsum dan CH membentuk reaksi



2.6 Uji Kuat Tekan

Mulyono (2005) menyatakan bahwa kekuatan tekan semen diuji dengan cara membuat mortar kemudian ditekan hingga hancur. Mortar dibentuk dengan cetakan berbentuk kubus berukuran 5 x 5 x 5 cm. Setelah berumur 3, 7, 14, 28 hari, mengalami perawatan dan perendaman, diuji nilai kuat tekannya. Kuat tekan mortar menggunakan berbagai jenis semen dapat dilihat pada gambar 2.3. Gambar 2.4 adalah gambar alat yang digunakan untuk tes kuat tekan benda hasil S/S.



Gambar 2.3 Perkembangan kuat tekan mortar
Sumber: Mulyono (2005)

Sesuai dengan keputusan kepala BAPEDAL No:Kep-03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah bahan Berbahaya dan Beracun, diharapkan kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol minimum 10 ton/m^2 . Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk uji kuat tekan adalah *Toorse Universal Testing Machine Type RAT-200*, MFG No. 20380 CAP. 200 tf (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Toorse universal testing machine

2.7 Uji TCLP

Menurut PP RI No. 85 Tahun 1999, limbah B-3 dapat diidentifikasi berdasarkan sumber, uji karakteristik dan/atau

uji toksikologi. Uji karakteristik tersebut adalah uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Kelebihan dari uji TCLP adalah mampu mengidentifikasi kandungan racun dalam limbah. Jika dari hasil uji TCLP kandungan racun dalam limbah tersebut melebihi ambang batas maksimum yang ditentukan, maka limbah tersebut dikategorikan sebagai limbah B-3. Nilai ambang batas maksimum hasil uji TCLP di Indonesia tercantum pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Baku mutu TCLP zat pencemar dalam limbah

Kode Limbah	Parameter	Konsentrasi dalam Ekstraksi Limbah (mg/L)
D4001	Aldrin + Dieldrin	0,07
D4002	Arsen	5,00
D4003	barium	100,00
D4004	Benzene	0,50
D4005	Boron	500,00
D4006	Cadmium	1,00
D4007	Carbon Tetrachloride	0,50
D4008	Chlordane	0,03
D4009	Chlorobenzene	100,00
D4010	Chloroform	6,00
D4011	Chromium	5,00
D4012	Copper	10,00

Sumber: Lampiran II Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999

Analisis konsentrasi Cu pada benda proses S/S menggunakan metode spektrofotometer serapan atom. Menurut Siraj (2013), spektrofotometer serapan atom adalah suatu metode pengukuran kuantitatif suatu unsur berdasarkan penerapan cahaya pada panjang gelombang tertentu oleh atom-atom bentuk gas

dalam keadaan dasar. Teknik ini digunakan untuk penetapan sejumlah unsur, sebagian besar adalah logam. Alat rotasi agitasi dalam uji TCLP ditunjukkan pada Gambar 2.5. Gambar 2.6 adalah gambar spektrofotometer yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2.5 Rotary agitator model SO192



Gambar 2.6 Atomic absorption spectrophotometer

2.8 Limbah Lumpur Berminyak

Pencemaran lingkungan oleh minyak bumi dan turunannya merupakan masalah serius di seluruh dunia. Sejumlah besar

hidrokarbon dibuang ke dalam air dan tanah akibat dari kebocoran pipa, kecelakaan transportasi, dan pecahnya tangki penyimpanan (Mrayyan dan Battikhi, 2005). Menurut Syafrizal dkk (2010), lumpur berminyak terdiri atas minyak, air, abu, pasir dan bahan-bahan lainnya. Kandungan senyawa hidrokarbon dalam lumpur berminyak seperti benzena, toluena, etilbenzena, xilena, dan logam-logam berat yang berpotensi karsinogenik.

Limbah lumpur minyak bumi merupakan limbah akhir dari serangkaian proses dalam industri proses pemisahan minyak bumi. Rossiana dkk (2007) menyatakan bahwa kegiatan operasinya dimulai dari eksplorasi, produksi sampai penimbunan dan berpotensi menghasilkan limbah berupa lumpur minyak bumi (*oily sludge*).

Limbah lumpur berminyak dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan bata beton berlubang yang ramah lingkungan melalui teknik stabilisasi/solidifikasi. Hasil penelitian oleh Mizwar dkk (2010) menunjukkan bahwa hasil proses S/S limbah lumpur berminyak untuk bata beton berlubang telah lolos uji TCLP berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999.

2.9 Proses Perawatan Mortar (Curing)

Perawatan mortar (*curing*) adalah suatu proses untuk menjaga tingkat kelembaban dan temperatur ideal untuk mencegah hidrasi yang berlebihan serta menjaga agar hidrasi terjadi secara berkelanjutan (Muloyono, 2005). *Curing* secara umum dipahami sebagai perawatan beton, yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segera setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu total *setting* tercapai.

Menurut Malviya dan Chaudary (2006), *curing* dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain:

1. Menyemprotkan dengan lapisan khusus (semacam *vaseline*) pada permukaan beton.

2. Memasahi secara terus menerus permukaan beton dengan air.

Tujuan pelaksanaan *curing*/perawatan beton adalah memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambahan atau pengganti supaya dapat berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai, dan menjaga supaya tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat, sehingga dapat menyebabkan retak.

Pelaksanaan *curing*/perawatan beton dilakukan segera setelah pembukaan cetakan, selama durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Lamanya *curing* sekitar 7 hari berturut-turut mulai hari kedua setelah pengecoran (Muloyono, 2005). Beberapa metode *curing*, yaitu:

1. Metode yang menjaga tingkat komposisi air, yaitu membiarkan adonan hasil campuran di dalam satu lapisan air. Seperti *ponding*, *fog spraying* atau *sprinkling*.
2. Metode yang mencegah hilangnya air dalam campuran beton, melibatkan teknik dan material tambahan untuk mencegah penguapan dari air yang telah tercampur.
3. Metode yang mempercepat hidrasi dengan memberikan tambahan panas dan pelembab, melibatkan tambahan panas dan air untuk mempercepat hidrasi.

Curing dapat dicapai dengan menggunakan 4 material, diantaranya air, mats/selimut, kertas anti air atau bungkus plastik dan membran cair atau *forming compound*.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berfungsi sebagai referensi dalam mempermudah pelaksanaan penelitian ini. Penelitian terdahulu bisa dijadikan pedoman atau sebagai pembanding dalam pelaksanaan penelitian. Berbagai penelitian terdahulu terkait tentang beberapa proses solidifikasi/stabilisasi seperti

waktu curing, komposisi lumpur dengan semen, dan pozzolan serta rasio aie dan semen dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Penelitian terdahulu

No	Sumber	Hasil Penelitian
1.	Shawabkeh, 2005	Kuat tekan tertinggi benda hasil S/S dengan komposisi 25% pasir dan 75% semen. Campuran dengan komposisi 25% pasir, 50% semen, dan 25% <i>clay</i> (% massa) telah memenuhi syarat untuk memperoleh kapasitas adsorpsi maksimum terhadap kadmium dan memiliki kuat tekan yang baik. <i>Clay</i> berperan dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap kadmium. Sementara itu, semen berperan dalam proses pemadatan campuran pasir dan <i>clay</i> . Keuntungan dari pemanfaatan campuran ini pada proses S/S adalah biaya bahan baku rendah dan proses penyimpanan relatif aman.
2.	Ezziane dkk, 2007	Tingkat penggantian semen dengan pozzolan yang optimal adalah sekitar 20% pada suhu normal. Hasil eksperimen menunjukkan pada suhu tinggi, hidrat cepat terbentuk menyebabkan porositas besar dan penurunan kuat tekan. Kuat tekan bergantung pada suhu <i>curing</i> dan lamanya proses <i>curing</i> . Variasi waktu <i>curing</i> yang digunakan adalah 1, 3, 7, 28, dan 90 hari. Semakin lama waktu kuring, kuat tekan semakin meningkat. Akan tetapi, tidak terlihat perbedaan yang signifikan terhadap nilai kuat tekan pada

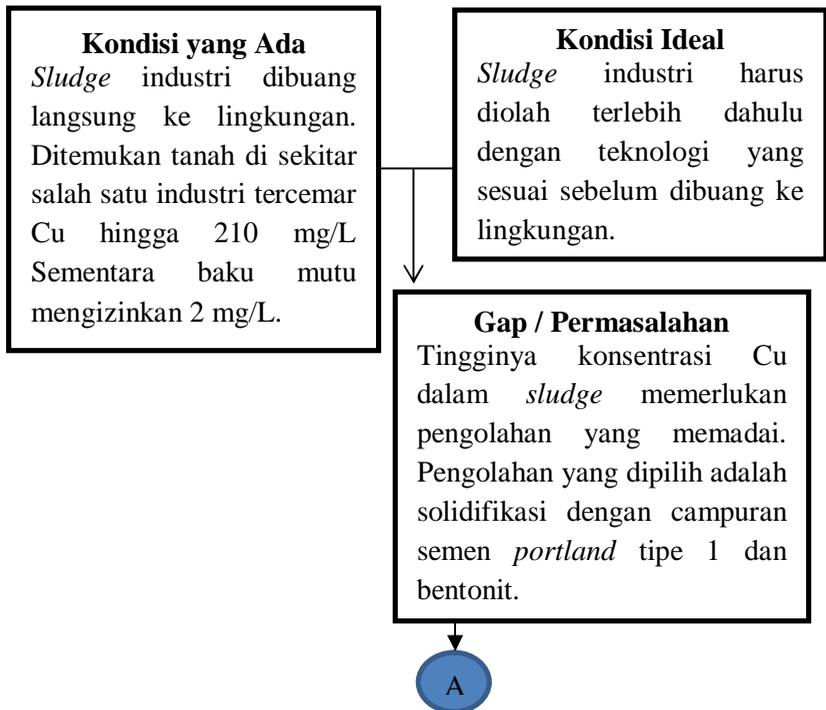
No	Sumber	Hasil Penelitian
		hari ke-28 dan hari ke-90.
3.	Katsiotti dkk, 2008	Mortar dengan campuran 50% <i>sludge</i> , 30% semen dan 20% bentonit menghasilkan produk S/S yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dengan nilai minimum 350 kPa pada hari ke-28. Hasil uji TCLP menunjukkan bahwa terjadi penyerapan yang tinggi terhadap logam berat dalam campuran semen dan bentonit. Penambahan bentonit mampu mereduksi peluluhan dan toksisitas <i>sludge</i> mengandung logam berat.
4.	Patel dan Pandey, 2012	Data penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan dari blok PPC- <i>sludge</i> berkisar antara 2,78 hingga 17,42 MPa setelah 14 hari proses <i>curing</i> dan 3,62 hingga 33,37 MPa setelah 28 hari <i>curing</i> .

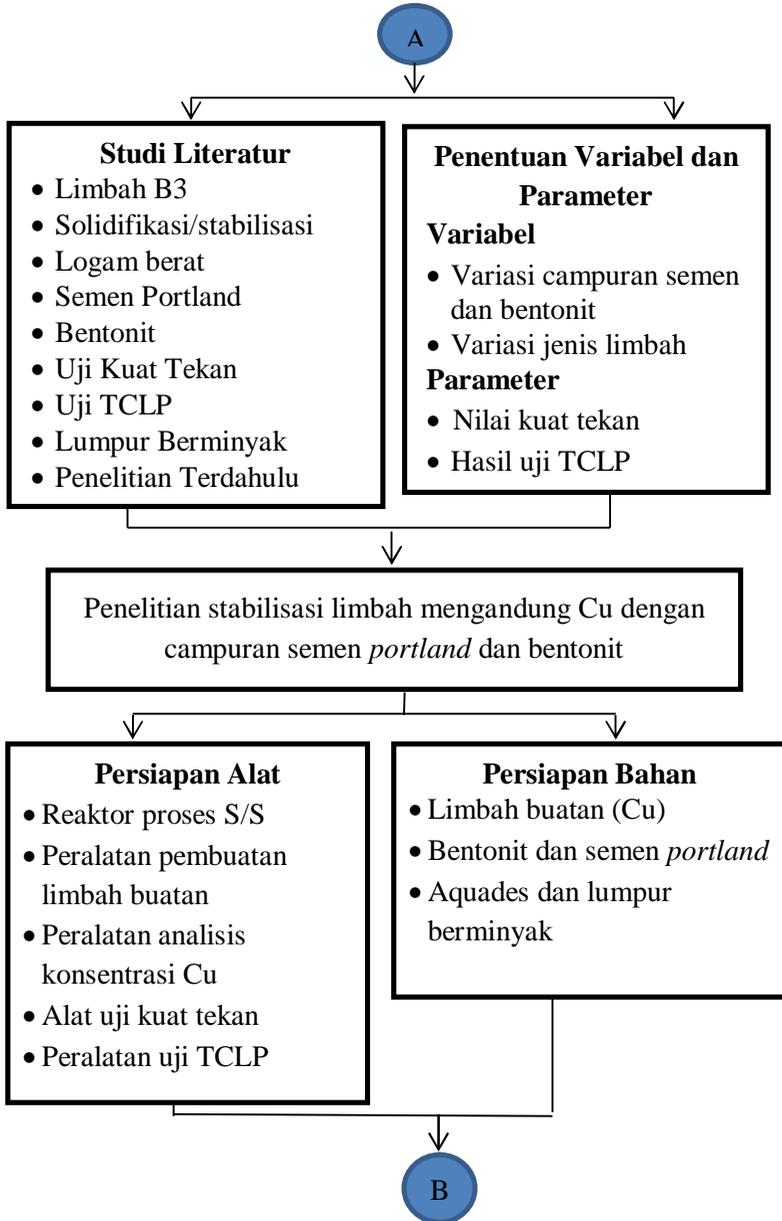
No	Sumber	Hasil Penelitian
5.	Wijaya, 2005	Perbandingan komposisi antara semen portland dan pozzolan (<i>fly ash</i>) sebesar 25:75 merupakan komposisi yang ideal dan ekonomis dalam pembuatan benda solidifikasi. Hasil uji TCLP menunjukkan konsentrasi logam Cr pada benda uji sebesar 2,418 mg/L (memenuhi standar PP RI No. 5 Tahun 1999 yaitu 5 mg/L). Nilai uji kuat tekan sebesar 84 kg/cm ² setelah 28 hari. Hasil tersebut memenuhi kuat tekan minimum sebesar 10 ton/m ² sesuai Keputusan Kepala BAPEDAL No. 9 Tahun 1995.
6.	Malviya dan Chaudhary, 2006	Faktor penting yang mempengaruhi kekuatan mortar adalah kadar semen, waktu <i>curing</i> dan rasio air:padatan. Untuk mencapai kekuatan yang diinginkan, rasio <i>waste/binder</i> 0,4-0,5 dan rasio <i>water/solid</i> 0,4-0,6 biasa digunakan. Nilai pasti yang digunakan bergantung pada jenis limbah yang disolidifikasi. Waktu <i>curing</i> yang diperpanjang dan kelembaban tinggi umumnya meningkatkan kekuatan mortar.

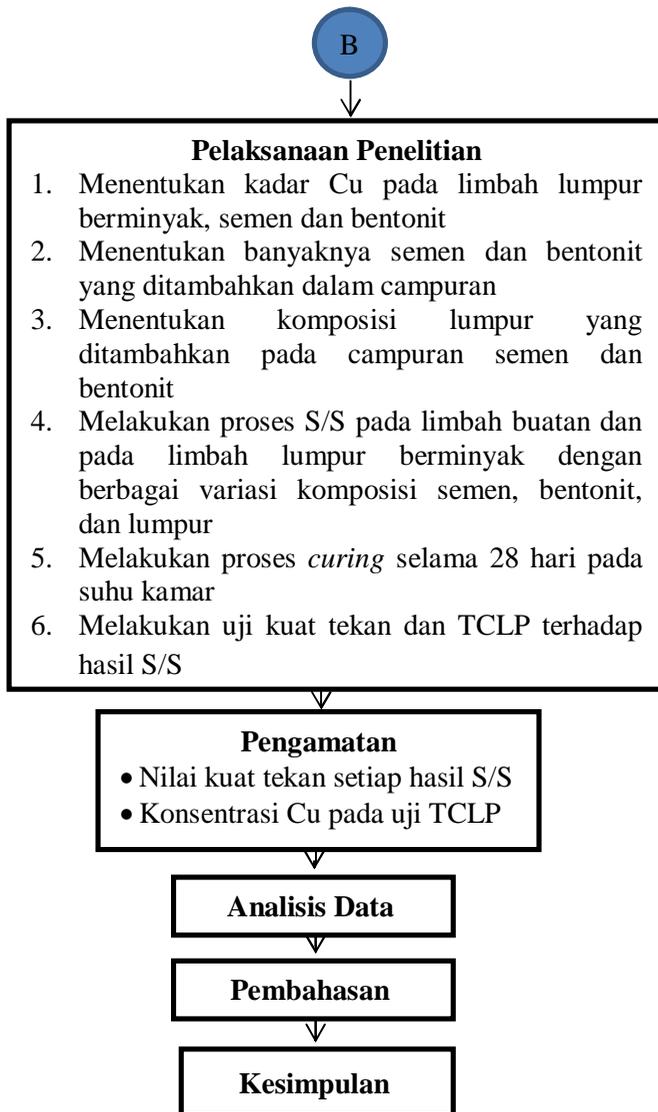
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Perencanaan

Metode penelitian disusun dalam bentuk kerangka penelitian yaitu alur atau prosedur yang akan dilakukan dalam penelitian. Kerangka penelitian berfungsi sebagai gambaran awal dalam pelaksanaan penelitian sehingga memudahkan penelitian dan penulisan laporan. Selain itu, kerangka penelitian memudahkan pembaca dalam memahami penelitian yang akan dilakukan. Berdasarkan ide yang telah dibuat, dapat dilihat kerangka penelitian yang disusun dalam Gambar 3.1.







Gambar 3.1 Kerangka penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini menjelaskan mengenai tahapan kerja yang akan dilakukan dalam penelitian. Dalam langkah penelitian ini juga dijelaskan secara lebih rinci mengenai tahapan yang disusun dalam kerangka penelitian. Tujuan dari pembuatan tahapan penelitian ini adalah untuk memudahkan pemahaman dan menjelaskan melalui deskripsi tiap tahapan. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan dalam penelitian, yaitu:

1. Ide Penelitian

Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan *gap analysis* dengan membandingkan kondisi yang ada di lapangan terhadap kondisi ideal. Ide penelitian diperoleh dari perbedaan yang signifikan yang menimbulkan masalah. Penelitian kali ini adalah S/S limbah mengandung tembaga dengan campuran semen dan bentonit. Ide penelitian diperoleh dari pengembangan penelitian sebelumnya. Penelitian dengan dua variabel akan dilakukan untuk mengetahui campuran optimum semen dan bentonit dalam mengikat Cu pada proses S/S.

2. Studi Literatur

Studi literatur ini bertujuan membantu dan mendukung ide studi serta meningkatkan pemahaman lebih jelas terhadap ide yang akan diteliti. Literatur juga harus mendapat *feedback* dari analisis data dan pembahasan untuk menyesuaikan hasil analisis dengan literatur yang ada. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal internasional dan jurnal Indonesia, peraturan, *text book*, makalah seminar serta tugas akhir yang berhubungan dengan penelitian.

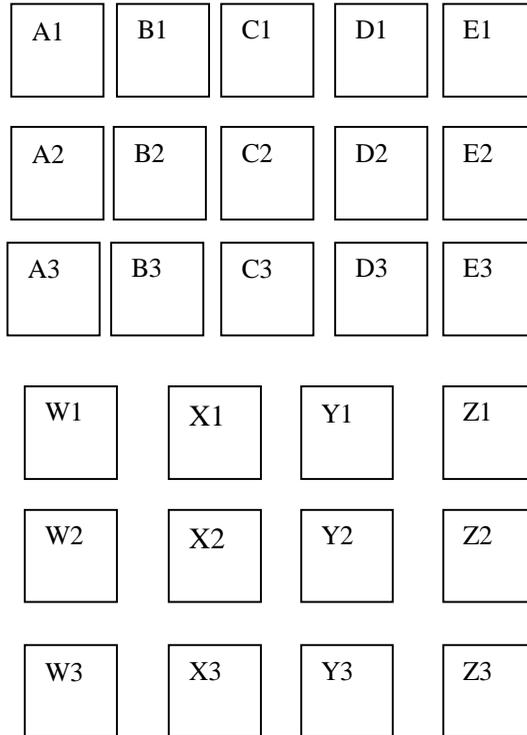
3. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan ini dilakukan untuk menyiapkan semua alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Limbah buatan pada penelitian ini disesuaikan dengan limbah belum terolah yang akan dibuang ke landfill kategori I dimana kandungan Cu lebih tinggi dari 1000 mg/kg berat kering. Limbah yang akan diteliti adalah limbah buatan dengan kandungan Cu dalam campuran semen dan bentonit sebesar 1000 mg per kg berat kering.

4. Pembuatan Benda Uji

Komposisi perbandingan (% berat) semen *portland* (pc) tipe 1 dan bentonit adalah 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 dan 0:100 merupakan variasi 1. Sedangkan komposisi perbandingan antara semen bentonit dengan lumpur berminyak adalah 85:15, 70:30, 55:45, 40:60 merupakan variasi 2. Semen yang digunakan adalah semen portland tipe 1 yaitu produksi PT SEMEN GRESIK (PERSERO). Tanah bentonit yang digunakan adalah produksi PT. BRATACO.

Lumpur berminyak yang digunakan merupakan lumpur bercampur oli bekas cucian kendaraan pengangkut dan alat alat berat PT Pamapersada Nusantara. Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian ini, dicetak berbentuk kubus dengan rusuk 5 x 5 x 5 cm menggunakan cetakan yang disebut Specimen Mold. Benda uji yang digunakan sebanyak 27 buah dengan rincian pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Reaktor penelitian

Keterangan:

- A = Komposisi semen: bentonit 100:0
- B = Komposisi semen: bentonit 75:25
- C = Komposisi semen: bentonit 50:50
- D = Komposisi semen: bentonit 25:75
- E = Komposisi semen: bentonit 0:100
- W = Komposisi semen bentonit : lumpur 85:15
- X = Komposisi semen bentonit : lumpur 70:30
- Y = Komposisi semen bentonit : lumpur 55:45
- Z = Komposisi semen bentonit : lumpur 40:60

5. Perawatan (*curing*)

Perawatan (*curing*) dilakukan dengan meletakkan benda S/S pada suhu kamar selama 28 hari sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Patel dan Pandey (2012). Kelembaban benda S/S harus dipertahankan untuk mencegah terjadinya retak pada benda S/S. Selama proses *curing*, benda S/S disemprot dengan sejumlah air untuk menjaga kelembaban benda S/S (Shawabkeh, 2005).

6. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui besaran kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol produk S/S. Sesuai dengan keputusan kepala BAPEDAL No:Kep-03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah bahan Berbahaya dan Beracun, diharapkan kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol minimum 10 ton/m².

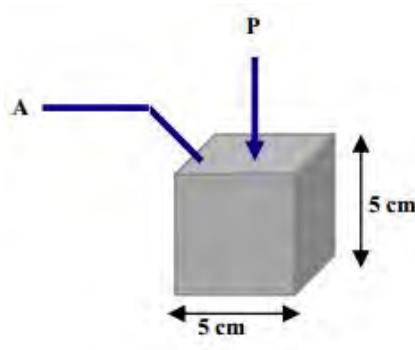
Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk uji kuat tekan adalah *Toorse Universal Testing Machine Type RAT-200*, MFG No. 20380 CAP. 200 tf. Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur pengerasan mortar 28 hari. Sebelum pengujian, terlebih dahulu dilakukan pengukuran dimensi serta pengamatan visual terhadap benda uji kemudian menimbang dan mencatat berat benda uji. Mortar yang akan diuji ditunjukkan pada Gambar 3.3. Untuk menghitung kuat tekan benda uji dengan rumus :

$$F_m = P / A$$

Keterangan : F_m = Kuat Tekan Mortar (Mpa)

P = Gaya Tekan (N)

A = Luas (mm²)



Gambar 3.3 Mortar untuk uji kuat tekan

7. Uji TCLP

Uji TCLP dilakukan untuk menentukan apakah limbah tergolong dalam limbah B-3 atau tidak. Apabila dari hasil uji didapatkan konsentrasi zat yang beracun pada limbah melebihi ambang batas yang ditentukan menurut PP RI No. 85 Tahun 1999, maka limbah tersebut termasuk dalam limbah B-3. Preparasi dan ekstraksi sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Analisis konsentrasi Cu pada benda proses S/S menggunakan metode spektrofotometer serapan atom. Jenis spektrofotometer AAS yang digunakan pada penelitian ini adalah *Atomic Absorption Spectrophotometer Buck Scientific Model 210 VGP*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Air ndustri Jurusan Teknik Kimia ITS.

8. Analisis Data

Pada penelitian ini terdapat 2 variabel yaitu komposisi semen dan bentonit, dan jenis limbah. Penelitian dilakukan sebanyak tiga kali ulangan (Tripla). Dilakukan uji kuat tekan dan uji TCLP terhadap 27 benda S/S. Sehingga dari

penelitian ini didapatkan total data sebanyak 54, yang selanjutnya dianalisis. Tabel 3.1 menunjukkan nilai kuat tekan benda S/S untuk variasi komposisi semen: bentonit, sedangkan hasil uji TCLP dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Nilai uji kuat tekan variasi 1

Komposisi semen: bentonit	Nilai Kuat Tekan (kg/cm ²)		
	1	2	3
100:0	A1	A2	A3
75:25	B1	B2	B3
50:50	C1	C2	C3
25:75	D1	D2	D3
0:100	E1	E2	E3

Tabel 3.2 Hasil uji TCLP variasi 1

Komposisi semen: bentonit	Konsentrasi Cu (mg/L atau mg/kg)		
	1	2	3
100:0	A1	A2	A3
75:25	B1	B2	B3
50:50	C1	C2	C3
25:75	D1	D2	D3
0:100	E1	E2	E3

Keterangan:

- A = Komposisi semen: bentonit 100:0
- B = Komposisi semen: bentonit 75:25
- C = Komposisi semen: bentonit 50:50
- D = Komposisi semen: bentonit 25:75
- E = Komposisi semen: bentonit 0:100

Komposisi optimum semen:bentonit dalam penelitian variasi 1 digunakan sebagai agen solidifikasi lumpur berminyak dalam penelitian variasi 2. Tabel 3.2 menunjukkan nilai kuat tekan benda S/S untuk variasi komposisi semen bentonit : lumpur berminyak, sedangkan hasil uji TCLP dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Nilai uji kuat tekan variasi 2

Komposisi semen bentonit: lumpur	Nilai Kuat Tekan (kg/cm ²)		
	1	2	3
85: 15	W1	W2	W3
70:23	X1	X2	X3
55:45	Y1	Y2	Y3
40:60	Z1	Z2	Z3

Tabel 3.4 Hasil uji TCLP variasi 2

Komposisi semen: Bentonit	Konsentrasi Cu (mg/L atau mg/kg)		
	1	2	3
85: 15	W1	W2	W3
70:23	X1	X2	X3
55:45	Y1	Y2	Y3
40:60	Z1	Z2	Z3

9. Kesimpulan

Tahap kesimpulan merupakan tahap akhir dari proses penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan, analisis data dan pembahasan selanjutnya akan dirumuskan kesimpulan.

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Material

Material yang digunakan untuk proses S/S pada penelitian ini diantaranya semen portland tipe 1, tanah bentonit, limbah buatan yang mengandung Cu, lumpur berminyak, aquades, dan asam asetat. Berikut akan dijelaskan lebih rinci tentang karakteristik beberapa material yang digunakan.

4.1.1 Karakteristik Semen Portland Tipe 1

Semen portland tipe 1 yang digunakan dalam penelitian ini merupakan semen portland yang diproduksi oleh PT Semen Gresik. Semen portland tipe 1 dipilih karena tidak memerlukan sifat-sifat khusus dalam penggunaannya. Sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang proses solidifikasi menggunakan semen portland dari PT Semen Gresik oleh Wijaya (2005), dan diperoleh karakteristik semen portland yang disajikan pada Tabel 4.1. Semen portland tipe 1 yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari analisis laboratorium diperoleh kandungan Cu dalam semen portland serta pH semen portland dalam keadaan tersuspensi. Semen portland ini memiliki pH 12. Kandungan unsur Cu dalam semen portland sebesar 0,07 mg/L.

Tabel 4.1 Karakteristik semen portland tipe 1

Jenis Bahan Kimia	Komposisi (%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	11,32
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	4,92
Ferri Oksida (Fe_2O_3)	7,96
Kalsium Oksida (CaO)	72,40
Senyawa lain	3,40

Sumber: Wijaya, 2005



Gambar 4.1 Semen portland tipe 1

Semen portland berfungsi sebagai pengikat butiran-butiran agregat dan pengisi rongga udara diantara butiran agregat tersebut (Mulyono, 2005). Disamping itu fungsi semen portland adalah sebagai pengikat logam berat dalam hal ini Cu. Setelah melalui proses S/S dengan semen dalam penelitian ini, konsentrasi Cu dalam larutan ekstraksi mengalami penurunan yang cukup signifikan karena sebagian besar Cu tertahan di dalam benda S/S.

Menurut Shi dan Spence (2004), proses S/S menggunakan semen memiliki beberapa keunggulan yaitu:

1. Biaya relatif murah dan kemudahan dalam proses penggunaannya.
2. Stabil dalam jangka waktu yang lama, baik secara fisika maupun kimia.
3. Berdampak baik karena kuat tekan yang tinggi.
4. Komposisi bahan kimia yang digunakan tidak bersifat toksik.
5. Memiliki ketahanan yang tinggi untuk mengalami biodegradasi.
6. Permeabilitas terhadap air rendah.

4.1.2 Karakteristik Tanah Bentonit

Tanah bentonit yang digunakan dalam penelitian ini dikemas oleh PT Brataco. Jenis tanah bentonit yang digunakan yaitu Ca-bentonit dimana memiliki sifat adsorpsi yang baik setelah diaktifkan dan dalam keadaan kering berwarna merah

bata. Berdasarkan penelitian Stankovic dkk (2011), karakteristik Ca-bentonit dapat dilihat pada Tabel 4.2. Gambar 4.2 adalah tanah bentonit yang digunakan dalam penelitian. Tanah bentonit dalam keadaan tersuspensi memiliki pH 7,5. Berdasarkan analisis laboratorium kandungan unsur Cu dalam tanah bentonit sebesar 0,02 mg/L.

Tabel 4.2 Karakteristik tanah bentonit

Bahan Kimia	Komposisi (%)
SiO ₂	62,12
Al ₂ O ₃	17,33
Fe ₂ O ₃	5,3
CaO	3,68
MgO	3,3
Na ₂ O	0,5
K ₂ O	0,55
H ₂ O	7,22

Sumber: Stankovic dkk, 2011



Gambar 4.2 Tanah bentonit

Kemampuan bentonit yang tinggi dalam menyerap air memiliki peranan penting dalam bidang pertanian, industri, kegiatan teknik sipil dan lingkungan seperti pembuatan keramik, cetakan pasir dalam pengecoran, pengeboran minyak, penahan air, dan pelindung limbah nuklir (Malfoy dkk, 2003). Baru-baru ini *clay* bentonit telah banyak berhasil digunakan untuk menyerap ion logam dan pewarna (Tahir dkk, 2013).

4.1.3 Karakteristik Lumpur Berminyak

Lumpur berminyak yang digunakan merupakan tanah bercampur dengan oli bekas cucian alat-alat berat dan kendaraan pengangkut PT Pampersada Nusantara. Karakteristik lumpur berminyak ini dapat dilihat pada Tabel 4.3. Lumpur yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan oleh Gambar 4.3.

Tabel 4.3 Karakteristik lumpur berminyak

Kandungan	Nilai
Cu	12,4 mg/L
Air	40%
pH	7,5



Gambar 4.3 Lumpur berminyak

Berdasarkan PP No.85 tahun 1999, limbah lumpur berminyak merupakan limbah B3 dari sumber yang spesifik. Oleh

karena itu sebelum dibuang pada *secured landfill*, harus dipastikan terlebih dahulu total petroleum hydrocarbon (TPH) yang terdapat dalam limbah tersebut disesuaikan dengan standar baku mutu.

4.1.4 Karakteristik Limbah Buatan

Pada penelitian ini digunakan limbah buatan mengandung Cu berupa larutan CuSO_4 . Larutan dibuat dengan melarutkan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ menggunakan aquades secukupnya (sesuai perhitungan). Penambahan kristal CuSO_4 disesuaikan dengan komposisi variasi pada penelitian ini. Sementara itu, volume aquades yang digunakan untuk melarutkan kristal tersebut disesuaikan dengan hasil uji konsistensi normal. Dengan demikian, kristal yang dilarutkan berbeda untuk setiap komposisi campuran semen, bentonit dan lumpur berminyak. Gambar 4.4 menunjukkan larutan CuSO_4 yang digunakan dan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Karakteristik limbah buatan sebagai berikut:

Warna	: Biru Muda
Bentuk	: Kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
pH	: 3,7



Gambar 4.4 Limbah buatan CuSO_4 dan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Penambahan limbah buatan mengandung Cu ke dalam campuran bahan-bahan agen solidifikasi (semen, tanah bentonit, dan lumpur berminyak) disesuaikan dengan massa setiap bahan dan kandungan Cu dalam masing-masing bahan. Oleh karena itu,

untuk memperoleh kandungan Cu yang sama dalam setiap sampel diperlukan perhitungan secara rinci penambahan Cu ke dalam campuran semen, tanah bentonit, dan lumpur berminyak.

4.2 Penambahan CuSO₄ ke dalam Campuran Bahan untuk Proses S/S

Pada penelitian ini digunakan semen portland, tanah bentonit dan lumpur berminyak serta limbah buatan pada proses S/S. Terdapat 2 variasi yaitu variasi komposisi perbandingan semen portland dan bentonit untuk proses S/S, dan variasi komposisi lumpur yang ditambahkan pada campuran semen dan bentonit. Oleh karena itu, diperlukan analisis pendahuluan mengenai karakteristik bahan-bahan yang digunakan dalam proses S/S terutama kandungan Cu dalam setiap bahan (Tabel 4.4).

Tabel 4.4. Kandungan Cu dalam bahan solidifikasi

Jenis Bahan	Kandungan Cu	
	(mg/L)	(mg/kg)
Semen Portland	0,07	1,4
Tanah Bentonit	0,02	0,4
Lumpur Berminyak	12,4	248

Hasil analisis kandungan Cu dengan metode AAS diperoleh nilai dalam satuan mg/L. Selanjutnya dikonversi ke dalam satuan mg/kg. Larutan sampel yang diuji sebanyak 50 gram/L dengan perhitungan sebagai berikut:

- Cu dalam bentonit = $\frac{0,02\text{mg/L}}{50\text{g/L}} \times \frac{1000\text{gr}}{1\text{kg}} = 0,4\text{mg/kg}$

- Cu dalam semen = $\frac{0,07\text{mg/L}}{50\text{g/L}} \times \frac{1000\text{gr}}{1\text{kg}} = 1,4\text{mg/kg}$

- Cu dalam lumpur = $\frac{12,4\text{mg/L}}{50\text{g/L}} \times \frac{1000\text{gr}}{1\text{kg}} = 248\text{mg/kg}$

- Massa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = A \text{ mg}$

$$\frac{\text{Massa CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{Massa Cu}} = \frac{\text{MrCuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Cu}}$$

$$A = \frac{\text{Ar Cu} + \text{Ar S} + (4 \times \text{Ar O}) + 5\text{Mr H}_2\text{O}}{\text{Ar Cu}} \times 1000 \text{ mg}$$

$$A = \frac{65,37 + 32 + (4 \times 16) + 5 \cdot 18}{65,37} \times 1000 \text{ mg} = 3845 \text{ mg}$$

- Kristal CuSO_4 yang diperlukan dalam 1 kg padatan 3845 mg.

Diperlukan ± 300 gram campuran untuk satu benda uji. Untuk mendapatkan benda uji dengan kandungan awal Cu sebesar 1000 mg/kg sampel, dilakukan perhitungan untuk mengetahui penambahan limbah buatan ke dalam campuran. Hasil perhitungan penambahan limbah buatan ke dalam campuran bahan untuk proses S/S disajikan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Penambahan CuSO_4 pada campuran semen dan bentonit

Sampel	Perbandingan massa (gram)		Kandungan Cu (gram)		Massa CuSO_4 (gram)
	semen	bentonit	semen	bentonit	
A	300	0	0,00042	0	1,15308
B	225	75	0,000315	0,00003	1,15316
C	150	150	0,00021	0,00006	1,15323
D	75	225	0,000105	0,00009	1,15331
E	0	300	0	0,00012	1,15338

Tabel 4.6 Penambahan kristal CuSO_4 pada campuran semen, bentonit, dan lumpur

Sampel	Komposisi (gram)		Kandungan Cu (gram)		Massa CuSO_4 (gram)
	semen dan bentonit	lumpur	semen dan bentonit	lumpur	
W	255	45	0,00023	0,01116	1,14211
X	210	90	0,000189	0,02232	1,13099
Y	165	135	0,000149	0,03348	1,11987
Z	120	180	0,000108	0,04464	1,10875

Total yang diperlukan untuk variasi 1 dan variasi 2 sebesar 30,8036 gram.

4.3 Uji Konsistensi

Konsistensi normal semen portland adalah kadar air pasta semen yang apabila jarum vicat diletakkan di permukaannya dalam interval waktu 30 detik akan terjadi penetrasi sedalam 10 mm. Hal tersebut sesuai dengan ASTM C187-11 tentang metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland dengan Alat Vicat.

4.3.1 Tahapan Uji Konsistensi

Uji konsistensi normal dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang harus ditambahkan pada masing-masing campuran adonan. Berat padatan yang digunakan untuk membuat benda uji adalah 300 gram. Peralatan untuk pengujian konsistensi normal terdiri atas:

1. Mesin pengaduk yang kecepatannya dapat diatur dan dilengkapi dengan mangkok pengaduk.
2. Alat vicat yang sesuai dengan standar ASTM C-187, terdiri atas batang vicat untuk pengujian konsistensi normal dan cetakan benda uji berbentuk kerucut terpancung terbuat dari karet keras dengan ukuran diameter dasar 70 mm, diameter atas 60 mm, dan tinggi 40 mm.

3. Gelas ukur kapasitas 200 mL untuk mengukur air yang dicampurkan ke adonan.
4. Timbangan kapasitas 560 gram dengan ketelitian 0,1 gram.
5. Pelat kaca ukuran 150 x 150 x 3 mm.

4.3.2 Hasil Uji Konsistensi

Uji konsistensi dilakukan terhadap semua komposisi campuran semen portland, tanah bentonit dan lumpur yang akan digunakan untuk membuat benda uji/mortar. Hasil uji konsistensi campuran semen dan tanah bentonit dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil uji konsistensi semen dan bentonit

Komposisi (%)		Massa (gram)		Volume Air yang Dibutuhkan (mL)
Semen	Bentonit	Semen	Bentonit	
100	0	300	-	80
75	25	225	75	142
50	50	150	150	185
25	75	75	225	285
0	100	-	300	320

Selanjutnya bisa dibuat benda uji dengan komposisi campuran semen, bentonit dan air sesuai hasil uji konsistensi. Mortar tersebut akan diuji kuat tekan dan TCLP setelah 28 hari masa perawatan. Komposisi semen : bentonit optimum selanjutnya digunakan sebagai pencampur lumpur untuk penelitian tahap kedua. Hasil uji konsistensi campuran semen, bentonit, dan lumpur disajikan pada Tabel 4.8. Komposisi semen: bentonit yang digunakan sebagai pencampur lumpur adalah 50:50 (% berat).

Berikut contoh perhitungan campuran semen, bentonit, lumpur dan air yang diperlukan untuk menghasilkan satu buah

benda uji. Contoh untuk perbandingan komposisi 70 % semen bentonit : 30% lumpur.

- Massa semen bentonit = 70% x 300 gram = 210 gram
- Massa bentonit = 50% x 210 gram = 105 gram
- Massa semen = 50% x 210 gram = 105 gram
- Massa lumpur kering = 300 – 210 = 90 gram
- Kadar solid pada lumpur = 60%
- Massa lumpur = 100 : 60 x 90 gram = 150 gram

Tabel 4.8 Hasil uji konsistensi semen, bentonit dan lumpur

Komposisi (%)		Massa (gram)		Volume Air (mL)
Campuran semen bentonit	Lumpur	Campuran semen bentonit	Lumpur	
85	15	255	75	128
70	30	210	150	102
55	45	165	225	76
40	60	120	300	50

4.4 Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan besarnya beban yang dapat diterima oleh suatu benda per satuan luas (Mulyono, 2004). Dalam proses solidifikasi berbagai jenis dan variasi komposisi bahan dapat digunakan dalam proses S/S. Oleh karena itu diperlukan adanya suatu standar terhadap kuat tekan benda uji hasil proses S/S. Menurut keputusan kepala BAPEDAL No. 09 Tahun 1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahaya dan Beracun, kuat tekan minimum yang diterima benda hasil solidifikasi adalah 10 ton/m².

Uji kuat tekan pada penelitian ini dilakukan terhadap 27 benda uji, 15 benda uji pada tahap pertama dan 12 benda uji pada tahap kedua. Pada tahap pertama terdapat lima variasi komposisi campuran semen portland dan bentonit pada benda uji dengan

ulangan sebanyak sebanyak tiga kali per komposisi (triplo). Dengan demikian, akan ada masing-masing tiga benda uji yang mendapat perlakuan sama pada setiap komposisi campuran yang berbeda. Nilai kuat tekan pada tiga benda uji dengan komposisi dan perlakuan yang sama akan dirata-rata sebagai hasil akhir nilai kuat tekan pada benda uji tersebut.

Dilakukan perawatan (*curing*) terhadap benda hasil S/S selama masa pengerasan (28 hari). Tujuan *curing* ini adalah untuk mengurangi panas hidrasi yang dihasilkan pada saat proses hidrasi semen. Pada penelitian ini jenis *curing* yang dilakukan adalah dengan menyemprotkan air ke benda uji untuk menjaga kelembaban benda uji. Proses *curing* dengan perendaman tidak dilakukan untuk menghindari terjadinya pelindian terhadap logam berat dalam benda uji. Alat yang digunakan untuk uji kuat tekan adalah *Universal Testing Machine* yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.

4.4.1 Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Semen dan Bentonit terhadap Uji Kuat Tekan

Pada penelitian ini akan diketahui pengaruh variasi komposisi campuran bahan yang digunakan untuk solidifikasi terhadap nilai kuat tekan benda uji. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan benda uji ditimbang terlebih dahulu dan diukur luas bidang tekannya. Nilai kuat tekan mortar yang di dalamnya terkandung limbah buatan disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai kuat tekan benda uji

Sampel		Kuat Tekan (ton/m ²)	Standar Kuat Tekan (ton/m ²)	Rata-rata Kuat Tekan (ton/m ²)
A	A1	6096	10	5976
	A2	6080	10	

Sampel		Kuat Tekan (ton/m ²)	Standar Kuat Tekan (ton/m ²)	Rata-rata Kuat Tekan (ton/m ²)
	A3	5752	10	
B	B1	1536	10	1664
	B2	1632	10	
	B3	1824	10	
C	C1	592	10	591
	C2	596	10	
	C3	586	10	
D	D1	86	10	80
	D2	78	10	
	D3	76	10	
E	E1	153	10	148
	E2	150	10	
	E3	141	10	

Keterangan:

A = 100% semen

B = 75 % semen dan 25% bentonit

C = 50% semen dan 50% bentonit

D = 25 % semen dan 75% bentonit

E = 100% bentonit

Selanjutnya dilakukan proses pengolahan data dari rata-rata kuat tekan pada Tabel 4.9 untuk memastikan ada atau tidaknya data diluar perkiraan atau outlier. Penentuan data outlier berikut ini dilakukan dengan mencari rentang atau *range* yang diizinkan dengan menghitung rata-rata dan standar deviasi. Hasil perhitungan standar deviasi dan rentang data dapat dilihat pada Tabel 4.10.

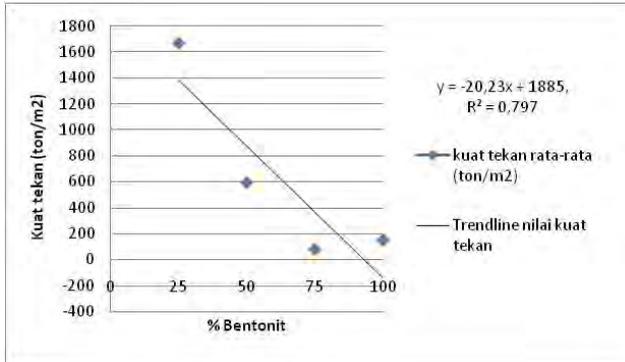
Tabel 4.10 Hasil perhitungan standar deviasi kuat tekan

Kuat tekan	Rata-rata kuat tekan	Standar deviasi masing-masing data (a)	a ²
5976	1691,8	4284,2	18354370
1664	1691,8	-27,8	772,84
591	1691,8	-1100,8	1211760,6
80	1691,8	-1611,8	2597899,2
148	1691,8	-1543,8	2383318,4
total (b)			24548121
b/(n-1)			6137030,2
standar deviasi			2477,303
batas atas (ton/m ²)			4169,103
batas bawah			-785,503

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.10 didapatkan rentang nilai kuat tekan yang diizinkan berkisar antara -785,503 hingga 4169,103 ton/m². Karena nilai kuat tekan tidak mungkin kurang dari nol sehingga batas kuat tekan maksimum sesuai data yang diolah sebesar 4196 ton/m². Dengan demikian nilai kuat tekan sebesar 5976 ton/m² yang dimiliki oleh sampel A dinyatakan sebagai data outlier. Kurva *trendline* nilai kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Nilai kuat tekan tertinggi diterima benda uji A dengan 100% semen yang dicampur dengan limbah buatan mengandung Cu, yaitu berkisar antara 5.752 ton/m² hingga 6.096 ton/m² dengan rerata 5.976 ton/m². Sedangkan benda uji dengan kuat tekan terendah adalah sampel D yang tersusun dari 25% semen dan 75% bentonit dicampur limbah buatan mengandung Cu yaitu berkisar antara 76 ton/m² hingga 86 ton/m² dengan rerata 80 ton/m². Dengan demikian semua benda hasil proses S/S dengan

variasi komposisi campuran semen dan bentonit telah memenuhi kuat tekan minimum yang diizinkan sebesar 10 ton/m².



Gambar 4.5 Trendline nilai kuat tekan benda uji variasi 1

Karena semua sampel pada penelitian ini memiliki kuat tekan di atas standar minimum, selanjutnya diprediksikan penambahan komposisi bentonit ke dalam campuran yang menghasilkan kuat tekan di bawah baku mutu. Berdasarkan persamaan regresi yang berasal dari trendline dapat diperkirakan komposisi tertentu yang menghasilkan nilai kuat tekan di bawah standar baku mutu kuat tekan. Misalkan nilai kuat tekan di bawah standar baku mutu yang dipilih adalah 9,9 ton/m².

- Persamaan regresi: $y = -20,23x + 1885$, dimana y merupakan nilai kuat tekan (ton/m²) dan x adalah komposisi bentonit (dalam persen).
- $9,9 = -20,23 x + 1885$
 $x = (1885 - 9,9) : 20,23$
 $x = 92,68 \%$

Misalkan $x = 92\%$, maka:

- $y = -20,23 (92) + 1885 = 23,84 \text{ ton/m}^2$ (memenuhi baku mutu)

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diperkirakan komposisi bentonit optimum yang dapat ditambahkan ke dalam campuran adalah 92%. Semakin banyak bentonit dalam campuran cenderung mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan benda uji (Gambar 4.5). Hal tersebut berlaku untuk sampel A, sampel B, sampel C dan sampel D. Campuran dengan komposisi 25% semen : 75% bentonit (sampel D) memiliki nilai kuat tekan lebih rendah dibandingkan dengan sampel E yang tidak mengandung semen (hanya tanah bentonit bercampur limbah buatan), tetapi masih memenuhi standar baku mutu kuat tekan yang ditetapkan.

Dari pengamatan dapat dilihat bahwa kondisi benda uji saat proses *curing* selama 28 hari, pada hari ke-21 sampel D mengalami keretakan yang paling banyak dibandingkan sampel lainnya (Gambar 4.6). Sampel E mengalami sedikit keretakan, sedangkan sampel A, sampel B dan sampel C belum menunjukkan adanya keretakan.

Keretakan pada sampel D diakibatkan karena perbedaan waktu hidrasi antara semen dan bentonit. Tanah bentonit menyerap air lebih cepat dibandingkan dengan semen, selanjutnya air tertahan dalam pori tanah bentonit. Ketika komposisi bentonit dalam campuran jauh lebih banyak dari semen, bentonit menyerap air lebih banyak dan menahannya, sehingga semen belum terhidrasi secara sempurna akibat kekurangan air. Hal ini mengakibatkan fungsi semen sebagai pengikat agregat tidak berjalan optimal sehingga timbul retakan pada benda uji.

Bentuk limbah yang tidak kuat akan mudah hancur menjadi bagian yang lebih kecil, sehingga akan meningkatkan resiko peluluhan (Utomo dan Widjajanti, 2007). Oleh karena itu, dalam penelitian ini sampel C dipertimbangkan sebagai komposisi yang digunakan untuk proses S/S lumpur berminyak pada penelitian tahap kedua.



(a) Sampel A



(b) Sampel B



(c) sampel C



(d) Sampel D



(e) sampel E

Gambar 4.6 Kondisi sampel setelah 3 minggu curing

Perbedaan nilai kuat tekan juga terjadi pada sampel dengan komposisi campuran dan perlakuan yang sama. Hal ini disebabkan karena adanya rongga pada benda uji akibat perbedaan kekuatan pepadatan sewaktu pencetakan (Gambar 4.7).



Gambar 4.7 Rongga pada mortar

4.4.2 Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Semen, Bentonit dan Lumpur terhadap Uji Kuat Tekan

Terdapat empat variasi komposisi semen dan bentonit : lumpur. Masing-masing variasi dibuat triplo atau tiga kali ulangan, sehingga ada 12 sampel uji pada tahap ini. Nilai kuat tekan mortar dengan variasi komposisi campuran semen, bentonit dan lumpur disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai kuat tekan benda uji

Sampel		Kuat Tekan (ton/m ²)	Standar Kuat Tekan (ton/m ²)	Rata-rata Kuat tekan (ton/m ²)
W	W1	328	10	323
	W2	320	10	
	W3	320	10	
X	X1	672	10	660
	X2	660	10	
	X3	648	10	
Y	Y1	200	10	204
	Y2	216	10	
	Y3	196	10	
Z	Z1	152	10	141
	Z2	144	10	
	Z3	128	10	

Keterangan:

W = Komposisi semen bentonit : lumpur 85:15

X = Komposisi semen bentonit : lumpur 70:30

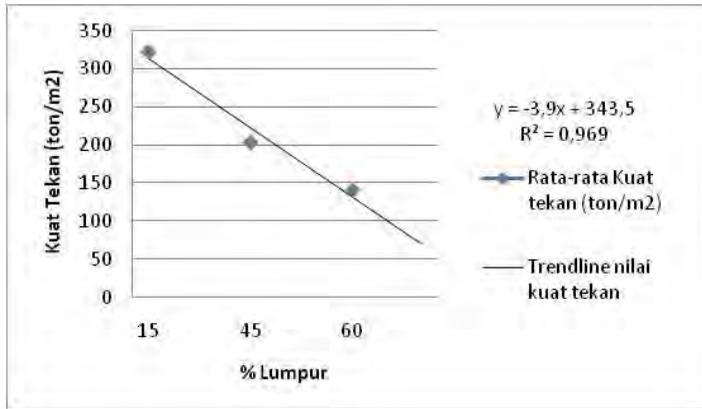
- Y = Komposisi semen bentonit : lumpur 55:45
 Z = Komposisi semen bentonit : lumpur 40:60

Selanjutnya dilakukan proses pengolahan data dari rata-rata kuat tekan pada Tabel 4.11 untuk memastikan ada atau tidaknya data diluar perkiraan atau outlier. Penentuan data outlier berikut ini dilakukan dengan mencari rentang nilai yang diizinkan dengan menghitung rata-rata dan standar deviasi. Hasil perhitungan standar deviasi dan rentang data dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan standar deviasi kuat tekan variasi 2

Kuat tekan	Rata-rata kuat tekan	Standar deviasi masing-masing data (a)	a ²
323	332	-9,33333	87,11111
660	332	328	107584
204	332	-128	16384
141	332	-190,667	36353,78
total (b)			160408,9
b/(n-1)			53469,63
standar deviasi			231,235
batas atas			563,235
batas bawah			100,765

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.12 didapatkan rentang nilai kuat tekan yang diizinkan berkisar antara 100,765 ton/m² hingga 563,235 ton/m². Dengan demikian nilai kuat tekan sebesar 660 ton/m² yang dimiliki oleh sampel X dinyatakan sebagai data outlier. Kurva *trendline* nilai kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Trendline nilai kuat tekan benda uji variasi 2

Adanya kecenderungan penurunan kuat tekan ketika penambahan lumpur ke dalam campuran semen dan bentonit semakin banyak. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8. Penambahan lumpur berpengaruh signifikan terhadap menurunnya nilai kuat tekan benda uji. Nilai kuat tekan tertinggi diterima benda uji W dengan komposisi semen bentonit : lumpur 85:15 yaitu berkisar antara 320 ton/m^2 hingga 328 ton/m^2 dengan rata-rata kuat tekan 323 ton/m^2 . Sedangkan benda uji dengan kuat tekan terendah adalah sampel Z dengan komposisi semen bentonit : lumpur 40:60 yaitu berkisar antara 128 ton/m^2 hingga 152 ton/m^2 dengan rerata 141 ton/m^2 . Semua benda hasil proses S/S dengan variasi komposisi campuran semen dan bentonit : lumpur telah memenuhi kuat tekan minimum yang diizinkan sebesar 10 ton/m^2 .

Karena semua sampel pada penelitian ini memiliki kuat tekan di atas standar minimum, selanjutnya diprediksikan penambahan komposisi lumpur ke dalam campuran yang menghasilkan kuat tekan di bawah baku mutu. Berdasarkan persamaan regresi yang berasal dari trendline dapat diperkirakan komposisi tertentu yang menghasilkan nilai kuat tekan di bawah

standar baku mutu kuat tekan. Misalkan nilai kuat tekan di bawah standar baku mutu yang dipilih adalah $9,9 \text{ ton/m}^2$.

- Persamaan regresi: $y = -3,9x + 343,5$; dimana y merupakan nilai kuat tekan (ton/m^2) dan x adalah komposisi bentonit (dalam persen).
- $9,9 = -3,9x + 343,5$
 $x = (343,5 - 9,9) : 3,9$
 $x = 85,54 \%$

Misalkan $x = 85\%$, maka:

- $y = -3,9(85) + 343,5 = 12 \text{ ton/m}^2$ (memenuhi baku mutu)

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diperkirakan komposisi lumpur optimum yang dapat ditambahkan ke dalam campuran adalah 85% . Hampir semua zat organik merupakan penghambat dalam proses *setting* semen. Zat organik menghambat proses *setting* semen dengan membentuk *layer*/ lapisan pelindung di sekitar butiran semen, sehingga menghambat pembentukan kalsium hidroksida (Sora dkk, 2002). Dengan demikian, adanya zat organik dalam lumpur berminyak, dapat mengganggu proses hidrasi semen yang berdampak pada menurunnya nilai kuat tekan benda uji. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Paria dan Yuet (2006).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi benda uji saat proses *curing* selama 28 hari, pada hari ke 28 sampel X yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi (semen bentonit : lumpur 70 : 30) tidak terlihat adanya keretakan, dibandingkan sampel lain yang mengalami sedikit keretakan (Gambar 4.9).



a. Sampel W



b. Sampel X



c. Sampel Y



d. Sampel Z

Gambar 4.9 Kondisi sampel setelah 28 hari waktu curing

Benda uji yang telah hancur saat uji kuat tekan selanjutnya digerus hingga halus berbentuk bubuk. Proses penghalusan benda uji menggunakan lumpang dan alu terbuat dari marmer dan ayakan 1mm. Selanjutnya dilakukan uji TCLP untuk mengetahui kandungan Cu dalam benda uji hasil proses S/S.

4.5 Uji TCLP

Uji TCLP dilakukan untuk mengetahui kandungan logam berat dalam benda hasil solidifikasi. Kadar Cu dalam sampel dapat ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer AAS. Namun, sebelum dianalisis dengan spektrofotometer AAS sampel harus diagitasi selama 18 jam sesuai dengan metode TCLP. Kadar Cu maksimum yang diizinkan ada pada cairan ekstraksi sampel menurut PP RI No. 85 Tahun 1999 sebesar 10 mg/L.

Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 menunjukkan pH setiap sampel yang dalam keadaan tersuspensi. Variasi 1 merupakan sampel dengan variasi perbandingan komposisi semen : bentonit. Variasi 2 merupakan sampel dengan variasi perbandingan komposisi semen dan bentonit : lumpur.

Tabel 4.13 Hasil pengukuran pH sampel variasi 1

Sampel		pH	Rata-rata pH
A	A1	11,72	11,72

Sampel		pH	Rata-rata pH
	A2	11,72	
	A3	11,72	
B	B1	11,54	11,54
	B2	11,54	
	B3	11,54	
C	C1	11,23	11,22
	C2	11,22	
	C3	11,22	
D	D1	11,06	11,07
	D2	11,07	
	D3	11,07	
E	E1	10,36	10,36
	E2	10,36	
	E3	10,36	

Tabel 4.14 Hasil pengukuran pH sampel variasi 2

Sampel		pH	Rata-rata pH
W	W1	10,74	10,74
	W2	10,74	
	W3	10,74	
X	X1	10,53	10,53
	X2	10,53	
	X3	10,53	
Y	Y1	10,38	10,38
	Y2	10,38	
	Y3	10,38	

Sampel		pH	Rata-rata pH
Z	Z1	10,12	10,12
	Z2	10,12	
	Z3	10,12	

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semua sampel dalam keadaan tersuspensi memiliki pH basa yaitu berkisar antara 10,12 sampai 11,72. Oleh karena itu, sesuai prosedur uji TCLP cairan ekstraksi yang digunakan adalah cairan ekstraksi 2 yaitu larutan buffer dengan pH $2,88 \pm 0,05$ untuk pH larutan sampel lebih dari 5. Larutan buffer ini dibuat dengan cara menambahkan 5,7 ml asam asetat ke dalam 500 ml aquades. Pembuatan sampel menggunakan rumus 20 kali berat padatan. Dengan demikian, ditambahkan 500 ml buffer ke dalam 25 gram padatan yang telah dihaluskan.

Setelah 18 jam melalui proses rotasi agitasi, sampel selanjutnya dianalisis dengan spektrofotometer AAS untuk mengetahui kandungan Cu dalam larutan sampel. Larutan sampel yang masih dalam keadaan keruh setelah proses rotasi agitasi, selanjutnya disaring dengan *Glass Microfiber Filter* / kertas saring dengan ukuran 90 mikro meter. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan filtrat yang jernih, sehingga bisa dibaca menggunakan spektrofotometer AAS.

Larutan sampel mengandung Cu yang sudah dalam keadaan jernih selanjutnya dapat diuji dengan spektrofotometer AAS untuk mengetahui unsur Cu yang terkandung di dalam larutan. Prinsip pengukuran dengan metoda AAS ini adalah dengan membaca banyaknya sinar yang diserap oleh unsur Cu dalam keadaan bebas. Oleh karena itu, perlu adanya pemanasan hingga suhu tertentu sehingga unsur berada dalam keadaan bebas. Diperlukan lampu katoda yang sesuai untuk analisis logam Cu. Lampu katoda untuk analisis Cu memiliki panjang gelombang 324,7 nm.

Identifikasi komponen kimia dalam bentuk limbah merupakan hal penting dalam penentuan waktu peluluhan logam. Secara umum, diasumsikan bahwa mobilitas logam relatif rendah dalam suasana pH yang tinggi. Sebagai contoh adalah hujan asam yang dapat menurunkan stabilitas dari proses peluluhan bentuk limbah. Dalam menentukan adanya pengaruh variasi komposisi terhadap nilai kuat tekan dan hasil uji TCLP dilakukan analisis statistik dengan metode Anova.

Analisis statistik dengan metode Anova ini hanya menunjukkan berpengaruh atau tidaknya variasi komposisi lumpur terhadap kuat tekan dan hasil uji TCLP benda S/S. Melalui analisis statistik dengan metode Anova uji hipotesis dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan menentukan nilai F atau Signifikansi. Nilai F pada tabel diperoleh dari perhitungan melibatkan nilai *mean square* dan df. Mean square merupakan hasil dari sum of squares dibagi dengan df (jumlah sampel). Selanjutnya nilai F hasil analisis Anova dapat dibandingkan dengan nilai F yang telah tercantum pada tabel distribusi. Apabila nilai F sampel hasil analisis lebih dari nilai F pada tabel distribusi maka kesimpulannya adalah tolak H_0 / pernyataan (tidak sesuai dengan hipotesis). Berdasarkan signifikansi hasil uji statistik ini dilihat dari nilai α . Apabila nilai signifikansi (α) kurang dari 0,05 maka kesimpulannya tolak H_0 . Dalam hal ini H_0 adalah kuat tekan semua sampel sama. Dari hasil analisis diperoleh α sampel sebesar 0,00 ($<0,05$) sehingga kesimpulan tidak sesuai pernyataan. Hal ini dipertegas dengan hasil uji laboratorium yang menunjukkan adanya perbedaan nilai kuat tekan pada setiap sampel dengan komposisi campuran berbeda. Perbedaan nilai kuat tekan ini menunjukkan adanya pengaruh variasi komposisi terhadap uji yang dilakukan. Sebaliknya, jika nilai signifikan lebih dari 0,05 maka tidak terjadi pengaruh yang signifikan terhadap benda uji. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 4. 15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4.15 Hasil analisis hasil uji kuat tekan metode Anova

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	481730,667 ^a	5	96346,133	1654,800	,000
Intercept	1322688,000	1	1322688,000	22717,924	,000
SAMPEL	481226,667	3	160408,889	2755,115	,000
ULANGAN	504,000	2	252,000	4,328	,069
Error	349,333	6	58,222		
Total	1804768,000	12			
Corrected Total	482080,000	11			

Tabel 4.16 Hasil analisis hasil uji TCLP metode Anova

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5,000 ^a	3	1,667	.	.
Intercept	25,000	1	25,000	.	.
TCLP	5,000	3	1,667	.	.
Error	,000	0	.	.	.
Total	30,000	4			
Corrected Total	5,000	3			

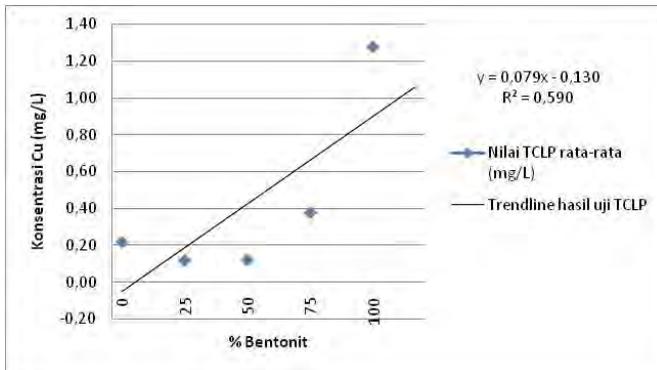
Nilai signifikansi terhadap kuat tekan benda uji sebesar 0,00. Hal ini menunjukkan variasi komposisi lumpur yang ditambahkan ke dalam campuran memiliki pengaruh signifikan terhadap kuat tekan benda uji. Secara lebih jelasnya pengaruh tersebut dapat ditunjukkan dengan *trendline* pada Gambar 4.9. Sementara itu, penambahan lumpur tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap hasil uji TCLP. Hal ini dikarenakan konsentrasi Cu hasil uji TCLP pada masing-masing sampel hampir sama (perbedaan konsentrasi Cu tidak signifikan).

4.5.1 Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Semen dan Bentonit terhadap Uji TCLP

Melalui uji TCLP kandungan Cu dalam larutan sampel bisa diketahui. Tabel 4.17 merupakan hasil analisis kadar Cu dalam sampel. Pengaruh penambahan bentonit ke dalam campuran ditunjukkan dengan *trendline* hasil uji TCLP benda uji berupa konsentrasi Cu yang terkandung di dalam larutan ekstraksi masing-masing sampel benda uji (Gambar 4.10).

Tabel 4.17 Kadar Cu dalam ekstraksi limbah variasi 1

Sampel		Konsentrasi Cu (mg/L)	Standar (mg/L)	Rata-rata Konsentrasi Cu (mg/kg)
A	A1	0,22	10	0,22
	A2	0,22	10	
	A3	0,22	10	
B	B1	0,14	10	0,12
	B2	0,12	10	
	B3	0,1	10	
C	C1	0,15	10	0,12
	C2	0,12	10	
	C3	0,1	10	
D	D1	0,35	10	0,38
	D2	0,42	10	
	D3	0,37	10	
E	E1	1,28	10	1,28
	E2	1,28	10	
	E3	1,28	10	



Gambar 4.10 Trendline hasil uji TCLP sampel

Hasil uji TCLP menunjukkan konsentrasi Cu dalam cairan ekstraksi berkisar antara 0,10 mg/L sampai 1,28 mg/L. Berdasarkan PP RI No. 85 tahun 1999 baku mutu TCLP zat pencemar dalam limbah untuk Cu sebesar 10 mg/L. Dengan demikian, semua sampel yang telah diekstraksi masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Adanya kecenderungan peningkatan konsentrasi Cu pada sampel dengan penambahan tanah bentonit ke dalam campuran (Gambar 4.11).

Pada sampel A, sampel B dan sampel C terjadi peningkatan daya adsorpsi Cu, dimana semakin banyak bentonit dalam campuran semakin rendah kadar Cu hasil TCLP. Namun, hal tersebut hanya berlaku sampai perbandingan persen komposisi semen : bentonit = 50:50. Tidak terlihat perbedaan yang relevan terhadap hasil uji TCLP sampel B dengan sampel C. Sehingga dalam hal ini sampel C bisa dipertimbangkan sebagai komposisi optimum campuran semen dan bentonit. Hasil TCLP menunjukkan kadar Cu dalam cairan ekstraksi meningkat pada sampel D dan paling tinggi pada sampel E.

Pengolahan dengan proses solidifikasi/stabilisasi cukup efektif dalam mengikat limbah mengandung logam berat dalam hal ini Cu. Dari hasil TCLP didapatkan terjadi pengikatan Cu pada benda proses S/S antara 97,44% hingga 99,8%. Hasil ini

sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bath dkk (2012) dimana tanah bentonit yang telah diaktivasi dapat menyerap Cu dalam larutan Cu dengan konsentrasi 100 mg/L hingga 99,16%.

Proses S/S dapat mengurangi Cu dalam tanah sebesar 99%. Penelitian ini dilakukan oleh Burlakovs dan Klavins (2012). Telah dilakukan penelitian di kawasan industri dengan tingkat pencemaran logam berat yang cukup besar dan teknologi S/S ini sangat efektif dalam pengolahan logam berat tersebut. Hasil dari penelitian ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bajceta dkk (2013), bahwa proses S/S dapat meremoval Cu, Ni, Pb, dan Zn di atas 99% serta Ar di atas 90% dalam sampel dengan kandungan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang tinggi.

Meskipun uji TCLP menunjukkan bahwa kandungan Cu paling kecil terdapat pada sampel B, namun perbandingan komposisi semen: bentonit 50% : 50% (Sampel C) dalam penelitian ini dipertimbangkan sebagai komposisi optimum. Hal ini dikarenakan kandungan Cu dalam sampel C tidak jauh berbeda dengan sampel B. Sehingga penggunaan semen dalam proses S/S dapat dikurangi dan digantikan dengan tanah bentonit.

Menurut Kenai (2004, dalam Ghrici; 2007), kebanyakan pabrik semen mengkonsumsi banyak energi dan menghasilkan sejumlah besar produk tidak diinginkan yang berdampak ke lingkungan. Dalam rangka mengurangi penggunaan energi dan emisi CO_2 serta peningkatan produksi, produsen semen menambahkan bahan tambahan lain seperti *slag*, pozzolan alam, pasir dan *limestone*. Bentonit termasuk salah satu pozzolan alam sehingga penggunaannya untuk mengurangi penggunaan semen sangat efektif karena bisa ditemukan di alam dan keberadaannya di Indonesia tersebar di berbagai wilayah.

Mekanisme utama dalam pengikatan logam oleh agen solidifikasi diperkirakan melalui proses pengendapan, dan beberapa reaksi permukaan lain. Reaksi tersebut seperti adsorpsi, absorpsi, dan pembentukan kompleks serta pertukaran ion (Utomo dan Widjajanti, 2007).

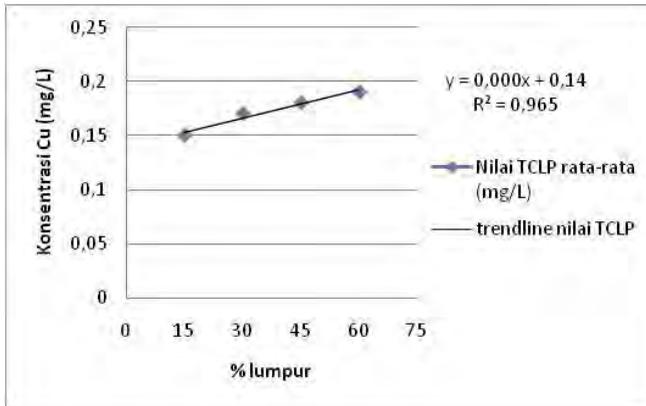
4.5.2 Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Semen, Bentonit dan Lumpur terhadap Uji TCLP

Untuk menentukan komposisi optimum perbandingan antara semen dan bentonit : lumpur masing-masing variasi dibuat triplo atau tiga kali ulangan, sehingga ada 12 sampel uji pada tahap ini. Hasil uji TCLP dengan variasi komposisi campuran semen, bentonit dan lumpur disajikan pada Tabel 4.18. Trendline hasil uji TCLP dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Tabel 4.18 Kadar Cu dalam ekstraksi limbah variasi 2

Sampel		Konsentrasi Cu (mg/L)	Rata-rata Konsentrasi Cu (mg/L)	Baku Mutu * (mg/L)
W	W1	0,15	0,15	10
	W2	0,15		10
	W3	0,15		10
X	X1	0,17	0,17	10
	X2	0,17		10
	X3	0,17		10
Y	Y1	0,18	0,18	10
	Y2	0,18		10
	Y3	0,18		10
Z	Z1	0,19	0,19	10
	Z2	0,19		10
	Z3	0,19		10

* Berdasarkan PP RI No. 85 tahun 1999



Gambar 4.11 Trendline uji TCLP benda uji

Hasil uji TCLP menunjukkan konsentrasi Cu dalam cairan ekstraksi berkisar antara 0,15 mg/L sampai 0,19 mg/L. Kandungan Cu tertinggi dalam larutan sampel Z (40% campuran semen dan bentonit : 60% lumpur). Berdasarkan PP RI No. 85 tahun 1999 baku mutu TCLP zat pencemar dalam limbah untuk Cu sebesar 10 mg/L. Dengan demikian, semua sampel yang telah diekstraksi masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin banyak kandungan lumpur dalam benda uji semakin tinggi pula kadar Cu dalam benda uji tersebut. Hal ini disebabkan adanya kandungan organik yang semakin banyak dalam benda S/S akan berdampak pada berkurangnya daya adsorpsi terhadap Cu. Sesuai dengan keputusan KABAPEDAL Kep-04 No. 09 Tahun 1995 kadar Cu dalam limbah belum terolah lebih dari 1000 mg/kg berat kering limbah harus masuk ke *secured landfill* kategori I.

Pengolahan dengan proses solidifikasi/stabilisasi cukup efektif dalam mengikat limbah mengandung logam berat dalam hal ini Cu. Dari hasil TCLP didapatkan terjadi pengikatan Cu pada benda proses S/S antara 99,62% hingga 99,7%. Komposisi semen dan bentonit : lumpur, 40 : 60 dapat mengadsorpsi Cu sebesar 996,2 mg/kg. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang

dilakukan oleh Bath dkk (2012) dimana tanah bentonit yang telah diaktivasi dapat menyerap Cu dalam larutan Cu dengan konsentrasi 100 mg/L hingga 99,16 %.

Efisiensi pengolahan limbah organik dengan proses S/S dapat ditingkatkan dengan menggunakan adsorben untuk zat organik. Adsorben ini dapat digabungkan atau sebagai tambahan dalam campuran semen, atau dapat juga digunakan sebagai *pretreatment* sebelum diolah dengan proses solidifikasi berbasis semen. Beberapa material telah diteliti untuk digunakan sebagai adsorben zat organik dalam proses S/S. Adsorben tersebut termasuk oksida logam, *clay*, material alam (zeolit, fly ash, polimer organik), dan karbon aktif (Paria dan Yuet, 2006). Berdasarkan LaGrega dkk (1994), adsorben yang paling umum yaitu: tanah, fly ash, *cement kiln dust*, *lime kiln dust*, mineral *clay* (bentonit, kaolinit, dan zeolit), serbuk gergaji, dan jerami. Beberapa adsorben seperti *cement kiln dust* memiliki manfaat tambahan karena sifat pozzolannya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Semua sampel benda uji hasil proses S/S memenuhi standar kuat tekan dan TCLP. Komposisi semen : bentonit 50 %: 50% tidak menunjukkan adanya keretakan setelah 28 hari waktu *curing*. Komposisi ini dipertimbangkan sebagai komposisi optimum untuk proses S/S limbah mengandung Cu.
2. Penambahan lumpur berminyak berpengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan hasil solidifikasi limbah mengandung Cu. Namun tidak berpengaruh signifikan terhadap uji TCLP. Penambahan 15% lumpur ke dalam campuran mengakibatkan penurunan kuat tekan pada benda uji hingga 2 kali dibandingkan benda kontrol.

5.2 Saran

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kadar air optimum untuk proses S/S, sehingga tidak timbul retakan pada hasil solidifikasi.
2. Dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan jenis pozzolan alam yang lain untuk mengurangi penggunaan semen.
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan lumpur lebih dari 60 % untuk mendapatkan hasil optimum.
4. Dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan bentonit lebih dari 50 % untuk mendapatkan komposisi optimum.

LAMPIRAN A

PROSEDUR PENELITIAN

1. Prosedur Uji Kuat Tekan

Prosedur uji kuat tekan berdasarkan ASTM C109 sebagai berikut:

1. Keluarkan benda uji dari cetakan (Specimens Mold)
2. Hidupkan mesin uji kuat tekan, lalu atur kapasitas pembebanan yang sesuai dengan benda uji. Jarum penunjuk pada mesin harus dinolkan, dan diset agar siap pakai.
3. Angkat hammer pembeban dengan memutar tombol pengangkat lalu benda uji diletakkan pada bidang alas hammer pembeban.
4. Turunkan hammer pembeban hingga menyentuh permukaan benda uji.
5. Putar hammer pembeban perlahan-lahan hingga menekan benda uji. Kecepatan pembebanan 1,4-3,4 kg/cm²/detik.
6. Catat hasil pembacaan pada meteran setelah jarum berhenti
7. Pengujian dilakukan sampai benda uji hancur.

2. Prosedur Uji TCLP

Berdasarkan US-EPA (*method 1311 tentang Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), prosedur untuk uji TCLP adalah sebagai berikut:

- A. Preliminary evaluation
 - Ayak sampel hingga lolos saringan 10 mm
 - Masukkan 5 mg sampel ke dalam *beaker glass*
 - Tambahkan 96,5 ml aquades dan aduk selama 5 menit
 - Cek pH. Jika: pH < 5, gunakan cairan ekstraksi 1
pH > 5, gunakan cairan ekstraksi 2

- B. Pembuatan sampel
- Rumus yang digunakan= 20 x berat padatan
 - Jika padatan 25 gram, maka ditambahkan aquades 500 ml
- C. Cairan ekstraksi 1
- Tambahkan 5,7 ml asam asetat ke dalam 500 ml aquades
 - Tambahkan 64,3 ml NaOH 1 N untuk tiap liter sampel
 - Tambahkan aquades hingga volume sampel yang diinginkan
 - Atur pH hingga $4,93 \pm 0,5$
 - Jika $\text{pH} < 4,93$; tambahkan NaOH 1 N
 - Jika $\text{pH} > 4,93$; tambahkan CH_3COOH
- D. Cairan ekstraksi 2
- Tambahkan 5,7 ml asam asetat ke dalam 500 ml aquades
 - Atur pH hingga $2,88 \pm 0,05$
 - Jika $\text{pH} < 2,88$; tambahkan NaOH 1 N
 - Jika $\text{pH} > 2,88$; tambahkan CH_3COOH
- E. Rotasi dan agitasi
- Masukkan sampel ke dalam botol plastik berbahan Polyethylen
 - Lakukan rotasi-agitasi dengan kecepatan 300 rpm, selama 18 ± 2 jam
 - Sampel disaring melalui saringan *borosilicate* 0,8 μm
 - Filtrat dianalisis dengan metode AAS

Penentuan konsentrasi awal Cu pada limbah lumpur berminyak yaitu sebagai berikut:

- *Sludge* dikeringkan dalam open pada suhu 105°C selama 24 jam.
- Masukkan 5 mg sampel ke dalam *beaker glass*
- Tambahkan 96,5 ml aquades dan aduk selama 5 menit
- Cek pH. Jika: $\text{pH} < 5$, gunakan cairan ekstraksi 1

pH > 5, gunakan cairan ekstraksi 2
Selanjutnya dilakukan langkah yang sama dengan tahap B hingga E pada uji TCLP untuk benda padat.

3. Prosedur Uji Konsistensi Normal Semen Portland (ASTM C187-11)

Pengujian konsistensi normal semen portland dilakukan dengan urutan, sebagai berikut:

1. Siapkan lima benda uji semen portland masing-masing beratnya 300 gram serta air suling sebanyak 1000 ml.
2. Tuangkan 84 ml air suling ke dalam mangkok pengaduk, kemudian masukkan secara perlahan semen sebanyak 300 gram. Biarkan kedua bahan itu di dalam mangkok pengaduk selama 30 detik.
3. Aduklah kedua bahan tadi selama 30 detik dengan kecepatan pengaduk 140 ± 5 putaran per menit.
4. Hentikan pengadukan selama 15 detik, sementara itu bersihkan pasta yang menempel pada dinding mangkok pengaduk.
5. Aduklah kembali pasta selama 60 detik dengan kecepatan pengaduk 285 ± 10 putaran per menit.
6. Buatlah bola dari pasta menggunakan tangan, lalu lemparkan 6 kali dari tangan kiri ke tangan kanan dan sebaliknya dengan jarak lemparan 15 cm.
7. Peganglah bola pasta yang terbentuk di salah satu tangan, sedang tangan lainnya memegang cetakan benda uji. Melalui lubang dasarnya, masukkan bola pasta ke dalam cetakan benda uji sampai terisi penuh dan ratakan kelebihan pasta pada dasar cincin dengan sekali gerakan telapak tangan.
8. Letakkan dasar cincin pada pelat kaca. Ratakan permukaan atas pasta dengan sekali gerakan sendok perata dalam posisi miring dan haluskan permukaan pasta dengan

- ujung sendok perata tanpa mengadakan tekanan pada pasta.
9. Letakkan cetakan benda uji yang berisi pasta pada alat vicat, lalu sentuhkan ujung batang vicat pada bagian tengah permukaan pasta dan kencangkan posisi batang vicat
 10. Letakkan pembacaan skala pada nol dan segera lepaskan batang vicat sehingga dengan bebas dapat menembus permukaan pasta, setelah 30 detik catatlah besarnya penetrasi batang vicat; pekerjaan ini harus selesai dalam waktu 60 detik setelah pengadukan
 11. Ulangi pekerjaan 2 sampai dengan 9 sekurang-kurangnya 5 kali dan setiap kali dengan menggunakan alat uji baru dan kadar air yang berlainan. Untuk percobaan pertama dapat menggunakan air sebanyak 84 ml.
 12. Hitung besarnya nilai konsistensi untuk setiap tahap, kemudian buatlah grafik yang menyatakan hubungan antara nilai konsistensi dengan penetrasi.

4. Analisis Kadar Air (Berat Kering)

Prinsip: Pemanasan pada suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ di dalam oven sehingga air menguap dari sampel.

Prosedur Analisis:

1. Cawan petridish kosong dimasukkan ke dalam oven pada suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam.
2. Cawan kosong didinginkan di dalam desikator selama ± 15 menit.
3. Cawan yang sudah dingin ditimbang menggunakan neraca analitik.
4. Sampel dimasukkan ke dalam cawan secukupnya.
5. Cawan berisi sampel ditimbang menggunakan neraca analitik.
6. Cawan berisi sampel dimasukkan ke dalam oven pada suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama minimal 24 jam.

7. Setelah di oven, cawan berisi sampel didinginkan ke dalam desikator selama ± 15 menit.
8. Cawan berisi sampel setelah dingin ditimbang menggunakan neraca analitik.
9. Perhitungan kadar air dalam sampel menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat kering} = \frac{c-a}{b-a} \times 100 \%$$
$$\text{Kadar air} = 100 \% - \text{berat kering}$$

Keterangan :

a = berat cawan kosong

b = berat cawan + sampel (sebelum di oven)

c = berat cawan + sampel (sesudah di oven)

5. Analisis pH

Prosedur analisis :

1. pH meter distandarisasi dengan menggunakan larutan buffer pH = 4, 7 dan 10.
2. Sampel diambil dan diletakkan ke dalam beaker glass.
3. Batang silinder pH meter dicelupkan ke dalam sampel.
4. pH meter akan meunjukkan pH larutan secara digital.

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN PENDAHULUAN

Pengukuran berat kering mortar (campuran semen dan tanah bentonit yang sudah dicetak) setiap komposisi diperlukan untuk mengetahui banyaknya campuran yang diperlukan untuk membuat satu benda uji.

Berat kering didapatkan dengan cara mengeringkan mortar dalam oven dengan suhu 50°C hingga berat sebelum dan setelah di oven mendekati konstan. Sebelum di oven mortar didiamkan selama 3 hari untuk memberikan waktu hidrasi semen. Tabel 3 menunjukkan berat kering masing-masing mortar dengan komposisi semen portland dan bentonit berbeda.

Tabel 3 Berat kering mortar

Komposisi semen: bentonit (%)	Berat Kering (gram)
100:0	276
75:25	198
50:50	166
25:75	122
0:100	94

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN



Gambar 1. Mesin pengaduk pasta



Gambar 2. Alat vicat



Gambar 3. Pengukuran massa bahan



Gambar 4. Campuran semen dan bentonit



Gambar 5. Pengukuran massa CuSO_4



Gambar 6. Cetakan benda uji



Gambar 7. Benda uji hasil S/S



Gambar 8. Benda setelah uji kuat tekan



Gambar 9. Alat penumbuk mortar



Gambar 10. Ayakan 1 mm



Gambar 11. Pengukuran pH sampel



Gambar 12. Proses rotasi agitasi



Gambar 13. Filtrat yang akan di uji AAS



Gambar 14. Proses analisis Cu



Gambar 15. Alat uji kuat tekan



Gambar 16. Sampel setelah digerus



LABORATORIUM BETON DAN BAHAN BANGUNAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111
TEL. 5931223, 594251-55 PES. 1147, 5947284
FAX. (031) 5927650

TEST KOKOH TEKAN HANCUR KUBUS MORTAR

No. : 563 TKh 01 / LB3 / V1 / 14.

Dikirim oleh : KOMANG RITAYANI
Diterima tanggal : 25 Maret 2014
Untuk Pekerjaan : PENELITIAN
Banyaknya : 20 (Dua puluh) Buah Kubus Mortar $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur Hari	Ukuran cm	Berat Kg	Tekanan Hancur Kg	Tegangan Hancur Kg/cm ²	Keterangan Kode Benda Uji
1	27-Mar-14	23-Apr-14	27	5 x 5	0.280	15240	609.6	A1
2	27-Mar-14	23-Apr-14	27	5 x 5	0.280	15200	608.0	A2
3	27-Mar-14	23-Apr-14	27	5 x 5	0.275	14380	575.2	A3
4	27-Mar-14	23-Apr-14	27	5 x 5	0.220	3840	153.6	B1
5	27-Mar-14	23-Apr-14	27	5 x 5	0.225	4080	163.2	B2
6	27-Mar-14	23-Apr-14	27	5 x 5	0.220	4560	182.4	B3
7	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.190	1480	59.2	C1
8	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.190	1490	59.6	C2
9	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.190	1465	58.6	C3
10	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.145	215	8.6	D1
11	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.140	195	7.8	D2
12	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.140	190	7.6	D3
13	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.095	245	9.8	E1
14	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.095	240	9.6	E2
15	02-Apr-14	30-Apr-14	28	5 x 5	0.095	225	9.0	E3
16	09-May-14	06-Jun-14	28	5 x 5	0.175	820	32.8	W1
17	09-May-14	06-Jun-14	28	5 x 5	0.170	800	32.0	W2
18	09-May-14	06-Jun-14	28	5 x 5	0.170	800	32.0	W3
19	09-May-14	06-Jun-14	28	5 x 5	0.155	1680	67.2	X1
20	09-May-14	06-Jun-14	28	5 x 5	0.155	1650	66.0	X2

Catatan :

1. Pengetasan menurut SNI 03 - 1974 - 1990
2. Benda yang diuji berbentuk kubus mortar $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$
3. Hasil uji tersebut diatas berdasarkan contoh yang diterima





TEST KOKOH TEKAN HANCUR KUBUS MORTAR

No. : 563 TKb 01 / LB3 / VI / '14.

Dikirim oleh : KOMANG RITAYANI
 Diterima tanggal : 25 Maret 2014
 Untuk Pekerjaan : PENELITIAN
 Banyaknya : 7 (Tujuh) Buah Kubus Mortar $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$.

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur Hari	Ukuran cm	Berat Kg	Tekanan Hancur Kg	Tegangan Hancur Kg/cm ²	Keterangan Kode Benda Uji
21	09-May-14	06-Jun-14	28	5 x 5	0.155	1620	64.8	X3
22	12-May-14	09-Jun-14	28	5 x 5	14.000	500	20.0	Y1
23	12-May-14	09-Jun-14	28	5 x 5	0.140	540	21.6	Y2
24	12-May-14	09-Jun-14	28	5 x 5	0.140	490	19.6	Y3
25	12-May-14	09-Jun-14	28	5 x 5	0.125	380	15.2	Z1
26	12-May-14	09-Jun-14	28	5 x 5	0.125	360	14.4	Z2
27	12-May-14	09-Jun-14	28	5 x 5	0.125	320	12.8	Z3

Catatan :

1. Pengetesan menurut SNI 03 - 1974 - 1990
2. Benda yang diuji berbentuk kubus mortar $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$
3. Hasil uji tersebut diatas berdasarkan contoh yang diterima





JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, Telp. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.101/TAKI/V/2014

Terima dari : **Sdr. Kumang Rita Yani**
Mhs. T.Lingkungan FTSP-ITS /
Surabaya
Jenis contoh : Air
U.analisa : Cu
Diterima tgl. : 22 Mei 2014

Kode contoh	Hasil analisa	Methode analisa
	Cu ,mg/l	
Bentonite	0,02	Cu (AAS)
Semen	0,07	

Keterangan :

* Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima.



Prof. Dr. Ir. Achmad Koesvadi, DEA
Ketua Tim Pengabdian TAKI



JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI
KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.76/TAKI/V/2014

Terima dari : **Sdr. Kgmang Rita Yani**
Mhs. T.Lingkungan FTSP-ITS
Surabaya
Jenis contoh : Air
U.analisa : Cu
Diterima tgl. : 20 Mei 2014

Kode contoh	Hasil analisa	Kode contoh	Hasil analisa
	Cu ,mg/l		Cu ,mg/l
E-1	1,28	C-1	0,15
A-2	0,22	C-2	0,12
A-3	0,22	C-3	0,10
B-1	0,14	D-1	0,35
B-2	0,12	D-2	0,42
B-3	0,10	D-3	0,37

Keterangan :

- ♦ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima.





JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.39/LTAKI/VI/2014

Terima dari : **Sdr. Komang Rita Yani**
Mhs. T.Lingkungan FTSP-ITS
Surabaya
Jenis contoh : Air
U.analisa : Cu
Diterima tgl. : 10 Juni 2014

Kode contoh	Hasil analisa	Methode analisa
	Cu ,mg/l	
V	0,17	AAS
W	0,19	
X	0,18	
Y	0,15	

Keterangan: Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



Prof. Dr. Ir. Achmad Roesvadi, DEA
Ket. Tim AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI



BERITA ACARA
 SEMINAR PROPOSAL TUGAS AKHIR
 Semester Genap 2013/2014

Pada

Hari, tanggal : Senin, 3 Maret 2014
 Jam : 08.00 - 09.30
 Tempat : Lab. Komputer TL

telah dilaksanakan Seminar Proposal Tugas Akhir :

Tema Tugas Akhir : Solidifikasi Kadmium dan Timbal Dengan Campuran Semen Portlan, Pozzolan Alam, dan Pozzolan Sintetis.

Nama Mahasiswa : Komang Ritayani
 Nrp. : 3310100054
 Program Studi : S-1 Teknik Lingkungan
 Bidang Tugas Akhir : Perencanaan / Penelitian / Studi-Pustaka*

Tanda Tangan : *[Signature]*

Berdasarkan hasil evaluasi pengujian, dinyatakan bahwa proposal tersebut

1. diterima
2. ditolak

Saran-saran perbaikan :

[Handwritten notes:]
 - proses curing ditambahkan di teori -
 - tabel 3.1 diperjelas, agar dibuat prosedur S/S dg rinci
 - pembuatan limbah buatan bg.m ? mohon diperjelas -

1. Penelitian terdahulu dimasukkan pada bab 3.4 dasar metode penelitian
2. Metode penelitian dilengkapin
3. Tujuan penelitian disesuaikan

[Handwritten notes:]
 o. Jelaskan komposisi semen ; bentuk berdasarkan hasil lab yang
 o. Curing ditambahkan ; dan e-plas menting : NEINGAS.

Pembimbing,

[Signature]

Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

Tim Penguji

- | | Nama | (Tanda Tangan) |
|----|----------------------|--------------------|
| 1. | Siti Asnahan, ST, MT | <i>[Signature]</i> |
| 2. | Nelly H., ST, MEng | <i>[Signature]</i> |

* Coret yang tidak perlu

BERITA ACARA
SEMINAR TUGAS AKHIR
Periode Wisuda September 2014

Pada

Hari, tanggal : Senin, 16 Juni 2014
Jam : 15.00 - 16.30
Tempat : Ruang Sidang TL

telah dilaksanakan Seminar Tugas Akhir :

Judul : Stabilisasi Limbah Mengandung Cu Dengan Campuran Semen Portland dan Bentonit.

Nama Mahasiswa : Komang Ritayani
Nrp. : 3310100054
Program Studi : S-1 Teknik Lingkungan
Bidang Tugas Akhir : Perencanaan / Penelitian / Studi Pustaka *

Tanda Tangan : 

Berdasarkan hasil evaluasi penguji, dinyatakan bahwa mahasiswa tersebut :

- 1) dapat mengikuti ujian Tugas Akhir
2. tidak dapat mengikuti ujian Tugas Akhir

Saran-saran perbaikan :

- a. Penulisan... diperbaiki... tabel hasil triplo digabung dengan rata-rata, gambar & tabel mata k. ditampilkan salah satu
- b. Lempir dibahar, dimasukkan pada metode penelitian
- c. Pembahasan diperinci, jika sesuai, sesuai buku mata
- d. Tujuan dan kesimpulan diperbaiki

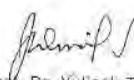
- a. Redaksi awal mohon di cek sesuai di buku
- o lampiran penelitian hasil analisa
- o cek kembali Jawa ttikan tur balyan di teori
- c. Diagram kedua kub. ; analisis stabilitas

Tim Penguji :

Nama (Tanda Tangan)

1. Susi Astina W., ST, MT. 
2. Welly H., ST, MSc. 

Pembimbing,


Prof. Dr. Yulnah Trihadiningrum,
MAoSc

Keterangan:

* : Corel yang tidak perlu

BERITA ACARA
UJIAN/SIDANG TUGAS AKHIR/TESIS*
Periode Wisuda September 2014

Pada

Hari, Tanggal : Kamis, 17 Juli 2014
Jam : 10.00 - 12.00
Tempat : TL 103

telah dilaksanakan Ujian Tugas Akhir :

Judul : Stabilisasi Limbah Mengandung Cu Dengan Campuran Semen Portlan dan Bentonit.

Nama Mahasiswa : Komang Ritayani
Nrp. : 3310100054
Program Studi : S-1 Teknik Lingkungan
Bidang Tugas Akhir : Perencanaan / Penelitian / Studi Pustaka *

Tanda Tangan : 

Berdasarkan hasil evaluasi pengujian, mahasiswa tersebut dinyatakan:

LULUS / TIDAK LULUS*

Saran-saran perbaikan:

4/8/19
Coret

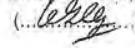
- Pembahasan campuran sampel → km makro/mikro
- Kesimpulan

• perbaiki tambahkan Hg Cu di limbah bg.m - 

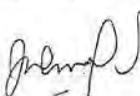
a. Luas bah yang ale diteri penjelasan dimana susukam. Susukam
b. Analisis regresi diperbaiki

Tim Penguji :

Nama (Tanda Tangan)

- Dr. Ir. Sillan S.P., M.T. 
- Suzi Agustini, ST, MT 
- Nelly H., ST, ISC 

Pembimbing,



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc

Keterangan:

* Coret yang tidak perlu

LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

NAMA PEMBIMBING	Prof. Dr. Yulinah Tribadiningrum, MAppSc
NAMA MAHASISWA	Komang Ritayani
NRP	3310100054
JUDUL TUGAS AKHIR	Stabilisasi Limbah Mengandung Cu dengan Campuran Semen Portland dan Bentonit
TANGGAL PROPOSAL	

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF PEMBIMBING
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	11-02-2014	Bab 1 Pendahuluan	Revisi Pendahuluan dan daftar pustaka	Jenis
2	15-02-2014	Bab 2 Tinjauan Pustaka Bab 3 Metode Penelitian	Revisi Tinjauan Pustaka dan Metode Penelitian	Jenis
3	25-02-2014	Bab 1 Pendahuluan Bab 2 Tinjauan Pustaka Bab 3 Metode Penelitian	Revisi proposal	Jenis
4	21-03-2014	Proposal sudah direvisi	Penelitian Pendahuluan (menghitung berat jenis mortar)	Jenis
5	8-04-2014	Penelitian Pendahuluan (Pembuatan Mortar)		Jenis
6	21-05-2014	Pembahasan		Jenis