

**PERUBAHAN DAYA DUKUNG AKIBAT VARIASI KADAR SEMEN  
PADA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE DEEP  
CEMENT MIXING (DCM)**

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SOLAPIDA GLENESYA SIRAIT**

**NIM. 175060101111013**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2021**







LEMBAR PENGESAHAN  
**PERUBAHAN DAYA DUKUNG AKIBAT VARIASI KADAR SEMEN  
PADA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE DEEP  
CEMENT MIXING (DCM)**

**SKRIPSI**

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SOLAPIDA GLENESYA SIRAIT**

**NIM. 175060101111013**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
Pada tanggal 6 September 2021

**Dosen Pembimbing I**

**Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT**

NIP. 19680707 199403 2 002

**Dosen Pembimbing II**

**Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D**

NIP. 19761023 200604 1 002

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi SI**



**Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)**

NIP. 19810220 200604 1 002













## HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI :

PERUBAHAN DAYA DUKUNG AKIBAT VARIASI KADAR SEMEN  
PADA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE DEEP  
CEMENT MIXING (DCM)

Nama Mahasiswa : Solapida Glenesya Sirait

NIM : 175060101111013

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Geoteknik

## TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT

Dosen Penguji II : Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D

Dosen Penguji III : Ir. Harimurti, MT

Tanggal Ujian : 30 Agustus 2021

SK Penguji : 1533/UN 10.F07/KP/2021







## LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

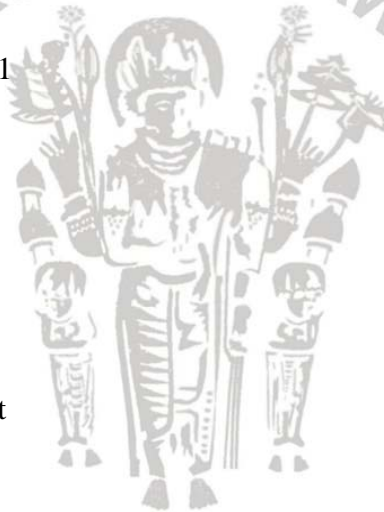
Malang, 7 Oktober 2021

Mahasiswa,

Solapida Glenesya Sirait

175060101111013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA









## RINGKASAN

**Solapida Glenesya Sirait**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2021. *Perubahan Daya Dukung Akibat Variasi Kadar Semen Pada Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Deep Cement Mixing (DCM)*, Dosen Pembimbing Yulvi Zaika dan Eko Andi Suryo.

Tanah merupakan media utama yang digunakan dalam pembangunan suatu konstruksi bangunan gedung maupun konstruksi jalan. Dalam dunia konstruksi, tanah lunak merupakan tanah yang kurang menguntungkan dikarenakan memiliki daya dukung yang rendah. Ketika daya dukung pada suatu tanah tergolong rendah maka tanah tersebut tidak kuat menahan beban bangunan atau jalan yang berada di atasnya dan akan menyebabkan keruntuhan. Maka dari itu, diperlukan perkuatan atau stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung tanah.

Penelitian ini difokuskan kepada bagaimana pengaruh variasi kadar semen terhadap peningkatan daya dukung tanah lunak dengan menggunakan metode stabilisasi *Deep Cement Mixing*. Stabilisasi ini dilakukan pada 2 kolom perbaikan berdiameter 15,2 cm dan tinggi 30 cm.

Dua kolom perbaikan disusun di dalam *box* berukuran 50 x 50 cm dengan jarak antar pusat kolom perbaikan 25 cm. Kemudian *box* diisi dengan tanah asli dengan kadar air 95% hingga ketinggian 30 cm. Pengujian dilaksanakan saat usia sampel perbaikan 7 hari. Sebelum dilakukan pengujian, sampel perbaikan dan tanah asli dilapisi dengan kain pori lalu diberi pelat di atasnya. Pelat berfungsi sebagai penyalur beban dari pompa hidraulik. Pengujian yang dilaksanakan adalah Uji Pembebanan hingga sampel mengalami keruntuhan. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan variasi kadar semen 7,5%, 10%, 15%, dan 20%.

Hasil analisa dan pengolahan data dari stabilisasi *Deep Cement Mixing* dengan variasi kadar semen mampu meningkatkan daya dukung tanah lunak. Berdasarkan empat variasi kadar semen, daya dukung tertinggi didapat pada variasi kadar semen 20% sebesar 0,72 kg/cm<sup>2</sup> dan untuk daya dukung terendah didapat pada variasi kadar semen 7,5% sebesar 0,2 kg/cm<sup>2</sup>. Maka, berdasarkan seluruh hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa peningkatan daya dukung berbanding lurus dengan peningkatan kadar semen. Analisa BCI (*Bearing Capacity Improvement*) juga



dilakukan dengan mendapat hasil BCI terbesar pada variasi kadar semen 20 % sebesar 260%. Dari seluruh hasil analisa dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa besar nilai BCI berbanding lurus dengan peningkatan kadar semen.

Kata kunci : tanah lunak, stabilisasi tanah, *deep cement mixing*, semen, daya dukung tanah, *bearing capacity improvement*.



## SUMMARY

**Solapida Glenesya Sirait**, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2021. Performance of the Bearing Capacity Due to Variations in Cement Content of Improved Soft Soil by Deep Cement Mixing (DCM) Method, Academic Supervisor : Yulvi Zaika and Eko Andi Suryo.*

*Soil is the leading media used in the construction of building construction and road construction. In building, soft soil is less good soil because it has a low bearing capacity.*

*When the bearing capacity on soil is relatively low, it makes the soil not strong enough to withstand the burden of buildings or roads and cause a collapse. Therefore, soil stabilization is needed to increase soil bearing capacity.*

*This research focuses on the effect of variations in cement content to increase the bearing capacity of soft soil stabilized using the Deep Cement Mixing method. This stabilization uses two columns 15.2 cm in diameter and 30 cm high.*

*Two stabilized soil columns were arranged in a box measuring 50 x 50 cm with a distance between the center of the repair column of 25 cm. Then the box is filled with unstabilized soil (water content 95%) up to a height of 30 cm. Testing performed at the age of the sample 7 days. Before Testing, the sample and the unstabilized soil are coated with a pore cloth and then given a plate. The plate serves as a loaded feeder of the hydraulic pump.*

*Load Test was performed until the sample collapses. The test was performed four times with different cement content (7.5%, 10%, 15%, and 20%).*

*The results of data analysis and test for stabilized soft soil using the Deep Cement Mixing method with the variation of cement content improve the bearing capacity of soft soil. Based on four variations of cement content, the highest bearing capacity is obtained at a variation of cement content of 20% of 0.72 kg / cm<sup>2</sup>, and for the lowest bearing capacity obtained at a variation of cement content of 7.5% of 0.2 kg / cm<sup>2</sup>. Therefore, based on all test results, it can be concluded that the increase in bearing capacity is directly proportional to the increase in cement levels. BCI (Bearing Capacity Improvement) analysis was also conducted by obtaining the largest BCI result in a variation of 20% cement content of 260%. From all the results of analysis and data processing, it can be concluded that the large value of BCI is directly proportional to the increase in cement levels.*

**Keywords** : *soft soil, soil stabilization, deep cement mixing, cement, bearing capacity, bearing capacity improvement.*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi “**Perubahan Daya Dukung Akibat**

**Variasi Kadar Semen Pada Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Deep Cement Mixing (DCM)**”.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Selama proses pengerjaannya tentu tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Pandapotan Sirait dan Ibu Glory Hotmaida Saragih selaku orang tua yang selalu mendukung dan memberi semangat dalam mengerjakan skripsi.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST, M.Eng (Prac) selaku Kaprodi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing dan mengajarkan serta mengarahkan kami kepada berbagai hal yang berkaitan dengan skripsi kami.
5. Bapak Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, memberikan masukan dan saran selama proses penyusunan skripsi.
6. Teman-teman kelompok skripsi DCM (Hira Asyifa, M. Ainur Rofik, M. Hasbianto, dan Adiwena B.S) yang sudah bersama-sama melaksanakan penelitian serta memberi dukungan.
7. Bapak Ketut Sugiharto, Mbak Indah, Mbak Azmi, dan segenap teman-teman asisten Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi yang telah banyak membantu penulis.
8. Teman-teman kosan *underground* (Debbye, Kak Monika, Kak Maret, Kak Oni, Kak Beka, Ace, dan Tata) selaku sahabat penulis di Malang yang telah memberikan semangat dan dukungan selama pelaksanaan skripsi ini.
9. Teman-teman saudara seiman (Santi, Jonatan, Soni, Ruth, Neta, Rosti) selaku sahabat penulis di Medan yang telah memberikan semangat selama penyusunan skripsi ini.

10. Teman-teman Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Angkatan 2017 yang tidak bisa disebutkan secara satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun penulis harapkan untuk digunakan penelitian lanjutan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di dunia teknik sipil.

Malang, 22 Juli 2021

Penulis







**DAFTAR ISI**

RINGKASAN.....	1
SUMMARY.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tanah.....	5
2.1.1 Klasifikasi Tanah.....	5
2.2 Tanah Lunak.....	9
2.2.1 Sifat-Sifat Tanah Lunak.....	10
2.3 Semen.....	10
2.3.1 Jenis Semen.....	11
2.3.2 Faktor Air Semen.....	11
2.4 Stabilitas Tanah.....	12
2.4.1 Deep Soil Mixing.....	12
2.4.2 Deep Cement Mixing.....	13
2.4.2.1 Mekanisme Reaksi Pada Stabilisasi Tanah Dengan Semen.....	14
2.5 Uji Pembebanan.....	14
2.6 Daya Dukung.....	15



BAB 3	18
METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Tahap Persiapan	18
3.3 Pengumpulan Data	18
3.3.1 Rancangan Penelitian	18
3.3.2 Uji Pembebanan	19
3.4 Diagram Alir Penelitian	22
BAB 4	24
HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Identifikasi Tanah Berdasarkan Pengujian Sifat Fisik Tanah	24
4.2 Analisis Daya Dukung Pada Tanah Asli	25
4.3 Analisis Daya Dukung Pada Tanah Perbaikan	26
4.3.1 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 7,5%	27
4.3.2 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 10%	29
4.3.3 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 15%	31
4.3.4 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 20%	34
4.3.5 Analisis Daya Dukung Tanah Gabungan	37
4.4 Analisis Bearing Capacity Improvement (BCI)	41
BAB 5	44
PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
Daftar Pustaka	47
LAMPIRAN-LAMPIRAN	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi Unified (USCS).....6

Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi AASHTO.....8

Tabel 2. 3 Pemilihan Bahan Tambah Untuk Stabilisasi Tanah..... 12

Tabel 4. 1 Karakteristik Tanah Asli.....21

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 7,5% .....24

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 10% .....27

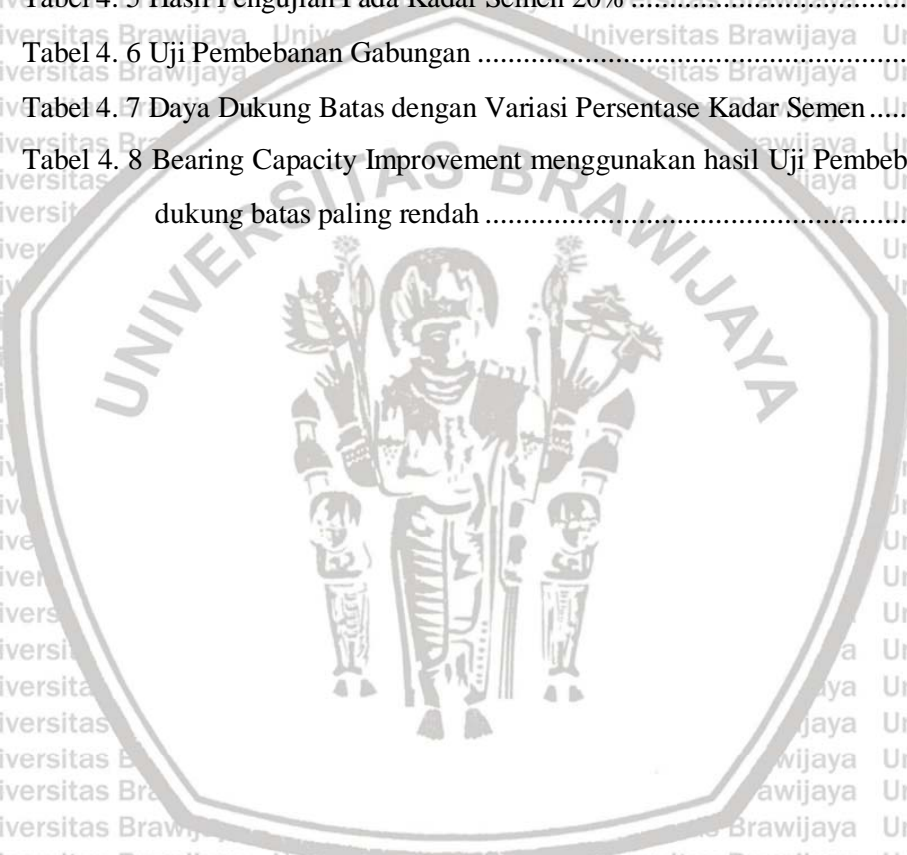
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 15% .....29

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 20% .....31

Tabel 4. 6 Uji Pembebanan Gabungan .....37

Tabel 4. 7 Daya Dukung Batas dengan Variasi Persentase Kadar Semen.....41

Tabel 4. 8 Bearing Capacity Improvement menggunakan hasil Uji Pembebanan terhadap daya dukung batas paling rendah .....42





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konfigurasi Kolom Deep Soil Mixing.....13

Gambar 2. 2 Hubungan antara Beban per unit luas dan Penurunan .....15

Gambar 3. 1 Konfigurasi Kolom Perbaikan.....19

Gambar 3. 2 Kolom Perbaikan.....19

Gambar 3. 3 Skema Uji Pembebanan.....20

Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian.....22

Gambar 4. 1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS .....25

Gambar 4. 2 Benda Uji Sebelum di Uji Pembebanan.....26

Gambar 4. 3 Benda Uji Setelah di Uji Pembebanan.....26

Gambar 4. 4 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 7,5% .....27

Gambar 4. 5 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 7,5% .....28

Gambar 4. 6 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 7,5% .....28

Gambar 4. 7 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 10% .....29

Gambar 4. 8 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 10% .....30

Gambar 4. 9 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 10% .....30

Gambar 4. 10 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 15% .....32

Gambar 4. 11 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 15% .....32

Gambar 4. 12 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 15%.....33

Gambar 4. 13 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 20% .....35

Gambar 4. 14 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 20% .....35

Gambar 4. 15 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 20%.....36

Gambar 4. 16 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Gabungan .....39

Gambar 4. 17 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Gabungan .....40

Gambar 4. 18 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Gabungan .....40

Gambar 4. 19 Hubungan Persentase Kadar Semen dan Tegangan Maksimum .....41

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Hasil Uji Pembebanan.....	46
Lampiran 2 Hasil Uji Kadar Air.....	56
Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian.....	58





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan media utama yang digunakan dalam pembangunan suatu konstruksi bangunan gedung maupun konstruksi jalan. Tanah memiliki kondisi, sifat, jenis dan kepadatan yang berbeda-beda di setiap lokasi maupun daerah. Ketika kondisi tanah tersebut memiliki kualitas yang baik maka konstruksi tersebut dapat berdiri dengan kokoh. Tanah dengan kualitas yang baik merupakan tanah yang daya dukung tinggi dan sifat tanah yang baik. Akan tetapi, tidak semua tanah memiliki sifat yang baik, seperti pada tanah yang akan digunakan dalam penelitian ini. Tanah yang akan digunakan berasal dari kabupaten Pasuruan. Tanah tersebut bersifat lunak, memiliki daya dukung yang sangat rendah serta penurunan yang relative tinggi sehingga diperlukan stabilisasi tanah untuk dapat meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Stabilisasi tanah merupakan salah satu alternative yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah tersebut agar menjadi lebih baik dan meningkatkan kualitas tanah. Dalam pelaksanaannya, stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan mencampurkan bahan tambahan, seperti semen dan kapur. Penelitian ini akan menggunakan semen sebagai bahan tambahan untuk menstabilkan tanah lunak tersebut. Pemilihan semen dimaksudkan sebagai bahan penstabil karena campuran semen akan menurunkan plastisitas tanah dan akan meningkatkan daya dukung tanah.

Perbaikan tanah dengan menggunakan campuran bahan semen atau biasa disebut *Deep Cement Mixing* (DCM). Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium dengan menggunakan *box* uji berukuran 50 x 50 x 50 cm dengan skema perbaikan berpola *single* menggunakan variasi kadar semen (7,5%, 10%, 15%, 20%). Penelitian ini ditujukan untuk menambah informasi serta pertimbangan dalam melakukan perbaikan tanah lunak untuk pembangunan konstruksi di kabupaten Pasuruan. Sebelumnya penelitian mengenai stabilisasi tanah lunak telah banyak dilakukan seperti penelitian Zaika *et. al* (2019) mengenai *The Effect of Cement to Develop Strength of Grati Soft Soil*. Berdasarkan penelitian tersebut dijelaskan bahwa kandungan air tanah pada tanah lunak akan memberikan pengaruh terhadap kekuatan tanah, dalam hal ini tanah tersebut merupakan jenis tanah lanau berlempung. Penggunaan semen pada penelitian tersebut meningkatkan sifat tanah secara fisik dan mekanik secara signifikan.



Andriani (2012) mengenai Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah. Berdasarkan penelitian tersebut dijelaskan bahwa penambahan zat aditif (semen) akan mampu memperbaiki sifat-sifat tanah dan meningkatkan daya dukung pada tanah.

Ghosh *et. al* (2015) mengenai *Estimation of Unconfined Compressive Strength of Cement Treated Soft Indian Clay*. Berdasarkan penelitian tersebut dijelaskan bahwa kekuatan tanah liat dapat ditingkatkan dengan mencampurkan semen dan tanah, dimana kekuatan akan mengalami peningkatan ketika kadar semen dalam campuran tanah tersebut meningkat dan akan mengalami penurunan ketika kandungan kadar air dalam tanah meningkat. Penelitian diharapkan dapat menentukan presentase yang lebih efektif dalam penambahan semen terhadap perubahan sifat fisis pada tanah.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan-permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana perubahan daya dukung yang dialami oleh tanah yang diteliti menggunakan metode DCM dengan adanya variasi kadar semen (7,5%, 10%, 15%, 20%).
2. Berapa nilai BCI (*Bearing Capacity Improvement*) yang dialami oleh tanah yang diteliti menggunakan metode DCM dengan adanya variasi kadar semen (7,5%, 10%, 15%, 20%).

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah yang ada maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui perubahan daya dukung pada tanah akibat adanya variasi kadar semen (7,5%, 10%, 15%, 20%).
2. Mengetahui nilai BCI (*Bearing Capacity Improvement*) pada tanah akibat adanya variasi kadar semen (7,5%, 10%, 15%, 20%).

#### 1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Hasil yang akan diperoleh dapat dijadikan sebagai informasi serta masukan untuk menjadi bahan pertimbangan dalam melakukan perbaikan tanah lunak di daerah Jalan Tol Pasuruan-Probolinggo.
2. Bagi kalangan akademisi, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai informasi untuk melakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai perbaikan pada tanah lunak dengan menggunakan metode *Deep Cement Mixing* (DCM).

#### 1.5 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari tanah *disturbed* di Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo, Kabupaten Pasuruan.
2. Semen yang dipakai sebagai bahan campuran merupakan semen umum yang terdapat di berbagai toko bangunan.
3. Campuran semen yang digunakan adalah sebesar 7,5%, 10%, 15%, 20% terhadap berat kering.
4. Waktu yang diperlukan untuk *curing* sebelum dilakukannya pengujian adalah 7 hari.
5. Pemodelan dilakukan di dalam *box* uji berukuran 50 x 50 x 50 cm dengan tinggi sampel tanah 30 cm.
6. Tanah lunak yang di masukkan ke dalam box uji memiliki volume sebesar 50 x 50 x 30 cm.
7. Tidak membahas mengenai reaksi kimia dan analisis ekonomi.
8. Jarak antar kolom 25 cm dengan diameter dengan diameter kolom sebesar 6 inci.
9. Pada saat uji pembebanan digunakan penambahan beban dengan pompa hidrolis. Pembebanan dihentikan saat penurunan terus mengalami penambahan beban yang sama.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur, dan warna hasil pelapukan (Dokuchaev, 1870). Menurut Wesley (1973) berdasarkan sudut pandang teknis, tanah dapat digolongkan kedalam macam pokok berikut:

1. Batuan kerikil (*Gravel*)
2. Pasir (*Sand*)
3. Lanau (*Silt*)
4. Lempung organik (*Clay*)

##### 2.1.1 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi dikelompokkan menjadi dua sistem dengan memperhitungkan ukuran butiran dan batas-batas *Atteberg*. Berikut merupakan sistem-sistem tersebut adalah:

- a. Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Menurut USCS, tanah dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama:

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) merupakan tanah bila 50% atau lebih tertahan pada saringan No. 200. Tanah ini terbagi menjadi dua yaitu kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) merupakan tanah bila 50% atau lebih lolos pada saringan No. 200. Tanah butir halus terdiri dari dua yaitu lanau dengan simbol M (*silt*), dan lempung dengan simbol C (*clay*).

Simbol lain yang dipakai untuk klasifikasi yaitu W untuk gradasi baik, P untuk gradasi buruk, L untuk plastisitas rendah, serta H untuk plastisitas tinggi.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam klasifikasi USCS adalah sebagai berikut :

1. Presentase lolos saringan No. 200 dan lolos saringan No. 4
2. Koefisien keseragaman ( $C_u$ ) dan koefisien gradasi ( $C_c$ )
3. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI)



Tabel 2.1

## Sistem Klasifikasi Unified (USCS)

Divisi Utama		Simbol kelompok	Nama Umum
Tanah Berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan no. 200	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan no.4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	CW Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			CP Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran	CM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			CC Kerikil berlempung campuran kerikil-pasir-lempung.
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan no.4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
		Pasir dengan butiran	SM Pasir berlanau, campuran pasir lanau.
			SC Pasir berlempung, campuran, campuran pasir-lempung.
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan no. 200	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, empung "kurus"(lean clays)	
		OL Lanau organic dan lempung berlanau organic dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastic.	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH Lempung organic dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi.	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat(gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi.

Sumber : *Mekanika Tanah I, Das, 1995*

Tabel 2.1

## Sistem Klasifikasi Unified (USCS) lanjutan

Kriteria Klasifikasi		
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus < 5% lolos ayakan no. 200 GW, GP, SW, SP > 12% lolos ayakan no. 200 GM, GC, SM, SC	$C_w = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $C_c = (D_{20})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua criteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan symbol ganda.
	Batas-batas Atterberg diatas garis A dengan $PI > 7$	
	$C_w = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan symbol ganda.
	Batas-batas Atterberg diatas garis A dengan $PI > 7$	
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM designation D-2488		

Sumber : Mekanika Tanah I, Das, 1995

b. Sistem Klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)

Klasifikasi ini digunakan untuk menentukan kualitas tanah pada pekerjaan jalan (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Menurut AASHTO, tanah diklasifikasikan menjadi 7



kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7, dimana untuk kelompok A-1, A-2, dan A-3 merupakan tanah berbutir, sedangkan A-4, A-5, A-6, A-7 merupakan tanah lanau dan lempung.

Tabel 2.2

*Sistem Klasifikasi AASHTO*

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir 35% atau kurang lolos saringan No. 200 (0.075 mm)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa Saringan, % lolos							
No. 10 (2.00 mm)	Maks 50	---	---	---	---	---	---
No. 40 (0.425 mm)	Maks 30	Maks 50	Min 51	---	---	---	---
No. 200 (0.075 mm)	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 (0.425 mm)							
Batas Cair	---		---	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas		Maks 6	N.P.	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material paling dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian general sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Sumber : AASTHO M 145

Tabel 2.2

Sistem Klasifikasi AASHTO (lanjutan)

Klasifikasi Umum	Tanah lanau - lempung >35% lolos saringan No. 200 (0.075 mm)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok				A-7-5 A-7-6
Analisa Saringan, % lolos				
No. 10 (2.00 mm)	---	---	---	---
No. 40 (0.425 mm)	---	---	---	---
No. 200 (0.075 mm)	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 (0.425 mm)				
Batas Cair	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11 <sup>a</sup>
Tipe material paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian general sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : AASTHO M 145

<sup>a</sup>Indeks plastisitas A-7-5  $\leq$  LL – 30. Indeks plastisitas A-7-6  $\geq$  LL – 30.

## 2.2 Tanah Lunak

Dalam Panduan Geoteknik I mengenai Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak (2002), istilah “tanah lunak” berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki dengan teliti maka akan menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah memiliki kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Sedangkan dalam Pedoman Konstruksi dan Bangunan (2005) beserta dua peneliti yakni: Soetjiono (2008) dan Pasaribu (2008) tanah lunak merupakan tanah yang bersifat lemah, secara alamiah dibentuk melalui proses pengendapan sebagai lapisan aluvial dan biasanya terdapat di daratan aluvial seperti rawa dan danau; dan ditinjau secara mekanisme kejadian merupakan tanah deposit yang sangat kompresif dan memiliki kuat geser rendah, yang mana kuat geser *undrained* lapangan kurang dari 40 kPa dan kompresibilitas tinggi.



Tanah lunak memiliki nilai daya dukung rendah dan penurunan yang tinggi, maka untuk dijadikan sebagai pondasi bangunan maupun jalan diperlukan stabilisasi atau perbaikan pada tanah lunak tersebut hingga layak dan memenuhi persyaratan yang sesuai untuk lapisan pondasi atau tanah dasar dalam pembuatan jalan raya. Umumnya tanah lunak terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) dan memiliki nilai SPT < dari 4 ( $N\text{-value} < 4$ ).

### 2.2.1 Sifat-Sifat Tanah Lunak

Menurut Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa (2000); Yelvi dan Adibroto (2007), tanah lunak memiliki beberapa sifat yaitu:

1. Memiliki kuat geser rendah
2. Kemampuan besar
3. Permeabilitas tinggi
4. Memiliki kompresibilitas tinggi yang disebabkan karena tanah lunak memiliki angka pori yang tinggi
5. Memiliki kadar air tinggi yang menyebabkan daya dukung rendah serta penurunan yang besar pada tanah tersebut selama dan setelah konstruksi dibangun

### 2.3 Semen

Semen merupakan suatu material yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang berperan sebagai perekat untuk mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi satu kesatuan yang kompak. Dalam pengelompokannya, semen terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis merupakan bahan pengikat yang dapat mengeras ketika bereaksi dengan air. Misalnya seperti semen *Portland*, semen putih dan lain-lain. Sedangkan semen non-hidrolis merupakan semen yang tidak dapat stabil ketika berada dalam air.

Semen *Portland* merupakan salah satu semen hidrolis yang dihasilkan dengan mencampurkan baru kapur yang memiliki kandungan kalis ( $\text{CaO}$ ) dan lempung yang memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ), oksida alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Ukuran partikel semen tersebut berkisar 0-100 mikron dengan diameter rata-rata 20 mikron. Penggunaan semen *portland* dapat menghasilkan stabilitas tanah yang lebih tinggi melalui penggunaan semen yang lebih halus (Hartosukma, 2005).



### 2.3.1 Jenis Semen

Pada umumnya, jenis semen yang biasa digunakan untuk konstruksi adalah semen Portland. Menurut ASTM (*American Society for Testing and Materials*) semen Portland mempunyai beberapa jenis, diantaranya:

#### 1. Semen Portland Tipe I

Merupakan semen multifungsi yang digunakan untuk pekerjaan konstruksi biasa (umum untuk digunakan). Semen tipe ini dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung bertingkat, perkerasan jalan, dll.

#### 2. Semen Portland Tipe II

Digunakan untuk bangunan dari beton massa yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang seperti pada bangunan dipinggir laut, saluran irigasi dan landasan jembatan.

#### 3. Semen Portland Tipe III

Merupakan semen yang digunakan pada bangunan yang memerlukan kekuatan awal tinggi pada fase permulaan setelah terjadinya pengikatan. Misalnya pada bangunan-bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat.

#### 4. Semen Portland Tipe IV

Merupakan semen dengan panas hidrasi rendah. Biasanya digunakan untuk bangunan yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas yang harus diminimalkan.

#### 5. Semen Portland Tipe V

Umumnya digunakan pada konstruksi bangunan dengan tanah atau air yang mengandung sulfat melebihi 0,20%. Semen ini cocok dipakai untuk instalasi pengolahan limbah, jembatan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir.

### 2.3.2 Faktor Air Semen

Menurut SNI 03-2834-2000, faktor air semen (FAS) merupakan angka perbandingan antara berat air dengan berat semen dalam campuran beton. Secara umum dapat diketahui bahwa semakin tingginya nilai FAS, maka mutu kekuatan beton semakin rendah. Namun lain halnya dengan semakin rendahnya nilai FAS, maka kekuatan beton tidak selalu semakin tinggi. Hal tersebut dikarenakan ada batas-batas dalam hal ini. Ketika nilai FAS rendah akan menimbulkan kesulitan dalam pengerjaannya, yaitu pada saat pelaksanaan pemadatan yang mengakibatkan mutu beton menurun. Menurut Tjokrodimulyo (2007) umumnya nilai minimum FAS adalah 0,4 dan maksimum 0,65.



## 2.4 Stabilitas Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser (Hardiyatmo, 2002). Kestabilan tanah diukur dari perubahan karakteristik tanah yang meliputi daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dalam dikerjakan, potensi pengembangan, dan kepekaan terhadap perubahan kadar air (Hardiyatmo, 2010). Metode stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

### a. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi tanah secara mekanis adalah penambahan kekuatan maupun daya dukung tanah dengan cara mengatur gradasi tanah. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pemadatan tanah.

### b. Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi tanah secara kimiawi merupakan penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat tanah yang kurang baik. Bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai penstabil antara lain semen *portland*, kapur, abu batu bara (*fly ash*), aspal dan lain-lain. Biasanya dilakukan pada tanah yang berbutir halus. Dalam memilih jenis bahan tambahan untuk stabilisasi tanah dilakukan berdasarkan ukuran butir tanah. Tabel 2.3 menunjukkan beberapa jenis bahan tambahan yang digunakan sebagai bahan penstabil pada berbagai jenis tanah.

Tabel 2.3

Pemilihan bahan tambah untuk stabilisasi tanah

Tipe tanah	Lempung halus	Lempung kasar	Lanau halus	Lanau kasar	Pasir halus	Pasir kasar	
Ukuran butiran tanah (mm)	<0,0006	0,0006 - 0,002	0,002 - 0,01	0,01 - 0,06	0,06 - 0,40	0,4 - 2,0	
Stabilisasi volume tanah	Sangat buruk	Sedang	Sedang	Baik	Sangat baik	Sangat baik	
Tipe stabilisasi	Kapur	Efisiensi maksimum					
	Semen	Efektif, tapi pengendalian mutu sulit				Efisiensi maksimum	
	Polimerik - organik				Efisiensi maksimum		
	Mekanis		Efektif, tapi pengendalian mutu sulit				
	Termal	Efisiensi maksimum					
		Efisiensi maksimum		Efektif, tapi pengendalian mutu sulit			

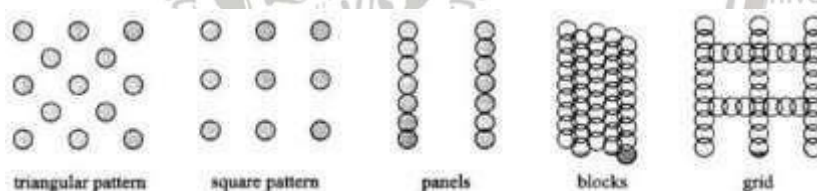
Sumber: Hardiyatmo, 2010

### 2.4.1 *Deep Soil Mixing*



Metode Deep Soil Mixing (DSM) merupakan metode stabilisasi tanah secara kimiawi. Bahan aditif yang dapat digunakan sebagai pengikat antara lain semen, kapur, abu sekam, dan/atau campuran bahan aditif lain. Salah satu penelitian yang menggunakan semen sebagai bahan stabilisator adalah penelitian yang dilakukan oleh Zaika *et. al* (2019) dimana penggunaan semen tersebut dapat meningkatkan sifat fisik pada tanah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo (2018) mengenai Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu dan Kapur Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus : Tanah Bojonegoro) diketahui bahwa dengan melakukan penambahan bahan campuran berupa abu ampas tebu dan kapur berpengaruh terhadap karakteristik tanah lempung ekspansif di Kec. Ngasem Bojonegoro. Bahan-bahan campur tersebut dapat memperkecil kemampuan tanah lempung ekspansif untuk memampat, sehingga penurunan (*settlement*) dari tanah tersebut juga semakin kecil.

Pelaksanaan *Deep Soil Mixing* dapat diterapkan beberapa konfigurasi, diantaranya pola *single coloumn*, *block column*, *panels* dan *grids types* seperti pada Gambar 2.1. Untuk mengurai penurunan dibawah timbunan, biasanya digunakan konfigurasi *single column* dengan pola persegi. Sedangkan untuk bangunan atas berdimensi besar seperti lereng, dam, dinding penahan tanah biasanya digunakan konfigurasi *panels*, *grids types*, maupun *blocks*.



Gambar 2.1 Konfigurasi Kolom *Deep Soil Mixing*

#### 2.4.2 *Deep Cement Mixing*

Metode *Deep Cement Mixing* (DCM) merupakan metode stabilisasi secara langsung (in-situ), dimana tanah tersebut dicampur dengan bahan aditif yang memiliki peran sebagai pengikat. Bahan aditif yang dapat digunakan sebagai pengikat adalah semen. Menurut Dr. Ir. H. Darwis (2017) semen Portland sebagai semen hidrolis merupakan semen yang paling efektif untuk digunakan sebagai bahan penstabil karena ukuran partikel pada semen tersebut relatif halus ( $\pm 20$  micron), sehingga terjadi proses hidrasi yang lebih cepat.

Metode untuk memasukkan bahan aditif ke dalam tanah agar terjadi stabilisasi dapat dilakukan dalam bentuk kering (*dry method*) maupun bentuk cair (*slurry*). Bentuk cair adalah metode dimana bahan aditif yang dimasukkan dalam bentuk basah, seperti semen. Bentuk



kering adalah metode dimana bahan aditif dimasukkan dengan menggunakan tekanan dari udara. Fungsi dari kedua metode tersebut adalah untuk mengurangi penurunan maupun meningkatkan stabilitas tanah serta berperan dalam drainase vertikal dan mempercepat proses penurunan.

#### 2.4.2.1 Mekanisme Reaksi Pada Stabilisasi Tanah Dengan Semen

Menurut Darwis (2017) pada saat terjadinya stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan pengikat semen terjadi reaksi pertukaran ion, kemudian diikuti dengan terjadinya reaksi sementasi.

##### 1. Reaksi Pertukaran Ion

Hasil dari reaksi ini adalah pembentukan kalsium silikat ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) dan/atau kalsium aluminat ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Proses dari reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan berikut :



Reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan yaitu hidrasi dari A-lite ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) dan B-lite ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) yang membentuk senyawa-senyawa kalsium silikat dan melalui hidrasi tadi. Senyawa hidrat yang terbentuk dalam campuran bergantung terhadap beberapa hal, seperti jenis mineral yang terdapat dalam tanah asli, dan senyawa-senyawa hidrat yang dapat terbentuk dalam stabilisasi tanah dengan semen seperti kalsium silikat dan/atau kalsium aluminat.

##### 2. Reaksi Sementasi

Reaksi ini merupakan sebuah reaksi pozzolanic atau dapat diartikan reaksi yang terjadi pada campuran semen dengan tanah. Selama bertambahnya waktu reaksi, maka unsur silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan unsur alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang terdapat pada tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, akan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) dan/atau senyawa kalsium aluminat hidrat ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Pembentukan senyawa kimia ini terjadi secara terus menerus dalam waktu yang lama dan akan menyebabkan tanah menjadi keras, kuat dan awet, karena ia memiliki peran sebagai pengikat.

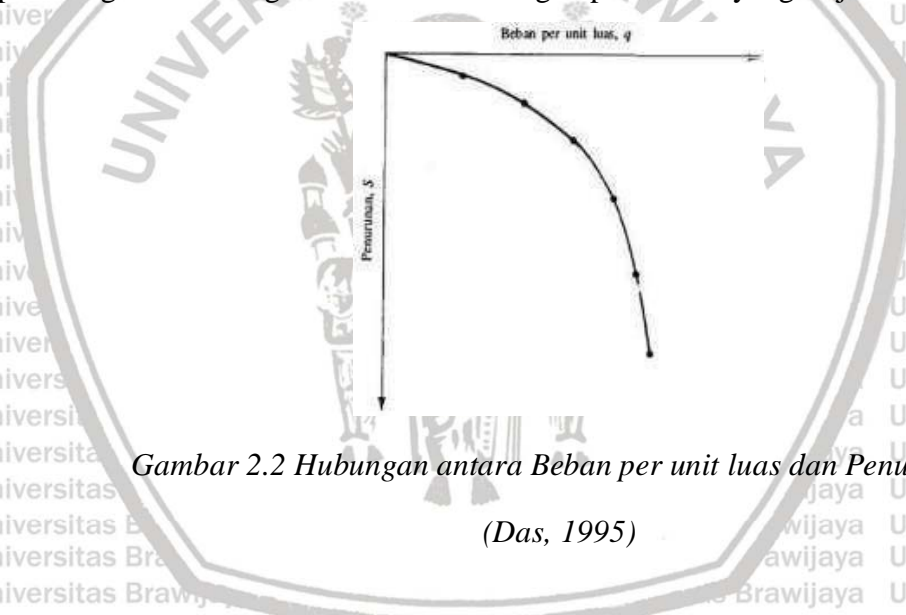
#### 2.5 Uji Pembebanan

Uji pembebanan dilakukan untuk mengetahui bagaimana perilaku dari bahan uji. Pada dasarnya metode ini harus dilakukan dengan sedemikian rupa sehingga pembebanan yang dilaksanakan dapat memiliki kesetaraan dengan pembebanan yang terjadi dilapangan. Akan



tetapi, metode ini juga harus menyesuaikan dengan keadaan laboratorium, karena tidak semua masalah yang terjadi di lapangan dapat dilaksanakan di laboratorium. Oleh sebab itu, uji pembebanan dilakukan dengan melihat secara khusus faktor utama parameter perilaku dari bahan uji yang akan diteliti.

Menurut DAS (1995) di dalam beberapa keadaan, uji beban (*load test*) dilakukan untuk menentukan besar daya dukung ultimit pondasi yang bersangkutan. Metode yang baku mengenai uji beban di lapangan diatur oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*) nomor D-1194. Diperlukan pelat dukung (*bearing plate*) sebagai pendukung pelaksanaan uji beban pada pondasi. Plat tersebut diletakkan pada tanah asli, kemudian dilakukan uji pembebanan dengan memberikan beban di atas pelat secara bertahap. Lalu, beban kerja didiamkan sedemikian rupa sehingga cukup untuk menyebabkan terjadinya penurunan. Apabila penurunan yang terjadi pada pelat sudah sangat kecil (dapat diabaikan), maka dapat dilakukan penambahan beban secara bertahap. Berdasarkan hasil pengujian akan diperoleh grafik hubungan antara beban dengan penurunan yang terjadi



Gambar 2.2 Hubungan antara Beban per unit luas dan Penurunan

(Das, 1995)

## 2.6 Daya Dukung

Daya dukung tanah merupakan kekuatan tanah untuk menahan beban yang bekerja padanya. Menurut Terzaghi (1943) dalam Hadiyatmo (2011) daya dukung tanah dapat diartikan sebagai beban maksimum per satuan luas dimana tanah masih dapat menahan beban tanpa terjadi keruntuhan. Daya dukung dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut:

$$q_u = \frac{Pu}{A} \quad (2-1)$$

Keterangan :

$q_u$  = kapasitas dukung ultimit ( $\text{kN/m}^2$ )



$P_u$  = Beban ultimit (kN)

$A$  = Luas pondasi ( $m^2$ )

Pada penelitian ini, data yang akan diperoleh dari uji pembebanan untuk diolah yaitu nilai daya dukung serta penurunan yang terjadi pada tanah. Kemudian dari data tersebut dibuat grafik daya dukung tanah lempung ekspansif yang sudah mengalami stabilisasi menggunakan metode DCM dengan variasi kadar semen sebesar 7,5%, 10%, 15%, 20% dengan daya dukung tanah asli. Selanjutnya pengolahan data dilanjutkan dengan menghitung *Bearing Capacity Improvement* (BCI) yang merupakan perbandingan ratio yang dapat menyatakan besar perbandingan daya dukung tanah saat diberi perkuatan dengan daya dukung tanah tanpa adanya pemberian perkuatan. *Bearing Capacity Improvement* (BCI) dapat dirumuskan sebagai berikut :

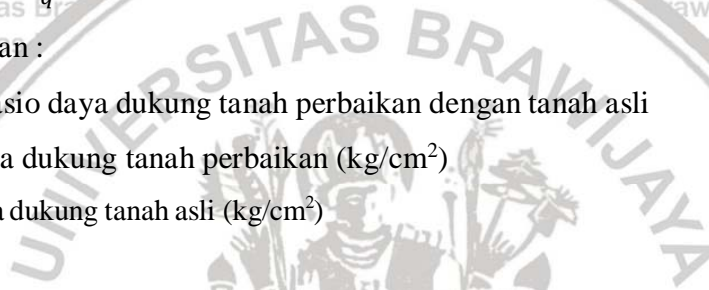
$$BCI = \frac{q_u}{q} \times 100\% \quad (2-2)$$

Keterangan :

BCI = Rasio daya dukung tanah perbaikan dengan tanah asli

$q_u$  = Daya dukung tanah perbaikan ( $kg/cm^2$ )

$q$  = Daya dukung tanah asli ( $kg/cm^2$ )



**BAB 3****METODE PENELITIAN****3.1 Waktu dan Tempat**

Pelaksanaan penelitian dimulai pada September 2020 di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

**3.2 Tahap Persiapan**

Tahap persiapan merupakan suatu rangkaian kegiatan diawal ketika memulai pengumpulan dan pengolahan data. Pada tahap awal ini dilaksanakan penyusunan hal-hal penting yang harus dilakukan, hal tersebut dimaksudkan agar pengerjaan dapat lebih efektif dalam hal waktu dan proses pengerjaannya. Tahap persiapan adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka yang diperoleh dari media maupun elektronik yang berhubungan dengan materi tugas akhir untuk menentukan garis besar permasalahan.
2. Melakukan konsultasi dengan narasumber, salah satunya yaitu dengan dosen dan pelaku penelitian sebelumnya.
3. Melakukan percobaan pendahuluan benda uji untuk mendapatkan rancangan pelaksanaan yang lebih efisien untuk digunakan.

**3.3 Pengumpulan Data**

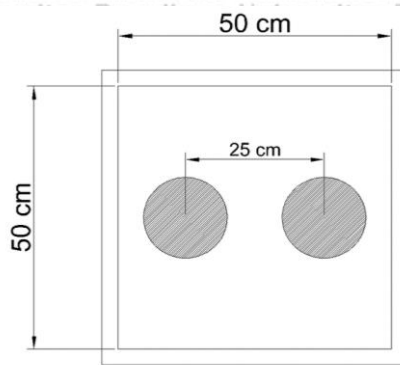
Pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan data primer dan data sekunder.

Penelitian ini menggunakan tanah yang sama dengan penelitian terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya oleh Zaika, Rachmansyah, dan Harimurti (2019) yaitu menggunakan tanah pada Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh bahwa jenis tanah sampel penelitian adalah tanah lanau yang mempunyai tingkat plastisitas tinggi yang dikategorikan sebagai tanah lunak.

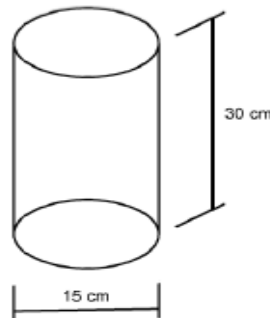
**3.3.1 Rancangan Penelitian**

Konfigurasi kolom DCM menggunakan jarak 25 cm antar pusat kolom dengan variasi kadar semen tanah perbaikan 7,5%, 10%, 15%, 20% terhadap berat kering. Konfigurasi kolom yang digunakan adalah pola *single* dengan diameter 6 inch.





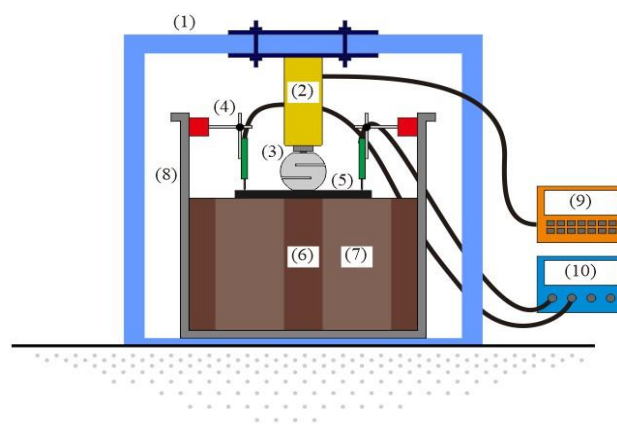
Gambar 3.1 Konfigurasi Kolom Perbaikan



Gambar 3.2 Kolom Perbaikan

### 3.3.2 Uji Pembebanan

Pengujian pembebanan dilakukan ketika semua sampel uji telah dirawat sesuai dengan masa yang telah di rencanakan dan komponen selesai dirakit. Pengujian ini akan memperoleh nilai beban dan besarnya penurunan. Pengujian dilakukan pada tiap variasi kolom yang telah direncanakan. Uji pembebanan menggunakan pompa hidrolik. Pengujian dilakukan dengan memberi beban pada tanah yang berada dalam *box* uji melalui pelat dengan menambahkan beban melalui besi penahan yang nantinya akan disalurkan ke plat baja. Pembacaan penurunan yang terjadi dapat dilihat pada LVDT. Apabila pembacaan terus menurun namun tidak terjadi penambahan beban maka tanah dianggap telah mengalami keruntuhan.



Gambar 3.3 Skema Uji Pembebanan

Keterangan :

- |                     |   |
|---------------------|---|
| 1. Portal Baja      | 6. Tanah asli kadar air 95%               |
| 2. Piston hidrolik  | 7. Kolom perbaikan DCM sesuai konfigurasi |
| 3. <i>Load cell</i> | 8. Box uji ukuran 50 x50 x 50 cm          |
| 4. LVDT             | 9. Alat pembaca <i>load cell</i>          |
| 5. Pelat Baja       | 10. Alat pembaca LVDT                     |

Langkah pelaksanaan uji pembebanan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan *disturbed soil* yang akan dikeringkan selama 24 jam dengan menggunakan oven maupun di jemur di bawah sinar matahari hingga bongkahan tersebut kering dan dapat dihancurkan menjadi bongkahan-bongkahan yang lebih kecil dengan cara ditumbuk agar mudah diolah.
2. Setelah tanah tersebut menjadi bongkahan yang lebih kecil, selanjutnya dilakukan uji kadar air.
3. Menyiapkan pipa paralon dengan diameter 6 inci.
4. Dengan data kadar air yang diperoleh, tanah diubah menjadi *Slurry* dengan mencampurkan tanah dan air untuk mendapatkan kadar air yang direncanakan yaitu sebesar 95% dan membuat tanah perbaikan dengan mencampurkan tanah asli, air, dan semen menggunakan kadar semen 7,5%, 10%, 15%, 20% dari berat kering tanah asli dengan kadar air 95%.
5. Setelah dicampurkan menggunakan tenaga manusia dan *mixer*, kemudian campuran tanah perbaikan tersebut dimasukkan kedalam pipa paralon hingga mencapai ketinggian 30 cm. Selama proses memasukkan campuran sambil ditusuk-tusuk menggunakan batang besi agar mengurangi adanya rongga pada kolom perbaikan.
6. Kemudian membiarkan tanah tersebut selama 3 hari diluar *box uji*.

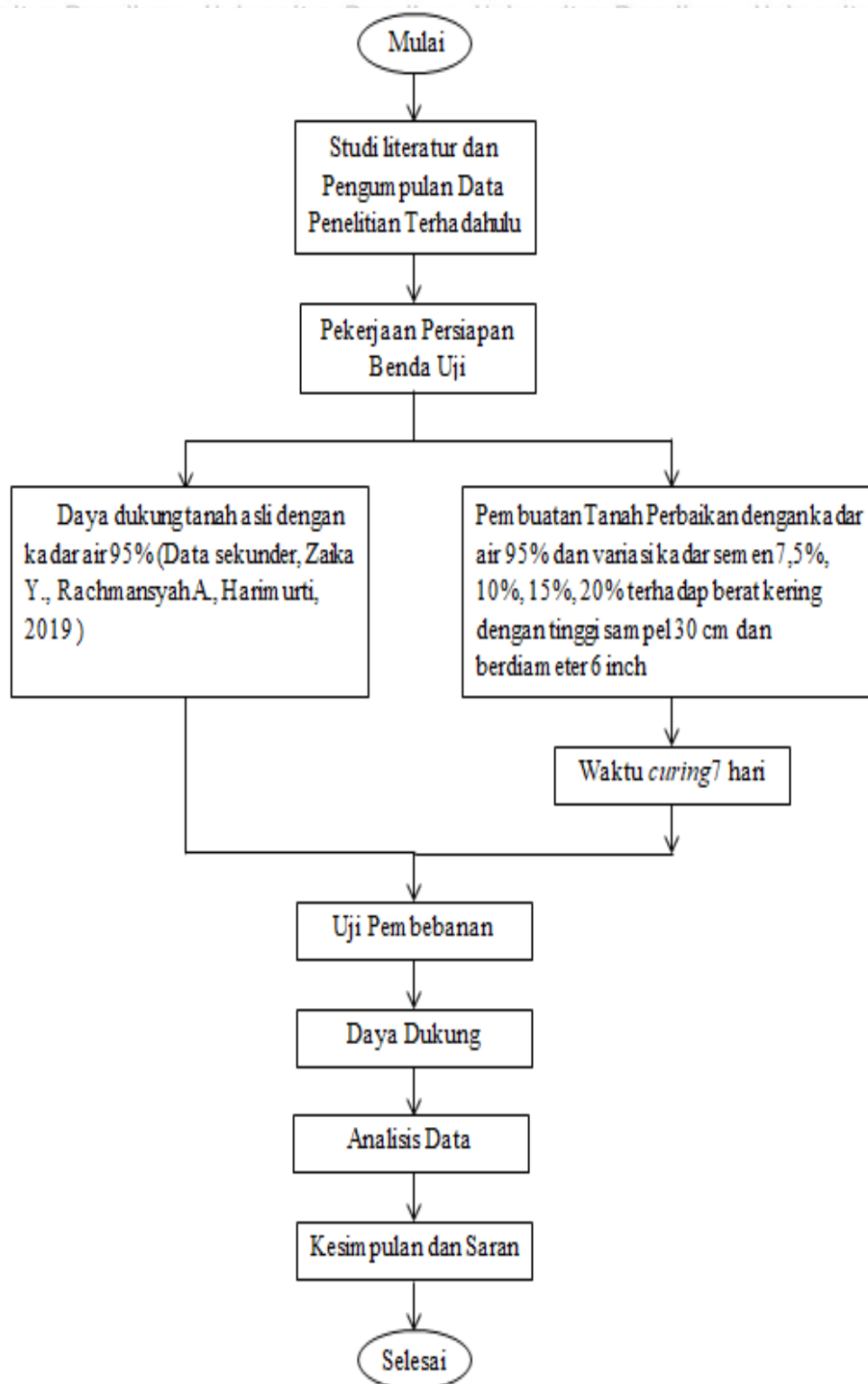


7. Mempersiapkan *box* uji dengan cara menandai letak konfigurasi menggunakan benang dan penggaris.
8. Melepas pipa paralon pada tanah secara perlahan.
9. Pada hari ke-4, memasukkan tanah perbaikan ke dalam *box* sesuai dengan konfigurasi.
10. Memasukkan tanah dengan kadar air 95% pada *box* sampai mencapai ketinggian 30 cm.
11. Meratakan permukaan tanah dan mengecek kerataan menggunakan *waterpass*.
12. Pada hari ke-7 dilakukan setting alat seperti pada Gambar 3.3 untuk dilakukan pengujian.
13. Melaksanakan uji pembebanan dengan cara memompa pompa hidrolik secara perlahan. Pembebanan dilakukan dengan membuat pembebanan yang seragam pada pembacaan *load cell*.
14. Pembebanan dihentikan ketika pembacaan penurunan pada alat pembaca LVDT menampilkan angka yang berbeda tiga kali berurut-urut pada beban yang sama.
15. Melanjutkan dengan langkah yang sama untuk variasi kadar semen yang lainnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**BAB 4**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Identifikasi Tanah Berdasarkan Pengujian Sifat Fisik Tanah**

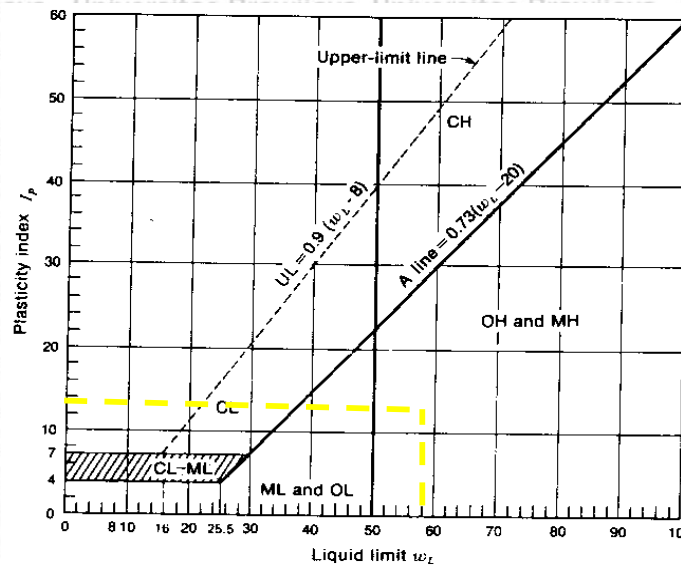
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui klasifikasi jenis tanah yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh peneliti terdahulu diperoleh data yang di tunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.1  
*Karakteristik Tanah Asli*

Parameter	Unit	Value
Liquid Limit	%	56
Plastisitas Limit	%	43
Shinkage Limit	%	11
Saturated Density	kN/m <sup>3</sup>	17.2
Maximum Dry Density	kN/m <sup>3</sup>	12.5
Optimum Water Content	%	31
Water Content (Undisteb)	%	50.5
Compressive Strength (Undisturbed)	kPa	49.4

Dilansir dari jurnal *Geotechnical behaviour of soft soil in East Java, Indonesia* oleh Zaika *et.al* (2019) diperoleh bahwa prosentase lolos saringan No. 200 (diameter 0,075 mm) melebihi 50% yaitu 92,25%. Menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) tanah tersebut termasuk dalam kategori tanah berbutir halus. Selanjutnya tanah diidentifikasi menggunakan nilai Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) yang masing-masing bernilai 56,12% dan 12,76%. Selanjutnya nilai Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) diplotkan ke grafik klasifikasi tanah menurut USCS sehingga diketahui bahwa tanah tersebut termasuk tanah lanau berlempung dengan plastisitas tinggi (MH).





Gambar 4.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Menurut klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) tanah tersebut dapat diketahui dengan melihat nilai persentase lolos ayakan No. 200 yang dari 35%, sehingga tanah tersebut termasuk kelompok A-4 sampai A-7 dan dikategorikan sebagai tanah lanau-lempung. Selanjutnya dilakukan identifikasi berdasarkan nilai Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI). Diketahui bahwa nilai Batas Cair (LL)  $\geq 41$  dan nilai Indeks Plastisitas (PI)  $\geq 11$ , sehingga tanah tersebut termasuk kelompok A-7. Kelompok A-7 terbagi dua bagian, sehingga diperlukan peninjauan lebih dengan memperhatikan nilai Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI). Dikarenakan  $PI \leq LL - 30$  maka tanah tersebut dikategorikan dalam kelompok A-7-5.

#### 4.2 Analisis Daya Dukung Pada Tanah Asli

Dalam analisis ini tidak dilakukannya percobaan maupun pengujian pembebanan untuk mengetahui besaran daya dukung tanah asli. Hal tersebut dikarenakan kadar air pada tanah asli yang dipakai untuk pengujian sebesar 95% sehingga membuat kondisi tanah sangat lunak dan tidak memungkinkan untuk dilakukannya pengujian terhadap tanah asli sebelum diberikan perbaikan karena dapat membuat plat akan langsung tenggelam ke dalam tanah. Daya dukung tanah asli dapat diketahui dengan rumus yang tertera dalam jurnal *Geotechnical Behaviour of Soft Soil in East Java, Indonesia* oleh Zaika, Rachmansyah, dan Harimurti (2019) yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$y = -6,634 \omega + 382,9 \text{ (kPa)} \quad (4-1)$$

Dimana :

$y = q_u$  atau Daya dukung tanah perbaikan ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\omega =$  Kadar air dalam prosentase (Zaika *et.al*, 2019)

Dengan kadar air 95% didapatkan nilai  $q_u$  sebesar :

$$y = -6,634 \times 95 + 382,9$$

$$= -247,34 \text{ kN/m}^2 \text{ atau } -2,52 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 0 \text{ kg/cm}^2$$

### 4.3 Analisis Daya Dukung Pada Tanah Perbaikan

Daya dukung tanah setelah menerima perbaikan dapat diketahui dengan melakukan pengujian terhadap tanah perbaikan. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali sesuai dengan variasi kadar semen yaitu 7,5%, 10%, 15%, 20%. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban terhadap tanah perbaikan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan, dimana beban tersebut disalurkan ke plat berukuran 50 x 50 cm. Pengujian akan dihentikan ketika benda uji telah mengalami keruntuhan. Data yang dapat diperoleh dari pengujian adalah beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji tersebut yang kemudian akan dianalisis untuk mendapatkan nilai daya dukung batas ( $q_u$ ). Uji pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Benda Uji Sebelum di Uji Pembebanan



Gambar 4.3 Benda Uji Setelah di Uji



#### 4.2.1 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 7,5%

Hasil uji pembebanan pada benda uji terhadap nilai daya dukung pada variasi kadar semen 7,5% adalah sebagai berikut :

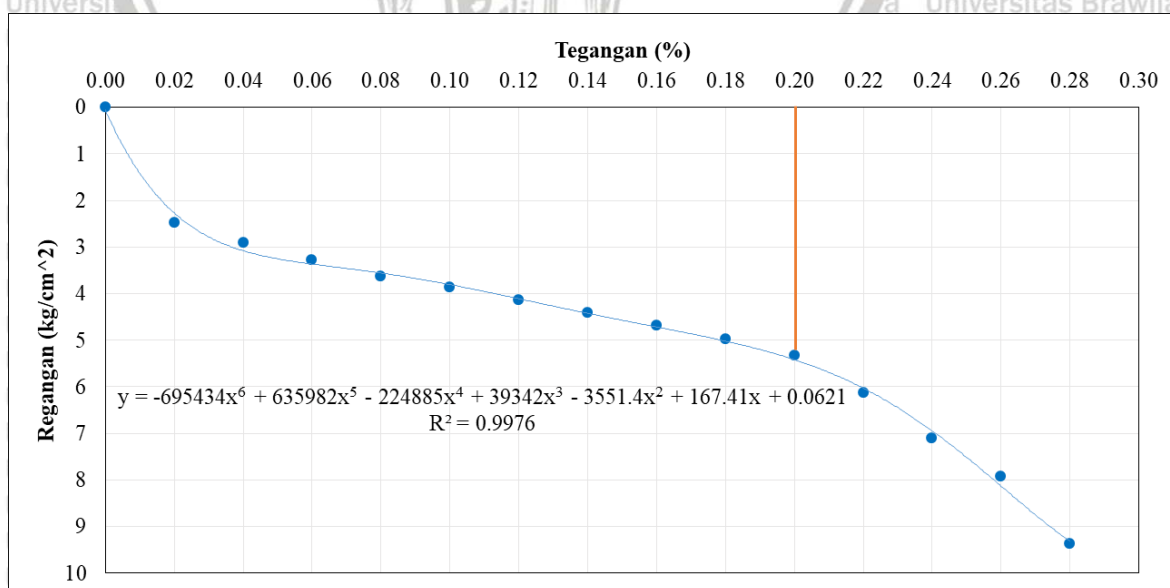
Tabel 4.2

Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 7,5%

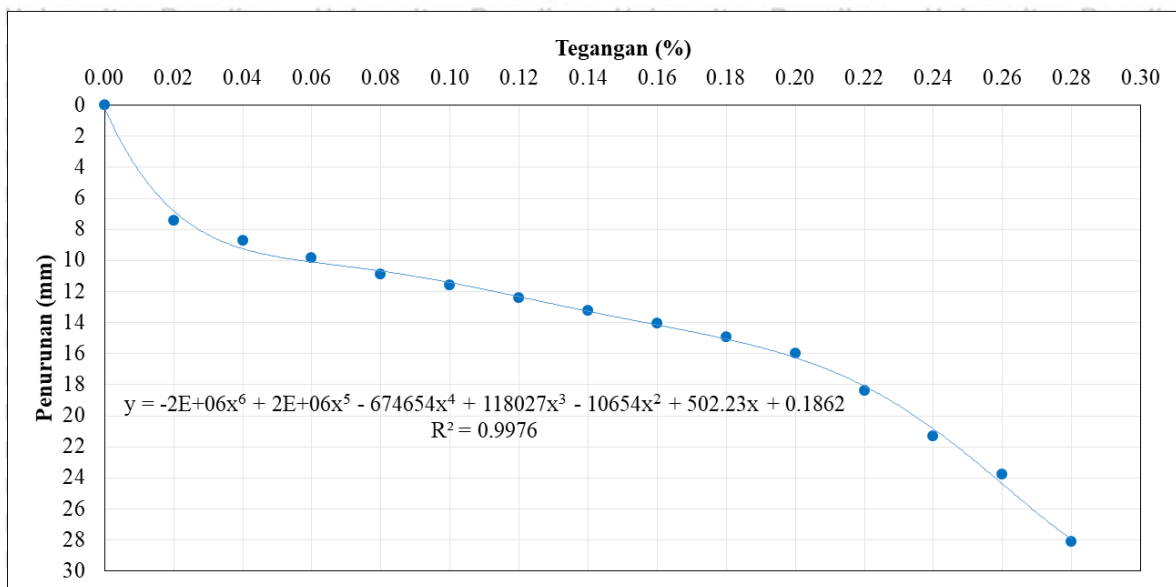
Beban	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
0	46.69	0.00	0	0.00
50	39.24	7.45	0.02	2.48
100	37.96	8.74	0.04	2.91
150	36.87	9.82	0.06	3.27
200	35.79	10.91	0.08	3.64
250	35.07	11.62	0.1	3.87
300	34.25	12.44	0.12	4.15
350	33.48	13.21	0.14	4.40
400	32.62	14.07	0.16	4.69
450	31.74	14.96	0.18	4.99
500	30.70	15.99	0.2	5.33
550	28.31	18.38	0.22	6.13
600	25.40	21.29	0.24	7.10
650	22.89	23.80	0.26	7.93
700	18.59	28.11	0.28	9.37

Berdasarkan data Tabel 4.2, dapat digambarkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat dari

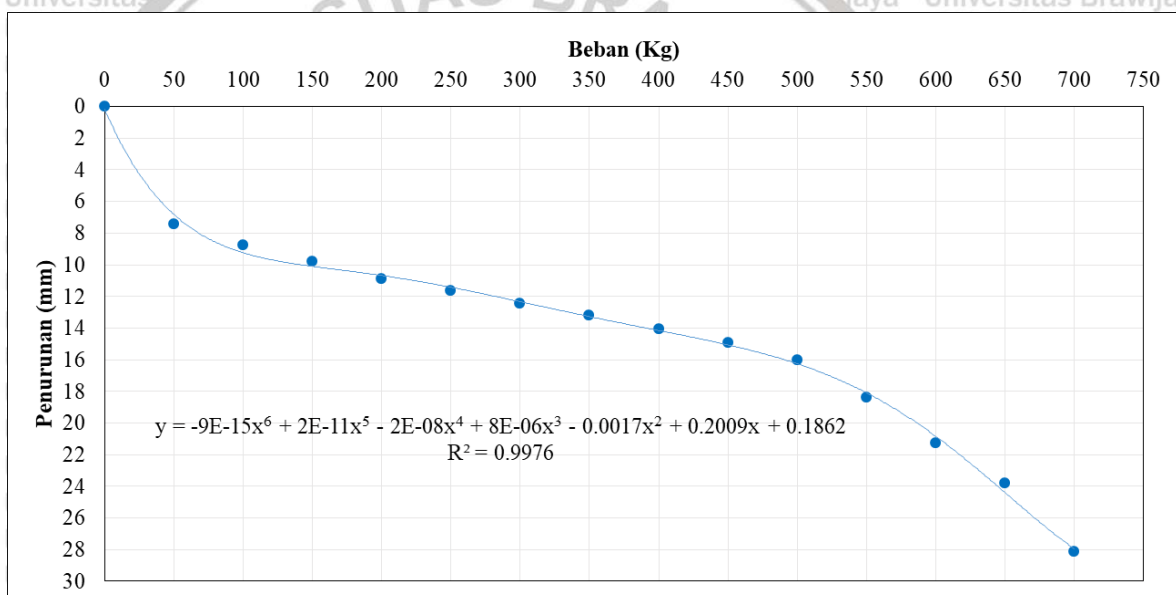
Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6



Gambar 4.4 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 7,5%



Gambar 4.5 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 7,5%



Gambar 4.6 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 7,5%

Berdasarkan hasil pengujian pada kadar semen 7,5% diperoleh beban maksimum ( $P_u$ ) sebesar 500 kg sebelum mengalami keruntuhan. Dimana pada beban tersebut terjadi penurunan sebesar 15,99 mm. Maka, daya dukung ( $q_u$ ) serta regangan ( $\epsilon$ ) dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut :

$$q_u = \frac{P_u}{A} = \frac{500}{2500} = 0,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Tinggi awal}} = \frac{15,99}{300} \times 100\% = 5,33\%$$



Maka, hasil pengujian pada kadar semen 7,5% memperoleh daya dukung maksimum (qu) sebesar 0,2 kg/cm<sup>2</sup>, dengan beban maksimum (Pu) sebesar 500 kg dan pada regangan (ε) 5,33% saat penurunan 15,99 mm.

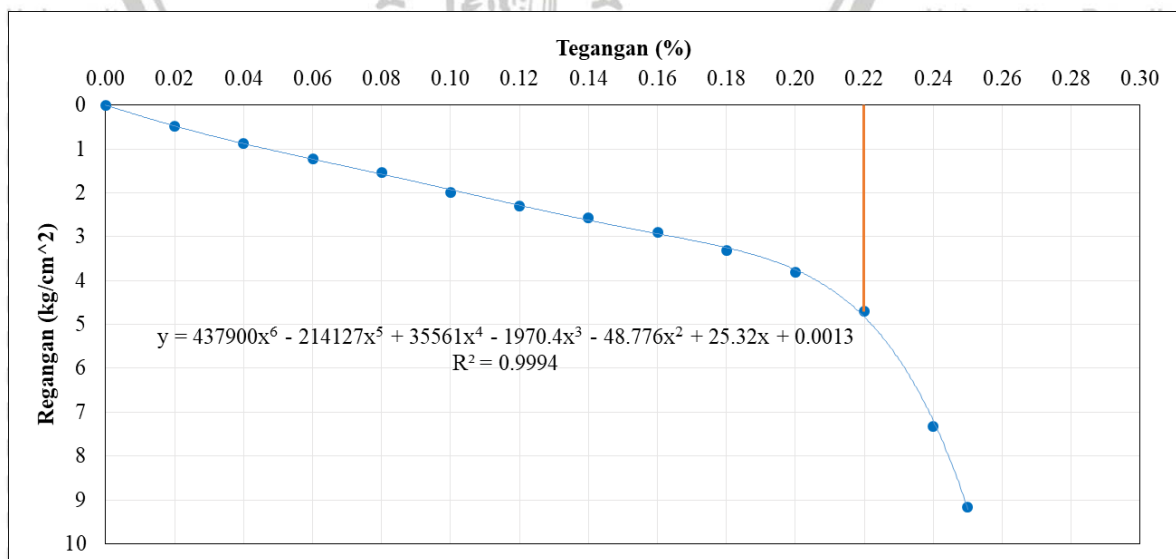
#### 4.2.2 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 10%

Hasil uji pembebanan pada benda uji terhadap nilai daya dukung pada variasi kadar semen 10% adalah sebagai berikut :

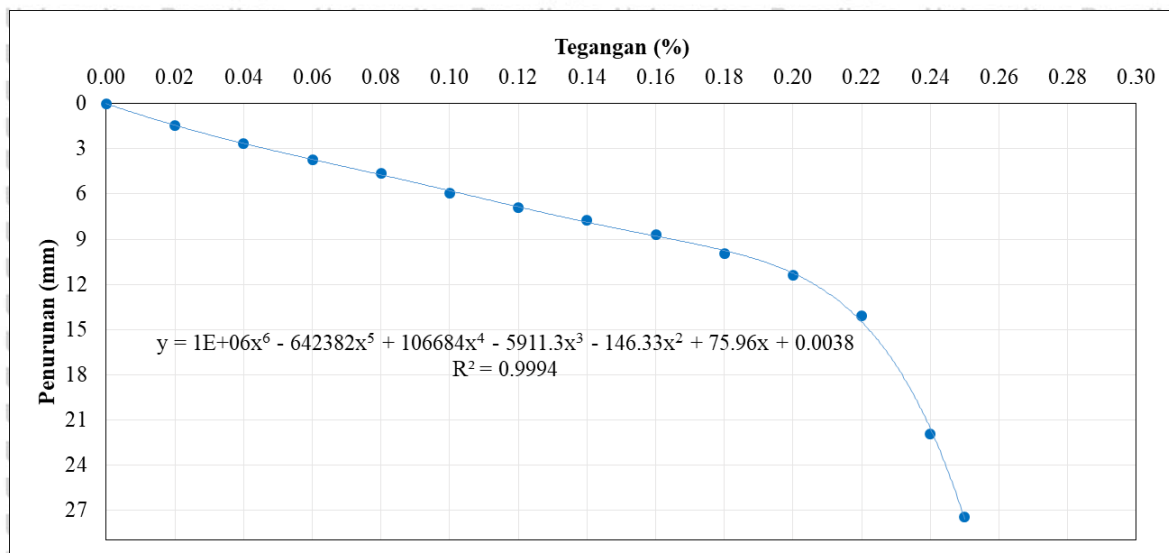
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 10%

Beban	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
0	45.38	0.00	0.00	0.00
50	43.94	1.44	0.02	0.48
100	42.74	2.64	0.04	0.88
150	41.68	3.70	0.06	1.23
200	40.76	4.62	0.08	1.54
250	39.41	5.97	0.10	1.99
300	38.51	6.88	0.12	2.29
350	37.66	7.72	0.14	2.57
400	36.67	8.71	0.16	2.90
450	35.43	9.95	0.18	3.32
500	33.97	11.41	0.20	3.80
550	31.31	14.07	0.22	4.69
600	23.43	21.96	0.24	7.32
625	17.91	27.47	0.25	9.16

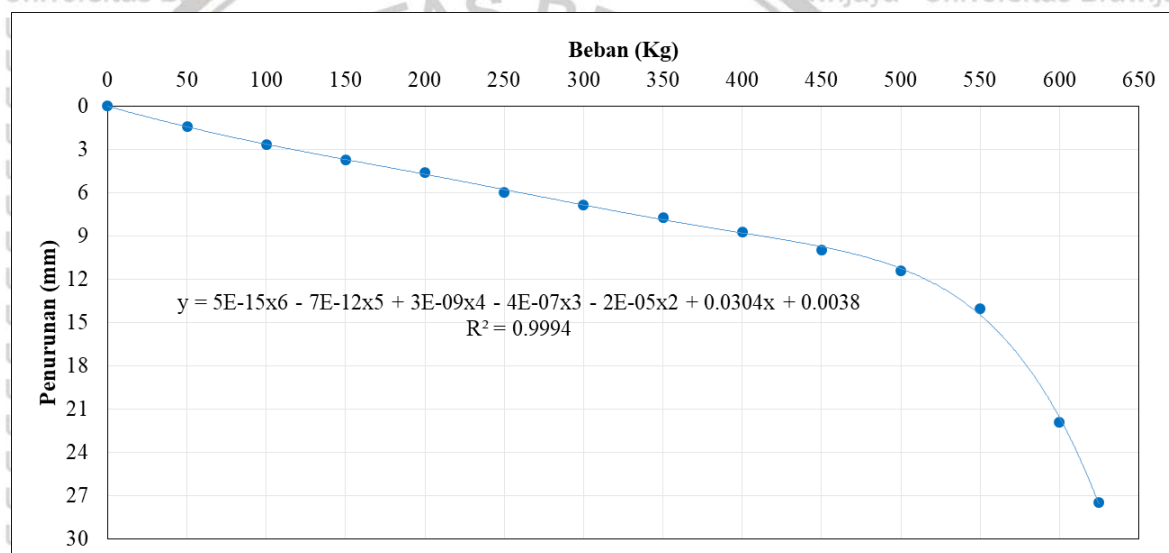
Berdasarkan data Tabel 4.3, dapat digambarkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat dari Gambar 4.7, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9



Gambar 4.7 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 10%



Gambar 4.8 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 10%



Gambar 4.9 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 10%

Berdasarkan hasil pengujian pada kadar semen 10% diperoleh beban maksimum ( $P_u$ ) sebesar 575 kg sebelum mengalami keruntuhan. Dimana pada beban tersebut terjadi penurunan sebesar 18,61 mm. Maka, daya dukung ( $q_u$ ) serta regangan ( $\epsilon$ ) dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut :

$$q_u = \frac{P_u}{A} = \frac{575}{2500} = 0,22 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Tinggi awal}} = \frac{18,61}{300} \times 100\% = 6,202\%$$



Maka, hasil pengujian pada kadar semen 10% memperoleh daya dukung maksimum ( $q_u$ ) sebesar  $0,22 \text{ kg/cm}^2$ , dengan beban maksimum ( $P_u$ ) sebesar 575 kg dan pada regangan ( $\epsilon$ ) 6,202% saat penurunan 18,61 mm.

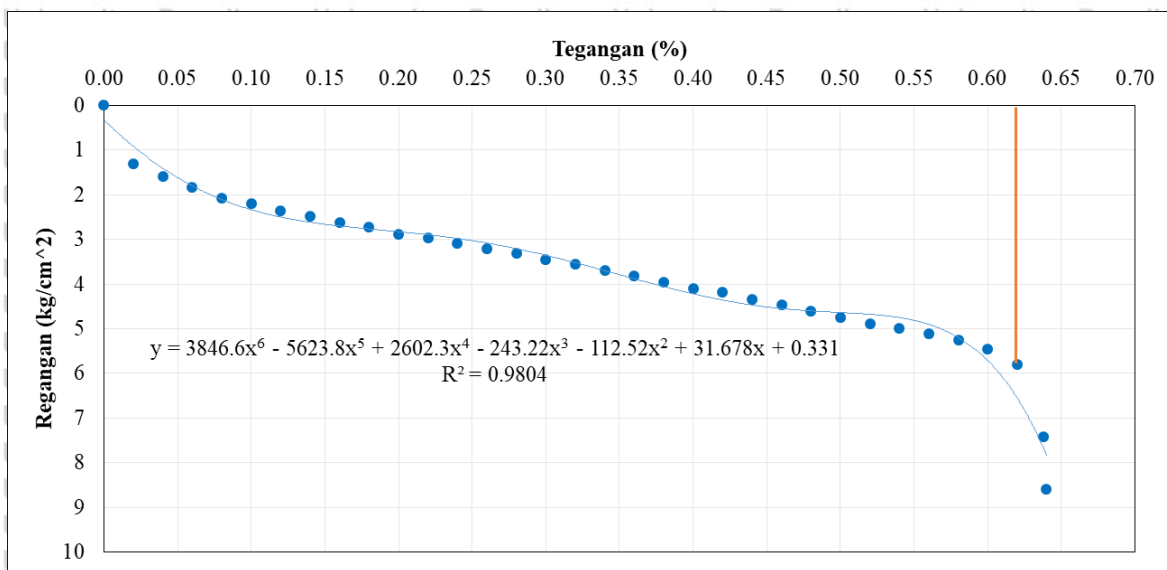
#### 4.2.3 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 15%

Hasil uji pembebanan pada benda uji terhadap nilai daya dukung pada variasi kadar semen 15% adalah sebagai berikut :

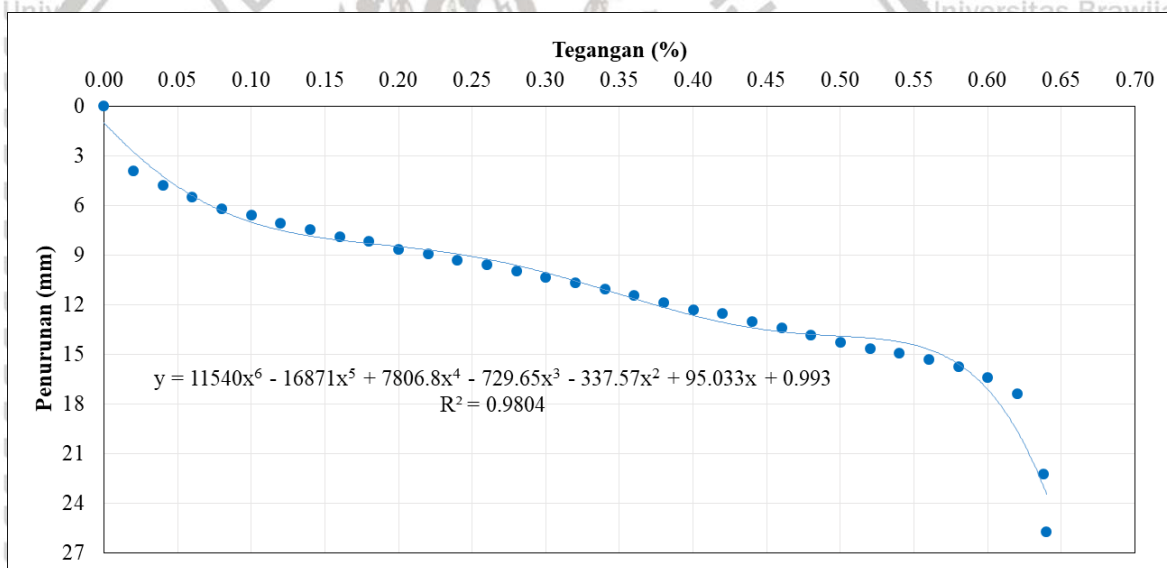
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 15%

Beban	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan ( $\text{kg/cm}^2$ )	Regangan (%)
0	38.99	0.00	0.00	0.00
50	35.07	3.92	0.02	1.31
100	34.22	4.76	0.04	1.59
150	33.49	5.50	0.06	1.83
200	32.76	6.22	0.08	2.07
250	32.38	6.61	0.10	2.20
300	31.90	7.08	0.12	2.36
350	31.53	7.45	0.14	2.48
400	31.10	7.89	0.16	2.63
450	30.80	8.19	0.18	2.73
500	30.33	8.66	0.20	2.89
550	30.07	8.92	0.22	2.97
600	29.70	9.29	0.24	3.10
650	29.38	9.61	0.26	3.20
700	29.03	9.95	0.28	3.32
750	28.62	10.36	0.30	3.45
800	28.30	10.69	0.32	3.56
850	27.92	11.07	0.34	3.69
900	27.55	11.44	0.36	3.81
950	27.13	11.85	0.38	3.95
1000	26.69	12.29	0.40	4.10
1050	26.43	12.55	0.42	4.18
1100	25.97	13.01	0.44	4.34
1150	25.57	13.42	0.46	4.47
1200	25.15	13.84	0.48	4.61
1250	24.73	14.26	0.50	4.75
1300	24.31	14.67	0.52	4.89
1350	24.03	14.96	0.54	4.99
1400	23.67	15.32	0.56	5.11
1450	23.21	15.77	0.58	5.26
1500	22.60	16.39	0.60	5.46
1550	21.57	17.42	0.62	5.81
1594	16.73	22.26	0.64	7.42
1600	13.25	25.74	0.64	8.58

Berdasarkan data Tabel 4.3, dapat digambarkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat dari Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12

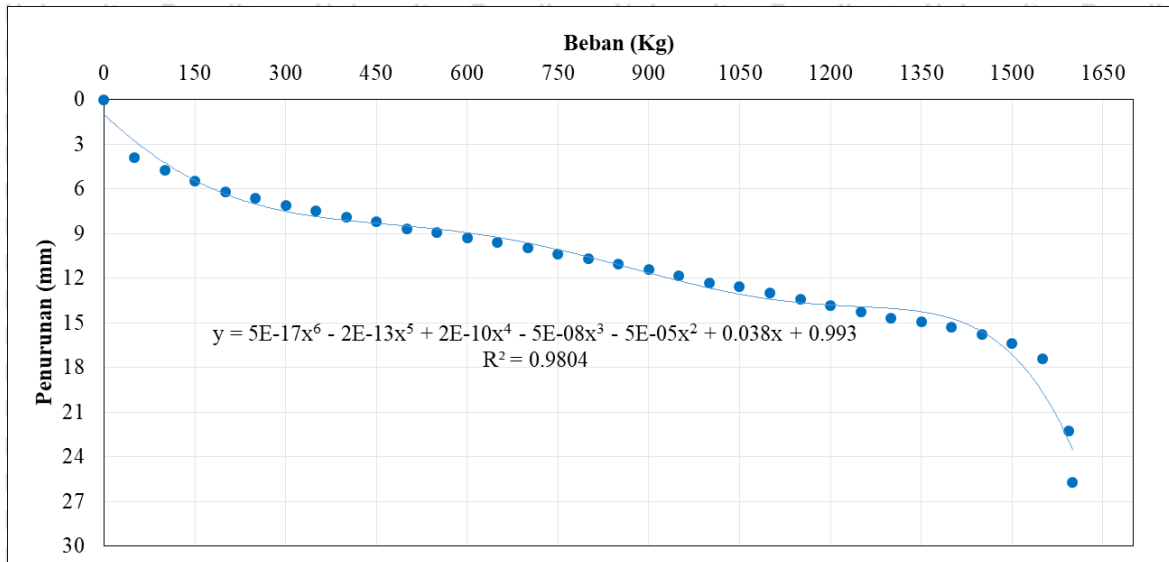


Gambar 4.10 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 15%



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 15%





Gambar 4.12 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 15%

Berdasarkan hasil pengujian pada kadar semen 15% diperoleh beban maksimum ( $P_u$ ) sebesar 1550 kg sebelum mengalami keruntuhan. Dimana pada beban tersebut terjadi penurunan sebesar 17,42 mm. Maka, daya dukung ( $q_u$ ) serta regangan ( $\epsilon$ ) dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut :

$$q_u = \frac{P_u}{A} = \frac{1550}{2500} = 0,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Tinggi awal}} = \frac{17,42}{300} \times 100\% = 5,81\%$$

Maka, hasil pengujian pada kadar semen 15% memperoleh daya dukung maksimum ( $q_u$ ) sebesar 0,62 kg/cm<sup>2</sup>, dengan beban maksimum ( $P_u$ ) sebesar 1550 kg dan pada regangan ( $\epsilon$ ) 5,81% saat penurunan 17,42 mm.

#### 4.2.4 Analisis Daya Dukung Tanah Pada Variasi Kadar Semen 20%

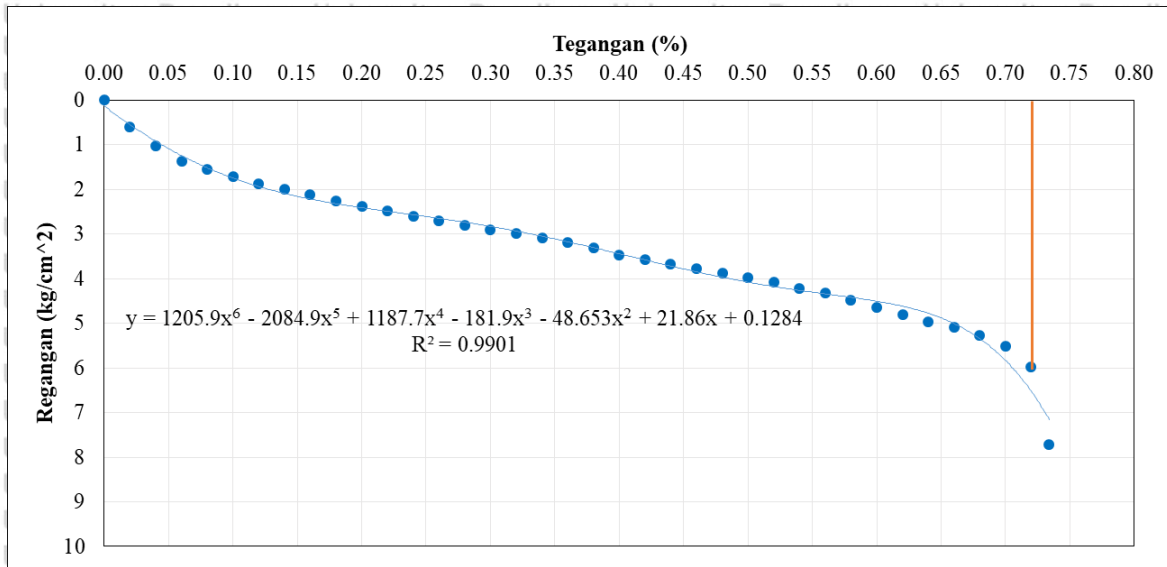
Hasil uji pembebanan pada benda uji terhadap nilai daya dukung pada variasi kadar semen 20% adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pada Kadar Semen 20%

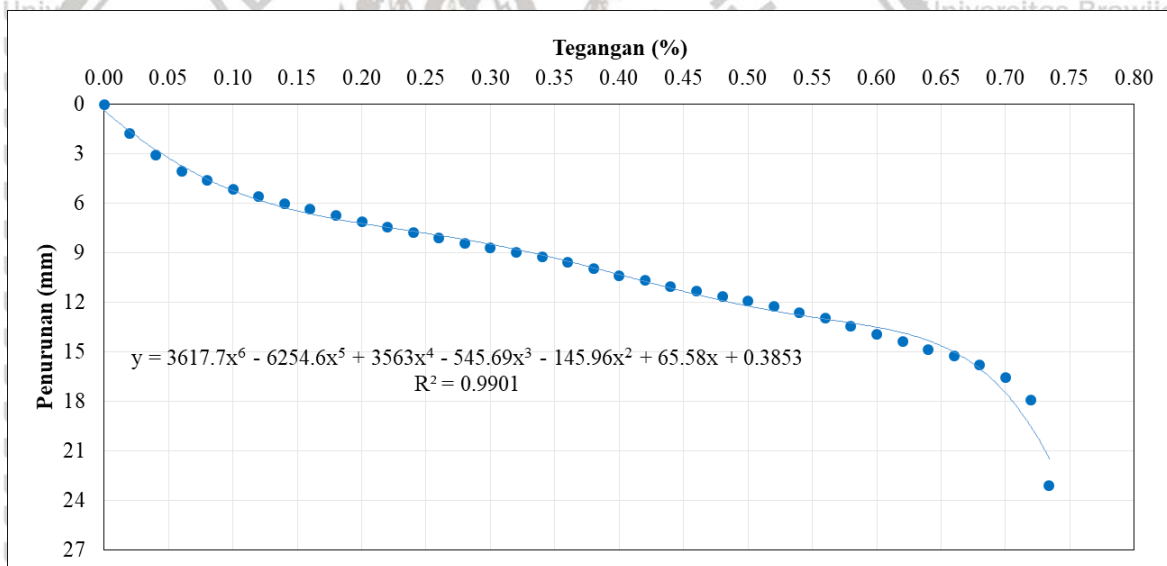
Beban	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
0	48.57	0.00	0.00	0.00
50	46.78	1.80	0.02	0.60
100	45.50	3.07	0.04	1.02
150	44.49	4.08	0.06	1.36
200	43.93	4.64	0.08	1.55
250	43.43	5.14	0.10	1.71
300	42.95	5.62	0.12	1.87
350	42.56	6.01	0.14	2.00
400	42.19	6.38	0.16	2.13
450	41.81	6.76	0.18	2.25
500	41.44	7.13	0.20	2.38
550	41.11	7.46	0.22	2.49
600	40.77	7.80	0.24	2.60
650	40.44	8.13	0.26	2.71
700	40.15	8.42	0.28	2.81
750	39.87	8.70	0.30	2.90
800	39.60	8.97	0.32	2.99
850	39.33	9.24	0.34	3.08
900	39.02	9.56	0.36	3.19
950	38.63	9.94	0.38	3.31
1000	38.17	10.40	0.40	3.47
1050	37.88	10.70	0.42	3.57
1100	37.52	11.05	0.44	3.68
1150	37.22	11.35	0.46	3.78
1200	36.92	11.66	0.48	3.89
1250	36.64	11.93	0.50	3.98
1300	36.31	12.26	0.52	4.09
1350	35.94	12.63	0.54	4.21
1400	35.62	12.95	0.56	4.32
1450	35.13	13.44	0.58	4.48
1500	34.65	13.92	0.60	4.64
1550	34.17	14.40	0.62	4.80
1600	33.67	14.90	0.64	4.97
1650	33.31	15.26	0.66	5.09
1700	32.76	15.81	0.68	5.27
1750	32.01	16.56	0.70	5.52
1800	30.62	17.95	0.72	5.98
1835	25.44	23.13	0.73	7.71



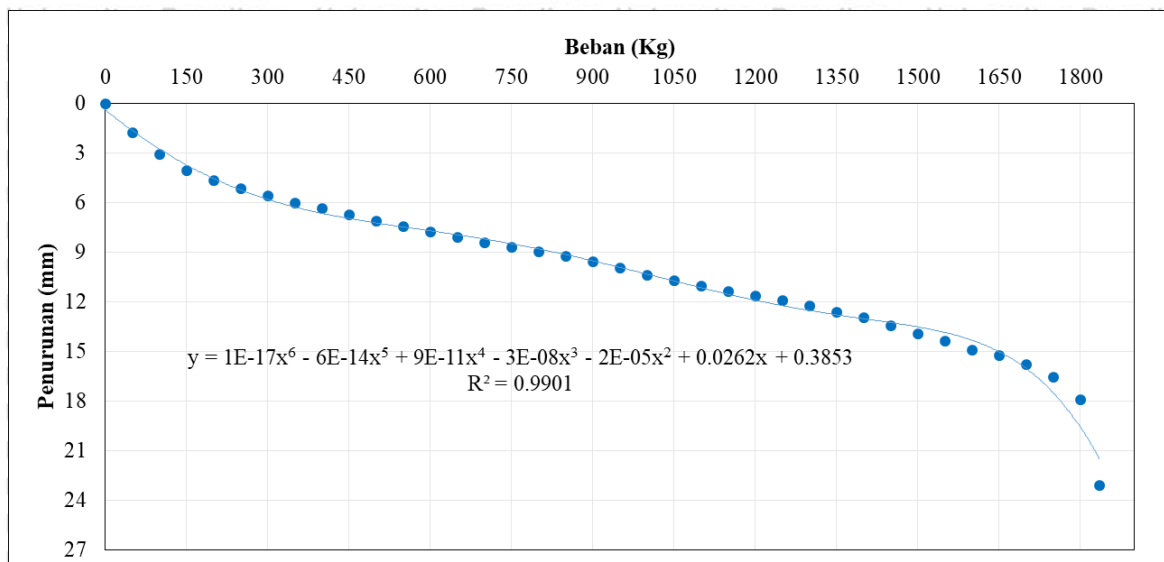
Berdasarkan data Tabel 4.5, dapat digambarkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat dari Gambar 4.13, Gambar 4.14, dan Gambar 4.15



Gambar 4.13 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Kadar Semen 20%



Gambar 4.14 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Kadar Semen 20%



Gambar 4.15 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Kadar Semen 20%

Berdasarkan hasil pengujian pada kadar semen 20% diperoleh beban maksimum ( $P_u$ ) sebesar 575 kg sebelum mengalami keruntuhan. Dimana pada beban tersebut terjadi penurunan sebesar 18,61 mm. Maka, daya dukung ( $q_u$ ) serta regangan ( $\epsilon$ ) dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut :

$$q_u = \frac{P_u}{A} = \frac{1750}{2500} = 0,72 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Tinggi awal}} = \frac{16,56}{300} \times 100\% = 5,519\%$$

Maka, hasil pengujian pada kadar semen 20% memperoleh daya dukung maksimum ( $q_u$ ) sebesar 0,72 kg/cm<sup>2</sup>, dengan beban maksimum ( $P_u$ ) sebesar 1750 kg dan pada regangan ( $\epsilon$ ) 5,519% saat penurunan 16,56 mm.



#### 4.2.5 Analisis Daya Dukung Tanah Gabungan

Berdasarkan uji pembebanan terhadap empat variasi kadar semen, dapat digabungkan seperti berikut.

Tabel 4.6

##### *Uji Pembebanan Gabungan*

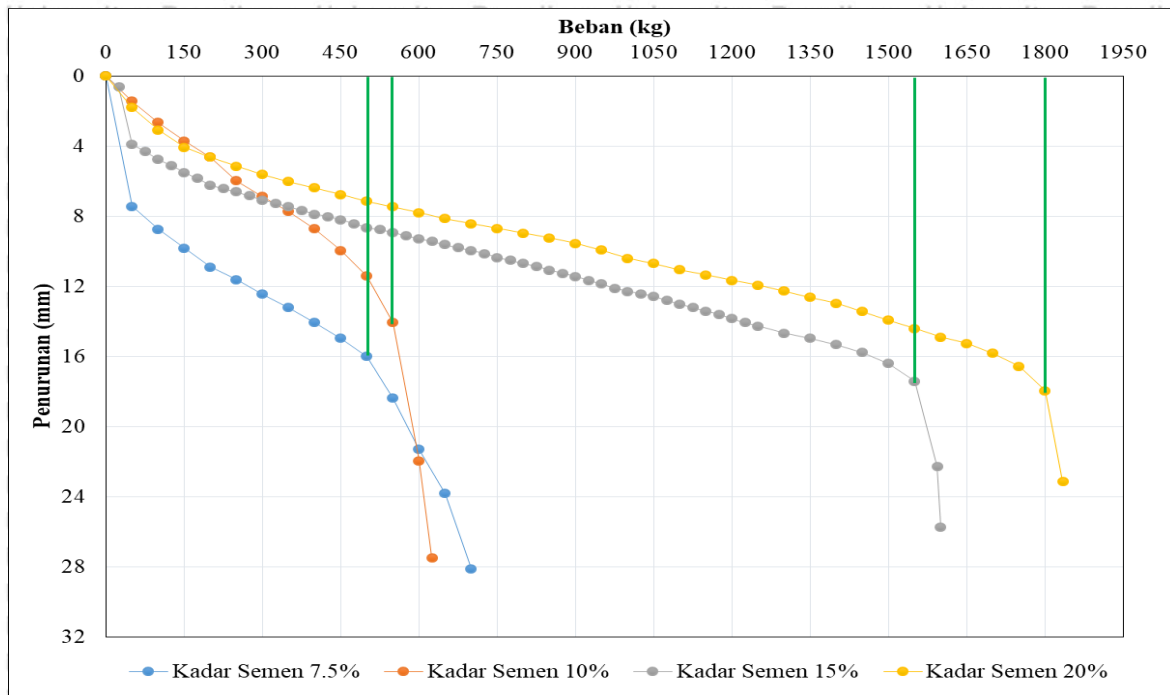
Presentase Kadar Semen	Beban	Rerata Pembacaan (mm)	Rerata Penurunan (mm)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Regangan (%)
7,5 %	0	46.69	0.00	0.00	0.00
	50	39.24	7.45	0.02	2.48
	100	37.96	8.74	0.04	2.91
	150	36.87	9.82	0.06	3.27
	200	35.79	10.91	0.08	3.64
	250	35.07	11.62	0.10	3.87
	300	34.25	12.44	0.12	4.15
	350	33.48	13.21	0.14	4.40
	400	32.62	14.07	0.16	4.69
	450	31.74	14.96	0.18	4.99
	500	30.70	15.99	0.20	5.33
	550	28.31	18.38	0.22	6.13
	600	25.40	21.29	0.24	7.10
	650	22.89	23.80	0.26	7.93
700	18.59	28.11	0.28	9.37	
10%	0	45.38	0.00	0.00	0.00
	50	43.94	1.44	0.02	0.48
	100	42.74	2.64	0.04	0.88
	150	41.68	3.70	0.06	1.23
	200	40.76	4.62	0.08	1.54
	250	39.41	5.97	0.10	1.99
	300	38.51	6.88	0.12	2.29
	350	37.66	7.72	0.14	2.57
	400	36.67	8.71	0.16	2.90
	450	35.43	9.95	0.18	3.32
	500	33.97	11.41	0.20	3.80
	550	31.31	14.07	0.22	4.69
	600	23.43	21.96	0.24	7.32
	625	17.91	27.47	0.25	9.16
15%	0	38.99	0.00	0.00	0.00
	50	35.07	3.92	0.02	1.31
	100	34.22	4.76	0.04	1.59
	150	33.49	5.50	0.06	1.83
	200	32.76	6.22	0.08	2.07
	250	32.38	6.61	0.10	2.20
	300	31.90	7.08	0.12	2.36
	350	31.53	7.45	0.14	2.48
	400	31.10	7.89	0.16	2.63
	450	30.80	8.19	0.18	2.73
	500	30.33	8.66	0.20	2.89
	550	30.07	8.92	0.22	2.97
	600	29.70	9.29	0.24	3.10
	650	29.38	9.61	0.26	3.20
700	29.03	9.95	0.28	3.32	
750	28.62	10.36	0.30	3.45	
800	28.30	10.69	0.32	3.56	



Universitas Brawijaya	850	27.92	11.07	0.34	3.69
Universitas Brawijaya	900	27.55	11.44	0.36	3.81
Universitas Brawijaya	950	27.13	11.85	0.38	3.95
Universitas Brawijaya	1000	26.69	12.29	0.40	4.10
Universitas Brawijaya	1050	26.43	12.55	0.42	4.18
Universitas Brawijaya	1100	25.97	13.01	0.44	4.34
Universitas Brawijaya	1150	25.57	13.42	0.46	4.47
Universitas Brawijaya	1200	25.15	13.84	0.48	4.61
Universitas Brawijaya	1250	24.73	14.26	0.50	4.75
Universitas Brawijaya	1300	24.31	14.67	0.52	4.89
Universitas Brawijaya	1350	24.03	14.96	0.54	4.99
Universitas Brawijaya	1400	23.67	15.32	0.56	5.11
Universitas Brawijaya	1450	23.21	15.77	0.58	5.26
Universitas Brawijaya	1500	22.60	16.39	0.60	5.46
Universitas Brawijaya	1550	21.57	17.42	0.62	5.81
Universitas Brawijaya	1594	16.73	22.26	0.64	7.42
Universitas Brawijaya	1600	13.25	25.74	0.64	8.58
Universitas Brawijaya	0	48.57	0.00	0.00	0.00
Universitas Brawijaya	50	46.78	1.80	0.02	0.60
Universitas Brawijaya	100	45.50	3.07	0.04	1.02
Universitas Brawijaya	150	44.49	4.08	0.06	1.36
Universitas Brawijaya	200	43.93	4.64	0.08	1.55
Universitas Brawijaya	250	43.43	5.14	0.10	1.71
Universitas Brawijaya	300	42.95	5.62	0.12	1.87
Universitas Brawijaya	350	42.56	6.01	0.14	2.00
Universitas Brawijaya	400	42.19	6.38	0.16	2.13
Universitas Brawijaya	450	41.81	6.76	0.18	2.25
Universitas Brawijaya	500	41.44	7.13	0.20	2.38
Universitas Brawijaya	550	41.11	7.46	0.22	2.49
Universitas Brawijaya	600	40.77	7.80	0.24	2.60
Universitas Brawijaya	650	40.44	8.13	0.26	2.71
Universitas Brawijaya	700	40.15	8.42	0.28	2.81
Universitas Brawijaya	750	39.87	8.70	0.30	2.90
Universitas Brawijaya	800	39.60	8.97	0.32	2.99
Universitas Brawijaya	850	39.33	9.24	0.34	3.08
Universitas Brawijaya	900	39.02	9.56	0.36	3.19
Universitas Brawijaya	950	38.63	9.94	0.38	3.31
Universitas Brawijaya	1000	38.17	10.40	0.40	3.47
Universitas Brawijaya	1050	37.88	10.70	0.42	3.57
Universitas Brawijaya	1100	37.52	11.05	0.44	3.68
Universitas Brawijaya	1150	37.22	11.35	0.46	3.78
Universitas Brawijaya	1200	36.92	11.66	0.48	3.89
Universitas Brawijaya	1250	36.64	11.93	0.50	3.98
Universitas Brawijaya	1300	36.31	12.26	0.52	4.09
Universitas Brawijaya	1350	35.94	12.63	0.54	4.21
Universitas Brawijaya	1400	35.62	12.95	0.56	4.32
Universitas Brawijaya	1450	35.13	13.44	0.58	4.48
Universitas Brawijaya	1500	34.65	13.92	0.60	4.64
Universitas Brawijaya	1550	34.17	14.40	0.62	4.80
Universitas Brawijaya	1600	33.67	14.90	0.64	4.97
Universitas Brawijaya	1650	33.31	15.26	0.66	5.09
Universitas Brawijaya	1700	32.76	15.81	0.68	5.27
Universitas Brawijaya	1750	32.01	16.56	0.70	5.52
Universitas Brawijaya	1800	30.62	17.95	0.72	5.98
Universitas Brawijaya	1835	25.44	23.13	0.73	7.71

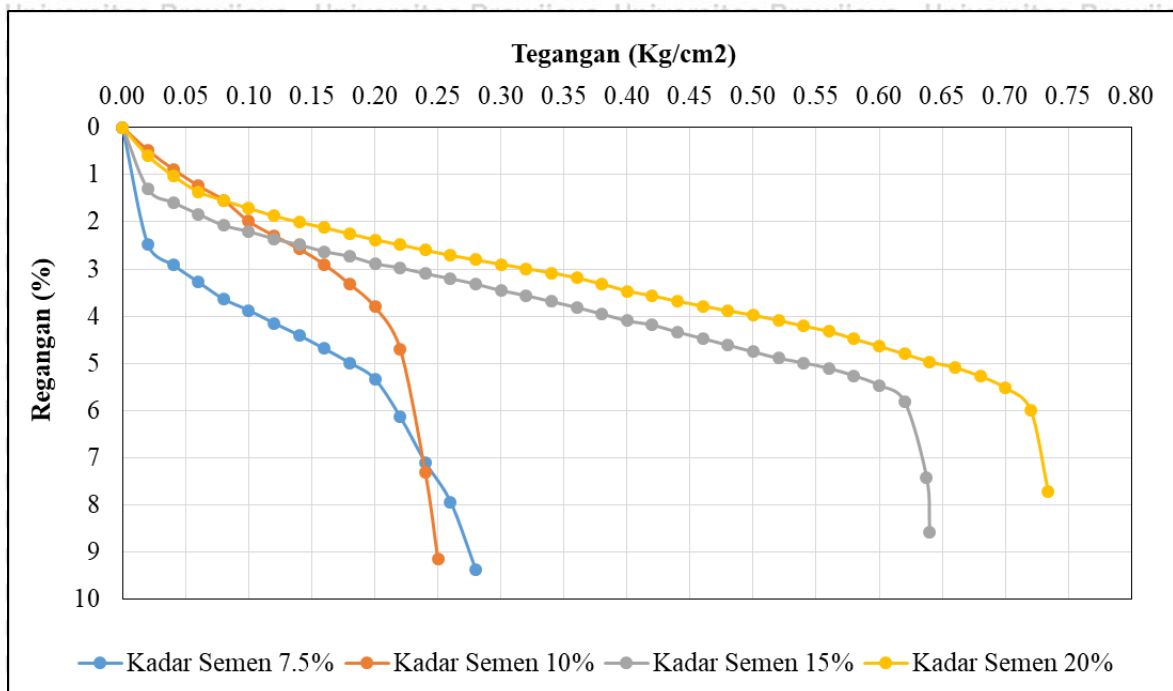


Berdasarkan data gabungan hasil pengujian pada Tabel 4.6, dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti berikut :

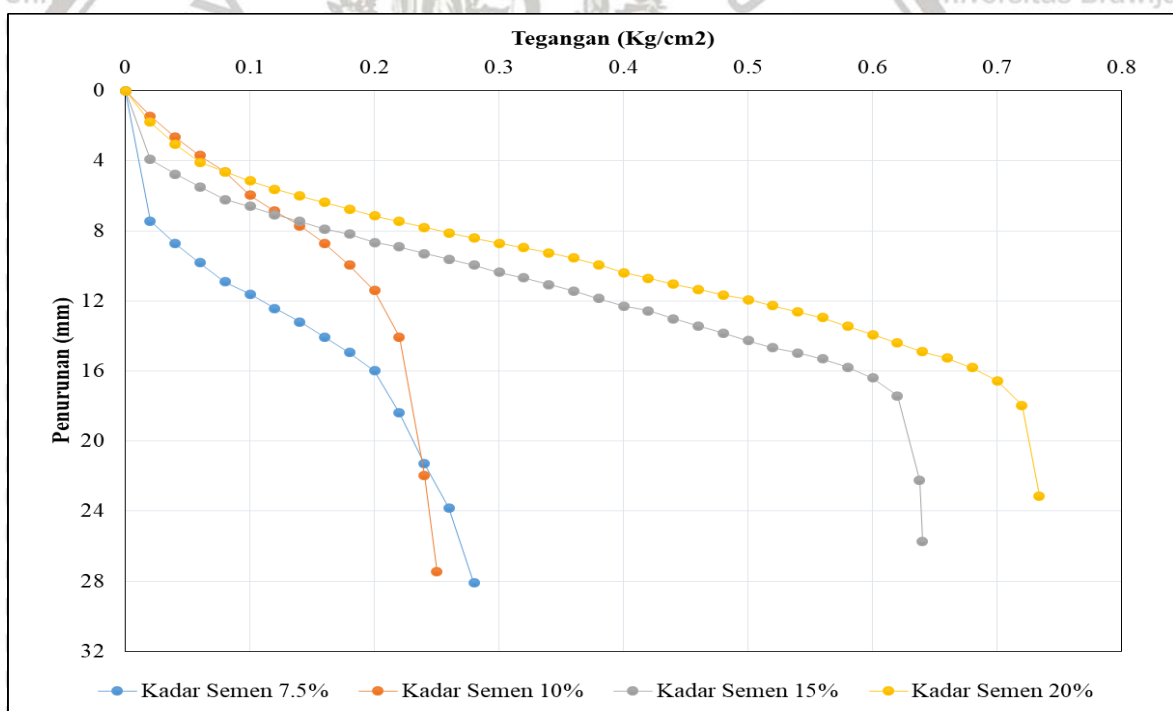


Gambar 4.16 Hubungan Antara Beban dan Penurunan Gabungan

Penambahan kadar semen menyebabkan terjadinya mekanisme reaksi antara sampel tanah dengan semen. Reaksi yang terjadi adalah reaksi pertukaran ion yang kemudian diikuti dengan terjadinya reaksi sementasi. Pada saat terjadinya reaksi pertukaran ion dihasilkan kalsium silikat ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) dan kalsium aluminat ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Selanjutnya terjadi reaksi sementasi, dimana pada reaksi tersebut terbentuk senyawa kalsium silikat hidrat ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) dan/atau kalsium aluminat hidrat ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) seiring bertambahnya waktu reaksi antara unsur silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan unsur alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) pada tanah dengan kandungan mineral reaktif. Pembentukan senyawa tersebut berlangsung terus-menerus untuk waktu yang lama hingga menyebabkan tanah menjadi keras, kuat dan awet. Berdasarkan Gambar 4.16 dapat diketahui bahwa adanya pengaruh yang terjadi akibat dari penambahan persentase kadar semen terhadap kekuatan sampel perbaikan tersebut. Hal itu bisa terlihat dari nilai beban maksimum yang dapat diterima oleh masing-masing sampel perbaikan sebelum mengalami keruntuhan. Dimana dengan bertambahnya persentase kadar semen yang terdapat dalam sampel perbaikan maka semakin besar juga beban maksimum yang dapat di terima oleh sampel perbaikan.



Gambar 4.17 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Gabungan

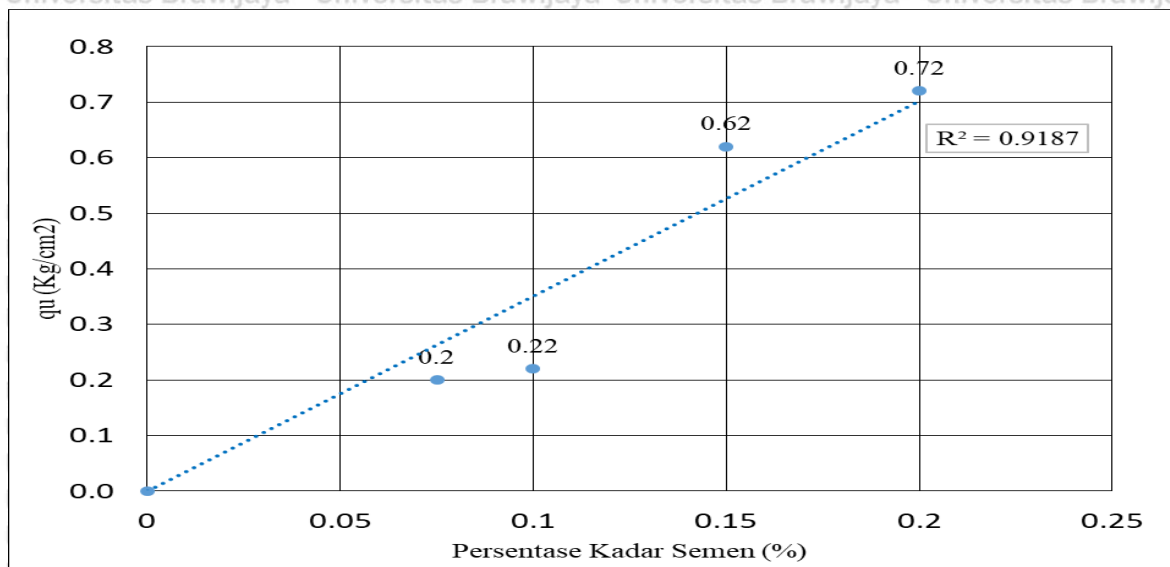


Gambar 4.18 Hubungan Antara Tegangan dan Penurunan Gabungan



Tabel 4. 7 Daya Dukung Batas dengan Variasi Persentase Kadar Semen

Persentase Kadar Semen	Daya Dukung Batas (Kg/cm <sup>2</sup> )
7.5%	0.2
10%	0.22
15%	0.62
20%	0.72



Gambar 4. 19 Hubungan Persentase Kadar Semen dan Tegangan Maksimum

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa daya dukung maksimum (tegangan maksimum) mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan kadar semen. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase kadar semen yang digunakan, maka semakin tinggi daya dukung maksimum yang diperoleh.

#### 4.3 Analisis Bearing Capacity Improvement (BCI)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai Bearing Capacity Improvement (BCI) serta pengaruh variasi kadar semen dalam nilai daya dukung. Nilai BCI diperoleh dari perbandingan antara prosentase daya dukung batas dengan daya dukung tanah asli. Akan tetapi, dikarenakan daya dukung tanah asli pada penelitian ini bernilai sangat kecil sehingga dianggap sama dengan nol, maka didalam perhitungan BCI diambil daya dukung batas yang paling rendah dari semua variasi kadar semen sebagai pembandingan.

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa daya dukung batas paling rendah terjadi pada variasi kadar semen 7,5%, yaitu  $q_u = 0,2 \text{ kg/cm}^2$ . Maka untuk menghitung Bearing

Capacity Improvement digunakan nilai  $q = 0,2 \text{ kg/cm}^2$  sebagai pembanding untuk daya dukung batas variasi lainnya. Perhitungan *Bearing Capacity Improvement* dilakukan menggunakan persamaan 2.2, *Bearing Capacity Improvement*

Tabel 4.8

*Bearing Capacity Improvement menggunakan hasil Uji Pembebanan terhadap daya dukung batas paling rendah*

Persentase Kadar Semen	Daya Dukung Batas (Kg/cm <sup>2</sup> )	BCI (%)
7.5%	0.2	0
10%	0.22	10
15%	0.62	210
20%	0.72	260

Berdasarkan nilai BCI yang diperoleh, dapat dilihat bahwa nilai BCI yang tertinggi diperoleh pada variasi kadar semen 20% yaitu sebesar 260%, dan nilai BCI yang terendah diperoleh pada variasi kadar semen 7% yaitu sebesar 0%. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase kadar semen yang digunakan, maka semakin tinggi nilai BCI yang diperoleh.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pengolahan data uji pembebanan terhadap empat variasi kadar semen dengan menggunakan metode Deep Cement Mixing (DCM), dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Perubahan daya dukung yang dialami oleh tanah yang diteliti menggunakan metode DCM dengan adanya variasi kadar semen (7,5%, 10%, 15%, 20%) meningkat. Peningkatan daya dukung yang dialami oleh tanah sampel sebanding dengan peningkatan kadar semen yang diberikan. Berdasarkan hasil uji pembebanan diperoleh nilai daya dukung terendah sebesar 0,20 kg/cm<sup>2</sup> pada variasi kadar semen 7,5%, serta untuk nilai daya dukung tertinggi sebesar 0,72 kg/cm<sup>2</sup> pada variasi kadar semen 20%.
2. Perubahan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI) yang dialami oleh tanah yang diteliti menggunakan metode DCM dengan adanya variasi kadar semen meningkat. Peningkatan nilai *Bearing Capacity Improvement* (BCI) yang dialami oleh tanah sampel sebanding dengan peningkatan kadar semen yang diberikan. Berdasarkan hasil uji pembebanan diperoleh nilai BCI terendah sebesar 0% pada variasi kadar semen 7,5%, serta untuk nilai BCI tertinggi sebesar 260% pada variasi kadar semen 20%.

#### 5.2 Saran

Dalam pelaksanaannya penelitian ini dilaksanakan oleh penulis tidak luput dari kesalahan, maka dari itu, berikut beberapa saran yang dapat disampaikan penulis untuk penelitian selanjutnya mengenai stabilisasi tanah dengan menggunakan metode Deep Cement Mixing (DCM) :

1. Dalam pelaksanaan penelitian diperlukan alat pengaduk (*mixer*) yang lebih efektif sehingga pada proses pencampuran tanah, semen, dan air dapat tercampur dengan rata.
2. Pada saat pelaksanaan pengujian diperlukan alat pemberi tekanan untuk tanah sampel yang lebih akurat agar beban yang diberikan kepada tanah sampel dapat lebih tepat sesuai dengan rancangan yang di rencanakan.



3. Dalam proses pelaksanaan penelitian diperlukan lokasi kerja yang konsisten keadaannya agar tidak mempengaruhi kadar air pada sampel tanah sehingga hasil yang diperoleh dapat lebih akurat.



## Daftar Pustaka

- Andriani, R. Yuliet dan F.L.Fernandez. 2012. *Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah*. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 8, No. 1, 43. 2012. ISSN : 1858-2133. Padang : Universitas Andalas.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Bowles, J. 1984. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta.
- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Citra, Ismiralda 2017. *Perbaikan Tanah Ekspansif Dengan Metode DSM Pola Single Square Menggunakan Penambahan Kapur Variasi Kedalaman dan Jarak ( $D = 4 \text{ cm}$ ) Terhadap Daya Dukung dan Pengembangan*. Skripsi. Dipublikasikan. 24-26. Malang : Universitas Brawijaya.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta : Erlangga.
- Dokuchaev, Vasily Vasilievich. 1867. *Soil Institute*. Moscow.
- Dr. Ir. H. Darwis. Msc. 2017. *“Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah”*.
- Ghosh, A., Samanta, M., Sharma, S., Jain, S. K., Kumar, D. 2011. *Estimation of Uncinfned Compressive Strength of Cement Treated Soft Indian Coastal Clay*. Proceeding of Indian Geotechnical Conference. Paper No. S-323.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah 2*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hartosukma, Endang, W. 2005. *Perilaku Lempung Ekspansif Akibat Penambahan Semen dan Fly Ash Sebagai Stabilizing Agent*. Master's Thesis : Universitas Diponegoro.
- Kezdi, A. 1979. *Stabilization Earth Roads*, Elvesier Scientific Publishing Company, New York.
- Kosche, Mirza. 2004. *A Laboratory Model Study on the Transition Zone and the Boundary Layer Around Lime-Cement Columns in Kaolin Clay*. Msc Thesis Division of Soil and Rock Mechanics. Stockholm: Royal Institute of Technology.



Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B, 2002, *Panduan Geoteknik 1 : Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.

Prasetyo, Y. E. 2018. *Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu dan Kapur Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus : Tanah Bhonegoro)*. Malang: Universitas Brawijaya.

Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pertja.

Terzaghi, Karl., Ralph Brazelton Peck. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Penerbit Wiley.

Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM

Wesley, L. D. 1973. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Percetakan Umum. Jakarta.

Yulianda, A. 2017. *Penggunaan Deep Soil Mixing (Tanah Lempung + 4% Limbah Karbit + 4% Limbah Abu Sekam Padi) Untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah Gambut*. Skripsi. Dipublikasikan. 26. Palembang: Universitas Sriwijaya.

Zaika, Yulvi. Harimurti. Fahara, Adista. Safira, Nisa. Darmawan, Wahid. 2019. *The Effect of Cement to Develop Strength of Grati Soft Soil*. International Journal of GEOMATE

Zaika, Yulvi. Rachmansyah, A. Harimurti. 2019. *Geotechnical Behaviour of Soft Soil in East Java, Indonesia*. Dipublikasi. Indonesia: Universitas Brawijaya.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji Pembebanan

1. Uji Pembebanan Pada Presentase Kadar Semen 7,5%

No.	Beban (kg)	Tekanan (kg/mm <sup>2</sup> )	Pembacaan LVDT (mm)		Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
			Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	0	46.16	47.22	46.160	47.220	0.000	0.000
			46.16	47.22				
			46.16	47.22				
2	50	0.0002	39.81	38.66	39.820	38.667	6.340	8.553
			39.82	38.67				
			39.83	38.67				
3	100	0.0004	38.69	37.21	38.693	37.217	7.467	10.003
			38.69	37.22				
			38.7	37.22				
4	150	0.0006	37.61	36.05	37.640	36.097	8.520	11.123
			37.65	36.1				
			37.66	36.14				
5	200	0.0008	36.8	34.78	36.797	34.773	9.363	12.447
			36.8	34.77				
			36.79	34.77				
6	250	0.001	36.05	34.1	36.040	34.097	10.120	13.123
			36.04	34.1				
			36.03	34.09				
7	300	0.0012	35.17	33.34	35.167	33.340	10.993	13.880
			35.17	33.34				
			35.16	33.34				
8	350	0.0014	34.36	32.63	34.350	32.617	11.810	14.603
			34.34	32.61				
			34.35	32.61				
9	400	0.0016	33.45	31.82	33.437	31.810	12.723	15.410
			33.43	31.81				
			33.43	31.8				
10	450	0.0018	32.53	30.99	32.507	30.963	13.653	16.257
			32.5	30.96				
			32.49	30.94				
11	500	0.002	31.47	29.97	31.457	29.937	14.703	17.283
			31.45	29.93				
			31.45	29.91				
12	550	0.0022	29.39	27.3	29.320	27.293	16.840	19.927
			29.29	27.29				
			29.28	27.29				



13	600	0.0024	26.39	24.55	26.317	24.490	19.843	22.730
			26.31	24.47				
			26.25	24.45				
14	650	0.0026	23.73	22.13	23.673	22.103	22.487	25.117
			23.67	22.1				
			23.62	22.08				
15	681	0.002724	19.4	17.88	19.310	17.860	26.850	29.360
			19.3	17.85				
			19.23	17.85				

## 2. Uji Pembebanan Pada Presentase Kadar Semen 10%

No.	Beban (kg)	Tekanan (kg/mm <sup>2</sup> )	Pembacaan LVDT (mm)		Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
			Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	0	44.79	45.97	44.790	45.970	0.000	0.000
			44.79	45.97				
			44.79	45.97				
2	25	0.0001	44.62	45.46	44.620	45.443	0.170	0.527
			44.62	45.44				
			44.62	45.43				
3	50	0.0002	43.23	44.67	43.203	44.670	1.587	1.300
			43.2	44.67				
			43.18	44.67				
4	75	0.0003	42.3	44.45	42.260	44.450	2.530	1.520
			42.24	44.45				
			42.24	44.45				
5	100	0.0004	41.25	44.26	41.203	44.267	3.587	1.703
			41.18	44.27				
			41.18	44.27				
6	125	0.0005	40.14	44.1	40.080	44.107	4.710	1.863
			40.07	44.11				
			40.03	44.11				
7	150	0.0006	39.45	43.95	39.413	43.950	5.377	2.020
			39.41	43.95				
			39.38	43.95				
8	175	0.0007	38.73	43.8	38.687	43.800	6.103	2.170
			38.68	43.8				
			38.65	43.8				
9	200	0.0008	37.92	43.66	37.860	43.663	6.930	2.307
			37.85	43.66				
			37.81	43.67				
10	225	0.0009	37.36	43.37	37.337	43.350	7.453	2.620
			37.33	43.34				
			37.32	43.34				
11	250	0.001	36.72	42.11	36.727	42.097	8.063	3.873
			36.73	42.1				
			36.73	42.08				
12	275	0.0011	36.24	41.7	36.227	41.690	8.563	4.280
			36.23	41.69				
			36.21	41.68				
13	300	0.0012	35.65	41.4	35.610	41.400	9.180	4.570
			35.6	41.4				
			35.58	41.4				

14	325	0.0013	34.93	41.08	34.903	41.087	9.887	4.883
			34.9	41.09				
			34.88	41.09				
15	350	0.0014	34.5	40.86	34.467	40.860	10.323	5.110
			34.46	40.86				
			34.44	40.86				
16	375	0.0015	33.99	40.49	33.953	40.490	10.837	5.480
			33.94	40.49				
			33.93	40.49				
17	400	0.0016	33.34	40.05	33.297	40.050	11.493	5.920
			33.28	40.05				
			33.27	40.05				
18	425	0.0017	32.47	39.47	32.433	39.537	12.357	6.433
			32.43	39.57				
			32.4	39.57				
19	450	0.0018	31.71	39.2	31.657	39.200	13.133	6.770
			31.65	39.2				
			31.61	39.2				
20	475	0.0019	30.64	38.68	30.607	38.687	14.183	7.283
			30.6	38.69				
			30.58	38.69				
21	500	0.002	29.69	38.29	29.643	38.293	15.147	7.677
			29.64	38.29				
			29.6	38.3				
22	525	0.0021	26.72	37.49	26.653	37.493	18.137	8.477
			26.64	37.49				
			26.6	37.5				
23	550	0.0022	25.6	37.1	25.480	37.140	19.310	8.830
			25.45	37.16				
			25.39	37.16				
24	575	0.0023	18.36	35.3	18.160	35.387	26.630	10.583
			18.09	35.52				
			18.03	35.34				
25	600	0.0024	13	34.44	12.403	34.447	32.387	11.523
			12.13	34.45				
			12.08	34.45				
26	625	0.0025	3.06	32.81	3.033	32.793	41.757	13.177
			3.03	32.78				
			3.01	32.79				

### 3. Uji Pembebanan Pada Presentase Kadar Semen 15%

No.	Beban (kg)	Tekanan (kg/mm <sup>2</sup> )	Pembacaan LVDT (mm)		Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
			Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	0	40.17	37.8	40.170	37.800	0.000	0.000
			40.17	37.8				
			40.17	37.8				
2	25	0.0001	39.7	37.03	39.693	37.020	0.477	0.780
			39.69	37.02				
			39.69	37.01				
3	50	0.0002	36.88	33.26	36.870	33.263	3.300	4.537
			36.87	33.27				
			36.86	33.26				



4	75	0.0003	36.58	32.84	36.573	32.830	3.597	4.970
			36.57	32.83				
			36.57	32.82				
5	100	0.0004	36.18	32.27	36.180	32.263	3.990	5.537
			36.18	32.26				
			36.18	32.26				
6	125	0.0005	35.93	31.84	35.930	31.827	4.240	5.973
			35.93	31.82				
			35.93	31.82				
7	150	0.0006	35.65	31.34	35.650	31.330	4.520	6.470
			35.65	31.33				
			35.65	31.32				
8	175	0.0007	35.4	30.9	35.403	30.883	4.767	6.917
			35.4	30.88				
			35.41	30.87				
9	200	0.0008	35.12	30.42	35.120	30.403	5.050	7.397
			35.12	30.4				
			35.12	30.39				
10	225	0.0009	34.98	30.16	34.980	30.150	5.190	7.650
			34.98	30.15				
			34.98	30.14				
11	250	0.001	34.82	29.95	34.820	29.940	5.350	7.860
			34.82	29.94				
			34.82	29.93				
12	275	0.0011	34.63	29.7	34.630	29.697	5.540	8.103
			34.63	29.7				
			34.63	29.69				
13	300	0.0012	34.39	29.42	34.390	29.417	5.780	8.383
			34.39	29.42				
			34.39	29.41				
14	325	0.0013	34.23	29.22	34.230	29.210	5.940	8.590
			34.23	29.21				
			34.23	29.2				
15	350	0.0014	34.07	29	34.070	28.993	6.100	8.807
			34.07	28.99				
			34.07	28.99				
16	375	0.0015	33.89	28.77	33.890	28.760	6.280	9.040
			33.89	28.76				
			33.89	28.75				
17	400	0.0016	33.7	28.5	33.707	28.493	6.463	9.307
			33.71	28.49				
			33.71	28.49				
18	425	0.0017	33.61	28.32	33.610	28.320	6.560	9.480
			33.61	28.32				
			33.61	28.32				
19	450	0.0018	33.47	28.14	33.470	28.120	6.700	9.680
			33.47	28.13				
			33.47	28.09				

20	475	0.0019	33.28	27.84	33.280	27.820	6.890	9.980
			33.28	27.82				
			33.28	27.8				
21	500	0.002	33.12	27.55	33.120	27.540	7.050	10.260
			33.12	27.54				
			33.12	27.53				
22	525	0.0021	33.06	27.41	33.060	27.407	7.110	10.393
			33.06	27.41				
			33.06	27.4				
23	550	0.0022	32.93	27.21	32.930	27.200	7.240	10.600
			32.93	27.2				
			32.93	27.19				
24	575	0.0023	32.77	26.97	32.770	26.963	7.400	10.837
			32.77	26.96				
			32.77	26.96				
25	600	0.0024	32.63	26.77	32.630	26.763	7.540	11.037
			32.63	26.76				
			32.63	26.76				
26	625	0.0025	32.52	26.59	32.520	26.590	7.650	11.210
			32.52	26.59				
			32.52	26.59				
27	650	0.0026	32.37	26.39	32.370	26.383	7.800	11.417
			32.37	26.38				
			32.37	26.38				
28	675	0.0027	32.21	26.21	32.203	26.190	7.967	11.610
			32.2	26.19				
			32.2	26.17				
29	700	0.0028	32.06	26.03	32.053	26.013	8.117	11.787
			32.05	26.01				
			32.05	26				
30	725	0.0029	31.9	25.81	31.900	25.807	8.270	11.993
			31.9	25.81				
			31.9	25.8				
31	750	0.003	31.7	25.55	31.700	25.543	8.470	12.257
			31.7	25.54				
			31.7	25.54				
32	775	0.0031	31.57	25.37	31.577	25.367	8.593	12.433
			31.58	25.37				
			31.58	25.36				
33	800	0.0032	31.43	25.18	31.427	25.170	8.743	12.630
			31.43	25.17				
			31.42	25.16				
34	825	0.0033	31.29	24.98	31.290	24.973	8.880	12.827
			31.29	24.97				
			31.29	24.97				
35	850	0.0034	31.1	24.75	31.100	24.740	9.070	13.060
			31.1	24.74				
			31.1	24.73				



36	875	0.0035	30.94	24.51	30.940	24.510	9.230	13.290
			30.94	24.51				
			30.94	24.51				
37	900	0.0036	30.78	24.32	30.780	24.317	9.390	13.483
			30.78	24.32				
			30.78	24.31				
38	925	0.0037	30.56	24.08	30.567	24.070	9.603	13.730
			30.57	24.07				
			30.57	24.06				
39	950	0.0038	30.43	23.84	30.430	23.837	9.740	13.963
			30.43	23.84				
			30.43	23.83				
40	975	0.0039	30.25	23.57	30.233	23.530	9.937	14.270
			30.23	23.52				
			30.22	23.5				
41	1000	0.004	30.08	23.31	30.080	23.307	10.090	14.493
			30.08	23.31				
			30.08	23.3				
42	1025	0.0041	29.99	23.16	29.990	23.153	10.180	14.647
			29.99	23.15				
			29.99	23.15				
43	1050	0.0042	29.88	22.99	29.880	22.983	10.290	14.817
			29.88	22.98				
			29.88	22.98				
44	1075	0.0043	29.73	22.66	29.730	22.653	10.440	15.147
			29.73	22.65				
			29.73	22.65				
45	1100	0.0044	29.54	22.41	29.540	22.407	10.630	15.393
			29.54	22.41				
			29.54	22.4				
46	1125	0.0045	29.36	22.18	29.363	22.170	10.807	15.630
			29.36	22.17				
			29.37	22.16				
47	1150	0.0046	29.2	21.93	29.207	21.930	10.963	15.870
			29.21	21.93				
			29.21	21.93				
48	1175	0.0047	29.08	21.72	29.080	21.720	11.090	16.080
			29.08	21.72				
			29.08	21.72				
49	1200	0.0048	28.87	21.43	28.870	21.423	11.300	16.377
			28.87	21.42				
			28.87	21.42				
50	1225	0.0049	28.69	21.17	28.690	21.170	11.480	16.630
			28.69	21.17				
			28.69	21.17				
51	1250	0.005	28.5	20.96	28.500	20.953	11.670	16.847
			28.5	20.95				
			28.5	20.95				

52	1300	0.0052	28.11	20.52	28.110	20.513	12.060	17.287
			28.11	20.52				
			28.11	20.5				
53	1350	0.0054	27.85	20.23	27.833	20.223	12.337	17.577
			27.83	20.22				
			27.82	20.22				
54	1400	0.0056	27.47	19.9	27.440	19.900	12.730	17.900
			27.43	19.9				
			27.42	19.9				
55	1450	0.0058	26.91	19.51	26.887	19.537	13.283	18.263
			26.88	19.5				
			26.87	19.6				
56	1500	0.006	26.22	19.02	26.193	18.997	13.977	18.803
			26.2	18.99				
			26.16	18.98				
57	1550	0.0062	25.08	18.14	25.000	18.140	15.170	19.660
			24.98	18.14				
			24.94	18.14				
58	1594	0.006376	18.14	15.35	18.090	15.370	22.080	22.430
			18.09	15.37				
			18.04	15.39				
59	1600	0.0064	13.46	13.08	13.420	13.080	26.750	24.720
			13.41	13.08				
			13.39	13.08				

## 4. Uji Pembebanan Pada Presentase Kadar Semen 20%

No.	Beban (kg)	Tekanan (kg/mm <sup>2</sup> )	Pembacaan LVDT (mm)		Rerata Bacaan LVDT (mm)		Penurunan (mm)	
			Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
1	0	0	53.42	43.72	53.420	43.720	0.000	0.000
			53.42	43.72				
			53.42	43.72				
2	50	0.0002	52.04	41.53	52.040	41.510	1.380	2.210
			52.04	41.51				
			52.04	41.49				
3	100	0.0004	51.21	39.82	51.197	39.807	2.223	3.913
			51.2	39.82				
			51.18	39.78				
4	150	0.0006	50.22	38.78	50.210	38.777	3.210	4.943
			50.21	38.78				
			50.2	38.77				
5	200	0.0008	49.73	38.15	49.727	38.140	3.693	5.580
			49.72	38.14				
			49.73	38.13				



6	250	0.001	49.25	37.64	49.243	37.617	4.177	6.103
			49.24	37.61				
			49.24	37.6				
7	300	0.0012	48.78	37.15	48.787	37.120	4.633	6.600
			48.79	37.11				
			48.79	37.1				
8	350	0.0014	48.41	36.73	48.410	36.707	5.010	7.013
			48.41	36.71				
			48.41	36.68				
9	400	0.0016	48.01	36.38	48.010	36.377	5.410	7.343
			48.01	36.38				
			48.01	36.37				
10	450	0.0018	47.61	36.03	47.610	36.010	5.810	7.710
			47.61	36				
			47.61	36				
11	500	0.002	47.2	35.68	47.207	35.663	6.213	8.057
			47.21	35.66				
			47.21	35.65				
12	550	0.0022	46.86	35.36	46.867	35.353	6.553	8.367
			46.87	35.35				
			46.87	35.35				
13	600	0.0024	46.48	35.07	46.480	35.060	6.940	8.660
			46.48	35.06				
			46.48	35.05				
14	650	0.0026	46.07	34.82	46.070	34.817	7.350	8.903
			46.07	34.82				
			46.07	34.81				
15	700	0.0028	45.74	34.58	45.733	34.573	7.687	9.147
			45.73	34.57				
			45.73	34.57				
16	750	0.003	45.4	34.35	45.393	34.350	8.027	9.370
			45.39	34.35				
			45.39	34.35				
17	800	0.0032	45.07	34.14	45.067	34.140	8.353	9.580
			45.07	34.14				
			45.06	34.14				
18	850	0.0034	44.73	33.94	44.717	33.937	8.703	9.783
			44.71	33.94				
			44.71	33.93				
19	900	0.0036	44.35	33.7	44.343	33.687	9.077	10.033
			44.35	33.68				
			44.33	33.68				
20	950	0.0038	43.94	33.37	43.890	33.373	9.530	10.347
			43.87	33.37				
			43.86	33.38				

21	1000	0.004	43.31	33.05	43.303	33.043	10.117	10.677
			43.31	33.04				
			43.29	33.04				
22	1050	0.0042	42.95	32.81	42.940	32.810	10.480	10.910
			42.94	32.81				
			42.93	32.81				
23	1100	0.0044	42.52	32.55	42.500	32.543	10.920	11.177
			42.49	32.54				
			42.49	32.54				
24	1150	0.0046	42.13	32.32	42.123	32.320	11.297	11.400
			42.12	32.32				
			42.12	32.32				
25	1200	0.0048	41.78	32.07	41.767	32.063	11.653	11.657
			41.77	32.06				
			41.75	32.06				
26	1250	0.005	41.45	31.85	41.440	31.843	11.980	11.877
			41.44	31.84				
			41.43	31.84				
27	1300	0.0052	41.06	31.59	41.037	31.587	12.383	12.133
			41.04	31.59				
			41.01	31.58				
28	1350	0.0054	40.61	31.3	40.590	31.297	12.830	12.423
			40.58	31.3				
			40.58	31.29				
29	1400	0.0056	40.22	31.05	40.207	31.027	13.213	12.693
			40.2	31.02				
			40.2	31.01				
30	1450	0.0058	39.69	30.59	39.677	30.577	13.743	13.143
			39.67	30.57				
			39.67	30.57				
31	1500	0.006	39.18	30.15	39.167	30.137	14.253	13.583
			39.17	30.13				
			39.15	30.13				
32	1550	0.0062	38.63	29.72	38.613	29.727	14.807	13.993
			38.61	29.73				
			38.6	29.73				
33	1600	0.0064	38.03	29.33	38.017	29.330	15.403	14.390
			38.03	29.33				
			37.99	29.33				
34	1650	0.0066	37.59	29.06	37.553	29.060	15.867	14.660
			37.55	29.06				
			37.52	29.06				
35	1700	0.0068	36.87	28.71	36.800	28.713	16.620	15.007
			36.79	28.71				
			36.74	28.72				



36	1750	0.007	35.85	28.27	35.713	28.310	17.707	15.410
			35.68	28.32				
			35.61	28.34				
37	1800	0.0072	33.32	28.05	33.157	28.080	20.263	15.640
			33.11	28.09				
			33.04	28.1				
38	1835	0.00734	21.02	29.92	20.960	29.913	32.460	13.807
			20.95	29.91				
			20.91	29.91				

5. Uji Tekan Tanah Perbaikan (Kadar Semen 10%)

LVDT Awal (mm)			
kiri		kanan	
38.74		22.93	
LVDT Runtuh (mm)			
Kiri		Kanan	
19.61	19.61	7.81	7.81
19.51		7.78	
19.49		7.77	
Penurunan (mm)			
kiri		kanan	
19.13		15.12	
17.13			
Proving Ring Runtuh (Div)			
59			
Hasil Kalibrasi (lbf)			
201.249			
Beban Maksimum (kgf)			
91.28493641			
Luas Permukaan (0,25 x p x d x d)			
181.5314286			
Kuat Tekan Maksimum (kg/cm <sup>2</sup> )			
0.502860233			

Lampiran 2 Hasil Uji Kadar Air

1. Kadar Air Tanah Asli Sampel Pada Kadar Semen 7,5% saat Uji Pembebanan

Container no. (cup)		1	2	3	4
Mass of cup + wet soil	gram	30.27	23.08	28.7	22.33
Mass of cup + dry soil	gram	20.11	14.11	17.25	13.67
Mass of cup	gram	8.18	4.15	4.17	4.04
Mass of dry soil, Ms	gram	11.93	9.96	13.08	9.63
Mass of water, Mw	gram	10.16	8.97	11.45	8.66
Water content, w %	%	85.16	90.06	87.54	89.93
WC Average, %	%	88.17			

2. Kadar Air Tanah Asli Sampel Pada Kadar Semen 10% saat Uji Pembebanan

Container no. (cup)		1	2	3
Mass of cup + wet soil	gram	14.47	11.66	16.9
Mass of cup + dry soil	gram	9.7	7.58	11.42
Mass of cup	gram	4.22	3	6.08
Mass of dry soil, Ms	gram	5.48	4.58	5.34
Mass of water, Mw	gram	4.77	4.08	5.48
Water content, w %	%	87.04	89.08	102.62
WC Average, %	%	92.92		

3. Kadar Air Tanah Asli Sampel Pada Kadar Semen 15% saat Uji Pembebanan

Container no. (cup)		1	2	3
Mass of cup + wet soil	gram	50.83	46.49	51.1
Mass of cup + dry soil	gram	33.89	31.02	33.52
Mass of cup	gram	14.45	13.83	14.16
Mass of dry soil, Ms	gram	19.44	17.19	19.36
Mass of water, Mw	gram	16.94	15.47	17.58
Water content, w %	%	87.14	89.99	90.81
WC Average, %	%	89.31		

4. Kadar Air Tanah Asli Sampel Pada Kadar Semen 20% saat Uji Pembebanan

Container no. (cup)		1	2	3
Mass of cup + wet soil	gram	10.01	16.38	29.27
Mass of cup + dry soil	gram	7.26	10.6	18.16
Mass of cup	gram	4.26	4.29	5.92
Mass of dry soil, Ms	gram	3	6.31	12.24
Mass of water, Mw	gram	2.75	5.78	11.11
Water content, w %	%	91.67	91.60	90.77
WC Average, %	%	91.35		



5. Kadar Air Tanah Perbaikan Bagian Pinggir Pada Kadar Semen 7,5% setelah Uji Pembebanan

Container no. (cup)		1	2
Mass of cup + wet soil	gram	15.88	13.52
Mass of cup + dry soil	gram	10	10.02
Mass of cup	gram	2.92	5.66
Mass of dry soil, Ms	gram	7.08	4.36
Mass of water, Mw	gram	5.88	3.5
Water content, w %	%	83.05	80.28
WC Average, %	%	81.66	

6. Kadar Air Tanah Perbaikan Bagian Dalam Pada Kadar Semen 7,5% setelah Uji Pembebanan

Container no. (cup)		1	2
Mass of cup + wet soil	gram	24.6	10.1
Mass of cup + dry soil	gram	15.93	7.54
Mass of cup	gram	5.6	4.2
Mass of dry soil, Ms	gram	10.33	3.34
Mass of water, Mw	gram	8.67	2.56
Water content, w %	%	83.93	76.65
WC Average, %	%	80.29	

## Lampiran 3 Dokumentasi Pengujian

1. Tahap persiapan sampel perbaikan (melakukan pengeringan dan penumbukan tanah)



2. Tahap pembuatan sampel perbaikan (melakukan pengadukan campuran tanah, air, dan semen)



3. Tahap mencetak dan curing sampel





4. Tahap persiapan Uji Pembebanan



5. Pelaksanaan Uji Pembebanan





## 6. Sampel perbaikan setelah di Uji Pembebanan



## 7. Uji Tekan (sebelum diberi plat penyalur beban)





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

