

**PENGARUH KADAR AIR DILAPANGAN DAN RATIO AIR - FLY ASH
TERHADAP KEKUATAN DAN PENGEMBANGAN TANAH EKSPANSIF UNTUK
METODE DSM (*DEEP SOIL MIX*)**

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar sarjana teknik



M. AKBAR AL IMAM
NIM. 125060107111019

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

“Pengaruh Kadar Air dilapangan dan Ratio Air-Fly Ash terhadap Kekuatan dan Pengembangan Tanah Ekspansif Untuk Metode DSM (*Deep Soil Mix*)

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Dr.Eng. Indradi W., ST.,M.Eng. (Prac), selaku ketua program studi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT , selaku Dosen Pembimbing I
4. Ir. Suroso Dipl. HE. M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II
5. Pegawai administrasi jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
6. Orang tua, kakak, adik dan keluarga yang telah mendukung dan mendoakan dalam kelancaran penyusunan skripsi
7. Kepala Desa Ngasem Kabupaten Bojonegoro yang memberikan izin pengambilan sampel tanah sehingga melancarkan penelitian
8. Tim Skripsi “Khayangan Team”, Riota, Gombloh, Galih, Dio, Koboy, Lina yang saling bekerja sama sehingga melancarkan pelaksanaan penelitian dan penyelesaian skripsi.
9. Keluarga Secondhome yang telah membantu selama proses pelaksanaan penelitian dan pengerjaan skripsi.
10. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil dan Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2012 serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan, khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa sebagai tambahan ilmu pengetahuan. Apabila terdapat kekurangan pada penulisan tugas akhir ini, penulis meminta maaf. Terima Kasih

Malang, Januari 2017



Penulis

RINGKASAN

Muhammad Akbar Al Imam, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2016, *Pengaruh Kadar Air di Lapangan dan Ratio Air-Fly ash terhadap Kekuatan dan Pengembangan Tanah Ekspansif untuk Metode DSM (Deep soil Mix)*, Dosen Pembimbing: Yulvi Zaika dan Suroso.

Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung tanah yang rendah pada kondisi muka air yang tinggi, sifat kembang susut (*swelling*) yang besar dan plastisitas yang tinggi. Selain itu, karena sifat kembang susut yang cukup besar pada tanah lempung ekspansif mengakibatkan terjadinya penurunan (*deformasi*) yang sering kali tidak dapat dipikul oleh kekokohan struktur di atasnya. Salah satu metode stabilisasi tanah yang digunakan dalam upaya untuk memperbaiki mutu tanah yang kurang baik antara lain yaitu stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara menambahkan *stabilizing agents* pada tanah dasar yang akan ditingkatkan mutunya. *Stabilizing agents* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash*. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu, untuk mengetahui nilai kuat geser terbesar yang diberikan variasi pada kadar air.

Pada penelitian ini objek yang diamati adalah, tanah lempung ekspansif dengan penambahan 15% *fly ash* dan variasi kadar air. Variasi kadar air yang diberikan pada campuran tanah lempung dengan *fly ash* adalah 25,8%, 22,8%, 18,8%, 14,8%, 10,8% dari berat isi kering tanah. Pada penelitian ini sampel yang telah dibuat akan di uji pengembangan (*swelling*), dan *unconfined compression test*.

Dari hasil pengujian benda uji, didapatkan pada sampel tanah lempung ekspansif dengan 15% *fly ash* dan kadar air 18,8% memiliki nilai kuat tekan dan kuat geser terbesar dibandingkan dengan variasi kadar air yang lainnya. Nilai kuat tekan bebas (q_u) dan kuat geser (c_u) tanah kondisi unsoaked dan soaked mengalami peningkatan pada penambahan *fly ash* 15% dengan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai q_u dan c_u pada pengurangan kadar air dibawah 18,8%, semakin besar penambahan kadar air maka semakin kecil nilai pengembangan (*swelling*).

Kata - kata kunci : Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, *Fly Ash*, *Unconfined Compression Test*, *Swelling*.

SUMMARY

Muhammad Akbar Al Imam, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Brawijaya University, August 2016, The Effect of Natural Water Content and Ratio of Water – Fly Ash on Expansive Clay Stabilization Method for DSM (Deep Soil Mix), Academic Supervisor: Yulvi Zaika and Suroso.*

Expansive clay has low soil bearing capacity on condition that the high water level, the nature and development of swelling were large and high plasticity. In addition, because of the nature and development of sizeable losses on expansive clay resulting in deformation which often cannot be shouldered by the robustness of the structure above. One method of stabilization of the soil used in an attempt to improve the quality of the soil is poor, among others, chemical stabilization. Chemical stabilization is done by adding stabilizing agents on the basis of land that will be upgraded. Stabilizing agents used in this study are fly ash. The purpose of this study is to identify the largest value of shear strength given variations in water content.

In this study, the object being observed is, expansive clay with the addition of 15% fly ash and moisture content variations. Variations in water levels are given on a mixture of clay with fly ash was 25,8%, 22,8%, 18,8%, 14,8%, and 10,8% of the dry weight of the soil. In this study the samples that have been made will be in test swelling, and the unconfined compression test.

The results of the test specimen, obtained on a sample of expansive clay with 15% fly ash and water content of 18,8% has the compressive strength and shear strength compared to the largest variety of other water content. The unconfined compressive strength (q_u) and shear strength (c_u) soil conditions unsoaked and soaked an increase in the addition of fly ash 15% to a moisture content of 18,8%, then impaired q_u and c_u on the reduction of the moisture content below 18,8%, the larger extra water content, the smaller the value of swelling.

Keywords : Expansive Clay Soil, Soil Stabilization, Fly ash, Unconfined compression test, Swelling.

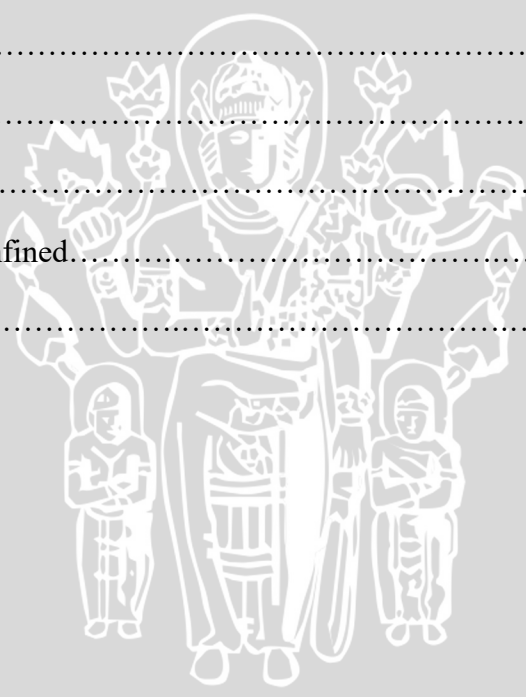
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Rumusan Masalah.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tanah Lempung Ekspansif.....	5
2.1.1 Pengertian Tanah Lempung.....	7
2.1.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan <i>Unified Soil Classification System</i> (USCS).....	8
2.1.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	10
2.2. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif.....	11
2.2.1 Identifikasi Mineralogi.....	11
2.2.2 Cara Tidak Langsung.....	12
2.2.3 Cara Pengukuran Langsung.....	14
2.3. Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Zat Adiktif	14



2.4	Stabilisasi Tanah Lempung Dengan <i>Fly Ash</i>	15
2.5.	Pengujian Indeks Properties Tanah di Laboratorium	17
2.5.1	Analisis Saringan dan Hidrometer.....	17
2.5.2	Kadar Air Tanah (<i>Water Content</i>).....	18
2.5.3	Analisis Saringan dan Hidrometer.....	18
2.5.4	Batas-batas Atterberg (<i>Atteberg Limit</i>).....	19
2.6	Pengembangan (<i>Swelling</i>).....	21
2.7	Uji Tekan Bebas (<i>Unconfined Compression Test</i>)	23
2.8.	Deep Soil Mixing.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2.	Waktu dan Tempat	29
3.3.	Bahan Penelitian.....	30
3.4	Metode Penelitian.....	30
3.4.1	Persiapan Benda Uji.....	30
3.5.	Metode Pengujian.....	31
3.6.	Variabel Penelitian.....	31
3.7.	Metode Analisis Data.....	31
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1.	Pengujian Tanah.....	35
4.1.1.	Pengujian Berat Jenis (<i>Specific gravity</i>).....	35
4.1.2.	Klasifikasi Tanah.....	35
4.1.2.1	Analisis Saringan (<i>Sieve Analysis</i>) dan Hidrometer (<i>Hydrometer Analysis</i>).....	35
4.1.2.2	Pengujian Batas-batas Atterberg(<i>Atterberg Limit</i>).....	36
4.1.2.3	Klasifikasi Tanah Unified	37
4.1.3.	Sifat Ekspansifitas Tanah.....	37

4.1.4.	Kriteria Tanah Lempung Ekspansif.....	38
4.1.5.	Pengujian Pemadatan Standart.....	39
4.2.	Analisis Hasil Penelitian.....	41
4.2.1.	Pengujian Kuat Bebas Tanah (<i>Unconfined</i>).....	41
4.2.2.	Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah (<i>Unconfined</i>) Setelah Pengembangan (<i>Swelling</i>)	47
4.2.3.	Pengujian Pengembangan (<i>Swelling</i>).....	51
BAB V PENUTUP		54
5.1.	Kesimpulan.....	55
5.2.	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN		55
Lampiran 1.	Uji Swelling.....	55
Lampiran 2.	Pengujian Unconfined.....	62
Lampiran 3.	Gambar.....	106





DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Simbol Untuk Klasifikasi USCS	8
Tabel 2.2.	<i>Unified</i> tanah berbutir halus *) menurut USCS	9
Tabel 2.3.	Sistem Klasifikasi Tanah (lanau-lempung) AASHTO	10
Tabel 2.4.	Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP (Chen,1975).....	12
Tabel 2.5.	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI (Raman,1967)	13
Tabel 2.6.	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage limit (Altmeyer, 1955)	13
Tabel 2.7.	Kandungan <i>fly ash</i> PLTU Paiton	16
Tabel 2.8.	Ukuran Saringan menurut ASTM	18
Tabel 2.9.	Berat Jenis Tanah.....	19
Tabel 2.10.	Nilai indeks plastisitas dan macam tanah..	20
Tabel 2.11.	Atterberg Limit Mineral Lempung	21
Tabel 2.12.	Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang	23
Tabel 2.13.	13 Hubungan antara konsistensi tanah dengan kekuatan tanah lempung pada <i>test unconfined compression</i> (UCT).....	24
Tabel 2.14.	Hubungan golongan tanah dengan sensivity	25
Tabel 3.1.	Tabel Standart Pengujian	29
Tabel 3.2.	Hasil Penelitian <i>swelling</i>	31
Tabel 3.3.	Hasil penelitian unconfined	32
Tabel 3.4.	Hasil penelitian unconfined setelah swelling	33
Tabel 4.1.	Specific gravity tanah Kabupaten Bojonegoro	35
Tabel 4.2.	Identifikasi tanah lempung ekspansif.....	39
Tabel 4.3.	Perbandingan qu dan cu dari variasi kadar air	44

Tabel 4.4. peningkatan nilai qu dari tanah asli akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan 45

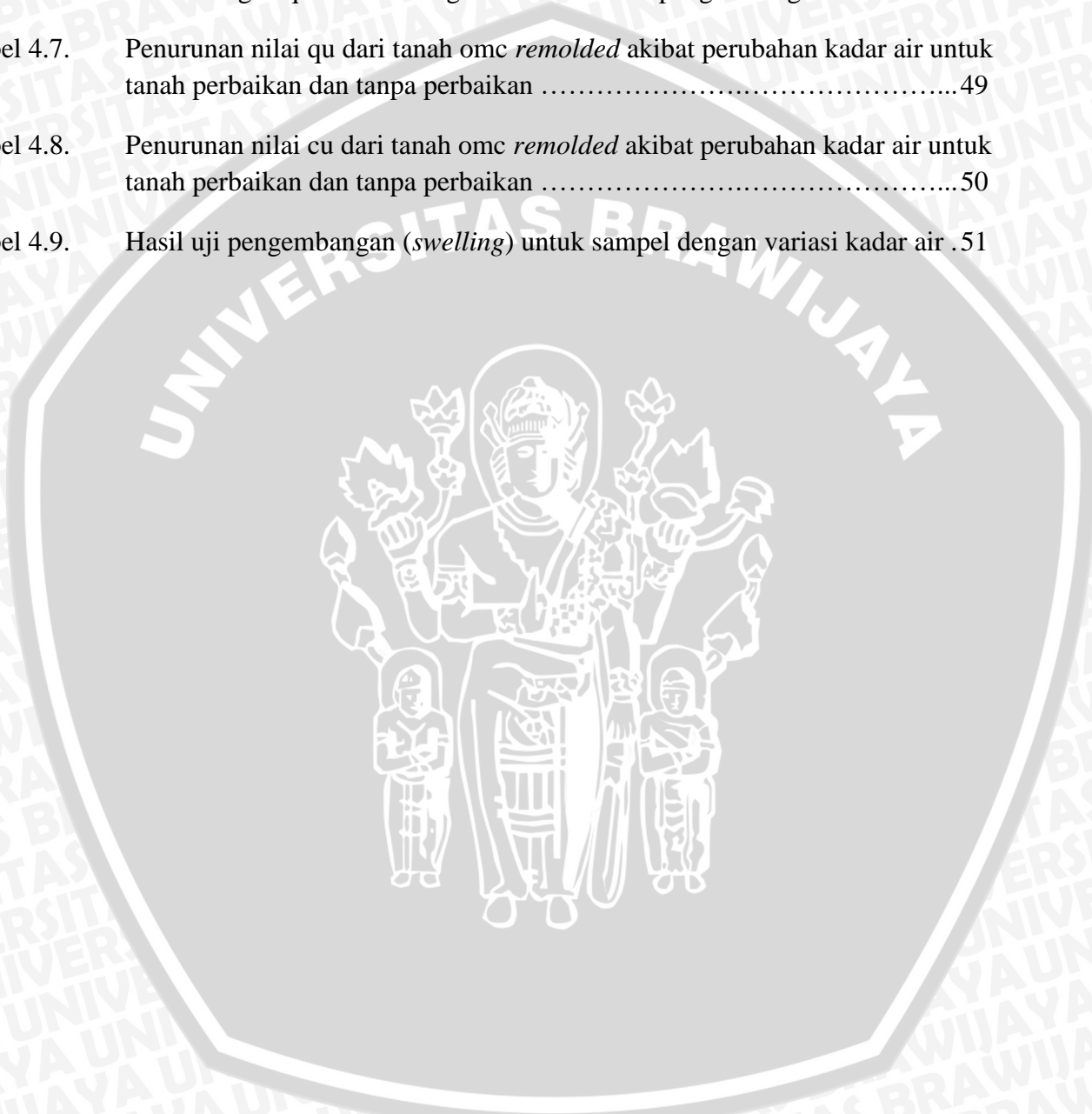
Tabel 4.5. Peningkatan nilai Cu dari tanah asli akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan 46

Tabel 4.6. Perbandingan qu dan Cu dengan variasi setelah pengembangan 48

Tabel 4.7. Penurunan nilai qu dari tanah omc *remolded* akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan49

Tabel 4.8. Penurunan nilai cu dari tanah omc *remolded* akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan50

Tabel 4.9. Hasil uji pengembangan (*swelling*) untuk sampel dengan variasi kadar air .51



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Struktur atom dari kaolinite.....	5
Gambar 2.2.	Struktur atom dari motmorillonite	6
Gambar 2.3.	Gambar struktur: (a) kaolinite; (b) illite; (c) motmorillonite	6
Gambar 2.4.	Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS	9
Gambar 2.5.	Grafik Plastisitas Untuk Klasifikasi Tanah AASHTO.....	11
Gambar 2.6.	Grafik klasifikasi potensi mengembang.....	14
Gambar 2.7.	Pengaruh Penambahan <i>Fly Ash</i> terhadap kekuatan tanah pada <i>curing</i> 28 hari	16
Gambar 2.8.	Hubungan Antara Kadar <i>Fly Ash</i> Dengan <i>Swelling Pressure</i>	17
Gambar 2.9.	Skema Uji batas Cair	19
Gambar 2.10.	Gulungan tanah pada uji batas plastis	20
Gambar 2.11.	Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah di oven	20
Gambar 2.12.	Pengujian <i>Swelling</i>	22
Gambar 2.13.	Sistem pengujian kuat tekan bebas	23
Gambar 2.14.	Proses Deep Soil Mixing (DSM).....	26
Gambar 2.15.	Hasil kolom stabilisasi DSM	26
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1.	Grafik analisis saringan dan hydrometer	36
Gambar 4.2.	Klasifikasi tanah USCS	37
Gambar 4.3.	Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang	38
Gambar 4.4.	Grafik hasil pemadatan tanah asli	40
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan hasil pemadatan tanah asli + 15% <i>fly ash</i>	40
Gambar 4.6.	Grafik hubungan tegangan-regangan tanah <i>undisturbed-remolded</i>	41



Gambar 4.7. Grafik hubungan tegangan-regangan tanah *undistrubed-remolded* yang dipadatkan dengan menggunakan kadar air optimum (OMC).....42

Gambar 4.8. Grafik hubungan tegangan-regangan tanah (*undistrubed,remolded* tanpa perbaikan, remolded dengan perbaikan yang diberi kadar air) 43

Gambar 4.9. Grafik pengaruh kadar air terhadap q_u45

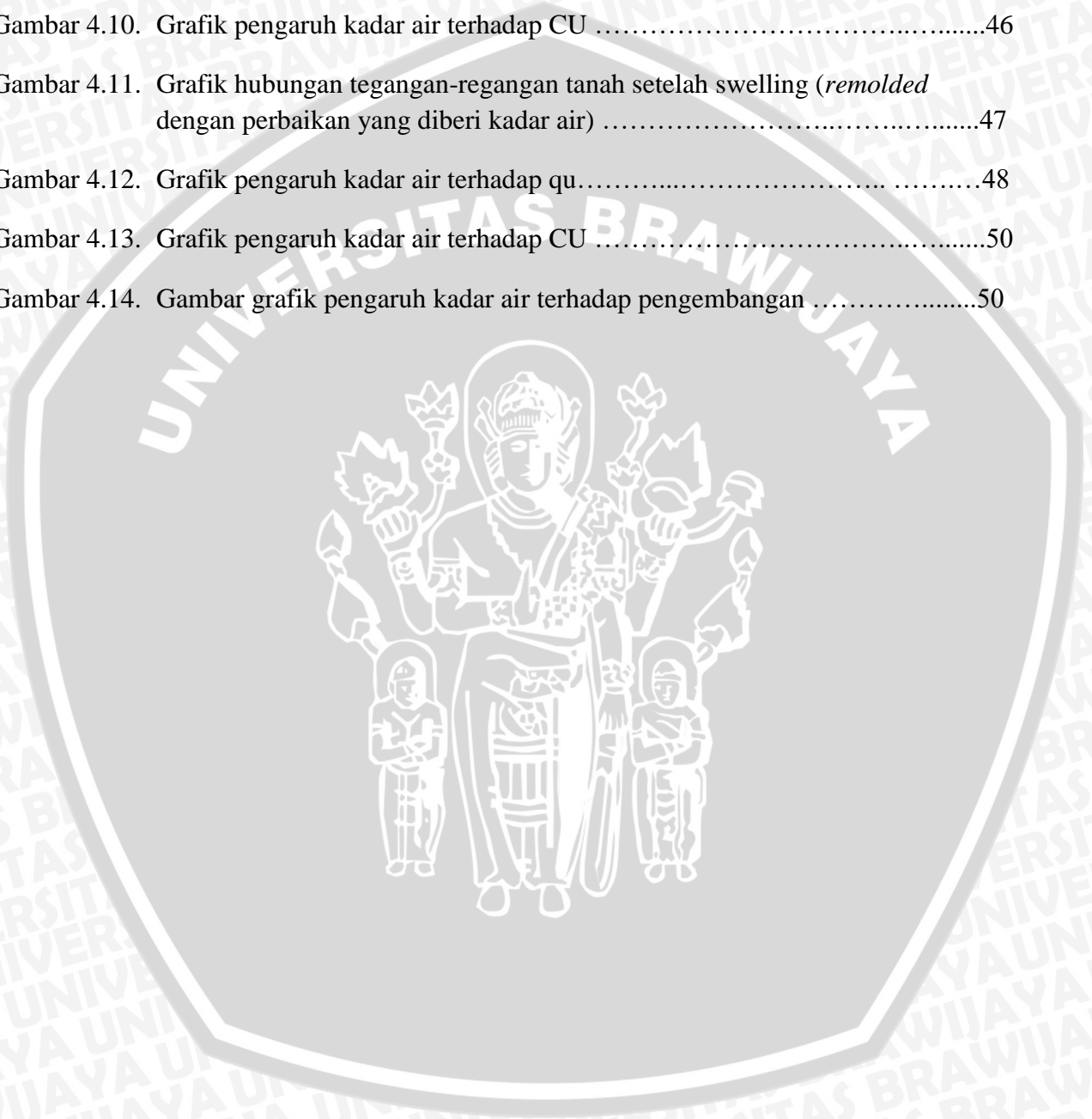
Gambar 4.10. Grafik pengaruh kadar air terhadap CU46

Gambar 4.11. Grafik hubungan tegangan-regangan tanah setelah swelling (*remolded* dengan perbaikan yang diberi kadar air)47

Gambar 4.12. Grafik pengaruh kadar air terhadap q_u48

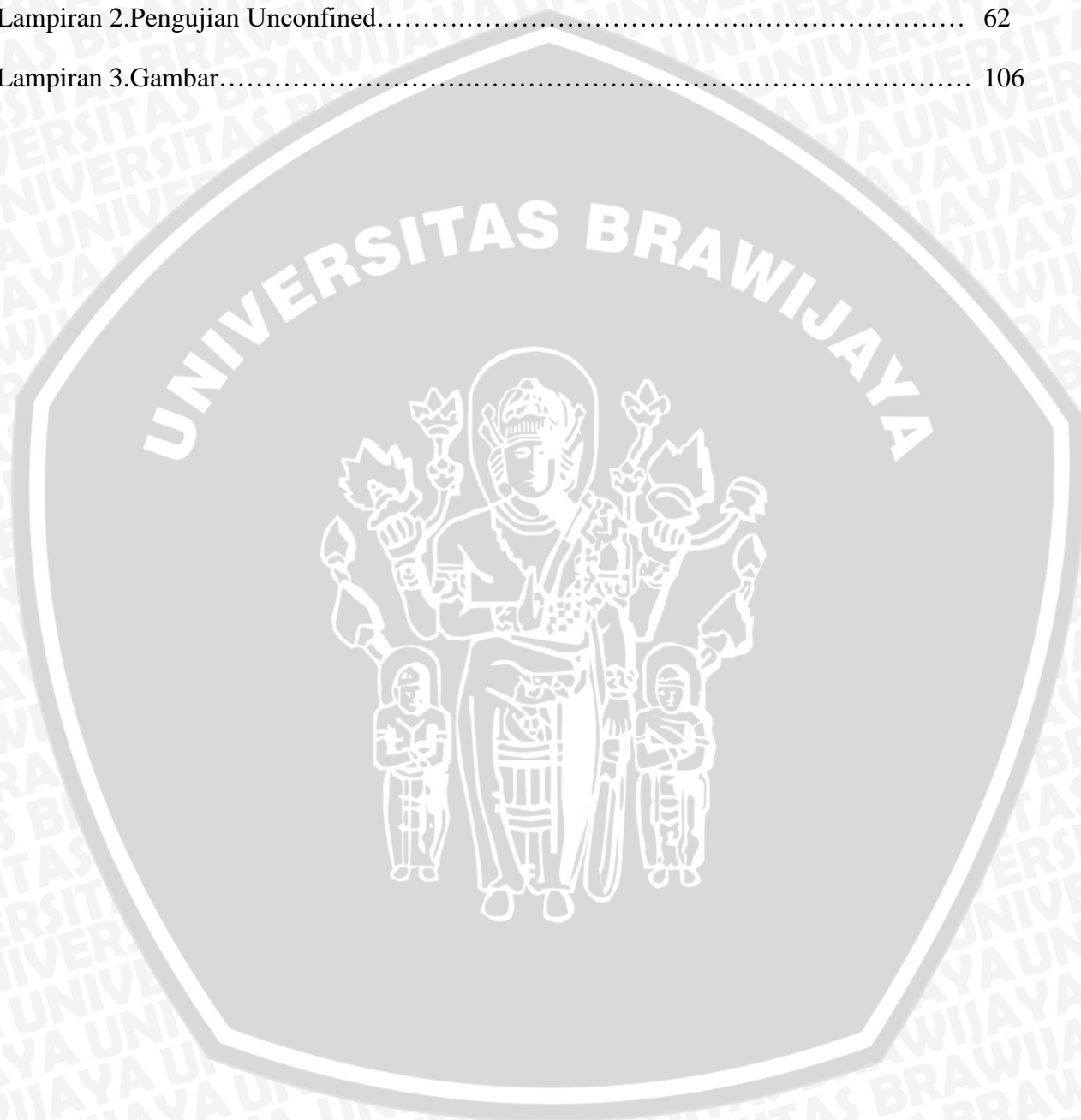
Gambar 4.13. Grafik pengaruh kadar air terhadap CU50

Gambar 4.14. Gambar grafik pengaruh kadar air terhadap pengembangan50



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Uji Swelling.....	55
Lampiran 2.	Pengujian Unconfined.....	62
Lampiran 3.	Gambar.....	106



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada suatu konstruksi di Indonesia tanah berpengaruh dalam perencanaan pembangunannya. Tanah di Indonesia memiliki banyak perbedaan sifat-sifat yang akan mempengaruhi daya dukung pada konstruksinya.

Salah satu jenis tanah yang perlu diperhatikan adalah tanah lempung ekspansif, tanah lempung ekspansif memiliki sifat kembang susut, maksud dari kembang susut tersebut adalah apabila pada musim kemarau tanah lempung ekspansif akan menyusut, dan pada musim hujan tanah lempung ekspansif akan cenderung mengembang, pada konstruksi jalan tanah lempung ekspansif dapat mempengaruhi bentuk jalan, pada saat musim kemarau tanah lempung ekspansif akan menyusut yang mengakibatkan bentuk konstruksi jalan tersebut akan menimbulkan retakan, sedangkan pada saat musim hujan tanah lempung ekspansif akan mengembang yang akan mengakibatkan bentuk konstruksi tersebut menimbulkan gelombang dan tidak rata.

Banyak daerah di Indonesia memiliki jenis tanah lempung ekspansif, kurang lebih 25% dari luasan tanah di Indonesia merupakan tanah lempung ekspansif, untuk di Pulau Jawa tanah lempung ekspansif hampir 20%. Tanah di Daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur adalah salah satu tempat yang jenis tanahnya lempung ekspansif. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan sifat tanah yang lebih stabil pada tanah ekspansif dengan cara menambahkan zat aditif, zat aditif yang dapat digunakan untuk campuran tanah lempung ekspansif ini dengan cara menambahkan *fly ash*

Beberapa penelitian tentang perbaikan tanah lempung ekspansif pernah dilakukan sebelumnya, seperti yang dilakukan gogot setyo budi et al (2003), dalam hasil penelitiannya kandungan *fly ash* yang ditambahkan bervariasi antara 10% sampai 25% dari berat kering tanah. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* kedalam tanah lempung ekspansif dapat menurunkan *specific gravity* (GS), meningkatkan indeks plastisitas (PI), meningkatkan berat volume kering (*dry density*), menurunkan potensi pengembangan (*swelling potential*), dan menaikkan kekuatan tanah.

Menurut penelitian Rio Anggoro (2013) bahwa kadar optimum yang dibutuhkan untuk menstabilisasi tanah adalah sebesar 15%. Dalam penelitiannya dijelaskan untuk pembuktian nilai optimum pada campuran 15% *fly ash*, dilakukan pengujian CBR tak terendam dengan campuran 20% *fly ash* dan hasilnya kekuatan CBR pada campuran 20% menurun lebih rendah daripada kekuatan campuran 15% *fly ash*. Pengujian yang dilakukan untuk stabilisasi tanah adalah uji *unconfined uncompression test* dan uji *swelling*.

1.2 Identifikasi Masalah

Tanah lempung ekspansif mempunyai tingkat sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga perilaku tanah sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur kimia tekstur dan partikel, serta pengaruh lingkungan sekitarnya. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada struktur diatas tanah tersebut karena sifat kembang susut yang tinggi. Permasalahan yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Sifat tanah ekspansif yang sensitif terhadap pengaruh musim, membuat tanah dapat mengembang terus menerus ketika musim hujan. Hal tersebut mengakibatkan pada penurunan terhadap daya dukung dan kekuatan tanah. Ketika musim kemarau tanah mengalami penyusutan dan mengakibatkan retakan yang sering menimbulkan kerusakan bangunan
2. Sedikitnya pengetahuan mengenai ratio kadar air pada tanah yang di stabilisator oleh *fly ash* untuk mengetahui kekuatan yang di inginkan dalam metode stabilisasi tanah lempung ekspansif di Indonesia, khususnya di daerah Ngasem, Bojonegoro. Sehingga perlu dilakukan pengembangan terhadap penelitian sebelumnya, untuk mengetahui rasio kadar air tanah ekspansif dengan menggunakan *fly ash* berkadar 15%
- 3.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan di bahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi dari ratio kadar air tanah lempung terhadap kekuatan tanah dan sifat kembang susut (*swelling*) lempung ekspansif kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan kadar campuran *fly ash* 15% dari berat kering tanah?

2. Berapa ratio kadar air yang dibutuhkan untuk meningkatkan kekuatan pada tanah dan sifat kembang susut (*swelling*) lempung espansif di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan kadar campuran *fly ash* 15% dari berat kering tanah?

1.4 Pembatasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah diberikan sebagai berikut:

1. Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah lempung ekspansif dari Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur
2. Jenis *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* yang didapat dari hasil pembakaran batu bara di kawasan Malang
3. *Fly ash* yang digunakan berkadar 15% dari berat kering tanah
4. Tanah yang digunakan untuk variasi, adalah tanah kering oven sebelum penambahan air
5. Penelitian ini tidak membahas tentang reaksi kimia dan analisa ekonomi
6. Pencampuran tanah dan *fly ash* dilakukan dengan mesin pengaduk yang kecepatan putaran dan lama pengadukan ditentukan sendiri. Hal ini dilakukan agar keseragaman perlakuan dalam mencampur antara tanah dengan *fly ash* disetiap percobaan
7. Perubahan karakteristik tanah akibat adanya pencampuran tidak akan di analisa
8. Pengujian laboratorium meliputi *water content*, indeks proptertis, *standart proctor test*, *unconfined* dan *swelling*
9. Rumus untuk menentukan ratio serta campuran tanah dan *fly ash* yang digunakan adalah rumus yang dipakai sesuai dengan standart internasional

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi dari ratio kadar air tanah lempung terhadap kekuatan tanah dan sifat kembang susut (*swelling*) lempung ekspansif Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan kadar campuran *fly ash* 15% dari berat kering tanah?
2. Mengetahui ratio kadar air yang dibutuhkan untuk meningkatkan kekuatan pada tanah dan sifat kembang susut (*swelling*) lempung ekspansif di Kecamatan

Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan kadar campuran *fly ash* 15% dari berat kering tanah?

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan bisa diambil dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi praktisi lapangan

Menjadi sumber informasi dan pertimbangan dalam perancangan suatu konstruksi yang akan dibangun di atas tanah lempung ekspansif, khususnya di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro

2. Bagi kalangan akademis

Sebagai pengetahuan di luar perkuliahan yang dapat bermanfaat dan bisa digunakan pada bidang mekanika tanah dan geoteknik, untuk stabilisasi dan pengaruh kadar air tanah lempung ekspansif dengan menggunakan campuran *fly ash*



BAB II

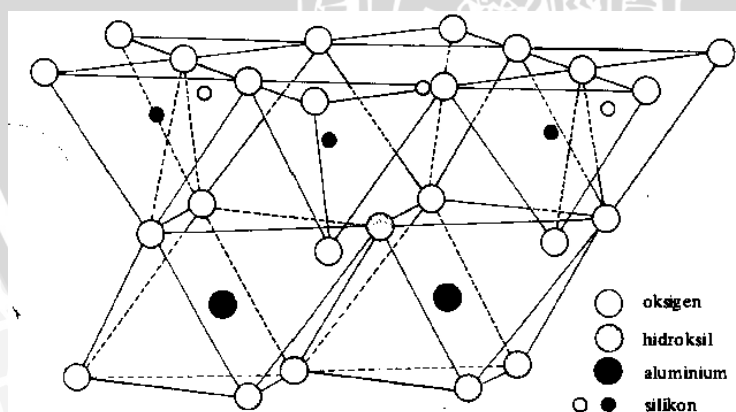
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lempung Ekspansif

Definisi tanah sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi atau terikat secara kimia dengan satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong antara partikel pada tersebut. Tanah merupakan bagian sangat penting sebagai bahan dalam pekerjaan pembangunan yang dibutuhkan dalam bidang keteknika sipil. Tanah terdiri dari berbagai macam partikel diantaranya batuan ukuran besar (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), dan koloid (*colloids*).

Lempung atau *clay* terdiri dari partikel yang berbentuk lempeng pipih merupakan mineral lempung dan partikel-partikel mika serta mineral lainnya. Tiga jenis mineral lempung yang sudah dikenal yaitu:

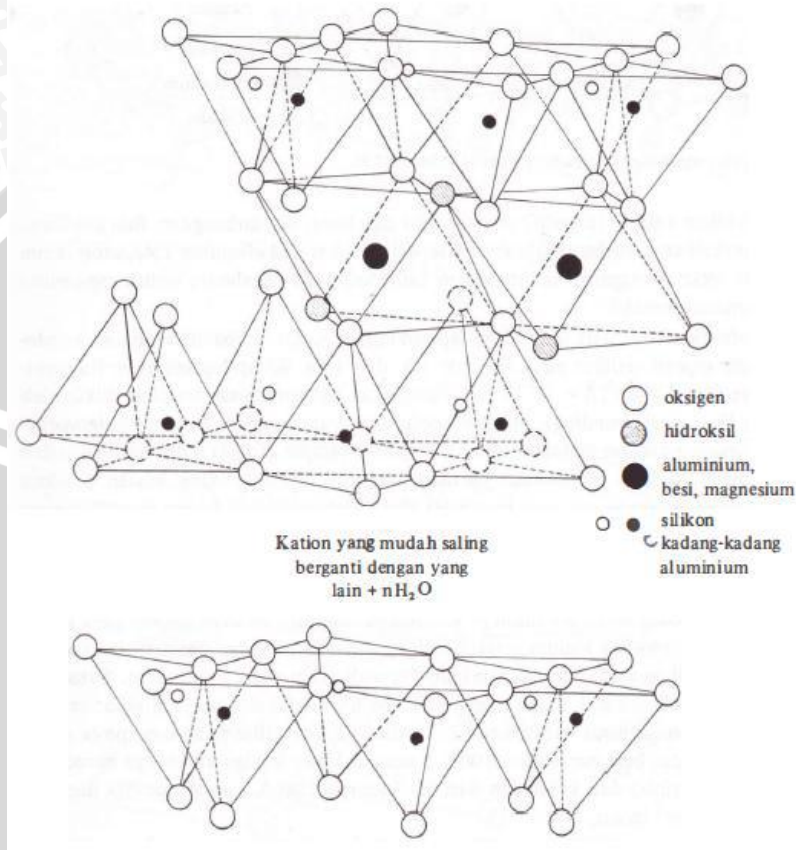
- Kaolinit (*Koolinite*) merupakan jenis mineral lempung yang tidak aktif. Dihasilkan oleh pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif dan bisa juga terbentuk karena pelapukan batuan



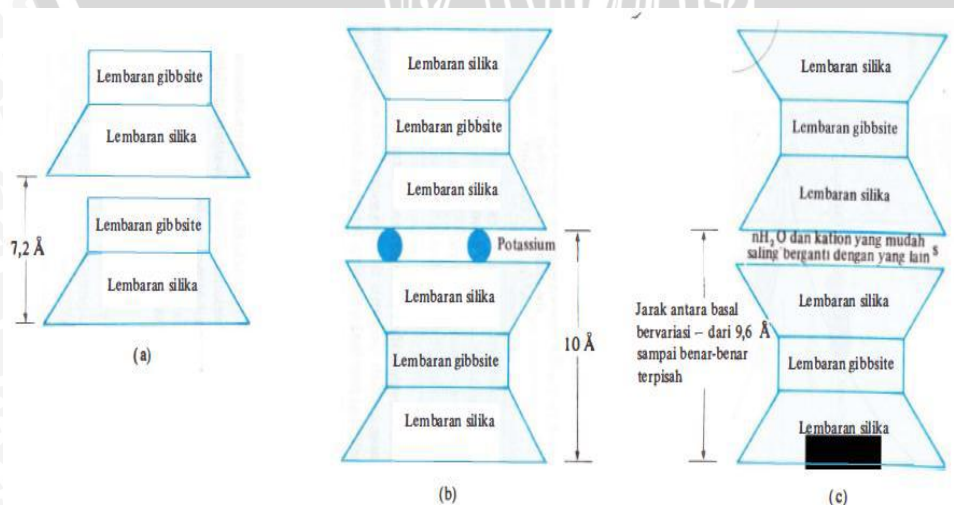
Gambar 2.1 Struktur atom dari kaolinite.

- Illit (*Illite*) mineral ini mempunyai bentuk susunan dasar hampir sama dengan montmorillonite terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedral yang terikat diantara dua lembaran silika tetrahedral, pembedanya pada ikatan dalam lembaran oktahedral yang terdapat substitusi parsial

- c. aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedral terdapat pada substitusi silikon oleh aluminium.
- d. Montmorilonit (*Montmorillonite*) bisa disebut juga sebagai smectile dalam satu lapis, tersusun dari dua lembaran silika mengapit satu lembaran alumina (*gibbsite*). Ujung tetrahedral tercampur dengan hidroksil dari ujung oktahedral sehingga ikatan menjadi menyatu



Gambar 2.2 Struktur atom dari motmorillonite.



Gambar 2.3 Struktur: (a) kaolinite; (b) illite; (c) motmorillonite.

Menurut kelompok mineral pembentuknya, tanah lempung dibagi menjadi dua yaitu tanah lempung ekspansif dan non-ekspansif. Tanah lempung ekspansif merupakan proses kembang susut tanah secara luar biasa dimana tanah jenis ini memiliki potensi mengembang yang sangat tinggi disebabkan oleh kandungan mineral ekspansif sehingga kapasitas pertukaran ion yang tinggi dan tanah jenis ini bersifat terpengaruh oleh kadar air. Tanah ini jika terkena air akan mengalami pengembangan volume disertai gaya tekan akibat pengembangan tersebut, namun sebaliknya jika tanah ini kering sampai kadar air hilang akan terjadi penyusutan volume disertai retak pada lapisan tanah

Mineral tanah lempung ekspansif memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi, mengakibatkan lempung ekspansif memiliki potensi kembang susut yang tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Pada peningkatan kadar air, tanah ekspansif akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan mengembang. Bila kadar airnya berkurang sampai batas susutnya, akan terjadi penyusutan. Sifat kembang susut yang demikian dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan di atasnya. (Hardiyatmo, 2006)

2.1.1. Pengertian Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang memiliki ukuran mikroni sampai dengan submikroni yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering. Permeabilitas lempung sangat rendah sehingga tanah lempung bersifat plastis.

Sifat-sifat tanah lempung pada umumnya terdiri dari (Hardiyatmo, 1999):

1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Sangat kohesif
5. Kadar kembang susut tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Dari kelompok mineral tersebut, tanah lempung ekspansif dapat dibagi menjadi lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Tanah lempung ekspansif tersusun dari mineral lempung yang mempunyai

karakter kembang susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air seperti pada kelompok *montmorillonite*. Kelompok ini menjadikan tanah lempung tidak stabil jika berhubungan dengan air.

2.1.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS)

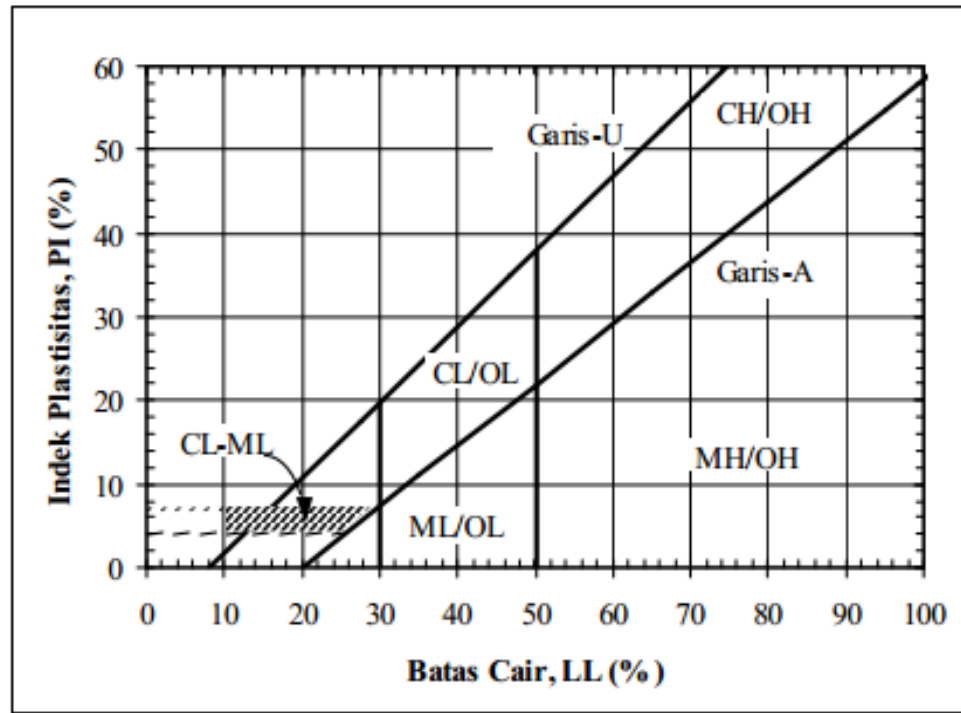
Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

Dalam USCS, tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse – grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$).
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Tabel 2.1 Simbol untuk Klasifikasi USCS

Simbol	Keterangan
G	Kerikil (<i>gravel</i>)
S	Pasir (<i>sand</i>)
M	Lanau Inorganik (<i>inorganic silt</i>)
C	Lempung Inorganik (<i>inorganic clay</i>)
O	Lanau dan Lempung Organik
Pt	Gambut (<i>peat</i>)
W	Gradasi Baik (<i>well graded</i>)
P	Gradasi Buruk (<i>poorly graded</i>)
L	Plastisitas Rendah (<i>low plasticity</i>)
H	Plastisitas Tinggi (<i>high plasticity</i>)



Gambar 2.4 Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berbutir halus *) menurut USCS

Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria Klasifikasi
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan No.4	GW	Kerikil gradasi baik, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir – kerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil – pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)
Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No.4	SW	Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	SP	Pasir gradasi buruk, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)
			Tanah memiliki symbol ganda jika $5\% \leq F_{200} \leq 12\%$, yaitu : a) GW-GM, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI < 4\%$ b) GW-GC, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI > 7\%$. c) GP-GM, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI < 4\%$ d) GP-GC, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI > 7\%$ Tanah memiliki symbol ganda jika $5\% \leq F_{200} \leq 12\%$, yaitu : a) SW-SM, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI < 4\%$ b) SW-SC, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI > 7\%$. c) SP-SM, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI < 4\%$ d) SP-SC, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI > 7\%$

*) Tanah berbutir kasar bila 50% atau lebih lolos tertahan pada saringan No.200 (R_{200}).

2.1.3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

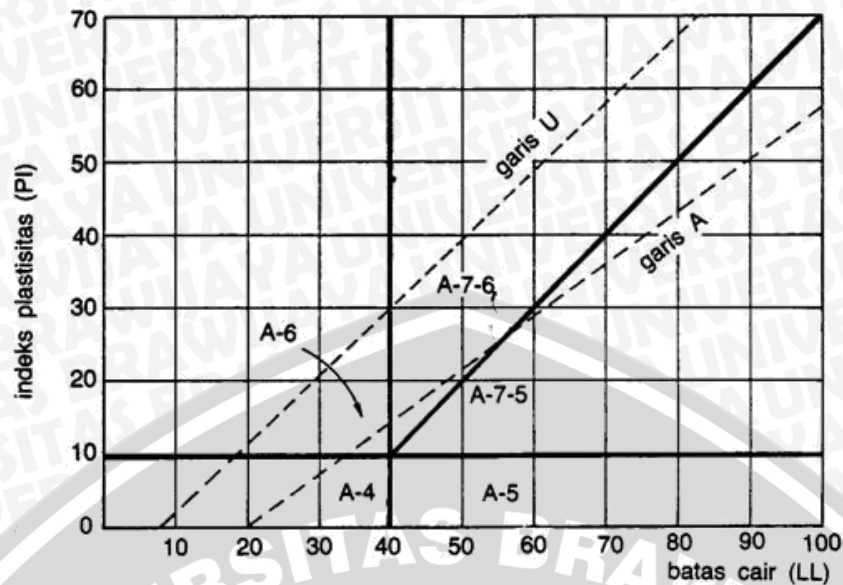
AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. AASHTO mengklasifikasikan jenis tanah kedalam 8 kelompok yaitu A-1 sampai dengan A-8. Tanah tiap kelompoknya di evaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus empiris. Pengujian yang digunakan yaitu analisa saringan dan batas-batas *Atterberg* (Hardiyatmo 2010, 63).

Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai:

1. Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan bila kelompoknya berada lebih di kanan dalam tabel klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO, yaitu tanah A-6 lebih buruk dibandingkan dengan tanah A-5.
2. Lebih buruk untuk digunakan dalam pembangunan jalan bila indeks kelompok bertambah untuk sub kelompok tertentu, misal tanah A-6(3) lebih buruk dari tanah A-6(1).

Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi Tanah (lanau-lempung) AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Klasifikasi kelompok				
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Min 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			



Gambar 2.5 Plastisitas Untuk Klasifikasi Tanah AASHTO

Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Bila indeks kelompoknya semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya.

2.2. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Menurut Chen (1975), cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- Identifikasi Mineralogi.
- Cara tidak langsung (*single index method*).
- Cara pengukuran langsung.

2.2.1. Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogy sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara:

- Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffracton*).
- Penyerapan terbilas (*Dye Absorbson*).
- Penurunan Panas (*Differensial Thermal Analysis*).
- Analisa Kimia (*Chemical Analysis*).
- *Electron Microscope Resolution*.

2.2.2. Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas Atterberg, linear shrinkage test (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid. Holtz dan Gibbs (1956) sebagaimana yang dikutip Chen (1975), secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensial mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji Atterberg. Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal bahwa swelling pada tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASTHO, setelah contoh direndam dengan 1 psi. Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang ditampilkan dalam tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP (Chen,1975)

Plasticity Index (%)	Swelling Potensial
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
35 – 55	High
>55	Very High

Tabel 2.5 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI (Raman,1967)

Plasticity Index (%)	Shrinkage Index (%)	Degree Of Expansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 – 30	Medium
23 – 30	30 – 40	High
> 30	> 40	Very High

Altmeyer (1955) sebagaimana. dikutip Chen (1975), membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linear dan persentase batas susut Atterberg, seperti yang ditampilkandalam Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage limit (Altmeyer, 1955)

Linear Shrinkage	SL(%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	>12	< 0.5	Non Critical
5 – 8	10 – 12	0,5-1,5	Marginal
> 8	< 10	< 1,5	Critical

Skempton (1953), mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut:

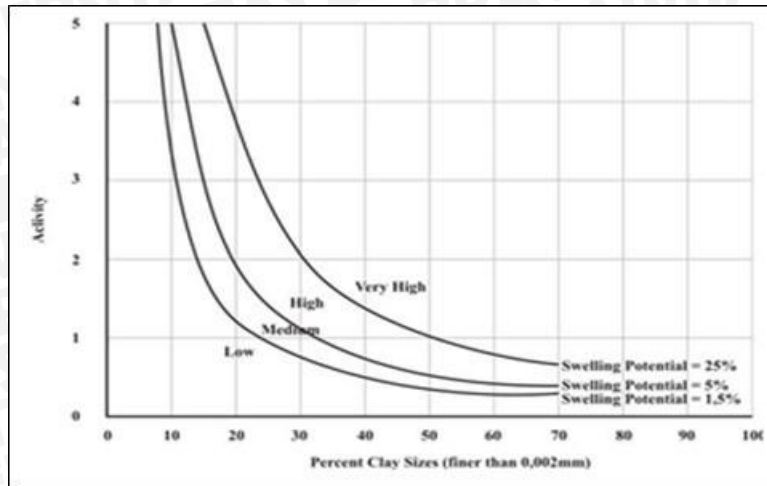
$$Activity (A) = \frac{PI}{C}(2-1)$$

Dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase lempung <0,002mm



Gambar 2.6 Klasifikasi potensi mengembang (Seed et al., 1962)

2.2.3. Cara Pengukuran Langsung

Cara pengukuran langsung yaitu suatu metode untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan Oedometer Terzaghi. Contoh tanah berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan beban yang diijinkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah contoh tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah tinggi pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

2.3. Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Zat Adiktif

Sifat kembang susut tanah lempung yang tinggi menimbulkan permasalahan pada bidang konstruksi seperti terjadinya gelombang-gelombang pada permukaan jalan, terjadinya retak-retak (*cracking*) pada bangunan dan lain sebagainya, maka dari itu perlu dilakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat berupa peningkatan kerapatan tanah, penambahan material yang tidak adiktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul, penambahan bahan untuk menyebabkan perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah, dan mengganti tanah yang buruk (Bowles, 1993, Viktor 2010).

Menurut Bowles, J.E (1986) stabilisasi di lapangan dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan:

1. Secara mekanis

Stabilisasi tanah secara mekanis dapat dilakukan dengan proses pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.

2. Secara Kimiawi

Stabilisasi tanah secara kimiawi dapat dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan pencampur (*additives*) tergantung dari jenis tanah tersebut. Bahan pencampur kimiawi yang sering digunakan adalah semen portland, kapur, abu batu bara, semen aspal dan lain sebagainya. Stabilisasi jenis ini dapat mengurangi sifat plastis tanah.

2.4. Stabilisasi Tanah Lempung Dengan *Fly Ash*

Fly Ash adalah partikel halus yang merupakan endapan dari tumpukan bubuk hasil pembakaran batubara yang dikumpulkan dengan alat elektro presipitator. *Fly ash* merupakan kategori limbah yang mempunyai potensi tinggi digunakan dalam konstruksi. *Fly ash* memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi sehingga abu batubara (*fly ash*) memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat semen/pozzolan. Penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif dimaksudkan agar terbentuk reaksi *pozzonic* yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah sehingga menghasilkan massa yang keras dan kaku (Gogot Setyo Budi et al. 2003).

Menurut ASTM C618 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas C dan Kelas F. Perbedaan utama dari kedua *ash* tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi di *ash* tersebut.

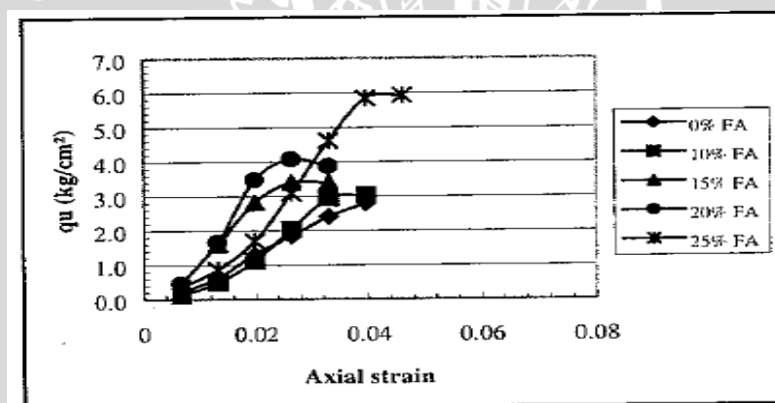
1. *Fly Ash* kelas C : mempunyai sifat *pozzolanic* juga mempunyai sifat *self-cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah strength apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. Biasanya mengandung kapur (CaO) > 20%.
2. *Fly Ash* kelas F : mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan quick lime, hydrated lime, atau semen. *Fly ash* tipe ini kadar kapurnya (CaO) < 10% Untuk kandungan *fly ash* sendiri yang di ambil dari beberapa sumber adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7 Kandungan *fly ash* PLTU Paiton

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	g/cm^3	1,43
2	Kadar Air	% Berat	0,2
3	Hilang Pijar	% Berat	0,43
4	SiO_2	% Berat	62,49
5	Al_2O_3	% Berat	6,39
6	Fe_2O_3	% Berat	16,71
7	CaO	% Berat	5,09
8	MgO	% Berat	0,79
9	$\text{S}(\text{SO}_4)$	% Berat	7,93

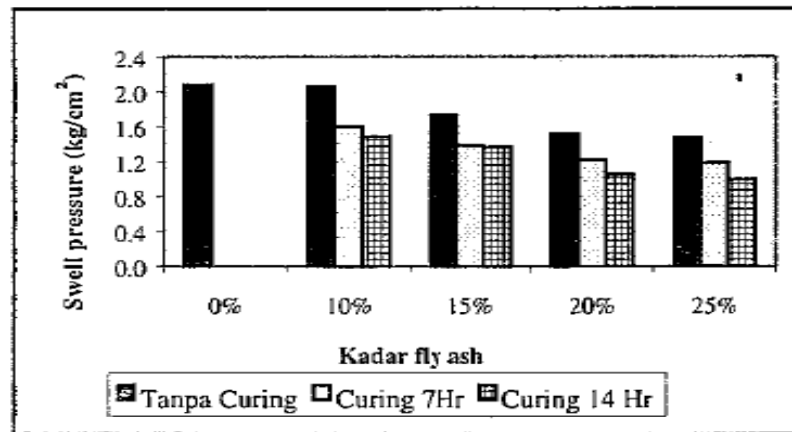
Setyo-budi, et al (2003) melakukan penelitian dengan melakukan variasi penambahan *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, hasilnya sebagai berikut:

1. Apabila tanah tersebut dicampur *fly ash* dengan prosentase 25% dan di *curing* selama 28 hari maka dapat meningkatkan kekuatan tanah mencapai 300% dari tanah asli.



Gambar 2.7 Pengaruh Penambahan *Fly Ash* terhadap kekuatan tanah pada *curing* 28 hari (Sumber: Gogot Setyo-budi, et al)

2. Apabila tanah tersebut dicampur dengan 25% *fly ash* dan di *curing* selama 28 hari dapat menurunkan *swell pressure* sebesar 50% dari tanah asli dengan kadar air optimum sebesar 20%.



Gambar 2.8 Hubungan Antara Kadar *Fly Ash* Dengan *Swelling Pressure*

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tri Sulistyowati, (2006) didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Presentasi yang paling efektif untuk stabilisasi adalah campuran 15% fly ash dengan masa pemeraman 7 – 14 hari. Karena penambahan persentase *fly ash* sampaidengan 25% memberikan kontribusi terhadap perubahan karakteristik tanah yang tidak jauh berbeda dengan penambahan 15% *fly ash*.
2. Stabilisasi dengan campuran 15% *fly ash* dengan masa pemeraman 7 hari memberikan penurunan *liquid limit* terbesar yaitu 59,76% dari *liquid limit* tanah asli. Nilai *plastic limit* setelah di stabilisasi dengan masa pemeraman 14 hari menunjukkan penurunan terbesar yaitu 43,79% dari nilai *plastic limit* tanah asli. Sedangkan nilai indeks plastisitas setelah distabilisasi dengan 15% *fly ash* mengalami penurunan sebesar 70,99% dari indeks plastisitas tanah asli.

2.5. Pengujian Indeks Properties Tanah di Laboratorium

2.5.1. Analisis Saringan dan Hidrometer

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Analisa ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada suatu saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. (Hardiyatmo, 2010).

Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu:

- a. Analisis ayakan, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,0075 mm.
- b. Analisis hidrometer, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0,0075 mm.

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui suatu set ayakan dimana lubang-lubang tersebut makin kecil secara berurutan. (Braja M. Das, 1985). Standart di Amerika Serikat nomor ayakan : 4, 20, 40, 50, 60, 80, 100,200, dan pan.

Tabel 2.8 Ukuran Saringan menurut ASTM

No. Saringan	Ukuran Lubang (mm)	No Saringan	Ukuran Lubang (mm)
4	4,75	60	0,25
6	3,35	80	0,18
8	2,36	100	0,15
10	2	140	0,106
16	1,18	170	0,088
20	0,85	200	0,075
30	0,6	270	0,053
40	0,425		
50	0,3		Pan

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran-butiran tanah dalam air. Di laboratorium, pengujian hidrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven (dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci (=457,2 mm) dan diameter 2,5 inci (63,5 mm). Silinder tersebut diberi tanda yang menunjukkan volume sebesar 1000 ml.

2.5.2. Kadar Air Tanah (*Water Content*)

Pemeriksaan kadar air tanah (*water content*) dilakukan untuk menentukan perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah dinyatakan dalam persen.

2.5.3. Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah (*Specific Gravity*) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan volume air pada temperatur 4°C. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan pada tabel 2.9 berikut ini :

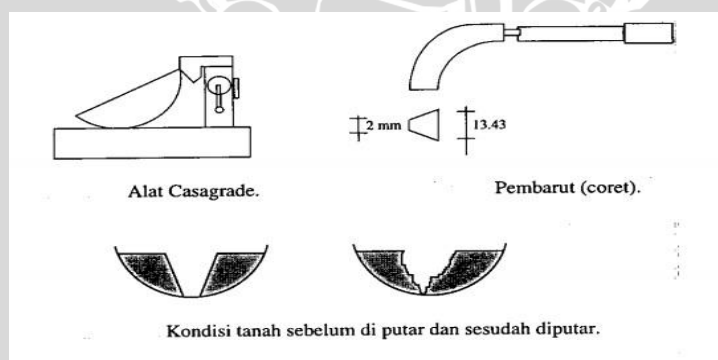
Tabel 2.9 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

2.5.4. Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Menurut Atterberg batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis, dan batas susut.

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Cara menentukannya dapat menggunakan alat Casagrande. Biasanya percobaan ini dilakukan terhadap beberapa contoh tanah dengan kadar air berbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan. Dari grafik tersebut dapat dibaca kadar air pada pukulan tertentu.

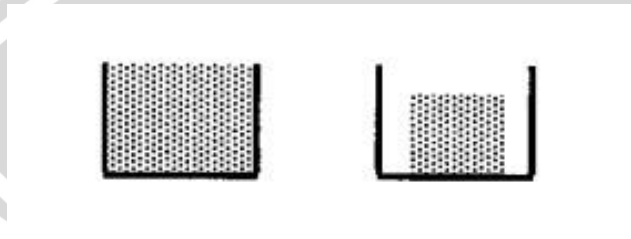
**Gambar 2.9** Skema Uji batas Cair

Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inch). Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada pelat kaca hingga diameter dari batang yang dibentuk mencapai 1/8 inch. Ketika tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inch, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.



Gambar 2.10 Gulungan tanah pada uji batas plastis

Batas susut (*shrinkage limit*) menunjukkan kadar air atau batas dimana tanah dalam keadaan jenuh yang sudah kering tidak akan menyusut lagi, meskipun dikeringkan terus atau batas dimana sesudah kehilangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah.



Gambar 2.11 Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah di oven

$$SL = \left[\left(\frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) - \left(\frac{\text{Volume Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) \right] \times 100\% \quad (2-2)$$

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah.

$$PI = LL - PL \quad (2-3)$$

Dimana : PI = Plastis indeks (%) ; LL = Liquid Limit (%) ; PL=Plastis Limit (%).

Jika tanah memiliki PI tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg dalam tabel 2.10

Tabel 2.10 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastisitas Sedang	Lanau Berlanau	Kohesif Sebagian
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

Pada tahun 1976, Mitchell mengungkapkan harga-harga Atterberg Limit untuk beberapa mineral lempung adalah seperti pada tabel 2.11.

Tabel 2.11 Atterberg Limit Mineral Lempung

Mineral	Liquid Limit	Plastic Limit	Shrinkage Limit
	%	%	%
Montmorillonite	100-900	50-100	8,5-15
Nontronite	37-72	19-27	
Illite	60-120	35-60	15-17
Kaolinite	30-110	25-40	25-29
Hydrated Halloysite	50-70	47-60	
Dehydrated Halloysite	35-55	30-45	
Attapulgite	160-230	100-120	
Clorite	44-47	36-40	
Allophane (undried)	200-250	130-140	

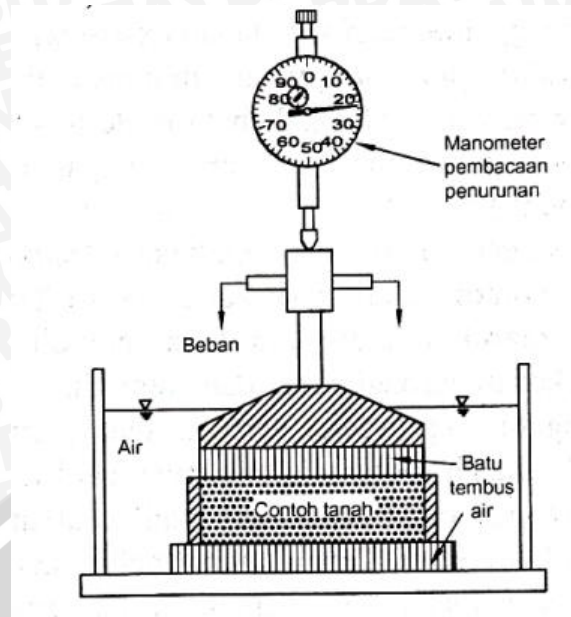
(Sumber: Budi Santosa dkk,1998)

2.6 Pengembangan (*Swelling*)

Swelling adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori berlebih negatif. Tanah yang banyak mengandung lempung khususnya tanah lempung ekspansif mengalami perubahan volume yang ekstrim ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang dapat membahayakan konstruksi di atasnya. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu:

1. Tipe dan jumlah mineral di dalam tanah
2. Kadar air
3. Susunan tanah
4. Konsentrasi garam dalam air pori
5. Sementasi
6. Adanya bahan organik, dll.

Uji *swelling* dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang di butuhkan untuk pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk kedalam tanah, karena tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika berinteraksi dengan air. Beberapa penelitian melakukan pengujian ini selama 2 jam dan menunggu sampai kecepatan mengembang mencapai kecepatan tertentu ($0,001''/\text{jam}$), sehingga memerlukan waktu beberapa hari.



Gambar 2.12 Pengujian *Swelling*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai swell akibat adanya beban vertikal. Hal ini terjadi akibat air yang masuk ke pori-pori tanah dan menyebabkan perubahan isi pori tanah sehingga tekanan vertikal berkerja pada tanah tersebut.

Tekanan ke tanah sangat mempengaruhi proses terjadinya pengembangan pada tanah. Tekanan pengembangan yang mencegah tanah mengembang disebut tekanan pengembangan (*swelling pressure*). Chen (1988) dan beberapa peneliti berpendapat bahwa tekanan pengembangan tidak tergantung pada kadar air awal, derajat kejenuhan awal, tingkat ketebalan tanah, dan variasi berat volume kering, dan oleh karena ini merupakan fundamental sifat-sifat tanah ekspansif

Untuk tanah asli (*undisturbed*), Chen (1988) mendefinisikan tekanan pengembangan sebagai tekanan yang dibutuhkan untuk mencegah tanah untuk mengembang pada berat volume kering di tempat. Untuk tanah yang dibentuk kembali (*remolded*) pada tanah 100% kepadatan relatif, tekanan pengembangan adalah tekanan yang diperlukan untuk menjaga berat volume kering tersebut (Hardiyatmo 2010, 134).

Garcia-Iturbe, Martines, dan Polin (1980) dalam makalahnya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang dengan tekanan mengembang, seperti ditampilkan pada tabel 2.13, bisa dilihat bagaimana potensi mengembang suatu sampel tanah berdasarkan tekanan mengembangnya. Untuk nilai *swelling pressure* dibawah 2 memiliki *swelling potential* yang rendah sedangkan untuk *swelling pressure* yang memiliki nilai di atas 7 memiliki *swelling potential* yang sangat tinggi.

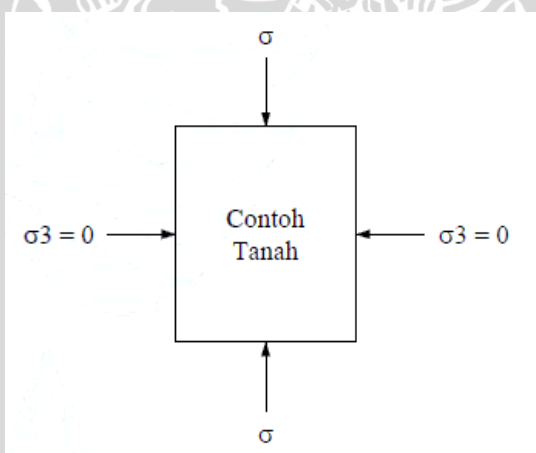
Tabel 2.12 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

Swelling Potential	Swelling Pressure
Low	<2
Medium	2-4
High	4-7
Very High	>7

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang.

2.7 Uji Tekan Bebas (Unconfined Compression Test)

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekuatan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas (q_u) adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%. Percobaan *unconfined* terutama dilakukan pada tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*). Bila lempung mempunyai derajat kejenuhan 100%, maka kekuatan gesernya dapat ditentukan langsung dari nilai kekuatan *unconfined*.



Gambar 2.13 Sistem pengujian kuat tekan bebas.

Pada pengujian kuat tekan bebas, tegangan penyekap σ_3 adalah nol. Tegangan aksial dilakukan terhadap benda uji secara relatif cepat sampai tanah mengalami keruntuhan. Pada titik keruntuhan, harga tegangan total utama kecil (total minor *principal stress*) adalah nol dan tegangan total utama besar adalah σ_1 . Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, dimana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda ujinya. Pada lempung jenuh, tekanan air pori dalam benda uji pada awal pengujian negative (tegangan kapiler). Pada saat keruntuhan, karena $\sigma_3=0$, maka:

$$\sigma_1 = \Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u$$

Dengan q_u adalah kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*) pada pengujian tekan bebas. Secara teoritis, nilai dari $\Delta\sigma_f$ pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial *unconsolidated-undrained* dengan benda uji yang sama. Jadi,

$$S_u = C_u = \frac{q_u}{2}$$

Dimana S_u atau C_u adalah kuat geser *undrained* dari tanahnya. Hubungan konsistensi dengan kuat tekan bebas tanah lempung dapat dilihat dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2.13 Hubungan antara konsistensi tanah dengan kekuatan tanah lempung pada *test unconfined compressive* (UCT).

Konsistensi Tanah Lempung	Harga q_u		
	(Ton/ft ²)	(kN/m ²)	(kg/cm ²)
Sangat lunak	0-0,25	0-23,94 (≈24)	<0,27
Lunak	0,25-0,50	24-48	0,27-0,54
Menengah	0,50-1	48-96	0,54-1,08
Kaku	1-2	96-192	1,08-2,16
Sangat kaku	2-4	192-383	2,16-4,32
Keras	<4	>383	>4,32

Sensitivity merupakan perbandingan antara kekuatan asli (*undisturbed*) dengan kekuatan setelah tekan (*remolded*). Semakin besar kekuatan yang hilang semakin tinggi sensitivity tanah tersebut. Sensivity (ST) dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Sensitivity (ST)} = \frac{q_u(\text{undistrubed})}{q_u(\text{remolded})}$$

Tabel 2.14 Hubungan golongan tanah dengan sensitivity.

Golongan Tanah	Sensivitas
Normal	<4
Sensitif	4-8
Ekstra Sensitif	8-16
Quick	>16

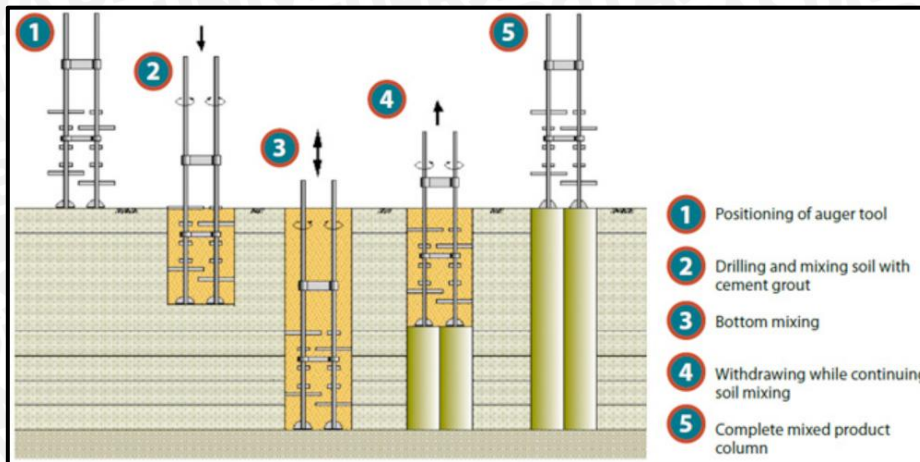
2.8 Deep Soil Mixing

Deep Soil Mixing (DSM) adalah sebuah teknologi perbaikan tanah di lapangan langsung (*in situ soil treatment technology*) dimana tanah dicampur dengan bahan reagen semen dan/atau bahan lainnya. Proses stabilisasi menggunakan campuran material tersebut dapat dilakukan dalam bentuk kering (*dry method*) atau bentuk cair (*slurry*). *Deep soil mixing "dry method"* yang mana pencampurannya menggunakan serbuk kering dari bahan semen, kapur (*quick lime*), *fly ash*, *gypsum*, *bentonite*, dan lain-lain atau bisa dikombinasikan. Untuk memulai proses reaksi perlu ditambahkan air. Tanah perlu kadar air lebih besar dari 20% untuk dapat bereaksi dengan bahan campuran. Kandungan kadar air tanah yang kurang dari 20% perlu penambahan air untuk membantu proses instalasi. *Deep soil mixing "dry method"* terbagi dalam dua kelompok yaitu *column installation* dan *mass stabilization*. Pemasangan kolom (*column installation*) dapat menggunakan seperti *single columns* atau *interlocking columns*. Sedangkan *mass stabilization* adalah stabilisasi secara menyeluruh.

Penerapan di lapangan, diameter lubang berkisar antara 15 cm sampai dengan 30 cm dengan jarak antar titik tengah 1,20 meter sampai dengan 1,50 meter. Metode injeksi ini dilakukan dengan memasukkan kapur encer atau yang lainnya ke dalam tanah lempung dengan menggunakan tekanan, sehingga air kapur dapat bereaksi dengan tanah.

Metode DSM dengan bahan stabilisasi tersebut umumnya dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi kompresibilitas dari tanah asli, meskipun berat jenis keseluruhan boleh jadi lebih kecil. Mengenai metode DSM Mirja Kosche (2004) mengemukakan bahwa metode ini berguna untuk mengurangi penurunan dan/atau

meningkatkan stabilitas tanah. Selain itu juga, DSM dapat berperan seperti *vertical drain* dan dapat mempercepat proses penurunan (*settlement*).

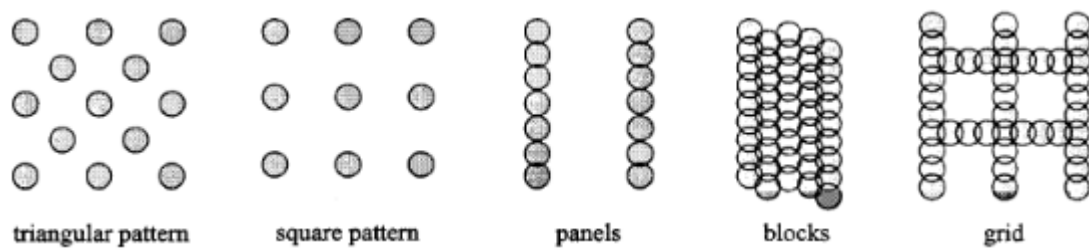


Gambar 2.14 Proses Deep Soil Mixing (DSM)



Gambar 2.15 Hasil kolom stabilisasi DSM

Kolom DSM dapat diterapkan dengan konfigurasi yang berbeda-beda, seperti *single column*, *blocks column*, *panels*, dan *grids types* yang ditunjukkan pada gambar 2.19. Untuk mengurangi penurunan di bawah timbunan digunakan konfigurasi *single column* dengan pola persegi. Sedangkan konfigurasi *panels*, *grids*, atau *blocks* biasanya digunakan untuk bangunan atas dengan dimensi yang besar seperti lereng, dam, dinding penahan tanah, dan di bawah timbunan.



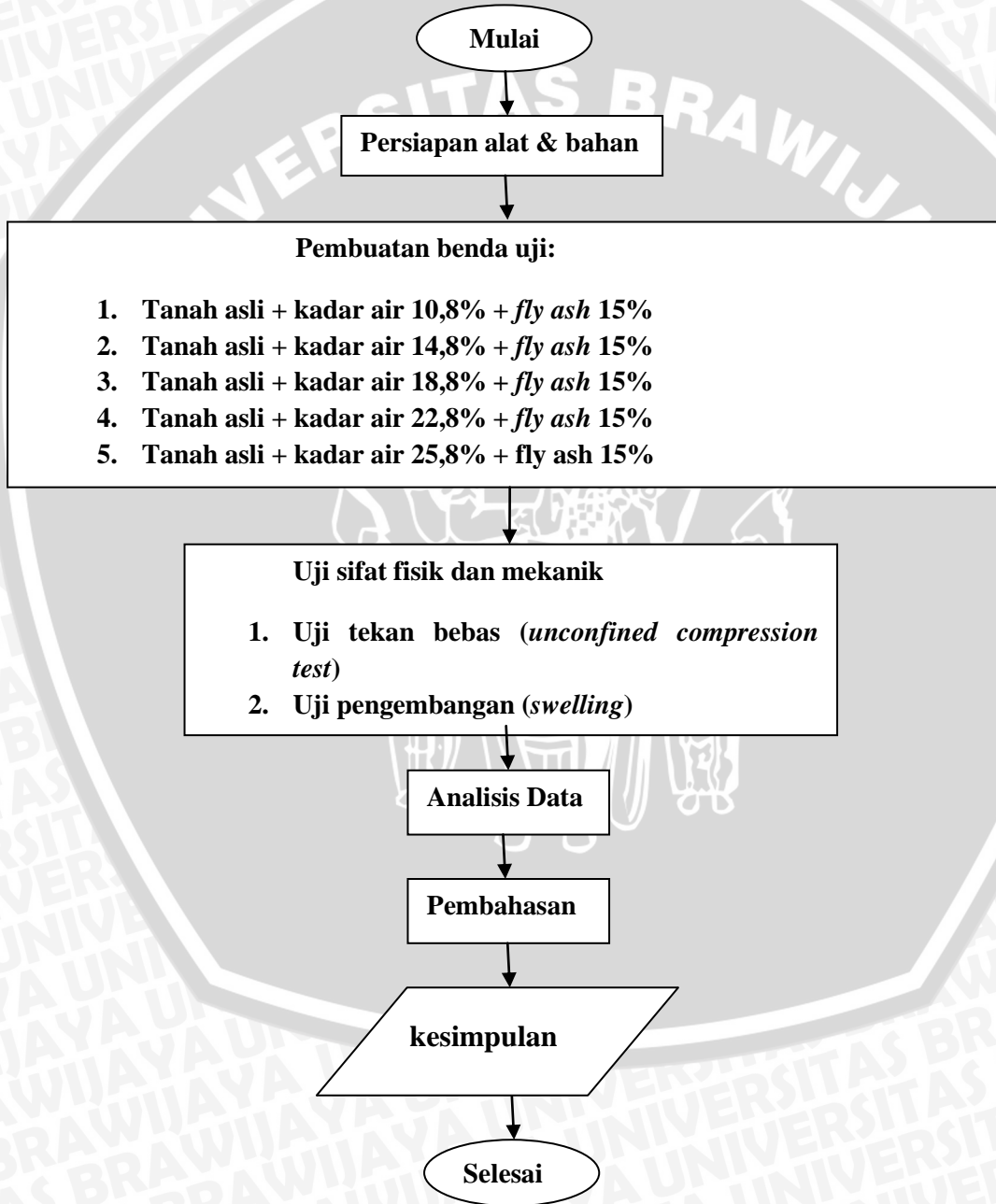
Gambar 2.15 Konfigurasi kolom DSM

Anshorie (2015) Berdasarkan uji beban yang telah dilakukan, stabilisasi dengan metode DSM untuk konfigurasi bentuk single square diameter 3 cm menggunakan bahan aditif 15% *fly ash* yang diberikan variasi jarak dan panjang kolom dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Peningkatan daya dukung tanah memberikan hasil beragam karena pengaruh variasi jarak dan panjang kolom, dimana daya dukung tanah semakin meningkatkan seiring dengan jarak kolom yang semakin rapat dan panjang kolom yang semakin dalam. Menurut Hakim (2015) stabilisasi dengan metode *deep soil mixing* tipe *panels* berdiameter 2 cm menggunakan bahan aditif 15% *fly ash* dengan variasi jarak dan panjang kolom dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Namun variasi jarak dan panjang kolom dengan metode DSM memberikan pengaruh lebih besar terhadap peningkatan daya dukung. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai daya dukung tanah maksimum 1040 kN/m^2 yang meningkat 173,648%, nilai ini terletak pada kolom dengan jarak terkecil (L) = 2 cm dengan panjang kolom terbesar (D_f) = 15 cm. Kadar air sangat berpengaruh untuk menentukan tingkat kepadatan maksimum tanah tersebut, sehingga perlu dicari kadar air optimum untuk tanah yang akan di uji menggunakan metode DSM



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2. Waktu dan Tempat

Waktu : September 2016 sampai dengan November 2016

Tempat : Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Fakultas Teknik
Jurusan Sipil Universitas Brawijaya

3.3. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan sebagai adalah tanah lempung yang diambil di Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan cara pengambilan terganggu (*disturb*) dan tidak terganggu (*undisturbed*), bahan stabilisator yaitu *fly ash*

3.4. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan uji dengan standar seperti pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Tabel standar pengujian

No	Jenis Uji	Standar	Keterangan
1	Water Content	ASTM D 2216-10	
3	Pemadatan	ASTM D 698-70	
4	Unconfined	ASTM D 2166-85	
5	Swelling	ASTM D 4546-86	

3.4.1. Persiapan Benda Uji

Penelitian dibawah ini, menggunakan dua benda uji yaitu tanah asli yaitu tanah lempung ekspansif, dan yang kedua adalah tanah asli. Adapun persiapan benda uji meliputi kegiatan sebagai berikut:

1. Sampel tanah dikeringkan
2. Sampel tanah diayak lolos saringan No.4
3. Sampel tanah yang sudah lolos saringan No.4 kemudian ditambahkan air dengan kadar air yang bervariasi. Baik kadar air pada tanah asli maupun variasi lainnya
4. Pencampuran dilakukan merata pada seluruh bagian kemudian sampel dijenuhkan di dalam kresek selama sehari hingga homogen.
5. Kemudian tanah di campur dengan kadar *fly ash* 15% dari berat kering tanah, dengan kadar air yang bervariasi.
6. Sampel tanah yang sudah di variasikan kadar air dan dicampur dengan *fly ash* kemudian dieramkan selama 3 hari didalam mold

7. Setelah selesai pemeraman, sampel diambil untuk uji kuat tekan bebas dengan menggunakan pipa berdiameter 5cm dan tinggi 10 cm
8. Setelah uji kuat tekan bebas, kemudian selanjutnya uji swelling atau pengembangan

3.5. Metode Pengujian

Ada dua pengujian yang akan dilakukan yaitu:

1. Uji Tekan bebas (*Unconfined compression test*) : ASTM D- 21668-85
2. Uji *Swelling*: ASTM D 4546-86

Masing-masing benda uji langsung diuji sesuai dengan pembagian yang sudah dilakukan pada tahap sebelumnya. Saat pelaksanaan pengujian juga dilakukan pengambilan data untuk selanjutnya dilakukan proses pengolahan data.

3.6. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan dua variabel, yaitu variabel bebas dan terikat dan variabel terikat. Variabel bebas pada pelaksanaan penelitian ini adalah kadar air. Sedangkan untuk variabel terikat adalah tegangan, regangan dan pengembangan.

3.7. Metode Analisis Data

Data yang telah dicatat dari hasil pengujian, kemudian diolah dengan persamaan yang telah ada dengan bantuan *Microsoft Excel*. Dari data tersebut akan diolah untuk memperoleh besarnya tegangan dan regangan untuk uji tekan bebas yang akan ditampilkan dengan graik, dan nilai *swelling* untuk uji *swelling*. Dengan kadar *fly ash* 15% , akan memperlihatkan hasil yang berbeda karena pengaruh variasi kadar air

Tabel 3.2 Hasil Penelitian *swelling*

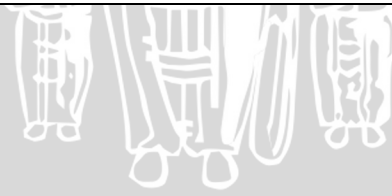
Jenis Sample	kadar air (%)	Volume sampel	pengembangan (%)
tanah+fly ash 15%	kadar air 10,8%		
	kadar air 14,8%		
	kadar air 18,8%		
	kadar air 22,8%		
	kadar air 25,8%		

Jenis Sample	Pengembangan Tanah+OMC (%)	pengembangan (%)	Penurunan (%)
tanah+fly ash 15%	kadar air 10,8%		
	kadar air 14,8%		
	kadar air 18,8%		
	kadar air 22,8%		



Tabel 3.3 hasil penelitian unconfined

No.	kadar air campuran	Ratio kadar air - fly ash	Sampel	kuat tekan (kg/cm ²)	kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	regangan (%)
1	10,8%	10,8% - 15%	1			
		10,8% - 15%	2			
		10,8% - 15%	3			
2	14,8%	14,8% - 15%	1			
		14,8% - 15%	2			
		14,8% - 15%	3			
3	18,8%	18,8% - 15%	1			
		18,8% - 15%	2			
		18,8% - 15%	3			
4	22,8%	22,8% - 15%	1			
		22,8% - 15%	2			
		22,8% - 15%	3			
5	25,8%	25,8% - 15%	1			
		25,8% - 15%	2			
		25,8% - 15%	3			
6	21,9% tanpa perbaikan	21,8% - 0%	1			
		21,8% - 0%	2			
		21,8% - 0%	3			
7	undisturbed	42% - 0%	1			
		42% - 0%	2			



Tabel 3.4 Hasil penelitian unconfined setelah swelling

No.	kadar air campuran	Ratio kadar air - fly ash	Sampel	kuat tekan (kg/cm2)	kuat tekan rata-rata (kg/cm2)	regangan (%)
1	10,8%	10,8% - 15%	1			
		10,8% - 15%	2			
		10,8% - 15%	3			
2	14,8%	14,8% - 15%	1			
		14,8% - 15%	2			
		14,8% - 15%	3			
3	18,8%	18,8% - 15%	1			
		18,8% - 15%	2			
		18,8% - 15%	3			
4	22,8%	22,8% - 15%	1			
		22,8% - 15%	2			
		22,8% - 15%	3			
5	25,8%	25,8% - 15%	1			
		25,8% - 15%	2			
		25,8% - 15%	3			
6	21,9% tanpa perbaikan	21,8% - 0%	1			
		21,8% - 0%	2			
		21,8% - 0%	3			
7	undisturbed	42% - 0%	1			
		42% - 0%	2			



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan menguraikan dan membahas tentang hasil penelitian yang telah diperoleh dari uji yang dilakukan. Uji *swelling* (pengembangan) dan uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) Dengan variasi yang telah ditentukan.

Sebelum melakukan penelitian dilakukan pengujian pendahuluan untuk mengetahui sifat fisik tanah yang akan digunakan sebagai benda uji penelitian, diperoleh data hasil uji *spesiic gravity*, *sieve analysis*, *hydrometer analysis*, *atterberg limit*, dan *compaction test*.

4.1. Pengujian Tanah

4.1.1. Pengujian Berat Jenis (Specific Gravity)

Pengujian berat jenis yaitu untuk menentukan jenis tanah, berat jenis merupakan nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air dengan volume yang sama pada suhu tertentu.

Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali (Tabel 4.1)

Tabel 4.1 *Spesific Grafity* Tanah Kabupaten Bojonegoro

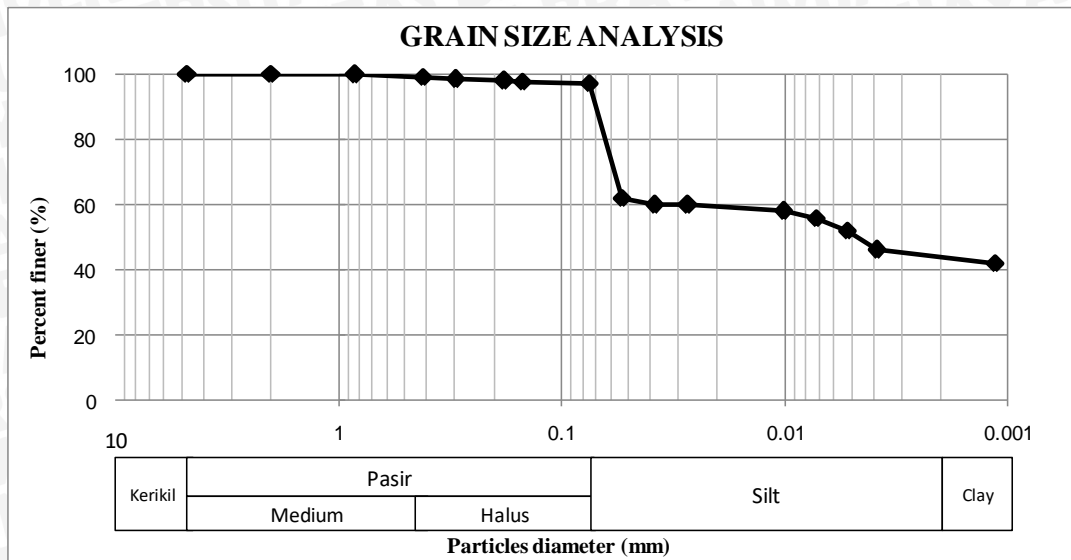
No	Berat Jenis	Rata-rata
1	2,683	2,685
2	2,688	

Sumber: Abeng (2016)

4.1.2. Klasifikasi Tanah

4.1.2.1. Analisis Saringan (*Sieve Analysis*) dan Hydrometer (*Hydrometer Analysis*)

Untuk mengetahui klasifikasi tanah pada penelitian ini dilakukan dua enis pengujian yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer. Analisis saringan (mechanical grain size) bertujuan untuk menentukan butiran kasar dan halus yang tertahan pada saringan no. 200 sedangkan analisis hydrometer digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah yang lolos saringan no. 200 atau berada di pan. Hasil analisis yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.1 Analisis saringan dan hidrometer.

Dari di atas dapat dilihat bahwa tanah dari Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro ini memiliki persentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 97,03% dan menurut sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) termasuk jenis tanah berbutir halus. Namun berdasarkan data yang didapat masih diperlukan data pendukung untuk menentukan jenis tanah menurut USCS yaitu Indeks Plastisitas (PI).

4.1.2.2. Pengujian Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Berdasarkan pemeriksaan klasifikasi tanah., tanah yang digunakan sebagai benda uji merupakan tanah berbutir halus. Karena benda uji merupakan tanah berbutir halus, perlu dilakukan pengujian batas-batas atterberg untuk mengetahui sifat plastisitas dari benda uji yang akan digunakan.

Pengujian batas-batas atterberg terdiri dari uji batas cair (*Liquid limit*), uji batas plastis (*Plastic limit*) dan uji batas susut (*Shrinkage limit*). Batas cair dan batas plastis digunakan untuk mengetahui indeks plastisitas. Indeks plastisitas digunakan sebagai data pendukung untuk menentukan jenis tanah yang di uji. Pengujian batas susut digunakan untuk mengetahui kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu prosentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Hasil pemeriksaan batas-batas *Attreberg* untuk tanah asli, didapatkan nilai batas cair (*liquid limit*) 81,5%, batas plastis (*plastic limit*) 35,59%, batas susut (*Shrinkage limit*) 6,77%, sehingga didapatkan Indeks Plastisitas sebesar 45,91%.

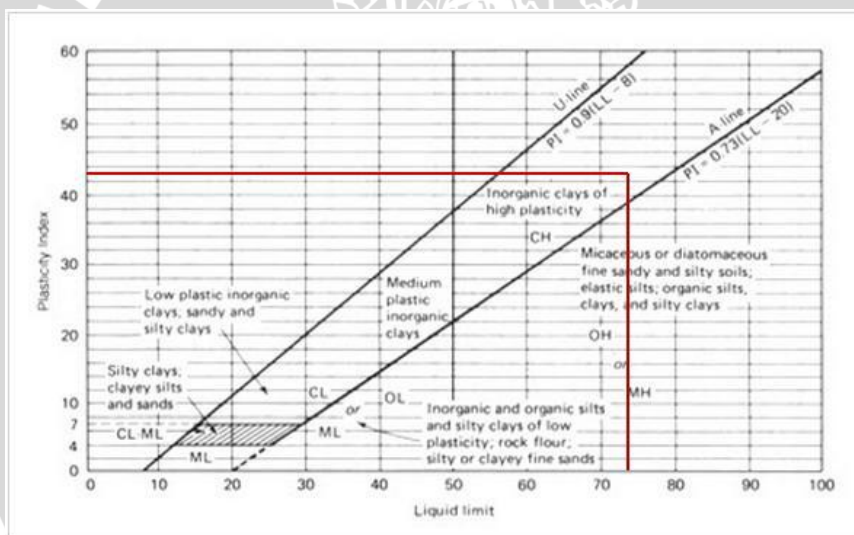
Setelah mengetahui hasil dari pengujian diatas bahwa jumlah butiran yang lolos saringan no 200 lebih dari 50% maka dapat digolongkan sampel tanah merupakan tanah

berbutir halus, sehingga selanjutnya dapat diklasifikasikan berdasarkan dengan indeks plastisitasnya.

4.1.2.3. Klasifikasi Tanah Unified

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem *Unified* (USCS) dan kriteria *specific gravity* (Gs), tanah lempung dari Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro ini tergolong sebagai tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH).

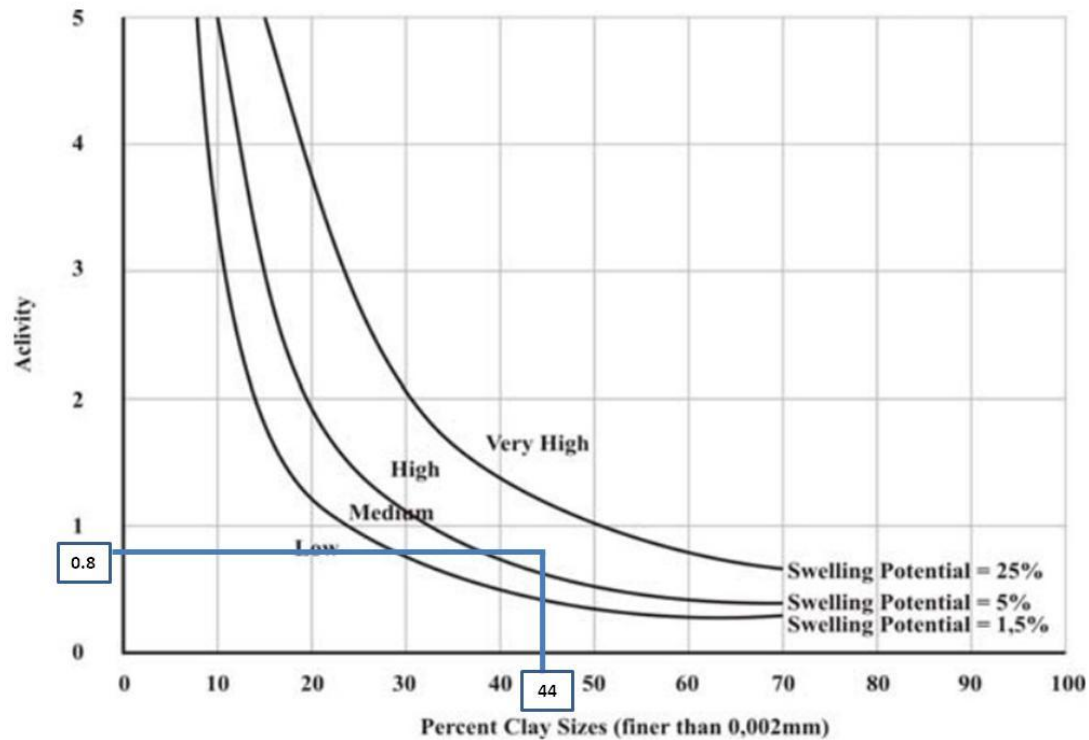
Berdasarkan sistem klasifikasi tanah sistem unified yang sudah diplotkan pada gambar 4.2, tanah lempung dari Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro tergolong sebagai tanah CH (lempung dengan plastisitas tinggi). Hasil ini didapatkan karena melihat dari hasil analisis butiran dengan presentase distribusi lolos saringan no. 200 sebesar 97,03% maka tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus dan dilihat dari batas atterberg tanah ini memiliki batas cair (*liquid limit*) 81,5%, batas plastis (*plastic limit*) 35,59%, batas susut (*Shrinkage limit*) 6,77%, sehingga didapatkan Indeks Plastisitas sebesar 45,91%.



Gambar 4.2 Klasifikasi tanah USCS

4.1.3. Sifat Ekspansifitas Tanah

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui potensi pengembangan dan derajat mengembang tanah digunakan metode tidak langsung (*single index method*) yaitu dengan menggunakan nilai-nilai dari batas *Atterberg*. Berdasarkan rumus 2.1 nilai aktivitas dapat dihitung sehingga didapatkan nilai aktivitas sebesar 0,8 dan persentase tanah ukuran 0,002 adalah 44%. Dari nilai aktivitas dan persentase lolos saringan no. 200 diplotkan pada gambar 2.5 maka dapat diketahui bahwa tanah Kabupaten Bojonegoro termasuk klasifikasi tanah dengan potensi pengembangan yang sangat tinggi seperti yang ditunjukkan gambar berikut



Gambar 4.3 Klasifikasi Potensi Mengembang
Sumber: Seed (1962)

4.1.4. Kriteria Tanah Lempung Ekspansif

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai dari batas cair (LL), batas susut (SL) dan batas plastisitas (PL) suatu tanah. Dari data tersebut juga dapat diketahui nilai indeks plastisitas (PI). Data dari pengujian tersebut dapat menjadi salah satu parameter identifikasi tanah lempung ekspansif.

Dari hasil pengujian batas-batas atterberg, untuk menentukan parameter tanah lempung ekspansif diantaranya adalah berdasarkan prosentase PI yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4.2 Identifikasi tanah lempung ekspansif

MetodeKlasifikasi	
1 Chen, 1967	Hubungan PI dengan Tingkat Pengembangan
	PI (%) Tingkat Pengembangan
	0 – 15 Rendah
	10 – 35 Sedang
	20 – 55 Tinggi
	> 35 SangatTinggi
Nilai sampel uji :	45,91%
Kesimpulan :	Potensi mengembang sangat tinggi
2 Activity Method (A)	
Skempton 1953	$A = \frac{PI}{(C - 10)}$
	$A < 0,75$ TidakAktif
	$0,75 < A < 1,25$ Normal
	$A > 1,25$ Aktif
Nilai sampel uji :	PI = 45,91% C = 44%
Kesimpulan :	A = 1,35 tanah tersebut termasuk aktif

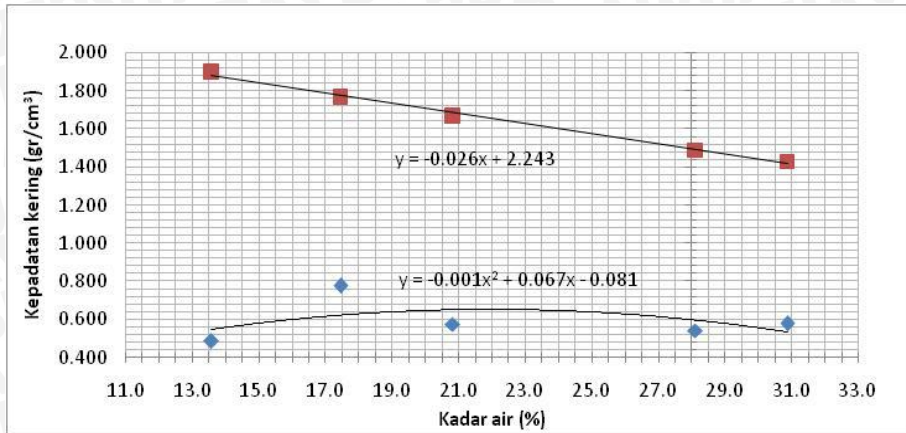
Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa sampel tanah asli yang diambil dari daerah Kec. Ngasem Kab. Bojonegoro, Jawa Timur tersebut termasuk ke dalam tanah lempung ekspansif normal dengan potensi mengembang yang sangat tinggi.

4.1.5. Pengujian Pemadatan Standar

Dalam penelitian ini, pemadatan standar digunakan untuk mengetahui nilai kadar air optimum (OMC) ketika tanah memiliki berat isi kering maksimum (γ_d maks) sesuai dengan metode ASTM D-698 Metode B. Pengujian pemadatan standar dilakukan dengan metode B dengan spesifikasi alat sebagai berikut

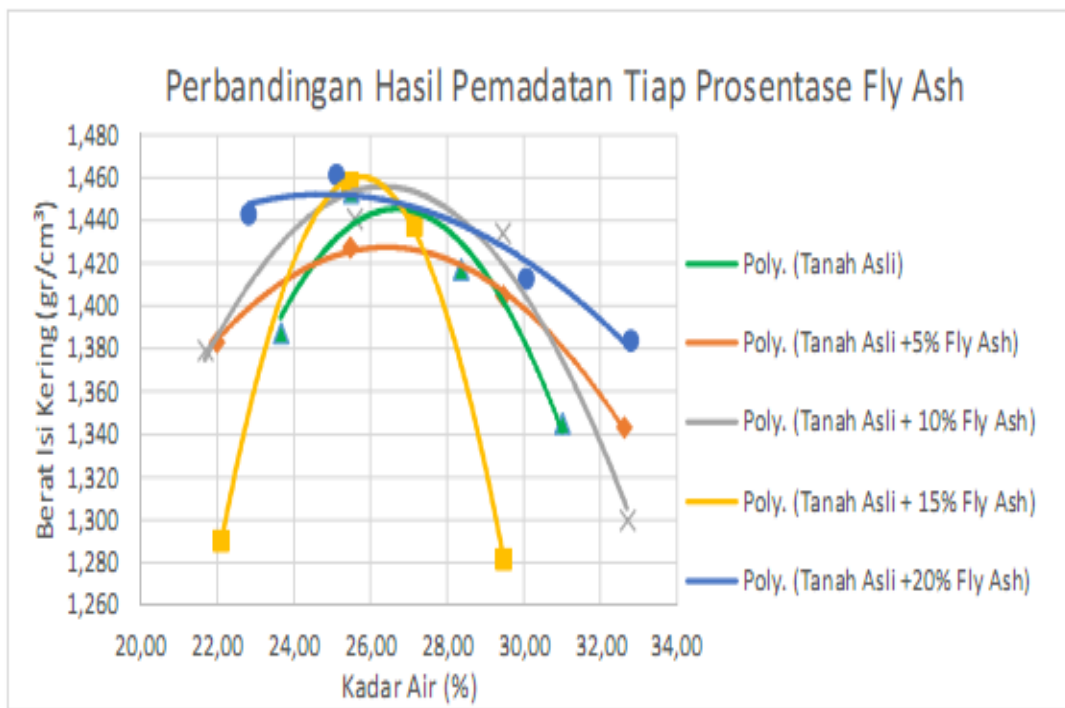
- Diameter cetakan (*mold*) 152 mm (6")
- Bahan lolos saringan no.4 (4,75 mm)
- Berat alat pemukul (*proctor*) 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,48 cm (12")

Grafik hasil pengujian pemadatan standar pada tanah asli dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini:



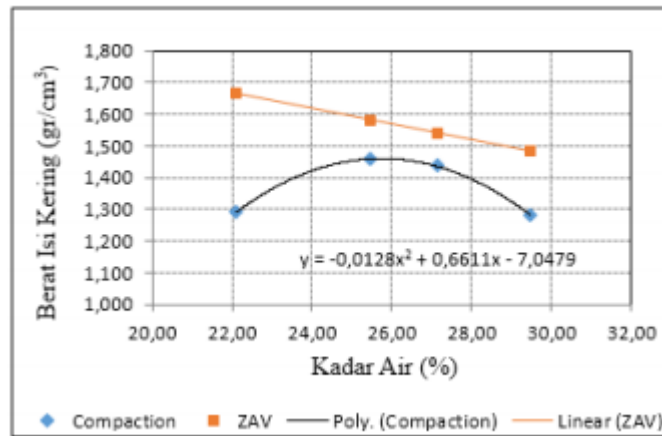
Gambar 4.4 Hasil pemadatan tanah asli

Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi berupa *fly ash* dapat dilihat pada gambar 4.5 (tobing 2014)



Gambar 4.5 Perbandingan hasil pemadatan tiap presentase *fly ash* (tobing 2014)

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa hasil pemadatan dari tiap kadar *fly ash* memiliki nilai kadar air optimum yang berbeda beda, begitu juga dengan nilai berat isi kering maksimum.



Gambar 4.6 Hasil pemadatan tanah asli + 15% *fly ash*. Tobing (2014)

Dari gambar 4.4 di atas diperoleh kadar air optimum (OMC) adalah 21,9% dan untuk berat isi kering maksimum (γ_d maks) adalah 0,8186 (gr/cm³), kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) inilah yang nantinya akan digunakan untuk pembuatan sampel rencana penelitian untuk tanah asli. Untuk data pemadatan tanah yang sudah dicampur dengan 15% *fly ash* pada gambar 4.5 nantinya akan digunakan sebagai bahan stabilisasi dengan kadar air optimum (OMC) 25,8% dan berat isi kering maksimum (γ_d maks) adalah 1,488% (gr/cm³). Untuk data pemadatan tanah yang sudah dicampur dengan *fly ash* merupakan data yang diperoleh dari penelitian Tobing (2014) yang ditampilkan pada gambar 4.6.

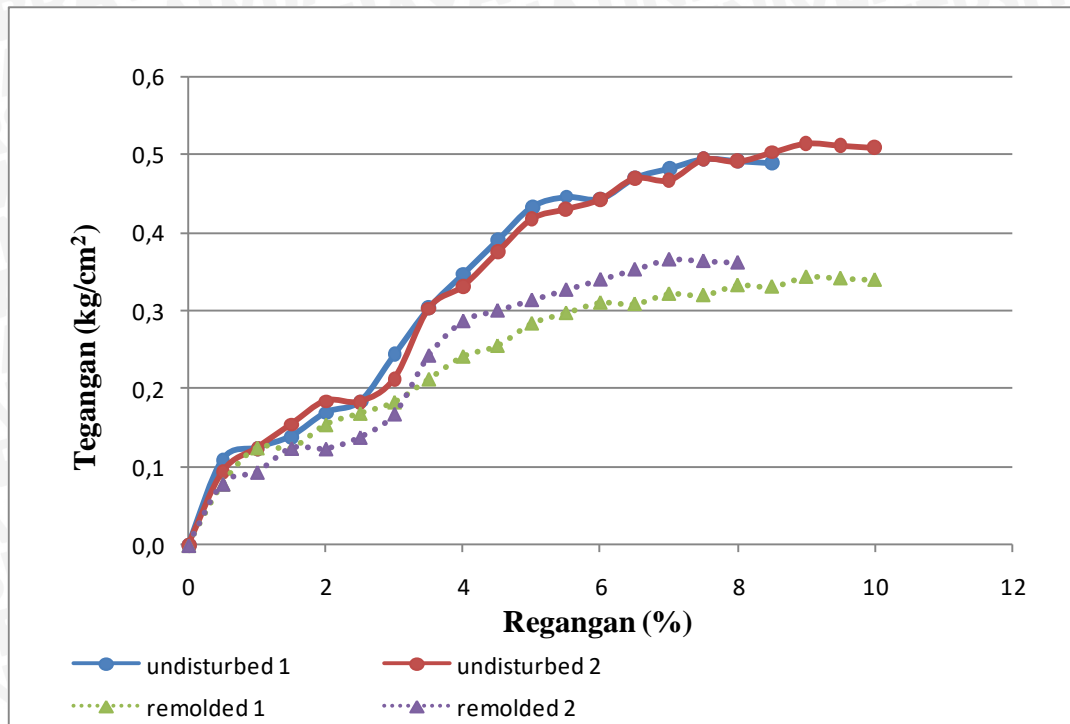
Pada penelitian ini, berhubungan dengan penelitian yang lainnya. Dimana, digunakan campuran tanah asli dengan *fly ash* 15%. Untuk mengetahui pengaruh rasio kadar air terhadap campuran stabilisasi tanah lempung menggunakan *fly ash* 15%. Bahan stabilisasi berupa *fly ash* memiliki sifat *pozzolanic*. Oleh karena itu pada pengujian pemadatan standar, tanah yang dicampur dengan *fly ash* akan menjadi keras dan kaku dikarenakan reaksi *pozzolanic*. Hal tersebut mengakibatkan kadar air optimum tanah tersebut menjadi turun, sedangkan berat isi kering maksimum tanah tersebut meningkat seiring penambahan kadar *fly ash* dalam tanah.

4.2 Analisis Hasil Penelitian

4.2.1. Pengujian Kuat Bebas Tanah (*Unconfined*)

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekutan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%. Uji ini menghasilkan hubungan antara tegangan aksial tekan dengan regangan.

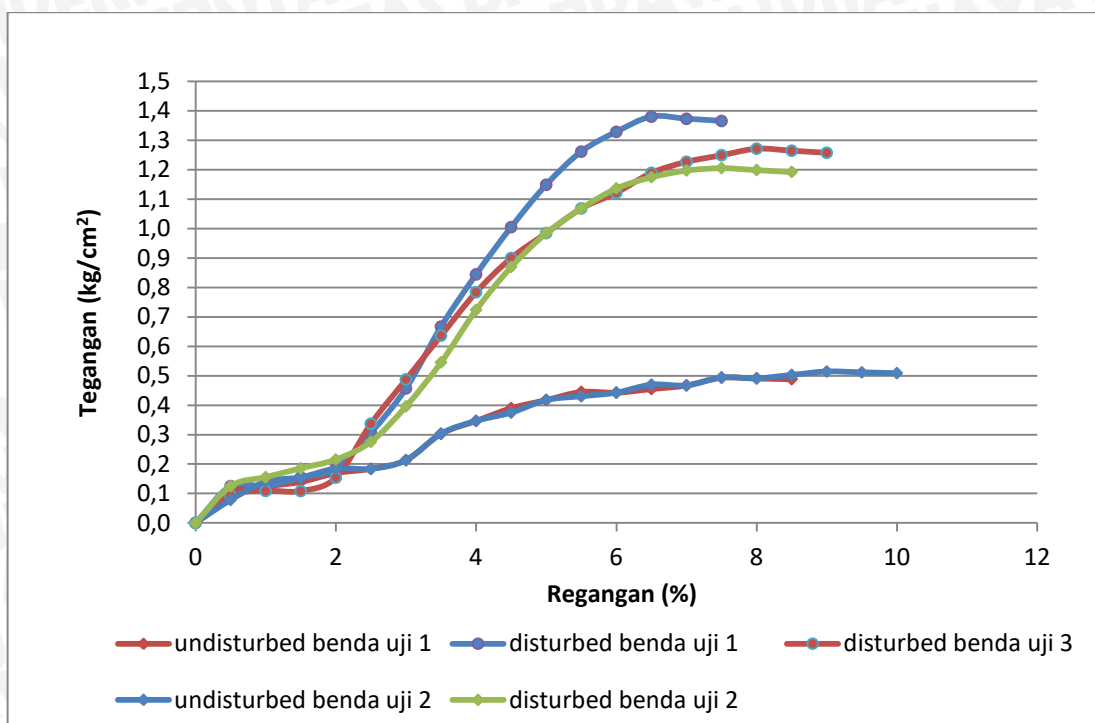
Benda yang diuji dalam pemeriksaan *unconfined* adalah tanah asli (*undisturbed*), tanah *remolded*, tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan, serta pemberian variasi kadar air untuk tanah perbaikan seluruhnya. Hasil yang diperoleh dari uji tekan bebas untuk tanah asli (*undisturbed*) dan tanah *remolded* adalah seperti diperlihatkan pada gambar berikut



Gambar 4.6 Hubungan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded*

Hasil pengujian *unconfined* seperti terlihat pada gambar diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum untuk tanah ekspansif Bojonegoro pada kondisi *undisturbed* lebih besar daripada tegangan maksimum untuk tanah *remolded*. Tanah kondisi *undisturbed* memiliki tegangan maksimum rata rata sebesar $0,50422 \text{ kg/cm}^2$ sedangkan tanah kondisi *remolded* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar $0,35408 \text{ kg/cm}^2$.

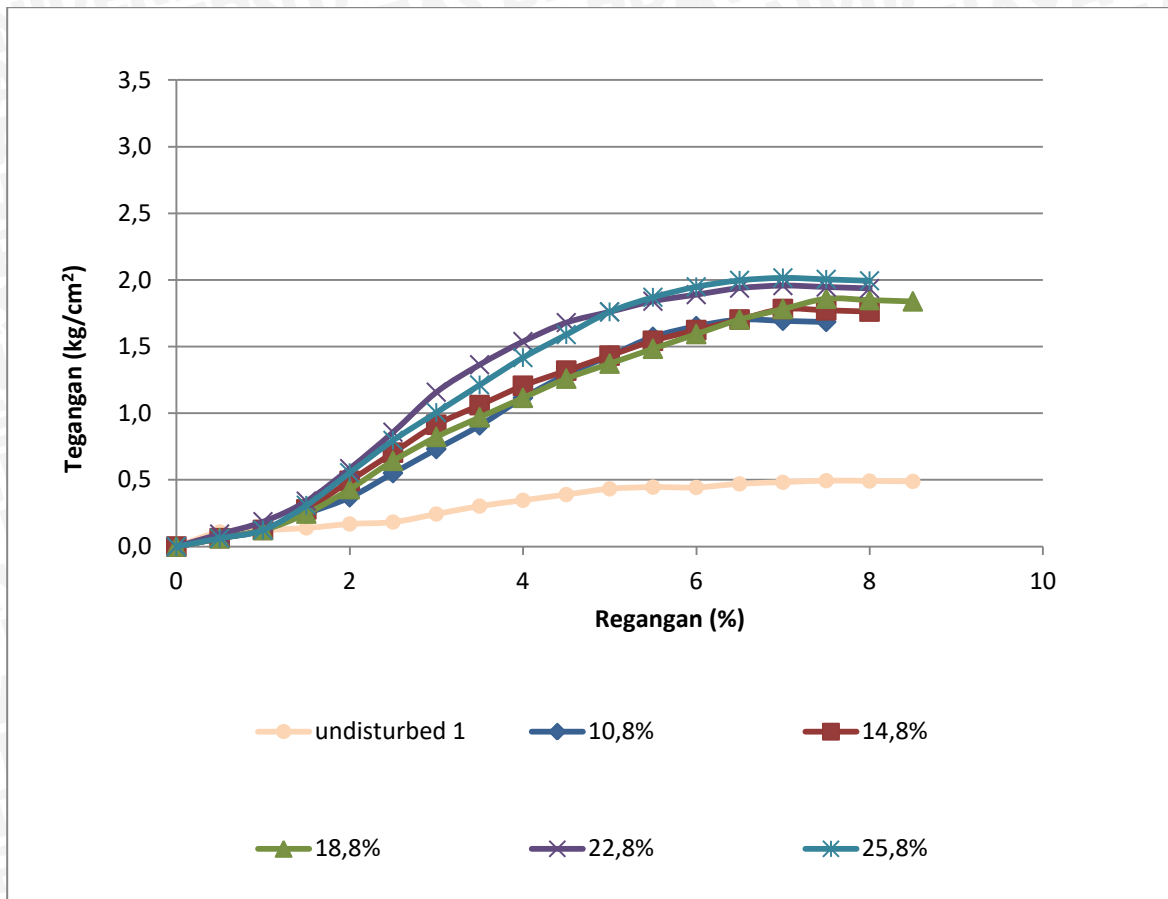
Nilai tegangan regangan pada tanah *undisturbed* akan berbeda dengan tanah yang sudah diberi perlakuan khusus *remolded*, perlakuan ini adalah tanah yang dipadatkan dengan berat isi maksimum (γ_d maks) dan kadar air optimum (OMC). Perbandingan nilai tegangan regangan pada tanah *undisturbed-remolded* ditampilkan pada gambar berikut



Gambar 4.7 Hubungan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded* yang dipadatkan dengan menggunakan kadar air optimum (OMC)

Berbeda dengan tanah *remolded* dari tanah asli yang berbeda kadar airnya dengan tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC), nilai tegangan maksimum akan semakin besar dibandingkan dengan *undisturbed*. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa tegangan maksimum rata-rata untuk tanah *remolded* dengan cara dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) yaitu sebesar $1,286 \text{ kg/cm}^2$ lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *undisturbed* yang hanya memiliki q_u rata-rata sebesar $0,50422 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini dikarenakan pemadatan dapat mengakibatkan perubahan struktur pada tanah salah satunya yaitu meningkatkan kekuatan tanah, dimana kekuatan tanah lempung yang dipadatkan akan bergantung pada pemadatan, jenis tanah, kondisi tanah, serta kadar air pada saat tanah dipadatkan.

Setelah mengetahui bahwa dengan pemadatan dan kadar air optimum (OMC) meningkatkan nilai q_u , maka dilanjutkan pengujian untuk benda uji yang dipadatkan namun diberikan perbaikan dengan campuran zat aditif yaitu *fly ash* 15% serta diberikan variasi kadar air. Hasil yang didapatkan dari uji kuat tekan bebas untuk benda uji dengan perbaikan serta kadar air yang berbeda beda sebagai berikut



Gambar 4.8 Hubungan tegangan-regangan tanah (*undisturbed*, remolded dengan perbaikan yang diberi kadar air)

Pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa tegangan maksimum tanah ekspansif *undisturbed* mempunyai nilai terkecil, hal ini dikarenakan tanah *undisturbed* memiliki kadar air yang lebih tinggi serta belum dilakukan perbaikan terhadap sifat tanah lempung tersebut.

Kemudian untuk tanah remolded dengan OMC, memiliki tegangan maksimum lebih kecil daripada tanah yang dengan OMC serta diberi tambahan kadar air. Hal ini sesuai bahwa tanah yang diperbaiki dengan zat aditif serta diberi kadar air yang sesuai akan memiliki tegangan yang lebih besar.

Pengaruh pencampuran *Fly ash* terhadap nilai q_u dikarenakan reaksi kimia pada tanah, reaksi ini mengakibatkan meningkatnya daya ikat antar butiran tanah sehingga membentuk tanah yang lebih keras dan kaku, setelah dilakukan pemeraman selama 3 hari. Keadaan ini menjadikan nilai tegangan yang lebih besar dibandingkan tanah asli tanpa penambahan *fly ash* serta kadar air.

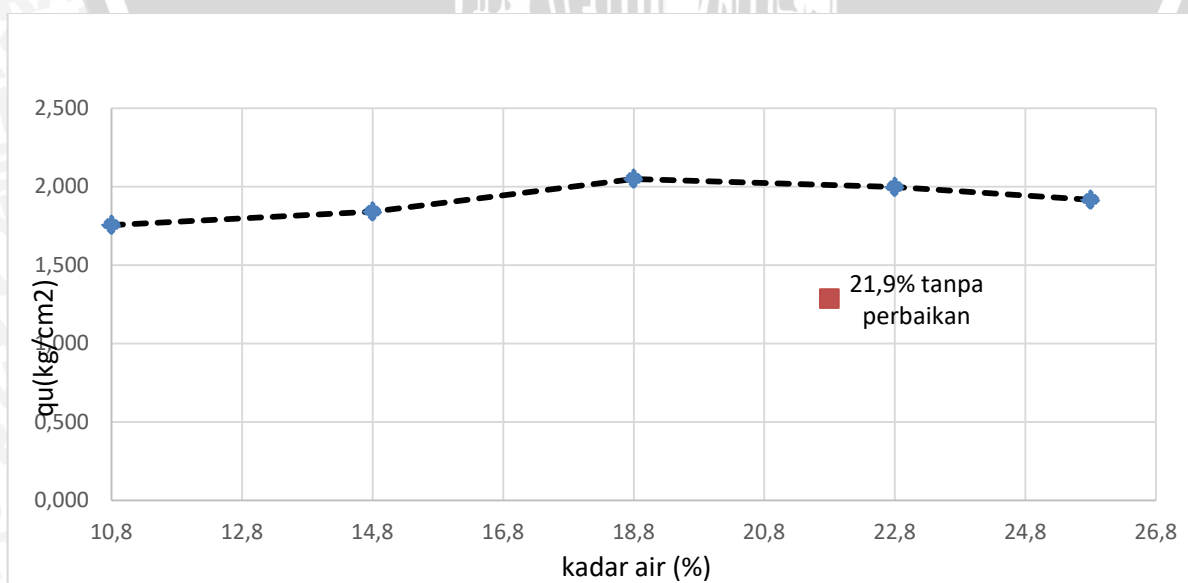
Benda uji yang diperbaiki dengan *fly ash* 15% serta di variasikan kadar airnya sangat berpengaruh pada nilai q_u pada tanah tersebut. Kadar air yang pas, akan membuat

nilai q_u tersebut menjadi lebih tinggi daripada tanpa diberi kadar air. Namun bila kadar air yang diberi rendah, maka bisa menaikkan nilai q_u tanah tersebut, tetapi apabila kadar air dikurangi terlalu banyak maka akan membuat tanah tersebut sangat kering dan kaku.

Pada tabel dibawah ini menunjukkan tanah yang dilakukan perbaikan memiliki regangan atau penurunan yang lebih tinggi dibandingkan tanah tanpa perbaikan

Tabel 4.3 Perbandingan q_u dan c_u dari variasi kadar air

No.	kadar air campuran	Ratio air - fly ash	Sampel	Kuat tekan (kg/cm ²)	kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	Cu rata rata
1	10,8%	10,8% - 15%	1	1,703	1,756	0,878
		10,8% - 15%	2	1,743		
		10,8% - 15%	3	1,820		
2	14,8%	14,8% - 15%	1	1,782	1,841	0,920
		14,8% - 15%	2	1,850		
		14,8% - 15%	3	1,890		
3	18,8%	18,8% - 15%	1	2,016	2,049	1,025
		18,8% - 15%	2	2,041		
		18,8% - 15%	3	2,092		
4	22,8%	22,8% - 15%	1	1,957	1,997	0,999
		22,8% - 15%	2	1,997		
		22,8% - 15%	3	2,037		
5	25,8%	25,8% - 15%	1	1,860	1,916	0,958
		25,8% - 15%	2	1,909		
		25,8% - 15%	3	1,978		
6	21,9% tanpa perbaikan	21,9% - 0%	1	1,380	1,286	0,643
		21,9% - 0%	2	1,206		
		21,9% - 0%	3	1,272		
7	undisturbed	42% - 0%	1	0,494	0,504	0,252
		42% - 0%	3	0,515		

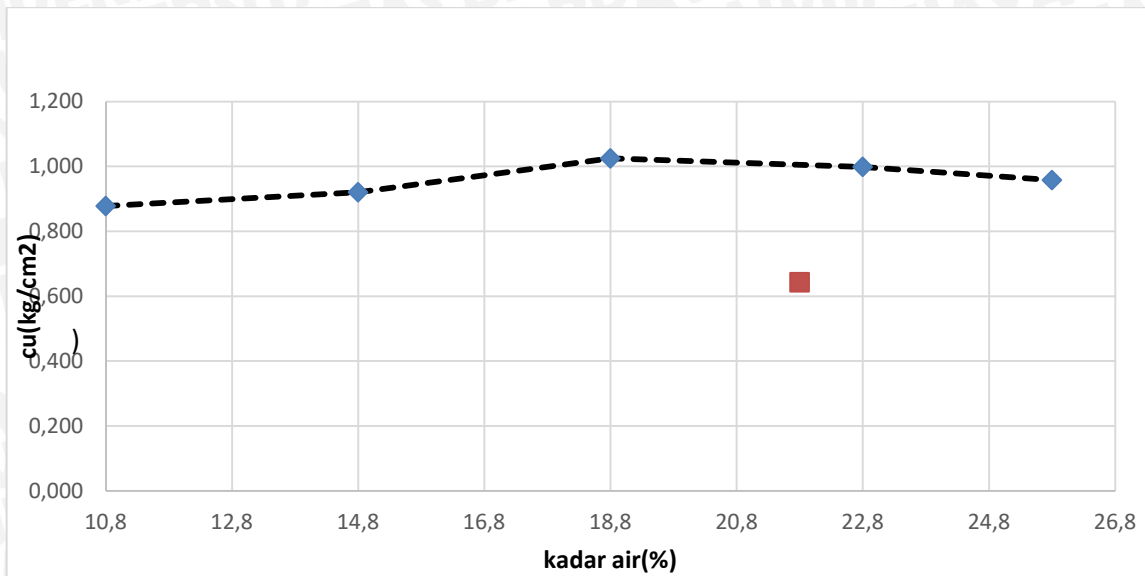


Gambar 4.9 Pengaruh kadar air terhadap q_u

Tabel 4.4 Peningkatan nilai q_u dari tanah asli akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan.

No.	Kadar air campuran	kuat tekan bebas (q_u) tanah asli (kg/cm^2)	kuat tekan bebas (q_u) (kg/cm^2)	peningkatan (%)
1	10,8%	0,504	1,756	248
2	14,8%		1,841	265
3	18,8%		2,049	307
4	22,8%		1,997	296
5	25,8%		1,916	280
6	21,9% tanpa perbaikan		1,286	155

Pengaruh kadar air terhadap nilai q_u dan nilai q_u tanah asli (*undisturbed*) ditunjukkan pada gambar 4.9, untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan q_u dengan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu $0,504 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai q_u $1,286 \text{ kg/cm}^2$ dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai q_u akibat pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 155% dari tanah asli (*undisturbed*) seperti pada tabel 4.3. Untuk variasi kadar air dari gambar 4.9 terlihat bahwa peningkatan q_u terbesar terjadi pada penambahan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai q_u pada saat kadar air 14,8% dan 10,8% seperti pada tabel 4.9



Gambar 4.10 Pengaruh kadar air terhadap CU

Tabel 4.5 Peningkatan nilai Cu dari tanah asli akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan

No.	Kadar air campuran	Cu tanah asli (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	10,8%	0,252	0,878	248
2	14,8%		0,920	265
3	18,8%		1,025	307
4	22,8%		0,999	296
5	25,8%		0,958	280
6	21,9% tanpa perbaikan		0,643	155

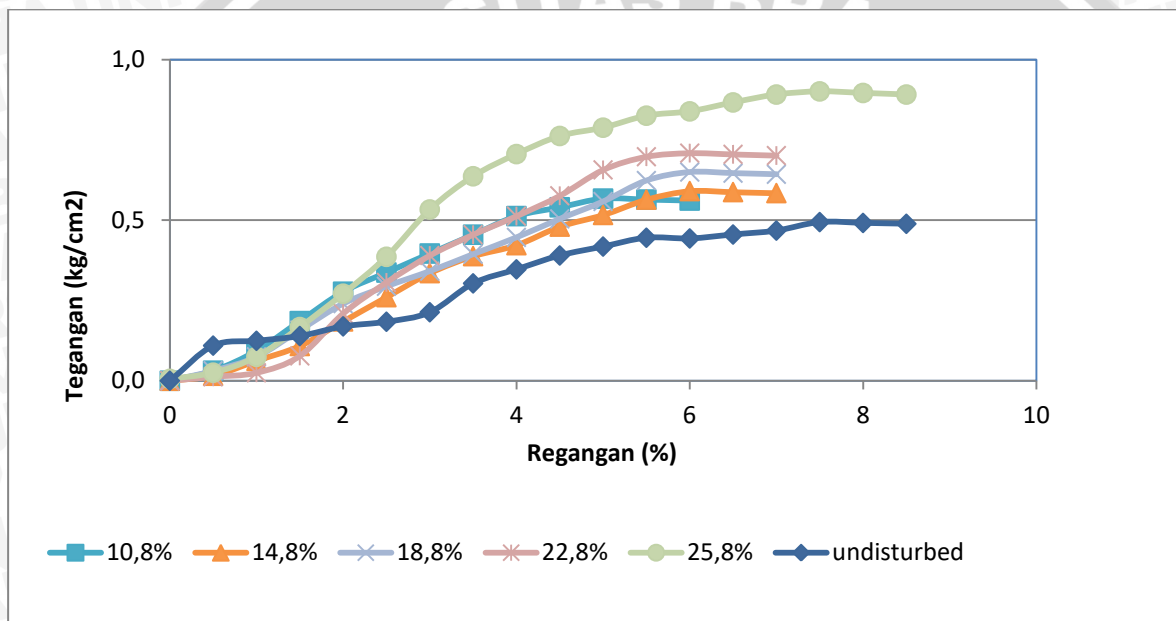
Pada gambar 4.10 terlihat bahwa nilai cu pada tanah *undisturbed* memiliki nilai paling kecil yaitu 0,252 kg/cm², untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum tanpa perbaikan memiliki nilai Cu sebesar 0,643 kg/cm², tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum tanpa perbaikan bisa meningkatkan nilai Cu 155% dari tanah asli.

4.2.2. Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah (*Unconfined*) Setelah Pengembangan (*Swelling*)

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekutan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami

keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%. Uji ini menghasilkan hubungan antara tegangan aksial tekan dengan regangan.

Benda yang diuji dalam pemeriksaan *unconfined* adalah tanah asli (*undisturbed*), tanah *remolded*, tanah *remolded* yang sudah dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan, serta pemberian variasi kadar air untuk tanah perbaikan seluruhnya. Namun, benda uji dilakukan pengujian setelah sebelumnya dilakukan *swelling* atau uji pengembangan. Untuk mengetahui tegangan-regangan pada tanah setelah mengalami pengembangan. Hasil yang diperoleh dari uji tekan bebas untuk tanah asli (*undisturbed*) dan tanah *remolded* setelah pengembangan adalah seperti diperlihatkan pada gambar berikut



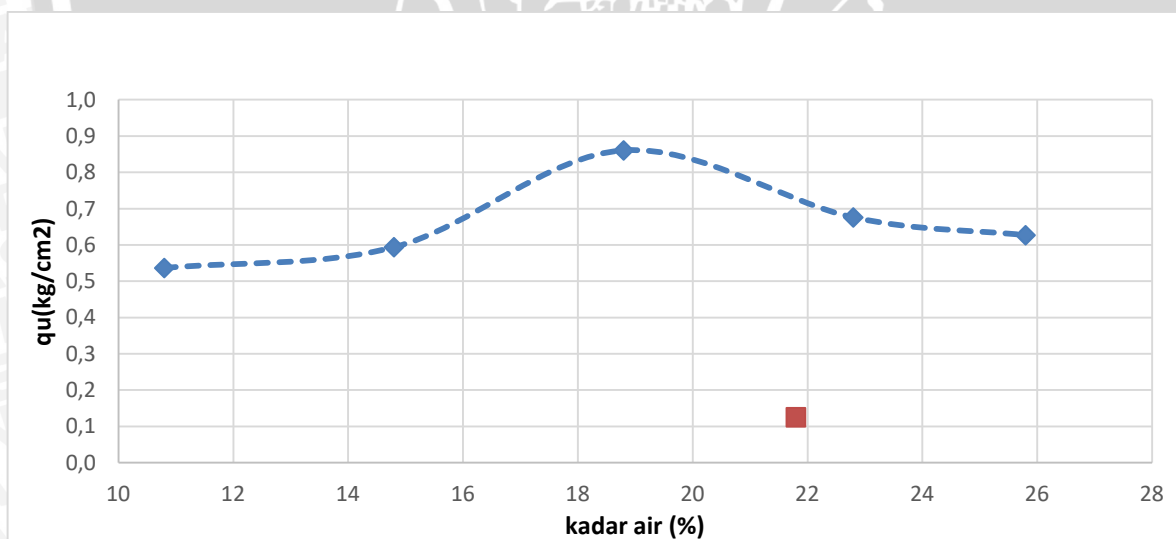
Gambar 4.11 Hubungan tegangan-regangan tanah setelah swelling (*remolded* dengan perbaikan yang diberi kadar air)

Bisa dilihat pada gambar, hubungan tegangan dan regangan yang baik setelah perendaman terjadi pada campuran *fly ash* dengan kadar air sebesar 18,8% dengan kata lain apabila tanah campuran diberi air lebih dari 18,8% maka tanah tersebut akan menjadi lembek dan sebaliknya jika diberi kadar air kurang dari 18,8% maka tanah campuran tersebut akan menjadi lebih getas. Nilai hubungan tegangan dan regangan berbanding lurus dengan nilai q_u , semakin besar nilai q_u maka semakin besar pula nilai kohesi dalam tanah tersebut, semakin besar nilai kohesi maka semakin besar pula tanah tersebut dapat menahan tegangan dari luar. Oleh karena itu tanah campuran dengan kadar air 18,8% memiliki nilai q_u tertinggi dan hubungan tegangan regangan yang baik seperti pada grafik.

Pada tabel dibawah ini menunjukkan tanah setelah pengembangan perbaikan memiliki regangan atau penurunan yang lebih rendah.

Tabel 4.6. Perbandingan q_u dan C_u dengan variasi setelah pengembangan

No.	kadar air campuran	ratio air - fly ash	Sampel	kuat tekan (kg/cm ²)	kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	C_u rata rata
1	10,8%	10,8% - 15%	1	0,507	0,536	0,268
		10,8% - 15%	2	0,534		
		10,8% - 15%	3	0,567		
2	14,8%	14,8% - 15%	1	0,567	0,594	0,297
		14,8% - 15%	2	0,623		
		14,8% - 15%	3	0,591		
3	18,8%	18,8% - 15%	1	0,818	0,860	0,430
		18,8% - 15%	2	0,862		
		18,8% - 15%	3	0,901		
4	22,8%	22,8% - 15%	1	0,643	0,676	0,338
		22,8% - 15%	2	0,675		
		22,8% - 15%	3	0,709		
5	25,8%	25,8% - 15%	1	0,610	0,627	0,313
		25,8% - 15%	2	0,620		
		25,8% - 15%	3	0,650		
6	21,9% tanpa perbaikan	21,9% - 0%	1	0,135	0,125	0,063
		21,9% - 0%	2	0,119		
		21,9% - 0%	3	0,121		
7	undisturbed	42% - 0%	1	0,076	0,069	0,035
		42% - 0%	2	0,066		
		42% - 0%	3	0,064		

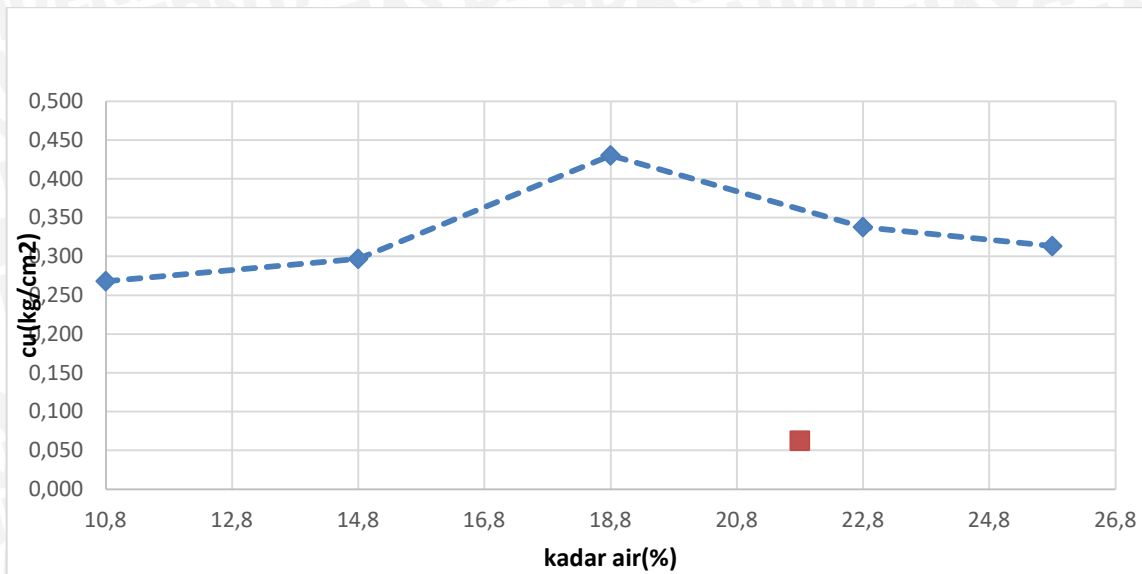


Gambar 4.12 Pengaruh kadar air terhadap q_u

Tabel 4.7 Penurunan nilai q_u dari tanah *omc remolded* akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan

No.	Kadar air campuran	kuat tekan bebas (qu) tanah asli (kg/cm ²)	kuat tekan bebas (qu) (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	10,8%	0,069	0,536	677
2	14,8%		0,594	760
3	18,8%		0,860	1147
4	22,8%		0,676	879
5	25,8%		0,627	808
6	21,9% tanpa perbaikan		0,125	81

Pengaruh kadar air terhadap nilai qu dan nilai qu tanah asli (*undisturbed*) setelah swelling ditunjukkan pada gambar 4.12, untuk tanah asli (*undisturbed*) dihasilkan qu dengan nilai terendah diantara semua benda uji yaitu 0,069 kg/cm². Sedangkan untuk tanah *remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) tanpa perbaikan memiliki nilai qu 0,125 kg/cm² dengan nilai ini didapatkan peningkatan nilai qu akibat pemadatan dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 81% dari tanah asli (*undisturbed*) seperti pada tabel 4.3. Untuk variasi kadar air dari gambar 4.12 terlihat bahwa peningkatan qu terbesar terjadi pada penambahan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai qu pada saat penambahan kadar air 14,8% dan 10,8% .



Gambar 4.13 Pengaruh kadar air terhadap Cu

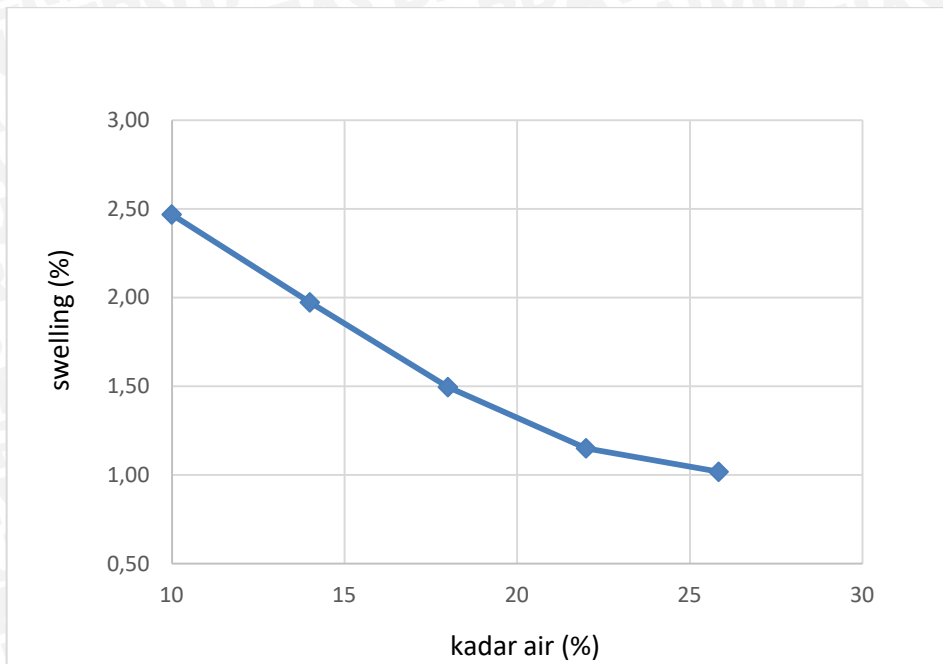
Tabel 4.8 Penurunan nilai cu dari tanah omc *remolded* akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan

No.	Kadar air campuran	Cu tanah tanah asli (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	10,8%	0,034	0,268	689
2	14,7%		0,297	773
3	18,8%		0,430	1165
4	22,8%		0,338	894
5	25,8%		0,313	821
6	21,9% tanpa perbaikan		0,063	84

Pada gambar 4.13 terlihat bahwa nilai cu pada tanah omc dengan kadar air memiliki nilai paling kecil yaitu 0,313 kg/cm²

4.2.3. Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Pengembangan (*swelling*) adalah perbandingan perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi sampel semula sebelum dilakukan perendaman yang dinyatakan dalam (%). Uji pengembangan (*swelling*) ini dilakukan dengan kadar air optimum (OMC) dengan perbedaan pada variasi kadar air seperti yang telah di tentukan sebelumnya.. Hasil uji *swelling* dapat dilihat pada gambar 4.14 Dan tabel 4.9



Gambar 4.14 Pengaruh kadar air terhadap pengembangan

Tabel 4.9 Hasil uji pengembangan (*swelling*) untuk sampel dengan variasi kadar air

Jenis Sample	pengembangan tanah asli(%)	pengembangan (%)	Penurunan (%)	
tanah+fly ash 15%	kadar air 10,8%	2,469	-55,1819	
	kadar air 14,8%	1,973	-64,1777	
	kadar air 18,8%	5,509	1,496	-72,8521
	kadar air 22,8%	1,150	-79,1170	
	kadar air 25,8%	1,018	-81,5211	

Pada gambar 4.14 Menunjukkan bahwa semakin kecil kadar air yang diberikan pada benda uji, maka pengembangannya akan semakin besar. Pengembangan terbesar yaitu pada tanah asli sebesar 5,509%. Untuk sampel dengan perbaikan dengan menggunakan *fly ash* setelah diberi variasi kadar air, dapat menurunkan pengembangan hingga 81% dari tanah asli.

Uji pengembangan (*swelling*) dengan perbaikan 29% dari volume mold dengan menggunakan pipa diameter 5 cm dan diameter 2 cm dengan cara memberikan tanah perbaikan pada lubang pipa yang diberi kadar campuran *fly ash* 15% dan kadar air optimum serta lama waktu curing dapat dilihat pada tabel 4.10, 4.11 dan gambar 4.15

Tabel 4.10 Hasil pengembangan pengaruh lama curing

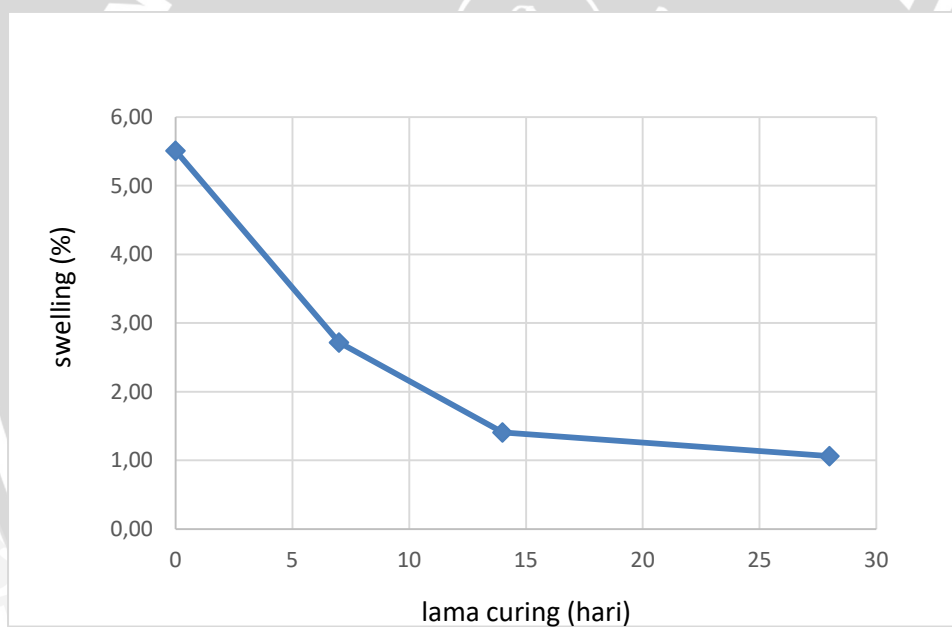
lama curing (hari)	Volume sampel (cm ³)	pengembangan (%)
0	2131,137625	5,509
7		2,717
14		1,407
28		1,062

Berdasarkan Tabel 4.10 didapatkan hasil pengembangan terkecil terdapat pada lama curing 28 hari dengan nilai pengembangan sebesar 1,062% dan nilai terbesar terdapat pada lama curing 0 hari dengan nilai pengembangan sebesar 5,509%.

Tabel 4.11 Hasil penurunan dari pengembangan tanah asli

sampel	pengembangan tanah asli tanah asli (%)	Pengembangan (%)	Penurunan nilai pengembangan (%)
curing 7 hari		2,717	-51
curing 14 hari	5,509	1,407	-74
curing 28 hari		1,062	-81

Berdasarkan Tabel 4.11 didapatkan hasil penurunan terbaik pada lama curing 28 hari dengan nilai penurunan sebesar 81%



Gambar 4.15 Pengaruh lama waktu curing terhadap pengembangan



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan (q_u) dan kuat geser (c_u) tanah kondisi *unsoaked* dan *soaked* mengalami peningkatan pada penambahan *fly ash* 15% dengan kadar air sebesar 18,8%, kemudian mengalami penurunan nilai q_u dan c_u pada pengurangan kadar air dibawah 18,8%, semakin besar penambahan kadar air maka semakin kecil nilai pengembangan (*swelling*).
2. Nilai q_u , c_u tanah *unsoaked* dan *soaked* terbesar diperoleh pada kadar air sebesar 18,8% oleh karena itu penambahan kadar air yang paling baik untuk tanah campuran *fly ash* 15% adalah sebesar 18,8%.

5.2. Saran

Setelah melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah

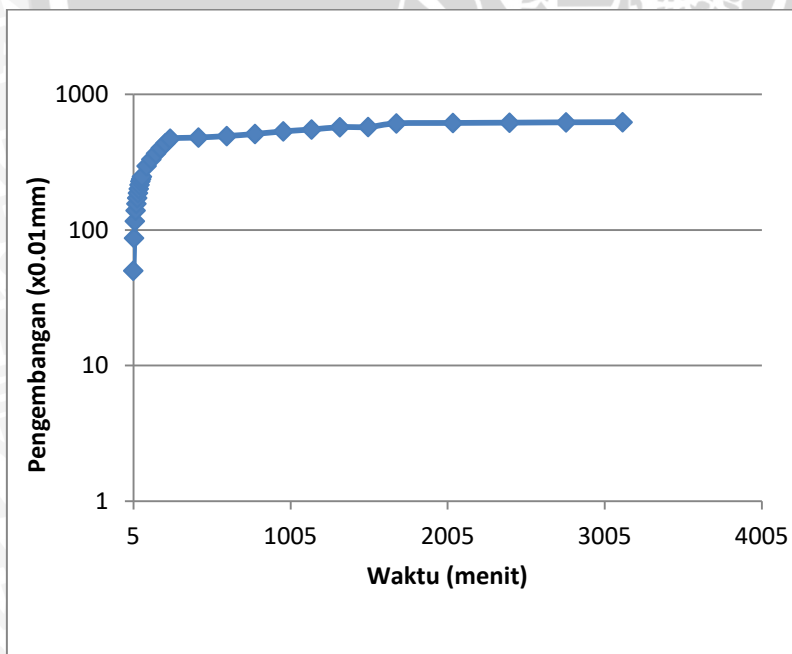
1. Perlu diadakan pengulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal.
2. Perlu dilakukan *swelling* dengan lama waktu yang lebih lama agar benar benar terendam

Lampiran 1. Uji Swelling

Swelling tanah asli

Ht = 113 mm

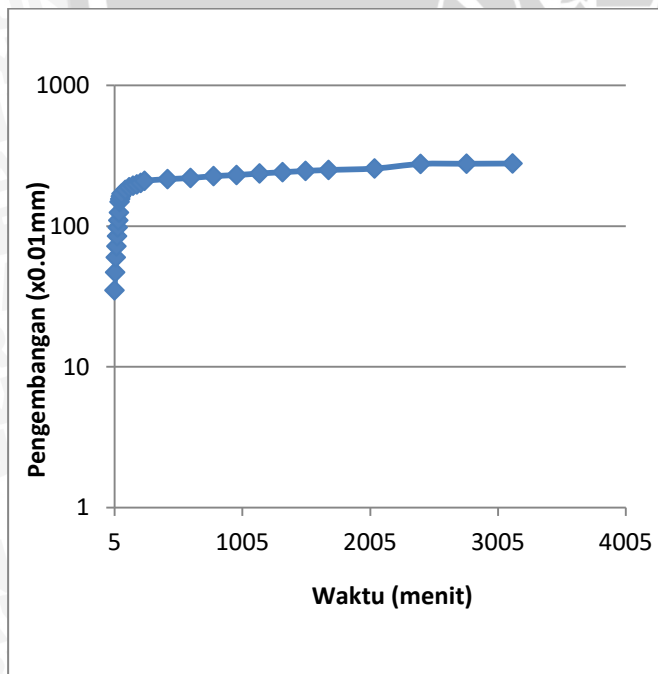
Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Besar Pengembangan (%)	Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Proses Pengembangan (%)
0	0	0	180	401	3,549
5	50	0,442	210	436	3,858
10	87	0,770	240	471	4,168
15	116	1,027	420	480	4,248
20	139	1,230	600	492	4,354
25	156	1,381	780	510	4,513
30	172	1,522	960	533	4,717
35	187	1,655	1140	550	4,867
40	201	1,779	1320	572	5,062
45	215	1,903	1500	574	5,080
50	228	2,018	1680	610	5,398
55	237	2,097	2040	614,5	5,438
60	247	2,186	2400	617,5	5,465
90	296	2,619	2760	621	5,496
120	331	2,929	3120	622,5	5,509
150	366	3,239			



Swelling campuran kadar air 10,8%

Ht = 113 mm

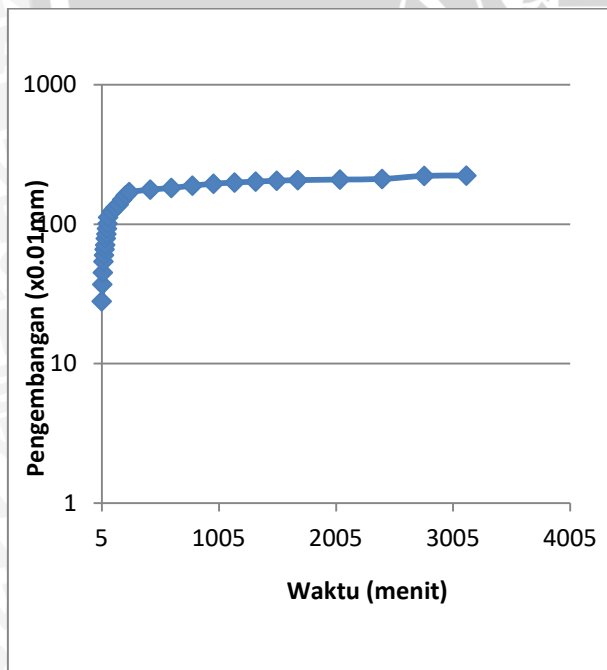
Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Besar Pengembangan (%)	Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Proses Pengembangan (%)
0	0	0	180	198	1,752
5	35	0,310	210	203	1,796
10	47	0,416	240	210	1,858
15	60	0,531	420	216	1,912
20	72	0,637	600	220	1,947
25	85	0,752	780	227	2,009
30	98	0,867	960	231	2,044
35	110	0,973	1140	237	2,097
40	125	1,106	1320	242	2,142
45	149	1,319	1500	247	2,186
50	156	1,381	1680	251	2,221
55	163	1,442	2040	257	2,274
60	170	1,504	2400	277	2,451
90	181	1,602	2760	278	2,460
120	189	1,673	3120	279	2,469
150	194	1,717			



Swelling campuran kadar air 14,8%

Ht = 113 mm

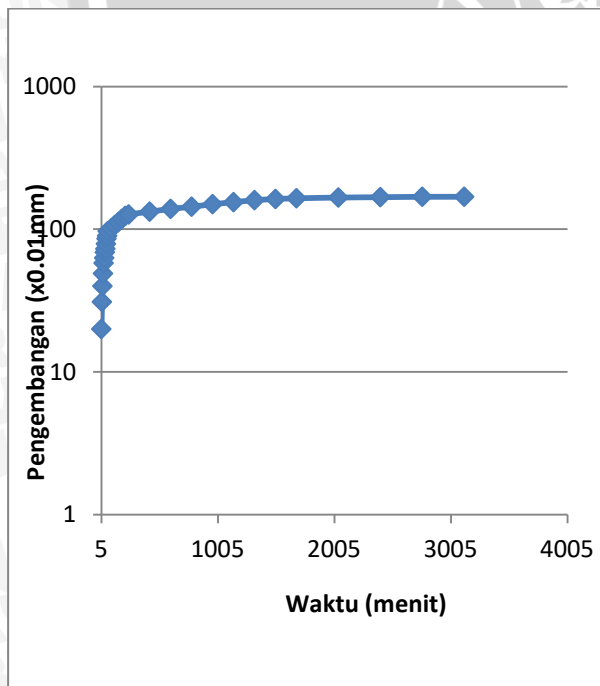
Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Besar Pengembangan (%)	Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Proses Pengembangan (%)
0	0	0	180	150	1,327
5	28	0,248	210	161	1,425
10	37	0,327	240	170	1,504
15	45	0,398	420	177	1,566
20	54	0,478	600	182	1,611
25	60	0,531	780	189	1,673
30	66	0,584	960	195	1,726
35	71	0,628	1140	199	1,761
40	79	0,699	1320	202	1,788
45	85	0,752	1500	205	1,814
50	93	0,823	1680	207	1,832
55	101	0,894	2040	209	1,850
60	112	0,991	2400	211	1,867
90	123	1,088	2760	222	1,965
120	131	1,159	3120	223	1,973
150	138	1,221			



Swelling campuran kadar air 18,8%

Ht = 113 mm

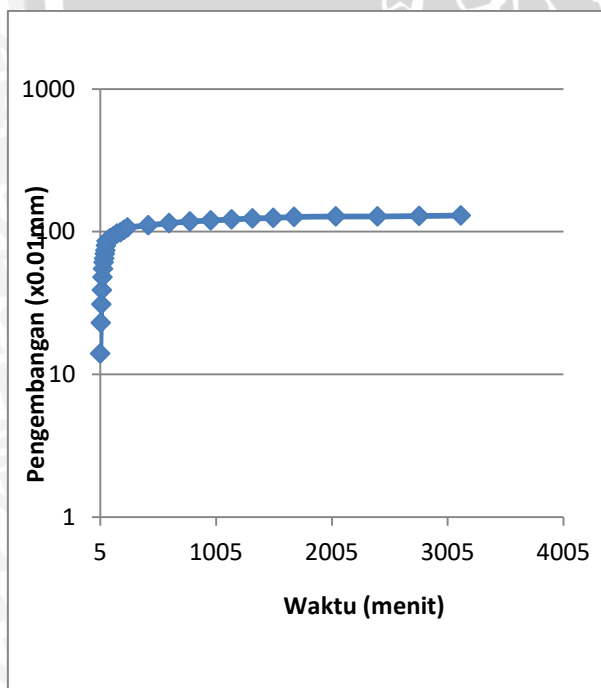
Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Besar Pengembangan (%)	Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Proses Pengembangan (%)
0	0	0	180	118	1,044
5	20	0,177	210	124	1,097
10	31	0,274	240	127	1,124
15	40	0,354	420	133	1,177
20	49	0,434	600	139	1,230
25	58	0,513	780	144	1,274
30	63	0,558	960	150	1,327
35	69	0,611	1140	155	1,372
40	73	0,646	1320	160	1,416
45	79	0,699	1500	163	1,442
50	86	0,761	1680	165	1,460
55	90	0,796	2040	167	1,478
60	97	0,858	2400	168	1,487
90	101	0,894	2760	169	1,496
120	107	0,947	3120	169	1,496
150	112	0,991			



Swelling campuran kadar air 22,8%

Ht = 113 mm

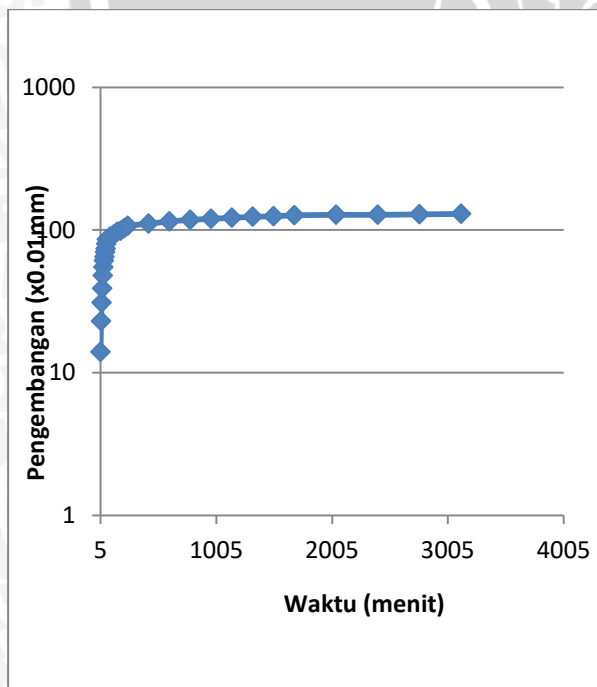
Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Besar Pengembangan (%)	Waktu (menit)	Pengembangan (x0,01mm)	Proses Pengembangan (%)
0	0	0	180	99	0,876
5	14	0,124	210	103	0,912
10	23	0,204	240	107	0,947
15	31	0,274	420	111	0,982
20	39	0,345	600	115	1,018
25	48	0,425	780	118	1,044
30	55	0,487	960	120	1,062
35	61	0,540	1140	122	1,080
40	65	0,575	1320	124	1,097
45	70	0,619	1500	125	1,106
50	74	0,655	1680	127	1,124
55	80	0,708	2040	128	1,133
60	86	0,761	2400	128	1,133
90	90	0,796	2760	129	1,142
120	93	0,823	3120	130	1,150
150	97	0,858			



Swelling campuran kadar air 25,84%

Ht = 113 mm

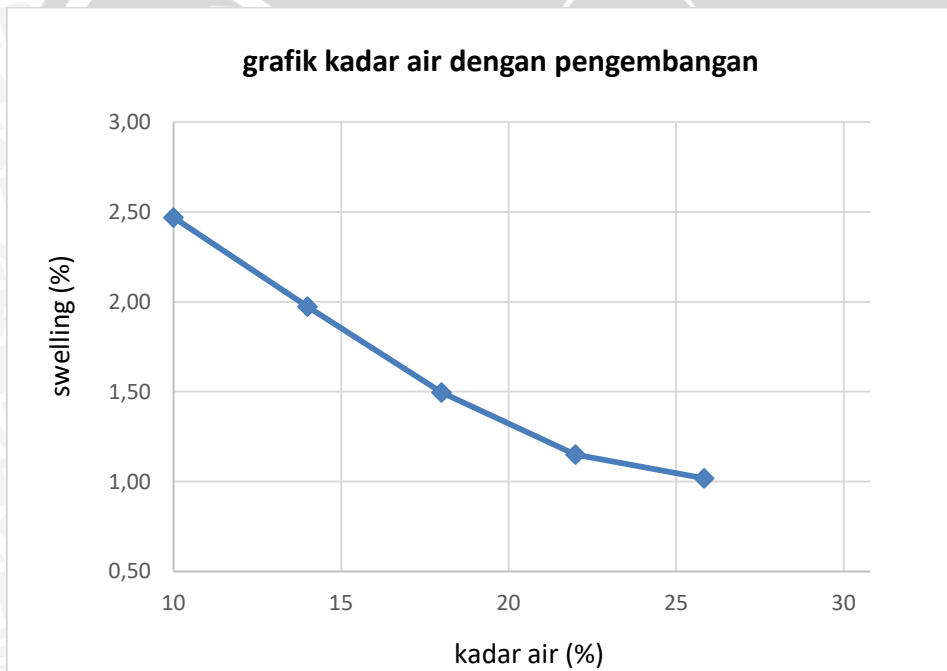
25,8%					
Waktu	Pengembangan	Besar Pengembangan	Waktu	Pengembangan	Proses Pengembangan
(menit)	(x0,01mm)	(%)	(menit)	(x0,01mm)	(%)
0	0	0	180	60,5	0,535
5	4	0,035	210	66	0,584
10	7,5	0,066	240	71	0,628
15	10,5	0,093	420	82,5	0,730
20	12,5	0,111	600	89	0,788
25	16	0,142	780	91	0,805
30	19	0,168	960	95	0,841
35	20,5	0,181	1140	98,5	0,872
40	22	0,195	1320	102	0,903
45	25,5	0,226	1500	104	0,920
50	28,5	0,252	1680	108	0,956
55	31	0,274	2040	112	0,991
60	32	0,283	2400	113	1,000
90	42	0,372	2760	114	1,009
120	49	0,434	3120	115	1,018
150	55	0,487			



Gabungan

Jenis Sample		kadar air (%)	Volume sampel	pengembangan (%)
tanah+fly ash 15%	kadar air 10,8%	10,8	2131,138	2,469
	kadar air 14,8%	14,8		1,973
	kadar air 18,8%	18,8		1,496
	kadar air 22,8%	22,8		1,150
	kadar air 25,8%	25,8		1,018

Jenis Sample		Pengembangan Tanah+OMC (%)	pengembangan (%)	Penurunan (%)
tanah+fly ash 15%	kadar air 10,8%	1,018	2,469	142,5370
	kadar air 14,8%		1,973	93,8557
	kadar air 18,8%		1,496	46,9131
	kadar air 22,8%		1,150	13,0101



Lampiran 2. Pengujian Unconfined

A. Kuat Tekan Bebas Tanah Asli

Data :

d = 5 cm

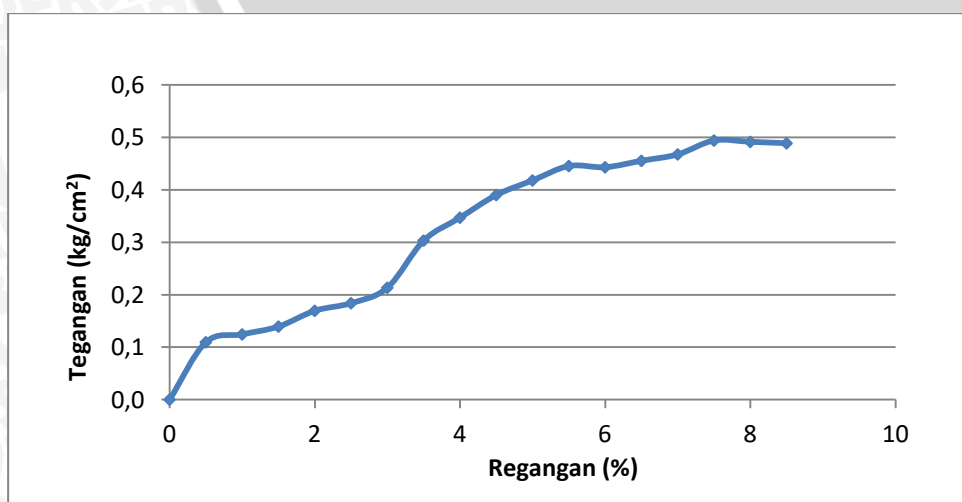
L = 10 cm

A = 19,643 cm²

0,617

kalibrasi alat = kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A' = A_0 / (1 - \varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	3,5	0,5	2,160	1,005	19,742	0,109
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	4,5	1,5	2,777	1,015	19,942	0,139
2	5,5	2	3,394	1,020	20,044	0,169
2,5	6	2,5	3,702	1,026	20,147	0,184
3	7	3	4,319	1,031	20,250	0,213
3,5	10	3,5	6,170	1,036	20,355	0,303
4	11,5	4	7,096	1,042	20,461	0,347
4,5	13	4,5	8,021	1,047	20,568	0,390
5	14	5	8,638	1,053	20,677	0,418
5,5	15	5,5	9,255	1,058	20,786	0,445
6	15	6	9,255	1,064	20,897	0,443
6,5	15,5	6,5	9,564	1,070	21,008	0,455
7	16	7	9,872	1,075	21,121	0,467
7,5	17	7,5	10,489	1,081	21,236	0,494
8	17	8	10,489	1,087	21,351	0,491
8,5	17	8,5	10,489	1,093	21,468	0,489



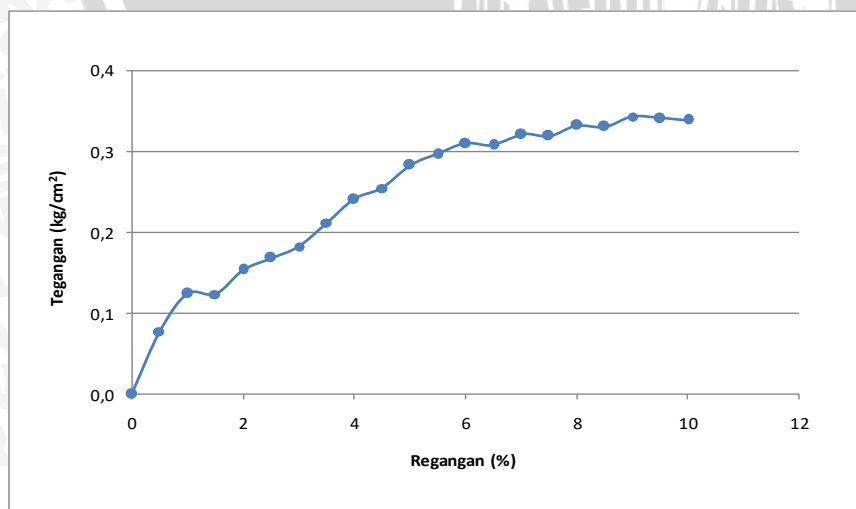
Sampel : Remolded 1

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm^2)	Tegangan (kg/cm^2)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2,5	0,5	1,543	1,005	19,742	0,078
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	4	1,5	2,468	1,015	19,942	0,124
2	5	2	3,085	1,020	20,044	0,154
2,5	5,5	2,5	3,394	1,026	20,147	0,168
3	6	3	3,702	1,031	20,250	0,183
3,5	7	3,5	4,319	1,036	20,355	0,212
4	8	4	4,936	1,042	20,461	0,241
4,5	8,5	4,5	5,245	1,047	20,568	0,255
5	9,5	5	5,862	1,053	20,677	0,283
5,5	10	5,5	6,170	1,058	20,786	0,297
6	10,5	6	6,479	1,064	20,897	0,310
6,5	10,5	6,5	6,479	1,070	21,008	0,308
7	11	7	6,787	1,075	21,121	0,321
7,5	11	7,5	6,787	1,081	21,236	0,320
8	11,5	8	7,096	1,087	21,351	0,332
8,5	11,5	8,5	7,096	1,093	21,468	0,331
9	12	9	7,404	1,099	21,586	0,343
9,5	12	9,5	7,404	1,105	21,705	0,341
10	12	10	7,404	1,111	21,825	0,339



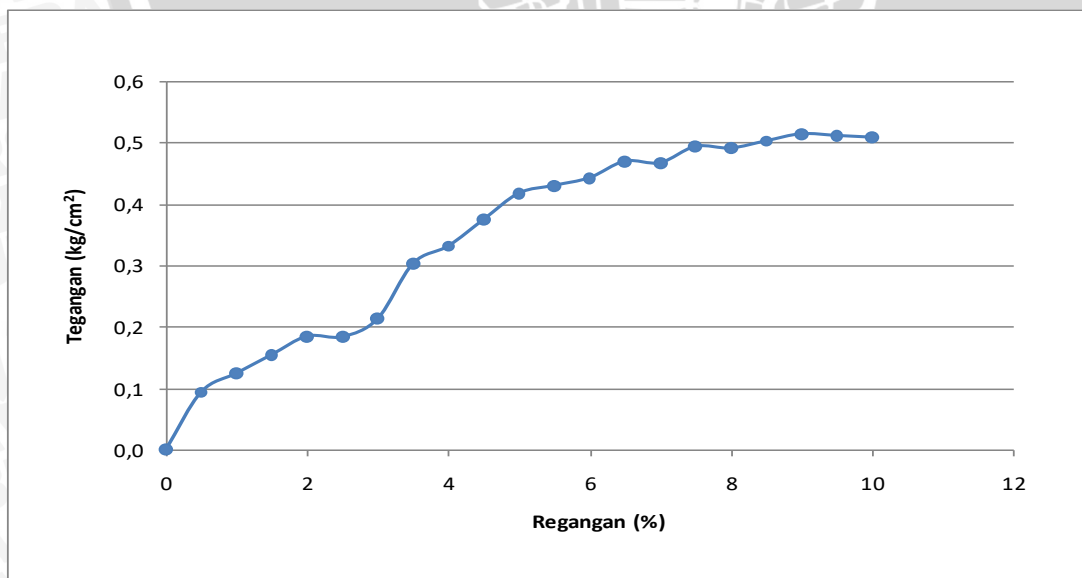
Sampel : Undisturbed 2

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2,5	0,5	1,543	1,005	19,742	0,078
1	4,5	1	2,777	1,010	19,841	0,140
1,5	5	1,5	3,085	1,015	19,942	0,155
2	6	2	3,702	1,020	20,044	0,185
2,5	6	2,5	3,702	1,026	20,147	0,184
3	7	3	4,319	1,031	20,250	0,213
3,5	10	3,5	6,170	1,036	20,355	0,303
4	11,5	4	7,096	1,042	20,461	0,347
4,5	12,5	4,5	7,713	1,047	20,568	0,375
5	14	5	8,638	1,053	20,677	0,418
5,5	14,5	5,5	8,947	1,058	20,786	0,430
6	15	6	9,255	1,064	20,897	0,443
6,5	16	6,5	9,872	1,070	21,008	0,470
7	16	7	9,872	1,075	21,121	0,467
7,5	17	7,5	10,489	1,081	21,236	0,494
8	17	8	10,489	1,087	21,351	0,491
8,5	17,5	8,5	10,798	1,093	21,468	0,503
9	18	9	11,106	1,099	21,586	0,515
9,5	18	9,5	11,106	1,105	21,705	0,512
10	18	10	11,106	1,111	21,825	0,509



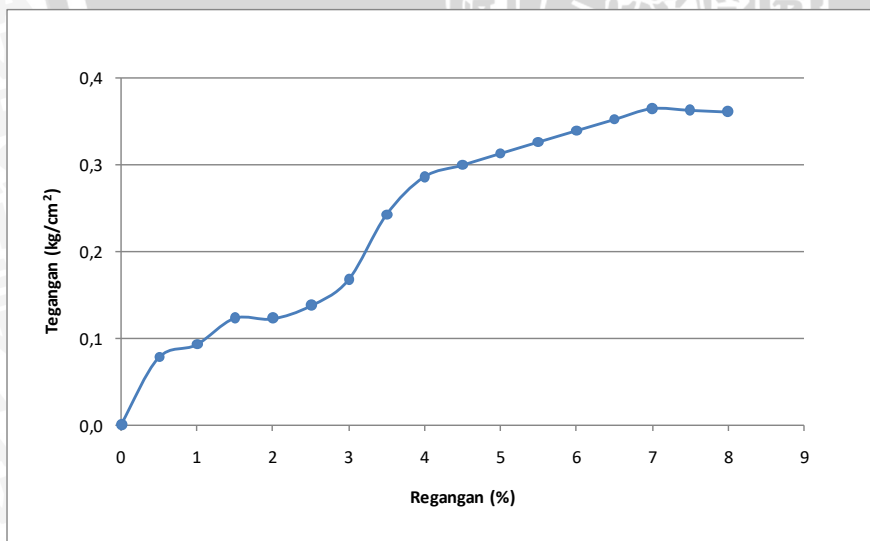
Sampel : Remolded 2

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2,5	0,5	1,543	1,005	19,742	0,078
1	3	1	1,851	1,010	19,841	0,093
1,5	4	1,5	2,468	1,015	19,942	0,124
2	4	2	2,468	1,020	20,044	0,123
2,5	4,5	2,5	2,777	1,026	20,147	0,138
3	5,5	3	3,394	1,031	20,250	0,168
3,5	8	3,5	4,936	1,036	20,355	0,242
4	9,5	4	5,862	1,042	20,461	0,286
4,5	10	4,5	6,170	1,047	20,568	0,300
5	10,5	5	6,479	1,053	20,677	0,313
5,5	11	5,5	6,787	1,058	20,786	0,327
6	11,5	6	7,096	1,064	20,897	0,340
6,5	12	6,5	7,404	1,070	21,008	0,352
7	12,5	7	7,713	1,075	21,121	0,365
7,5	12,5	7,5	7,713	1,081	21,236	0,363
8	12,5	8	7,713	1,087	21,351	0,361



A. Kuat Tekan Bebas Tanah OMC

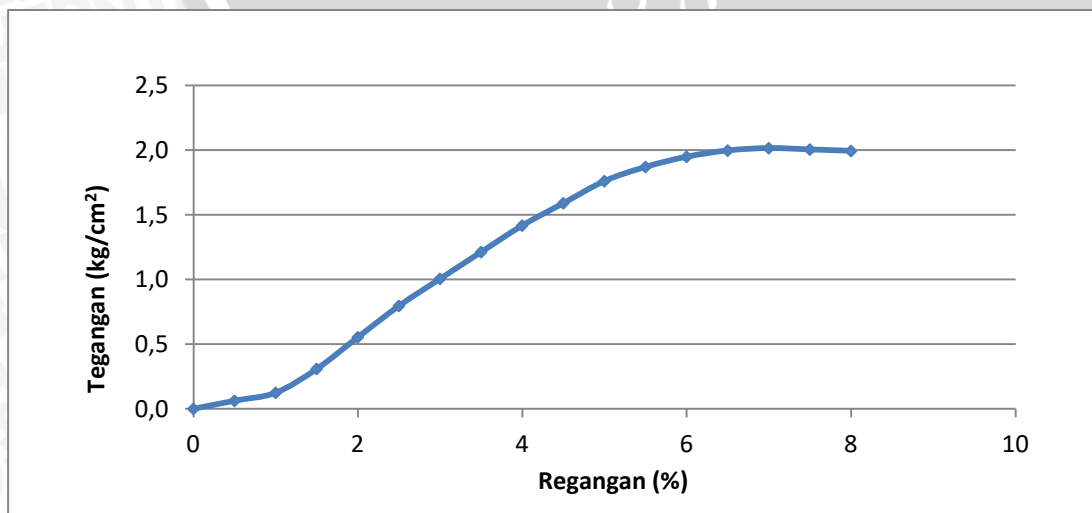
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	10	1,5	6,170	1,015	19,942	0,309
2	18	2	11,106	1,020	20,044	0,554
2,5	26	2,5	16,042	1,026	20,147	0,796
3	33	3	20,361	1,031	20,250	1,005
3,5	40	3,5	24,680	1,036	20,355	1,212
4	47	4	28,999	1,042	20,461	1,417
4,5	53	4,5	32,701	1,047	20,568	1,590
5	59	5	36,403	1,053	20,677	1,761
5,5	63	5,5	38,871	1,058	20,786	1,870
6	66	6	40,722	1,064	20,897	1,949
6,5	68	6,5	41,956	1,070	21,008	1,997
7	69	7	42,573	1,075	21,121	2,016
7,5	69	7,5	42,573	1,081	21,236	2,005
8	69	8	42,573	1,087	21,351	1,994



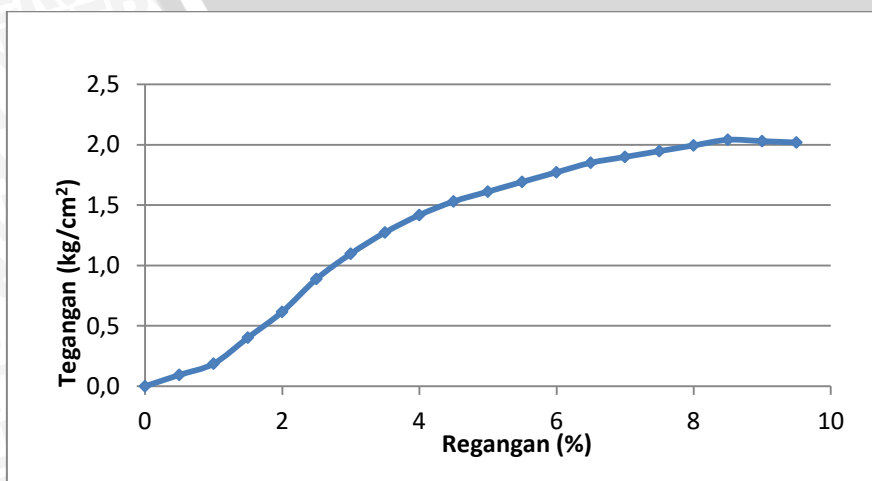
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A' = A_0 / (1 - \varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	3	0,5	1,851	1,005	19,742	0,094
1	6	1	3,702	1,010	19,841	0,187
1,5	13	1,5	8,021	1,015	19,942	0,402
2	20	2	12,340	1,020	20,044	0,616
2,5	29	2,5	17,893	1,026	20,147	0,888
3	36	3	22,212	1,031	20,250	1,097
3,5	42	3,5	25,914	1,036	20,355	1,273
4	47	4	28,999	1,042	20,461	1,417
4,5	51	4,5	31,467	1,047	20,568	1,530
5	54	5	33,318	1,053	20,677	1,611
5,5	57	5,5	35,169	1,058	20,786	1,692
6	60	6	37,020	1,064	20,897	1,772
6,5	63	6,5	38,871	1,070	21,008	1,850
7	65	7	40,105	1,075	21,121	1,899
7,5	67	7,5	41,339	1,081	21,236	1,947
8	69	8	42,573	1,087	21,351	1,994
8,5	71	8,5	43,807	1,093	21,468	2,041
9	71	9	43,807	1,099	21,586	2,029
9,5	71	9,5	43,807	1,105	21,705	2,018



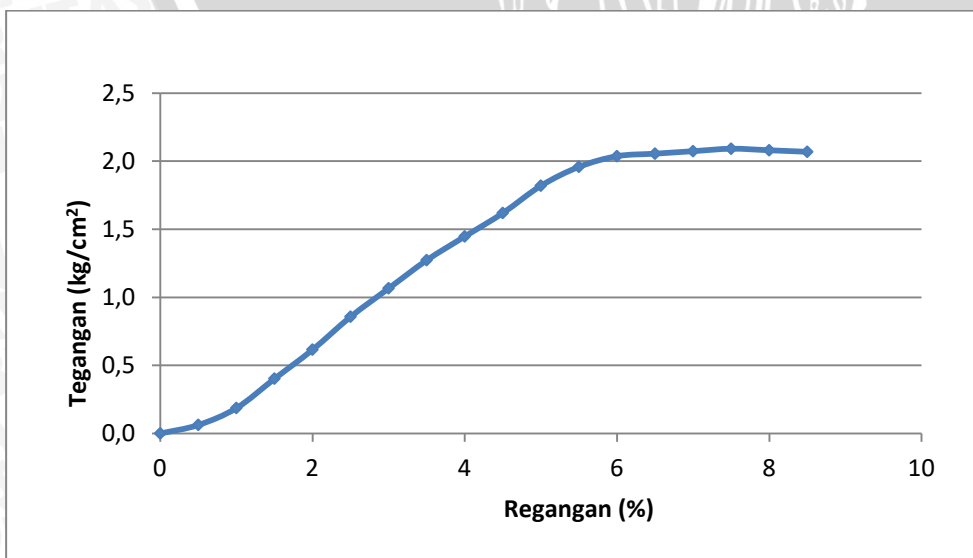
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	6	1	3,702	1,010	19,841	0,187
1,5	13	1,5	8,021	1,015	19,942	0,402
2	20	2	12,340	1,020	20,044	0,616
2,5	28	2,5	17,276	1,026	20,147	0,858
3	35	3	21,595	1,031	20,250	1,066
3,5	42	3,5	25,914	1,036	20,355	1,273
4	48	4	29,616	1,042	20,461	1,447
4,5	54	4,5	33,318	1,047	20,568	1,620
5	61	5	37,637	1,053	20,677	1,820
5,5	66	5,5	40,722	1,058	20,786	1,959
6	69	6	42,573	1,064	20,897	2,037
6,5	70	6,5	43,190	1,070	21,008	2,056
7	71	7	43,807	1,075	21,121	2,074
7,5	72	7,5	44,424	1,081	21,236	2,092
8	72	8	44,424	1,087	21,351	2,081
8,5	72	8,5	44,424	1,093	21,468	2,069



I. Sebelum Swelling

B. Kuat Tekan Bebas Tanah *fly ash* 15% + OMC -15%

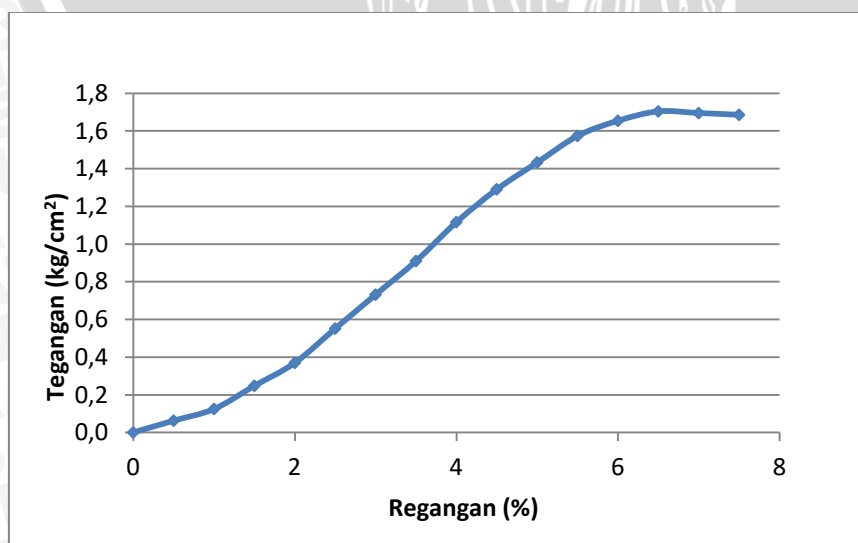
Sampel : Benda Uji 1

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: 0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_o / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	8	1,5	4,936	1,015	19,942	0,248
2	12	2	7,404	1,020	20,044	0,369
2,5	18	2,5	11,106	1,026	20,147	0,551
3	24	3	14,808	1,031	20,250	0,731
3,5	30	3,5	18,510	1,036	20,355	0,909
4	37	4	22,829	1,042	20,461	1,116
4,5	43	4,5	26,531	1,047	20,568	1,290
5	48	5	29,616	1,053	20,677	1,432
5,5	53	5,5	32,701	1,058	20,786	1,573
6	56	6	34,552	1,064	20,897	1,653
6,5	58	6,5	35,786	1,070	21,008	1,703
7	58	7	35,786	1,075	21,121	1,694
7,5	58	7,5	35,786	1,081	21,236	1,685



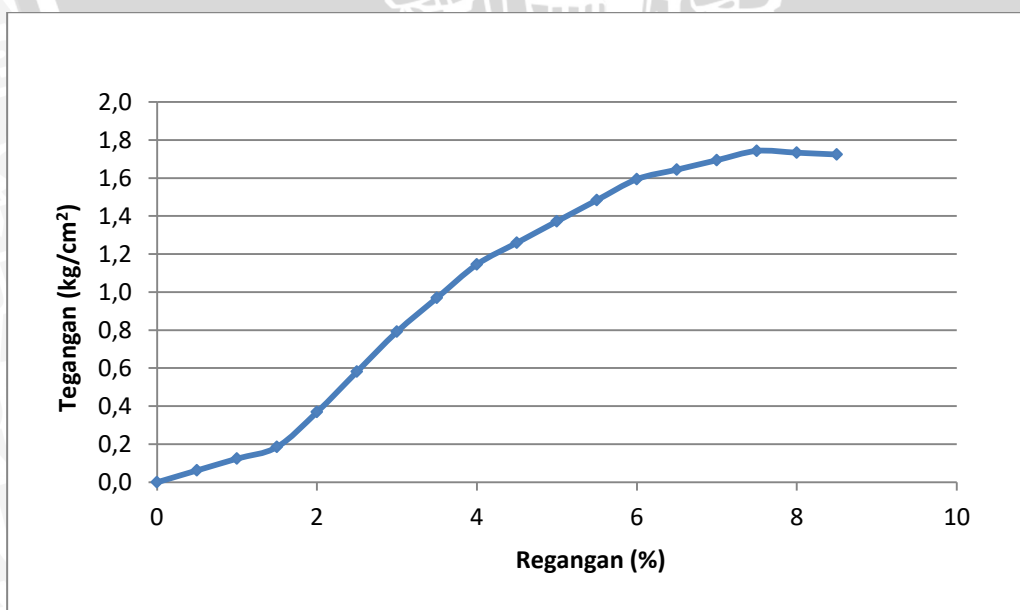
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	6	1,5	3,702	1,015	19,942	0,186
2	12	2	7,404	1,020	20,044	0,369
2,5	19	2,5	11,723	1,026	20,147	0,582
3	26	3	16,042	1,031	20,250	0,792
3,5	32	3,5	19,744	1,036	20,355	0,970
4	38	4	23,446	1,042	20,461	1,146
4,5	42	4,5	25,914	1,047	20,568	1,260
5	46	5	28,382	1,053	20,677	1,373
5,5	50	5,5	30,850	1,058	20,786	1,484
6	54	6	33,318	1,064	20,897	1,594
6,5	56	6,5	34,552	1,070	21,008	1,645
7	58	7	35,786	1,075	21,121	1,694
7,5	60	7,5	37,020	1,081	21,236	1,743
8	60	8	37,020	1,087	21,351	1,734
8,5	60	8,5	37,020	1,093	21,468	1,724



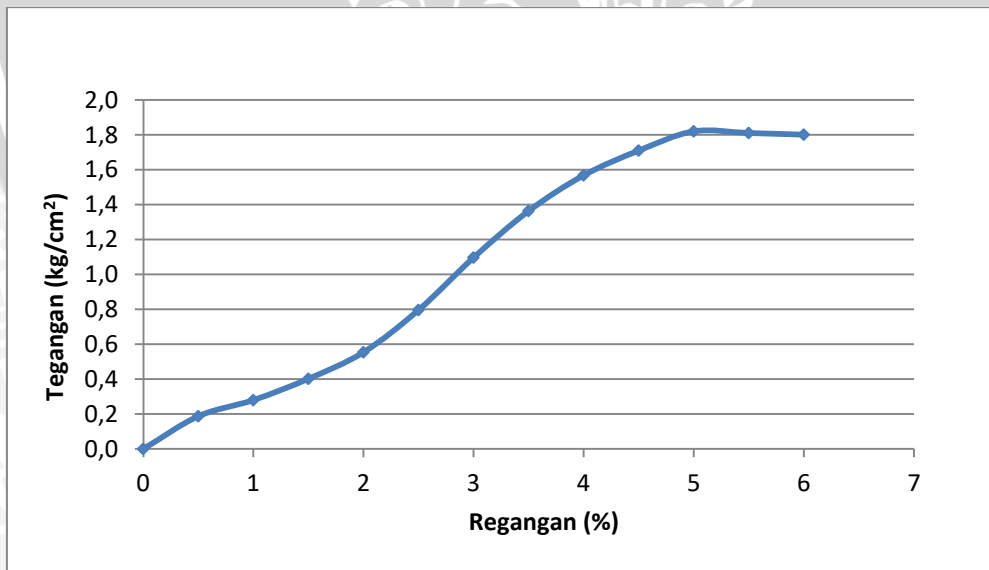
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: 0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,64286	0
0,5	6	0,5	3,7020	1,00503	19,74156	0,18752
1	9	1	5,5530	1,01010	19,84127	0,27987
1,5	13	1,5	8,0210	1,01523	19,94199	0,40222
2	18	2	11,1060	1,02041	20,04373	0,55409
2,5	26	2,5	16,0420	1,02564	20,14652	0,796
3	36	3	22,2120	1,03093	20,25037	1,09687
3,5	45	3,5	27,7650	1,03627	20,35529	1,36402
4	52	4	32,0840	1,04167	20,46131	1,56803
4,5	57	4,5	35,1690	1,04712	20,56844	1,70985
5	61	5	37,6370	1,05263	20,67669	1,82026
5,5	61	5,5	37,6370	1,05820	20,78609	1,81068
6	61	6	37,6370	1,06383	20,89666	1,80110



C. Kuat Tekan Bebas Tanah *fly ash* 15% + OMC -11%

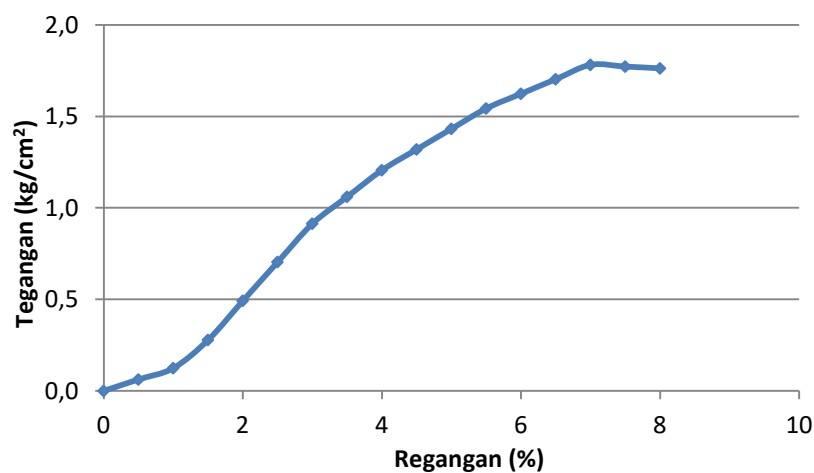
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	9	1,5	5,553	1,015	19,942	0,278
2	16	2	9,872	1,020	20,044	0,493
2,5	23	2,5	14,191	1,026	20,147	0,704
3	30	3	18,510	1,031	20,250	0,914
3,5	35	3,5	21,595	1,036	20,355	1,061
4	40	4	24,680	1,042	20,461	1,206
4,5	44	4,5	27,148	1,047	20,568	1,320
5	48	5	29,616	1,053	20,677	1,432
5,5	52	5,5	32,084	1,058	20,786	1,544
6	55	6	33,935	1,064	20,897	1,624
6,5	58	6,5	35,786	1,070	21,008	1,703
7	61	7	37,637	1,075	21,121	1,782
7,5	61	7,5	37,637	1,081	21,236	1,772
8	61	8	37,637	1,087	21,351	1,763



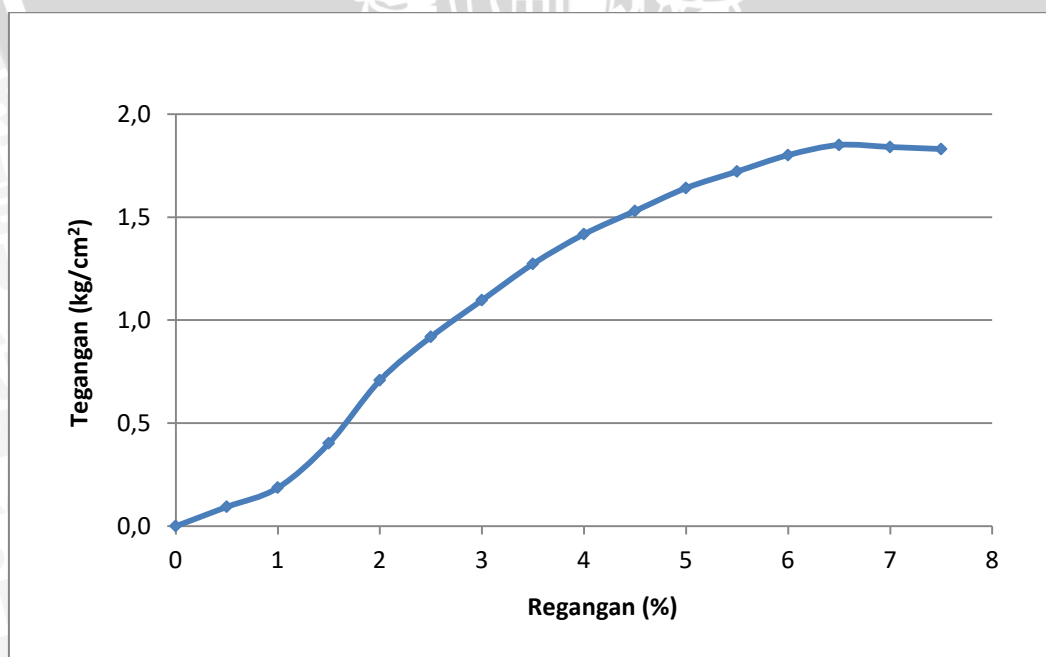
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: 0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	3	0,5	1,851	1,005	19,742	0,094
1	6	1	3,702	1,010	19,841	0,187
1,5	13	1,5	8,021	1,015	19,942	0,402
2	23	2	14,191	1,020	20,044	0,708
2,5	30	2,5	18,510	1,026	20,147	0,919
3	36	3	22,212	1,031	20,250	1,097
3,5	42	3,5	25,914	1,036	20,355	1,273
4	47	4	28,999	1,042	20,461	1,417
4,5	51	4,5	31,467	1,047	20,568	1,530
5	55	5	33,935	1,053	20,677	1,641
5,5	58	5,5	35,786	1,058	20,786	1,722
6	61	6	37,637	1,064	20,897	1,801
6,5	63	6,5	38,871	1,070	21,008	1,850
7	63	7	38,871	1,075	21,121	1,840
7,5	63	7,5	38,871	1,081	21,236	1,830



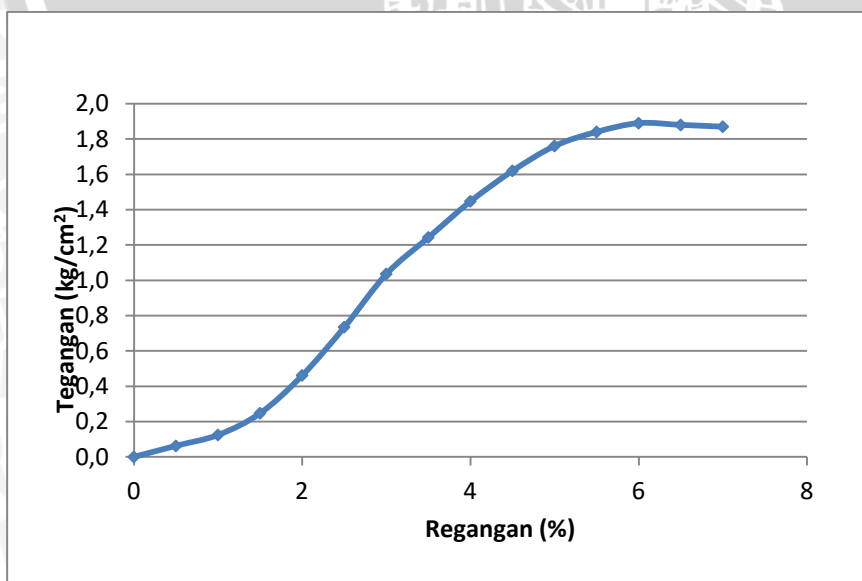
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: 0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	8	1,5	4,936	1,015	19,942	0,248
2	15	2	9,255	1,020	20,044	0,462
2,5	24	2,5	14,808	1,026	20,147	0,735
3	34	3	20,978	1,031	20,250	1,036
3,5	41	3,5	25,297	1,036	20,355	1,243
4	48	4	29,616	1,042	20,461	1,447
4,5	54	4,5	33,318	1,047	20,568	1,620
5	59	5	36,403	1,053	20,677	1,761
5,5	62	5,5	38,254	1,058	20,786	1,840
6	64	6	39,488	1,064	20,897	1,890
6,5	64	6,5	39,488	1,070	21,008	1,880
7	64	7	39,488	1,075	21,121	1,870



D. Kuat Tekan Bebas Tanah *fly ash* 15% + OMC

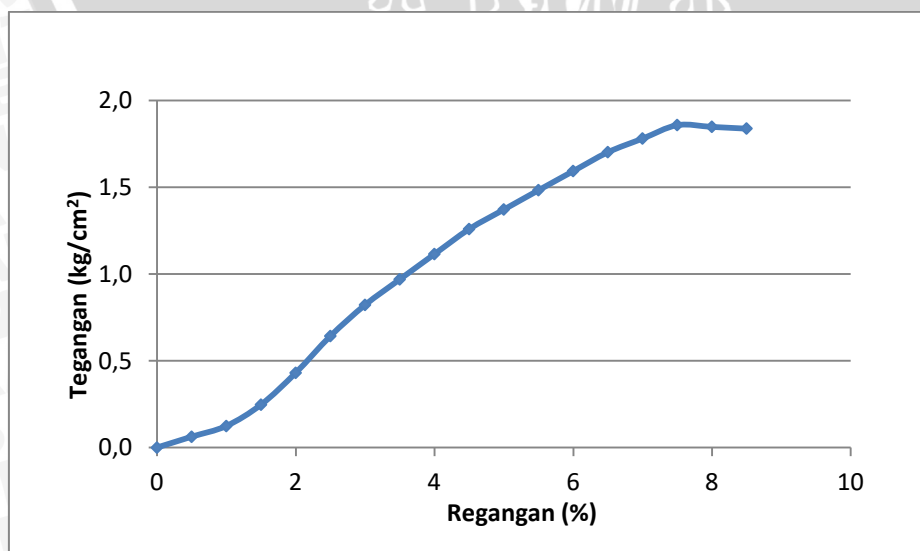
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_o / (1-\varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	8	1,5	4,936	1,015	19,942	0,248
2	14	2	8,638	1,020	20,044	0,431
2,5	21	2,5	12,957	1,026	20,147	0,643
3	27	3	16,659	1,031	20,250	0,823
3,5	32	3,5	19,744	1,036	20,355	0,970
4	37	4	22,829	1,042	20,461	1,116
4,5	42	4,5	25,914	1,047	20,568	1,260
5	46	5	28,382	1,053	20,677	1,373
5,5	50	5,5	30,850	1,058	20,786	1,484
6	54	6	33,318	1,064	20,897	1,594
6,5	58	6,5	35,786	1,070	21,008	1,703
7	61	7	37,637	1,075	21,121	1,782
7,5	64	7,5	39,488	1,081	21,236	1,860
8	64	8	39,488	1,087	21,351	1,849
8,5	64	8,5	39,488	1,093	21,468	1,839



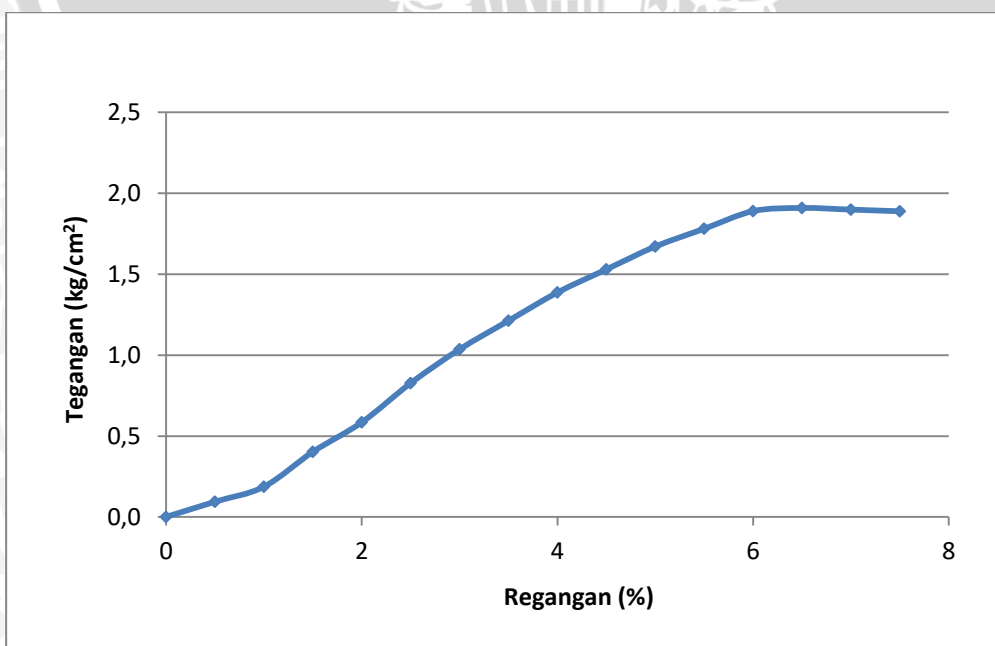
Sampel : Benda Uji 2

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kd/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	3	0,5	1,851	1,005	19,742	0,094
1	6	1	3,702	1,010	19,841	0,187
1,5	13	1,5	8,021	1,015	19,942	0,402
2	19	2	11,723	1,020	20,044	0,585
2,5	27	2,5	16,659	1,026	20,147	0,827
3	34	3	20,978	1,031	20,250	1,036
3,5	40	3,5	24,680	1,036	20,355	1,212
4	46	4	28,382	1,042	20,461	1,387
4,5	51	4,5	31,467	1,047	20,568	1,530
5	56	5	34,552	1,053	20,677	1,671
5,5	60	5,5	37,020	1,058	20,786	1,781
6	64	6	39,488	1,064	20,897	1,890
6,5	65	6,5	40,105	1,070	21,008	1,909
7	65	7	40,105	1,075	21,121	1,899
7,5	65	7,5	40,105	1,081	21,236	1,889



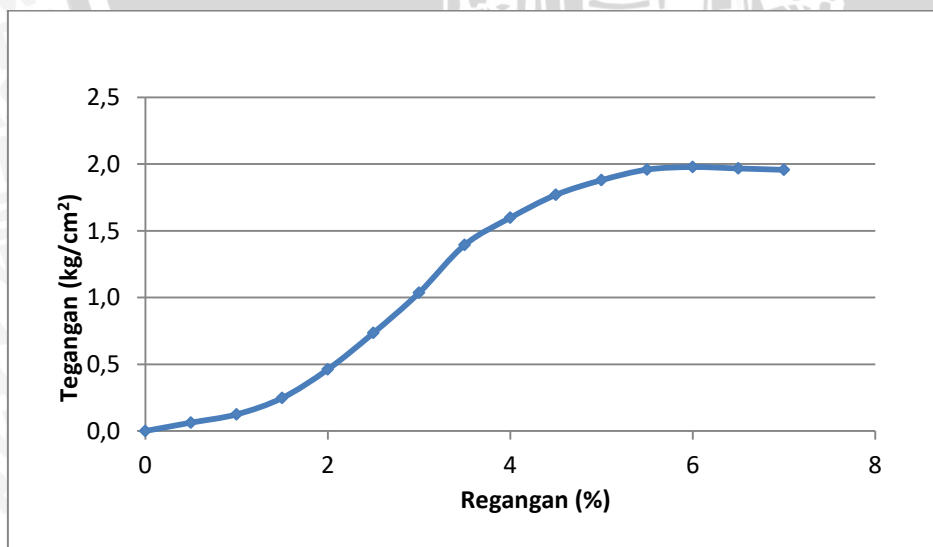
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	8	1,5	4,936	1,015	19,942	0,248
2	15	2	9,255	1,020	20,044	0,462
2,5	24	2,5	14,808	1,026	20,147	0,735
3	34	3	20,978	1,031	20,250	1,036
3,5	46	3,5	28,382	1,036	20,355	1,394
4	53	4	32,701	1,042	20,461	1,598
4,5	59	4,5	36,403	1,047	20,568	1,770
5	63	5	38,871	1,053	20,677	1,880
5,5	66	5,5	40,722	1,058	20,786	1,959
6	67	6	41,339	1,064	20,897	1,978
6,5	67	6,5	41,339	1,070	21,008	1,968
7	67	7	41,339	1,075	21,121	1,957



E. Kuat Tekan Bebas Tanah fly ash 15% + OMC -3

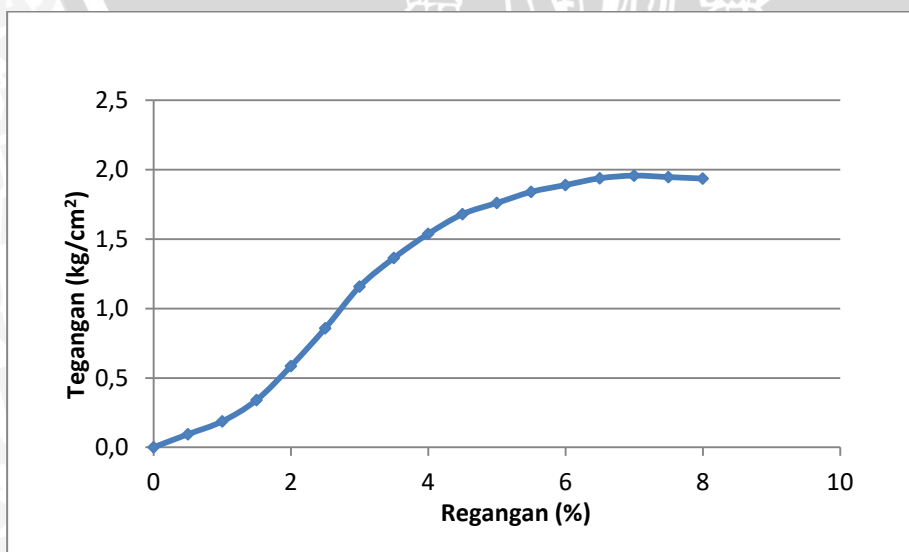
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	3	0,5	1,851	1,005	19,742	0,094
1	6	1	3,702	1,010	19,841	0,187
1,5	11	1,5	6,787	1,015	19,942	0,340
2	19	2	11,723	1,020	20,044	0,585
2,5	28	2,5	17,276	1,026	20,147	0,858
3	38	3	23,446	1,031	20,250	1,158
3,5	45	3,5	27,765	1,036	20,355	1,364
4	51	4	31,467	1,042	20,461	1,538
4,5	56	4,5	34,552	1,047	20,568	1,680
5	59	5	36,403	1,053	20,677	1,761
5,5	62	5,5	38,254	1,058	20,786	1,840
6	64	6	39,488	1,064	20,897	1,890
6,5	66	6,5	40,722	1,070	21,008	1,938
7	67	7	41,339	1,075	21,121	1,957
7,5	67	7,5	41,339	1,081	21,236	1,947
8	67	8	41,339	1,087	21,351	1,936



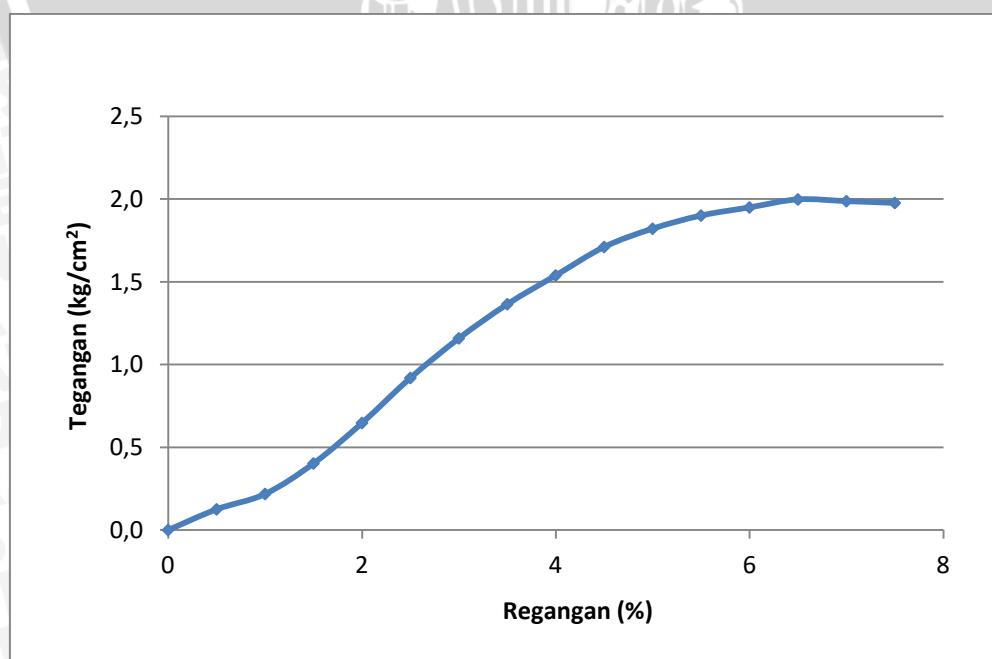
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	4	0,5	2,468	1,005	19,742	0,125
1	7	1	4,319	1,010	19,841	0,218
1,5	13	1,5	8,021	1,015	19,942	0,402
2	21	2	12,957	1,020	20,044	0,646
2,5	30	2,5	18,510	1,026	20,147	0,919
3	38	3	23,446	1,031	20,250	1,158
3,5	45	3,5	27,765	1,036	20,355	1,364
4	51	4	31,467	1,042	20,461	1,538
4,5	57	4,5	35,169	1,047	20,568	1,710
5	61	5	37,637	1,053	20,677	1,820
5,5	64	5,5	39,488	1,058	20,786	1,900
6	66	6	40,722	1,064	20,897	1,949
6,5	68	6,5	41,956	1,070	21,008	1,997
7	68	7	41,956	1,075	21,121	1,986
7,5	68	7,5	41,956	1,081	21,236	1,976



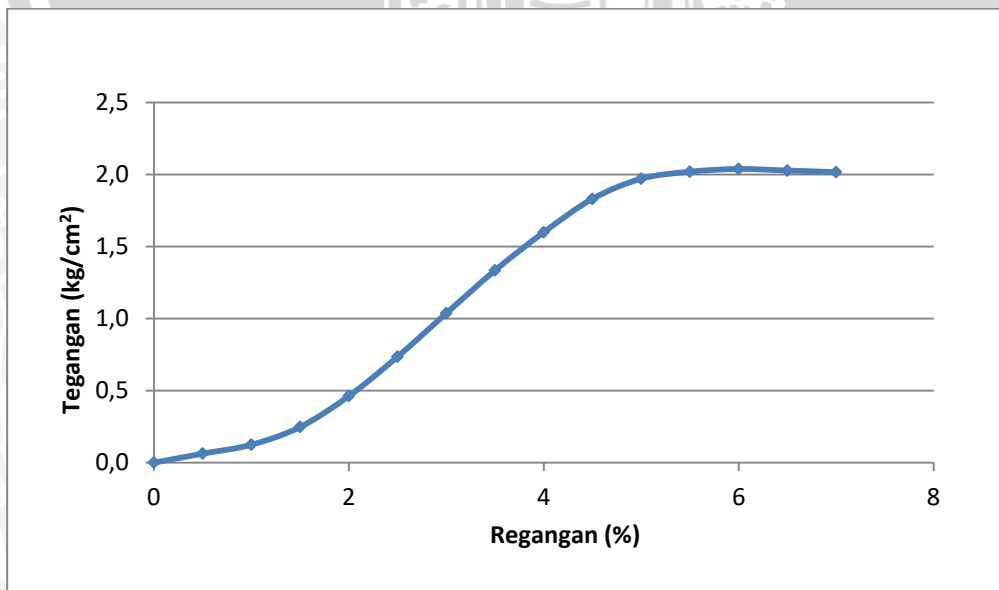
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	8	1,5	4,936	1,015	19,942	0,248
2	15	2	9,255	1,020	20,044	0,462
2,5	24	2,5	14,808	1,026	20,147	0,735
3	34	3	20,978	1,031	20,250	1,036
3,5	44	3,5	27,148	1,036	20,355	1,334
4	53	4	32,701	1,042	20,461	1,598
4,5	61	4,5	37,637	1,047	20,568	1,830
5	66	5	40,722	1,053	20,677	1,969
5,5	68	5,5	41,956	1,058	20,786	2,018
6	69	6	42,573	1,064	20,897	2,037
6,5	69	6,5	42,573	1,070	21,008	2,026
7	69	7	42,573	1,075	21,121	2,016



F. Kuat Tekan Bebas Tanah fly ash 15% + omc -7%

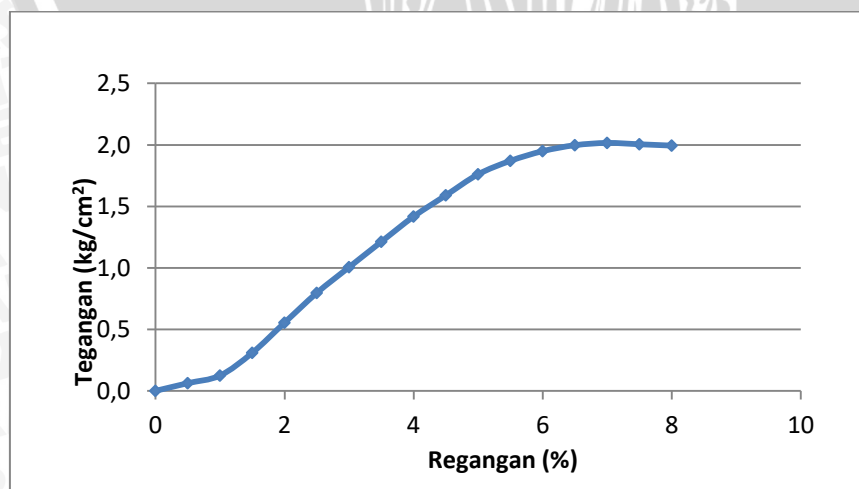
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	10	1,5	6,170	1,015	19,942	0,309
2	18	2	11,106	1,020	20,044	0,554
2,5	26	2,5	16,042	1,026	20,147	0,796
3	33	3	20,361	1,031	20,250	1,005
3,5	40	3,5	24,680	1,036	20,355	1,212
4	47	4	28,999	1,042	20,461	1,417
4,5	53	4,5	32,701	1,047	20,568	1,590
5	59	5	36,403	1,053	20,677	1,761
5,5	63	5,5	38,871	1,058	20,786	1,870
6	66	6	40,722	1,064	20,897	1,949
6,5	68	6,5	41,956	1,070	21,008	1,997
7	69	7	42,573	1,075	21,121	2,016
7,5	69	7,5	42,573	1,081	21,236	2,005
8	69	8	42,573	1,087	21,351	1,994



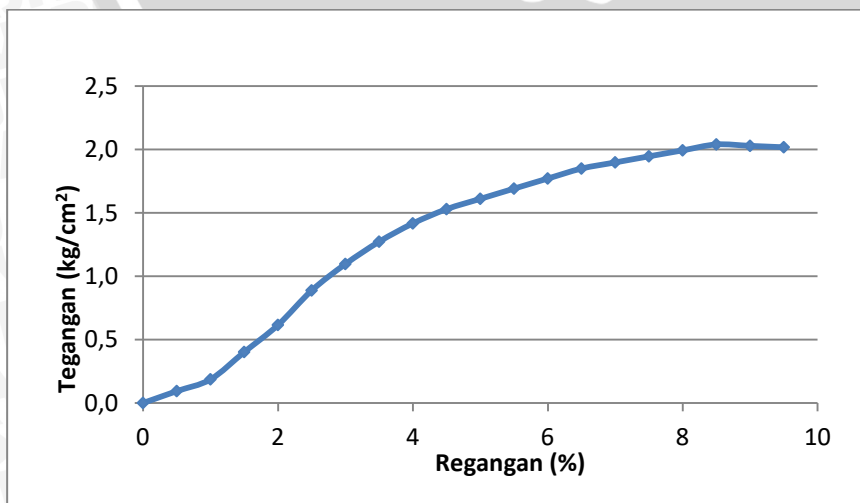
Sampel : Benda Uji 2

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	3	0,5	1,851	1,005	19,742	0,094
1	6	1	3,702	1,010	19,841	0,187
1,5	13	1,5	8,021	1,015	19,942	0,402
2	20	2	12,340	1,020	20,044	0,616
2,5	29	2,5	17,893	1,026	20,147	0,888
3	36	3	22,212	1,031	20,250	1,097
3,5	42	3,5	25,914	1,036	20,355	1,273
4	47	4	28,999	1,042	20,461	1,417
4,5	51	4,5	31,467	1,047	20,568	1,530
5	54	5	33,318	1,053	20,677	1,611
5,5	57	5,5	35,169	1,058	20,786	1,692
6	60	6	37,020	1,064	20,897	1,772
6,5	63	6,5	38,871	1,070	21,008	1,850
7	65	7	40,105	1,075	21,121	1,899
7,5	67	7,5	41,339	1,081	21,236	1,947
8	69	8	42,573	1,087	21,351	1,994
8,5	71	8,5	43,807	1,093	21,468	2,041
9	71	9	43,807	1,099	21,586	2,029
9,5	71	9,5	43,807	1,105	21,705	2,018



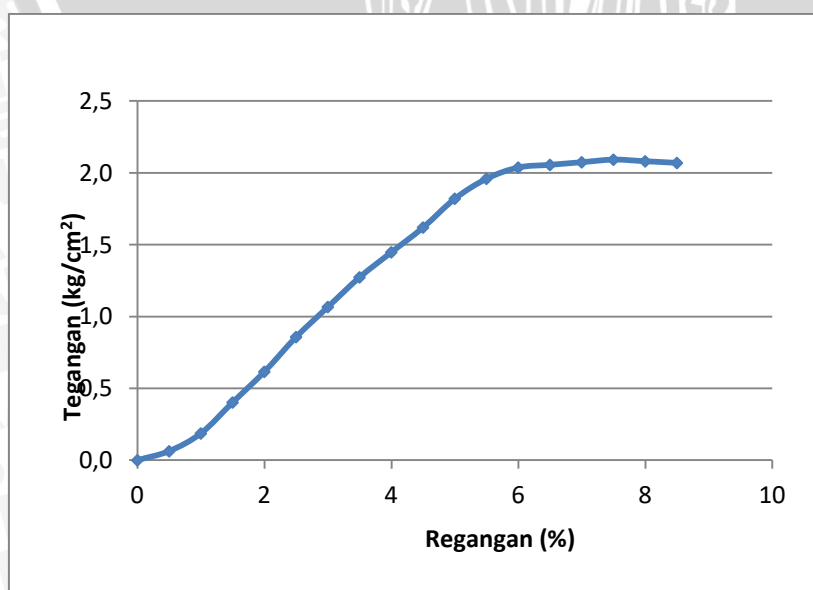
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: 0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	2	0,5	1,234	1,005	19,742	0,063
1	6	1	3,702	1,010	19,841	0,187
1,5	13	1,5	8,021	1,015	19,942	0,402
2	20	2	12,340	1,020	20,044	0,616
2,5	28	2,5	17,276	1,026	20,147	0,858
3	35	3	21,595	1,031	20,250	1,066
3,5	42	3,5	25,914	1,036	20,355	1,273
4	48	4	29,616	1,042	20,461	1,447
4,5	54	4,5	33,318	1,047	20,568	1,620
5	61	5	37,637	1,053	20,677	1,820
5,5	66	5,5	40,722	1,058	20,786	1,959
6	69	6	42,573	1,064	20,897	2,037
6,5	70	6,5	43,190	1,070	21,008	2,056
7	71	7	43,807	1,075	21,121	2,074
7,5	72	7,5	44,424	1,081	21,236	2,092
8	72	8	44,424	1,087	21,351	2,081
8,5	72	8,5	44,424	1,093	21,468	2,069

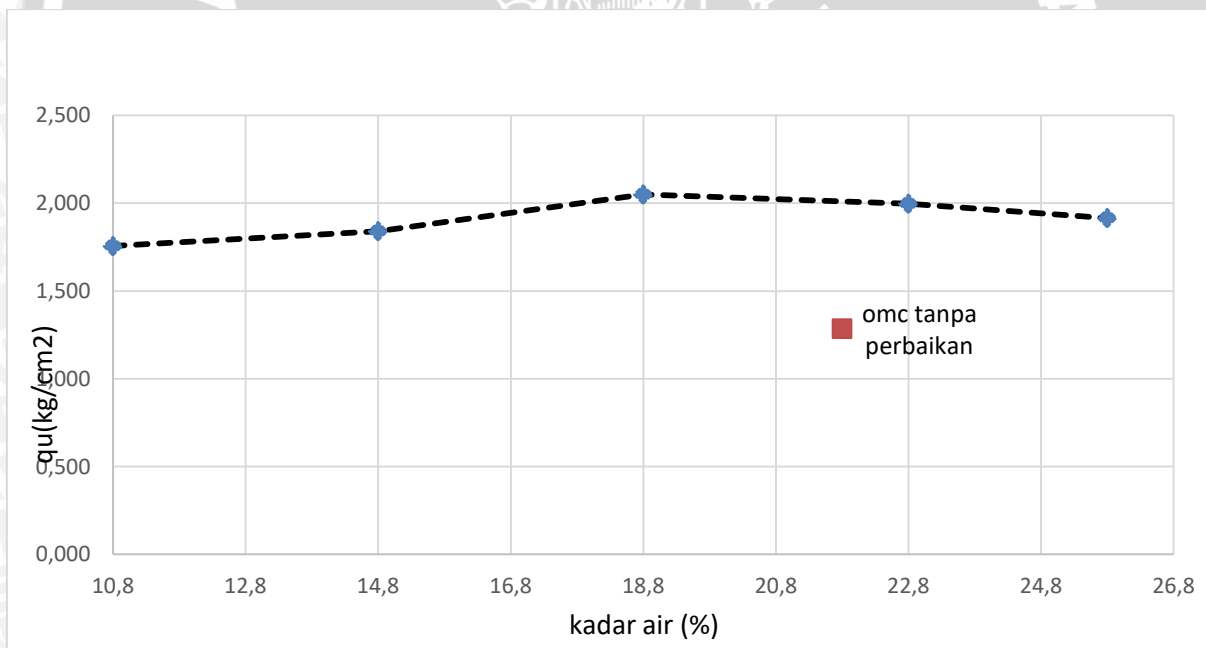


Gabungan Uji Kuat Tekan bebas

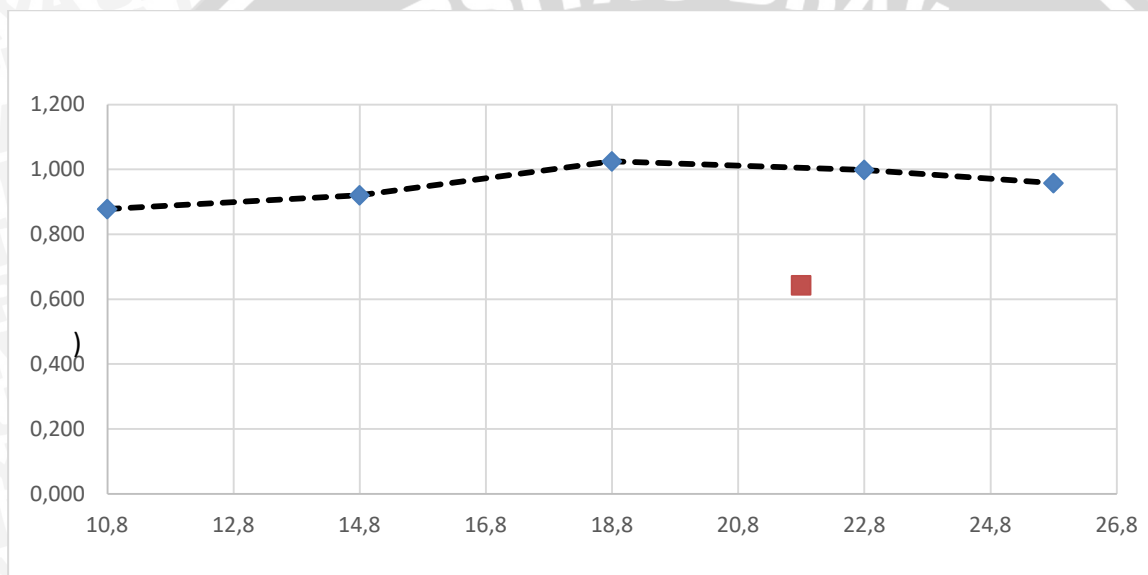
No.	Kadar Air	Sampel	Kuat tekan bebas (kg/cm ²)	Kuat tekan bebas rata-rata (kg/cm ²)	regangan (%)	regangan rata-rata (%)	Cu rata rata	
1	OMC -15%	10,8	1	1,703	1,756	7,5	7,333	0,878
		10,8	2	1,743		8,5		
		10,8	3	1,820		6		
2	OMC -11%	14,8	1	1,782	1,841	8	7,500	0,920
		14,8	2	1,850		7,5		
		14,8	3	1,890		7		
3	OMC -7%	18,8	1	2,016	2,049	8,5	7,667	1,025
		18,8	2	2,041		7,5		
		18,8	3	2,092		7		
4	OMC -3%	22,8	1	1,957	1,997	8	7,500	0,999
		22,8	2	1,997		7,5		
		22,8	3	2,037		7		
5	OMC dengan perbaikan	25,8	1	1,860	1,916	8	8,667	0,958
		25,8	2	1,909		9,5		
		25,8	3	1,978		8,5		
6	OMC tanpa perbaikan	21,8	1	1,380	1,286	7,5	8,333	0,643
		21,8	2	1,206		8,5		
		21,8	3	1,272		9		
7	undisturbed	42	1	0,494	0,504	8,5	9,25	0,252
		42	3	0,515		10		

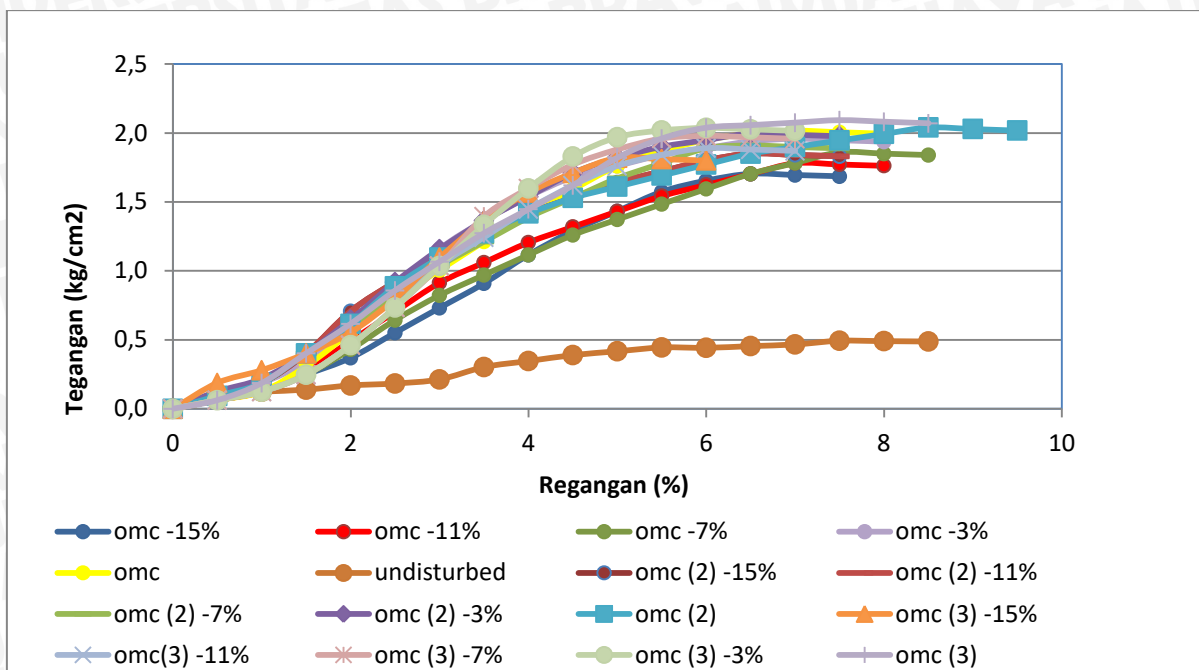


No.	Kadar air	kuat tekan bebas (qu) tanah asli (kg/cm ²)	kuat tekan bebas (qu) (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	omc-15%	0,504	1,756	248
2	omc-11%		1,841	265
3	omc-7%		2,049	307
4	omc-3%		1,997	296
5	omc perbaikan		1,916	280
6	OMC tanpa perbaikan		1,286	155



No.	Kadar air	Cu tanah asli (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	omc-15%	0,252	0,878	248
2	omc-11%		0,920	265
3	omc-7%		1,025	307
4	omc-3%		0,999	296
5	omc perbaikan		0,958	280
6	OMC tanpa perbaikan		0,643	155





Setelah Swelling

G. Kuat Tekan Bebas Tanah *fly ash* 15% + OMC -15%

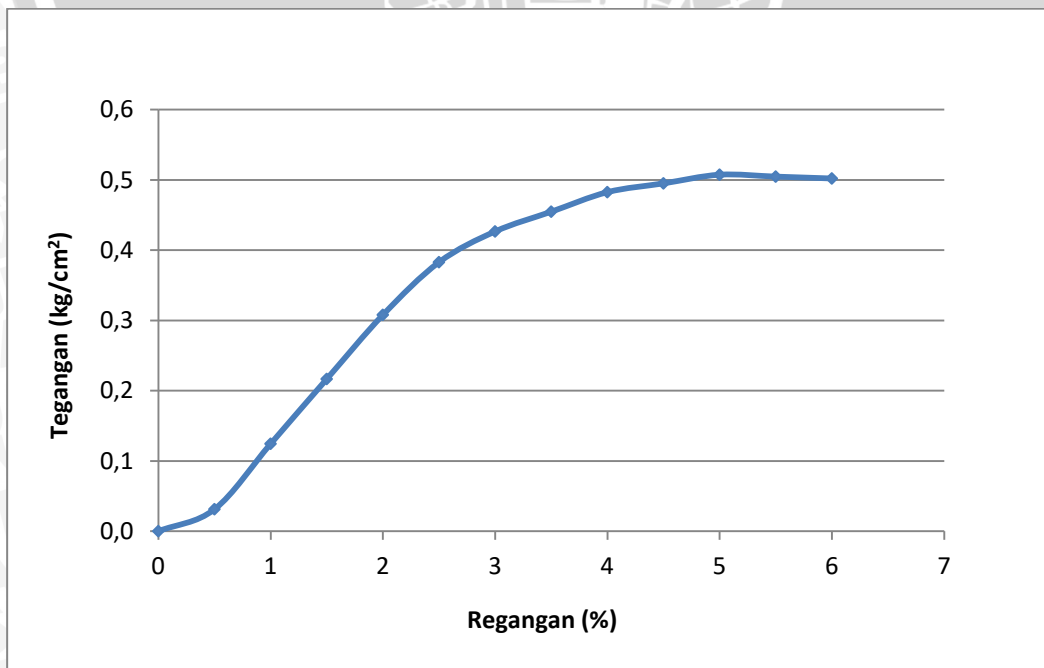
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	1	0,5	0,617	1,005	19,742	0,031
1	4	1	2,468	1,010	19,841	0,124
1,5	7	1,5	4,319	1,015	19,942	0,217
2	10	2	6,170	1,020	20,044	0,308
2,5	12,5	2,5	7,713	1,026	20,147	0,383
3	14	3	8,638	1,031	20,250	0,427
3,5	15	3,5	9,255	1,036	20,355	0,455
4	16	4	9,872	1,042	20,461	0,482
4,5	16,5	4,5	10,181	1,047	20,568	0,495
5	17	5	10,489	1,053	20,677	0,507
5,5	17	5,5	10,489	1,058	20,786	0,505
6	17	6	10,489	1,064	20,897	0,502



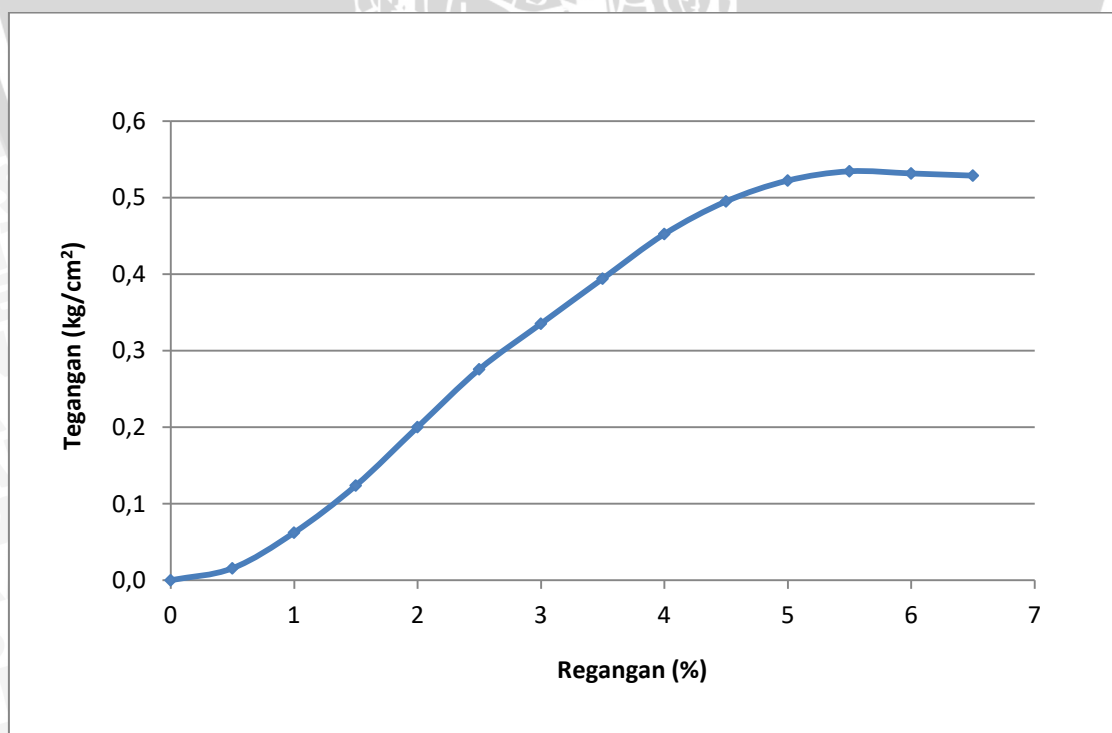
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A' = A_0 / (1 - \varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,5	0,5	0,309	1,005	19,742	0,016
1	2	1	1,234	1,010	19,841	0,062
1,5	4	1,5	2,468	1,015	19,942	0,124
2	6,5	2	4,011	1,020	20,044	0,200
2,5	9	2,5	5,553	1,026	20,147	0,276
3	11	3	6,787	1,031	20,250	0,335
3,5	13	3,5	8,021	1,036	20,355	0,394
4	15	4	9,255	1,042	20,461	0,452
4,5	16,5	4,5	10,181	1,047	20,568	0,495
5	17,5	5	10,798	1,053	20,677	0,522
5,5	18	5,5	11,106	1,058	20,786	0,534
6	18	6	11,106	1,064	20,897	0,531
6,5	18	6,5	11,106	1,070	21,008	0,529



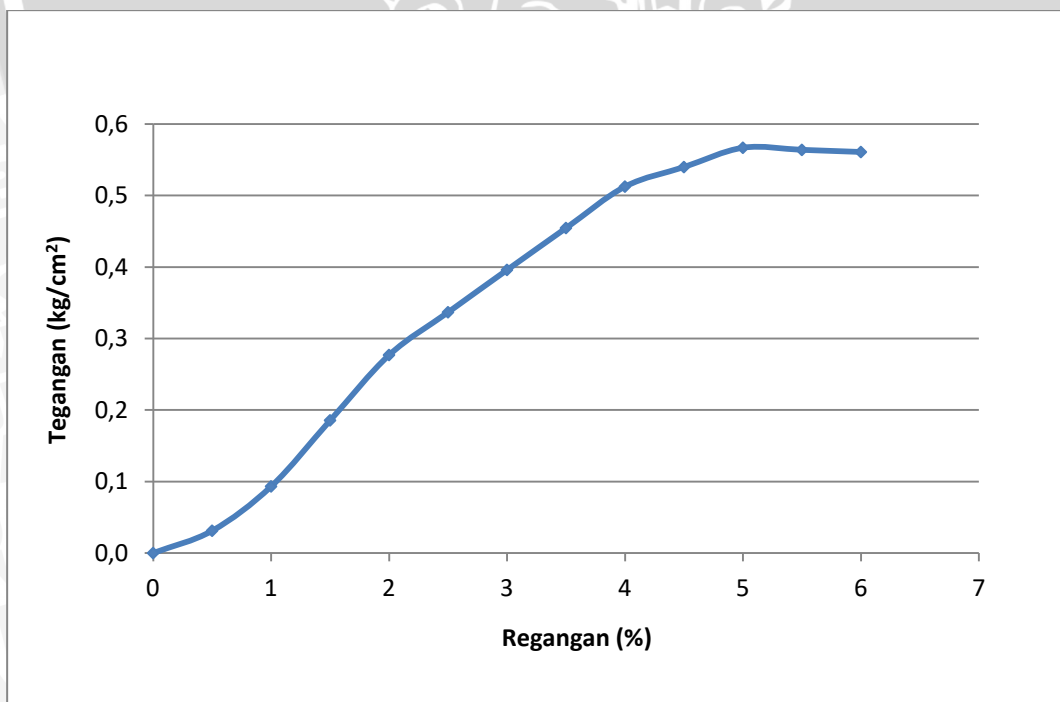
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,64286	0
0,5	1	0,5	0,6170	1,00503	19,74156	0,03125
1	3	1	1,8510	1,01010	19,84127	0,09329
1,5	6	1,5	3,7020	1,01523	19,94199	0,18564
2	9	2	5,5530	1,02041	20,04373	0,27704
2,5	11	2,5	6,7870	1,02564	20,14652	0,337
3	13	3	8,0210	1,03093	20,25037	0,39609
3,5	15	3,5	9,2550	1,03627	20,35529	0,45467
4	17	4	10,4890	1,04167	20,46131	0,51263
4,5	18	4,5	11,1060	1,04712	20,56844	0,53995
5	19	5	11,7230	1,05263	20,67669	0,56697
5,5	19	5,5	11,7230	1,05820	20,78609	0,56398
6	19	6	11,7230	1,06383	20,89666	0,56100



H. Kuat Tekan Bebas Tanah *fly ash* 15% + OMC -11%

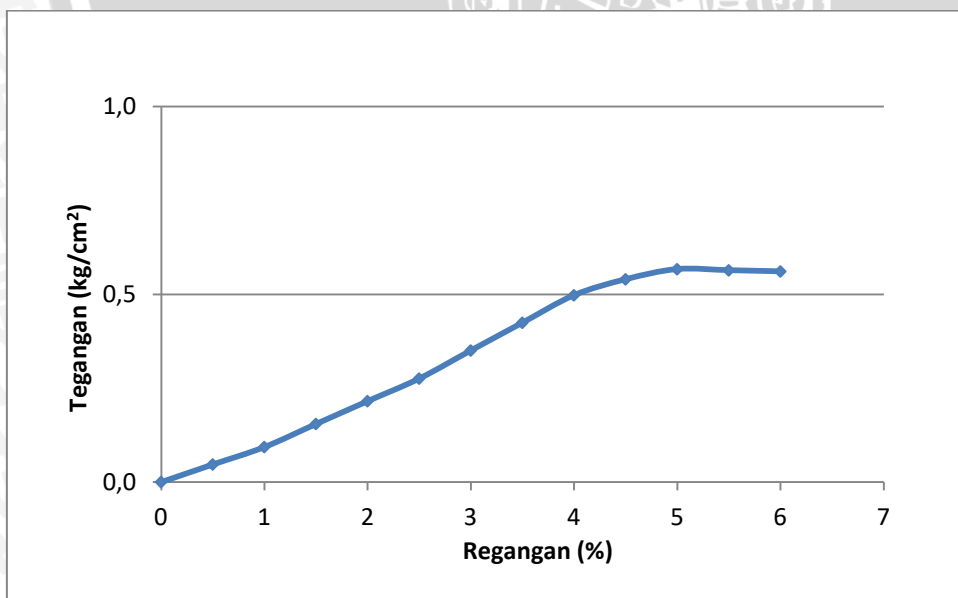
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi i	Luas Terkoreksi $A'=A_o / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	1,5	0,5	0,926	1,005	19,742	0,047
1	3	1	1,851	1,010	19,841	0,093
1,5	5	1,5	3,085	1,015	19,942	0,155
2	7	2	4,319	1,020	20,044	0,215
2,5	9	2,5	5,553	1,026	20,147	0,276
3	11,5	3	7,096	1,031	20,250	0,350
3,5	14	3,5	8,638	1,036	20,355	0,424
4	16,5	4	10,181	1,042	20,461	0,498
4,5	18	4,5	11,106	1,047	20,568	0,540
5	19	5	11,723	1,053	20,677	0,567
5,5	19	5,5	11,723	1,058	20,786	0,564
6	19	6	11,723	1,064	20,897	0,561



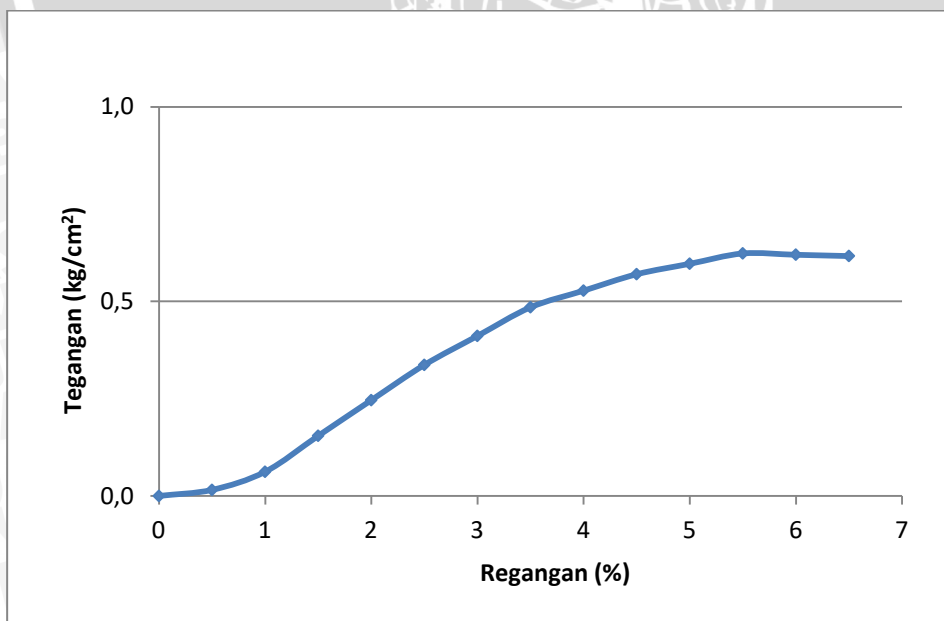
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,5	0,5	0,309	1,005	19,742	0,016
1	2	1	1,234	1,010	19,841	0,062
1,5	5	1,5	3,085	1,015	19,942	0,155
2	8	2	4,936	1,020	20,044	0,246
2,5	11	2,5	6,787	1,026	20,147	0,337
3	13,5	3	8,330	1,031	20,250	0,411
3,5	16	3,5	9,872	1,036	20,355	0,485
4	17,5	4	10,798	1,042	20,461	0,528
4,5	19	4,5	11,723	1,047	20,568	0,570
5	20	5	12,340	1,053	20,677	0,597
5,5	21	5,5	12,957	1,058	20,786	0,623
6	21	6	12,957	1,064	20,897	0,620
6,5	21	6,5	12,957	1,070	21,008	0,617



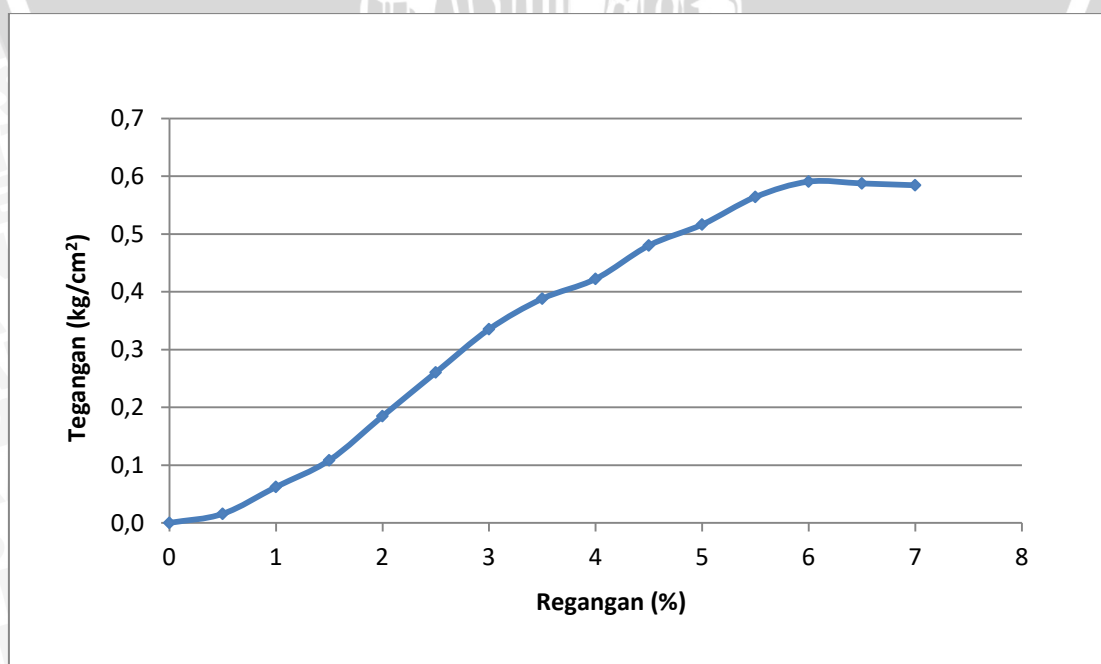
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: 0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,5	0,5	0,309	1,005	19,742	0,016
1	2	1	1,234	1,010	19,841	0,062
1,5	3,5	1,5	2,160	1,015	19,942	0,108
2	6	2	3,702	1,020	20,044	0,185
2,5	8,5	2,5	5,245	1,026	20,147	0,260
3	11	3	6,787	1,031	20,250	0,335
3,5	12,8	3,5	7,898	1,036	20,355	0,388
4	14	4	8,638	1,042	20,461	0,422
4,5	16	4,5	9,872	1,047	20,568	0,480
5	17,3	5	10,674	1,053	20,677	0,516
5,5	19	5,5	11,723	1,058	20,786	0,564
6	20	6	12,340	1,064	20,897	0,591
6,5	20	6,5	12,340	1,070	21,008	0,587
7	20	7	12,340	1,075	21,121	0,584



I. Kuat Tekan Bebas Tanah *fly ash* 15% + OMC

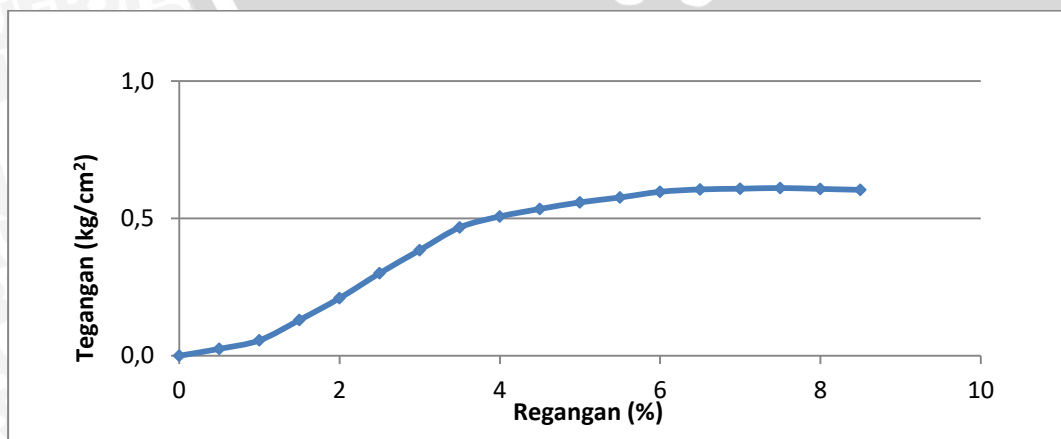
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,8	0,5	0,494	1,005	19,742	0,025
1	1,8	1	1,111	1,010	19,841	0,056
1,5	4,2	1,5	2,591	1,015	19,942	0,130
2	6,8	2	4,196	1,020	20,044	0,209
2,5	9,8	2,5	6,047	1,026	20,147	0,300
3	12,6	3	7,774	1,031	20,250	0,384
3,5	15,4	3,5	9,502	1,036	20,355	0,467
4	16,8	4	10,366	1,042	20,461	0,507
4,5	17,8	4,5	10,983	1,047	20,568	0,534
5	18,7	5	11,538	1,053	20,677	0,558
5,5	19,4	5,5	11,970	1,058	20,786	0,576
6	20,2	6	12,463	1,064	20,897	0,596
6,5	20,6	6,5	12,710	1,070	21,008	0,605
7	20,8	7	12,834	1,075	21,121	0,608
7,5	21	7,5	12,957	1,081	21,236	0,610
8	21	8	12,957	1,087	21,351	0,607
8,5	21	8,5	12,957	1,093	21,468	0,604



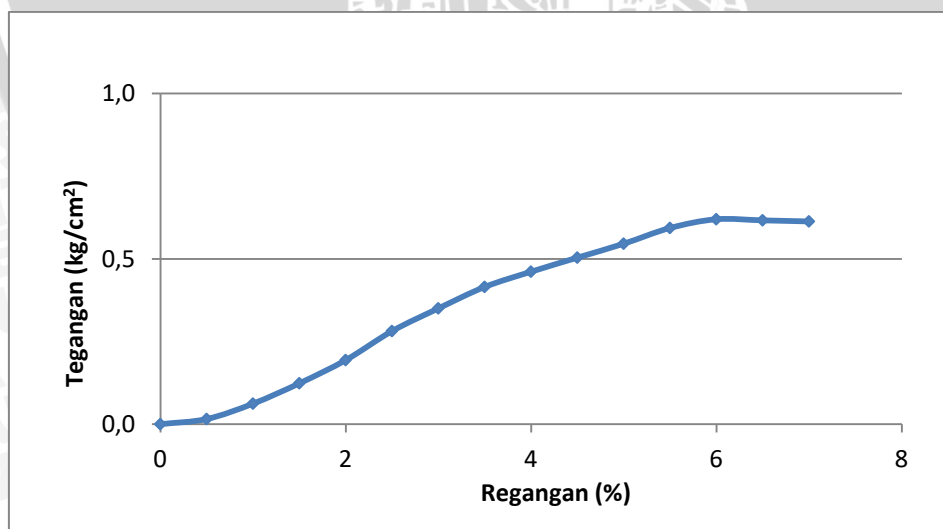
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,5	0,5	0,309	1,005	19,742	0,016
1	2	1	1,234	1,010	19,841	0,062
1,5	4	1,5	2,468	1,015	19,942	0,124
2	6,3	2	3,887	1,020	20,044	0,194
2,5	9,2	2,5	5,676	1,026	20,147	0,282
3	11,5	3	7,096	1,031	20,250	0,350
3,5	13,7	3,5	8,453	1,036	20,355	0,415
4	15,3	4	9,440	1,042	20,461	0,461
4,5	16,8	4,5	10,366	1,047	20,568	0,504
5	18,3	5	11,291	1,053	20,677	0,546
5,5	20	5,5	12,340	1,058	20,786	0,594
6	21	6	12,957	1,064	20,897	0,620
6,5	21	6,5	12,957	1,070	21,008	0,617
7	21	7	12,957	1,075	21,121	0,613



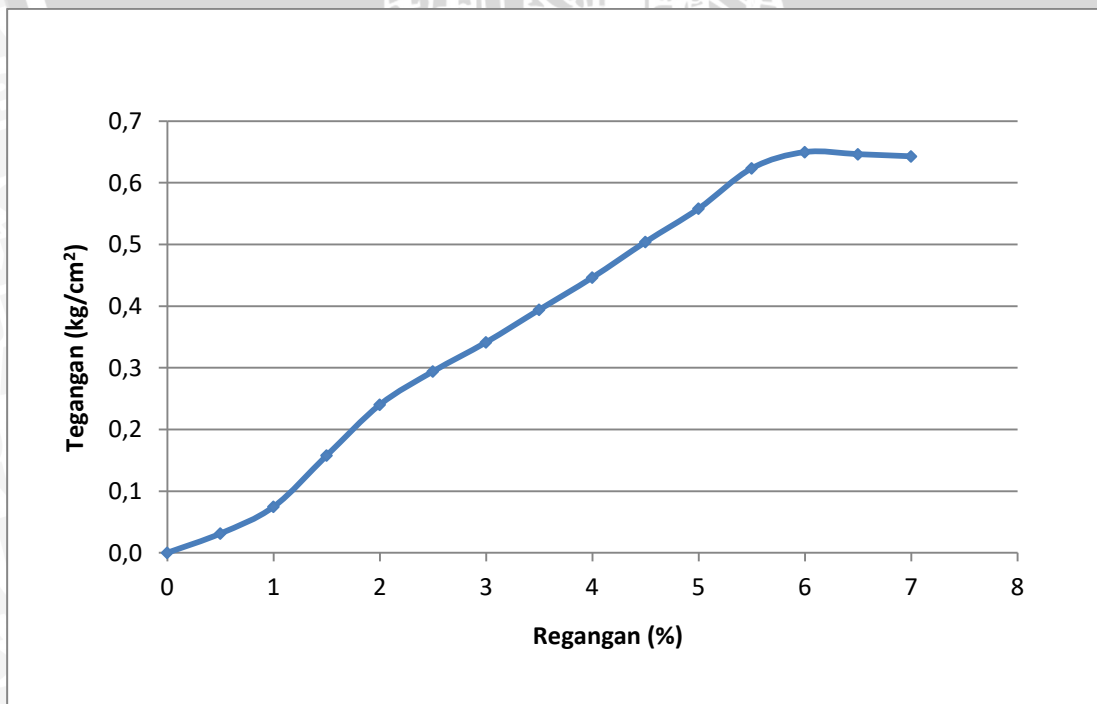
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	1	0,5	0,617	1,005	19,742	0,031
1	2,4	1	1,481	1,010	19,841	0,075
1,5	5,1	1,5	3,147	1,015	19,942	0,158
2	7,8	2	4,813	1,020	20,044	0,240
2,5	9,6	2,5	5,923	1,026	20,147	0,294
3	11,2	3	6,910	1,031	20,250	0,341
3,5	13	3,5	8,021	1,036	20,355	0,394
4	14,8	4	9,132	1,042	20,461	0,446
4,5	16,8	4,5	10,366	1,047	20,568	0,504
5	18,7	5	11,538	1,053	20,677	0,558
5,5	21	5,5	12,957	1,058	20,786	0,623
6	22	6	13,574	1,064	20,897	0,650
6,5	22	6,5	13,574	1,070	21,008	0,646
7	22	7	13,574	1,075	21,121	0,643



J. Kuat Tekan Bebas Tanah fly ash 15% + OMC -3%

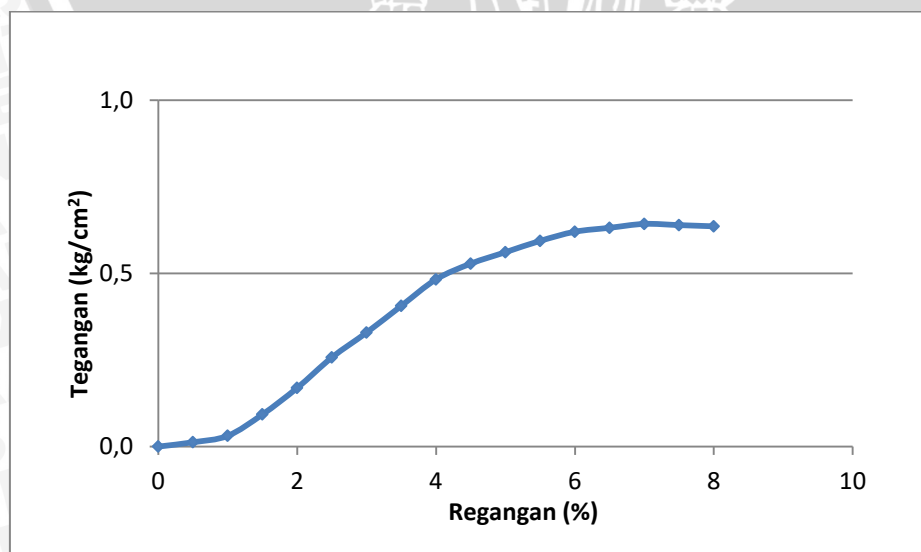
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A' = A_0 / (1 - \varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,4	0,5	0,247	1,005	19,742	0,013
1	1	1	0,617	1,010	19,841	0,031
1,5	3	1,5	1,851	1,015	19,942	0,093
2	5,5	2	3,394	1,020	20,044	0,169
2,5	8,4	2,5	5,183	1,026	20,147	0,257
3	10,8	3	6,664	1,031	20,250	0,329
3,5	13,4	3,5	8,268	1,036	20,355	0,406
4	16	4	9,872	1,042	20,461	0,482
4,5	17,6	4,5	10,859	1,047	20,568	0,528
5	18,8	5	11,600	1,053	20,677	0,561
5,5	20	5,5	12,340	1,058	20,786	0,594
6	21	6	12,957	1,064	20,897	0,620
6,5	21,5	6,5	13,266	1,070	21,008	0,631
7	22	7	13,574	1,075	21,121	0,643
7,5	22	7,5	13,574	1,081	21,236	0,639
8	22	8	13,574	1,087	21,351	0,636



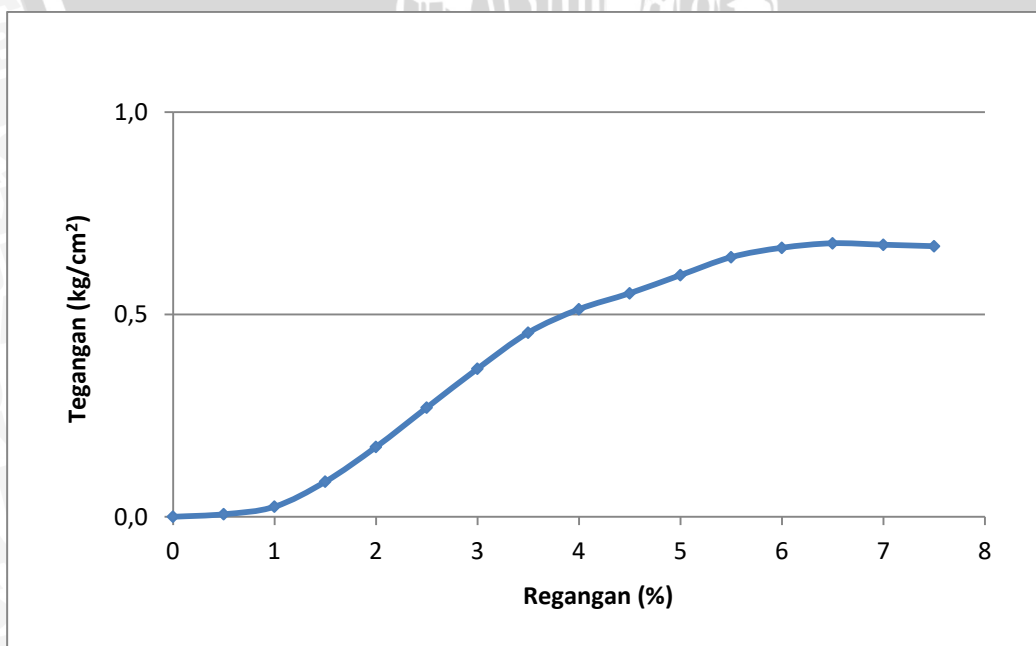
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,2	0,5	0,123	1,005	19,742	0,006
1	0,8	1	0,494	1,010	19,841	0,025
1,5	2,8	1,5	1,728	1,015	19,942	0,087
2	5,6	2	3,455	1,020	20,044	0,172
2,5	8,8	2,5	5,430	1,026	20,147	0,270
3	12	3	7,404	1,031	20,250	0,366
3,5	15	3,5	9,255	1,036	20,355	0,455
4	17	4	10,489	1,042	20,461	0,513
4,5	18,4	4,5	11,353	1,047	20,568	0,552
5	20	5	12,340	1,053	20,677	0,597
5,5	21,6	5,5	13,327	1,058	20,786	0,641
6	22,5	6	13,883	1,064	20,897	0,664
6,5	23	6,5	14,191	1,070	21,008	0,675
7	23	7	14,191	1,075	21,121	0,672
7,5	23	7,5	14,191	1,081	21,236	0,668



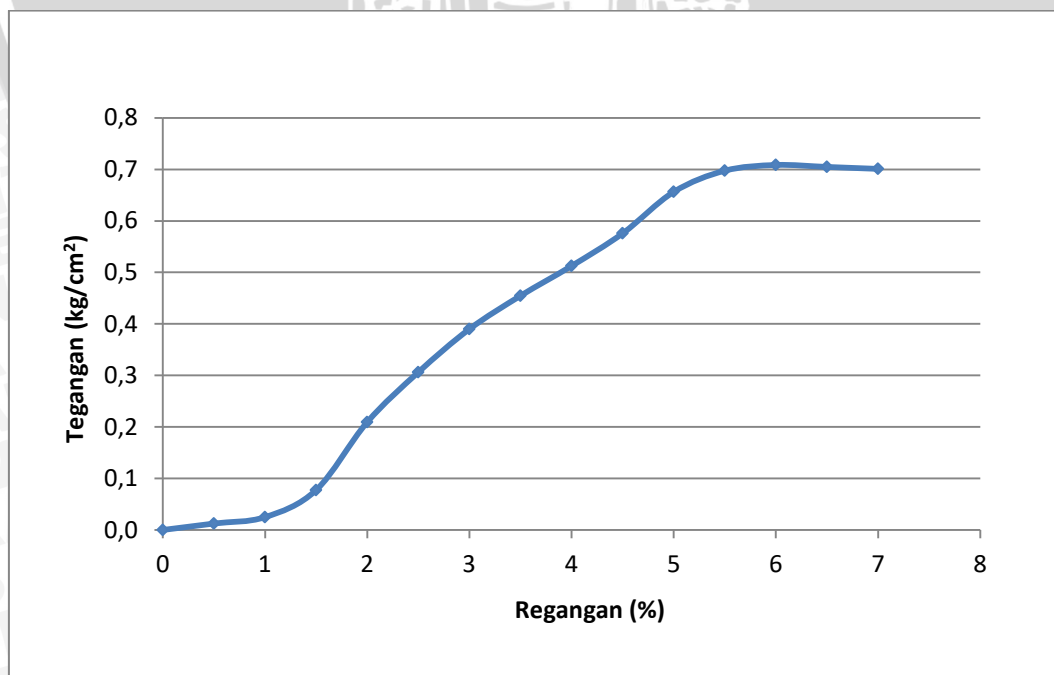
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,4	0,5	0,247	1,005	19,742	0,013
1	0,8	1	0,494	1,010	19,841	0,025
1,5	2,5	1,5	1,543	1,015	19,942	0,077
2	6,8	2	4,196	1,020	20,044	0,209
2,5	10	2,5	6,170	1,026	20,147	0,306
3	12,8	3	7,898	1,031	20,250	0,390
3,5	15	3,5	9,255	1,036	20,355	0,455
4	17	4	10,489	1,042	20,461	0,513
4,5	19,2	4,5	11,846	1,047	20,568	0,576
5	22	5	13,574	1,053	20,677	0,656
5,5	23,5	5,5	14,500	1,058	20,786	0,698
6	24	6	14,808	1,064	20,897	0,709
6,5	24	6,5	14,808	1,070	21,008	0,705
7	24	7	14,808	1,075	21,121	0,701



K. Kuat Tekan Bebas Tanah fly ash 15% + omc -7%

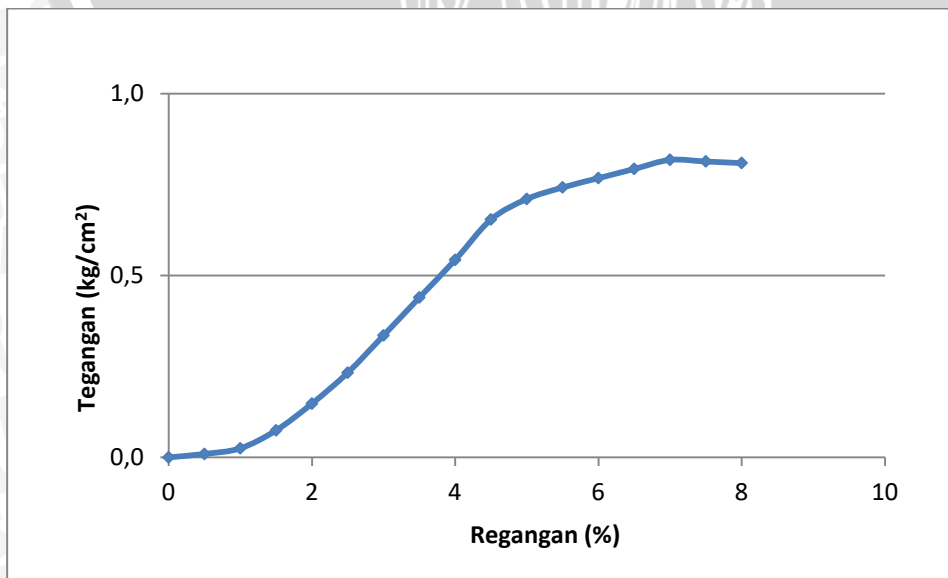
Sampel : Benda Uji 1

Data

D= 5 L= 10 A=19,643 cm²

Kalibrasi alat:0,617 kg/div

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,3	0,5	0,185	1,005	19,742	0,009
1	0,8	1	0,494	1,010	19,841	0,025
1,5	2,4	1,5	1,481	1,015	19,942	0,074
2	4,8	2	2,962	1,020	20,044	0,148
2,5	7,6	2,5	4,689	1,026	20,147	0,233
3	11	3	6,787	1,031	20,250	0,335
3,5	14,5	3,5	8,947	1,036	20,355	0,440
4	18	4	11,106	1,042	20,461	0,543
4,5	21,8	4,5	13,451	1,047	20,568	0,654
5	23,8	5	14,685	1,053	20,677	0,710
5,5	25	5,5	15,425	1,058	20,786	0,742
6	26	6	16,042	1,064	20,897	0,768
6,5	27	6,5	16,659	1,070	21,008	0,793
7	28	7	17,276	1,075	21,121	0,818
7,5	28	7,5	17,276	1,081	21,236	0,814
8	28	8	17,276	1,087	21,351	0,809



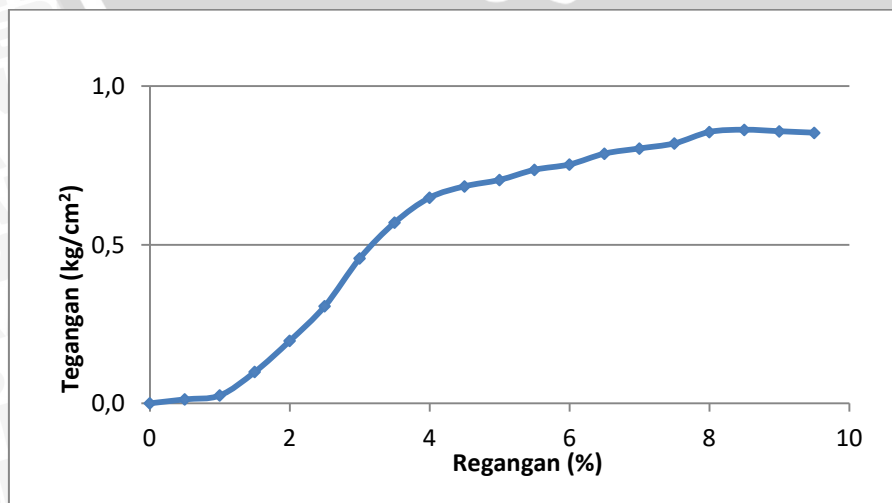
Sampel : Benda Uji 2

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ε (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A' = A_0 / (1 - \varepsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,4	0,5	0,247	1,005	19,742	0,013
1	0,8	1	0,494	1,010	19,841	0,025
1,5	3,2	1,5	1,974	1,015	19,942	0,099
2	6,4	2	3,949	1,020	20,044	0,197
2,5	10	2,5	6,170	1,026	20,147	0,306
3	15	3	9,255	1,031	20,250	0,457
3,5	18,8	3,5	11,600	1,036	20,355	0,570
4	21,5	4	13,266	1,042	20,461	0,648
4,5	22,8	4,5	14,068	1,047	20,568	0,684
5	23,6	5	14,561	1,053	20,677	0,704
5,5	24,8	5,5	15,302	1,058	20,786	0,736
6	25,5	6	15,734	1,064	20,897	0,753
6,5	26,8	6,5	16,536	1,070	21,008	0,787
7	27,5	7	16,968	1,075	21,121	0,803
7,5	28,2	7,5	17,399	1,081	21,236	0,819
8	29,6	8	18,263	1,087	21,351	0,855
8,5	30	8,5	18,510	1,093	21,468	0,862
9	30	9	18,510	1,099	21,586	0,858
9,5	30	9,5	18,510	1,105	21,705	0,853



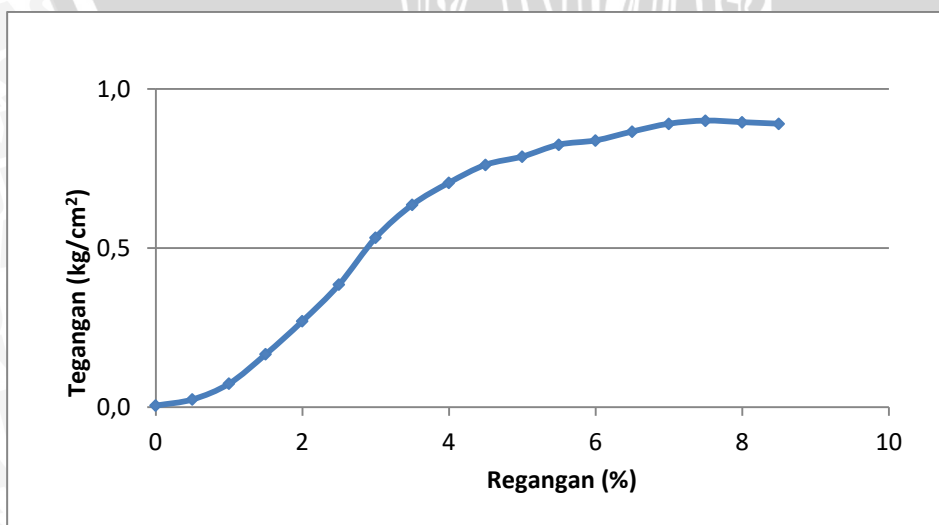
Sampel : Benda Uji 3

Data

$D=5$ $L=10$ $A=19,643 \text{ cm}^2$

Kalibrasi alat: $0,617 \text{ kg/div}$

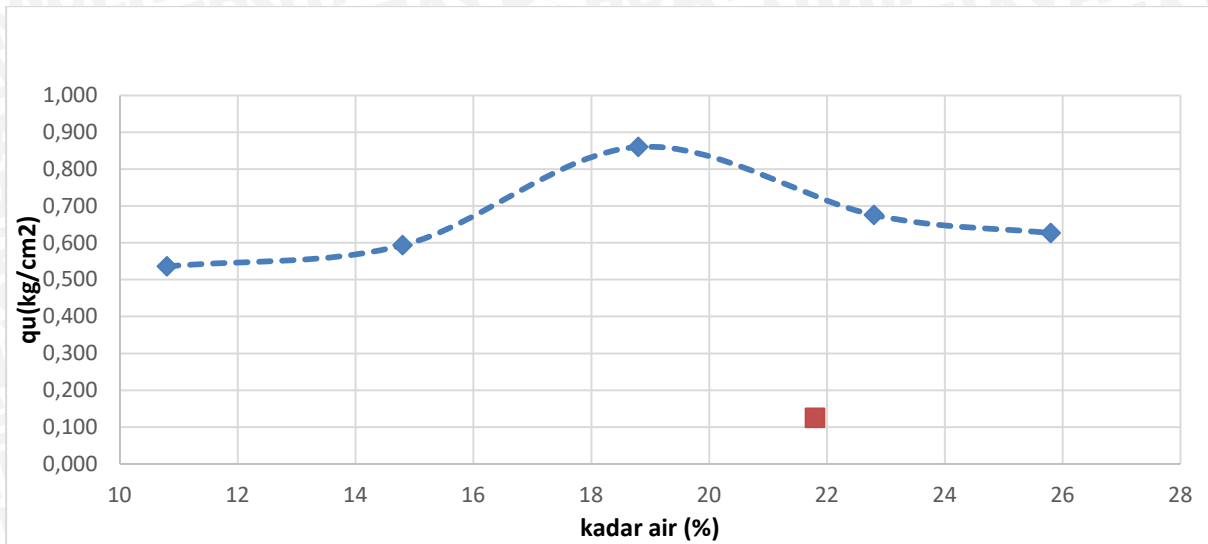
Pembacaan Arloji (penurunan mm)	Pembacaan Arloji (tegangan div)	Regangan ϵ (%)	Beban (kg)	Angka Koreksi	Luas Terkoreksi $A'=A_0 / (1-\epsilon)$ (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)
0	0	0	0	1	19,643	0
0,5	0,8	0,5	0,494	1,005	19,742	0,025
1	2,4	1	1,481	1,010	19,841	0,075
1,5	5,4	1,5	3,332	1,015	19,942	0,167
2	8,8	2	5,430	1,020	20,044	0,271
2,5	12,6	2,5	7,774	1,026	20,147	0,386
3	17,5	3	10,798	1,031	20,250	0,533
3,5	21	3,5	12,957	1,036	20,355	0,637
4	23,4	4	14,438	1,042	20,461	0,706
4,5	25,4	4,5	15,672	1,047	20,568	0,762
5	26,4	5	16,289	1,053	20,677	0,788
5,5	27,8	5,5	17,153	1,058	20,786	0,825
6	28,4	6	17,523	1,064	20,897	0,839
6,5	29,5	6,5	18,202	1,070	21,008	0,866
7	30,5	7	18,819	1,075	21,121	0,891
7,5	31	7,5	19,127	1,081	21,236	0,901
8	31	8	19,127	1,087	21,351	0,896
8,5	31	8,5	19,127	1,093	21,468	0,891



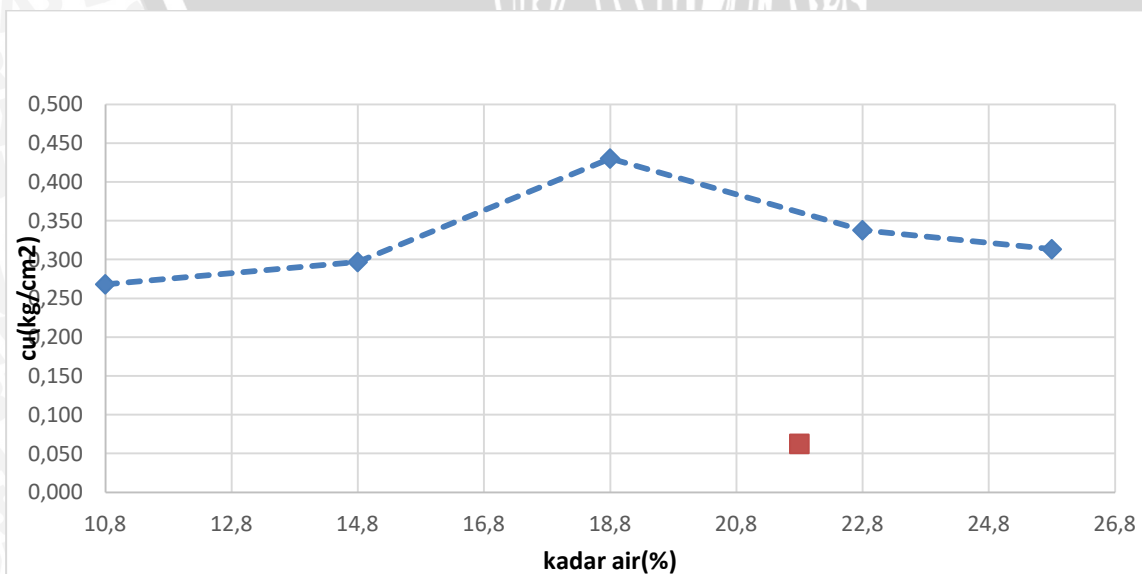
Gabungan Uji kuat tekan bebas setelah swelling

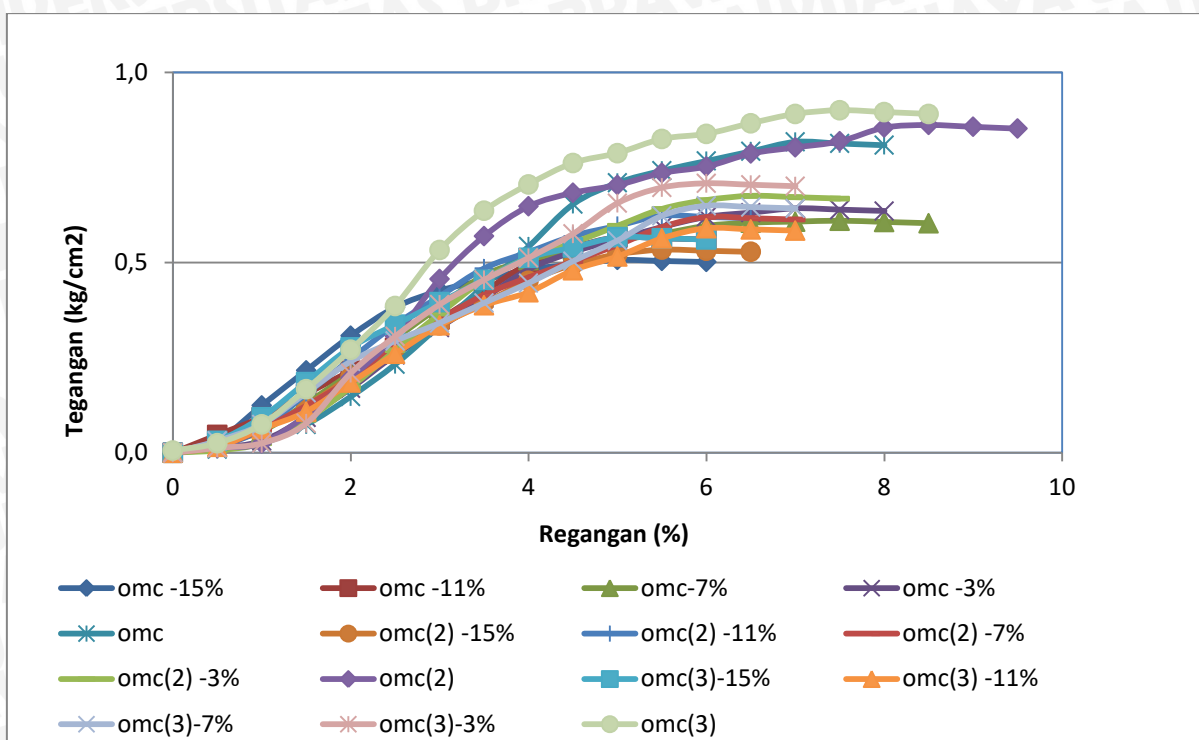
No.	Kadar Air		Sampel	kuat tekan (kg/cm ²)	kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)	regangan (%)	Cu rata rata
1	OMC -15%	10,8	1	0,507	0,536	8	0,268
		10,8	2	0,534		9,5	
		10,8	3	0,567		8,5	
2	OMC -11%	14,8	1	0,567	0,594	8	0,297
		14,8	2	0,623		7,5	
		14,8	3	0,591		7	
3	OMC -7%	18,8	1	0,818	0,860	8,5	0,430
		18,8	2	0,862		7	
		18,8	3	0,901		7	
4	OMC -3%	22,8	1	0,643	0,676	6	0,338
		22,8	2	0,675		6,5	
		22,8	3	0,709		7	
5	OMC dengan perbaikan	25,8	1	0,610	0,627	6	0,313
		25,8	2	0,620		6,5	
		25,8	3	0,650		6	
6	OMC tanpa perbaikan	21,8	1	0,135	0,125	7,5	0,063
		21,8	2	0,119		8,5	
		21,8	3	0,121		9	
7	undisturbed	42	1	0,076	0,069	8,5	0,035
		42	2	0,066		10	
		42	3	0,064			

No.	Kadar air	kuat tekan bebas (qu) tanah asli (kg/cm ²)	kuat tekan bebas (qu) (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	omc-15%	0,069	0,536	677
2	omc-11%		0,594	760
3	omc-7%		0,860	1147
4	omc-3%		0,676	879
5	omc perbaikan		0,627	808
6	OMC tanpa perbaikan		0,125	81



No.	Kadar air	Cu tanah tanah asli (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	peningkatan (%)
1	omc-15%	0,034	0,268	689
2	omc-11%		0,297	773
3	omc-7%		0,430	1165
4	omc-3%		0,338	894
5	omc perbaikan		0,313	821
6	OMC tanpa perbaikan		0,063	-9





Lampiran 3. Gambar

Pengambilan sampel tanah di Kecamatan Ngasem, Bojonegoro



Pengujian Unconfined



Pemeriksaan Pematatan



Pengujian Swelling

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1993. *Guide for Design of Pavement Structure*. Washington, USA: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Altmeyer, W.T., 1955, "Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays", Proc. AmSoc. Civil Eng. 81, New York.
- Anggoro, Rio. 2013. *Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro Terhadap Nilai CBR dan Swelling*. Skripsi Program Studi Sarjanapada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- ASTM International D-2487. 2000. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. 100 Barr Harbor Drive: United States.
- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga
- Bowles, Joseph E. 1993. *Sifat-sifat fisik Tanah dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Budi, et al. 2003. *Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif*. *Journal of Civil Engineering Dimension Volume 5*. Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Kristen Petra.
- Chen, F. H. 1975. *Foundation of Expansive Soil*. Amsterdam: Elsevier Scientific.
- Chen, F. H. 1988. *Foundation of Expansive Soil*. American Elsevier Scientific Publishing Company, New York
- Das, Braja M. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1999. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Umum.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press

Raman, V. 1967, *Identification of Expansive Soils From The Plasticity Index and Shrinkage Index Data*, India Eng, Calcutta: pp: 17-22

Santoso, Budi dkk. 1998. *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma.

Seed, H. B., et al. 1962. *Prediction of Swelling Potential of Compacted Clays*.

Tobing, Benny Christian L. 2014. *Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR Fly Ash*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

