



**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM DENGAN  
DIAMETER 5CM PADA STABILISASI TANAH LEMPUNG  
EKSPANSIF MENGGUNAKAN METODE DSM BERPOLA  
TRIANGULAR TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH**

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD AINUN MA'AZZA**

**NIM. 105060107111028**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2016**





## LEMBAR PENGESAHAN

# PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM DENGAN DIAMETER 5CM PADA STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF MENGGUNAKAN METODE DSM BERPOLA TRIANGULAR TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH

## SKRIPSI

### TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD AINUN MA'AZZA**

**NIM. 105060107111028**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 15 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng Yulvi Zaika, MT  
NIP. 19680707 19940 3 002

Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D  
NIP. 19761023 200604 1 002

Mengetahui :  
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W., ST, M. Eng (prac)  
NIP. 19810220 200604 1 002







**JUDUL SKRIPSI :**

**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM DENGAN DIAMETER 5 CM PADA STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF MENGGUNAKAN METODE DSM BERPOLA *TRIANGULAR* TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH**

**Nama Mahasiswa : Muhammad Ainun Ma'azza**

**NIM : 105060107111028**

**Program Studi : Teknik Sipil**

**Minat : Geoteknik**

1. Ketua Majelis : Dr. Ir. Harimurti, MT.
2. Sekretaris Majelis : Dr. Eng. Yulvi Zaika ST., MT,
3. Penguji Skripsi : Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D.,  
Dr. Ir. Harimurti, MT.  
Dr. Eng. Yulvi Zaika ST., MT,
4. Pembimbing Skripsi : Dr. Eng. Yulvi Zaika ST., MT,  
Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D.,
5. Penguji Komprehensif : Ir. Suroso Dipl. HE., M. Eng.
6. Penguji Saksi : Dr. Eng Indradi W, ST, M Eng (Prac.)

**Tanggal ujian : 27 Juni 2016**

**SK Penguji : No.783/UN10.6/SK/2016**







## PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat, hidayah, petunjuk, dan kemudahan kepada penulis sehingga skripsi yang berjudul **”Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom dengan Diameter 5 cm pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif menggunakan Metode DSM Berpola *Triangular* terhadap Daya Dukung Tanah”** ini dapat penulis selesaikan.

Skripsi yang disusun guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik ini, diharapkan dapat menjadi sumbangsih bagi ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang Geoteknik. Selain itu, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D., dan Dr. Eng. Yulvi Zaika ST., MT, sebagai dosen pembimbing atas segala saran, masukan, arahan dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Ir. Suroso Dipl. HE., M. Eng. Dr. Ir. Arief Rachmansyah, Dr. Ir. As’ad Munawir, MT., dan Dr. Ir. Harimurti, MT. sebagai dosen Geoteknik yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam skripsi ini.
3. Ir. Sugeng P. Budio, MS. dan Ir. Siti Nurlina, MT. selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan yang membantu kelancaran skripsi ini.
4. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko ST., M. Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil yang telah membantu dalam kelancaran skripsi ini.
5. Pak Ketut Sugiarto, Mbak Indah dan Mbak Asmi yang telah banyak memberi bantuan selama proses pengerjaan skripsi di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi.
6. Pak Sugeng Hendrik dan Mas Dino Teguh yang telah memberi banyak bantuan perihal alat uji dalam kelancaran skripsi ini.
7. Pak Hadi yang telah membantu menyediakan tempat sampel tanah sehingga membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini.
8. Almarhum Abah Masduqi Mahfudz, Ny. Chasinah Chamzawi, Ayah, Ibu dan segenap keluarga atas doa restu, nasihat, semangat, dan dukungannya dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Komandan Ivan, Jendral Hendro, Pakak, Sogol, Erza, Oyik, dan Angga yang merupakan serigala terakhir dan teman seperjuangan dalam skripsi ini.
11. Helmy, Yuzqi, Erga, Royyan, Sam Sikup, Bachtiyar, Iman, Bang Apis, Andriyas, Gabug, Zaki, Benny, Pandu, Ari, Osa, Angger, Dodik, Adi,



Irawan. Aji, Hosea, Ahya, Mail, Gulam, Gunawan,atas dukungan-dukungannya.

12. Mbah Mat, Cak Hadi, Pak Aceng, Pak Uwais, Romadhon, Cak Taqi, Kaharuddin, Pak Gondrong, dan segenap anggota kandang macan yang telah membantu, memberikan dukungan maupun kritiknya.

13. Si Doi yang telah menemani dalam suka dan duka hingga skripsi ini bisa diselesaikan penulis.

Dengan segala keterbatasan kemampuan penulis sebagai manusia biasa tentunya skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Malang, 10 Juni 2016

Penyusun



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI, TESIS, ATAU DISERTASI

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

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

Malang, 15 Agustus 2016

Mahasiswa,

Muhammad Ainun Ma'azza

105060107111028



## RIWAYAT HIDUP

Muhammad Ainun Ma'azza, lahir di Malang, 19 Juli 1991 anak dari Bapak Syamsul Arifin dan Ibu Uswatun Hasanah. Tahun 1998 – 2004 menempuh pendidikan SD di MIN Malang I Tahun 2004 – 2007 menempuh pendidikan SMP di MTsN Malang I. Tahun 2007 – 2010 menempuh pendidikan SMA di MAN I Malang. Lulus Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016.

Malang, 15 Agustus 2016

Penulis





## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
RINGKASAN.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tanah.....	5
2.2 Klasifikasi Tanah .....	7
2.3 Tanah Lempung .....	9
2.3.1 Tanah Lempung Ekspansif.....	11
2.4 Stabilisasi Tanah .....	13
2.4.1 Stabilisasi Tanah Dengan <i>Fly Ash</i> .....	14
2.5 Metode Pencampuran Tanah Dalam ( <i>Deep Soil Mix Method</i> ) .....	16
2.5.1 Metode Pencampuran Tanah Basah .....	17
2.5.2 Metode Pencampuran Tanah Kering.....	17
2.6 Uji Pembebanan .....	21
2.7 Daya Dukung Tanah .....	23
2.8 <i>Bearing Capacity Improvement</i> .....	26
2.9 Kembang Susut ( <i>Swelling</i> ).....	27
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Tahapan Penelitian.....	28
3.1.1 Pekerjaan Persiapan.....	28
3.1.2 Pekerjaan Lapangan .....	28
3.1.3 Pekerjaan Laboratorium .....	28







3.2 Rancangan Penelitian.....	28
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.4 Variabel Penelitian.....	29
3.5 Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.5.1 Alat Penelitian.....	29
3.5.2 Bahan Penelitian.....	30
3.6 Metode Penelitian.....	30
3.6.1 Penelitian Pendahuluan.....	30
3.6.2 Persiapan Benda Uji.....	30
3.6.3 Uji Pembebanan.....	32
3.7 Metode Analisa Data.....	34
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>36</b>
4.1 Pemeriksaan <i>Specific Gravity</i> .....	36
4.2 Klasifikasi Tanah.....	36
4.2.1 Analisa Saringan dan Hidrometer.....	36
4.2.2 Pemeriksaan Batas <i>Atterberg</i> .....	37
4.2.3 Klasifikasi Berdasarkan Sistem <i>Unified</i> .....	38
4.2.4 Sifat Ekspansifitas Tanah.....	38
4.3 Kriteria Tanah Lempung.....	39
4.4 Pemeriksaan Pemadatan Standar.....	40
4.5 Usaha Pemadatan Sampel.....	41
4.6 Uji Pembebanan Laboratorium.....	42
4.7 Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Asli.....	42
4.8 Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Stabilisasi DSM.....	44
4.8.1 Nilai Daya Dukung Tanah Terhadap Prosentase Tanah yang Telah Distabilisasi dengan Kolom DSM.....	44
4.8.2 Nilai Daya Dukung Tanah pada Variasi Kedalaman Kolom (Df) Terhadap Jarak Antar Kolom (L).....	45
4.8.3 Nilai Daya Dukung Tanah pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom (Df).....	46
4.8.4 Analisis Penurunan Tanah.....	48
4.8.4.1 Penurunan Tanah Asli Tanpa Distabilisasi Kolom	



DSM .....	48
4.8.4.2 Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) terhadap Kedalaman Kolom (Df).....	49
4.8.4.3 Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Kedalaman Kolom (Df) terhadap Jarak Antar Kolom (L) .....	53
4.8.5 Analisis Pengaruh Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom DSM 15 % <i>Fly Ash</i> Berdasarkan BCI.....	61
4.8.5.1 Perbandingan BCIu pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom (Df).....	61
4.8.5.2 Perbandingan BCIu pada Variasi Kedalaman Kolom (Df) Terhadap Jarak antar Kolom (L) .....	63
4.8.6 Pengaruh Variasi Jarak Antar Kolom (L) dan Panjang Kolom (Df) Terhadap Nilai Daya Dukung dan Penurunan Tanah.....	64
4.9 Pemeriksaan Pengembangan ( <i>swelling</i> ) Terhadap Prosentase Tanah Stabilisasi .....	67
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran.....	69





## DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi tanah menurut <i>Unified</i> .....	6
Tabel 2.2	Sistem Klasifikasi AASHTO .....	7
Tabel 2.3	Sistem klasifikasi USCS .....	8
Tabel 2.4	Karakteristik mineral lempung .....	11
Tabel 2.5	Klasifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan kadar ukuran koloid, indeks plastisitas dan batas susut .....	11
Tabel 2.6	Klasifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan batas susut .....	12
Tabel 2.7	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan PI .....	12
Tabel 2.8	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit.....	12
Tabel 2.9	Aktivitas tanah lempung.....	13
Tabel 2.10	Kandungan <i>fly ash</i> PLTU Paiton.....	15
Tabel 2.11	Penjelasan Standar Laboratorium yang Ada Untuk Persiapan Sampel dan Simulasi Pengujian Metode Deep Soil Mixing .....	20
Tabel 2.12	Prosentase peningkatan daya dukung terhadap tanah asli.....	21
Tabel 3.1	Rancangan penelitian pengaruh variasi jarak dan kedalaman terhadap daya dukung ( <i>qu</i> ) dan Penurunan .....	28
Tabel 3.2	Variasi jarak dan kedalaman tipe <i>Triangular</i> dengan diameter 3 cm .....	32
Tabel 3.3	BCI dan Prosentase peningkatan daya dukung .....	35
Tabel 4.1	Hasil pemeriksaan <i>specific gravity</i> .....	36
Tabel 4.2	Hasil pemeriksaan batas-batas <i>atterberg</i> .....	37
Tabel 4.3	Derajat ekspansifitas berdasarkan SL.....	39
Tabel 4.4	Derajat ekspansifitas berdasarkan PI.....	40
Tabel 4.5	Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah.....	44
Tabel 4.6	Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Jarak Antar Kolom.....	45
Tabel 4.7	Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Jarak Antar Kolom.....	47
Tabel 4.8	Penurunan Akibat variasi Jarak antar Kolom.....	51



Repository Universitas Brawijaya

Tabel 4.9	Penurunan akibat Variasi Kedalaman Kolom.....	54
Tabel 4.10	Nilai $BCI_u$ pada Variasi Jarak Antar Kolom.....	62
Tabel 4.11	Nilai $BCI_u$ pada Variasi Kedalaman Kolom .....	63
Tabel 4.12	Perbandingan Peningkatan $BCI_u$ pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom.....	66
Tabel 4.13	Perbandingan Penurunan Nilai <i>Settlement</i> pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom .....	66
Tabel 4.14	Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi ...	67
Tabel 4.15	Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM.....	68



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah sistem .....	6
Gambar 2.2	Diagram struktur dari (a) <i>kaolinite</i> (b) <i>illite</i> dan (c) <i>Montmorillonite</i> .....	10
Gambar 2.3	Skema stabilisaasi massa dan kolom stabilisasi .....	16
Gambar 2.4	Tipe rakitan <i>auger</i> : (a) rakitan tunggal; (b) rakitan ganda; (c) rakitan <i>triple</i> .....	17
Gambar 2.5	Kolom stabilisasi hasil <i>deep soil mixing</i> .....	18
Gambar 2.6	Konfigurasi bentuk kolom stabilisasi .....	19
Gambar 2.7	Variasi jarak kolom stabilisasi .....	20
Gambar 2.8	Skema uji pembebanan.....	22
Gambar 2.9	Hubungan beban dengan penurunan .....	23
Gambar 2.10	Penentuan <i>qu</i> dari hubungan beban persatuan luas dengan penurunan.....	24
Gambar 2.11	Macam keruntuhan pondasi (a) Keruntuhan geser umum (b) keruntuhan geser local (c) keruntuhan penetrasi .....	25
Gambar 2.12	Isobar Tegangan Vertikal di Bawah Luasan Berbentuk Bujur Sangkar yang Menerima Beban Merata .....	26
Gambar 3.1	Skema uji pembebanan sampel .....	33
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 4.1	Gabungan analisa saringan dan hydrometer .....	37
Gambar 4.2	Klasifikasi tanah sistem unified .....	38
Gambar 4.3	Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Potensi Mengembang .....	39
Gambar 4.4	Pemadatan standar tanah asli .....	41
Gambar 4.5	Hubungan beban dengan penurunan tanah asli .....	43
Gambar 4.6	Hubungan tegangan dengan penurunan tanah asli .....	43
Gambar 4.7	Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah.....	45
Gambar 4.8	Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) Terhadap Jarak Antar Kolom (L).....	46
Gambar 4.9	Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Jarak Antar	



	Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ ).....	47
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) = 5 cm .....	50
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) = 10 cm.....	50
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) = 15 cm.....	51
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Jarak antar Kolom.....	52
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 5 cm.....	53
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 6,25 cm.....	54
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 7,5 cm .....	54
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Kedalaman antar Kolom.....	55
Gambar 4.18	Grafik Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom Terhadap Nilai BCI .....	62
Gambar 4.19	Grafik Pengaruh Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Nilai BCI .....	64
Gambar 4.20	Pengembangan tanah stabilisasi DSM berdasarkan jumlah kolom.....	67



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
Lampiran 1	Pemeriksaan <i>Ring Density</i> .....	71
Lampiran 2	Hasil Uji Pembebanan.....	81
Lampiran 3	Gambar Pelaksanaan.....	107
Lampiran 4	Perhitungan Prosentase stabilisasi.....	110







## RINGKASAN

**Muhammad Ainun Ma'azza**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2016, *Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom dengan Diameter 5cm pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif menggunakan Metode Dsm Berpola Triangular terhadap Daya Dukung Tanah*, Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Yulvi Zaika, ST., MT. dan Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut yang sangat tinggi, akibat perubahan kadar air dalam tanah. Mengembangnya tanah lempung ekspansif ini disebabkan oleh bertambahnya kadar air pada tanah dan diikuti oleh kenaikan tekanan air pori dan timbulnya tekanan pengembangan sebaliknya apabila kadar air berkurang akan terjadi penyusutan yang cukup tinggi. Pada saat kadar air bertambah maka daya dukung tanah berkurang sebaliknya jika kadar air berkurang maka daya dukung tanah akan meningkat.

Pada penelitian ini dilakukan perbaikan tanah lempung ekspansif dengan menggunakan metode *deep soil mixing* berpola *triangular* dengan diameter kolom 5 cm yang bertujuan untuk meningkatkan nilai daya dukung. Metode *deep soil mixing* merupakan metode pencampuran dengan bahan aditif pada tanah untuk meningkatkan stabilitas tanah. Jenis aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* hal ini dikarenakan penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif mampu meningkatkan daya dukung tanah. Pada penelitian ini digunakan 9 variasi jarak dan kedalaman kolom berupa variasi jarak antar kolom (5, 6.25, 7.5 cm) dan variasi kedalaman kolom (5, 10, 15 cm).

Hasil dari stabilisasi tanah lempung ekspansif menggunakan metode *deep soil mixing* berpola *triangular* dengan diameter kolom 5 cm menunjukkan peningkatan nilai daya dukung hingga 270% dari daya dukung tanah asli. Stabilisasi menggunakan bahan aditif 15% *fly ash* pada metode DSM berpola *triangular* dapat mengurangi nilai pengembangan (*swelling*) seiring dengan bertambahnya volume tanah yang distabilisasi. Prosentase tanah yang terstabilisasi sebesar 26,18 % telah mampu menghentikan pengembangan (*swelling*) tanah asli.

Kata kunci: tanah lempung ekspansif bojonegoro, *fly ash 15%*, *Deep Soil Mixing, Triangular*, jarak, kedalaman, diameter, daya dukung.

## SUMMARY

**Muhammad Ainun Ma'azza**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in June 2016, *Effect of Distance and Length Fields with a diameter of 5cm on Expansive Clay Soil Stabilization using methods Dsm Patterned Triangular against Land Capability*, Supervisor: Dr. Eng. Yulvi Zaika, ST., MT.dan Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D

An expansive clay soil types have flowers shrinkage properties are very high, due to changes in moisture content in the soil. The expansion of the expansive clay is caused by increased levels of water in the soil and is followed by an increase in pore water pressure and the onset of development pressure and vice versa if the water content is reduced shrinkage will occur is high enough. By the time the water content increases, reduced soil dukug power versa if the water content is reduced, the carrying capacity of the land will increase.

In this research, improvement of expansive clay using a triangular patterned deep soil mixing columns with a diameter of 5 cm which aims to increase carrying capacity. Deep soil mixing method is a method of mixing with additives to the soil to improve soil stability. Types of additives used in this study is flyash this is because the addition of flyash on expansive soil can improve soil bearing capacity. In this study used nine variations of distance and depth of field in the form of variations in the distance between the columns (5, 6:25, 7.5 cm) and the column depth variation (5, 10, 15 cm).

The results of the stabilization of expansive clay soil deep mixing using a triangular pattern with a diameter of 5 cm column shows the increase in carrying capacity of up to 270% of the carrying capacity of the native land. Stabilization using additive 15% fly ashpada triangular patterned DSM method can reduce development value (swelling) due to the increasing volume of soil stabilization. Percentage of soil stabilized at 26.18% has been able to stop the development (swelling) native land.

**Keywords:** bojonegoro expansive clay, fly ash 15%, Deep Soil Mixing, Triangular, distance, depth, diameter, carrying capacity.







## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan konstruksi bangunan akhir-akhir ini, bisa dilihat dari pesatnya pembangunan yang dilakukan baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Seiring perkembangan tersebut dituntut pula teknologi yang sesuai dan memadai dengan kebutuhan yang ada. Para engineer juga sudah banyak yang melakukan inovasi dalam dunia konstruksi ini baik dalam hal structural seperti teknologi bahan beton atau baja maupun dalam hal desain.

Dalam suatu konstruksi baik gedung maupun jalan, tanah merupakan bagian paling penting karena hampir semua konstruksi baik jalan maupun gedung menumpu pada suatu lapis tanah. Budi Santosa, dkk (tanpa tahun) menjelaskan bahwa pada umumnya, tanah terdiri dari kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt) atau lempung (clays). Jenis ini sangat tergantung pada partikel –partikel yang paling dominan pada tanah tersebut.

Banyaknya ragam jenis karakteristik tanah yang ada di Indonesia menimbulkan beberapa permasalahan yang muncul, seperti daya dukung serta penurunan akibat gaya yang bekerja pada tanah tersebut. Salah satu jenis tanah yang banyak terdapat di Indonesia adalah tanah ekspansif. Dalam dunia teknik sipil tanah lempung ekspansif merupakan salah satu kendala yang rumit. Tanah lempung ekspansif memiliki sifat kembang dan susut yang tinggi. Akibat kepekaannya terhadap kelembaban tersebut menyebabkan pergerakan naik turun pada tanah sehingga menimbulkan kerusakan pada elemen struktur di atasnya. Walaupun kerusakan yang ditimbulkan tidak sedramatis akibat kerusakan gempa, tetapi kerusakan ini dapat meluas sehingga kerugian financial semakin besar. Proses kerusakan akibat ulah tanah ekspansif ini berjalan lambat dalam kurun waktu yang lama.

Stabilisasi tanah umumnya berkaitan dengan tanah yang mempunyai daya dukung yang rendah yang dicampur dengan bahan tambahan untuk meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Banyak penelitian tentang perbaikan tanah yang pernah dilakukan seperti penggunaan fly ash, semen, kapur, Earth Material Catalys (EMC2) dan lain-lain sebagai bahan stabilisasi. Hasil penelitian yang diperoleh didapatkan sangat bervariasi seperti EMC2 tidak berpengaruh banyak pada nilai kepadatan kering tanah.

Stabilisasi tanah dengan campuran fly ash pernah diuji (Benny, 2014) Nilai California Bearing Ratio(CBR) terbesar adalah 7,892% yaitu pada saat kadar fly ash 15% dan dalam keadaan takterendam. Sehingga kadar fly ash yang optimum untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif adalah 15%. Tanah lempung ekspansif yang melalui proses

curing selama 28 hari menghasilkan nilai CBR sebesar 16,948% sedangkan tanah asli tanpa fly ash memiliki nilai CBR 3,909%. Hal ini membuktikan bahwa campuran fly ash menambah daya dukung tanah lempung.

Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah (Sherwood, 1993) Stabilisasi tanah dengan cara pencampuran dengan bahan aditif umumnya ada dua metode yaitu pencampuran pada tanah di lapangan langsung (in situ stabilization) dan pencampuran bukan di lapangan. Pencampuran yang dilakukan di lapangan umumnya terdiri dari pencampuran dangkal atau permukaan (shallow mixing) dan pencampuran pada tanah dalam (deep soil mixing) atau banyak dikenal dengan sebutan metode DSM.

Penelitian tentang Deep Soil Mixing juga dilakukan (AilinNur, 2011) pada box berukuran 1000 x 600 x 700mm dengan menggunakan 4 kolom berdiameter 25mm dan panjang kolom 200mm yang dicampur dengan semen dan kapur. Uji tersebut menghasilkan nilai pada uji kuat tekan bebas sebesar 550kPa hingga 1000kPa untuk waktu curing 28 hari.

Stabilisasi tanah yang banyak digunakan di Indonesia adalah metode stabilisasi tanah permukaan. Sedangkan apabila tanah yang perlu di stabilkan adalah tanah dalam, maka perlu digunakan metode Deep Soil Mix(DSM). Penelitian tentang Deep Soil Mixing(DSM) (Ahya, 2014) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dengan menggunakan metode Deep Soil Mixing tipe Single Square mampu meningkatkan daya dukung tanah hingga 275,79% dari tanah tanpa stabilisasi yang semula 3,8 kg/cm<sup>2</sup>meningkat menjadi 14,28 kg/cm<sup>2</sup>.

Banyaknya referensi yang ada serta kurangnya studi laboratorium dan lapangan tentang metode Deep Soil Mixing di Indonesia, maka diperlukan pengembangan penelitian yang memudahkan pengaplikasian metode DSM dalam upaya perbaikan tanah lempung ekspansif.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut yang sangat tinggi akibat perubahan kadar air dalam tanah. Mengembangnya tanah lempung ekspansif ini disebabkan oleh bertambah nya kadar air pada tanah dan diikuti oleh kenaikan tekanan air pori dan timbulnyatekananpengembangandansebaliknyaapabilakadar air berkurangakanterjadipenyusutan yang cukup tinggi. Besarnya pengembangan dan penyusutan tidaklah merata antara satu titik pada titik yang lain sehingga menyebabkan timbulnya beda ketinggian pada muka tanah.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada, perlu diadakan studi lebih lanjut mengenai stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan metode *Deep Soil Mixing* untuk permasalahan tanah dalam yang banyak dijumpai di Indonesia. Metode *Deep Soil Mixing* dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi, jarak dan kedalaman kolom. Sehingga dengan penelitian konfigurasi, jarak dan panjang kolom dapat mengatasi permasalahan yang ada.

### 1.3 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah pengaruh perbedaan variable jarak dan kedalaman kolom tipe triangular dengan diameter 5cm terhadap nilai daya dukung ( $q_u$ ) pada tanah lempung ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 15% fly ash?
2. Berapakah jarak beserta kedalaman kolom maksimum untuk meningkatkan nilai daya dukung ( $q_u$ ) pada tanah lempung ekspansif di daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 15% fly ash?
3. Bagaimana pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif pada metode Deep Soil Mix dengan bahan aditif 15% fly ash terhadap nilai pengembangan (swelling) tanah?

### 1.4 Batasan Masalah

Mengingat banyaknya permasalahan yang mencakup pada penelitian ini, maka diterapkan batasan masalah sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah lempung yang diambil dari kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur.
2. Proses pelaksanaan dan pengujian dari penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Fly ash yang digunakan didapat dari toko bangunan di Malang.
4. Prosentase fly ash yang digunakan sebanyak 15% dari berat kering tanah kolom stabilisasi.
5. Kadar air optimum (OMC) untuk tanah asli adalah 27,9 % dan  $\gamma_d = 1,28$  gram/cm<sup>3</sup>.
6. Kadar air optimum (OMC) untuk pencampuran tanah dengan fly ash adalah 25,824 % dan  $\gamma_d = 1,488$  gram/cm<sup>3</sup>.

7. Waktu perawatan (*curing*) sebelum pengujian adalah 4 hari.
8. Metode stabilisasi yang digunakan adalah metode *Deep Soil Mixing* dengan konfigurasi tipe *Triangular* dengan diameter 5 cm.
9. Variasi jarak antar kolom adalah 1 D, 1,25 D, dan 1,5 D, sedangkan variasi kedalaman kolom adalah 1 B, 2 B, dan 3 B, dimana D adalah diameter kolom 5 cm dan B adalah lebar pondasi 5 cm.
10. Pencampuran tanah dengan tambahan fly ash dianggap tidak berpengaruh dan homogen serta dilakukan di luar boks.
11. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah uji beban hidrolis (*loading test*) dengan penentuan keseragaman penurunan 50 digit pada pembacaan alat sensor *linear variable differential transformers* (LVDT) yang dipasang di atas pelat baja ukuran 5 x 5 x 2 cm sebagai penyalur beban. Pembebanan dihentikan ketika pembacaan beban pada *load cell* menunjukkan beban tiga kali sama berturut-turut pada penurunan yang berbeda.
12. Perubahan terhadap karakteristik tanah akibat adanya pencampuran tidak akan dianalisis.
13. Pada penelitian ini tidak dibahas mengenai analisa kimia dan ekonomi secara khusus.

### 1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan kedalaman kolom tipe *Triangular* dengan diameter 5 cm pada metode *Deep Soil Mixing* terhadap nilai daya dukung (*qu*) tanah lempung ekspansif dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 15% fly ash dalam studi laboratorium.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan kedalaman kolom yang optimum untuk menghasilkan nilai daya dukung (*qu*) terbesar pada tanah lempung ekspansif dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 15% fly ash studi laboratorium.
3. Untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah lempung ekspansif pada metode *Deep Soil Mix* dengan bahan aditif 15% fly ash terhadap nilai pengembangan (*swelling*) tanah.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini diantaranya sebagai berikut :



1. Memberikan informasi mengenai stabilisasi tanah lempung ekspansif dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan aditif *fly ash* pada metode *Deep Soil Mixing* dalam studi laboratorium.
2. Memberikan informasi mengenai perbedaan nilai daya dukung (*qu*) tanah lempung ekspansif dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur akibat pencampuran aditif *fly ash* beserta variasi jarak dan kedalaman pada metode *Deep Soil Mixing* dalam studi laboratorium
3. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah

Tanah merupakan hasil pelapukan batuan karena proses fisika (panas, dingin, membeku, dan mencair) maupun kimia (hidrasi dan oksidasi). Dari proses pelapukan tersebut, terbentuk berbagai jenis tanah yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan kriteria-kriteria tertentu.

Dalam klasifikasi secara garis besar, tanah dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan ukuran partikel tanah yang sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Pada umumnya pembagian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kerikil (*gravel*), yaitu kepingan-kepingan batuan yang kadang juga termasuk partikel mineral *quartz* dan *feldspar*.
2. Pasir (*sand*), yaitu sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*.
3. Lanau (*silt*), yaitu sebagian besar fraksi mikroskopis (yang berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus, dan dari pecahan-pecahan mika.
4. Lempung (*clay*), yaitu sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis (berukuran sangat kecil) dan submikroskopis (tak dapat dilihat dengan kasat mata, hanya dengan mikroskop) yang ukurannya lebih kecil dari 2 mikron.

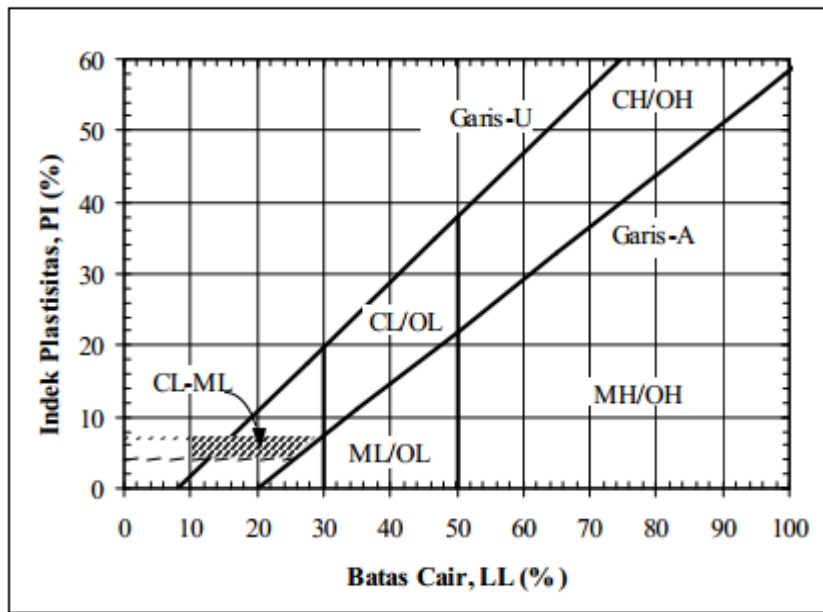
Dalam klasifikasi menurut system *Unified*, setiap tanah diberi simbol dua huruf dan dari simbol tersebut dapat diketahui jenis dan sifatnya.

Huruf pertama menunjukkan jenisnya, missal:

- G = kerikil (*gravel*)
- S = pasir (*sand*)
- M = lanau (*silt*)
- C = lempung (*clay*)
- O = tanah organik

Huruf kedua menunjukkan sifatnya

- W = bergradasi baik (*well graded*)
- P = bergradasi jelek (*poorly graded*)
- M = mengandung lanau
- C = mengandung lempung
- L = bersifat plastis rendah (*low plasticity*)
- H = bersifat plastis tinggi (*high plasticity*)



Gambar 2.1 Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah sistem *Unified*

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran terahan pada ayakan No. 200 <sup>†</sup>	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lebih dari 50% lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SP Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL Lanau - organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.	
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

\*Menurut ASTM (1982)  
<sup>†</sup>Berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in)

Tabel 2.1 Klasifikasi tanah menurut *Unified*  
 (Sumber : Braja M. Das ,1995)

## 2.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah sistem pengaturan yang menjadi acuan dalam pengelompokan jenis-jenis tanah yang berbeda namun memiliki sifat yang tidak jauh berbeda.

Sistem klasifikasi tanah bertujuan untuk mengidentifikasi tanah dalam penentuan kesesuaian terhadap penggunaan dan sekaligus berguna untuk informasi kondisi tanah. System yang digunakan pada umumnya adalah system klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dan sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS).

**Tabel 2.2**Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (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		
Analisis 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 (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Min 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						

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5;

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.

NP = Non Plastis.

Tabel 2.3 Sistem klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar lebih dari 50% butiran lebih dari 200	Kerikil lebih dari 50% (banya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus; Kurang dari 5% kelas saringan no.200; GM, GP, SW, SP, Lebih dari 12% kelas saringan no.200; GM, GC, SM, SC, 5% - 12% kelas saringan no.200; Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel  Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang di asir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  		
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		GM	GM		Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
			GC		Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
		Pasir lebih dari 50% (banyak pasir)	SW		Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SP		Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	SM		SM		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih kelas saringan No. 200		Lanau dan lempung butas cair ≤ 50%		ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berlanau, lempung "kurus" ( <i>lean clay</i> )
		OL			Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		Lanau dan lempung butas cair > 50%	MH		Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clay</i> )			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488			

### 2.3 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan suatu jenis tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu dan menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Partikel-partikel tanah berukuran yang lebih kecil dari 2 mikron, atau <5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid (<1 mikron) dan ukuran 2 mikron merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung. Namun, tanah yang berukuran lebih kecil dari 2 mikron belum tentu termasuk jenis lempung. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral yang terkandung didalamnya serta dapat menghasilkan sifat plastis bila dicampur dengan air.

Hardiyatmo, 1999 menjelaskan bahwa sifat-sifat tanah lempung pada umumnya adalah sebagai berikut:

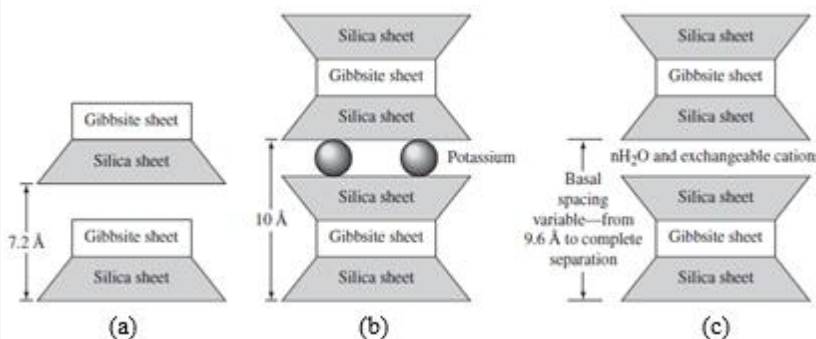
1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

ASTM D-653 memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm. Tanah ini merupakan jenis tanah yang sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (clay minerals), dan mineral-mineral yang sangat halus lain (Braja M. Das, 1985). Lempung mengandung leburan silika dan/atau aluminium yang halus. Unsur-unsur ini, silikon, oksigen, dan aluminium adalah unsur yang paling banyak menyusun kerak bumi. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi. Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasi.

Pada umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Dalam klasifikasi mineral tersebut dikelompokkan menjadi: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Dari mineral tersebut, tanah lempung

dapat dibagi menjadi lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Tanah lempung ekspansif tersusun dari mineral lempung yang mempunyai karakter kembang dan susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air seperti pada kelompok *montmorillonite*. Kelompok ini menjadikan tanah lempung tidak stabil jika berhubungan dengan air.

Pembahasan mengenai kandungan mineral lempung juga dijelaskan oleh Chen (1975), dimana mineral lempung terdiri dari tiga komponen penting yaitu *montmorillonite*, *illite*, dan *kaolinite*. *Montmorillonite* mempunyai penampang permukaan yang besar dan sangat mudah menyerap air bila dibandingkan dengan mineral lainnya, sehingga tanah yang mempunyai kepekaan lebih terhadap air ini sangat mudah mengembang. Struktur *illite* terdiri dari lapisan-lapisan unit *silica-aluminium-silica* yang dipisahkan oleh ion  $K^+$  yang mempunyai sifat mengembang. Struktur *illite* hampir sama dengan struktur *montmorillonite*, namun *montmorillonite* jauh lebih tidak stabil jika terkena air. *Kaolinite* terdiri dari unit lapisan *silica* dan *aluminium* yang diikat ion *hydrogen*. Struktur *kaolinite* adalah pembentuk tanah yang stabil karena strukturnya yang terikat kuat mampu menahan molekul-molekul air. Diagram struktur dari mineral dalam tanah lempung dapat dilihat pada **Gambar 2.2** dibawah ini.



**Gambar 2.2** Diagram struktur dari (a) *kaolinite* (b) *illite* dan (c) *Montmorillonite*  
Sumber: Das (1995)

Karakteristik mineral lempung juga dijelaskan oleh (Nelson, 1992) bahwa karakteristik mineral lempung memiliki nilai yang berbeda berdasarkan batas-batas *atterberg* seperti diterangkan pada **Tabel 2.4**



**Tabel 2.4** Karakteristik mineral lempung

Mineral Group	Basal Spacing (Å)	Particle Features	Interlayer Bonding	Specific Surface (m <sup>2</sup> /g)	Atterberg Limits <sup>a</sup>			Activity <sup>b</sup> (PI/% Clay)
					LL (%)	PL (%)	SI (%)	
Kaolinites	14,4	Thick, stiff 6-sided flakes 0,1 to 4 x 0,05 to 2 µm	Strong hydrogen bonds	10 - 20	30 - 100	25 - 40	25 - 29	0,38
Illites	10	Thin, stacked plates 0,003 to 0,1 x 1,0 to 10 µm	Strong potassium bonds	65 - 100	60 - 120	35 - 60	15 - 17	0,9
Montmorillonites	9,6	Thin, filmy, flakes > 10 Å x 1,0 to 10 µm	Very weak van der Waals bonds	700 - 840	100 - 900	50 - 100	8,5 - 15	7,2

<sup>a</sup>LL, PL, SL, liquid, plastic, and shrinkage limits, respectively.

<sup>b</sup>From Skempton (1953)

Summarized from Mitchell (1976)

### 2.3.1 Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis lempung yang memiliki sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga sifat kembang susutnya juga besar. Jika kandungan airnya besar maka tanah ini akan mengembang dan mengakibatkan berkurangnya daya dukung tanah tersebut demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah tersebut akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya namun daya dukungnya meningkat.

Tanah lempung ekspansif dijelaskan oleh (Nelson, 1992) bahwa klasifikasi tanah lempung ekspansif dapat diklasifikasikan berdasarkan kandungan koloid, indeks plastisitas dan batas susut seperti pada **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6** berikut.

**Tabel 2.5** Klasifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan kadar ukuran koloid, indeks plastisitas dan batas susut

Data From Index Tests <sup>a</sup>			Probable Expansion (% Total Volume Change)	Degree of Expansion
Colloid (% minus 0,0001 mm)	Plasticity Index	Shrinkage Limit		
> 28	> 35	< 11	> 30	Very High
20 - 31	25 - 41	7 - 12	20 - 30	High
13 - 23	15 - 28	10 - 16	10 - 20	Medium
< 15	< 18	> 15	< 10	Low

After Holtz and Gibbs (1956)

<sup>a</sup>Based on vertical of 1,0 psi

**Tabel 2.6** Klasifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan batas susut

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

After Altmeyer (1955)

Tanah ekspansif juga digolongkan menurut *Atterberg Limit* (batas-batas *Atterberg*) yaitu dengan menggunakan parameter PI (*Plasticity Index*) berdasarkan kriteria Chen (1975). Penggolongan tanah ekspansif tersebut ditunjukkan pada **Tabel 2.7** berikut ini.

**Tabel 2.7** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan PI

Swelling Potensial	Plasticity Index
Low	0 – 15
Medium	10 – 35
High	20 – 55
Very High	35 and above

After Chen (1988)

Adapun dijabarkan oleh (Nelson,1992) penggolongan atau pengelompokan tanah ekspansif juga bisa dilihat dari indeks plastisitas dan indeks susut. Penggolongan tanah ekspansif tersebut ditunjukkan pada **Tabel 2.8** berikut ini.

**Tabel 2.8** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit

PI (%)	SI (%)	Degree of Expansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 - 30	Medium
23 – 32	30 - 40	High
> 32	> 40	Very High

After Raman (1967)

Tanah lempung ekspansif hanya timbul apabila terdapat dua faktor, seperti yang dijelaskan (Wesley, 2010) pada bukunya. Adapun dua factor tersebut adalah:

1. Adanya lempung yang mengandung jenis material tertentu terutama yang termasuk golongan smectite seperti *montmorillonite* ( mineral lempung dengan aktifitas tinggi) seperti pada **Tabel 2.9** berikut

**Tabel 2.9** Aktivitas tanah lempung

Mineral	Nilai Aktivitas	Sifat Aktivitas
<i>Kaolinite</i>	0,4 – 0,5	Paling kurang aktif
<i>Illite</i>	0,5 – 1,0	Aktivitas sedang
<i>Montmorillonite</i>	1,0 – 7,0	Paling aktif

Sumber : (Bowles, 1991)

2. Iklim yang agak kering, dengan musim kering yang panjang, dengan hujan sewaktu-waktu.

#### 2.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi merupakan upaya untuk meningkatkan dan memperbaiki kualitas material agar dapat memenuhi standart yang ditetapkan. Stabilisasi pada tanah dapat dilakukan secara mekanis maupun dengan penggunaan bahan aditif. Stabilisasi secara mekanis atau mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Sedangkan stabilisasi dengan bahan aditif dilakukan dengan cara mencampur tanah dan bahan aditif yang telah ditentukan dengan perbandingan tertentu. Stabilisasi dilakukan guna merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti daya dukung, kopresibilitas, permeabilitas, kemudahan pengerjaan proyek, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap air.

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan yang ada baik dengan cara mekanis maupun dengan menambahkan bahan aditif. Dalam perancangan perkerasan jalan, kualitas setiap lapisan pembentuk perkerasan harus memenuhi syarat tertentu. Setiap komponen lapis perkerasan harus mampu menahan geseran, lendutan berlebihan yang menyebabkan retaknya lapisan di atasnya dan mencegah deformasi permanen yang berlebihan akibat memadatnya material penyusun. Jika material tanah distabilisasi, maka kualitasnya menjadi bertambah sehingga dapat mereduksi tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan.

Dalam suatu proyek, landasan kerja untuk alat berat membutuhkan permukaan jalan yang kuat. Untuk itu, bila tanah di lokasi proyek tidak memenuhi syarat, maka dibutuhkan penanganan tanah terlebih dahulu agar tanah tersebut memiliki daya dukung yang cukup sehingga alat berat bisa bekerja. Dengan penanganan tersebut, waktu pelaksanaan akan menjadi cepat dan efisien.

#### 2.4.1 Stabilisasi Tanah Dengan *Fly Ash*

*Fly ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada PLTU. *Fly ash* juga bisa didapatkan dari pabrik-pabrik yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Ketersediaan *fly ash* yang berlimpah-limpah memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi bangunan maupun sebagai bahan stabilisator tanah khususnya pada tanah lempung ekspansif karena banyak pabrik-pabrik yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utamanya.

Adapun ciri-ciri *fly ash* adalah bahan tersebut memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan yang pada intinya mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferooksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ).

Dalam aturan ASTM C618, *fly ash* sendiri dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua *fly ash* tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi di *fly ash* tersebut. Walaupun kelas F dan kelas C sangat ketat ditandai untuk digunakan *fly ash* yang memenuhi spesifikasi ASTM C618, namun istilah ini lebih umum digunakan berdasarkan asal produksi batubara atau kadar  $\text{CaO}$ . Yang penting diketahui, bahwa tidak semua *fly ash* dapat memenuhi persyaratan ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi.

1. *Fly ash* kelas F: mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. *Fly ash* kelas F ini kadar kapurnya rendah ( $\text{CaO} < 10\%$ ).
2. *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 ( $\text{CaO} > 20\%$ )

Penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif dimaksudkan agar terjadi reaksi *pozzolanic*, yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat dalam *fly ash* dengan aluminium dan silikat yang terdapat dalam tanah, sehingga menghasilkan masam yang keras dan kaku.

Penambahan *fly ash* selain memperkaya kandungan aluminium dan silikat tanah, juga

memperbaikigradasitanah.(Budi et al., 2005) Untuk kandungan *fly ash* ditunjukkan pada

**Tabel 2.10** berikut ini.

**Tabel 2.10** Kandungan *fly ash* PLTU Paiton  
(Sumber : Rahmi ,2006)

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	g/cm <sup>3</sup>	1.43
2	Kadar Air	% Berat	0.2
3	Hilang Pijar	% Berat	0.43
4	SiO <sub>2</sub>	% Berat	62.49
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Berat	6.39
6	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Berat	16.71
7	CaO	% Berat	5.09
8	MgO	% Berat	0.79
9	S(SO <sub>4</sub> )	% Berat	7.93

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

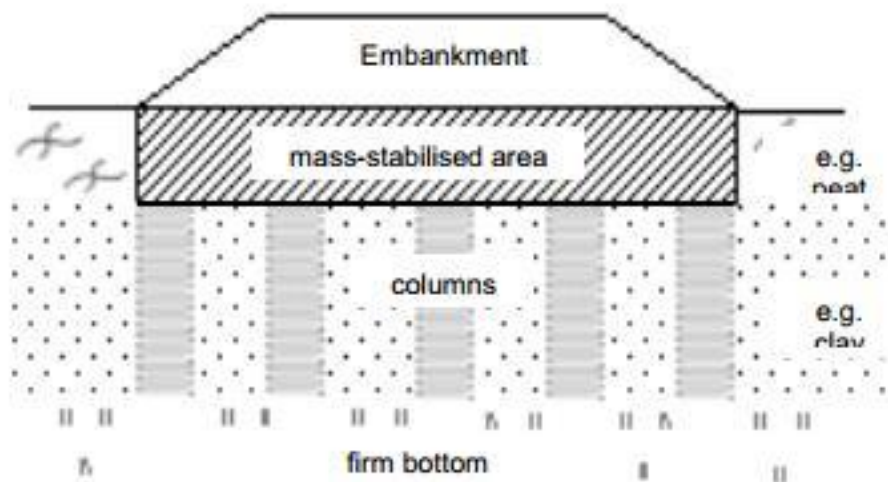
1. Presentasi yang paling efektif untuk stabilisasi adalah campuran 15% *fly ash* dengan masa pemeraman 7 – 14 hari. Karena penambahan persentase *fly ash* sampai dengan 25% memberikan kontribusi terhadap perubahan karakteristik tanah yang tidak jauh berbeda dengan penambahan 15% *fly ash*.
2. Stabilisasi 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.
3. Stabilisasi dengan 5% *fly ash* untuk masa pemeraman 7 hari dapat meningkatkan nilai CBR sampai 840,67% dari nilai CBR tanah asli.

Benny Christian L. Tobing. 2014 dalam penelitiannya mengenai “Pengaruh Lama Waktu *Curing* Terhadap Nilai CBR dan *Swelling* Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro dengan Campuran 15 % *Fly Ash*” dengan pencampuran kadar *fly ash* dari 5%, 10%,15% dan 20% didapat bahwa kadar optimum *fly ash* yang digunakan sebagai bahan aditif untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif di Bojonegoro adalah 15%.

## 2.5 Metode Pencampuran Tanah Dalam (*Deep Soil Mix Method*)

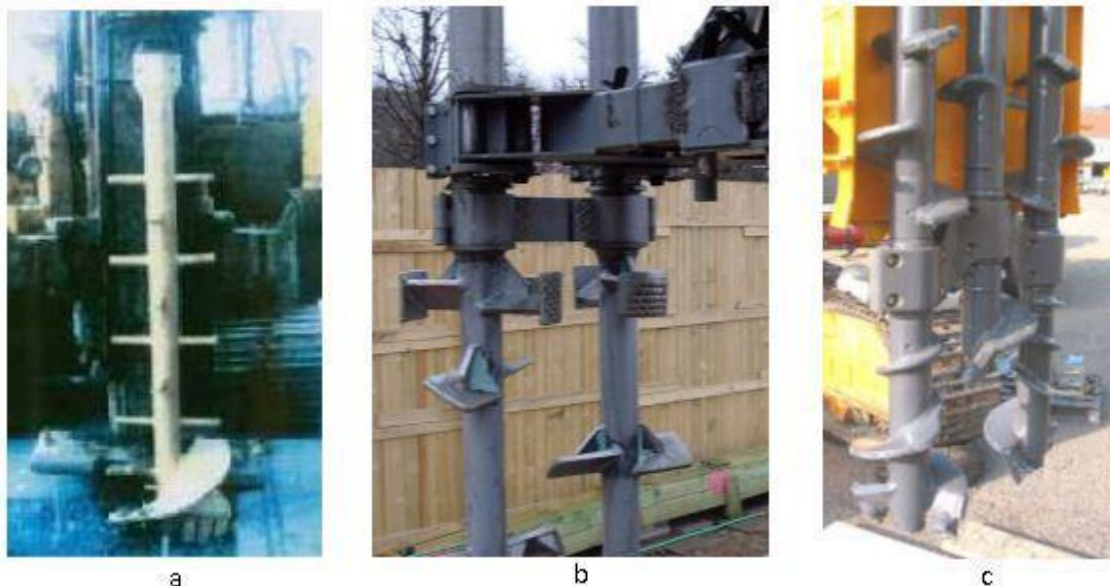
Menurut (Moseley, 2000) sejak tahun 1970 an, telah ditemukan metode baru mengenai stabilisasi tanah, yaitu metode *Deep Soil Mixing* yang dikembangkan di Jepang. Metode ini dilakukan untuk perbaikan sifat teknis dari tanah lunak berkeohesipada kedalaman mencapai 50 m. Metode ini merupakan metode stabilisasi tanah yang dalam dengan bahan pencampur aditif seperti halnya stabilisasi di tanah permukaan. Dalam bukunya juga (Moseley, 2000) menjelaskan bahwa dengan metode deep soil mixing atau pencampuran tanah yang dalam dengan bahan aditif, kuat geser dan CBR dapat mengalami peningkatan dan penurunan struktur di tempat dapat berkurang.

Metode *deep soil mixing* merupakan metode pencampuran dengan bahan aditif dan pada tanah agar terjadi pengikatan antara bahan aditif dengan tanah hingga kedalaman tertentu untuk meningkatkan stabilitas tanah. Pengikatan antara bahan aditif dengan tanah pada metode ini biasanya akan membentuk kolom tanah stabil atau dengan menstabilkan seluruh volume tanah yang biasa disebut sebagai stabilisasi massa seperti pada **Gambar 2.3**. Menurut (EuroSoilStab, 2002) biasanya dengan peralatan yang ada tanah dapat distabilkan dengan kedalaman sekitar 25 m ketika menggunakan kolom stabilisasi, sedangkan stabilisasi massa dapat digunakan untuk kedalaman sekitar 5 m.



**Gambar 2.3** Skema stabilisasi massa dan kolom stabilisasi (EuroSoilStab, 2002)

Pencampuran pada metode ini biasanya dibantu dengan alat hidrolis yang dipasang dengan auger sebagai alat pencampur. Pada pelaksanaan di lapangan biasanya alat auger ini dirakit hanya satu auger atau lebih dari satu auger tergantung dari spesifikasi dan keperluan proyek seperti pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Tipe rakitan *auger*: (a) rakitan tunggal; (b) rakitan ganda; (c) rakitan *triple*

Pada umumnya metode pencampuran tanah yang dalam (*deep soil mixing*) dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pencampuran kering (*wet mixing*) atau pencampuran basah (*dry mixing*), tergantung pada spesifikasi tanah dan proyek.

### 2.5.1 Metode Pencampuran Tanah Basah (*Wet Mixing Method*)

Keuntungan dari metode pencampuran basah ini adalah dapat dilakukan sampai pada kedalaman 30 m dan dapat digunakan untuk kondisi permukaan tanah paling bawah dari tanah lunak, lempung plastis sampai dengan pertengahan pasir padat dan kerikil berbatu. Namun metode ini digunakan terutama untuk memperbaiki tanah lunak berkoheisi dan tanah lepas sampai tanah berkoheisi padat. Sementara, biaya yang tinggi dari proses mobilisasi dari peralatan pencampuran ditambah dengan batching plant merupakan kendala yang serius dari metode ini.

### 2.5.2 Metode Pencampuran Tanah Kering (*dry mixing method*)

Satu keuntungan dari metode ini adalah sering dilakukan pada lempung lunak yang mana metode ini memberikan biaya yang ekonomis jika dibandingkan dengan metode pondasi konvensional lainnya. Keuntungan ini berdasarkan dari beberapa factor pada proyek seperti ukuran, berat dan faktor dari kemudahan struktur, kedalaman dan kuat geser dari lapisan yang dimampatkan, resiko dan konsekuensi dari keruntuhan dan efek dari

penurunan muka air tanah. Di sisi lain kendala yang sangat penting dari metode ini adalah kekuatan maksimal dari kolom mungkin tidak terdistribusi ketika PH air tanah bersifat asam atau kandungan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) tinggi. Distribusi kekuatan yang lemah mengharuskan adanya antisipasi jika pencampuran tidak bereaksi secara aktif terhadap tanah lunak. (SCDOT, 2010 dalam Ali Dehghanbanadaki, dkk, 2013)

Metode pencampuran kering merupakan metode di mana proses reaksi terjadi pada saat perawatan. Bahan aditif akan bereaksi dengan kadar air dari suatu tanah. Sehingga proses dry mixing akan mengurangi kadar air tanah tersebut.

Metode deep soil mixing merupakan proses pelaksanaan pencampuran secara vertikal. Akibat dari pencampuran dengan bahan aditif yang secara vertikal pada tanah, maka metode ini akan memberikan hasil berupa kolom-kolom stabilisasi yang keras dan kuat seperti halnya kolom atau pondasi beton. Contoh hasil dari metode ini adalah seperti pada **Gambar 2.5**.

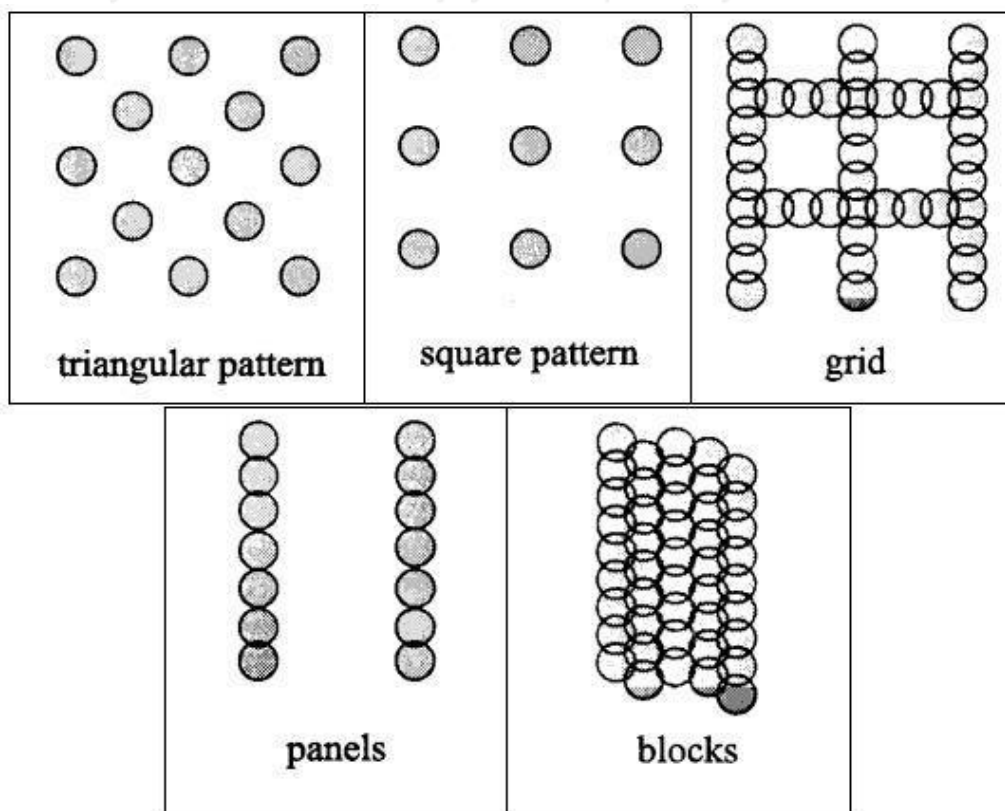


**Gambar 2.5** Kolom stabilisasi hasil *deep soil mixing*

Sumber: <http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/GroundImprovement/WetSoilMixing/default=t.aspx>

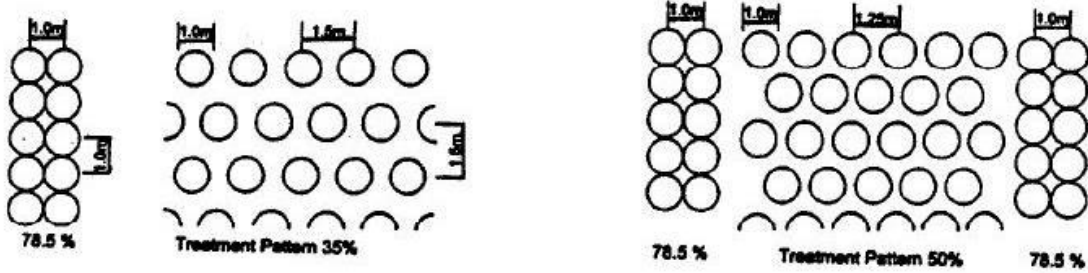


Pada pelaksanaan di lapangan, diameter kolom stabilisasi pada metode DSM ini berkisar antara 0,6 m sampai 1,5 m dengan kedalaman samai 40 meter. (U.S. Departement of Transportation, 2000). Metode ini memiliki beberapa konfigurasi bentuk atau pola dari kolom stabilisasi. Konfigurasi ini didapat dengan melihat spesifikasi dari proyek, nilai ekonomis dan spesifikasi lainnya. Beberapa bentuk konfigurasi kolom stabilisasi tersebut ditampilkan seperti pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** Konfigurasi bentuk kolom stabilisasi (Mirja Kosche, 2004)

Konfigurasi bentuk tersebut tentu pula berhubungan dengan jarak antar kolom. Variasi jarak tersebut tentunya akan mempengaruhi perilaku dari konfigurasi kolom stabilisasi tersebut. Dalam sebuah panduan manual pernah digunakan suatu variasi jarak untuk metode ini dengan jarak antar kolom sebesar 1D, 1,25D, 1,5D seperti pada **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7** Variasi jarak kolom stabilisasi (U.S Department of Transportation)

Metode *deep soil mixing* sudah banyak dilakukan di negara-negara luar Indonesia. Pelaksanaan metode ini tidak hanya di lapangan, namun penelitiannya dalam studi laboratorium juga sudah ada. Beberapa instansi yang sudah melakukan penelitian mengenai metode ini dalam skala laboratorium diantaranya seperti yang dijelaskan oleh (Anand J. Puppala, Ph.D, P.E, dkk, 2007) pada **Tabel 2.11**

**Tabel 2.11** Penjelasan Standar Laboratorium yang Ada Untuk Persiapan Sampel dan Simulasi Pengujian Metode Deep Soil Mixing

preparation standards	field smpling and storage	sample preparation molds	type of soil mixer	sample preparation procedure	curing conditions
EuroSoilStab, CT97-0351, (Project No. BE 96-3177)	Tube, piston or Delft samplers, stored at in situ conditions	plastic tube or plastic coated carboard 5 cm diameter and 10 cm hight coated with oil or wax in the inner side	dough mixer or kitchen mixer with sufficient capacity and rpm for all soil type	mixing duration 3 minutes an is available depending on the soil type. Circular steel stamp 10 mm thick and 45 mm diameter, attached tp a 50 mm long road static load of 1000 Kpa may be used for 2 second on each layer	no mention of humidity, store sample at a constant temperatur dari 18 - 22 C in properly sealed condition

Studi mengenai metode ini juga dilakukan oleh (Ahya, 2015) yang menunjukkan bahwa stabilisasi dengan pola *single square* menghasilkan peningkatan daya dukung terhadap tanah asli seperti pada **Tabel 2.12**.

**Tabel 2.12** Prosentase peningkatan daya dukung terhadap tanah asli  
Sumber Ahya (2014)

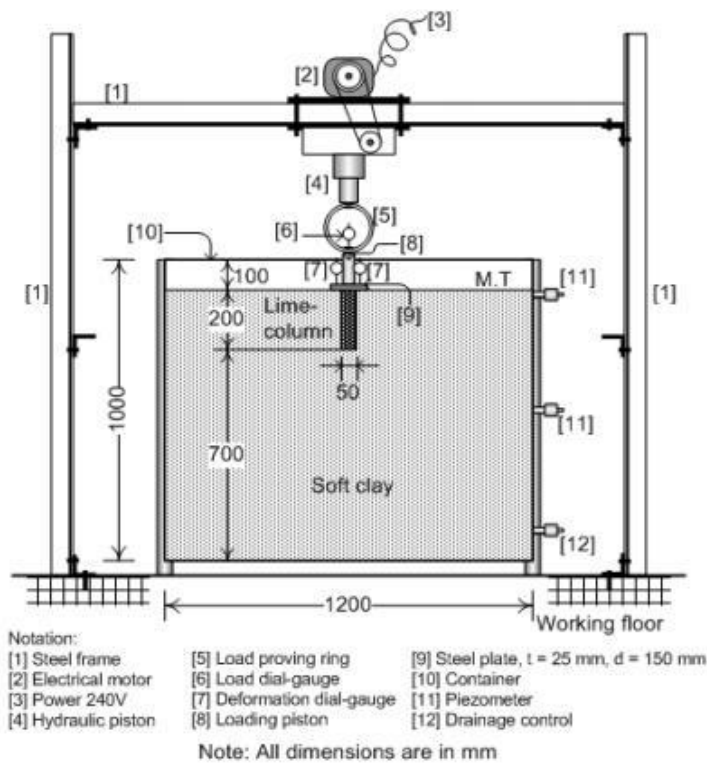
Perbandingan Pengaruh Variasi Jarak (L) Dan Panjang (Df)					
Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	Prosentase Peningkatan Daya Dukung Terhadap Tanah Asli (%)	Panjang Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	Prosentase Peningkatan Daya Dukung Terhadap Tanah Asli (%)
1,5D	1B	12,63	1B	1,5D	12,63
	2B	42,11		1,25D	32,63
	3B	62,11		1D	131,58
1,25D	1B	32,63	2B	1,5D	42,11
	2B	84,21		1,25D	84,21
	3B	170,53		1D	163,16
1D	1B	131,58	3B	1,5D	62,11
	2B	163,16		1,25D	170,53
	3B	275,79		1D	275,79

Berdasarkan pada **tabel 2.12** dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kedalaman kolom stabilisasi DSM maka daya dukung tanah semakin meningkat, namun semakin bertambah jarak antar kolom DSM maka daya dukung tanah akan semakin berkurang. Dari hipotesa awal inilah yang akan di coba pada stabilisasi DSM dengan diameter kolom 3cm berpolatriangular.

## 2.6 Uji Pembebanan

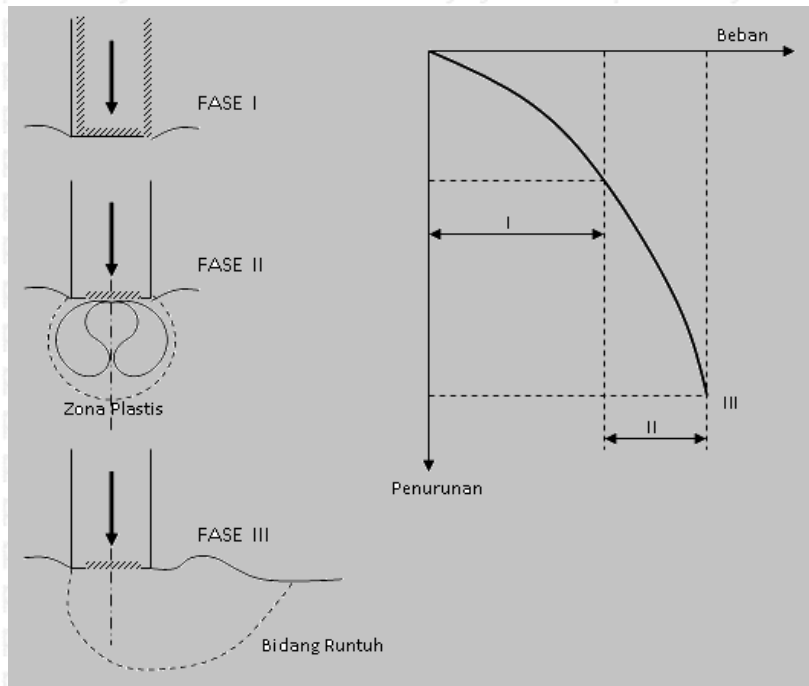
Uji pembebanan dilakukan untuk mengetahui atau menyelidiki perilaku dari suatu benda uji. Pada dasarnya metode uji pembebanan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga pembebanan yang dilakukan setara dengan pembebanan yang ada di lapangan. Namun metode uji pembebanan juga harus disesuaikan dengan kondisi laboratorium, karena tidak semua permasalahan yang ada di lapangan bisa dilakukan di laboratorium. Maka dari itu uji pembebanan sebagian dilakukan dengan melihat secara khusus faktor utama parameter perilaku benda uji yang akan diselidiki.

Asumsi penggunaan beban pondasi kaku memberikan kemudahan tersendiri dalam pelaksanaan uji pembebanan di laboratorium. Dalam penelitian terdahulu, (Muntohar, 2009) menggunakan beban pelat pondasi pada simulasi pembebanan untuk studi laboratorium terhadap stabilisasi tanah dengan penggunaan bahan pencampur kapur pada metode kolom kapur. Gambaran penggunaan pondasi pada uji pembebanan ini disajikan pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.8** Skema uji pembebanan (Muntohar, 2009)

Uji pembebanan ini akan menghasilkan suatu gambar hubungan antara beban dengan penurunan. Pada awal pembebanan, penurunan yang terjadi akan sebanding dengan beban yang terjadi. Keadaan ini termasuk dalam keseimbangan elastis yang mana menyebabkan tanah dalam kondisi tertekan (kompresi) yang membuat tegangan geser naik dan meningkatkan daya dukung tanah. Jika digambarkan maka kondisi itu akan membentuk garis linier antara beban dengan penurunan. Apabila beban terus bertambah maka akan menyebabkan penurunan plastis pada tanah dan daya dukung terus berkembang. Kondisi plastis ini menyebabkan penurunan yang terjadi mulai tidak sebanding dengan besarnya beban yang terjadi dan akan membentuk garis lengkung pada gambar. Jika beban terus ditambahkan maka kondisi penurunan plastis tidak akan kembali pada keadaan elastis sehingga akan menyebabkan penurunan yang berlanjut di mana kondisi ini menyebabkan keruntuhan pada tanah. Skema gambar hubungan antara beban dengan penurunan ini disajikan pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9** Hubungan beban dengan penurunan

## 2.7. Daya Dukung Tanah

Dari gambar hubungan antara beban dengan penurunan akan diketahui besarnya beban maksimum yang dapat diterima oleh tanah sehingga menyebabkan keruntuhan. Kondisi ini diimplementasikan terhadap nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ).

Daya dukung tanah merupakan suatu kekuatan tanah dalam menahan beban yang terjadi yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Daya dukung menyatakan kuat geser tanah untuk melawan penurunan yang diakibatkan dari pembebanan.

Daya dukung batas (*ultimite bearing capacity*) merupakan beban maksimum persatuan luas di mana tanah masih dapat memikul beban. Persamaan yang digunakan dalam penentuan daya dukung batas seperti yang disajikan pada **persamaan (2-1)**.

$$q_u = P_u / A \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan:

$q_u$  = daya dukung batas (kg/cm<sup>2</sup>)

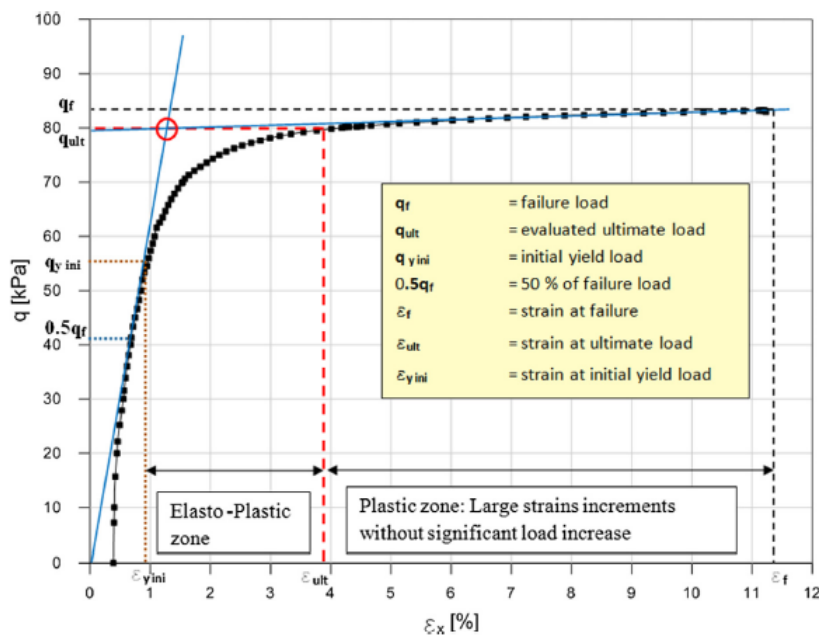
$P_u$  = beban batas (kg)

$A$  = luas pondasi (cm<sup>2</sup>)

Pada gambar hubungan beban dengan penurunan dapat diketahui daya dukung batas yang terjadi, di mana daya dukung batas diakibatkan oleh beban batas persatuan luas. Penentuan

daya dukung batas ( $q_u$ ) dari sebuah gambar dapat ditentukan dengan cara seperti pada

**Gambar 2.10**



**Gambar 2.10** Penentuan  $q_u$  dari hubungan beban persatuan luas dengan penurunan  
(Razvan Ignat, 2015)

Berdasarkan hasil uji model yang dilakukan Vesic (1963) sebagaimana dikutip oleh Hardiyanto (2011), membagi mekanisme keruntuhan pondasi menjadi 3 macam:

1. Keruntuhan Geser Umum (*general shear failure*)
2. Keruntuhan geser local (*local shear failure*)
3. Keruntuhan Penetrasi (*punching shear failure*).

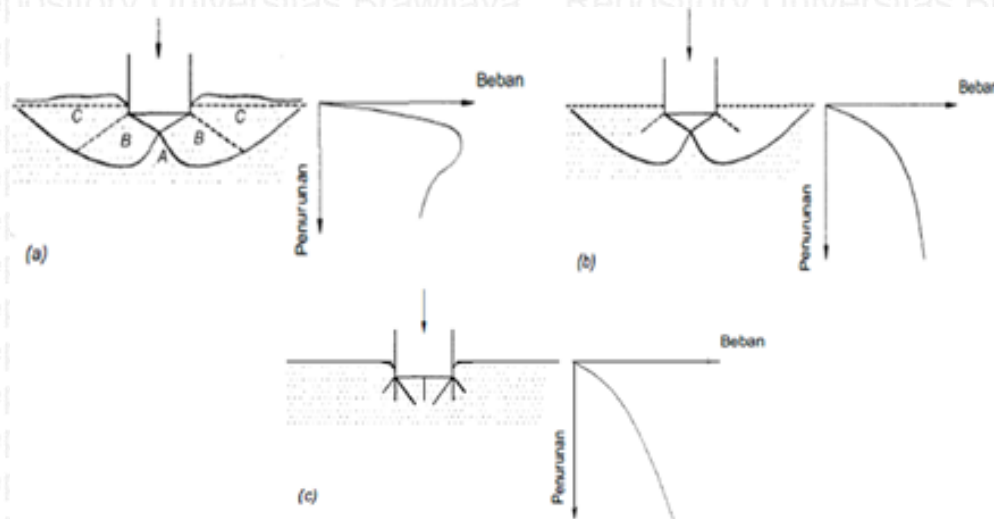
Keruntuhan geser umum terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas. Keruntuhan geser umum terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas yaitu terjadi pengembangan tanah disekitar pondasi. Bidang runtuh yang terbentuk berupa lengkung dan garis lurus yang berkembang hingga permukaan tanah. Saat keruntuhan, terjadi gerakan massa tanah kearah luar dan keatas. Keruntuhan ini terjadi dalam waktu relative mendadak yang diikuti dengan pondasi terguling.

Keruntuhan geser local hamper sama dengan keruntuhan geser umum, namun bidang runtuh yang terbentuk tidak mencapai permukaan tanah. Seiring dengan penambahan beban, pondasi akan tenggelam pada kedalaman yang relative dalam, yang

menyebabkan tanah di dekatnya mampat. Tetapi, mampatnya tanah tidak sampai mengakibatkan kedudukan kritis keruntuhan tanah, sehingga zona plastis tidak berkembang seperti pada keruntuhan geser umum. Pada keruntuhan ini terjadi sedikit pengembangan tanah disekitar pondasi, namun tidak terjadi penggulingan pondasi

Keruntuhan penetrasi dapat dikatakan keruntuhan geser tanah tidak terjadi. Akibat beban yang bekerja pada tanah lunak, pondasi hanya menembus dan menekan tanah ke samping yang menyebabkan pemampatan tanah di dekat pondasi. Penurunan pondasi bertambah hampir secara linier dengan penambahan beban. Penurunan yang terjadi tidak mengakibatkan gerakan arah lateral yang menuju kedudukan kritis keruntuhan tanah, sehingga kuat geser ultimit tanah tidak dapat berkembang. Saat keruntuhan, bidang runtuh tidak terlihat sama sekali.

Jika tanah tidak mudah mampat dan kuat gesernya tinggi, maka keruntuhan geser umum akan terjadi. Tipe keruntuhan penetrasi biasanya terjadi terutama pada tanah-tanah yang mudah mampat, seperti pasir tidak padat dan lempung lunak, dan banyak terjadi pula jika kedalaman pondasi ( $D_f$ ) sangat besar bila dibandingkan dengan lebarnya ( $B$ ). Akan tetapi, model keruntuhan pondasi hanya akan terjadi pada tipe pondasi tertentu tergantung dari banyak faktor, seperti pada tanah tertentu tidak dapat menunjukkan tipe model keruntuhan pondasi.



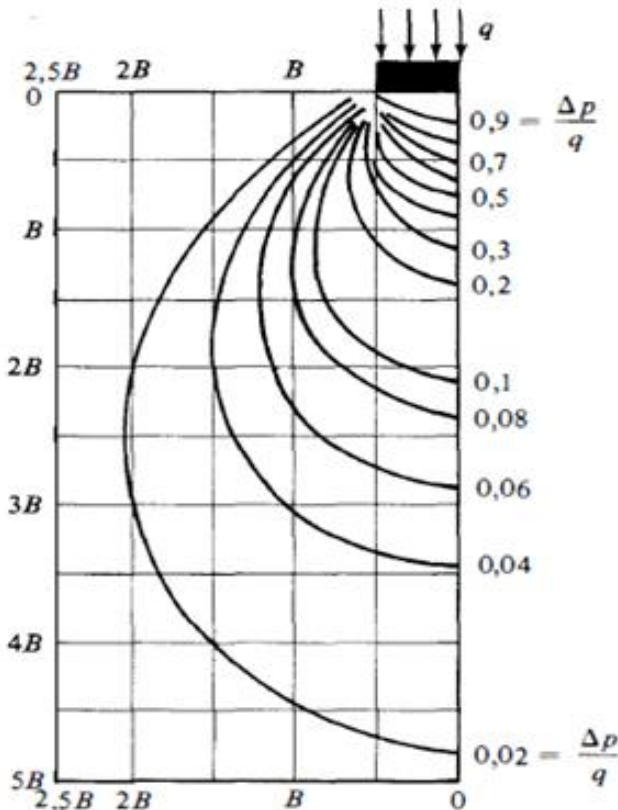
**Gambar 2.11** Macam keruntuhan pondasi (a) Keruntuhan geser umum (b) keruntuhan geser local (c) keruntuhan penetrasi

Sumber: Vesic (1963)

Kenaikan tegangan pada umumnya terjadi pada tanah yang mendukung pondasi.

Kenaikan tanah tersebut tergantung pada beban persatuan luas dimana pondasi berada, kedalaman tanah di bawah pondasi dimana tegangan tersebut ditinjau, dan faktor-faktor

lainnya. Boussinesq (1883) menjelaskan tentang caramenghitung penambahan tegangan vertikal tanah di bawah beban lentur berbentuk bujur sangkar yang dapat dilihat pada



**Gambar 2.12**

**Gambar 2.12** Isobar Tegangan Vertikal di Bawah Luasan Berbentuk Bujur Sangkar yang Menerima Beban Merata Sumber: Das (1995)

Isobar tegangan vertikal dibawah luasan berbentuk bujursangkar pada gambar 2.6 digunakan sebagai acuan untuk area tanah yang akan distabilisasi dengan metode *deep soil mixing* (DSM), dimana kolom DSM akan diinstalasikan pada area yang terpengaruh tegangan vertikal, yaitu pada jarak hingga  $2B$  arah horisontal dengan panjang kolom hingga  $3B$  arah vertikal dari titik pusat beban kerja. Hal ini dilakukan untuk mengurangi pengaruh besarnya tegangan vertikal yang terjadi sehingga daya dukung tanah meningkat.

## 2.8. *Bearing Capacity Improvement (BCI)*

BCI merupakan suatu metode yang menggambarkan perbandingan daya dukung tanah yang dilakukan perbaikan terhadap daya dukung tanah tanpa perlakuan perbaikan. Penentuan nilai BCI dapat dilakukan pada dua kondisi yaitu daya dukung pada saat beban *ultimite* dan kondisi pada saat daya dukung dengan penurunan yang sama. Persamaan yang dilakukan untuk mendapatkan BCI disajikan pada **persamaan (2-2)**.



$$BCI = q_u / q \dots\dots\dots (2-2)$$

Dengan:

BCI = Perbandingan daya dukung

$q_u$  = daya dukung tanah dengan stabilisasi ( $\text{kg/cm}^2$ )

$q$  = daya dukung tanpa stabilisasi ( $\text{kg/cm}^2$ )

Dari perhitungan BCI ini maka akan diketahui besarnya pengaruh peningkatan daya dukung tanah yang distabilisasi terhadap tanah tanpa stabilisasi.

## 2.9. Kembang Susut (*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 tipe dan jumlah mineral di dalam tanah, kadar air, susunan tanah konsentrasi garam dalam air pori, sementasi, adanya bahanorganik, dll

Tekanan ke tanah sangat mempengaruhi proses terjadinya pengembangan padatanah. Tekanan pengembangan yang mencegah tanah mengembang disebut tekanan pengembangan (*swelling pressure*). Pada tanah asli (*undisturbed*) Chen (1988) mendefinisikan tekanan pengembangan sebagai tekanan yang dibutuhkan untuk mencegah tanah untuk mengembang pada berat volume kering di tempat. Sedangkan untuk tanah yang dibentuk kembali (*remolded*) pada tanah 100% kepadatan relatif, tekanan pengembangan adalah tekanan yang diperlukan untuk menjaga berat volume kering tersebut (Hardiyanto, 2010). Secara umum sifat kembang susut tanah lempung berdasarkan pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung maka semakin besar potensi menyusut dan mengembangnya.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini direncanakan dalam beberapa tahapan pekerjaan meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan lapangan, pekerjaan laboratorium.

##### 3.1.1 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi konsultasi tema dengan dosen, studi literature, pembuatan proposal skripsi dan pengurusan perijinan pekerjaan lapangan dan laboratorium.

##### 3.1.2 Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan disini adalah pengambilan sampel tanah dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan metode pengambilan terganggu (*disturb soil*).

##### 3.1.3 Pekerjaan Laboratorium

Pekerjaan laboratorium merupakan pelaksanaan inti dari penelitian ini setelah pengambilan sampel di lapangan. Pelaksanaan tersebut masuk ke dalam poin **3.6 metode penelitian**.

#### 3.2 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini dibuat dua jenis benda uji, yaitu berupa benda uji tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan campuran 15% *fly Ash* menggunakan metode *Deep Soil Mixing* (DSM). Dilakukan pengujian pembebanan pada tanah asli terlebih dahulu, kemudian terhadap tanah yang telah distabilisasi. Nilai daya dukung (*qu*) akan diambil dari tanah sebelum dan sesudah dilakukan stabilisasi yang dibuat sesuai dengan variasi jarak dan kedalaman kolom *fly ash*. Rancangan penelitian ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Rancangan penelitian pengaruh variasi jarak dan kedalaman terhadap daya dukung (*qu*) dan Penurunan

Jenis Sampel	Jarak	Kedalaman	Luas	$P_u$	$q_u$	Penurunan
	Kolom (L)	Kolom (Df)	Pondasi (A)	kg	kg/cm <sup>2</sup>	mm
Tanah Asli	cm	cm	cm <sup>2</sup>			
Tanah Asli + Kolom DSM 15% <i>fly ash</i>	1D (5 cm)	1B = 5 cm	25			
		2B = 10 cm	25			
		3B = 15 cm	25			
	1,25D (6,25 cm)	1B = 5 cm	25			
		2B = 10 cm	25			
		3B = 15 cm	25			
	1,5D (7,5 cm)	1B = 5 cm	25			
		2B = 10 cm	25			
		3B = 15 cm	25			

### 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Oktober – Januari 2015. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.

### 3.4 Variabel Penelitian

Adapun variable dalam penelitian ini ada dua variable yaitu sebagai berikut :

#### 1. Variabel Bebas

- Jarak antar kolom *fly ash*
- Kedalaman kolom *fly ash*

#### 2. Variabel Terikat

- Daya dukung tanah (*qu*)

### 3.5 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.5.1 Alat Penelitian

1. Boks dengan ukuran 50 cm x 50 cm dan tinggi 30 cm yang terbuat dari fiberglass. Boks dibuat cukup kaku agar dapat mempertahankan kondisi regangan bidang dengan diperkuat menggunakan profil siku 30.30.3 pada ujung-ujung sisinya. Selain itu juga, penggunaan fiberglass berfungsi agar perilaku benda uji dapat diamati saat pelaksanaan.
2. Pipa baja dengan diameter 5 cm yang digunakan sebagai instalasi kolom DSM
3. Ayakan Saringan no. 4
4. Gelas Ukur
5. *Ring Density*
6. *Load Cell*
7. Timbangan Digital
8. Oven
9. Bak Pencampur
10. Alat pemadat dengan berat 9,56 kg dan dimensi permukaan 12,5 cm x 12,5 cm
11. Palu
12. Proktor dengan berat 2,5 kg dan tinggi jatuh 30,5 cm
13. Penggaris
14. Corong
15. *Waterpass*
16. Plastik Kresek
17. Karung Goni

18. Alat penumbuk dengan diameter 3 cm
19. Alat uji pembebanan terdiri dari *frame*, dongkrak hidrolik, piston, *load cell*, (*LVDT*), pelat baja ukuran 5 cm x 5 cm dan tebal 2 cm, bantalan kayu.

### 3.5.2 Bahan Penelitian

1. Tanah lempung yang berasal dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur
2. *Fly ash* yang didapat dari took bangunan di Malang, Jawa Timur

## 3.6 Metode Penelitian

### 3.6.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui klasifikasi tanah yang akan digunakan sebagai sampel. Penelitian tersebut meliputi :

- a. Pemeriksaan specific gravity berdasarkan ASTM 1992 D 854-92
- b. Pemeriksaan batas cair (LL) dan batas plastisitas (PL) (ASTM 1984 D 4318-84)
- c. Pemeriksaan batas susut (SL) berdasarkan ASTM D 427-04
- d. Pengujian klasifikasi tanah berdasarkan USCS (ASTM 1992 D 2487-92)
- e. Pemeriksaan pemadatan standar berdasarkan ASTM D – 698 (Metode B)

### 3.6.2 Persiapan Benda Uji

Sampel tanah yang telah memenuhi klasifikasi berupa tanah lempung ekspansif dipersiapkan melalui tahapan persiapan benda uji. Adapun persiapan benda uji meliputi:

1. Sampel tanah dikeringkan hingga mudah dihancurkan
2. Sampel tanah diayak hingga lolos saringan No. 4
3. Sampel tanah yang lolos saringan No. 4 dicampur dengan air dengan pembagian sebagai berikut:
  - a. Tanah ditambahkan dengan kadar air optimum (OMC) 27,9% yang digunakan sebagai tanah dasar atau tanah asli. Pencampuran dilakukan di dalam bak pencampur hingga merata pada seluruh bagian
  - b. Tanah yang sudah dicampur dengan OMC dimasukkan kedalam plastik kresek dan dijenuhkan selama 1 hari.
4. Tanah dasar atau asli yang sudah dijenuhkan dimasukkan kedalam boks berukuran 50 x 50 x 30 cm hingga ketinggian (H) 20 cm. Sampel dibagi menjadi 4 lapis dimana setiap lapisan dipadatkan menggunakan alat pemadat dengan berat 9,6 kg dan dimensi permukaan 12,5 x 12,5 cm. pemadatan dilakukan dengan jumlah tumbukan sebanyak 64 kali untuk tiap lapisan dengan lintasan yang teratur dan tinggi jatuh 21,5 cm. Tiap lapisan dilakukan pengecekan dengan



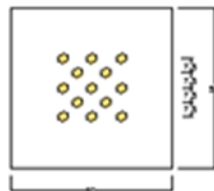
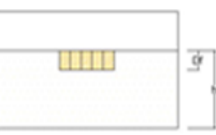
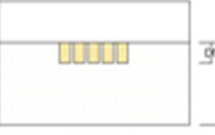
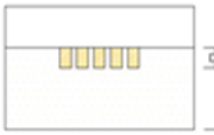






menggunakan *ring density* kemudian ditimbang dan dilakukan pengecekan terhadap kepadatan rencana. Hal ini diperlukan untuk memastikan kepadatan di setiap lapisan seragam.

5. Setelah dilakukan pemadatan, dilakukan pembuatan kolom dengan pola triangular sesuai dengan jarak dan kedalaman yang ditentukan menggunakan pipa baja dan palu.
6. Tanah asli dicampur dengan *fly ash* kadar 15 % dari berat kering tanah dan ditambahkan air dengan kadar optimum (OMC) 25,824%. Pencampuran dilakukan di dalam bak pencampur dalam waktu 3- 5 menit hingga sampel homogen.
7. Sampel tanah yang sudah dicampur 15% *fly ash* dimasukkan kedalam instalasi kolom yang sudah ditentukan jarak dan kedalamannya (lihat **Tabel 3.1**) Proses instalasi dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :
  - a. Tanah campuran *fly ash* dimasukkan kedalam lubang dengan beberapa lapisan.
  - b. Tiap lapisan dilakukan tumbukkan menggunakan alat penumbuk berdiameter 3cm yang dipukul proctor dengan berat 2,5 kg dan tinggi jatuh 30,5cm.
  - c. Jumlah tumbukan dilakukan dengan cara penelitian pendahuluan.
8. Sampel ditutup karung goni dan dilakukan perawatan selama 4 hari
9. Dilakukan uji pembebanan.

Dalam pemodelan benda uji, dilakukan variasi jarak dan kedalaman pada konfigurasi kolom DSM yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi terhadap perilaku daya dukung tanah. Konfigurasi kolom DSM yang digunakan adalah tipe *Triangular* dengan diameter (D) 5cm.

Adapun variasi jarak dan kedalaman model DSM tipe *Triangular* terdapat pada **Tabel 3.2** berikut :

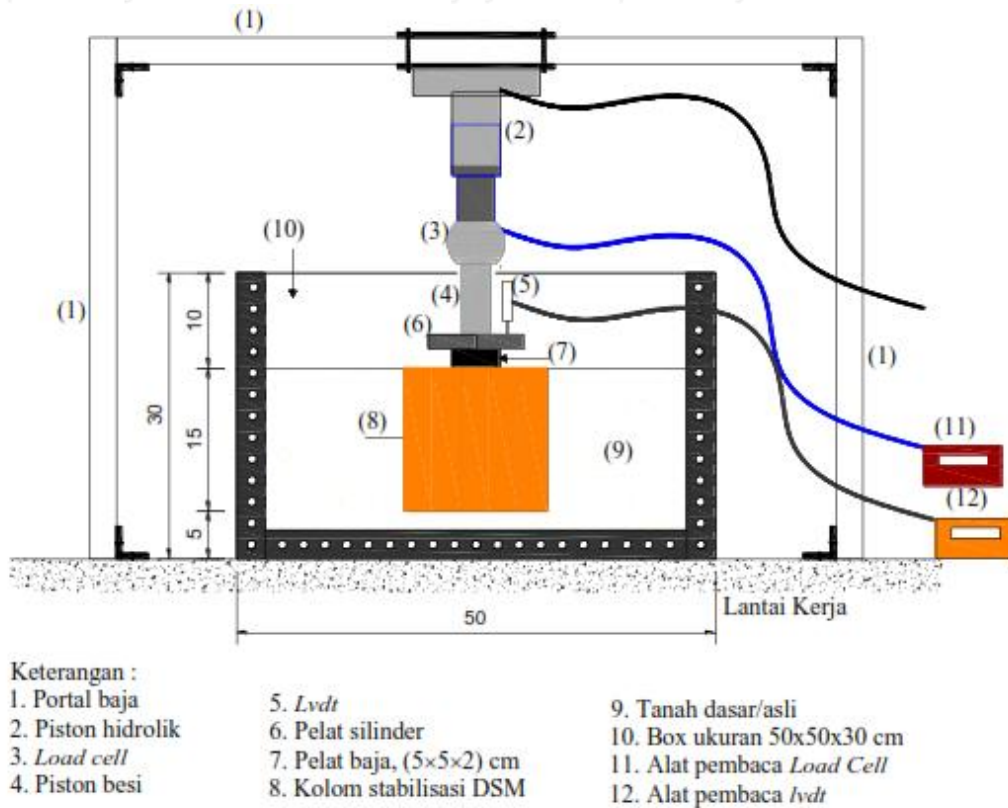
**Tabel 3.2** Variasi jarak dan kedalaman tipe *Triangular* dengan diameter 5 cm

Lebar Pondasi (B) = 5 cm		Diameter Kolom (D) = 5 cm		
		Jarak Kolom (L) (1 D = 5 cm)	Jarak Kolom (L) (1,25 D = 6,25 cm)	Jarak Kolom (L) (1,5 D = 7,5 cm)
Kedalaman Sampel Tanah (h) = 20 cm	Konfigurasi Triangular Pattern			
	Kedalaman Df = 1 B			
	Kedalaman Df = 2 B			
	Kedalaman Df = 3 B			

### 3.6.3 Uji Pembebanan

Uji pembebanan dilakukan dengan dongkrak hidrolik. Sebagai pengukur besarnya beban yang terjadi digunakan *load cell* dengan kapasitas 5 ton. *LVDT* digunakan untuk mengukur besarnya penurunan yang terjadi.

Dongkrak hidrolik dihubungkan ke piston yang terhubung dengan *frame*. Secara manual dongkrak hidrolik dipompa untuk memberikan tekanan pada piston yang nantinya akan terbaca pada *load cell*. Pelat baja digunakan sebagai alas atau bantalan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban terpusat menjadi beban merata. Adapun skema uji pembebanan disajikan pada **Gambar 3.1**



**Gambar 3.1** Skema uji pembebanan sampel (Ahya, 2014)

Pengujian pembebanan yang pertama dilakukan terhadap benda uji tanah asli yang belum distabilisasi menggunakan kolom fly ash. Hal ini dilakukan guna mengetahui kurva daya dukung tanah asli yang nantinya akan dibandingkan dengan tanah yang telah distabilisasi dengan metode DSM. Pengujian pembebanan selanjutnya dilakukan terhadap benda uji yang telah distabilisasi menggunakan kolom fly ash.

Pengujian dilakukan sebanyak jumlah sampel yaitu 9 sesuai dengan variasi jarak dan kedalaman yang telah ditentukan sebelumnya. Dari pengujian ini diharapkan akan memberikan perilaku daya dukung tanah dari seluruh benda uji dan diperoleh jarak dan kedalaman optimum kolom fly ash yang menyumbangkan daya dukung terbesar tanah.

Langkah-langkah pengujian pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan Model Benda Uji
2. Melakukan pengukuran titik tengah permukaan tanah dengan bantuan penggaris dan tali
3. Melakukan perataan permukaan tanah untuk peletakan pelat pondasi dengan bantuan *waterpass* sebagai pengontrol kerataan.
4. Meletakkan pelat baja ukuran 5 x 5 cm pada titik tengah permukaan tanah



5. Menyiapkan dan meletakkan satu set alat uji pembebanan **Gambar 3.1**
6. Melakukan uji pembebanan menggunakan dongkrak hidrolik
7. Pembebanan dilakukan dengan menetapkan keseragaman penurunan 50 digit pada pembacaan *LVDT*. Pembebanan dihentikan ketika pembacaan beban pada *load cell* menunjukkan tiga kali sama berturut-turut pada penurunan yang meningkat.
8. Mencatat penurunan dan beban yang terjadi.

### 3.7 Metode Analisa Data

Data yang telah didapat dari hasil uji pembebanan, kemudian diolah dengan persamaan yang telah dibuat dengan bantuan *software Microsoft excel*.

Perhitungan daya dukung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q_u = P_u/A$$

dimana,

$q_u$  : daya dukung ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$P_u$  : beban *ultimate* yang diterima (Kg)

$A$  : luas bidang yang menerima gaya ( $A=25\text{cm}^2$ )

Data tersebut kemudian diolah untuk memperoleh besarnya daya dukung beserta penurunan yang terjadi yang kemudian akan dibuat grafik daya dukung tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan 15% *fly ash* menggunakan metode *Deep Soil Mixing*(DSM) yang akan dibandingkan dengan daya dukung tanah asli.

Pengolahan data selanjutnya adalah menganalisis perbandingan daya dukung tanah asli dengan tanah yang sudah distabilisasi dengan analisis BCI (*Bearing Capacity Improvement*). Perhitungan BCI dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$BCI = q_u/q$$

Dimana,

BCI : rasio daya dukung tanah yang distabilisasi terhadap dukung tanah tanpa stabilisasi

$q_u$  : daya dukung tanah yang distabilisasikan ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$q$  : daya dukung tanah tanpa stabilisasi ( $\text{Kg/cm}^2$ )

Dari perhitungan BCI akan diketahui prosentase peningkatan daya dukung yang terjadi pada tanah tanpa stabilisasi terhadap tanah dengan stabilisasi seperti yang disajikan pada **Tabel 3.3**. Dari perhitungan ini didapatkan pengaruh variasi yang memberikan perubahan nilai daya dukung secara signifikan terhadap tanah asli.

**Tabel 3.3** BCI dan Prosentase peningkatan daya dukung

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (Df)	Luas Pondasi (A)	$P_u$	$q_u$	Penurunan	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	mm		(%)
Tanah Asli	-	-	25					
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	1D (5 cm)	1B = 5 cm	25					
		2B = 10 cm	25					
		3B = 15 cm	25					
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	1,25D (6,25cm)	1B = 5 cm	25					
		2B = 10 cm	25					
		3B = 15 cm	25					
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	1,5D (7,5cm)	1B = 5 cm	25					
		2B = 10 cm	25					
		3B = 15 cm	25					

**3.8** Diagram Alir Penelitian**Gambar 3.2** Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pemeriksaan *Specific Gravity* (Gs)

*Specific gravity* (berat jenis) tanah, adalah angka perbandingan berat isi butiran tanah dengan berat isi air suling pada volume yang sama dan pada suhu tertentu. Pengujian *Specific gravity* ini dilakukan dengan tujuan mengetahui berat jenis tanah yang akan digunakan sebagai sampel benda uji, dimana dari hasil uji ini dapat kita ketahui jenis tanah sampel. Benda uji (sample) yang digunakan pada pemeriksaan *specific gravity* ini adalah tanah yang berasal dari Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. **Tabel 4.1** berikut merupakan uji *specific gravity* yang telah dilakukan oleh Ahya (2015):

**Tabel 4.1** Hasil pemeriksaan *specific gravity*

Labu Ukur	1	2	3
<i>Specific Gravity</i> (Gs)	2,713	2,754	2,724
Rata-rata (Gs)	2,73		

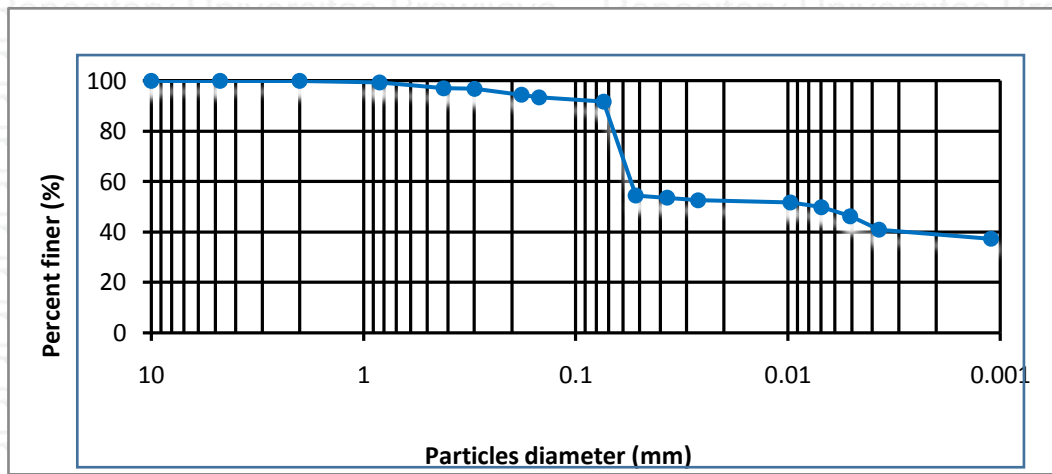
Sumber: Ahya (2015)

Dari **Tabel 4.1** menunjukkan bahwa percobaan dilakukan tiga kali terhadap sampeldan menghasilkan rata-rata Gs = 2,73. Nilai Gs tersebut berada pada kisaran 2,6 – 2,9 yang menunjukkan bahwa sampel termasuk dalam jenis tanah lempung organik (clay).

#### 4.2. Klasifikasi Tanah

##### 4.2.1 Analisa Saringan dan Hidrometer

Analisa saringan adalah analisis yang dilakukan untuk menentukan gradasi butir (distribusi ukuran butir), yaitu dengan menggetarkan sampel tanah kering melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kebawah makin kecil secara berurutan (tertahan saringan no. 200). Sedangkan analisa hidrometer adalah analisa yang digunakan untuk menentukan ukuran butiran dari tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar yang didasarkan pada prinsip sedimentri (pengendapan) butir-butir dari dalam air(lolos saringan no. 200). Hasil pemeriksaan ini diambil dari data analisa yang dilakukan oleh Ahya (2015) dimana grafik gabungan analisa saringan dan *hydrometer* disajikan pada **Gambar 4.1**



**Gambar 4.1** Gabungan analisa saringan dan hydrometer

Sumber: Ahya (2015)

Dari **Gambar 4.1** diatas dapat kita ketahui (sampel) tanah butiran yang lolos saringan no.200 sebesar 91,83 %. Dan menurut sistem klasifikasi tanah berdasarkan metode USCS, (sampel) termasuk pada jenis tanah berbutir halus.

#### 4.2.2 Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

Tanah berdasarkan variasi kadar air dapat di bagi menjadi 4 keadaan dasar yaitu padat, semi padat, plastis dan cair. Antara padat dan semi padat disebut batas susut (SL), antara semi padat dan plastis disebut batas plastis (PL), dan antara plastis dan cair di sebut batas cair (LL). Batas-batas di atas dikenal dengan *batas Atterberg*. Kegunaan uji batas atterberg adalah diperolehnya suatu gambaran sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi mempunyai sifat teknik yang buruk, yaitu daya dukungnya rendah, pemampatannya tinggi dan sulit memadatkannya.

Pemeriksaan batas-batas *atterberg* dilakukan untuk mengetahui batas plastis (PL), batas cair (LL), batas susut (SL), dan indeks plastisitas (PI) yang dimiliki oleh tanah (sampel) yang berbutir halus. Hasil dari pemeriksaan batas-batas *atterberg*, diambil dari penelitian yang telah dilakukan oleh Ahya (2015) **Tabel 4.2**.

**Tabel 4.2** Hasil pemeriksaan batas-batas *atterberg*

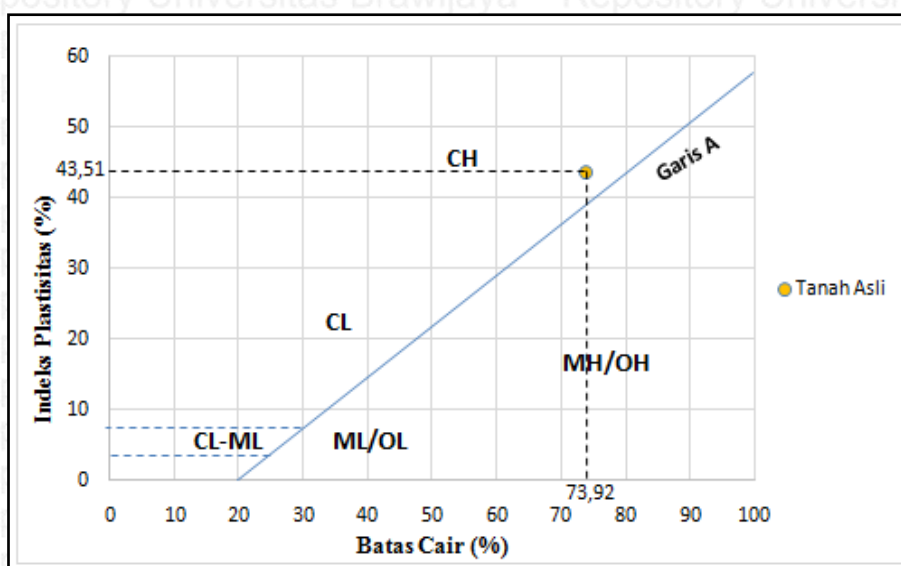
Bahan	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Tanah Asli	73,92	30,41	2,8	43,51

Sumber: Ahya (2015)

Dari hasil tersebut nantinya akan dimasukkan ke dalam suatu gambar yang bertujuan untuk menggolongkan jenis tanah tersebut berdasarkan kriteria-kriteria tertentu.

### 4.2.3 Klasifikasi Berdasarkan Sistem *Unified*

Sistem Klasifikasi Tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das,1995). Berdasarkan data pengujian batas-batas *atterberg* yang telah dilakukan oleh saudara Ahya (2015) kita dapatkan batas cair (LL) sebesar 73,92 % dan indeks plastisitas (PI) sebesar 43,51 %. Dari data tersebut jika dimasukkan pada sistem *unified* maka akan didapatkan klasifikasi jenis tanah. yang ditampilkan pada **Gambar 4.2**



**Gambar 4.2** Klasifikasi tanah sistem unified

Sumber: Ahya (2015)

Dari **Gambar 4.2** dapat diketahui bahwa tanah (sampel) dari Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro termasuk ke dalam golongan CH. Artinya tanah (sampel) tergolong pada jenis tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

### 4.2.4. Sifat Ekspansifitas Tanah

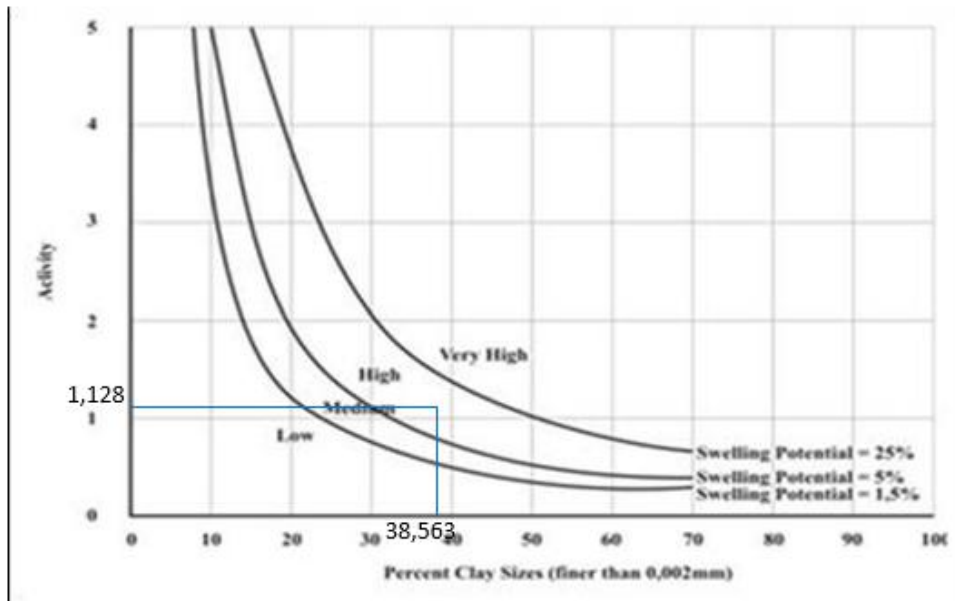
Ada tiga cara yang umum digunakan dalam mengidentifikasi ekspansifitas suatu tanah, identifikasi mineralogi, cara langsung, dan cara tidak langsung (*singleindexmethod*).

Dari tiga cara yang ada dipilihlah cara tidak langsung (*singleindexmethod*) untuk mengetahui potensi ekspansif dari sampel tanah yang ada. Dengan menggunakan nilai-nilai batas *atterberg*, dan derajat pengembang tanah yang sudah didapat. Seperti perhitungan *activity method* pada **Persamaan 2.1**, nilai aktivitas tanah (A) dapat dihitung. Diketahui nilai PI sebesar 43,51% dan prosentase tanah dengan ukuran 0,002mm adalah 38,563%.

**Persamaan 2.1:**

$$\text{Activity (A)} = \frac{43,51}{38,563} = 1,128$$

Hasil dari perhitungan *activity method* tersebut dapat kita masukkan ke grafik klasifikasi potensi pengembangan yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**



**Gambar 4.3** Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Potensi Mengembang  
Sumber: Ahya (2015)

#### 4.3 Kriteria Tanah Lempung Ekspansif

Cara tidak langsung (*single index method*) merupakan metode yang dipilih, untuk mengidentifikasi kriteria tanah lempung ekspansif pada sampel. Hasil uji dari batas-batas *atterberg*, menghasilkan nilai batas cair (LL), batas susut (SL), batas plastisitas (PL), dan indeks plastisitas (PI) pada sampel. Data dari pengujian tersebut, dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak suatu sampel tanah.

Hasil dari pengujian batas-batas *atterberg*, nilai prosentase SL dan PI akan berperan besar dalam menentukan parameter tanah lempung ekspansif seperti yang ditampilkan pada **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.3** Derajat ekspansifitas berdasarkan SL

SL Tanah asli (%)	SL (%)	Degree of Expansion
2,8	> 12	Non Critical
	10 – 12	Marginal
	< 10	Critical

**Tabel 4.4** Derajat ekspansifitas berdasarkan PI

PI Tanah asli (%)	SL (%)	Degree of Expansion
43,51	< 15	Low
	15 – 30	Medium
	23 – 32	High
	> 32	Very High

**Tabel 4.3** dan **Tabel 4.4**, menunjukkan bahwa sampel tanah asli yang berasal dari daerah Kec. Ngasem Kab. Bojonegoro, Jawa Timur termasuk ke dalam parameter tanah lempung ekspansif, dengan nilai batas susut (SL) tanah asli sebesar 2,8 % yang bersifat kritis terhadap derajat ekspansifitas dan nilai indeks plastisitas (PI) tanah asli sebesar 43,51 % dan tergolong pada kriteria derajat ekspansifitas yang sangat tinggi.

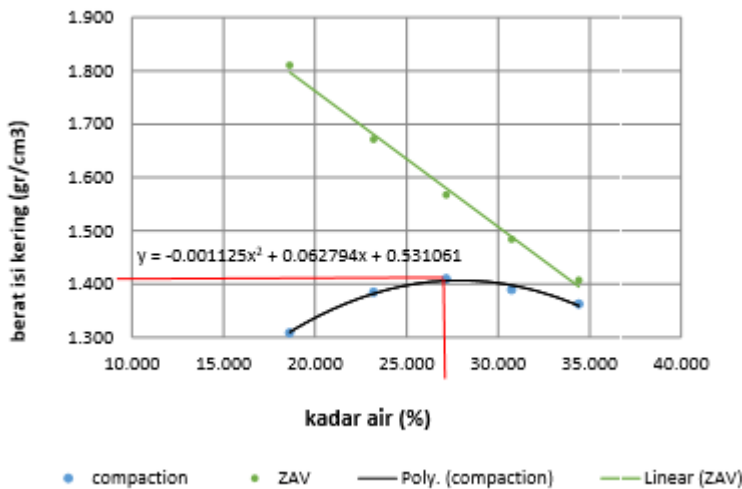
#### 4.4 Pemeriksaan Pemadatan Standar

Pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan salah satu cara mekanis atau suatu proses berkurangnya volume tanah akibat adanya energi mekanis, pengaruh kadar air dan gradasi butiran. Untuk setiap daya pemadatan tertentu kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya kadar air dalam tanah. Tingkat pemadatan diukur dari volume kering tanah yang dipadatkan. Air dalam pori tanah berfungsi sebagai unsure pembasuh (pelumas) tanah, sehingga butiran tanah tersebut lebih mudah bergerak atau bergeser satu sama lain dan membentuk formasi yang lebih padat atau rapat.

Cara mekanis yang dipakai untuk memadatkan tanah boleh bermacam-macam. Dilapangan biasanya dengan cara menggilas, sedang di laboratorium dengan menumbuk. Pemeriksaan pemadatan standar ini dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) maksimum pada tanah asli. Besarnya kadar air optimum (OMC) untuk tanah asli diambil dari penelitian Ahya (2015) dengan OMC 27,908 % dengan berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$ ) sebesar 1,407 gr/cm<sup>3</sup>.

Sedangkan untuk OMC dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) maksimum untuk tanah stabilisasi *fly ash*, diambil dari penelitian terdahulu yang dilakukan (Benny, 2014) dengan OMC 25,824 % dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) 1,488 gram/cm<sup>3</sup>, yang tercantum pada batasan masalah.

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada **Gambar 4.4** dibawah ini:



**Gambar 4.4** Pemadatan standar tanah asli

#### 4.5. Usaha Pemadatan Sampel

Pemadatan sampel merupakan suatu proses pemadatan mekanis dalam laboratorium dengan cara ditumbuk yang dilakukan terhadap sampel tanah setelah dimasukkan dalam boks. Usaha pemadatan ini dilakukan dengan mengkonversi berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$ ) yang didapat dari pemadatan standar yaitu 1,407 gr/cm<sup>3</sup> ke dalam proses pemadatan untuk sampel tanah dalam boks. Namun pada praktiknya kepadatan rencana 1,407gr/cm<sup>3</sup> dari pemadatan standar tidak dapat diterapkan pada kepadatan sampel tanah dalam boks. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan bentuk cetakan dimana pada pemadatan standar cetakan kita jumpai berbentuk lingkaran Sedangkan pada pemadatan sampel tanah ini, boks berbentuk bujur sangkar. Disamping itu pemadatan pada sampel menggunakan alat yang bukan standar alat uji pemadatan. Sehingga berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$ ) dari hasil pemadatan yang dilakukan sebesar 1,28gr/cm<sup>3</sup> didapatkan melalui pengujian *ring density*.

Pemadatan sampel ini menggunakan boks dengan ukuran 50 x 50 x 30 cm dan boks ukuran 30 x 30 x 30 yang diisi dengan sampel tanah lempung yang telah ditentukan.

Pengisian sampel tanah ke dalam boks dengan ukuran 50 x 50 x 30 cm dikerjakan dengan membagi tanah menjadi 4 lapisan. Terlebih dulu sampel tanah ini telah dicampur dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908% serta proses penjemuran (curing). Dengan ketinggian setiap lapisnya 5cm hingga total ketinggian yang dicapai 1 sampel tanah dalam boks mencapai 20cm. Setiap lapisan(layer) mengalami penumbukan sebanyak 4 kali putaran, dengan jumlah lintasan sebanyak 16 lintasan tiap satu putarannya. Pemadatan tanah ini dilakukan menggunakan alat penumbuk yang memiliki berat 9,6kg. Dengan ukuran permukaan kontak tumbukan 12,5 x 12,5 cm dan tinggi jatuh tumbukan 21,5 cm. Demikian pula pada boks ukuran 30 x 30 x 30 cm, pengisian tanah dilakukan dengan



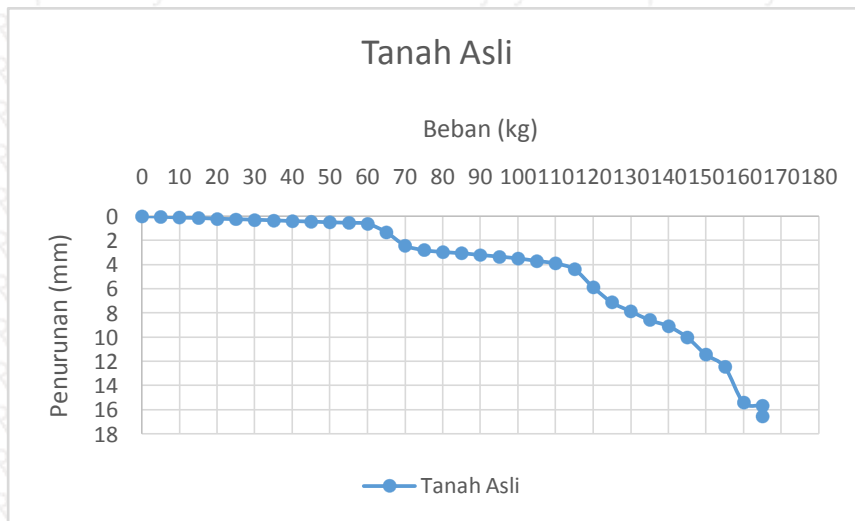
membagi 4 lapis. Tanah sudah dicampur dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908 % dan mengalami penjenuhan (curing), dengan tinggi disetiap lapisnya 5cm sehingga ketinggian total sampel tanah mencapai 20cm. Ditiap lapisan penumbukan dilakukan sebanyak 6 kali putaran dengan jumlah lintasan sebanyak 4 lintasan dalam satu putarannya. Penumbukan menggunakan alat penumbuk yang memiliki berat 9,6kg dengan ukuran permukaan kontak tumbukan 15 x 15 cm dan tinggi jatuh tumbukan 21,5cm.

#### 4.6. Uji Pembebanan Laboratorium

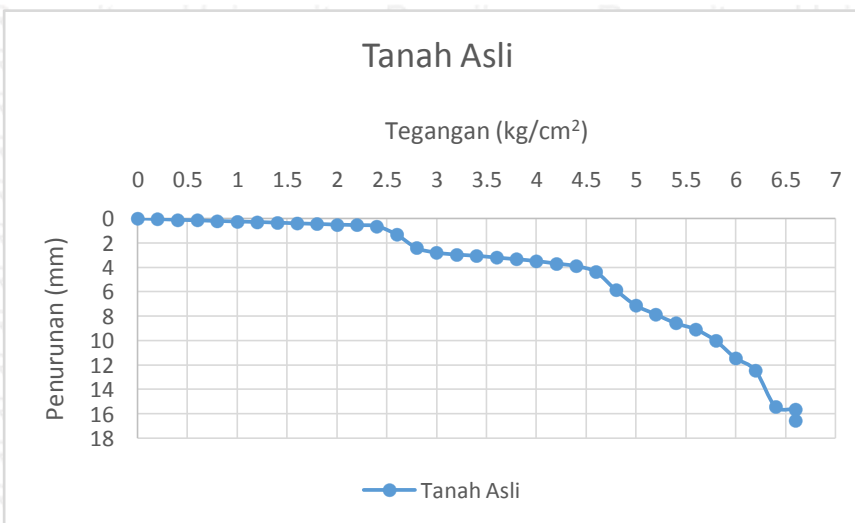
Pengujian pembebanan ini bertujuan untuk mengetahui beban yang bekerja beserta penurunan yang terjadi pada sample tanah dalam boks yang telah mengalami pemadatan. Seperangkat alat uji pembebanan dibutuhkan dalam uji ini, seperti dongkrak hidrolik yang berguna untuk memberi tekanan terhadap piston, *loadcell* sebagai alat pembaca beban yang telah diberikan oleh piston, displacement transducer sebagai alat pembaca penurunan yang terjadi pada sampel tanah, dan juga pelat baja berukuran 5 x 5 x 2cm yang diasumsi sebagai pondasi guna untuk menyalurkan beban yang bekerja pada tanah. Pengujian ini dilakukan terhadap tiap-tiap sampel tanah asli, dan sampel tanah yang telah terstabilisasi menggunakan metode DSM dengan variasi jarak dan kedalaman tertentu.

#### 4.7. Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Asli

Pengujian pembebanan sampel tanah asli yang dilakukan pada sampel tanah, yang belum terstabilisasi menggunakan metode DSM, telah dilakukan oleh Ahya (2015) dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908 % dan kepadatan relatif ( $\gamma_d$ ) di boks sebesar 1,28 gr/cm<sup>3</sup>. Dari hasil uji pembebanan tanah asli, didapat hubungan beban dengan penurunan pada **Gambar 4.5** dan hubungan daya dukung dengan penurunan pada **Gambar 4.6**.



**Gambar 4.5** Hubungan beban dengan penurunan tanah asli



**Gambar 4.6** Hubungan tegangan dengan penurunan tanah asli

**Gambar 4.5**, menjelaskan bahwa pada awal pembebanan penurunan yang terjadi sebanding dengan beban yang bekerja. Akan tetapi seiring bertambahnya beban yang bekerja, menunjukkan bahwa hubungan antara pembebanan dan penurunan tidak lagi sebanding. Dimana beban yang bekerja tidak mengalami peningkatan secara signifikan sedangkan penurunan yang terjadi terus berjalan. Hal inilah yang dinamakan tanah mengalami keruntuhan. Fenomena ini muncul karena daya dukung tanah ( $q_u$ ) sudah berada pada batas beban maksimum yang dapat diterima. Dari **Gambar 4.6** hubungan daya dukung dengan penurunan didapatkan daya dukung tanah asli sebesar  $6,6 \text{ kg/cm}^2$  dengan penurunan sebesar  $16,57 \text{ mm}$ .

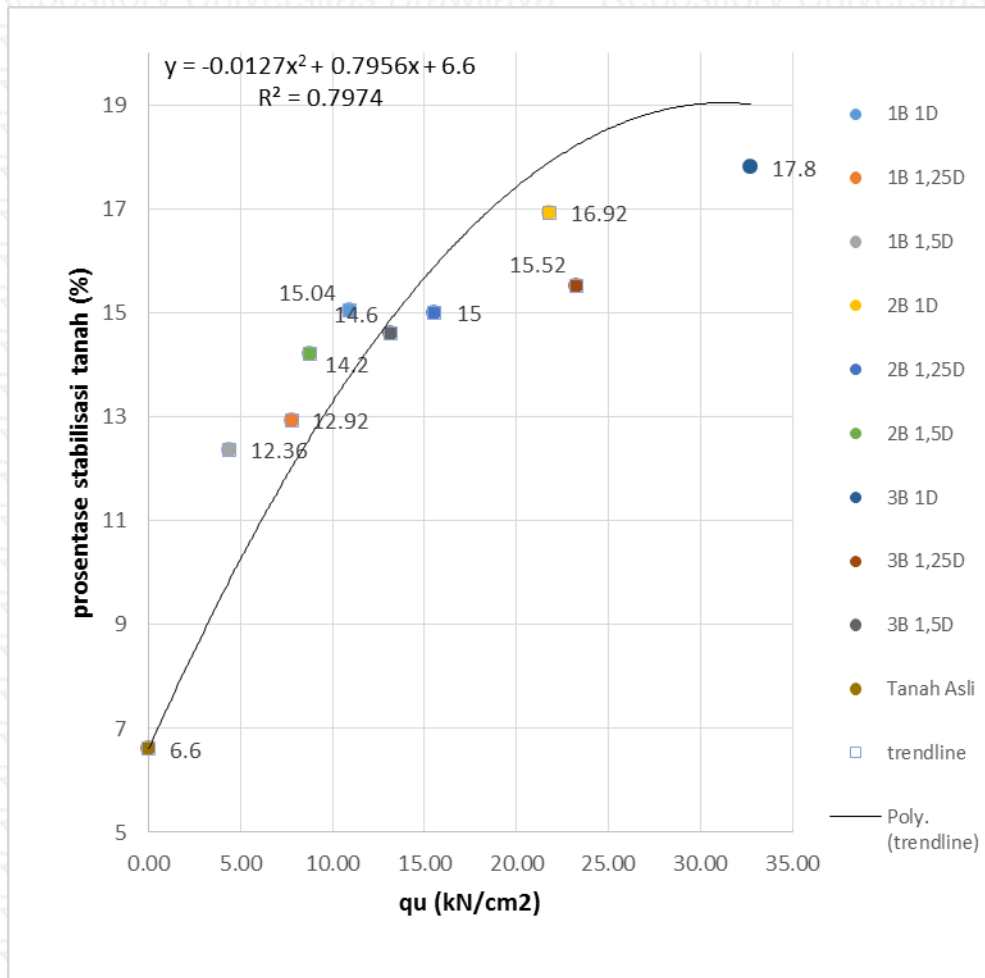
#### 4.8. Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Stabilisasi DSM

##### 4.8.1 Nilai Daya Dukung Tanah terhadap Prosentase Tanah yang Distabilisasi dengan Kolom DSM

Adapun prosentase tanah yang telah distabilisasi menggunakan kolom DSM terhitung hanya pada area tanah yang menerima uji beban ataupun seluas *bearingplate*, yaitu 25 cm<sup>2</sup> dengan ke dalaman 20 cm. Hasil pengujian eksperimen daya dukung terhadap prosentase tanah stabilisasi ditampilkan pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.7** sebagai berikut:

**Tabel 4.5** Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

Jenis Benda Uji	Variabel	Prosentase Stabilisasi Volume	$P_u$	$q_u$	
		%	kg	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Tanah Asli	-	0	165	66000	660
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	L = 5 cm ; Df = 5 cm	10.91	376	150400	1504
	L = 6,25 cm ; Df = 5 cm	7.76	323	129200	1292
	L = 7,5 cm ; Df = 5 cm	4.38	309	123600	1236
	L = 5 cm ; Df = 10 cm	21.82	423	169200	1692
	L = 6,25 cm ; Df = 10 cm	15.52	375	150000	1500
	L = 7,5 cm ; Df = 10cm	8.8	355	142000	1420
	L = 5 cm ; Df = 15 cm	32.72	445	178000	1780
	L = 6,25 cm ; Df = 15 cm	23.28	388	155200	1552
	L = 7,5 cm ; Df = 15 cm	13.1	365	146000	1460



**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

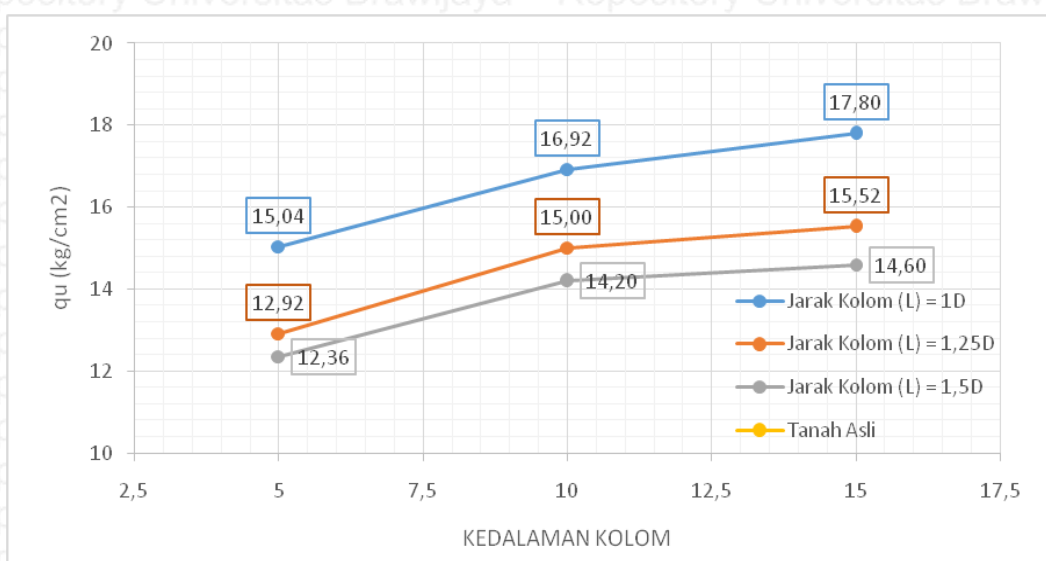
Dari **Gambar 4.7**, dapat diketahui bahwa hubungan nilai daya dukung tanah dengan prosentase stabilisasi tanah menggunakan kolom DSM berbanding lurus. Semakin besar prosentase tanah yang distabilisasi, maka semakin besar pula nilai daya dukung yang didapatkan.

#### 4.8.2 Nilai daya Dukung Tanah pada Variasi Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) Terhadap Jarak Antar Kolom ( $L$ )

Hasil pengujian eksperimen terhadap nilai daya dukung tanah dengan variasi panjang kolom DSM ditampilkan pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.8** sebagai berikut:

**Tabel 4.6** Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Jarak Antar Kolom

Jenis sampel	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (Df)	Luas Pondasi (A)	$P_u$	$q_u$
	Cm	Cm	cm <sup>2</sup>	Kg	kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli	-	-	25	165	6.6
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	5	25	376	15.04
		10	25	423	16.92
		15	25	445	17.8
	6.25	5	25	323	12.92
		10	25	375	15
		15	25	388	15.52
	7.5	5	25	309	12.36
		10	25	355	14.2
		15	25	365	14.6



**Gambar 4.8** Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) Terhadap Jarak Antar Kolom (L)

**Gambar 4.8**, menjelaskan bahwa nilai  $q_u$  tanah asli adalah  $6,6\text{kg/cm}^2$ . Setelah tanah asli tersebut terstabilisasi menggunakan kolom DSM, maka nilai  $q_u$  mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kedalaman kolom ( $D_f$ ). Pada jarak antar kolom (L) yang sama dapat kita lihat bahwa kolom dengan kedalaman ( $D_f$ ) 15cm memiliki nilai

$q_u$  terbesar dibanding kedalaman (Df) 5cm dan 10cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dalam suatu kolom maka prosentase stabilisasi semakin besar dan menyebabkan peningkatkan daya dukung tanah.

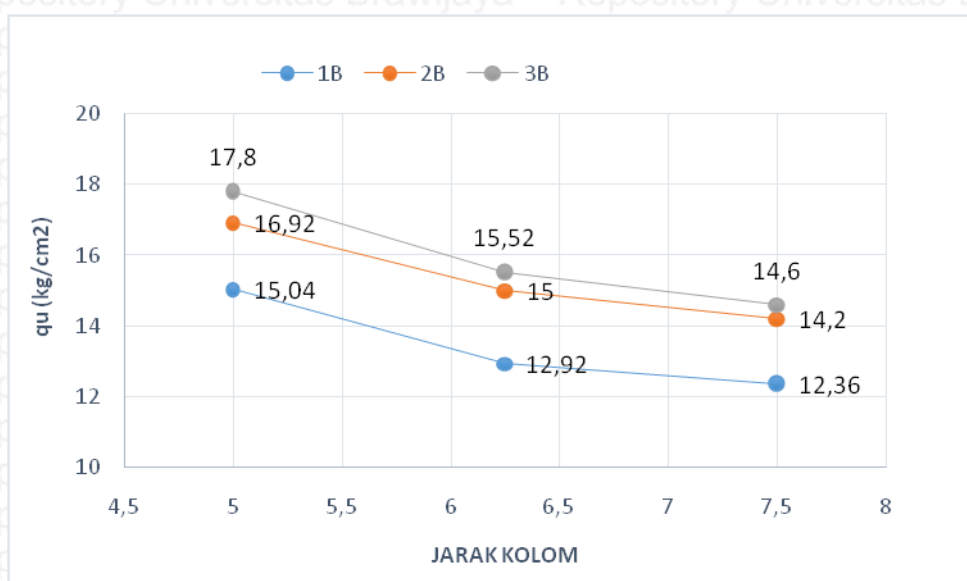
#### 4.8.3 Nilai Daya Dukung Tanah pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) terhadap

##### Kedalaman Kolom(Df)

Nilai daya dukung ditampilkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.9 sebagai berikut:

**Tabel 4.7** Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Jarak Antar Kolom

Jenis Sampel	Kedalaman Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	Luas Pondasi (A)	$P_u$	$q_u$
	Cm	Cm	cm <sup>2</sup>	Kg	kg/cm <sup>2</sup>
Tanah Asli	-	-	25	165	6.6
	5	5	25	376	15.04
6.25		25	323	12.92	
7.5		25	309	12.36	
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	10	5	25	423	16.92
		6.25	25	375	15
		7.5	25	355	14.2
	15	5	25	445	17.8
		6.25	25	388	15.52
		7.5	25	365	14.6



**Gambar 4.9** Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ )

**Gambar 4.9**, menjelaskan bahwa nilai  $q_u$  pada kedalaman kolom yang sama, akan mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya jarak antar kolom. Prosentase tanah yang terstabilisasi semakin menurun, ketika jarak antar kolom semakin besar. Penurunan nilai daya dukung pada jarak 5cm menuju 6,25cm relatif tajam, dan semakin menurun pada jarak 6,25cm menuju jarak kolom 7,5cm. Dan dapat kita ketahui pada jarak antar kolom 5cm (kolom bersinggungan) memiliki peningkatan nilai daya dukung yang cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jarak antar kolom maka semakin kecil pula daya dukung yang dihasilkan. Apabila jarak antar kolom semakin rapat maka semakin besar pula prosentase stabilisasi, dan semakin besar pula peningkatan daya dukung yang terjadi. Agus (2009) menjelaskan bahwa pemasangan kolom tunggal DSM dapat meningkatkan daya dukung tanah disekitarnya hingga jarak  $3 \times D$  dari pusat kolom. Dengan demikian, kolom DSM dalam bentuk susunan variasi tertentu dan memiliki jarak antar kolom yang berdekatan akan mampu meningkatkan prosentase stabilitas tanah dan nilai daya dukung tanah.

#### 4.8.4 Analisis Penurunan Tanah

Penurunan muka tanah terjadi dikarenakan uji pembebanan yang sudah dilakukan pada benda uji model. Dan dari uji pembebanan yang sudah dilakukan maka diperoleh nilai pembacaan daya dukung dan penurunan (*settlement*). Sehingga besarnya penurunan, akan langsung di dapatkan melalui grafik hubungan daya dukung dengan penurunan. Seperti analisis daya dukung, pada analisis penurunan tanah juga dianalisis pada masing-masing

variasi jarak antar kolom, dan panjang kolom yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi tersebut terhadap penurunan tanah. Adapun analisis penurunan dari hasil uji beban yang dilakukan terhadap benda uji model sebagai berikut:

#### 4.8.4.1 Penurunan Tanah Asli Tanpa Distabilisasi Kolom DSM

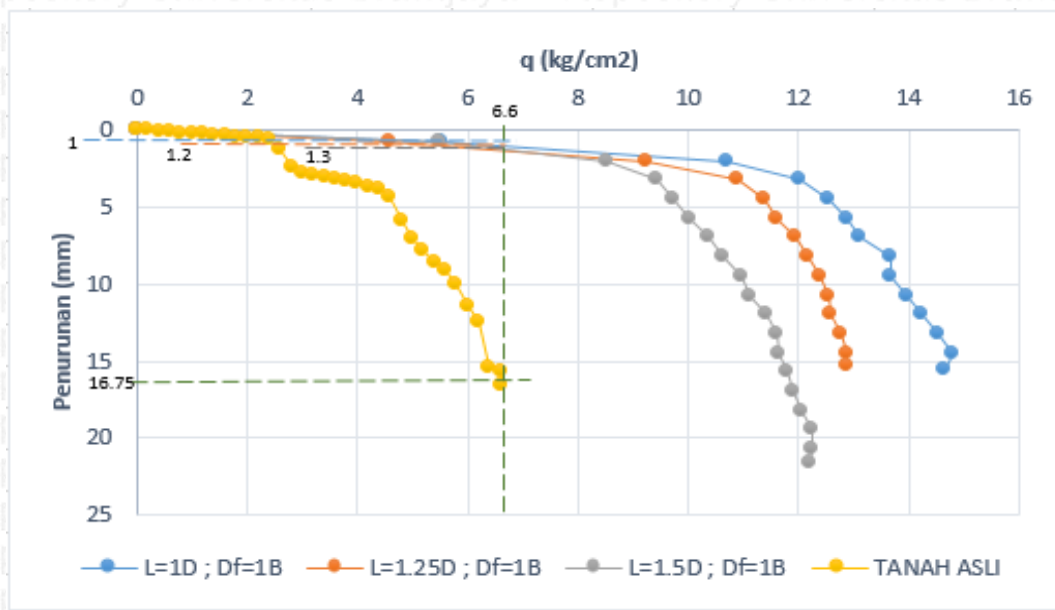
Benda uji model tanah asli/dasar merupakan model tanah yang akan kita uji pertama kali. Sebelum uji pembebanan dilakukan, benda uji model tanah asli tidak perlu dilakukan treatment (*curing*) selama 4 hari. Hasil uji beban yang dilakukan terhadap benda uji model tanah asli/dasar dapat dilihat pada **Gambar 4.5** diatas.

Dari **Gambar 4.5** diatas model tanah asli diketahui memiliki nilai daya dukung batas (*ultimit bearing capacity*) sebesar  $6,6 \text{ kg/cm}^2$ . Dan besarnya penurunan yang terjadi adalah sebesar 16,57mm. Nilai daya dukung batas tersebut akan digunakan sebagai tinjauan besarnya penurunan pada semua variasi jarak dan panjang kolom DSM, sebagai pembanding dengan besarnya nilai penurunan tanah sebelum distabilisasi.

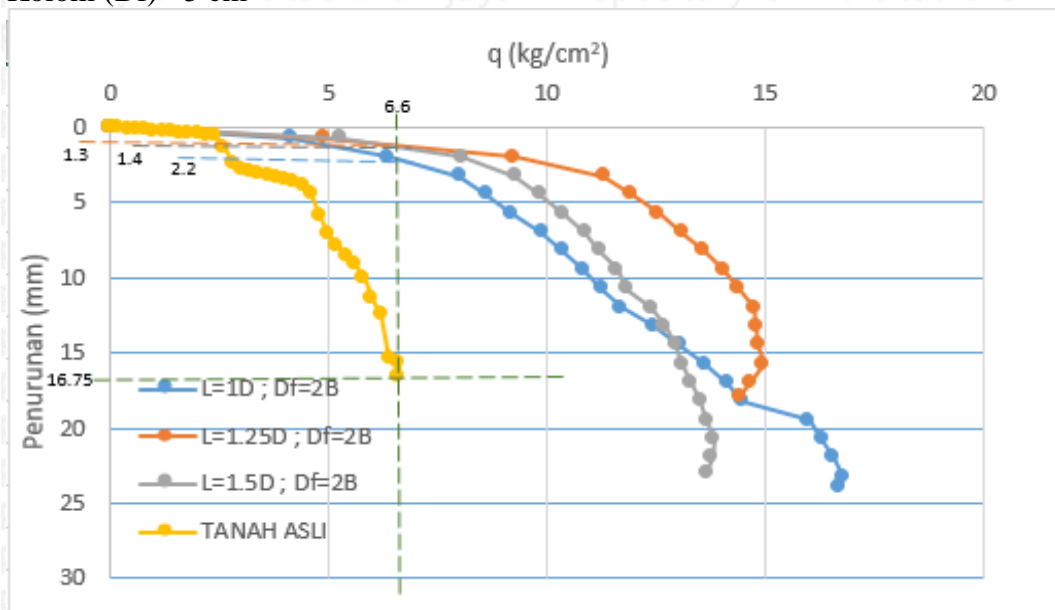
#### 4.8.4.2. Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Jarak Antar Kolom ( $L$ ) terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ )

Setelah uji pembebanan pada model uji tanah asli, maka uji pembebanan dilakukan pada benda uji yang telah distabilisasi menggunakan kolom DSM 15% *fly ash*. Untuk mengetahui besarnya penurunan (*settlement*) yang terjadi pada masing-masing variasi, peninjauan dilakukan pada nilai daya dukung yang sama. Analisis penurunan dilakukan dengan cara mengplotkan besar daya dukung  $6.6 \text{ kg/cm}^2$  kedalam grafik daya dukung–penurunan sehingga akan diperoleh besarnya penurunan yang terjadi. Analisis penurunan dari hasil uji beban pada variasi panjang kolom terhadap jarak antar kolom adalah sebagai berikut:

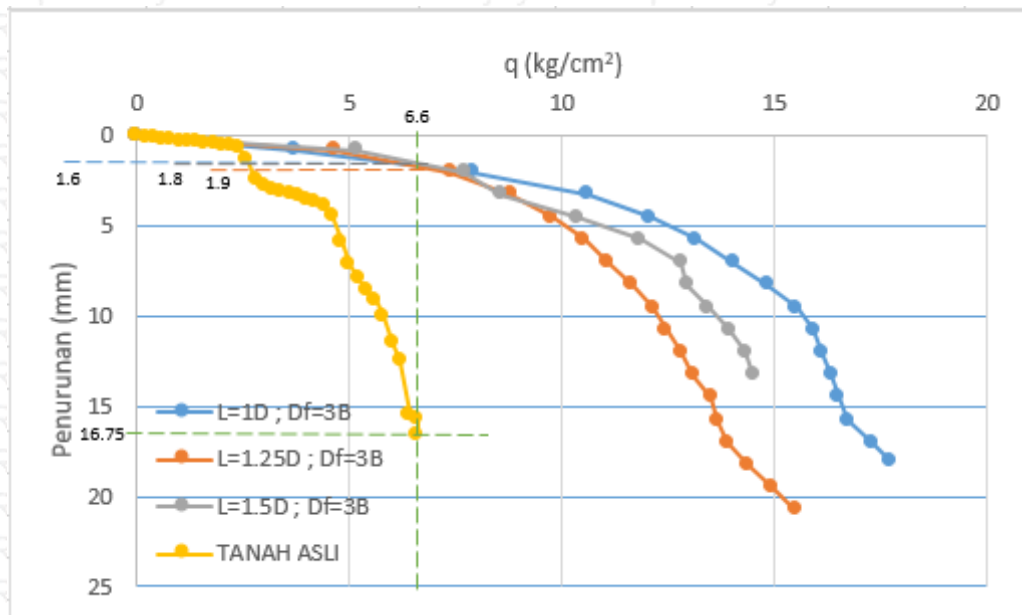




**Gambar4.10** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) = 5 cm



**Gambar4.11** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) = 10 cm

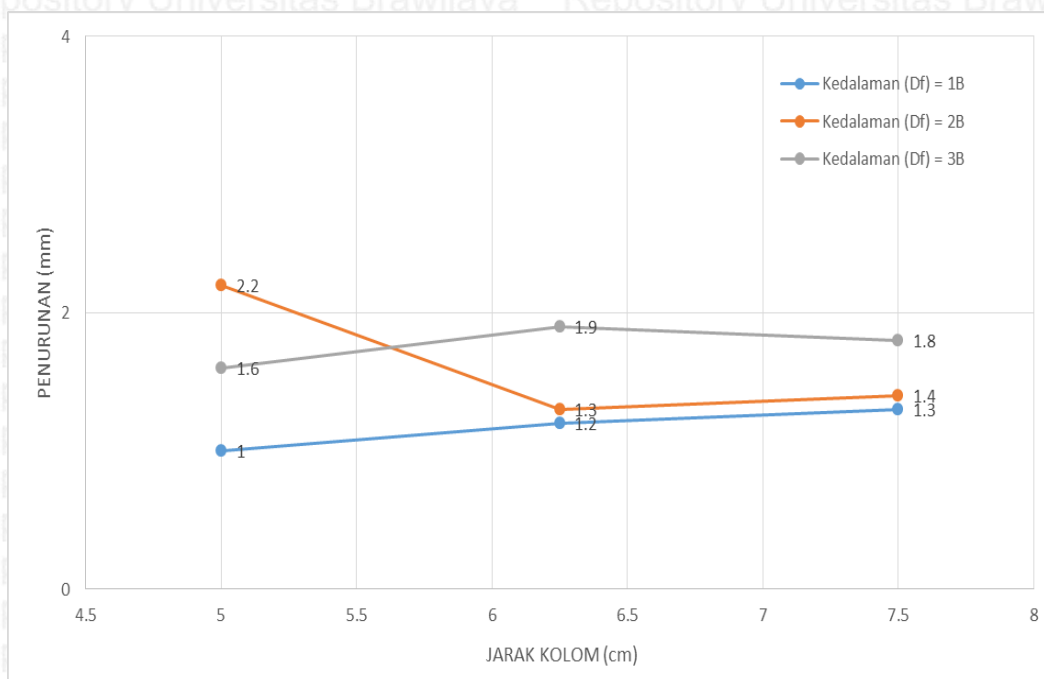


**Gambar 4.12** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom ( $D_f$ ) = 15cm

Pada **Gambar 4.10**, dapat dilihat bahwa pada  $q$  (tegangan) dengan nilai 6,6 penurunan yang terjadi ketika jarak antar kolom sama dengan 1D adalah 1 mm dan semakin dalam pada jarak 2D atau 3D. Maka sesuai dengan hipotesa awal yaitu semakin besar jarak antar kolom maka semakin besar pula penurunannya. Berbeda dengan **Gambar 4.11**, dan **Gambar 4.12** yang menunjukkan besarnya nilai penurunan yang terjadi pada  $q$  (tegangan) yang sama, tapi tidak sesuai dengan hipotesa awal. Fenomena ini dimungkinkan karena adanya faktor kesalahan pada saat persiapan pengujian pembebanan dimana, permukaan tanah mengalami perataan terlebih dahulu, sehingga permukaan tanah banyak yang terkikis dan menyebabkan berkurangnya kedalaman kolom yang terstabilisasi. Dan mengakibatkan variasi *settlement* tidak lagi sesuai dengan hipotesa awal. Selain itu penggunaan manual *hydraulic pump* juga berpengaruh terhadap pembacaan nilai-nilai *settlement* yang mungkin lebih kecil atau lebih besar dari yang terjadi. Dikarenakan penetrasi beban (saat memompa *hydraulic pump*) tidak konstan (lebih cepat atau lebih lambat), hasil dari uji pembebanan ini dapat dilihat pada **Tabel 4.8** dan **Gambar 4.13** sebagai berikut:

**Tabel 4.8** Penurunan Akibat variasi Jarak antar Kolom

Jenis Sampel	Kedalaman Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	Luas Pondasi (A)	$q$	Penurunan
	Cm	Cm	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Mm
Tanah Asli	-	-	25	6.6	16.57
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	5	25	6.6	1
		6.25	25	6.6	1.2
		7.5	25	6.6	1.3
	10	5	25	6.6	2.2
		6.25	25	6.6	1.3
		7.5	25	6.6	1.4
	15	5	25	6.6	1.6
		6.25	25	6.6	1.9
		7.5	25	6.6	1.8

**Gambar 4.13** Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Jarak antar Kolom

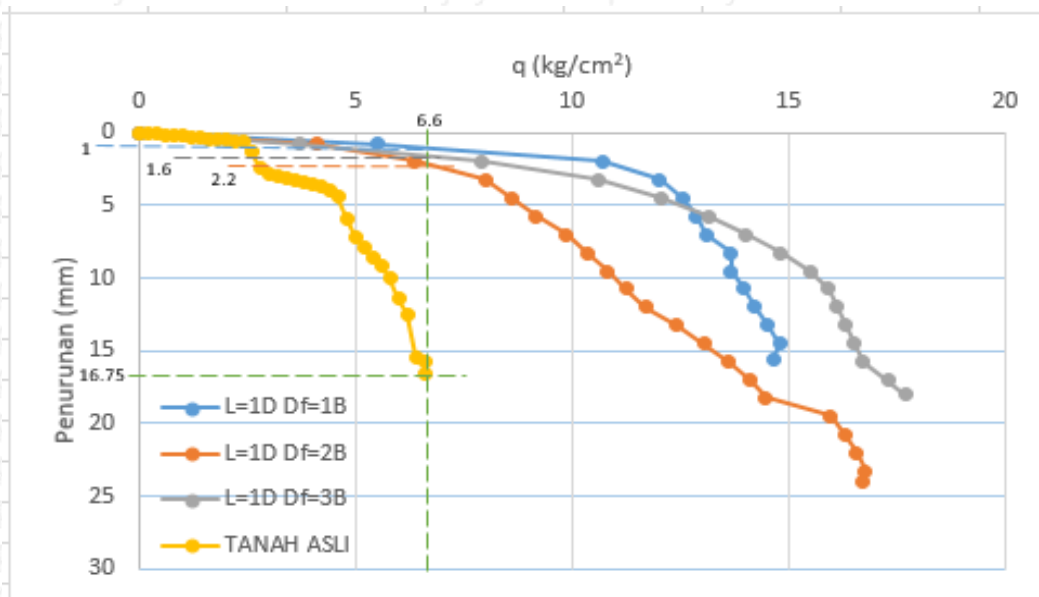
Berdasar pada **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.13**, diketahui bahwa pada kedalaman (Df) 5cm dan 15cm besarnya penurunan (*settlement*) berbanding lurus dengan jarak antar kolom, dimana besarnya *settlement* akan mengalami peningkatan seiring dengan

bertambahnya jarak antar kolom. Hal ini terjadi karena jarak antar kolom yang semakin jauh, nilai daya dukung menurun sehingga mengakibatkan bertambahnya nilai *settlement*. Pada kedalaman kolom ( $D_f$ ) 10cm, besarnya *settlement* naik saat jarak kolom 5cm dan semakin turun pada jarak 6,25cm dan jarak 7,5cm. Pada kedalaman kolom ( $D_f$ ) 10cm memang tidak sesuai dengan hipotesa awal, kemungkinan karena adanya faktor kesalahan yang terjadi pada saat perataan permukaan tanah. Pada saat melakukan perataan muka tanah sebelum pembebanan terkadang tanah stabilisasi harus di kikis sehingga kedalaman kolom stabilisasi ( $D_f$ ) berkurang. Yang mengakibatkan variasi *settlement* tidak lagi sesuai dengan hipotesa awal. Pengujian pembebanan yang dilakukan secara manual menggunakan *hydraulic pump* juga bisa menjadi faktor kesalahan. Dikarenakan penetrasi beban (saat memompa *hydraulic pump*) tidak konstan (lebih cepat atau lebih lambat), hal ini menyebabkan *settlement* yang terjadi mungkin bisa lebih besar atau lebih kecil. Pemotongan kolom pada proses sebelum pembebanan juga dapat mengurangi kepadatan kolom DSM yang bisa mempengaruhi besar kecilnya *settlement*.

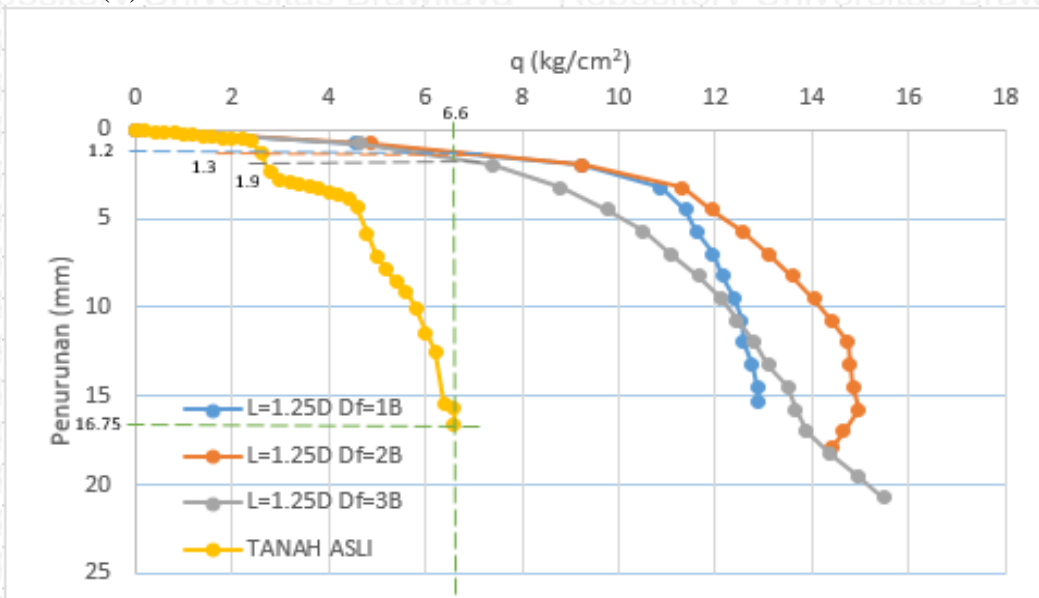
#### 4.8.4.3 Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Kedalaman

##### **Kolom ( $D_f$ ) terhadap Jarak Antar Kolom ( $L$ )**

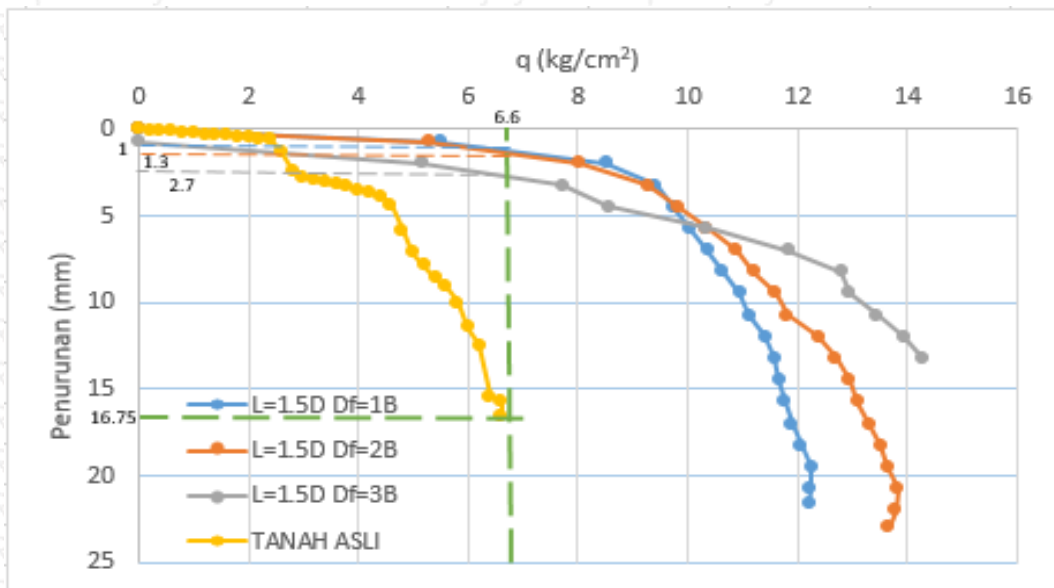
Adapun analisis penurunan tidak hanya ditinjau dari variasi jarak kolom terhadap kedalaman kolom saja, melainkan analisis penurunan pada variasi kedalaman kolom terhadap jarak antar kolom juga dilakukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak dan kedalaman kolom DSM terhadap penurunan tanah. Adapun hasil uji pembebanan pada benda uji model terhadap nilai daya dukung pada variasi kedalaman kolom terhadap jarak antar kolom adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.14** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom ( $L$ ) = 5 cm



**Gambar 4.15** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom ( $L$ ) = 6,25 cm

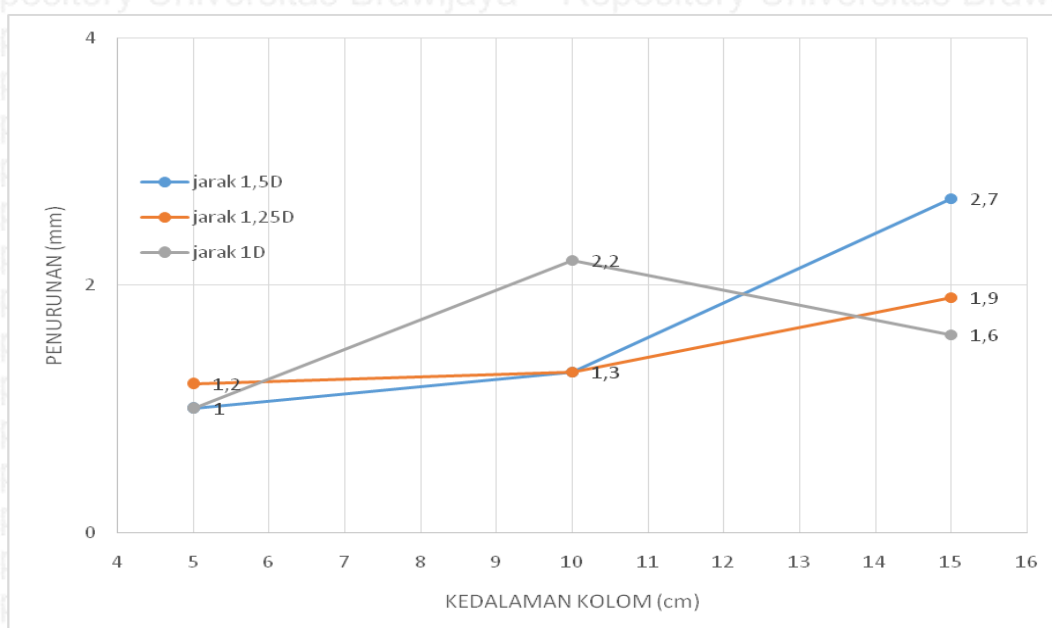


**Gambar 4.16** Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom ( $L$ ) = 7,5 cm

Dari **Gambar 4.14**, **Gambar 4.15**, dan **Gambar 4.16** telah diketahui besarnya penurunan yang terjadi pada nilai tegangan yang sama, sehingga hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.17** berikut ini:

**Tabel 4.9** Penurunan akibat Variasi Kedalaman Kolom

Jenis Sampel	Jarak Kolom ( $L$ )	Kedalaman Kolom ( $D_f$ )	Luas Pondasi ( $A$ )	$Q$	Penurunan
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Mm
Tanah Asli	-	-	25	6.6	16.57
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	5	25	6.6	1
		10	25	6.6	2.2
		15	25	6.6	1.6
	6,25	5	25	6.6	1.2
		10	25	6.6	1.3
		15	25	6.6	1.9
7.5	5	25	6.6	1	
	10	25	6.6	1.3	
	15	25	6.6	2.7	



**Gambar4.17** Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Kedalaman

**Tabel4.9** dan **Gambar4.17**, menjelaskan bahwa besarnya penurunan (*settlement*) yang terjadi pada jarak 1 D, 1,25 D, dan 1,5 D tidak sesuai dengan hipotesa yang diharapkan, dimana besarnya *settlement* akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman kolom. Fenomena ini disebabkan beberapa faktor kesalahan yang dilakukan pada saat setting sebelum uji pembebanan. Pertama, saat melakukan perataan muka tanah sebelum pembebanan terkadang tanah stabilisasi harus di kikis. Menyebabkan berkurangnya kedalaman kolom stabilisasi ( $D_f$ ) sehingga variasi *settlement* tidak lagi sesuai dengan hipotesa awal. Kedua pengujian pembebanan menggunakan *hydraulic pump* dengan cara pompa manual dapat menyebabkan penetrasi beban tidak lagi konstan (lebih cepat atau lebih lambat), hal ini menyebabkan *settlement* yang terjadi dapat lebih besar atau lebih kecil. Pemotongan kolom saat sebelum pembebanan juga berpengaruh mengurangi kepadatan kolom DSM yang nantinya bisa mempengaruhi besar kecilnya *settlement*.

#### 4.8.5 Analisis Pengaruh Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom DSM 15 % *fly ash* Berdasarkan BCI

Analisis *Bearing Capacity Improvement* ( $BCI_u$ ) adalah suatu analisis perbandingan antara daya dukung batas saat tanah distabilisasi kolom DSM 15% *fly ash* dengan tanah tanpa distabilisasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan nilai daya dukung yang terjadi akibat adanya stabilisasi dengan kolom DSM yang diberi variasi jarak dan panjang. Selain itu, analisis  $BCI_u$  ini dapat menunjukkan variasi manakah yang

lebih berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah. Nilai  $BCI_u$  dapat dihitung dengan carabesarnya nilai daya dukung setelah stabilisasi dibagi dengan nilai daya dukung sebelum tanah distabilisasi yang kemudian hasilnya dijadikan prosentase.

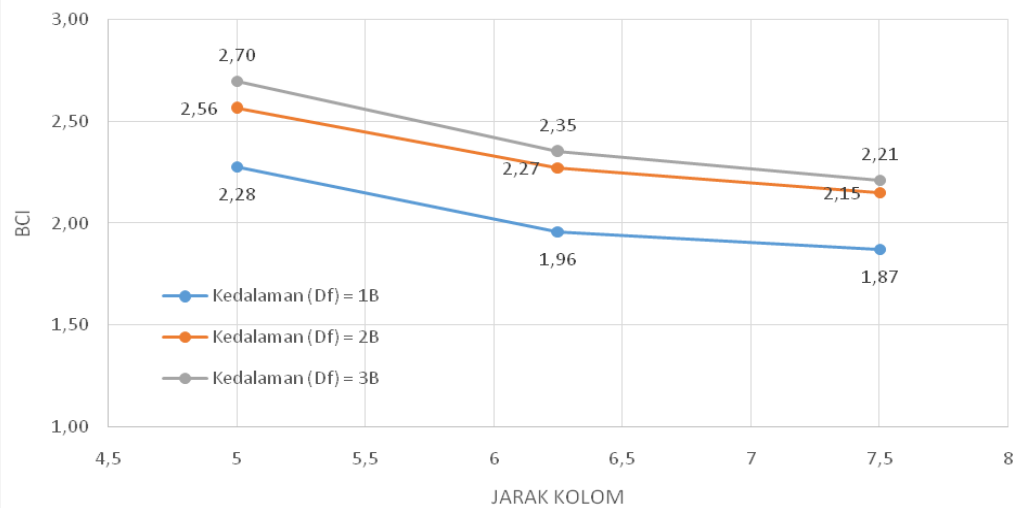
#### 4.8.5.1 Perbandingan $BCI_u$ pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap

##### Kedalaman Kolom ( $D_f$ )

Pengaruh dari variasi jarak antar kolom terhadap  $BCI_u$ , telah ditampilkan pada **Gambar4.18**. Dari hasil daya dukung yang telah dilakukan pada masing-masing variasi jarak antar kolom, maka nilai  $BCI_u$  dapat dihitung yang ditampilkan pada **Tabel 4.10** sebagai berikut:

**Tabel4.10** Nilai  $BCI_u$  pada Variasi Jarak Antar Kolom

Jenis Sampel	Kedalaman Kolom ( $D_f$ )	Jarak Kolom (L)	$q_u$	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung	
	cm	cm	kg/cm <sup>2</sup>		(%)	
Tanah Asli	-	-	6.6	1		
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	5	15,04	2,28	16,41	4,53
		6,25	12,92	1,96		
		7,5	12,36	1,87		
	10	5	16,92	2,56	12,8	5,63
		6,25	15	2,27		
		7,5	14,2	2,15		
	15	5	17,8	2,70	14,69	6,30
		6,25	15,52	2,35		
		7,5	14,6	2,21		



**Gambar4.18** Grafik Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom Terhadap Nilai BCI



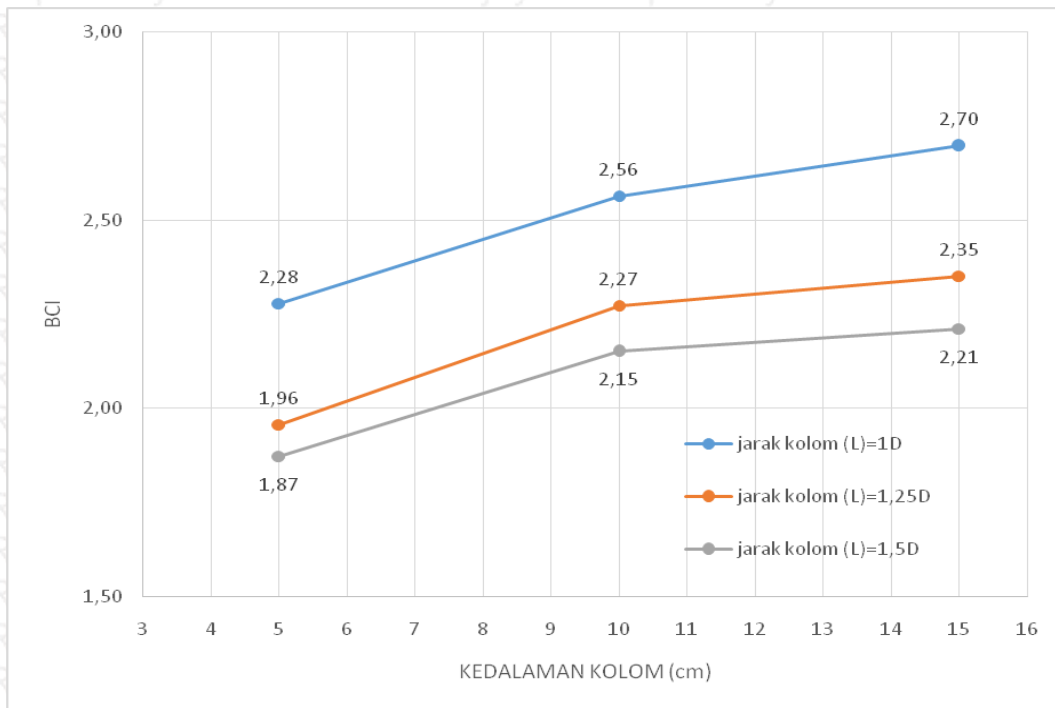
Berdasarkan pada **Tabel 4.10** dan **Gambar 4.18**, dapat diketahui semakin bertambahnya jarak antar kolom (L) mengakibatkan penurunan pada nilai daya dukung dan  $BCI_u$ . Pada kedalaman kolom (DF) yang sama peningkatan nilai daya dukung dan  $BCI_u$  paling signifikan dialami kolom dengan jarak antar kolom (L) terpendek 5cm. Nilai BCI yang didapat pada jarak antar kolom (L) 5cm dengan kedalaman kolom (DF) 15cm yaitu sebesar 2,7, dan memiliki prosentase peningkatan daya dukung tanah sebesar 14,69% dari kedalaman yang sama dan jarak antar kolom yang berbeda. Sedangkan, pada jarak antar kolom (L) 7,5cm dengan kedalaman kolom (DF) 15cm nilai BCI sebesar 2,21, dan memiliki prosentase peningkatan daya dukung sebesar 6,3%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin pendek jarak antar kolom (antar kolom bersinggungan) maka semakin besar daya dukung yang terjadi.

#### 4.8.5.2 Perbandingan $BCI_u$ pada Variasi Kedalaman Kolom (Df) Terhadap Jarak antar Kolom (L)

Dapat di amati pengaruh dari variasi kedalaman kolom terhadap  $BCI_u$ , pada **Gambar 4.19**. Adapun hasil daya dukung yang terjadi pada masing-masing variasi kedalaman kolom, maka nilai  $BCI_u$  dapat dihitung yang tertera pada **Tabel 4.11** sebagai berikut:

**Tabel 4.11** Nilai  $BCI_u$  pada Variasi Kedalaman Kolom

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (Df)	$q_u$	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung	
	Cm	Cm	kg/cm <sup>2</sup>		(%)	
Tanah Asli	-	-	6.6	1.00		
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	5	15,04	2,28	12,5	5,20
		10	16,92	2,56		
		15	17,8	2,70		
	6,25	5	12,92	1,96	16,10	3,47
		10	15	2,27		
		15	15,52	2,35		
	7,5	5	12.36	1,87	14,89	2,82
		10	14,2	2,15		
		15	14,6	2,21		



**Gambar4.19** Grafik Pengaruh Variasai Kedalaman Kolom Terhadap Nilai BCI

Berdasarkan pada **Tabel 4.11** dan **Gambar 4.19**, memaparkan apabila semakin bertambah kedalaman kolom ( $D_f$ ) maka semakin meningkat pula nilai daya dukung dan  $BCI_u$ . Pada kedalaman kolom ( $DF$ ) 15 cm dengan jarak antar kolom ( $L$ ) 5 cm peningkatan nilai  $BCI$  yang terjadi sangat signifikan yaitu 2,70, dan mengalami prosentase peningkatan daya dukung sebesar 5,20% dari jarak yang sama dan kedalaman yang berbeda. Sedangkan untuk kedalaman kolom ( $DF$ ) 10 cm dengan jarak antar kolom ( $L$ ) 7,5 cm didapatkan nilai  $BCI$  beserta daya dukung sebesar 2,15 dan telah mengalami prosentase peningkatan daya dukung tanah sebesar 14,89% dari jarak yang sama dan kedalaman yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dalam suatu kolom peningkatan nilai daya dukung akan semakin besar juga.

#### 4.8.6. Pengaruh Variasi Jarak Antar Kolom ( $L$ ) dan Panjang Kolom ( $D_f$ ) Terhadap Nilai Daya Dukung dan Penurunan Tanah

Merupakan salah satu tujuan penelitian, ialah mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak dan panjang kolom stabilisasi tanah ekspansif dengan metode *Deep Soil Mix* ( $DSM$ ), terhadap nilai daya dukung tanah. Berdasar pada percobaan pemodelan fisik tanah ekspansif yang telah distabilisasi dengan kolom  $DSM$  15% *flyash*. Dengan variable bebas jarak dan panjang kolom serta variable terikat daya dukung dan penurunan tanah, maka didapatkan bahwa variasi jarak dan panjang kolom sangat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah. Dalam penelitian ini tidak ditinjau lebih lanjut perhitungan secara

numerik, sehingga hasil yang diperoleh adalah hasil pembacaan dari eksperimen di laboratorium.

Secara umum, stabilisasi tanah ekspansif dengan kolom DSM 15% *flyash* terbukti dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh penambahan nilai kepadatan tanah dan bahan aditif 15% *fly ash*. Seperti yang telah diketahui bahwa bahan stabilisasi berupa *fly ash* memiliki sifat *pozzolanic* yaitu sifat yang mampu untuk mengeras sendiri dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air. Selain itu, rekasi antara kalsium yang terdapat dalam *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat dalam tanah dapat menghasilkan massayang keras dan kaku, sehingga dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Selain itu, dengan memberikan variasi jarak antar kolom dan panjang kolom, peningkatan nilai daya dukung tanah memberikan hasil yang berbeda-beda. Hal ini terjadi karena dari variasi yang diberikan akan menghasilkan besarnya prosentase tanah yang distabilisasi.

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai daya dukung berbanding lurus dengan nilai prosentase tanah yang distabilisasi. Semakin besar prosentase tanah yang distabilisasi, semakin besar pula nilai daya dukung yang diperoleh. Dan sebaliknya, semakin kecil prosentase tanah yang distabilisasi, semakin kecil pula nilai daya dukungnya. Kemudian, untuk variasi jarak antar kolom diperoleh bahwa nilai daya dukung tanah berbanding terbalik dengan jarak antar kolom. Semakin besar jarak antar kolom, maka nilai daya dukung menjadi semakin kecil. Dan sebaliknya, semakin dekat jarak antar kolom, nilai daya dukung semakin meningkat. Sedangkan, untuk variasi kedalaman kolom diperoleh bahwa nilai daya dukung tanah berbanding lurus dengan besarnya kedalaman kolom. Semakin besar kedalaman kolom, semakin besar pula nilai daya dukung yang didapatkan. Dan sebaliknya, semakin kecil kedalaman kolom maka nilai daya dukung juga semakin kecil. Dari variasi tersebut akan diketahui pula variasi manakah yang lebih dominan untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah. Selain itu juga, variasi jarak dan panjang kolom berpengaruh terhadap besarnya penurunan (*settlement*). Nilai *settlement* berbanding lurus dengan jarak antar kolom dan berbanding terbalik dengan kedalaman kolom. Nilai *settlement* akan semakin besar seiring bertambahnya jarak antar kolom, namun akan semakin kecil seiring bertambahnya kedalaman kolom.

Untuk mengetahui variasi manakah yang lebih berpengaruh untuk meningkatkan daya dukung tanah dapat dilihat dari perbandingan peningkatan nilai daya dukung pada **Tabel 4.12**. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap peningkatan nilai daya dukung.

**Tabel4.12** Perbandingan Peningkatan  $BCI_u$  pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom

Variasi Jarak		Peningkatan $BCI_u$		Variasi kedalaman		Peningkatan $BCI_u$	
Df	L			L	Df		
cm	cm	%	%	cm	cm	%	%
5	5	16,41	4,53	5	15	5,20	12,5
	6,25				10		
	7,5	5					
10	5	12,8	5,63	6,25	15	3,47	16,10
	6,25				10		
	7,5	5					
15	5	14,69	6,30	7,5	15	2,82	14,89
	6,25				10		
	7,5	5					

Sedangkan, untuk mengetahui variasi manakah yang lebih berpengaruh untuk menurunkan nilai penurunan (*settlement*) tanah, dapat dilihat dari perbandingan selisih nilai *settlement* pada masing-masing variasi pada **Tabel4.13**. Dari table tersebut dapat dilihat bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap penurunan nilai *settlement*.

**Tabel4.13** Perbandingan Penurunan Nilai *Settlement* pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom

Variasi Jarak		Selisih Penurunan		Variasi Panjang		Selisih Penurunan	
Df	L			L	Df		
cm	cm	mm	mm	cm	cm	mm	mm
5	7.5	0.1	0.2	5	5	1.2	0.6
	6.25				10		
	5	15					
10	7.5	0.1	0.9	6.25	5	0.1	0.6
	6.25				10		
	5	15					
15	7.5	0.1	0.3	7.5	5	0.1	1.3
	6.25				10		
	5	15					

#### 4.9. Pemeriksaan Pengembangan (*swelling*) Terhadap Prosentase Tanah Stabilisasi

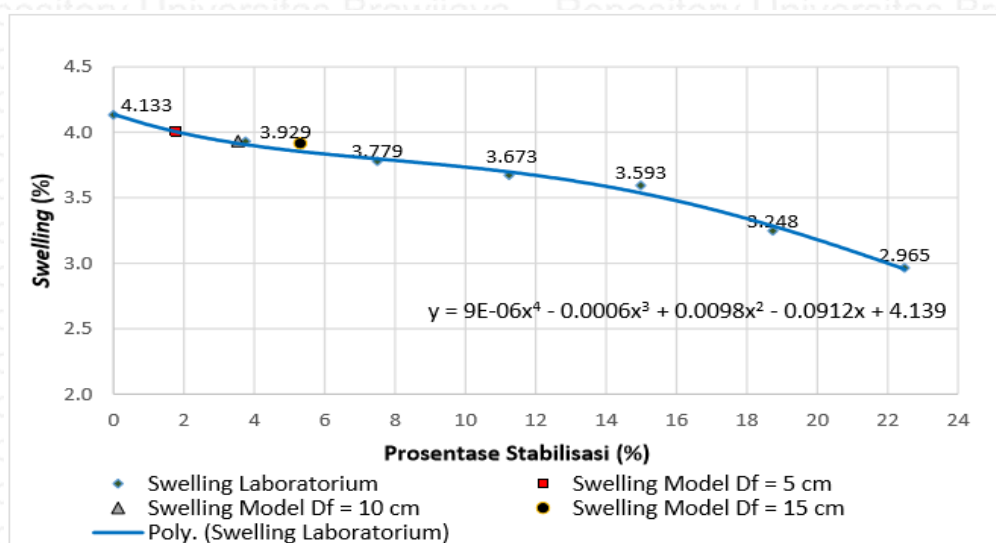
Pada data hasil penelitian yang dilakukan oleh (Meisy, 2015) mengenai pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi dengan metode deep soil mixing, maka pada penelitian ini pun bisa membandingkan terhadap hasil penelitian tersebut. Di mana penelitian tersebut mengidentifikasi jumlah kolom DSM yang berartiberhubungan dengan prosentase tanah stabilisasi yang digunakan akan mempengaruhi nilai pengembangan tanah lempung ekspansif Bojonegoro. Data hasil penelitian mengenai pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi disajikan pada **Tabel 4.14**.

**Tabel 4.14** Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi

Sampel	Variasi Jumlah Kolom	Volume Benda Uji	Volume Kolom	Persentase Stabilisasi	Pengembangan ( <i>Swelling</i> )
		(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)
Tanah Asli	-	2131,138	0	0	4,133
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	1		79,835	3,746	3,929
	2		159,669	7,492	3,779
	3		239,504	11,238	3,673
	4		319,338	14,984	3,593
	5		399,173	18,730	3,248
	6		479,007	22,477	2,965

Sumber: Meisy (2015)

Dari **Tabel 4.14** tersebut maka didapat pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi seperti pada **Gambar 4.20**.



**Gambar 4.20** Pengembangan tanah stabilisasi DSM berdasarkan jumlah kolom

Sumber: Meisy (2015)

Dari **Gambar 4.20** dapat diketahui bahwa semakin tinggi prosentase stabilisasi maka semakin kecil pengembangan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena pengikatan tanah dengan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi lebih besar prosentasenya. Kondisi ini membuat kadar air lebih banyak diserap oleh campuran tanah dengan *fly ash* sehingga penyerapan air oleh tanah asli semakin berkurang yang mengakibatkan pengembangan tanah menjadi berkurang.

Maka dari itu jika dibandingkan terhadap penelitian ini akan didapat perbandingan prosentase stabilisasi tanah yang distabilisasi dengan pengembangan. Tabel perbandingan prosentase tanah yang distabilisasi disajikan pada **Tabel 4.15**.

**Tabel 4.15** Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM

Df	L	Volume Kolom	Volume Benda Uji	Persentase Stabilisasi	Pengembangan (swelling)	Penurunan Swelling dari tanah Asli
(cm)	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)
5	5	490.87	4500.00	10.91	3.54	0.59
	6.25	349.25		7.76	3.74	0.39
	7.5	197.15		4.38	3.88	0.25
10	5	981.75		21.82	0.79	3.34
	6.25	698.50		15.52	2.89	1.24
	7.5	394.30		8.76	3.69	0.44
15	5	1472.62		32.72	0.00	4.13
	6.25	1047.75		23.28	0.02	4.11
	7.5	591.45		13.14	3.30	0.83

Dari **Tabel 4.15** tersebut dapat diketahui bahwa pada prosentase tanah yang distabilisasi metode DSM semakin dalam kolom stabilisasi maka akan semakin besar prosentase stabilisasi yang didapatkan. Dan prosentase stabilisasi terbesar didapatkan ketika jarak antar kolom semakin berdekatan, hal ini ditunjukkan pada saat kedalaman kolom (Df) 15cm dengan jarak antar kolom (L) 5cm maka didapat prosentase stabilitasi sebesar 32,72% dari tanah sebelum distabilisasi. Selain itu dapat pula diamati ketika volume kolom DSM semakin bertambah, maka semakin bertambah pula prosentase stabilisasi tanah yang didapatkan. Dan seiring meningkatnya prosentase stabilisasi tanah yang didapatkan, maka semakin menurun prosentase pengembangan (*swelling*) yang terjadi.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan pada penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi jarak dan kedalaman stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro dengan menggunakan metode *deep soil mixing* (DSM) tipe *triangular* diameter 5cm terhadap daya dukung tanah ,maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar jarak antar kolom DSM maka semakin kecil daya dukung yang dihasilkan.
2. Semakin besar kedalaman kolom DSM maka daya dukung yang dihasilkan semakin besar.
3. Semakin besar kedalaman suatu kolom DSM maka penurunan yang terjadi semakin kecil, walau dalam selisih yang tidak signifikan.
4. Semakin besar jarak kolom DSM maka penurunan yang terjadi semakin besar, walau dalam selisih yang tidak signifikan.
5. Daya dukung terbesar dihasilkan oleh kolom stabilisasi DSM terdapat pada jarak antar kolom terpendek dengan kedalaman kolom paling dalam.
6. Berdasarkan nilai BCI pada variasi jarak antar kolom (L) peningkatan prosentase daya dukung paling signifikan terletak pada jarak antar kolom terpendek, sementara pada jarak terjauh pengaruh peningkatan daya dukung menjadi kurang signifikan.
7. Berdasarkan nilai BCI pada variasi kedalaman kolom (Df) peningkatan prosentase daya dukung paling signifikan terletak pada kedalaman 1B dan 2B, sedangkan pada kedalaman 3B peningkatannya menjadi kurang signifikan.
8. Berdasarkan nilai prosentase stabilitasi tanah, menunjukkan bahwa semakin besar prosentase stabilitasi tanah yang terjadi, maka semakin kecil nilai pengembangan (*swelling*) yang didapatkan.
9. Pengembangan (*swelling*) terhenti pada saat prosentase stabilisasi tanah mencapai 23,28%.

## 5.2. Saran

Dari analisis dan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka muncul beberapa saran untuk pengembangan penelitian tentang stabilisasi tanah metode *Deep Soil Mix* lebih lanjut. Beberapa saran yang dapat kami berikan antara lain ialah sebagai berikut:

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan bahan aditif yang lebih bervariasi untuk mengetahui besarnya nilai daya dukung tanah yang didapatkan.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda selain tanah lempung ekspansif Bojonegoro.
3. Perlu dilakukan uji laboratorium sifat mekanis tanah untuk mendapatkan koefisien geser ( $C$ ) dan sudut geser ( $\phi$ ) tanah.



## DAFTAR PUSTAKA

Anshorie, Ahyal.2015. Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif Di Bojonegoro dengan Metode Deep Soil Mix Tipe Single Square Diameter 5Cm Terhadap Daya Dukung Tanah. *Skripsi* . Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

ASTMC 618-03.2003. *Standar Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined*

*Natural Pozzolan for Use in Concrete*. United States: 100 Barr Harbor Drive.

Bowles, Joseph E. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.

Chen, F.H. 1975. *Foundation on Expansive Soils*. New York : Elsevier Scientific Publishing Company.

Das, Braja M. 1991. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Euro Soil Stab. 2002. "Design Guide Soft Soil Stabilization". *Project No. BE96-3177*, Ministry of Transport Public Works and Management.

Ignat, Razvan, 2015. Two And Three Dimensional Analyses Of Excavation Support With Rows Of Dry Deep Mixing Columns. *Elsevier*. 66. 16-30.

Luqman, Arif. 2015. Pengaruh Variasi Jarak Dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Metode Deep Soil Mix Tipe Panels Diameter 2Cm Terhadap Daya Dukung Tanah. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.

Meisy, Ika. 2015. Pengaruh Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif Bojonegoro Dengan Stabilisasi Menggunakan 15% Fly Ash Dengan Metode Deep Soil Mix. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Muntohar, Agus Setyo. 2010. A Laboratory Test On The Strength And Load-Settlement Characteristic of Improved Soft Soil Using Lime Column. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*. 10. 202-207.

Nur J.O, Ailin., Hafez, M.A., & Norbaya, S. 2011. Study of Bearing Capacity of Lime-Cement Column with Pulverized Fuel Ash for Soil Stabilization Using Laboratory Model. *EJGE*. 16. 1596-1605.

Panjaitan, Surta Ria N. 2010. Pengaruh Pemeraman Terhadap Nilai CBR Tanah

Mengembang Yang Distabilisasi Dengan FlyAsh. Makalah dalam *Seminar Nasional* :

*Peran*

*Teknologi di Era Globalisasi*. Biro Publikasi Dan Dokumentasi Institut Teknologi Medan

Medan, 27 Februari 2010

Raja S. Madhyannapu, Ph.D., P.E.M.ASCE1. 2014. Design and Construction Guidelines for Deep Soil Mixing to Stabilize Expansive Soils. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 09.140.

Tobing, Benny C.L. Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% FlyAsh. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.





### Lampiran 1 Pemeriksaan *Ring Density*

Tabel Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Kering berdasarkan *Ring Density*

Lapisan Tanah	Kadar Air (%)	Berat Isi
Lapisan 1	27.97	1.375
Lapisan 2	28.15	1.366
Lapisan 3	28.42	1.383
Lapisan 4	28.30	1.389
<b>Rata - rata</b>	<b>28.21</b>	<b>1.378</b>

PEMERIKSAAN DENSITY RING TANAH													
Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	36.90	36.80	36.80	36.70	36.70	36.80	37.00	37.00	37.10	37.00	37.10	37.20
3. Mass of Wet Soil	gr	20.20	20.10	20.10	20.00	20.00	20.10	20.30	20.30	20.40	20.30	20.40	20.50
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.50	32.40	32.40	32.40	32.30	32.30	32.50	32.50	32.60	32.50	32.60	32.70
7. Mass of Dry Soil	gr	15.80	15.70	15.70	15.70	15.60	15.60	15.80	15.80	15.90	15.80	15.90	16.00
8. Mass of Water	gr	4.40	4.40	4.40	4.30	4.40	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
9. Water Content	%	27.85	28.03	28.03	27.39	28.21	28.85	28.48	28.48	28.30	28.48	28.30	28.13
10. Average of Water Content	%	27.97			28.15			28.42			28.30		
11. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.380	1.372	1.372	1.372	1.363	1.363	1.380	1.380	1.389	1.380	1.389	1.398
12. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.375			1.366			1.383			1.389		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.378</b>											

**PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 1**

Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	37.00	37.05	36.80	36.70	36.90	36.80	37.00	36.70	37.10	37.04	37.10	37.20
3. Mass of Wet Soil	gr	20.30	20.35	20.10	20.00	20.20	20.10	20.30	20.00	20.40	20.34	20.40	20.50
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.50	32.63	32.40	32.40	32.40	32.43	32.50	32.28	32.60	32.57	32.60	32.70
7. Mass of Dry Soil	gr	15.80	15.93	15.70	15.70	15.70	15.73	15.80	15.58	15.90	15.87	15.90	16.00
8. Mass of Water	gr	4.50	4.42	4.40	4.30	4.50	4.37	4.50	4.42	4.50	4.47	4.50	4.50
9. Water Content	%	28.48	27.75	28.03	27.39	28.66	27.78	28.48	28.37	28.30	28.17	28.30	28.13
10. Average of Water Content	%	28.08			27.94			28.38			28.20		
11. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.380	1.392	1.372	1.372	1.372	1.374	1.380	1.361	1.389	1.387	1.389	1.398
12. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.381			1.373			1.377			1.391		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.381</b>											

## PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 2

Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	36.98	37.03	37.10	38.00	37.80	35.98	36.00	37.00	37.05	30.00	30.00	30.10
3. Mass of Wet Soil	gr	20.28	20.33	20.40	21.30	21.10	19.28	19.30	20.30	20.35	13.30	13.30	13.40
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.46	32.56	32.64	26.60	26.80	26.60	26.70	26.40	26.60	26.50	26.80	26.60
7. Mass of Dry Soil	gr	15.76	15.86	15.94	16.68	16.60	15.14	15.16	15.97	15.95	10.45	10.42	10.43
8. Mass of Water	gr	4.52	4.47	4.46	4.62	4.50	4.14	4.14	4.33	4.40	2.85	2.88	2.97
9. Water Content	%	28.68	28.18	27.98	27.70	27.11	27.34	27.31	27.11	27.59	27.27	27.64	28.48
10. Average of Water Content	%	28.28			27.38			27.34			27.80		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.377	1.386	1.393	1.457	1.450	1.323	1.325	1.395	1.394	0.913	0.910	0.911
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.385			1.410			1.371			0.912		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.270</b>											

**PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 3**

Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	36.87	36.85	36.80	36.72	36.89	36.84	37.00	36.70	37.11	37.05	37.10	37.20
3. Mass of Wet Soil	gr	20.17	20.15	20.10	20.02	20.19	20.14	20.30	20.00	20.41	20.35	20.40	20.50
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.50	32.55	32.40	32.42	32.43	32.43	32.56	32.40	32.56	32.60	32.65	32.79
7. Mass of Dry Soil	gr	15.80	15.85	15.70	15.72	15.73	15.73	15.86	15.70	15.86	15.90	15.95	16.09
8. Mass of Water	gr	4.37	4.30	4.40	4.30	4.46	4.41	4.44	4.30	4.55	4.45	4.45	4.41
9. Water Content	%	27.66	27.13	28.03	27.35	28.35	28.04	27.99	27.39	28.69	27.99	27.90	27.41
10. Average of Water Content	%	27.60			27.91			28.02			27.77		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.380	1.385	1.372	1.373	1.374	1.374	1.386	1.372	1.386	1.389	1.394	1.406
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.379			1.374			1.381			1.396		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.383</b>											

## PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 4

Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	36.90	36.80	36.80	36.70	36.70	36.80	37.00	37.00	37.10	37.00	37.10	37.20
3. Mass of Wet Soil	gr	20.20	20.10	20.10	20.00	20.00	20.10	20.30	20.30	20.40	20.30	20.40	20.50
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.50	32.40	32.40	32.40	32.30	32.30	32.50	32.50	32.60	32.50	32.60	32.70
7. Mass of Dry Soil	gr	15.80	15.70	15.70	15.70	15.60	15.60	15.80	15.80	15.90	15.80	15.90	16.00
8. Mass of Water	gr	4.40	4.40	4.40	4.30	4.40	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
9. Water Content	%	27.85	28.03	28.03	27.39	28.21	28.85	28.48	28.48	28.30	28.48	28.30	28.13
10. Average of Water Content	%	27.97			28.15			28.42			28.30		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.380	1.372	1.372	1.372	1.363	1.363	1.380	1.380	1.389	1.380	1.389	1.398
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.375			1.366			1.383			1.389		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.378</b>											



**PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 5**

Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	37.01	36.80	37.00	36.70	36.78	36.80	36.78	36.88	37.10	37.10	37.11	37.20
3. Mass of Wet Soil	gr	20.31	20.10	20.30	20.00	20.08	20.10	20.08	20.18	20.40	20.40	20.41	20.50
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.52	32.40	32.46	32.41	32.40	32.30	32.50	32.60	32.60	32.66	32.70	32.81
7. Mass of Dry Soil	gr	15.82	15.70	15.76	15.71	15.70	15.60	15.80	15.90	15.90	15.96	16.00	16.11
8. Mass of Water	gr	4.49	4.40	4.54	4.29	4.38	4.50	4.28	4.28	4.50	4.44	4.41	4.39
9. Water Content	%	28.38	28.03	28.81	27.31	27.90	28.85	27.09	26.92	28.30	27.82	27.56	27.25
10. Average of Water Content	%	28.40			28.02			27.44			27.54		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.382	1.372	1.377	1.373	1.372	1.363	1.380	1.389	1.389	1.394	1.398	1.408
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.377			1.369			1.386			1.400		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.383</b>											

**PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 6**

Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	36.73	36.79	37.00	36.73	36.78	36.80	36.78	36.90	37.10	37.10	37.11	37.09
3. Mass of Wet Soil	gr	20.03	20.09	20.30	20.03	20.08	20.10	20.08	20.20	20.40	20.40	20.41	20.39
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.47	32.40	32.50	32.44	32.45	32.35	32.50	32.59	32.59	32.57	32.57	32.57
7. Mass of Dry Soil	gr	15.77	15.70	15.80	15.74	15.75	15.65	15.80	15.89	15.89	15.87	15.87	15.87
8. Mass of Water	gr	4.26	4.39	4.50	4.29	4.33	4.45	4.28	4.31	4.51	4.53	4.54	4.52
9. Water Content	%	27.01	27.96	28.48	27.26	27.49	28.43	27.09	27.12	28.38	28.54	28.61	28.48
10. Average of Water Content	%	27.82			27.73			27.53			28.54		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.378	1.372	1.380	1.375	1.376	1.367	1.380	1.388	1.388	1.387	1.387	1.387
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.377			1.373			1.386			1.387		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.380</b>											

**PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 7**

<b>Lapisan Tanah Dasar</b>		<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>			<b>4</b>		
<b>Ring No.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	36.75	36.77	37.00	36.80	36.82	36.87	36.78	36.86	37.10	37.10	37.10	37.09
3. Mass of Wet Soil	gr	20.05	20.07	20.30	20.10	20.12	20.17	20.08	20.16	20.40	20.40	20.40	20.39
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.43	32.39	32.58	32.44	32.45	32.35	32.50	32.48	32.59	32.60	32.67	32.67
7. Mass of Dry Soil	gr	15.73	15.69	15.88	15.74	15.75	15.65	15.80	15.78	15.89	15.90	15.97	15.97
8. Mass of Water	gr	4.32	4.38	4.42	4.36	4.37	4.52	4.28	4.38	4.51	4.50	4.43	4.42
9. Water Content	%	27.46	27.92	27.83	27.70	27.75	28.88	27.09	27.76	28.38	28.30	27.74	27.68
10. Average of Water Content	%	27.74			28.11			27.74			27.91		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.374	1.371	1.387	1.375	1.376	1.367	1.380	1.379	1.388	1.389	1.395	1.395
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.378			1.373			1.383			1.393		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.382</b>											

**PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 8**

Lapisan Tanah Dasar		1			2			3			4		
Ring No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	36.80	36.79	37.00	36.80	36.85	36.87	37.00	36.86	36.88	37.00	36.88	37.09
3. Mass of Wet Soil	gr	20.10	20.09	20.30	20.10	20.15	20.17	20.30	20.16	20.18	20.30	20.18	20.39
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.40	32.39	32.47	32.50	32.50	32.50	32.50	32.48	32.59	32.60	32.70	32.73
7. Mass of Dry Soil	gr	15.70	15.69	15.77	15.80	15.80	15.80	15.80	15.78	15.89	15.90	16.00	16.03
8. Mass of Water	gr	4.40	4.40	4.53	4.30	4.35	4.37	4.50	4.38	4.29	4.40	4.18	4.36
9. Water Content	%	28.03	28.04	28.73	27.22	27.53	27.66	28.48	27.76	27.00	27.67	26.13	27.20
10. Average of Water Content	%	28.26			27.47			27.75			27.00		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.372	1.371	1.378	1.380	1.380	1.380	1.380	1.379	1.388	1.389	1.398	1.401
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.373			1.380			1.383			1.396		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.383</b>											

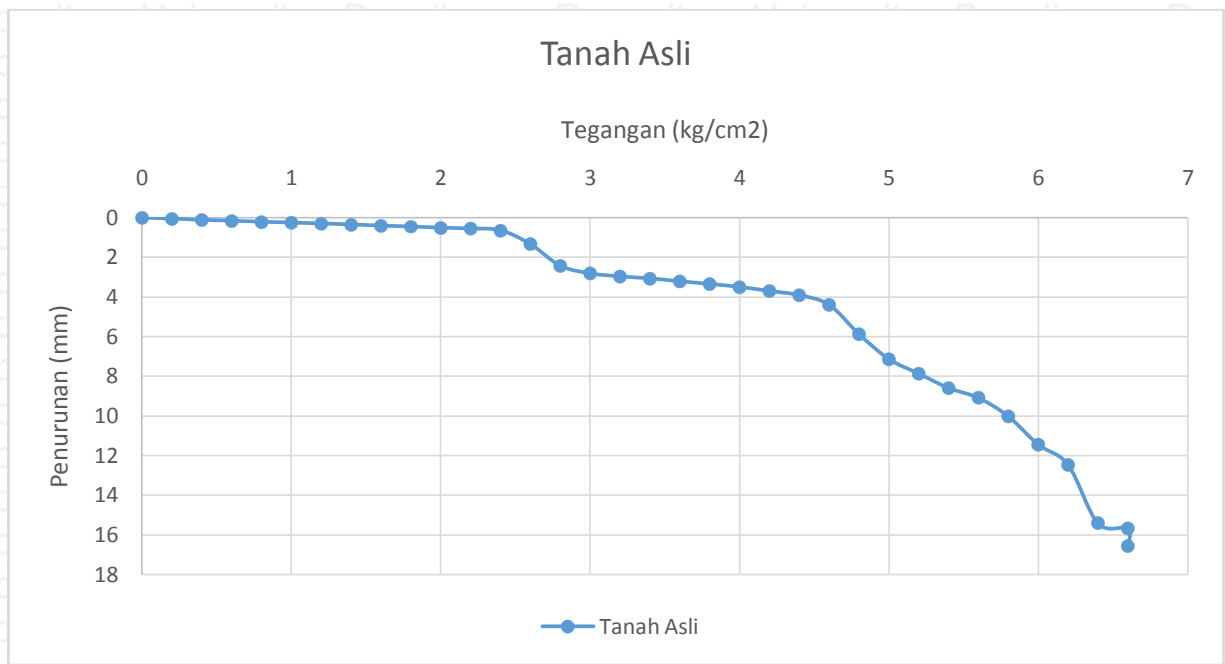
**PEMERIKSAAN DENSITY RING BENDA UJI 9**

<b>Lapisan Tanah Dasar</b>		<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>			<b>4</b>		
<b>Ring No.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Height of Ring	cm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Diameter of Ring	cm	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
1. Mass of Ring	gr	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70	16.70
2. Mass of Wet Soil + Ring	gr	37.02	36.77	36.75	36.80	36.82	36.88	36.86	36.88	37.05	36.88	36.88	37.00
3. Mass of Wet Soil	gr	20.32	20.07	20.05	20.10	20.12	20.18	20.16	20.18	20.35	20.18	20.18	20.30
4. Volume of Soil	cm <sup>3</sup>	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45	11.45
6. Mass of Dry Soil + Ring	gr	32.59	32.39	32.47	32.44	32.45	32.35	32.50	32.48	32.58	32.36	32.46	32.46
7. Mass of Dry Soil	gr	15.89	15.69	15.77	15.74	15.75	15.65	15.80	15.78	15.88	15.66	15.76	15.76
8. Mass of Water	gr	4.43	4.38	4.28	4.36	4.37	4.53	4.36	4.40	4.47	4.52	4.42	4.54
9. Water Content	%	27.88	27.92	27.14	27.70	27.75	28.95	27.59	27.88	28.15	28.86	28.05	28.81
10. Average of Water Content	%	27.65			28.13			27.88			28.57		
10. Dry Density of Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.388	1.371	1.378	1.375	1.376	1.367	1.380	1.379	1.387	1.368	1.377	1.377
11. Average of $\gamma_d$ per layer	gr/cm <sup>3</sup>	1.379			1.373			1.382			1.374		
<b>Average of <math>\gamma_d</math> Total</b>	gr/cm <sup>3</sup>	<b>1.377</b>											

## Lampiran 2 Hasil Uji Pembebanan

### Tabel Uji Pembebanan Tanah Asli

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( <i>s</i> )	Beban ( <i>P</i> )	Luas Pelat ( <i>A</i> )	Daya Dukung ( <i>q</i> )
		mm	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	<i>P</i>	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
52.44	0	0	0	25	0
52.35	9	0.045	5	25	0.2
52.22	22	0.11	10	25	0.4
52.14	30	0.15	15	25	0.6
52.03	41	0.205	20	25	0.8
51.95	49	0.245	25	25	1
51.86	58	0.29	30	25	1.2
51.76	68	0.34	35	25	1.4
51.64	80	0.4	40	25	1.6
51.55	89	0.445	45	25	1.8
51.43	101	0.505	50	25	2
51.35	109	0.545	55	25	2.2
51.17	127	0.635	60	25	2.4
49.79	265	1.325	65	25	2.6
47.6	484	2.42	70	25	2.8
46.83	561	2.805	75	25	3
46.52	592	2.96	80	25	3.2
46.32	612	3.06	85	25	3.4
46.03	641	3.205	90	25	3.6
45.76	668	3.34	95	25	3.8
45.46	698	3.49	100	25	4
45.05	739	3.695	105	25	4.2
44.63	781	3.905	110	25	4.4
43.66	878	4.39	115	25	4.6
40.7	1174	5.87	120	25	4.8
38.18	1426	7.13	125	25	5
36.72	1572	7.86	130	25	5.2
35.26	1718	8.59	135	25	5.4
34.26	1818	9.09	140	25	5.6
32.4	2004	10.02	145	25	5.8
29.55	2289	11.445	150	25	6
27.5	2494	12.47	155	25	6.2
21.6	3084	15.42	160	25	6.4
21.1	3134	15.67	165	25	6.6
19.3	3314	16.57	165	25	6.6



Grafik Tegangan-Penurunan Tanah Asli

### Hasil Uji Beban (*Load Test*) Tanah Stabilisasi DSM

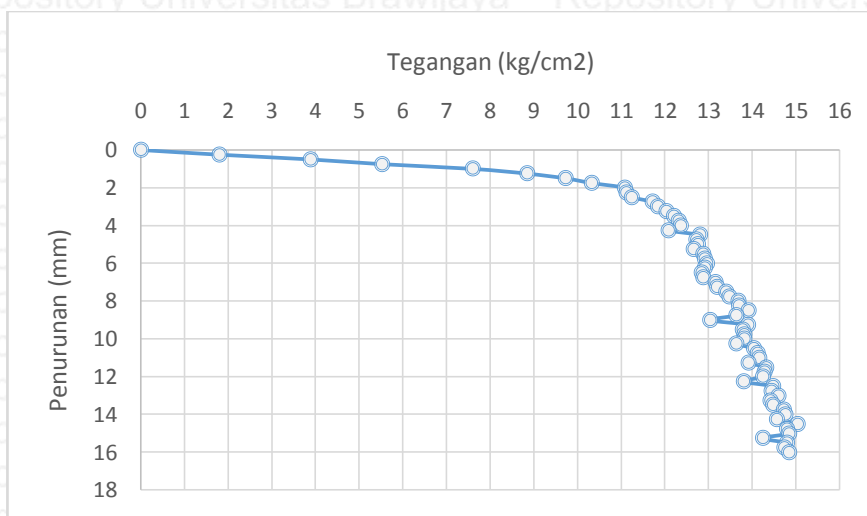
Variasi 1: L = 5 cm ; Df = 5cm

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( <i>s</i> )	Beban ( <i>P</i> )	Luas Pelat ( <i>A</i> )	Daya Dukung ( <i>q</i> )
		mm	kg	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	<i>P</i>	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
53.85	0	0	0	25	0
53.35	50	0.25	45	25	1.8
52.85	100	0.5	97	25	3.88
52.35	150	0.75	138	25	5.52
51.85	200	1	190	25	7.6
51.35	250	1.25	221	25	8.84
50.85	300	1.5	243	25	9.72
50.35	350	1.75	258	25	10.32
49.85	400	2	277	25	11.08
49.35	450	2.25	278	25	11.12
48.85	500	2.5	281	25	11.24
48.35	550	2.75	293	25	11.72
47.85	600	3	296	25	11.84
47.35	650	3.25	301	25	12.04
46.85	700	3.5	305	25	12.2
46.35	750	3.75	308	25	12.32
45.85	800	4	309	25	12.36
45.35	850	4.25	302	25	12.08
44.85	900	4.5	320	25	12.8
44.35	950	4.75	318	25	12.72
43.85	1000	5	319	25	12.76
43.35	1050	5.25	316.5	25	12.66
42.85	1100	5.5	322	25	12.88
42.35	1150	5.75	323	25	12.92
41.85	1200	6	324	25	12.96
41.35	1250	6.25	323	25	12.92
40.85	1300	6.5	321	25	12.84
40.35	1350	6.75	322	25	12.88
39.85	1400	7	329	25	13.16
39.35	1450	7.25	330	25	13.2
38.85	1500	7.5	335	25	13.4
38.35	1550	7.75	337	25	13.48
37.85	1600	8	342	25	13.68
37.35	1650	8.25	342.5	25	13.7
36.85	1700	8.5	348	25	13.92
36.35	1750	8.75	341	25	13.64
35.85	1800	9	326	25	13.04



35.35	1850	9.25	347.5	25	13.9
34.85	1900	9.5	344.5	25	13.78
34.35	1950	9.75	345.5	25	13.82
33.85	2000	10	345.5	25	13.82
33.35	2050	10.25	341	25	13.64
32.85	2100	10.5	351	25	14.04
32.35	2150	10.75	353	25	14.12
31.85	2200	11	354	25	14.16
31.35	2250	11.25	348	25	13.92
30.85	2300	11.5	358	25	14.32
30.35	2350	11.75	357	25	14.28
29.85	2400	12	356	25	14.24
29.35	2450	12.25	345	25	13.8
28.85	2500	12.5	362	25	14.48
28.35	2550	12.75	361	25	14.44
27.85	2600	13	365	25	14.6
27.35	2650	13.25	360.5	25	14.42
26.85	2700	13.5	362	25	14.48
26.35	2750	13.75	368	25	14.72
25.85	2800	14	369	25	14.76
25.35	2850	14.25	364	25	14.56
24.85	2900	14.5	376	25	15.04
24.35	2950	14.75	370	25	14.8
23.85	3000	15	371	25	14.84
23.35	3050	15.25	356	25	14.24
22.85	3100	15.5	370	25	14.8
22.35	3150	15.75	368.5	25	14.74
21.85	3200	16	371	25	14.84



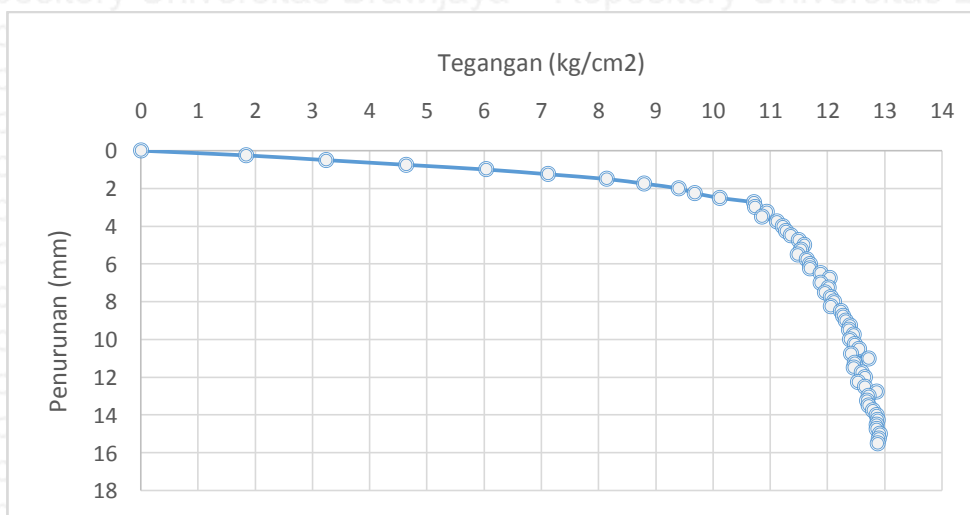
Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1(L = 5 cm ; Df = 5cm)

Variasi 2:  $L = 6,25\text{cm}$  ;  $D_f = 5\text{cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg}/\text{cm}^2$
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
53.78	0	0	0	25	0
53.28	50	0.25	46	25	1.84
52.78	100	0.5	81	25	3.24
52.28	150	0.75	116	25	4.64
51.78	200	1	151	25	6.04
51.28	250	1.25	178	25	7.12
50.78	300	1.5	203.5	25	8.14
50.28	350	1.75	220	25	8.8
49.78	400	2	235	25	9.4
49.28	450	2.25	242	25	9.68
48.78	500	2.5	253	25	10.12
48.28	550	2.75	268	25	10.72
47.78	600	3	268.5	25	10.74
47.28	650	3.25	273.5	25	10.94
46.78	700	3.5	271.5	25	10.86
46.28	750	3.75	278	25	11.12
45.78	800	4	280.5	25	11.22
45.28	850	4.25	282	25	11.28
44.78	900	4.5	284	25	11.36
44.28	950	4.75	287.5	25	11.5
43.78	1000	5	290	25	11.6
43.28	1050	5.25	288.5	25	11.54
42.78	1100	5.5	287	25	11.48
42.28	1150	5.75	291	25	11.64
41.78	1200	6	292.5	25	11.7
41.28	1250	6.25	292.5	25	11.7
40.78	1300	6.5	297	25	11.88
40.28	1350	6.75	301	25	12.04
39.78	1400	7	297	25	11.88
39.28	1450	7.25	300.5	25	12.02
38.78	1500	7.5	299	25	11.96
38.28	1550	7.75	301.5	25	12.06
37.78	1600	8	303	25	12.12
37.28	1650	8.25	301.5	25	12.06
36.78	1700	8.5	306	25	12.24
36.28	1750	8.75	307	25	12.28
35.78	1800	9	308	25	12.32
35.28	1850	9.25	310	25	12.4

34.78	1900	9.5	309.5	25	12.38
34.28	1950	9.75	311.5	25	12.46
33.78	2000	10	310	25	12.4
33.28	2050	10.25	312	25	12.48
32.78	2100	10.5	314	25	12.56
32.28	2150	10.75	310.5	25	12.42
31.78	2200	11	318	25	12.72
31.28	2250	11.25	312	25	12.48
30.78	2300	11.5	311.5	25	12.46
30.28	2350	11.75	315	25	12.6
29.78	2400	12	316.5	25	12.66
29.28	2450	12.25	313.5	25	12.54
28.78	2500	12.5	316.5	25	12.66
28.28	2550	12.75	321.5	25	12.86
27.78	2600	13	318	25	12.72
27.28	2650	13.25	317.5	25	12.7
26.78	2700	13.5	318	25	12.72
26.28	2750	13.75	320	25	12.8
25.78	2800	14	321.5	25	12.86
25.28	2850	14.25	322	25	12.88
24.78	2900	14.5	321.5	25	12.86
24.28	2950	14.75	321.5	25	12.86
23.78	3000	15	323	25	12.92
23.28	3050	15.25	322.5	25	12.9
22.78	3100	15.5	322	25	12.88



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1(L = 6,25cm ; Df = 5cm)

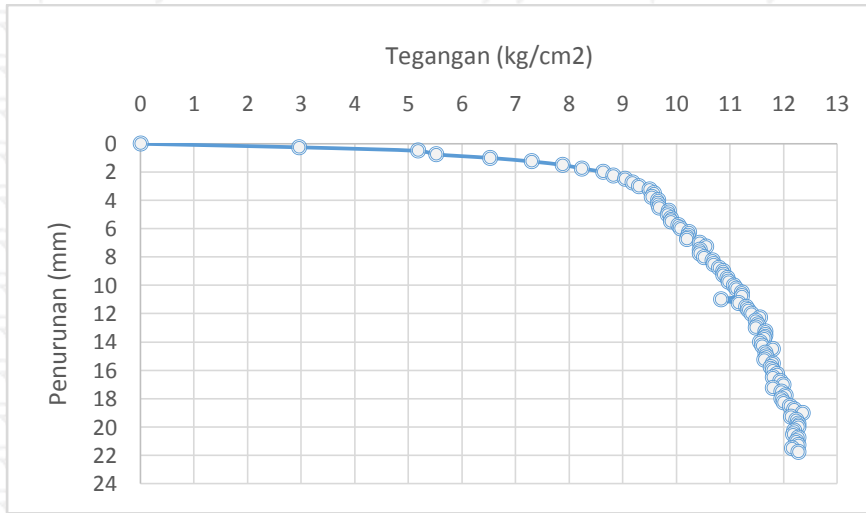
Variasi 3:  $L = 7,5 \text{ cm}$  ;  $D_f = 5 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg}/\text{cm}^2$
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
53.52	0	0	0	25	0
53.02	50	0.25	74	25	2.96
52.52	100	0.5	129.5	25	5.18
52.02	150	0.75	138	25	5.52
51.52	200	1	163	25	6.52
51.02	250	1.25	182.5	25	7.3
50.52	300	1.5	197	25	7.88
50.02	350	1.75	206	25	8.24
49.52	400	2	216	25	8.64
49.02	450	2.25	220.5	25	8.82
48.52	500	2.5	226	25	9.04
48.02	550	2.75	229.5	25	9.18
47.52	600	3	232.5	25	9.3
47.02	650	3.25	237.5	25	9.5
46.52	700	3.5	239.5	25	9.58
46.02	750	3.75	238.5	25	9.54
45.52	800	4	241.5	25	9.66
45.02	850	4.25	241.5	25	9.66
44.52	900	4.5	242	25	9.68
44.02	950	4.75	246.5	25	9.86
43.52	1000	5	246	25	9.84
43.02	1050	5.25	247.5	25	9.9
42.52	1100	5.5	247.5	25	9.9
42.02	1150	5.75	251	25	10.04
41.52	1200	6	252	25	10.08
41.02	1250	6.25	256	25	10.24
40.52	1300	6.5	255.5	25	10.22
40.02	1350	6.75	255	25	10.2
39.52	1400	7	261	25	10.44
39.02	1450	7.25	264	25	10.56
38.52	1500	7.5	261	25	10.44
38.02	1550	7.75	261	25	10.44
37.52	1600	8	263	25	10.52
37.02	1650	8.25	267	25	10.68
36.52	1700	8.5	267.5	25	10.7
36.02	1750	8.75	270	25	10.8
35.52	1800	9	272	25	10.88
35.02	1850	9.25	272	25	10.88

34.52	1900	9.5	274	25	10.96
34.02	1950	9.75	274.5	25	10.98
33.52	2000	10	277	25	11.08
33.02	2050	10.25	278	25	11.12
32.52	2100	10.5	280.5	25	11.22
32.02	2150	10.75	280.5	25	11.22
31.52	2200	11	271	25	10.84
31.02	2250	11.25	279	25	11.16
30.52	2300	11.5	282.5	25	11.3
30.02	2350	11.75	283.5	25	11.34
29.52	2400	12	285	25	11.4
29.02	2450	12.25	289	25	11.56
28.52	2500	12.5	287	25	11.48
28.02	2550	12.75	288	25	11.52
27.52	2600	13	287	25	11.48
27.02	2650	13.25	291.5	25	11.66
26.52	2700	13.5	291.5	25	11.66
26.02	2750	13.75	291	25	11.64
25.52	2800	14	289	25	11.56
25.02	2850	14.25	290	25	11.6
24.52	2900	14.5	295	25	11.8
24.02	2950	14.75	291.5	25	11.66
23.52	3000	15	292	25	11.68
23.02	3050	15.25	291	25	11.64
22.52	3100	15.5	295	25	11.8
22.02	3150	15.75	294	25	11.76
21.52	3200	16	295	25	11.8
21.02	3250	16.25	297	25	11.88
20.52	3300	16.5	295	25	11.8
20.02	3350	16.75	298.5	25	11.94
19.52	3400	17	300	25	12
19.02	3450	17.25	295	25	11.8
18.52	3500	17.5	299	25	11.96
18.02	3550	17.75	301	25	12.04
17.52	3600	18	299	25	11.96
17.02	3650	18.25	300	25	12
16.52	3700	18.5	303	25	12.12
16.02	3750	18.75	305	25	12.2
15.52	3800	19	309	25	12.36
15.02	3850	19.25	303.5	25	12.14
14.52	3900	19.5	306	25	12.24
14.02	3950	19.75	307	25	12.28
13.52	4000	20	307	25	12.28
13.02	4050	20.25	305	25	12.2
12.52	4100	20.5	304.5	25	12.18

12.02	4150	20.75	307	25	12.28
11.52	4200	21	306	25	12.24
11.02	4250	21.25	307	25	12.28
10.52	4300	21.5	304	25	12.16
10.02	4350	21.75	307	25	12.28



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1 ( $L = 7,5 \text{ cm}$  ;  $D_f = 5 \text{ cm}$ )

Variasi 4:  $L = 5\text{cm}$  ;  $D_f = 10\text{cm}$

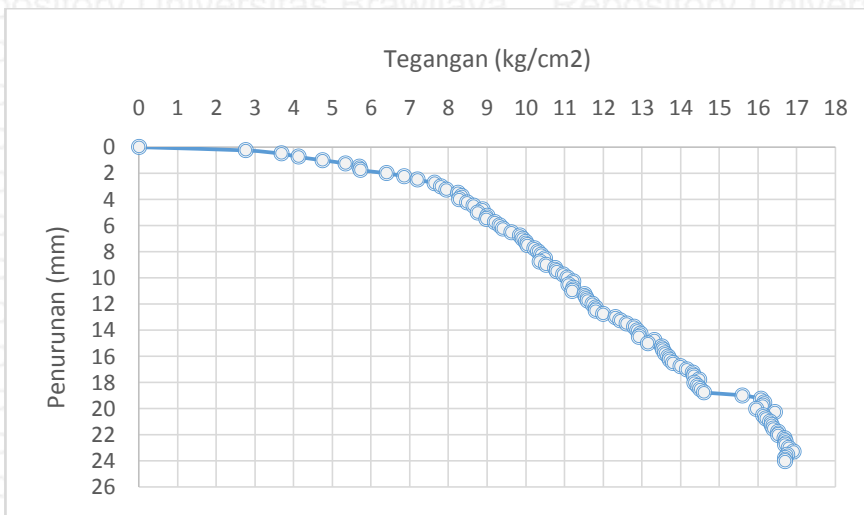
Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg}/\text{cm}^2$
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
53.6	0	0	0	25	0
53.1	50	0.25	69	25	2.76
52.6	100	0.5	92	25	3.68
52.1	150	0.75	103	25	4.12
51.6	200	1	118.5	25	4.74
51.1	250	1.25	133.5	25	5.34
50.6	300	1.5	142.5	25	5.7
50.1	350	1.75	143	25	5.72
49.6	400	2	160	25	6.4
49.1	450	2.25	171.5	25	6.86
48.6	500	2.5	180	25	7.2
48.1	550	2.75	191	25	7.64
47.6	600	3	195	25	7.8
47.1	650	3.25	198.5	25	7.94
46.6	700	3.5	206	25	8.24
46.1	750	3.75	208.5	25	8.34
45.6	800	4	207	25	8.28
45.1	850	4.25	212	25	8.48
44.6	900	4.5	216	25	8.64
44.1	950	4.75	222	25	8.88
43.6	1000	5	219	25	8.76
43.1	1050	5.25	225	25	9
42.6	1100	5.5	224.5	25	8.98
42.1	1150	5.75	230	25	9.2
41.6	1200	6	233	25	9.32
41.1	1250	6.25	235	25	9.4
40.6	1300	6.5	240.5	25	9.62
40.1	1350	6.75	246	25	9.84
39.6	1400	7	248	25	9.92
39.1	1450	7.25	250	25	10
38.6	1500	7.5	251	25	10.04
38.1	1550	7.75	255.5	25	10.22
37.6	1600	8	258	25	10.32
37.1	1650	8.25	260	25	10.4
36.6	1700	8.5	262.5	25	10.5
36.1	1750	8.75	259	25	10.36
35.6	1800	9	263	25	10.52
35.1	1850	9.25	269	25	10.76

34.6	1900	9.5	270	25	10.8
34.1	1950	9.75	274	25	10.96
33.6	2000	10	277	25	11.08
33.1	2050	10.25	280.5	25	11.22
32.6	2100	10.5	277.5	25	11.1
32.1	2150	10.75	280.5	25	11.22
31.6	2200	11	280	25	11.2
31.1	2250	11.25	288	25	11.52
30.6	2300	11.5	289	25	11.56
30.1	2350	11.75	290	25	11.6
29.6	2400	12	293	25	11.72
29.1	2450	12.25	295	25	11.8
28.6	2500	12.5	295	25	11.8
28.1	2550	12.75	300	25	12
27.6	2600	13	308	25	12.32
27.1	2650	13.25	311	25	12.44
26.6	2700	13.5	315	25	12.6
26.1	2750	13.75	320	25	12.8
25.6	2800	14	322	25	12.88
25.1	2850	14.25	324	25	12.96
24.6	2900	14.5	323	25	12.92
24.1	2950	14.75	333	25	13.32
23.6	3000	15	329	25	13.16
23.1	3050	15.25	338	25	13.52
22.6	3100	15.5	338.5	25	13.54
22.1	3150	15.75	340	25	13.6
21.6	3200	16	342	25	13.68
21.1	3250	16.25	343	25	13.72
20.6	3300	16.5	345	25	13.8
20.1	3350	16.75	350	25	14
19.6	3400	17	354	25	14.16
19.1	3450	17.25	358	25	14.32
18.6	3500	17.5	358.5	25	14.34
18.1	3550	17.75	362	25	14.48
17.6	3600	18	359	25	14.36
17.1	3650	18.25	361	25	14.44
16.6	3700	18.5	362.5	25	14.5
16.1	3750	18.75	365	25	14.6
15.6	3800	19	390	25	15.6
15.1	3850	19.25	402	25	16.08
14.6	3900	19.5	404	25	16.16
14.1	3950	19.75	403	25	16.12
13.6	4000	20	399	25	15.96
13.1	4050	20.25	411	25	16.44
12.6	4100	20.5	403.5	25	16.14



12.1	4150	20.75	405	25	16.2
11.6	4200	21	408	25	16.32
11.1	4250	21.25	409	25	16.36
10.6	4300	21.5	410	25	16.4
10.1	4350	21.75	413	25	16.52
9.6	4400	22	413	25	16.52
9.1	4450	22.25	417	25	16.68
8.6	4500	22.5	418	25	16.72
8.1	4550	22.75	417.5	25	16.7
7.6	4600	23	420	25	16.8
7.1	4650	23.25	423	25	16.92
6.6	4700	23.5	419	25	16.76
6.1	4750	23.75	417.5	25	16.7
5.6	4800	24	417.5	25	16.7



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1 (L = 5cm ; Df = 10cm)

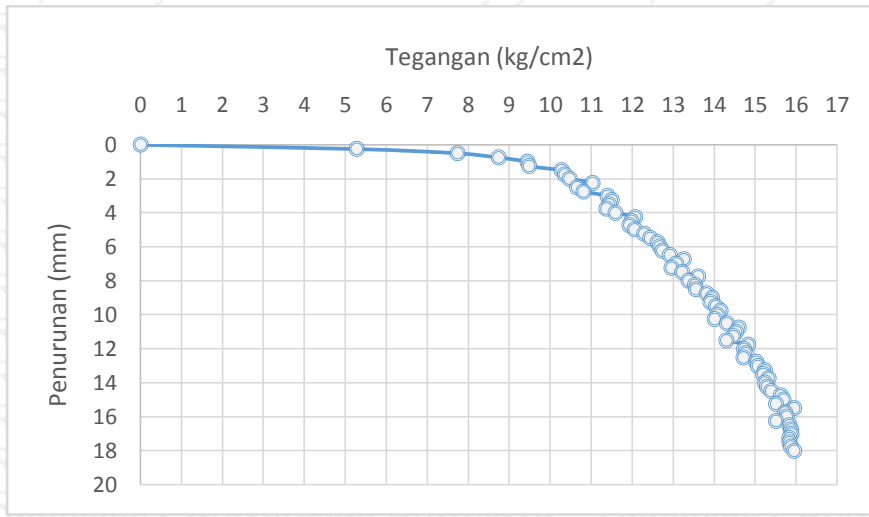


Variasi 5:  $L = 6,25 \text{ cm}$  ;  $D_f = 10 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg/cm}^2$
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
52.08	0	0	0	25	0
51.58	50	0.25	75	25	3
51.08	100	0.5	98	25	3.92
50.58	150	0.75	132	25	5.28
50.08	200	1	144	25	5.76
49.58	250	1.25	160	25	6.4
49.08	300	1.5	185	25	7.4
48.58	350	1.75	215	25	8.6
48.08	400	2	233	25	9.32
47.58	450	2.25	256	25	10.24
47.08	500	2.5	266.5	25	10.66
46.58	550	2.75	270.5	25	10.82
46.08	600	3	285	25	11.4
45.58	650	3.25	287.5	25	11.5
45.08	700	3.5	286	25	11.44
44.58	750	3.75	284.5	25	11.38
44.08	800	4	290	25	11.6
43.58	850	4.25	302	25	12.08
43.08	900	4.5	299.5	25	11.98
42.58	950	4.75	298.5	25	11.94
42.08	1000	5	301.5	25	12.06
41.58	1050	5.25	307.5	25	12.3
41.08	1100	5.5	311	25	12.44
40.58	1150	5.75	315.5	25	12.62
40.08	1200	6	317	25	12.68
39.58	1250	6.25	318.5	25	12.74
39.08	1300	6.5	323	25	12.92
38.58	1350	6.75	331.5	25	13.26
38.08	1400	7	327	25	13.08
37.58	1450	7.25	324	25	12.96
37.08	1500	7.5	330.5	25	13.22
36.58	1550	7.75	340.5	25	13.62
36.08	1600	8	334.5	25	13.38
35.58	1650	8.25	338.5	25	13.54
35.08	1700	8.5	339	25	13.56
34.58	1750	8.75	345.5	25	13.82
34.08	1800	9	349	25	13.96
33.58	1850	9.25	348	25	13.92

33.08	1900	9.5	351	25	14.04
32.58	1950	9.75	354	25	14.16
32.08	2000	10	352	25	14.08
31.58	2050	10.25	350.5	25	14.02
31.08	2100	10.5	358	25	14.32
30.58	2150	10.75	365	25	14.6
30.08	2200	11	363.5	25	14.54
29.58	2250	11.25	362	25	14.48
29.08	2300	11.5	365	25	14.6
28.58	2350	11.75	371	25	14.84
28.08	2400	12	368.5	25	14.74
27.58	2450	12.25	369.5	25	14.78
27.08	2500	12.5	368	25	14.72
26.58	2550	12.75	374	25	14.96
26.08	2600	13	370	25	14.8
25.58	2650	13.25	371	25	14.84
25.08	2700	13.5	365	25	14.6
24.58	2750	13.75	367.5	25	14.7
24.08	2800	14	369	25	14.76
23.58	2850	14.25	370	25	14.8
23.08	2900	14.5	371	25	14.84
22.58	2950	14.75	372.5	25	14.9
22.08	3000	15	373	25	14.92
21.58	3050	15.25	374	25	14.96
21.08	3100	15.5	375	25	15
20.58	3150	15.75	375	25	15
20.08	3200	16	375	25	15
19.58	3250	16.25	370	25	14.8
19.08	3300	16.5	371	25	14.84
18.58	3350	16.75	368.5	25	14.74
18.08	3400	17	365.5	25	14.62
17.58	3450	17.25	363	25	14.52
17.08	3500	17.5	364	25	14.56
16.58	3550	17.75	360	25	14.4
16.08	3600	18	361	25	14.44



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1 (L = 6,25 cm ; Df = 10cm)



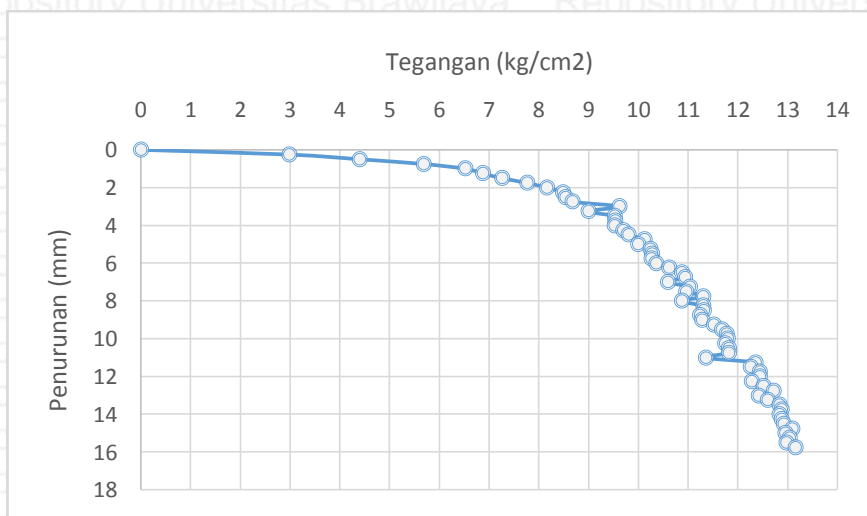
Variasi 5:  $L = 7,5 \text{ cm}$  ;  $D_f = 10 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg/cm}^2$
$A$	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
54.04	0	0	0	25	0
53.54	50	0.25	74.5	25	2.98
53.04	100	0.5	110	25	4.4
52.54	150	0.75	142	25	5.68
52.04	200	1	163	25	6.52
51.54	250	1.25	172	25	6.88
51.04	300	1.5	181.5	25	7.26
50.54	350	1.75	194	25	7.76
50.04	400	2	204	25	8.16
49.54	450	2.25	212	25	8.48
49.04	500	2.5	213.5	25	8.54
48.54	550	2.75	217	25	8.68
48.04	600	3	240.5	25	9.62
47.54	650	3.25	225	25	9
47.04	700	3.5	238	25	9.52
46.54	750	3.75	238.5	25	9.54
46.04	800	4	238	25	9.52
45.54	850	4.25	242.5	25	9.7
45.04	900	4.5	245	25	9.8
44.54	950	4.75	253	25	10.12
44.04	1000	5	250	25	10
43.54	1050	5.25	256	25	10.24
43.04	1100	5.5	257	25	10.28
42.54	1150	5.75	256.5	25	10.26
42.04	1200	6	259	25	10.36
41.54	1250	6.25	265.5	25	10.62
41.04	1300	6.5	272	25	10.88
40.54	1350	6.75	273.5	25	10.94
40.04	1400	7	265	25	10.6
39.54	1450	7.25	276	25	11.04
39.04	1500	7.5	274	25	10.96
38.54	1550	7.75	282.5	25	11.3
38.04	1600	8	272	25	10.88
37.54	1650	8.25	282.5	25	11.3
37.04	1700	8.5	283	25	11.32
36.54	1750	8.75	281	25	11.24
36.04	1800	9	282	25	11.28
35.54	1850	9.25	288	25	11.52

35.04	1900	9.5	292	25	11.68
34.54	1950	9.75	294.5	25	11.78
34.04	2000	10	295	25	11.8
33.54	2050	10.25	293.5	25	11.74
33.04	2100	10.5	295.5	25	11.82
32.54	2150	10.75	295.5	25	11.82
32.04	2200	11	284	25	11.36
31.54	2250	11.25	309	25	12.36
31.04	2300	11.5	306.5	25	12.26
30.54	2350	11.75	311	25	12.44
30.04	2400	12	311	25	12.44
29.54	2450	12.25	307	25	12.28
29.04	2500	12.5	313	25	12.52
28.54	2550	12.75	318	25	12.72
28.04	2600	13	310.5	25	12.42
27.54	2650	13.25	315	25	12.6
27.04	2700	13.5	321	25	12.84
26.54	2750	13.75	322	25	12.88
26.04	2800	14	321	25	12.84
25.54	2850	14.25	322	25	12.88
25.04	2900	14.5	323	25	12.92
24.54	2950	14.75	327.5	25	13.1
24.04	3000	15	324	25	12.96
23.54	3050	15.25	326	25	13.04
23.04	3100	15.5	324.5	25	12.98
22.54	3150	15.75	329	25	13.16
22.04	3200	16	330	25	13.2
21.54	3250	16.25	327.5	25	13.1
21.04	3300	16.5	322	25	12.88
20.54	3350	16.75	334	25	13.36
20.04	3400	17	334	25	13.36
19.54	3450	17.25	332	25	13.28
19.04	3500	17.5	341	25	13.64
18.54	3550	17.75	342	25	13.68
18.04	3600	18	334	25	13.36
17.54	3650	18.25	327	25	13.08
17.04	3700	18.5	345	25	13.8
16.54	3750	18.75	342	25	13.68
16.04	3800	19	332	25	13.28
15.54	3850	19.25	342	25	13.68
15.04	3900	19.5	346	25	13.84
14.54	3950	19.75	340	25	13.6
14.04	4000	20	346	25	13.84
13.54	4050	20.25	347.5	25	13.9
13.04	4100	20.5	348	25	13.92

12.54	4150	20.75	344	25	13.76
12.04	4200	21	347.5	25	13.9
11.54	4250	21.25	341.5	25	13.66
11.04	4300	21.5	355	25	14.2
10.54	4350	21.75	344	25	13.76
10.04	4400	22	340	25	13.6
9.54	4450	22.25	342.5	25	13.7
9.04	4500	22.5	341	25	13.64
8.54	4550	22.75	342.5	25	13.7
8.04	4600	23	342.5	25	13.7
7.54	4650	23.25	340	25	13.6



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1 ( $L = 7,5 \text{ cm}$  ;  $D_f = 10 \text{ cm}$ )

Variasi 5:  $L = 5\text{ cm}$  ;  $D_f = 15\text{ cm}$

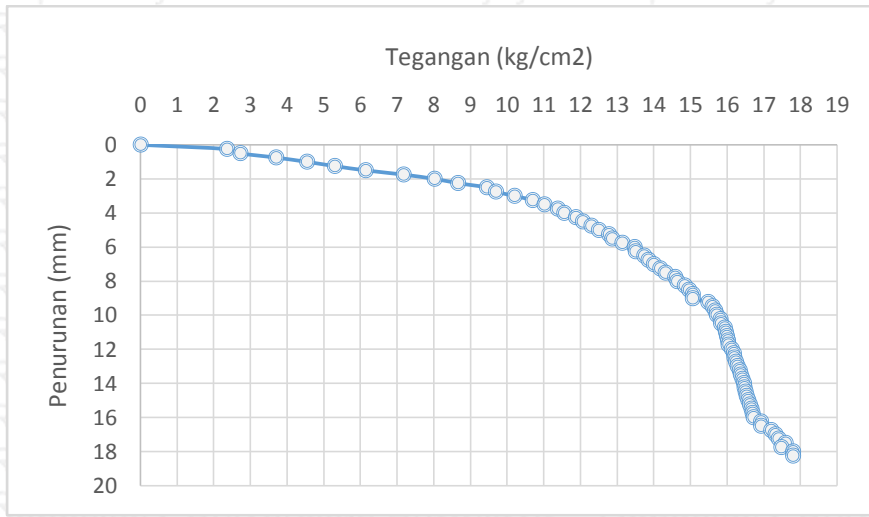
Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg/cm}^2$
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
53.78	0	0	0	25	0
53.28	50	0.25	59	25	2.36
52.78	100	0.5	68	25	2.72
52.28	150	0.75	92.5	25	3.7
51.78	200	1	113.5	25	4.54
51.28	250	1.25	132.5	25	5.3
50.78	300	1.5	153.5	25	6.14
50.28	350	1.75	179.5	25	7.18
49.78	400	2	200.5	25	8.02
49.28	450	2.25	216.5	25	8.66
48.78	500	2.5	236	25	9.44
48.28	550	2.75	242.5	25	9.7
47.78	600	3	255	25	10.2
47.28	650	3.25	267.5	25	10.7
46.78	700	3.5	275.5	25	11.02
46.28	750	3.75	284.5	25	11.38
45.78	800	4	289	25	11.56
45.28	850	4.25	297	25	11.88
44.78	900	4.5	301.5	25	12.06
44.28	950	4.75	307.5	25	12.3
43.78	1000	5	312.5	25	12.5
43.28	1050	5.25	319.5	25	12.78
42.78	1100	5.5	321.5	25	12.86
42.28	1150	5.75	328.5	25	13.14
41.78	1200	6	337	25	13.48
41.28	1250	6.25	337.5	25	13.5
40.78	1300	6.5	343.5	25	13.74
40.28	1350	6.75	346.5	25	13.86
39.78	1400	7	350	25	14
39.28	1450	7.25	354.5	25	14.18
38.78	1500	7.5	358	25	14.32
38.28	1550	7.75	364.5	25	14.58
37.78	1600	8	366	25	14.64
37.28	1650	8.25	371	25	14.84
36.78	1700	8.5	374	25	14.96
36.28	1750	8.75	376.5	25	15.06
35.78	1800	9	376.5	25	15.06
35.28	1850	9.25	387	25	15.48



34.78	1900	9.5	390	25	15.6
34.28	1950	9.75	392	25	15.68
33.78	2000	10	393	25	15.72
33.28	2050	10.25	395.5	25	15.82
32.78	2100	10.5	396	25	15.84
32.28	2150	10.75	398.5	25	15.94
31.78	2200	11	399	25	15.96
31.28	2250	11.25	400	25	16
30.78	2300	11.5	400.5	25	16.02
30.28	2350	11.75	401	25	16.04
29.78	2400	12	403	25	16.12
29.28	2450	12.25	404.5	25	16.18
28.78	2500	12.5	405	25	16.2
28.28	2550	12.75	406	25	16.24
27.78	2600	13	407	25	16.28
27.28	2650	13.25	408.5	25	16.34
26.78	2700	13.5	409.5	25	16.38
26.28	2750	13.75	410.5	25	16.42
25.78	2800	14	411.5	25	16.46
25.28	2850	14.25	412	25	16.48
24.78	2900	14.5	412.5	25	16.5
24.28	2950	14.75	413.5	25	16.54
23.78	3000	15	414.5	25	16.58
23.28	3050	15.25	415.5	25	16.62
22.78	3100	15.5	416.5	25	16.66
22.28	3150	15.75	417.5	25	16.7
21.78	3200	16	418	25	16.72
21.28	3250	16.25	423	25	16.92
20.78	3300	16.5	423	25	16.92
20.28	3350	16.75	430	25	17.2
19.78	3400	17	433	25	17.32
19.28	3450	17.25	435	25	17.4
18.78	3500	17.5	440	25	17.6
18.28	3550	17.75	437	25	17.48
17.78	3600	18	445	25	17.8
17.28	3650	18.25	445	25	17.8





Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1 (L = 5 cm ; Df = 15cm)



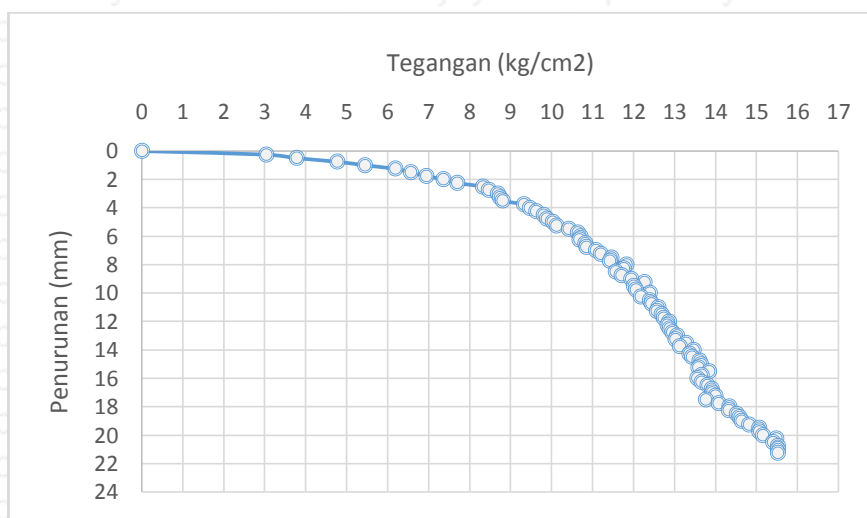
Variasi 5:  $L = 6,25 \text{ cm}$  ;  $Df = 15 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg/cm}^2$
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
50.04	0	0	0	25	0
49.54	50	0.25	76	25	3.04
49.04	100	0.5	94.5	25	3.78
48.54	150	0.75	119	25	4.76
48.04	200	1	136	25	5.44
47.54	250	1.25	154.5	25	6.18
47.04	300	1.5	164	25	6.56
46.54	350	1.75	173.5	25	6.94
46.04	400	2	184	25	7.36
45.54	450	2.25	192.5	25	7.7
45.04	500	2.5	208	25	8.32
44.54	550	2.75	211.5	25	8.46
44.04	600	3	217	25	8.68
43.54	650	3.25	218.5	25	8.74
43.04	700	3.5	220	25	8.8
42.54	750	3.75	233	25	9.32
42.04	800	4	236.5	25	9.46
41.54	850	4.25	240.5	25	9.62
41.04	900	4.5	245	25	9.8
40.54	950	4.75	247	25	9.88
40.04	1000	5	250.5	25	10.02
39.54	1050	5.25	253	25	10.12
39.04	1100	5.5	260.5	25	10.42
38.54	1150	5.75	266	25	10.64
38.04	1200	6	267.5	25	10.7
37.54	1250	6.25	267	25	10.68
37.04	1300	6.5	270.5	25	10.82
36.54	1350	6.75	271	25	10.84
36.04	1400	7	277	25	11.08
35.54	1450	7.25	280	25	11.2
35.04	1500	7.5	286.5	25	11.46
34.54	1550	7.75	285.5	25	11.42
34.04	1600	8	295.5	25	11.82
33.54	1650	8.25	294	25	11.76
33.04	1700	8.5	289	25	11.56
32.54	1750	8.75	292.5	25	11.7
32.04	1800	9	298.5	25	11.94
31.54	1850	9.25	306.5	25	12.26

31.04	1900	9.5	300	25	12
30.54	1950	9.75	301.5	25	12.06
30.04	2000	10	310	25	12.4
29.54	2050	10.25	304.5	25	12.18
29.04	2100	10.5	310	25	12.4
28.54	2150	10.75	311	25	12.44
28.04	2200	11	315	25	12.6
27.54	2250	11.25	314	25	12.56
27.04	2300	11.5	317	25	12.68
26.54	2350	11.75	318.5	25	12.74
26.04	2400	12	321.5	25	12.86
25.54	2450	12.25	320.5	25	12.82
25.04	2500	12.5	322	25	12.88
24.54	2550	12.75	323.5	25	12.94
24.04	2600	13	326.5	25	13.06
23.54	2650	13.25	325.5	25	13.02
23.04	2700	13.5	332	25	13.28
22.54	2750	13.75	328	25	13.12
22.04	2800	14	336.5	25	13.46
21.54	2850	14.25	334	25	13.36
21.04	2900	14.5	335.5	25	13.42
20.54	2950	14.75	340	25	13.6
20.04	3000	15	341	25	13.64
19.54	3050	15.25	339.5	25	13.58
19.04	3100	15.5	346	25	13.84
18.54	3150	15.75	341.5	25	13.66
18.04	3200	16	339	25	13.56
17.54	3250	16.25	341.5	25	13.66
17.04	3300	16.5	345	25	13.8
16.54	3350	16.75	347.5	25	13.9
16.04	3400	17	348	25	13.92
15.54	3450	17.25	350	25	14
15.04	3500	17.5	344	25	13.76
14.54	3550	17.75	352	25	14.08
14.04	3600	18	358.5	25	14.34
13.54	3650	18.25	358	25	14.32
13.04	3700	18.5	363	25	14.52
12.54	3750	18.75	364.5	25	14.58
12.04	3800	19	366	25	14.64
11.54	3850	19.25	370.5	25	14.82
11.04	3900	19.5	376.5	25	15.06
10.54	3950	19.75	376.5	25	15.06
10.04	4000	20	379	25	15.16
9.54	4050	20.25	387	25	15.48
9.04	4100	20.5	385	25	15.4

8.54	4150	20.75	388	25	15.52
8.04	4200	21	388	25	15.52
7.54	4250	21.25	388	25	15.52



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1(L = 6,25 cm ; Df = 15cm)

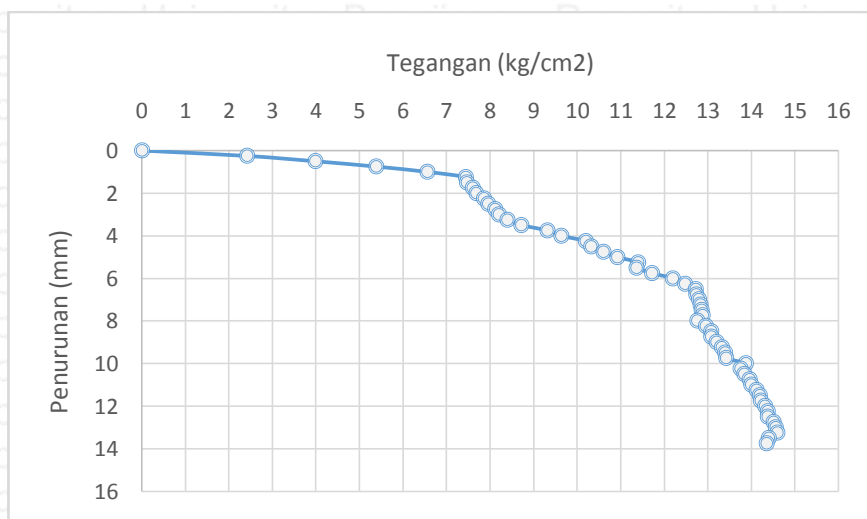


Variasi 5:  $L = 7,5 \text{ cm}$  ;  $D_f = 15 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval ( $\Delta$ )	Penurunan ( $s$ )	Beban ( $P$ )	Luas Pelat ( $A$ )	Daya Dukung ( $q$ )
		mm	kg	$\text{cm}^2$	$\text{kg}/\text{cm}^2$
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	$P$	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
49.95	0	0	0	25	0
49.45	50	0.25	60.5	25	2.42
48.95	100	0.5	99.5	25	3.98
48.45	150	0.75	134.5	25	5.38
47.95	200	1	164	25	6.56
47.45	250	1.25	186	25	7.44
46.95	300	1.5	186.5	25	7.46
46.45	350	1.75	190	25	7.6
45.95	400	2	192	25	7.68
45.45	450	2.25	196.5	25	7.86
44.95	500	2.5	199	25	7.96
44.45	550	2.75	203	25	8.12
43.95	600	3	205	25	8.2
43.45	650	3.25	210	25	8.4
42.95	700	3.5	218	25	8.72
42.45	750	3.75	233	25	9.32
41.95	800	4	241	25	9.64
41.45	850	4.25	255	25	10.2
40.95	900	4.5	258	25	10.32
40.45	950	4.75	265	25	10.6
39.95	1000	5	273	25	10.92
39.45	1050	5.25	285	25	11.4
38.95	1100	5.5	284	25	11.36
38.45	1150	5.75	293	25	11.72
37.95	1200	6	305	25	12.2
37.45	1250	6.25	312	25	12.48
36.95	1300	6.5	318	25	12.72
36.45	1350	6.75	318.5	25	12.74
35.95	1400	7	320	25	12.8
35.45	1450	7.25	321	25	12.84
34.95	1500	7.5	321.5	25	12.86
34.45	1550	7.75	322	25	12.88
33.95	1600	8	319	25	12.76
33.45	1650	8.25	324	25	12.96
32.95	1700	8.5	327	25	13.08
32.45	1750	8.75	327	25	13.08
31.95	1800	9	330	25	13.2

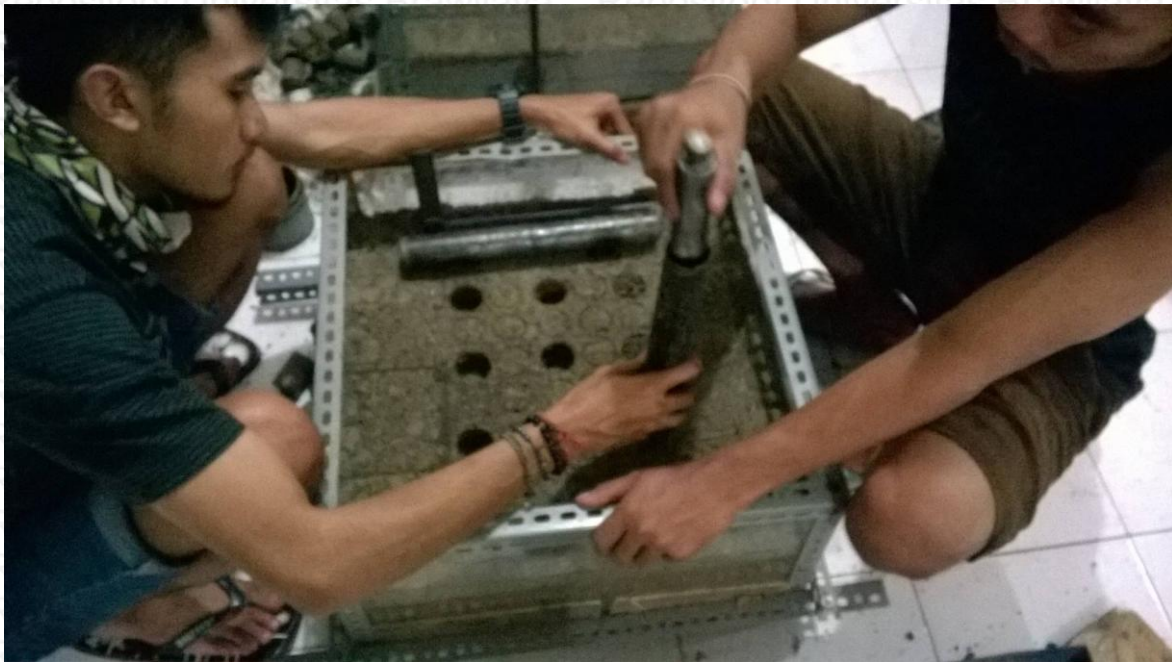
31.45	1850	9.25	333	25	13.32
30.95	1900	9.5	335	25	13.4
30.45	1950	9.75	335.5	25	13.42
29.95	2000	10	347	25	13.88
29.45	2050	10.25	344	25	13.76
28.95	2100	10.5	346	25	13.84
28.45	2150	10.75	349	25	13.96
27.95	2200	11	350	25	14
27.45	2250	11.25	353	25	14.12
26.95	2300	11.5	355	25	14.2
26.45	2350	11.75	355.5	25	14.22
25.95	2400	12	358	25	14.32
25.45	2450	12.25	359.5	25	14.38
24.95	2500	12.5	359.5	25	14.38
24.45	2550	12.75	363	25	14.52
23.95	2600	13	364	25	14.56
23.45	2650	13.25	365	25	14.6
22.95	2700	13.5	360	25	14.4
22.45	2750	13.75	359	25	14.36



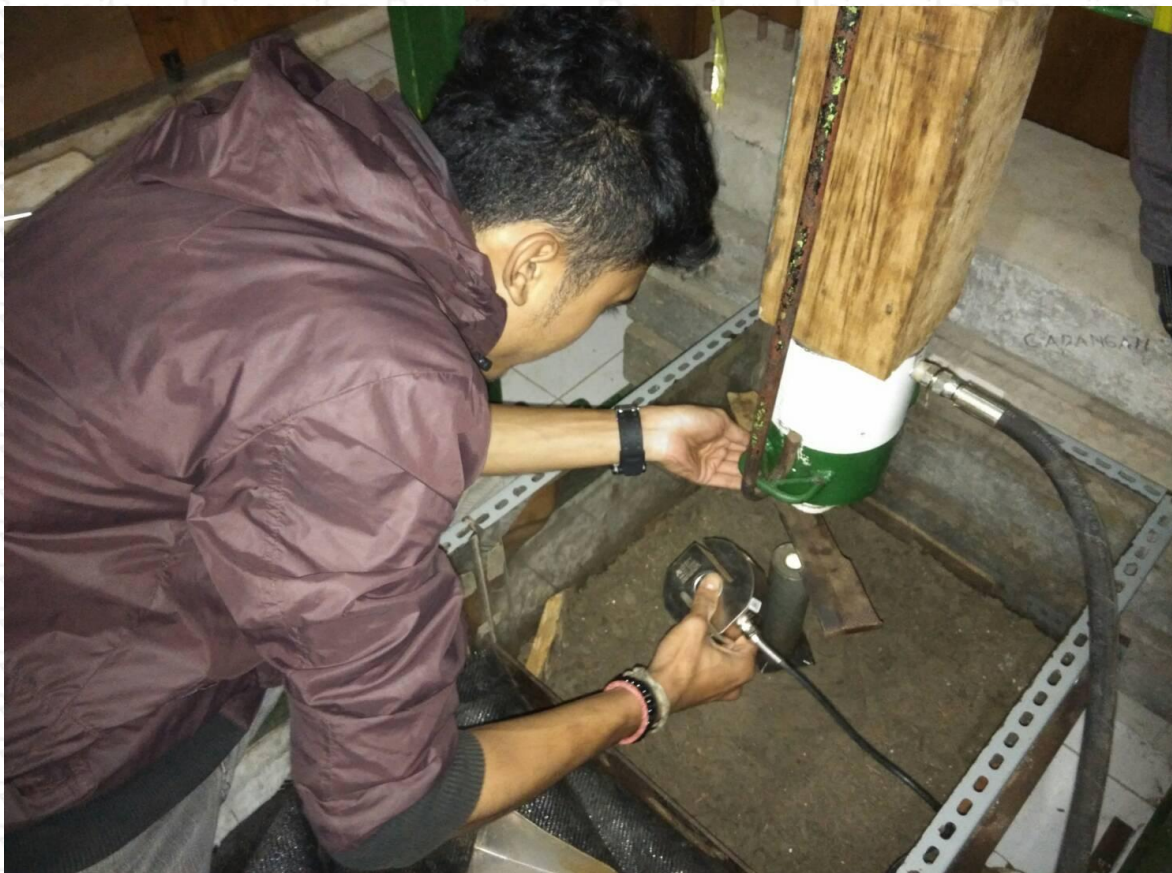
Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1(L = 7,5 cm ; Df = 15cm)



Lampiran 3 Gambar Pelaksanaan

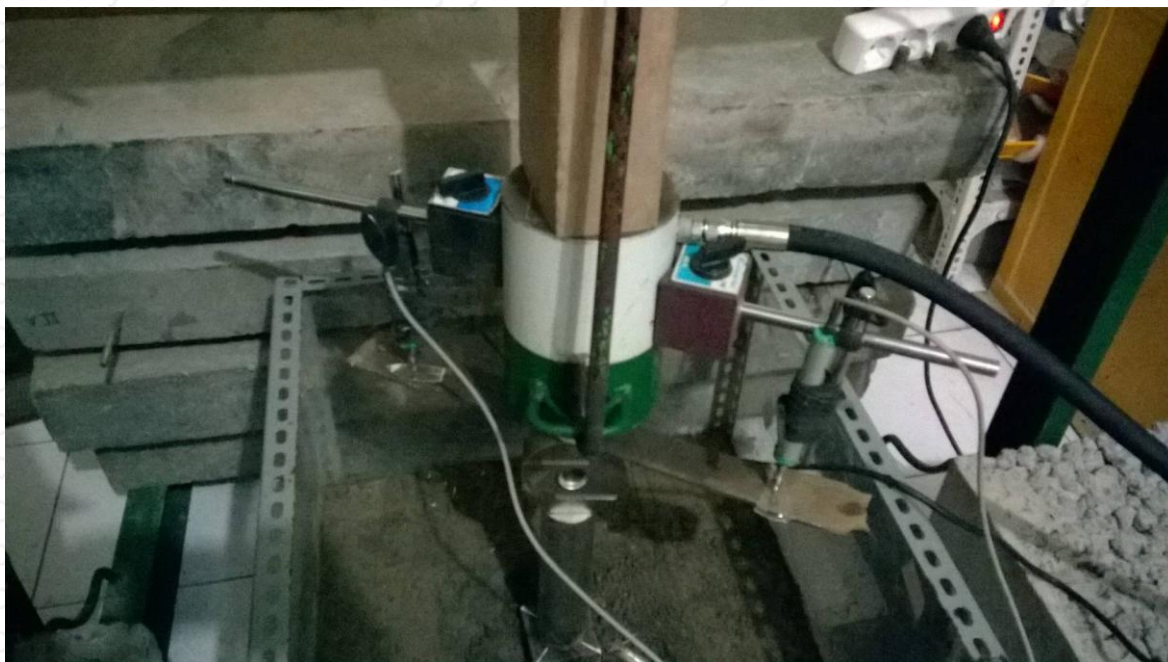


Gambar Instalasi Kolom DSM



Gambar Setting Pembebanan



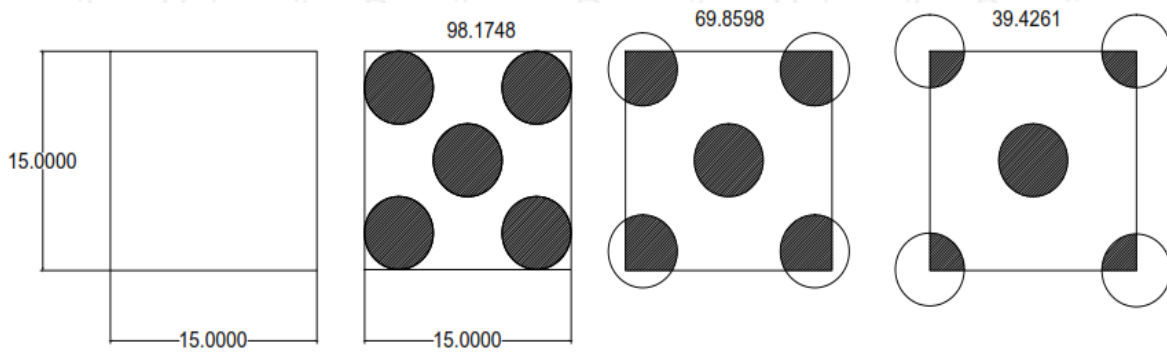


Gambar Uji Pembebanan



Gambar Setelah Pembebanan

### Perhitungan Volume Kolom Tabel 4.15



Jarak Antar Kolom (L)	luas Kolom (cm <sup>2</sup> )	Volume Kolom Stabilisasi (cm <sup>3</sup> )		
		df = 5 cm	df = 10 cm	df = 15 cm
cm	(cm <sup>2</sup> )			
L= 5cm	98.17	490.87	981.75	1472.62
L= 10cm	69.85	349.25	698.50	1047.75
L= 15cm	39.43	197.15	394.30	591.45

### Perhitungan Prosentase Stabilisasi

Dengan Volume Benda uji 4500 cm<sup>3</sup>

Jarak Antar Kolom (L)	Persentase Stabilisasi (cm <sup>3</sup> )		
	df = 5 cm	df = 10 cm	df = 15 cm
L= 5cm	10.91	21.82	32.72
L= 10cm	7.76	15.52	23.28
L= 15cm	4.38	8.76	13.14