

**PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM DENGAN
DIAMETER 3CM 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



IVAN INDRA PRADIKA
NIM. 105060100111045

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2016



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH JARAK DAN PANJANG KOLOM DENGAN DIAMETER 3CM 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



IVAN INDRA PRADIKA

NIM. 105060100111045

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 8 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

Ir. Suroso Dipl. He. M. Eng
NIP. 19520301 197603 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng Yulvi Zaika, MT
NIP. 19680707 199403 002

Mengetahui :
Ketua Program Studi S1

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







PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa memberikan kekuatan, rahmat, berkat, hidayah, dan kemudahan kepada penulis sehingga skripsi yang berjudul **”Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom dengan Diameter 3 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. Ir. Suroso Dipl. HE., M. Eng. dan Dr. Eng. Yulvi Zaika ST., MT, sebagai dosen pembimbing atas segala saran, masukan, arahan dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D., 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. Bapak Ibu Dosen dan Staff Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan pada skripsi ini.
6. Pak Ketut Sugiarto, Mbak Indah dan Mbak Asmi yang telah banyak memberi bantuan selama proses pengerjaan skripsi di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi.
7. Pak Sugeng Hendrik dan Mas Dino Teguh yang telah memberi banyak bantuan perihal alat uji dalam kelancaran skripsi ini.
8. Pak Hadi yang telah membantu menyediakan tempat sampel tanah sehingga membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini.
9. Ayah, Ibu dan segenap keluarga atas doa restu, nasihat, semangat, dan dukungannya dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Hendro, Pakak, Sogol, Gus Inung, 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, Riris dan Chaniva Adnin yang telah membantu, memberikan dukungan dan semangat dalam pengerjaan skripsi ini sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
12. Dan teman-teman 2010 serta pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu skripsi ini.

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



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
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
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Tahapan Penelitian.....	29
3.1.1 Pekerjaan Persiapan.....	29
3.1.2 Pekerjaan Lapangan.....	29
3.1.3 Pekerjaan Laboratorium.....	29

3.2 Rancangan Penelitian	29
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.4 Variabel Penelitian	30
3.5 Alat dan Bahan Penelitian	30
3.5.1 Alat Penelitian	30
3.5.2 Bahan Penelitian	31
3.6 Metode Penelitian	31
3.6.1 Penelitian Pendahuluan.....	31
3.6.2 Persiapan Benda Uji	31
3.6.3 Uji Pembebanan.....	33
3.7 Metode Analisa Data	35
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Pemeriksaan <i>Specific Gravity</i>	37
4.2 Klasifikasi Tanah.....	37
4.2.1 Analisa Saringan dan Hidrometer.....	37
4.2.2 Pemeriksaan Batas <i>Atterberg</i>	38
4.2.3 Klasifikasi Berdasarkan Sistem <i>Unified</i>	39
4.2.4 Sifat Ekspansifitas Tanah	39
4.3 Kriteria Tanah Lempung	40
4.4 Pemeriksaan Pemadatan Standar.....	41
4.5 Usaha Pemadatan Sampel.....	42
4.6 Uji Pembebanan Laboratorium.....	43
4.7 Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Asli	43
4.8 Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Stabilisasi DSM.....	45
4.8.1 Nilai Daya Dukung Tanah Terhadap Prosentase Tanah yang Telah Distabilisasi dengan Kolom DSM.....	45
4.8.2 Nilai Daya Dukung Tanah pada Variasi Kedalaman Kolom (Df) Terhadap Jarak Antar Kolom (L)	46
4.8.3 Nilai Daya Dukung Tanah pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom (Df).....	47
4.8.4 Analisis Penurunan Tanah	49
4.8.4.1 Penurunan Tanah Asli Tanpa Distabilisasi Kolom DSM.....	49

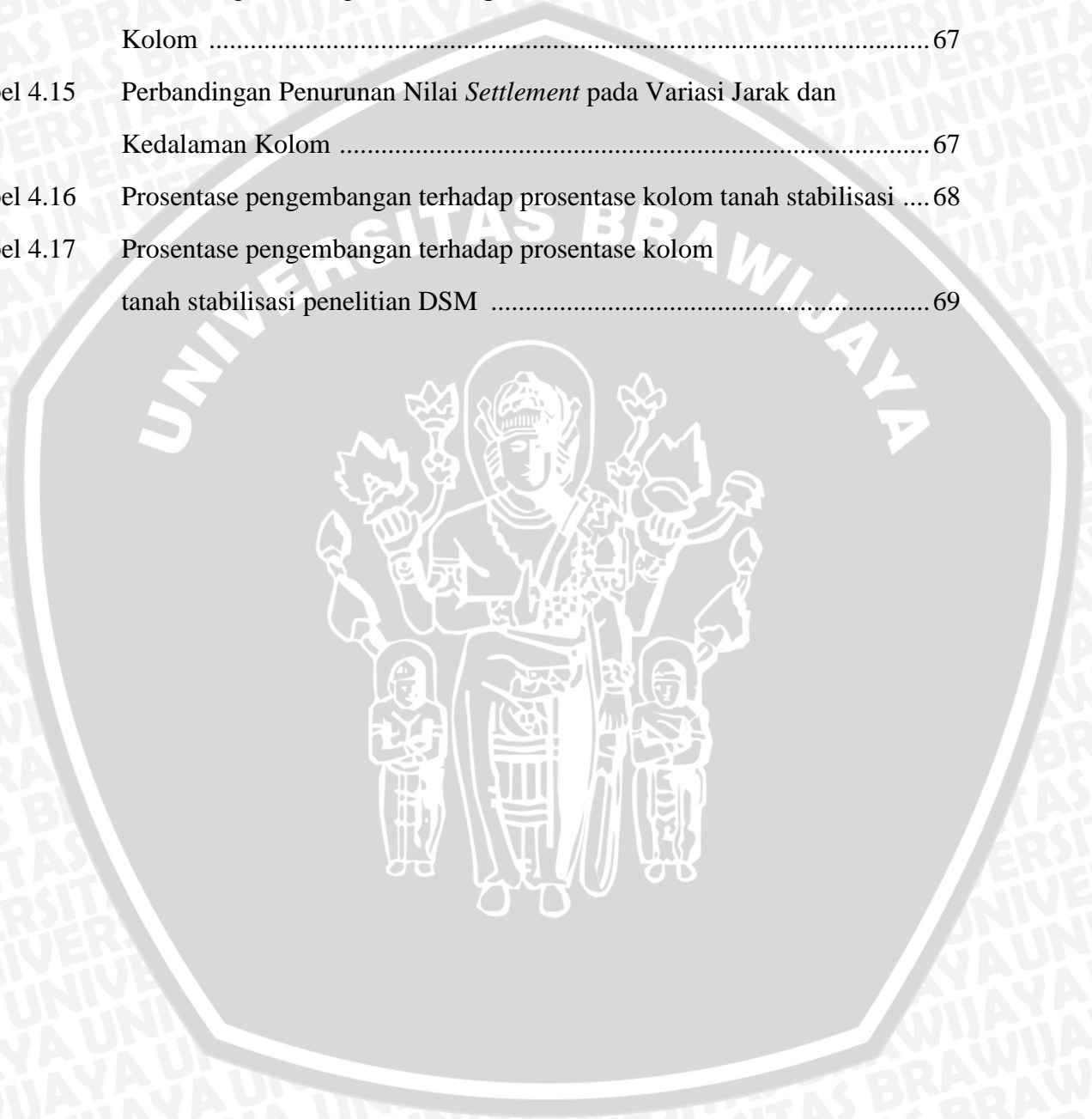
4.8.4.2 Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) terhadap Kedalaman Kolom (Df).....	50
4.8.4.3 Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Kedalaman Kolom (Df) terhadap Jarak Antar Kolom (L)	54
4.8.5 Tegangan Tanah Stabilisasi Kolom DSM pada Penurunan Ijin	57
4.8.5.1 Tegangan Tanah Stabilisasi Kolom DSM Pada Penurunan Ijin dengan Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom (Df)	57
4.8.5.2 Tegangan Tanah Stabilisasi Kolom DSM Pada Penurunan Ijin Dengan Variasi Kedalaman Kolom (Df) Terhadap Jarak Antar Kolom (L).....	60
4.8.6 Analisis Pengaruh Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom DSM 15 % <i>Fly Ash</i> Berdasarkan BCI.....	62
4.8.6.1 Perbandingan BCIu pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom (Df)	62
4.8.6.2 Perbandingan BCIu pada Variasi Kedalaman Kolom (Df) Terhadap Jarak antar Kolom (L)	64
4.8.7 Pengaruh Variasi Jarak Antar Kolom (L) dan Panjang Kolom (Df) Terhadap Nilai Daya Dukung dan Penurunan Tanah	65
4.9 Pemeriksaan Pengembangan (<i>swelling</i>) Terhadap Prosentase Tanah Stabilisasi.....	68
BAB V PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



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	29
Tabel 3.2	Variasi jarak dan kedalaman tipe <i>Triangular</i> dengan diameter 3 cm	33
Tabel 3.3	BCI dan Prosentase peningkatan daya dukung	36
Tabel 4.1	Hasil pemeriksaan <i>specific gravity</i>	37
Tabel 4.2	Hasil pemeriksaan batas-batas <i>atterberg</i>	38
Tabel 4.3	Derajat ekspansifitas berdasarkan SL	40
Tabel 4.4	Derajat ekspansifitas berdasarkan PI	41
Tabel 4.5	Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah	45
Tabel 4.6	Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Jarak Antar Kolom	46
Tabel 4.7	Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Jarak Antar Kolom	48
Tabel 4.8	Penurunan Akibat variasi Jarak antar Kolom	52
Tabel 4.9	Penurunan akibat Variasi Kedalaman Kolom	56

Tabel 4.10	Tegangan akibat Variasi Jarak antar Kolom	59
Tabel 4.11	Tegangan akibat Variasi Kedalaman Kolom	61
Tabel 4.12	Nilai BCI_u pada Variasi Jarak Antar Kolom	63
Tabel 4.13	Nilai BCI_u pada Variasi Kedalaman Kolom	64
Tabel 4.14	Perbandingan Peningkatan BCI_u pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom	67
Tabel 4.15	Perbandingan Penurunan Nilai <i>Settlement</i> pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom	67
Tabel 4.16	Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi	68
Tabel 4.17	Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM	69



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	34
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian	36
Gambar 4.1	Gabungan analisa saringan dan hydrometer	38
Gambar 4.2	Klasifikasi tanah sistem unified	39
Gambar 4.3	Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Potensi Mengembang	40
Gambar 4.4	Pemadatan standar tanah asli	42
Gambar 4.5	Hubungan beban dengan penurunan tanah asli	44
Gambar 4.6	Hubungan tegangan dengan penurunan tanah asli	44
Gambar 4.7	Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah	46
Gambar 4.8	Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Kedalaman Kolom (D_f) Terhadap Jarak Antar Kolom (L)	47
Gambar 4.9	Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom (D_f)	48

x

Gambar 4.10	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 5 cm	51
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 10 cm	51
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 15 cm.....	52
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Jarak antar Kolom	53
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 3 cm	54
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 3,75 cm	55
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 4,5 cm	55
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Kedalaman antar Kolom ...	56
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 5 cm.....	57
Gambar 4.19	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 10 cm.....	58
Gambar 4.20	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 15 cm.....	58
Gambar 4.21	Grafik Hubungan tegangan terhadap Variasi Jarak antar Kolom.....	59
Gambar 4.22	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Antar Kolom (L) = 3 cm.....	60
Gambar 4.23	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Antar Kolom (L) = 3.75 cm.....	60
Gambar 4.24	Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Antar Kolom (L) = 4.5 cm.....	61
Gambar 4.25	Grafik Hubungan tegangan terhadap Variasi Kedalaman Kolom.....	62
Gambar 4.26	Grafik Pengaruh Variasai Jarak antar Kolom Terhadap Nilai BCI.....	63
Gambar 4.27	Grafik Pengaruh Variasai Kedalaman Kolom Terhadap Nilai BCI.....	65



Gambar 4.28 Pengembangan tanah stabilisasi DSM berdasarkan jumlah kolom68





DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
Lampiran 1	Pemeriksaan <i>Ring Density</i>	75
Lampiran 2	Hasil Uji Pembebanan.....	85
Lampiran 3	Gambar Pelaksanaan.....	111





RINGKASAN

Ivan Indra Pradika, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2016, *Pengaruh Jarak dan Panjang Kolom dengan Diameter 3cm pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif menggunakan Metode Dsm Berpola Triangular terhadap Daya Dukung Tanah*, Dosen Pembimbing: Suroso dan Yulvi Zaika.

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 sebaliknya jika kadar airnya berkurang maka tanah akan menyusut dan daya dukungnya meningkat.

Pada penelitian ini dilakukan perbaikan tanah lempung ekspansif dengan menggunakan metode *deep soil mixing* berpola *triangular* dengan diameter kolom 3 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 (3, 3.75, 4.5 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 3 cm menunjukkan peningkatan nilai daya dukung hingga 256,36% dari daya dukung tanah asli. Stabilisasi dengan bahan aditif 15% *fly ash* pada metode DSM berpola *triangular* dapat mengurangi nilai pengembangan (*swelling*) seiring dengan meningkatkan volume tanah yang distabilisasi. Prosentase tanah sebesar 30, 63 % telah mampu menghentikan pengembangan (*swelling*) tanah asli.

Kata kunci: tanah lempung ekspansif, *fly ash*, *Deep Soil Mixing*, jarak, kedalaman, daya dukung.

SUMMARY

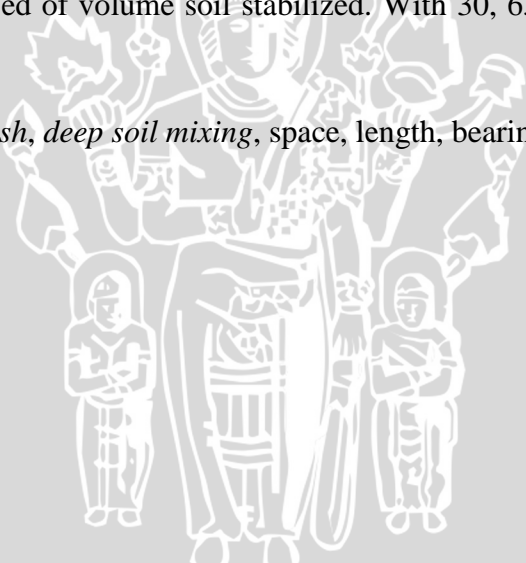
Ivan Indra Pradika, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, June 2016, *The Effect of Spacing and Length of Triangular Patterned DSM Column ($D = 3 \text{ cm}$) to Bearing Capacity for Expansive Clay*, Supervisor: Suroso and Yulvi Zaika.

Expansive soils are soils that expand when water is added, and shrink when they dry out. This continuous change in soil volume can cause structures built on this soil to move unevenly, crack even collapse.

In this research, Improvement with triangular patterned DSM Column (3cm) is to increase bearing capacity. Deep Mixing Method, is a ground improvement technique that improves the characteristics of weak soils by mechanically mixing them with binder. Binder which used is fly ash that can increase bearing capacity. We use nine variation which consist of space (3, 3.75, 4.5 cm) and length (5, 10, 15 cm).

The results in this stabilization of expansive clay using triangular pattern DSM column ($D = 3 \text{ cm}$) shows that the increase of bearing capacity is up to 256.36% of the original soil bearing capacity. Using 15% fly ash on a triangular patterned DSM can reduce swelling which with the increased of volume soil stabilized. With 30, 63% is able to stop swelling.

Keywords: expansive soil, fly ash, deep soil mixing, space, length, bearing capacity.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan pembangunan di Indonesia sedang menjadi perhatian khusus dari pemerintah Indonesia. Hal ini dapat terlihat dari banyaknya proyek yang berlangsung hampir di seluruh Indonesia. Perkembangan pembangunan inilah yang menuntut para akademisi untuk terus berinovasi dalam hal pengembangan ilmu pengetahuan dan metode aplikasi untuk memudahkan pemerintah dalam proses pembangunan.

Banyaknya ragam jenis tanah yang ada menimbulkan beberapa permasalahan yang muncul, seperti daya dukung serta penurunan akibat gaya yang bekerja pada tanah tersebut. Permasalahan-permasalahan tersebut lah yang mendorong para *engineer* untuk berinovasi dalam upaya meningkatkan perkuatan pada tanah.

Salah satu jenis tanah yang banyak terdapat di Indonesia adalah tanah ekspansif. Tanah ini memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap perubahan kadar air, sehingga tanah ini memiliki sifat kembang dan susut yang besar. Adanya sifat kembang susut yang besar ini mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan yang ada di atasnya. Salah satu kerusakan struktur yang dapat terjadi adalah penurunan pondasi yang dapat mengurangi kekuatan elemen struktur (balok, kolom, plat, dll.) dan bahkan menyebabkan runtuhnya elemen struktur tersebut.

Stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan cara mekanis maupun pencampuran dengan bahan aditif merupakan metode-metode yang sudah banyak dilakukan baik di lapangan maupun dalam bentuk skala laboratorium. 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 (Ailin Nur, 2011) pada box berukuran 1000 x 600 x 700 mm dengan menggunakan 4 kolom berdiameter 25 mm dan panjang kolom 200 mm yang dicampur dengan semen dan kapur. Uji tersebut menghasilkan nilai pada uji kuat tekan bebas sebesar 550 kPa hingga 1000 kPa untuk waktu curing 28 hari.

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 tak terendam. 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 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/cm² meningkat menjadi 14,28 kg/cm².

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 bertambahnya kadar air pada tanah dan diikuti oleh kenaikan tekanan air pori dan tekanan pengembangannya. Sebaliknya, Penyusutan yang cukup tinggi akan terjadi disaat kadar air dalam tanah lempung ekspansif ini turun.

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. Bagaimana pengaruh variasi jarak dan kedalaman kolom tipe triangular dengan diameter 3 cm terhadap nilai daya dukung (q_u) pada tanah lempung ekspansif dari daerah Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur dengan pencampuran 15% fly ash?
2. Berapa jarak dan kedalaman kolom maksimum untuk meningkatkan nilai daya dukung (q_u) pada tanah lempung ekspansif dari 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/cm³.
6. Kadar air optimum (OMC) untuk pencampuran tanah dengan fly ash adalah 25,824 % dan $\gamma_d = 1,488$ gram/cm³.
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 3 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 3 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 hidrolik (*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 3 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.

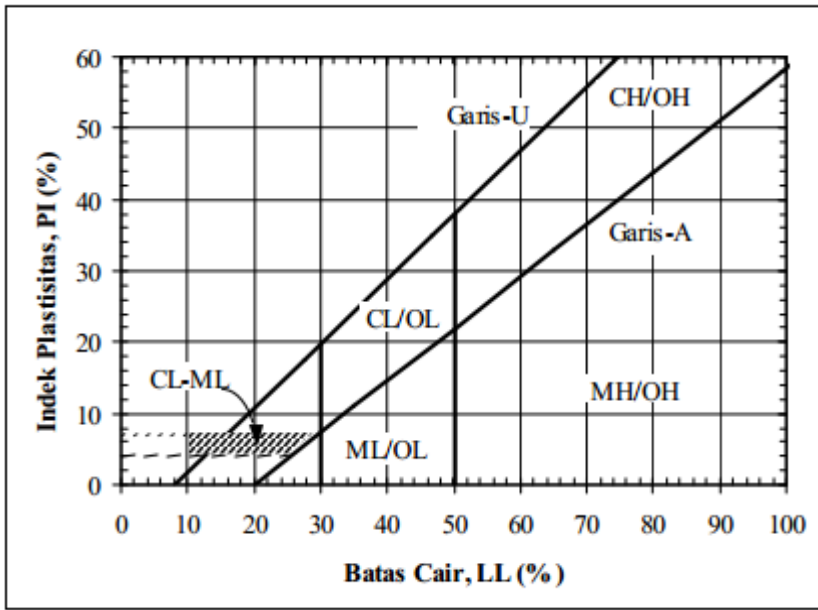
Dalam klasifikasi menurut system *Unified*, setiap tanah diberi simbol dua huruf dan dari simbol tersebut dapat diketahui jenis dan sifatnya.

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	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW
		Kerikil dengan butiran halus	GP
			GM
			GC
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW
		Pasir dengan butiran halus	SP
SM			
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
		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)
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	OL	Lanau - organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	OH	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi
		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

*Menurut ASTM (1982)

† 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).

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 2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Tabel 2.3 Sistem klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar: 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% (fraksi kasar tertahan saringan No. 4)	Kerikil berhalus (banyak kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	<p>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</p> <p>Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Garis A : PI = 0.73 (LL-20)</p>
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir 50% (fraksi kasar lolos saringan No. 4)	Pasir berhalus (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	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
			ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk butiran, pasir halus berlanau atau berlempung	
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clay</i>)	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih kelas saringan No. 200	Lanau dan lempung batas cair < 50%	OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih kelas saringan No. 200	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan 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:

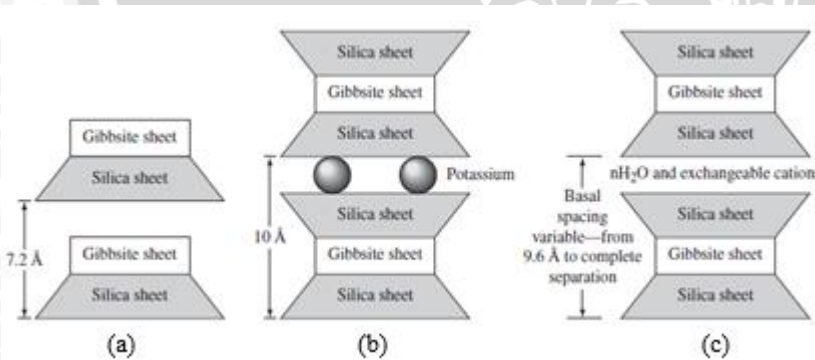
1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

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**

Mineral Group	Basal Spacing (Å)	Particle Features	Interlayer Bonding	Specific Surface (m ² /g)	Atterberg Limits ^a			Activity ^b (PI/% Clay)
					LL (%)	PL (%)	SI (%)	
Kaolinites	14,4	Thick, stiff 6-sided flakes 0,1 to 4x 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 0,1x 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

^aLL, PL, SL, liquid, plastic, and shrinkage limits, respectively.

^bFrom Skempton (1953)

Summarized from Mitchell (1976)

Tabel 2.4 Karakteristik mineral lempung

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.

Data From Index Tests ^a			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)

^aBased on vertical of 1,0 psi

Tabel 2.5 Klasifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan kadar ukuran koloid, indeks plastisitas dan 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)

Tabel 2.6 Klasifikasi tanah lempung ekspansif berdasarkan batas susut

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

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

After Chen (1988)

Tabel 2.7 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan PI

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.

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)

Tabel 2.8 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit

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

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)

Tabel 2.9 Aktivitas tanah lempung

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 (SiO_2), alumina (Al_2O_3), ferooksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (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 calcium, 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 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 alumina dan silikat yang terdapat dalam tanah, sehingga menghasilkan masa yang keras dan kaku. Penambahan *fly ash* selain memperkaya kandungan alumina dan silika tanah, juga memperbaiki gradasi tanah. (Budi et al., 2005) Untuk kandungan *fly ash* ditunjukkan pada **Tabel 2.10** berikut ini.

Tabel 2.10 Kandungan *fly ash* PLTU Paiton

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	g/cm^3	1.43
2	Kadar Air	% Berat	0.2
3	Hilang Pijar	% Berat	0.43
4	SiO_2	% Berat	62.49
5	Al_2O_3	% Berat	6.39
6	Fe_2O_3	% Berat	16.71
7	CaO	% Berat	5.09
8	MgO	% Berat	0.79
9	S(SO_4)	% Berat	7.93

(Sumber : Rahmi ,2006)

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.

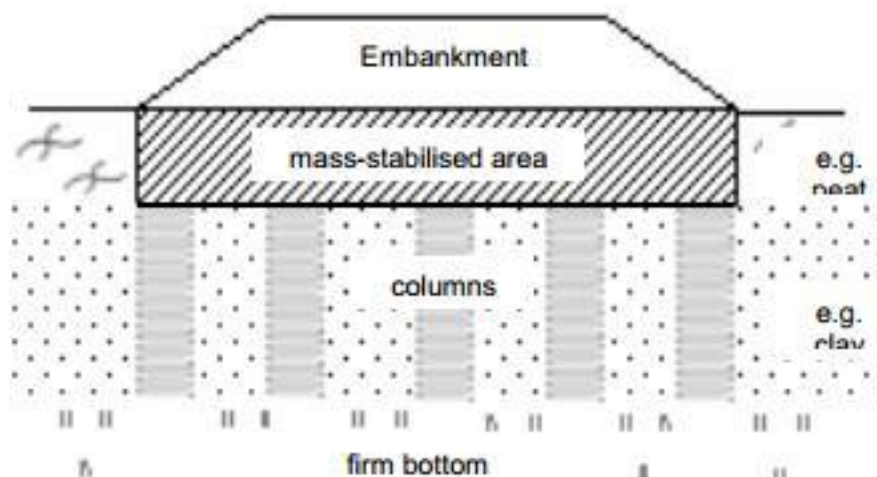
3. Stabilisasi dengan 5% *fly ash* untuk masa pemeraman 7 hari dapat meningkatkan nilai CBR sampai 840,67% dari nilai CBR tanah asli.

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 berkohepsi pada 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.

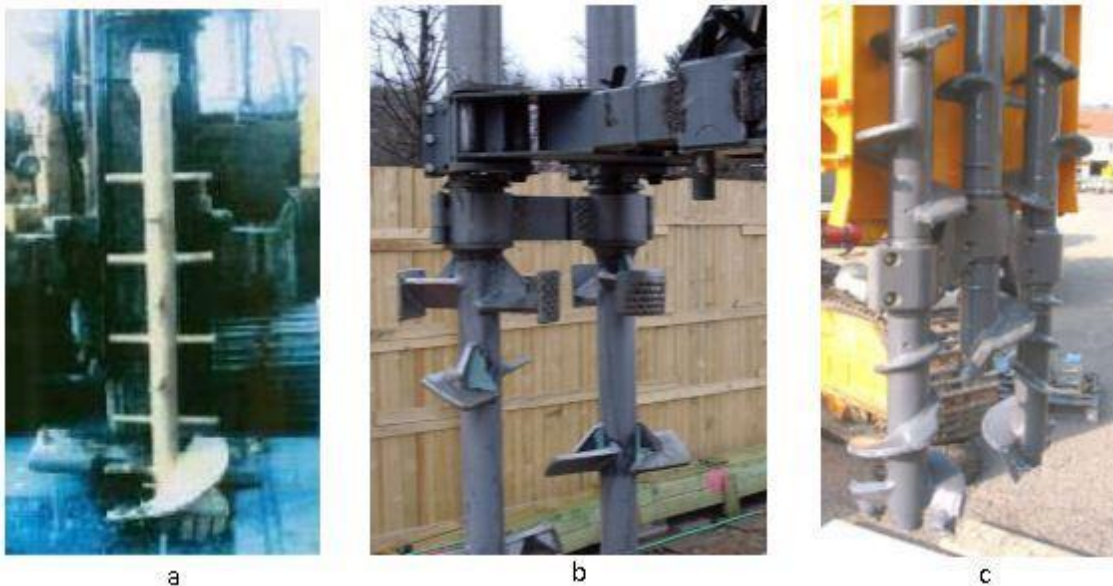
Metode *deep soil mixing* merupakan metode pencampuran dengan bahan aditif dan pada tanah agar terjadi pengikatan antara bahan aditif dengan tanah hingga kedalaman tertentu untuk meningkatkan stabilitas tanah. Pengikatan antara bahan aditif dengan tanah pada metode ini biasanya akan membentuk kolom tanah 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 stabilisaasi 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 berkohesi dan tanah lepas sampai tanah berkohesi 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 (CO_2) tinggi. Distribusi kekuatan yang lemah mengharuskan adanyaantisipasi 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.

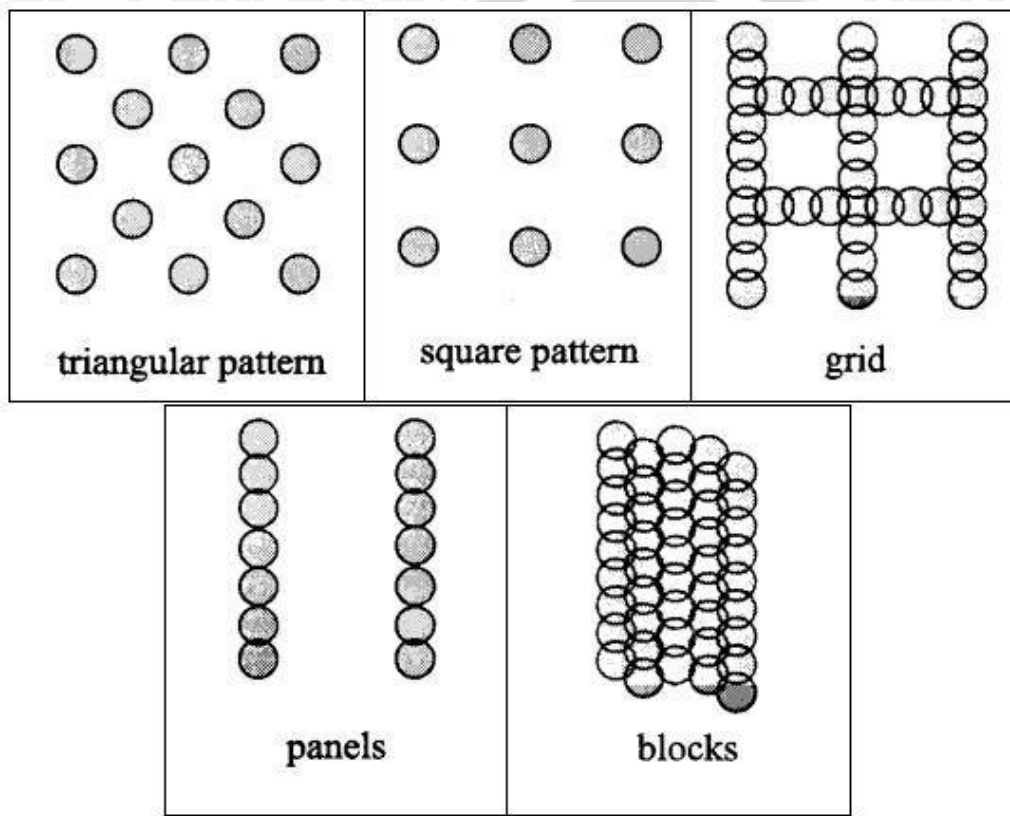
Metode deep soil mixing merupakan proses pelaksanaan pencampuran secara vertikal. Akibat dari pencampuran dengan bahan aditif yang secara vertikal pada tanah, maka metode ini akan memberikan hasil berupa kolom-kolom stabilisasi yang keras dan kuat seperti halnya kolom atau pondasi beton. Contoh hasil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



Gambar 2.5 Kolom stabilisasi hasil *deep soil mixing*

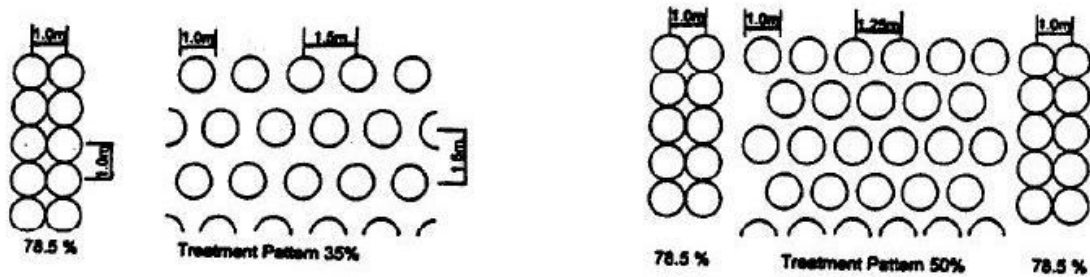
Sumber: <http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/GroundImprovement/WetSoilMixing/default=t.aspx>

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 Departement 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)

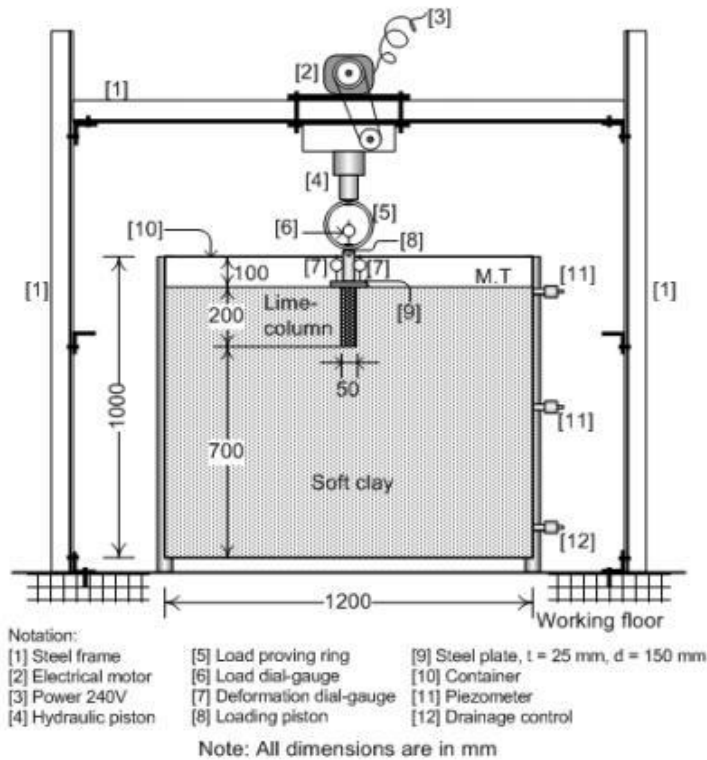
Perbandingan Pengaruh Variasi Jarak (L) Dan Panjang (Df)					
Jarak Kolom (L)	Panjang Kolom (Df)	Prosentase Peningkatan Daya Dukung Terhadap Tanah Asli (%)	Panjang Kolom (Df)	Jarak Kolom (L)	Prosentase Peningkatan Daya Dukung Terhadap Tanah Asli (%)
1,5D	1B	12,63	1B	1,5D	12,63
	2B	42,11		1,25D	32,63
	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

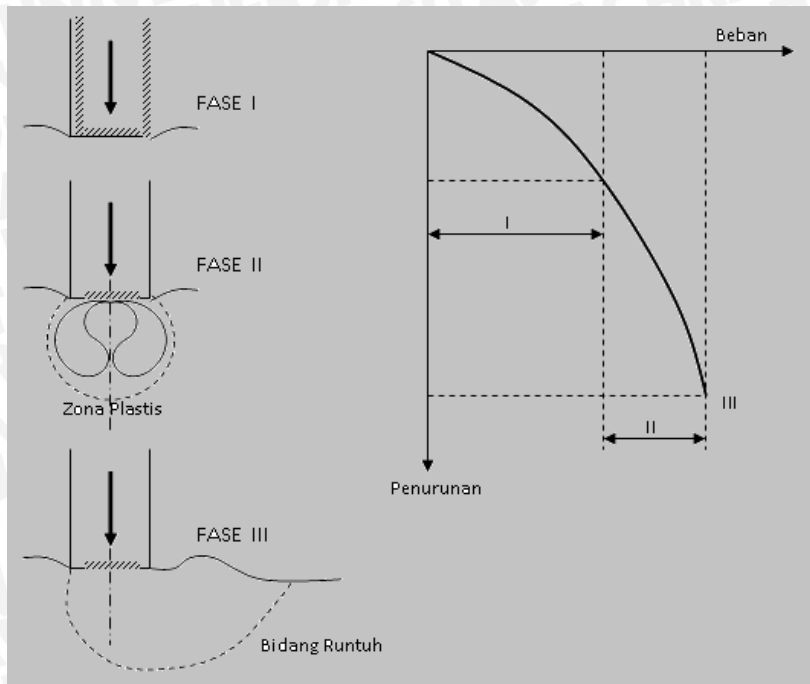
Uji pembebanan dilakukan untuk mengetahui atau menyelidiki perilaku dari suatu benda uji. Pada dasarnya metode uji pembebanan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga pembebanan yang dilakukan setara dengan pembebanan yang ada di lapangan. Namun metode uji pembebanan juga harus disesuaikan dengan kondisi laboratorium, karena tidak semua permasalahan yang ada di lapangan bisa dilakukan dilaboratorium. 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 (*qu*).

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)**.

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

dengan :

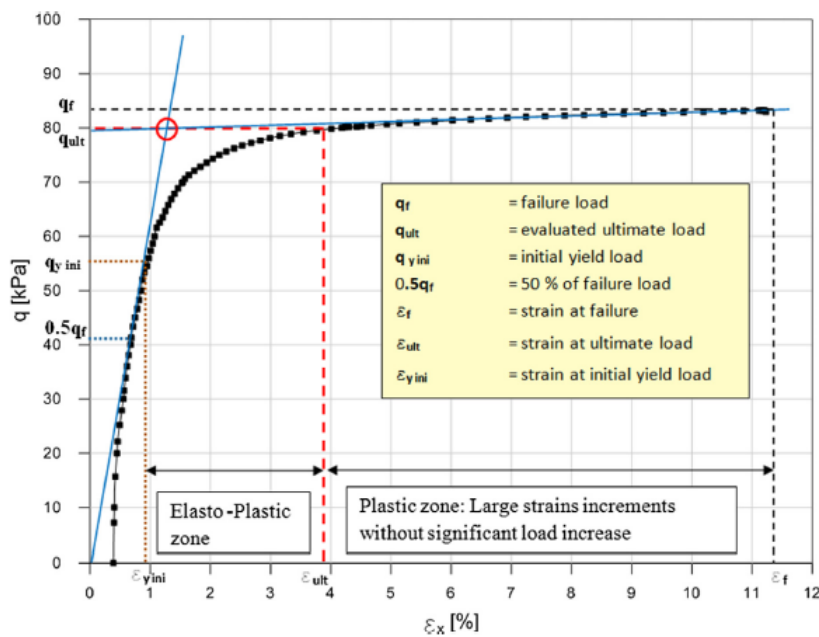
- q_u = daya dukung batas (kg/cm²)
- P_u = beban batas (kg)
- A = luas pondasi (cm²)

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*).

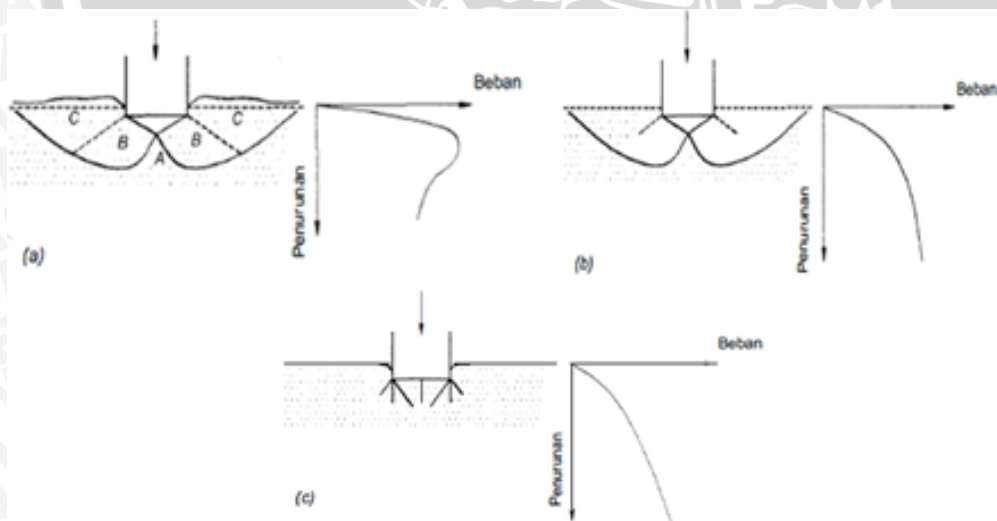
Keruntuhan geser umum terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas. Keruntuhan geser umum terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas yaitu terjadi pengembangan tanah di sekitar pondasi. Bidang runtuh yang terbentuk berupa lengkung dan garis lurus yang berkembang hingga permukaan tanah. Saat keruntuhan, terjadi gerakan massa tanah ke arah luar dan ke atas. Keruntuhan ini terjadi dalam waktu relatif mendadak yang diikuti dengan pondasi terguling.

Keruntuhan geser lokal hampir sama dengan keruntuhan geser umum, namun bidang runtuh yang terbentuk tidak mencapai permukaan tanah. Seiring dengan penambahan beban, pondasi akan tenggelam pada kedalaman yang relatif 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 di sekitar 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 tipe tanah tertentu tidak dapat menunjukkan tipe model keruntuhan pondasi.

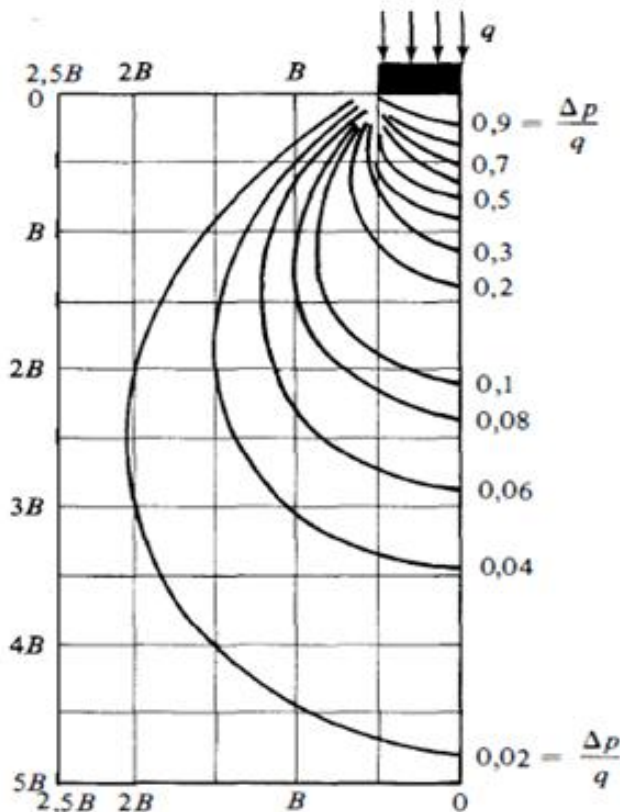


Gambar 2.11 Macam keruntuhan pondasi (a) Keruntuhan geser umum (b) keruntuhan geser local (c) keruntuhan penetrasi

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 cara menghitung 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 mengaruhi 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)**.

$$\text{BCI} = \frac{q_u}{q} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dengan :

BCI = Perbandingan daya dukung

q_u = daya dukung tanah dengan stabilisasi (kg/cm^2)

q = daya dukung tanpa stabilisasi (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 bahan organik, dll

Tekanan ke tanah sangat mempengaruhi proses terjadinya pengembangan pada tanah. 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

Jenis Sampel	Jarak	Kedalaman	Luas	<i>Pu</i>	<i>qu</i>	Penurunan
	Kolom (L) cm	Kolom (Df) cm	Pondasi (A) cm ²	kg	kg/cm ²	mm
Tanah Asli			25			
Tanah Asli + Kolom DSM 15% <i>fly ash</i>	1D (3 cm)	1B = 5 cm	25			
		2B = 10 cm	25			
		3B = 15 cm	25			
	1,25D (3,75 cm)	1B = 5 cm	25			
		2B = 10 cm	25			
		3B = 15 cm	25			
	1,5D (4,5 cm)	1B = 5 cm	25			
		2B = 10 cm	25			
		3B = 15 cm	25			

dukung (qu) dan Penurunan

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 du 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 3 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 pematik 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 didiamkan 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) 3cm.

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

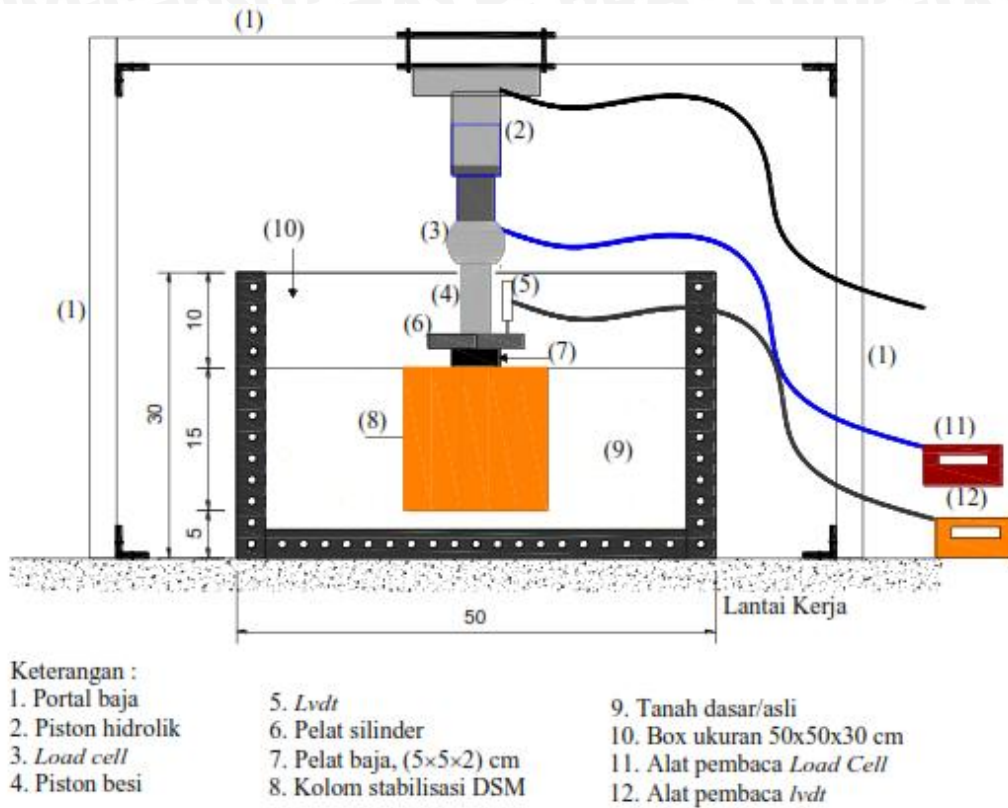
Lebar Pondasi (B) = 5 cm		Diameter Kolom (D) = 3 cm		
		Jarak Kolom (L) (1 D = 3 cm)	Jarak Kolom (L) (1,25 D = 3,75 cm)	Jarak Kolom (L) (1,5 D = 4,5 cm)
Kedalaman Sampel Tanah (h) = 20 cm	Konfigurasi Triangular Pattern			
	Kedalaman Df = 1 B			
	Kedalaman Df = 2 B			
	Kedalaman Df = 3 B			

Tabel 3.2 Variasi jarak dan kedalaman tipe *Triangular* dengan diameter 3 cm

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 (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

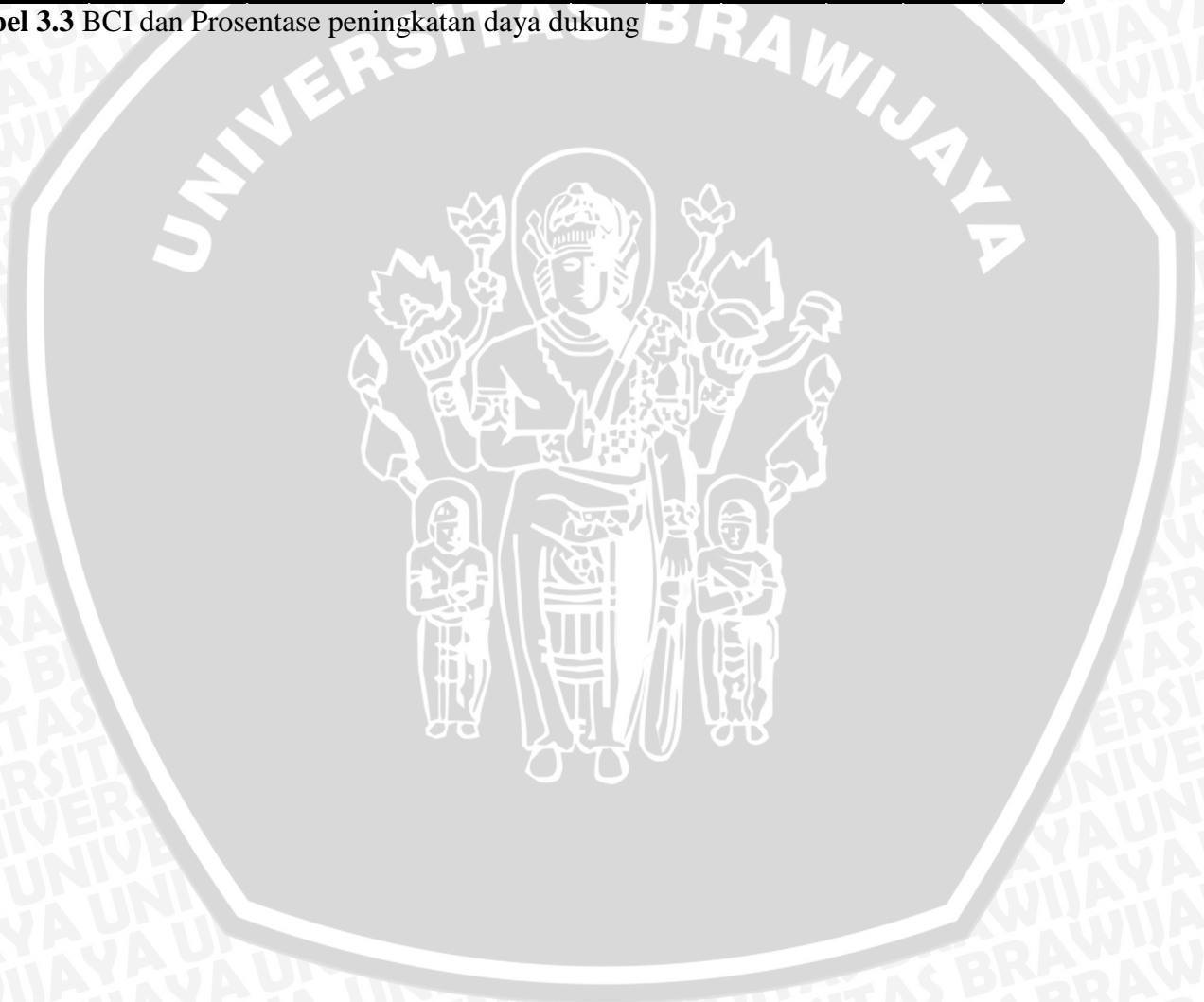
q_u : daya dukung tanah yang distabilisasikan (Kg/cm^2)

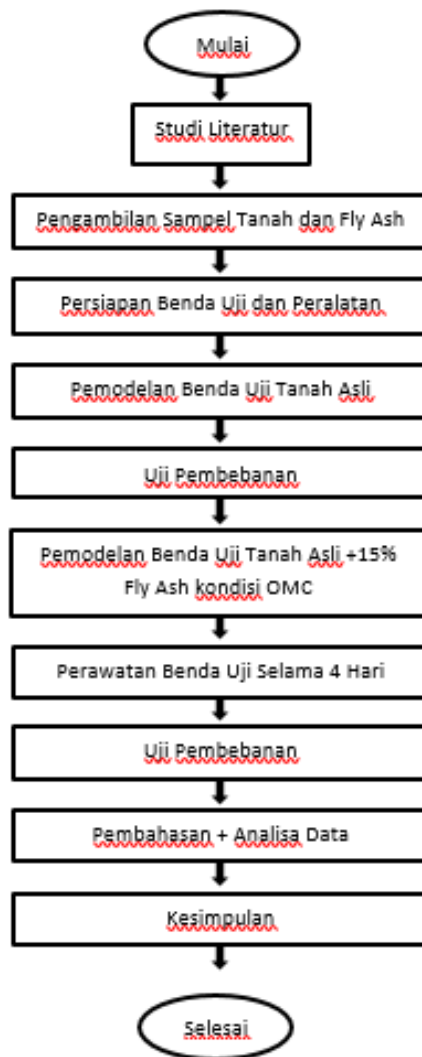
q : daya dukung tanah tanpa stabilisasi (Kg/cm^2)

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.

Jenis Sampel	Jarak	Kedalaman	Luas	P_u	q_u	Penurunan	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung
	Kolom (L)	Kolom (Df)	Pondasi (A)					
	cm	cm	cm ²					
Tanah Asli			25					
Tanah Asli + Kolom DSM 15% fly ash	1D (3 cm)	1B = 5 cm	25					
		2B = 10 cm	25					
		3B = 15 cm	25					
	1,25D (3,75 cm)	1B = 5 cm	25					
		2B = 10 cm	25					
		3B = 15 cm	25					
	1,5D (4,5 cm)	1B = 5 cm	25					
		2B = 10 cm	25					
		3B = 15 cm	25					

Tabel 3.3 BCI dan Prosentase peningkatan daya dukung





3.8 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemeriksaan *Specific Gravity* (Gs)

Pemeriksaan *specific gravity* merupakan pengujian laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui berat jenis suatu bahan yang akan digunakan sebagai sampel benda uji. Pengertian *specific gravity* sendiri merupakan perbandingan berat butiran tanah dengan berat air pada volume yang sama dan pada suhu tertentu.

Bahan yang digunakan pada pemeriksaan *specific gravity* ini adalah tanah yang berasal dari Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Dari hasil pemeriksaan *specific gravity* yang telah dilakukan oleh Ahya (2015) ditunjukkan pada

Tabel 4.1 berikut ini:

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		

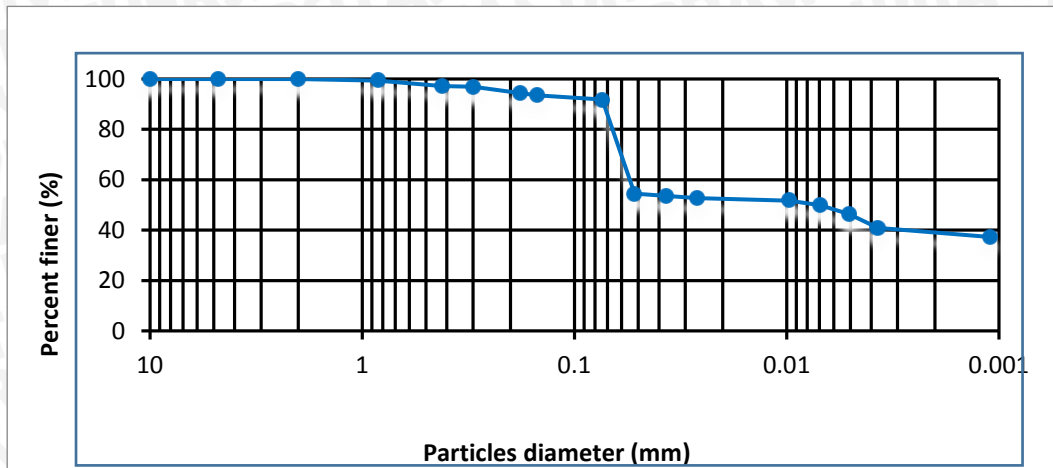
Sumber: Ahya (2015)

Dari **Tabel 4.1** dapat dilihat bahwa dalam tiga kali pengujian menghasilkan rata-rata dari ketiga sampel yaitu $G_s = 2,73$. Nilai G_s tersebut berada pada kisaran 2,6 – 2,9 sehingga dapat dikatakan bahwa tanah tersebut termasuk tanah berlempung.

4.2. Klasifikasi Tanah

4.2.1 Analisa Saringan dan Hidrometer

Analisa saringan merupakan pemeriksaan yang bertujuan untuk mengetahui prosentase tanah butiran kasar dan butiran halus yang tertahan saringan no. 200. Sedangkan pemeriksaan hidrometer bertujuan untuk penentuan distribusi butiran tanah yang lolos saringan no. 200. Hasil pemeriksaan ini diambil dari data analisa yang dilakukan oleh Ahya (2015) dimana gambar 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** tersebut terlihat bahwa tanah butiran yang lolos saringan no. 200 sebesar 91,83 %. Hal ini menunjukkan bahwa menurut sistem klasifikasi USCS tanah tersebut termasuk jenis tanah berbutir halus.

4.2.2 Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

Dari klasifikasi butiran tanah tersebut termasuk ke dalam tanah butiran halus. Hal yang penting pada tanah butiran halus adalah sifat plastisitasnya. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian batas-batas *atterberg*.

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

Tabel 4.2 Hasil pemeriksaan batas-batas *atterberg*

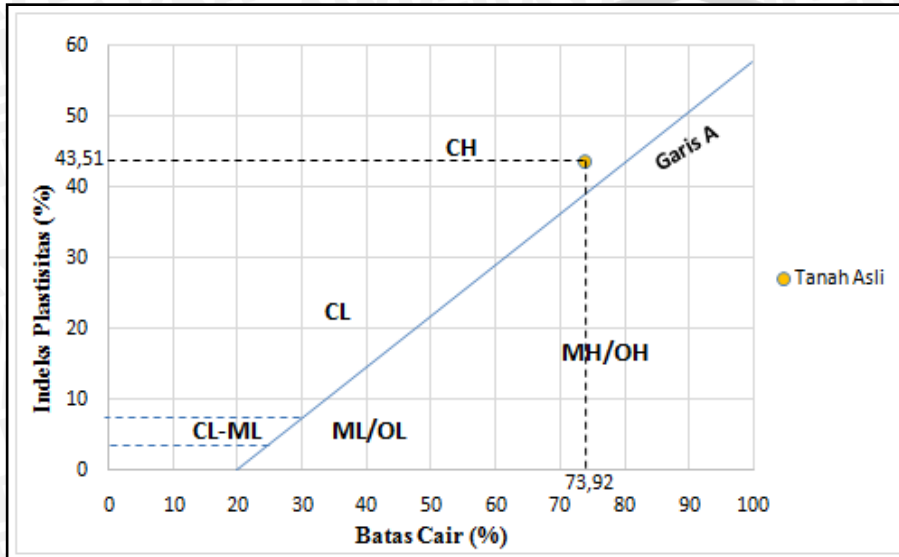
Bahan	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
Tanah Asli	73,92	30,41	2,8	43,51

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*

Berdasarkan data pengujian batas-batas *atterberg* yang telah dilakukan oleh Ahya (2015) di dapat 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. *unified* untuk data tersebut disajikan pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Klasifikasi tanah sistem unified

Sumber: Ahya (2015)

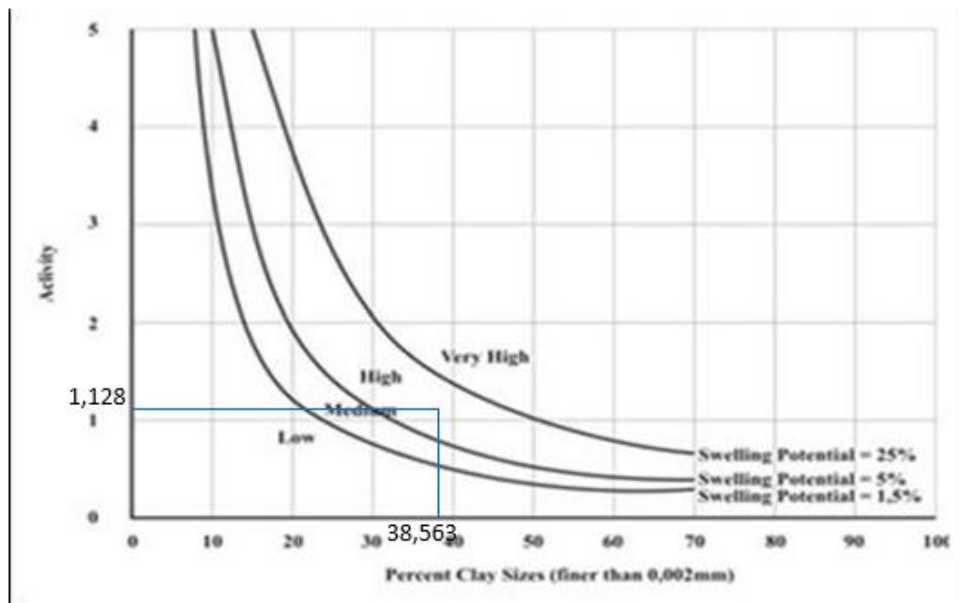
Dari **Gambar 4.2** dapat dilihat bahwa tanah lempung tersebut termasuk ke dalam golongan CH. Artinya bahwa tanah tersebut termasuk pada lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

4.2.4. Sifat Ekspansifitas Tanah

Untuk mengetahui berpotensi ekspansif atau tidaknya pada suatu tanah dapat dilakukan dengan cara tidak langsung (*single index method*) yaitu dengan menggunakan nilai-nilai batas *atterberg* dan derajat mengembang tanah. Dengan menggunakan persamaan 2-1, nilai aktivitas tanah (A) dapat dihitung. Diketahui nilai PI sebesar 43,51% dan prosentase tanah dengan ukuran 0,002 mm adalah 38,563%. Persamaan 2.1 :

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

Dari hasil tersebut dapat kita masukkan ke grafik klasifikasi potensi mengembang yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**



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

4.3 Kriteria Tanah Lempung Ekspansif

Kriteria dalam identifikasi tanah lempung ekspansif salah satunya adalah dapat diketahui dengan metode tidak langsung yaitu pengujian batas-batas atterberg. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai dari batas cair (LL), batas susut (SL) dan batas plastisitas (PL) suatu tanah. Dari data tersebut juga dapat diketahui nilai indeks plastisitas (PI). Data dari pengujian tersebut dapat menjadi salah satu parameter identifikasi tanah lempung ekspansif.

Dari hasil pengujian batas-batas atterberg, untuk menentukan parameter tanah lempung ekspansif diantaranya adalah berdasarkan prosentase SL dan PI yang disajikan 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

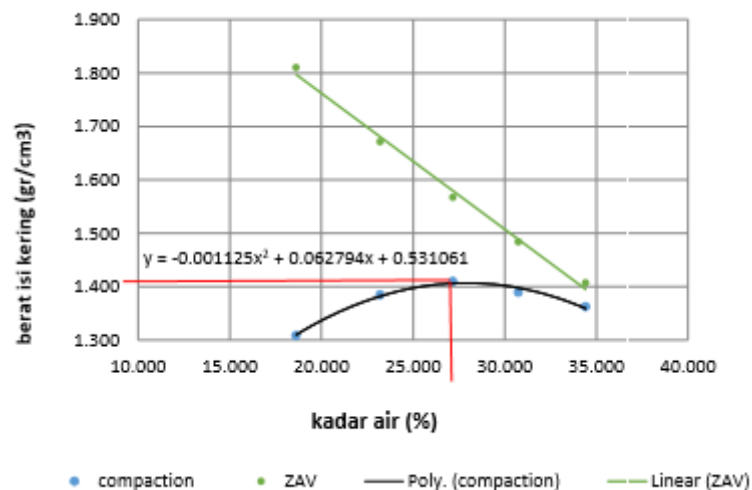
PI Tanah asli (%)	SL (%)	Degree of Expansion
43,51	< 15	Low
	15 – 30	Medium
	23 – 32	High
	> 32	Very High

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

4.4 Pemeriksaan Pemadatan Standar

Pemadatan merupakan suatu usaha untuk mengeluarkan udara dari pori-pori dalam tanah yang dilakukan dengan cara mekanis (ditumbuk). Suatu usaha pemadatan tertentu, kepadatan yang dicapai dipengaruhi oleh banyaknya kandungan air yang ada di dalam tanah tersebut. Sehingga tujuan pemeriksaan pemadatan standar adalah untuk mengetahui nilai kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering (γ_d) maksimum pada tanah.

Pada pemeriksaan pemadatan standar ini hanya dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering (γ_d) maksimum pada tanah asli. Sedangkan untuk OMC dan berat isi kering (γ_d) maksimum untuk tanah stabilisasi *fly ash* diambil dari penelitian terdahulu yang dilakukan (Benny, 2014) dengan OMC 25,824 % dan berat isi kering (γ_d) 1,488 gram/cm³ yang tercantum pada batasan masalah. Sedangkan besarnya kadar air optimum (OMC) untuk tanah asli diambil dari penelitian Ahya (2015) dengan OMC 27,908 % dengan berat isi kering maksimum (γ_d) sebesar 1,407 gr/cm³. Adapun lebih jelasnya terdapat pada **Gambar 4.4** dibawah ini.



Gambar 4.4 Pemadatan standar tanah asli

4.5. Usaha Pemadatan Sampel

Usaha pemadatan sampel merupakan usaha pemadatan yang dilakukan terhadap sampel tanah di dalam boks. Usaha ini dilakukan dengan mengkonversi berat isi kering maksimum (γ_d) yang didapat dari pemadatan standar yaitu 1,407 gr/cm³ ke dalam usaha untuk sampel tanah dalam boks. Namun pada pelaksanaannya kepadatan rencana 1,407 gr/cm³ dari pemadatan standar tidak dapat memenuhi kepadatan di dalam boks. Hal ini banyak kemungkinan dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya adalah perbedaan bentuk cetakan di mana pada pemadatan standar cetakan berbentuk lingkaran sedangkan pada pemadatan sampel cetakan berbentuk bujur sangkar. Selain itu pemadatan pada sampel menggunakan spesifikasi alat-alat yang bukan standar. Sehingga pada pemadatan sampel ini hanya mendapat berat isi kering maksimum (γ_d) sebesar 1,28 gr/cm³ yang didapat dari pemeriksaan menggunakan *ring density*.

Pada usaha pemadatan sampel ini digunakan boks ukuran 50 cm x 50 cm x 30 cm dan boks ukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm yang diisi dengan sampel tanah lempung yang sudah ditentukan. Proses pengisian sampel tanah ke dalam boks ukuran 50 cm x 50 cm x 30 cm dilakukan dengan membagi 4 lapis tanah yang sudah dicampur dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908 % dan penjenuhan dengan tinggi setiap lapisnya 5 cm hingga ketinggian total sampel mencapai 20 cm. Setiap lapisan dilakukan penumbukan sebanyak 4 kali putaran dengan jumlah lintasan sebanyak 16 lintasan untuk satu putaran. Penumbukan dilakukan dengan alat penumbuk yang memiliki berat 9,6 kg dengan ukuran permukaan kontak tumbukan 12,5 cm x 12,5 cm dan tinggi jatuh tumbukan 21,5 cm. Pada boks ukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm pengisian tanah dilakukan dengan membagi 4 lapis

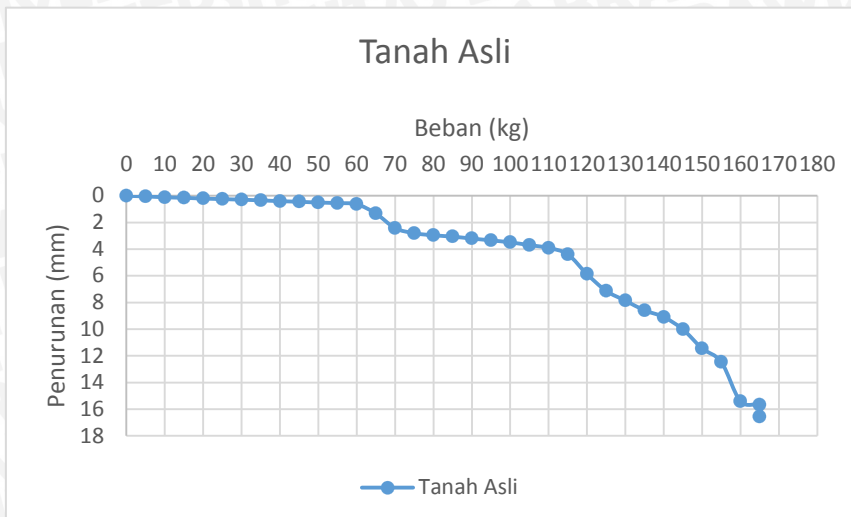
tanah yang sudah dicampur dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908 % dan penjemuran dengan tinggi setiap lapisnya 5 cm hingga ketinggian total sampel mencapai 20 cm. Setiap lapisan dilakukan penumbukan sebanyak 6 kali putaran dengan jumlah lintasan sebanyak 4 lintasan untuk satu putaran. Penumbukan dilakukan dengan alat penumbuk yang memiliki berat 9,6 kg dengan ukuran permukaan kontak tumbukan 15 cm x 15 cm dan tinggi jatuh tumbukan 21,5 cm.

4.6. Uji Pembebanan Laboratorium

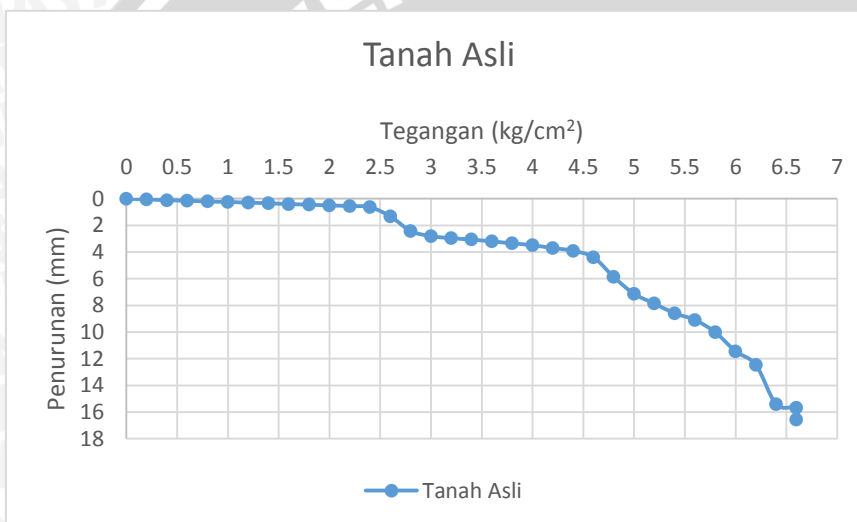
Uji pembebanan dilakukan untuk mengetahui beban yang bekerja beserta penurunan yang terjadi. Pengujian ini dilakukan dengan bantuan seperangkat alat uji beban seperti dongkrak hidrolis yang berguna untuk pemberian tekanan terhadap piston, *loadcell* sebagai alat pembacaan beban yang diberikan oleh piston, displacement transducer sebagai pembacaan penurunan yang terjadi dan pelat baja ukuran 5 x 5 x 2 cm yang diasumsikan sebagai pondasi yang menyalurkan beban ke tanah. Masing-masing pengujian dilakukan terhadap sampel tanah asli dan sampel tanah yang distabilisasi menggunakan metode DSM dengan variasi jarak dan kedalaman yang telah ditentukan.

4.7. Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Asli

Pengujian pembebanan ini dilakukan terhadap sampel tanah yang belum dilakukan stabilisasi dengan metode DSM. Pengujian telah dilakukan oleh Ahya (2015) dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908 % dan berat isi kering (γ_d) di boks sebesar 1,28 gr/cm³. Hasil dari uji pembebanan tanah asli didapatkan hubungan beban dengan penurunan yang disajikan pada **Gambar 4.5** dan hubungan tegangan dengan penurunan disajikan pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.5 Hubungan beban dengan penurunan tanah asli



Gambar 4.6 Hubungan tegangan dengan penurunan tanah asli

Dari **Gambar 4.5** dapat terlihat bahwa pada saat awal pemberian beban, penurunan yang terjadi sebanding dengan beban yang bekerja. Seiring berlanjutnya beban yang diberikan, maka hubungan beban dan penurunan tidak lagi sebanding di mana beban yang terjadi tidak meningkat secara signifikan dengan penurunan yang terus berlanjut. Hal ini disebabkan karena daya dukung tanah (q_u) sudah berada pada batas beban maksimum yang dapat diterima. Dari hubungan tegangan dengan penurunan pada **Gambar 4.6** di dapat bahwa daya dukung tanah asli sebesar $6,6 \text{ kg/cm}^2$ dengan penurunan sebesar $16,57 \text{ mm}$.

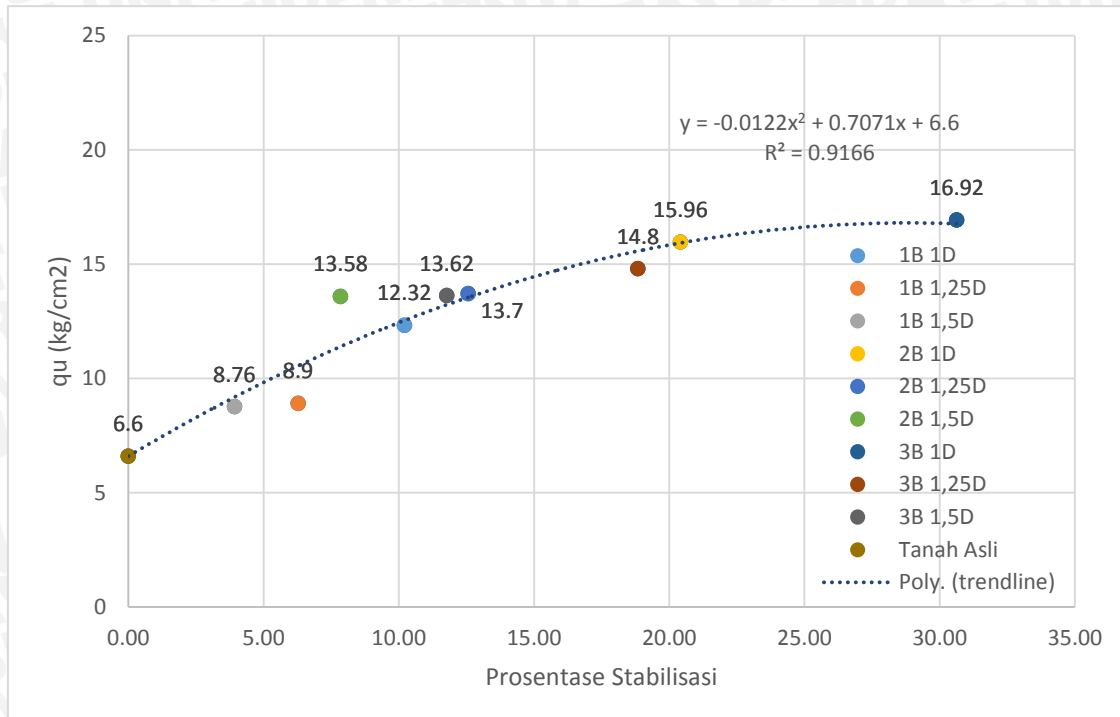
4.8. Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Stabilisasi DSM

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

Prosentase tanah yang distabilisasi dengan kolom DSM dihitung pada area tanah yang menerima uji beban atau seluas *bearing plate*, yaitu 25 cm² dengan kedalaman 20 cm. Hasil pengujian eksperimen daya dukung terhadap prosentase tanah stabilisasi ditampilkan pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.7** sebagai berikut:

Jenis Benda Uji	Variabel	Prosentase Stabilisasi	P_u	q_u	
		%	kg	kg/m ²	kN/m ²
Tanah Asli	-	0	165	66000	660
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	L = 3 cm ; Df = 5 cm	10.21	308	123200	1232
	L = 3,75 cm ; Df = 5 cm	6.28	222.5	89000	890
	L = 4,5 cm ; Df = 5 cm	3.93	219	87600	876
	L = 3 cm ; Df = 10 cm	20.42	399	159600	1596
	L = 3,75 cm ; Df = 10 cm	12.57	342.5	137000	1370
	L = 4,5 cm ; Df = 10cm	7.85	339.5	135800	1358
	L = 3 cm ; Df = 15 cm	30.63	423	169200	1692
	L = 3,75 cm ; Df = 15 cm	18.85	370	148000	1480
	L = 4,5 cm ; Df = 15 cm	11.78	340.5	136200	1362

Tabel 4.5 Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

Dari **Gambar 4.7**, dapat diketahui bahwa hubungan nilai daya dukung dengan prosentase stabilisasi tanah dengan kolom DSM berbentuk setengah parabola. Semakin besar prosentase tanah yang distabilisasi, semakin besar pula nilai daya dukung yang didapatkan.

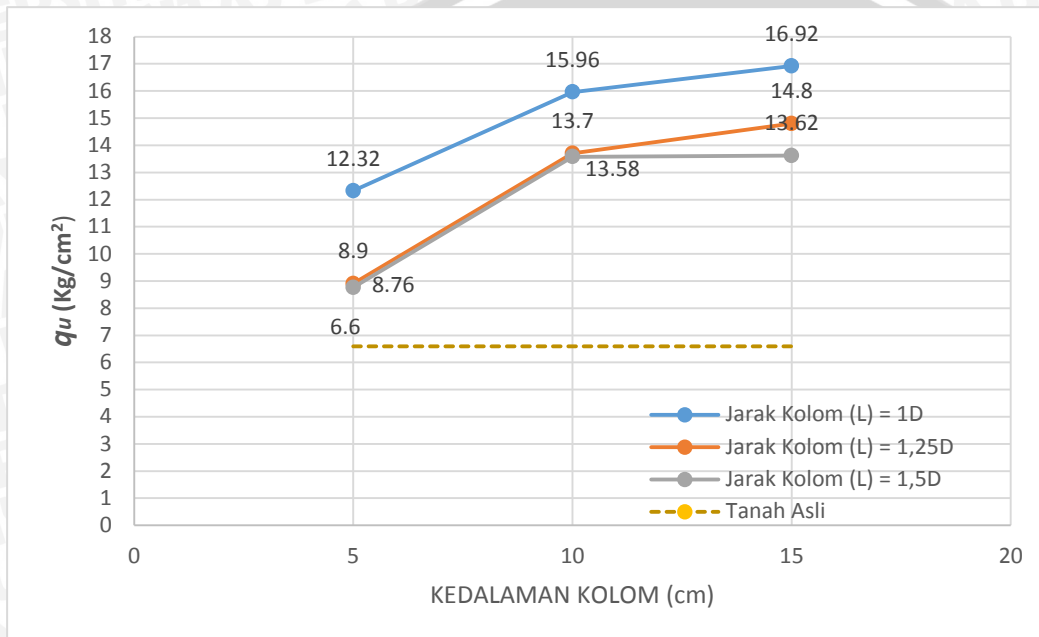
4.8.2 Nilai daya Dukung Tanah pada Variasi Kedalaman Kolom (D_f) Terhadap Jarak Antar Kolom (L)

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 (D_f)	Luas Pondasi (A)	P_u	q_u
	cm	cm	cm ²	kg	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	25	165	6.6
Tanah Asli + Kolom DSM	3	5	25	308	12.32
		10	25	399	15.96

15% Fly Ash		15	25	423	16.92
	3.75	5	25	222.5	8.9
		10	25	342.5	13.7
		15	25	370	14.8
	4.5	5	25	219	8.76
		10	25	339.5	13.58
15		25	340.5	13.62	



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

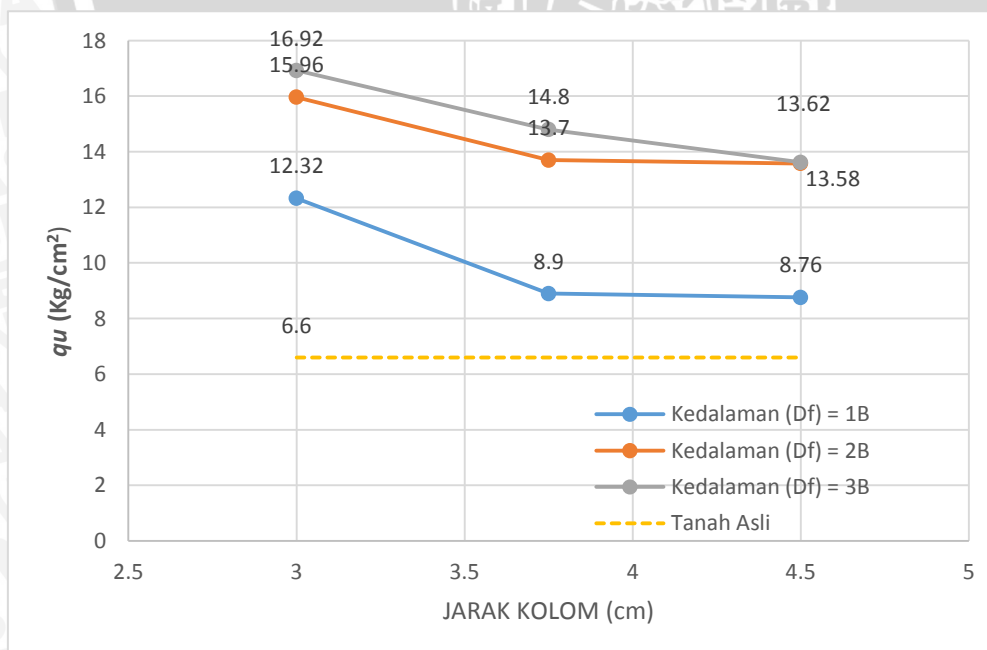
Dari **Gambar 4.8**, dapat dilihat bahwa nilai q_u tanah asli adalah $6,6 \text{ kg/cm}^2$. Setelah tanah distabilisasi dengan kolom DSM, nilai q_u terus mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kedalaman kolom (D_f) pada jarak antar kolom (L) yang sama. Nilai daya dukung tertinggi terdapat pada kedalaman kolom (D_f) 15 cm. hal ini dikarenakan prosentase stabilisasi yang semakin besar akan meningkatkan daya dukung tanah.

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

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 (D _f)	Jarak Kolom (L)	Luas Pondasi (A)	P _u	q _u
	cm	cm	cm ²	kg	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	25	165	6.6
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	3	25	308	12.32
		3.75	25	222.5	8.9
		4.5	25	219	8.76
	10	3	25	399	15.96
		3.75	25	342.5	13.7
		4.5	25	339.5	13.58
	15	3	25	423	16.92
		3.75	25	370	14.8
		4.5	25	340.5	13.62



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

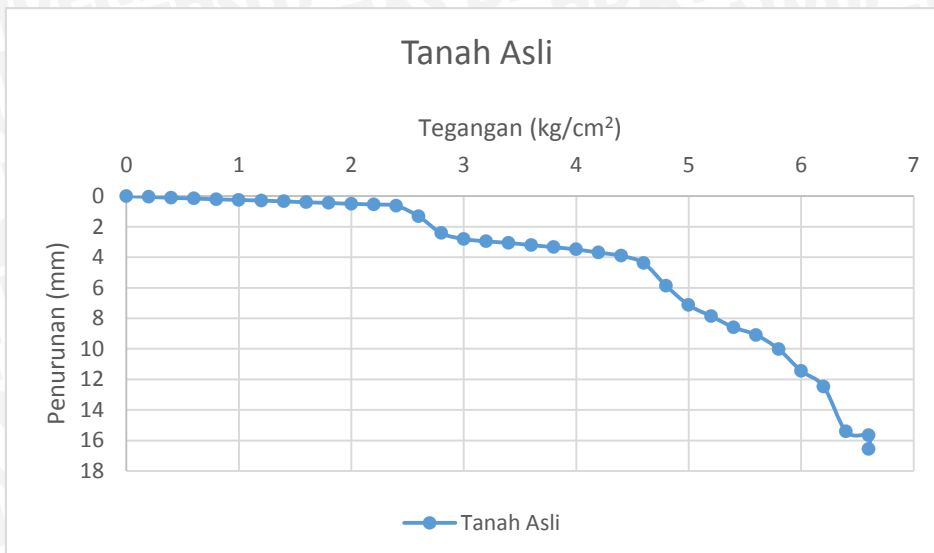
Dari **Gambar 4.9**, dapat dilihat bahwa nilai q_u mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya jarak antar kolom pada kedalaman kolom yang sama. Semakin besar jarak antar kolom, prosentase tanah yang distabilisasi menjadi semakin kecil. Penurunan nilai daya dukung pada jarak 3,75 cm dan 4,5 cm sangat kecil, hal ini dikarenakan luasan pelat beban hanya mengenai satu kolom dibawahnya akibat jarak kolom yang terlalu besar. Pada jarak antar kolom 3 cm (antar kolom bersinggungan) memiliki peningkatan nilai daya dukung yang tinggi. Hal ini dikarenakan semakin rapat kolom semakin besar prosentase stabilisasi dan semakin besar peningkatan daya dukung yang terjadi. Agus (2009) menjelaskan bahwa pemasangan kolom tunggal DSM dapat meningkatkan daya dukung tanah di sekitarnya hingga jarak $3 \times D$ dari pusat kolom. Dengan demikian, kolom DSM dalam bentuk kelompok tentunya akan meningkatkan nilai daya dukung tanah, terlebih jika jarak antar kolomnya semakin berdekatan.

4.8.4 Analisis Penurunan Tanah

Berdasarkan dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan pada benda uji model akan diperoleh nilai pembacaan tegangan dan penurunan (*settlement*). Sehingga besarnya penurunan dapat langsung didapatkan dari grafik hubungan tegangan dengan penurunan. Seperti halnya analisis daya dukung, pada analisis penurunan tanah juga dianalisis pada masing-masing variasi jarak antar kolom dan panjang kolom dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi tersebut terhadap penurunan tanah. Adapun analisis penurunan dari hasil uji beban yang dilakukan terhadap benda uji model adalah sebagai berikut:

4.8.4.1 Penurunan Tanah Asli Tanpa Distabilisasi Kolom DSM

Pengujian pembebanan dilakukan pertama kali untuk benda uji model tanah asli/dasar. Sebelum dilakukan uji pembebanan, benda uji model tanah asli tidak perlu dilakukan perawatan (*curing*) selama 4 hari. Hasil uji beban yang dilakukan terhadap benda uji model tanah asli/dasar dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.

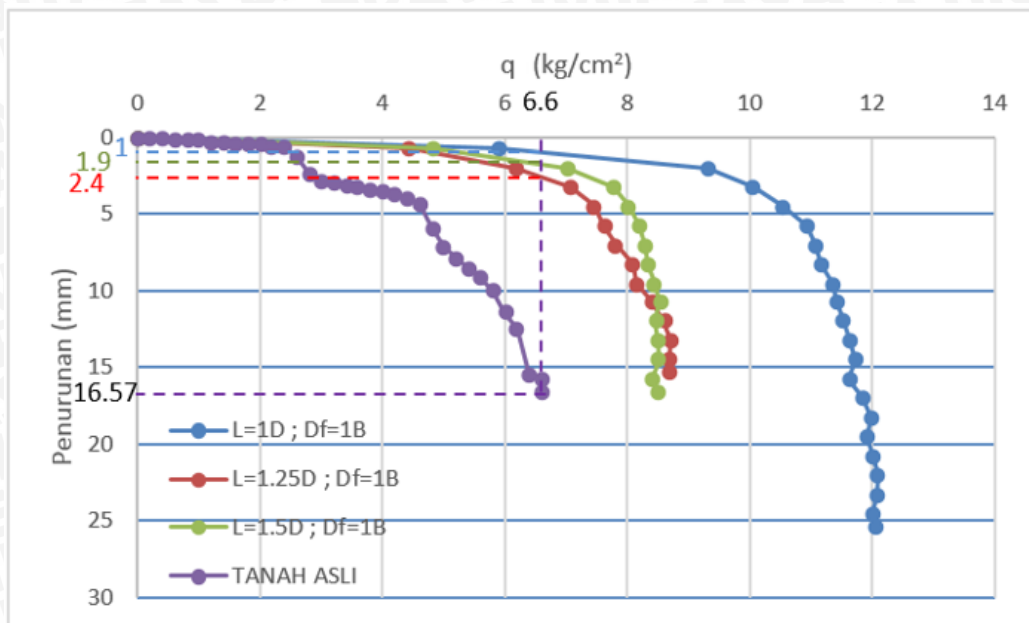


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan pada Tanah Asli

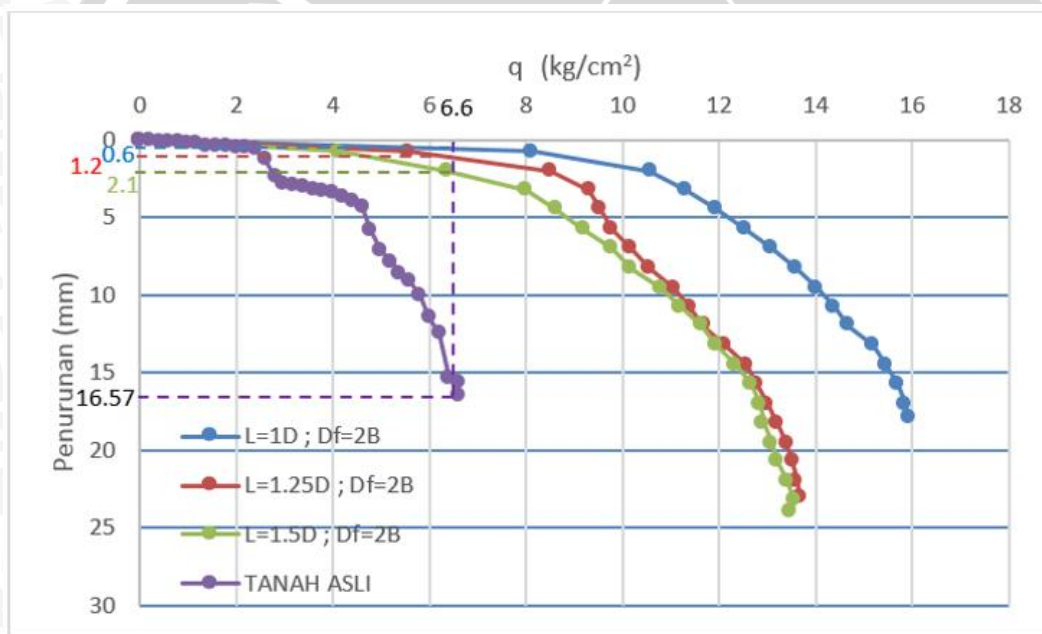
Dari **Gambar 4.6**, dapat dilihat bahwa pada saat mencapai nilai daya dukung batas (*ultimit bearing capacity*) sebesar 6,6 kg/cm², penurunan yang terjadi adalah sebesar 16,57 mm. Nilai daya dukung batas tersebut akan digunakan untuk meninjau besarnya penurunan pada semua variasi jarak dan panjang kolom DSM untuk dibandingkan dengan besarnya 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)

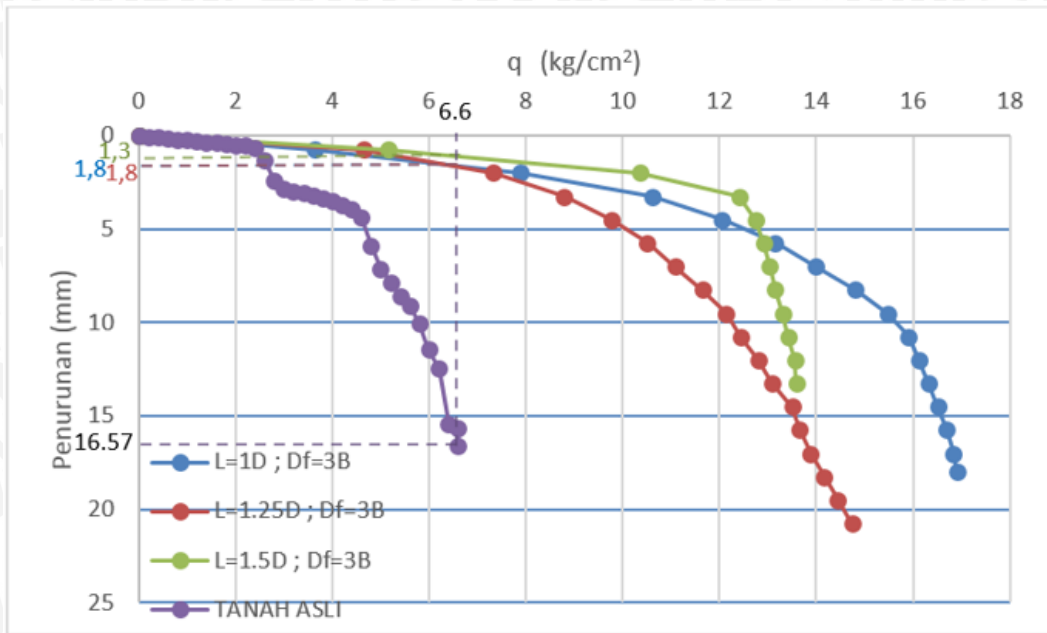
Setelah dilakukan uji pembebanan pada benda uji model tanah asli, maka berikutnya uji pembebanan dilakukan pada benda uji yang telah distabilisasi dengan kolom DSM 15% *fly ash*. Untuk mengetahui besarnya penurunan (*settlement*) pada masing-masing variasi, peninjauan dilakukan pada nilai tegangan yang sama. Analisis penurunan dilakukan dengan cara mengplotkan besar daya dukung tanah asli sebesar 6.6 kg/cm² ke dalam grafik tegangan -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:



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 5 cm



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 10 cm



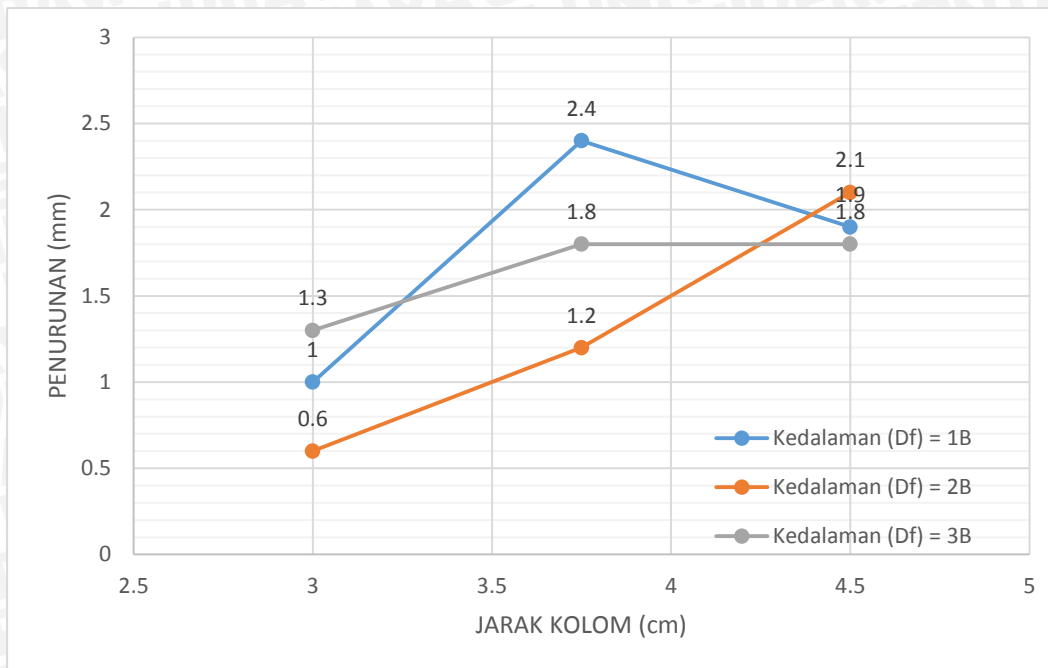
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (Df) = 15 cm

Dari **Gambar 4.10**, **Gambar 4.11**, dan **Gambar 4.12** telah diketahui besarnya penurunan yang terjadi pada nilai tegangan yang sama, sehingga hasilnya 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 ²	kg/cm ²	mm
Tanah Asli	-	-	25	6.6	16.57
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	3	25	6.6	1
		3.75	25	6.6	2.4
		4.5	25	6.6	1.9
	10	3	25	6.6	0.6
		3.75	25	6.6	1.2
		4.5	25	6.6	2.1

15	3	25	6.6	1.3
	3.75	25	6.6	1.8
	4.5	25	6.6	1.8

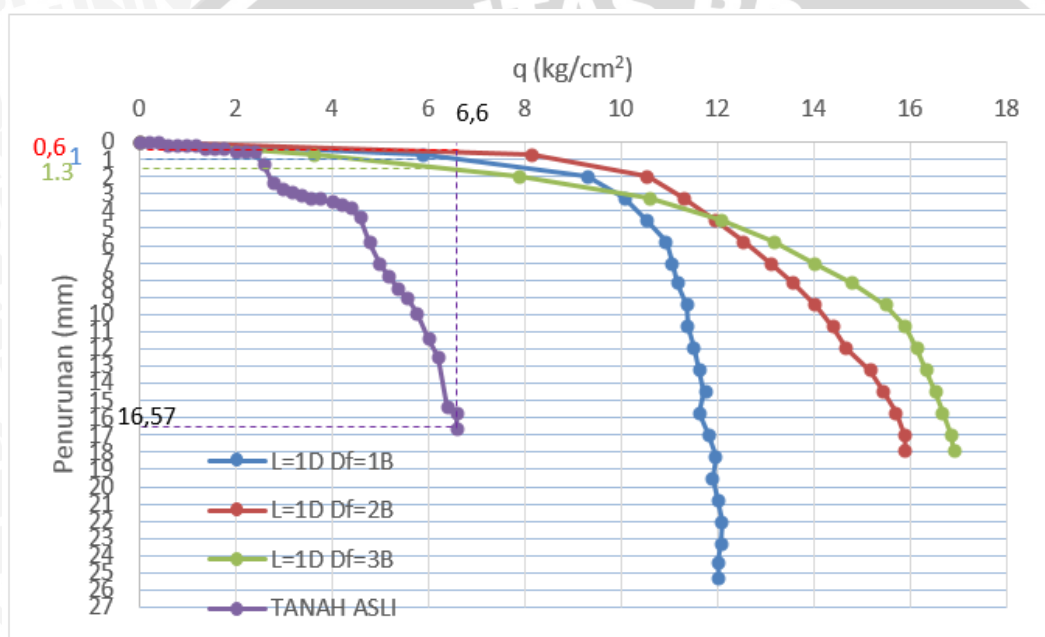


Gambar 4.13 Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Jarak antar Kolom

Dari **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.13**, dapat dilihat bahwa pada kedalaman (Df) 10 cm dan 15 cm besarnya penurunan (*settlement*) besarnya *settlement* akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antar kolom. Pada kedalaman kolom (Df) 5 cm, besarnya *settlement* naik saat jarak kolom 3,75 cm dan sedikit turun pada jarak 4,5 cm. Pada kedalaman kolom (Df) 5 cm tidak sesuai dengan hipotesa awal, hal ini dimungkinkan karena 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 (Df) berkurang yang menyebabkan variasi *settlement* yang tidak sesuai dengan hipotesa awal. Pengujian pembebanan yang dilakukan secara manual menggunakan *hydraulic pump* juga dapat menyebabkan penetrasi beban tidak konstan (lebih cepat atau lebih lambat), hal ini menyebabkan *settlement* yang terjadi dapat lebih besar atau lebih kecil. Pemotongan kolom saat sebelum pembebanan juga mengurangi kepadatan kolom DSM yang mempengaruhi besar kecilnya *settlement*.

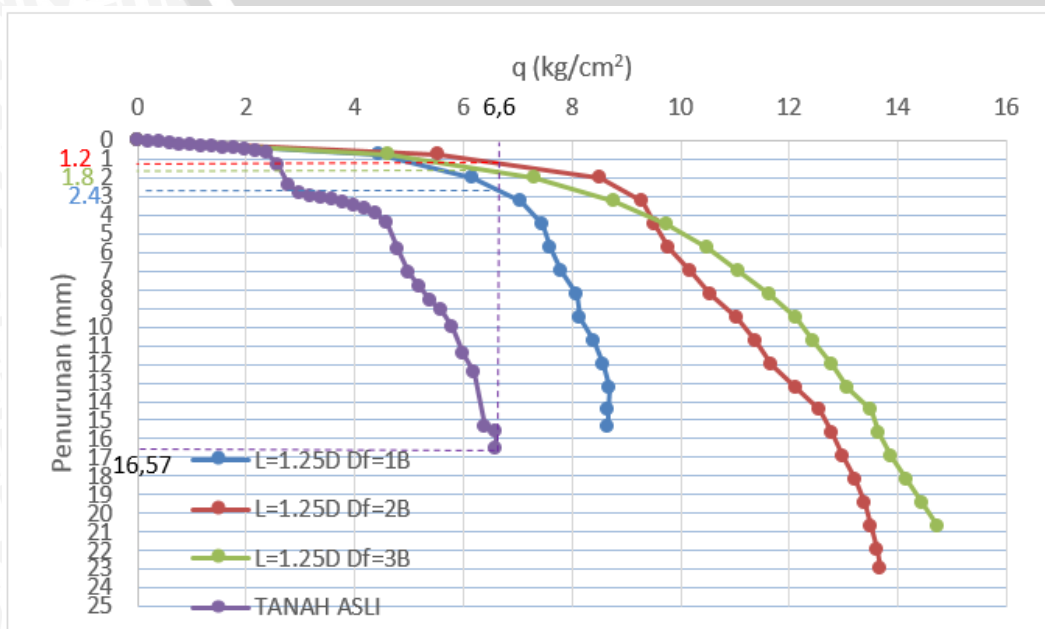
4.8.4.3 Penurunan Tanah yang Distabilisasi Kolom DSM pada Variasi Kedalaman Kolom (D_f) terhadap Jarak Antar Kolom (L)

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 dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak dan kedalaman kolom DSM terhadap penurunan tanah. Adapun hasil uji pembebanan pada benda uji model terhadap tegangan pada variasi kedalaman kolom terhadap jarak antar kolom adalah sebagai

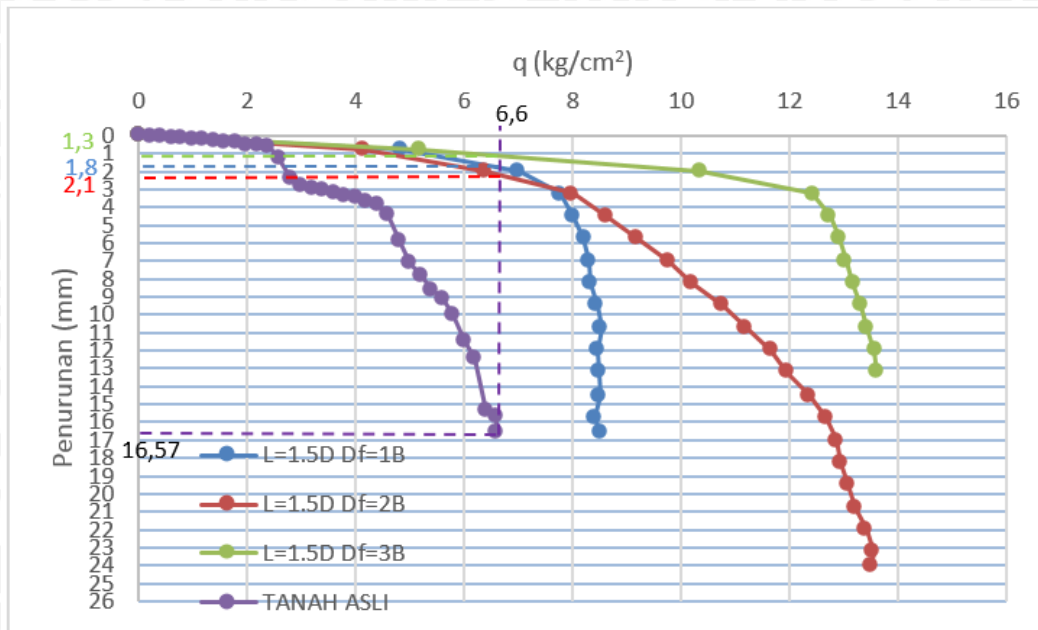


berikut:

Gambar 4.14 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 3 cm



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 3,75 cm



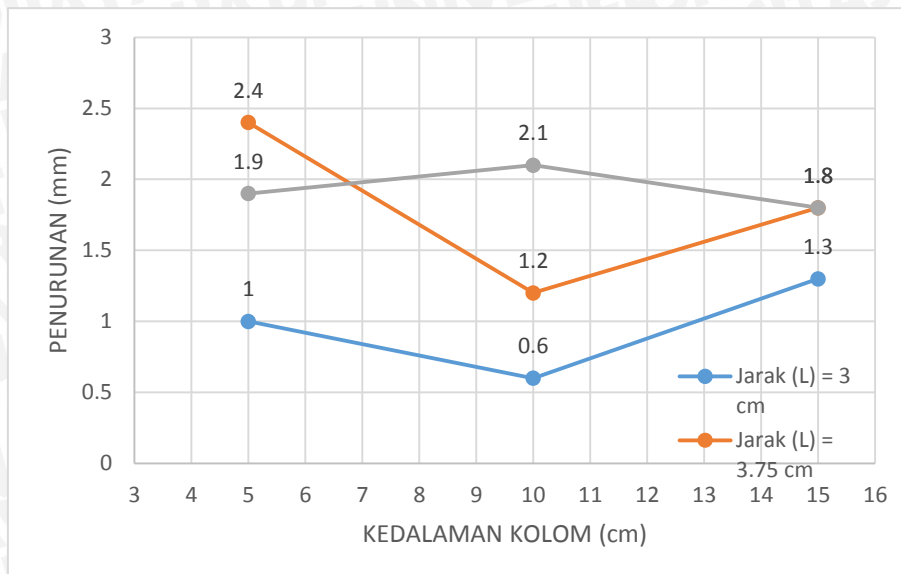
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 3,75 cm

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 ²	kg/cm ²	mm
Tanah Asli	-	-	25	6.6	16.57
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	3	5	25	6.6	1
		10	25	6.6	0.6
		15	25	6.6	1.3
	3.75	5	25	6.6	2.4
		10	25	6.6	1.2
		15	25	6.6	1.8
4.5	5	25	6.6	1.9	

	10	25	6.6	2.1
	15	25	6.6	1.8



Gambar 4.17 Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Kedalaman antar Kolom

Dari **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.17**, dapat dilihat bahwa besarnya penurunan (*settlement*) tidak sesuai dengan hipotesa yang ada, dimana besarnya *settlement* akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman kolom. Hal ini terjadi karena faktor-faktor kesalahan yang terjadi pada saat setting yang dilakukan sebelum uji pembebanan dilakukan. Pada saat melakukan perataan muka tanah sebelum pembebanan terkadang tanah stabilisasi harus di kikis sehingga kedalaman kolom stabilisasi (D_f) berkurang yang menyebabkan variasi *settlement* yang tidak sesuai dengan hipotesa awal. Selain itu pengujian pembebanan yang dilakukan secara manual menggunakan *hydraulic pump* juga dapat menyebabkan penetrasi beban tidak konstan (lebih cepat atau lebih lambat), hal ini menyebabkan *settlement* yang terjadi dapat lebih besar atau lebih kecil. Pemotongan kolom saat sebelum pembebanan juga mengurangi kepadatan kolom DSM yang mempengaruhi besar kecilnya *settlement*.

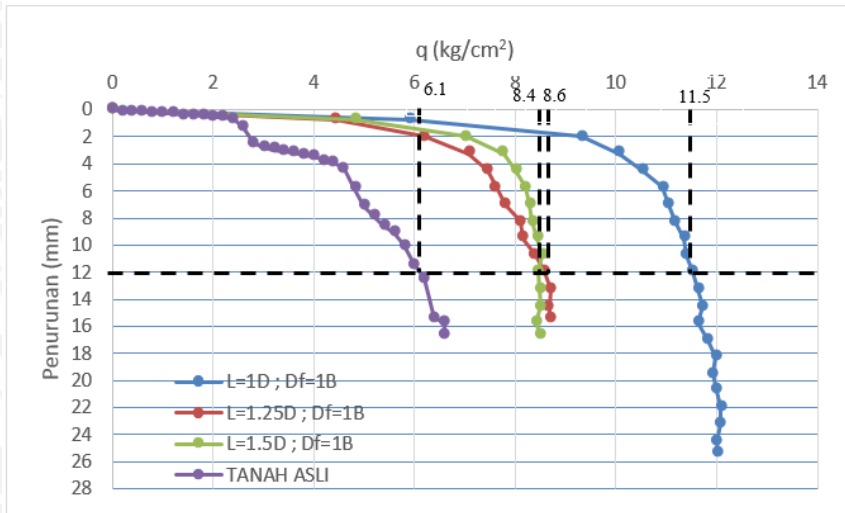
4.8.5 Tegangan Tanah Stabilisasi Kolom DSM Pada Penurunan Ijin

Berdasarkan data tegangan tanah dan penurunan yang ada, dapat kita ketahui berapa besar tegangan tanah yang terjadi pada penurunan tanah yang diijinkan. Rekomendasi penurunan yang diijinkan sekitar 12 mm sampai 18 mm (Raja S. Madhyannapu, 2014:140).

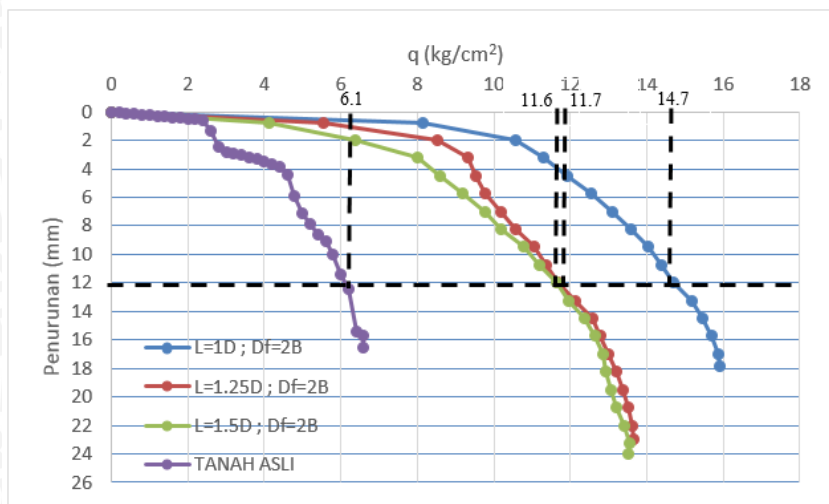
4.8.5.1 Tegangan Tanah Stabilisasi Kolom DSM Pada Penurunan Ijin dengan

Variasi Jarak Antar Kolom (L) terhadap Kedalaman Kolom (D_f)

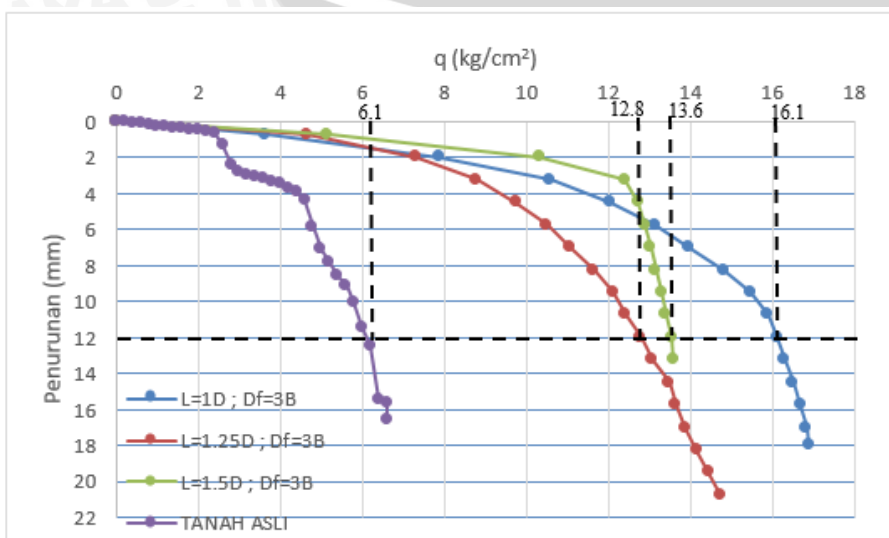
Pada penurunan ijin sebesar 12 mm dapat kita lihat tegangan tanah yang ada seperti pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.18 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 5 cm



Gambar 4.19 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 10 cm

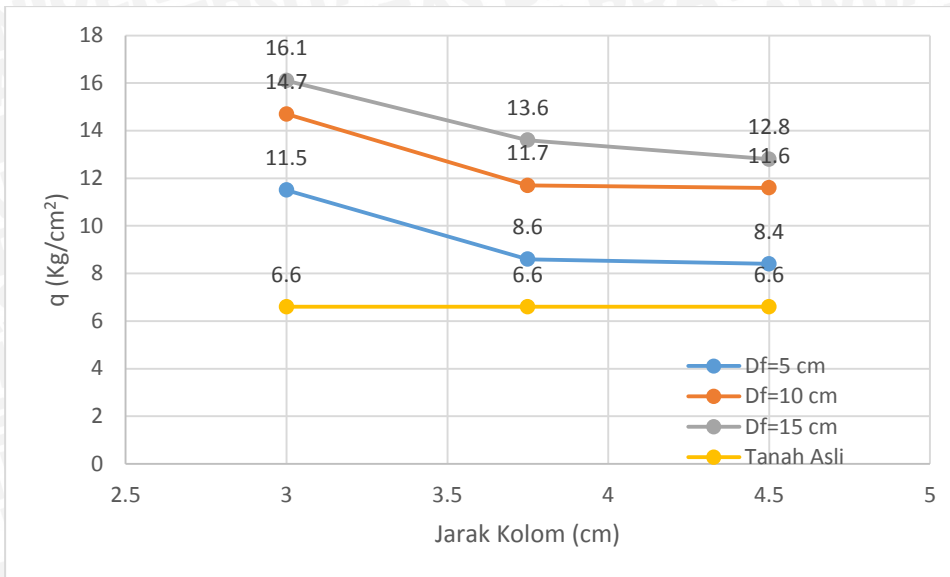


Gambar 4.20 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Kedalaman Kolom (D_f) = 15 cm

Dari **Gambar 4.18**, **Gambar 4.19**, dan **Gambar 4.20** telah diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada penurunan ijin 12 mm, sehingga hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.10** dan **Gambar 4.21** berikut ini:

Tabel 4.10 Tegangan akibat Variasi Jarak antar Kolom

Jenis Sampel	Kedalaman Kolom (D_f)	Jarak Kolom (L)	Luas Pondasi (A)	Penurunan	q
	cm	cm	cm ²	mm	kg/cm ²
Tanah Asli	-	-	25	12	6.6
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	3	25	12	11.5
		3.75	25	12	8.6
		4.5	25	12	8.4
	10	3	25	12	14.7
		3.75	25	12	11.7
		4.5	25	12	11.6
	15	3	25	12	16.1
		3.75	25	12	13.6
		4.5	25	12	12.8

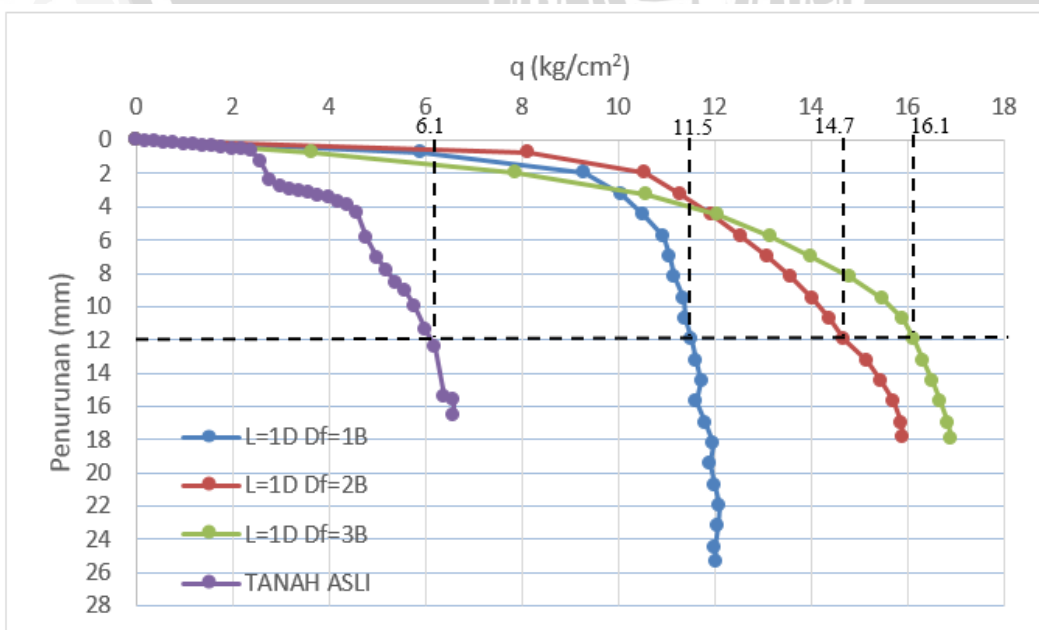


Gambar 4.21 Grafik Hubungan tegangan terhadap Variasi Jarak antar Kolom

Dari **Tabel 4.10** dan **Gambar 4.21** dapat disimpulkan bahwa tegangan tanah yang terjadi akan menurun seiring semakin bertambahnya jarak antar kolom.

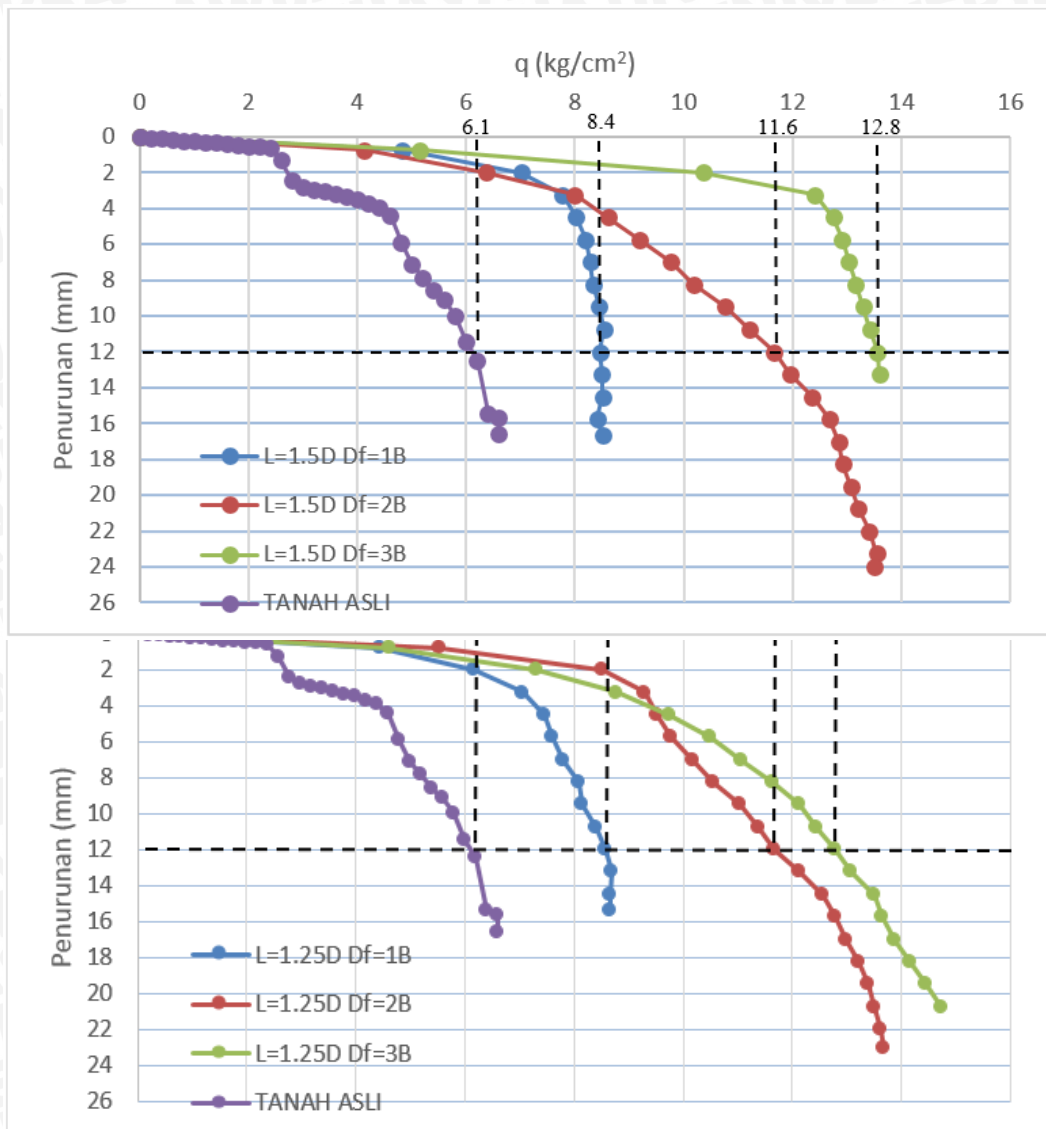
4.8.5.2 Tegangan Tanah Stabilisasi Kolom DSM Pada Penurunan Ijin dengan Variasi Kedalaman Kolom (D_f) terhadap Jarak Antar Kolom (L)

Pada penurunan ijin sebesar 12 mm dapat kita lihat tegangan tanah yang ada seperti pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.22 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Antar Kolom (L) = 3 cm

Gambar 4.23 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Antar Kolom (L) = 3.75 cm

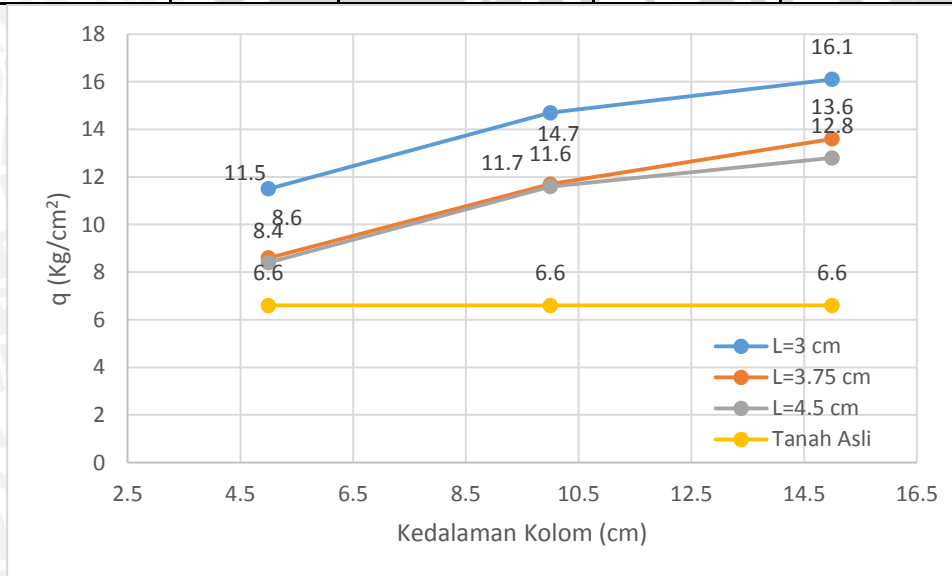


Gambar 4.24 Grafik Hubungan Tegangan dengan Penurunan Terhadap Jarak Antar Kolom (L) = 4.5 cm

Dari **Gambar 4.22**, **Gambar 4.23**, dan **Gambar 4.24** telah diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada penurunan ijin 12 mm, sehingga hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.11** dan **Gambar 4.25** berikut ini:

Tabel 4.11 Tegangan akibat Variasi Kedalaman Kolom

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (Df)	Luas Pondasi (A)	Penurunan	q
	cm				
Tanah Asli	-	-	25	12	6.6
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	3	5	25	12	11.5
		10	25	12	14.7
		15	25	12	16.1
	3.75	5	25	12	8.6
		10	25	12	11.7
		15	25	12	13.6
	4.5	5	25	12	8.4
		10	25	12	11.6
		15	25	12	12.8



Gambar 4.25 Grafik Hubungan tegangan terhadap Variasi Kedalaman Kolom

Dari **Tabel 4.11** dan **Gambar 4.26** dapat disimpulkan bahwa tegangan tanah yang terjadi akan meningkat seiring semakin bertambahnya kedalaman kolom DSM.

4.8.6 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 antar kolom dan panjang kolom. Selain itu juga, dari analisis BCI_u ini dapat diketahui manakah variasi yang lebih berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah. Nilai BCI_u dapat dihitung dengan cara besarnya

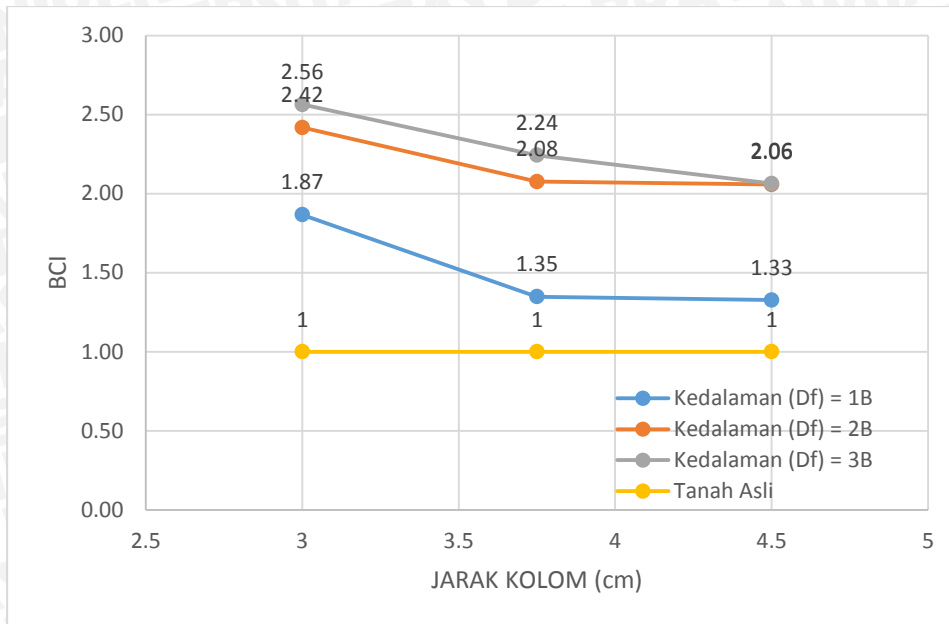
nilai daya dukung setelah stabilisasi dibagi dengan nilai daya dukung sebelum tanah distabilisasi yang kemudian hasilnya dijadikan prosentase.

4.8.6.1 Perbandingan BCI_u pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Kedalaman Kolom (D_f)

Untuk melihat pengaruh dari variasi jarak antar kolom terhadap BCI_u , dapat dilihat pada **Gambar 4.26** Dari hasil daya dukung yang telah dilakukan pada masing-masing variasi jarak antar kolom, maka nilai BCI_u dapat dihitung yang ditampilkan pada **Tabel 4.12** sebagai berikut:

Tabel 4.12 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 ²		(%)	
Tanah Asli	-	-	6.6	1		
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	3	12.32	1.87	38.43	1.60
		3.75	8.9	1.35		
		4.5	8.76	1.33		
	10	3	15.96	2.42	16.50	0.88
		3.75	13.7	2.08		
		4.5	13.58	2.06		
	15	3	16.92	2.56	14.32	8.66
		3.75	14.8	2.24		
		4.5	13.62	2.06		



Gambar 4.26 Grafik Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom Terhadap Nilai BCI

Berdasarkan pada **Tabel 4.12** dan **Gambar 4.26**, dapat diketahui bahwa bertambahnya jarak antar kolom (L) akan mengakibatkan menurunnya nilai daya dukung dan BCI_u . Peningkatan nilai daya dukung terjadi sangat signifikan pada jarak antar kolom 3 cm (antar kolom bersinggungan), yaitu meningkat sebesar 256,36 % dari tanah sebelum distabilisasi. Sedangkan, pada jarak antar kolom 3,75 cm, nilai daya dukung meningkat sebesar 224,24 % dari tanah sebelum distabilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antar kolom paling kecil (antar kolom bersinggungan) memberikan peningkatan nilai daya dukung terbesar.

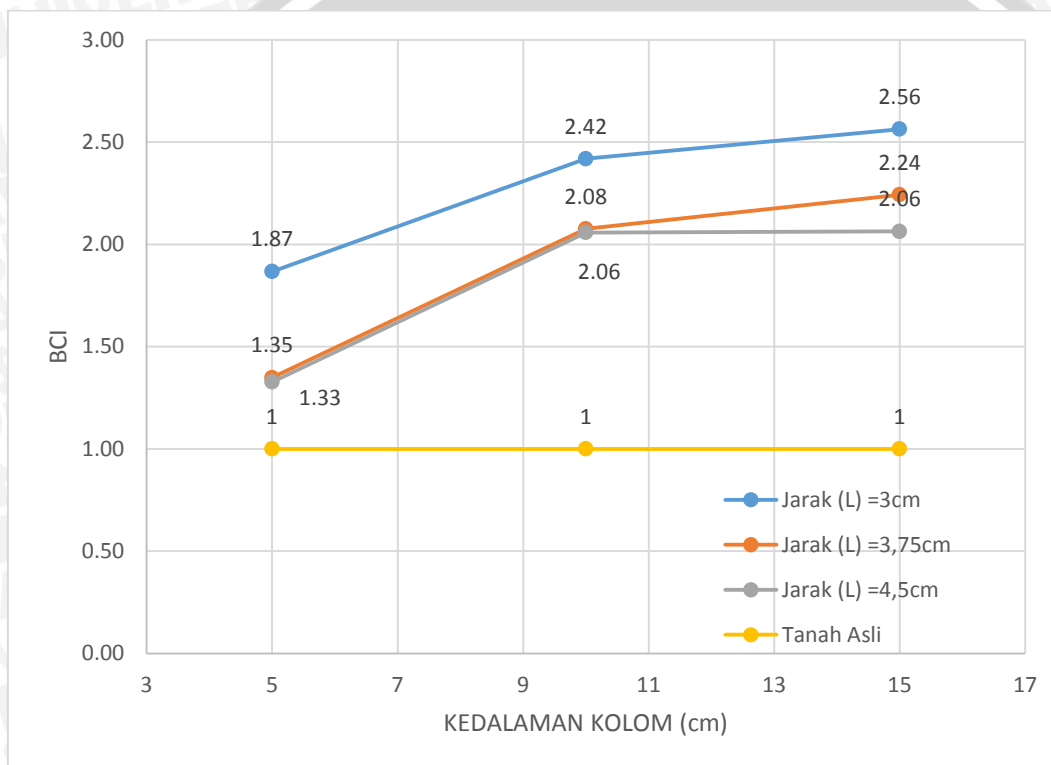
4.8.6.2 Perbandingan BCI_u pada Variasi Kedalaman Kolom (D_f) Terhadap Jarak antar Kolom (L)

Untuk melihat pengaruh dari variasi kedalaman kolom terhadap BCI_u , dapat dilihat pada **Gambar 4.27** Dari hasil daya dukung yang telah dilakukan pada masing-masing variasi kedalaman kolom, maka nilai BCI_u dapat dihitung yang ditampilkan pada **Tabel 4.13** sebagai berikut:

Tabel 4.13 Nilai BCI_u pada Variasi Kedalaman Kolom

Jenis Sampel	Jarak Kolom (L)	Kedalaman Kolom (D_f)	q_u	BCI	Prosentase Peningkatan Daya Dukung
	cm	cm	kg/cm ²		(%)

Tanah Asli	-	-	6.6	1.00		
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	1D	1B	12.32	1.87	29.55	6.02
		2B	15.96	2.42		
		3B	16.92	2.56		
	1.25D	1B	8.9	1.35	53.93	8.03
		2B	13.7	2.08		
		3B	14.8	2.24		
	1.5D	1B	8.76	1.33	55.02	0.29
		2B	13.58	2.06		
		3B	13.62	2.06		



Gambar 4.27 Grafik Pengaruh Variasi Kedalaman Kolom Terhadap Nilai BCI

Berdasarkan pada **Tabel 4.13** dan **Gambar 4.27**, dapat diketahui bahwa semakin bertambah kedalaman kolom (D_f) akan meningkatkan nilai daya dukung dan BCI_u . Peningkatan nilai daya dukung terjadi sangat signifikan pada panjang kolom 15 cm, yaitu meningkat sebesar 256,36% dari tanah sebelum distabilisasi. Sedangkan, untuk kedalaman 5 cm, nilai daya dukung meningkat sebesar 186,67% dari tanah sebelum distabilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman kolom paling besar memberikan peningkatan nilai daya dukung terbesar.

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

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak antar kolom dan panjang kolom stabilisasi tanah ekspansif dengan metode *Deep Soil Mix* (DSM) terhadap nilai daya dukung tanah. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, yaitu pemodelan fisik tanah ekspansif yang distabilisasi dengan kolom DSM 15% *fly ash* dengan variabel bebas jarak antar kolom dan panjang kolom serta variabel terikat daya dukung dan penurunan tanah, didapatkan hasil bahwa variasi jarak antar kolom 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% *fly ash* 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, reaksi antara kalsium yang terdapat dalam *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat dalam tanah dapat menghasilkan massa yang 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 memiliki hubungan setengah parabola 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. 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* 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 4.14**. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap peningkatan nilai daya dukung.

Tabel 4.14 Perbandingan Peningkatan BCI_u pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom

Variasi Jarak		Peningkatan BCI_u		Variasi Panjang		Peningkatan BCI_u	
Df	L			L	Df		
cm	cm	%	%	cm	cm	%	%
5.00	3.00	38.43	1.60	3.00	15.00	6.02	29.55
	3.75				10.00		
	4.50				5.00		
10.00	3.00	16.50	0.88	3.75	15.00	8.03	53.93
	3.75				10.00		
	4.50				5.00		
15.00	3.00	14.32	8.66	4.50	15.00	0.29	55.02
	3.75				10.00		
	4.50				5.00		

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 **Tabel 4.15**. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap penurunan nilai *settlement*.

Tabel 4.15 Perbandingan Penurunan Nilai *Settlement* pada Variasi Jarak dan Kedalaman Kolom

Variasi Jarak		Selisih Penurunan		Variasi Kedalaman		Selisih Penurunan	
Df	L			L	Df		
cm	cm	mm	mm	cm	cm	mm	mm
5	4.5	0.5	1.4	3	5	0.4	0.7
	3.75				10		
	3				15		
10	4.5	0.9	0.6	3.75	5	1.2	0.6
	3.75				10		

	3				15		
15	4.5	0	0.5	4.5	5	0.2	0.3
	3.75				10		
	3				15		

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

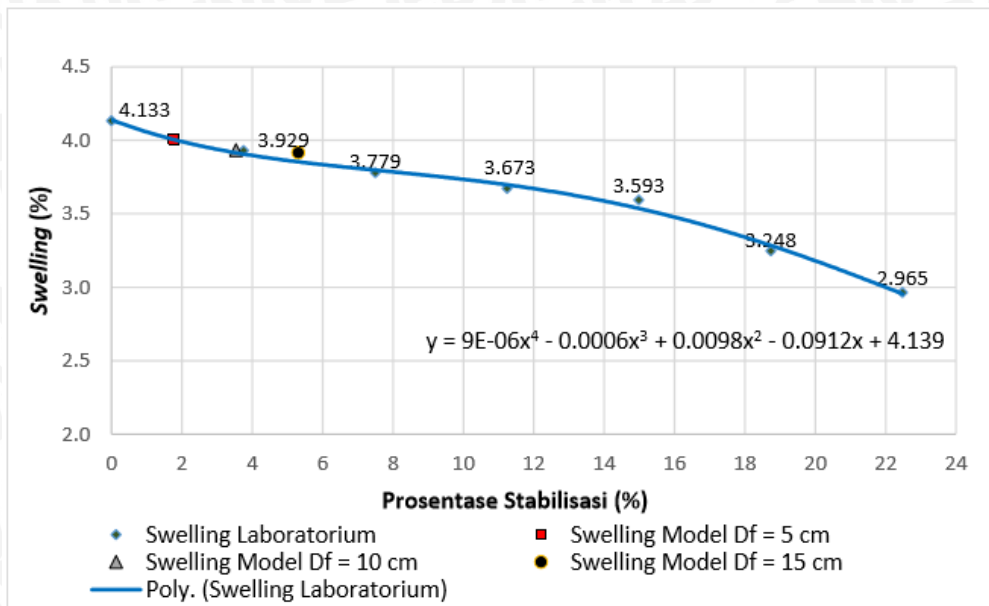
Pada data hasil penelitian yang dilakukan oleh (Meisy, 2015) mengenai pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi dengan metode deep soil mixing, maka pada penelitian ini pun bisa membandingkan terhadap hasil penelitian tersebut. Di mana penelitian tersebut mengidentifikasi jumlah kolom DSM yang berarti berhubungan 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 4.16**.

Tabel 4.16 Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi

Sampel	Variasi Jumlah Kolom	Volume Benda Uji	Volume Kolom	Persentase Stabilisasi	Pengembangan (<i>Swelling</i>)
		(cm ³)	(cm ³)	(%)	(%)
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 4.16** tersebut maka didapat pengembangan terhadap prosentase tanah



yang distabilisasi seperti pada **Gambar 4.28**.

Gambar 4.28 Pengembangan tanah stabilisasi DSM berdasarkan jumlah kolom
Sumber: Meisy (2015)

Dari **Gambar 4.28** 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 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 4.17**.

Tabel 4.17 Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM

Sampel	Df	L	Volume Kolom	Volume Benda Uji	Persentase Stabilisasi	Pengembangan (swelling)	Penurunan Swelling dari tanah Asli
	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(%)	(%)	(%)
Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash	5	3	459.46	4500.00	10.21	3.60	0.53
		3.75	282.74		6.28	3.81	0.33
		4.5	176.71		3.93	3.90	0.24
	10	3	918.92		20.42	1.41	2.72
		3.75	565.49		12.57	3.37	0.76

	4.5	353.43	7.85	3.74	0.39
	3	1378.37	30.63	0.00	4.13
15	3.75	848.23	18.85	2.00	2.14
	4.5	530.14	11.78	3.46	0.67

Dari **Tabel 4.17** tersebut dapat diketahui bahwa pada prosentase tanah yang distabilisasi metode DSM untuk variasi kedalaman kolom 5 cm dengan jarak antar kolom 3 cm sebesar 10,21 % didapat pengembangan sebesar 3,83 %. Sedangkan pada variasi kedalaman 15 cm jarak kolom 3 cm dengan prosentase tanah yang distabilisasi sebesar 30,63 % sudah tidak terjadi pengembangan (swelling). Sehingga dapat disimpulkan bahwa seiring dengan peningkatan volume kolom tanah stabilisasi maka pengembangan yang terjadi semakin menurun.





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh variasi jarak dan kedalaman stabilisasi tanah ekspansif di Bojonegoro dengan metode *deep soil mixing* (DSM) tipe *triangular* diameter 3 cm terhadap daya dukung tanah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi jarak dan kedalaman kolom stabilisasi pada metode DSM konfigurasi *triangular* diameter 3 cm dengan penambahan 15% fly ash sebagai bahan stabilisasi tanah mempengaruhi nilai daya dukung (q_u) terhadap tanah tanpa stabilisasi.
2. Dalam penelitian ini jarak dan kedalaman optimum kolom belum ditemukan, hal ini dikarenakan semakin besar kedalaman dan semakin kecil jarak antar kolom maka daya dukung tanah akan semakin meningkat. Peningkatan daya dukung paling maksimum pada penelitian ini terdapat pada variasi jarak antar kolom (L) = 3cm dan kedalaman kolom (D_f) = 15cm yang mampu meningkatkan daya dukung tanah hingga 256,36% dari daya dukung tanah asli.
3. Stabilisasi dengan bahan aditif 15% fly ash pada metode DSM berpola *triangular* dapat mengurangi nilai pengembangan (*swelling*) seiring dengan meningkatnya volume tanah yang distabilisasi. Prosentase stabilisasi tanah sebesar 30.63% telah mampu menghentikan pengembangan (*swelling*) tanah asli.

5.2. Saran

Dari analisis dan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian tentang stabilisasi tanah metode *Deep Soil Mix* lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Perlu dilakukan pengecekan pada kelembaban tanah di boks pada saat melakukan proses perawatan (*curing*).
2. Perlu dilakukan uji tentang pengaruh lama proses perawatan terhadap daya dukung.



DAFTAR PUSTAKA

Anshorie, Ahya Al. 2015. Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom Stabilisasi Tanah Ekspansif Di Bojonegoro dengan Metode Deep Soil Mix Tipe Single Square Diameter 3 Cm Terhadap Daya Dukung Tanah. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

ASTM C 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. *Foundations on Expansive Soils*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.

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

EuroSoilStab. 2002. "Design Guide Soft Soil Stabilization". *Project No. BE 96-3177*, 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 2 Cm 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 Fly Ash. 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.

Sherwood, P.T., 1993. *Soil stabilization with cement and lime*. London: H.M.S.O.

Tobing, Benny C. L. Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Bojonegoro Dengan Campuran 15% Fly Ash. *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 Kering
Lapisan 1	28.23	1.331
Lapisan 2	28.17	1.334
Lapisan 3	28.67	1.331
Lapisan 4	28.17	1.334
Rata - rata	28.31	1.332

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	36.30	36.20	36.20	36.20	36.30	36.30	36.40	36.30	36.20	36.20	36.30	36.30
3. Mass of Wet Soil	gr	19.60	19.50	19.50	19.50	19.60	19.60	19.70	19.60	19.50	19.50	19.60	19.60
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.90	32.00	31.90	32.00	31.90	32.00	31.90	31.90	32.00	32.00	32.00	31.90
7. Mass of Dry Soil	gr	15.20	15.30	15.20	15.30	15.20	15.30	15.20	15.20	15.30	15.30	15.30	15.20
8. Mass of Water	gr	4.40	4.20	4.30	4.20	4.40	4.30	4.50	4.40	4.20	4.20	4.30	4.40
9. Water Content	%	28.95	27.45	28.29	27.45	28.95	28.10	29.61	28.95	27.45	27.45	28.10	28.95
10. Average of Water Content	%	28.23			28.17			28.67			28.17		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.328	1.337	1.328	1.337	1.328	1.337	1.328	1.328	1.337	1.337	1.337	1.328
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.331			1.334			1.331			1.334		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.332											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 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	36.20	36.10	36.10	36.20	36.20	36.10	36.30	36.20	36.20	36.10	36.10	36.20
3. Mass of Wet Soil	gr	19.50	19.40	19.40	19.50	19.50	19.40	19.60	19.50	19.50	19.40	19.40	19.50
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.90	31.80	31.90	31.90	32.00	31.80	31.90	32.00	32.00	31.90	31.80	31.90
7. Mass of Dry Soil	gr	15.20	15.10	15.20	15.20	15.30	15.10	15.20	15.30	15.30	15.20	15.10	15.20
8. Mass of Water	gr	4.30	4.30	4.20	4.30	4.20	4.30	4.40	4.20	4.20	4.20	4.30	4.30
9. Water Content	%	28.29	28.48	27.63	28.29	27.45	28.48	28.95	27.45	27.45	27.63	28.48	28.29
10. Average of Water Content	%	28.13			28.07			27.95			28.13		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.328	1.319	1.328	1.328	1.337	1.319	1.328	1.337	1.337	1.328	1.319	1.328
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.325			1.328			1.334			1.325		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.328											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 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	36.10	36.30	36.10	36.20	36.20	36.10	36.20	36.20	36.10	36.20	36.10	36.10
3. Mass of Wet Soil	gr	19.40	19.60	19.40	19.50	19.50	19.40	19.50	19.50	19.40	19.50	19.40	19.40
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.80	32.00	31.90	31.80	31.90	31.90	31.80	31.90	31.80	31.80	31.90	31.80
7. Mass of Dry Soil	gr	15.10	15.30	15.20	15.10	15.20	15.20	15.10	15.20	15.10	15.10	15.20	15.10
8. Mass of Water	gr	4.30	4.30	4.20	4.40	4.30	4.20	4.40	4.30	4.30	4.40	4.20	4.30
9. Water Content	%	28.48	28.10	27.63	29.14	28.29	27.63	29.14	28.29	28.48	29.14	27.63	28.48
10. Average of Water Content	%	28.07			28.35			28.64			28.42		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.319	1.337	1.328	1.319	1.328	1.328	1.319	1.328	1.319	1.319	1.328	1.319
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.328			1.325			1.322			1.322		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.324											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 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	36.30	36.20	36.10	36.10	36.00	36.00	36.10	36.10	36.20	36.10	36.10	36.00
3. Mass of Wet Soil	gr	19.60	19.50	19.40	19.40	19.30	19.30	19.40	19.40	19.50	19.40	19.40	19.30
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.90	31.90	31.80	31.80	31.70	31.80	31.70	31.90	31.90	31.80	31.80	31.70
7. Mass of Dry Soil	gr	15.20	15.20	15.10	15.10	15.00	15.10	15.00	15.20	15.20	15.10	15.10	15.00
8. Mass of Water	gr	4.40	4.30	4.30	4.30	4.30	4.20	4.40	4.20	4.30	4.30	4.30	4.30
9. Water Content	%	28.95	28.29	28.48	28.48	28.67	27.81	29.33	27.63	28.29	28.48	28.48	28.67
10. Average of Water Content	%	28.57			28.32			28.42			28.54		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.328	1.328	1.319	1.319	1.311	1.319	1.311	1.328	1.328	1.319	1.319	1.311
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.325			1.316			1.322			1.316		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.320											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 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	36.00	36.00	36.10	36.20	36.10	36.20	36.00	36.10	36.10	36.20	36.10	36.10
3. Mass of Wet Soil	gr	19.30	19.30	19.40	19.50	19.40	19.50	19.30	19.40	19.40	19.50	19.40	19.40
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.70	31.60	31.80	31.90	31.80	32.00	32.00	31.90	31.80	31.90	31.90	31.80
7. Mass of Dry Soil	gr	15.00	14.90	15.10	15.20	15.10	15.30	15.30	15.20	15.10	15.20	15.20	15.10
8. Mass of Water	gr	4.30	4.40	4.30	4.30	4.30	4.20	4.00	4.20	4.30	4.30	4.20	4.30
9. Water Content	%	28.67	29.53	28.48	28.29	28.48	27.45	26.14	27.63	28.48	28.29	27.63	28.48
10. Average of Water Content	%	28.89			28.07			27.42			28.13		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.311	1.302	1.319	1.328	1.319	1.337	1.337	1.328	1.319	1.328	1.328	1.319
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.311			1.328			1.328			1.325		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.323											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 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	36.20	36.10	36.20	36.30	36.20	36.20	36.20	36.30	36.30	36.20	36.10	36.20
3. Mass of Wet Soil	gr	19.50	19.40	19.50	19.60	19.50	19.50	19.50	19.60	19.60	19.50	19.40	19.50
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.90	31.80	32.00	32.00	31.90	31.90	31.90	31.80	32.00	32.00	31.90	31.90
7. Mass of Dry Soil	gr	15.20	15.10	15.30	15.30	15.20	15.20	15.20	15.10	15.30	15.30	15.20	15.20
8. Mass of Water	gr	4.30	4.30	4.20	4.30	4.30	4.30	4.30	4.50	4.30	4.20	4.20	4.30
9. Water Content	%	28.29	28.48	27.45	28.10	28.29	28.29	28.29	29.80	28.10	27.45	27.63	28.29
10. Average of Water Content	%	28.07			28.23			28.73			27.79		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.328	1.319	1.337	1.337	1.328	1.328	1.328	1.319	1.337	1.337	1.328	1.328
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.328			1.331			1.328			1.331		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.330											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 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	36.30	36.20	36.30	36.10	36.10	36.30	36.20	36.20	36.20	36.20	36.30	36.20
3. Mass of Wet Soil	gr	19.60	19.50	19.60	19.40	19.40	19.60	19.50	19.50	19.50	19.50	19.60	19.50
4. Volume of Soil	cm ³	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	32.00	32.10	31.90	32.00	31.80	31.80	31.90	32.00	31.80	31.90	32.00	32.00
7. Mass of Dry Soil	gr	15.30	15.40	15.20	15.30	15.10	15.10	15.20	15.30	15.10	15.20	15.30	15.30
8. Mass of Water	gr	4.30	4.10	4.40	4.10	4.30	4.50	4.30	4.20	4.40	4.30	4.30	4.20
9. Water Content	%	28.10	26.62	28.95	26.80	28.48	29.80	28.29	27.45	29.14	28.29	28.10	27.45
10. Average of Water Content	%	27.89			28.36			28.29			27.95		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.337	1.346	1.328	1.337	1.319	1.319	1.328	1.337	1.319	1.328	1.337	1.337
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.337			1.325			1.328			1.334		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.331											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 7

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	36.20	36.10	36.20	36.30	36.10	36.10	36.20	36.10	36.00	36.00	36.10	36.10
3. Mass of Wet Soil	gr	19.50	19.40	19.50	19.60	19.40	19.40	19.50	19.40	19.30	19.30	19.40	19.40
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.90	31.80	31.80	31.90	31.90	31.90	32.00	31.90	31.90	31.80	31.80	31.90
7. Mass of Dry Soil	gr	15.20	15.10	15.10	15.20	15.20	15.20	15.30	15.20	15.20	15.10	15.10	15.20
8. Mass of Water	gr	4.30	4.30	4.40	4.40	4.20	4.20	4.20	4.20	4.10	4.20	4.30	4.20
9. Water Content	%	28.29	28.48	29.14	28.95	27.63	27.63	27.45	27.63	26.97	27.81	28.48	27.63
10. Average of Water Content	%	28.64			28.07			27.35			27.97		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.328	1.319	1.319	1.328	1.328	1.328	1.337	1.328	1.328	1.319	1.319	1.328
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.322			1.328			1.331			1.322		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.326											

PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 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	36.10	36.00	36.10	36.00	36.00	36.10	36.20	36.10	36.20	36.10	36.20	36.00
3. Mass of Wet Soil	gr	19.40	19.30	19.40	19.30	19.30	19.40	19.50	19.40	19.50	19.40	19.50	19.30
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.70	31.80	31.70	31.80	31.80	31.70	31.90	31.90	31.80	31.80	31.90	31.80
7. Mass of Dry Soil	gr	15.00	15.10	15.00	15.10	15.10	15.00	15.20	15.20	15.10	15.10	15.20	15.10
8. Mass of Water	gr	4.40	4.20	4.40	4.20	4.20	4.40	4.30	4.20	4.40	4.30	4.30	4.20
9. Water Content	%	29.33	27.81	29.33	27.81	27.81	29.33	28.29	27.63	29.14	28.48	28.29	27.81
10. Average of Water Content	%	28.83			28.32			28.35			28.19		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.311	1.319	1.311	1.319	1.319	1.311	1.328	1.328	1.319	1.319	1.328	1.319
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.313			1.316			1.325			1.322		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.319											

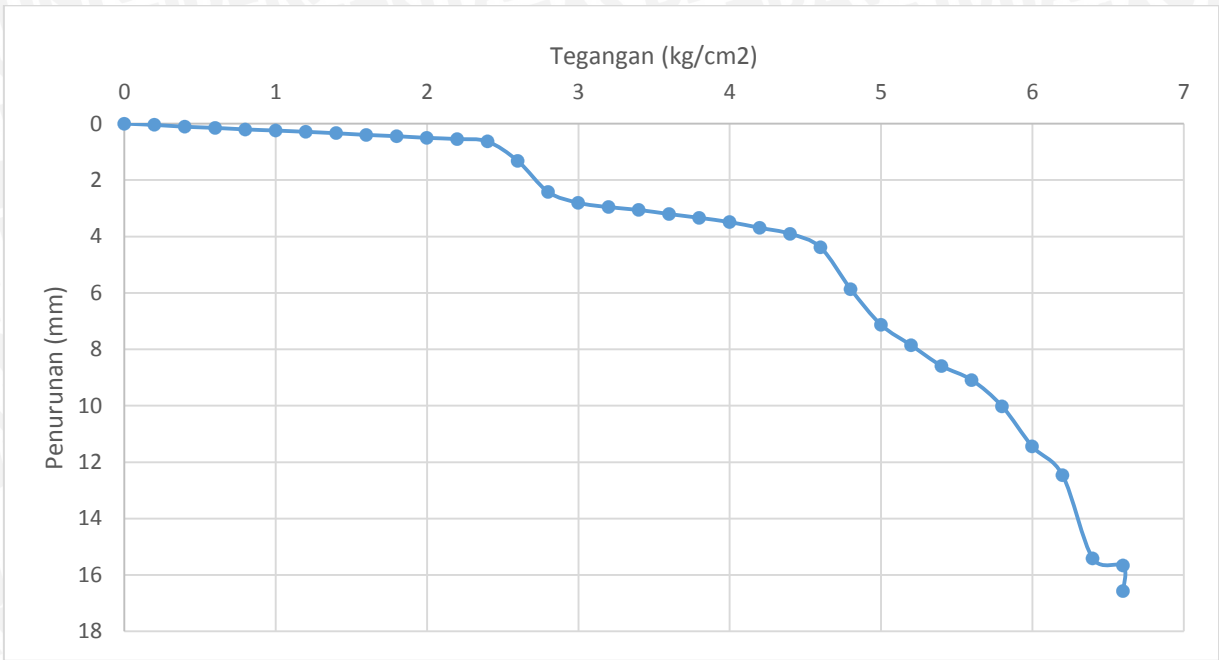
PEMERIKSAAN DENSITY RING SAMPEL 9

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	36.20	36.30	36.30	36.30	36.20	36.10	36.30	36.20	36.30	36.20	36.30	36.30
3. Mass of Wet Soil	gr	19.50	19.60	19.60	19.60	19.50	19.40	19.60	19.50	19.60	19.50	19.60	19.60
4. Volume of Soil	cm ³	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	31.90	31.80	32.00	31.90	32.00	32.00	31.90	31.90	32.00	32.00	32.00	31.90
7. Mass of Dry Soil	gr	15.20	15.10	15.30	15.20	15.30	15.30	15.20	15.20	15.30	15.30	15.30	15.20
8. Mass of Water	gr	4.30	4.50	4.30	4.40	4.20	4.10	4.40	4.30	4.30	4.20	4.30	4.40
9. Water Content	%	28.29	29.80	28.10	28.95	27.45	26.80	28.95	28.29	28.10	27.45	28.10	28.95
10. Average of Water Content	%	28.73			27.73			28.45			28.17		
11. Dry Density of Soil (γ_d)	gr/cm ³	1.328	1.319	1.337	1.328	1.337	1.337	1.328	1.328	1.337	1.337	1.337	1.328
12. Average of γ_d per layer	gr/cm ³	1.328			1.334			1.331			1.334		
Average of γ_d Total	gr/cm ³	1.332											

Lampiran 2 Hasil Uji Pembebanan

Tabel Uji Pembebanan Tanah Asli

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (<i>s</i>)	Beban (<i>P</i>)	Luas Pelat (<i>A</i>)	Daya Dukung (<i>q</i>)
		mm	kg	cm ²	kg/cm ²
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

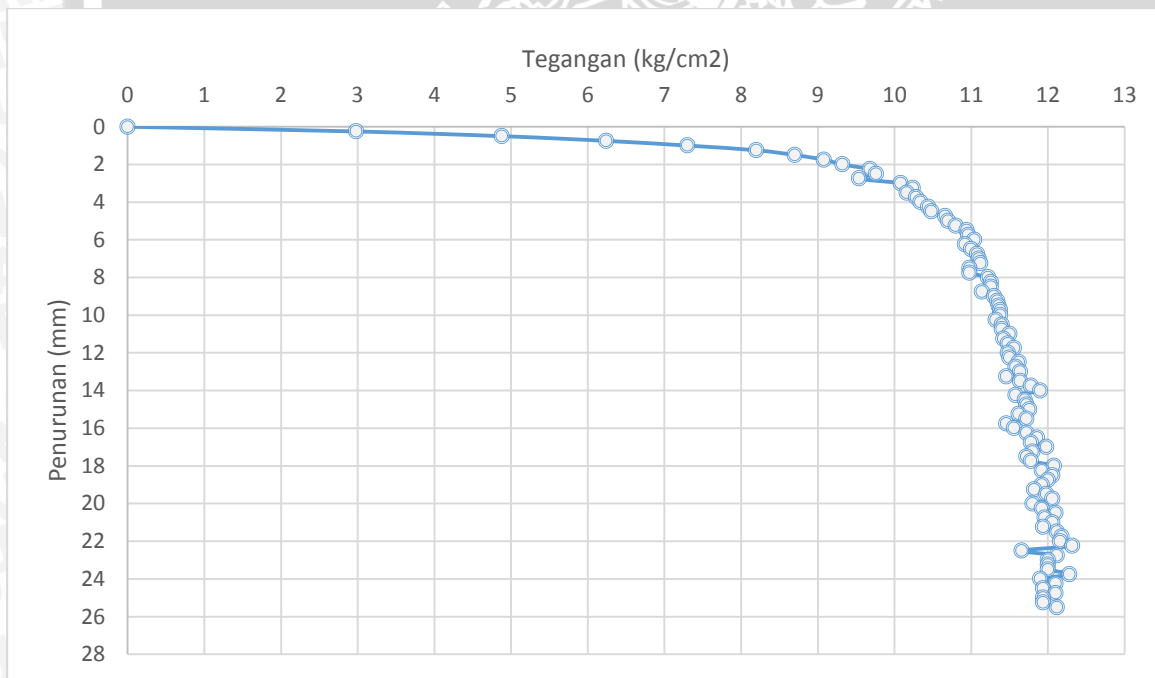
Variasi 1: L = 3 cm ; Df = 5 cm

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (<i>s</i>)	Beban (<i>P</i>)	Luas Pelat (<i>A</i>)	Daya Dukung (<i>q</i>)
		mm	kg	cm ²	kg/cm ²
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	<i>P</i>	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
51.66	0	0	0	25	0
51.16	50	0.25	74.5	25	2.98
50.66	100	0.5	122	25	4.88
50.16	150	0.75	156	25	6.24
49.66	200	1	182.5	25	7.3
49.16	250	1.25	205	25	8.2
48.66	300	1.5	217.5	25	8.7
48.16	350	1.75	227	25	9.08
47.66	400	2	233	25	9.32
47.16	450	2.25	242	25	9.68
46.66	500	2.5	244	25	9.76
46.16	550	2.75	238.5	25	9.54
45.66	600	3	252	25	10.08
45.16	650	3.25	256	25	10.24
44.66	700	3.5	254	25	10.16
44.16	750	3.75	257	25	10.28
43.66	800	4	258.5	25	10.34
43.16	850	4.25	261	25	10.44
42.66	900	4.5	262	25	10.48
42.16	950	4.75	266.5	25	10.66
41.66	1000	5	267.5	25	10.7
41.16	1050	5.25	270	25	10.8
40.66	1100	5.5	273.5	25	10.94
40.16	1150	5.75	274	25	10.96
39.66	1200	6	276	25	11.04
39.16	1250	6.25	273	25	10.92
38.66	1300	6.5	275	25	11
38.16	1350	6.75	277	25	11.08
37.66	1400	7	277.5	25	11.1
37.16	1450	7.25	278	25	11.12
36.66	1500	7.5	274.5	25	10.98
36.16	1550	7.75	274.5	25	10.98
35.66	1600	8	280.5	25	11.22
35.16	1650	8.25	281.5	25	11.26
34.66	1700	8.5	281.5	25	11.26
34.16	1750	8.75	278.5	25	11.14
33.66	1800	9	282.5	25	11.3
33.16	1850	9.25	283.5	25	11.34

32.66	1900	9.5	284	25	11.36
32.16	1950	9.75	284.5	25	11.38
31.66	2000	10	284.5	25	11.38
31.16	2050	10.25	283	25	11.32
30.66	2100	10.5	285	25	11.4
30.16	2150	10.75	285	25	11.4
29.66	2200	11	287.5	25	11.5
29.16	2250	11.25	285.5	25	11.42
28.66	2300	11.5	287	25	11.48
28.16	2350	11.75	289	25	11.56
27.66	2400	12	287	25	11.48
27.16	2450	12.25	287.5	25	11.5
26.66	2500	12.5	290.5	25	11.62
26.16	2550	12.75	289.5	25	11.58
25.66	2600	13	291	25	11.64
25.16	2650	13.25	286.5	25	11.46
24.66	2700	13.5	291	25	11.64
24.16	2750	13.75	294.5	25	11.78
23.66	2800	14	297.5	25	11.9
23.16	2850	14.25	289.5	25	11.58
22.66	2900	14.5	292.5	25	11.7
22.16	2950	14.75	293	25	11.72
21.66	3000	15	294	25	11.76
21.16	3050	15.25	290.5	25	11.62
20.66	3100	15.5	293	25	11.72
20.16	3150	15.75	286.5	25	11.46
19.66	3200	16	289	25	11.56
19.16	3250	16.25	293	25	11.72
18.66	3300	16.5	296.5	25	11.86
18.16	3350	16.75	294.5	25	11.78
17.66	3400	17	299.5	25	11.98
17.16	3450	17.25	295	25	11.8
16.66	3500	17.5	293	25	11.72
16.16	3550	17.75	294.5	25	11.78
15.66	3600	18	302	25	12.08
15.16	3650	18.25	298	25	11.92
14.66	3700	18.5	301.5	25	12.06
14.16	3750	18.75	300	25	12
13.66	3800	19	298	25	11.92
13.16	3850	19.25	295.5	25	11.82
12.66	3900	19.5	299.5	25	11.98
12.16	3950	19.75	301.5	25	12.06
11.66	4000	20	295	25	11.8
11.16	4050	20.25	298	25	11.92
10.66	4100	20.5	302.5	25	12.1

10.16	4150	20.75	299	25	11.96
9.66	4200	21	301.5	25	12.06
9.16	4250	21.25	298.5	25	11.94
8.66	4300	21.5	303	25	12.12
8.16	4350	21.75	304.5	25	12.18
7.66	4400	22	304	25	12.16
7.16	4450	22.25	308	25	12.32
6.66	4500	22.5	291.5	25	11.66
6.16	4550	22.75	303	25	12.12
5.66	4600	23	300	25	12
5.16	4650	23.25	300	25	12
4.66	4700	23.5	300	25	12
4.16	4750	23.75	307	25	12.28
3.66	4800	24	297.5	25	11.9
3.16	4850	24.25	302.5	25	12.1
2.66	4900	24.5	298.5	25	11.94
2.16	4950	24.75	302.5	25	12.1
1.66	5000	25	298.5	25	11.94
1.16	5050	25.25	298.5	25	11.94
0.66	5100	25.5	303	25	12.12



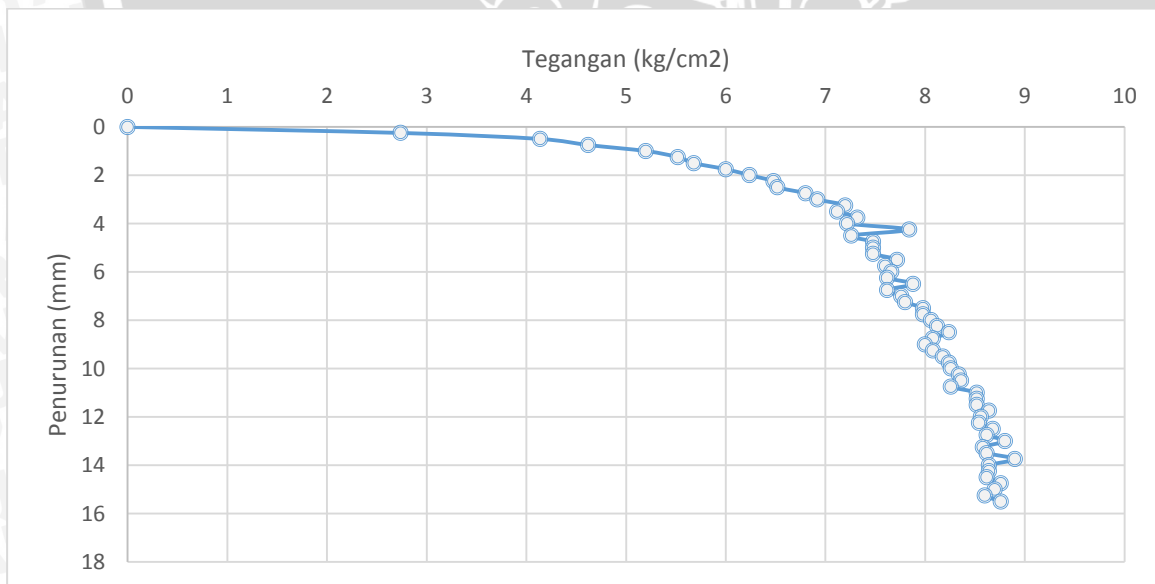
Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 1(L = 3cm ; Df = 5 cm)

Variasi 2: $L = 3,75\text{cm}$; $D_f = 5\text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	kg/cm ²
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	P	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
54.65	0	0	0	25	0
54.15	50	0.25	68.5	25	2.74
53.65	100	0.5	103.5	25	4.14
53.15	150	0.75	115.5	25	4.62
52.65	200	1	130	25	5.2
52.15	250	1.25	138	25	5.52
51.65	300	1.5	142	25	5.68
51.15	350	1.75	150	25	6
50.65	400	2	156	25	6.24
50.15	450	2.25	162	25	6.48
49.65	500	2.5	163	25	6.52
49.15	550	2.75	170	25	6.8
48.65	600	3	173	25	6.92
48.15	650	3.25	180	25	7.2
47.65	700	3.5	178	25	7.12
47.15	750	3.75	183	25	7.32
46.65	800	4	180.5	25	7.22
46.15	850	4.25	196	25	7.84
45.65	900	4.5	181.5	25	7.26
45.15	950	4.75	187	25	7.48
44.65	1000	5	187	25	7.48
44.15	1050	5.25	187	25	7.48
43.65	1100	5.5	193	25	7.72
43.15	1150	5.75	190	25	7.6
42.65	1200	6	191.5	25	7.66
42.15	1250	6.25	190.5	25	7.62
41.65	1300	6.5	197	25	7.88
41.15	1350	6.75	190.5	25	7.62
40.65	1400	7	194	25	7.76
40.15	1450	7.25	195	25	7.8
39.65	1500	7.5	199.5	25	7.98
39.15	1550	7.75	199.5	25	7.98
38.65	1600	8	201.5	25	8.06
38.15	1650	8.25	203	25	8.12
37.65	1700	8.5	206	25	8.24
37.15	1750	8.75	202	25	8.08
36.65	1800	9	200	25	8
36.15	1850	9.25	202	25	8.08
35.65	1900	9.5	204.5	25	8.18

35.15	1950	9.75	206	25	8.24
34.65	2000	10	206.5	25	8.26
34.15	2050	10.25	208.5	25	8.34
33.65	2100	10.5	209	25	8.36
33.15	2150	10.75	206.5	25	8.26
32.65	2200	11	213	25	8.52
32.15	2250	11.25	213	25	8.52
31.65	2300	11.5	213	25	8.52
31.15	2350	11.75	216	25	8.64
30.65	2400	12	214	25	8.56
30.15	2450	12.25	213.5	25	8.54
29.65	2500	12.5	217	25	8.68
29.15	2550	12.75	215.5	25	8.62
28.65	2600	13	220	25	8.8
28.15	2650	13.25	214.5	25	8.58
27.65	2700	13.5	215.5	25	8.62
27.15	2750	13.75	222.5	25	8.9
26.65	2800	14	216	25	8.64
26.15	2850	14.25	216	25	8.64
25.65	2900	14.5	215.5	25	8.62
25.15	2950	14.75	219	25	8.76
24.65	3000	15	217.5	25	8.7
24.15	3050	15.25	215	25	8.6
23.65	3100	15.5	219	25	8.76



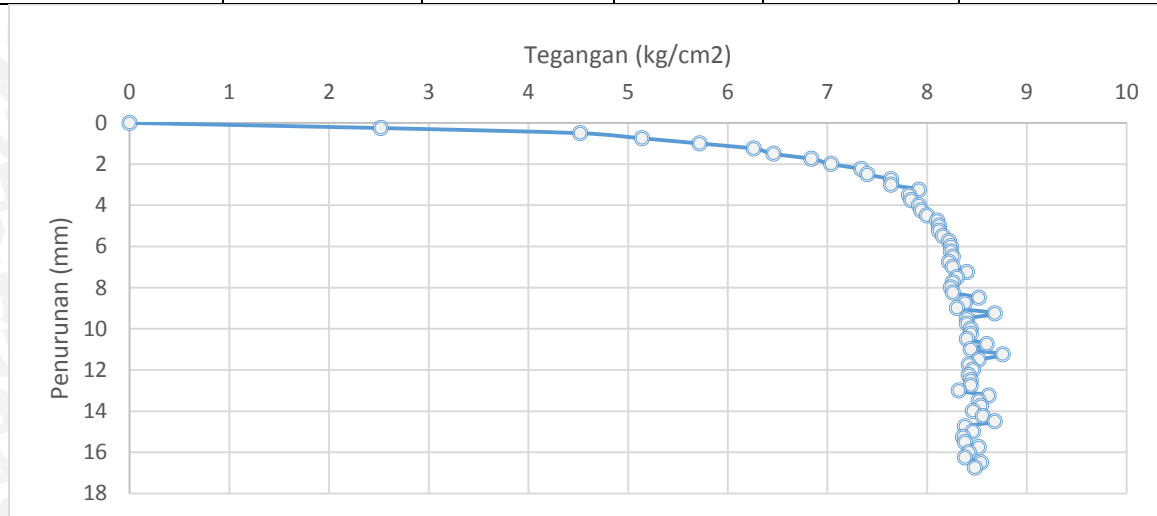
Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 2 (L = 3,75cm ; Df = 5 cm)

Variasi 3: $L = 4,5 \text{ cm}$; $D_f = 5 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	kg/cm ²
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	P	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
54.97	0	0	0	25	0
54.47	50	0.25	63	25	2.52
53.97	100	0.5	113	25	4.52
53.47	150	0.75	128.5	25	5.14
52.97	200	1	143	25	5.72
52.47	250	1.25	156.5	25	6.26
51.97	300	1.5	161.5	25	6.46
51.47	350	1.75	171	25	6.84
50.97	400	2	176	25	7.04
50.47	450	2.25	183.5	25	7.34
49.97	500	2.5	185	25	7.4
49.47	550	2.75	191	25	7.64
48.97	600	3	191	25	7.64
48.47	650	3.25	198	25	7.92
47.97	700	3.5	195.5	25	7.82
47.47	750	3.75	196	25	7.84
46.97	800	4	198	25	7.92
46.47	850	4.25	198.5	25	7.94
45.97	900	4.5	200	25	8
45.47	950	4.75	202.5	25	8.1
44.97	1000	5	203	25	8.12
44.47	1050	5.25	203	25	8.12
43.97	1100	5.5	204	25	8.16
43.47	1150	5.75	205.5	25	8.22
42.97	1200	6	206	25	8.24
42.47	1250	6.25	206	25	8.24
41.97	1300	6.5	206.5	25	8.26
41.47	1350	6.75	205.5	25	8.22
40.97	1400	7	206.5	25	8.26
40.47	1450	7.25	210	25	8.4
39.97	1500	7.5	207.5	25	8.3
39.47	1550	7.75	206.5	25	8.26
38.97	1600	8	206	25	8.24
38.47	1650	8.25	206.5	25	8.26
37.97	1700	8.5	213	25	8.52
37.47	1750	8.75	209.5	25	8.38
36.97	1800	9	207.5	25	8.3
36.47	1850	9.25	217	25	8.68

35.97	1900	9.5	210	25	8.4
35.47	1950	9.75	210	25	8.4
34.97	2000	10	211	25	8.44
34.47	2050	10.25	211	25	8.44
33.97	2100	10.5	210	25	8.4
33.47	2150	10.75	215	25	8.6
32.97	2200	11	211	25	8.44
32.47	2250	11.25	219	25	8.76
31.97	2300	11.5	213	25	8.52
31.47	2350	11.75	210.5	25	8.42
30.97	2400	12	211.5	25	8.46
30.47	2450	12.25	210.5	25	8.42
29.97	2500	12.5	211	25	8.44
29.47	2550	12.75	211	25	8.44
28.97	2600	13	208	25	8.32
28.47	2650	13.25	215.5	25	8.62
27.97	2700	13.5	213	25	8.52
27.47	2750	13.75	213.5	25	8.54
26.97	2800	14	211.5	25	8.46
26.47	2850	14.25	214	25	8.56
25.97	2900	14.5	217	25	8.68
25.47	2950	14.75	209.5	25	8.38
24.97	3000	15	211.5	25	8.46
24.47	3050	15.25	209	25	8.36
23.97	3100	15.5	209.5	25	8.38
23.47	3150	15.75	213	25	8.52
22.97	3200	16	210.5	25	8.42
22.47	3250	16.25	209.5	25	8.38
21.97	3300	16.5	213.5	25	8.54
21.47	3350	16.75	212	25	8.48



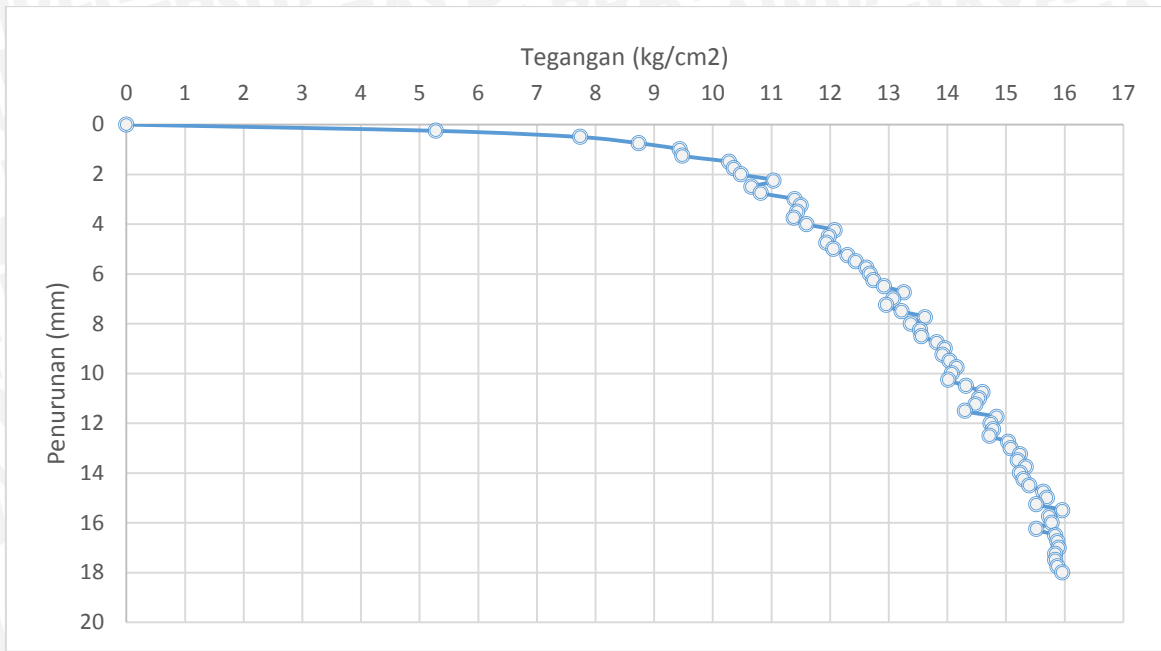
Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 3 (L = 4,5 cm ; Df = 5 cm)

Variasi 4: $L = 3 \text{ cm}$; $D_f = 10 \text{ cm}$

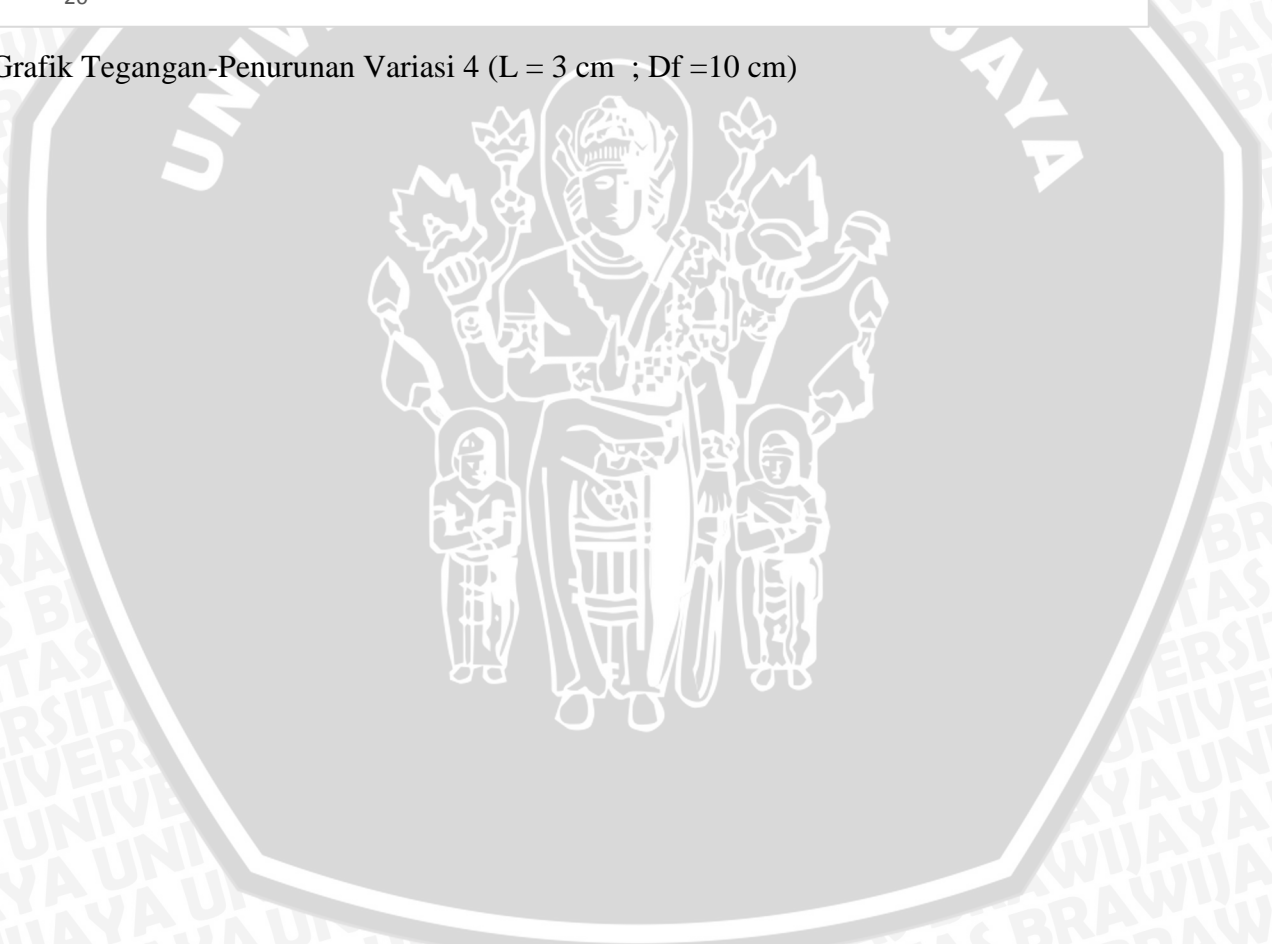
Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	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	132	25	5.28
51.08	100	0.5	193.5	25	7.74
50.58	150	0.75	218.5	25	8.74
50.08	200	1	236	25	9.44
49.58	250	1.25	237	25	9.48
49.08	300	1.5	257	25	10.28
48.58	350	1.75	259	25	10.36
48.08	400	2	262	25	10.48
47.58	450	2.25	276	25	11.04
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	357.5	25	14.3
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	376	25	15.04
26.08	2600	13	377	25	15.08
25.58	2650	13.25	381	25	15.24
25.08	2700	13.5	380	25	15.2
24.58	2750	13.75	383.5	25	15.34
24.08	2800	14	381	25	15.24
23.58	2850	14.25	382.5	25	15.3
23.08	2900	14.5	385	25	15.4
22.58	2950	14.75	391	25	15.64
22.08	3000	15	392.5	25	15.7
21.58	3050	15.25	388	25	15.52
21.08	3100	15.5	399	25	15.96
20.58	3150	15.75	393.5	25	15.74
20.08	3200	16	394.5	25	15.78
19.58	3250	16.25	388	25	15.52
19.08	3300	16.5	396	25	15.84
18.58	3350	16.75	397	25	15.88
18.08	3400	17	397.5	25	15.9
17.58	3450	17.25	396	25	15.84
17.08	3500	17.5	396	25	15.84
16.58	3550	17.75	397	25	15.88
16.08	3600	18	399	25	15.96



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 4 (L = 3 cm ; Df = 10 cm)



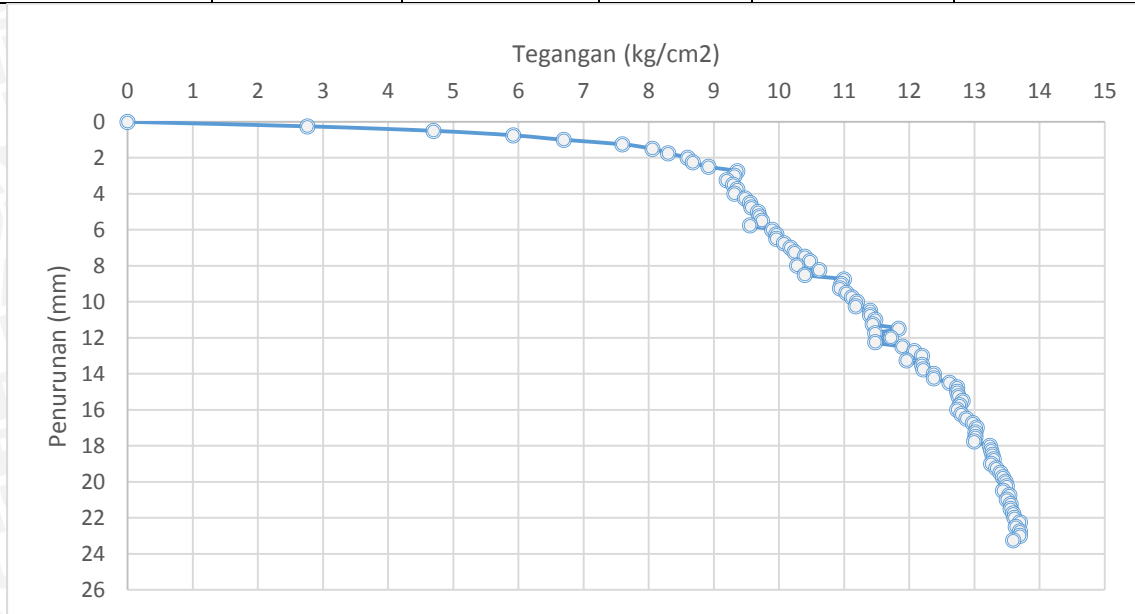
Variasi 5: $L = 3,75 \text{ cm}$; $D_f = 10 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

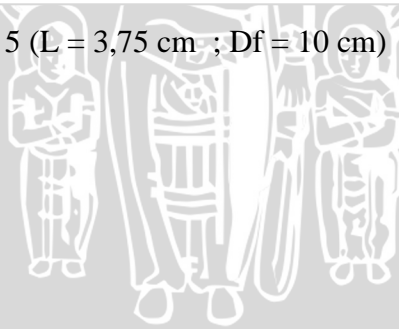
Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	kg/cm ²
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	P	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
53.45	0	0	0	25	0
52.95	50	0.25	69	25	2.76
52.45	100	0.5	117.5	25	4.7
51.95	150	0.75	148	25	5.92
51.45	200	1	167.5	25	6.7
50.95	250	1.25	190	25	7.6
50.45	300	1.5	201.5	25	8.06
49.95	350	1.75	207.5	25	8.3
49.45	400	2	215	25	8.6
48.95	450	2.25	217	25	8.68
48.45	500	2.5	223	25	8.92
47.95	550	2.75	234	25	9.36
47.45	600	3	233	25	9.32
46.95	650	3.25	230	25	9.2
46.45	700	3.5	232.5	25	9.3
45.95	750	3.75	234	25	9.36
45.45	800	4	233	25	9.32
44.95	850	4.25	237	25	9.48
44.45	900	4.5	239	25	9.56
43.95	950	4.75	239.5	25	9.58
43.45	1000	5	242	25	9.68
42.95	1050	5.25	242.5	25	9.7
42.45	1100	5.5	243.5	25	9.74
41.95	1150	5.75	239	25	9.56
41.45	1200	6	247.5	25	9.9
40.95	1250	6.25	249	25	9.96
40.45	1300	6.5	249	25	9.96
39.95	1350	6.75	252	25	10.08
39.45	1400	7	254.5	25	10.18
38.95	1450	7.25	256	25	10.24
38.45	1500	7.5	260	25	10.4
37.95	1550	7.75	262	25	10.48
37.45	1600	8	257	25	10.28
36.95	1650	8.25	265.5	25	10.62
36.45	1700	8.5	260	25	10.4
35.95	1750	8.75	275	25	11
35.45	1800	9	274	25	10.96
34.95	1850	9.25	273.5	25	10.94
34.45	1900	9.5	276	25	11.04

33.95	1950	9.75	278	25	11.12
33.45	2000	10	280	25	11.2
32.95	2050	10.25	279.5	25	11.18
32.45	2100	10.5	285	25	11.4
31.95	2150	10.75	285	25	11.4
31.45	2200	11	287	25	11.48
30.95	2250	11.25	286	25	11.44
30.45	2300	11.5	296	25	11.84
29.95	2350	11.75	287	25	11.48
29.45	2400	12	293	25	11.72
28.95	2450	12.25	287	25	11.48
28.45	2500	12.5	297.5	25	11.9
27.95	2550	12.75	302	25	12.08
27.45	2600	13	305	25	12.2
26.95	2650	13.25	299	25	11.96
26.45	2700	13.5	305	25	12.2
25.95	2750	13.75	305.5	25	12.22
25.45	2800	14	309.5	25	12.38
24.95	2850	14.25	309.5	25	12.38
24.45	2900	14.5	315.5	25	12.62
23.95	2950	14.75	318.5	25	12.74
23.45	3000	15	318.5	25	12.74
22.95	3050	15.25	319	25	12.76
22.45	3100	15.5	320.5	25	12.82
21.95	3150	15.75	319.5	25	12.78
21.45	3200	16	318.5	25	12.74
20.95	3250	16.25	320	25	12.8
20.45	3300	16.5	322	25	12.88
19.95	3350	16.75	324.5	25	12.98
19.45	3400	17	326	25	13.04
18.95	3450	17.25	325.5	25	13.02
18.45	3500	17.5	325.5	25	13.02
17.95	3550	17.75	325	25	13
17.45	3600	18	331	25	13.24
16.95	3650	18.25	331.5	25	13.26
16.45	3700	18.5	332	25	13.28
15.95	3750	18.75	332.5	25	13.3
15.45	3800	19	331.5	25	13.26
14.95	3850	19.25	333.5	25	13.34
14.45	3900	19.5	335	25	13.4
13.95	3950	19.75	336	25	13.44
13.45	4000	20	337	25	13.48
12.95	4050	20.25	337.5	25	13.5
12.45	4100	20.5	336	25	13.44
11.95	4150	20.75	338.5	25	13.54

11.45	4200	21	337.5	25	13.5
10.95	4250	21.25	339	25	13.56
10.45	4300	21.5	339	25	13.56
9.95	4350	21.75	340	25	13.6
9.45	4400	22	340.5	25	13.62
8.95	4450	22.25	342.5	25	13.7
8.45	4500	22.5	341	25	13.64
7.95	4550	22.75	342.5	25	13.7
7.45	4600	23	342.5	25	13.7
6.95	4650	23.25	340	25	13.6



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 5 ($L = 3,75 \text{ cm}$; $D_f = 10 \text{ cm}$)



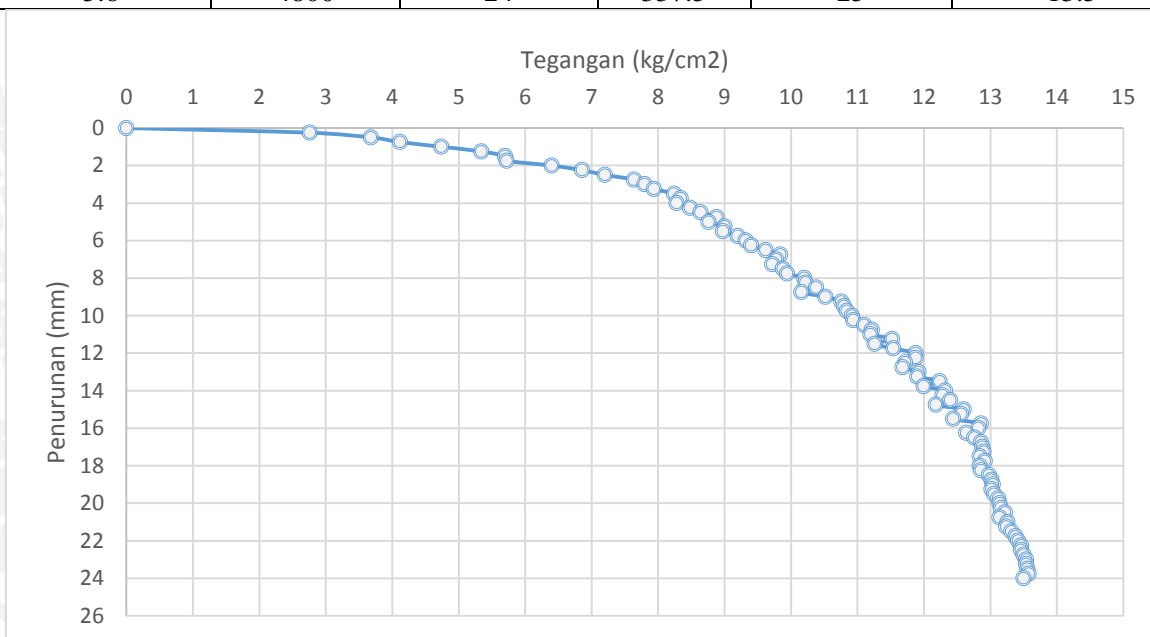
Variasi 6 : $L = 4,5 \text{ cm}$; $D_f = 10 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	kg/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	244.5	25	9.78
39.1	1450	7.25	243	25	9.72
38.6	1500	7.5	247	25	9.88
38.1	1550	7.75	248.5	25	9.94
37.6	1600	8	255	25	10.2
37.1	1650	8.25	255.5	25	10.22
36.6	1700	8.5	259.5	25	10.38
36.1	1750	8.75	254	25	10.16
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	271	25	10.84
33.6	2000	10	273	25	10.92
33.1	2050	10.25	273.5	25	10.94
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	281.5	25	11.26
30.1	2350	11.75	288.5	25	11.54
29.6	2400	12	297	25	11.88
29.1	2450	12.25	297	25	11.88
28.6	2500	12.5	293	25	11.72
28.1	2550	12.75	292	25	11.68
27.6	2600	13	298	25	11.92
27.1	2650	13.25	297.5	25	11.9
26.6	2700	13.5	306	25	12.24
26.1	2750	13.75	300	25	12
25.6	2800	14	308	25	12.32
25.1	2850	14.25	307	25	12.28
24.6	2900	14.5	310	25	12.4
24.1	2950	14.75	304.5	25	12.18
23.6	3000	15	315	25	12.6
23.1	3050	15.25	314	25	12.56
22.6	3100	15.5	311	25	12.44
22.1	3150	15.75	321.5	25	12.86
21.6	3200	16	320.5	25	12.82
21.1	3250	16.25	316	25	12.64
20.6	3300	16.5	319	25	12.76
20.1	3350	16.75	321.5	25	12.86
19.6	3400	17	322	25	12.88
19.1	3450	17.25	322.5	25	12.9
18.6	3500	17.5	321	25	12.84
18.1	3550	17.75	323	25	12.92
17.6	3600	18	321	25	12.84
17.1	3650	18.25	321.5	25	12.86
16.6	3700	18.5	324.5	25	12.98
16.1	3750	18.75	325.5	25	13.02
15.6	3800	19	326	25	13.04
15.1	3850	19.25	325.5	25	13.02
14.6	3900	19.5	326.5	25	13.06
14.1	3950	19.75	328	25	13.12
13.6	4000	20	328.5	25	13.14
13.1	4050	20.25	329	25	13.16
12.6	4100	20.5	330.5	25	13.22
12.1	4150	20.75	328.5	25	13.14

11.6	4200	21	331.5	25	13.26
11.1	4250	21.25	331	25	13.24
10.6	4300	21.5	333	25	13.32
10.1	4350	21.75	334.5	25	13.38
9.6	4400	22	335.5	25	13.42
9.1	4450	22.25	336.5	25	13.46
8.6	4500	22.5	336.5	25	13.46
8.1	4550	22.75	337.5	25	13.5
7.6	4600	23	338.5	25	13.54
7.1	4650	23.25	338.5	25	13.54
6.6	4700	23.5	339	25	13.56
6.1	4750	23.75	339.5	25	13.58
5.6	4800	24	337.5	25	13.5



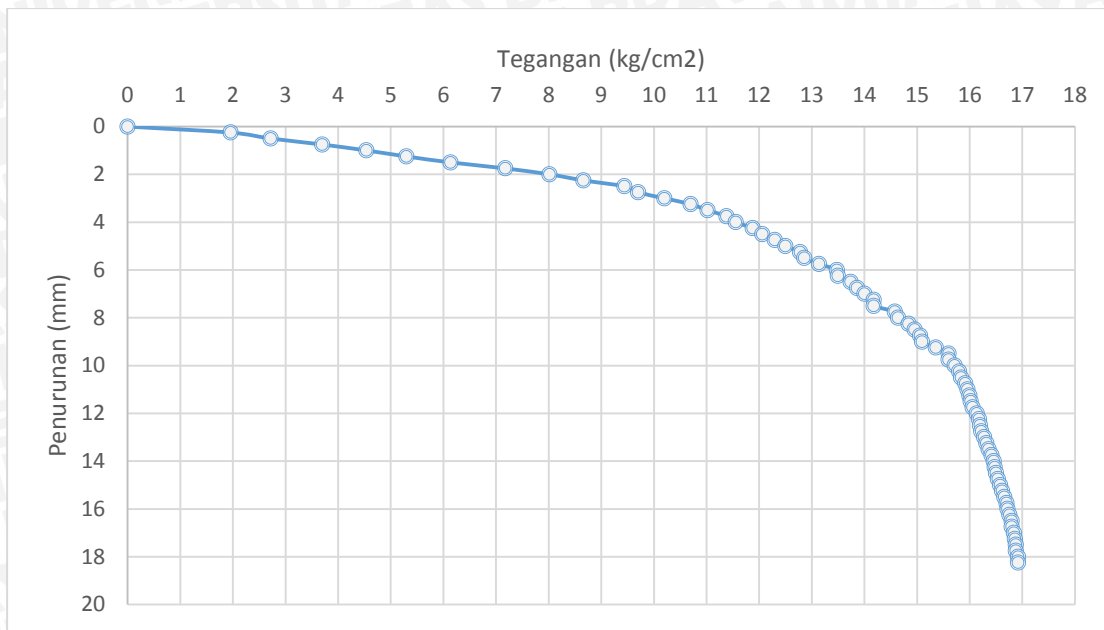
Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 6 (L = 4,5 cm ; Df = 10 cm)

Variasi 7 : $L = 3 \text{ cm}$; $D_f = 15 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	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	49	25	1.96
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	354.5	25	14.18
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	377.5	25	15.1
35.28	1850	9.25	384	25	15.36
34.78	1900	9.5	390	25	15.6

34.28	1950	9.75	390	25	15.6
33.78	2000	10	393	25	15.72
33.28	2050	10.25	395	25	15.8
32.78	2100	10.5	396	25	15.84
32.28	2150	10.75	398	25	15.92
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	401.5	25	16.06
29.78	2400	12	403.5	25	16.14
29.28	2450	12.25	404.5	25	16.18
28.78	2500	12.5	405	25	16.2
28.28	2550	12.75	405.5	25	16.22
27.78	2600	13	407	25	16.28
27.28	2650	13.25	408	25	16.32
26.78	2700	13.5	409	25	16.36
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	419	25	16.76
20.78	3300	16.5	420	25	16.8
20.28	3350	16.75	420	25	16.8
19.78	3400	17	421	25	16.84
19.28	3450	17.25	421.5	25	16.86
18.78	3500	17.5	422	25	16.88
18.28	3550	17.75	422	25	16.88
17.78	3600	18	423	25	16.92
17.28	3650	18.25	423	25	16.92



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 7 (L = 3 cm ; Df = 15 cm)



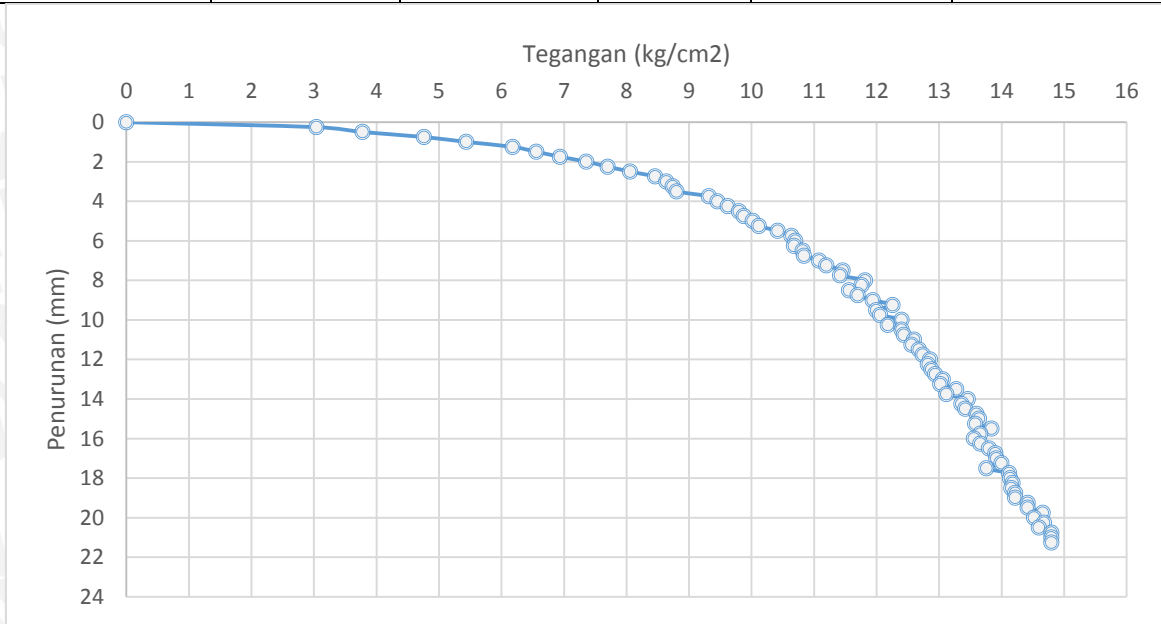
Variasi 8 : $L = 3,75 \text{ cm}$; $D_f = 15 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	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	201.5	25	8.06
44.54	550	2.75	211.5	25	8.46
44.04	600	3	216	25	8.64
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	353	25	14.12
14.04	3600	18	353.5	25	14.14
13.54	3650	18.25	354.5	25	14.18
13.04	3700	18.5	354	25	14.16
12.54	3750	18.75	355.5	25	14.22
12.04	3800	19	355.5	25	14.22
11.54	3850	19.25	360.5	25	14.42
11.04	3900	19.5	360.5	25	14.42
10.54	3950	19.75	366.5	25	14.66
10.04	4000	20	363	25	14.52
9.54	4050	20.25	367	25	14.68
9.04	4100	20.5	365	25	14.6
8.54	4150	20.75	370	25	14.8

8.04	4200	21	370	25	14.8
7.54	4250	21.25	370	25	14.8



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 8 ($L = 3,75 \text{ cm}$; $D_f = 15 \text{ cm}$)

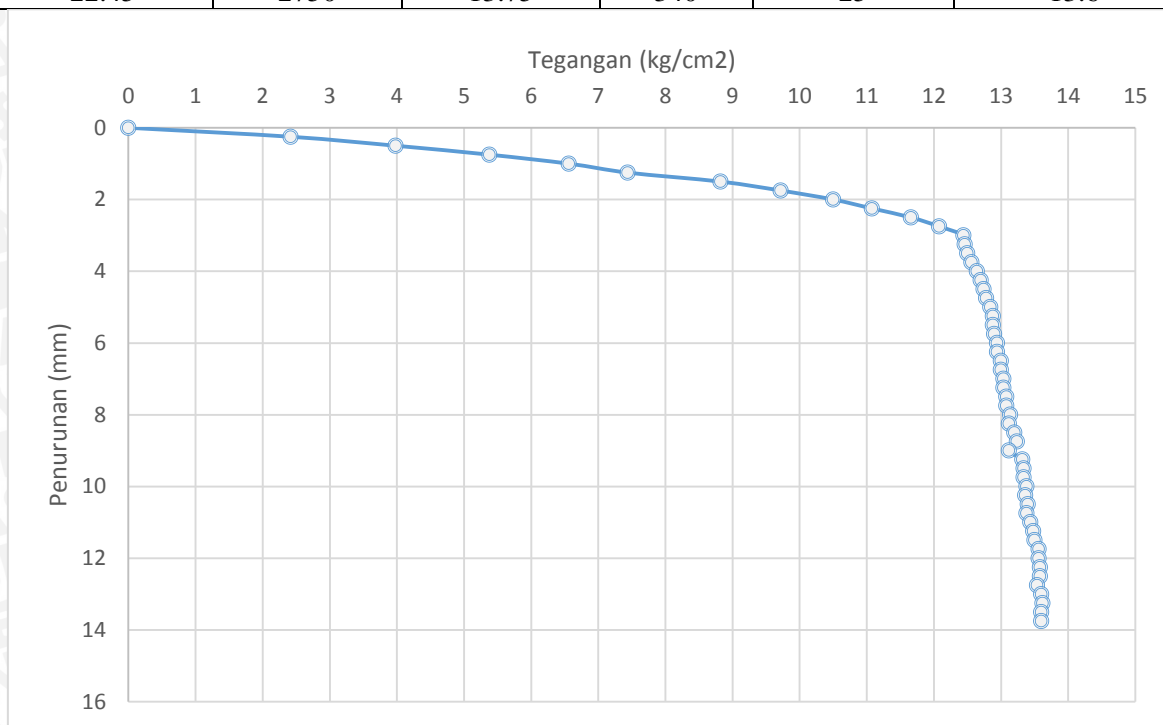


Variasi 9: $L = 4,5 \text{ cm}$; $D_f = 15 \text{ cm}$

Faktor Kalibrasi alat: 0,005

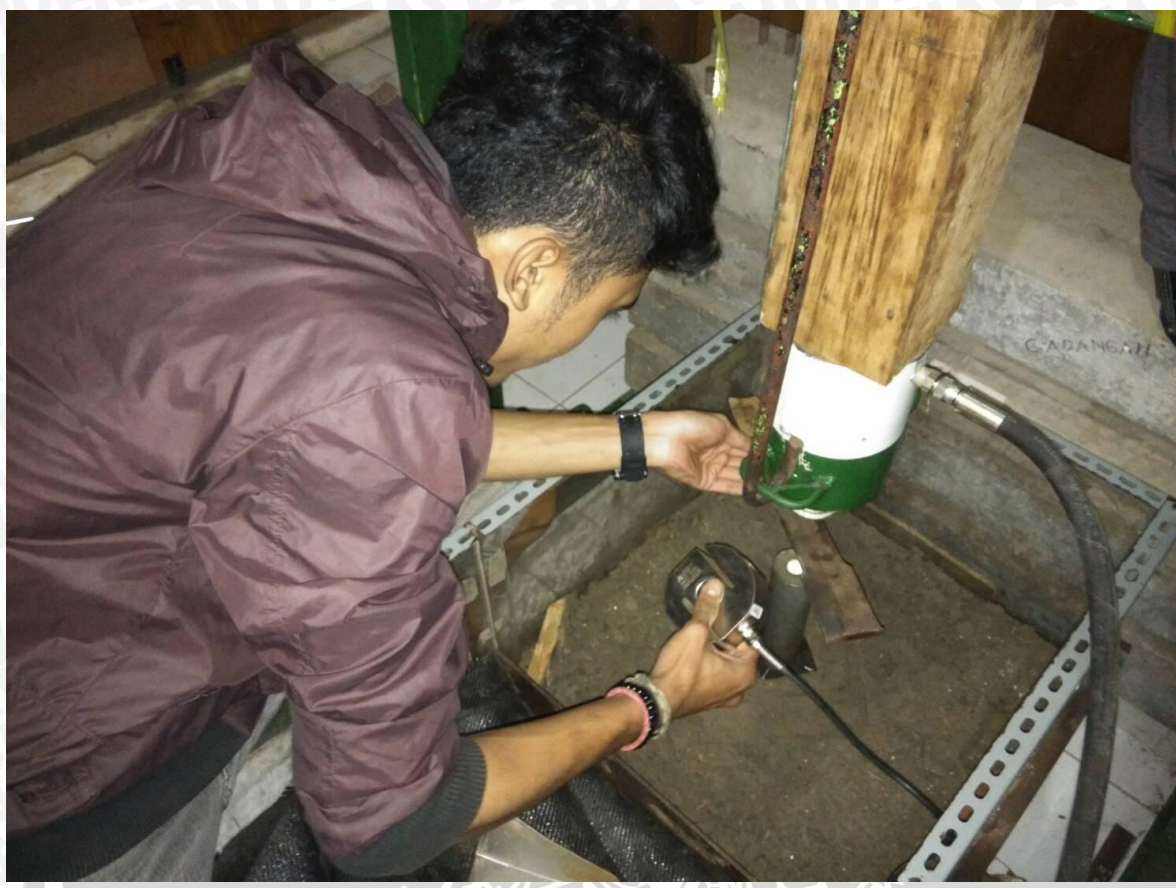
Pembacaan <i>LVDT</i>	Interval (Δ)	Penurunan (s)	Beban (P)	Luas Pelat (A)	Daya Dukung (q)
		mm	kg	cm ²	kg/cm ²
A	$\Delta = A \pm 50$	$s = \Delta \times 0,005$	P	$A = 5 \times 5$	$q = P/A$
49.95	0	0	0	25	0
49.45	50	0.25	60.5	25	2.42
48.95	100	0.5	99.5	25	3.98
48.45	150	0.75	134.5	25	5.38
47.95	200	1	164	25	6.56
47.45	250	1.25	186	25	7.44
46.95	300	1.5	220.5	25	8.82
46.45	350	1.75	243	25	9.72
45.95	400	2	262.5	25	10.5
45.45	450	2.25	277	25	11.08
44.95	500	2.5	291.5	25	11.66
44.45	550	2.75	302	25	12.08
43.95	600	3	311	25	12.44
43.45	650	3.25	311.5	25	12.46
42.95	700	3.5	312.5	25	12.5
42.45	750	3.75	314	25	12.56
41.95	800	4	316	25	12.64
41.45	850	4.25	317.5	25	12.7
40.95	900	4.5	318.5	25	12.74
40.45	950	4.75	319.5	25	12.78
39.95	1000	5	321	25	12.84
39.45	1050	5.25	322	25	12.88
38.95	1100	5.5	322	25	12.88
38.45	1150	5.75	322.5	25	12.9
37.95	1200	6	323.5	25	12.94
37.45	1250	6.25	323.5	25	12.94
36.95	1300	6.5	325	25	13
36.45	1350	6.75	325	25	13
35.95	1400	7	326	25	13.04
35.45	1450	7.25	326	25	13.04
34.95	1500	7.5	327	25	13.08
34.45	1550	7.75	327	25	13.08
33.95	1600	8	328.5	25	13.14
33.45	1650	8.25	328	25	13.12
32.95	1700	8.5	330	25	13.2
32.45	1750	8.75	331	25	13.24
31.95	1800	9	328	25	13.12
31.45	1850	9.25	333	25	13.32

30.95	1900	9.5	333.5	25	13.34
30.45	1950	9.75	333.5	25	13.34
29.95	2000	10	334.5	25	13.38
29.45	2050	10.25	334	25	13.36
28.95	2100	10.5	335	25	13.4
28.45	2150	10.75	334.5	25	13.38
27.95	2200	11	336	25	13.44
27.45	2250	11.25	337	25	13.48
26.95	2300	11.5	337.5	25	13.5
26.45	2350	11.75	339	25	13.56
25.95	2400	12	339	25	13.56
25.45	2450	12.25	339.5	25	13.58
24.95	2500	12.5	339.5	25	13.58
24.45	2550	12.75	338.5	25	13.54
23.95	2600	13	340	25	13.6
23.45	2650	13.25	340.5	25	13.62
22.95	2700	13.5	340	25	13.6
22.45	2750	13.75	340	25	13.6



Grafik Tegangan-Penurunan Variasi 9 (L = 4,5 cm ; Df = 15 cm)

Lampiran 3 Gambar Pelaksanaan**Gambar Persiapan Tanah****Gambar Instalasi Kolom DSM**



Gambar *Setting* Pembebanan



Gambar Uji Pembebanan



Gambar Setelah Pembebanan

