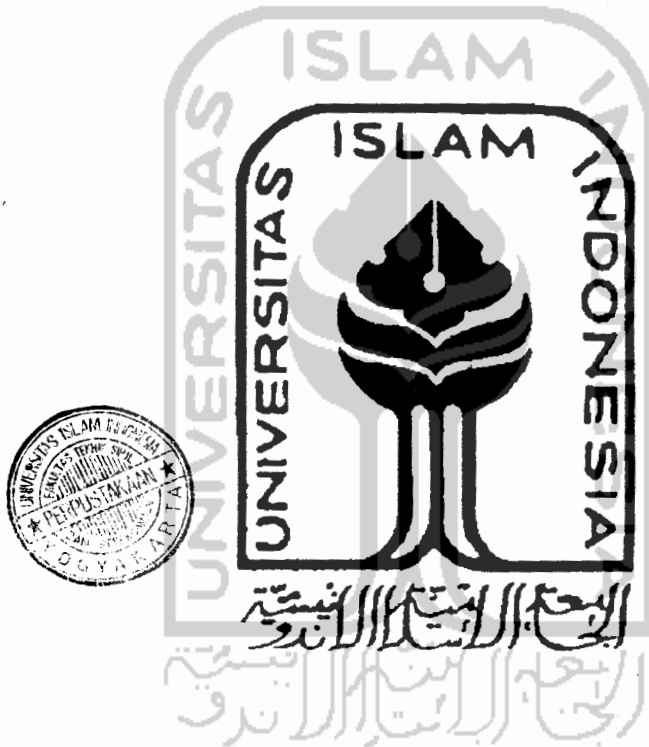


PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIRAH/DELI	
TGL. TERIMA :	06 - 12 - 2007
NO. JUDUL :	2722
NO. INV. :	5120002722001
NO. INDUK. :	000722

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENURUNAN
DIBAWAH PONDASI DANGKAL PADA
LUMPUR LAPINDO DENGAN MENGGUNAKAN
PROGRAM PLAXIS**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil**



**ARSYI WINARSY
99 511 228**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007**

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
ANALISIS PENURUNAN
DIBAWAH PONDASI DANGKAL PADA
LUMPUR LAPINDO DENGAN MENGGUNAKAN
PROGRAM PLAXIS

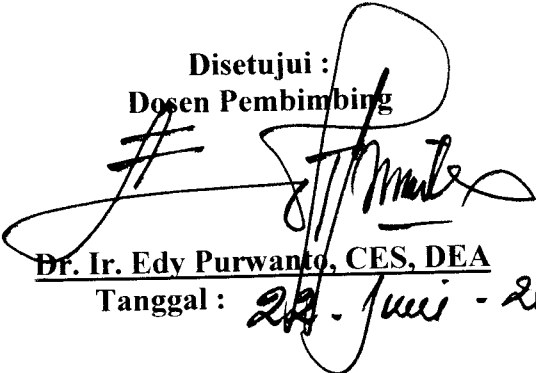
**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil**



Disusun Oleh :

ARSYI WINARSY
99 511 228

Disetujui :
Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Edy Purwanto, CES, DEA

Tanggal : 22. Juni - 2007

Lembar Persembahan

Alhamdulillah puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang membuat segalanya terjadi di dunia saya. Semua kejadian-kejadian yang saya alami selama 25 tahun yang sedih sekalipun, pasti jadi great insiden hari ini. walaupun kadang kurang bijak menyikapinya pada saat-saat itu, betul mengalaminya.

Dengan setulus hati, saya berterimakasih kepada:

-Bapak DR. Ir. H. Edy Purwanto (SFS, DBA - Dosen Pembimbing), yang sangat sabar membimbing saya walaupun saya agak sering tidak nyambung dan ngeplawar, saya Cuma bisa mengucapkan banyak terima kasih buat bapak.

-Dosen-dosenku khususnya jurusan teknik sipil makasih telah memberikan harta yang sangat bermanfaat buat saya yang tidak akan sempat diganti dengan materi apapun.

-Tak saya lupakan bapak Santoro (thanx pak ditemenin pendadaran), pak heri, pak ... dan pak ... makasih atas kesempatan dan kerjasamanya

-Ibuku, Dra. H. Rumiaty (Yang melahirkan dan membiayai saya sedikit-sekitar), bapakku **Drs. Amrullah Semma, Msi** (bapak yang hebat, saya bangga padamu pak), makasih untuk cinta dan dukungan yang tidak pernah putus, semoga savi (beri kesempatan untuk memenangkan pertandingan). Adikku Sandy "Codis" yang sudah makin cepet, ga' cape dan ga' bosan menyusah ... kamu, thanks banget ya for keeping me sane mybroth, adik keciku Kina, kakak kengen banget sama lo; jangan suka ngamuk deh.

-Semua keluarga, sepupu-sepupu, makasih and everywhere love u all

-Abg Nia, two word that means the world to me (your No 1, thanks for all day care and supportnya, and olive oil)

-Buat family in dompu makasih atas perhatian dan ya bisa kesana

BUAT Gueppera-boudard ketemu gede

-Arenyeh, makasih sejatku "innocent capten", kak daniki kapan kita ketemu lagi ku kangen banget sama kamu makasih yang seperti ... (TO F bgt deh)

-Kakaku yang cantik, Ibu Nohar, Ibu Iho (teman senasib di ... sepena ... kapan ke PG lagi, kapan ... makasih, kapan ben dugem, ada guit ngaak hehehe) ku tak akan lupa untuk melupakanmu mb

-Makasih buat kasih dan sayangga moga langgeng ma mas ade.

-Makasih, jangan feetak mulu nanti abis lho pulsanya, thank for being a good driver.

-Makasih yang mau jadi orang Jawa. Cahyo kan! Wana (kapan dagang parenk yo), Ri. BT (cepatlah ... ke rumah tua Iho), Irma and Rina (yang ajin ya kerjanya trinto makasih ya ku sring nyusain ...)

-Makasih buat kapan neh naik gunung ... makasih waa wisuda ... Tanjung ... makasih ...

-Makasih buat kapan ... (jajak aku naik gunung), dek Udy Aceh (makasih oieh-deh Austin ... kapan ... makasih ... teman Nalohoro, ku ndak lupa janji ku kok, (daeng makasih sandalnya)

-Gagak paku, Opi, Anda, dan saudara2ku naling asyik deh, don't forget ma2nya kila(ari) yang naling asyik
yeh...!

-Fajar sekeluarga, thanx for **PLAXIS**nya, maspru, setu, watin, dan kementerianku yang cantik
bellany! cepet gede ya.

-Bati sekeluarga (gimana kitalahya jeng, ayo semangat ya, ayo kudu sa liha...), kanku (pasti cepet
guyak tantenya).

-Sodaraku di Tesis, Ryan, Anisa, dan maulana dan Waktuti (pup ya ud, yang kesana), tapi ku tetap
ingat kok.

-Teman-teman janten mamalah... yang rajin ya evaluasi ma... proposa...
...teman krs Pandega Sakti 159 yang caem-caem (bar...), kalau...
supaya ku gak gate2 hehehe).

-teman-teman Wisma... yang kompak ye nonton bolanya.

-Teman-teman seperjuangan di lab mektan ternyata kita wsuda barenk, Don't forget...
telor yang baik terkandung menjengkelkan, kita wsuda barenk, makasih ya nasehat...
Iskanda, "Itikarnaen" (ndeso yang sabar yo, makasih konsolidasinya), teman-teman ku yang masing-masing
pernah... (ono, dayat, semua... deh) yang sabar ya ngaduk2 tahanan.

-Teman-teman sipil "99" UII yang lucu-lucu... kadang menjengkelkan, ba...
traktirannya meap ya dah repotin niulu), kang mas Wahyu Per... nasehat...
penta ku (saka hari), a' pupunk, a' komo, jago, adung, be...
man, inung... love v' all.

-Teman-teman sipil "100" UII Roni (k... Monajir...
zyus... comblang...), dkk lainnya.

-Teman-teman sipil... khusus... Teknik Sipil yang pernah kenal deng...
Komputer gua di k...
Komputer X AB-3073-FF

-sodara-sodara sesula...
SEMANGAT

-Kota kelahiran "Makassar" dan...
.....

Dan semua bagian hidup...
.....

Buat jogja, yang tak terucapkan... terima ka...
telah banyak me...
.....

The last, tapi tidak menyurutkan... terima kasih...
temanku yang ga disebut, bukan berarti ga inget dan ga sayang loh...Walaupun kita...
akan berpisah kita harus percaya bahwa semangat kebersamaan kita akan tetap terjaga, thanks
to all my friend.....I love end 8/2008

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah wa syukurillah, segala puji dan syukur adalah milikNya yang telah mencurahkan samudra karunia dan hidayah-Nya kepada penyusun, sehingga penelitian dengan judul **“Analisis Penurunan Dibawah Pondasi Dangkal Pada Lumpur Lapindo Dengan Menggunakan Program Plaxis.”** Dilakukan pada periode Desember – Mei Tahun 2006 – 2007, bertempat di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat dan salam dihaturkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini adalah merupakan salah satu syarat dalam menempuh pendidikan sarjana strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta..

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini telah banyak diperoleh bantuan bimbingan dan petunjuk dari berbagai pihak, baik moral maupun materiil. Untuk itu di ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Bapak DR. Ir. H. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. H. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. Bapak DR. Ir. H. Edy Purwanto, CES, DEA, selaku Dosen Pembimbing,
4. Bapak Ir. H. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Penguji,
5. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, MT, selaku Dosen Penguji,

6. Semua pihak di lingkungan Jurusan Teknik Sipil yang telah membantu proses penyusunan Tugas Akhir ini,
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Tidak ada yang dapat disampaikan selain ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya atas bantuan yang diberikan, semoga mendapat balasan kebaikan dari Allah SWT. Amin

Akhirnya besar harapan penyusun Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun secara pribadi dan bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb



Yogyakarta, Juni 2007

penyusun

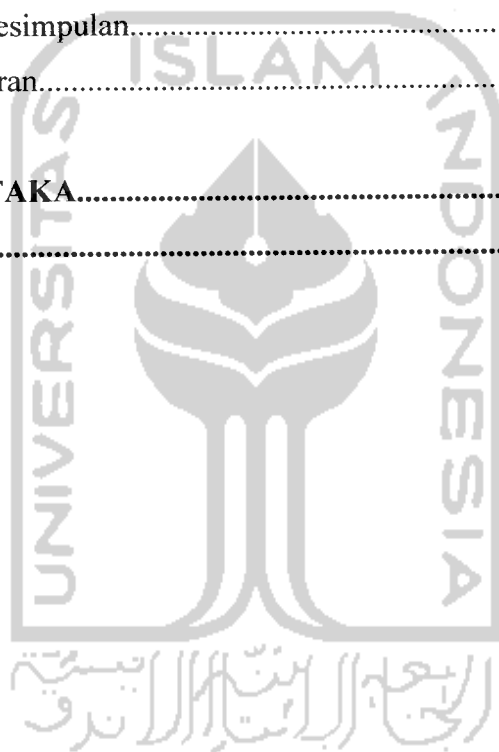
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAKSI.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Penelitian Sebelumnya Mengenai Daya Dukung Pondasi Dangkal, Metode Terzaghi (1943), Dan Software Plaxis	8
2.1.1 Muhammad Fajar Shodiq.....	8
2.1.2 Wakhid supriadi dan Sandra Ciptadi	9
2.4.3 Dwi Nurhantanti.....	11
BAB III LANDASAN TEORI.....	13
3.1 Tanah	13
3.1.1 Klasifikasi Tanah	13

3.1.1.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran butiran Tanah	13
3.1.1.2	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur	15
3.1.1.3	Klasifikasi Tanah Sistem Unified	16
3.1.1.4	Klasifikasi AASHTO	19
3.1.2	Hubungan Antara Jumlah Butir, Air dan Udara dalam Tanah	21
3.1.3	Batas Atterberg.....	22
3.1.4	Lumpur Lapindo	26
3.1.5	Tanah Lempung	26
3.1.5.1	Mineral lempung	27
3.1.5.2	Pengaruh air pada tanah lempung	27
3.2	Pondasi Dangkal.....	29
3.2.1	Daya dukung tanah pondasi dangkal	30
3.2.1.1	Analisis kapasitas dukung tanah teori Terzaghi	31
3.2.2	Konsolidasi dan Penurunan	35
3.3	Analisis Bidang Runtuh	41
3.4	Proktor Standar (ASTM D 698-70).....	44
3.5	Tekan Bebas(UCS), (ASTM D 2166-85).....	44
3.6	Triaksial UU (ASTM D 2850).....	45
3.7	Metode Software Plaxis.....	45
3.4	Metode Software Plaxis	48
BAB IV	METODE PENELITIAN.....	49
4.1	Pekerjaan Persiapan.....	49
4.2	Pekerjaan Lapangan	49
4.3	Bahan.....	49
4.4	Peralatan	49
4.5	Jadwal Penelitian	50
4.6	Jalanya Penelitian	50
4.6.1	Tahap Persiapan	50
4.4.2	Tahapan Pekerjaan Lapangan	50
4.4.3	Tahapan Pekerjaan Laboratorium	51

4.4.4 Tahapan Pengujian	53
4.7 Software Plaxis.....	58
4.8 Diagram Alir Penelitian.....	78
4.9 Diagram Alir Program PLaxis.....	79
BAB V HASIL PENELITIAN	80
5.1 Umum.....	80
5.2 Klasifikasi Tanah.....	80
5.2.1 Sifat Fisik Tanah Asli.....	84
5.2.2 Sifat Mekanis Tanah Asli.....	85
5.2.2.1 Pengujian Kadar Air Tanah.....	85
5.2.2.2 Pengujian Berat Jenis	86
5.2.2.3 Pengujian Berat Volume Tanah	88
5.2.2.4 Pengujian Batas-batas Konsistensi.....	88
5.2.3 Uji Kepadatan Tanah (Proktor Standar).....	93
5.2.4 Pengujian Tekan Bebas Untuk Tanah Asli	96
5.2.5 Pengujian Triaksial Tipe UU Tanah Asli.....	99
5.3 Kuat Dukung Tanah Teori Terzaghi	103
5.3.1 Hasil Kuat Dukung Tanah Asli Dengan Metode Terzaghi.....	104
5.4 Hasil Penurunan Konsolidasi.....	108
5.5 Hasil kapasitas Dukung Pondasi Dangkal Dengan Program Plaxis.....	113
5.5.1 Hasil Pengamatan Bidang Runtuh.....	118
5.5.2 Distribusi Tegangan Dibawah Model Pondasi.....	120
5.5.3 Load Displacement	122
BAB VI PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN	125
6.1 Klasifikasi Lempung tanah asli.....	125
6.1.1 Analisis Distribusi Butiran.....	125
6.1.2 Sistem Klasifikasi <i>Unified</i>	126
6.1.3 Sistem Klasifikasi AASHTO	127
6.2 Analisis Kuat Dukung Tanah Teori Terzaghi	129

6.3 Analisis Penurunan Konsolidasi	130
6.4 Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Dangkal Dengan Program Plaxis.....	131
6.4.1 Analisis Bidang Runtuh	132
6.4.2 Analisis Distribusi Tegangan.....	132
6.4.3 Analisis Load Displacement	133
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....	134
7.1 Kesimpulan.....	134
7.2 Saran.....	134
DAFTAR PUSTAKA.....	135
LAMPIRAN.....	137



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Klasifikasi Tanah.....	14
Tabel 3.2	Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah.....	15
Tabel 3.3	Klasifikasi Tanah Sistem Unified.....	18
Tabel 3.4	Lanjutan Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Sistem Unified.....	19
Tabel 3.5	Klasifikasi Tanah Sistem AASTHO.....	20
Tabel 3.6	Nilai Indeks Plastisitas Dan Macam Tanah.....	26
Tabel 3.7	Koefisien α dan β	34
Tabel 3.8	Nilai-nilai Faktor Kapasitas Dukun Tanah Terzaghi.....	34
Tabel 3.9	Nilai C_c Untuk Macam-macam Tanah.....	40
Tabel 3.10	Nilai E_s pada beberapa jenis tanah.....	43
Tabel 3.11	Nilai μ pada beberapa jenis tanah.....	44
Tabel 3.12	Nilai μ pada beberapa jenis tanah.....	47
Tabel 4.1	Jenis Pengujian Dan Jumlah Benda Uji	57
Tabel 5.1	Hasil Uji Hidrometer I	82
Tabel 5.2	Hasil Uji Hidrometer II	83
Tabel 5.3	Persentase Analisis Butiran Tanah Sampel I, II.....	84
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Kadar Air	85
Tabel 5.5	Hasil Uji Berat Jenis Tanah.....	87
Tabel 5.6	Pengujian Berat Volume Tanah.....	88
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Batas Cair	89
Tabel 5.8	Hasil Uji Pengujian Batas Plastis	90
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Batas Susut.....	92
Tabel 5.10	Nilai hasil Uji Sifat-sifat Mekanis Lumpur Lapindo.....	92
Tabel 5.11	Hasil Uji Proctor Standar Pada Pengujian Ke III.....	94
Tabel 5.12	Hasil Nilai Pengujian Kepadatan Tanah Asli Sampel I, II, III.....	96
Tabel 5.13	Hasil Tekan Bebas Sampel I.....	97
Tabel 5.14	Hasil Nilai Tekan Bebas Sampel I, II, III.....	99
Tabel 5.15	Hitungan tegangan uji Triaksial pada tanah asli sampel I	102

Tabel 5.16	Hasil Nilai Triaksial Sudut Geser Dalam Dan Kohesi Sampel I.II.....	103
Tabel 5.17	Hasil Nilai Triaksial Rata-rata Sudut Geser Dalam Dan Kohesi.....	103
Tabel 5.18	Penurunan Pada Sampel Undisturbed	109
Tabel 5.19	Hubungan Cv dan Beban (P)	111
Tabel 5.20	Nilai Cc dari e Vs log P	112
Tabel 5.21	Nilai Tegangan Vertikal pada Lumpur Lapindo Pada Data Uji Triaksial Dengan Pembebanan 85.4971.....	121
Tabel 5.22	Nilai Tegangan Vertikal pada Lumpur Lapindo Pada Data Uji Triaksial Dengan Pembebanan 103.2697.....	121
Tabel 5.23	Nilai Displacement	124
Tabel 6.1	Data yang Digunakan Pada Program Plaxis	131



Gambar 4.15	Ko-prosedur untuk mengetahui kondisi awal tegangan tanah ...	66
Gambar 4.16	Hasil nilai initial stress.....	66
Gambar 4.17	Option penyimpanan file	67
Gambar 4.18	Tab Sheet general.....	67
Gambar 4.19	Tab Sheet parameter	68
Gambar 4.20	Tab Sheet multiplier.....	69
Gambar 4.21	Ground water head.....	70
Gambar 4.22	Ground water calculation.....	70
Gambar 4.23	Running program Plaxis calculation.....	71
Gambar 4.24	Tampilan ceklist setelah running program.....	71
Gambar 4.25	Deformation mesh akhir tahap pembangunan	72
Gambar 4.26	Total increment displacement.....	73
Gambar 4.27	Total displacement.....	74
Gambar 4.28	Total stress	74
Gambar 4.29	Active pore pressure	75
Gambar 4.30	Excess pore pressure	75
Gambar 4.31	Memilih file	76
Gambar 4.32	Pilihan hubungan antara berbagai parameter.....	77
Gambar 4.33	Grafik hasil hubungan antar parameter.....	77
Gambar 4.34	Diagram alir penelitian	78
Gambar 4.35	Diagram alir Program Plaxis.....	79
Gambar 5.1	Grafik Analisis Butiran I.....	82
Gambar 5.2	Grafik Analisis Butiran II	83
Gambar 5.3	Grafik Batas Cair	89
Gambar 5.4	Hasil Uji Kepadatan Tanah	95
Gambar 5.5	Grafik Tekan Bebas Tanah Asli I.....	97
Gambar 5.6	Kurva Hubungan Tegangan Regangan Pada Uji Triaksial Tanah Asli I.....	100
Gambar 5.7	Lingkaran Mohr Uji Triaksial Tipe UU Tanah Asli I.....	102
Gambar 5.8	Detail Pondasi	104
Gambar 5.9	Detail Pondasi	106

Gambar 5.10	Grafik Hubungan Cv Dan beban (P)	110
Gambar 5.11	Grafik Cc Hubungan e Dan beban (P).....	112
Gambar 5.12	Input Program Plaxis.....	114
Gambar 5.13	Input Program Plaxis.....	114
Gambar 5.14	Input Program Plaxis Dari data Uji Triaksial.....	115
Gambar 5.15	Input Program Plaxis Dari data Uji Tekan Bebas	116
Gambar 5.16	Kalkulasi Program Plaxis.....	117
Gambar 5.17	Kalkulasi Program Plaxis Pada Data Uji Triaksial	117
Gambar 5.18	Kalkulasi Program Plaxis Pada Data Uji Tekan Bebas.....	118
Gambar 5.19	Bidang Runtuh Tanah lumpur Lapindo.....	119
Gambar 5.20	Pergerakan Tanah Pada Bidang Runtuh Lumpur Lapindo.....	119
Gambar 5.21	Titik Tinjauan Tegangan Vertikal	120
Gambar 5.22	Displacement dari kedua Beban.....	122
Gambar 5.23	Grafik load Displacement.....	123
Gambar 6.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS.....	126
Gambar 6.2	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Unified	127
Gambar 6.3	Grafik Plastisitas Sistem Klasifikasi AASHTO	128
Gambar 6.4	Tiga Keruntuhan Tanah.....	132

DAFTAR NOTASI

❖ Tanah

V_a	= volume udara	(cm^3)
V_s	= volume butiran padat	(cm^3)
V_v	= volume pori	(cm^3)
W_s	= berat butiran padat	(gr)
W_w	= berat air	(gr)
γ	= berat volume tanah	(t/m^3)
γ_b	= berat volume basah	(t/m^3)
γ_d	= berat volume kering	(t/m^3)
γ_s	= berat volume butiran padat	(t/m^3)
γ_w	= berat volume air	(t/m^3)
e	= angka pori	(%)
n	= porositas	(%)

❖ Batas Konsistensi

LL	= batas cair	(%)
PI	= indeks plastisitas	(%)
PL	= batas plastis	(%)

❖ Kapasitas Kuat dukung Tanah untuk Pondasi

A	= luasan	(m^2)
B	= lebar	(m)
c	= kohesi	(t/m^2)
D_f	= kedalaman pondasi	(m)
N_c	= faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi	
N_q	= faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi	
N_γ	= faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi	
P	= beban	(ton)

p_0	= tekanan overburden pada dasar pondasi	(t/m ²)
P_u	= beban ultimit	(ton)
SF	= Faktor aman	
q_a	= kapasitas dukung ijin tanah	(t/m ²)
q_u	= kapasitas dukung ultimit	(t/m ²)
q_n	= kapasitas dukung neto	(t/m ²)
σ	= tegangan normal pada bidang tanah	(t/m ²)
ϕ	= sudut geser dalam tanah	(°)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pemeriksaan Kadar Air Tanah
Lampiran 2	Pemeriksaan Berat Volume Tanah
Lampiran 3	Pemeriksaan Berat Jenis Tanah
Lampiran 4	Analisis Butiran 1
Lampiran 5	Analisis Butiran 2
Lampiran 8	Pengujian Batas Cair
Lampiran 9	Pengujian Pemasatan (Proctor Standar) 1
Lampiran 10	Pengujian Pemasatan (Proctor Standar) 2
Lampiran 11	Pengujian Pemasatan (Proctor Standar) 3
Lampiran 12	Pengujian Tekan Bebas Tanah Asli Sampel 1
Lampiran 13	Pengujian Tekan Bebas Tanah Asli Sampel 2
Lampiran 14	Pengujian Tekan Bebas Tanah Asli Sampel 3
Lampiran 15	Pengujian Triaksial Tanah Asli Sampel 1
Lampiran 16	Pengujian Triaksial Tanah Asli Sampel 2
Lampiran 17	Pengujian Triaksial Tanah Asli Sampel 3
Lampiran 18	Pengujian Hidrometer 1
Lampiran 19	Pengujian Hidrometer 2
Lampiran 20	Pengujian Konsolidasi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Desa Renokenongo dan Kedungbendo yang tergenang Lumpur...3
Gambar 1.2	Sumur Banjar Panji-I lokasi yang berdekatan dengan Porong.....4
Gambar 3.1	Grafik Klasifikasi Tekstural Segitiga USCS 16
Gambar 3.2	Batas Konsistensi Tanah 23
Gambar 3.3	Grafik Casagrande 24
Gambar 3.4	Model Pondasi 31
Gambar 3.5	Keruntuhan Geser Menyeluruh..... 32
Gambar 3.6	Hubungan Angka Pori Dan Tekanan 36
Gambar 3.7	Sifat Khusus Grafik hubungan ΔH atau e terhadap $\log t$ 37
Gambar 3.8	Indeks Pemampatan..... 39
Gambar 3.9	Gambar Skema Alat Pengujian Konsolidasi 40
Gambar 3.10	Tiga Kondisi Keruntuhan Tanah 42
Gambar 3.11	Mekanisme Keruntuhan Pada Pondasi dangkal 42
Gambar 3.12	Tampilan PLaxis 46
Gambar 4.1	Grafik Uji Pemadatan Proctor..... 55
Gambar 4.2	Lingkaran Mohr-Coloumb Uji Triaksial Tipe UU 56
Gambar 4.3	Dialog Box create atau Open project..... 58
Gambar 4.4	General Setting Combo Box project..... 58
Gambar 4.5	Tab Sheet Dimension..... 59
Gambar 4.6	Tab sheet dengan standar material tanah versi Plaxis..... 60
Gambar 4.7	Tab Sheet general..... 61
Gambar 4.8	Tab Sheet parameter 62
Gambar 4.9	Tab Sheet interface 62
Gambar 4.10	Hasil Meshing 63
Gambar 4.11	Berat jenis air di setting 64
Gambar 4.12	Kondisi semula muka air tanah..... 64
Gambar 4.13	Water pressure generation..... 65
Gambar 4.14	Hasil generate tekanan pori..... 65

ABSTRAKSI

Kondisi tanah lempung lunak memang rawan terhadap berbagai persoalan baik persoalan kekuatan yang rendah dalam mendukung beban di atasnya atau daya dukung yang relatif kecil, bahkan terjadi penurunan (*settlement*), hingga berlebihan (*excessive settlement*). Tanah merupakan elemen paling bawah dari suatu konstruksi bangunan. Masalah yang sering ditemui pada tanah lempung yaitu nilai plastisitasnya tinggi, kembang susut tinggi, sehingga tidak memenuhi persyaratan sebagai pendukung beban konstruksi di atasnya. Tanah lunak mempunyai daya dukung rendah, kuat geser rendah, kompresibilitas tinggi dan penurunan yang besar oleh karena pori-pori tanah banyak terisi air.

Pada penelitian ini sampel tanah yang digunakan adalah tanah lumpur Lapindo Lapindo, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur. Tujuan penelitian ini yaitu Mengetahui sifat-sifat fisik dan jenis tanah, khususnya lumpur lapindo. Mengetahui besarnya penurunan tanah dibawah pondasi dangkal dengan metode Plaxis, serta mengetahui kapasitas dukung pondasi dangkal dengan metode Terzaghi (1943).

Hasil pengujian untuk tanah asli menunjukkan bahwa Lumpur Lapindo berwarna abu-abu tua, berbentuk butiran sangat halus banyak mengandung air dan sedikit pasir. Berdasarkan Sistem klasifikasi tanah AASHTO, lumpur Lapindo termasuk jenis tanah berlanau kelompok A-7-5 (29), sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi tanah USCS termasuk tanah Lanau berlempung (Clay Silt), berdasarkan klasifikasi Unified termasuk tanah berlanau pada kelompok MH dengan nama lanau anorganik. Penurunan yang terjadi di bawah pondasi, berdasarkan program Plaxis adalah hasil penurunannya pada pembebanan 85,4971 ton adalah 2,42 m dan penurunan yang terjadi pada pembebanan 103,2697 ton adalah 2,60 m. Kapasitas dukung tanah berdasarkan uji tekan bebas tanah asli di dapat q_u sebesar $q_u = 78,8545 \text{ t/m}^2$, sedangkan dari uji triaksial UU q_u tanah asli $q_u = 65,5250 \text{ t/m}^2$.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk negara kepulauan yang memiliki wilayah yang sangat luas serta memiliki kondisi geografis dan jenis tanah yang beraneka ragam. Keadaan tersebut akan sangat berpengaruh dalam proses pembangunan infrastruktur dibidang ketekniksipilan, khususnya Geoteknik. Pekerjaan Teknik Sipil berkaitan dengan tanah yang berfungsi sebagai pendukung suatu bangunan. Bagian paling bawah dari suatu struktur dinamakan pondasi. Fungsi pondasi adalah meneruskan beban struktur kelapisan tanah yang berada dibawah pondasi. Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ketanah tidak melampaui batas kekuatan tanah tersebut. Apabila kekuatan tanah dilampaui, dan terjadi penurunan (*settlement*) yang tidak merata pada tatanan pondasi dan hanya tertumpu pada satu titik serta sangat berlebihan, maka keruntuhan bangunan dapat terjadi (*Hary Christady Hardiyatmo. 1996*). Kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan struktur yang berada diatas pondasi tersebut. Oleh karena itu, untuk merencanakan pondasi harus diusahakan evaluasi daya dukung tanah dibawah pondasinya.

Lempung merupakan jenis tanah yang mempunyai sifat kurang menguntungkan bagi konstruksi pondasi karena daya dukungnya yang relatif rendah, hal ini dikarenakan sudut geser dalamnya yang kecil sehingga kurang baik dalam menahan stabilitas bangunan yang di atasnya. Kondisi tanah lempung yang mempunyai kuat geser yang rendah serta kompresibilitas yang tinggi akan sangat mempengaruhi kondisi tanah tersebut dalam mendukung beban yang ada. Apabila akan dilakukan pembangunan diatas tanah lempung maka pertama-tama yang harus ditinjau adalah daya dukung (*bearing capacity*) dan penurunan (*settlement*). Dengan sifat kompresibilitas yang tinggi pada tanah lempung maka akan menimbulkan penurunan yang relatif besar serta mengakibatkan keruntuhan geser disekitar pondasi (*local shear failure*). Jika kondisi seperti ini terjadi maka

stabilitas bangunan tentunya akan terganggu. Karakteristik tanah lempung diatas, sekiranya perlu mendapatkan perhatian yang cukup serius bagi semua pihak khususnya para ahli teknik dalam merencanakan dan melaksanakan pembangunan, agar dapat mengantisipasi dampak yang akan ditimbulkan pada kondisi tanah lempung. Mengingat tuntutan yang semakin besar dalam proses pembangunan yang sedang dan yang akan berlangsung di negara ini, maka diperlukan berbagai alternatif solusi untuk memanfaatkan kondisi tanah lempung yang ada, mengingat lahan yang tersedia sudah semakin sempit. Oleh karena itu daerah yang kondisi tanahnya lempung dan sering dihindari dalam pembangunan konstruksi diatasnya, dapat menjadi salah satu alternatif sebagai lahan pembangunan baru. Berbagai usaha penelitian dan analisis lebih lanjut terhadap kondisi tanah lempung yang ada di Indonesia diharapkan terus berlanjut agar menjadi alternatif solusi dalam usaha perbaikan maupun stabilisasi kondisi tanah lempung.

Kasus menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tanggal 29 Mei 2006. Yang sering disebut dengan nama Lumpur Lapindo Brantas. Semburan lumpur panas ini menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian di beberapa kecamatan di sekitarnya, serta mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur. Lokasi semburan lumpur ini berada di Porong, yakni kecamatan di bagian selatan Kabupaten Sidoarjo, sekitar 12 km sebelah selatan kota Sidoarjo. Kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Gempol (Kabupaten Pasuruan) di sebelah selatan.

Lokasi semburan hanya berjarak 150-500 meter dari sumur Banjar Panji-1 (BJP-1), yang merupakan sumur eksplorasi gas milik Lapindo Brantas sebagai operator blok Brantas. Oleh karena itu, hingga saat ini, semburan lumpur panas tersebut diduga diakibatkan aktivitas pengeboran yang dilakukan Lapindo Brantas di sumur tersebut. Pihak Lapindo Brantas sendiri punya dua teori soal asal semburan. Pertama, semburan lumpur berhubungan dengan kegiatan pengeboran. Kedua, semburan lumpur "kebetulan" terjadi bersamaan dengan pengeboran akibat sesuatu yang belum diketahui.

Lokasi tersebut merupakan kawasan pemukiman dan di sekitarnya merupakan salah satu kawasan industri utama di Jawa Timur. Tak jauh dari lokasi semburan terdapat jalan tol Surabaya-Gempol, jalan raya Surabaya-Malang dan Surabaya-Pasuruan-Banyuwangi (jalur pantura timur), serta jalur kereta api lintas timur Surabaya-Malang dan Surabaya-Banyuwangi. Gambar 1.1 adalah kawasan pemukiman yang tergenang lumpur.



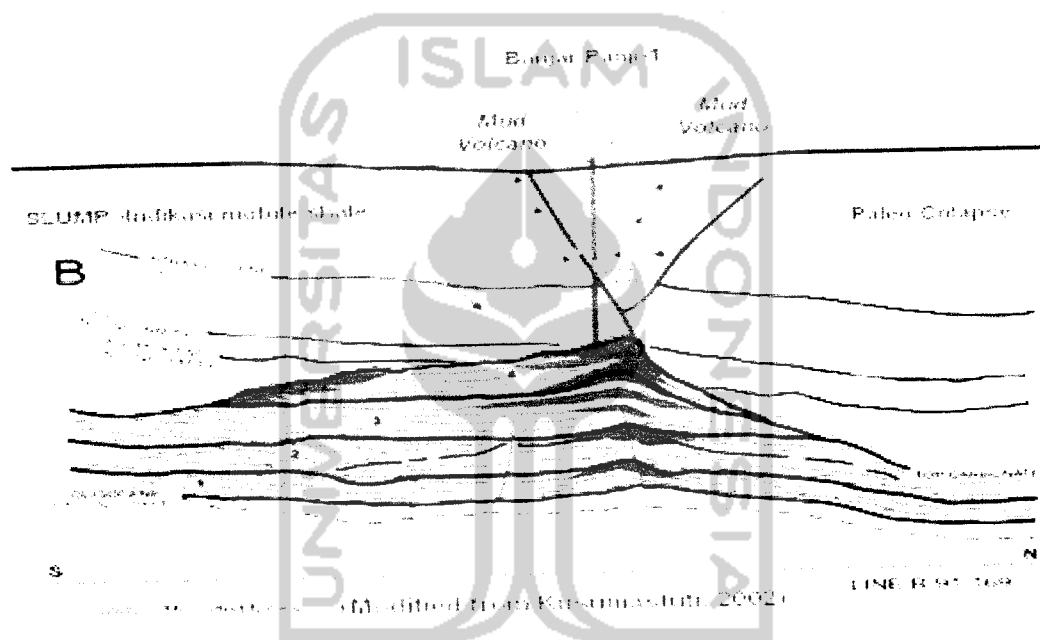
Gambar 1.1 Desa Renokenongo dan Kedungbendo yang tergenang lumpur

Lapindo Brantas melakukan pengeboran sumur Banjar Panji-1 pada awal Maret 2006 dengan menggunakan perusahaan kontraktor pengeboran PT Medici Citra Nusantara. Kontrak itu diperoleh Medici atas nama Alton International Indonesia, Januari 2006, setelah menang tender pengeboran dari Lapindo senilai US\$ 24 juta.

Diperkirakan bahwa Lapindo, sejak awal merencanakan kegiatan pemboran ini dengan membuat prognosis pengeboran yang salah. Mereka membuat prognosis dengan mengasumsikan zona pemboran mereka di zona Rembang dengan target pemborannya adalah formasi Kujung. Padahal mereka membor di zona Kendeng yang tidak ada formasi Kujung-nya. Alhasil, mereka merencanakan memasang *casing* setelah menyentuh target yaitu batu gamping formasi Kujung yang sebenarnya tidak ada. Selama mengebor mereka tidak meng-*casing* lubang karena kegiatan pemboran masih berlangsung. Selama

pemboran, lumpur *overpressure* (bertekanan tinggi) dari formasi Pucangan sudah berusaha menerobos (*blow out*) tetapi dapat diatasi dengan pompa lumpurnya Lapindo (Medici).

Gambar 1.2 memperlihatkan Sumur Banjar Panji-1 dilokasi yg berdekatan dengan Porong-1. Harap diketahui bahwa BP-1 tidak berada persis dalam line seismic ini. Namun untuk mempermudah gambaran terproyeksi ke seismic yg ada. Kedalaman sumur ini sudah 9200 feet atau secara verikal mungkin sekitar 3,5 km.



Gambar 1.2 Sumur Banjar Panji-1 dilokasi yg berdekatan dengan Porong-1

Dari paper ilmiah yang dipublikasikan AAPG (*American Association of Petroleum Geologist*) dan ditulis oleh Arse Kusumastuti tahun 2002 ini diketahui bahwa adanya *collapse* pada masa lampau. Pada saat operasi terjadi *liquefaction* (pencairan) atau seperti agar-agar yg dihentakkan secara mendadak sehingga *mecotot* keluar. Pada kondisi stabil *mobile shale* (*mobile clay*) ini seperti tanah lempung yg sering kita lihat dipermukaan yg sangat liat. Namun ketika kondisi dinamis (karena mengalir) maka percampuran dengan air bawah tanah menjadikan lempung ini seperti bubur.

Kandungan kimiawi yang ada dalam lumpur yang menyembur dari sumur pengeboran gas PT Lapindo sudah diatas ambang batas kewajaran. serta kandungan minyak, lemak cukup tinggi sehingga dapat mematikan biota air.

Sejumlah upaya telah dilakukan untuk menanggulangi luapan lumpur, diantaranya dengan membuat tanggul untuk membendung area genangan lumpur. Namun demikian, lumpur terus menyembur setiap harinya, sehingga sewaktu-waktu tanggul dapat jebol, yang mengancam tergenangnya lumpur pada permukiman di dekat tanggul. Jika dalam tiga bulan bencana tidak tertangani, adalah membuat waduk dengan beton pada lahan seluas 342 hektar, dengan mengungsikan 12.000 warga. Kementerian Lingkungan Hidup mengatakan, untuk menampung lumpur sampai Desember 2006, mereka menyiapkan 150 hektare waduk baru. Juga ada cadangan 342 hektare lagi yang sanggup memenuhi kebutuhan hingga Juni 2007. Akhir Oktober, diperkirakan volume lumpur sudah mencapai 7 juta m³.

Lumpur lapindo ini di dalam dunia geologi dan pertambangan sudah tidak asing lagi, akan tetapi dalam bidang Teknik Sipil hal ini merupakan material yang baru karena sangat jarang ditemui. Lumpur sejenis ini adalah material yang terdapat di dalam perut bumi dan kemungkinan keluar hanya pada saat dilakukan pengeboran. Kasus menyemburnya lumpur panas ini menimbulkan kerugian materi yang cukup besar. Dikarenakan hal tersebut mendorong penyusun untuk melakukan penelitian di lokasi semburan lumpur panas PT Lapindo Brantas, Sidoarjo.

Pada penelitian ini akan dicoba meninjau permasalahan lumpur lapindo dalam kaitannya dengan pondasi dangkal, yaitu menganalisis daya dukung pondasi dangkal dengan memakai lumpur lapindo.

Untuk itu penyusun akan mengangkat topik dalam penelitian tugas akhir ini dengan judul :

“ Analisis Penurunan Pondasi Dangkal Pada Lumpur Lapindo Dengan Menggunakan Program Plaxis.”

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Kondisi tanah lempung memiliki kuat geser yang kecil, kemampuan (*compressibility*) besar akan menyebabkan daya dukung yang rendah yang berakibat keruntuhan geser (*local shear failure*) dan penurunan (*settlement*) yang besar bahkan berlebihan (*excessive settlement*).
2. Bagaimana penurunan yang terjadi apabila diberikan beban diatas Lumpur Lapindo.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah.

1. Mengetahui sifat-sifat fisik dan jenis tanah, khususnya lumpur lapindo.
2. Mengetahui besarnya penurunan tanah dibawah pondasi dangkal dengan metode Plaxis, serta mengetahui kapasitas dukung pondasi dangkal dengan metode Terzaghi (1943).

1.4 Batasan Masalah

1. Tanah yang dipakai adalah tanah lumpur dari PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.
2. Penelitian ini tidak menganalisis unsur kimia lumpur Lapindo.
3. Faktor gempa tidak diperhitungkan.
4. Dalam penelitian ini tidak ditinjau pengaruh perubahan temperatur sampel tanah.
5. Penentuan untuk analisis daya dukung Terzaghi (1943) pada pondasi dangkal berbentuk bujur sangkar.
6. Analisis terhadap tegangan dan *load displacement* serta bidang runtuh menggunakan *software Plaxis*

- 7 Penelitian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian akan didapatkan gambaran penurunan tanah lumpur lapindo dibawah pondasi dangkal, serta mengetahui kapasitas dukung untuk perencanaan atau perancangan pondasi dangkal sebuah konstruksi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya Mengenai Daya Dukung Pondasi Dangkal, Metode Terzaghi (1943), Dan Software Plaxis

2.1.1 Muhammad Fajar Shodiq (2006) : Tinjauan terhadap Distribusi Tegangan Pada Tanah lempung Lunak Dibawah Pondasi Dangkal dengan pemberian lapis pasir

Rumusan Masalah :

Dari penjelasan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Kondisi tanah lunak yang dimiliki kuat geser yang kecil, kemampuan (*compressibility*) besar akan menyebabkan daya dukung yang rendah yang berakibat keruntuhan geser (*local shear failure*) dan penurunan (*settlement*) yang besar bahkan berlebihan (*excessive settlement*).
2. Diperlukan solusi terhadap permasalahan tanah lunak yang ada sehingga diharapkan dapat mendukung struktur pondasi dangkal diatasnya dengan lebih baik.

Tujuan Penelitian :

Mengetahui pengaruh penambahan lapis pasir pada tanah lempung lunak dibawah pondasi dangkal terhadap :

- a) Distribusi tegangan.
- b) Hubungan *Load displacement*.
- c) Perubahan bidang runtuh yang terjadi.
- d) Analisis terhadap tegangan, *displacement* dan bidang runtuh yang terjadi dengan *software* PLAXIS.

Hasil Penelitian :

1. Berdasarkan klasifikasi sistem AASTHO lempung salaman termasuk tanah lempung kelompok A-7-6, menurut sistem Unified termasuk kelompok (CH) yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas ($IP > 17$), menurut diagram segitiga USCS termasuk kategori lempung (*clay*).
2. *Settlement* yang terjadi pada tanah menggunakan lapis pasir semakin berkurang seiring dengan bertambahnya ketebalan lapis pasir.
3. Lapis pasir dengan ketebalan 10 cm yang diletakkan dibawah model pondasi mengalami peningkatan kapasitas dukung yang lebih besar dan mengalami penurunan (*settlement*) dan distribusi tegangan yang paling kecil dibanding pemberian lapis pasir setebal 5 cm.
4. Ketebalan lapis pasir akan sangat berpengaruh terhadap nilai tegangan vertikal yang terjadi disalah satu titik tinjauan dibawah model pondasi pada tanah lempung. Ketebalan pasir 10 cm mengalami penurunan (*settlement*) dan mempunyai nilai tegangan vertikal lebih kecil daripada ketebalan pasir 5 cm.
5. Pada pembebanan mulai dari 5 kg sampai 30 kg dengan interval kenaikan 5 kg menunjukkan hasil, bahwa pemberian lapis pasir dapat mengurangi *displacement* akibat beban (*load*) yang diberikan. Lapis pasir dengan ketebalan 10 cm menunjukkan *displacement* yang paling kecil dengan pembebanan 30 kg.

2.1.2 Wakhid Supriadi dan Sandra Ciptadi (2005) : Stabilitas tanah lempung dengan kapur tumbuk dan kapur bakar untuk pondasi dangkal.

Rumusan Masalah :

1. Bagaimana propertis dari tanah lempung.
2. Bagaimana propertis dari campuran tanah lempung dengan kapur bakar.

3. Bagaimana propertis dari campuran tanah lempung dengan kapur tumbuk.

Tujuan Penelitian :

1. Mengetahui propertis tanah lempung Kwagon, Godean, Sleman, Yogyakarta.
2. Mengetahui variasi campuran kapur tumbuk dan variasi campuran kapur bakar yang optimal untuk menghasilkan kuat dukung yang maksimal.
3. Membandingkan kuat dukung antara campuran tanah dengan kapur tumbuk dan tanah dengan kapur bakar pada kondisi campuran yang optimal.
4. Menganalisis pondasi dangkal pada tanah asli dan tanah campur kadar optimum campuran kapur tumbuk dan campuran kapur bakar.

Hasil Penelitian :

1. Tanah lempung Kwagon termasuk *silty clay* dan termasuk dalam klasifikasi tanah lempung gemuk (*fat clay*). Berdasarkan pengujian sifat fisik tanah, tanah lempung Kwagon mempunyai kadar air lapangan (W_L) sebesar 21.215 %, kadar air setelah dikeringkan (w) sebesar 14.49 %, berat jenis (G_s) sebesar 2.71, batas cair (LL) sebesar 60.61 %, batas plastis (PL) sebesar 30.59 %, dan indeks plastis (SL) sebesar 30.02 %, sedangkan berdasarkan pengujian sifat mekanik tanah didapatkan berat kering (γ_d) maksimum sebesar 1.383 gr/cm^3 dengan kadar air optimumnya (w_{opt}) sebesar 28.94 %, kohesi (c) 2.5515 kg/cm^2 , sudut geser dalam (ϕ) sebesar 6.0118° , indeks pemampatan (C_c) sebesar 0.2105.
2. Berdasarkan uji pemadatan diperoleh bahwa berat volume kering (γ_d) maksimum dengan kapur tumbuk optimum 9 % sebesar 1.39496 gr/cm^3 dan kapur bakar optimum 6 % sebesar 1.40599 gr/cm^3 .

3. Berdasarkan analisis kuat dukung pondasi dan penurunan untuk dimensi fondasi bujur sangkar $B = 1$ m didapat beban maksimum (P_u) untuk tanah asli sebesar 7.4678 ton, tanah + kapur bakar optimum sebesar 10.7000 ton dan tanah + kapur tumbuk optimum sebesar 8.2320 ton, maka terjadi peningkatan sebesar 43.2818 % untuk kapur bakar optimum dan peningkatan sebesar 10.2333 % untuk kapur tumbuk optimum terhadap tanah asli.

2.1.3 Dwi Nurhantanti (2006) : Studi eksperimental pengaruh pencampuran portland cement pada tanah dasar terhadap dimensi pondasi berdasarkan kuat dukung metode Terzaghi.

Rumusan Masalah :

Seberapa besar perbandingan ukuran dimensi pondasi pada tanah asli dan tanah yang sudah dicampur dengan bahan stabilisasi semen.

Tujuan Penelitian :

1. Mengetahui jenis tanah, sifat fisik dan mekanis tanah lempung Sokka, Kebumen, Jawa Tengah.
2. Mencari variasi campuran semen yang optimal untuk menghasilkan kuat dukung tanah yang maksimal.
3. Mencari dimensi pondasi dangkal bangunan pada kondisi tanah *undisturbed* dan tanah yang telah dicampur dengan bahan kimia semen.
4. Mendapatkan perbandingan luasan pondasi dangkal pada kondisi tanah *undisturbed* dan tanah yang telah dicampur dengan bahan kimia semen.

Hasil Penelitian :

1. Berdasarkan sifat fisiknya, tanah lempung yang berasal dari Sokka, Kebumen, Jawa Tengah berwarna coklat, lengket, dan sedikit mengandung pasir
2. Berdasarkan sistem klasifikasi "segitiga" USCS, termasuk tanah lempung kelanauan (*silty clay*) sedangkan pada sistem klasifikasi *Unified* termasuk dalam golongan tanah CH yaitu tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (*fat clays*).
3. Pada pengujian di Laboratorium, tanah lempung Sokka, Kebumen, Jawa Tengah memiliki kadar air sebesar 42.893 %, berat jenis (G_s) 2.57, berat volume 1.748 gr/cm^3 , batas cair (LL) 55 %, batas plastis (PL) 28.73 % dan indeks plastis (IP) 26.27 %.
4. Hasil dari pengujian proktor standar didapat berat volume kering (γ_d) sebesar $1,548 \text{ gr/cm}^3$ dengan kadar air optimum (w_{opt}) 22.84 %, dan pengujian Triaksial UU didapatkan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 11.05° serta kohesi (c) 1.975 t/m^2 .
5. Kuat dukung tanah cenderung semakin besar, setelah dicampur bahan aditif semen. Kuat dukung tanah maksimum terjadi pada pencampuran 8 % semen dengan pemeraman 7 hari yaitu sebesar 1555.482 t/m^2 dari 36.149 t/m^2 kuat dukung tanah asli atau sebesar 97.98 %.
6. Memiliki kesamaan ukuran untuk variasi semen 5% - 8% pemeraman 3 hari dengan variasi semen 3% - 8% pemeraman 7 hari karena lebar pondasi dibawah 1 meter, sehingga diambil minimum 1 meter.
7. Bila perbandingan luasan pondasi diambil berdasarkan kuat dukung tanah optimalnya, maka perbandingan luasan pondasi antara tanah yang dicampur semen 8 % pada pemeraman 7 hari dengan tanah aslinya yaitu sebesar 1 m^2 dari 4 m^2 atau terjadi pengurangan sebesar 75 %.
8. Tanah yang sudah distabilisasi memiliki luasan yang semakin kecil, demikian juga terhadap pemeraman tidak begitu berpengaruh tetapi kuat dukung tanah untuk pondasi sangat besar pengaruhnya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Pada suatu lokasi konstruksi tanah selalu mempunyai peranan yang sangat penting dalam mendukung yang ada di atasnya, dan dalam masa pra perencanaan itu sendiri perlu diketahui terlebih dahulu mengenai klasifikasi dan sifat dari masing-masing dari jenis tanah yang ada. Tanah sendiri secara umum terdiri dari tiga unsur diantaranya air, udara, dan butiran padat. Dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan, perlu pemahaman yang mendalam mengenai fungsi-fungsi serta sifat tanah itu bila dilakukan pembebanan terhadapnya.

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Seperti yang kita ketahui bersama bahwa sifat dan jenis tanah di alam ini sangat bervariasi. Hal ini ditentukan oleh perbandingan banyaknya fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau dan lempung) serta gradasinya. Selain itu hal tersebut juga ditentukan oleh sifat plastisitas butir halus. Dan secara umum tanah dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- 1). Tanah Kohesif yaitu tanah berbutir halus seperti : lempung, lanau.
- 2). Tanah Tidak Kohesif yaitu tanah berbutir kasar seperti : pasir, kerikil.

3.1.1.1 Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butiran

Dalam tanah terdiri dari berbagai macam ukuran butiran, dari yang terbesar sampai yang terkecil. Pembagian nama jenis tanah, umumnya dapat dibagi menjadi sebagai berikut (*Bowles, J.E, 1989, Hal 27*) :

1. Berangkal (*boulders*) merupakan potongan batuan yang besar, biasanya diambil lebih besar dari ukuran 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini dapat disebut kerakal (*cobbles*).

2. Kerikil (*gravel*) merupakan partikel batu batuan yang memiliki ukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) merupakan partikel batuan berukuran 0.0074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (5 mm – 3 mm) sampai halus (< 1 mm).
4. Lanau (*silt*) merupakan partikel batuan berukuran dari 0.002mm sampai 0.0074 mm.
5. Lempung (*clay*) merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm, partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang berkohesif.
6. Koloid (*colloids*) merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.

Klasifikasi tanah berdasarkan diameter butirannya dapat di lihat pada tabel 3.1 di bawah ini :

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Sumber : L.D. Wesley (1977)

Jenis tanah	Batas-batas ukuran
Berangkal (Boulder)	> 8 inci
Kerakal	3 – 8 inci
Kerikil (Gravel)	2 – 3 inci
Pasir Kasar (Course Sand)	0,6 – 2 mm
Pasir sedang (Medium sand)	0,2 – 0,6 mm
Pasir Halus (Fine Sand)	0,06 – 0,2 mm
Lanau (Silt)	0,002 – 0, 06 mm
Lempung (Clay)	< 0,002 mm

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah seperti pada Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah (Braja M. Das, 1988)

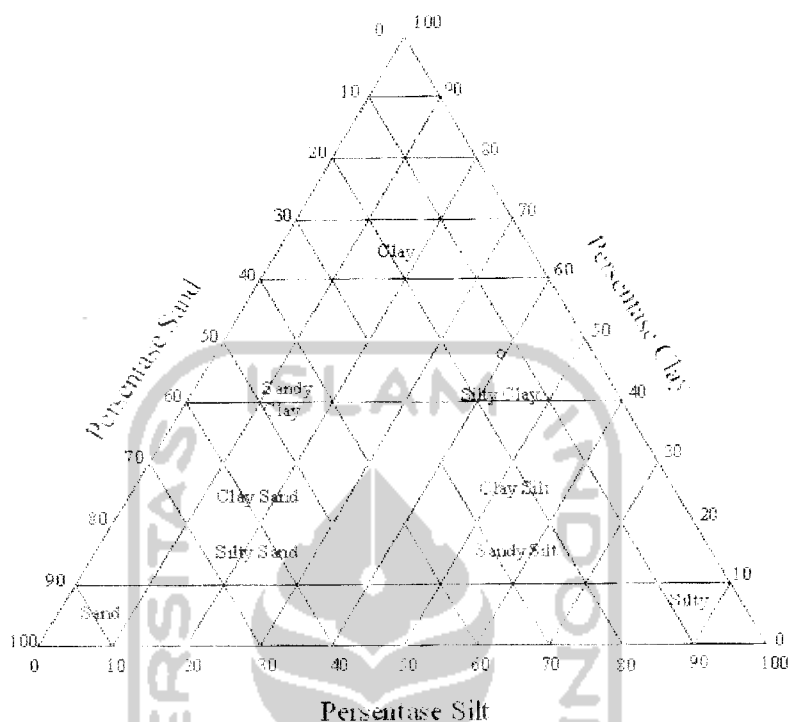
Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>American Society for Testing Material (ASTM)</i>	75 – 4,75	4,75 – 0,0075	0,075 – 0,005	0,005 – 0,001
<i>Massachusetts Institute of Technologi (MIT)</i>	2	2 – 0,006	0,006 – 0,002	< 0,002
<i>US Departement of Agriculture (USDA)</i>	2	2 – 0,005	0,005 – 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)</i>	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	< 0,002
<i>Unified Soils Classification System (USCS)</i>	76,2 - 475	4,75 – 0,075	Halus (Lanau dan Lempung) < 0,0075	

3.1.1.2 Klasifikasi tanah berdasarkan Tekstur

Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Teknik Sipil (USCS), didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah, yaitu :

- a. Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm.
- b. Lanau : butiran dengan diameter 0,005 sampai dengan 0,002 mm.
- c. Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.

Grafik klasifikasi tekstural segitiga USCS dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Grafik klasifikasi tekstural segitiga USCS

3.1.1.3 Klasifikasi tanah sistem *Unified*

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem *Unified Soil Classification*. Ada dua golongan besar, tanah-tanah yang berbutir kasar < 50 % melalui saringan No. 200 dan tanah-tanah berbutir halus > 50 % melalui saringan No. 200. Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem Unified adalah sebagai berikut (*Hardiyatmo, H.C. 1955, Hal 39*) :

1. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan No. 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - a) Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butirannya.

- b) Tentukan persen butiran lolos saringan no. 4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50 %, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50 %, klasifikasikan sebagai pasir.
- c) Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no. 200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5 %, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila berkrikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila berkrikil) atau SP (bila pasir).
- d) Jika presentase butiran tanah yang lolos saringan no. 200 di antara 5 sampai 12 %, tanah akan mempunyai symbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW – GM, SW – SM dan sebagainya).
- e) Jika presentase butiran tanah yang lolos saringan no. 200 lebih besar 12 %, harus diadakan pengujian batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM – GC atau SM – SC).
3. Jika tanah berbutir halus :
- a) Kerjakan pengujian batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Jika batas cair lebih dari 50 %, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50 %, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
- b) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
- c) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.

- d) Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dobel.

Tabel 3.3 Klasifikasi tanah sistem *Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil lebih dari 50% fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Batas-batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
		Pasir banyak kandungan butiran halus	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau				
	SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		

Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus: Kurang dari 50% lolos saringan no. 200; GM, GP, SW, SP, Lebih dari 12% lolos saringan no. 200; GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan no. 200. Batas-batas klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

Tabel 3.4 Lanjutan Tabel tabel 3.3

Tebah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Jangan kebalikan! Jika mengklasifikasi kadar cairan ke atas yang mengandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Tidak Atterberg yang termasuk dalam daerah yang dapat beresukasi akan secara langsung ke stabil!</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: PI = 0,73 (LL-20)</p> <p>Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488</p>
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')	
Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis		
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')		
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Sumber : Hardiyatmo, H.C., Mekanika Tanah 1, 1955, Hal 40

3.1.1.4 Sistem klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official Classification*) membagi tanah kedalam 7 kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi

lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan (Hardiyatmo, H.C, 1955, Hal 45) :

$$GI = (F-35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad (3.1)$$

dengan :

GI = Indeks kelompok

F = Persentase butir yang lolos ayakan No. 200

LL = Batas cair

PI = Indeks plastisitas

Secara umum sistem klasifikasi ini menilai tanah sebagai berikut :

1. Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1 sampai A-3 adalah tanah-tanah berbutir kasar dimana 35% atau kurang butir-butir tersebut melalui ayakan no. 200.
2. Tanah-tanah dimana 35% atau lebih melalui ayakan no. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4 sampai A-7. Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lumpur dan lempung.

Tabel 3.5 Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Bahan-bahan (35% atau kurang melalui No. 200)							Bahan-bahan lanau-lempung (Lebih dari 35% melalui No. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6:	
Analisis saringan: Persen melalui: No. 10 No. 40 No. 200	50 maks. 30 maks. 15 maks.	50 maks. 25 maks.	51 maks. 10 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	
Karakteristik fraksi melalui No. 40 Batas cair: Indeks plastisitas	6 maks.		N.P.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 11 min.	41 maks. 10 maks.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 10 min.	41 maks. 11 min.	
Indeks kelompok	0		0	0				4 maks.	8 maks.	12 maks.	16 maks.	20 maks.
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung		
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik baik sampai baik							sedang sampai buruk				
Untuk :	A-7-5	PI	LL-30	NP = Non plastis								
Untuk :	A-7-6	PI	LL-30									

Sumber : Hardiyatmo, H.C, 1955, *Mekanika Tanah*, Hal 45

3.1.2 Hubungan antara jumlah butir, air dan udara dalam tanah

Tanah merupakan komposisi dari dua atau tiga fase yang berbeda. Tanah yang benar-benar kering terdiri dari dua fase yang disebut butiran dan udara pengisi pori, tanah yang jenuh juga terdiri dari dua fase yaitu butiran dan air pori sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari tiga fase yaitu butiran, udara pori dan air pori. Berat udara dianggap sama dengan nol.

1. Kadar air (*Moisture content/water content*)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat partikel padat dalam tanah, yaitu :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

2. Angka pori (*Void ratio*)

Angka pori adalah perbandingan volume pori dan volume partikel padat, yaitu

$$e = \frac{V_v}{V_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

3. Porositas (*Porosity*)

Porositas adalah perbandingan antara volume pori dengan volume keseluruhannya.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \quad \dots\dots\dots(3.5).$$

4. Berat jenis (*specific gravity*)

Berat Jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4° C.

$$Gs = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

5. Berat isi tanah alami / asli (*Natural density*)

Adalah perbandingan antara berat tanah seluruhnya dengan isi tanah seluruhnya, yaitu :

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (3.7)$$

6. Berat volume kering (*Dry density*)

Berat volume kering adalah adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots (3.8)$$

7. Berat volume basah (*Submerged / wet density*)

Berat volume basah adalah perbandingan berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V).

$$\gamma_b = \frac{W_w + W_s}{V} \dots\dots\dots (3.9)$$

8. Derajat kejenuhan (*Degree of saturation*)

Derajat kejenuhan adalah adalah perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v).

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots\dots\dots (3.10)$$

Bila tanah dalam keadaan jenuh air, maka $S = 1$.

3.1.3 Batas Atterberg (batas konsistensi)

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah dan memiliki kemampuan dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak.

Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan pertimbangan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Kedudukan batas konsistensi dari tanah kohesif disajikan dalam Gambar 3.2

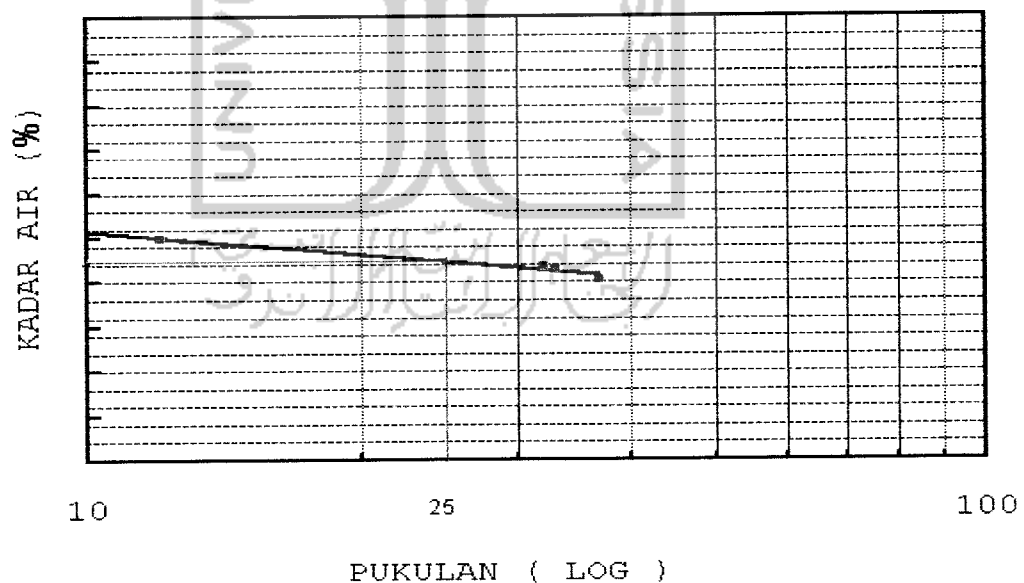
Keterangan :

W_1 = Berat cawan kosong

W_2 = Berat cawan + tanah basah

W_3 = Berat cawan + tanah kering

Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian casagrande yaitu dengan cara tanah diletakkan didalam mangkok kuning dan digoreskan tepat ditengah-tengahnya kemudian mangkok tersebut diketuk-ketuk hingga tanah menyatu kembali, Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali yaitu dengan kadar air yang berbeda dan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 sampai 35. Kemudian hubungan kadar air dan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan, dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Grafik Casagrande

c. Batas Susut / *Shrinkage Limit* (SL)

Batas Susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu presentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Batas susut dinyatakan ke dalam persamaan :

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \cdot \frac{(V_1 - V_2)}{M_2} \times 100 \dots \dots \dots (3.13).$$

Keterangan :

m_1 = berat tanh basah dalam cawan percobaan (gr)

m_2 = berat tanh kering dalam oven (gr)

V_1 = volume tanah basah dalam cawan (cm³)

V_2 = volume tanah kering dalam oven (cm³)

d. Indeks Plastisitas / *Plasticity index* (PI)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas akan merupkan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air didaerah plastis yang kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk.

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (3.14)$$

Dengan :

PI = indek plastisitas.

LL = batas cair.

PL = batas plastis.

Tabel 3.6 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah.

PI	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non kohesi
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesi sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesi
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesi

Sumber : *Hardiyatmo, H.C, 1955, Mekanika Tanah 1, Hal 34*

3.1.4 Lumpur Lapindo

Kasus menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tanggal 29 Mei 2006, menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian oleh material lumpur yang volumenya luar biasa besar.

Kasus menyemburnya lumpur panas ini menimbulkan kerugian materi yang cukup besar. menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian di beberapa kecamatan di sekitarnya, serta mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur.

3.1.5 Tanah lempung

Lempung adalah tanah berbutir halus yang memiliki sifat kohesi, plastisitas, tidak memperlihatkan sifat dilatasi dan tidak mengandung jumlah bahan kasar yang berarti. Lempung terdiri dari tanah dan mineral yang mempunyai partikel-partikel tertentu serta mempunyai sifat plastis bila dicampur dengan air. Dari segi ukuran lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm dan tidak mempunyai sifat plastis bila tidak dicampur dengan air.

3.1.5.1 Mineral lempung

Mineral lempung merupakan pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 m dan biasanya berbentuk lembaran-lembaran. Lempung terbentuk dari bermacam kombinasi tumpukan lembaran dan macam ikatan antara masing-masing lembaran, yaitu :

1. Kaolinit merupakan salah satu mineral utama lempung, terdiri dari lembaran silika tetrahedra dengan selembur aluminium oktahedra, dengan ketebalan sekitar $7,2 \text{ \AA}$. Tumpukan lapisan tersebut diikat oleh ikatan hidrogen yang kuat, sehingga lapisan kaolinit stabil dan air tidak masuk diantara lembaran. Partikel kaolinit berbentuk lempengan dengan dimensi mendatar $1000 \text{ \AA} - 20,000 \text{ \AA}$ dan tebal $100 \text{ \AA} - 1000 \text{ \AA}$, sedangkan
2. Illit mempunyai kombinasi antara sebuah lembaran aluminium oktahedra dengan diapt dua buah lembaran silika tetrahedral dengan tebal 10 \AA . Lembaran-lembaran tersebut diikat dengan ikatan lemah ion kalium yang berada diantaranya, sehingga air mudah meresap diantara lembaran dan dapat menimbulkan kembang susut. Partikel illit berbentuk lempengan dengan dimensi mendatar berkisar $1000 \text{ \AA} - 5000 \text{ \AA}$ dan ketebalan sekitar $50 \text{ \AA} - 500 \text{ \AA}$.
3. Montmorilonit mempunyai struktur dasar yang sama dengan illit yaitu selembur aluminium oktahedra dan dua buah silika, dengan tebal $7,9 \text{ \AA}$. Karena adanya ikatan van der Waals yang lemah di antara ujung lembaran silika dan terdapat kekurangan muatan negatif dalam lembaran oktahedra.

3.1.5.2 Pengaruh air pada tanah lempung

Air biasanya tidak mempengaruhi pada tanah non kohesif sebaliknya akan banyak mempengaruhi bila air berada pada lapisan tanah berbutir halus khususnya tanah lempung, karena pada tanah berbutir halus luas permukaan spesifik menjadi lebih besar dan variasi kadar airnya akan mempengaruhi plastisitas tanahnya. Distribusi ukuran butiran jarang sebagai faktor yang mempengaruhi kelakuan

tanah butiran halus, melainkan dengan mempergunakan batas Atterberg untuk mengidentifikasi tanah.

Partikel-partikel lempung mempunyai muatan listrik negatif sehingga untuk mengimbanginya maka partikel lempung menarik muatan positif dari garam yang ada di dalam air porinya, hal ini juga disebut dengan pertukaran ion-ion. Selanjutnya kation-kation dapat disusun dalam urutan menurut kekuatan daya tarik menariknya, proses ini disebut dengan pertukaran kation. Kapasitas pertukaran kation tanah lempung didefinisikan sebagai jumlah pertukaran ion-ion yang dinyatakan dalam miliekivalen per 100 gram lempung kering. Pada waktu air ditambahkan pada lempung, kation dan anion mengapung disekitar partikelnya (*Hardiyatmo, H.C, 1955, Hal 18*)

Molekul air merupakan molekul yang dipolarkan yaitu atom hidrogen tidak tersusun simetris disekitar atom-atom oksigen. Terdapat tiga mekanisme yang menyebabkan molekul air dipolarkan dapat tertarik oleh permukaan partikel lempung secara elektrik :

1. Tarikan antara permukaan bermuatan negative dari partikel lempung dengan ujung positif dari polar.
2. Tarikan antara kation-kation dalam lapisan ganda dengan muatan negative dari ujung dipolar. Kation-kation ini tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif.
3. Andil atom-atom hidrogen dalam molekul air yaitu dengan ikatan hidrogen antara atom oksigen dalam partikel lempung dan atom oksigen dalam molekul air.

Air yang tertarik secara elektrik berada di sekitar partikel lempung disebut air lapisan ganda. Sifat plastis tanah lempung adalah akibat eksistensi dari air lapisan ganda. Air lapisan ganda pada bagian paling dalam yang sangat kuat melekat pada partikel lempung disebut air serapan. Hubungan mineral-mineral lempung dengan air serapannya memberikan bentuk dasar dari susunan tanahnya. Tiap partikel saling terikat satu sama lain lewat lapisan air serapannya, maka adanya ion-ion yang berbeda, material organik, beda konsentrasi akan berpengaruh besar pada sifat tanahnya.

Jadi jelas bahwa ikatan antara partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat besar dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi, dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangi muatannya. *Schofield dan Samson (1954)* dalam penyelidikan pada *kaolinite* serta *Olphen (1951)* dalam penyelidikan pada *montmorillonite*, menemukan bahwa jumlah dan distribusi muatan residu jaringan mineral bergantung pada pH airnya. Dalam lingkungan dengan pH yang rendah ujung partikel *kaolinite* dapat menjadi bermuatan positif dan selanjutnya dapat menghasilkan gaya tarik ujung permukaan antara partikel yang berdekatan.

3.2 Pondasi Dangkal

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada dibawahnya. Bagian paling bawah dari suatu konstruksi dinamakan "pondasi". Fungsi pondasi ini adalah meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi. Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi, kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atas pondasi tadi.

Pondasi dapat digolongkan berdasarkan beban yang ditopang oleh tanah, yaitu:

- 1 Pondasi dangkal, didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung. Kedalaman pondasi adalah kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D_f \leq B$), (*Hary Christady Hardiyatmo, 1996*)
- 2 Pondasi dalam, didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang terletak relative jauh dari permukaan. Kedalaman pondasi adalah lebih besar atau sama dengan empat kali lebar pondasi ($D_f \geq 4B$), (*Hary Christady Hardiyatmo, 1996*).

Secara umum, yang dinamakan pondasi dangkal adalah pondasi yang mempunyai perbandingan antara kedalaman dengan lebar sekitar kurang dari empat. Apabila perbandingan antara kedalaman dengan lebar pondasi lebih besar

dari empat, pondasi tersebut diklafikasikan sebagai pondasi dalam. Daya dukung tanah untuk pondasi dangkal akan aman apabila:

1. Penurunan (settlement) tanah yang disebabkan oleh beban masih dalam batas yang diperbolehkan.
2. Keruntuhan geser dari tanah di mana pondasi berada tidak terjadi.

3.2.1 Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal

Daya dukung batas (ultimate) suatu tanah dibawah beban pondasi terutama tergantung pada kekuatan geser. Nilai kerja atau nilai yang diizinkan untuk desain akan ikut mempertimbangkan karakteristik deformasi (Joseph E Bowles, 1983).

Sifat tanah yang perlu diketahui untuk daya dukung adalah berat isi (γ), konstanta kekuatan geser (ϕ) dan kohesi (c) dengan bertambahnya nilai-nilai tersebut maka daya dukung tanah akan bertambah pula (Wesley, 1997).

Analisis-analisis kapasitas dukung, dilakukan dengan cara pendekatan dengan memudahkan perhitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai pahan yang bersifat plastis, persamaan kapasitas dukung tanah yang diusulkan umumnya didasarkan pada persamaan Mohr-Coulomb (*Hardiyatmo, H.C, 2002, Hal 86*):

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots(3.15)$$

dengan :

τ = tahanan geser tanah

c = kohesi tanah

σ = tegangan normal

ϕ = sudut geser dalam

Kapasitas dukung ultimit dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Dinyatakan dengan persamaan :

$$q_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots (3.16)$$

dengan :

q_u = kapasitas dukung ultimit (t/m^2)

P_u = beban ultimit (t)

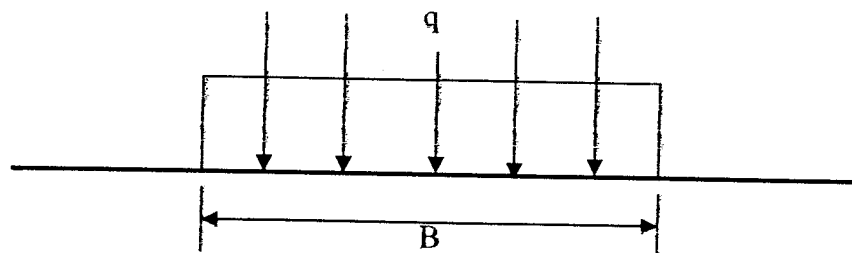
A = luas beban (m^2)

3.2.1.1 Analisis kapasitas dukung tanah teori Terzaghi

Terzaghi (1943) melakukan analisis kapasitas dukung tanah dengan beberapa anggapan, sebagai berikut (Hardiyatmo, H.C, 2002, Hal 87) :

1. Pondasi berbentuk memanjang tak terhingga
2. Tanah di bawah dasar pondasi homogen
3. Berat tanah di atas dasar pondasi digantikan dengan beban terbagi rata sebesar $p_0 = D_f \cdot \gamma$ dengan D_f adalah kedalaman dasar pondasi dan γ adalah berat volume tanah di atas dasar pondasi.
4. Tahanan geser tanah di atas dasar pondasi diabaikan.
5. Dasar pondasi kasar.

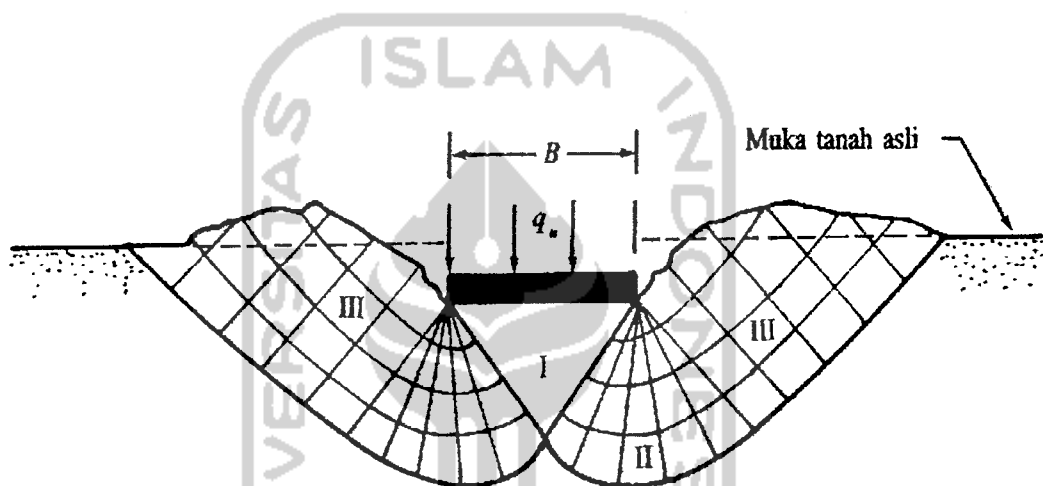
Seluruh analisis daya dukung tanah didasarkan pada anggapan bahwa pondasi mempunyai panjang tak terhingga dan pada kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*) dari suatu bahan bersifat plastis. Untuk dapat memahami konsep daya dukung suatu tanah dan bentuk keruntuhan geser dalam tanah, perhatikan model pondasi bentuk persegi yang memanjang dengan lebar B yang diletakkan pada permukaan lapisan tanah pasir padat (atau tanah yang kaku) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Model pondasi

Sumber : M Das, Braja, 1985, *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Hal 117

Apabila beban terbagi rata q persatuan luas diletakkan di atas model pondasi, maka pondasi akan turun. Tetapi bila besar $q = q_u$ telah tercapai maka keruntuhan daya dukung akan terjadi, yang berarti pondasi akan mengalami penurunan yang sangat besar tanpa penambahan beban q lebih lanjut. Tanah di sebelah kanan dan kiri pondasi akan menyembul dan bidang longsor akan mencapai permukaan tanah. Keruntuhan daya dukung ini dinamakan keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*) dan dapat di jelaskan dengan Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Keruntuhan geser menyeluruh

Sumber : M Das, Braja, 1985, *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Hal 118

Menurut Terzaghi suatu pondasi didefinisikan sebagai pondasi dangkal apabila kedalaman D_f adalah kurang atau sama dengan lebar pondasi B , dan untuk perhitungan daya dukung batas dari tanah Terzaghi menganggap bahwa berat tanah di sebelah kanan dan kiri pondasi sampai dengan kedalaman dasar pondasi diganti dengan beban merata $p_o = \gamma \cdot D_f$.

Terzaghi menyarankan koreksi empiris untuk faktor-faktor daya dukung pada kondisi keruntuhan geser umum, untuk hitungan daya dukung tanah yaitu dengan cara seluruh faktor kapasitas dukung dihitung kembali dengan menggunakan ϕ dan c .

Formula Terzaghi untuk pondasi berbentuk bujur sangkar pada kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*), sebagai berikut :

$$q_u = \alpha c \cdot N_c + p_o \cdot N_q + \beta \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

$$q_a = \frac{q_u}{SF} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

dengan :

α dan β = Koefisien tergantung bentuk pondasi

q_u = kapasitas dukung ultimit (t/m^2)

p_o = tekanan overburden pada dasar pondasi (t/m^2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (t/m^3)

q_a = kapasitas dukung ijin (t/m^2)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung untuk pondasi

Nilai-nilai koefisien α dan β berdasarkan bentuk pondasi ditunjukkan pada tabel 3.7. Faktor kapasitas dukung untuk pondasi ditunjukkan dalam Tabel 3.8. Nilai Terzaghi untuk N_c adalah pertambahan akibat geser di antara tanah dan dasar pondasi, N_q adalah pengaruh-pengaruh tambahan akibat beban tanah atas apabila pondasi terletak di bawah permukaan tanah dan merupakan kontribusi utama dalam daya dukung terutama untuk tanah-tanah dengan kohesi yang kecil.

Pada penelitian ini teori pendekatan yang dilakukan dalam analisis bidang runtuh adalah kondisis local shear failure, sebagai berikut :

$$q_u = \alpha c' \cdot N_c' + q \cdot N_q' + \beta \gamma \cdot B \cdot N_\gamma' \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

Dengan :

$$\text{Kohesi (c)} \rightarrow c' = \frac{2}{3} c \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

$$\text{Sudut geser dalam } (\phi) \rightarrow \phi' = \text{arc tg} \left[\frac{2}{3} \text{tg } \phi \right] \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

Tabel 3.7 Koefisien α dan β

Bentuk Pondasi	α	β
Menerus	1,0	0,5
Bujur sangkar	1,3	0,4
Lingkaran	1,3	0,3 dengan B = diameter

Sumber : KB. Suryolelono, 1992

Tabel 3.8 Nilai-nilai faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber : Hardiyatmo, H.C, 2002, Teknik Pondasi 1, Hal 94

Daya dukung ijin neto dari pondasi adalah beban persatuan luas yang diijinkan untuk suatu pondasi tanpa memasukkan berat tanah disebelah kanan dan kiri pondasi dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman dasar pondasi yang besarnya adalah $p_o = \gamma \cdot D_f$. Jadi beban neto dapat dilihat dalam persamaan

$$q_n = q_a - p_o \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

dengan :

q_n = Kapasitas dukung neto (t/m^2)

p_o = Tekanan overburden pada dasar pondasi (t/m^2)

3.2.2 Konsolidasi dan Penurunan

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. (H.C. Hardiyatmo, 2002).

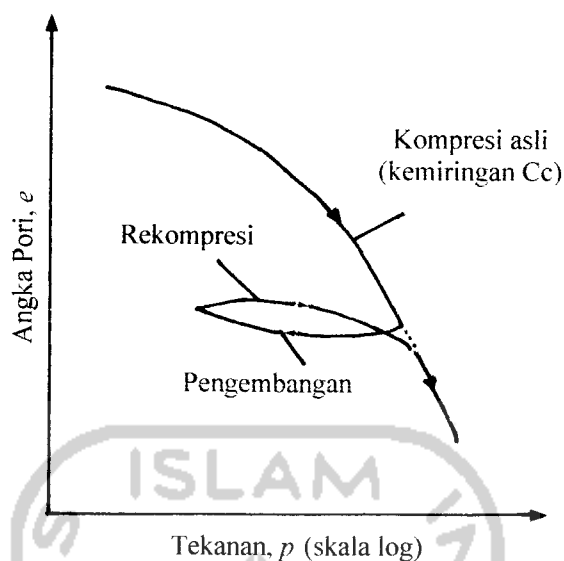
Faktor-faktor yang berpengaruh :

- a. Kecepatan keluarnya air pori dari tanah
- b. Beban
- c. Permeabilitas tanah.

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang tertelan dibawah muka air. Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan akibat pembebanan :

- a. Kegagalan / keruntuhan geser tanah
- b. Kerusakan / defleksi yang besar pada pondasi
- c. Turunya / tanah akibat perubahan angka pori (e).

Dalam konsolidasi ada dua istilah yang dikenal, *over consolidation* yaitu suatu keadaan tanah yang pernah menerima pembebanan yang lebih besar daripada pembebanan yang ada sekarang. Sedangkan istilah yang kedua *normally consolidation* yaitu tanah yang tidak atau belum pernah menerima beban yang lebih besar dari pembebanan sekarang.



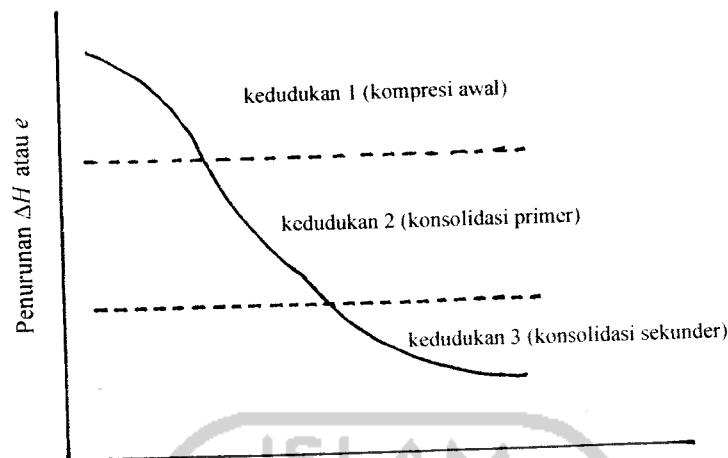
Gambar 3.8 Hubungan angka pori dan tekanan (R.F. Craig, 1989)

Dari gambar di atas *Normally consolidated* ditunjukkan oleh garis linear (atau hampir linear) dan disebut garis kompresi asli (*virgin compression line*). Sedangkan *over consolidated* ditunjukkan oleh garis rekompresi atau pengembangan, kurva rekompresi akhirnya bergabung lagi dengan garis kompresi asli.

Secara umum menurut Braja M. Das, 1988, penurunan (*settlement*) pada tanah disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu

1. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Penurunan konsolidasi terbagi atas penurunan konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder
2. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak dibawah muka air tanah. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya. Seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.9 Sifat khusus grafik hubungan ΔH atau e terhadap $\log t$
(H.C. Hardiyatmo, 2002)

Dari gambar diatas dapat dilihat penurunan konsolidasi terbagi dari tiga kedudukan atau tiga fase yaitu :

- a.) Fase awal, yaitu fase dimana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan disini terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanahnya.
- b.) Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanahnya akibat adanya tekanan.
- c.) Fase konsolidasi sekunder, merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan karena pengaruhnya biasanya sangat kecil.

Setelah mendapatkan grafik antara waktu dan penurunan untuk besar pembebanan yang bermacam-macam dari percobaan dilaboratorium, selanjutnya penting bagi kita untuk mempelajari perubahan angka pori terhadap tekanan. Urutan pelaksanaannya sebagai berikut :

1. Hitung tinggi butiran padat, H_s

$$H_s = \frac{W_s}{AG_s \gamma_w} \dots\dots\dots (3.23)$$

Dimana : W_s = berat kering contoh tanah
 A = luas penampang contoh tanah
 G_s = berat spesifik contoh tanah
 γ_w = berat volume air

2. Hitung tinggi awal dari ruang pori, H_v

$$H_v = H - H_s \dots\dots\dots (3.24)$$

Dimana H = tinggi awal contoh tanah

3. Hitung angka pori awal, e_o , dari contoh tanah :

$$e_o = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v.A}{H_s.A} = \frac{H_v}{H_s} \dots\dots\dots (3.25)$$

4. Untuk penambahan beban pertama p_1 (beban total/luas penampang contoh tanah), yang menyebabkan penurunan ΔH_1 , hitung perubahan angka pori:

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s} \dots\dots\dots (3.26)$$

ΔH_1 didapatkan dari pembacaan awal dan akhir pada skala ukur untuk beban sebesar p_1

5. Hitung angka pori yang baru, e_1 setelah konsolidasi yang disebabkan oleh penambahan tekanan p_1 :

$$e_1 = e_o - \Delta e_1 \dots\dots\dots (3.27)$$

Untuk beban berikutnya, yaitu p_2 (*catatan* : p_2 sama dengan beban kumulatif persatuan luas contoh tanah), yang menyebabkan penambahan pemampatan sebesar ΔH_2 , angka pori e_2 pada saat akhir konsolidasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s} \dots\dots\dots (3.28)$$

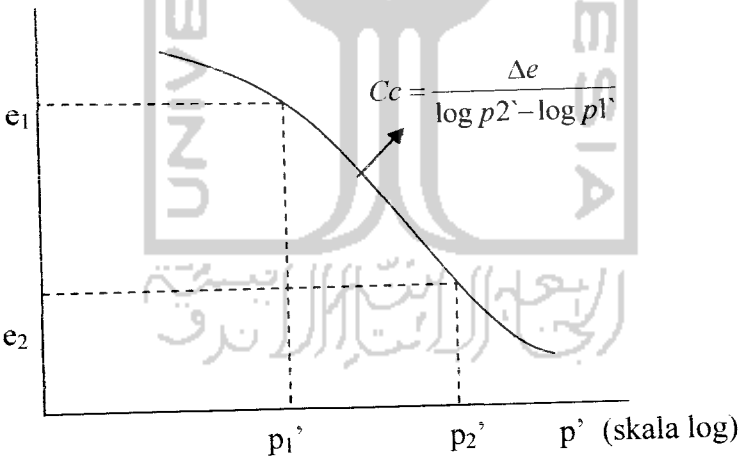
Dengan melakukan cara yang sama, angka pori pada saat akhir konsolidasi untuk semua penambahan beban dapat diperoleh. Tekanan total (p)

dan angka pori yang bersangkutan (*e*) pada akhir konsolidasi digambar pada kertas semi logaritma. Bentuk umum dari grafik *e* versus log *p* adalah seperti ditunjukkan dalam gambar 3.9. Dan setelah itu indeks pemampatan didapat.

Indeks pemampatan atau kompresi (*C_c*) adalah kemiringan dari bagian lurus grafik *e-log p'*, untuk dua titik yang terletak pada bagian lurus dari grafik dalam gambar 3.10 nilai *C_c* dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{\Delta e}{\log \left(\frac{p_2'}{p_1'} \right)} \dots \dots \dots (3.29)$$

- Keterangan :
- C_c* = indeks pemampatan
 - e₁* = angka pori awal
 - e₂* = angka pori kedua
 - p₁'* = tegangan efektif pada angka pori awal
 - p₂'* = tegangan efektif pada angka pori kedua



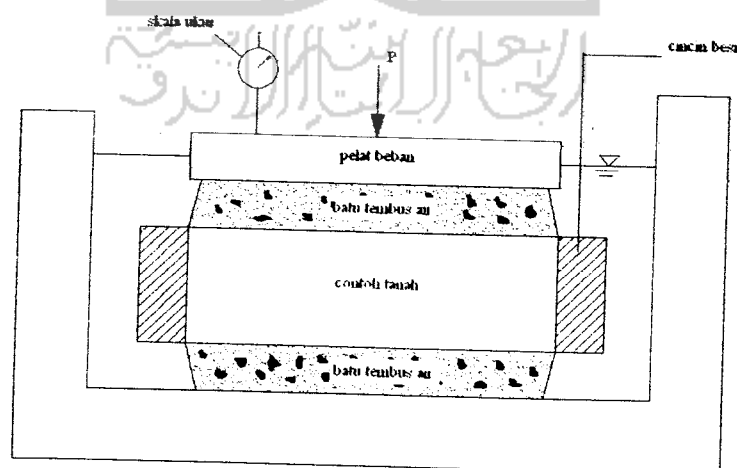
Gambar 3.10 Indeks Pemampatan *C_c* (H.C. Hardiyatmo , 2002)

Tabel 3.9 Nilai C_c Untuk Macam- macam Tanah

Jenis Tanah	C_c
Pasir padat	0,005 – 0,010
Pasir tidak padat	0,025 – 0,050
Lempung agak keras	0,030 – 0,060
Lempung kenyal	0,060 – 0,150
Lempung medium – lunak	0,150 – 1,00
Lempung sangat lunak	> 1,00
Tanah organik	1,00 – 4,50
Batu / cadas	0,0

(Mekanika tanah II, Biro Penerbit KMTS UGM, hal 85)

Pengujian konsolidasi biasanya dilakukan di laboratorium dengan alat *konsolidometer* atau *oedometer*. Contoh tanah yang mewakili elemen tanah yang mudah mampat pada lapisan tanah yang diselidiki, dimasukkan kedalam cincin besi. Bagian atas dan bawah benda uji dibatasi oleh batu tembus air (*porous stone*). Beban P diterapkan diatas benda uji, dan penurunan diukur dengan arloji pembacaan (*dial gauge*). Beban diterapkan dalam periode 24 jam, dengan benda uji selalu terendam air. Seperti yang terlihat pada gambar 3.9 dibawah ini :



Gambar 3.9 Gambar skema alat pengujian konsolidasi (H.C. Hardiyatmo, 2002)

Dengan penambahan beban yang baru dikerjakan secara periodik terhadap tanah. Penyelidikan-penyelidikan (Leonards, 1962) telah menemukan bahwa hasil terbaik akan diperoleh apabila beban digandakan dua kali dari beban sebelumnya yaitu 0.25, 0.50, 1, 2, 4, dan 8 kg/cm². Setelah mencapai 8 kg/cm² beban dikurangi dua langkah yaitu pada pembebanan sebesar 2 kg/cm² dan dikurangi sampai pada beban 0,25 kg/cm² untuk mendapatkan *rebound curve* (kurva pengembangan). Dengan demikian baik besarnya penurunan maupun kecepatannya dapat diketahui. Pada saat percobaan selesai, berat kering dari contoh tanah ditentukan.

Nilai C_v ditentukan dari waktu (t) terhadap pembacaan penurunan, untuk menghitung C_v pada kedudukan derajat konsolidasi $U = 90\%$, dengan kedudukan ini $T_v = 0,848$. Dan nilai C_v dinyatakan dalam persamaan :

Rumus yang digunakan untuk menghitung penurunan yang terjadi adalah: (Hary Christady, 1996, Hal 184)

$$C_v = \frac{T_v \times (d)^2}{t_{90}} \dots\dots\dots (3.30)$$

Keterangan

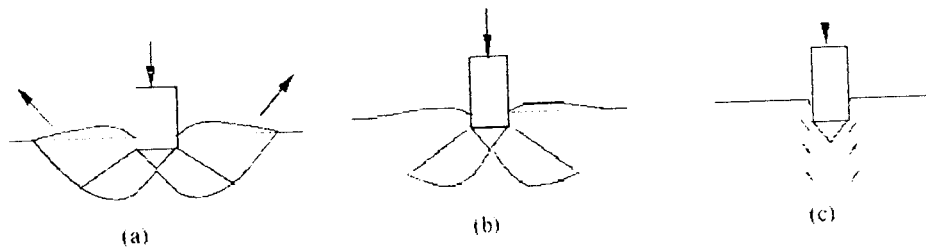
C_v = Koefisien konsolidasi pada interval

d = $\frac{1}{2}$ tebal rata-rata

t_{90} = Waktu yang dibutuhkan untuk penurunan konsolidasi

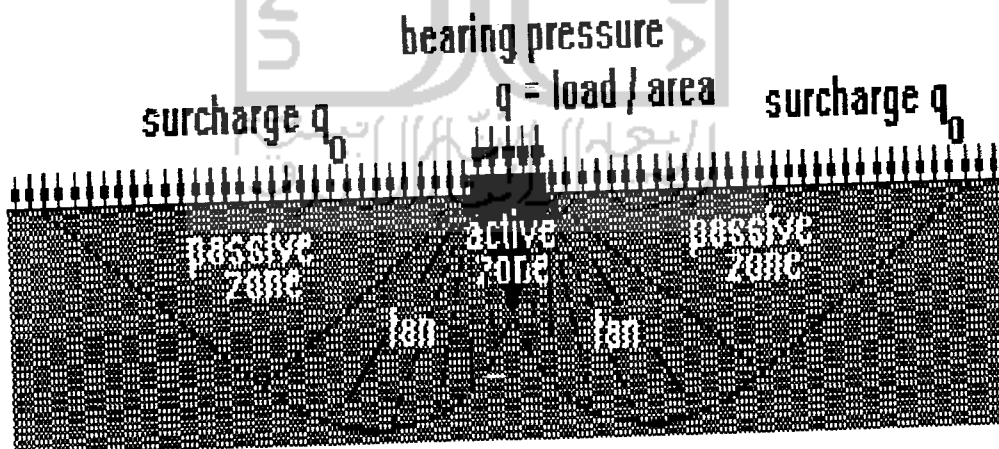
3.3 Analisis Bidang Runtuh

Secara umum ada tiga kemungkinan pola bidang runtuh pada daya dukung tanah yaitu general shear failure, local shear failure, dan punching shear failure seperti terlihat pada gambar 3.10 berikut ini :



Gambar 3.10 Tiga kondisi keruntuhan tanah (a) general shear failure, (b) local shear failure, (c) punching shear failure

Pada penelitian ini teori pendekatan yang dilakukan dalam analisis bidang runtuh adalah kondisi *local shear failure*, mengingat kondisi seperti ini sering terjadi pada tanah yang memiliki kompresibilitas yang tinggi dan penurunan yang relatif besar (pada tanah lunak), serta miring akibat penurunan pada pondasi diperkirakan tidak terjadi dan muka tanah disekitar pondasi kurang berarti pengembangannya, karena desakan kebawah pondasi relatif besar, dengan melihat kondisi seperti ini, maka pola bidang runtuh dapat dianalisis dengan bantuan gambar 3.11.



Gambar 3.11 Mekanisme Keruntuhan geser setempat pada Pondasi Dangkal

Pendekatan pola keruntuhan dibawah pondasi yaitu $(45^\circ + \Phi/2)$ pada daerah active zone dan ini menunjukkan keseimbangan plastis yang terjadi didaerah ini., dan akibat gerakan pada daerah ini akan mendorong tanah

disampingnya untuk terdorong ke arah samping dari daerah tersebut (*passive zone*), sedangkan di daerah *passive zone* keruntuhan yang terjadi dapat dilihat dengan pendekatan $(45^\circ - \Phi/2)$. Transisi pergerakan antara dua zona aktif dan pasif tersebut, maka akan terjadi pada daerah fan seperti yang terlihat pada gambar 3.14 dan keseimbangan plastis akan terjadi didaerah bidang runtuh tersebut, sedangkan sisa tanah lainnya berada dalam keseimbangan elastis.

Tegangan didalam tanah yang timbul akibat adanya beban dipermukaan dinyatakan dalam istilah tenaga, karena sebelum tanah dibebani tanah sudah mengalami tekanan akibat beratnya sendiri yang disebut tekanan *overburden*. Untuk itu nilai modulus young (E_s) dan poison ratio (μ) pada beberapa jenis tanah dapat dilihat pada tabel 3.10 dan 3.11

Tabel 3.10 Nilai E_s pada beberapa jenis tanah

Soil	Type	E_s , MPa
1. Clay	Very Soft	2-15
	Soft	5-25
	Medium	15-20
	Hard	50-100
	Sandy	25-250
	Silty	5-20
	Loose	10-25
2. Sand	Dense	50-81

(Bowles, J.E.1977)

Tabel 3.11 Nilai μ pada beberapa jenis tanah

Soil Type	μ
Clay, saturated	0,4-0,5
Clay, Unsaturated	0,1-0,3
Sandy, Clay	0,2-0,3
Silt	0,3-0,35
Ice	0,36
Concrete	0,15
Steel	0,33
Rock	0,1-0,4
Sand, gravelly sand	-0,1-1,00 (commonly used 0,1-0,4)

(Bowles, J.E. 1977)

3.4 Proktor Standar (ASTM D 698-70)

Pengujian proktor standar bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan tanah di dalam silinder berukuran tertentu menggunakan cetakan, sampel tanah lolos saringan no. 4. Kegunaan pengujian proktor standar untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) dari suatu sampel tanah.

3.5 Tekan Bebas (Unconfined Compression Strength, UCS), (ASTM D 2166-85)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan besarnya sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi tanah (c). Kuat tekan bebas tanah adalah besarnya tekanan aksial (kg/cm^2) yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah hingga 20%, apabila tanah belum pecah, maka dianggap runtuh.

3.6 Triaksial (Unconsolidated Undrained UU), (ASTM D 2850)

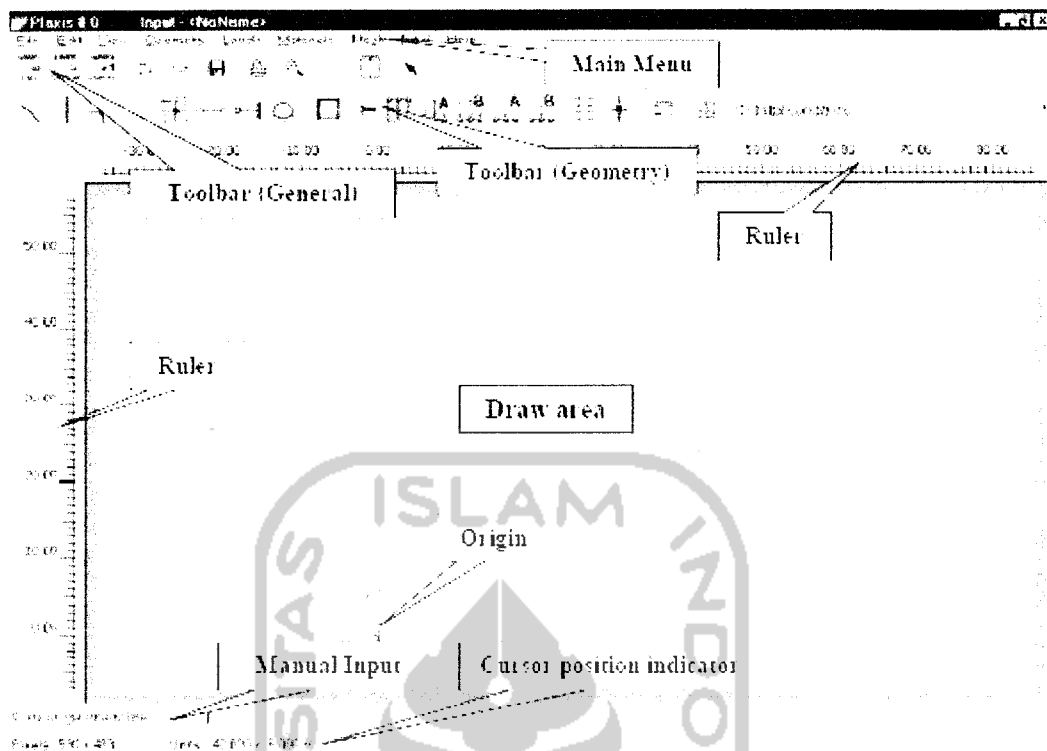
Tujuan Pengujian adalah pengujian sampel tanah dengan tiga dimensi tekanan. Pada pengujian ini disamping dapat diketahui tegangan geser (τ) juga diperoleh tegangan normal (σ). Kegunaan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dari suatu sampel tanah.

3.7 Metode Software Plaxis

Metode *Software Plaxis* adalah salah satu perangkat lunak sebagai alat bantu bagi para ahli teknik dalam merencanakan dan menganalisis struktur geoteknis dengan tujuan mendapatkan uji validasi yang akurat antara uji laboratorium dengan pelaksanaan di lapangan. metode menghitung penurunan dan tegangan atau sebuah PC yang kuat yang berdasarkan program. *Software Plaxis* menyediakan contoh nyata dari hubungan struktur dengan tanah, pada penelitian ini akan dicoba meninjau permasalahan tanah lumpur lapindo dalam kaitannya dengan struktur pondasi dangkal. Selanjutnya melakukan analisis tentang perubahan *load displacement* dan distribusi tegangan, serta bidang runtuh yang terjadi pada tanah lempung khususnya lumpur dengan menggunakan *software geoteknik Plaxis*, sehingga mendapatkan gambaran yang optimum khususnya pada struktur pondasi dangkal diatas tanah lumpur lapindo.

Dalam memakai sistem ini, pada awal pemakaian ini merupakan sistem yang tetap dalam sebuah satuan, pada awal memasukan data dalam ilmu ukur analitis, kecocokan unit dasar harus diseleksi. Data yang dihasilkan harus dicocokkan dalam terminal sistem yang sama, dari kumpulan satuan dasar, seperti telah didefinisikan oleh pengguna ketetapan satuan untuk pemakaian sebuah parameter khusus, biasanya di masukan secara tepat di dalam kotak yang telah disediakan atau ketika menggunakan tabel-tabel dengan memasukan data di atas kolom, dalam semua contoh-contoh yang diberikan dalam *Plaxis manual* tanda-tanda satuan digunakan. Salah satu tampilan *Plaxis* pada gambar 3.12.





Gambar 3.12. Tampilan Plaxis



Icon ini mewakili program input. Input program berisi seluruh fasilitas untuk menciptakan dan memodifikasi model geometri. Untuk menghasilkan sebuah lubang element terbatas yang cocok dan menghasilkan kondisi awal. Hasil dari kondisi awal dikerjakan dalam sebuah bagian mode dari program input (Mode kondisi awal). Penjelasan pertama difokuskan pada pembentukan model geometri dan lubang element terbatas, (Pembentukan model Geometri)

Pada permulaan program input, kotak dialog akan terlihat yang mana merupakan pilihan yang harus dibuat diantara pemilihan Proyek tetap dan pembentukan Proyek baru. Ketika memilih *New Project*, *General setting* window akan muncul yang merupakan parameter model dasar dari Proyek baru yang dapat di atur. Ketika memilih *Existing Project*, kotak dialog disediakan untuk memilih cepat satu dari empat proyek yang paling baru. Jika sebuah Proyek yang tersedia

untuk dipilih tidak muncul dalam daftar, pilihan << More files>> dapat digunakan. Sebagai hasilnya file permintaan muncul yang memungkinkan pengguna untuk melihat seluruh direktori yang tersedia dan untuk memilih proyek file PLAXIS yang diinginkan. Setelah memilih sebuah Proyek yang ada, Geometri yang tepat di sajikan dalam window utama:

1. *Input Menu* :

Menu input berisi seluruh items input dan fasilitas operasi program input. Items terbanyak juga tersedia seperti tombol dalam toolbar.

2. *Draw area* :

Area gambar adalah lembar menggambar pada model geometri yang dibentuk dan dimodifikasi, Pembentukan dan modifikasi model geometri sepenuhnya dilakukan dengan mouse., tetapi pada beberapa pilihan input keyboard langsung juga tersedia Area gambar dapat digunakan dengan cara yang sama seperti program gambar konvensional. Jaringan titik-titik kecil dalam area gambar dapat digunakan untuk membidik posisi regular.

3. *Axes* :

Jika fisik awal ada diantara jarak dimensi yang diberikan, ini ditimbulkan oleh lingkaran kecil dimana x- dan y-axes diindikasikan oleh tanda panah. Indikasi axes dapat dimatikan dalam sub-menu *View*.

4. *Manual Input* :

Jika menggambar dengan mouse tidak memberikan akurasi keinginan/tidak sesuai dengan keinginan, garis Manual Input dapat digunakan. Nilai2 untuk koordinat x- dan y- dapat dimasukkan disini dengan mengetik permintaan bagian nilai dengan sebuah spasi (nilai x- <spasi>nilai y-) Input manual kordinat dapat diberikan untuk semua object, kecuali *Hinges* dan *Rotation fixities*. Memasukkan kordinat absolute, merupakan tambahan pada point sebelumnya yang dapat diberikan dengan mengetik langsung @ di depan nilai ((@nilai x- <spasi>@nilai y). Pada tambahan untuk kordinat input, point geometri yang tetap mungkin bisa dipilih dengan nomor.

5. *Cursor position indicator* :

Indikator posisi kursor memberikan posisi yang baru dari kursor mouse baik dalam unit fisik (koordinat-x,y) dan pada layar pixel.



BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan suatu penelitian yang dilakukan langsung di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.1 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian pelaksanaan penelitian. Pekerjaan persiapan awal meliputi koordinasi untuk pengambilan benda uji di lapangan, pembuatan proposal, dan persiapan pekerjaan laboratorium.

4.2 Pekerjaan Lapangan

Pengambilan sampel tanah di lapangan untuk tanah yang digunakan adalah lumpur PT Lapindo Brantas, Sidoarjo, Jawa Timur.

4.3 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah tanah lumpur PT Lapindo Brantas, Sidoarjo, Jawa Timur. Dan Air yang digunakan adalah air PDAM yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4.4 Peralatan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian berfungsi membantu penyusunan dalam melaksanakan penelitiannya. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semua alat yang berhubungan dengan pengujian sifat-sifat fisik dan alat uji Mekanis tanah yaitu uji Proktor standar, alat uji Tekan Bebas, dan alat uji Triaksial di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

4.5 Jadwal Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan kurang lebih selama satu bulan . Penelitian mulai berjalan dari tanggal 7 Januari s/d 6 Februari 2007. Waktunya antara jam 09.00 WIB – 15.00 WIB, setiap hari kecuali hari minggu dan libur nasional.

4.6 Jalannya Penelitian

Metode pelaksanaan penelitian penting dilakukan, agar dalam pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik dan mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan. Adapun metode pelaksanaan dalam penelitian ini meliputi persiapan, pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium.

4.6.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi :

- 1 Sebagai awal dalam pelaksanaan penelitian ini, maka dilakukan pekerjaan persiapan. Pekerjaan ini meliputi studi pendahuluan, penentuan tempat pengambilan sampel tanah lempung lumpur lapindo.
- 2 Pengajuan proposal kepada dosen pembimbing dan mengurus perijinan untuk kegiatan penelitian.

4.6.2 Tahapan Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan yang dilakukan adalah pengambilan sampel tanah. tidak terganggu (*undisturbed soil*). Sedangkan untuk sampel tanah tak terganggu memerlukan perlakuan khusus yaitu pengambilannya menggunakan tabung berupa silinder berdinding tipis dengan diameter tertentu, yang bertujuan untuk mengetahui kadar air asli dilapangan. Dan diusahakan susunan tanahnya tetap sama, sehingga sifat-sifat asli tanahnya masih tetap utuh. Sedangkan pengambilan sampel lumpur lapindo diambil dari daerah Porong, Sidoarjo, Jawa Timur yang berada tidak jauh dari pusat semburan lumpur yang terjadi.

4.6.3 Tahapan Pekerjaan Laboratorium

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pekerjaan laboratorium adalah pengujian sifat – sifat tanah asli dalam kondisi tidak terganggu/undisturb. Tahap ini berupa pengujian tanah sampel lumpur lapindo yang meliputi pemeriksaan atau pengujian sifat-sifat fisik dan sifat mekanis yang terdiri dari jenis dan macam pengujian serta jumlah sampel yang digunakan :

Pengujian yang dilakukan meliputi : pengujian sifat-sifat mekanis tanah, pengujian Kepadatan tanah Proctor standar, pengujian tekan bebas, uji triaksial di laboratorium.

1. Pengujian jenis dan sifat lumpur Lapindo
 - a. Pengujian analisis saringan (ASTM D 422-72).
 - b. Pengujian analisis Hidrometer (ASTM D 421-72).
2. Pengujian sifat-sifat mekanis lumpur Lapindo

Pengujian sifat-sifat mekanis lumpur Lapindo yang dilakukan meliputi :

- a. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-72)
- b. Pengujian berat jenis tanah (ASTM D 84-72)
- c. Pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg limits*) :
 - Pengujian batas cair (ASTM D 423-66)
 - Pengujian batas plastis (ASTM D 424-74)
 - Pengujian batas susut (ASTM 427-74)
3. Permodelan Benda Uji

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpur/tanah yang berasal dari daerah Porong, Sidoarjo, Jawa Timur .tanah yang digunakan untuk pembuatan benda uji ini adalah lumpur/tanah asli sehingga nantinya dalam pengujian akan dilakukan (Uji tekan bebas, dan Uji TRIaksial) akan digunakan tanah benda uji yang mempunyai nilai γ_d mak dan $W_{optimum}$ yang diperoleh dari uji proktor standar. Kepadatan terbaik dari benda uji diperoleh apabila berat volume kering (γ_d) dan kadar air ($w_{optimum}$) benda uji adalah sama dengan γ_d maksimum dan $w_{optimum}$ tanah yang diperoleh dari Uji pemadatan Proktor standar.

Secara keseluruhan langkah kerja pembuatan sampel benda uji adalah sebagai berikut :

- a. Mengeringkan lumpur yang masih basah.
- b. Menumbuk tanah/lumpur yang sudah kering, kemudian disaring dengan menggunakan saringan No.4 sebanyak tanah yang dianggap cukup.
- c. Mencari kadar air tanah (w asli, %)
- d. Menimbang sejumlah tanah (W_t) gram, sesuai dengan berat tanah yang dibutuhkan untuk dapat memenuhi satu seri pengujian, kemudian ditambahkan air (W_a) cc dan diadik sampai rata (homogen) untuk mendapatkan pemadatan terbaik. Penambahan air dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$W_a = W_t \times \left[\left(\frac{100 + w_{optm}}{100 + w_{asli}} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (4.1)$$

w optimum adalah kadar air tanah yang diperoleh dari pengujian proktor.

- e. Membersihkan cetakan benda uji untuk masing-masing pengujian, olesi dengan pelumas jika perlu agar tanah benda uji tidak lengket pada cetakan.
- f. Menghitung dan menimbang sejumlah tanah yang harus dimasukkan kedalam cetakan untk membuat satu benda uji. Berat tanah tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus dibawah ini :

$$\gamma_b = \gamma_d (1 + w_{optm}) \dots \dots \dots (4.2)$$

$$W = \gamma_b \cdot V \dots \dots \dots (4.3)$$

Dengan :

W = berat tanah untuk satu benda uji (gr)

γ_b = berat volume basah (gr/cm^3)

γ_d = berat volume kering yang diperoleh dari uji proktor (gr/cm^3)

w_{optm} = kadar air optimum (%)

V = volume cetakan (cm^3)

- g. Membuat tanah benda uji dengan memasukkan tanah pada cetakan benda uji. Tanah benda uji adalah tanah berbutir halus, dimana metode pemasangannya adalah dengan arah horizontal/mendatar disetiap satu

satuan benda uji. Pada masing-masing pengujian yang akan dilakukan (Geser langsung dan CBR laboratorium).

- h. Setelah proses pembuatan sampel tanah benda uji selesai, maka dapat dilakukan jalannya pengujian.

4.6.4 Tahapan Pengujian :

- 1. Pengujian analisis Hidrometer (ASTM D 421-72)**

Tujuan percobaan Menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan nomor 10 (sepuluh). Pengujian dilakukan dengan analisa sedimen dengan hidrometer.

- 2. Pengujian Analisis Saringan (ASTM D 422-72)**

Tujuan percobaan Menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200

- 3. Pengujian Berat Jenis (ASTM D 84-72)**

Tujuan percobaan Menentukan berat jenis sampel tanah yaitu perbandingan berat butir tanah dengan berat air destilasi diudara pada volume yang sama dengan temperatur tertentu (26° C).

- 4. Pengujian Batas Cair Tanah (ASTM D 423-66)**

Tujuan percobaan Menentukan batas cair tanah, yaitu kadar air tanah pada keadaan antara cair dan plastis.

- 5. Pengujian Batas Plastis (ASTM D 424-74)**

Tujuan Percobaan Menentukan batas plastis tanah, yaitu kadar air minimum bagi tanah tersebut yang masih dalam keadaan plastis.

6. Pengujian batas susut (ASTM D 427-74)

Tujuan percobaan Menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut.

7. Pengujian Kepadatan Tanah (Proctor Standar) (ASTM D 698-70)

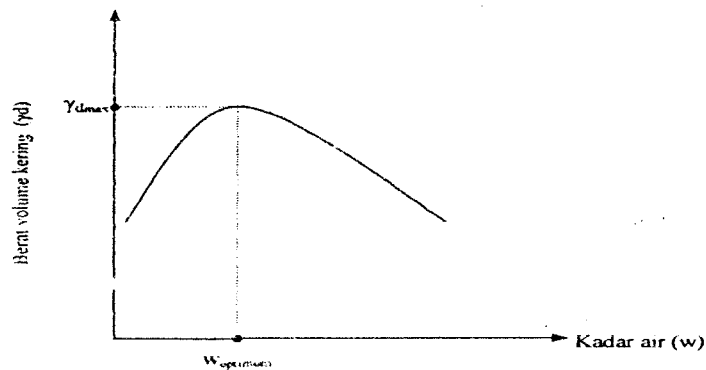
Tujuan percobaan Menentukan hubungan kadar air dengan kepadatan tanah apabila dipadatkan dengan alat pemadat tertentu. as tanah, yaitu :

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat dan permeabilitas
3. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat pengurangan kandungan air maksimum yang dapat mengisi pori-pori.

Derajat kejenuhan tanah dapat diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γ_k) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar airnya (w). Dinyatakan :

$$\gamma_k = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots(4.4)$$

Karakteristik kepadatan tanah dapat dilihat dari pengujian standar Laboratorium. Selanjutnya digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content. OMC*). Kurva nilai kadar air optimum dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik uji pemadatan Proktor

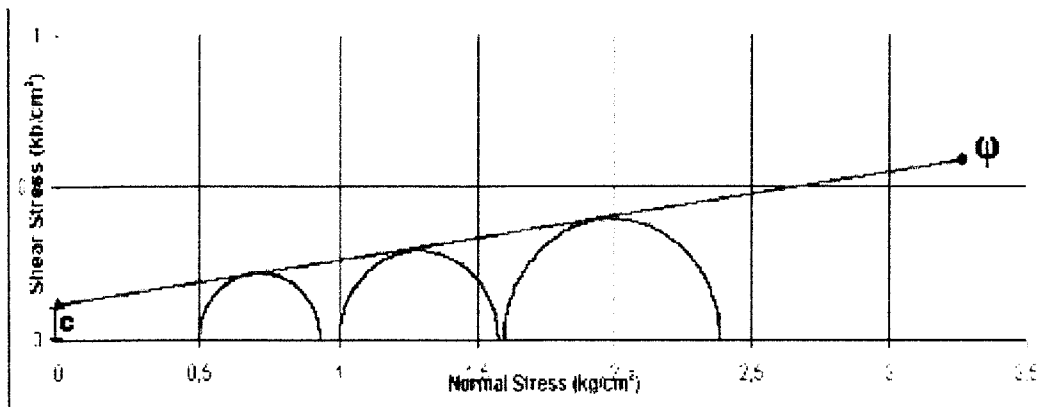
8. Pengujian Tekan Bebas (Unconfined Compression Strength, UCS), (ASTM D 2166-85)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan besarnya sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi tanah (c). Kuat tekan bebas tanah adalah besarnya tekanan aksial (kg/cm^2) yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah hingga 20%, apabila tanah belum pecah, maka dianggap runtuh.

9. Pengujian Triaksial (Unconsolidated Undrained UU), (ASTM D 2850)

Tujuan Pengujian adalah pengujian sampel tanah dengan tiga dimensi tekanan. Pada pengujian ini disamping dapat diketahui tegangan geser (τ) juga diperoleh tegangan normal (σ). Kegunaan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dari suatu sampel tanah.

Dengan cara yang sama dibuat lingkaran Mohr untuk σ_3 , kemudian ditarik garis linier dan menyinggung masing-masing lingkaran tersebut yang merupakan garis keruntuhan. Dari garis tersebut didapatkan nilai kohesi yang merupakan titik potong garis dengan sumbu - Y dan nilai sudut geser dalam.



Gambar 4.2 lingkaran Mohr Uji Triaksial Tipe UU

Dari gambar 4.2 lingkaran Mohr dapat ditentukan besar gaya parameter kuet geser tanah yaitu :

1. ϕ adalah besarnya sudut kemiringan yang dibutuhkan oleh garis keruntuhan.
2. c adalah besarnya nilai kohesi yang didapat dari perhitungan garis keruntuhan ke sumbu y .

Rumus – rumus yang digunakan dalam pengujian Triaksial UU :

1. Regangan aksial tanah

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan :

ΔL = Pemendekan benda uji yang terbaca arloji ukur.

L_0 = Tinggi benda uji mula-mula

2. Luas rata-rata tampang tanah

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)} \text{ cm}^2$$

Keterangan :

A_0 = Luas penampang benda uji.

3. Tegangan deviator

$$(\sigma_3 - \sigma_1) = \frac{P \times K}{A} = \Delta \sigma \text{ kg/cm}^2$$

Keterangan :

P = Beban yang bekerja / beban deviator yang memecahkan sampel

A = Luas penampang

4. Tegangan utama mayor dan minor pada saat pecah

Tegangan utama minor = σ_3 = tegangan sel

Tegangan utama mayor = σ_1 = tagangan normal , $\sigma_1 = \Delta\sigma + \sigma_3$

5. Lingkaran Mohr (setengah lingkaran dengan titik pusat terletak pada absis dengan letak titik pusat lingkaran pada $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ dan jari-jari lingkaran sama dengan $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ pada ordinat.

Tabel 4.1 Jenis pengujian dan jumlah benda uji

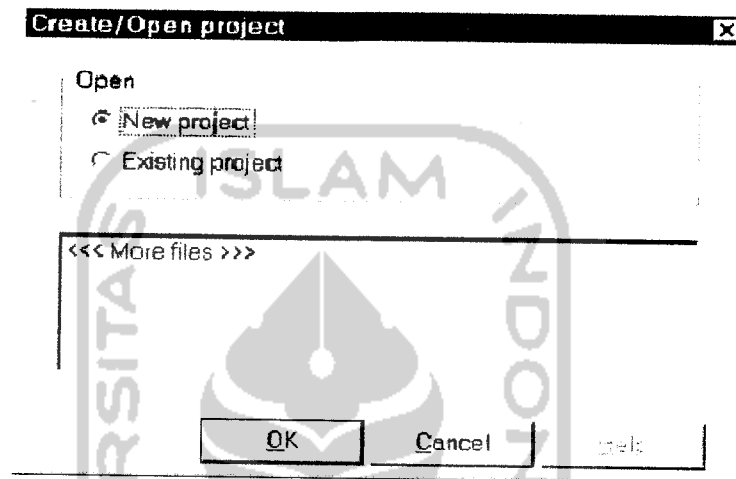
No	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
1	Pengujian jenis dan sifat fisik tanah asli :		
	- Analisa Hidrometer + Analisa Saringan	3	buah
2	Pengujian sifat-sifat mekanis tanah :		
	- Kadar Air (w)	3	buah
	- Berat Jenis (G_s)	5	buah
	Pengujian Batas-Batas Konsistensi (<i>Atterberg Limits</i>)		
	- Batas Cair (<i>LL</i>)	3	buah
	- Batas Plastis (<i>PL</i>)	3	buah
	- Batas Susut (<i>SL</i>)	3	buah
3	Pengujian Pematatan Tanah		
	- Uji Proctor Standar	3	buah
4	Pengujian Tekan Bebas		
	* Tanah asli	3	buah
	* Tanah asli w optm	3	buah
5	Pengujian Triaksial		
	* Tanah asli	3	buah

4.7 Software Plaxis

A. Prosedur Penggunaan Plaxis

1. Memulai pekerjaan baru

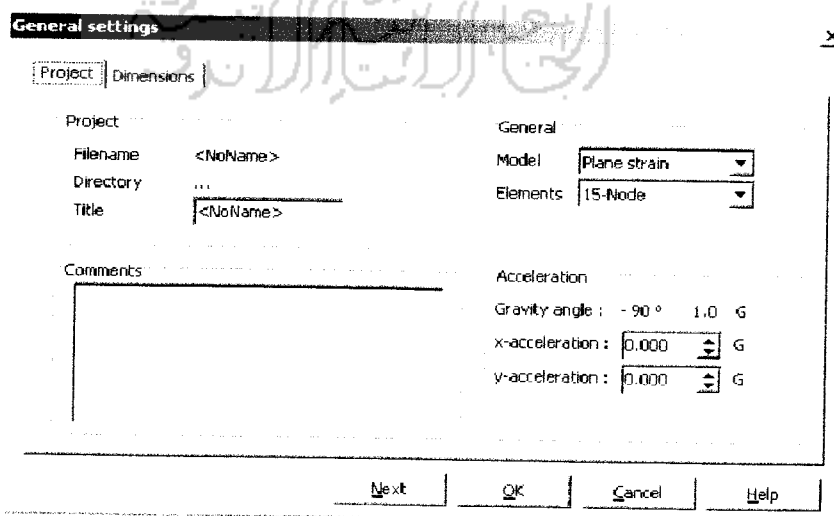
Setelah klik star menu dan masuk pada program plaxis input, kemudian klik *new project* dan klik ok. Akan nampak gambar dibawah ini.



Gambar 4.3 Dialog box create atau open project

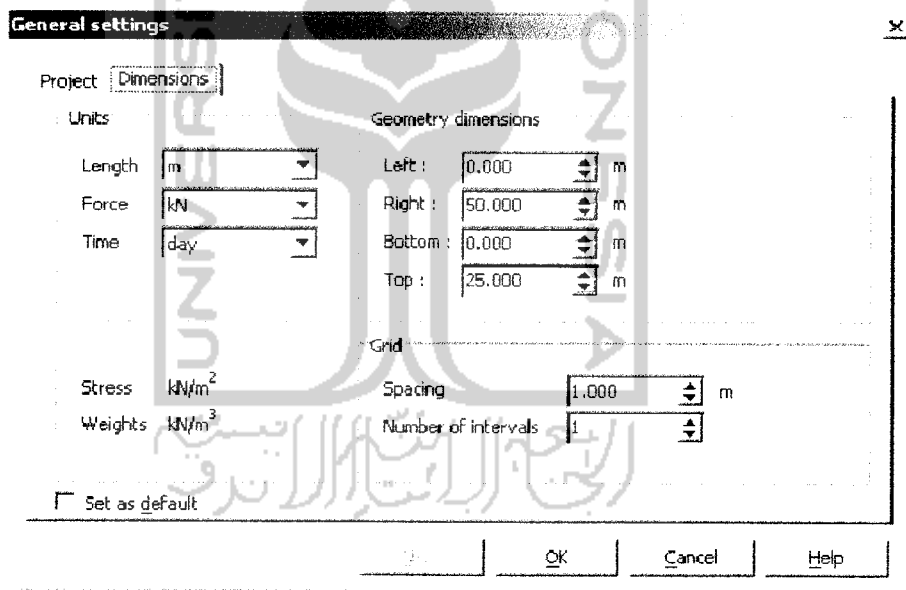
2. Pengaturan umum.

Pada dua pilihan diatas dipilih new project kemudian nampak umum terhadap objek yang akan kita definisikan. *Tabsheet* general ada dua yaitu *project* dan *dimension*.



Gambar 4.4 General setting combo box project

Pengisian judul dan komentar hanya bersifat mengingatkan agar lebih mudah dalam dokumentasi, dan tidak mengikat. Pada combo box model dipilih *plane strain* yang artinya objek ditinjau tegak lurus sebesar satu satuan dengan kata lain panjang kearah sumbu z diabaikan karena struktur mempunyai dimensi panjang lebih besar dengan dimensi lintang sumbu x dan y juga gaya yang bekerja lebih mengarah pada bidang lintangnya. Elemen digunakan 15 nodes pada setiap titik elemen tinjauan semakin banyak hasilnya akan lebih akurat. kotak *acceleration* menunjukkan percepatan gravitasi pada arah normal tanpa ada gaya atau percepatan pada arah horizontalnya seperti gaya gempa, maka kotak tersebut cukup dibiarkan pada *defoultnya* (arah percepatan gravitasi -90° , dikalikan 1,0 g).



Gambar 4.5 Tab sheet dimension

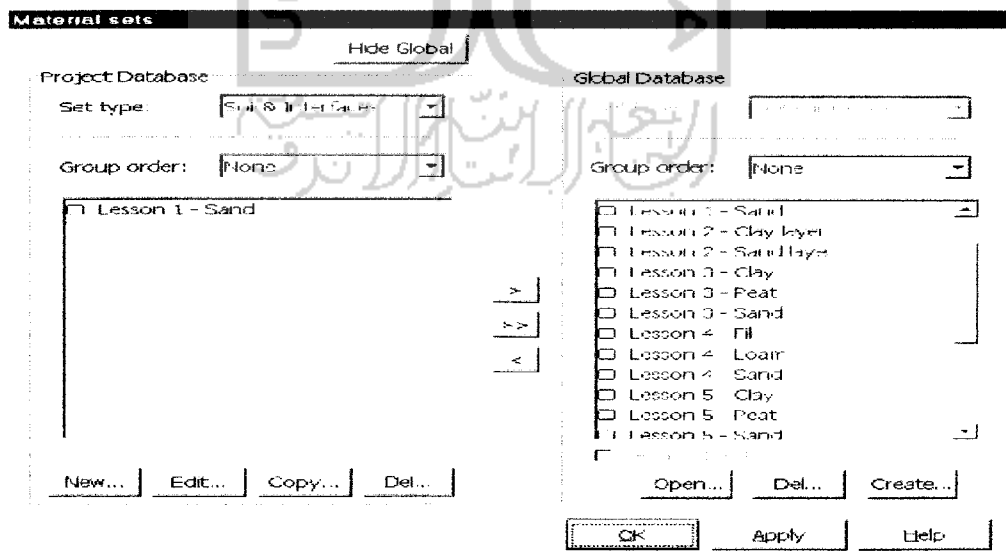
Langkah selanjutnya masuk *tabsheet dimension* atau bagian penentuan dimensi pada tanah, untuk mendefinisikan satuan, bidang kerja yang digunakan dan spasi grid pada lembar kerja. Klik OK kemudian masuk ke Plaxis input dengan limit bidang kerja seperti yang telah ditentukan sebelumnya.

3. Ukuran kontur tanah

Memulai penggambaran dengan memilih ukuran garis, model yang diinginkan dapat digambar mulai dari titik 0. dengan menggambarkan model tanah sampai kedalaman yang diinginkan. Setelah model didefinisikan klik standar *stiffness* dengan maksud memberikan kekakuan standar diberikan terhadap struktur tanah pondasi sehingga tidak diperkenankan ke arah manapun kecuali ke arah vertikal. Untuk kondisi lain dapat diinput perletakan dengan memakai menu *load*.

4. Menginput data material tanah.

Material tanah dimasukkan setelah geometri struktur siap, pada setiap lapisan tanah diwakili atau dibatasi oleh garis. Data properti tanah dilapangan yang telah siap segera diolah dengan memasukkan kedalam material set. Untuk menginput properti material klik *tool bar* material set. Pada set tipe dipilih jenis material yang akan diinput. Langkah pertama dipilih *soil* dan *interface* untuk properti tanah. Klik *new* lalu masukkan semua properti tanah pada tampilan seperti terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Tab sheet material set dengan standar material tanah versi plaxis

Setelah klik *new material*, dan tanah siap dimasukkan. Tahapan memasukkan data material tanah meliputi *tab sheet general*, *tab sheet parameter* dan *tab sheet interface*. Pada *tab sheet general* terdiri atas empat *combo box* yaitu *material set*, *general properties*, *permeability* dan *comments*.

Gambar 4.7 *Tab sheet general*

Combo box material set, identifikasi pengaturan diisikan nama material atau yang lain untuk mempermudah mengenali material tanah yang terpasang pada struktur, material model terdiri atas *linier elastic*, *mohr coulomb*, *soft soil model*, *hardening soil model* dan *soft soil creep model*. pada struktur ini dipilih model keruntuhan mohr-coulomb yang menganggap adanya beberapa asumsi pada analisa tekanan tanah, karena tanah adalah bahan *isotropis* dan *homogen*, yang mempunyai sudut gesek dan kohesi.

Pada material type dapat diisikan *drained* (tanah mampu mengalirkan air dengan koefisien permeabilitas tertentu), *undrained* berkebalikan dengan *drained*, dan *non-porous* adalah tidak mampu meresapkan air. Properti umum mengakomodir berat tanah saat basah dan saat kering, permeabilitas memberikan nilai permeabilitas pada arah sumbu x dan y sedangkan pada *tab sheet comments* tidak harus diberikan isian.

Memasukkan data pada tab sheet parameter terdiri atas tiga *combo box*, *stiffness*, *strength* dan *alternative*. Pada tab sheet interfaces terdiri dari tiga *combo box* yaitu *strength*, *permeability* dan *real interfaces thickness*.

Mohr-Coulomb - Sand

General Parameters | Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 3.00E+04 kN/m²

ν (nu): 0.300

Strength

C_{ref} : 1.00 kN/m²

ϕ (phi): 31.000 °

ψ (psi): 0.000 °

Alternatives

G_{ref} : 5000.000 kN/m²

E_{sand} : 1.750E+04 kN/m²

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Gambar 4.8 Tab sheet parameter

Pada tabsheet parameter *combo box alternatives* dan *stiffness* saling mengisi secara otomatis dengan hubungan $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$ (modulus geser tanah)

Mohr-Coulomb - Lesson 1 - Sand

General | Parameters | Interfaces

Strength

Rigid

Manual

R_{inter} : []

Real interface thickness

δ -inter: [] m

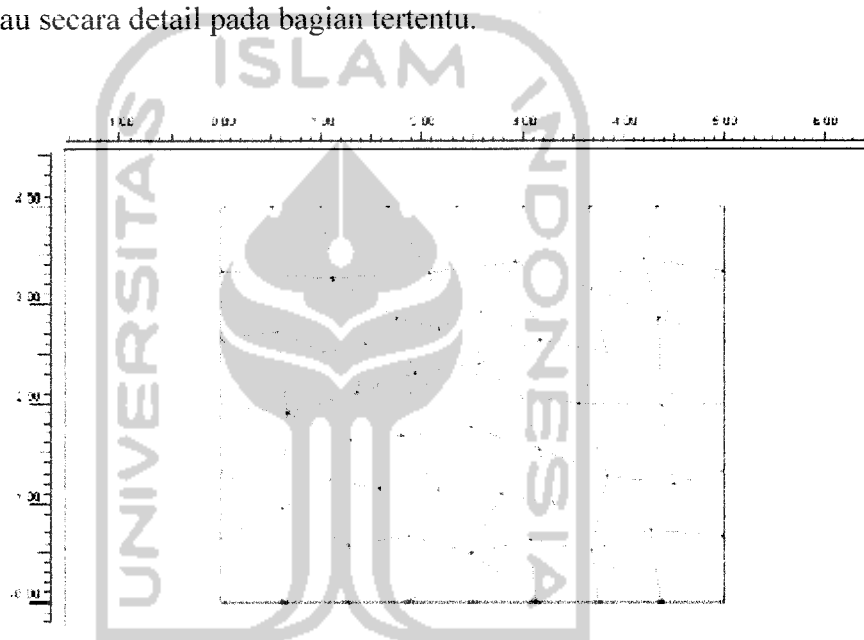
Ok Cancel Help

Gambar 4.9 Tab sheet Interface

Setelah diklik OK, selanjutnya dapat menginput ketahap berikutnya atau tanah berikutnya dengan metode yang sama.

5. Meshing

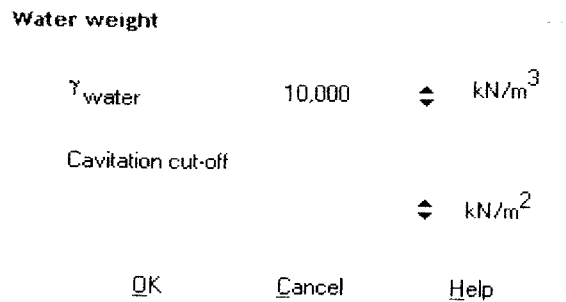
Struktur bangunan yang akan dianalisa perlu dilakukan *meshing* (pembagaaian menjadi elemen-elemen kecil sebagaimana prinsip elemen hingga dalam menganalisa dan untuk pendekatan seperti bentuk aslinya). Pada plaxis meshing dapat dilakukan secara otomatis dengan melakukan *refine* baik secara global atau secara detail pada bagian tertentu.



Gambar 4.10 Hasil *meshing*

6. Kondisi awal

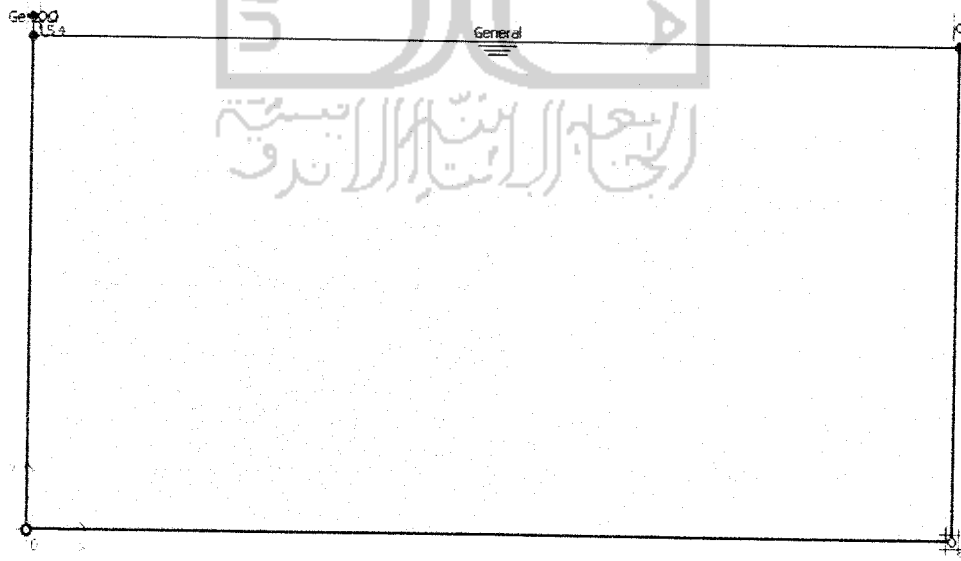
Initial conditions Asumsi awal terhadap kondisi suatu struktur bangunan digambarkan dengan kondisi awal atau initial condition. Hal ini dilakukan setelah meshing terhadap bangunan dengan melakukan klik pada *tool bar initial condition* maka akan muncul tampilan seperti berikut.




Gambar 4.11 Berat jenis air disetting

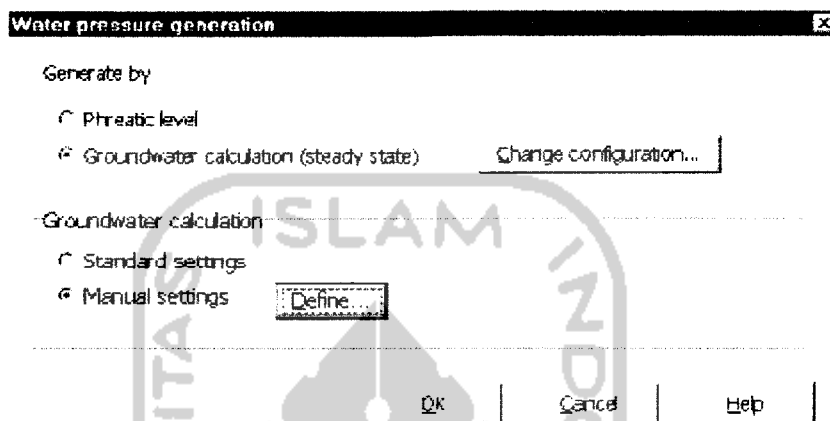
Digunakan untuk menggambarkan tekanan hidrostatik dari air dimana digambarkan dengan muka air tanah, input muka air tanah pada pondasi yang terletak diatas tanah.

●● Dua tombol berwarna hijau tersebut disebut *initial stress* (tekanan awal) dan *geometry configuration* (ukuran konfigurasi), dibagian sebelah kiri untuk mengaktifkan general water pressure (tekanan umum air). Sebelum dilakukan generalisasi kondisi awal perlu didefinisikan terlebih dahulu, yaitu saat mula-mula sebelum dilakukan tahapan pengerjaan struktur, dengan cara mengklik objek yang dimaksud.

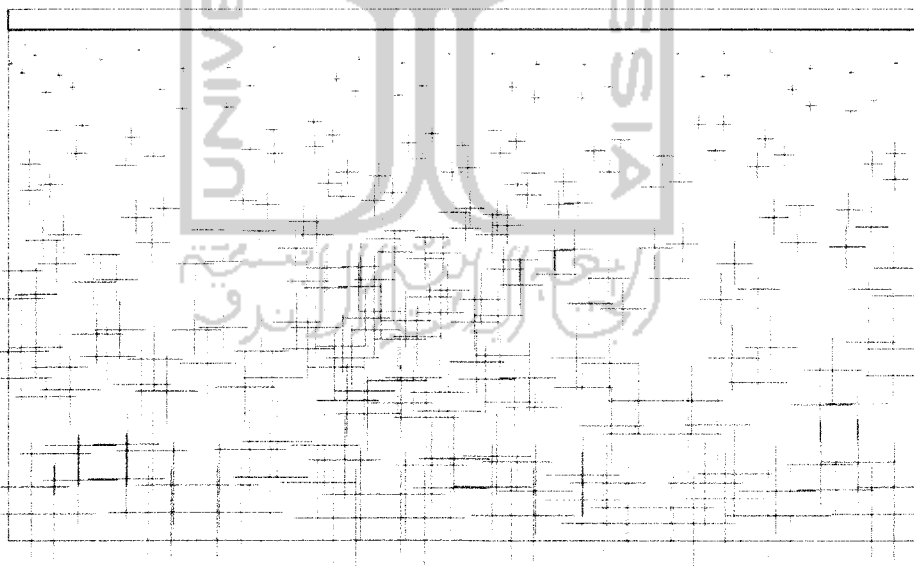


Gambar 4.12 Kondisi semula muka air tanah

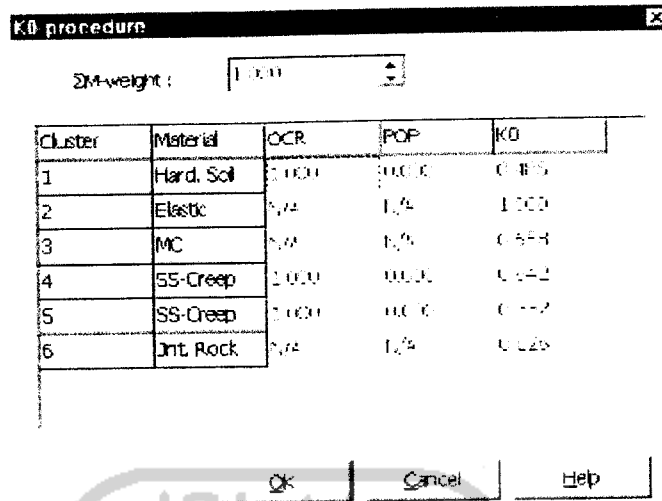

 Selanjutnya menghasilkan *water pore pressure* atau menghasilkan tekanan air pori saat kondisi awal, dengan mengklik tombol *generate water pressure* maka akan muncul tampilan seperti berikut.



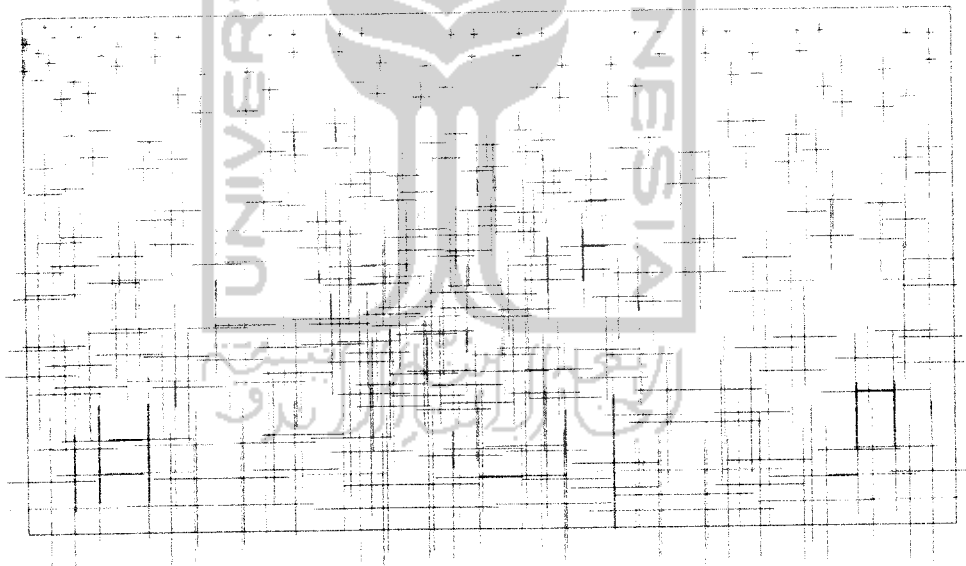
Gambar 4.13 *Water pressure generation*



Gambar 4.14 Hasil tekanan pori

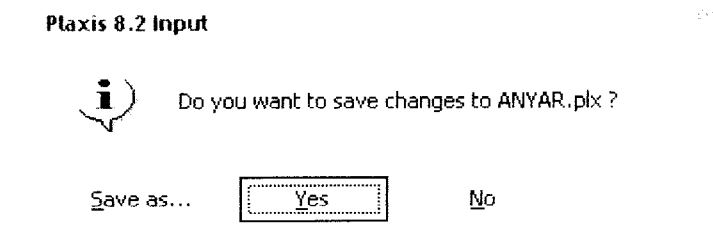


Gambar 4.15 *Ko-prosedure* untuk mengetahui kondisi awal tegangan tanah



Gambar 4.16 Hasil nilai tekanan awal pada pori tanah

Tampilan *generate diupdate* dan masuk ke tahap kalkulasi. sebelum masuk terlebih dahulu file input disimpan pada direktori yang kita inginkan.



Gambar 4.17 Option penyimpanan file

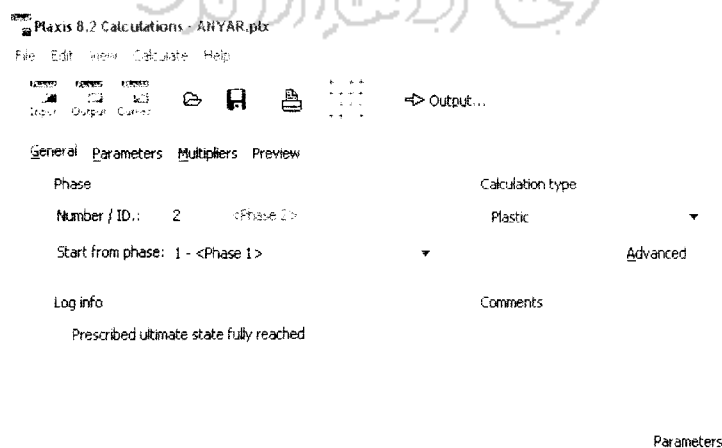
B. Prosedur Penggunaan plaxis kalkulasi



Setelah semua proses program selesai dilakukan segera masuk ke kalkulasi program dengan mengklik tombol *calculate*. Jika pekerjaan tidak langsung diproses, file dapat dibuka lain kali waktu dengan menggunakan start menu untuk plaxis *calculation*.

1. Tab sheet umum

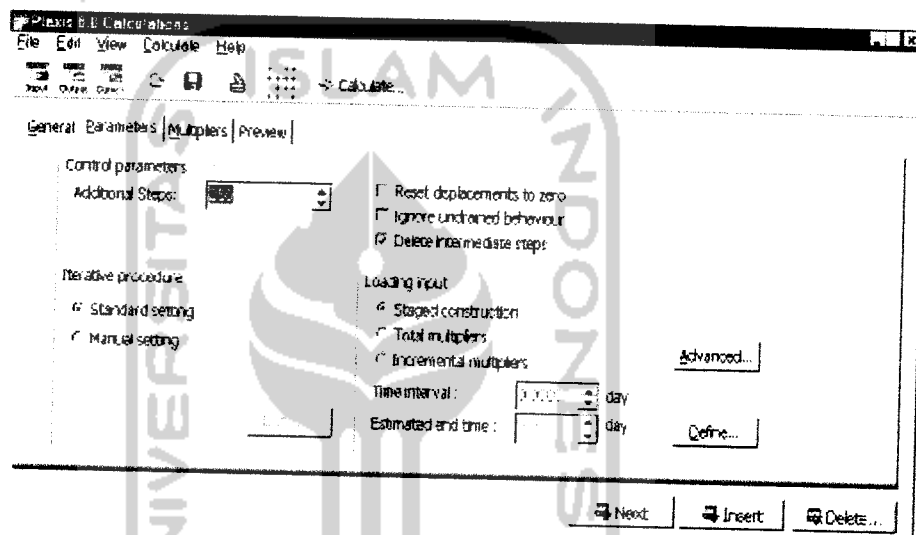
Pada tipe kalkulasi dipilih *plastic* dan *load, ultimate level*. Sedangkan combo box lainnya tetap. Nama fase pada kotak phase dapat dirubah dengan nama lain. Setelah proses ini lalu masuk ke tab sheet parameter.



Gambar 4.18 Tab sheet umum

2. Tab Sheet Parameter

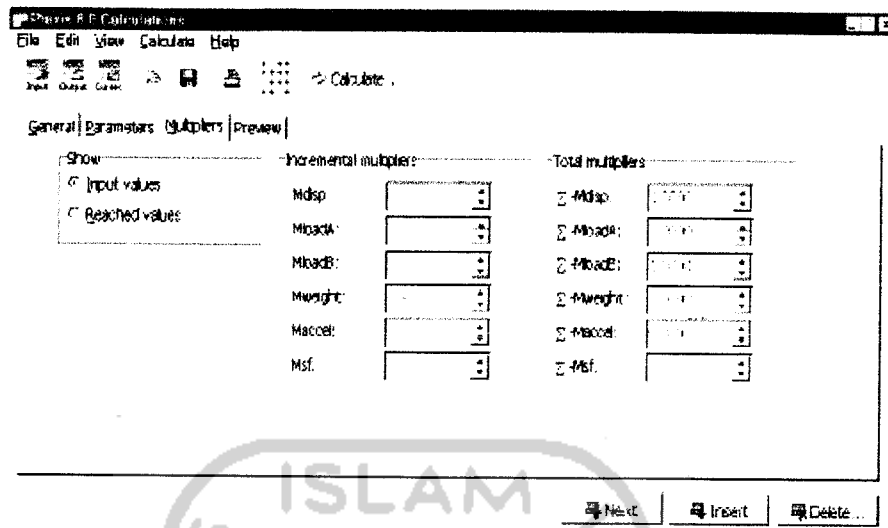
Semua combo box dibiarkan pada pengaturan normalnya, kecuali pada *loading input* dipilih *stage construction*, karena pada peninjauan ini dilakukan penggalian diatas tanah tanah dasar. Jika tinjauan bukan *stage construction* (karena adanya pembebanan baik akibat penggalian maupun penimbunan) maka harus dibuka dahulu tab sheet *multiplier* untuk memasukkan beban yang direncanakan.



Gambar 4.19 Tab sheet parameter

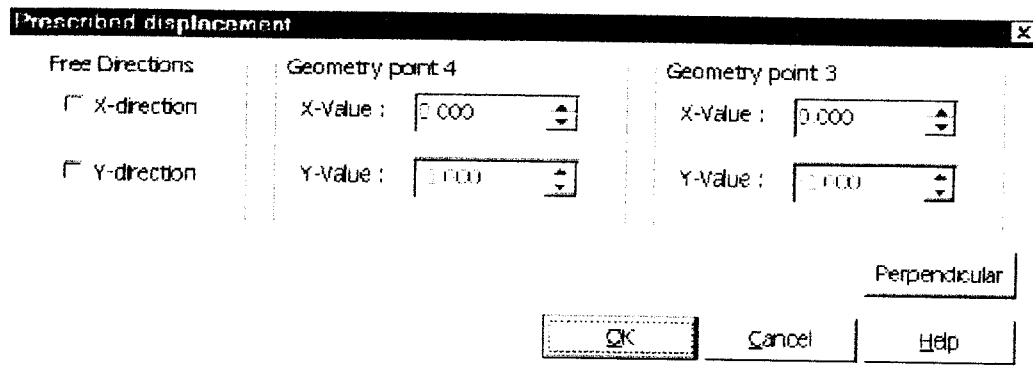
3. Tab Sheet *Multiplier*

Apabila ada tambahan beban dari luar yang bekerja pada sebuah struktur geoteknik yang bersifat spontan atau tidak bertahap maka bisa direncanakan dengan mengisi tab sheet *multiplier*.



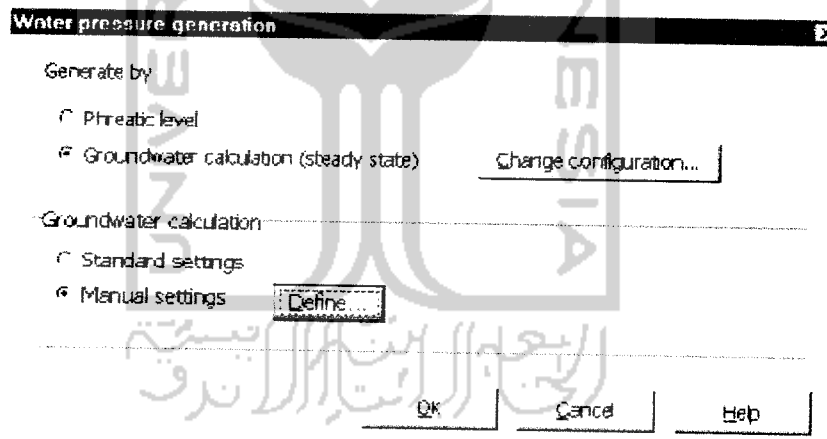
Gambar 4.20 Tab sheet *multiplier*

Untuk berpindah dari tahap sebelumnya ke tahap berikutnya cukup dengan klik tombol next. Mendefinisikan tahap konsolidasi dapat dilakukan sebagai berikut, pertama setelah masuk kedalam box calculation tipe pilih *consolidation* dan *automatic time stepping*. Pada tab sheet parameter combo box *loading* input pilih *ultimate time interval* yang artinya lama waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi, sedangkan pada tab sheet multiplier dibiarkan pada *defaultnya*. Untuk membuat muka air pada analisa kali ini adalah tahapan *plaxis calculation* sebagai berikut : tab sheet dipilih tipe *plastic* dan *load adv. Ultimate Level*, pada tab sheet parameter dipilih loading input *stage construction* dan kemudian *define* kondisi muka air tanah tersebut. Setelah klik *define* klik tombol hijau untuk kembali menggambarkan muka air (*generate water pressure*). Titik-titik muka air digambarkan dengan terlebih dahulu klik tombol *pheratik line*, input bias dilakukan secara grafis maupun dengan memasukkan angka secara numerik. Disetiap titik dibawah muka air didefinisikan ketinggian muka air dan besarnya tegangan pori dengan mengklik dua kali titik yang bersangkutan sehingga akan muncul, dapat dilihat pada gambar 4.21 sebagai berikut.



Gambar 4.21 Memasukkan ukuran kedalaman pondasi

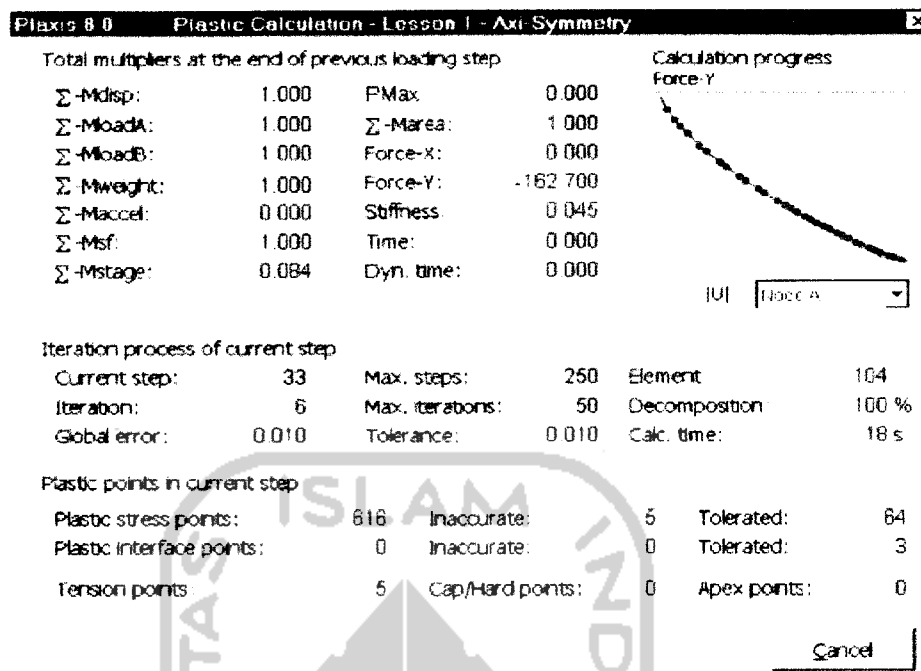
Selesai memasukkan nilai tinggi muka air dan tegangan pori, selanjutnya klik tombol *generate water pressure* dan dipilih *ground water calculation* dengan cara tersebut memberikan nilai yang lebih akurat dibandingkan phreatik line. Klik OK maka hitungan dilakukan.



Gambar 4.22 Perhitungan kedalaman air

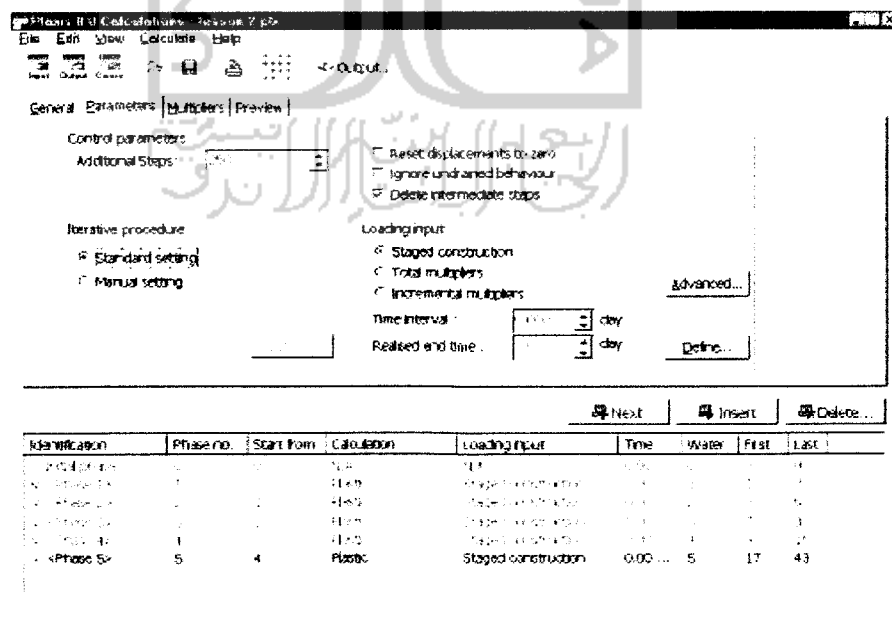
Setelah di hasilkan kemudian klik update untuk kembali ke menu calculation.

Sebelum menjalankan kalkulasi terlebih dahulu tentukan titik yang akan dievaluasi dengan *tool bar* pilih poin untuk kurva.



Gambar 4.23 Program perhitungan Plaxis yang dijalankan

Setelah selesai setiap tahap yang sukses dieksekusi maka akan diberi tanda ceklist hal ini menunjukkan bahwa proses berlangsung dengan baik atau kriteria aman terpenuhi.



Gambar 4.24 Tampilan ceklist setelah menjalankan program



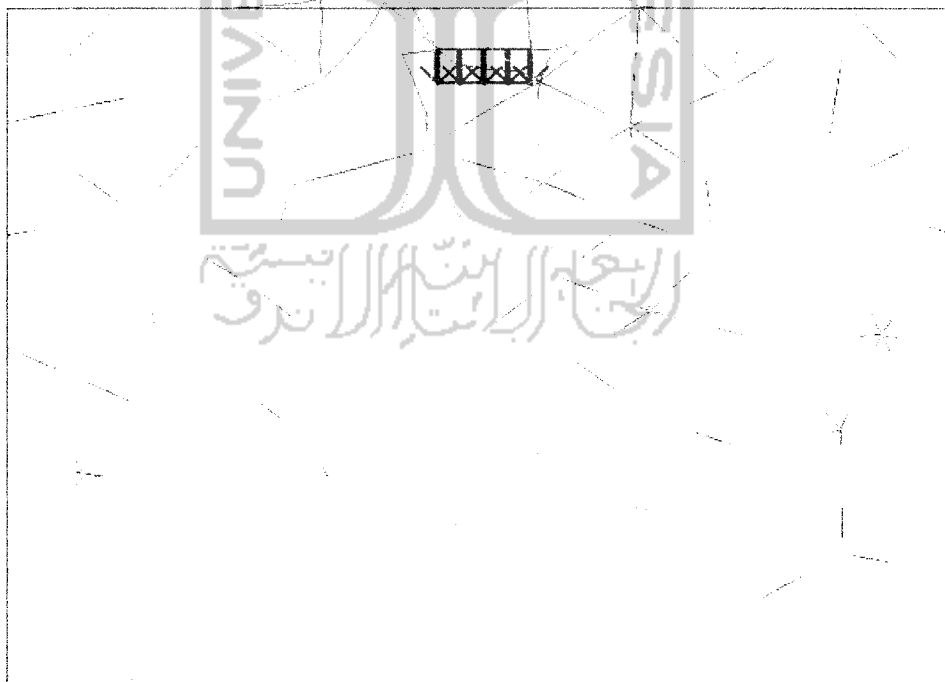
Hasil perhitungan plaxis calculation dapat dilihat pada plaxis output dengan mengklik *tool bar output*.

C. Prosedur Penggunaan Plaxis Output.

Yang dihasilkan Plaxis akan menampilkan beberapa hasil dari *running plaxis calculation* yang berupa *deformation* (perubahan) dan *stress* (tekanan) berbagai macam pilihan. Cara untuk mengetahui hasil tersebut dengan mengklik menu yang telah disediakan dalam menu bar. Dalam pembahasan kali ini akan ditampilkan beberapa *output* :

1. *Deformation mesh*

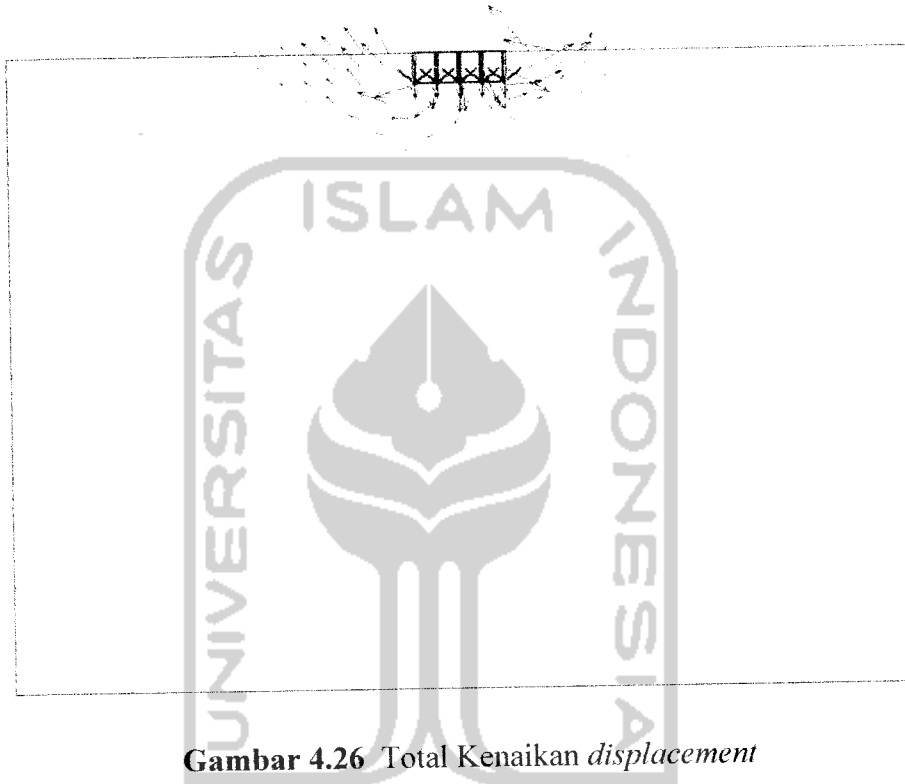
Adalah menampilkan *meshing* suatu bangunan yang telah dideformasi akibat gaya-gaya eksternal maupun internal.



Gambar 4.25 Perubahan Tanah dibawah akhir tahap pembangunan

2. Total Kenaikan *displacement*

Menunjukkan besarnya perpindahan yang sesungguhnya terjadi, berikutnya ini akan ditampilkan besarnya perubahan yang terjadi selama masa pembangunan.

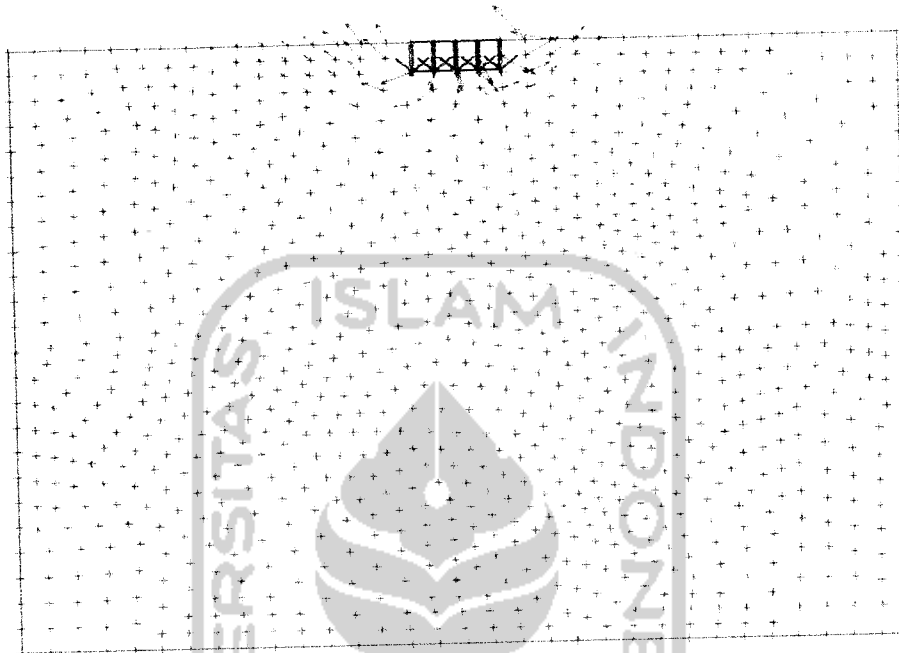


Gambar 4.26 Total Kenaikan *displacement*

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

3. Total Displacement

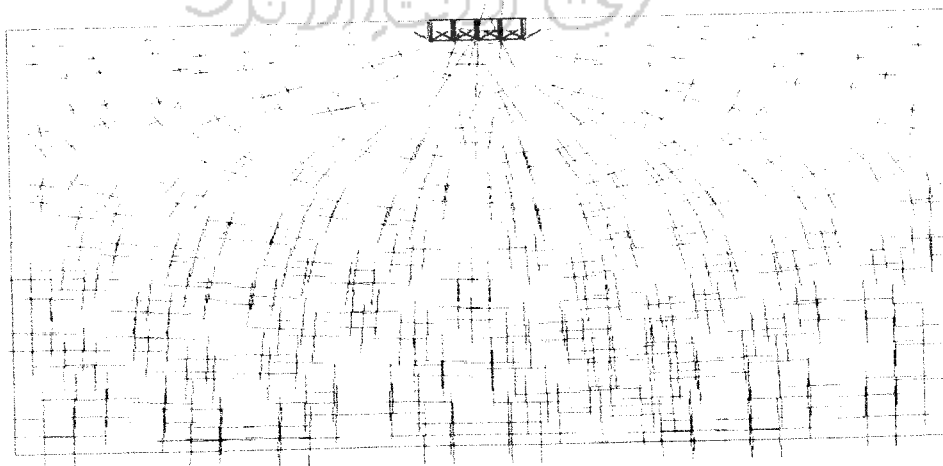
Menggambarkan besarnya perpindahan pada struktur yang paling besar bisa terjadi.



Gambar 4.27 Total Displacement

4. Total tegangan

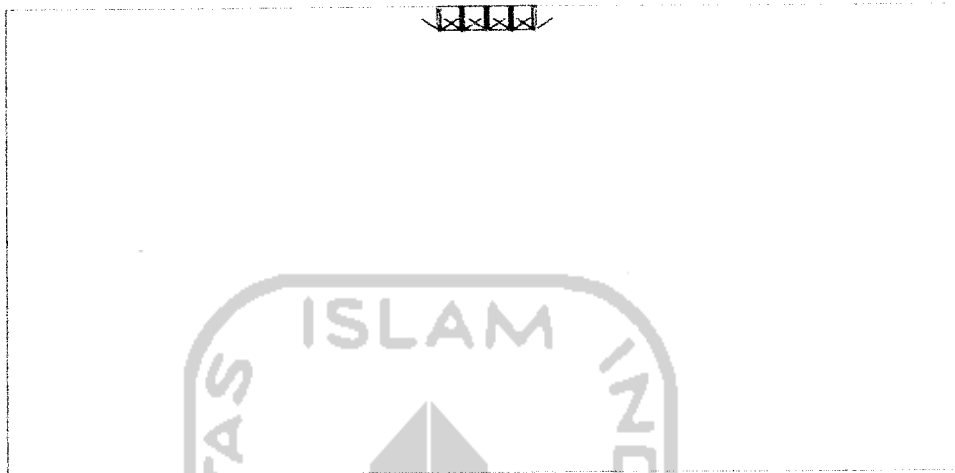
Adalah tegangan yang terjadi pada tanah akibat beban yang bekerja di atasnya.



Gambar 4.28 Total Tegangan

5. Tekanan pori aktif

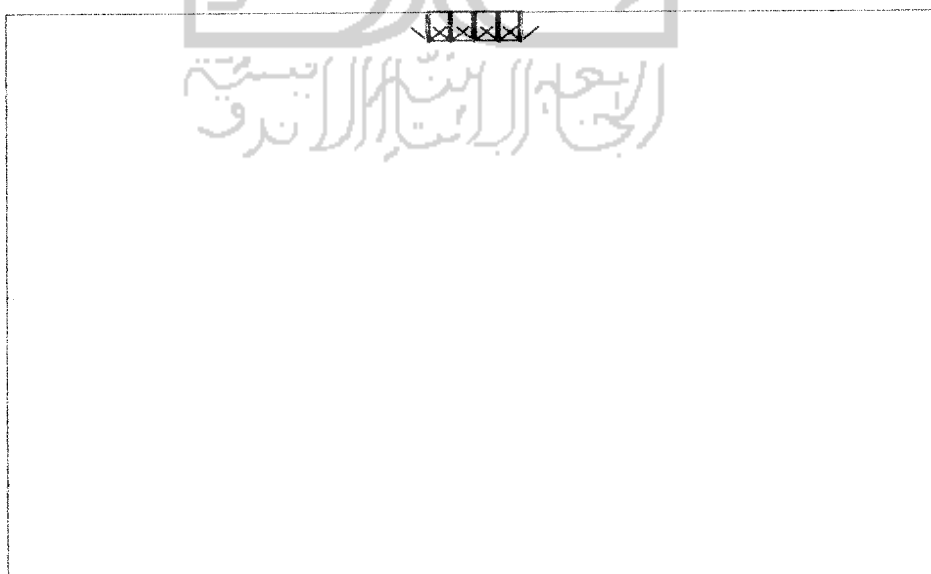
Adalah tekanan pori aktif yang diakibatkan oleh air dipermukaan atau didalam tanah.



Gambar 4.29 Tekanan pori aktif

6. Tekanan tambahan pada pori-pori tanah

Adalah tekanan tambahan pada pori-pori tanah yang diakibatkan adanya air tanah yang masuk kedalam pori-pori tanah, hal ini terjadi pada tanah yang mempunyai sifat permeabilitas rendah seperti pada tanah lempung.

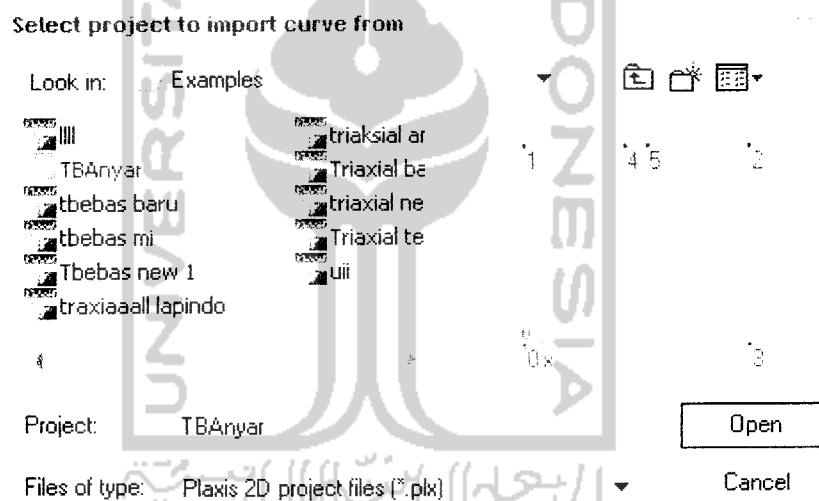


Gambar 4.30 Tekanan tambahan pada pori-pori tanah

D. Prosedur Menggunakan Kurva Plaxis



Hasil hitungan berbagai parameter pada suatu bangunan dapat saling dikaitkan dan diwujudkan dalam bentuk grafis, misalnya hubungan antara waktu dan excess pore pressure seperti pada gambar berikut ini. Dengan cara klik tool bar *curve* kemudian akan muncul pilihan membuat kurva baru atau kurva yang telah ada. setelah dipilih salah satu selanjutnya pilih file yang akan dibuat, lalu klik open. Berikutnya dari berbagai pilihan kombinasi kurva maka dapat dipilih relation anantara satu dengan yang lainnya dari sebuah objek.



Gambar 4.31 Memilih file

Curve Generation

X-Axis

- Displacement

Y-Axis

Displacement

Multiplier

- Multiplier

Force

Force

Stress

Strain

Step

Step

Point: A (9,91 / 12,66)

Type: |U|

Type: Sum-Mdisp

Invert sign

Invert sign

OK

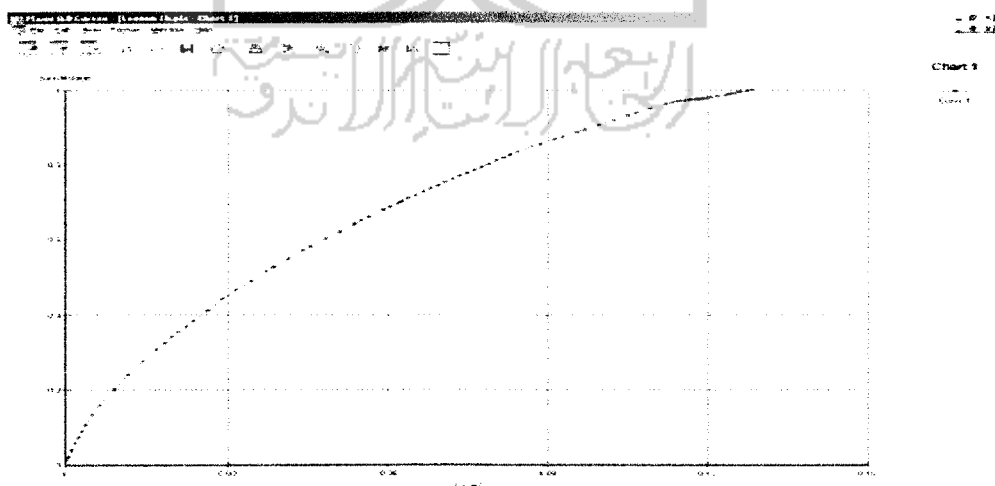
Cancel

Apply

Help

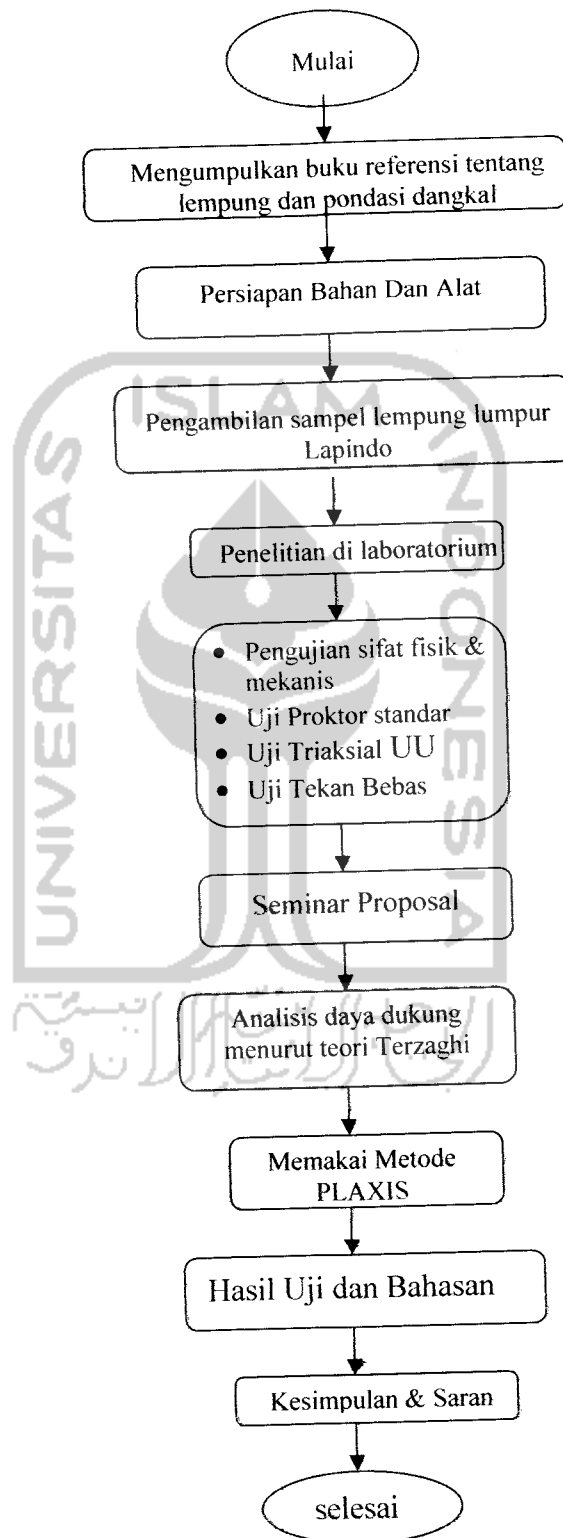
Gambar 4.32 Pilihan hubungan antar berbagai parameter

setelah ditentukan hubungan kurva yang dipilih kemudian klik OK, dari disini kemudian dapat diketahui gambar kurva dalam bidang kartesius x dan y.



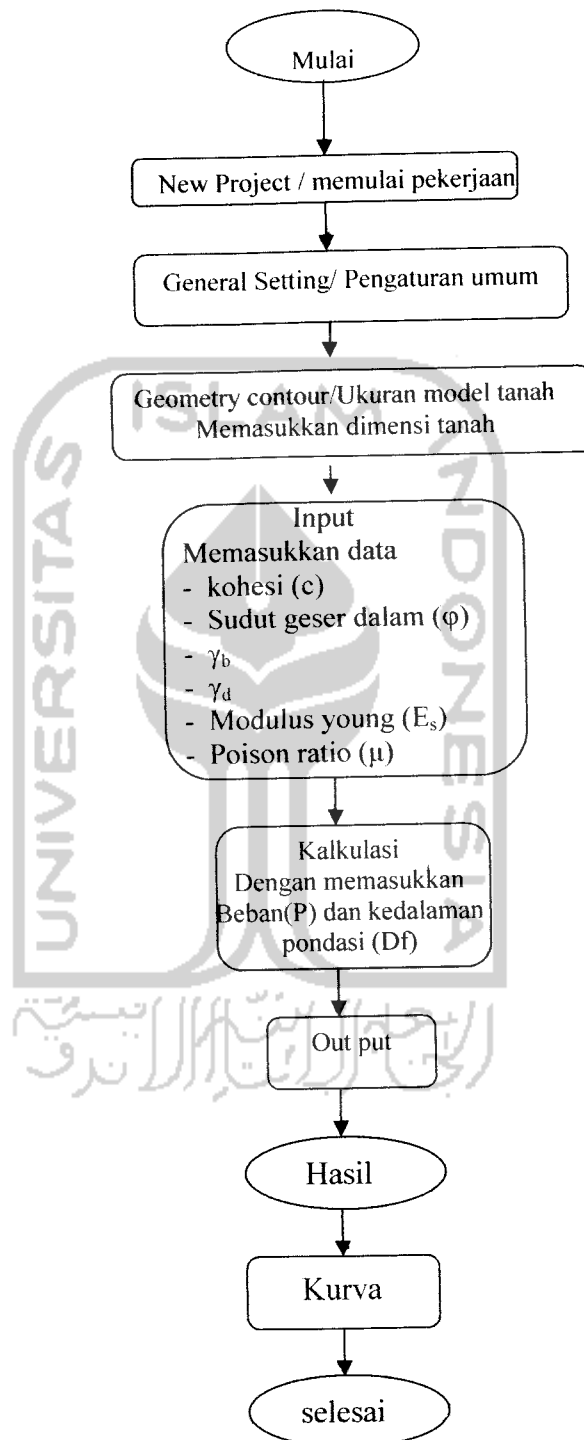
Gambar 4.33 Grafik hasil hubungan antar parameter

4.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.34 Diagram Alir Penelitian

4.9 Diagram Alir Program Plaxis



Gambar 4.35 Diagram Alir Program Plaxis

BAB V HASIL PENELITIAN

5.1 UMUM

Pada bab ini akan di uraikan hasil yang berupa grafik maupun tabel dari hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium dimana lumpur lapindo adalah bahan yang telah dipilih oleh penyusun sebagai perkuatan pada tanah berbutir halus. Pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, memperoleh hasil yang meliputi sifat-sifat fisis dan sifat mekanis tanah. Dari pengujian parameter geser tanah didapat nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

Dari hasil penelitian secara umum meliputi pengujian yang dilakukan Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia, dan dianalisis dengan menggunakan program PLAXIS. Selain itu juga akan dibahas analisis kapasitas dukung dengan menggunakan teori Terzaghi.

5.2 Klasifikasi Tanah

Untuk mengetahui persentase agregat yang terkandung pada sampel lumpur Lapindo dari Porong, Sidoarjo, Jawa Timur. Pengujian awal yang dilakukan adalah analisis hidrometer dan distribusi butiran yang bertujuan untuk mengetahui klasifikasi tanah. Maka dilakukan uji analisis hidrometer dan Analisa distribusi butiran yang terbagi menjadi 3 sampel. Adapun grafik hasil uji dari ketiga sampel tersebut dapat kita lihat pada gambar berikut ini.

Rumus pada tabel Hidrometer :

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \dots\dots\dots(5.1)$$

Jika digunakan hidrometer 152 H

$$P = \frac{R \times a}{W} \times 100 \dots\dots\dots(5.2)$$

$$L = Hl + 0,5 \left(h - \frac{Vh}{A} \right) \dots\dots\dots(5.3)$$

$$Rc = R1 - R2 + Cr \dots\dots\dots(5.4)$$

$$P = K_2 + R \dots\dots\dots(5.5)$$

$$R' = R1 + m \dots\dots\dots(5.6)$$

Keterangan :

D = Ukuran butiran terbesar (mm)

K = Konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur (t° C suspensi dan berat jenis butir tanah (GS)

L = Kedalaman efektif

R2= Skala hidrometer

Cr= Temperatur correction factors

P = Persentase berat

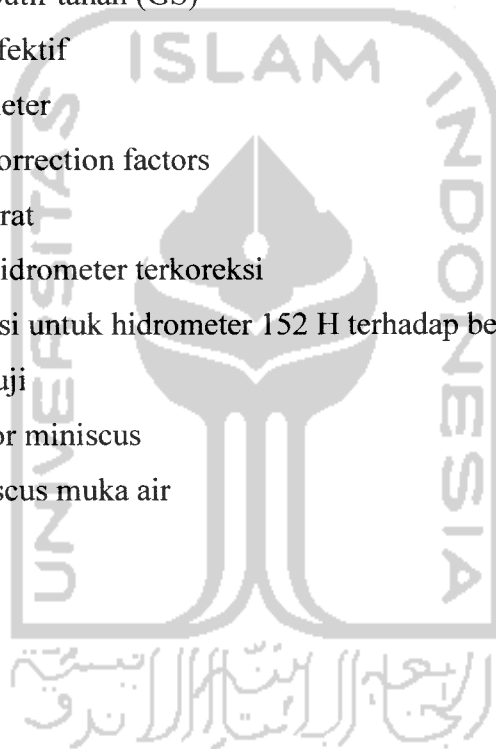
R = Pembacaan hidrometer terkoreksi

A = Angka koreksi untuk hidrometer 152 H terhadap berat jenis butir

W = Berat benda uji

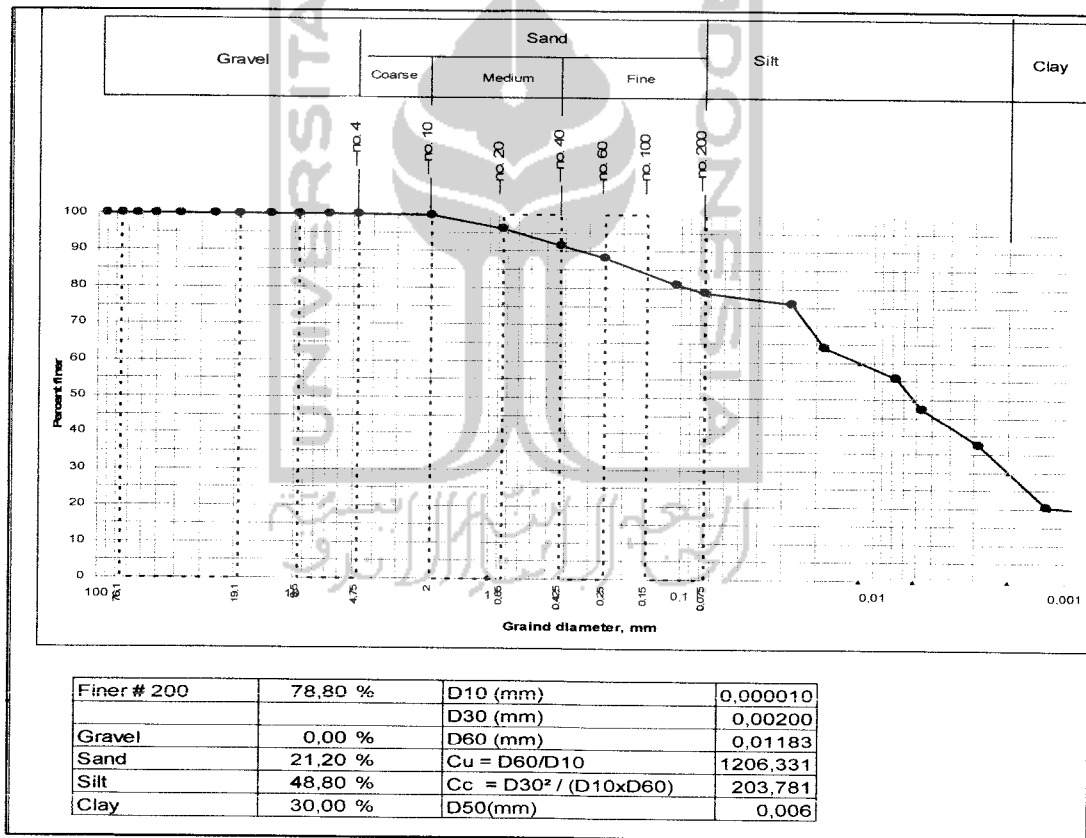
m = Correction for meniscus

R1= Puncak meniscus muka air



Tabel 5.1 Hasil Uji Hidrometer I

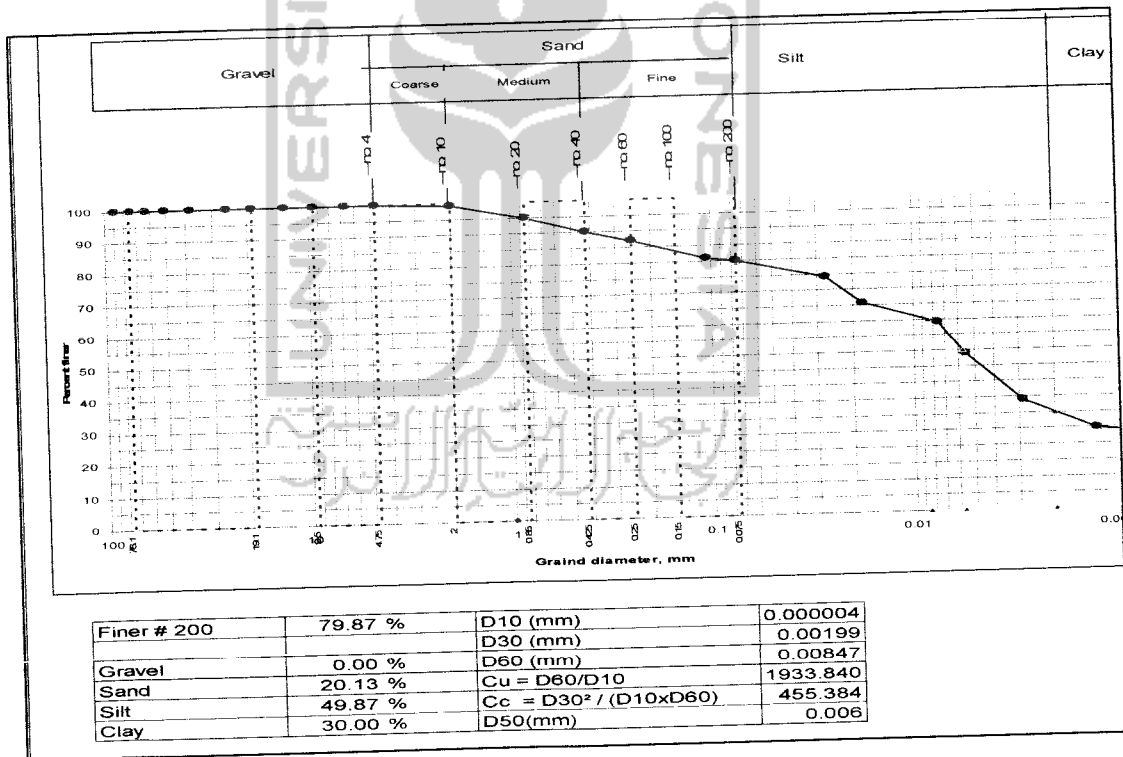
Time	elapsed time min. T	R1	R2	t	R' R1 + m	L	K	D (mm)	Rc= R1-R2+Cr	P K2 x R (%)
10.40										
10.42	2	42	-2,0	27	43	9,254	0,0125	0,026941	45,3	75,85
10.45	5	35	-2,0	27	36	10,401	0,0125	0,018063	38,3	64,13
10.70	30	30	-2,0	27	31	11,219	0,0125	0,007659	33,3	55,76
11.40	60	25	-2,0	27	26	12,038	0,0125	0,00561	28,3	47,39
14.50	250	19	-2,0	27	20	13,020	0,0125	0,002858	22,3	37,34
10.40	1440	9	-2,0	27	10	14,658	0,0125	0,001264	12,3	20,59



Gambar 5.1. Grafik Analisis Distribusi Butiran I

Tabel 5.2 Hasil Uji Hidrometer II

Time	elapsed time min. T	R1	R2	t	R' R1 + m	L	K	D (mm)	Rc= R1-R2+Cr	P K2 x R (%)
10,40										
10,42	2	41	-2,0	27	42	9,418	0,0125	0,027178	44,3	74,18
10,45	5	36	-2,0	27	37	10,237	0,0125	0,017921	39,3	65,80
10,70	30	32	-2,0	27	33	10,892	0,0125	0,007546	35,3	59,11
11,40	60	26	-2,0	27	27	11,874	0,0125	0,005572	29,3	49,06
14,50	250	17	-2,0	27	18	13,348	0,0125	0,002894	20,3	33,99
10,40	1440	11,6	-2,0	27	12,6	14,232	0,0125	0,001245	14,9	24,95



Gambar 5.2 Grafik Analisis Distribusi Butiran II

Dari hasil uji Hidrometer dan Analisa distribusi butiran kedua sampel diatas maka akan didapatkan prosentase nilai rata-rata dari masing masing agregat yang hasilnya dapat kita lihat pada Tabel 5.3 dibawah ini.

Tabel 5.3 Persentase analisis butiran tanah sampel I, II.

No. Pengujian	Jenis agregat			Nilai rata-rata		
	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)
1	21,20	48,80	30,00	20,67	49,33	30
2	20,13	49,87	30,00			

Hasil nilai rata-rata uji analisa distribusi butiran dari ketiga sampel diatas didapatkan persentase sebagai berikut :

- Pasir = 20,67%
- Lanau = 49,33%
- Lempung = 30%

Tanah lolos saringan No. 200 rata-rata dari ketiga sampel

$$= \frac{78,80 + 79,87}{2} = 79,34\%$$

5.2.1 Sifat Fisik Tanah Asli

Sifat fisik tanah meliputi warna, ukuran, dan bentuk dari butiran tanah tersebut. Dari hasil penelitian sampel Lumpur lapindo yang diambil dari Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur mempunyai sifat fisik sebagai berikut: Lumpur lapindo berwarna abu-abu tua, berbentuk butiran sangat halus banyak mengandung air dan sedikit pasir.

5.2.2 Sifat Mekanis Tanah Asli

Pengujian sifat mekanis tanah di Laboratorium meliputi pengujian : Kadar air, Berat volume tanah, Berat jenis, Batas cair, Batas plastis, Batas susut dan Indeks plastisitas.

5.2.2.1 Pengujian Kadar Air Tanah

Sampel tanah diambil dari lokasi pada kedalaman \pm 1 meter dari permukaan tanah, kemudian sampel tanah dibungkus agar kadar air tidak berubah yang kemudian langsung ditimbang di laboratorium. Pengujian kadar air ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar air dari sampel tanah yang akan di uji. Hasil dari uji kadar air tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (5.7)$$

Di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan uji kadar air sampel lumpur Lapindo yang ditunjukkan pada tabel 5.4 sebagai berikut :

Tabel 5.4 Hasil Pengujian kadar air

No	No. Pengujian		1	2	3
1	Berat cawan kosong (W ₁)	gram	21.66	22.04	22.36
2	Berat cawan + tanah basah (W ₂)	gram	43.21	42.37	43.69
3	Berat cawan + tanah kering (W ₃)	Gram	37.25	37.84	36.48
4	Berat air (W ₂ - W ₃)	%	5.96	4.31	7.21
5	Berat tanah kering (W ₃ - W ₁)	Gram	15.59	15.80	124.12
6	Kadar air (w)	$\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$	38.23	27.28	51.06
7	Kadar air rata-rata (w _{rt})	%	38.86		

Contoh perhitungan kadar air (w) untuk sampel pengujian no 1 :

$$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$$

$$w = \frac{43,21 - 37,25}{37,25 - 21,66} \times 100\%$$

$$= 38,23 \%$$

$$\text{Kadar air rata-rata } (w_r), (\%) = \frac{38,23 + 27,28 + 51,06}{3} = 38,86 \%$$

5.2.2.2 Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada suhu tertentu, biasanya diambil suhu 27° C.

Hasil dari pengujian berat jenis tanah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_s (t^\circ) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(5.8)$$

$$G_s (27^\circ) = G_s (t^\circ) \times \frac{B_{j \text{ air } t^\circ}}{B_{j \text{ air } 27,5^\circ}} \dots\dots\dots(5.9)$$

Di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan uji berat jenis sampel lumpur Lapindo yang ditunjukkan pada tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil uji berat jenis tanah

1	No. Pengujian	1	2	3
2	Berat piknometer kosong (W ₁) gram	20,1	29,47	30,06
3	Berat piknometer + tanah kering (W ₂) gram	30,54	39,08	44,30
4	Berat piknometer + tanah + air (W ₃) gram	75,53	84,48	88,00
5	Berat piknometer + air (W ₄) gram	69,07	78,52	79,15
6	Temperatur (t°)	26	26	26
7	BJ pd temperatur (t°)	0,997	0,997	0,997
8	BJ pd temperatur (27,5°)	0,996	0,996	0,996
9	Berat jenis tanah G _s (t°) = $\frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - 2)}$	2,62	2,63	2,64
10	Berat jenis tanah pada 27,5° = $G_s(t^\circ) \frac{B_j \text{ air } t^\circ}{B_j \text{ air } 27,5^\circ}$	2,62	2,63	2,64
11	Berat jenis rata-rata (G _s rt)	2,63		

Contoh perhitungan berat jenis tanah untuk sampel pengujian no 1 :

$$G_s(t^\circ) = \frac{(30,54 - 20,10)}{(69,07 - 20,10) - (73,53 - 30,54)} = 2,62$$

$$G_s(27,5^\circ \text{ C}) = 2,62 \times \frac{0,99733}{0,99641} = 2,62$$

$$\text{Berat jenis rata-rata} = \frac{2,62 + 2,63 + 2,64}{3} = 2,63$$

5.2.2.3 Pengujian Berat Volume Tanah

Pengujian berat volume bertujuan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah. Hasil dari pengujian berat volume dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Pengujian berat volume tanah

No	No Pengujian	I	II	III
1	Diameter Ring (d) cm	6,4	6,4	3,9
2	Tinggi Ring (t) cm	2,2	2,2	2,2
3	Volume Ring (v) cm ³	70,74	70,74	70,74
4	Berat Ring (w ₁) gram	68,94	68,94	68,94
5	Berat Ring + Tanah (w ₂) gram	190,8	185,97	190,21
6	Berat Tanah (w ₂ -w ₁) gram	121,86	117,03	121,27
7	Berat Volume Tanah $(\gamma) = \frac{w_2 - w_1}{v} \text{ gram/cm}^3$	1,72	1,65	1,71
8	Berat Volume Rata-rata (γ_r) (gr/cm ³)	1,70		

Dari hasil pengujian berat volume tanah maka dapat diketahui Lumpur Lapindo, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur mempunyai berat volume 1,70 gr/cm³.

5.2.2.4 Pengujian Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg Limits*)

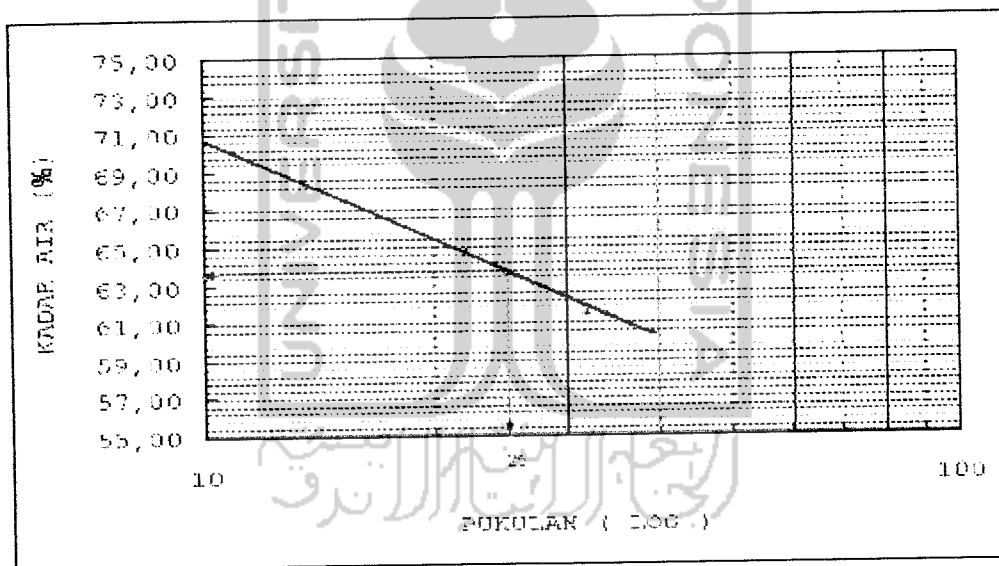
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Pengujian batas konsistensi yang dilakukan meliputi : Pengujian batas cair, batas plastis dan batas susut.

1. Batas cair (*liquid limit*)

Maksud dari pengujian ini adalah untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis. Hasil dari perhitungan batas cair sampel lumpur Lapindo ditunjukkan pada pada tabel 5.7 dan akan diposisikan dalam grafik pada gambar 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.7 Hasil pengujian batas cair

No	Pengujian	1	2	3	4
1	Kadar air %	64,80	61,55	61,43	60,52
2	Pukulan	22	32	34	39



Gambar 5.3 Grafik batas cair

Batas cair didapat dengan menarik garis vertikal pada 25 ketukan sehingga memotong kurva garis lurus, kemudian dari titik tersebut ditarik garis horizontal sehingga memotong sumbu ordinat. Titik potong pada sumbu ordinat merupakan kadar air pada batas cair sampel tanah tersebut. Dari Gambar 5.4 didapat batas cair sampel lumpur Lapindo sebesar 63,73%.

2. Batas plastis (*plastic limit*)

Maksud dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis. Dari pengujian batas plastis, sampel lumpur Lapindo mempunyai batas plastis 31,71%. Ditunjukkan pada tabel 5.8 dibawah ini :

Rumus Kadar Air :

$$\text{Kadar Air} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \dots\dots\dots (5.10)$$

Keterangan :

W_1 = Berat cawan kosong

W_2 = Berat cawan + tanah basah

W_3 = Berat cawan + tanah kering

Tabel 5.8 Hasil pengujian batas plastis

NO		1	2
1	NO CAWAN		
2	BERAT CAWAN KOSONG	21,86	21,88
3	BERAT CAWAN + TANAH BASAH	35,57	35,63
4	BERAT CAWAN + TANAH KERING	32,21	32,33
5	BERAT AIR (3)-(4)	3,36	3,30
6	BERAT TANAH KERING (4)-(2)	10,55	10,45
7	$\text{KADAR AIR} = \frac{(5)}{(6)} \times 100\% =$	31,85	31,58
8	KADAR AIR RATA-RATA = %	31,71	

Contoh perhitungan kadar air (w) untuk sampel pengujian no 1 :

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air} &= \frac{35,57 - 32,21}{32,21 - 21,66} \times 100\% \\ &= 31,85\% \end{aligned}$$

3. Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas akan merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Dengan didapatnya nilai batas cair dan batas plastis maka didapat nilai indeks plastisitas tanah dengan persamaan berikut :

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots(5.11)$$

$$IP = 63,73\% - 31,71\%$$

$$= 32,02\%$$

Dari perhitungan didapat nilai indeks plastisitas sampel lumpur Lapindo sebesar 32,02%.

4. Batas susut (*shrinkage limit*)

Batas susut tanah adalah kadar air maksimum pada sebuah sampel tanah sedemikian rupa, sehingga pengurangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan berkurangnya volume tanah. Dari pengujian batas susut, sampel lumpur Lapindo mempunyai batas susut sebesar 20,93%. Ditunjukkan pada tabel 5.10.

Rumus Batas Susut :

$$\text{Batas susut tanah : } SL = [(V_o/(w_3 - w_1)) - (1/G_s)] \times 100\% \dots\dots\dots(5.12)$$

$$\text{Volume tanah kering : } V_o = (w_4 - w_5)/13,60 \dots\dots\dots(5.13)$$

Keterangan :

W_1 = Berat cawan susut

W_2 = Berat cawan + tanah basah

W_3 = Berat cawan + tanah kering

W_4 = Berat air raksa yang terdesak + gelas ukur

W_5 = Berat gelas ukur

V_o = Volume tanah kering

Tabel 5.9 Hasil pengujian batas susut

1	No. Pengujian	I		J			
		2,63	2,63	2,63	2,63		
2	Berat jenis	40,06	39,64	38,17	46,34	36,24	38,18
3	Berat cawan susut (w1) gram	55,09	62,64	62,53	68,99	62,74	62,76
4	Berat cawan + tanah basah (w2) gram	55,07	51,96	52,25	58,49	52,49	52,63
5	Berat cawan + tanah kering (w3) gram	172,51	150,25	175,09	149,16	187,57	183,04
6	Berat air raksa yg terdesak + gelas ukur (w4) gram	50,3	60,25	50,3	60,25	60,25	50,25
7	Berat gelas ukur (w5) gram	112,21	90	114,79	88,91	127,32	123,79
8	Berat air raksa (w4 - w5) gram	6,25074	6,6176	6,4404	6,5375	9,3618	9,4699
9	Volumen tanah kering : $V_0 = (w_3 - w_1) / G_s$ cc	16,9454	15,692	21,754	16,131	27,674	27,513
10	Batas susut tanah : $SL = [(V_0 / (w_3 - w_1)) - (1 / G_s)] \times 100$						
11	Batas susut tanah rata-rata : $(SL)_{rata-rata} (\%)$			20,93			

Contoh perhitungan kadar air (w) untuk sampel pengujian no 1 :

$$\begin{aligned} \text{Batas susut tanah : } SL &= [(V_0 / (w_3 - w_1)) - (1 / G_s)] \times 100\% \\ &= [(8,25074 / (55,07 - 40,06)) - (1 / 2,63)] \times 100\% \\ &= 16,9454 \end{aligned}$$

Batas susut tanah rata-rata =

$$\frac{16,9454 + 15,692 + 21,754 + 16,051 + 27,674 + 27,513}{6} = 20,93\%$$

Hasil pengujian sifat-sifat mekanis lumpur Lapindo, Sidoarjo, Jawa Timur dapat dilihat pada Tabel 5.10 dibawah ini :

Tabel 5.10 Nilai hasil uji sifat-sifat mekanis lumpur Lapindo

No.	Sifat mekanis tanah	Hasil
1	Kadar air <i>disturbed</i> (w)	38,86 %
2	Berat volume tanah (γ)	1,70 gr/cm ³
3	Berat jenis (Gs)	2,63
4	Batas cair (LL)	63,73 %
5	Batas plastis (PL)	31,71 %
6	Batas susut (SL)	20,93 %
7	Indeks plastisitas (IP)	32,02 %

5.2.3 Uji Kepadatan Tanah (Uji Proktor Standar)

Uji kepadatan tanah dilakukan dengan uji Proctor Standar. Adapun volume cetakan silinder sebesar $954,17 \text{ cm}^3$. Diameter cetakan sebesar $10,2 \text{ mm}$. Berat penumbuk sebesar $2,505 \text{ kg}$ dan tinggi jatuh sebesar $304,8 \text{ mm}$. Untuk setiap percobaan, berat volume basah (γ) dari tanah basah yang dipadatkan tersebut dapat dihitung dengan persamaan 5.14 berikut ini.

$$\gamma_b = \frac{W}{V(m)} \dots\dots\dots(5.14)$$

Dengan :

W = berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan

$V(m)$ = volume cetakan (cm^3).

Pada setiap percobaan besarnya kadar air dalam tanah yang dipadatkan dapat ditentukan di laboratorium. Bila kadar air diketahui, maka berat volume kering (γ_d) dari tanah tersebut dapat dihitung dengan persamaan 5.15 berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}} \dots\dots\dots(5.15)$$

Dengan :

$w(\%)$ = persentase kadar air.

Harga γ_d dari persamaan 5.15 tersebut dapat digambarkan terhadap kadar air dengan γ_d sebagai absis dan kadar air sebagai ordinat. Dengan demikian titik puncak dari grafik merupakan kadar air optimum dan berat volume kering maksimum. Hasil dari pengujian kadar air lumpur Lapindo ditunjukkan pada tabel 5.11 yang kemudian hasilnya diposisikan pada grafik yang dapat dilihat pada gambar 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.11 Hasil uji proctor standar Pada Pengujian Ke III

No. Pengujian	1	2	3	4	5
Volume silinder (cm ³)	954,17	954,17	954,17	954,17	954,17
Berat tanah basah (gr)	2000	2000	2000	2000	2000
Penambahan Air (%)	5	10	15	20	25
Penambahan Air (ml)	100	200	300	400	500
Berat silinder + tanah padat (gr)	3397	3481	3530	3482	3473
Berat tanah padat (gr)	1637	1721	1770	1722	1713
Berat volume tanah (gr/cm ³)	1,716	1,804	1,855	1,805	1,795
Kadar air rata-rata (%)	18,18	26,04	32,79	35,66	38,36
Berat volume tanah kering (gr/cm ³)	1,452	1,431	1,397	1,330	1,298

Perhitungan berat volume tanah basah untuk sampel pengujian no 1 :

$$\gamma_b = \frac{W \text{ (gr)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}}$$

$$\gamma_b = \frac{1637 \text{ gr}}{954,17 \text{ cm}^3}$$

$$= 1,716 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{brata-rata}} = \frac{1,716 + 1,804 + 1,855 + 1,805 + 1,795}{5} = 1,7948 \text{ gr/cm}^3$$

Perhitungan berat volume kering untuk sampel pengujian no 1 :

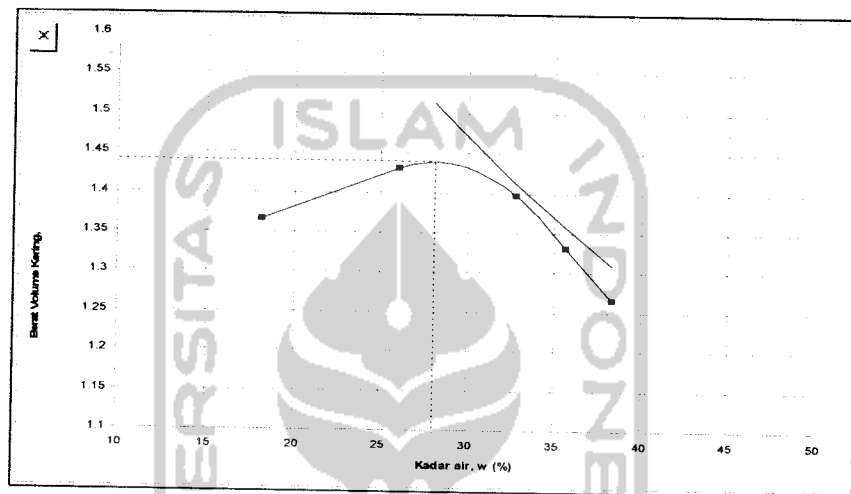
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w \text{ (%)}}{100}}$$

$$\gamma_d = \frac{1,716}{1 + 0,1818}$$

$$= 1,452 \text{ gr/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{drata-rata}} = \frac{1,452 + 1,431 + 1,397 + 1,330 + 1,298}{5} = 1,3816 \text{ gr/cm}^3$$

Kurva hubungan antara kadar air (w) dan berat volume tanah kering (γ_d) dibuat dengan kadar air (w) sebagai *absis* sedangkan berat volume kering (γ_d) sebagai *ordinat*. Puncak kurva merupakan nilai (γ_d) maksimum, kemudian dari titik puncak kurva ditarik garis vertikal memotong *absis*, pada titik ini adalah merupakan kadar air optimumnya. Kurva hasil pengujian kapadatan tanah dapat dilihat pada gambar 5.4 dibawah ini.



Gambar 5.4 Hasil uji kepadatan tanah

Gambar 5.4 diatas menunjukkan hasil uji proctor standar/kepadatan tanah dengan nilai berat volume kering maksimum $1,439 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum sebesar 28,08%. Dengan demikian tanah akan mengalami kepadatan maksimum pada penambahan air sebesar 28,08%.

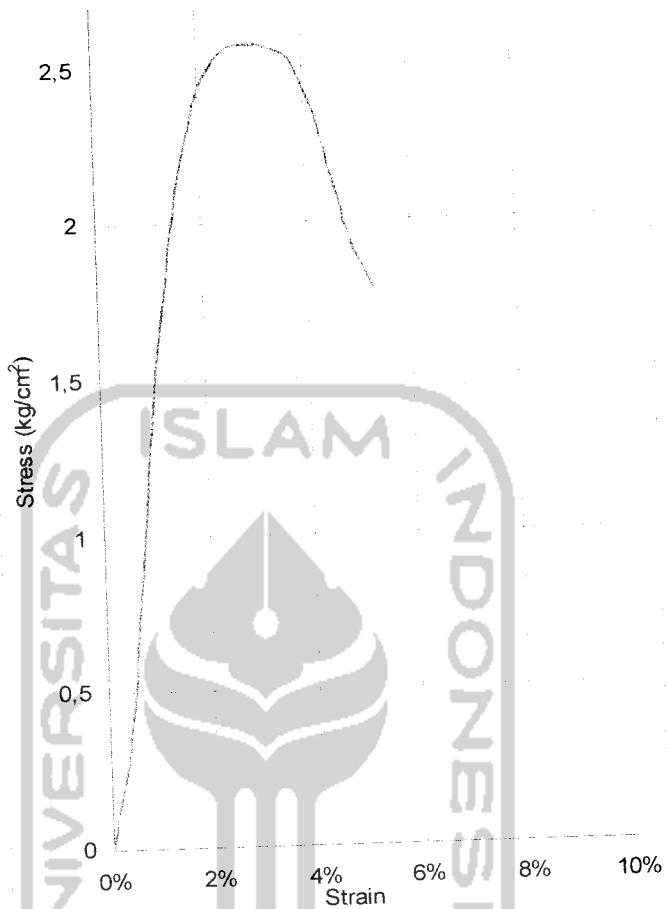
Pada percobaan selanjutnya untuk mendapatkan nilai kadar air optimum (w optimum) dan nilai berat volume kering maksimum (γ_k) pada sampel II dan sampel III secara analitis juga dilakukan perhitungan seperti contoh diatas. Selanjutnya dibuat tabel hasil pengujian kepadatan tanah yang dapat dilihat pada tabel 5.12 dibawah ini.

Tabel 5.12 Hasil nilai pengujian Pemadatan Proctor standar tanah asli sampel I, II, III

Percobaan	Jenis sampel	Nilai	
		w optimum(%)	$\gamma_k(\text{gr/cm}^3)$
1	Tanah asli I	27,52	1,430
2	Tanah asli II	27,99	1,428
3	Tanah asli III	28,08	1,439

5.2.4 Pengujian Tekan Bebas untuk Tanah Asli

Uji Tekan Bebas dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuat tekan tanah (q_u), sudut geser dalam (ϕ) serta kohesi tanah (c). Pada pengujian Tekan Bebas *dial* dibaca setiap perpendekan 0.40 mm setiap 40 detik. Dari pembacaan *dial* tersebut dibuat grafik hubungan antara tegangan-regangan dengan tegangan : sebagai sumbu – Y (kg/cm^2) dan regangan sebagai sumbu – X (%).



Gambar 5.5 Grafik Tekan Bebas Tanah Asli I

Tabel 5.13 Hasil Uji Tekan Bebas Sampel I

qu =	2,56826g/cm ²	
α =	53°	
Angle Of Internal friction, φ =	16°	
Cohesion =	0,968kg/cm ²	

Contoh perhitungan tegangan sampel tanah asli pada uji Tekan Bebas :

Pada detik ke-40 pembacaan dial perpendekan tanah 0.40 mm.

LRC (Linier regresi correction) = 0,5083 kg/div

Luas A_0 = 11,3411 cm²

Tinggi L_0 = 7,3 cm

Pembacaan def. dial = 245

Pembacaan load dial = 59

Total deformation, ΔL = 245 x 10⁻² = 2,45 mm

Total Load, P = load dial x LRC = 59 x 0,5083 = 29,9897 kg

Regangan, ϵ = $\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{0,245}{7,3} = 0,0336$

Koreksi, A = $\frac{A_0}{(1-\epsilon)} = \frac{11,3411}{(1-0,0336)} = 11,7354$ cm²

Tegangan, σ = $\frac{P_{\max}}{A} = \frac{29,9897}{11,7354} = 2,56826$ kg/cm²

Pada pembacaan dial 245 terbaca dial beban 59 setara dengan beban 29,9897 kg.

Tegangan, $q_u = \sigma = \frac{P_{\max}}{A} = 2,56826$ kg/cm² setelah sampel mencapai beban

maksimum, dilakukan pengukuran sudut pecah (α).

Dari pembacaan beban maksimum dan sudut pecah dapat dihitung kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Contoh perhitungan kohesi pada tanah asli:

$$c = \frac{q_u}{2.tg\alpha} = \frac{2,56826}{2.tg53} = 0,968 \text{ kg/cm}^2$$

Contoh perhitungan sudut geser dalam pada tanah asli:

$$\phi = 2.(\alpha - 45^\circ)$$

$$\phi = 2.(53 - 45^\circ)$$

$$= 16^\circ$$

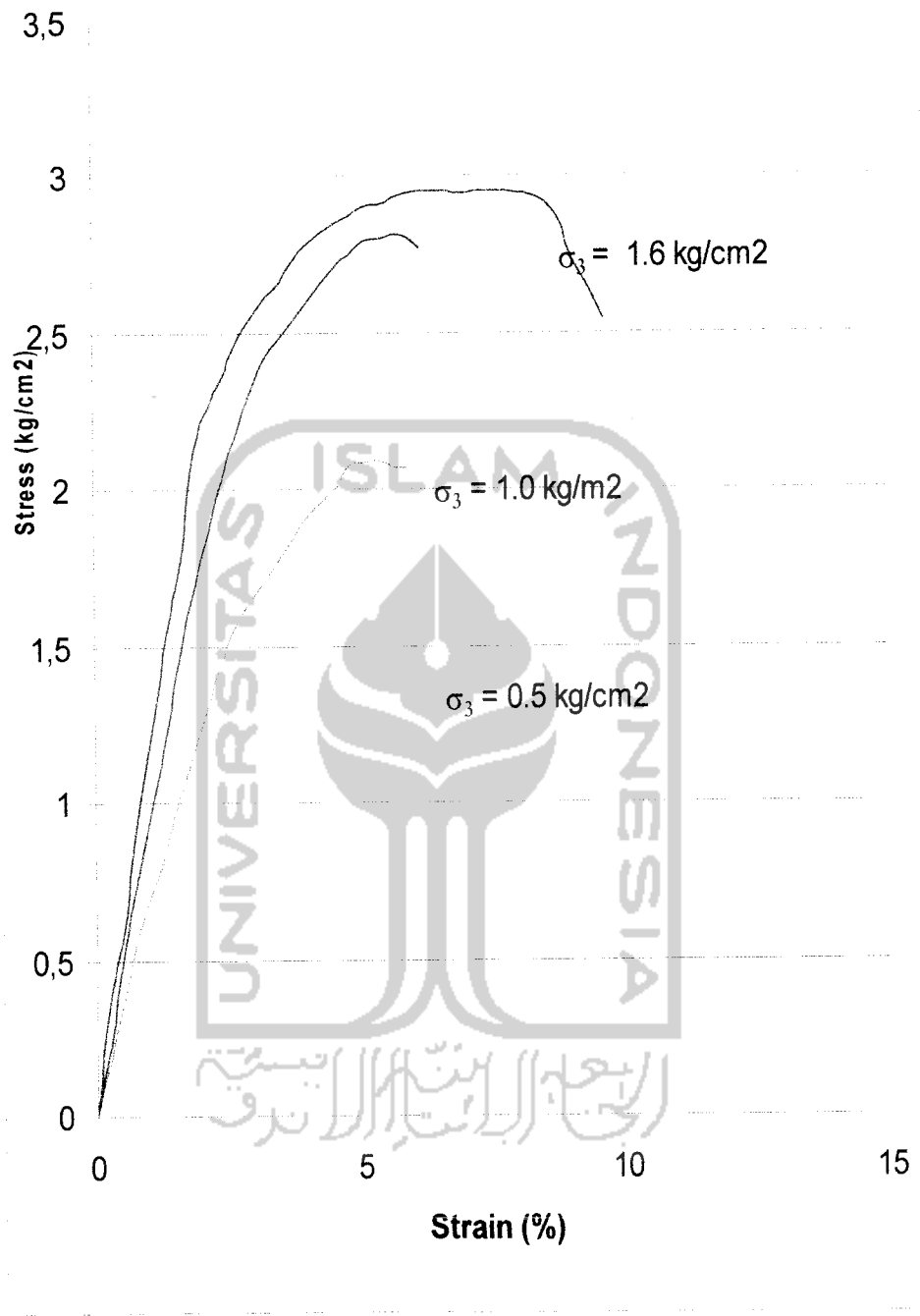
Untuk pengujian tekan bebas dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali, dengan hasil pada tabel 5.14

Tabel 5.14 Hasil nilai Tekan Bebas sampel I, II, III

Sampel	I	II	III	Rata-rata
α ($^{\circ}$)	53	52	55	53,3333
Φ ($^{\circ}$)	16	14	20	16,6667
q_u (kg/cm^2)	2,56826	3,56072	2,28590	2,8050
c (kg/cm^2)	0,968	1,391	0,800	1,0530

5.2.5 Pengujian Triaksial tipe UU untuk tanah asli

Pengujian Triaksial adalah pengujian sampel tanah dengan tiga dimensi tekanan . Pengujian Triaksial dilakukan untuk menentukan nilai sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi tanah (c), yang disetiap sampel diberikan tegangan sel 0.25 kg/cm^2 , 5 kg/cm^2 , 1.0 kg/cm^2 . Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.6



Gambar 5.6 Kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji Triaksial Tanah Asli I

Pada detik ke-40 pembacaan dial diperpendekan 0.4 mm dengan $\sigma_3 = 0.250$ kg/cm².

$$K = 0.165$$

Tinggi benda uji mula-mula (L_0) = 7,5 cm

Luas penampang benda uji (A_0) = 11,3411 cm²

Pembacaan def. dial, $\Delta L = 5,067$ mm

Pembacaan load dial, $P = 151$

Luas penampang (A) = 11,34 cm²

$$\text{Regangan, } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{5,067}{75} \times 100\% = 6,7560 \%$$

$$\text{Koreksi, } A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)} = \frac{11,3411}{(1 - 0,0676)} = 12,1633 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan deviator, } \Delta\sigma = \frac{PxK}{A} = \frac{157 \times 0,165}{12,1633} = 2,088 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{PxK}{A} = \frac{P_{\max}}{A} = 2,088 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk membuat grafik lingkaran Mohr, digunakan $\Delta\sigma_{\max} = 2,088 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{P_{\max}}{A}$$

$$\sigma_1 = 0,250 + 2,088 = 2,338 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Jari-jari} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{2,338 - 0,250}{2} = 1,044 \text{ cm}$$

$$\text{Titik pusat} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = 1,294 \text{ cm}$$

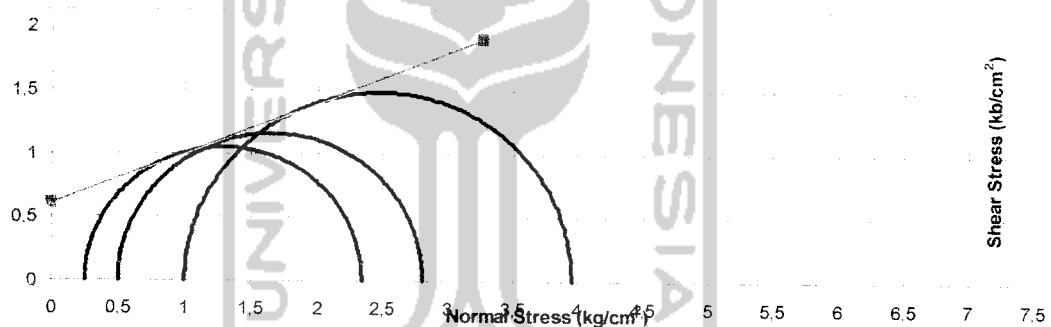
Dengan cara yang sama dibuat lingkaran Mohr untuk $\sigma_3 = 0,500 \text{ kg/cm}^2$ dan $\sigma_3 = 1,000 \text{ kg/cm}^2$, kemudian ditarik garis linier dan menyinggung masing-masing lingkaran tersebut yang merupakan garis keruntuhan. Dari garis tersebut didapatkan nilai kohesi yang merupakan titik potong garis dengan sumbu - Y dan nilai sudut geser dalam. Dalam grafik lingkaran Mohr digunakan jari-jari lingkaran = $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, pusat setengah lingkaran sebesar $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$.

Contoh hitungan dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hitungan tegangan uji Triaksial pada tanah asli sampel I

Pengujian ke-	Tek. Deviator $\Delta\sigma = \frac{P_{max}}{A}$ (kg/cm ²)	Tek. Sel σ_3 (kg/cm ²)	Tek. Vertikal $\sigma_1 = \Delta\sigma + \sigma_3$ (kg/cm ²)	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ cm	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ cm
1	2,088	0,250	2,338	1,294	1,044
2	2,306	0,500	2,806	1,653	1,153
3	2,955	1,000	3,955	2,478	1,478

Kemudian dibuat lingkaran Mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Lingkaran Mohr Uji Triaksial Tipe UU Tanah Asli I

Dari pengujian Triaksial pada tanah asli diperoleh sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c). yaitu :

$$\text{Sudut Gesek Dalam } (\phi) = 21,592^\circ$$

$$\text{Kohesi } (c) = 0.600 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hasil kedua pengujian Triaksial, maka diperoleh data sudut geser dalam dan kohesi sebagai berikut Pada tabel.

Tabel 5.16 Hasil nilai Triaksial sudut geser dalam dan kohesi sampel I, II.

	I	II
Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	21,592	20,209
Kohesi (kg/cm^2)	0,600	0,940

Tabel 5.17 Hasil nilai Triaksial Rata-rata sudut geser dalam dan kohesi

	Rata-rata
Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	20,9005
Kohesi (kg/cm^2)	0,770

5.3 Kuat Dukung Tanah Teori Terzaghi

Dengan menggunakan rumus persamaan pondasi bujur sangkar Terzaghi dan karena studi kasus menggunakan tanah lumpur Lapindo maka keruntuhan geser yang terjadi adalah keruntuhan geser local, dengan rumus yaitu :

$$q_u = \alpha c' . N_c' + q . N_q' + \beta \gamma . B . N_{\gamma}' \dots\dots\dots (5.16)$$

Apabila permukaan air tanah terletak pada jarak D dan diatas dasar pondasi maka persamaan daya dukung harus dihitung sebagai berikut :

$$q = \gamma (D_f - D) + \gamma' D \dots\dots\dots (5.17)$$

Dengan berat volume efektif dari tanah

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = \gamma_{\text{sat}} - 1 \dots\dots\dots (5.18)$$

Keterangan :

q_u = kapasitas dukung ultimit (T/m^2)

c = kohesi (ton/m^2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (ton/m^3)

γ' = Berat volume efektif (ton/m^3)

γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh

B = lebar pondasi (m)

P = Beban (ton)

N_γ, N_c, N_q = faktor kapasitas dukung tanah (fungsi ϕ)

t = Tebal Pondasi

E_s = Modulus Young

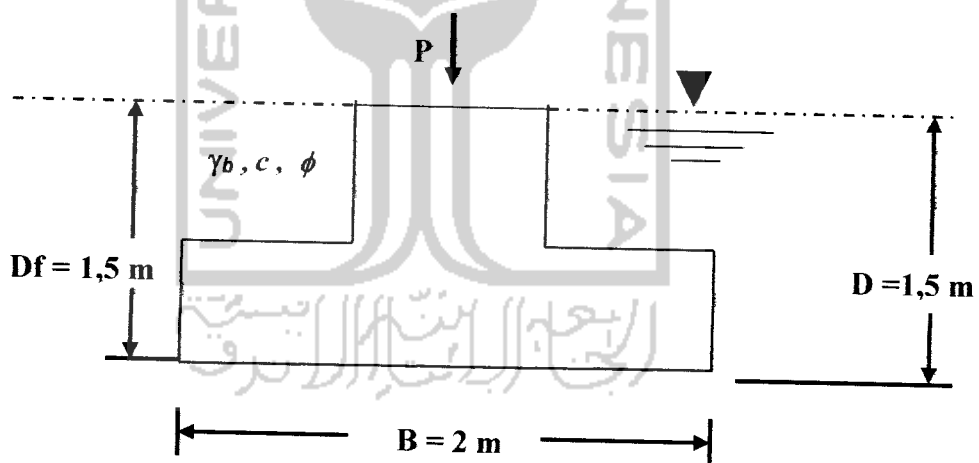
q = Effective overburden pressure

μ = Poison ratio

Nilai-nilai numerik dari $N_\gamma, N_c,$ dan N_q adalah faktor-faktor kapasitas dukung tanah yang merupakan fungsi dari sudut gesek dalam (ϕ).

5.3.1 Hasil Kuat Dukung Tanah Asli dengan metode Terzaghi

a. Dari hasil pengujian Triaksial



Gambar 5.8 Detail Pondasi

Dengan asumsi lebar pondasi $B = 2$ m

$D_f = 1.5$ m , $SF = 3$

$(c) = 0,770$ kg/cm²

$(\phi) = 20,9005^\circ$

$\gamma_b = \gamma = 1.7948$ gr/cm³ = 1.7948 t/m³

$\gamma_{\text{sat}} = 1,3116$ t/m³

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = \gamma_{\text{sat}} - 1 \\ &= 1,3116 - 1 = 0,3116\end{aligned}$$

$$q = \gamma(D_f - D) + \gamma' D$$

$$\begin{aligned}q &= 1,7948(1,5 - 1,5) + 0,3116 \times 1,5 \\ &= 0,4674 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

Dari hasil pengujian Triaksial di dapat nilai :

$$\text{Koheesi (c)} \rightarrow c' = \frac{2}{3}c = \frac{2}{3} \times 0,770 = 0,5133 \text{ kg/cm}^2 = 5,1333 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Sudut geser dalam } (\varphi) &\rightarrow \varphi = \text{arc tg} \left[\frac{2}{3} \text{tg } \varphi \right] \\ &= \text{arc tg} \left[\frac{2}{3} \text{tg } 20,9005^\circ \right] \\ \varphi &= 14,2840^\circ\end{aligned}$$

dari Tabel 3.8 hal 43 diperoleh :

$$N_c = 9,4566$$

$$N_q = 2,5854$$

$$N_\gamma = 0,8427$$

$$\begin{aligned}q_u &= \alpha c' \cdot N_c + q \cdot N_q + \beta \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= (1,3 \times 5,1333 \times 9,4566) + (0,4674 \times 2,5854) + (0,4 \times 1,7948 \times 2 \times 0,8427) \\ &= 65,5250 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$q_a = \frac{q_u}{\text{SF}} = \frac{65,5250}{3} = 21,8417 \text{ t/m}^2$$

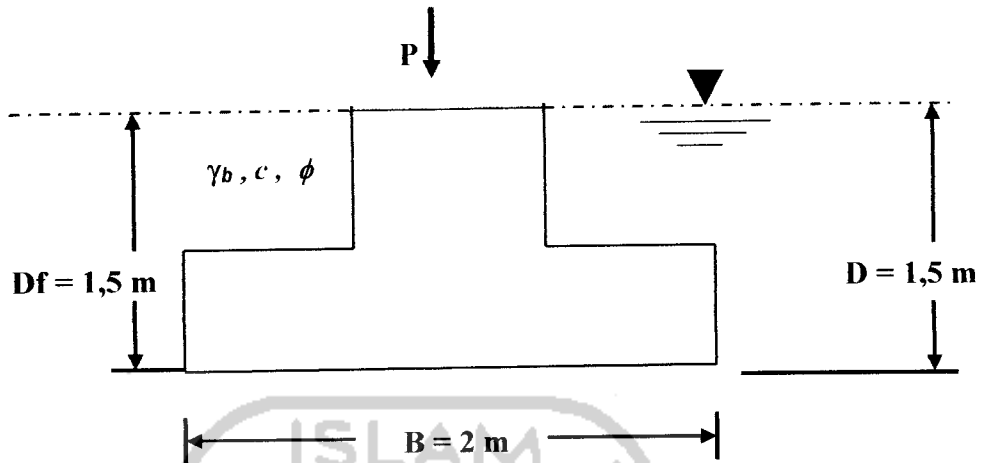
$$\begin{aligned}q_n &= q_a - q \\ &= 21,8417 - 0,4674 = 21,3734 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$q_n = \frac{P}{A} = \frac{P}{B^2}$$

$$\begin{aligned}P &= q_n \times B^2 \\ &= 21,3734 \times (2 \times 2)\end{aligned}$$

$$P = 85,4971 \text{ ton}$$

b. Dari hasil pengujian Tekan Bebas



Gambar 5.9 Detail Pondasi

Dengan asumsi lebar pondasi $B = 2 \text{ m}$

$D_f = 1.5 \text{ m}$, $SF = 3$

$(c) = 1,0530 \text{ kg/cm}^2$

$(\phi) = 16,6667^\circ$

$\gamma_b = \gamma = 1.7948 \text{ gr/cm}^3 = 1.7948 \text{ t/m}^3$

$\gamma_{\text{sat}} = 1,3116 \text{ t/m}^3$

$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = \gamma_{\text{sat}} - 1$

$= 1,3116 - 1 = 0,3116$

$q = \gamma(D_f - D) + \gamma' D$

$q = 1,7948 (1,5 - 1,5) + 0,3116 \times 1,5$

$= 0.4674 \text{ t/m}^2$

Dari hasil pengujian Tekan Bebas di dapat nilai :

Kohesi $(c) \rightarrow c' = \frac{2}{3}c = \frac{2}{3} \times 1,0530 = 0,7020 \text{ kg/cm}^2 = 7,0200 \text{ t/m}^2$

Sudut geser dalam $(\phi) \rightarrow \phi' = \text{arc tg} \left[\frac{2}{3} \text{tg } \phi \right]$

$= \text{arc tg} \left[\frac{2}{3} \text{tg } 16,6667^\circ \right]$

$\phi' = 11,2879^\circ$

dari Tabel 3.8 hal 43 diperoleh :

$$N_c = 8,4379$$

$$N_q = 2,1061$$

$$N_\gamma = 0,6030$$

$$\begin{aligned} q_u &= \alpha c \cdot N_c + q \cdot N_q + \beta \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= (1,3 \times 7,0200 \times 8,4379) + (0,4674 \times 2,1061) + (0,4 \times 1,7948 \times 2 \times 0,6030) \\ &= 78,8545 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

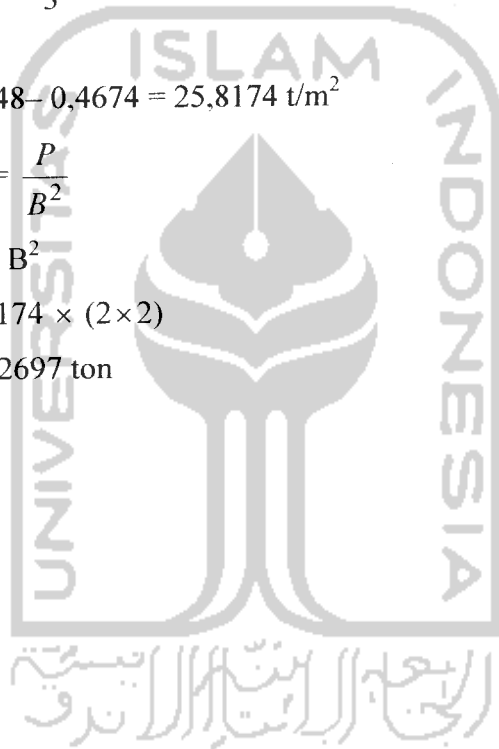
$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{78,8545}{3} = 26,2848 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_n &= q_a - q \\ &= 26,2848 - 0,4674 = 25,8174 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$q_n = \frac{P}{A} = \frac{P}{B^2}$$

$$\begin{aligned} P &= q_n \times B^2 \\ &= 25,8174 \times (2 \times 2) \end{aligned}$$

$$P = 103,2697 \text{ ton}$$



5.4 Hasil Penurunan Konsolidasi

Untuk menghitung Penurunan , maka diambil hasil uji konsolidasi dari data hasil uji saudara Iskandar Zulkarnaen

Dengan pengetahuan yang didapat dari hasil uji konsolidasi, maka kita dapat menghitung kemungkinan penurunan di lapangan yang disebabkan oleh konsolidasi primer di lapangan, nilai penurunan dari perhitungan kali ini adalah secara mekanis untuk membandingkan dengan nilai penurunan yang diperoleh dari pengamatan selama pengujian di laboratorium.

Rumus yang digunakan untuk menghitung penurunan yang terjadi adalah:
(Braja M. Das 1988, Hal 194)

$$S = H \frac{\Delta e}{1 + e_0} \dots \dots \dots (5.19)$$

S = *Settlement* yang terjadi

H = Tebal lempung

Δe = Perubahan angka Pori

e_0 = Angka pori awal

Perhitungan penurunan pada lumpur Lapindo *undisturbed* untuk pembebanan 0,00-0,25 kg/cm²

Diketahui:

$$H = 2,10$$

$$\Delta e = 0,327$$

$$e_0 = 1,705$$

$$\begin{aligned} S &= 2,10 \frac{0,327}{1 + 1,705} \\ &= 0.25396 \text{ mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk hitungan penurunan pembebanan 0.50, 1.00, 2.00, 4.00, dan 8.00 kg/cm², dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Penurunan pada sampel undisturbed

Beban kg/cm ²	Penurunan : $S = H \frac{\Delta e}{1 + e_0}$ (mm)			
	Undisturbed I	Undisturbed II	Undisturbed III	Rata-rata
0,25	0.254	0.295	0.314	0.288
0,50	0.068	0.083	0.093	0.081
1,00	0.084	0.089	0.114	0.096
2,00	0.098	0.106	0.093	0.099
4,00	0.101	0.103	0.089	0.097
8,00	0.092	0.103	0.091	0.095

Dari Tabel 6.1 di atas untuk lumpur Lapindo jenis *undisturbed* dengan kadar air 64,63 % penurunan terbesar terjadi pada pembebanan awal yaitu pada beban 0,25 kg/cm².

Rumus yang digunakan untuk menghitung Koefisien konsolidasi yang terjadi adalah: (Hary Christady, 1996, Hal 184)

$$C_v = \frac{0,848 \times (d)^2}{t_{90}} \dots \dots \dots (5.20)$$

Keterangan :

C_v = Koefisien konsolidasi

d = Setengah tinggi contoh tanah rata-rata (cm)

$d = \frac{1}{2} \cdot H$

$H = \frac{1}{2} (H_1 + H_2)$ untuk dua arah aliran

$H = d$ untuk satu arah aliran

H_1 = Tebal sample pada awal setiap beban

H_2 = Tebal sample pada akhir setiap beban

t_{90} = Waktu yang dibutuhkan untuk penurunan konsolidasi

Perhitungan penurunan pada lumpur Lapindo *undisturbed* untuk pembebanan 0,00-0,25 kg/cm²

Diketahui:

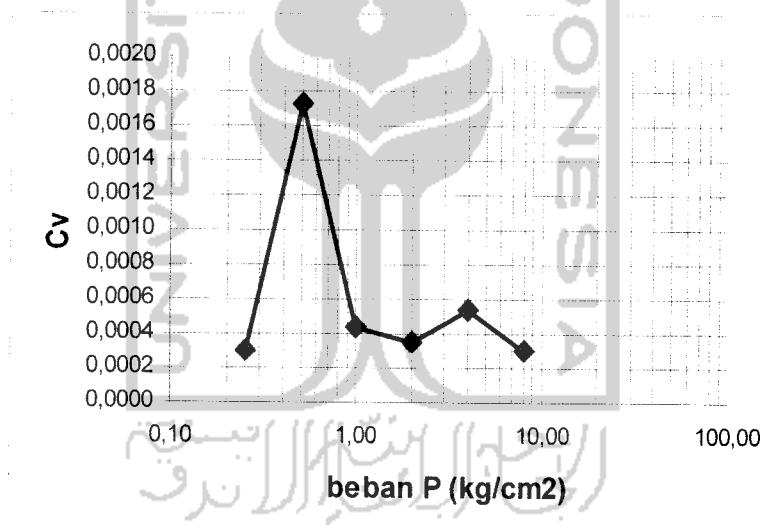
$$H_1 = 2,04$$

$$H_2 = 1,782$$

$$d = 0,9555$$

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{0,848 \times (d)^2}{t_{90}} \\ &= \frac{0,848 \times (0,9555)^2}{2535} \\ &= 0,000305 \text{ (cm}^2\text{/det)} \end{aligned}$$

Hasil penurunan yang terjadi antara beban (P) dan C_v dapat dilihat pada grafik dan tabel di bawah ini :



Gambar 5.10 Grafik hubungan C_v dan Beban (P)

Tabel 5.19 Hubungan Cv dan Beban (P)

Beban kg/cm ²	$C_v = \frac{0,848 \times (d)^2}{t_{90}}$ (cm ² /det)			
	Undisturbed I	Undisturbed II	Undisturbed III	Rata-rata
0,25	0,000305	0,0003	0,000297	0,0003
0,50	0,001726	0,001641	0,001595	0,0017
1,00	0,000437	0,00041	0,000389	0,0004
2,00	0,000352	0,000327	0,000307	0,0003
4,00	0,000534	0,000491	0,000468	0,0005
8,00	0,000304	0,000276	0,000267	0,0003

Untuk menentukan sifat pemampatan tanah atau indeks kompresi (Cc) suatu jenis tanah maka Rumus yang digunakan untuk menghitung indeks kompresi yang terjadi adalah: (Hary Christady, 1996, Hal 178)

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2 - \log p_1} = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)} \dots\dots\dots(5.21)$$

Keterangan :

Cc = Indeks kemampuan

e₁ = angka pori awal

e₂ = angka pori kedua

p₁ = tegangan efektif pada angka pori awal

p₂ = tegangan efektif pada angka pori kedua

Perhitungan penurunan pada lumpur Lapindo *undisturbed* untuk pembebanan 0,00-0,25 kg/cm²

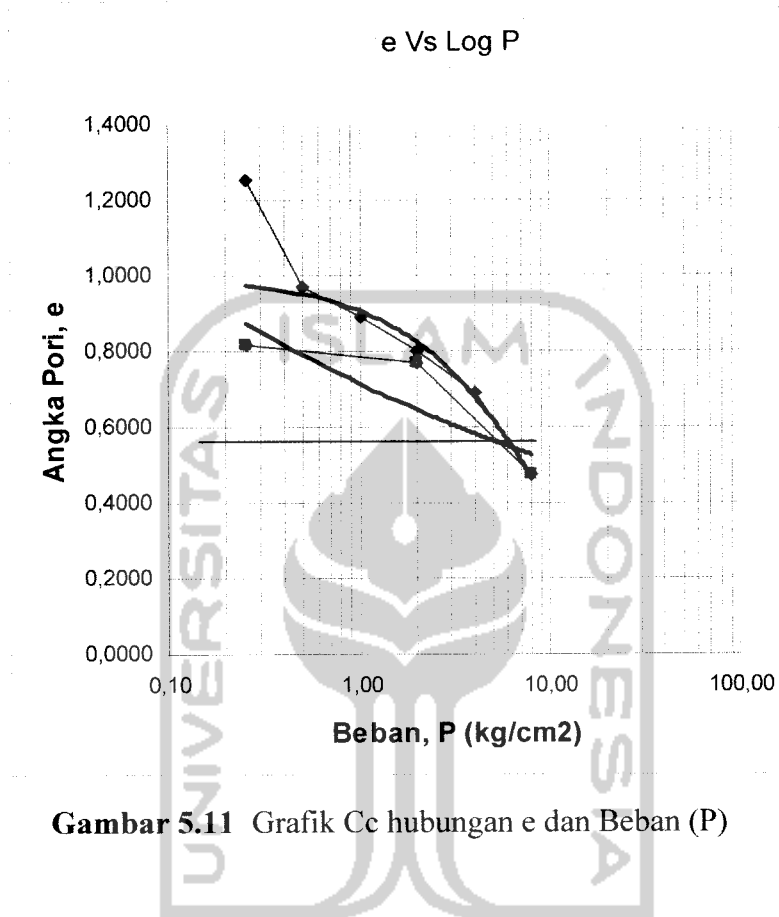
Diketahui:

Δe = 0,076

P₂ = 0,50

P₁ = 0,25

$$C_c = \frac{0,076}{\log\left(\frac{0,50}{0,25}\right)} = 0,252$$



Gambar 5.11 Grafik C_c hubungan e dan Beban (P)

Tabel 5.20 Nilai C_c dari e Vs Log P

Beban kg/cm ²	$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{P_2}{P_1}}$			
	Undisturbed I	Undisturbed II	Undisturbed III	Rata-rata
0,25	0,252	0,302	0,337	0,2970
0,50	0,310	0,326	0,414	0,3500
1,00	0,364	0,385	0,338	0,3623
2,00	0,372	0,374	0,325	0,3570
4,00	0,339	0,374	0,331	0,3480
8,00	0,492	0,137	0,401	0,3433

5.5 Hasil Kapasitas Dukung Pondasi Dangkal Dengan Program Plaxis

Untuk menganalisa kapasitas dukung digunakan program Plaxis dengan Analisis terhadap tegangan dan *load displacement* serta bidang runtuh menggunakan *software Plaxis*. Kasus daya dukung yang akan dianalisis dengan menggunakan program Plaxis adalah pondasi dangkal dengan bentuk bujur sangkar

Data-data yang dimasukkan pada program Plaxis diambil dari pengujian Triaksial dan Tekan bebas.

Dengan data yang sama :

- Muka air tanah = 0
- $\gamma_b = 1,7950 \text{ gr/cm}^3$
- $\gamma_d = 1,38160 \text{ gr/cm}^3$
- Poisson ratio (μ) = 0,45
- Modulus Young = 10 Mpa
- Df = 1,5 m
- Prediksi dimensi tanah :

Lebar = 30 m

Tinggi = 20 m

Triaksial :

- Sudut geser dalam ($^{\circ}$) = $14,2840^{\circ}$
- Kohesi = $5,1333 \text{ t/m}^2$
- Beban (P) = 85,4971 ton

Tekan Bebas :

- Sudut geser dalam ($^{\circ}$) = $11,2879^{\circ}$
- Kohesi = $7,0200 \text{ t/m}^2$
- Beban (P) = 103,2697 ton

Langkah awal memasukkan data dapat dilihat pada gambar 5.12, 5.13, 5.14, 5.16, 5.17, 5.18, dibawah ini :

General settings

Project **Dimensions**

Units

Length: m

Force: kN

Time: day

Geometry dimensions

Left: m

Right: m

Bottom: m

Top: m

Grid

Stress: kN/m²

Weights: kN/m³

Spacing: m

Number of intervals:

Set as default

Gambar 5.12 Input Program Plaxis dengan data yang dimasukkan
 Prediksi dimensi tanah = - Lebar = 30 m
 - Tinggi = 20 m

Mohr-Coulomb - lap

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification:

Material model:

Material type:

General properties

γ_{unsat} : kN/m³

γ_{sat} : kN/m³

Comments

Permeability

k_x : m/day

k_y : m/day

[Advanced...](#)

Gambar 5.13 Input Program Plaxis dengan data yang dimasukkan
 $\gamma_b = 1,7950 \text{ gr/cm}^3$ dan $\gamma_d = 1,3816 \text{ gr/cm}^3$

Mohr-Coulomb - lapindo

General Parameters | Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 1000,000 kN/m²

ν (nu): 0,450

Strength

c_{ref} : 0,513 kN/m²

ϕ (phi): 14,284 °

ψ (psi): 0,000 °

Alternatives

G_{ref} : 344,828 kN/m²

E_{oed} : 3793,000 kN/m²

Velocities

V_s : 15,640 m/s

V_p : 51,870 m/s

Advanced...

Gambar 5.14 Input Program Plaxis dengan data yang dimasukkan data uji

Triaksial :

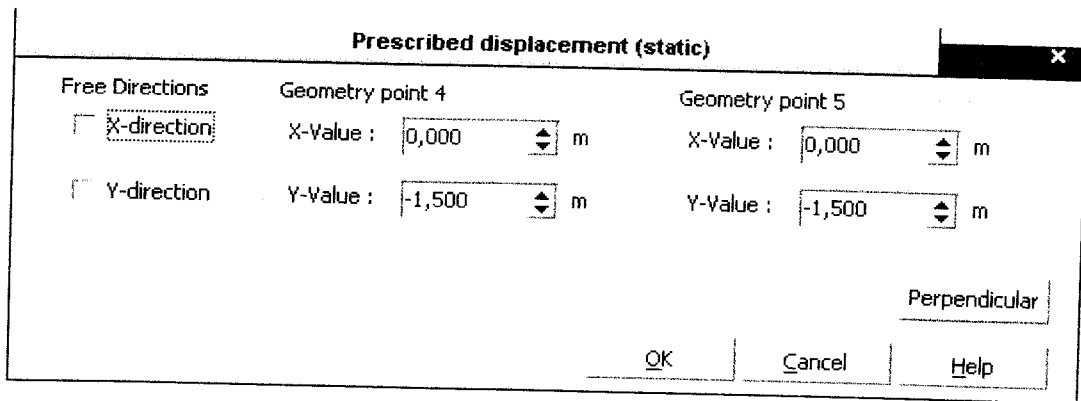
- Sudut geser dalam (ϕ) = 14,284^o
- Kohesi = 5,1333 t/m²
- Poison ratio (μ) = 0,45
- Modulus Young = 10 Mpa

General Parameters		Interfaces	
Stiffness		Strength	
E_{ref} :	1000,000 kN/m ²	c_{ref} :	0,702 kN/m ²
ν (nu):	0,450	φ (phi):	11,288 °
		ψ (psi):	0,000 °
Alternatives		Velocities	
G_{ref} :	344,828 kN/m ²	V_s :	15,640 m/s
E_{oed} :	3793,000 kN/m ²	V_p :	51,870 m/s
Advanced...			

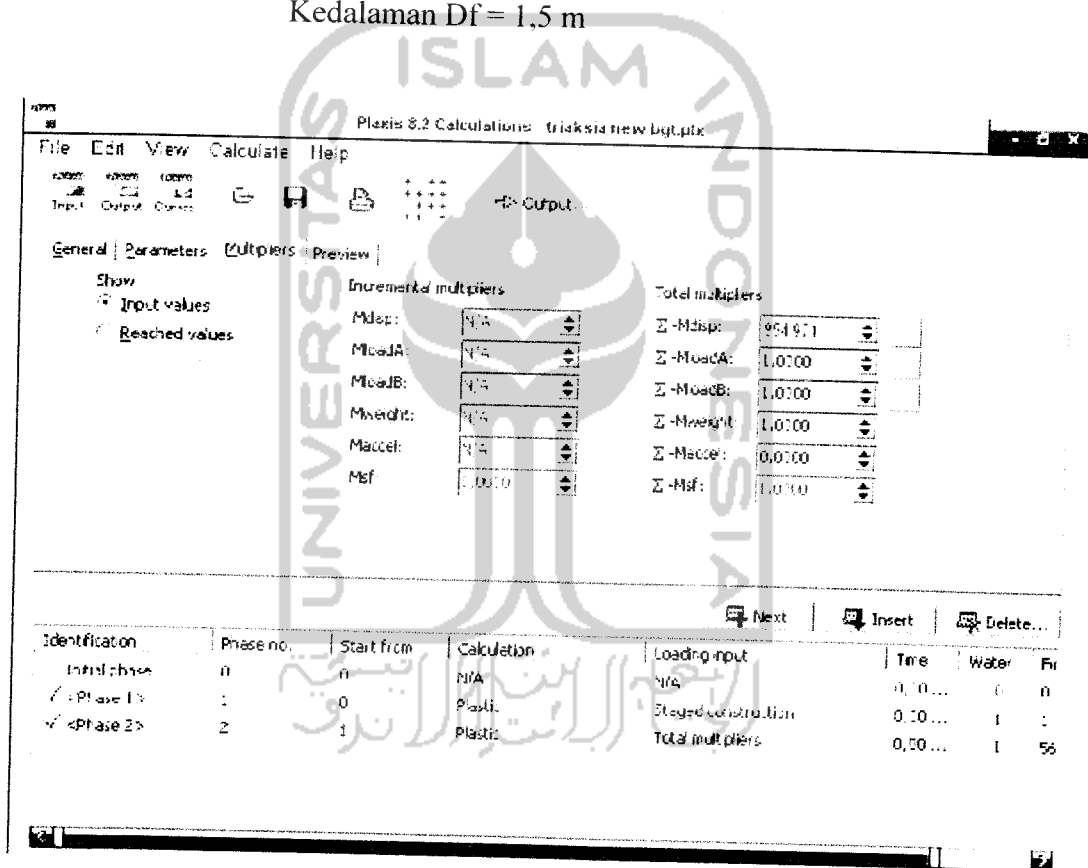
Gambar 5.15 Input Program Plaxis dengan data yang dimasukkan data uji

Tekan bebas :

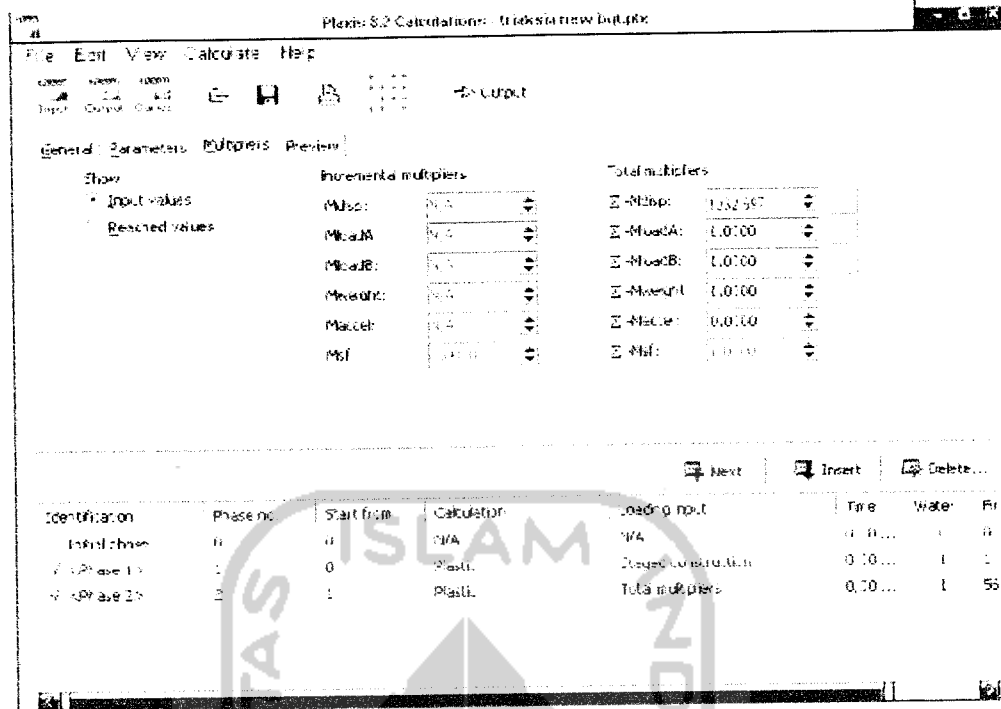
- Sudut geser dalam ($^{\circ}$) = 11,288⁰
- Kohesi = 7,0200 t/m²
- Poison ratio (μ) = 0,45
- Modulus Young = 10 Mpa



Gambar 5.16 Kalkulasi Program Plaxis dengan data yang dimasukkan Kedalaman Df = 1,5 m



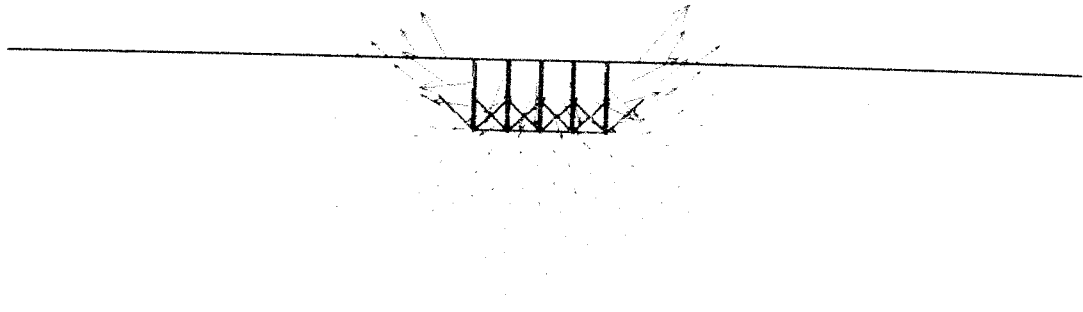
Gambar 5.17 Kalkulasi Program Plaxis dengan data yang dimasukkan data uji Triaksial dengan beban (P) 85,4971 ton.



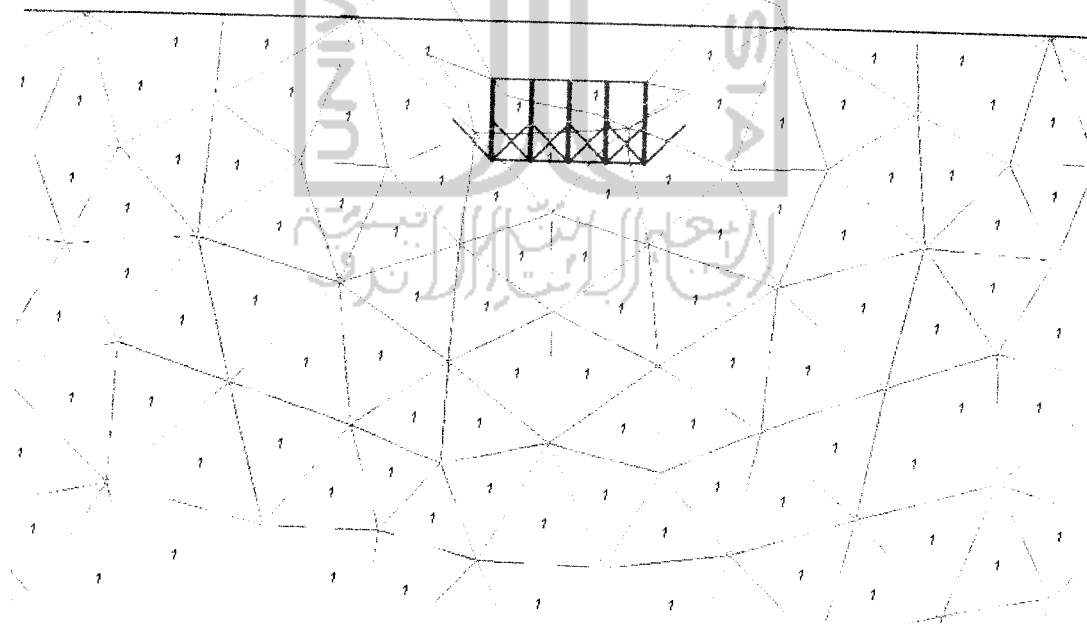
Gambar 5.18 Kalkulasi Program Plaxis dengan data yang dimasukkan data uji Tekan bebas beban (P) 103,2697 ton.

5.5.1 Hasil Pengamatan Bidang Runtuhan

Cara keruntuhan secara umum tergantung pada kompresibilitasnya dan kedalaman pondasi relatif terhadap lebarnya. Pada penelitian ini tinjauan bidang runtuh dilihat dengan simulasi software Plaxis. Didalam permodelan Plaxis luas model dibuat dengan lebar dan tinggi 30 m × 20 m karena pertimbangan batasan yang dapat menghalangi bidang runtuh yang terjadi sehingga displacement yang terjadi tidak optimal seperti sesungguhnya di lapangan. Disini diberikan beban 85,4971 ton dan 103,2697 ton pada hasil metode Terzaghi. Semakin melebar arah bidang runtuhnya, maka akan semakin kecil penurunan yang terjadi. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 5.19 dan 5.20 dibawah ini.



Gambar 5.19. Bidang runtuh tanah lumpur lapindo dengan beban 85,4971 ton dan 103,2697 ton

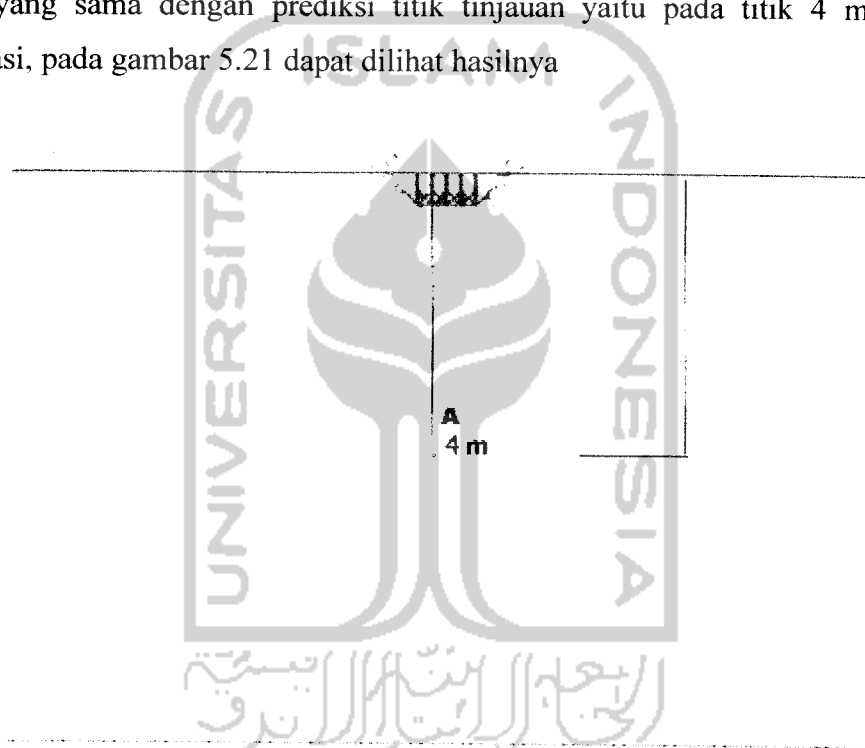


Gambar 5.20. Pergerakan tanah pada Bidang runtuh tanah lumpur lapindo

Dari gambar 5.19 dan gambar 5.20 menunjukkan bahwa tanah yang ada dibawah pondasi bergerak kebawah dan selanjutnya bergerak kesamping.

5.5.2 Distribusi Tegangan Dibawah model pondasi

Pada dasarnya komponen yang terjadi dibawah pondasi ada tiga komponen yaitu arah sumbu x, sumbu z, dan sumbu y. Pada penelitian ini dicoba untuk meninjau nilai-nilai distribusi tegangan pada sampel uji dengan menggunakan software plaxis. Peninjauan titik dilihat pada arah vertikal yang ditinjau pada satu titik yang sama dengan prediksi titik tinjauan yaitu pada titik 4 m dibawah pondasi, pada gambar 5.21 dapat dilihat hasilnya



Gambar 5.21 Titik tinjauan tegangan Vertikal

Gambar 5.20 menunjukkan bahwa distribusi tegangan dimulai pada bagian tanah dibawah dasar pondasi dan kemudian tegangan berubah arah kesamping dan ada kecenderungan arah menyamping dari pondasi

Tabel 5.21 Nilai Tegangan Vertikal pada Lumpur Lapindo pada data uji Triaksial dengan pembebanan 85,4971 ton.

Cluster	Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	σ_{xx} [kN/m ²]	σ_{yy} [kN/m ²]	σ_{xy} [kN/m ²]	σ_{zz} [kN/m ²]	Status
	26 lapindo	301	26,784	18,665	-9,896	-10,638	0,102	-9,159	Elastic
		302	28,042	19,904	-1,674	-0,766	0,004	-1,092	Elastic
		303	26,623	19,904	-1,759	-0,766	0,008	-1,131	Elastic
		304	27,036	19,234	-6,146	-6,098	0,053	-5,463	Elastic
		305	27,427	19,619	-3,583	-3,030	0,022	-2,953	Elastic
		306	26,986	19,619	-3,612	-3,030	0,026	-2,965	Elastic
		307	27,170	19,028	-7,492	-7,743	0,064	-6,797	Elastic
		308	27,676	19,526	-4,184	-3,772	0,024	-3,552	Elastic
		309	27,624	19,919	-1,593	-0,646	0,004	-1,003	Elastic
		310	27,054	19,919	-1,627	-0,646	0,005	-1,018	Elastic
		311	26,655	19,526	-4,252	-3,773	0,037	-3,582	Elastic
		312	26,720	19,028	-7,525	-7,744	0,076	-6,812	Elastic

Tegangan vertikal yang terjadi pada titik yang ditinjau pada sampel uji adalah 3,773 kN/m².

Tabel 5.22 Nilai Tegangan Vertikal pada Lumpur Lapindo pada data uji Triaksial dengan pembebanan 103,2697 ton.

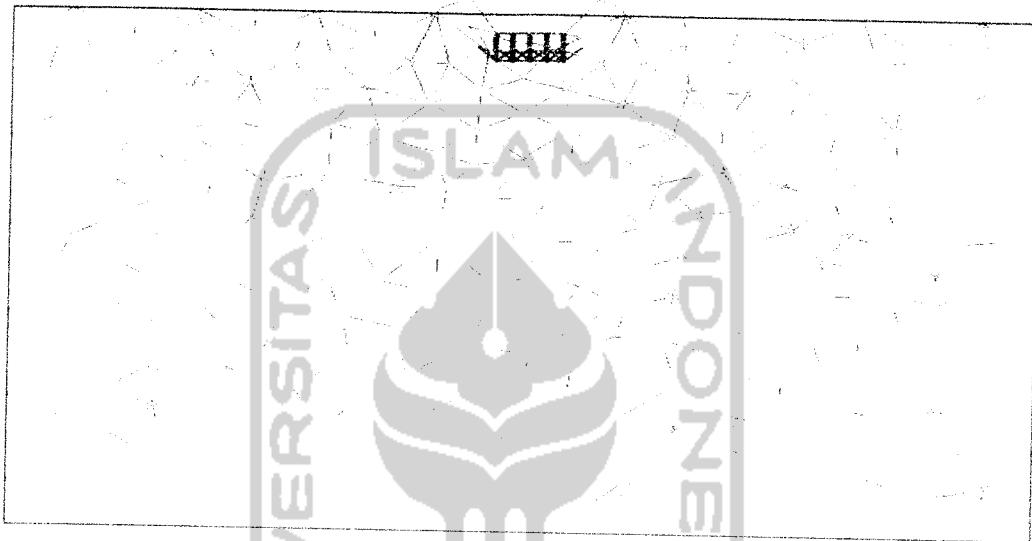
Cluster	Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	σ_{xx} [kN/m ²]	σ_{yy} [kN/m ²]	σ_{xy} [kN/m ²]	σ_{zz} [kN/m ²]	Status
	26 lapindo	300	28,430	0,705	-116,757	-154,768	0,052	-116,710	Elastic
		301	26,784	18,665	-9,701	-10,641	0,119	-8,775	Elastic
		302	28,042	19,904	-1,902	-0,766	0,005	-1,173	Elastic
		303	26,623	19,904	-1,999	-0,766	0,009	-1,217	Elastic
		304	27,036	19,234	-6,148	-6,099	0,061	-5,293	Elastic
		305	27,427	19,619	-3,716	-3,030	0,025	-2,928	Elastic
		306	26,986	19,619	-3,749	-3,030	0,030	-2,942	Elastic
		307	27,170	19,028	-7,420	-7,745	0,074	-6,548	Elastic
		308	27,676	19,526	-4,283	-3,772	0,028	-3,490	Elastic
		309	27,624	19,919	-1,830	-0,646	0,005	-1,091	Elastic
		310	27,054	19,919	-1,868	-0,646	0,006	-1,108	Elastic
		311	26,655	19,526	-4,361	-3,773	0,043	-3,526	Elastic
		312	26,720	19,028	-7,459	-7,745	0,088	-6,566	Elastic

Tegangan vertikal yang terjadi pada titik yang ditinjau pada sampel uji adalah 3,773 kN/m².

Dari kedua sampel uji yang ditinjau pada titik 4 m dari atas pondasi, mempunyai nilai tegangan vertikal yang sama.

5.5.3 Load Displacement

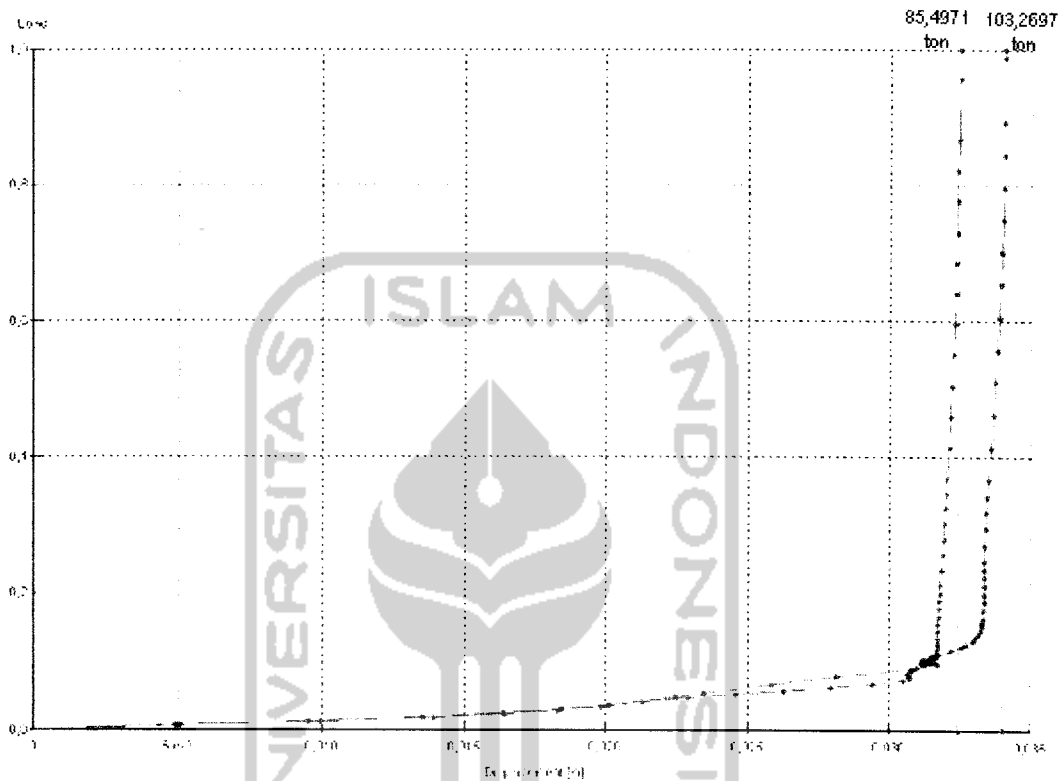
Hasil hubungan antara pembebanan (load) dan pergerakan tanah (displacement) dapat dilihat dengan simulasi plaxis, dengan pembebanan 85,4971ton dan 103,2697 ton. Dipresentasikan pada gambar 5.22.



Gambar 5.22 Displacement dari kedua sampel uji

Gambar 5.20 menjelaskan bahwa displacement tanah hanya akan terjadi disekitar pondasi ditunjukkan dengan jaring-jaring tegangan yang terkoyak disekitar pondasi. Hasil penurunan yang terjadi pada pembebanan 85,4971 ton adalah 2,42 m dan penurunan yang terjadi pada pembebanan 103,2697 ton adalah 2,60 m.

Hubungan antara pembebanan (load) dan pergerakan tanah (displacement) dapat dilihat grafik pada Gambar 5.23, dengan pembebanan 85,4971 ton dan 103,2697 ton.



Gambar 5.23 Grafik Load Displacement dengan pembebanan 85,4971 ton dan 103,2697 ton.

Hasil grafik Load Displacement pada gambar sampel uji digunakan luas 30 m x 20 m, seperti kondisi pada pengamatan bidang runtuh dan tinjauan distribusi tegangan yang sudah dilakukan, dan pada pengamatan ini displacement yang terjadi pada kedua sampel ternyata menghasilkan perilaku yang kecenderungan berbeda pada pembebanan yang berbeda. Pada aplikasi beban terlihat bahwa displacement termobilisasi hingga pada suatu nilai tertentu kemudian akan konstan atau vertikal. Selisih perubahan displacement dapat dilihat pada tabel 5.23.

Tabel 5.23 Nilai Displacement

Load (ton)	Displacement (m), pada titik 1 ton
85,4971	0,32
103,2697	0,34

Tabel 5.23 menunjukkan bahwa semakin besar beban diaplikasikan maka nilai displacement juga semakin besar.



BAB VI

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Bab ini akan membahas karakteristik lumpur Lapindo, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur, berdasarkan hasil penelitian laboratorium. Selain itu juga akan dibahas analisis daya dukung dengan menggunakan teori Terzaghi dan metode *Software Plaxis*.

6.1 Klasifikasi Lempung tanah asli

Untuk mengklasifikasi sifat tanah didasarkan atas beberapa sistem yang ada yaitu:

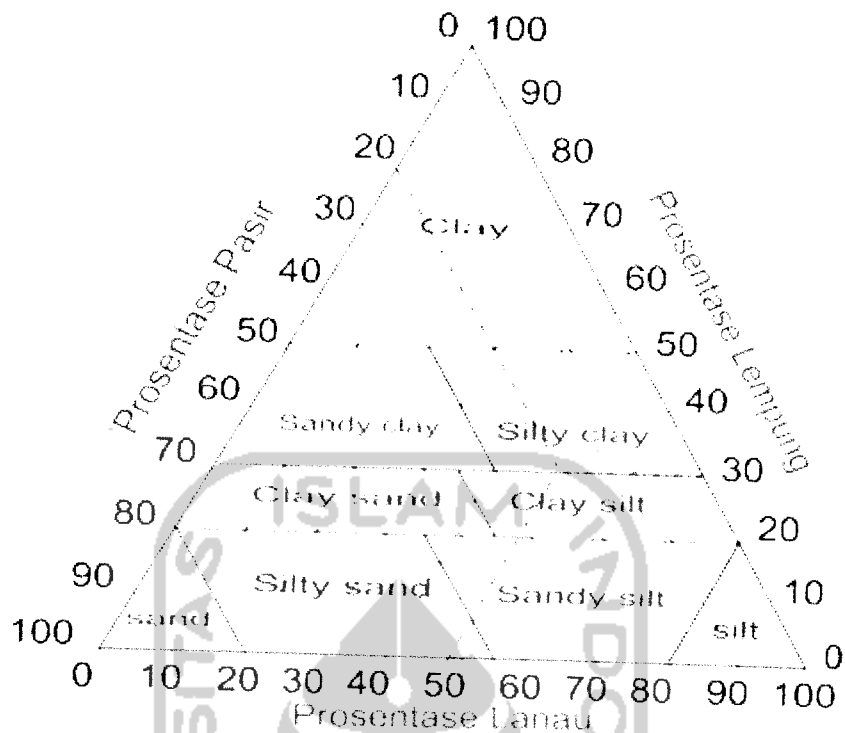
1. Analisis Distribusi Butiran
2. Sistem Klasifikasi *Unified*
3. Sistem Klasifikasi AASHTO

6.1.1 Analisis Distribusi Butiran

Hasil dari pengujian Analisa butiran saringan dapat diketahui lumpur lapindo, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur, mengandung :

- Pasir = 20,67%
- Lanau = 49,33%
- Lempung = 30%

Dari hasil pengujian distribusi pembagian butir tanah kemudian diplotkan berdasarkan klasifikasi tanah USCS sehingga diketahui jenis tanah yang diuji. seperti pada Gambar 6.1 berikut ini.



Gambar 6.1 Klasifikasi tanah berdasarkan USCS

Dari sistem klasifikasi tanah USCS dapat ditentukan bahwa lumpur lapindo, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur, termasuk tanah Lanau berlempung (*Clay silt*).

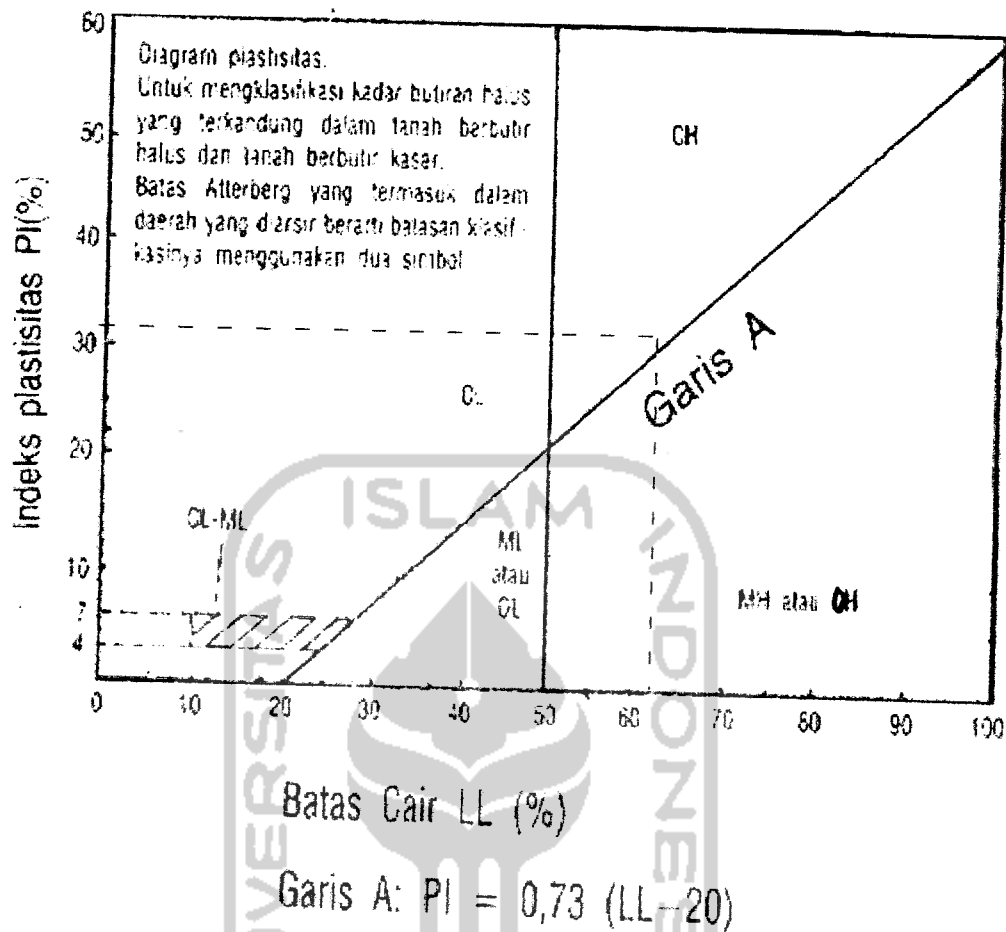
6.1.2 Sistem Klasifikasi *Unified*

Sistem *Unified* menggunakan sifat-sifat batas cair dan indeks plastisitasnya, maka diperoleh data sebagai berikut :

Batas Cair (LL) = 63,73 %

Indeks Plastis (IP) = 32,02 %

Hasil dari perhitungan tersebut diatas diklasifikasikan kedalam sistem klasifikasi tanah *Unified* untuk menentukan jenis tanah seperti pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem *Unified*

Pada diagram plastisitas didapatkan titik pertemuan yang diplotkan antara batas cair dan indeks plastisitasnya yaitu pada kelompok MH dengan nama lanau anorganik. (Braja. M. Das. 1988)

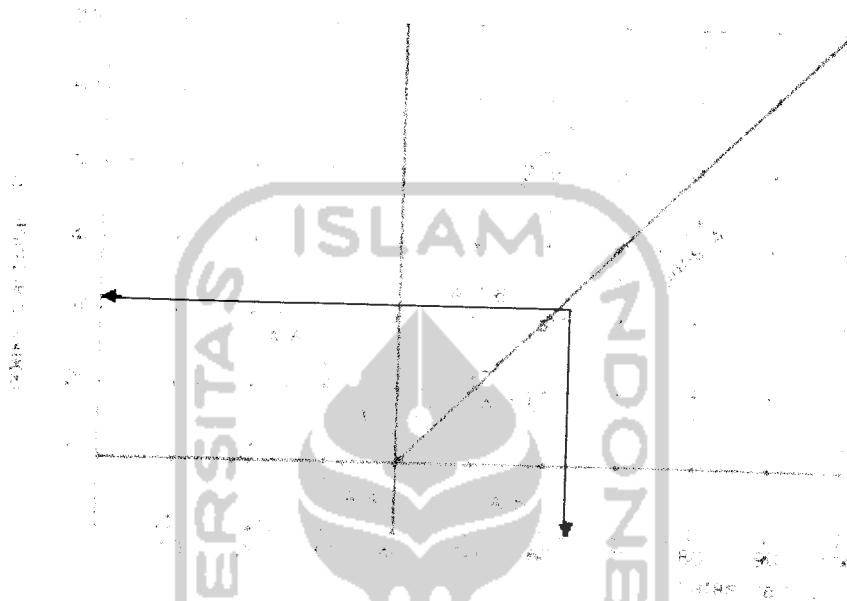
6.1.3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Selanjutnya untuk dapat mengklasifikasikan sampel lumpur Lapindo kedalam klasifikasi AASHTO adalah dengan berdasarkan hasil uji analisa distribusi butiran serta hasil uji batas-batas Atterberg yaitu sebagai berikut :

- Tanah lolos saringan No. 200 = 79,34%
- Batas cair (LL) = 63,73%

- Indeks plastisitas (IP) = 32,02%

Dari hasil-hasil pengujian tersebut kemudian akan diplotkan kedalam grafik plastisitas yang merupakan grafik yang menunjukkan batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas. Adapun hasil dari grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.3 dibawah ini.



Gambar 6.3 Grafik plastisitas sistem klasifikasi AASHTO

Dengan melihat hasil grafik plastisitas diatas maka didapatkan bahwa sampel tanah dari Sidoarjo, Jawa Timur termasuk kelompok tanah A-7 yaitu tanah berlempung. Sedangkan berdasarkan nilai batas plastisitasnya kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 yaitu :

Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5.

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

Sampel lumpur Lapindo mempunyai batas plastis (PL) sebesar 31,71%, sehingga tanah akan dikelompokkan lagi kedalam kelompok A-7-5.

Lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan (Hardiyatmo, H.C, 1955, Hal 45) :

$$GI = (F-35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad (3.1)$$

dengan :

GI = Indeks kelompok

F = Persentase butir yang lolos ayakan No. 200

LL = Batas cair

PI = Indeks plastisitas

Perhitungan Group Index dapat dilihat dibawah ini :

Diketahui :

F = 80,13 %

LL = 63,73%

PI = 32,02%

$$\begin{aligned} GI &= (80,13 - 35) [0,2 + 0,005(63,73 - 40)] + 0,01(80,13 - 15)(32,02 - 10) \\ &= 28,7223 \sim 29 \end{aligned}$$

6.2 Analisis Kuat Dukung Tanah Teori Terzaghi

Analisis daya dukung mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi struktur yang terletak diatasnya. Kapasitas dukung tanah dimana konstruksi diletakkan kapasitas daya dukung ini sangat ditentukan oleh :

- Jenis pondasi dangkal yang meliputi bentuk pondasi , dimensi, dan kedalaman pondasi.
- Sifat- sifat tanah dimana pondasi dangkal diletakkan dan terutama yang erat kaitannya dengan karakteristik indeks dan karakteristik struktur tanah yang meliputi antara lain :
 - γ (berat volume tanah)
 - c (kohesi tanah)
 - ϕ (sudut geser dalam tanah)

Untuk daya dukung nilai koefisien α dan β sangat berpengaruh pada bentuk pondasi, untuk pondasi bujur sangkar dengan keruntuhan geser general nilai untuk $\alpha = 1,3$ dan $\beta = 0,4$.

Pada analisis uji kuat dukung tanah pada pondasi dangkal dengan metode Terzaghi, dihasilkan beban (P) yang berbeda pada data hasil uji yang dipakai, antara pengujian Triaksial UU dan Tekan bebas. data yang dihasilkan dapat dilihat dibawah ini :

Pada data uji Triaksial :

$$q_u = 65,5250 \text{ t/m}^2$$

$$q_a = 21,8417 \text{ t/m}^2$$

$$q_n = 21,3743 \text{ t/m}^2$$

Pada data uji Tekan bebas :

$$q_u = 78,8545 \text{ t/m}^2$$

$$q_a = 26,2848 \text{ t/m}^2$$

$$q_n = 25,8174 \text{ t/m}^2$$

Hasil yang berbeda untuk beban (P), dengan lebar pondasi (B) = 2 m dan kedalaman pondasi (Df) = 1,5 m yang sama, untuk mencari daya dukung suatu pondasi sangat dipengaruhi oleh kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), berat volume tanah (γ), dan Nilai-nilai numerik dari N_γ , N_c , dan N_q sebagai faktor daya dukung, dan nilai α dan β sebagai nilai koefisien bentuk pondasi yang diinginkan.

Beban yang dihasilkan untuk Kapasitas dukung tanah berbeda, beban yang dihasilkan dari data uji Triaksial UU P sebesar 85,4971 ton lebih kecil dibanding dengan hasil data uji tekan bebas P sebesar 103,2697 ton.

6.3 Analisis Penurunan Konsolidasi

Dari hasil pengujian konsolidasi untuk lumpur Lapindo jenis *undisturbed* dengan kadar air 64,63% diperoleh penurunan terbesar pada pembebanan awal yaitu pada beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dengan penurunan rata-rata dari ketiga pengujian yaitu 0,288 mm.

Nilai C_v ditentukan dari waktu (t) terhadap pembacaan penurunan, untuk menghitung C_v bagi masing-masing tahap pembebanan dengan t 90 adalah waktu untuk mencapai konsolidasi 90 %, dengan kedudukan ini $T_v = 0,848$. Dari pengolahan data uji berdasarkan grafik C_v Vs P didapatkan nilai C_v rata-rata dari ketiga pengujian yaitu $0,0017 \text{ (cm}^2/\text{det)}$ pada beban P $0,50 \text{ kg/cm}^2$.

Dari pengolahan data uji berdasarkan grafik e Vs log P didapatkan nilai C_c maksimum sebesar 0,3623 terjadi pada pembebanan awal yaitu pada beban $1,00 \text{ kg/cm}^2$, maka diketahui jenis tanah adalah lempung lunak medium.

6.4 Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Dangkal Dengan Program Plaxis

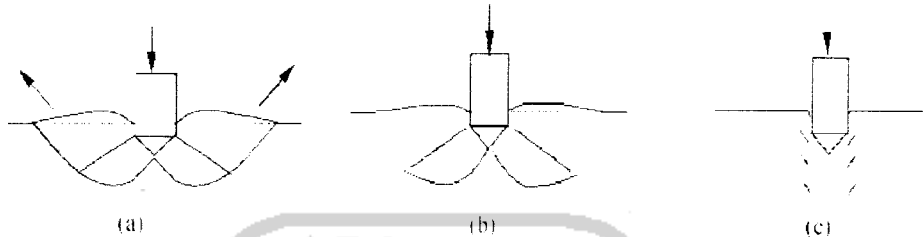
Dari data yang dimasukkan pada simulasi Plaxis dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 6.1 Data yang digunakan pada program Plaxis

Data	Nilai
Muka air tanah	0
γ_b (gr/cm ³)	1,7950
γ_d (gr/cm ³)	1,38160
Poison ratio (μ)	0,45
Modulus Young (Mpa)	10
Df (m)	1,5
Dimensi tanah, lebar (m)	30
Dimensi tanah, Tinggi (m)	20
Triaksial, sudut geser dalam(°)	14,2840
Triaksial, kohesi (t/m ²)	5,1333
Triaksial, beban P (ton)	85,4971
Tekan bebas, sudut geser dalam(°)	11,2879
Tekan bebas, kohesi (t/m ²)	7,0200
Tekan bebas, beban P (ton)	103,2697

6.4.1 Analisis Bidang Runtuh

Secara umum ada tiga kemungkinan pola bidang runtuh pada daya dukung tanah yaitu general shear failure, local shear failure, dan punching shear failure seperti terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 6.4 Tiga kondisi keruntuhan tanah (a) general shear failure, (b) local shear failure, (c) punching shear failure

Pada penelitian ini teori pendekatan yang dilakukan dalam analisis bidang runtuh adalah kondisi *local shear failure*, mengingat kondisi seperti ini sering terjadi pada tanah yang memiliki kompresibilitas yang tinggi dan penurunan yang relatif besar (pada tanah lunak). Keruntuhan secara umum tergantung pada kompresibilitasnya dan kedalaman pada pondasi relatif terhadap lebarnya. Pada penelitian ini tinjauan bidang runtuh dilihat dengan simulasi *software* Plaxis. Semakin melebar arah bidang runtuhnya, maka akan semakin kecil penurunan yang terjadi. Pada penelitian ini menunjukkan hasil penurunannya pada pembebanan 85,4971 ton adalah 2,42 m dan penurunan yang terjadi pada pembebanan 103,2697 ton adalah 2,60 m.

6.4.2 Analisis Distribusi Tegangan

Penelitian ini dicoba untuk melihat distribusi tegangan arah vertikal yang terjadi pada kedalaman 4 m dibawah pondasi dangkal, pada dua sampel uji. Dari hasil simulasi Plaxis didapatkan tegangan vertikal pada kedua beban diperoleh hasil yang sama dengan tegangan $3,773 \text{ kN/m}^2$.

6.4.3 Analisis Load Displacement

Secara umum analisis terhadap displacement pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan uji pembebanan yang dilakukan pada uji laboratorium dan analisis dengan simulasi plaxis. Dalam penelitian ini akan ditinjau displacement dengan beban 85,4971 ton dan 103,2697 ton. Pada kedua sampel ini akan dicoba melihat nilai displacementnya pada 1 ton, dari hasil yang didapat nilai displacement yang terbesar pada beban 103,2697 ton, pada tinjauan 1 ton displacementnya sebesar 0,34 m.



BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap lumpur Lapindo yang diambil dari Porong, Sidoarjo dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Lumpur Lapindo berwarna abu-abu tua, berbentuk butiran sangat halus banyak mengandung air dan sedikit pasir. Berdasarkan Sistem klasifikasi tanah AASHTO, lumpur Lapindo termasuk jenis tanah berlanau kelompok A-7-5 (29). Sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi tanah USCS termasuk tanah Lanau berlempung (*Clay Silt*), berdasarkan klasifikasi *Unified* termasuk pada kelompok MH dengan nama lanau anorganik.
2. Penurunan yang terjadi di bawah pondasi, berdasarkan program Plaxis adalah hasil penurunannya pada pembebanan 85,4971 ton adalah 2,42 m dan penurunan yang terjadi pada pembebanan 103,2697 ton adalah 2,60 m. Kapasitas dukung tanah berdasarkan uji Tekan bebas tanah asli di dapat q_u sebesar $q_u = 78.8545 \text{ t/m}^2$, sedangkan dari uji Triaksial UU q_u tanah asli $q_u = 65,5250 \text{ t/m}^2$.

7.2 SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan program komputer sejenis seperti Geo Slope untuk menganalisa daya dukung pondasi dangkal.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih komplit dengan pembebanan yang bervariasi, variasi jenis-jenis tanah. Seperti penambahan lapis pasir.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E, 1986, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, Joseph E, 1991, Analisis dan Desain Pondasi, Erlangga, Jakarta.
- Braja M Das, 1994, Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid II, Erlangga, Jakarta.
- Dwi Nurhantanti, 2006, Studi Eksperimental Pengaruh Pencampuran Portland Semen Pada Tanah Dasar Terhadap Dimensi Pondasi Berdasarkan Kuat Dukung Metode Terzaghi.
- Fondasi Dangkal Dan Fondasi Dalam, Rekayasa Fundasi II, 1997, Gunadarma, Jakarta.
- H.C Hardiyatmo, 1996, Teknik Pondasi 1, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- H.C Hardiyatmo, 1955, Mekanika tanah 1, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- H.C Hardiyatmo, 2002, Teknik Pondasi 1 dan Teknik Pondasi 2, Beta Offset, Yogyakarta.
- Muhammad Fajar Shodiq, 2006, Tinjauan Terhadap Distribusi Tegangan Pada Tanah Lempung Lunak Di Bawah Pondasi Dangkal Dengan Pemberian Lapis Pasir
- Terzaghi, Karl dan B. Peck, Ralph, 1987, Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid I dan Jilid II, Erlangga, Jakarta.

Wahid Supriadi dan Sandra Ciptadi, 2005, Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Kapur Tumbuk Dan Kapur Bakar Untuk Pondasi Dangkal.

Wesley, L.D, 1977, Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.



LAMPIRAN



PERNYATAAN BEBAS PLAGIATISME

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar kesarjanaan di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, saya sanggup menerima sanksi apapun sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta: juli 2007

Penyusun


Arsyi Wifarsy





Kadar Air

PROYEK : Tugas Akhir Tanggal : 27 Januari 2007
Asal Sampel : Porong, Sidoarjo, Jawa Timur by : Arsyi Winarsy

No	No. Pengujian		1	2	3
1	Berat cawan kosong (W_1)	gram	21.66	22.04	22.36
2	Berat cawan + tanah basah (W_2)	gram	43.21	42.37	43.69
3	Berat cawan + tanah kering (W_3)	Gram	37.25	37.84	36.48
4	Berat air ($W_2 - W_3$)	%	5.96	4.31	7.21
5	Berat tanah kering ($W_3 - W_1$)	Gram	15.59	15.80	124.12
6	Kadar air (W)	$\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$	38.23	27.28	51.06
7	Kadar air rata-rata (W_n)	%		38.86	

Yogyakarta : January 2007


Dr Ir Edy Purwanto CES DEA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

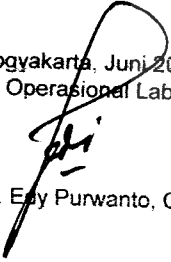
BERAT VOLUME TANAH

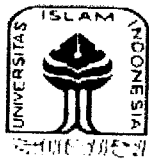
Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : Porong, Sidoarjo
Kedalaman : 1 Meter

Dikerjakan : Arsyi Winarsy
Tanggal : Jan-07

NO	NO. PENGUJIAN		I	II	III
1	Diameter ring	(d) cm	6,4	6,4	3,9
2	Tinggi Ring	(t) cm	2,2	2,2	2,2
3	Volume ring	(V) cm ³	70,74	70,74	70,74
4	Berat ring	(W1) gram	68,94	68,94	68,94
5	Berat ring + tanah	(W2) gram	190,8	185,97	190,21
6	Berat tanah	(W2-W1) gram	121,86	117,03	121,27
7	Berat Volume Tanah	$(\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram / cm}^3$	1,72	1,65	1,71
8	Berat Volume Rata - Rata	(γ_n)	1,70		

Yogyakarta, Juni 2007
Kepala Operasional Laboratorium


DR. Ir. Epy Purwanto, CES. DEA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
Jalan Kaliurang Km. 14,4 Telp. (0274) 895042 Fax. (0274) 895330 Yogyakarta

PENGUJIAN BERAT JENIS TANAH

Lokasi : LAPINDO PORONG BRANTAS

Dikerjakan : Arsy Winarsy

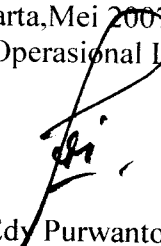
No. Titik :

Tanggal : Januari 2007

Kedalaman : 1 M

1	No. Pengujian		I	II	III	IV	V
2	Berat piknometer kosong	(W ₁) gram	20,1	29,47	30,06	17,2	18,03
3	Berat piknometer + tanah kering	(W ₂) gram	30,54	39,08	44,3	27,23	24,47
4	Berat piknometer + tanah + air	(W ₃) gram	75,53	84,48	88	46,38	46,89
5	Berat piknometer + air	(W ₄) gram	69,07	78,52	79,15	40,21	42,88
6	Temperatur	(t °)	26	26	26	26	26
7	BJ pada temperatur (t °)		0,99682	0,99682	0,99682	0,99682	0,99682
8	BJ pada temperatur (27,5 °)		0,99641	0,99641	0,99641	0,99641	0,99641
9	Berat jenis tanah G _s (t °) = $\frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$		2,62	2,63	2,64	2,60	2,65
10	Berat jenis tanah pada 27,5 ° = $G_s(t^\circ) \frac{B_j \text{ air } t^\circ}{B_j \text{ air } 27,5^\circ}$		2,62	2,63	2,64	2,60	2,65
11	Berat jenis rata-rata	G _s it	2,63				

Yogyakarta, Mei 2007
Kepala Operasional Laboratorium

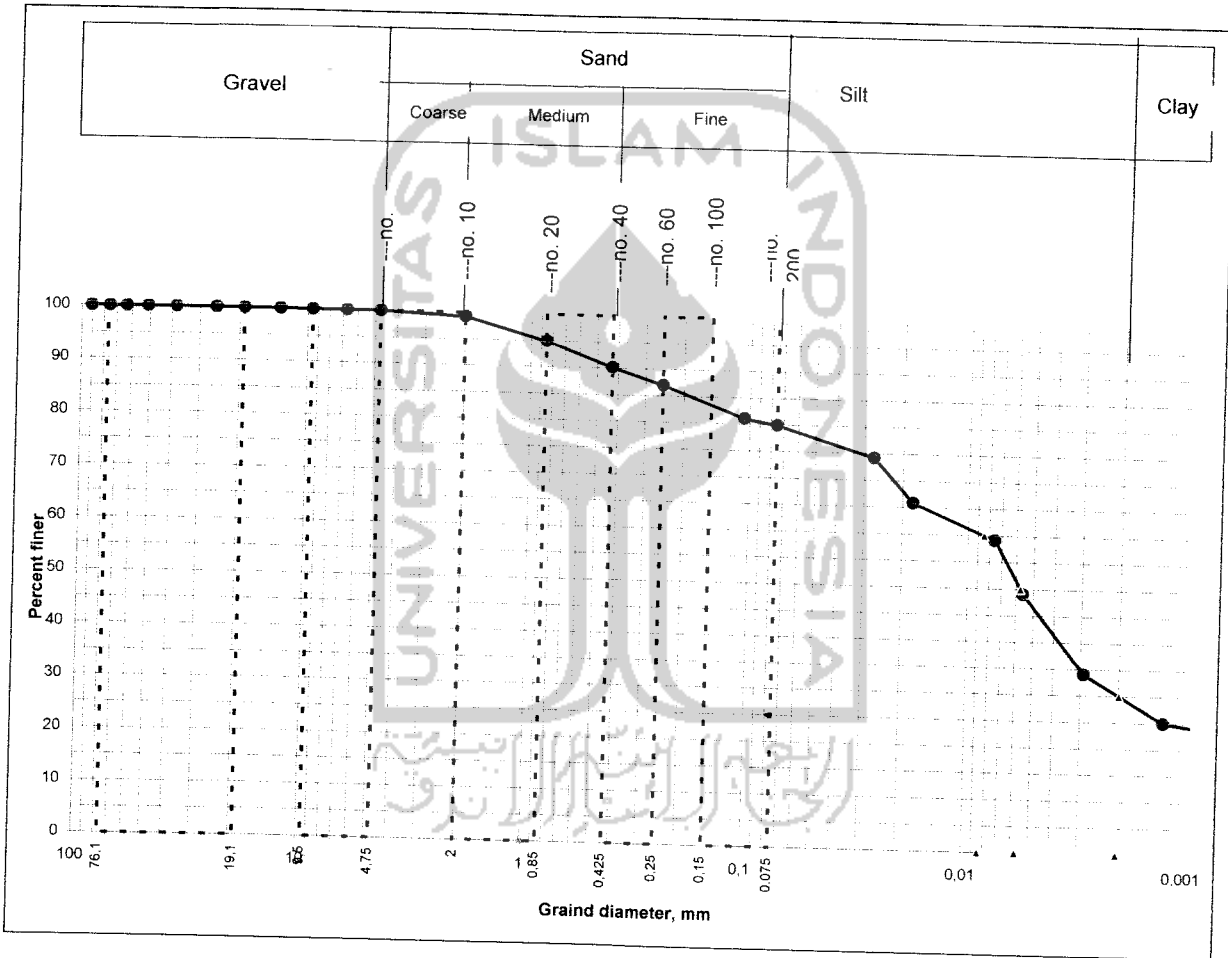

DR. Ir. Edy Purwanto, CES. DEA



SOIL MECHANIC LABORATORY
FACULTY OF ENGINEERING AND PLANNING
INDONESIAN ISLAMIC UNIVERSITY

GRAIN SIZE ANALYSIS
ASTM D1140 - 54

Project : Tugas Akhir
 Location : Porong, sidoarjo, Jawa Timur
 Sample no. : 1
 Depth : -
 Kode : 1
 Tested by : Arsyi Winarsy
 Date : Mei 2007
 Berat jenis : 2,63



Finer # 200	79,87 %	D10 (mm)	0,000004
		D30 (mm)	0,00199
Gravel	0,00 %	D60 (mm)	0,00847
Sand	20,13 %	Cu = D60/D10	1933,840
Silt	49,87 %	Cc = D30 ² / (D10xD60)	455,384
Clay	30,00 %	D50(mm)	0,006

Yogyakarta : Mei 2007

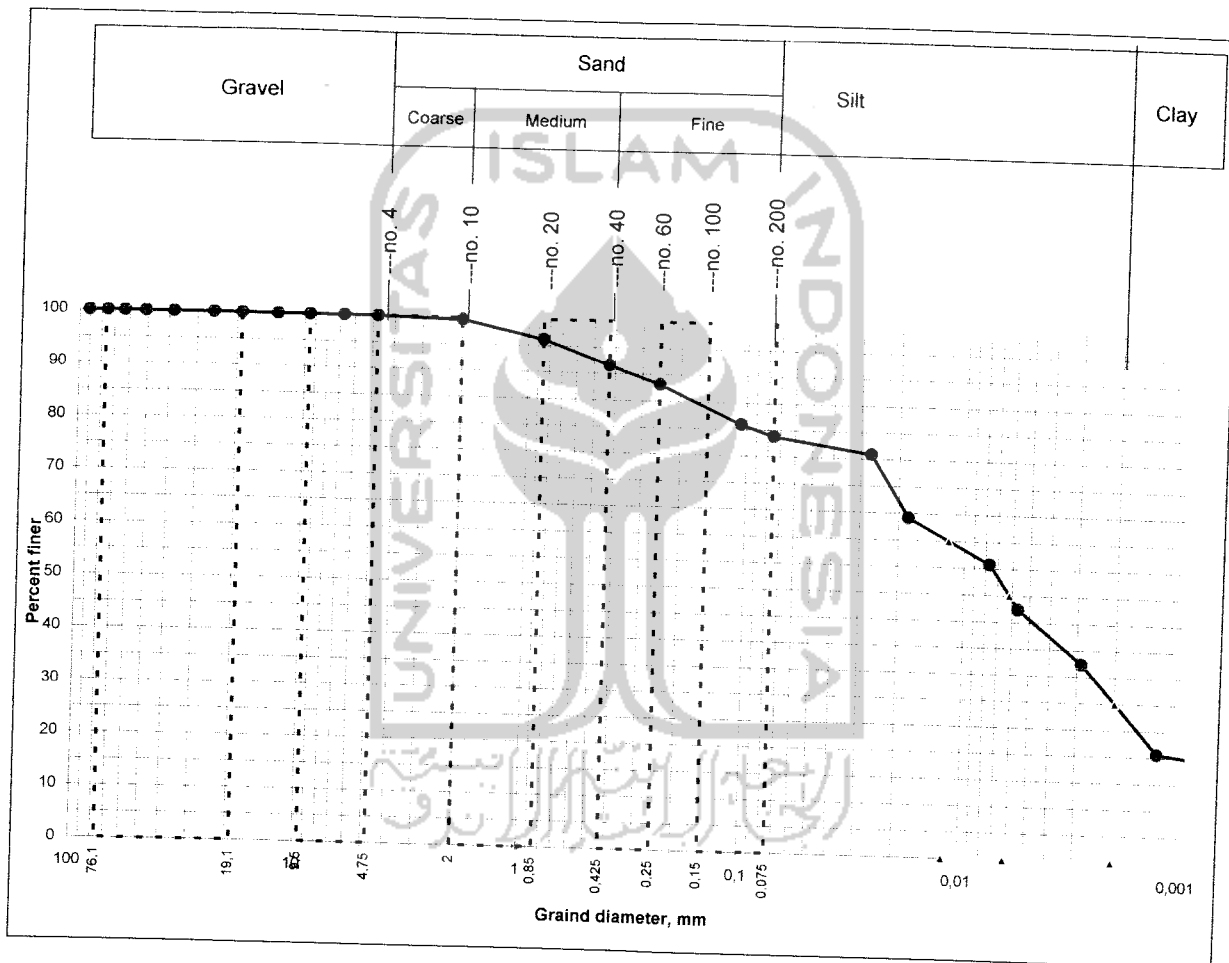
Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



SOIL MECHANIC LABORATORY
FACULTY OF ENGINEERING AND PLANNING
INDONESIAN ISLAMIC UNIVERSITY

GRAIN SIZE ANALYSIS
ASTM D1140 - 54

Project : Tugas Akhir
 Location : Porong, sidoarjo, Jawa Timur
 Sample no. : 1
 Depth : -
 Kode : 1
 Tested by : Arsyi Winarsy
 Date : Mei 2007
 Berat jenis : 2,63



Finer # 200	78,80 %	D10 (mm)	0,000010
		D30 (mm)	0,00200
Gravel	0,00 %	D60 (mm)	0,01183
Sand	21,20 %	$C_u = D_{60}/D_{10}$	1206,331
Silt	48,80 %	$C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$	203,781
Clay	30,00 %	D50(mm)	0,006

Yogyakarta : Mei 2007

Dr. Ir. Eddy Purwanto, DEA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707, Fax (0274) 895330. Jogjakarta.

PENGUJIAN BATAS CAIR

PROYEK : Tugas Akhir
 LOKASI : Lapindo,porong,sidoarjo,jatim

Tanggal 22/01/2007
 Dikerjakan Arsyi Winarsy

NO	NO. PENGUJIAN	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	NO CAWAN								
2	Berat cawan kosong	22,24	22,17	21,97	22,24	21,64	22,05	21,88	21,72
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	29,99	33,76	35,02	36,85	33,67	35,22	29,96	33,31
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	26,96	29,18	30,06	31,27	29,10	30,20	26,90	28,96
5	Berat air (3) - (4)	3,03	4,58	4,96	5,58	4,57	5,02	3,06	4,35
6	Berat tanah kering (4) - (2)	4,72	7,01	8,09	9,03	7,46	8,15	5,02	7,24
7	KADAR AIR = $\frac{(5)}{(6)} \times 100 \% =$	64,26	65,34	61,31	61,79	61,26	61,60	60,96	60,08
8	KADAR AIR RATA-RATA =		64,80		61,55		61,43		60,52
9	PUKULAN		22		32		34		39

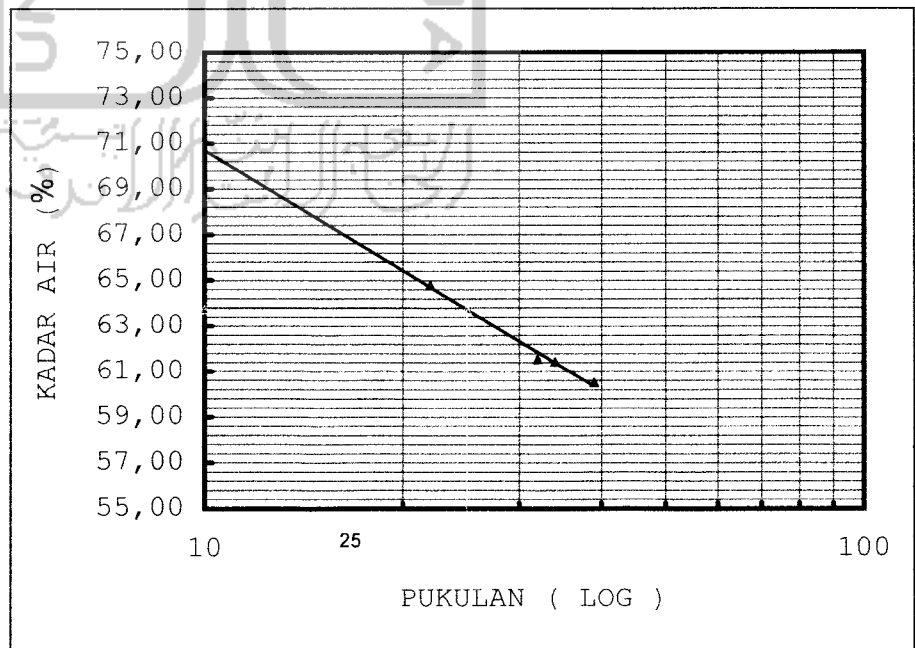
PENGUJIAN BATAS PLASTIS

NO	NO. PENGUJIAN	I		II	
		1	2	3	4
1	NO CAWAN				
2	BERAT CAWAN KOSONG	21,66	21,88		
3	BERAT CAWAN + TANAH BASAH	35,57	35,63		
4	BERAT CAWAN + TANAH KERING	32,21	32,33		
5	BERAT AIR (3)-(4)	3,36	3,30		
6	BERAT TANAH KERING (4)-(2)	10,55	10,45		
7	KADAR AIR = $\frac{(5)}{(6)} \times 100 \% =$	31,85	31,58		
8	KADAR AIR RATA-RATA =		31,71		

KESIMPULAN
 FLOW INDEX : 7,080
 BATAS CAIR : 63,73
 BATAS PLASTIS : 31,71
 INDEX PLASTISITAS : 32,02

Mengetahui
 Kepala Laboratorium

DR. I. Edy Purwanto, CES. DEA





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PEMADATAN TANAH
Proctor test

PROYEK : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Lapindo, porong, Sidoarjo, Jawa Timur
 NO Sampel : 1
 DIKERJAKAN : Arsyi Winarsy
 TANGGAL : Maret 2007

Tipe Pemadatan : Standart Tipe A

DATA SILINDER		
1	Diameter (ϕ) cm	10,19
2	Tinggi (H) cm	11,7
3	Volume (V) cm ³	954,17
4	Berat gram	1760
DATA PENUMBUK		
1	Berat (kg)	2,505
2	Jumlah lapis	3
3	Jumlah tumbukan /lapis	25
4	Tinggi jatuh (cm)	30,48

Data Tanah	
Jenis tanah	: asli 2
Berat Jenis	: 2,63

PENAMBAHAN AIR

1	Berat tanah absah gram	2000	2000	2000	2000	2000
2	Kadar air mula-mula %	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
3	Penambahan air %	5	10	15	20	25
4	Penambahan air ml	100	200	300	400	500

PENGUJIAN PEMADATAN SILINDER (BERAT VOLUME TANAH, γ)

1	Nomor pengujian	1	2	3	4	5
2	Berat silinder + tanah padat gram	3380	3470	3521	3482	3453
3	Berat tanah padat gram	1620	1710	1761	1722	1693
4	Berat volume tanah gr/cm ³	1,698	1,792	1,846	1,805	1,774

PENGUJIAN KADAR AIR, w

1	NOMOR PERCOBAAN	1		2		3		4		5	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
2	Nomor cawan										
3	Berat cawan kosong gram	22,00	21,92	21,98	21,95	21,48	22,10	21,60	21,73	21,94	21,88
4	Berat cawan + tanah basah gram	47,10	61,45	37,21	37,83	32,15	33,30	35,57	31,81	38,72	44,06
5	Berat cawan + tanah kering gram	42,15	54,03	34,13	34,48	29,50	30,55	31,94	29,13	34,09	37,87
8	Kadar air = w %	24,57	23,11	25,35	26,74	33,04	32,54	35,11	36,22	38,11	38,71
9	Kadar air rata-rata	23,84		26,04		32,79		35,66		38,41	
10	Berat volume tanah kering gr/cm ³	1,371		1,422		1,390		1,330		1,282	

BERAT VOLUME KERING
MAKSIMUM (gr/cm³)
1,428
KADAR AIR OPTIMUM (%)
27,99



Mengetahui,
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PEMADATAN TANAH
Proctor test

PROYEK : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Lapindo, porong, Sidoarjo, Jawa Timur
 NO Sampel : 1
 DIKERJAKAN : Arsyi Winarsy
 TANGGAL : Maret 2007

Tipe Pemadatan : Standart Tipe A

Data Tanah	
Jenis tanah	asli 3
Berat Jenis	2.63

DATA SILINDER		
1	Diameter (ϕ) cm	10,19
2	Tinggi (H) cm	11,7
3	Volume (V) cm ³	954,17
4	Berat gram	1760

DATA PENUMBUK		
1	Berat (kg)	2,505
2	Jumlah lapis	3
3	Jumlah tumbukan /lapis	25
4	Tinggi jatuh (cm)	30,48

PENAMBAHAN AIR

1	Berat tanah absah	gram	2000	2000	2000	2000	2000
2	Kadar air mula-mula	%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
3	Penambahan air	%	5	10	15	20	25
4	Penambahan air	ml	100	200	300	400	500

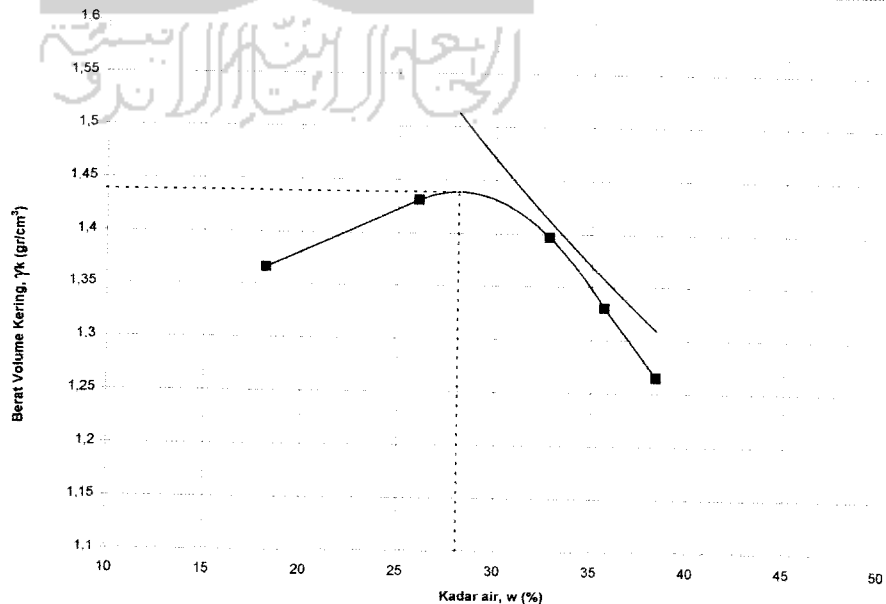
PENGUJIAN PEMADATAN SILINDER (BERAT VOLUME TANAH, γ)

1	Nomor pengujian	1	2	3	4	5	
2	Berat silinder + tanah padat	gram	3397	3481	3530	3482	3473
3	Berat tanah padat	gram	1637	1721	1770	1722	1713
4	Berat volume tanah	gr/cm ³	1,716	1,804	1,855	1,805	1,795

PENGUJIAN KADAR AIR, w

1	NOMOR PERCOBAAN	1		2		3		4		5		
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
2	Nomor cawan											
3	Berat cawan kosong	gram	22,00	21,92	21,98	21,95	21,48	22,10	21,60	21,73	21,94	21,88
4	Berat cawan + tanah basah	gram	48,14	62,51	37,21	37,83	32,15	33,30	35,57	31,81	38,79	44,01
5	Berat cawan + tanah kering	gram	44,15	56,22	34,13	34,48	29,50	30,55	31,94	29,13	34,16	37,82
8	Kadar air = w	%	18,01	18,34	25,35	26,74	33,04	32,54	35,11	36,22	37,89	38,83
9	Kadar air rata-rata		18,18		26,04		32,79		35,66		38,36	
10	Berat volume tanah kering	gr/cm ³	1,452		1,431		1,397		1,330		1,298	

BERAT VOLUME KERING
MAKSIMUM (gr/cm³)
1,439
KADAR AIR OPTIMUM (%)
28,08



Mengetahui,
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Rody Purwanto, DEA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UII
 Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042 Yogyakarta 55584.

PEMADATAN TANAH
Proctor test

PROYEK : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Lapindo, porong, Sidoarjo, Jawa Timur
 NO Sampel : 1
 DIKERJAKAN : Arsyi Winarsy
 TANGGAL : 17 April 2007

Tipe Pemadatan : Standart Tipe A

DATA SILINDER		
1	Diameter (ϕ) cm	10,19
2	Tinggi (H) cm	11,7
3	Volume (V) cm ³	954,17
4	Berat gram	1760
DATA PENUMBUK		
1	Berat (kg)	2,505
2	Jumlah lapis	3
3	Jumlah tumbukan /lapis	25
4	Tinggi jatuh (cm)	30,48

Data Tanah

Jenis tanah : asli 1

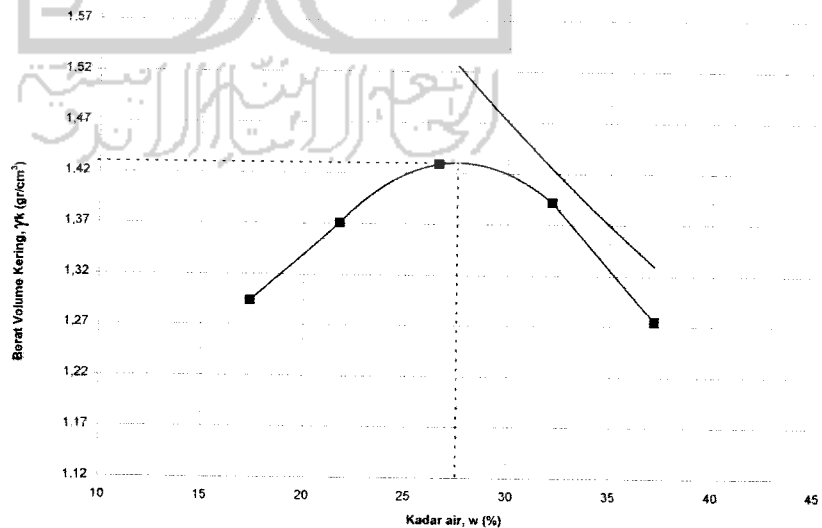
Berat Jenis : 2,63

PENAMBAHAN AIR						
1	Berat tanah absah	gram	2000	2000	2000	2000
2	Kadar air mula-mula	%	12,47	12,47	12,47	12,47
3	Penambahan air	%	5	10	15	20
4	Penambahan air	ml	100	200	300	400

PENGUJIAN PEMADATAN SILINDER (BERAT VOLUME TANAH, γ)						
1	Nomor pengujian		1	2	3	4
2	Berat silinder + tanah padat	gram	3280	3353	3486	3515
3	Berat tanah padat	gram	1520	1593	1726	1755
4	Berat volume tanah	gr/cm ³	1,593	1,670	1,809	1,839

PENGUJIAN KADAR AIR, w										
1	NOMOR PERCOBAAN		1	2	3	4	5			
2	Nomor cawan		a	b	a	b	a	b	a	b
3	Berat cawan kosong	gram	21,90	21,92	21,61	21,93	21,90	21,88	21,80	21,84
4	Berat cawan + tanah basah	gram	46,14	60,49	37,36	40,50	38,99	45,53	36,50	45,30
5	Berat cawan + tanah kering	gram	42,53	54,80	34,52	37,21	35,40	40,56	32,98	39,50
8	Kadar air = w	%	17,50	17,31	22,00	21,53	26,59	26,61	31,48	32,84
9	Kadar air rata-rata		17,40		21,76		26,60		32,16	37,17
10	Berat volume tanah kering	gr/cm ³	1,357		1,371		1,429		1,392	1,302

BERAT VOLUME KERING
MAKSIMUM (gr/cm³)
1,430
KADAR AIR OPTIMUM (%)
27,52



Mengetahui,
 Kepala Laboratorium

 Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

COMPRESSION TEST

Keterangan : Tugas Akhir
Location : LAPINDO PORONG SIDOARJO
Boring No. :
Depth : 1.00 meter

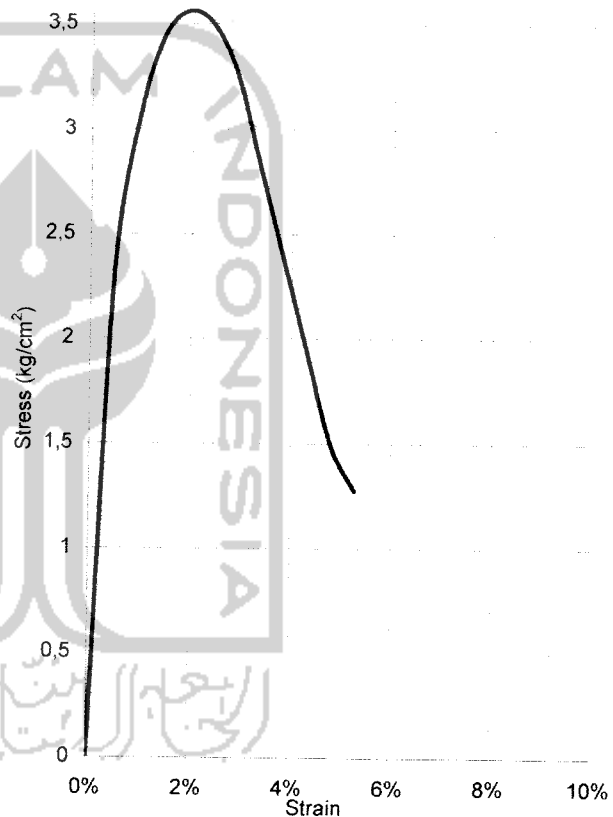
Date : Maret 2007
Tested by : Arsyi winarsy
Kode : a
jenis : asli

Sample data	
diam (cm)	3,8
Area (cm ²)	11,3411
Ht,Lo (cm)	7,3
Vol (cm ³)	82,7484
Wt (gr)	153,39
Wet Unit wt (gr/cm ³)	1,85
Dry Unit wt (gr/cm ³)	1,63531

Water Content		
Wt Container (cup), gr	21,97	21,42
Wt of Cup + Wet soil, gr	45,270	41,82
Wt of Cup + Dry soil, gr	42,51	39,43
Water Content %	13,44	13,27
Average water content %	13,354	

LRC = 0,5083 kg/div

Deformation dial rading (x 10 ⁻²)	Load dial (unit)	Unit Strain (ΔL/Lo)	Total load on sample (kg)	Sample stress (kg/cm ²)
0	0	0,00%	0	0
35	52	0,48%	26,4316	2,319419
70	69	0,96%	35,0727	3,062863
105	78	1,44%	39,6474	3,445606
140	81	1,92%	41,1723	3,560723
175	80	2,40%	40,664	3,499573
210	75	2,88%	38,1225	3,264733
245	65	3,36%	33,0395	2,815468
280	55	3,84%	27,9565	2,3705
315	45	4,32%	22,8735	1,92983
350	35	4,79%	17,7905	1,493458
385	30	5,27%	15,249	1,27366
420	28	5,75%	14,2324	1,182733
455		6,23%	0	0
490		6,71%	0	0
525		7,19%	0	0
560		7,67%	0	0
595		8,15%	0	0
630		8,63%	0	0
665		9,11%	0	0
700		9,59%	0	0
735		10,07%	0	0
770		10,55%	0	0
805		11,03%	0	0
840		11,51%	0	0
875		11,99%	0	0
910		12,47%	0	0
945		12,95%	0	0
980		13,42%	0	0
1015		13,90%	0	0



qu =	3,56072 kg/cm ²
α =	52 °
Angle Of internal friction, φ =	14 °
Cohesion =	1,391 kg/cm ²

Yogyakarta, Juni 2007

DR. Ir. Eddy Purwanto, CES. DEA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

COMPRESSION TEST

Keterangan : Tugas Akhir
Location : LAPINDO PORONG SIDOARJO
Boring No. :
Depth : 1.00 meter

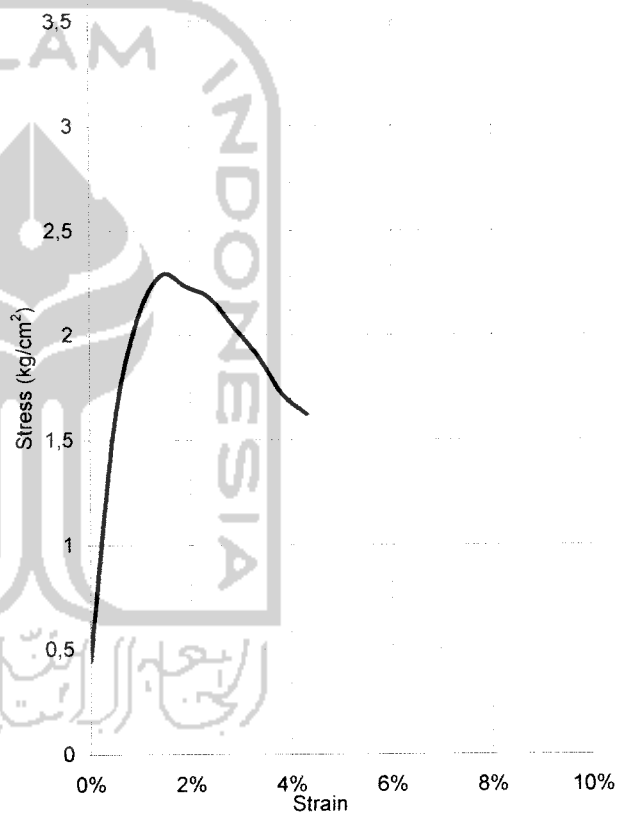
Date : Maret 2007
Tested by : Arsyi winarsy
Kode : a
jenis : asli

Sample data	
diam (cm)	3,8
Area (cm ²)	11,3411
Ht,Lo (cm)	7,3
Vol (cm ³)	82,7484
Wt (gr)	154,16
Wet Unit wt (gr/cm ³)	1,86
Dry Unit wt (gr/cm ³)	1,64352

Water Content		
Wt Container (cup), gr	21,97	21,42
Wt of Cup + Wet soil, gr	45,270	41,82
Wt of Cup + Dry soil, gr	42,51	39,43
Water Content %	13,44	13,27
Average water content %	13,354	

LRC = 0,5083 kg/div

Deformation dial rading (x 10 ²)	Load dial (unit)	Unit Strain ($\Delta L/L_0$)	Total load on sample (kg)	Sample stress (kg/cm ²)
0	2	0,00%	1,0166	0,089638
35	10	0,48%	5,083	0,446042
70	35	0,96%	17,7905	1,553626
105	47	1,44%	23,8901	2,076198
140	52	1,92%	26,4316	2,285896
175	51	2,40%	25,9233	2,230978
210	50	2,88%	25,415	2,176489
245	47	3,36%	23,8901	2,0358
280	44	3,84%	22,3652	1,8964
315	40	4,32%	20,332	1,715405
350	38	4,79%	19,3154	1,621469
385		5,27%	0	0
420		5,75%	0	0
455		6,23%	0	0
490		6,71%	0	0
525		7,19%	0	0
560		7,67%	0	0
595		8,15%	0	0
630		8,63%	0	0
665		9,11%	0	0
700		9,59%	0	0
735		10,07%	0	0
770		10,55%	0	0
805		11,03%	0	0
840		11,51%	0	0
875		11,99%	0	0
910		12,47%	0	0
945		12,95%	0	0
980		13,42%	0	0
1015		13,90%	0	0



qu = 2,28590 kg/cm²
 α = 55 °
 Angle Of Internal friction, ϕ = 20 °
 Cohesion = 0,800 kg/cm²

Yogyakarta, Juni 2007

DR. Ir. Edy Purwanto, CES. DEA



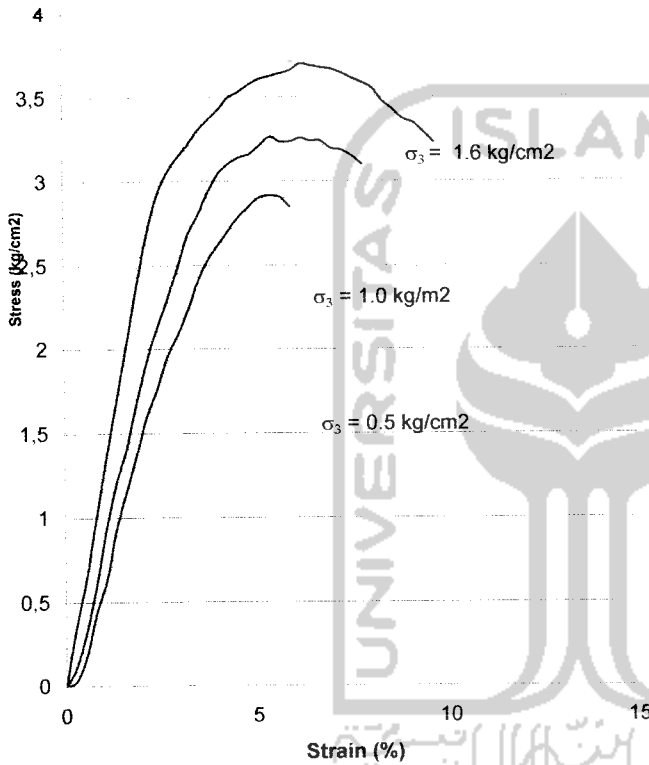
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584.

TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULT
UNCONSOLIDATED UNDRAINED (TXUU)

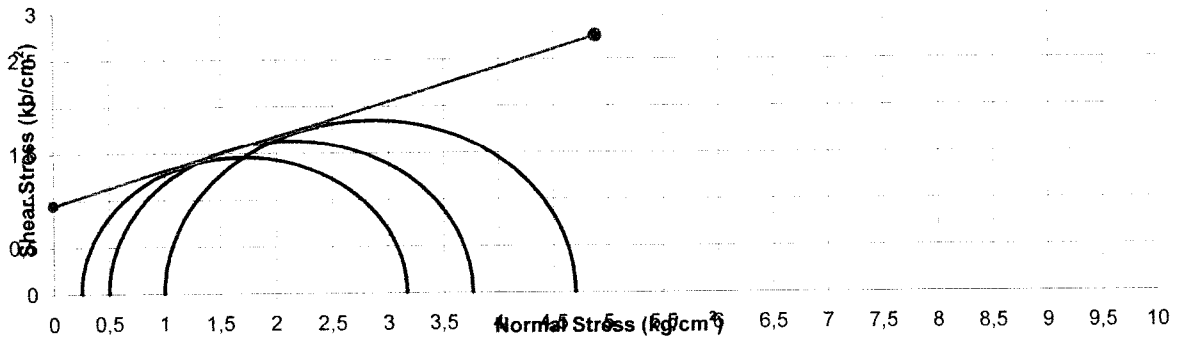
Project : Tugas Akhir
 Location : Lapindo
 Description of sc -

Sample No. : Undisturbed I
 Date : Maret 2007
 Tested by : Arsyi winarsy



Piece No :	1	2	3
H cm	7,5	7,5	7,5
D cm	3,8	3,8	3,8
A cm ²	11,34	11,34	11,34
V cm ³	85,06	85,06	85,06
Wt gram	157,14	157,29	152,53
Water Content			
Wt Container (cup), gr	8,75	9,08	
Wt of Cup + Wet soil, gr	29,83	34,45	
Wt of Cup + Dry soil, gr	22,71	25,90	
Water Content %	51,00	50,83	
Average water content %	50,92		
γ_b gram/cm ³	1,8474318	1,8491953	1,7932339
γ_d gram/cm ³	1,2241327	1,2253012	1,1882205

σ_3	0,250	0,500	1,000
$\Delta\sigma = P/A$	2,913	3,261	3,697
$\sigma_1 = \Delta\sigma + \sigma_3$	3,163	3,761	4,697
$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$	1,706	2,131	2,848
$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$	1,456	1,631	1,848
Angle of shearing resistance (ϕ)	20,209		
Apperen cohesion (kg/cm ²)	0,940		



Mengetahui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



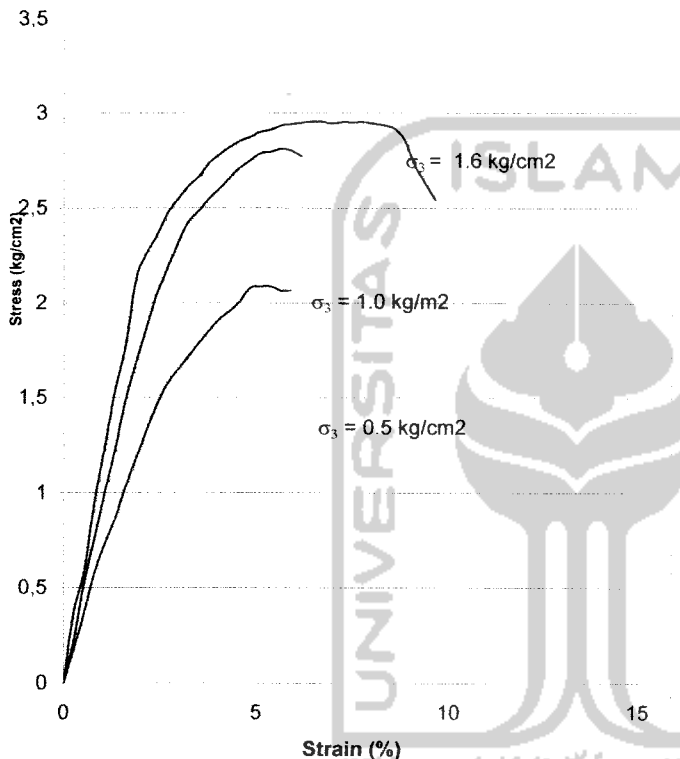
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584.

TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULT
UNCONSOLIDATED UNDRAINED (TXUU)

Project : Tugas Akhir
 Location : Lapindo
 Description of sc : -

Sample No. : Undisturbed I
 Date : Maret 2007
 Tested by : Arsyi winarsy

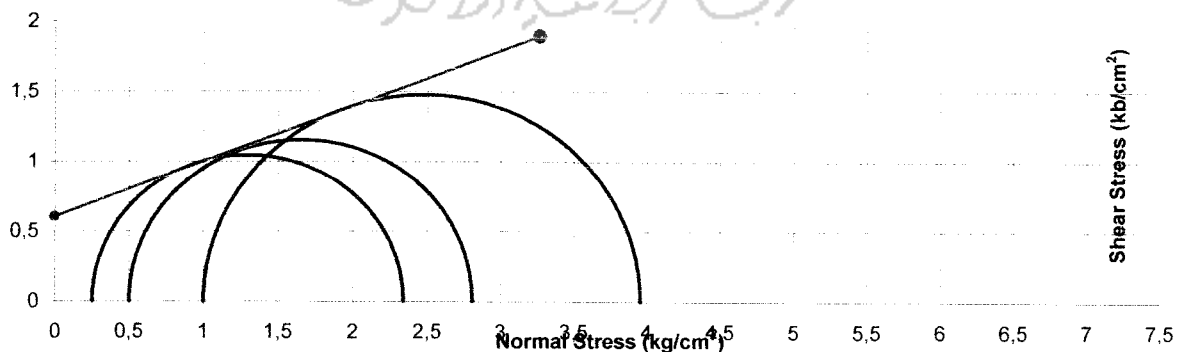


Piece No :	1	2	3
H cm	7,5	7,5	7,5
D cm	3,8	3,8	3,8
A cm ²	11,34	11,34	11,34
V cm ³	85,06	85,06	85,06
Wt gram	154,66	152,84	154,62

Water Content		
Wt Container (cup), gr	8,75	9,08
Wt of Cup + Wet soil, gr	29,83	34,45
Wt of Cup + Dry soil, gr	22,71	25,90
Water Content %	51,00	50,83
Average water content %	50,92	

γ_b gram/cm ³	1,8182754	1,7968784	1,8178052
γ_k gram/cm ³	1,2048133	1,1906354	1,2045017

σ_3	0,250	0,500	1,000
$\Delta\sigma = P/A$	2,088	2,306	2,955
$\sigma_1 = \Delta\sigma + \sigma_3$	2,338	2,806	3,955
$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$	1,294	1,653	2,478
$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$	1,044	1,153	1,478
Angle of shearing resistance (o)	21,592		
Apperen cohesion (kg/cm ²)	0,600		



Mengetahui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



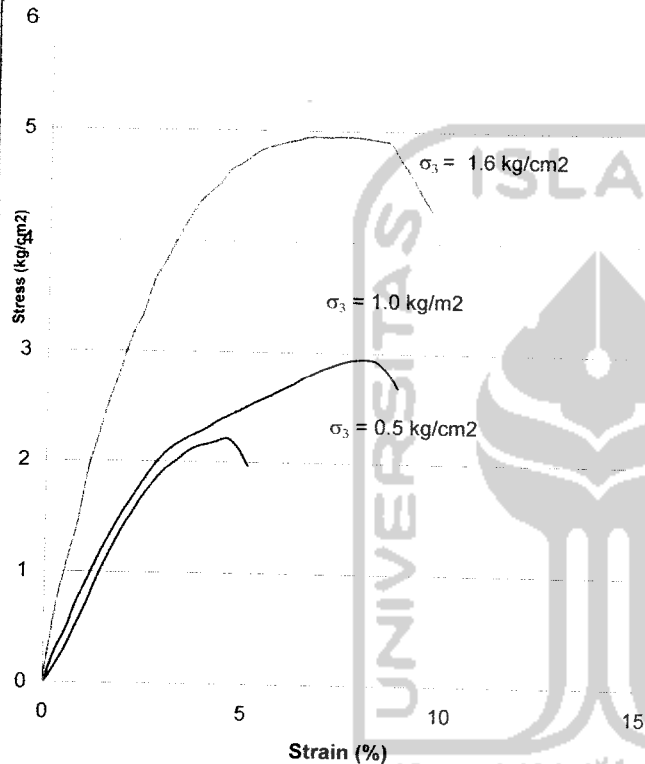
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang KM. 14,4 Telp. (0274) 895042, 895707 fax 895330 Yogyakarta 55584.

TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULT
UNCONSOLIDATED UNDRAINED (TXUU)

Project : Tugas Akhir
 Location : Lapindo
 Description of soil : -

Sample No. : Undisturbed I
 Date : Maret 2004
 Tested by : Arsyi winarsy

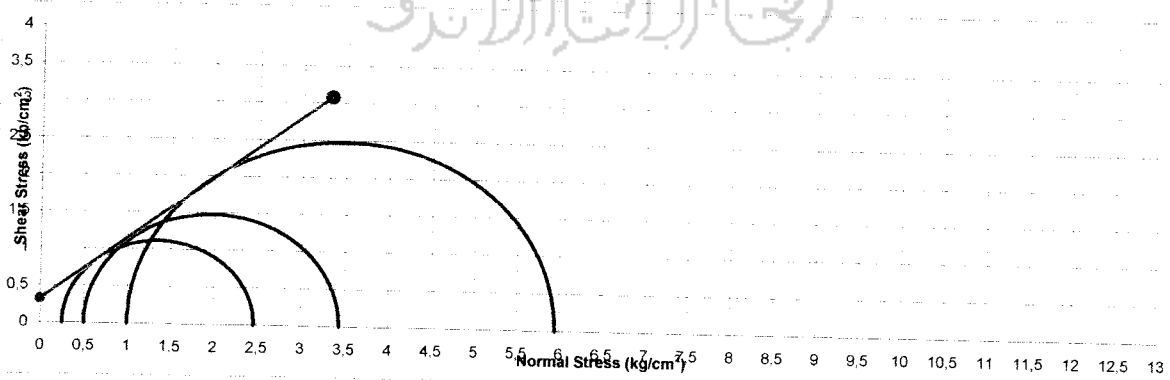


Piece No :	1	2	3
H cm	7,5	7,5	7,5
D cm	3,8	3,8	3,8
A cm ²	11,34	11,34	11,34
V cm ³	85,06	85,06	85,06
Wt gram	157,36	152,52	155,20

Water Content		
Wt Container (cup), gr	8,75	9,08
Wt of Cup + Wet soil, gr	29,83	34,45
Wt of Cup + Dry soil, gr	22,71	25,90
Water Content %	51,00	50,83
Average water content %	50,92	

γ _d gram/cm ³	1,8500182	1,7931163	1,824624
γ _d gram/cm ³	1,2258465	1,1881426	1,20902

σ ₃	0,250	0,500	1,000
Δσ = P/A	2,214	2,940	4,947
σ ₁ = Δσ + σ ₃	2,464	3,440	5,947
(σ ₁ + σ ₃)/2	1,357	1,970	3,473
(σ ₁ - σ ₃)/2	1,107	1,470	2,473
Angle of shearing resistance (φ)	39,572		
Apperren cohesion (kg/cm ²)	0,313		



Mengetahui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA

GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Tugas Akhir Tested by : Arsyi Winarsy
 Sample no : 1 Date : Mei 2007
 Depth : 1.25 m Location : Porong, sidoarjo, Jawa Timur
 Kode : 1 :

Soil sample (disturbed/undisturbed)

Mass of soil = 60 gr Hydromoter type = 152 H
 Specific Gravity, Gs = 2,630 Hydr. Correction, a = 1,005
 $K_2 = a/W \times 100 = 1,67438$ Meniscus correction, m = 1

Sieve Analysis

Sieve No	Opening (mm)	Mass retained (gr)	Mass passed (gr)	% finer by mass $e/W \times 100\%$	Remarks
	90	0	60,00	100,00	
	75	0	60,00	100,00	
	63	0	60,00	100,00	
	50,8	0	60,00	100,00	
	38,1	0	60,00	100,00	
1	25,4	0	60,00	100,00	
3/4	19		e1 = 60,00	100,00	
	13,2		e2 = 60,00	100,00	
3/8	9,5		e3 = 60,00	100,00	
1/4	6,7		e4 = 60,00	100,00	
4	4,750	d1 =	e5 = 60,00	100,00	e7 = W - Sd
10	2,000	d2 =	e6 = 59,79	99,65	e6 = d7 + e7
20	0,850	d3 =	e7 = 57,72	96,20	e5 = d6 + e6
40	0,425	d4 =	e9 = 54,92	91,53	e4 = d5 + e5
60	0,250	d5 =	e10 = 52,86	88,10	e3 = d4 + e4
140	0,106	d6 =	e11 = 48,54	80,90	e2 = d3 + e3
200	0,075	d7 =	e12 = 47,28	78,80	e1 = d2 + e2
		Sd =			

Hidrometer Analysis

Time	elapsed time min. T	R1	R2	t	R' = R1 + m	L	K	D (mm)	Rc = R1-R2+Cr	P = K2 x R (%)
	2		-2,0		43	9,254	0,0125	0,026941	45,3	75,85
	5		-2,0		36	10,401	0,0125	0,018063	38,3	64,13
	30		-2,0		31	11,219	0,0125	0,007659	33,3	55,76
	60		-2,0		26	12,038	0,0125	0,00561	28,3	47,39
	250		-2,0		20	13,020	0,0125	0,002858	22,3	37,34
	1440		-2,0		10	14,658	0,0125	0,001264	12,3	20,59

Remarks :

Yogyakarta, Mei 2007

$R_c = R_1 - R_2 + Cr$ (Cr = Temperatur correction factors)

$R' = R_1 + m$ (m correctoin for meniscus)

DR. Ir. Edy Purwanto, CES. DEA

**SOIL MECHANICS LABORATORY
 CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
 ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA**

GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Tugas Akhir Tested by : Arsyi Winarsy
 Sample no. : 1 Date : Mei 2007
 Depth : - Location : Porong, sidoarjo, Jawa Timur
 Kode : 1

Soil sample (disturbed/undisturbed)

Mass of soil = 60 gr Hydromoter type = 152 H
 Specific Gravity, G_s = 2,630 Hydr. Correction, a = 1,005
 $K_2 = a/W \times 100$ = 1,67438 Meniscus correction, m = 1

Sieve Analysis

Sieve No	Opening (mm)	Mass retained (gr)	Mass passed (gr)	% finer by mass $e/W \times 100\%$	Remarks
	90	0	60,00	100,00	
	75	0	60,00	100,00	
	63	0	60,00	100,00	
	50,8	0	60,00	100,00	
	38,1	0	60,00	100,00	
1	25,4	0	60,00	100,00	
3/4	19		$e_1 = 60,00$	100,00	
	13,2		$e_2 = 60,00$	100,00	
3/8	9,5		$e_3 = 60,00$	100,00	
1/4	6,7		$e_4 = 60,00$	100,00	
4	4,750	$d_1 =$	$e_5 = 60,00$	100,00	$e_7 = W - S_d$
10	2,000	$d_2 =$	$e_6 = 59,54$	99,23	$e_6 = d_7 + e_7$
20	0,850	$d_3 =$	$e_7 = 56,93$	94,88	$e_5 = d_6 + e_6$
40	0,425	$d_4 =$	$e_9 = 54,05$	90,08	$e_4 = d_5 + e_5$
60	0,250	$d_5 =$	$e_{10} = 52,16$	86,93	$e_3 = d_4 + e_4$
140	0,106	$d_6 =$	$e_{11} = 48,61$	81,02	$e_2 = d_3 + e_3$
200	0,075	$d_7 =$	$e_{12} = 47,92$	79,87	$e_1 = d_2 + e_2$
		$S_d =$			

Hidrometer Analysis

Time	elapsed time min. T	R1	R2	t	R' $R_1 + m$	L	K	D (mm)	Rc= $R_1 - R_2 + Cr$	P $K_2 \times R$ (%)
	2		-2,0		42	9,418	0,0125	0	44,3	74,18
	5		-2,0		37	10,237	0,0125	0	39,3	65,80
	30		-2,0		33	10,892	0,0125	0	35,3	59,11
	60		-2,0		27	11,874	0,0125	0	29,3	49,06
	250		-2,0		18	13,348	0,0125	0	20,3	33,99
	1440		-2,0		12,6	14,232	0,0125	0	14,9	24,95

Remarks :

$R_c = R_1 - R_2 + Cr$ (Cr = Temperatur correction factors)

$R' = R_1 + m$ (m correctoin for meniscus)

Yogyakarta, Mei 2007

DR. Ir. Eby Purwanto, CES. DEA

SOIL MECHANICS LABORATORY
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

GRAFIK PENURUNAN

Proyek : Tugas Akhir

Lokasi : Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.

No. Titik : Undisturbed 1

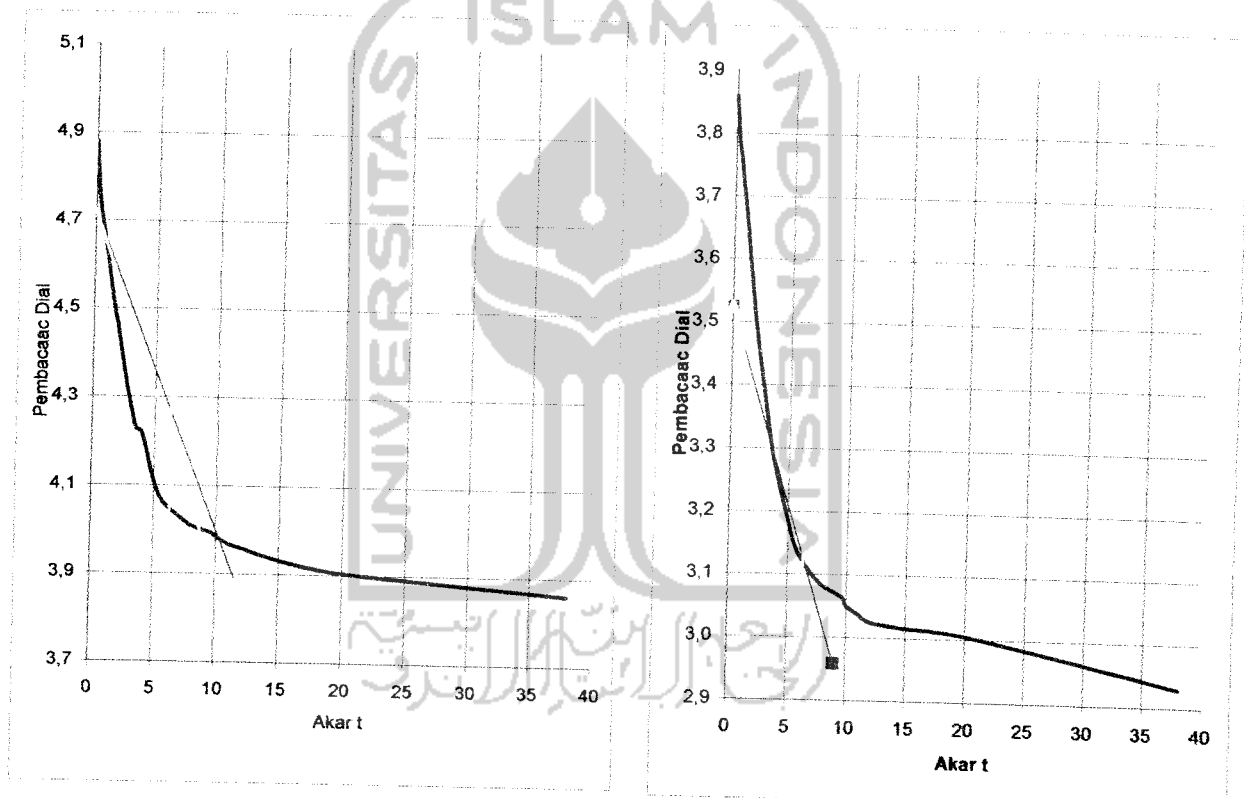
kedalaman : 1.00 meter

Tanggal : 2 Maret 2007

dikerjakan : Iskandar Zulkarnain

Beban 4,00 kg/cm²

Beban 8,00 kg/cm²



\sqrt{t} : 3,8
t₉₀ : 39,69 menit
t₉₀ : 2381,4 detik

\sqrt{t} : 4,7
t₉₀ : 39,69 menit
t₉₀ : 2381,4 detik

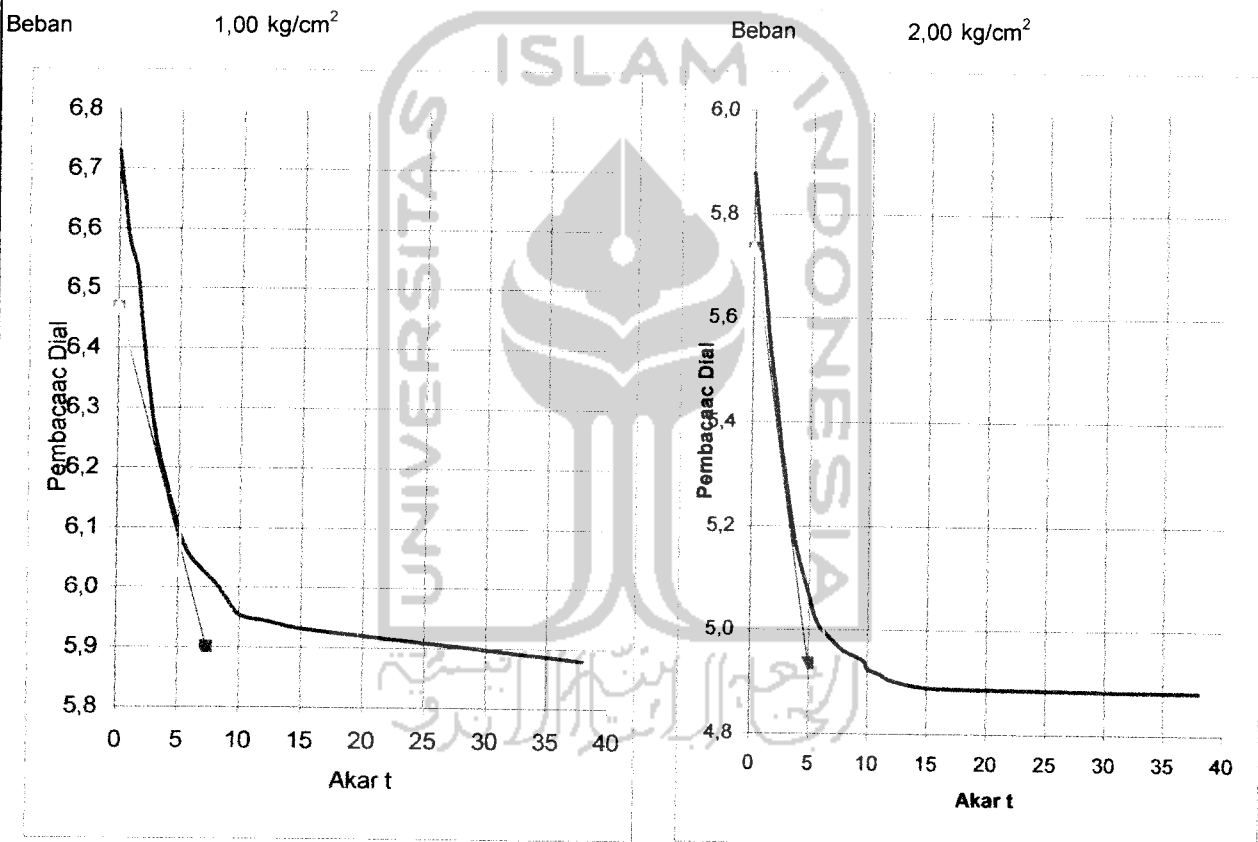


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

GRAFIK PENURUNAN

Proyek : Tugas Akhir
Lokasi : Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.
No. Titik : Undisturbed 1
kedalaman : 1.00 meter

Tanggal : 2 Maret 2007
dikerjakan : Iskandar Zulkarnain



$\sqrt{t_i}$: 4,75
t₉₀ : 26,8324 menit
t₉₀ : 1609,944 detik

$\sqrt{t_i}$: 5
t₉₀ : 39,69 menit
t₉₀ : 2381,4 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

GRAFIK PENURUNAN

Jenis : Tugas Akhir

Lokasi : Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.

Titik : Undisturbed 1

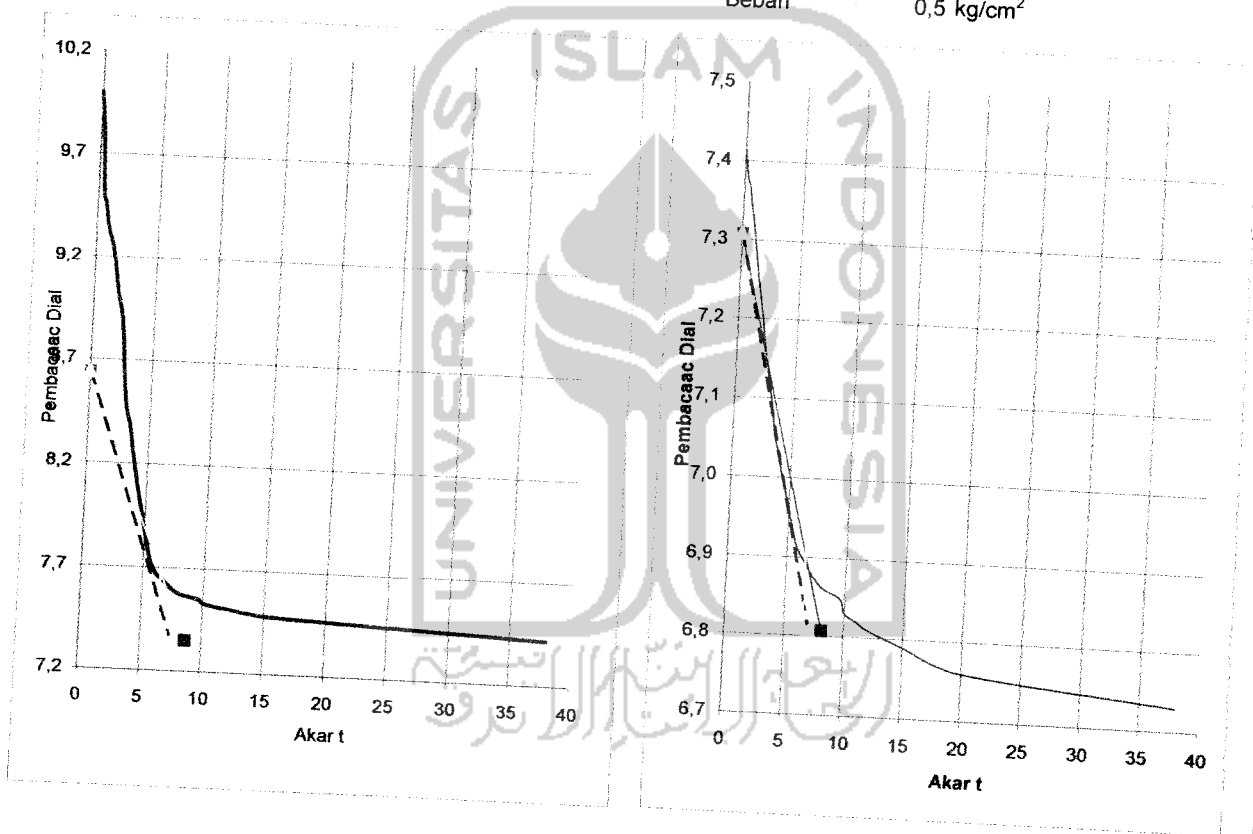
kedalaman : 1.00 meter

Tanggal : 2 Maret 2007

dikerjakan : Iskandar Zulkarnain

Beban : 0,25 kg/cm²

Beban : 0,5 kg/cm²



\sqrt{t} : 6,5
t90 : 42,25 menit
t90 : 2535 detik

\sqrt{t} : 2,5
t90 : 43,56 menit
t90 : 2613,6 detik



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

KESIMPULAN UJI KONSOLIDASI

Proyek : Tugas Akhir
 Lokasi : Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.
 No. Titik : Undisturbed 1
 kedalaman : 1.00 meter
 Tanggal : 2 Maret 2007
 dikerjakan : Iskandar Zulkarnain

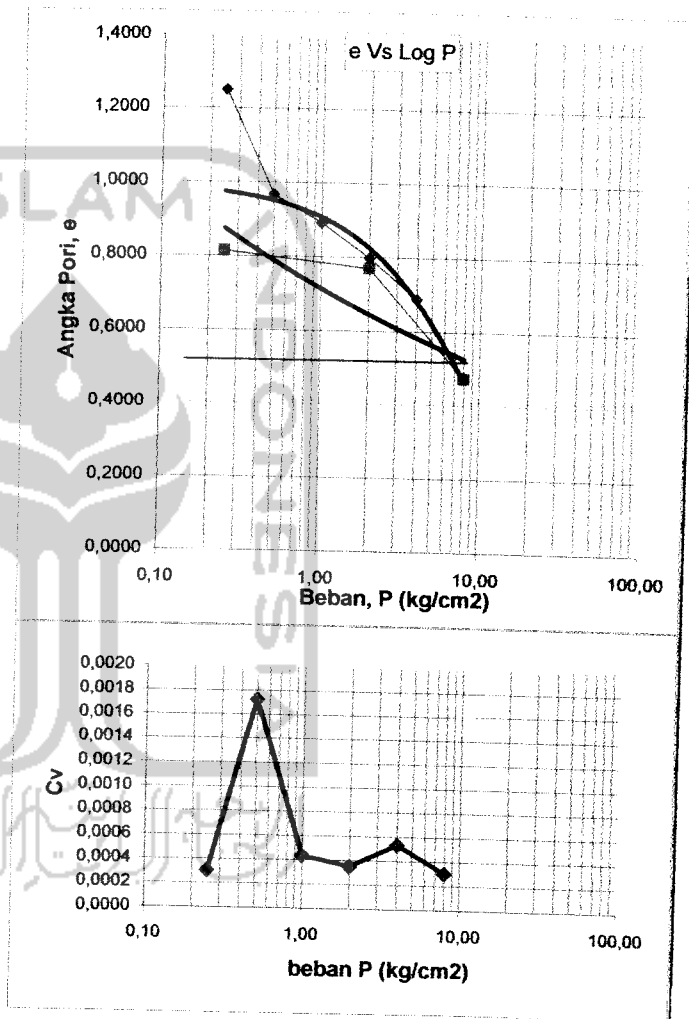
Data Parameter tanah dan ring

Berat Jenis Tanah 2,5
 Berat ring (gr) 36,33
 Diameter (cm) 5,05
 Luas ring (cm²) 20,02962
 Tinggi (H_o) (cm) 2,05
 Volume V_o (cm³) 41,06071

Kadar air		
Berat Container (cup), gr	22,10	21,65
Berat Cup + tanah basah, gr	59,70	59,05
Berat Cup + tanah kering, gr	44,20	44,88
Kadar air %	70,14	61,00
Kadar air rata-rata %	65,57	

Berat ring + tanah basah, gr	111,85
Berat volume tanah basah	1,839
Berat volume tanah kering	1,111
Tinggi bagian padat (H _t)	0,91
Angka pori (e)	1,250499
Derajat kejenuhan (Sr)	91,18935
Setelah pengujian	
Berat ring + tanah basah, gr	107,38
Berat ring + tanah kering, gr	91,08
Kadar air, %	29,77169
Angka pori (e)	0,814671
Derajat Kejenuhan (Sr)	178,5829

C_c 0,515661
 C_s -0,04862



Yogyakarta, Juni 2007
 Kepala Operasional Laboratorium

Dr. Ir. H. Edy Purwanto, CES, DEA