

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS LERENG PADA BADAN
JALAN YANG TERBUAT DARI LUMPUR LAPINDO**

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



**Disusun Oleh :
HENDRA USNAINI
99.511.398**



**Di setujui:
Dosen Pembimbing**

Dr. Ir. Edy Purwanto, CES. DEA

Tanggal : 8 - Juni - 2007

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

Kedua orang tua ku, Bpk H Usman Noer dan Ibu Hj Hendun Usman Noer. "Inilah karya terkecil dari saya dan saya ucapkan terima kasih banyak atas segala ~~semua~~ pengorbanan dan kepercayaan yang telah di berikan kepada saya, dan saya minta maaf karena selalu memberikan janji, janji dan janji. Tapi kesuksesan biasanya hadir menyambangi, justru ketika kita tidak terlalu sibuk menanti kedatangannya".

Abang-abangku tercinta: Julmansyah S hut Sekeluarga (Mba' yossy & Nabil)" Trima kasih atas semua motivasi dan Atensinya. dan Syamsu Ardiansyah "(Jika engkau menjanjikan apa yang belum engkau miliki, maka kau akan kehilangan hasratmu untuk bekerja guna mendapatkannya)".

Keluarga Besar Dea Mas Gunawan dan H.M Noor yang tidak bisa saya sebut 1/1. Kak Ande sekeluarga (Trima kasih banyak atas dukungannya), gafur, Bpk Ude, Ina, dan Andri, kak chiwa, Trima kasih atas semuanya.

Tugas akhir ini saya didikasikan buat Alm Ibu Salma, terima kasih atas segala asuhan, bimbingan dan petuah-bijaknya ("entah dengan cara apa saya membalas segala amal baikmu, dan saya yakin ibu bisa tersenyum melihat saya berbahagia meski kita berada di dunia yang berbeda. Hanya dalam Dunia metafisik-lah saya dapat merasakan, betapa lembutnya tangan2 gaibmu....?)

Buat teman2 TA-ku (Lapindo Mud Vulcano Project), Naen, Dayat, dan Arsy (tengkiyu atas kerja samanya), semua teman2 angk 99, boy, Sandra, Danang, Dayat. semua

ank2 sipil 00,01,02,99 yang tidak bisa disebut 1/1. dan seluruh çivitas akademika UII. ank2 TL (affan, akbar, bhoby, noni dst..) , FTI (adhi, Dedry) , FKU, Psikologi dan Ekonomi (mas Fani AL-Azhar),“ Perjuangan hidup manusia tidak ada batasannya, dengan tercapainya 1 dari sekian banyak tujuan hidup manusia maka 1 episode kehidupan telah terlewati. Dimana episode itu merupakan bagian dari Perjuangan hidup itu sendiri.

Buat Ucok, Iwan, Ardi, Eka, ank2 Sumbawa di berbagai komunitas. Komunitas Punk Sayidan (tengkiyu atas dogma tentang Anti Kemapanannya), anak2 kos Brojolamatan 322 condong-catur (adji, Bayu,tyo dkk).

Buat wiwied di FKG TRISAKTI (trima kasih atas semuanya...). Fikran Singh khan, Erin, Andi S.Hut, Puyut, Noura, Teman2 KP SANATA DHARMA, ank2 KKN SL-18 angk 29.

Buat Widyanti K, ST, “Trima Kasih atas semuanya dan Seluruh Kehidupan ini adalah usaha untuk mencari Sebuah keindahan, yang lainnya hanya sekedar penantian”.

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 Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Yang Terbuat Dari Lumpur Lapindo”** dilakukan pada periode Desember 2006 – Mei 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.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempraktekan teori yang diperoleh dibangku kuliah, serta memperluas wawasan untuk bekal memasuki dunia kerja.

Dalam melakukan penelitian dan terselesaikannya tugas akhir ini, penyusun telah banyak mendapat bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Ir. H. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Ir. H. Faisol A.M, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
3. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES, DEA, selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta atas arahan dan bimbingannya,

4. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, MT, selaku Dosen Penguji,
5. Bapak Ir. H. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Penguji,
6. Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS), atas izin dan arahnya,
7. Taman-taman TA-ku, Dayat, Arsy dan Naen,
8. Seluruh civitas akademika UII.

Tidaklah ada karya manusia yang dapat sempurna, demikian juga karya tulis ini yang pasti banyak kekurangan yang perlu dibenahi dikarenakan ilmu dan wawasan dari penyusun. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan karya tulis ini.

Akhirnya semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Yogyakarta, Mei 2007

Penyusun

ABSTRAKSI

Terjadinya longsor yang lebih dikenal sebagai gerakan massa tanah/batuan pada lereng-lereng alam atau batuan disebabkan dari terganggunya kestabilan dari tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Analisis stabilitas lereng diperlukan untuk mengetahui angka aman pada lereng yang ditinjau. Kasus semburan lumpur panas PT Lapindo Brantas Inc menimbulkan kerugian materi yang cukup besar. Terputusnya jalur Transportasi darat, khususnya jalan Tol Surabaya-Gempol merupakan salah satu akibat dari semburan lumpur panas PT Lapindo Brantas Inc.

Stabilitas lereng pada studi ini dianalisis dengan Program GEO-SLOPE OFFICE menggunakan metode Bishop, Janbu dan Ordinary. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat-sifat fisik dan jenis lumpur Lapindo, serta membandingkan antara metode Bishop, metode Janbu serta Ordinary untuk mendapatkan faktor aman minimum (SF_{min}).

Berdasarkan hasil analisis sifat-sifat fisik dan mekanis, lumpur Lapindo berwarna abu-abu tua. Berdasarkan klasifikasi tanah sistem USCS lumpur Lapindo digolongkan kedalam kelompok MH dengan nama lanau anorganik atau lanau diatoma. Berdasarkan klasifikasi tanah sistem AASHTO lumpur Lapindo digolongkan kedalam kelompok A-7-5(29) dengan jenis tanah berlempung. Berdasarkan hasil simulasi terhadap lereng dengan ketinggian badan jalan (H) = 2,1 meter, berat volume tanah (γ) = 1,7 t/m³, dan sudut kemiringan (α) = 45°, serta lebar badan jalan (L) = 6 meter, didapatkan nilai aman minimum (SF_{min}) sebesar 1,041 untuk metode Bishop, 1,030 untuk metode Janbu, dan 1,019 untuk metode Ordinary.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAKSI	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Mengenai Stabilitas Lereng Candi.....	4
2.2 Penelitian Mengenai Stabilitas Lereng Jalan	5
2.3 Penelitian Mengenai Eksperimental Kelongsoran Lereng.....	6
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1 Lereng dan Kelongsoran.....	8
3.2 Macam-macam Kegagalan Lereng.....	8
3.3 Kegagalan Lereng Tipe Longsoran	9
3.4 Bidang dan Jenis Longsoran.....	10
3.5 Teori stabilitas Lereng	13

3.6	Faktor Pengontrol Stabilitas Lereng.....	13
3.7	Anggapan-anggapan dalam Stabilitas Lereng.....	14
3.8	Ketepatan Analisis Stabilitas Lereng	15
3.9	Angka Keamanan.....	16
3.10	Metode Irisan.....	16
3.10.1	Metode Bishop.....	17
3.10.2	Metode Janbu.....	18
3.10.3	Metode Ordinary.....	19
3.11	Kuat Geser Tanah.....	21
3.12	Lumpur Lapindo.....	22
3.13	Sistem Klasifikasi Tanah.....	26
3.13.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS.....	27
3.13.2	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO..	30
3.14	Analisis Ukuran Butiran.....	34
3.14.1	Tanah Berbutir Kasar.....	34
3.14.2	Tanah Berbutir Halus.....	34
3.15	Batas-batas Konsistensi.....	36
3.16	Kepadatan Tanah.....	38
3.17	Uji Geser Langsung (Direct Shear Test).....	40
3.18	Program Geo Slope.....	42
3.18.1	Slope/w Define.....	43
3.18.2	Slope/w Solve dan Countor.....	45
3.18.3	Proses Analisis Program Geo Slope.....	45
3.18.4	Bagan Alir Program Geo Slope.....	46
BAB IV	METODE PENELITIAN	46
4.1	Bahan	51
4.2	Peralatan	52
4.3	Jadwal Penelitian	52
4.4	Jalannya Penelitian	52
4.4.1	Tahap Persiapan	52

4.4.2	Tahap Pekerjaan Lapangan	52
4.4.3	Tahap Pekerjaan Laboratorium	53
	a. Pengujian Kepadatan Tanah.....	53
	b. Pengujian Geser langsung.....	53
	c. Pengujian CBR Laboratorium.....	56
4.5	Menu-menu pada Program Geo Slope.....	58
4.5.1	Slope/w Define.....	62
4.5.2	Slope/w Solve.....	66
4.5.3	Slope/w Countur.....	66
4.6	Penggunaan Program Geo Slope.....	74
4.6.1	Mengatur Kertas Kerja.....	75
4.6.2	Mengatur Skala Gambar.....	76
4.6.3	Mengatur Jarak Grid.....	77
4.6.4	Membuat Sketsa Gambar.....	78
4.6.5	Menentukan Metode Analisis.....	79
4.6.6	Menentukan Kontrol Analisis.....	80
4.6.7	Mendefinisikan Sifat-sifat Tanah.....	81
4.6.8	Menggambar Garis Lapisan Tanah dan Garis Muka Air Tanah.....	82
4.6.9	Menggambar Radius Bidang Longsor.....	
4.6.10	Memeriksa Masukkan data.....	84
4.6.11	Menyimpan Data Masukan.....	85
4.6.12	Menghitung Angka Keamanan.....	86
4.6.13	Melihat Hasil Output.....	87
4.6.14	Bagan Alir Penelitian.....	87
BAB V	HASIL PENELITIAN.....	88
5.1	Klasifikasi Tanah	90
5.2	Sifat Fisik Tanah Asli	92
5.3	Sifat Mekanis Tanah Asli	92
5.3.1	Pengujian Kadar Air Tanah	92

5.3.2	Pengujian Berat Volume Tanah.....	95
5.3.3	Pengujian Berat Jenis Tanah (Specific Gravity)	95
5.3.4	Pengujian Batas-Batas Konsistensi (Atterberg Limits)	97
5.4	Uji Kepadatan Tanah (Uji Proctor Standard)	98
5.5	Uji Geser Langsung	100
5.5.1	Uji Geser Langsung Tanah Asli	102
5.6	Analisis Stabilitas Lereng.....	103
5.6.1	Berdasarkan Berat Volume Tanah.....	103
5.6.2	Berdasarkan Ketinggian Badan jalan.....	108
5.6.3	Berdasarkan Sudut Kemiringan.....	110
BAB VI	PEMBAHASAN.....	113
6.1	Klasifikasi Tanah.....	113
6.1.1	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS.....	113
6.1.2	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO..	115
6.2	Hasil Analisis Stabilitas Lereng.....	117
6.2.1	Berdasarkan Berat Volume Tanah.....	117
6.2.2	Berdasarkan Ketinggian Badan jalan.....	118
6.2.3	Berdasarkan Sudut Kemiringan.....	120
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN	123
7.1	Kesimpulan	123
7.1.1	Berdasarkan Berat Volume Tanah.....	123
7.1.2	Berdasarkan Ketinggian Badan jalan.....	123
7.1.3	Berdasarkan Sudut Kemiringan.....	125
7.2	Saran	125
	DAFTAR PUSTAKA.....	126
	LAMPIRAN.....	127

DAFTAR NOTASI

w	= Kadar air	(%)
γ_b	= Berat volume tanah basah	(gr/cm ³)
γ_d	= Berat volume tanah kering	(gr/cm ³)
G _s	= Berat jenis	
LL	= Batas cair	(%)
PL	= Batas plastis	(%)
SL	= Batas susut	(%)
PI	= Indeks plastisitas	(%)
SF	= Faktor Aman	
c	= kohesi	kN/m ²
W _i	= Gaya Berat Pias ke-i	kN
Φ	= Sudut Gesek Internal Tanah	°
θ	= Sudut yang didefinisikan	°
b _i	= Lebar Bagian Lingkaran pada Pias-i	m
Δx_i	= Lebar Irisan ke-i	m
α_i	= Sudut Irisan ke-i	°
τ	= Tegangan Geser	kN/m ²
σ	= Tegangan Normal	kN/m ²
γ	= Berat Volume Tanah	(gr/cm ³)
m ₁	= Berat Tanah Basah dalam cawan	gr
m ₂	= Berat Tanah Kering dalam oven	gr
V ₁	= Volume Tanah Basah dalam cawan	gr
V ₂	= Volume Tanah Kering dalam oven	menit
t	= Waktu Pembacaan	kN/m ²
u	= Tekanan Air pori	m
Δl_i	= Lebar Irisan ke-i	
r _u	= Rasio Tekanan pori	m ³

V	= Volume	m^3
A	= Luasan	m^2
SF _{min}	= Faktor Aman minimum	
L	= Lebar	m



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tingkat Kejadian Longsor Berdasarkan Nilai SF	16
Tabel 3.2	Hasil Uji Toksikologis.....	25
Tabel 3.3	Klasifikasi Tanah Sistem USCS.....	28
Tabel 3.4	Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO.....	32
Tabel 3.5	Hubungan Antara Nilai Penetrasi dengan Beban Standar untuk Pemeriksaan CBR.....	41
Tabel 4.1	Jenis Pengujian dan Jumlah Benda Uji	91
Tabel 5.1	Nilai Rata-rata Hasil Uji Analisa Distribusi Butiran Sampel I, II, III.....	95
Tabel 5.2	Hasil Uji Kadar Air Tanah Asli.....	96
Tabel 5.3	Hasil Uji Berat Volume Tanah Asli.....	97
Tabel 5.4	Hasil Uji Berat Jenis Tanah Asli.....	99
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Batas Cair	100
Tabel 5.6	Nilai Hasil Uji Sifat-sifat Mekanis Lumpur Lapindo	102
Tabel 5.7	Hasil Uji Proctor Standar	103
Tabel 5.8	Hasil Uji kepadatan Sampel I, II, III.....	105
Tabel 5.9	Hasil Uji Geser Langsung Sampel I, II, III.....	109
Tabel 5.10	Hasil Parameter Tanah Sebelum Pengujian I, II, III.....	111
Tabel 5.11	Nilai Faktor Aman.....	112
Tabel 5.12	Nilai Faktor Aman.....	113
Tabel 6.1	Nilai Faktor Aman.....	114
Tabel 6.2	Nilai Faktor Aman.....	115
Tabel 6.3	Nilai Faktor Aman.....	116
Tabel 6.4	Nilai Faktor Aman.....	118
Tabel 6.5	Nilai Faktor Aman.....	119
Tabel 6.6	Rekapitulasi Nilai faktor Aman.....	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Bentuk-bentuk Longsoran.....	12
Gambar 3.2	Gaya-gaya yang Bekerja Pada Metode Bishop.....	18
Gambar 3.3	Gaya-gaya yang Bekerja Pada Metode Janbu.....	19
Gambar 3.4	Gaya-gaya yang Bekerja Pada Metode Ordinary.....	20
Gambar 3.5	Kriteria Kegagalan Mohr dan Coloumb.....	22
Gambar 3.6	Penyebab Semburan Lumpur Lapindo.....	24
Gambar 3.7	Diagram Klasifikasi Tekstur Tanah Sistem USCS	27
Gambar 3.8	Grafik Plastisitas USCS	30
Gambar 3.9	Batas-batas Atterberg Klasifikasi AASHTO	33
Gambar 3.10	Alat Uji Hidrometer	36
Gambar 3.11	Batas-batas Atterberg Tanah	38
Gambar 3.12	Alat Uji Proctor Standar	39
Gambar 3.13	Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air.....	40
Gambar 3.14	Diagram Susunan Alat Uji Geser Langsung.....	42
Gambar 3.15	Alat Uji Geser Langsung	43
Gambar 3.16	Tampilan Awal Slope/W Define.....	44
Gambar 3.17	Soil Properties Dalam Menu Key in.....	45
Gambar 3.18	Points Dalam Menu Key in.....	45
Gambar 3.19	Lines Dalam Menu Key in.....	46
Gambar 3.20	Tampilan Submenu Slip Surface.....	48
Gambar 3.21	Bagan Alir Slope W.....	49
Gambar 4.1	Tampilan Slope/W Define.....	61
Gambar 4.2	Tampilan Menu Analisis Setting	62
Gambar 4.3	Tampilan Submenu Key in Soil Properties	63
Gambar 4.4	Tampilan Menu Key in Point.....	64
Gambar 4.5	Tampilan Menu Key in Lines	64
Gambar 4.6	Tampilan Submenu Slip Surface	65

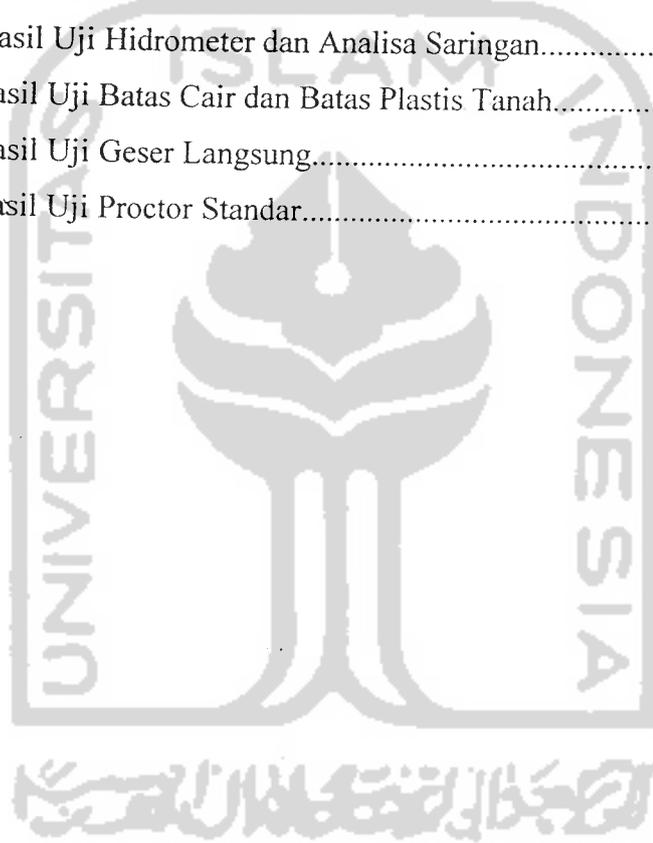
Gambar 4.7	Tampilan Menu Key in Piezometric Lines.....	66
Gambar 4.8	Tampilan Menu Key in Pressure Lines.....	67
Gambar 4.9	Tampilan Menu Verity Data.....	68
Gambar 4.10	Tampilan Daftar Pengecekan Input Pada Verify Data.....	69
Gambar 4.11	Tampilan Slope/W Solve.....	70
Gambar 4.12	Tampilan Menu Utama Slope/W Contour.....	71
Gambar 4.13	Tampilan pengaturan kertas kerja	73
Gambar 4.14	Tampilan Pengaturan Skala.....	74
Gambar 4.15	Tampilan Pengaturan Grid.....	74
Gambar 4.16	Tampilan Menggambar Sketsa.....	75
Gambar 4.17	Tampilan Pemilihan Metode.....	76
Gambar 4.18	Tampilan Analisis Kontrol.....	77
Gambar 4.19	Tampilan Soil Properties.....	78
Gambar 4.20	Tampilan View Soil Properties	79
Gambar 4.21	Tampilan Soil Properties.....	80
Gambar 4.22	Tampilan Radius Bidang Longsor Dan Grid.....	81
Gambar 4.23	Tampilan Verify Data.....	81
Gambar 4.24	Tampilan Saving Data.....	82
Gambar 4.25	Tampilan Menghitung Data.....	83
Gambar 4.26	Tampilan Kontur Angka Keamanan.....	84
Gambar 4.27	Tampilan Gambar Bidang Longsor.....	85
Gambar 4.28	Bagan Alir Penelitian.....	85
Gambar 5.1	Grafik Hasil Uji Analisa Distribusi Butiran Sampel I.....	87
Gambar 5.2	Grafik Hasil Uji Analisa Distribusi Butiran Sampel II.....	88
Gambar 5.3	Grafik Hasil Uji Analisa Distribusi Butiran Sampel III.....	88
Gambar 5.4	Grafik Batas Cair.....	94
Gambar 5.5	Hasil Uji Kepadatan Tanah.....	98
Gambar 5.6	Grafik Tegangan Geser Tanah Asli.....	100
Gambar 5.7	Grafik Kuat Geser Tanah Asli.....	101
Gambar 5.8	Permodelan Badan Jalan.....	103

Gambar 5.9	Proses Input Data.....	104
Gambar 5.10	Plotting Koordinat (Points dan Lines).....	105
Gambar 5.11	Penentuan Pusat Bidang Longsor.....	105
Gambar 5.12	Hasil Analisis.....	106
Gambar 5.13	Bidang Longsor Kritis.....	106
Gambar 5.14	Permodelan Badan Jalan.....	107
Gambar 5.15	Permodelan Badan Jalan.....	108
Gambar 6.1	Gambar segitiga USCS.....	114
Gambar 6.1	Grafik Plastisitas Sistem klasifikasi USCS.....	115
Gambar 6.2	Grafik Plastisitas Sistem klasifikasi AASHTO.....	116



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Surat Pernyataan Bebas Plagiatisme.....	127
Lampiran 2	Hasil Uji Kadar Air Tanah Asli.....	128
Lampiran 3	Hasil Uji Berat Volume Tanah Asli.....	129
Lampiran 4	Hasil Uji Berat Jenis Tanah Asli.....	130
Lampiran 5	Hasil Uji Hidrometer dan Analisa Saringan.....	131
Lampiran 6	Hasil Uji Batas Cair dan Batas Plastis Tanah.....	132
Lampiran 7	Hasil Uji Geser Langsung.....	133
Lampiran 8	Hasil Uji Proctor Standar.....	134



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian-penelitian dan kajian tentang stabilitas lereng dewasa ini telah banyak dilakukan. Penelitian yang dilakukan adalah sekitar upaya penanggulangan atau meminimalkan potensi terjadinya gerakan tanah pada lereng tersebut. Terjadinya longsor atau lebih dikenal sebagai gerakan massa tanah/batuan pada lereng-lereng alam atau batuan disebabkan dari terganggunya kestabilan dari tanah atau batuan penyusun lereng tersebut.

Lereng dapat terbentuk karena kuat geser dari tanah atau batuan melampaui tegangan oleh beban gravitasi atau beban lainnya (I.S. Dunn, 1923). Lereng dapat terjadi secara alami maupun dibuat oleh manusia. Lereng alami dapat dijumpai dalam lereng bukit dari pinggiran sungai, sedangkan lereng dibuat oleh manusia antara lain : galian dan timbunan yang digunakan untuk jalan dan rel, bendungan, tanggul sungai, pematang, *embankment* dan lain-lain. (Bowles, 1984).

Secara teknis terjadi kelongsoran pada lereng diakibatkan oleh rendahnya atau menurunnya kuat geser tanah yang dipengaruhi oleh tekanan air pori. Terzaghi (1950) dalam H.C. Hardiyatmo (1994) membagi penyebab kelongsoran pada lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*eksternal effect*), yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser dari tanahnya. Contohnya akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam yaitu terjadinya dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori didalam lereng.

Ketidakstabilan sebuah lereng dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut adalah : faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan dan faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan, meliputi naiknya berat unit tanah akibat pembasahan, adanya tambahan beban eksternal seperti bangunan, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian, sedangkan faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan lereng antara lain adalah naiknya tekanan air pori, adanya adsorpsi air, pengaruh pembentukan dan pencairan, hilangnya sedimentasi material, proses pelapukan, hilangnya kekuatan karena regangan berlebihan pada lempung sensitif dan lain-lain (I.S. Dunn, 1923).

Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial atau mengetahui batas kemampuan tanah menahan gaya dorong yang terjadi untuk melongsorkan tanah, batas ini disebut faktor aman.

Kasus semburan lumpur panas PT Lapindo Brantas Inc di Porong, Kabupaten Sidoarjo merupakan salah satu contoh yang akan dianalisis dalam studi ini. Kondisi wilayahnya yang saat ini sudah terendam oleh semburan lumpur panas PT Lapindo Brantas Inc, termasuk jalan Tol Surabaya-Gempol. Terputusnya jalur Transportasi darat, khususnya jalan Tol Surabaya-Gempol menimbulkan kerugian materi yang cukup besar.

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

“ Analisis Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Yang Terbuat Dari Lumpur Lapindo. “

1.2 Rumusan Masalah

Seberapa besar faktor aman minimum (SF_{min}) pada kondisi lereng terhadap badan jalan yang terbuat dari lumpur Lapindo, jika dianalisis dengan metode Bishop, Janbu, serta Ordinary menggunakan program GEO-SLOPE.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui sifat-sifat fisis dan jenis tanah lumpur Lapindo dari Sidoarjo, Jawa Timur.
2. Menganalisis dan mengetahui stabilitas lereng dengan angka aman terkecil menggunakan metode Bishop, metode Janbu serta Ordinary dengan program GEO-SLOPE.
3. Membandingkan antara metode Bishop, metode Janbu serta Ordinary untuk mendapatkan faktor aman minimum (SF_{min}).

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran pengaruh dari lumpur Lapindo yang digunakan untuk badan jalan ditinjau dari analisis stabilitas lereng.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan yang digunakan untuk menandai lingkup penelitian yaitu.

1. Lumpur yang digunakan berasal dari 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. Analisis stabilitas lereng menggunakan program Geo-slope.

1.6 Lokasi Pengujian Penelitian

Penelitian dan pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang Km. 14,4 Sleman, Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Tentang Stabilitas Lereng

1. Penelitian Diah Kingkin Puryanti (2001)

Penelitiannya dengan judul *Evaluasi Stabilitas Lereng Candi Borobudur*. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi deformasi vertikal Candi Borobudur dengan tinjauan terhadap stabilitas lereng candi. Untuk menganalisa lereng tersebut digunakan metode *Bishop Simplified* serta digunakan Program komputer dengan nama SLOPE GEO-SLOPE OFFICE. Penelitian ini didefinisikan beberapa jenis berdasarkan variasi kondisi tanah dan pembebanan.

a. Stabilitas lereng dengan selasar (*Counterfort*)

Hasil penelitian menunjukkan tanpa pengaruh gempa dengan percepatan 0,15g dan tekanan pori, lereng candi aman terhadap longsor dengan faktor aman minimum sebesar 1,487. Meskipun ada pengaruh tekanan air pori lereng tetap stabil dengan faktor aman minimum 1,222. Apabila ada pengaruh gempa, faktor aman minimum terhadap longsor turun menjadi 1,162 tanpa pengaruh tekanan air pori sedangkan jika ada pengaruh air pori menjadi 0,952. Nilai faktor aman diatas adalah untuk bidang longsor berbentuk lingkaran. Untuk bidang longsor non lingkaran, nilai faktor aman yang diperoleh lebih besar dari nilai faktor aman bidang longsor lingkaran.

b. Stabilitas lereng tanpa selasar (*Uncounterfort*)

Pada penelitian ini menunjukkan apabila tanpa beban gempa, lereng candi akan rawan terhadap bahaya longsor, dengan nilai faktor aman jika ada pengaruh tekanan air pori sama dengan 1,006. Apabila ada pengaruh air pori nilai faktor aman minimum menjadi 1,229 (tanpa pengaruh gempa).

Akibat pengaruh gempa faktor aman turun menjadi 1,105 (rawan longsor), apabila tidak ada tekanan air pori dan 0,804 apabila ada pengaruh tekanan air pori.

Nilai faktor aman tersebut adalah untuk bidang longsor berbentuk lingkaran. Untuk bidang non lingkaran, nilai faktor aman yang diperoleh lebih besar dari nilai faktor aman bidang longsor berbentuk lingkaran.

2. Penelitian Afdal Zikri (2003)

Penelitiannya dengan judul *Analisis Stabilitas Lereng Jalan Pendekat Menggunakan Program Slope/W pada Jembatan kali Pentung Yogyakarta*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor aman minimum terhadap terjadinya kelongsoran serta mengetahui penyebab kelongsoran ditinjau dari stabilitas lereng. Penelitian ini menggunakan tiga metode untuk menganalisa stabilitas lereng yaitu metode Bishop, Janbu, serta Ordinary.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu :

1. Prediksi penyebab keruntuhan lereng tanpa beban lalu lintas adalah pada angka aman dengan kondisi parameter tanah berkisar pada berat volume basah $15,5 \text{ kN/m}^3$, kohesi 40 kN/m^2 , dan sudut gesek dalam 5° - 15° sebagai berikut :
 - a. SF untuk metode Bishop = 1,12 pada jenis bidang keruntuhan *fully specifiield*.
 - b. SF untuk metode Janbu = 1,08 pada jenis bidang keruntuhan *fully specifiield*.
 - c. SF untuk metode Ordinary = 1,01 pada jenis bidang keruntuhan *fully specifiield*.
- II. Prediksi penyebab keruntuhan lereng beban lalu lintas adalah pada angka aman dengan kondisi parameter tanah berkisar pada berat volume basah $15,5 \text{ kN/m}^3$, kohesi 40 kN/m^2 , dan sudut gesek dalam 5° - 25° sebagai berikut :

- a. SF untuk metode Bishop = 1,05 pada jenis bidang keruntuhan *fully specifield*.
- b. SF untuk metode Janbu = 0,96 pada jenis bidang keruntuhan *fully specifield*.
- c. SF untuk metode Ordinary = 0,92 pada jenis bidang keruntuhan *fully specifield*.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan kestabilan lereng sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik tanah penutup lereng, antara lain kohesi, sudut gesek dalam, serta berat volume tanah. Semakin tinggi nilai parameter kohesi dan sudut gesek dalam kestabilan lereng semakin meningkat, sebaliknya semakin besar berat volumenya tanah maka kestabilan lereng menjadi berkurang.

3. Penelitian Arief Rochman Hakim (2004)

Penelitiannya dengan judul *Studi Eksperimental kelongsoran lereng tanah dan analisis lereng dengan menggunakan metode kesetimbangan*. Tujuan penelitian ini adalah Membandingkan antara metode Bishop, Janbu serta Ordinary untuk mendapatkan faktor aman minimum (SF_{min}). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap tanah yang diambil dari desa Plipir Kecamatan Purworejo didapatkan hasil bahwa berdasarkan data hasil pengujian data hasil sifat-sifat fisik dan mekanik tanah dengan sistem klasifikasi tanah *Unifield Classification System (USCS)*, maka secara fisik tanah yang termasuk golongan tanah berbutir halus dan secara mekanis tanah tersebut golongan tanah lanau tak organik, lanau elastis (MH). Lereng yang diteliti terdiri dari tiga lapisan tanah berbeda dengan nilai berat jenis tanah masing-masing sebesar $\gamma_1 = 1,1 \text{ ton/mm}^3$, $\gamma_2 = 1,26 \text{ ton/mm}^3$, $\gamma_3 = 1,33 \text{ ton/mm}^3$. Kemudian, berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng didapatkan nilai aman minimum (SF_{min}) adalah sebagai berikut ini :

- a. SF_{min} Bishop = 1,111
- b. SF_{min} Janbu = 1,232

c. $SF_{\min \text{ Ordinary}} = 1,292$

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan lereng aman terhadap longsor tanpa adanya pengaruh intensitas hujan.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Lereng dan Kelongsoran

Definisi longsor lereng adalah gerakan tanah secara umum, yaitu proses perpindahan massa tanah secara alami atau gravitasi dari tempat lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Pergerakan tanah ini terjadi karena perubahan keseimbangan gaya-gaya internal tanah dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru.

3.2 Macam Kegagalan Lereng

Perloff (1976) dalam Purwono (2003) membagi kegagalan lereng menjadi 3 macam tipe, yaitu jatuhan (*falls*), longsor (*slides*), dan aliran (*flows*).

1. Jatuhan (*falls*)

Jatuhan adalah suatu gerakan cepat massa material (batuan atau tanah) yang sebagian besar melalui udara dengan tanpa atau sedikit sekali interaksi antara satu unit dengan unit yang lainnya. Secara umum bukanlah subjek untuk di analisis, karena faktor yang mempengaruhi penyebabnya sangat banyak.

2. Longsor (*slides*)

Longsor adalah gerakan massa tanah/batuan yang terjadi karena kegagalan geser pada satu atau lebih permulaan geser. Massa yang longsor mungkin bergerak sebagai satu kesatuan yang relatif utuh dan mungkin juga karena rusak berat. Perlu bahwa kondisi geologi memegang peranan penting dalam menjelaskan bentuk kegagalan bidang longsor. Sebagian besar kegagalan bidang lereng yang ditemui oleh para insinyur sipil termasuk dalam tipe ini.

3. Aliran (*flows*)

Aliran dibedakan sebagai bentuk gerakan perpindahan massa yang menyerupai cairan kental. Meskipun aliran seringkali dihubungkan dengan kandungan air yang tinggi, tapi aliran kering berupa material berbentuk butiran (mulai dari ukuran endapan lumpur sampai dengan bongkahan batu besar) bisa terjadi. Beberapa bencana tanah longsor pada dasarnya berupa material kering yang dapat dikategorikan sebagai aliran.

3.3 Kegagalan Lereng Tipe Longsor

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan geseran yang dapat dikerahkan pada bidang gelincirnya terlampaui, maka akan terjadi longsor lereng. H.C. Hardiyatmo (2002).

Pemisahan (longsor) biasanya dimulai dari titik-titik lemah seperti retakan pada batuan tua, retakan pada batuan itu sendiri, atau pada batas lapisan tanah, dan awal dari seakan lambat yang semakin cepat sampai akhirnya massa tanah yang longsor terlepas dari asalnya.

Kelongsoran lereng terjadi pada lereng alam atau batuan, karena kondisi labil akibat tegangan air pori didalam tanah menyebabkan terjadinya pengurangan tegangan efektif dan tegangan geser tanah.

Menurut H.C. Hardiyatmo (2002), kelongsoran lereng dapat terjadi dari beberapa hal-hal berikut :

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban pada lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang dalam tanah, dan beban dinamis oleh tumbuh-tumbuhan yang ditiup angin dan lain-lain,
2. Penggalan atau pemotongan tanah pada kaki lereng,
3. Penggalan tanah yang mempertajam kemiringan lereng,

4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendungan, sungai, dan lain-lain,
5. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah kearah lateral),
6. Gempa bumi,
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

3.4 Bidang dan Jenis-jenis Longsor

Pengertian longsor seringkali digunakan sebagai istilah yang umum bagi suatu pergerakan tanah, batuan, timbunan ataupun dalam bentuk campuran batuan dan tanah pada tanah yang miring. Gerakan dari longsor dapat sangat lambat sampai sangat cepat.

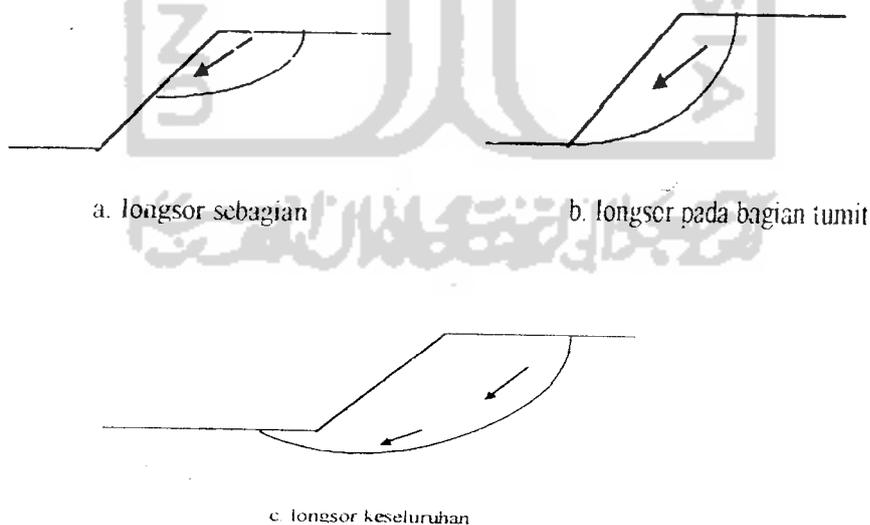
Ada beberapa jenis longsor yang dapat terjadi, sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran berbentuk lingkaran/lengkungan (*rotation slides*), yaitu bidang gelincir yang berbentuk busur lingkaran dengan cekungan menghadap keatas. Dalam perhitungan stabilitas, lingkaran/lengkungan tersebut dianggap sebagai lingkaran spiral logaritmis (*circle of logarithmic spiral*). Bentuk anggapan bidang gelincir berupa lingkaran dimaksudkan untuk mempermudah hitungan analisis stabilitas secara matematis, dan dengan pertimbangan mendekati bentuk yang sebenarnya dari bidang longsor yang sering terjadi di alam. Hal ini diperkuat dari hasil penelitian Collin (1846) dalam H.C. Hardiyatmo (2002) yang menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa longsor berupa lengkungan. Huang (1927) dalam Purwono (2003) membagi enam metode sederhana analisis stabilitas lereng untuk keruntuhan (longsor) berbentuk lingkaran.

- a. Analisis stabilitas timbunan tanah berbentuk segitiga diatas lereng batu (*triangular fills on rock slopes*).
 - b. Analisis stabilitas timbunan tanah berbentuk trapesium diatas lereng batu (*trapezoidal fills on rock slopes*).
 - c. Analisis stabilitas timbunan tanah berbentuk segitiga diatas lereng tanah (*triangular fills on soil slopes*).
 - d. Analisis tegangan efektif dam homogen (*effective stress analysis of homogeneous dams*).
 - e. Analisis tegangan efektif dam non-homogen (*effective stress analysis of nonhomogeneous dams*).
 - f. Analisis tegangan total lereng (*total stress analysis of slopes*).
2. Kelongsoran yang hampir dan sejajar dengan muka tanah (*planar slides*), yaitu longsoran pada suatu bidang atau lebih, membentuk sudut dengan horizontal yang bergerak pada suatu jurusan. Tanah longsor semacam ini biasanya terjadi apabila terdapat lapisan agak keras yang sejajar dengan permukaan lereng, dan umumnya bergerak bergeser (*translasi*). Tipe kelongsoran *planar slides* ini dapat digolongkan menurut kondisi lereng menjadi dua macam yaitu :
- a. Lereng tak terbatas (*infinite slopes*) yaitu lereng dengan sifat-sifat tanah dan tegangan pada salah satu bidang yang sejajar dengan lereng adalah sama dan karena itu kelongsoran yang terjadi biasanya terletak pada satu bidang lereng yang terjadi pada lereng dengan panjang tak terbatas,
 - b. Lereng terbatas (*finite slopes*) yaitu daerah yang memiliki daerah batas longsor. Menurut Huang (1927) dalam Purwono (2003), terbagi menjadi dua kondisi yaitu :
 1. Bidang longsor berbentuk segitiga yang menyilang (*triangular cross section*),
 2. Bidang longsor berbentuk trapesium yang menyilang (*trapezoidal cross section*),

3. Kelongsoran gabungan, Kelongsoran jenis ini terjadi pada lereng dengan ketinggian terbatas dan kedalam tanah keras cukup dangkal, sehingga kemungkinan yang terjadi merupakan gabungan kelongsoran translasi dan kelongsoran rotasi. Kelongsoran gabungan cenderung terjadi jika lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang lebih besar dan permukaan runtuhnya berbentuk bidang dan bagian-bagian lengkung.

Dari bentuk-bentuk lengkungan yang ada, bentuk spiral dianggap paling mendekati bentuk sebenarnya dari bidang longsor yang sering terjadi di alam. Selain itu, anggapan bidang longsor berupa lingkaran dimaksudkan untuk mempermudah hitungan analisis stabilitas secara matematis. Menurut Bowles (1986) kesalahan analisis stabilitas lereng tidak hanya disebabkan oleh bentuk anggapan bidang longsornya, akan tetapi kesalahan banyak di sebabkan pada penentuan sifat-sifat dan pencarian lokasi lingkaran kritisnya.



Gambar 3.1 Bentuk-bentuk longsor

Sumber : Mekanika Tanah II, H. C. Hardiyatmo, 2002.

3.5 Teori Stabilitas Lereng

Permukaan tanah yang miring akan cenderung bergerak ke bawah, jika komponen gaya gravitasi tidak dapat diimbangi oleh kuat geser tanah pada bidang longsornya. Kejadian ini dikenal sebagai longsor (*sliding*). Terzaghi (1950) dalam H.C. Hardiyatmo (1994) membagi penyebab kelongsoran pada lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*eksternal effect*), yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser dari tanahnya. Contohnya akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu terjadinya dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori didalam lereng.

3.6 Faktor Pengontrol Stabilitas Lereng

Menurut Krynine (1957) dalam Purwono (2003), studi kelongsoran menyimpulkan bahwa karakteristik lereng suatu daerah harus didasarkan pada kondisi geologi, topografi, dan iklim daerah tersebut.

Faktor-faktor pengontrol stabilitas lereng merupakan fenomena yang mengkondisikan suatu lereng menjadi berbakat atau berpotensi untuk bergerak atau longsor, meskipun pada saat ini lereng tersebut masih stabil (belum longsor). Faktor-faktor pengontrol umumnya merupakan fenomena alam (meskipun ada yang bersifat alamiah).

1. Kondisi Topografi

Lereng atau lahan yang miring berpotensi untuk mengalami gerakan tanah. Semakin besar kemiringan suatu lereng akan mengakibatkan semakin besarnya gaya penggerak massa tanah/batuan penyusun lereng.

2. Kondisi Geologi

Jenis, struktur, dan kondisi tanah/batuan penyusun lereng sangat berperan dalam mengontrol terjadinya gerakan tanah. Meskipun suatu lereng cukup curam, namun gerakan tanah belum tentu terjadi apabila kondisi tanah/batuan penyusun lereng cukup kompak dan kuat.

3. Kondisi Iklim

Kondisi iklim sangat berperan dalam mengontrol terjadinya longsor. Temperatur dan curah hujan yang tinggi sangat mendukung terjadinya proses pelapukan batuan pada lereng (proses pembentukan tanah). Curah hujan yang tinggi atau menengah berlangsung lama, sangat berperan dalam memicu terjadinya gerakan tanah. Air hujan yang menyerap ke dalam lereng-lereng dapat meningkatkan penjuhan tanah pada lereng sehingga tekanan air untuk merenggangkan ikatan tanah meningkat. Akhirnya massa tanah akan terangkut oleh aliran air dalam lereng.

4. Kondisi Hidrologi Lereng

Kondisi hidrologi dalam lereng berperan dalam meningkatkan tekanan hidrostatik air dalam tanah sehingga kuat geser tanah akan sangat berkurang dan gerakan tanah dapat terjadi.

3.7 Anggapan-anggapan dalam Stabilitas Lereng

Maksud dari analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor potensial. Banyak faktor yang mempengaruhi keakuratan hitungannya, misalnya: kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain.

Dalam praktek, analisis stabilitas didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*) (H.C. Hardiyatmo, 1994). Dalam analisis lereng, beberapa anggapan telah dibuat, yaitu :

- a. Kelongsoran lereng terjadi sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah dibidang dua dimensi,
- b. Massa tanah yang longsor dianggap berupa benda yang masif,
- c. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis,
- d. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui dititik-titik tertentu pada bidang longornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar 1.

3.8 Ketepatan Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Bowles (1986), kesalahan analisis stabilitas lereng disebabkan oleh bentuk anggapan bidang longornya, akan tetapi kesalahan banyak disebabkan pada penentuan sifat-sifat tanah dan pencarian lokasi bidang kritisnya. H.C. Hardiyatmo (2002) menyebutkan beberapa masalah yang menyebabkan ketidaktentuan hasil analisis, antara lain :

- a. Kelongsoran lereng umumnya merupakan masalah bidang 3 dimensi,
- b. Kondisi pembebanan pada waktu pengujian Laboratorium (biasanya pengujian triaksial kompresi) mungkin tidak sesuai dengan kondisi kedudukan tegangan-tegangan di lapangan. Kerusakan contoh benda uji sangat mempengaruhi hasil pengujian dilapangan,
- c. Sifat kuat geser tanah dilapangan yang anisotropis menyebabkan nilai paramater tanah bervariasi disepanjang permukaan bidang longsor.

3.9 Angka Keamanan

Angka aman atau faktor aman adalah batas kemampuan tanah dalam menahan gaya dorong yang terjadi untuk melongsorkan tanah. Dengan batasan tertentu, maka kita dapat memprediksikan kemungkinan nilai faktor aman yang terjadi pada suatu lereng. Lereng dapat dikategorikan akan terjadi kelongsoran atau aman terhadap bahaya longsor dari studi menyeluruh keruntuhan lereng.

Menurut H.C. Hardiyatmo (2002), umumnya faktor aman (SF) terhadap kuat geser tanah diambil lebih dari atau sama dengan 1,20. Sementara menurut Bowles (1984) membagi tingkat kejadian longsor berdasarkan nilai SF, sebagai berikut ini.

Tabel 3.1 Tingkat kejadian longsor berdasarkan nilai SF (Bowles, 1984)

Faktor aman (SF)	Tingkat kejadian longsor
SF < 1,07	Kegagalan hal yang biasa
1,07 < SF < 1,25	Kegagalan mungkin terjadi
SF > 1,25	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi

3.10 Metode Irisan

Kebanyakan lereng alam tersusun atas lebih dari satu jenis tanah, atau dengan kata lain tanah yang tidak homogen. Pada kondisi tanah yang tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanahnya, digunakan metode irisan.

Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah diatas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah beberapa irisan vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan.

3.10.1 Metode Bishop disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode irisan yang disederhanakan diberikan oleh Bishop dalam H.C. Hardiyatmo (1994). Metode ini menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Metode Bishop biasanya mendekati hasil pengamatan di lapangan, sehingga lebih disukai (H.C. Hardiyatmo, 1994).

Persamaan faktor aman untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop:

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c + b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \Phi \left[\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \Phi / F)} \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} > 1,0 \dots\dots\dots 3.1$$

Dengan :

SF : faktor aman

c : kohesi tanah efektif (kN/m²)

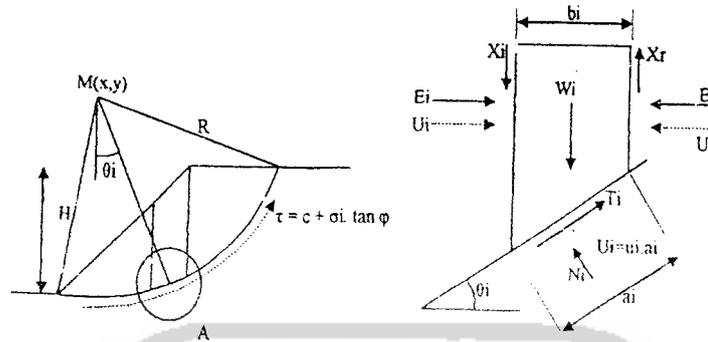
W_i : gaya berat pias ke-I (kN)

φ : sudut gesek internal tanah (°)

θ_i : sudut yang didefinisikan (°)

b_i : lebar bagian lingkaran pada pias-i (m)

u_i : tekanan air pori ke-i.



Gambar 3.2 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan metode Bishop.
 Sumber : Mekanika Tanah II, H. C. Hardiyatmo, 2002.

3.10.2 Metode Janbu

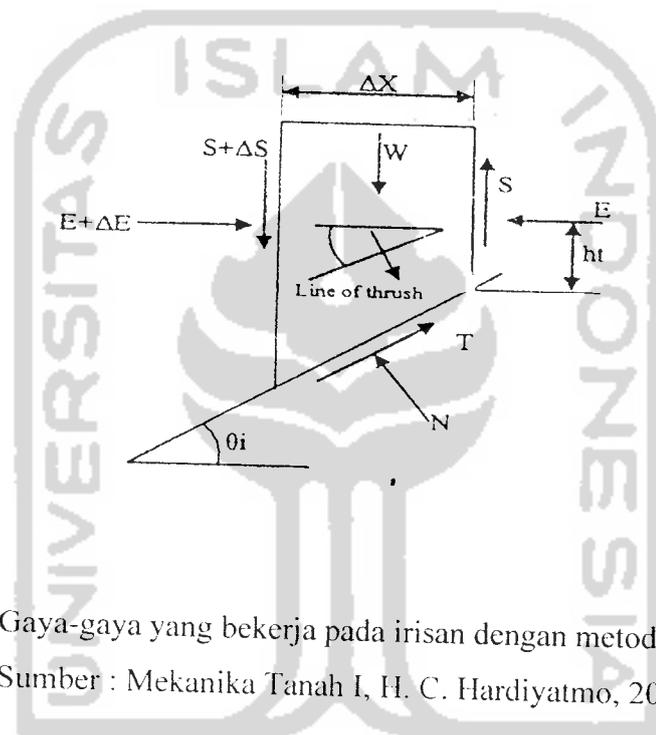
Angka keamanan yang didapatkan dari analisis dengan menggunakan metode ini masih perlu diberikan faktor koreksi (Fo) yang didasarkan nilai kohesi dan sudut geser dalam (ϕ). Janbu menganggap gaya geser yang terjadi pada setiap pias diabaikan tetapi gaya geser secara keseluruhan pada bidang longsor diperhitungkan. Metode ini mengandalkan keseimbangan gaya-gaya vertikal setiap pias dan gaya horizontal secara keseluruhan, sedangkan keseimbangan momen tidak ditinjau, Metode ini memberikan faktor keamanan sebagai berikut ini,

$$SF = \frac{\sum (c \cdot \Delta x_i \cdot \sec \phi + [(W_i \cdot \Delta x_i) \sec \phi - tg \phi] \tan \phi) \sec \phi}{\sum (w_i + \Delta x_i) g \phi} > 1,0 \dots\dots\dots 3.2$$

Dengan :

- SF : faktor aman
- c : kohesi tanah efektif (kN/m²)
- W_i : gaya berat pias ke-I (kN)
- ϕ : sudut gesek internal tanah (°)

- Δx_i : lebar irisan ke-i
 ϕ : sudut gesek dalam tanah efektif (°)
 θ_i : sudut irisan ke-i
 ΔS : resultan gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan arah vertikal



Gambar 3.3 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan metode Janbu.

Sumber : Mekanika Tanah I, H. C. Hardiyatmo, 2002

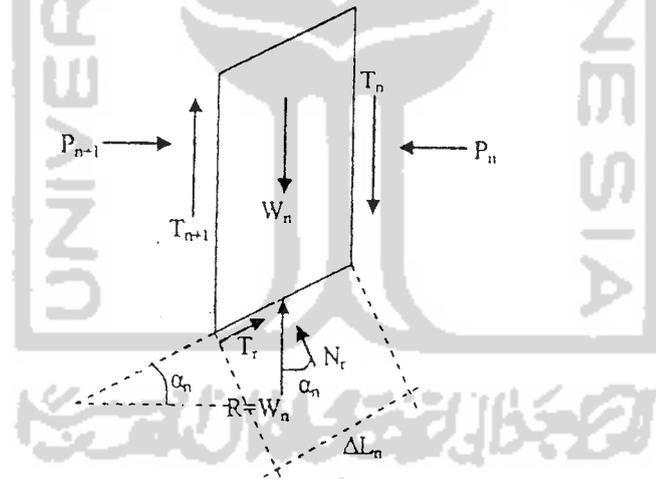
3.10.3 Metode Ordinary

Metode ini menganggap gaya yang bekerja pada pias arah vertikal diabaikan meskipun asumsi secara statis kurang memuaskan. Ordinary menyimpulkan untuk semua irisan yang diberikan, berat (W_i) dapat ditetapkan sebagai hasil yang melintasi tiap bagian dari gaya berat serta lebar irisan (John N Cernina, 1982). Gaya berat diasumsikan melewati titik pusat tiap irisan. Metode Ordinary memberikan faktor keamanan sebagai berikut ini.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c\Delta l + (W_i \cdot \cos \alpha_i - u_i) \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin \alpha_i} > 1,0 \dots\dots\dots 3.3$$

Dengan :

- SF : faktor aman
- c : kohesi tanah efektif (kN/m²)
- W_i : gaya berat pias ke-I (kN)
- Φ : sudut gesek internal tanah (°)
- Δl_i : lebar irisan ke-i
- α_i : sudut irisan ke-i (°)



Gambar 3.4 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan metode Ordinary.

Sumber : Mekanika Tanah I, H. C. Hardiyatmo, 2002

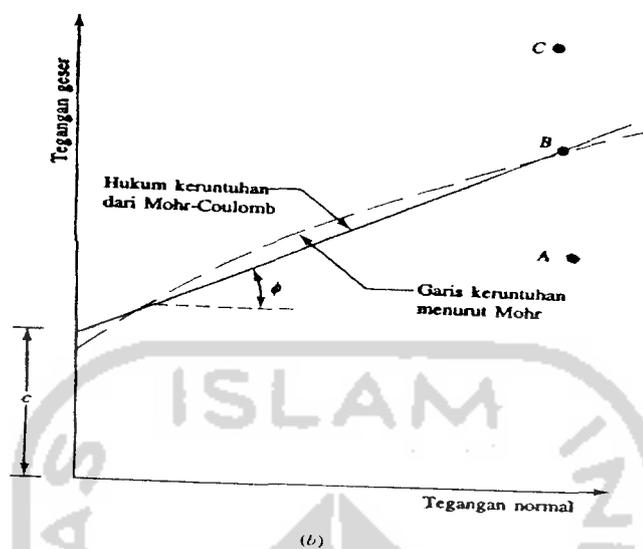
3.11 Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser pada suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas talud dan tekanan tanah kesamping pada turap maupun tembok penahan tanah, mula-mula harus mengetahui sifat-sifat ketahanan geser tanah tersebut.

Mohr (1910) memberikan teori mengenai kondisi keruntuhan suatu bahan. Teorinya adalah bahwa keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Selanjutnya hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan menurut persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \dots \dots \dots 3.4$$

dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan, dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang didefinisikan dalam persamaan (3.4) adalah kurva yang ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Kriteria kegagalan Mohr dan Coloumb

Sumber : Mekanika Tanah I. H. C. Hardiyatmo, 2002.

3.12 Lumpur Lapindo

Dalam industri perminyakan yang disebut dengan semburan liar (*blow out*) biasanya semburan gas atau minyak bumi bertekanan tinggi, melalui lubang sumur yang tidak terkendali dan bisa terbakar. Semburan liar (*blow out*) yang keluar di Porong adalah lumpur dengan sedikit gas, bertekanan dan temperatur tinggi, tetapi tidak terbakar serta keluar bukan melalui lubang sumur dan diduga fenomena *mud volcano* (gunung lumpur). Hal ini didasarkan fakta, adanya fenomena serupa di berbagai tempat di Indonesia dan di dunia. Sekalipun fenomena *mud volcano* semakin memberikan fakta nyata, namun ini perlu didukung dengan fakta yang penting bahwa *mud volcano* pada umumnya terbentuk dan berasosiasi dan pembentukan gelembung lempung (*shale diapir*). Di berbagai tempat yang memperlihatkan adanya *mud volcano* selalu oleh gejala *diapirism material plastic* di bawah permukaan yang menyembul kepermukaan akibat tekanan lapisan batuan

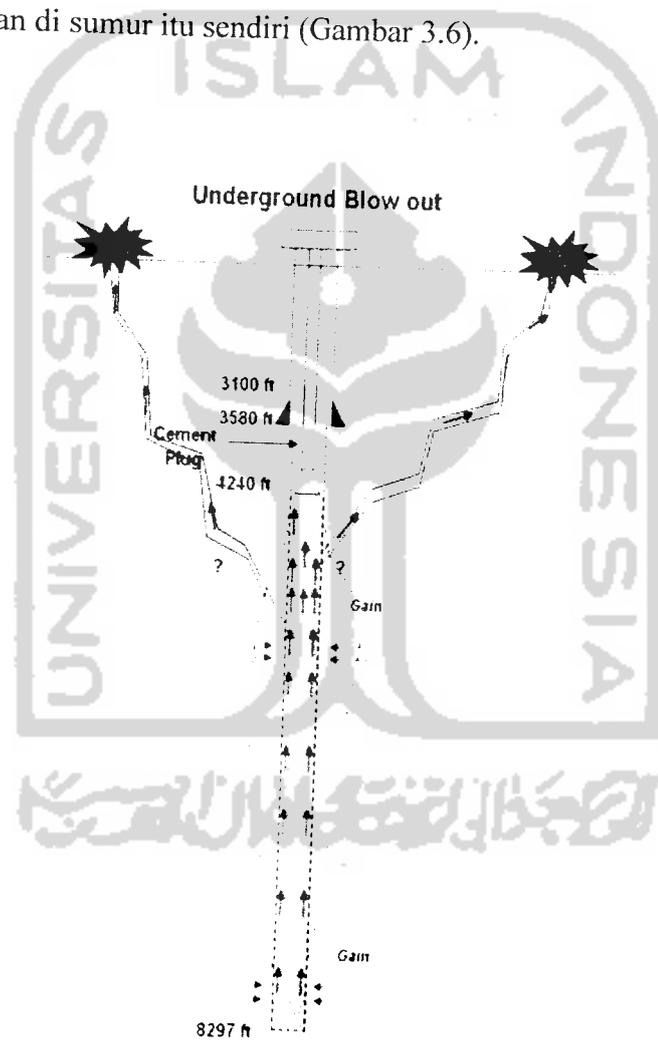
disekelilingnya, melalui bidang-bidang tekanan dan sesar. Material plastik bertekanan tinggi itu terbentuk oleh lempung bercampur air dari dalam lapisan lempung yang terkurung dan terperas misalnya oleh gaya-gaya tektonik aktif disekitarnya.

PT Lapindo Brantas Inc adalah salah satu perusahaan Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) yang ditunjuk BPMIGAS untuk melakukan proses pengeboran minyak dan gas bumi. Saham PT Lapindo Brantas Inc dimiliki oleh PT Energi Mega Persada melalui anak perusahaannya yaitu PT Kalila Energi Ltd (84,24%) dan Pan Asia Enterprise (15,76%). Saat ini PT Lapindo Brantas Inc memiliki 50% *participating interest* di wilayah Blok Brantas. Selain Lapindo Brantas, *participating interest* Blok Brantas juga dimiliki oleh PT Medco E&P Brantas sebesar 32% dan Santos sebesar 18%. Dikarenakan PT Lapindo Brantas Inc memiliki saham paling besar, maka PT Lapindo Brantas Inc bertindak sebagai operator.

Pada awalnya sumur tersebut direncanakan hingga kedalaman 8500 kaki (2590 meter) untuk mencapai formasi kujung (batu gamping). Sumur tersebut akan dipasang selubung bor (*casing*) yang ukurannya bervariasi sesuai dengan kedalaman untuk mengantisipasi potensi hilangnya lumpur dalam formasi (*circulation loss*) dan masuknya fluida formasi tersebut kedalam sumur sebelum pengeboran mencapai formasi kujung (batu gamping).

Setelah kedalaman 9297 kaki akhirnya mata bor menyentuh batu gamping. PT Lapindo Brantas Inc mengira formasi kujung telah tercapai, padahal mereka hanya menyentuh formasi Klitik. Batu gamping formasi Klitik ini sangat bolong-bolong (*porous*), akhirnya lumpur yang digunakan untuk melawan lumpur formasi pucungan mengalami *circulation loss* sehingga Lapindo Brantas Inc kehilangan lumpur di permukaan. Akibat habisnya lumpur, maka lumpur formasi pucungan berusaha menerobos keluar (*kick*). Mata bor berusaha ditarik tetapi terjepit sehingga di potong. Sesuai prosedur standar, operasi pengeboran dihentikan, perangkat *Blow Out Preventer* (BOP) di ring segera ditutup dan segera dipompa lumpur pemboran beridentitas barat ke dalam sumur dengan tujuan mematikan *kick*.

Diperkiraan kondisi geologis tanah tidak stabil dan kemungkinan banyak terdapat rekahan alami (*natural fissure*) yang bisa sampai ke permukaan. Karena tidak dapat melanjutkan perjalanannya terus ke atas melalui lubang sumur disebabkan BOP sudah ditutup, maka fluida formasi bertekanan tadi akan berusaha mencari jalan lain yang lebih mudah yaitu melewati rekahan alami dan berhasil. Ini membuktikan bahwa semburan liar (*blow out*) terjadi di berbagai tempat di sekitar area sumur, bukan di sumur itu sendiri (Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Penyebab *Blow out* lumpur Lapindo

Sumber : www.wikipedia.com.

Ketika semburan lumpur terjadi pertama kali di sekitar Sumur Banjar Panji 1 (BJP-1), volume lumpur yang dihasilkan masih pada tingkat 5.000 m³/hari, lubang semburan terjadi di beberapa tempat, sebelum akhirnya menjadi satu lubang yang dari waktu ke waktu menyemburkan lumpur panas dengan volume yang terus membesar hingga mencapai 126.000 m³/hari.

Berdasarkan pengujian toksikologis di tiga Laboratorium terakreditasi (Sucofindo, Corelab dan Bogorlab) diperoleh kesimpulan bahwa lumpur Lapindo tidak termasuk limbah B3.

Tabel 3.2 Hasil Uji Toksikologis

Paramater	Hasil uji	Baku Mutu (PP No 18/1999)
Arsen	0,045 Mg/L	5 Mg/L
Barium	1,066 Mg/L	100 Mg/L
Boron	5,097 Mg/L	500 Mg/L
Timbal	0,05 Mg/L	5 Mg/L
Raksa	0,004 Mg/L	0,2 Mg/L
Sianida bebas	0,02 Mg/L	20 Mg/L
Trichlorophenol	0,017 Mg/L	2 Mg/L (2,4,6 Trichlorophenol) 400 Mg/L (2,4,4 Trichlorophenol)

Sumber : www.wikipedia.com.

Semburan lumpur Lapindo tersebut membawa dampak yang luar biasa bagi masyarakat sekitar maupun bagi aktivitas perekonomian di Jawa Timur. Adapun dampak yang disebabkan oleh semburan lumpur Lapindo.

1. Lumpur menggenangi dua belas desa dari tiga Kecamatan. Luapan lumpur telah menggenangi sejumlah desa/kelurahan di kecamatan Porong, Jabon, dan Tanggulangin dengan total warga yang dievakuasi sebanyak lebih dari 14.768 jiwa dari 4.125 keluarga,
2. Lumpur sudah menggenangi areal persawahan seluas 600 Ha, dan kerugian diperkirakan sebesar Rp 15 Triliun karena mengalami gagal panen sebanyak tiga kali (Versi Dewan Tani),

3. Sebanyak 23 unit pabrik yang tergenang dan terpaksa menghentikan aktivitas produksi serta merumahkan 1.873 orang karyawan,

4. Rumah/tempat tinggal yang rusak akibat di terjang lumpur dan rusak sebanyak 10.426 unit, 33 unit sekolah, dan 65 unit tempat ibadah,

5. Akibat turunnya permukaan tanah di sekitar semburan lumpur mengakibatkan meledaknya pipa gas milik Pertamina. Pertamina mengalami kerugian sebesar Rp 140 miliar,

6. Ditutupnya ruas tol Surabaya-Gempol hingga waktu yang tidak ditentukan, dan mengakibatkan kemacetan di jalur-jalur alternatif yaitu melalui Sidoarjo-Mojosari-Porong dan jalur Waru-tol-Porong. Jasa Marga mengalami kerugian sebesar Rp 12 miliar (belum termasuk bulan Januari-Maret 2007).

3.13 Sistem Klasifikasi Tanah

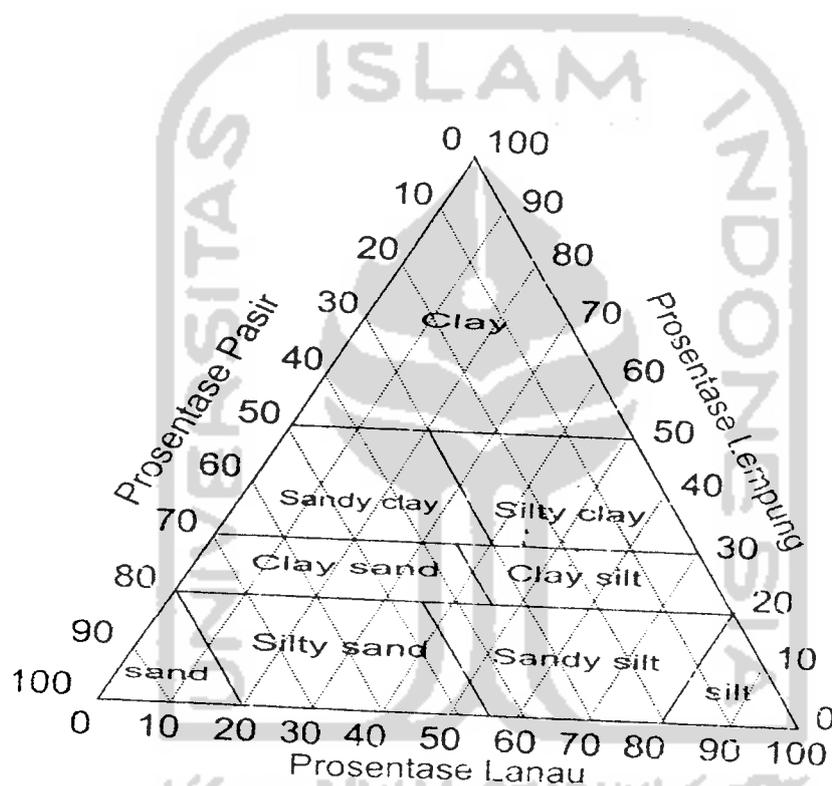
Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem Klasifikasi untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitasnya.

Sistem Klasifikasi tanah bertujuan membagi tanah dalam beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang mirip diberi simbol nama yang sama. Ada dua (2) sistem klasifikasi yang umum dan banyak dipakai, yaitu :

1. Sistem USCS (*the Unified Soil Classification System*),
2. Sistem AASHTO (*the American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*).

3.13.1 Klasifikasi tanah sistem USCS

Menurut sistem ini tanah dibagi dalam tiga kelompok yaitu kelompok tanah berbutir kasar, kelompok tanah berbutir halus dan kelompok tanah organik tinggi. Kemudian diuraikan lebih spesifik lagi dengan memberi simbol pada setiap jenisnya. Bagan klasifikasi tanah sistem USCS dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Tabel 3.3 berikut ini.



Gambar 3.7 Klasifikasi Tanah USCS

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi utama	Simbol kelompok	Nama jenis	Kriteria klasifikasi
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no 200 (0.075 mm)	Kerikil 50 % atau dari fraksi kasar tertahan saringan no 4 (4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tidak ada butiran halus)	$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4; CU = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas atterberg dibawah garis A atau $PI > 4$ Batas-batas atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ $CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6; CU = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
		Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no 4 (4.75 mm)	Pasir bersih (sedikit atau tidak ada butiran halus)	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$
		Kerikil berhempung campuran kerikil pasir lanau	
Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no 4 (4.75 mm)	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Kerikil berlanau, Campuran kerikil lanau	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Bila batas atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai doblel symbol
		Pasir gradasi buruk, Pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butir halus	
Pasir banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	

Lanjutan Tabel 3.3

Tanah 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 sangat halus, serbuk, batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar air dan plastisitas terhanding dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar Batas atterberg yang termasuk dalam daerah yang di arsip berarti batasan klasifikasinya menggunakan 2 simbol</p> <p>CL Gairr. A MH atau OH</p> <p>Liquid Limit, LL (%) C 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100</p> <p>PI = 0.73(LL - 20)</p>
	CL	Lempung tak berorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (lean clays)	
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
Lanau dan lempung batas cair >50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis	<p>OH</p> <p>Lempung organik-dengan plastisitas sedang sampai tinggi</p>
	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	

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di
ASTM designation D-2488

dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Pada sistem ini tanah dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu :

1. Bahan granular, jika yang lolos ayakan # 200 < 35% (kelompok A-1 sampai A-3).
2. Bahan lanau lempung, jika lolos ayakan # 200 > 35%.

Indeks kelompok (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \dots\dots\dots 3.5$$

Dengan :

GI : indeks kelompok (*group index*).

LL : batas cair (%).

PI : indeks plastisitas (%).

F : persen material lolos saringan No.200 (0,0075 mm).

Indeks kelompok yang diperoleh, nilainya dibulatkan ke angka utuh terdekat. Jika negatif dianggap nol. Khusus kelompok A-2-6 dan A-2-7 nilai indeks kelompok dihitung dari rumus diatas dari bagian PI saja. Makin rendah indeks kelompok bahan tersebut makin baik untuk *subgrade*.

Sistem klasifikasi AASHTO, dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)				Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)																
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7											
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6					A-2-7										
Analisis saringan (% lolos)	50 maks	-	51 min 10 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2,00 mm (no. 10)	30 maks	50 maks																			
0,425 mm (no. 40)	15 maks	25 maks																			
0,075 mm (no. 200)																					
Sifat fraksi lolos saringan no. 40																					
Batas cair (LL)																					
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np																		
Indeks kelompok (G)	0		0																		
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir			Tanah berlanau		Tanah berlempung												
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik			Sedang sampai buruk																	

Catatan:

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

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

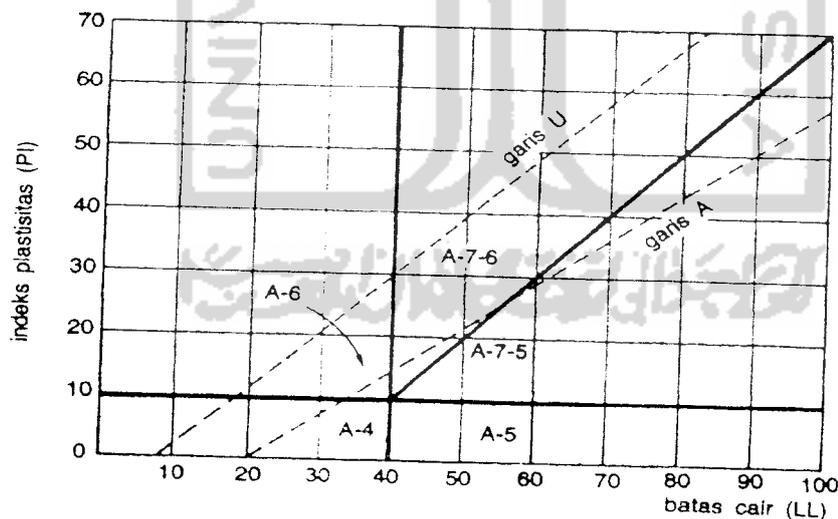
Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.

Np = nonplastis

Bila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler yang bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan No. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung lanau. Perbedaan keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg.

Garis A dari Casagrande dan garis U digambarkan bersama-sama. Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (*peat*) diletakkan dalam kelompok A-8.

Gambar 3.9 adalah gambar yang dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2.



Gambar 3.9 Batas-batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7

Sumber : Mekanika Tanah I, H. C. Hardiyatmo, 2002

3.14 Analisis Ukuran Butiran

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya.

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan prosentase berat butiran pada suatu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu.

3.14.1 Tanah Berbutir Kasar

Distribusi ukuran butir dari tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar untuk pengujian tanah. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang selanjutnya dihitung prosentase terhadap berat kumulatif pada tiap-tiap saringan.

3.14.2 Tanah Berbutir Halus

Distribusi ukuran butir tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi/pengendapan. Bila suatu contoh tanah dilarutkan didalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes (H.C. Hardiyatmo, 2002), yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi. Menurut Stokes, kecepatan mengendap butiran dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} D^2 \dots\dots\dots 3.6$$

Dengan :

v = kecepatan, sama dengan jarak/waktu (L/t).

γ = berat volume air (g/cm^3).

γ_s = berat volume butiran padat (g/cm^3).

μ = kekentalan air absolut (g.det/cm^2).

D = diameter butiran tanah (mm).

Dengan menganggap $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$,

$$D(\text{mm}) = K \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{detik})}} \dots\dots\dots 3.7$$

Sedangkan

$$K = \sqrt{\frac{30\mu}{G_s - 1}} \dots\dots\dots 3.8$$

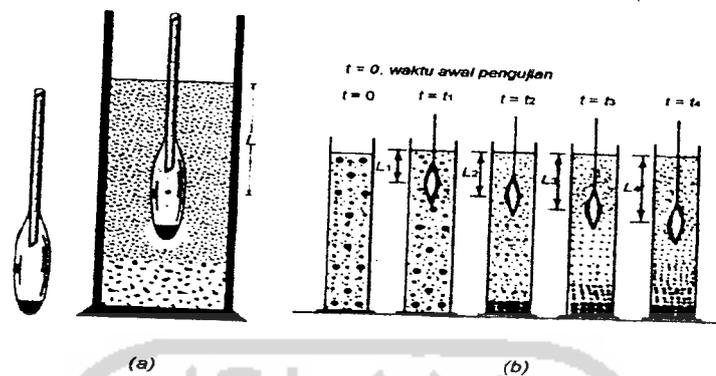
Keterangan :

K = konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur ($t^\circ\text{C}$) suspensi dan berat jenis butir tanah (G_s).

L = kedalaman efektif, yang nilainya ditentukan oleh jenis hidrometer yang dipakai dan pembacaan hidrometer pada suspensi yang dipakai.

t = waktu pembacaan.

Pada uji Hidrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik, kemudian tanah dilarutkan ke dalam air destilasi yang telah dicampuri dengan bahan pendeflokulasi (*defloculating agent*) yang dapat berupa *Sodium Hexametaphosphate* agar partikel-partikel larutan menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Gambar 3.10 adalah gambar alat uji hidrometer.



Gambar 3.10 Alat uji hidrometer

3.15 Batas-batas Konsistensi (*Atterberg Limits*)

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisnya, dimana plastisnya disebabkan oleh adanya partikel dalam tanah. Batas-batas konsistensi tanah yang dikemukakan oleh Atterberg (1911) didasarkan kepada kadar air, yaitu :

a. Batas Cair / *Liquid Limit* (LL)

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (batas bawah dari daerah plastis).

b. Batas Plastis / *Plastic Limit* (PL)

Batas Plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis semi padat, yaitu prosentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak ketika digulung.

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

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

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(V_1 - V_2)}{M_2} \times 100\% \dots \dots \dots 3.9$$

Keterangan :

m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr)

m_2 = berat tanah kering dalam oven (gr)

V_1 = volume tanah basah dalam cawan (cm³)

V_2 = volume tanah kering dalam oven (cm³)

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

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air 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.

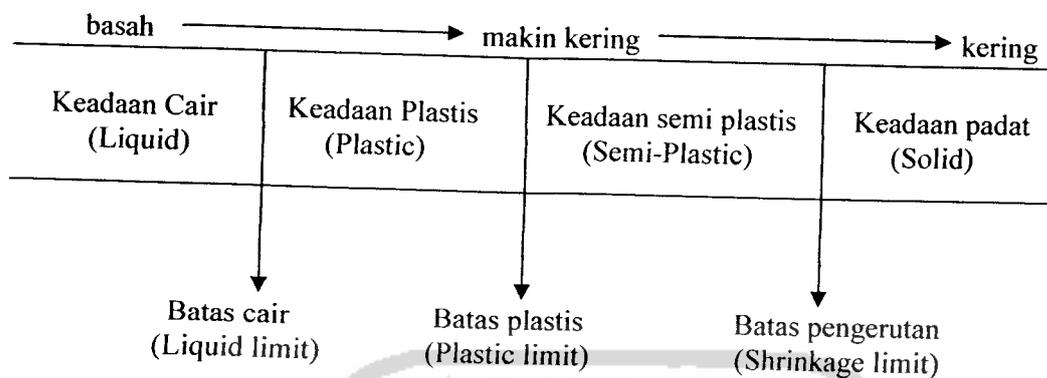
$$PI = LL - PL \dots \dots \dots 3.10$$

Dengan :

PI = indek plastisitas (%) ,

LL = batas cair(%),

PL = batas plastis(%).



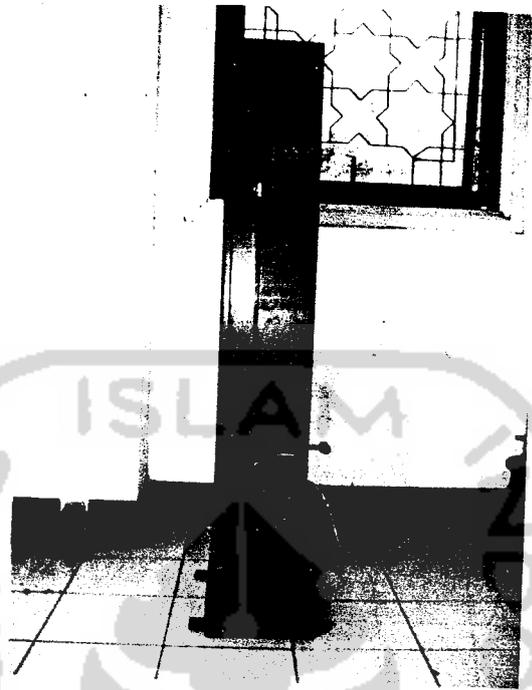
Gambar 3.11 Batas konsistensi tanah

Sumber : Mekanika Tanah I, H. C. Hardiyatmo, 2002.

3.16 Kepadatan Tanah

Kepadatan adalah proses bertambahnya berat volume kering tanah sebagai akibat mampatnya partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara tanpa perubahan volume air. Pengujian Proktor ini dilakukan untuk mencari hubungan kadar air dengan berat volume tanah, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatannya. Tingkat kepadatan diukur dari berat volume tanah yang dipadatkan, selanjutnya terdapat satu nilai kadar air optimum (*OMC*) tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering yang maksimumnya (*MDD*).

Derajat kepadatan tanah diukur berdasarkan satuan berat volume kering (*dry density*), yaitu masa partikel padat per satuan volume tanah. Umumnya makin tinggi derajat pemadatan, maka makin tinggi kekuatan geser dan makin rendah kompresibilitas tanah. Kerapatan kering setelah pemadatan tergantung pada kadar air dan besarnya energi yang diberikan alat pemadat. Gambar alat uji Proctor standar dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut ini.



Gambar 3.12 Alat uji Proctor standar

Pemadatan tanah berpengaruh terhadap kualitas 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.

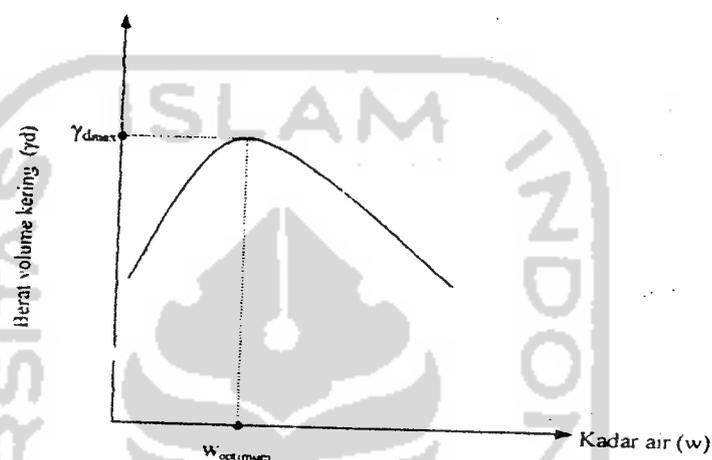
Derajat kejenuhan tanah dapat diukur dari berat volume keringnya.

Hubungan berat volume kering (γ_k) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar airnya (w). Dinyatakan :

$$\gamma_k = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots 3.11$$

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 3.13.



Gambar 3.13 Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air

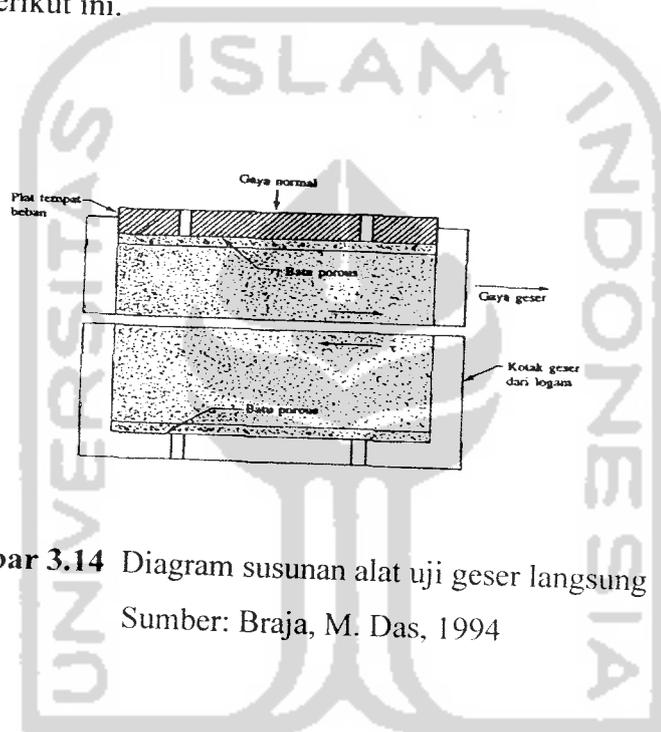
3.17 Uji Kuat Geser Langsung

Pengujian kuat geser langsung dilakukan dengan menempatkan contoh tanah yang dipasang dalam alat yang diberikan tegangan vertikal (tegangan normal) yang konstan hingga tercapai nilai maksimum. Tegangan geser ini dipakai dengan memakai kecepatan bergerak yang konstan, yang dilakukan secara perlahan-lahan sehingga tekanan air pori selalu tetap nol. Pengujian ini digunakan untuk menentukan nilai sudut geser tanah (ϕ), kohesi (c) serta kuat geser tanah (τ).

Alat uji geser langsung menggunakan kotak geser dari besi yang berfungsi sebagai tempat benda uji kuat geser, benda uji dapat berbentuk bujur sangkar atau lingkaran. Pengujian dilakukan dengan menempatkan contoh tanah kedalam kotak geser dengan ukuran benda uji 6 x 6 cm, dengan tinggi 2 cm dan luas 36 cm².

Kotak geser terdiri dari dua bagian sama sisi dengan arah horizontal. Gaya normal pada benda uji tanah didapat dengan menaruh suatu beban di atasnya, beban mati tadi menyebabkan tekanan pada benda uji $0,25 \text{ kg/cm}^2$, $0,5 \text{ kg/cm}^2$ dan 1 kg/cm^2 . Gaya geser diberikan dengan mendorong sisi kotak sebelah atas sampai terjadi keruntuhan geser pada tanah.

Gambar skematis kotak tempat benda uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 3.14. berikut ini.



Gambar 3.14 Diagram susunan alat uji geser langsung
Sumber: Braja, M. Das, 1994

Uji geser langsung dilakukan beberapa kali pada sebuah benda uji tanah dengan beberapa macam tegangan normal. Harga tegangan normal dan harga tegangan yang didapat dengan melakukan pengujian dapat digambarkan dengan beberapa grafik untuk menentukan parameter kuat geser.

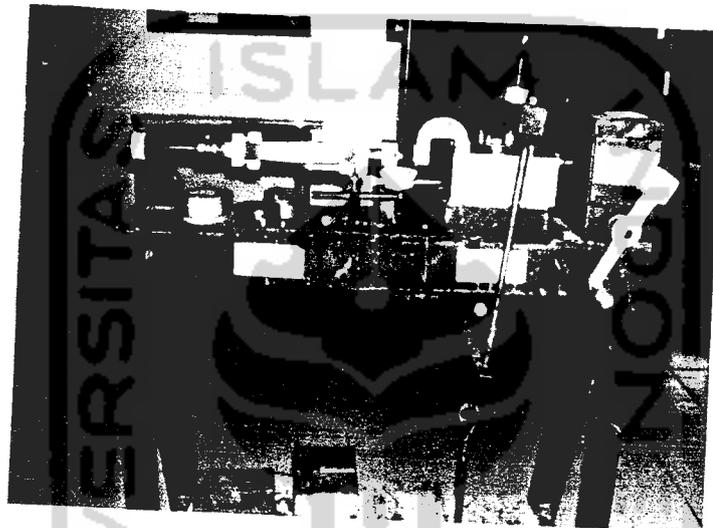
Tegangan normal dapat dihitung dengan persamaan 3.13 sebagai berikut :

$$\sigma = \text{Tegangan normal} = \frac{\text{Gaya normal yang bekerja}}{\text{Luas penampang lintang sampel tanah}} \dots\dots\dots 3.13$$

Tegangan geser yang melawan pergerakan geser dapat dihitung dengan persamaan 3.14 sebagai berikut :

$$\tau = \text{Tegangan geser} = \frac{\text{Gaya geser yang melawan pergerakan}}{\text{Luas penampang lintang sampel tanah}} \dots\dots\dots 3.14$$

Gambar 3.15 berikut ini adalah gambar alat uji geser langsung laboratorium yang akan digunakan.



Gambar 3.15 Alat uji geser langsung

3.18 Program Geo-slope (Slope/w)

Banyak metode dan gaya untuk mengetahui batas kemampuan tanah menahan gaya yang terjadi untuk melongsorkan tanah, baik secara manual maupun analisis yang dilakukan dengan menggunakan komputer. Perbedaan analisis yang dilakukan dengan komputer dapat memberikan hasil yang lebih presisi dan cepat. Namun prinsipnya sama yaitu mencari batas kemampuan tanah lereng menahan gerakan longsor.

SLOPE/W adalah sebuah program yang dioperasikan *under* Microsoft Windows 98. SLOPE/W menggunakan teori keseimbangan plastis batas (*limit*

equilibrium theory) untuk menghitung faktor aman lereng tanah maupun batuan serta dapat digunakan untuk analisis dan desain di bidang teknik sipil.

Sebagai bagian dari SLOPE/W software Versi 5, SLOPE/W dapat digunakan untuk geoteknik dengan menampilkan kemungkinan analisis stabilitas lereng dengan berbagai input, seperti kuat dukung tanah (*soil strength*), kohesi, dan sudut gesek dalam tanah.

SLOPE/W terdiri dari tiga tahap untuk menganalisis data yaitu DEFINE untuk mendefinisikan model, SOLVE untuk menghitung hasil, dan CONTOUR untuk menampilkan hasil analisis.

3.18.1 Slope/w Define

Langkah awal dalam analisis stabilitas lereng adalah dengan mendefinisikan masalah dengan SLOPE/W yang di dalamnya terdapat menu seperti berikut ini.

A. Menu Set

Menu Set terdiri dari perintah :

1. *Page* digunakan untuk mengatur daerah kerja,
2. *Scala* digunakan untuk mengatur skala, satuan, dan berat satuan air,
3. *Grid* digunakan untuk menampilkan dan mengatur titik-titik grid sebagai bantuan dalam penggambaran,
4. *Zoom* dan *axes* digunakan untuk mengatur *display*.

B. Menu Key In

1. *Analysis Method* digunakan untuk memilih metode analisis,
2. *Analysis Control* untuk menentukan pilihan probabilitas, bidang longsor (*slip surface*), serta arah pergerakan (*direction of movement*),
3. *Soil Propertis* untuk mendefinisikan parameter tanah,
4. *Points* digunakan untuk menentukan koordinat dalam pembuatan permodelan lereng,

4. *Lines* untuk mendefinisikan batas tiap lapis tanah.

3.18.2 Slope/w Solve dan Slope/w Contour

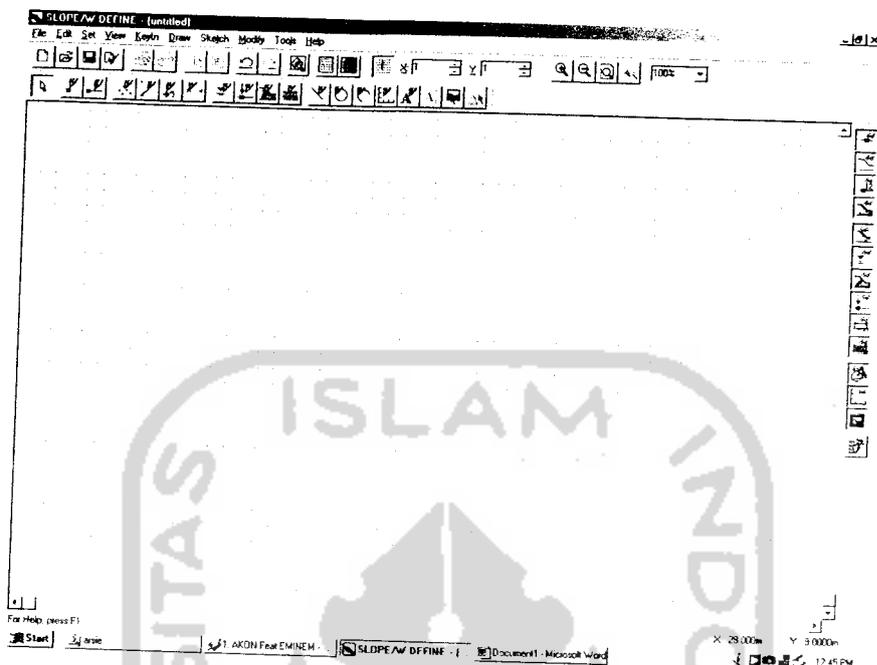
SLOPE/W SLOPE merupakan eksekusi (*running*) program untuk menghitung nilai faktor aman (SF) dari kasus yang didefinisikan dalam DEFINE, sedangkan dalam SLOPE/W CONTOUR dapat ditampilkan hasil analisis secara grafis diantaranya berupa gambar bidang longsor. SOLVE dan CONTOUR dapat dinamakan sebagai *executable program* tersendiri ataupun dapat secara praktis di-*run* dengan menu *tools*; CONTOUR dalam DEFINE. Untuk menampilkan hasil analisis dengan metode yang dipakai berikut nilai SF-nya digunakan tombol di *Toolbar* yang telah disediakan.

3.18.3 Proses Analisis Program Geo-slope

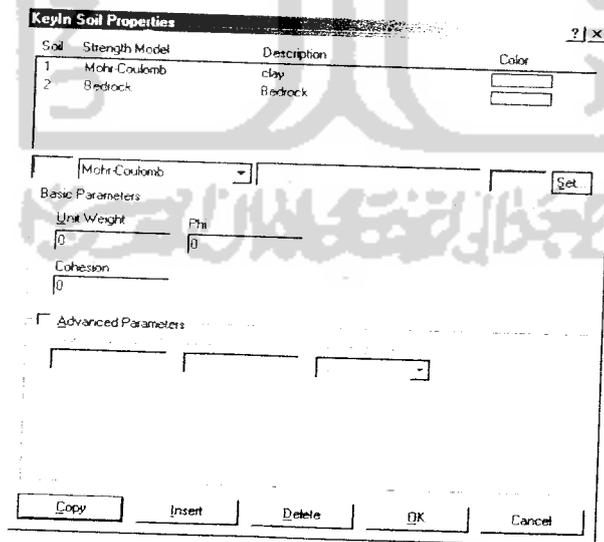
A. Input data dan Proses analisis

Langkah awal dalam proses analisis yaitu dengan memasukkan input data yang terdapat pada menu *key-in (soil properties)*. Input data yang dibutuhkan yaitu parameter tanah yang berupa kohesi, sudut gesek dalam, serta kepadatan tanah.

Dalam menu tersebut juga didefinisikan jumlah lapis tanah yang digunakan. Tampilan menu tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.16 di bawah ini



Gambar 3.16 Tampilan awal SLOPE W DEFINE



Gambar 3.17 Soil properties dalam menu key in

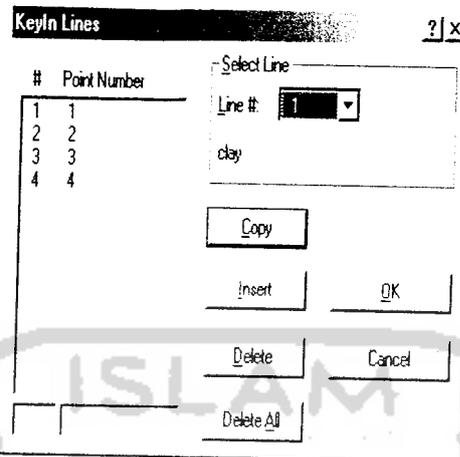


Langkah selanjutnya dalam proses analisis ini mendefinisikan titik-titik koordinat yang terdapat dalam menu *key in (points)*. Titik ini digunakan untuk menentukan titik akhir dari bagian-bagian garis, grid titik pusat dan semua data lainnya yang diperlukan dalam SLOPE/W.

#	X-Coordinate	Y-Coordinate
1	1.0000e+000	4.0000e+000
2	6.0000e+000	4.0000e+000
3	7.5000e+000	2.0000e+000
4	1.0000e+001	2.0000e+000
5	1.0000e+000	1.0000e+000
6	1.0000e+001	1.0000e+000
7	8.5000e+000	5.0000e+000
8	1.0000e+001	3.0000e+000
9	1.2000e+001	5.0000e+000
10	5.5000e+000	4.0000e+000
11	1.0000e+001	5.0000e+000
12	1.0000e+000	3.5000e+000
13	6.0000e+000	3.5000e+000

Gambar 3.18 *Points* dalam menu *key in*

Langkah selanjutnya yaitu mendefinisikan batas tiap lapis tanah yang terdapat dalam menu *key in lines*.



Gambar 3.19 *lines* dalam menu *key in*

Setelah proses input data selesai, langkah selanjutnya yaitu mendefinisikan pusat dan radius untuk bidang longsor berbentuk lingkaran dan komposit yang terdapat dalam menu *key in (slip surface)*. Cara praktis untuk mendefinisikan *grid* dan *radius lines* dengan menu *draw slip surface (grid)* dan *draw slip surface (radius)*.

KeyIn Slip Surface

Grid Corner Points
 Upper Left: 7
 Lower Left: 8 Lower Right: 9

of Grid Increments
 X: 3 Y: 3

Radius Corner Points:
 Upper Left: 10 Upper Right: 10
 Lower Left: 11 Lower Right: 11

of Radius Increments: 2

Projection Angles
 Use Left (Active) Angle of: 0.00
 Use Right (Passive) Angle of: 0.00

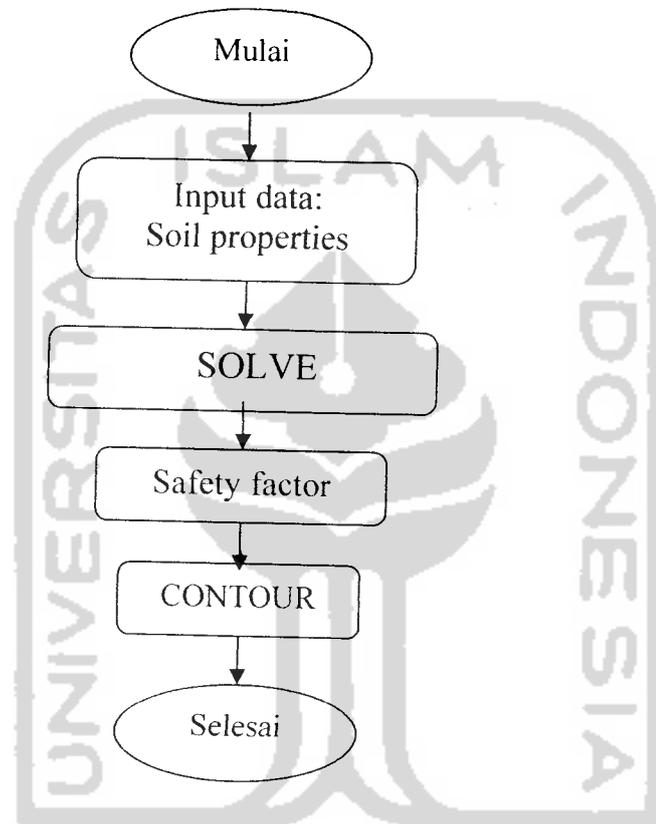
OK Cancel

Gambar 3.20 Tampilan Submenu *Slip Surface*

A. Hasil Analisis (*Out put*)

Dari hasil *running* program yang terdapat dalam menu SOLVE, didapatkan hasil dari nilai faktor aman (SF). Untuk menampilkan hasil analisis dapat digunakan menu *Tolls : Contour* dalam *Define*.

3.18.4 Bagan Alir Slope/W



Gambar 3.21 Bagan Alir Slope W

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Tanah

Dalam penelitian ini tanah yang digunakan adalah lumpur PT Lapindo Brantas Inc, Sidoarjo, Jawa Timur.

2. Air

Air yang digunakan adalah air PDAM yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

4.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang berhubungan dengan pengujian sifat-sifat fisik dan alat uji Mekanis tanah yaitu uji Proktor standar, uji geser langsung, dan uji CBR di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

4.3 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.

4.4 Jalannya Penelitian

Jalannya penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap, yaitu : tahap persiapan, tahap pekerjaan lapangan dan Laboratorium.

4.4.1 Tahap Persiapan

1. Studi pendahuluan yaitu studi literatur tentang :
 - a. Uji Geser Langsung,
 - b. Uji Kepadatan.
2. Mengumpulkan informasi dan data mengenai lumpur.
3. Pengajuan proposal kepada dosen pembimbing dan seminar proposal serta mengurus perijinan untuk kegiatan penelitian.

4.4.2 Tahap Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan adalah menentukan tempat dan lokasi pengambilan sampel dilanjutkan pengambilan sampel lumpur. Metode pengambilan sampel lumpur yang diambil adalah lumpur yang tidak terganggu (*undisturb soil*) dari Porong, Sidoarjo, Jawa Timur.

4.4.3 Tahap pekerjaan Laboratorium

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pekerjaan Laboratorium adalah pengujian sifat-sifat lumpur Lapindo dalam kondisi tidak terganggu (*undisturb soil*). Pengujian yang dilakukan meliputi : pengujian sifat-sifat mekanis tanah, pengujian kepadatan tanah/Proktor, pengujian dan pengujian geser langsung.

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

Pengujian sifat-sifat mekanis lumpur yang dilakukan meliputi :

- a. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-71)
- b. Pengujian berat volume tanah

- b. Apabila contoh tanah yang dipersiapkan berupa tanah asli dari tabung, maka keluarkan contoh tanah (dengan arah dari ujung tabung pangkal tabung tanah) dan desak masuk ke dalam cincin cetak. Kemudian potong tanah agak lebih sedikit dan ratakan sehingga contoh tanah rata dengan permukaan cincin cetak bagian atas maupun bagian bawah.
 - c. Apabila yang diperiksa berupa tanah yang dipadatkan dalam laboratorium maka dapat digunakan alternatif cara :
 - Tanah dipadatkan dalam silinder pemadatan dengan kadar air dan kepadatan sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian desak contoh tanah keluar tabung pemadatan masuk ke dalam cincin cetak. Masukkan pelan-pelan sambil iris tanah diluar cincin. Potong rata dengan cincin cetak atas dan bawah. Hindarkan tambahnya udara dalam pori tanah. Kemudian bentuk kembali dan padatkan dalam cetakan sehingga kepadatannya sama dengan aslinya.
 - Tanah padat dari silinder pemadatan seperti pada a, dikeluarkan dari silinder pemadatan kemudian dipotong dan dibubut sesuai dengan bentuk benda uji yang akan diperiksa.
 - Contoh dipadatkan tidak dalam silinder tetapi langsung dalam ruang contoh tanah dalam kotak geser dengan kadar air dan kepadatan yang dikehendaki.
 - Periksa dan catat kadar air dan berat volume contoh tanah.
4. Prosedur pengujian
- a. Kotak geser yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian atas dan bawah. Satukan kedua bagian tersebut dengan sekrup pengunci yang ada.
 - b. Pasang dan atur pada kotak geser, berturut-turut :
 - Paling bawah tempatkan batu pori yang sebelumnya dikenyangkan air (direbus dalam air sekitar 15 menit atau direndam dalam waktu 4-8 jam).

- c. Pengujian berat jenis tanah (ASTM D 854-72)
- d. 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 yang berasal dari daerah Porong, Sidoarjo, Jawa Timur. Tanah yang digunakan untuk pembuatan benda uji ini adalah lumpur asli sehingga nantinya dalam pengujian selanjutnya akan digunakan tanah benda uji yang mempunyai nilai γ_d maks dan w_{optimum} yang diperoleh dari uji proktor standar. Kecepatan terbaik dari benda uji diperoleh apabila berat volume kering (γ_d) dan kadar air (w_{optimum}) benda uji adalah sama dengan γ_d maks dan w_{optimum} tanah yang diperoleh dari Uji pemadatan Proktor standar, sedangkan untuk uji geser langsung akan digunakan lumpur dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed soil*) sebagai sampel benda uji..

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

- a. Menumbuk lumpur yang sudah kering, kemudian disaring dengan menggunakan saringan No.4 sebanyak tanah yang dianggap cukup,
- b. Mencari kadar air tanah (w_{asli} , %),
- c. 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 diaduk sampai rata (homogen) untuk mendapatkan pemadatan terbaik. Penambahan air dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

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

w_{optimum} adalah kadar air tanah yang diperoleh dari pengujian proktor.

- d. Membersihkan cetakan benda uji untuk masing-masing pengujian, olesi dengan pelumas jika perlu agar tanah benda uji tidak lengket pada cetakan,
- e. 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.

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

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

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

a. Pengujian Kepadatan Tanah

Pengujian kepadatan tanah dilakukan dengan uji Proctor standar yang mengacu pada standar ASTM D 698-70.

1. Tujuan pengujian.

Menentukan hubungan kadar air dengan kepadatan tanah apabila dipadatkan dengan alat pemadat tertentu.

2. Alat-alat yang digunakan.

- a. Mold pematat dengan diameter 4" = 10,20 cm,
 - b. Palu pematat dengan diameter 2" = 5,05 cm,
 - c. Timbangan/neraca dengan ketelitian 1 gram,
 - d. Jangka sorong,
 - e. Saringan No.4 (# 4,75 mm),
 - f. Pisau perata,
 - g. Loyang,
 - h. Satu set alat pemeriksa kadar air.
3. Persiapan benda uji
- a. Tanah sampel dari lapangan dikeringkan terlebih dahulu sehingga menjadi gembur. Pengeringan dilakukan di udara atau dengan alat pengering lain dengan suhu sekitar 60° C, kemudian gumpalan tanah ditumbuk tetapi butir asli tidak pecah,
 - b. Tanah yang sudah ditumbuk disaring dengan saringan No.4,
 - c. Jumlah sampel untuk pengujian kurang lebih sebanyak 15 kg,
 - d. Benda uji dibagi dalam 6 bagian, tiap bagian dicampur dengan air yang ditentukan dan diaduk sampai merata. Penambahan air diatur sehingga diperoleh benda uji seperti berikut :
 - Tiga buah sampel dengan kadar air kira-kira dibawah optimum dan tiga buah sampel yang lain diatas optimum.
 - Perbedaan kadar air masing-masing antara 3% sampai 5%.

Masing-masing benda uji dimasukkan ke dalam kantong plastik dan didiamkan selama 12 jam sampai kadar air merata.

4. Prosedur pengujian

- a. Timbang berat cetakan dan keping alas dengan ketelitian 5 gram,
- b. Cetakan leher dan keping alas dipasang jadi satu dan ditempatkan pada landasan yang kokoh,
- c. Ambil salah satu dari kelima sampel yang sudah disiapkan, diaduk dan dipadatkan dalam cetakan dengan cara sebagai berikut :

- Jumlah seluruh cetakan tanah harus tepat sehingga tinggi kelebihan tanah yang diratakan setelah leher dilepas dari 5 mm.
 - Pemadatan dilakukan dengan alat tumbuk standard dengan berat 2,477 kg dengan tinggi jatuh 30,48 cm,
 - Tanah dipadatkan dalam tiga lapis, tiap lapis ditumbuk sebanyak 25 kali tumbukan,
- d. Melepas leher sambung, kemudian kelebihan tanah dipotong dari bagian keliling dengan pisau perata. Timbang cetakan yang berisi benda uji beserta keping alas dengan ketelitian 5 gram (W_2),
- e. Benda uji dikeluarkan dengan alat ekstruder dan ambil sebagian kecil dari benda uji untuk pengujian kadar air, kemudian tentukan nilai kadar airnya.
5. Analisis hasil pengujian
- a. Hitung berat volume tanah basah
- $$\gamma = \left(\frac{W_2 - W_1}{V} \right) \dots\dots\dots 4.4$$
- b. Hitung kadar air sampel tanah yang digunakan.
- c. Hitung berat volume kering dengan rumus :
- $$\gamma_d = \left(\frac{\gamma}{1 + w} \right) \dots\dots\dots 4.5$$
- d. Buat kurva hubungan antara kadar air (w) sebagai absis dan berat volume kering sebagai ordinat (γ_d)
- e. Puncak kurva merupakan nilai (γ_d) maksimum, dari titik puncak kurva ditarik garis vertikal memotong absis, pada titik ini merupakan kadar air optimumnya.

b. Pengujian Geser Langsung

Pengujian Geser Langsung mengacu pada standar ASTM D-3080.

1. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan besar parameter geser langsung pada kondisi UU (*Unconsolidated Undrained*). Unconsolidated-Undrained berarti pelaksanaan penggeseran dilakukan sebelum tanah benda melalui konsolidasi. Kondisi *drained* berarti selama penggeseran, air pori tanah tidak diberi kesempatan untuk mengalir keluar.
2. Alat yang digunakan
 - a. Alat pengeluar contoh tanah (*exstruder*).
 - b. Kotak geser untuk benda uji berbentuk bulat atau berbentuk persegi.
 - c. Perlengkapan pembebanan normal (4 kg, 8 kg, 16 kg).
 - d. Perlengkapan untuk menggeser tanah (dengan motor listrik atau dengan manual tangan).
 - e. Cincin beban dengan arloji pengukurnya untuk mengukur gaya geser.
 - f. Arloji pengukur untuk penurunan benda uji.
 - g. Arloji pengukur untuk regangan penggeseran.
 - h. Stopwatch.
 - i. Alat penyiapan benda uji dan alat-alat pemeriksa kadar air.
3. Persiapan benda uji dan prosedur pengujian
 - a. Benda uji yang perlu disediakan sekurang-kurangnya sebanyak 3 buah,

- Pasang di atasnya pelat bergerigi menghadap ke atas. Buatlah arah gigi tegak lurus pada arah geseran.
 - Pasang atau masukkan benda uji di atas pelat bergerigi dengan mendorong benda uji keluar dari cincin cetakan.
 - Pasang di atasnya lagi pelat bergerigi ke dua (berlubang-lubang) dengan gigi menghadap ke bawah tegak lurus arah geseran. Tekan secara merata pelat ini sehingga gigi pelat bagian atas dan bawah masuk tertanam ke dalam benda uji.
 - Pasang batu pori kedua yang sebelumnya di buat kenyang air di atas pelat bergerigi.
 - Paling atas letakkan pelat penerus beban secara sentris.
- c. Atur perlengkapan alat untuk menggeser benda uji, sehingga setiap untuk melakukan penggeseran, termasuk cincin beban (*proving ring*). Atur arloji cincin beban pada pembacaan nol.
- d. Mengatur perlengkapan beban normal di atas pelat penerus beban.
- e. Menambahkan beban pada perlengkapan beban. Beban yang dipasang adalah sedemikian sehingga berat beban dan berat rangka penggantung (perhitungkan pengaruh pengungkit) akan memberikan tekanan normal pada benda uji yang diinginkan.
5. Pelaksanaan penggeseran
- a. Membuka sekrup pengunci bagian atas dan bawah, renggangkan kedua bagian ring geser sehingga terdapat kerenggangan sekitar 0,25 mm putarlah sekrup perenggang sebanyak setengah putaran dihitung setelah sekrup menempel pada bagian bawah. Putar kedua sekrup secara bersama-sama.
 - b. Setelah kedua ring merenggang lepaskan kedua sekrup perenggang benda uji siap geser.

- c. Penggeseran benda uji dilakukan secara cepat sehingga selama penggeseran air pori tidak sempat mengalir keluar dari benda uji lewat batu pori.
- d. Kecepatan penggeseran diambil antara 1 mm/menit (untuk tanah lempung).
- e. Setelah selesai benda uji dikeluarkan dari ring geser, lakukan lagi pengujian kadar air terhadap benda uji.
- f. Melanjutkan lagi untuk benda uji kedua dan ketiga sesuai dengan prosedur pengujian diatas.

6. Analisis hasil pengujian

- a. Menentukan gaya geser maksimum yang bekerja pada setiap benda uji.
- b. Menggambarkan kurva hubungan antara regangan sebagai absis dengan gaya geser sebagai ordinat.
- c. Menghitung benda uji :

- Tegangan normal yang diberikan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 4.6$$

Keterangan :

P = gaya normal (kg).

A = luas penampang benda uji (cm^2).

- Tegangan geser maksimum :

$$\tau = \frac{S}{A} \dots\dots\dots 4.7$$

Keterangan :

S = gaya geser maksimum (kg).

A = luas penampang benda uji (cm^2).

- d. Menggambarkan kurva hubungan antar σ sebagai absis dengan tegangan τ sebagai ordinat. Cantumkan setiap data τ dan σ bagi setiap benda uji sebagai satu titik pada kurva ini. Maka kemiringan garis pada kurva ini terhadap sumbu σ (absis) adalah sudut geser dalam (Φ) dan perpotongan garis tersebut dengan sumbu τ (ordinat) adalah kohesi tanah (c), sesuai dengan rumus Coulomb :

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots 4.8$$

Keterangan :

c = kohesi.

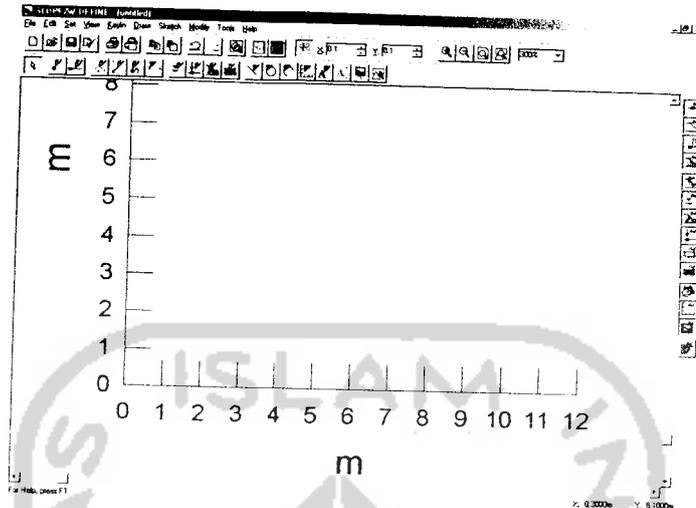
Φ = sudut gesek dalam tanah.

Apabila dikehendaki hasil yang lebih teliti, maka data σ dan τ dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan regresi linear.

4.5 Menu-menu pada Program Geo-slope

4.5.1 Slope/W Define

Dalam program DEFINE permasalahan didefinisikan (dimodelkan) dalam bentuk penggambaran pada layar komputer dalam aplikasi *Compute Aided Drafting (CAD)*. Mula-mula kertas kerja pada program ini ditentukan untuk menjelaskan masalah yang akan dianalisis. Tampilan pada SLOPE/W DEFINE diperhatikan dalam Gambar 4.1



Gambar 4.1 Tampilan pada menu *slope/w define*

Beberapa menu utama akan dijabarkan dalam penjelasan berikut ini.

1. Menu *Set*

Menu *Set* digunakan untuk menentukan ukuran kertas yang dipakai, ruang kerja, ukuran tampilan layar, dan skala yang digunakan. Menu ini terdiri atas perintah.

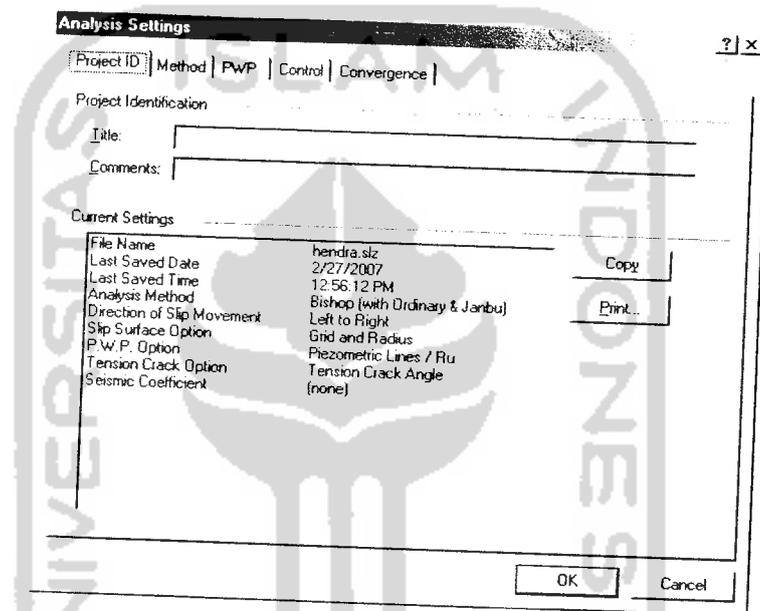
1. *Page*, untuk mengukur ukuran kertas kerja,
2. *Scale*, untuk mengatur skala *engineering*, skala gambar, dan berat satuan air,
3. *Grid*, untuk menampilkan dan mengatur titik-titik grid sebagai titik acuan gambaran,
4. *Zoom*, untuk mengatur ukuran pembesaran tampilan pada layar komputer,
5. *Axes*, untuk mendefinisikan garis skala referensi.

2. Menu *Key in*

Menu *key in* terdiri atas beberapa submenu untuk menggambarkan permasalahan lereng yang akan dianalisis. Submenu-sub menu dalam menu *Key In*.

1. Sub menu *Analisis Setting*

Identitas lereng, metode analisis, dan kondisi tekanan air pori ditentukan melalui submenu *Analisis Setting* seperti dapat dilihat dalam Gambar 4.2 berikut ini.



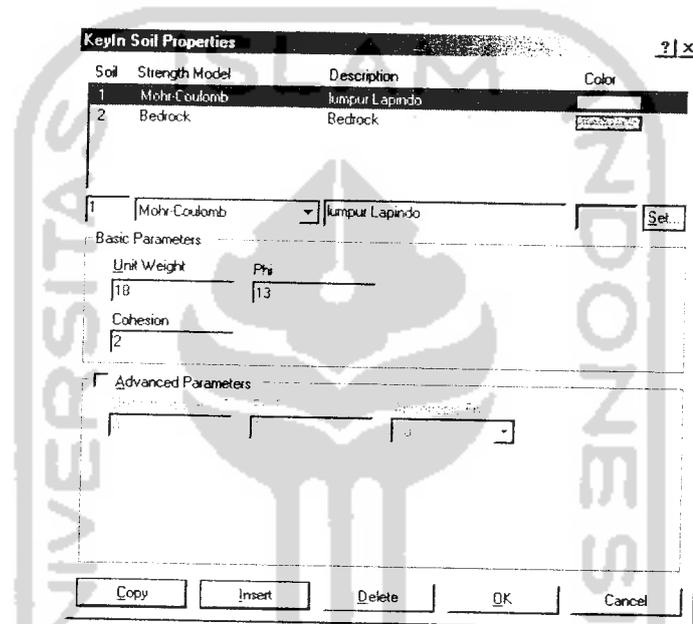
Gambar 4.2 Tampilan menu *Analisis Setting*

Menu dalam *Analisis Setting* adalah :

- Project ID*, untuk menentukan identitas permasalahan,
- Method*, untuk menentukan metode analisis yang digunakan,
- PWP*, untuk menentukan kondisi tekanan air pori,
- Control*, untuk mendefinisikan bentuk dan kondisi permukaan bidang longsor dan probabilitas kegagalan,
- Convergence*, untuk menentukan jumlah bidang trial dalam analisis.

2. Submenu *Key in Soil Properties*

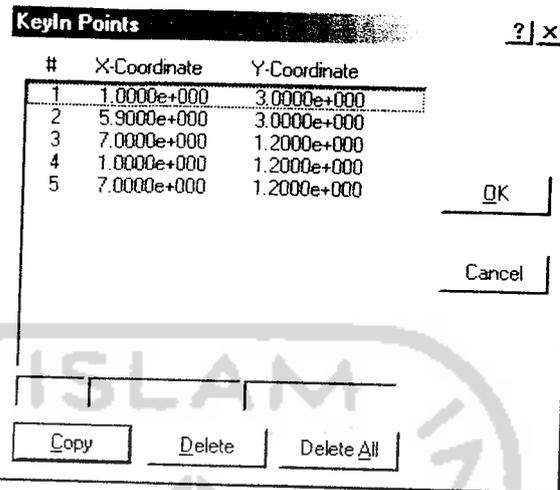
Melalui menu ini jumlah lapisan dan parameter tanah penyusun lereng ditentukan. Gambar 4.3 menampilkan contoh tampilan submenu *Key In Properties*.



Gambar 4.3 Tampilan submenu *Key in soil properties*

3. Submenu *Key in Points*

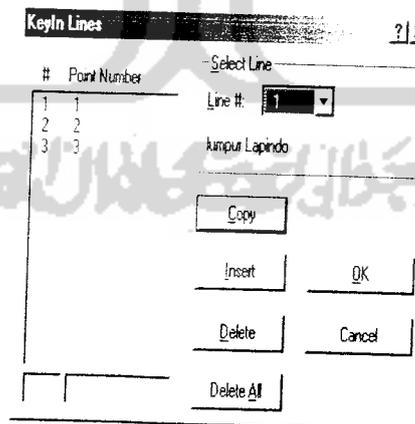
Dalam menggambarkan bentuk geometri untuk mendefinisikan permasalahan stabilitas lereng ditentukan oleh beberapa titik acuan yang menghubungkan beberapa garis. Titik-titik di tentukan melalui submenu *Key In Points*. Selain melalui menu tersebut, penentuan titik dapat dilakukan dengan mengarahkan kursor pada bidang gambar dan menentukan titik geometri lereng dengan bantuan mouse. Gambar 4.4 menampilkan contoh tampilan submenu *Key in Points*.



Gambar 4.4 Tampilan menu *Key in point*

4. Submenu *Key in lines*

Submenu *Key in lines* dipakai untuk mendefinisikan batas tiap lapis tanah penyusun lereng seperti ditampilkan pada Gambar 4.5

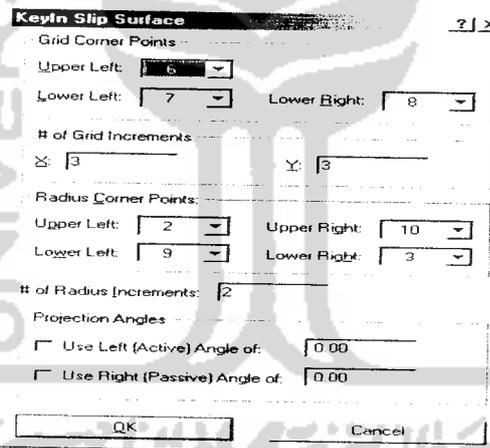


Gambar 4.5 Tampilan menu *Key in lines*

5. Submenu *Slip Surface*

Submenu *Slip Surface* dipakai untuk menentukan acuan bidang tergelincir yang akan digunakan dalam analisis. Terdapat tiga cara penentuan bidang gelincir, yaitu:

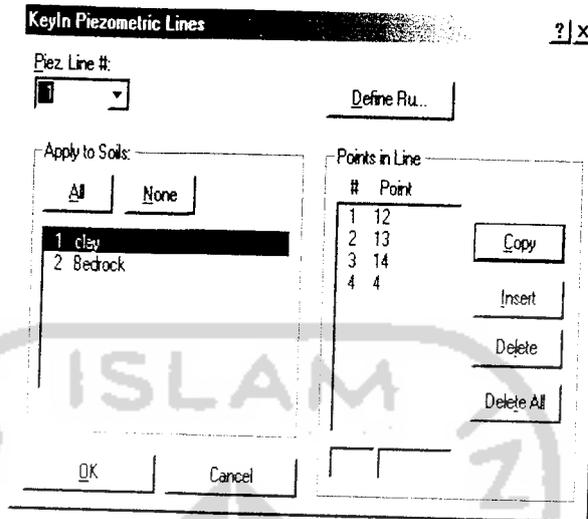
- Grid & Radius Slip Surface*, untuk memberikan acuan bidang gelincir lingkaran atau komposit,
- Fully Specified Slip Surface*, untuk memberikan acuan bidang gelincir tertentu,
- Block Specified Slip Surface*, untuk memberikan acuan berupa dua blok.



Gambar 4.6 Tampilan pada submenu Key in *Slip Surface*

6. Submenu *Pore Pressure Water Pressure*

Submenu *Pore Pressure Water Pressure* dipakai untuk mendefinisikan tekanan air pori pada tanah seperti ditentukan oleh pengaturan dalam menu *Analysis Setting*. Tampilan menu *Pore Pressure Water Pressure* berupa garis *piezometer*, dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Tampilan menu Key in *piezometric lines*

7. Submenu *Load*

Submenu *Load* dipakai untuk mendefinisikan jenis pembebanan pada lereng.

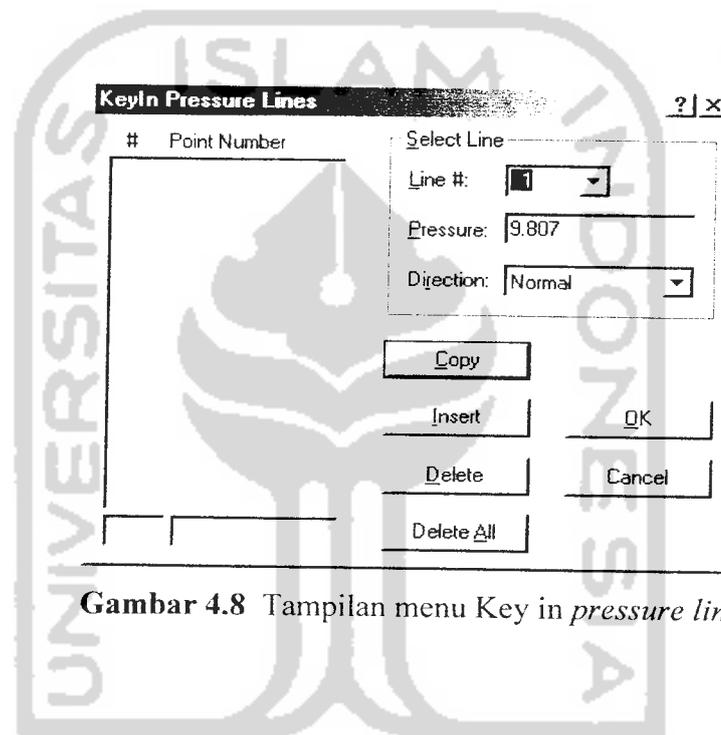
Terdapat 3 (tiga) jenis pembebanan yang dapat diaplikasikan yaitu:

- a. beban garis (*line load*),
- b. beban perkuatan (*reinforcement load*),
- c. beban gempa (*seismic load*).

8. Submenu *Pressure Lines*

Submenu *Pressure Lines* dipakai untuk mendefinisikan garis tekanan pada tanah paling atas pada lereng. Garis tekanan (*pressure lines*) digunakan untuk memodelkan tekanan yang bekerja pada bagian permukaan lereng seperti memodelkan fondasi telapak (*footing*) pada permukaan tanah dasar. Tidak seperti beban garis yang bekerja secara terpusat, garis tekanan bekerja pada suatu luasan. Besar tekanan yang bekerja dihitung dengan mengalikan tekanan dengan jarak vertikal antar garis tekanan

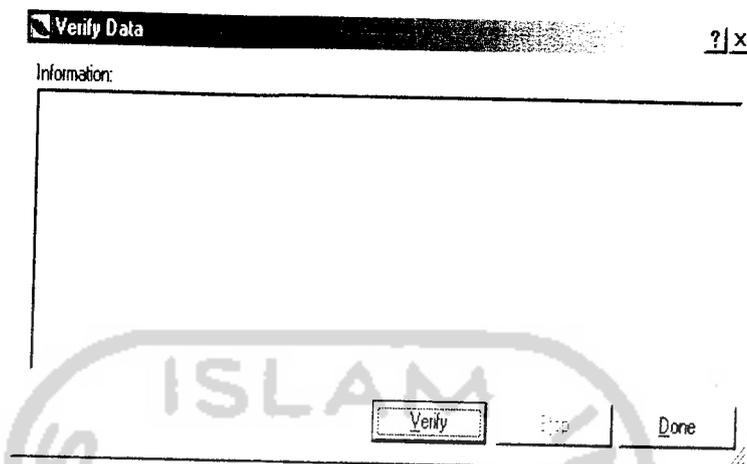
dengan permukaan tanah. Arah tekanan dapat diarahkan secara normal terhadap permukaan tanah dasar ataupun vertikal. Arah kerja tekanan harus didefinisikan normal untuk permukaan fluida (Gambar 4.8). Submenu ini juga digunakan untuk mengaplikasikan beban merata dengan menyesuaikan dengan model pembebanan berupa fluida.



Gambar 4.8 Tampilan menu Key in *pressure lines*

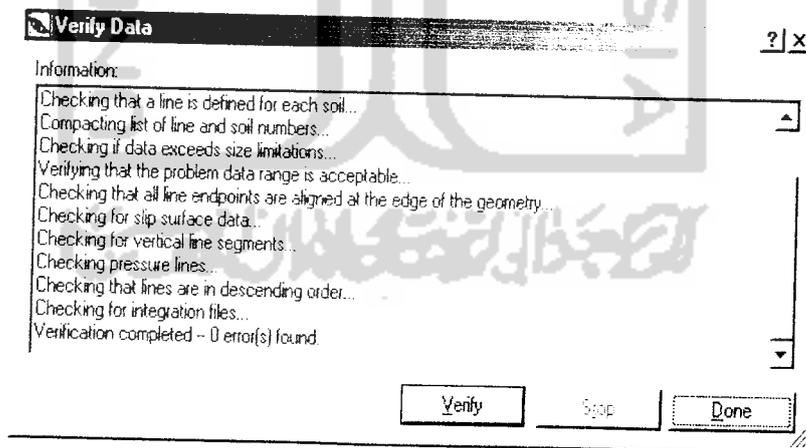
3. Menu *Verity*

Sebelum permasalahan di eksekusi perlu dilakukan pengecekan untuk mengetahui kemungkinan adanya kesalahan memasukan data-data pada program. Pengecekan dilakukan dengan menjalankan menu *Verity* data pada program seperti terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Tampilan menu *verity data*

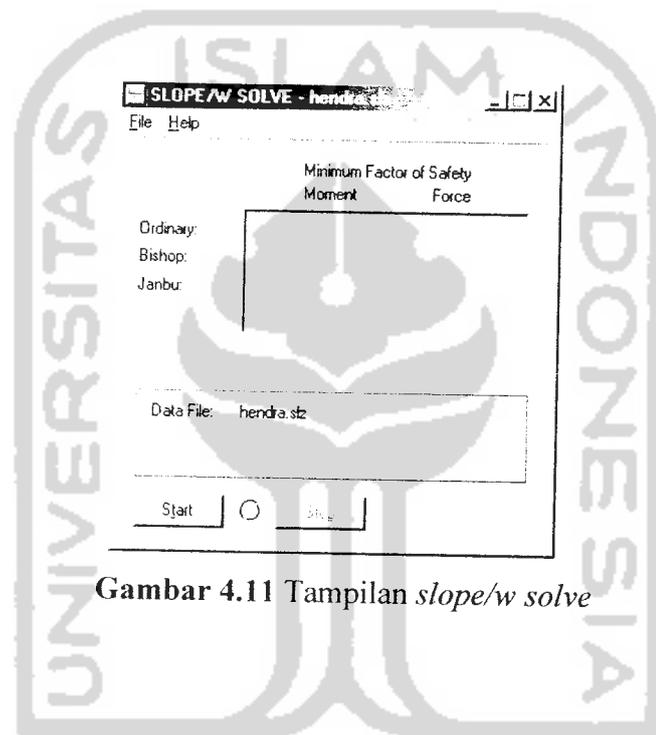
Dengan menekan tombol *Verify* pada tampilan diatas akan muncul daftar pengecekan seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Tampilan daftar pengecekan *input* pada *verity data*

4.5.2 Slope/w Solve

Setelah data permasalahan didefinisikan dengan program DEFINE, maka data tersebut dapat dieksekusi (dihitung). Dengan menjalankan perintah tersebut maka perhitungan dapat dilakukan sesuai dengan data dan pengaturan analisis (*Analysis Setting*) yang telah ditentukan.

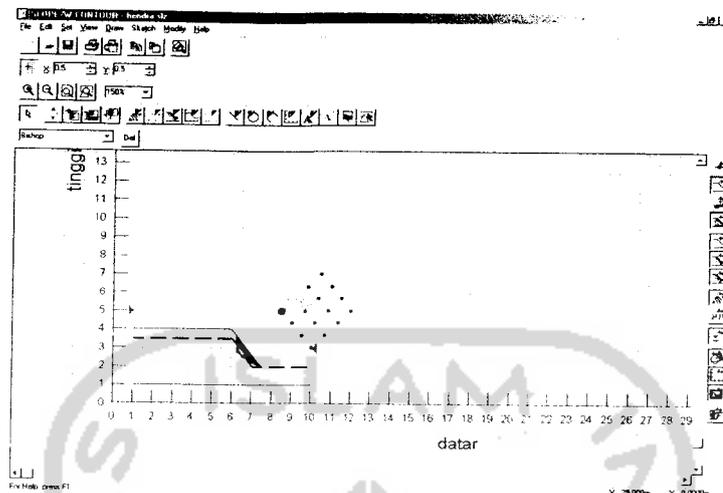


Gambar 4.11 Tampilan *slope/w solve*

Eksekusi dilakukan dengan menjalankan menu SOLVE pada program seperti pada Gambar 4.11 Dengan menekan tombol *start* maka perhitungan akan dilakukan oleh program secara cepat dan hasilnya berupa faktor aman minimum dari stabilitas lereng tersebut dan jumlah bidang longsor yang dianalisis.

4.5.3 Slope/w Contour

Program CONTOUR akan menampilkan secara grafis seluruh bidang longsor dan nilai faktor aman dapat ditunjukkan dalam bentuk kontur faktor aman serta diagram dan poligon tiap pias tertentu.



Gambar 4.12 Tampilan menu utama *Slope/W Contour*

Sebagaimana dalam program DEFINE, program CONTOUR juga menggunakan aplikasi *CAD* dalam pengoperasiannya. SLOPE/W CONTOUR memperlihatkan hasil analisis stabilitas lereng secara grafis, dengan cara: memperlihatkan bidang longsor yang dianalisis dan hubungan dengan faktor aman, memperlihatkan grafik faktor aman, menunjukkan *free body* diagram poligon pada suatu pias tertentu, serta membuat grafik hasil perhitungan.

Cara menjalankan program SLOPE/W CONTOUR adalah dengan mengaktifkan menu CONTOUR dari SLOPE/W DEFINE. Selanjutnya fungsi-fungsi yang ada dapat digunakan untuk melihat hasil analisis dengan berbagai variasi. Gambar 4.12 memperlihatkan menu utama SLOPE/W CONTOUR.

4.6 Penggunaan Program Geo-slope

SOLVE/W merupakan bagian dari *Geo-Slope Office* yang terdiri dari tiga program yang dapat dieksekusi, yaitu DEFINE, SOLVE, dan CONTOUR. Masing-masing dapat dipanggil sebagai program tersendiri.

DEFINE digunakan untuk mendefinisikan masalah, yaitu dengan menggambarkan masalah dengan bantuan fasilitas yang telah disediakan oleh SLOPE/W. Tampilan, *toolbar* maupun menu yang disediakan pada program SLOPE/W sifatnya *friendly* sehingga memudahkan pemakai dalam menjalankannya.

Solve merupakan *running* program untuk menghitung nilai faktor aman (SF) dari kasus yang didefinisikan dalam DEFINE. Sedangkan CONTOUR dapat menampilkan hasil analisis secara grafis diantara berupa gambar bidang longsor dan kontur faktor amannya.

Penggunaan program SOLVE/W sesuai bagan alir yang disajikan pada bab sebelumnya. Pada saat pertama menjalankan program SLOPE/W, maka akan dijalankan adalah program DEFINE.

Penggunaan program SLOPE/W ini akan disajikan bagaimana cara memulai program ini dalam subbab bawah ini

4.6.1 Mengatur kertas kerja (*Set The Working Area*)

Kertas kerja adalah tempat untuk membuat dan merancang gambar lereng tinjauan yang akan dihitung dengan menggunakan SLOPE/W, sehingga tampilan yang akan muncul pada layar monitor sesuai dengan kondisi gambaran dilapangan.

Untuk mendapatkan hasil seperti yang diinginkan maka urutan kertas kerja perlu diatur dan disesuaikan antara tinggi dan lebar gambar.

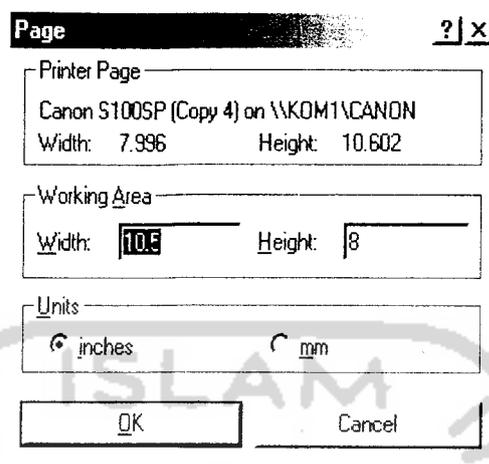
Data yang diisikan pada pengaturan kertas kerja yaitu (Gambar 4.13)

1. *Working Area* :

a. *Width*, yaitu : ukuran lebar area kerja,

b. *Height*, yaitu ukuran tinggi area kerja.

2. *Unit*, yaitu satuan yang digunakan (inches/mm).



Gambar 4.13 Tampilan pengaturan kertas kerja

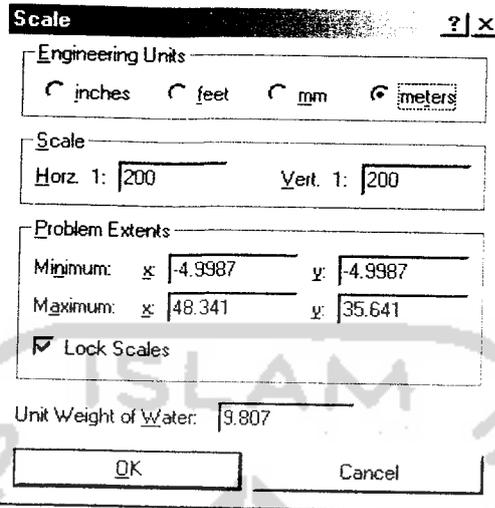
4.6.2 Mengatur Skala Gambar (*Set The Scale*)

Skala gambar dibuat agar ukuran asli dapat digunakan dalam kertas kerja. Skala yang dibuat hendak tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil, namun sesuai dengan area kerja sehingga gambar tersebut nyaman untuk dilihat.

Agar disekeliling gambar terdapat *margin*, maka nilai minimum tidak diisikan (0,0) tetapi dibuat negatif misalnya (-5,-5) seperti Gambar 4.14

Data yang diisikan pada pengaturan skala sebagai berikut :

1. *Engineering Unit*, yaitu satuan yang digunakan,
2. *Scale*,
 - a. *Horz*, skala pada arah horizontal,
 - b. *Vert*, skala pada arah vertikal,
3. *Problem extents*, yaitu meletakkan posisi gambar agar gambar sekelilingnya terdapat *margin/jarak*,
4. *Unit Weigth of water*, yaitu besarnya berat volume air dalam satuan kN/m^3 .



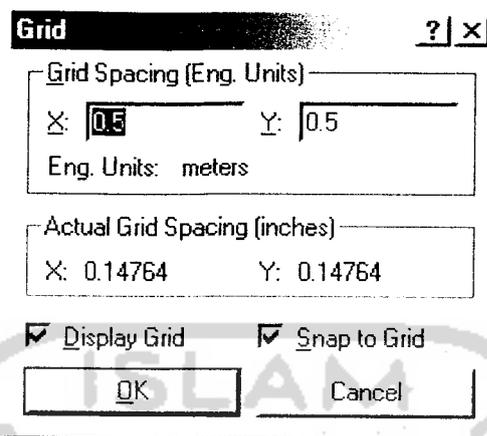
Gambar 4.14 Tampilan pengaturan skala

4.6.3 Mengatur Jarak Grid (*Set The Grid Spacing*)

Dengan adanya grid, maka objek dapat dengan mudah digambarkan karena penempatan titik dipandu oleh grid sehingga posisi titik dapat tepat pada koordinatnya.

Data yang diisikan dalam mengatur grid (Gambar 4.15) adalah :

1. *Grid Spacing*
 - a. X, jarak spasi pada arah x,
 - b. Y, jarak spasi pada arah y,
2. *Display grid*, memunculkan grid pada layar,
3. *Snap to Grid*, menempatkan titik tepat pada grid.

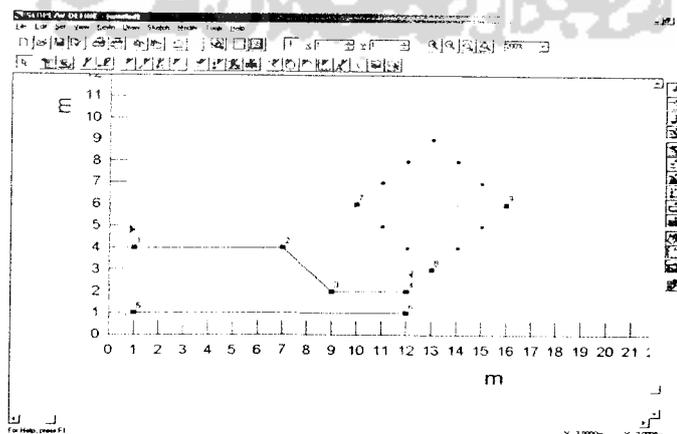


Gambar 4.15 Tampilan pengaturan *grid*

4.6.4 Membuat Sketsa gambar (*sketch The Problem*)

Sebelum parameter tanah dan data-data pembebanan dimasukkan kedalam perhitungan maka gambar harus dibuat sketsa terlebih dahulu agar objek yang akan dihitung terdefinisi oleh program. Gambar sketsa dibuat sesuai dengan kondisi dilapangan berdasarkan tebal lapisan-lapisan dan kemiringan lereng.

Gambar sketsa berfungsi untuk memudahkan penggambaran lapisan tanah dan merupakan langkah awal dalam proses pengolahan data program SLOPE/W.



Gambar 4.16 Tampilan menggambar sketsa.

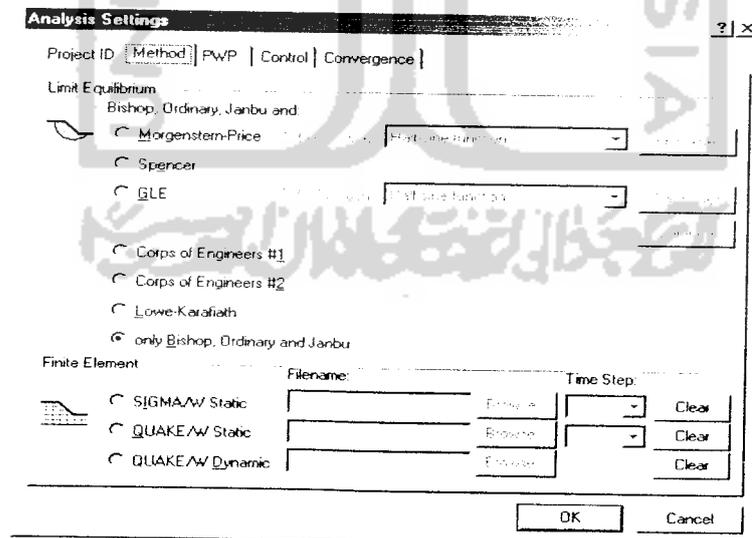
4.6.5 Menentukan Metode Analisis (*Specify Analysis Method*)

Sebelum perhitungan analisis kestabilan lereng di *running*, dipilih metode yang akan digunakan dalam perhitungan. *Analysis method* berfungsi untuk memilih metode analisis yang akan dipakai dalam perhitungan angka keamanan.

Dialog Box yang akan muncul dapat dilihat pada Gambar 4.17

Metode analisis yang ada dalam program *SLOPE/W*.

1. Metode *Bishop (with Ordinary & Janbu)*.
2. Metode *Finite Element Stress*.
3. Metode *Spencer*.
4. Metode *Morgenstern-Price*.
5. Metode *General Limit Equilibrium (GLE)*.
6. Metode *Corps of Engineer # 1*.
7. Metode *Corps of Engineer # 2*.
8. Metode *Lowe-Karafiath*.



Gambar 4.17 Tampilan pemilihan metode

DEFINE digunakan untuk mendefinisikan masalah, yaitu dengan menggambarkan masalah dengan bantuan fasilitas yang telah disediakan oleh SLOPE/W. Tampilan, *toolbar* maupun menu yang disediakan pada program SLOPE/W sifatnya *friendly* sehingga memudahkan pemakai dalam menjalankannya.

Solve merupakan *running* program untuk menghitung nilai faktor aman (SF) dari kasus yang didefinisikan dalam DEFINE. Sedangkan CONTOUR dapat menampilkan hasil analisis secara grafis diantara berupa gambar bidang longsor dan kontur faktor amannya.

Penggunaan program SOLVE/W sesuai bagan alir yang disajikan pada bab sebelumnya. Pada saat pertama menjalankan program SLOPE/W, maka akan dijalankan adalah program DEFINE.

Penggunaan program SLOPE/W ini akan disajikan bagaimana cara memulai program ini dalam subbab bawah ini

4.6.1 Mengatur kertas kerja (*Set The Working Area*)

Kertas kerja adalah tempat untuk membuat dan merancang gambar lereng tinjauan yang akan dihitung dengan menggunakan SLOPE/W, sehingga tampilan yang akan muncul pada layar monitor sesuai dengan kondisi gambaran dilapangan.

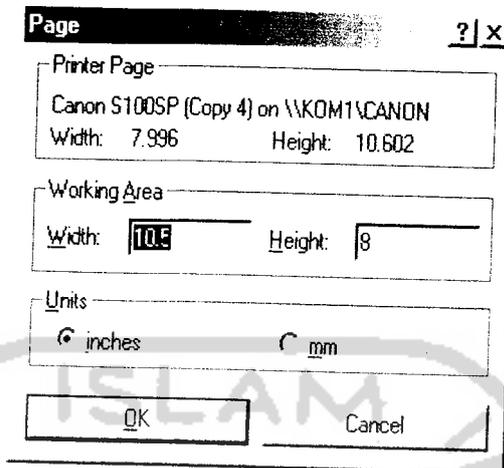
Untuk mendapatkan hasil seperti yang diinginkan maka urutan kertas kerja perlu diatur dan disesuaikan antara tinggi dan lebar gambar.

Data yang diisikan pada pengaturan kertas kerja yaitu (Gambar 4.13)

1. *Working Area* :

- a. *Width*, yaitu : ukuran lebar area kerja,
- b. *Height*, yaitu ukuran tinggi area kerja.

2. *Unit*, yaitu satuan yang digunakan (inches/mm).



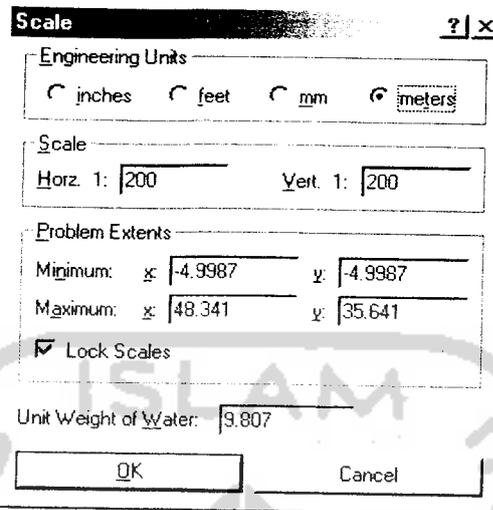
Gambar 4.13 Tampilan pengaturan kertas kerja

4.6.2 Mengatur Skala Gambar (*Set The Scale*)

Skala gambar dibuat agar ukuran asli dapat digunakan dalam kertas kerja. Skala yang dibuat hendak tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil, namun sesuai dengan area kerja sehingga gambar tersebut nyaman untuk dilihat.

Agar disekeliling gambar terdapat *margin*, maka nilai minimum tidak diisikan (0,0) tetapi dibuat negatif misalnya (-5,-5) seperti Gambar 4.14
Data yang diisikan pada pengaturan skala sebagai berikut :

1. *Engineering Unit*, yaitu satuan yang digunakan,
2. *Scale*,
 - a. *Horz*, skala pada arah horizontal,
 - b. *Vert*, skala pada arah vertikal,
3. *Problem extents*, yaitu meletakkan posisi gambar agar gambar sekelilingnya terdapat *margin*/jarak,
4. *Unit Weigth of water*, yaitu besarnya berat volume air dalam satuan kN/m^3 .



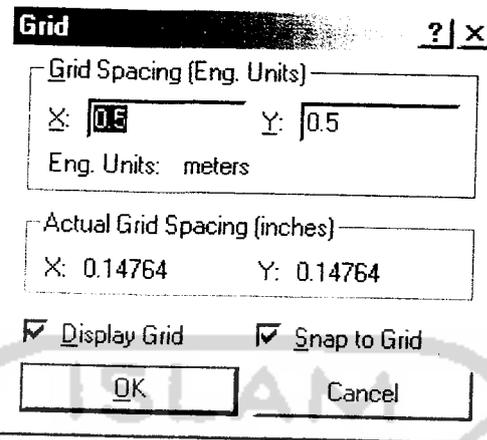
Gambar 4.14 Tampilan pengaturan skala

4.6.3 Mengatur Jarak Grid (*Set The Grid Spacing*)

Dengan adanya grid, maka objek dapat dengan mudah digambarkan karena penempatan titik dipandu oleh grid sehingga posisi titik dapat tepat pada koordinatnya.

Data yang diisikan dalam mengatur grid (Gambar 4.15) adalah :

1. *Grid Spacing*
 - a. X, jarak spasi pada arah x,
 - b. Y, jarak spasi pada arah y,
2. *Display grid*, memunculkan grid pada layar,
3. *Snap to Grid*, menempatkan titik tepat pada grid.

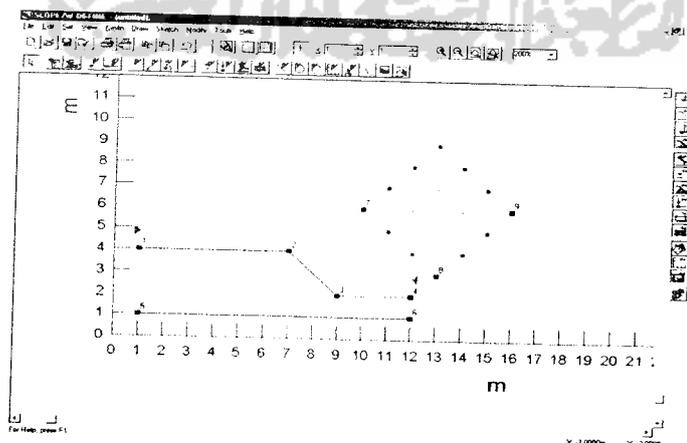


Gambar 4.15 Tampilan pengaturan *grid*

4.6.4 Membuat Sketsa gambar (*sketch The Problem*)

Sebelum parameter tanah dan data-data pembebanan dimasukkan kedalam perhitungan maka gambar harus dibuat sketsa terlebih dahulu agar objek yang akan dihitung terdefinisi oleh program. Gambar sketsa dibuat sesuai dengan kondisi dilapangan berdasarkan tebal lapisan-lapisan dan kemiringan lereng.

Gambar sketsa berfungsi untuk memudahkan penggambaran lapisan tanah dan merupakan langkah awal dalam proses pengolahan data program SLOPE/W.



Gambar 4.16 Tampilan menggambar sketsa.

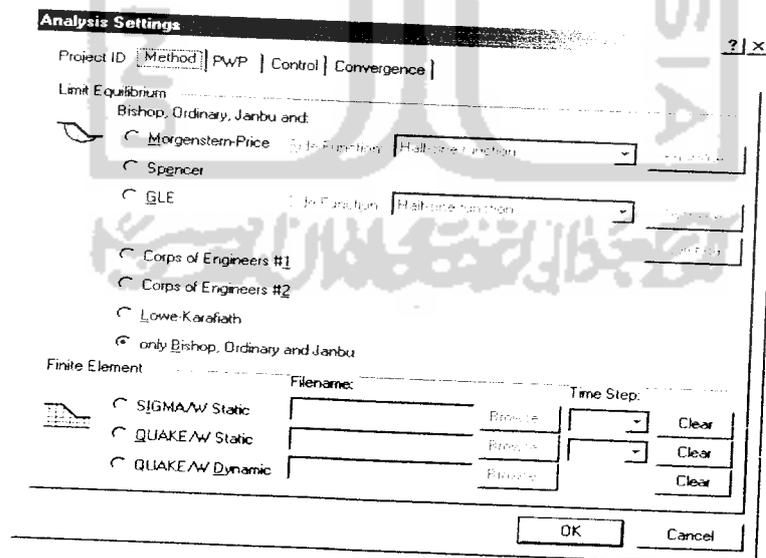
4.6.5 Menentukan Metode Analisis (*Specify Analysis Method*)

Sebelum perhitungan analisis kestabilan lereng di *running*, dipilih metode yang akan digunakan dalam perhitungan. *Analysis method* berfungsi untuk memilah metode analisis yang akan dipakai dalam perhitungan angka keamanan.

Dialog Box yang akan muncul dapat dilihat pada Gambar 4.17

Metode analisis yang ada dalam program *SLOPE/W*.

1. Metode *Bishop (with Ordinary & Janbu)*.
2. Metode *Finite Element Stress*.
3. Metode *Spencer*.
4. Metode *Morgenstern-Price*.
5. Metode *General Limit Equilibrium (GLE)*.
6. Metode *Corps of Engineer # 1*.
7. Metode *Corps of Engineer # 2*.
8. Metode *Lowe-Karafiath*.

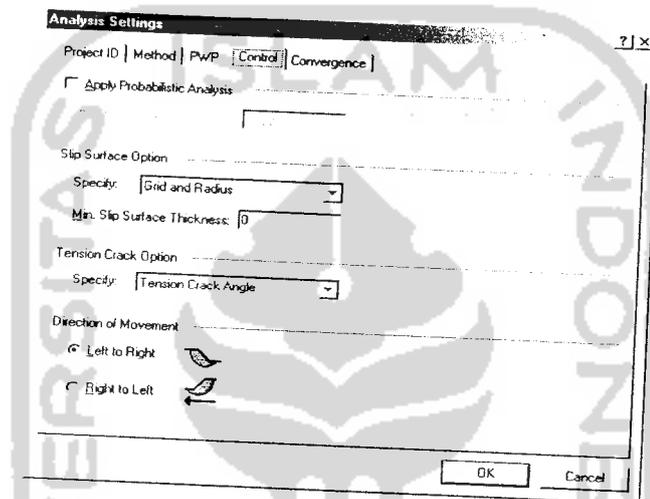


Gambar 4.17 Tampilan pemilihan metode

4.6.6 Menentukan Kontrol Analisis (*Specify Analysis Control*)

Kontrol analisis berguna untuk menentukan bidang longsor, pilihan probabilitas, tekanan air pori, dan pilihan *tention crack*.

Jendela tampilan analisis control dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Tampilan analisis kontrol

4.6.7 Mendefinisikan Sifat Tanah (*Define Soil Properties*)

Parameter tanah yang telah ada dimasukkan kedalam jendela properti sesuai dengan kondisi tanah tiap lapisan.

Data yang dimasukkan dalam *soil properties* adalah :

1. *No*, nomor lapisan tanah dimulai nomor satu,
2. *Strength Model*, model kekuatan tanah yang digunakan. Diantaranya model Mohr-Coloumb, *Bed Rock* dan *No strength*,
3. *Description*, gambaran umum mengenai lapisan tanah misalnya jenis tanahnya, tanah timbunan atau tanah asli,
4. *Color*, warna yang digunakan pada tampilan untuk membedakan lapisan tanah yang lain,

5. *Unit Weight*, (berat volume tanah),
6. *Phi*, (Sudut gesek dalam tanah),
7. *Cohesion*, (kohesi tanah).

Soil	Strength Model	Description	Color
1	Mohr-Coulomb	clay	<input type="text"/>
2	Bedrock	Bedrock	<input type="text"/>

Strength Model:

Basic Parameters

Unit Weight: Phi:

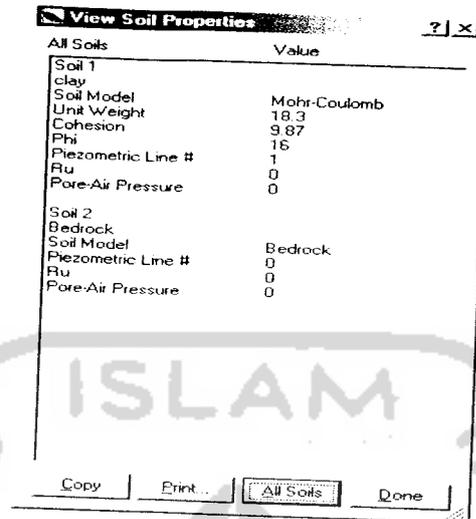
Cohesion:

Advanced Parameters

Phi 2: Cohesion 2:

Gambar 4.19 Tampilan *Soil Properties*

Tampilan pada *display soil properties* dapat dilihat setelah data sudah diisikan pada jendela *soil properties*, untuk mengecek apakah data yang dimasukkan di *soil properties* sudah sesuai atau belum, dapat dilihat melalui tampilan pada *display soil properties*.

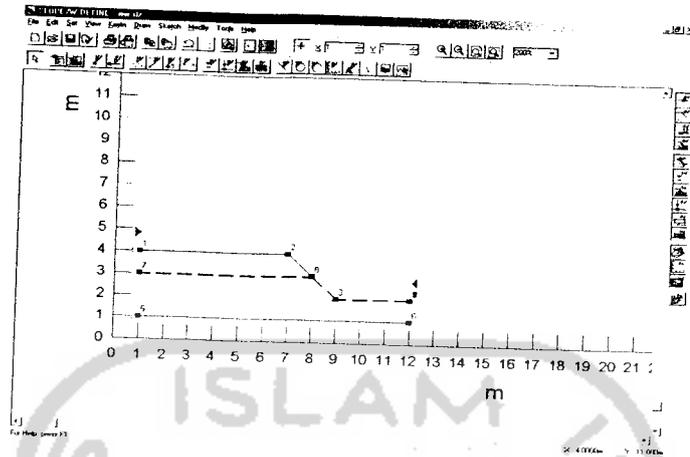


Gambar 4.20 Tampilan View *Soil Properties*

4.6.8 Menggambar Garis Lapisan Tanah dan Garis Muka Air Tanah (*Draw Lines and Piezometric Lines*)

Garis dapat secara praktis dibuat dengan menu *Draw: Lines*. *Lines* juga dapat mendefinisikan batas tiap lapisan tanah yaitu menggambarkan garis disekeliling tiap lapisan tanah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah.

Kondisi muka air tanah dapat digambarkan dengan menggunakan *piezometric lines* yaitu membuat garis putus-putus sebagai muka air tanah yang terletak diantara lapisan tanah asli dan lapisan tanah keras sesuai dengan kondisi muka air tanah yang didapat dari pengujian dilapangan.



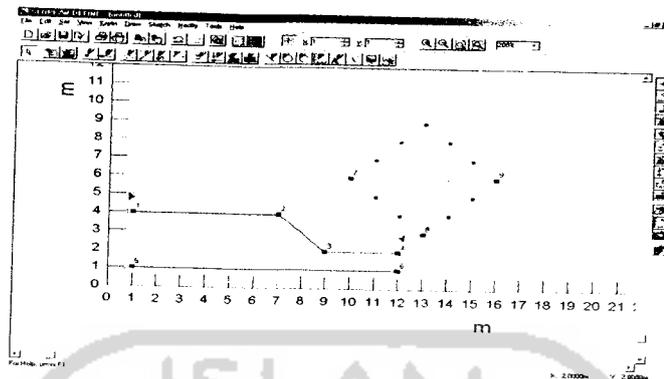
Gambar 4.21 Tampilan *Soil Properties*

4.6.9 Menggambar Radius Bidang Longsor dan Grid

(Draw The Slip Surface Radius and The Slip Surface Grid)

Untuk mendefinisikan pusat dan radius lingkaran bidang longsor berbentuk lingkaran dan komposit dibutuhkan penggambaran grid dan radius. Titik-titik grid yang menunjukkan titik pusat tiap lingkaran bidang longsor, sedangkan *radius line* merupakan bidang longsonya yang ditempatkan diantara lapisan tanah lereng tinjauan.

Grid dan *radius* didefinisikan secara praktis melalui menu *Draw Slip Surface: Grid* dan *Draw Slip Surface: radius*, bentuk dan letak *grid* dapat diubah dengan perintah *Modify Object*.

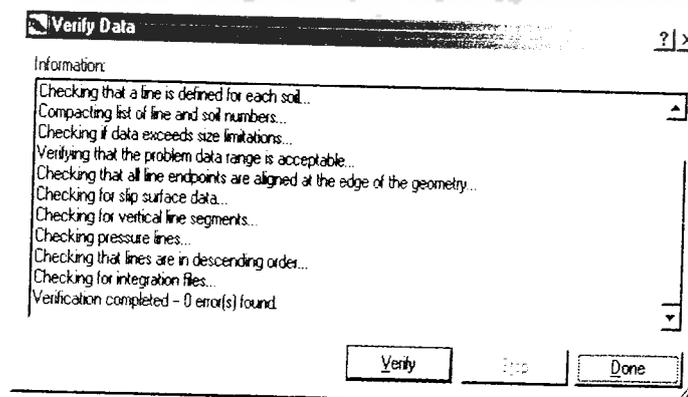


Gambar 4.22 Radius bidang longsor dan grid

4.6.10 Memeriksa Masukkan Data (*Verify the Problem*)

Setelah selesai memasukan seluruh data, maka data tersebut diperiksa kesalahannya menggunakan *Verify* (Gambar 4.23), untuk memastikan kebenaran data geometrik dapat menekan tombol *verify Slope/W*, jika terjadi kesalahan akan ditampilkan pesan kesalahannya (*error messages*).

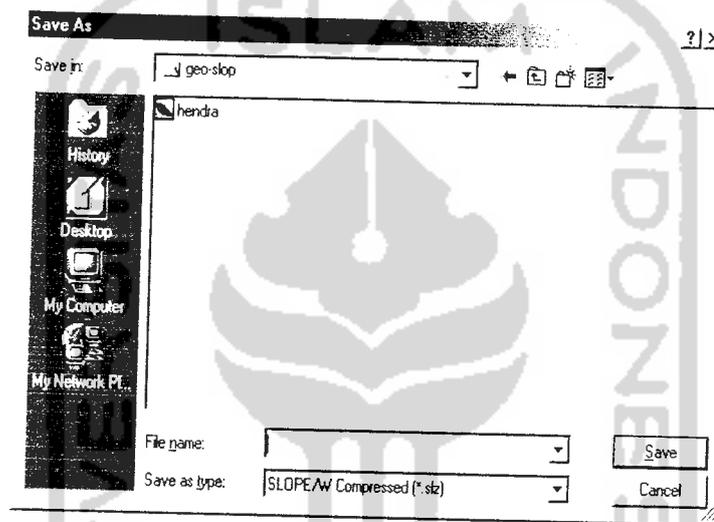
Verify hanya merupakan alat bantu dalam pendefinisian masalah sehingga tidak ada jaminan bahwa tidak adanya *error* berarti definisi masalah adalah sempurna. Tanggung jawab *user*-lah untuk memastikan bahwa model yang dibuat adalah benar.



Gambar 4.23 Tampilan *verify data*

4.6.11 Menyimpan Data Masukan (*Saving the program*)

Saving the problem adalah tahapan untuk menyimpan data atau gambar geometrik yang telah dibuat pada awal penggunaan SLOPE/W, agar data dapat dibaca dan di-*running*. Jendela tampilan dapat dilihat pada Gambar 4.24.



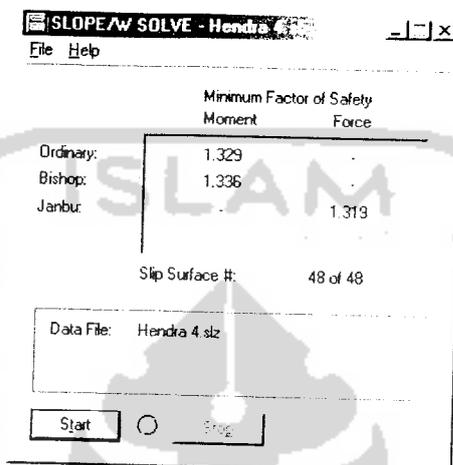
Gambar 4.24 Tampilan *saving data*

4.6.12 Menghitung Angka Keamanan (*solving the Problem*)

Tahap kedua dari analisis stabilitas lereng adalah menggunakan perintah SOLVE dalam menghitung *faktor of safety*, untuk memulai ketik tombol SOLVE pada tampilan toolbar tampilan DEFINE, jendela SOLVE akan muncul dan otomatis memanggil data yang disimpan sebelumnya atau dapat meng-*klik* langsung *icon* SOLVE. Tampilan dari hitungan SOLVE berupa angka aman minimum dan jumlah *slip surface*, yaitu:

1. *Start* untuk memulai menyelesaikan/mencari *faktor of safety*,
2. *Stop* untuk menghentikan perhitungan.

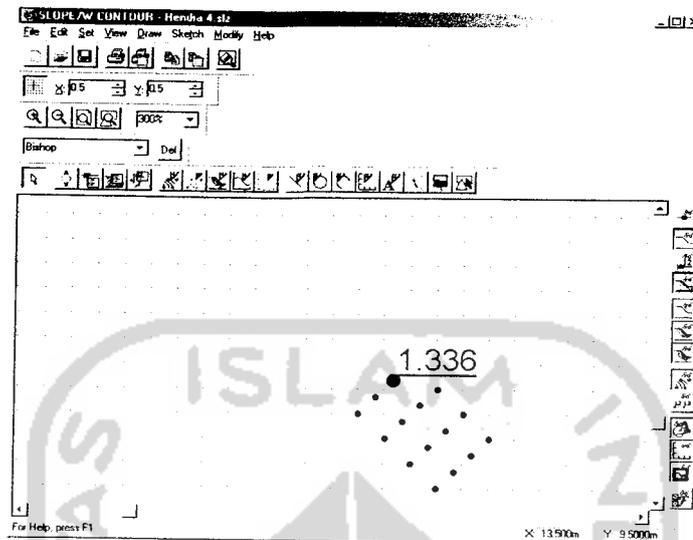
Setelah selesai menghitung angka aman, untuk berhenti klik *file-exit* atau klik tombol *close*.



Gambar 4.25 Tampilan menghitung data

4.6.13 Melihat Hasil Output (*Viewning the Result*)

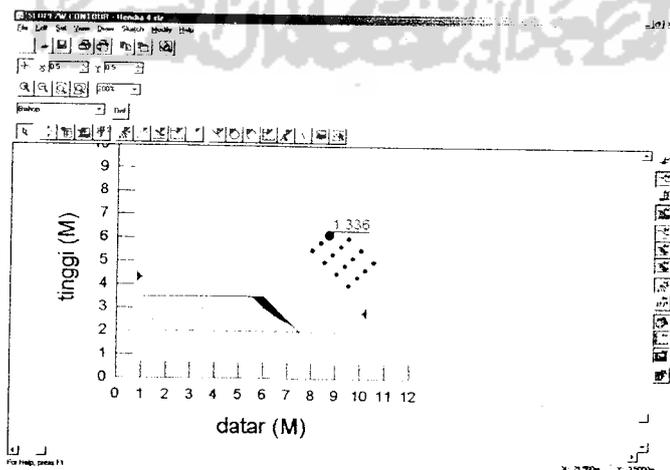
Untuk *viewning the result* menggunakan perintah CONTOUR pada tampilan DEFINE, hasil *output* dari analisis perhitungan melalui SOLVE berupa gambar geometrik bidang kelongsoran dan titik kontur angka keamanan yang terkecil berdasarkan metode-metode yang telah dipilih. Tampilan kontur angka keamanan terdapat pada Gambar 4.26



Gambar 4.26 Tampilan kontur angka keamanan

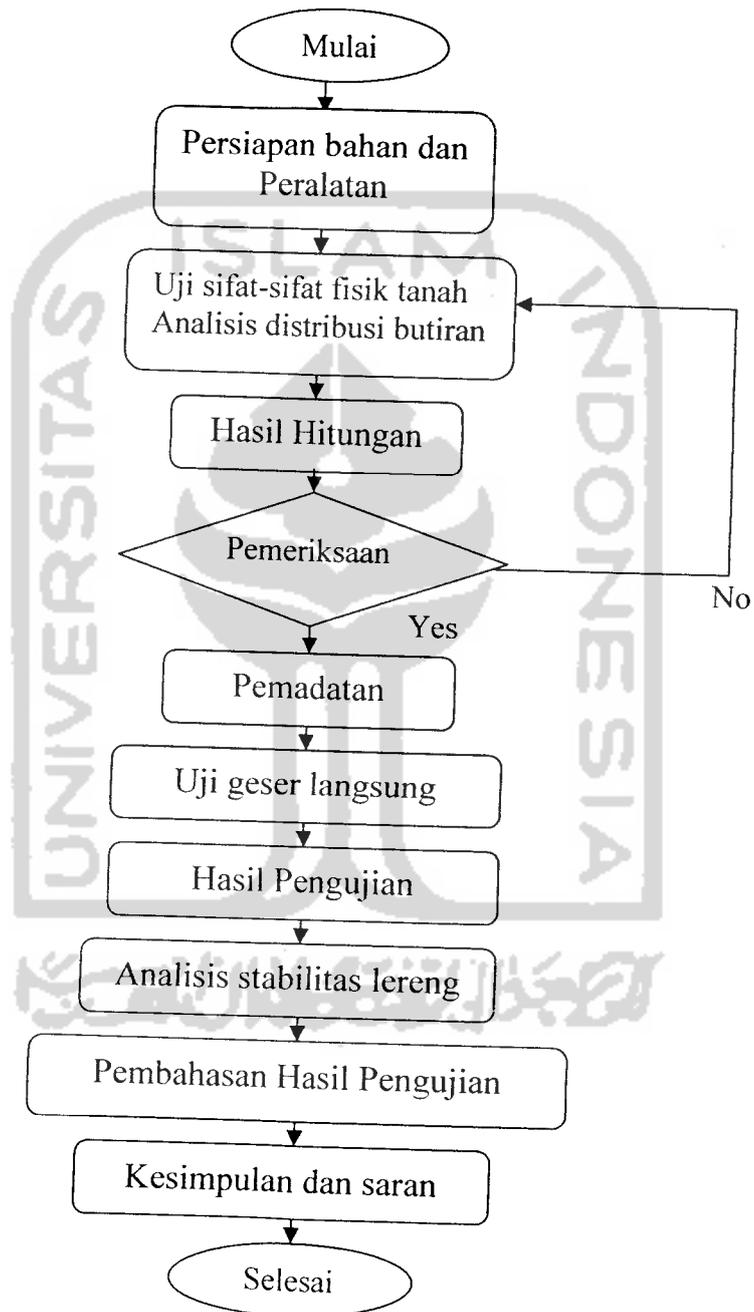
Hasil pada CONTOUR ini ditampilkan berupa berupa gambar geometrik yaitu :

1. Menampilkan *factor of safety* untuk setiap analisis,
2. Menggambarkan kontur dari *factor of safety*,
3. Menggambarkan secara geometrik bidang kelongsoran lereng.



Gambar 4.27 Tampilan Gambar Bidang Longsor.

4.6.14 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.28 Bagan Alir Penelitian

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 dan Analisa Saringan	3	buah
2	Pengujian sifat-sifat mekanis tanah :		
	- Kadar Air (w)	3	buah
	- Berat Volume Tanah (γ)	3	buah
	- Berat Jenis (G_s)	3	buah
	Pengujian Batas-Batas Konsistensi (<i>Atterberg Limits</i>)		
	- Batas Cair (LL)	3	buah
	- Batas Plastis (PL)	3	buah
	- Batas Susut (SL)	3	buah
3	Pengujian Kepadatan Tanah (Proctor Standar)	3	buah
4	Uji Geser Langsung	3	buah

BAB V

HASIL PENELITIAN

Pada bab ini akan diterangkan mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terhadap lumpur Lapindo di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia.

Dari hasil penelitian secara umum meliputi pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia, dan dianalisis dengan menggunakan program GEO-SLOPE.

5.1 Klasifikasi Tanah

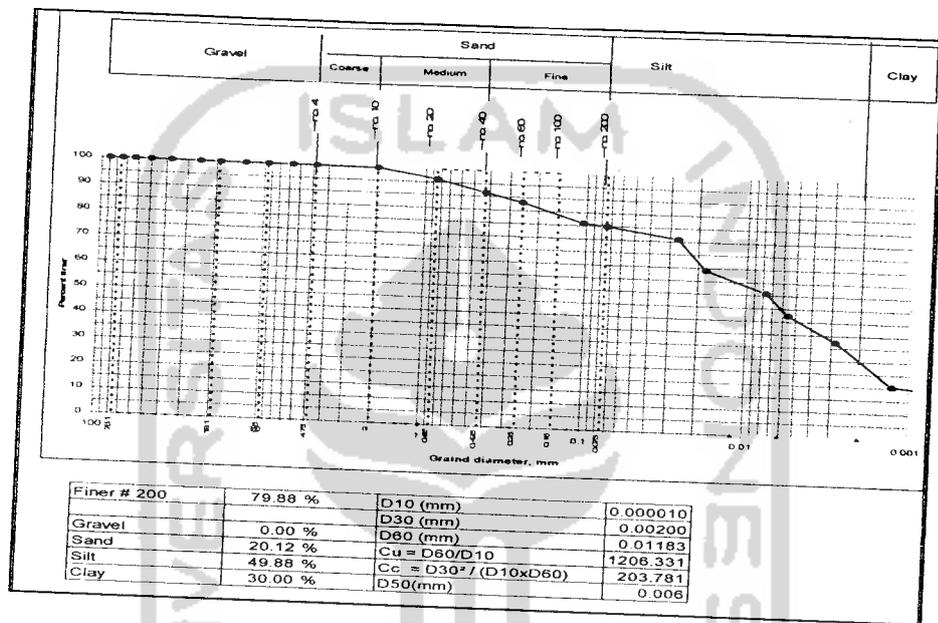
Untuk dapat mengelompokkan/mengklasifikasikan lumpur Lapindo dari Porong, Sidoarjo, Jawa Timur, maka dibutuhkan data hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah yang dihasilkan dalam penelitian ini, sehingga jenis dan karakteristik tanah akan dapat ditentukan. Ada 2 (dua) jenis klasifikasi tanah yang akan digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Sistem USCS (*the Unified Soil Classification System*).
2. Sistem AASHTO (*the American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*).

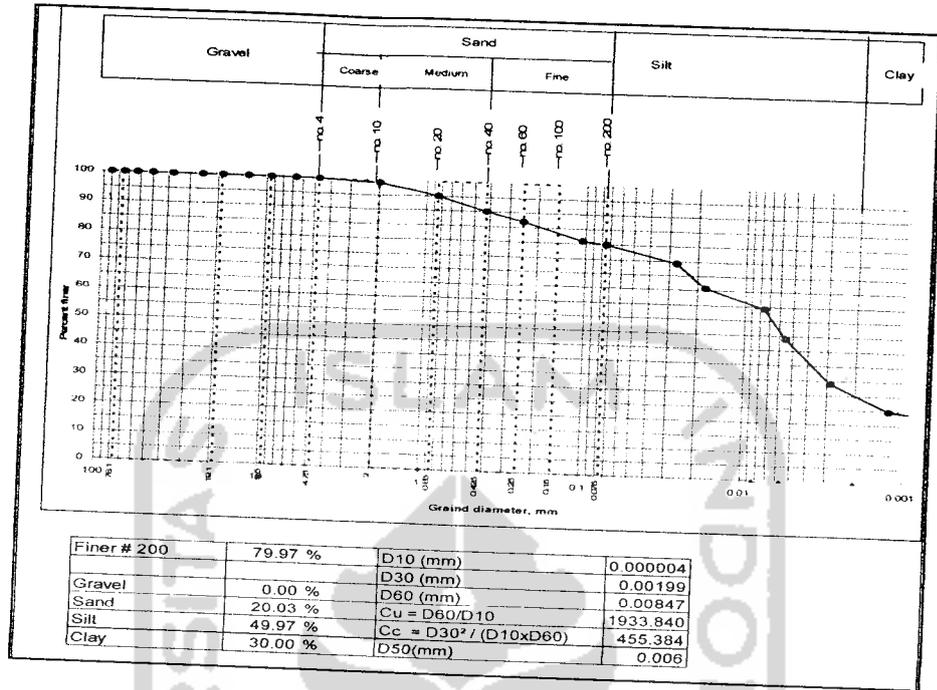
5.2 Sifat Fisik Tanah Asli

Dari hasil penelitian terhadap sampel lumpur Lapindo, secara fisik lumpur Lapindo berwarna abu-abu tua. Untuk mengetahui prosentase agregat yang terkandung pada lumpur Lapindo dari Porong, Sidoarjo, Jawa Timur.

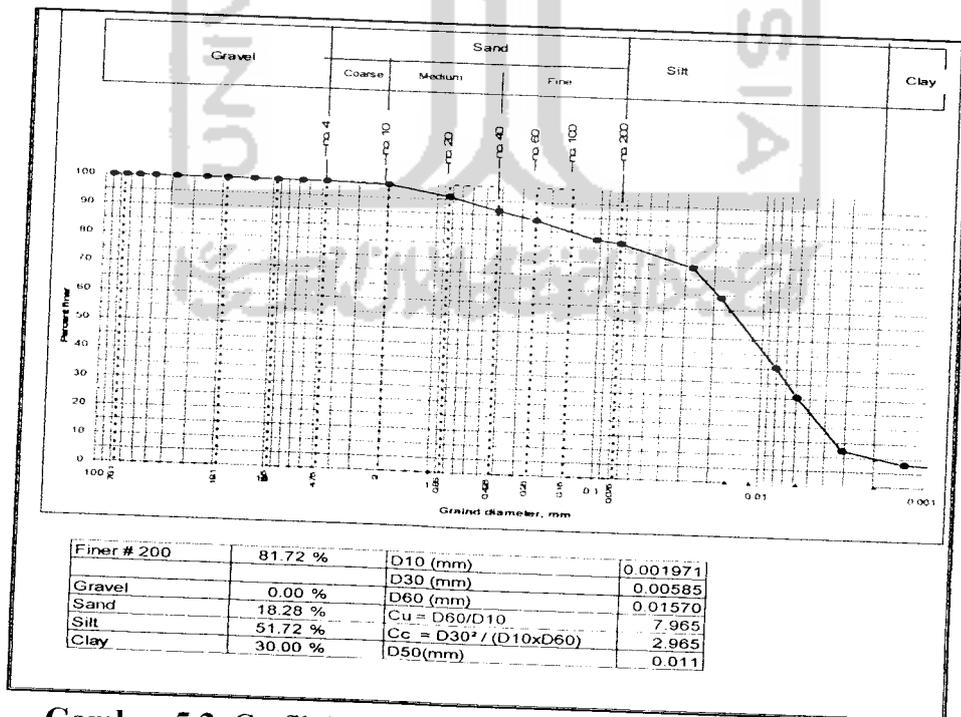
Maka dilakukan uji Analisis distribusi butiran yang terbagi menjadi 3 sampel. Adapun grafik hasil uji dari ketiga sampel lumpur Lapindo tersebut dapat kita lihat pada Gambar 5.1 s/d Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik hasil uji analisa distribusi butiran sampel I



Gambar 5.2 Grafik hasil uji analisa distribusi butiran sampel II



Gambar 5.3 Grafik hasil uji analisa distribusi butiran sampel III

Dari hasil uji Analisis distribusi butiran ketiga sampel diatas maka akan didapatkan prosentase nilai rata-rata dari masing masing agregat yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Nilai rata-rata hasil uji analisa distribusi butiran sampel I, II, III

No. Pengujian	Jenis agregat			Nilai rata-rata		
	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)
1	20,12	49,88	30,00			
2	20,03	49,97	30,00	19,48	50,52	30,00
3	18,28	51,72	30,00			

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

- Pasir = 19,48%
- Lanau = 50,52%
- Lempung = 30,00%

5.3 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.

5.3.1 Pengujian Kadar Air Tanah

Sampel tanah diambil dari lokasi pada kedalaman ± 1 meter dari permukaan tanah, kemudian sampel tanah dimasukkan ke dalam tabung *undisturb* agar kadar air

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

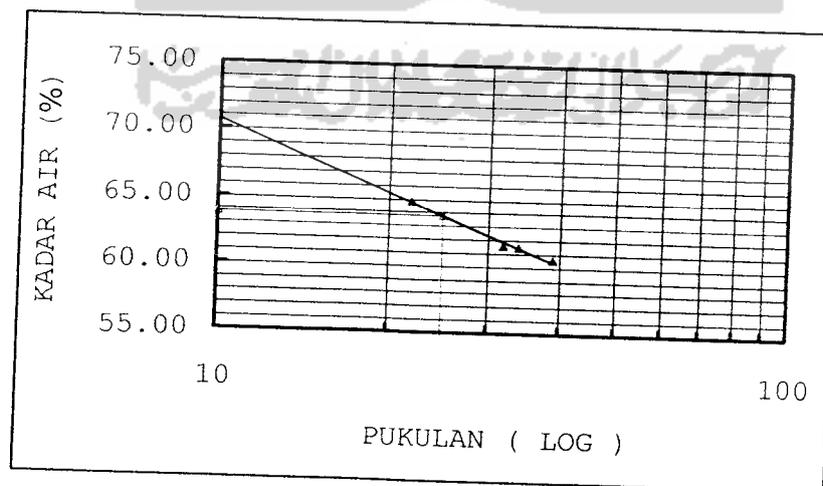
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Pengujian batas konsistensi yang dilakukan meliputi : Pengujian batas cair, batas plastis dan batas susut.

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 lumpur Lapindo ditunjukkan pada Tabel 5.5 dan akan diposisikan dalam grafik pada Gambar 5.4 di bawah ini.

Tabel 5.5 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 5.4 Grafik batas cair

tidak berubah yang kemudian langsung ditimbang di laboratorium. Hasil dari uji kadar air tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots 5.1$$

Di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan uji kadar air sampel lumpur Lapindo yang ditunjukkan pada Tabel 5.2 sebagai berikut :

Tabel 5.2 Hasil uji kadar air tanah asli

1	No. Pengujian	1	2	3
2	Berat container (W_1) gr	21,66	22,04	22,36
3	Berat Cont + tnh basah (W_2) gr	43,21	42,15	43,69
4	Berat Cont + tnh kering (W_3) gr	37,25	37,84	36,48
5	Berat air ($W_2 - W_3$) gr	5,96	4,31	7,21
6	Berat tnh kering ($W_3 - W_1$) gr	15,59	15,80	14,12
7	Kadar air (w) = $\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$	38,23	27,28	51,06
8	Kadar air rata-rata (w_r), (%)	38,86		

Contoh perhitungan kadar air (w) :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \%$$

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

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

$$w = 38,23\%$$

5.3.2 Pengujian Berat Volume Tanah

Pengujian ini bertujuan berat volume suatu tanah, berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung didalamnya dengan volume tanah total.

Hasil dari pengujian berat volume tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\gamma_b = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots\dots\dots 5.2$$

Di bawah ini adalah Tabel hasil perhitungan uji kadar air sampel lumpur Lapindo yang ditunjukkan pada Tabel 5.3 sebagai berikut ini.

Tabel 5.3 Hasil uji berat volume tanah asli

No	No Pengujian	I	II	III
1	Diameter Ring (d) cm	6,4	6,4	6,4
2	Tinggi Ring (t) cm	2,2	2,2	2,2
3	Volume Ring (V) cm	70,74	70,74	70,74
4	Berat Ring (W1) cm	68,94	68,94	68,94
5	Berat Ring + Tanah (W2) gr	190,8	185,97	190,21
6	Berat Tanah (W2-W1) gr	121,96	117,03	121,07
7	Berat Volume tanah $\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V}$ gr/cm ³	1,72	1,65	1,71
	Berat Volume rata-rata	1,70		

Contoh perhitungan Berat Volume Tanah (γ) :

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

$$= \frac{190.8 - 68.94}{70.74}$$

$$= 1,72 \text{ gr/cm}^3.$$

5.3.3 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 ini.

$$G_s (t^\circ) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots 5.3$$

$$G_s (27^\circ) = G_s (t^\circ) \times \frac{B_{\text{air } t^\circ}}{B_{\text{air } 27,5^\circ}} \dots\dots\dots 5.4$$

Di bawah ini adalah Tabel hasil perhitungan uji berat jenis sampel lumpur Lapindo yang ditunjukkan pada Tabel 5.4 sebagai berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil uji berat jenis tanah asli

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 °) = $\frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$	2,62	2,63	2,64
10	Berat jenis tanah pada 27,5 ° = $G_s(t^\circ) \times \frac{Bj\ air\ t^\circ}{Bj\ air\ 27,5^\circ}$	2,62	2,63	2,64
11	Berat jenis rata-rata (G _s rt)	2,63		

Contoh perhitungan berat jenis tanah :

$$G_s(t^\circ) = \frac{(30.54 - 20.10)}{(73.53 - 20,10) - (73.53 - 30.54)}$$

$$= 2,62$$

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

$$= 2,62$$

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%. Dengan didapatnya nilai batas cair dan batas plastis maka didapat nilai indeks plastisitas tanah dengan persamaan berikut :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots 5.4$$

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

3. 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%.

Hasil pengujian sifat-sifat mekanis lumpur Lapindo, Sidoarjo, Jawa Timur dapat dilihat pada Tabel 5.6 di bawah ini.

Tabel 5.6 Nilai hasil uji sifat-sifat mekanis lumpur Lapindo

No	Sifat mekanis tanah	Hasil
1	Kadar air (w) tanah asli (%)	38,86
2	Berat volume tanah (γ)	1,70
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	Indek plastis (IP) (%)	32,02

5.4 Uji Kepadatan Tanah (Uji Proktor standar)

Uji kepadatan tanah dilakukan dengan uji Proctor Standar. Adapun volume cetakan silinder sebesar 954,17 cm³. Diameter cetakan sebesar 10,2 mm. Berat penumbuk sebesar 2,505 kg dan tinggi jatuh sebesar 30 4,8 mm. Untuk setiap percobaan, berat volume basah (γ) dari tanah basah yang dipadatkan tersebut dapat dihitung dengan persamaan 5.5 berikut ini.

$$\gamma_b = \frac{W}{V(m)} \dots\dots\dots 5.5$$

Dengan :

W = berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan

V(m) = volume cetakan (cm³).

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 5.6 berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \dots\dots\dots 5.6$$

Dengan :

w (%) = kadar air.

Harga γ_d dari persamaan 5.6 tersebut dapat digambarkan terhadap kadar air dengan γ_d sebagai ordinat dan kadar air (w) sebagai absis. 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 5.7 yang kemudian hasilnya diposisikan pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.7 Hasil uji Proctor standar

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
Kadar air mula-mula (%)	13,46	13,46	13,46	13,46	13,46
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	23,90	28,69	32,67	38,36
Berat volume tanah kering	1,452	1,456	1,442	1,136	1,298

Perhitungan berat volume tanah basah :

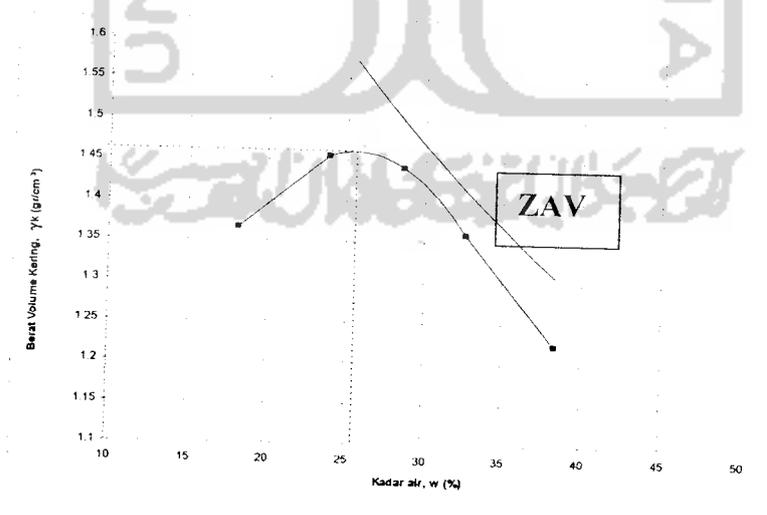
$$\gamma_b = \frac{W}{V(m)}$$

$$\begin{aligned}\gamma_b &= \frac{1637 \text{ gr}}{954,17 \text{ m}^3} \\ &= 1,716 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

Perhitungan berat volume tanah kering.

$$\begin{aligned}\gamma_d &= \frac{\gamma}{1+w} \\ \gamma_d &= \frac{1,715}{1+0,1818} \\ &= 1,452 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

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 5.5 dibawah ini.



Gambar 5.5 Hasil uji kepadatan tanah

Gambar 5.5 diatas menunjukkan hasil uji proctor standar/kepadatan tanah dengan nilai berat volume kering maksimum $1,461 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum sebesar 25,55%. Dengan demikian tanah akan mengalami kepadatan maksimum pada penambahan air sebesar 25,55%.

Pada percobaan selanjutnya untuk mendapatkan nilai kadar air optimum (*OMC*) dan nilai berat volume kering maksimum (*MDD*) 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 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Hasil Uji Pemadatan sampel I, II, III

Percobaan	Jenis sampel	Nilai	
		w.optimum	$\gamma_k \text{ (gr/cm}^2\text{)}$
1	Tanah asli I	25,55	1,461
2	Tanah asli II	25,11	1,456
3	Tanah asli III	24,64	1,470

5.5 Uji Geser Langsung

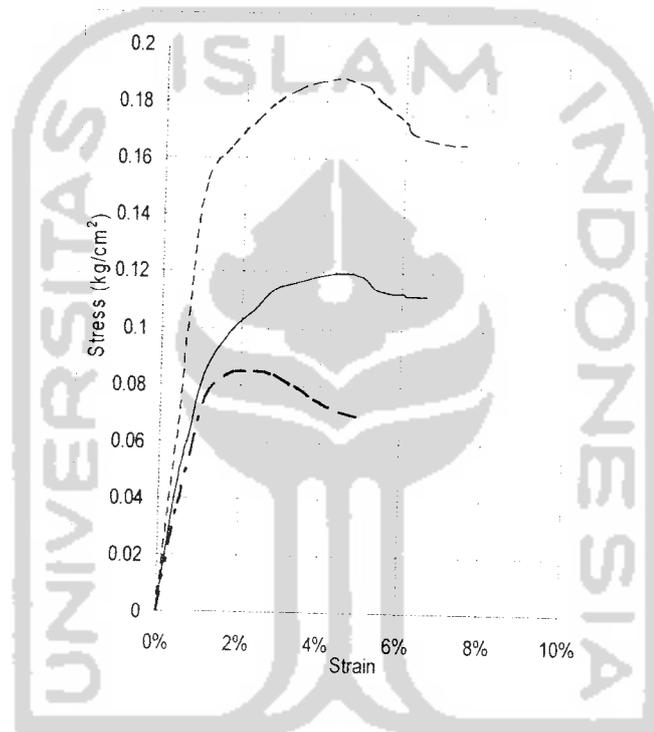
Sampel yang digunakan untuk uji Geser langsung ini adalah tanah asli dalam hal ini lumpur Lapindo. Uji Geser langsung dilakukan untuk mendapatkan parameter geser langsung yang terdiri dari sudut gesek dalam (Φ) dan kohesi (*c*).

Berikut ini adalah hasil penelitian pada sampel tanah asli pengujian geser langsung yang telah dilakukan ditinjau dengan cara grafis dan analitis.

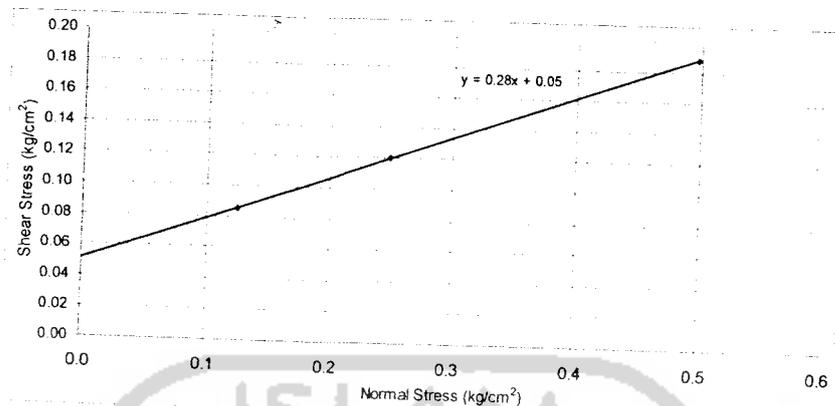
5.5.1 Uji Geser Langsung Tanah Asli

1. Hasil uji Geser langsung secara grafis

Dari hasil pengujian terhadap lumpur Lapindo didapatkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 berikut ini :



Gambar 5.6 Grafik hubungan antara tegangan dan regangan



Gambar 5.7 Grafik hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal

Dari uji Geser langsung didapat :

Kohesi (c) = 0,05 kg/cm².

Sudut geser dalam (φ) = 15,6°

2. Hasil uji Geser langsung secara analitis

Dari benda uji sampel lumpur Lapindo dengan variasi beban normal masing-masing adalah 4 kg, 8 kg dan 16 kg akan dilakukan perhitungan secara analitis untuk mendapatkan harga kohesi (c) dan sudut gesek dalam (φ) berdasarkan rumus : $\tau = c + \sigma \cdot \text{tg } \Phi$.

Harga c dan φ diperoleh dari substitusi ketiga persamaan tegangan geser (τ) dan tegangan normal (σ_n) pada pembacaan dial maksimum pada masing-masing beban. Persamaan-persamaan tersebut adalah :

$$\tau_1 = c + \sigma_{n1} \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(1)$$

$$\tau_2 = c + \sigma_{n2} \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(2)$$

$$\tau_3 = c + \sigma_{n3} \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(3)$$

Hasil perhitungan untuk sampel benda uji tanah asli berdasarkan rumus diatas dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

$$0,124 = c + 0,085 \cdot \text{tg } \Phi = \dots\dots\dots(1)$$

$$0,249 = c + 0,120 \cdot \text{tg } \Phi = \dots\dots\dots(2)$$

$$0,497 = c + 0,189 \cdot \text{tg } \Phi = \dots\dots\dots(3)$$

$$0,87 = 3c + 0,394 \cdot \text{tg } \Phi$$

$$0,29 = c + 0,133 \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(4)$$

Substitusi persamaan (1) dan (4)

$$0,124 = c + 0,085 \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(1)$$

$$0,29 = c + 0,133 \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(4)$$

$$-0,166 = 0 - 0,046 \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{tg } \Phi = 0,277 \longrightarrow \Phi = \text{arc tg } 0,277$$

$$\Phi = 15,6^\circ$$

Substitusi nilai Φ dan nilai persamaan (1)

$$0,124 = c + 0,085 \cdot \text{tg } \Phi \dots\dots\dots(1)$$

$$0,124 = c + 0,086 \cdot 0,277$$

$$c = 0,051 \text{ kg/cm}^2.$$

Pada percobaan selanjutnya untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (Φ) pada sampel II dan sampel III secara analitis juga dilakukan perhitungan seperti contoh diatas. Selanjutnya dibuat Tabel hasil pengujian geser langsung yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 dibawah ini.

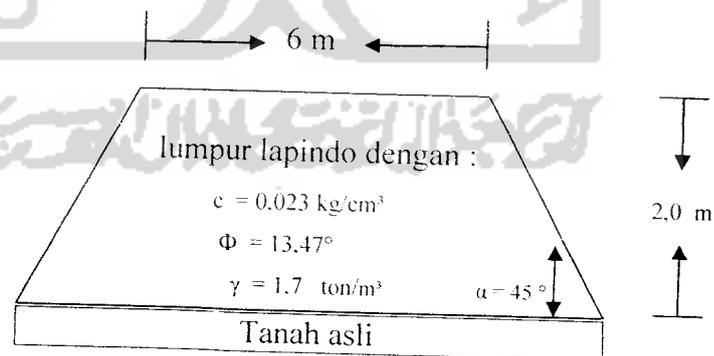
Tabel 5.9 Hasil Uji Geser Langsung sampel I, II, III

Percobaan	Jenis sampel	Nilai	
		c(kg/cm ²)	Φ (°)
1	Sampel I	0,05	15,6
2	Sampel II	0,01	14,6
3	Sampel III	0,01	10,2
Rata-rata		0,023	13,47

5.6 Analisis Stabilitas Lereng

5.6.1 Berdasarkan Berat volume tanah (γ)

Untuk menganalisis stabilitas lereng digunakan program Geo Slope dengan menggunakan metode Bishop, Janbu, serta Ordinary. Kasus stabilitas lereng yang akan dianalisis dengan menggunakan program Geo Slope adalah suatu badan jalan dengan lebar 6 meter, dan tinggi badan jalan 2,0 meter serta sudut kemiringan sebesar 45°.

**Gambar 5.8** Permodelan badan jalan

Dalam analisis stabilitas lereng digunakan sampel lumpur Lapindo dengan data-data sebagai berikut :

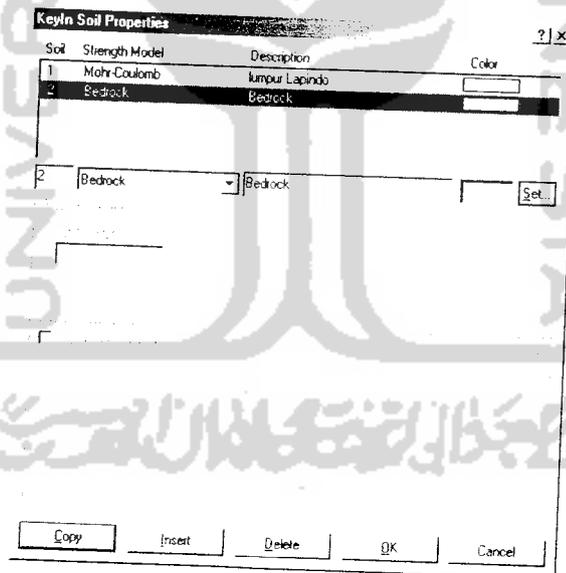
1. Untuk jenis tanah yang pertama digunakan berat volume tanah (γ) asli dengan parameter tanah sebagai berikut :

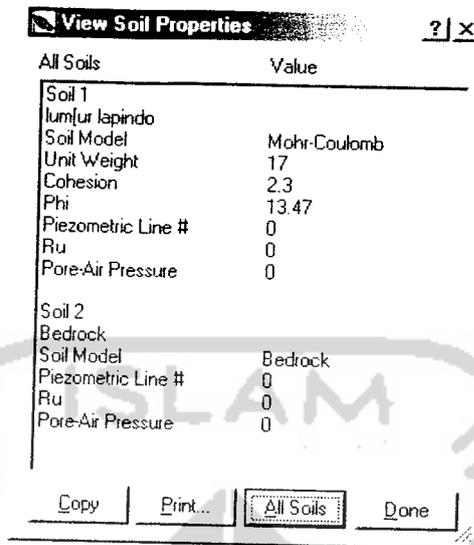
$$\gamma = 1,7 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 13,47^\circ$$

$$c = 0.023 \text{ kg/cm}^3$$

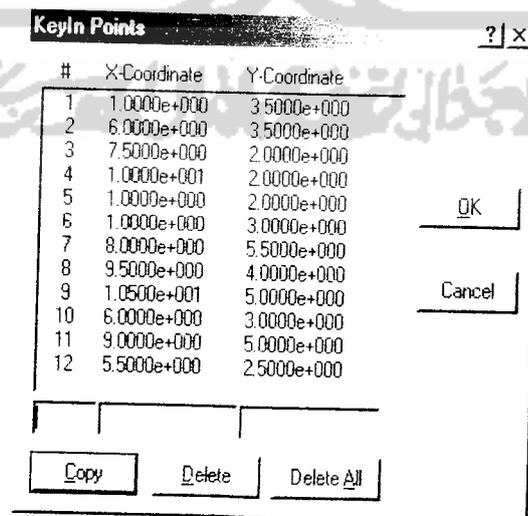
Setelah data karakteristik tanah penyusun lereng diperoleh, langkah awal dalam proses analisis yaitu permodelan lereng (Gambar 5.8). Langkah berikutnya adalah proses input data yang terdapat dalam menu key in (*soil properties*) dalam program Geo Slope. Proses input data seperti pada Gambar 5.9.

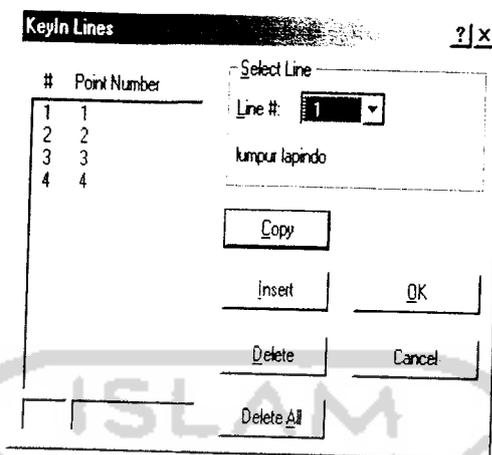




Gambar 5.9 Proses input data

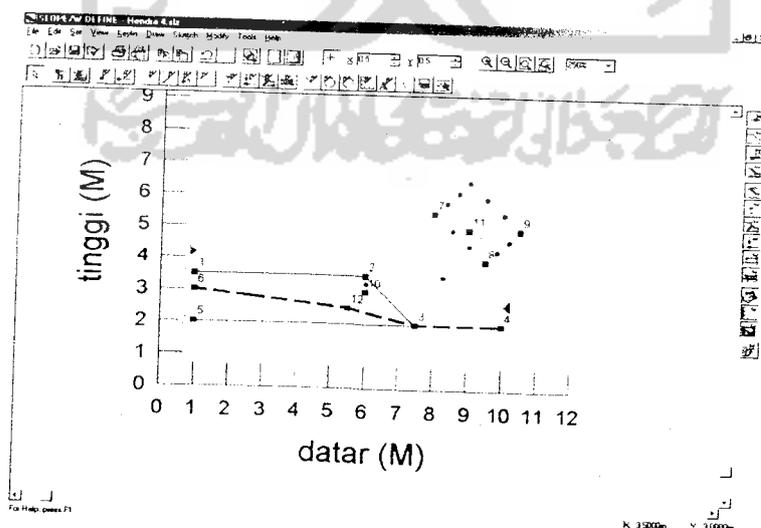
Setelah proses input data selesai, langkah selanjutnya mendefinisikan titik-titik koordinat serta batas jumlah lapisan tanah. Proses tersebut seperti pada Gambar 5.10 dibawah ini.





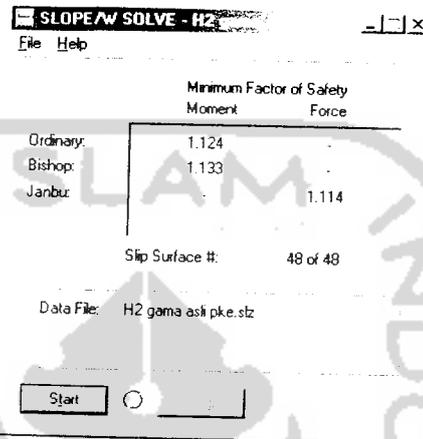
Gambar 5.10 Plotting Koordinat (*Points dan Lines*)

Sebelum proses *running* program (eksekusi) dilakukan, langkah terakhir yaitu menentukan pusat bidang longsor yang memungkinkan untuk dilewati bidang longsor kritis serta pusat rotasi. Setelah selesai proses tersebut baru kemudian di *running* yang terdapat dalam menu *Tools (solve)*. Proses tersebut seperti pada Gambar 5.11 dibawah ini.



Gambar 5.11 Penentuan pusat bidang longsor.

Setelah dianalisis menggunakan program GEO-SLOPE, hasil dari analisis seperti pada Gambar 5.12 di bawah ini.



	Minimum Factor of Safety	
	Moment	Force
Ordinary:	1.124	-
Bishop:	1.133	-
Janbu:	-	1.114

Slip Surface #: 48 of 48

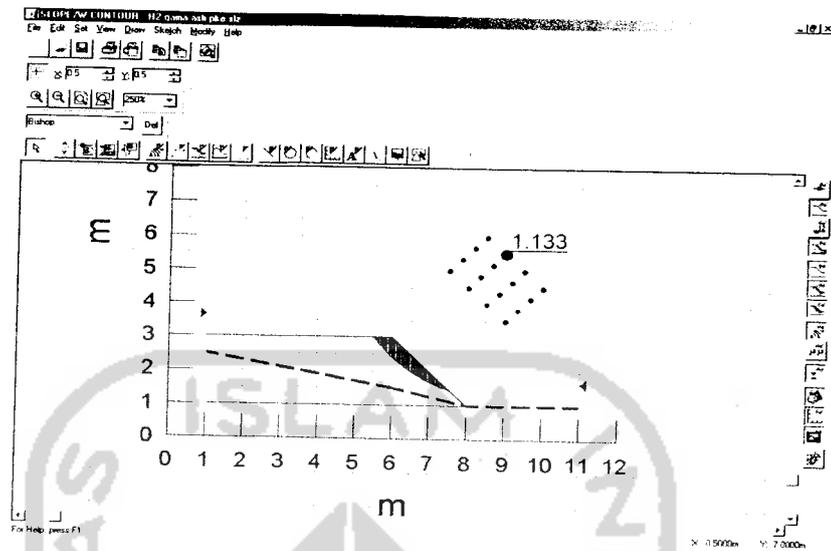
Data File: H2 gama asli pke.siz

Start

Gambar 5.12 Hasil Analisis

Dari hasil analisis didapat faktor aman sebagai berikut ini:

- SF untuk metode Bishop = 1,133
- SF untuk metode Janbu = 1,114
- SF untuk metode Ordinary = 1,124



Gambar 5.13 Bidang longsor kritis

2. Untuk jenis tanah yang kedua digunakan berat volume tanah (γ) setelah pemadatan dengan parameter tanah sebagai berikut ini.

$$\gamma = 1,828 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 13,47^\circ$$

$$c = 0.023 \text{ kg/cm}^3$$

Berdasarkan data diatas yang dianalisis dengan program GEO-SLOPE didapat nilai faktor amannya sebagai berikut ini.

a. SF untuk metode Bishop = 1,091

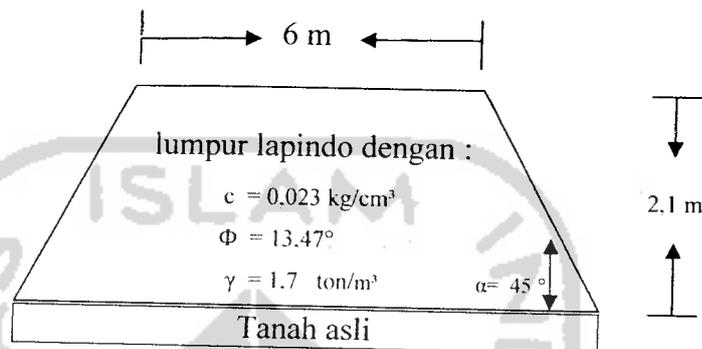
b. SF untuk metode Janbu = 1,073

c. SF untuk metode Ordinary = 1,080

5.6.2 Berdasarkan ketinggian badan jalan (H)

Untuk menganalisis stabilitas lereng digunakan program Geo Slope dengan menggunakan metode Bishop, Janbu, serta Ordinary. Kasus stabilitas lereng yang

akan dianalisis dengan menggunakan program Geo Slope. Suatu badan jalan dengan lebar 6 meter, dan tinggi badan jalan 2,1 meter serta sudut kemiringan sebesar 45° .



Gambar 5.14 Permodelan badan jalan

Dalam analisis stabilitas lereng digunakan sampel lumpur Lapindo dengan data-data sebagai berikut :

1. Untuk jenis tanah yang pertama digunakan berat volume tanah (γ) asli dan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter dengan parameter tanah sebagai berikut ini.

$$\gamma = 1,7 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 13,47^\circ$$

$$c = 0.023 \text{ kg/cm}^3$$

Berdasarkan data diatas yang dianalisis dengan program GEO-SLOPE didapat nilai faktor amannya sebagai berikut :

- a. SF untuk metode Bishop = 1,041
- b. SF untuk metode Janbu = 1,019
- c. SF untuk metode Ordinary = 1,030

2. Untuk jenis tanah yang kedua digunakan berat volume tanah (γ) asli dan tinggi badan jalan (H) 2,2 meter dengan parameter tanah sebagai berikut ini.

$$\gamma = 1,7 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 13,47^\circ$$

$$c = 0.023 \text{ kg/cm}^3$$

Berdasarkan data diatas yang dianalisis dengan program GEO-SLOPE didapat nilai faktor amannya sebagai berikut :

a. SF untuk metode Bishop = 1,010

b. SF untuk metode Janbu = 0,991

c. SF untuk metode Ordinary = 1,000

3. Untuk jenis tanah yang kedua digunakan berat volume tanah (γ) asli dan tinggi badan jalan (H) 2,3 meter dengan parameter tanah sebagai berikut ini.

$$\gamma = 1,7 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 13,47^\circ$$

$$c = 0.023 \text{ kg/cm}^3$$

Berdasarkan data diatas yang dianalisis dengan program GEO-SLOPE didapat nilai faktor amannya sebagai berikut :

a. SF untuk metode Bishop = 0,930

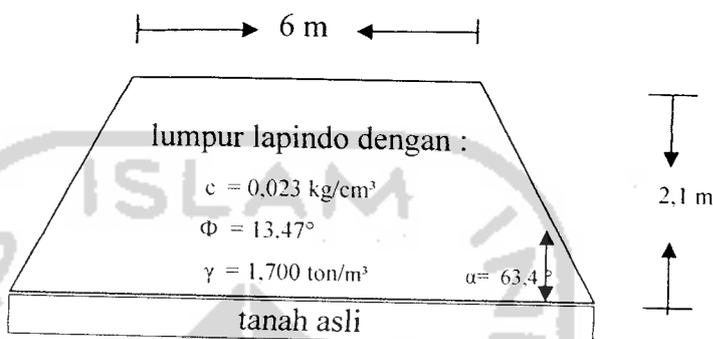
b. SF untuk metode Janbu = 0,909

c. SF untuk metode Ordinary = 0,918

5.6.3 Berdasarkan sudut kemiringan (α)

Untuk menganalisis stabilitas lereng digunakan program Geo Slope dengan menggunakan metode Bishop, Janbu, serta Ordinary. Kasus stabilitas lereng yang akan dianalisis dengan menggunakan program Geo Slope adalah suatu badan jalan

dengan lebar 6 meter, dan tinggi badan jalan 2,1 meter serta sudut kemiringan sebesar $63,4^\circ$.



Gambar 5.15 Permodelan badan jalan

Dalam analisis stabilitas lereng digunakan sampel lumpur Lapindo dengan data-data sebagai berikut :

1. Untuk jenis tanah yang pertama digunakan berat volume tanah asli (γ) dan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter serta sudut kemiringan lereng (α) $63,4^\circ$ dengan parameter tanah sebagai berikut :

$$\gamma = 1,7 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 13,47^\circ$$

$$c = 0,023 \text{ kg/cm}^3$$

Berdasarkan data diatas yang dianalisis dengan program GEO-SLOPE didapat nilai faktor amannya sebagai berikut ini.

- a. SF untuk metode Bishop = 0,861
 - b. SF untuk metode Janbu = 0,875
 - c. SF untuk metode Ordinary = 0,864
2. Untuk jenis tanah yang pertama digunakan berat volume tanah asli (γ) dan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter serta sudut kemiringan lereng (α) 34° dengan parameter tanah sebagai berikut ini.

$$\gamma = 1,7 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 13,47^\circ$$

$$c = 0.023 \text{ kg/cm}^3$$

Berdasarkan data diatas yang dianalisis dengan program GEO-SLOPE didapat nilai faktor amannya sebagai berikut :

a. SF untuk metode Bishop = 1,498

b. SF untuk metode Janbu = 1,464

c. SF untuk metode Ordinary = 1,482



BAB VI

PEMBAHASAN

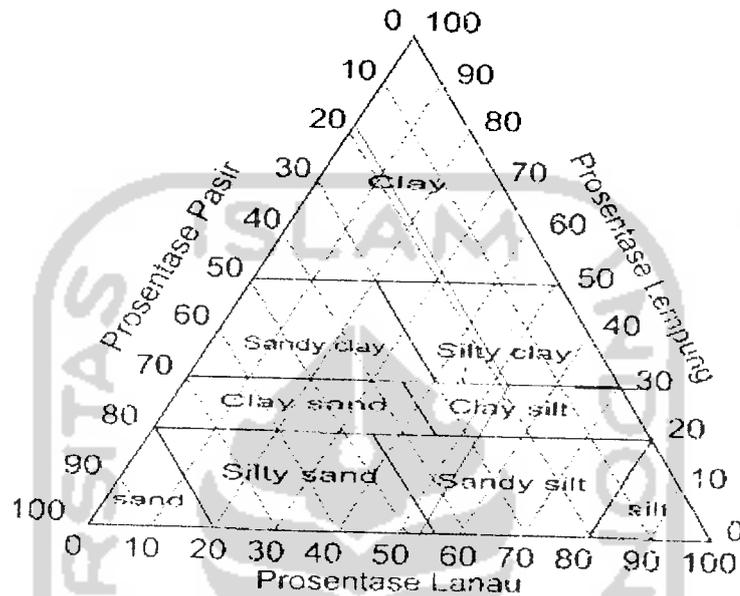
Pada bab ini akan di bahas mengenai hasil penyelidikan tanah, analisis stabilitas lereng yang diperoleh dari pemograman menggunakan program GEO-SLOPE, membandingkan nilai faktor aman berdasarkan berat volume tanah (γ) dan tinggi badan jalan (H) serta sudut kemiringan lereng (α).

6.1 Klasifikasi Tanah

6.1.1 Berdasarkan data hasil pengujian lumpur Lapindo yang diambil dari Porong dapat disimpulkan karakteristik tanah dengan sistem klasifikasi tanah USCS (*the Unified Soil Classification System*), sebagai berikut ini.

1. Tanah lolos saringan no.200 sebesar 80,52%. Prosentase ini lebih besar dari 50%, maka lumpur Lapindo masuk ke dalam klasifikasi tanah berbutir halus. (Braja. M. Das. 1988),

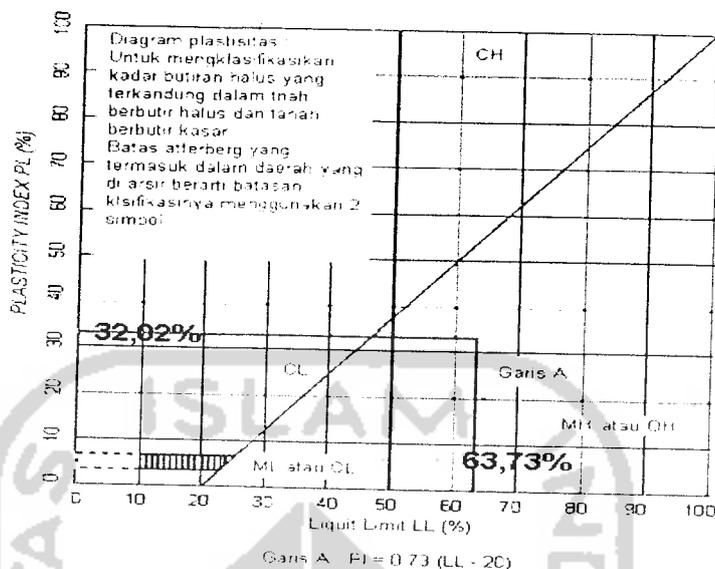
2. Klasifikasi berdasarkan klasifikasi segitiga USCS



Gambar 6.1 Klasifikasi segitiga USCS

Pada Gambar klasifikasi segitiga USCS, dapat disimpulkan bahwa bahwa lumpur Lapindo termasuk kelompok tanah clay silty.

3. Lumpur Lapindo dengan Batas Cair sebesar 63,73% dan Plastisitas Indeks 32,02%, maka diplotkan ke dalam grafik plastisitas yang merupakan grafik yang menunjukkan batas-batas antara batas cair dan indeks plastisitas. Adapun hasil dari grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.1 dibawah ini.



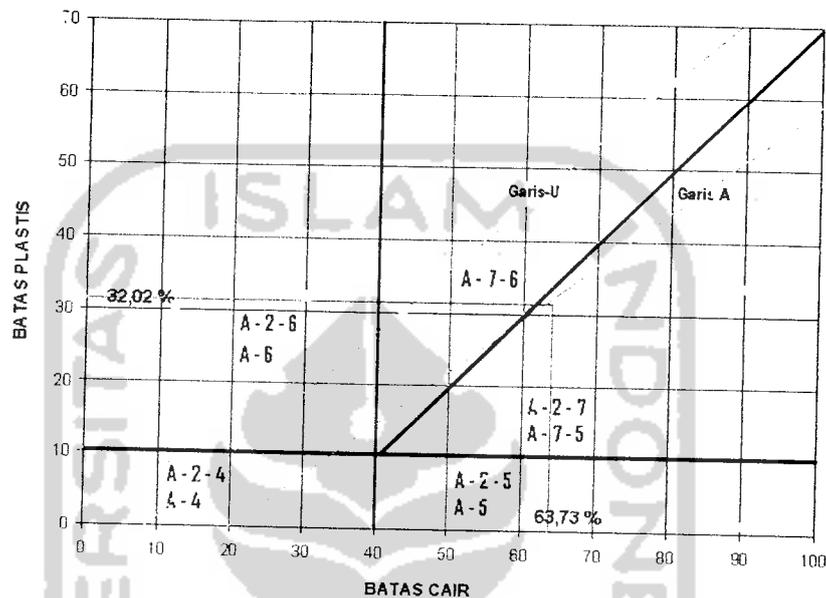
Gambar 6.2 Diagram plastisitas berdasarkan sistem USCS

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

6.1.2 Berdasarkan data hasil pengujian lumpur Lapindo yang diambil dari dari Porong dapat disimpulkan beberapa karakteristik tanah dengan sistem klasifikasi tanah AASHTO (*the American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*), sebagai berikut ini.

1. Tanah yang lolos saringan no.200 adalah sebesar 80,52%. Prosentase ini lebih besar dari 35%, maka lumpur Lapindo masuk dalam klasifikasi lanau-berlempung (silt-clay). Hal ini berdasarkan klasifikasi tanah sistem AASHTO (Das, M. Braja, 1988).
2. Lumpur Lapindo dengan Batas Cair sebesar 63,73% dan Plastisitas Indeks 32,02%, maka diplotkan ke dalam grafik plastisitas yang merupakan grafik yang menunjukkan batas-batas antara batas cair dan indeks

plastisitas. Adapun hasil dari grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.2 dibawah ini.



Gambar 6.3 Grafik plastisitas sistem klasifikasi AASHTO

Dengan melihat hasil grafik plastisitas diatas maka didapatkan bahwa lumpur Lapindo 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.

$$\begin{aligned}
 GI &= (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \\
 &= (80,52-35)[0,2 + 0,005 (63,73 - 40)] + 0,01 (80,52 - 15)(32,02 - 10) \\
 &= 28,93 \approx 29
 \end{aligned}$$

Lumpur Lapindo mempunyai batas plastis (PL) sebesar 31,71%, sehingga lumpur Lapindo akan dikelompokkan lagi kedalam kelompok A-7-5 (29).

6.2 Hasil Analisis Stabilitas Lereng

6.2.1 Berdasarkan Berat volume tanah (γ).

Analisis terhadap lereng dilakukan dengan memasukkan data-data karakteristik tanah dari hasil Laboratorium. Dalam analisis, grid titik-titik yang akan menjadi pusat bidang longsor dibuat pada bidang yang memungkinkan terjadi longsor.

1. Untuk jenis tanah yang pertama dengan tinggi badan jalan (H) 2,0 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat volume tanah (γ) setelah pemadatan, $\gamma = 1.828 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = $0,023 \text{ kg/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman.

Tabel 6.1 Nilai Faktor Aman

No	Metode	Nilai faktor aman
1	Bishop	1,091
2	Janbu	1,073
3	Ordinary	1,080

2. Untuk jenis tanah yang kedua dengan tinggi badan jalan (H) 2,0 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat volume tanah (γ) sesuai dengan kondisi tanah aslinya, $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = $0,023 \text{ kg/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman.

Tabel 6.2 Nilai Faktor Aman

No	Metode	Nilai faktor aman
1	Bishop	1,133
2	Janbu	1,114
3	Ordinary	1,124

Dari nilai faktor aman yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin besar berat volume tanah basah (γ_b) tingkat kelongsoran tanah semakin besar. Ketidakstabilan sebuah lereng dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya bertambahnya γ_b sebagai akibat dari pembasahan ((I.S. Dunn, 1923).

6.2.2 Berdasarkan Ketinggian (H)

1. Untuk jenis tanah yang pertama dengan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = $0,023 \text{ kg/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman.

Tabel 6.3 Nilai Faktor Aman

No	Metode	Nilai faktor aman
1	Bishop	1,041
2	Janbu	1,030
3	Ordinary	1,019

2. Untuk jenis tanah yang kedua dengan tinggi badan jalan (H) 2,2 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat

volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = $0,023 \text{ kg/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman.

Tabel 6.4 Nilai Faktor Aman

No	Metode	Nilai faktor aman
1	Bishop	1,010
2	Janbu	1,000
3	Ordinary	0,991

3. Untuk jenis tanah yang ketiga dengan tinggi badan jalan (H) 2,3 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = $0,023 \text{ kg/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman.

Tabel 6.5 Nilai Faktor Aman

No	Metode	Nilai faktor aman
1	Bishop	0,930
2	Janbu	0,918
3	Ordinary	0,909

Dari nilai faktor aman yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin tinggi badan jalan, maka tingkat kelongsoran lereng semakin besar.

6.2.3 Berdasarkan sudut kemiringan (α)

1. Untuk jenis tanah yang pertama dengan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) $63,4^\circ$ dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$. Kohesi (c) = $0,023 \text{ kg/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman.

Tabel 6.6 Nilai Faktor Aman

No	Metode	Nilai faktor aman
1	Bishop	0,861
2	Janbu	0,875
3	Ordinary	0,864

3. Untuk jenis tanah yang kedua dengan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 34° dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, kohesi (c) = $0,023 \text{ kg/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman.

Tabel 6.7 Nilai Faktor Aman

No	Metode	Nilai faktor aman
1	Bishop	1,498
2	Janbu	1,464
3	Ordinary	1,482

Dari nilai faktor aman yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin besar kemiringan lereng tingkat kelongsoran semakin besar. Dengan kemiringan lereng yang besar gaya gravitasi yang ditimbulkan akan semakin besar.



Tabel 6.8 Rekapitulasi Angka Aman

No	Paramater lereng	Angka Aman		
		Bishop	Janbu	Ordinary
1	$\gamma = 1,828 \text{ t/m}^3$ $\alpha = 45^\circ$ H = 2 meter	1,091	1,073	1,080
2	$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$ $\alpha = 45^\circ$ H = 2 meter	1,133	1,114	1,124
3	$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$ $\alpha = 45^\circ$ H = 2,1 meter	1,041	1,030	1,019
4	$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$ $\alpha = 45^\circ$ H = 2,2 meter	1,010	1,000	0,991
5	$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$ $\alpha = 45^\circ$ H = 2,3 meter	0,930	0,918	0,909
6	$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$ $\alpha = 63,4^\circ$ H = 2,1 meter	0,861	0,875	0,864
7	$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$ $\alpha = 34^\circ$ H = 2,1 meter	1,498	1,464	1,482

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.

- 7.1.1. Secara fisik lumpur Lapindo yang diambil dari Porong Sidoarjo berwarna abu-abu tua. Berdasarkan klasifikasi tanah sistem USCS lumpur Lapindo digolongkan kedalam kelompok MH dengan nama lanau anorganik atau lanau diatomae. (Braja. M. Das. 1988). Berdasarkan klasifikasi tanah sistem AASHTO lumpur Lapindo digolongkan kedalam kelompok A-7-5(29) dengan jenis tanah berlempung. (Braja. M. Das. 1988),
- 7.1.2. Analisis stabilitas lereng menggunakan Program Geo Slope.
 1. Berdasarkan berat volume tanah (γ).
 - a. Untuk jenis tanah yang pertama dengan berat volume tanah asli (γ) = 1.7 ton/ m³, dengan tinggi badan jalan 2,1 meter, sudut kemiringan (α) 45° dan lebar badan jalan (L) 6 meter didapatkan nilai aman minimum (SFmin) adalah sebagai berikut : metode Bishop = 1,133, metode Janbu = 1,114, dan metode Ordinary = 1,124.
 - b. Jika berat volume tanah asli (γ) = 1.828 ton/ m³, dengan tinggi badan jalan 2,1 meter, sudut kemiringan (α) 45° dan lebar badan jalan (L) 6 meter didapatkan nilai aman minimum (SFmin) adalah sebagai berikut : metode Bishop = 1,091, metode Janbu = 1,073, dan metode Ordinary = 1,080.

Dari nilai faktor aman yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin besar berat volume tanah basah (γ_b) tingkat kelongsoran tanah semakin besar.

Ketidakstabilan sebuah lereng dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya bertambahnya γ_b sebagai akibat dari pembasahan ((I.S. Dunn, 1923).

2. Berdasarkan ketinggian badan jalan (H)

- a. Untuk jenis tanah yang pertama dengan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = 0,023 kg/m² dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman sebagai berikut. metode Bishop = 1,041, metode Janbu = 1,030, dan metode Ordinary = 1,019
- b. Untuk jenis tanah yang kedua dengan tinggi badan jalan (H) 2,2 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = 0,023 kg/m² dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman sebagai berikut. metode Bishop = 1,010, metode Janbu = 1,000, dan metode Ordinary = 0,991.
- c. Untuk jenis tanah yang pertama dengan tinggi badan jalan (H) 2,3 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 45° dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) = 0,023 kg/m² dan sudut geser dalam (ϕ) = $13,47^\circ$ di peroleh faktor aman sebagai berikut. metode Bishop = 0,930 metode Janbu = 0.918, dan metode Ordinary = 0,909.

Dari nilai faktor aman yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin tinggi badan jalan, maka tingkat kelongsoran lereng semakin besar.

3. Berdasarkan kemiringan lereng (α).

- a. Untuk jenis tanah yang pertama dengan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) $63,4^\circ$ dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$, Kohesi (c) =

0,023 kg/m² dan sudut geser dalam (ϕ) = 13,47° di peroleh faktor aman sebagai berikut. metode Bishop = 0,861, metode Janbu = 0,875, dan metode Ordinary = 0,864.

- b. Untuk jenis tanah yang pertama dengan tinggi badan jalan (H) 2,1 meter, lebar badan jalan (L) 6 meter dan sudut kemiringan (α) 34° dengan berat volume tanah (γ) asli $\gamma = 1,7$ t/m³, Kohesi (c) = 0,023 kg/m² dan sudut geser dalam (ϕ) = 13,47° di peroleh faktor aman sebagai berikut. metode Bishop = 1,498, metode Janbu = 1,464, dan metode Ordinary = 1,482.

Dari angka aman yang diperoleh dapat diketahui semakin besar kemiringan lereng tingkat kelongsoran semakin besar. Dengan kemiringan lereng yang besar gaya gravitasi yang ditimbulkan akan semakin besar.

- 7.1.3. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan Program Geo Slope terhadap badan jalan yang terbuat dari lumpur Lapindo. Jika berat volume tanah asli $\gamma = 1,7$ t/m³, dengan tinggi badan jalan 2,1 meter, sudut kemiringan (α) 45° dan lebar badan jalan (L) 6 meter didapatkan nilai aman minimum (SFmin) adalah sebagai berikut : metode Bishop = 1,041, metode Janbu = 1,030, dan metode Ordinary = 1,019.

7.2 SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan program komputer sejenis seperti PLAXIS dan XSTABL untuk menganalisis stabilitas lereng.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih komplit dengan memvariasi jenis-jenis tanah dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kelongsoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, E. Joseph, 1986, SIFAT-SIFAT FISIS DAN GEOTEKNIS TANAH (MEKANIKA TANAH), Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, M. Braja, 1994, MEKANIKA TANAH, (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Das, M. Braja, 1988, MEKANIKA TANAH, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Diah Kingkin Purwanti, 2001, EVALUASI STABILITAS LERENG CANDI BOROBUDUR, Tugas Akhir Mahasiswa S1, JTS, FTSP-UGM, Yogyakarta.
- Afdal Zikri, 2003, ANALISIS STABILITAS LERENG JALAN PENDEKAT MENGGUNAKAN PROGRAM GEO-SLOPE PADA JEMBATAN KALI PENTUNG, YOGYAKARTA, Tugas Akhir Mahasiswa S1, JTS, FTSP-UGM, Yogyakarta.
- Arief Rochman Hakim, 2004, STUDI EKSPREMENTAL KELONGSORAN LERENG TANAH DAN ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN MENGGUNAKAN METODE KESEIMBANGAN, Tugas Akhir Mahasiswa S1, JTS, FTSP-UGM, Yogyakarta.
- Purwono, 2003, ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN SOFTWARE GEO-SLOPE OFFICE, Tugas Akhir Mahasiswa S1, JTS, FTSP-UGM, Yogyakarta.
- C. Hardiyatmo, H. 2002, MEKANIKA TANAH I, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- C. Hardiyatmo, H. 2003, MEKANIKA TANAH II, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wesley, L. D. 1997, MEKANIKA TANAH, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

- Hendarsin, L. Shirley, 2003, INVESTIGASI REKAYASA GEOTEKNIK
UNTUK PERENCANAAN BANGUNAN TEKNIK SIPIL, Jilid 1,
Politeknik Negeri Bandung.
- _____, 2004, PEDOMAN PRAKTIKUM MEKANIKA TANAH, Laboratorium
Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.





UNTUK DOSEN

KARTU PRESENSI KONSULTASI
TUGAS AKHIR MAHASISWA

PERIODE KE	: II (Des.06- Mei.07)
TAHUN	: 2006 - 2007
Sampai Akhir Mei 2007	

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Hendra Usnaini	99 511 398	Teknik Sipil
JUDUL TUGAS AKHIR			
Analisis Stabilitas Lereng Pada badan Jalan Yang Terbuat Dari Tanah Lumpur Lapindo			

Dosen Pembimbing I : Edy Purwanto, Dr, Ir, H, CES, DEA

Dosen Pembimbing II :



Jogjakarta , 11-Dec-06
a.n. Dekan

Ir.H.Faisol AM, MSy

<u>Catatan</u>	:	
Seminar	:	
Sidang	:	
Pendadaran	:	



KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Hendra Usnaini	99 511 398	Teknik Sipil
JUDUL TUGAS AKHIR			
Analisis Stabilitas Lereng Pada badan Jalan Yang Terbuat Dari Tanah Lumpur Lapindo			

PERIODE KE	: II (Des.06- Mei.07)
TAHUN	: 2006 - 2007
Sampai Akhir Mei 2007	

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Des.	Jan.	Peb.	Mar.	Apr.	Mei.
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar Proposal		■	■			
5	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6	Sidang - Sidang					■	■
7	Pendadaran						■

Dosen Pembimbing I : Edy Purwanto,Dr,Ir,H,CES,DEA

Dosen Pembimbing II :



Jogjakarta ,11-Dec-06
 a.n. Dekan

Ir.H.Faisol AM, MSP

Catatan	:	
Seminar	:	
Sidang	:	
Pendadaran	:	





PERNYATAAN BEBAS PLAGIATISME

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi 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 kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Yogyakarta:

8 - Juni - 2007 .

Penulis

Hendra Usnaini





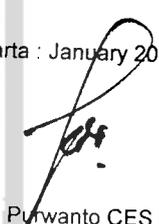
Kadar Air

PROYEK : Tugas Akhir

Asal Sampel : Porong, Sidoarjo, Jawa Timur

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	42.15	43.69
3	Berat cawan + tanah kering (W_3) gram	37.25	37.84	36.48
4	Berat air ($W_2 - W_1$) %	5.96	4.31	7.21
5	Berat tanah kering ($W_3 - W_1$) gram	15.59	15.80	14.12
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 : Lapindo 99
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	$(\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V}$ gram / cm ³	1.72	1.65	1.71
8	Berat Volume Rata - Rata	(γ_r)		1.70	

Yogyakarta, Januari 2007
Kepala Operasional Laboratorium

DR. Ir. Edy 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

No. Titik :

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 °) $\frac{Bj\ air\ t^\circ}{Bj\ air\ 27,5^\circ}$	2.62	2.63	2.64	2.60	2.65
11	Berat jenis rata-rata G _s rt	2.63				

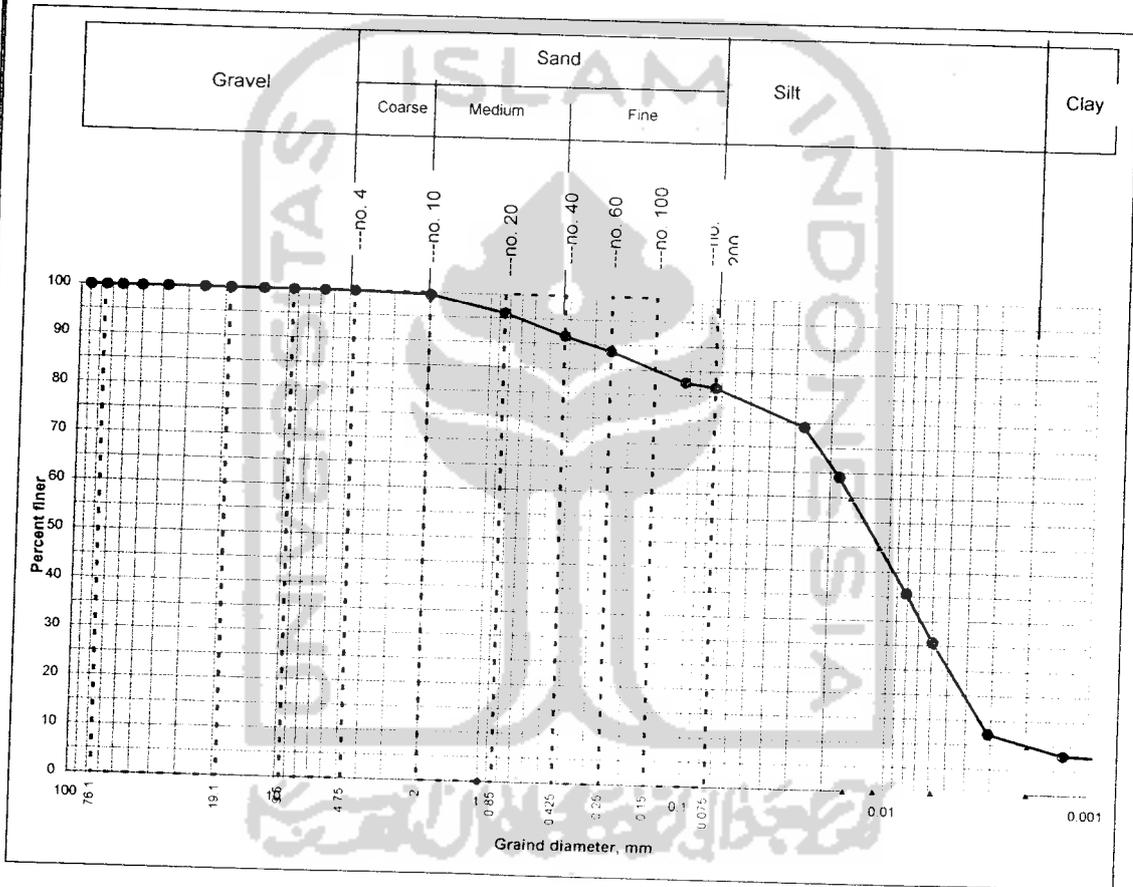




SOIL MECHANIC LABORATORY
FACULTY OF ENGINEERING AND PLANNING
INDONESIAN ISLAMIC UNIVERSITY

GRAIN SIZE ANALYSIS
ASTM D1140 - 54

Project : Tugas Akhir
 Location : Porong, sidoarjo, Jawa Timur
 Sample no. : 3
 Depth : -
 Kode : 1
 Tested by : Lapindo Cs
 Date : Januari 2007
 Berat jenis : 2,63



Finer # 200	81.72 %	D10 (mm)	0.001971
		D30 (mm)	0.00585
Gravel	0.00 %	D60 (mm)	0.01570
Sand	18.28 %	Cu = D60/D10	7.965
Silt	51.72 %	Cc = D30 ² / (D10xD60)	2.965
Clay	30.00 %	D50(mm)	0.011

Yogyakarta ; Januari 2007

Dr. Ir. Egy Purwanto, DEA

GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Tugas Akhir Tested by : Lapindo Cs
 Sample no : 3 Date : Januari 2007
 Depth : 1.00 m 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	0	$e_1 = 60.00$	100.00	
	13.2	0	$e_2 = 60.00$	100.00	
3/8	9.5	0	$e_3 = 60.00$	100.00	
1/4	6.7	0	$e_4 = 60.00$	100.00	
4	4.750	$d_1 = 0.00$	$e_5 = 60.00$	100.00	$e_7 = W - S_d$
10	2.000	$d_2 = 0.29$	$e_6 = 59.71$	99.52	$e_6 = d_7 + e_7$
20	0.850	$d_3 = 2.12$	$e_7 = 57.59$	95.98	$e_5 = d_6 + e_6$
40	0.425	$d_4 = 2.68$	$e_9 = 54.91$	91.52	$e_4 = d_5 + e_5$
60	0.250	$d_5 = 1.72$	$e_{10} = 53.19$	88.65	$e_3 = d_4 + e_4$
140	0.106	$d_6 = 3.51$	$e_{11} = 49.58$	82.63	$e_2 = d_3 + e_3$
200	0.075	$d_7 = 0.55$	$e_{12} = 49.03$	81.72	$e_1 = d_2 + e_2$
		$S_d = 10.97$			

Hidrometer Analysis

Time	elapsed time min. T	R1	R2	t	R' $R_1 + m$	L	K	D (mm)	$R_c = R_1 - R_2 + Cr$	P $K_2 \times R$ (%)
10.40										
10.42	2	41	-2.0	27	42	9.418	0.0125	0.027178	44.3	74.18
10.45	5	35	-2.0	27	36	10.401	0.0125	0.018063	38.3	64.13
10.70	30	21	-2.0	27	22	12.693	0.0125	0.008147	24.3	40.69
11.40	60	15	-2.0	27	16	13.675	0.0125	0.005979	18.3	30.64
14.50	250	4	-2.0	27	5	15.476	0.0125	0.003116	7.3	12.22
10.40	1440	1.5	-2.0	27	2.5	15.886	0.0125	0.001315	4.8	8.04

Remarks :

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

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

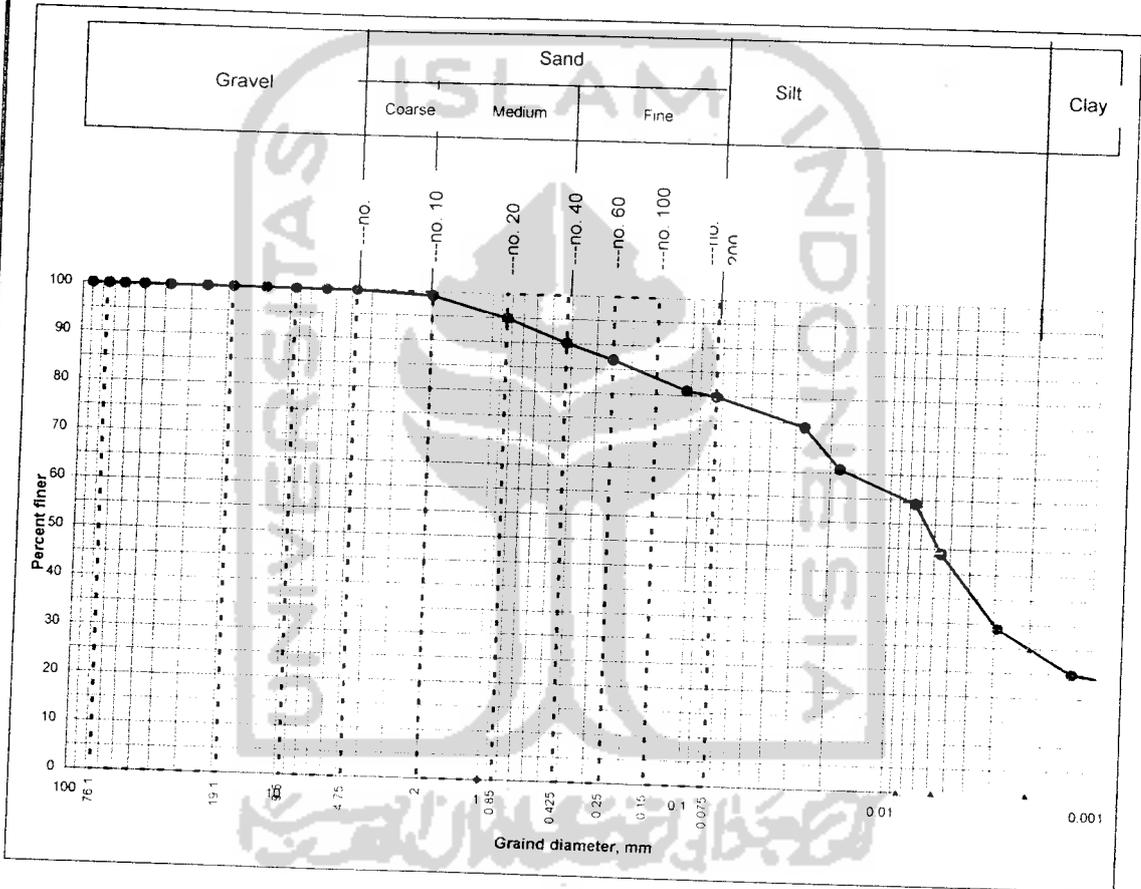
SOIL MECHANICS LABORATORY
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA



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. : 2
 Depth : -
 Kode : 1
 Tested by : Lapindo Cs
 Date : Januari 2007
 Berat jenis : 2,63



Finer # 200	79.97 %	D10 (mm)	0.000004
		D30 (mm)	0.00199
Gravel	0.00 %	D60 (mm)	0.00847
Sand	20.03 %	$Cu = D60/D10$	1933.840
Silt	49.97 %	$Cc = D30^2 / (D10 \times D60)$	455.384
Clay	30.00 %	D50 (mm)	0.006

Yogyakarta ; Januari 2007

Dr. Ir. Eddy Purwanto, DEA

GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Tugas Akhir
 Sample no : 2
 Depth : 1.00 m
 Kode : 1

Tested by : Lapindo Cs
 Date : Januari 2007
 Location : Porong, sidoarjo, Jawa Timur

Soil sample (disturbed/undisturbed)

Mass of soil = 60 gr
 Specific Gravity, Gs = 2.630
 K2 = a/W x 100 = 1.67438

Hydrometer type = 152 H
 Hydr. Correction, a = 1.005
 Meniscus correction, m = 1

Sieve Analysis

Sieve No	Opening (mm)	Mass retained (gr)	Mass passed (gr)	% finer by mass e/W x 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	0	e1 = 60.00	100.00	
	13.2	0	e2 = 60.00	100.00	
3/8	9.5	0	e3 = 60.00	100.00	
1/4	6.7	0	e4 = 60.00	100.00	
4	4.750	d1 = 0.00	e5 = 60.00	100.00	e7 = W - Sd
10	2.000	d2 = 0.46	e6 = 59.54	99.23	e6 = d7 + e7
20	0.850	d3 = 2.61	e7 = 56.93	94.88	e5 = d6 + e6
40	0.425	d4 = 2.88	e9 = 54.05	90.08	e4 = d5 + e5
60	0.250	d5 = 1.89	e10 = 52.16	86.93	e3 = d4 + e4
140	0.106	d6 = 3.55	e11 = 48.61	81.02	e2 = d3 + e3
200	0.075	d7 = 0.63	e12 = 47.98	79.97	e1 = d2 + e2
		Sd = 12.02			

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 (%)
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

Remarks :

Rc = R1 - R2 + Cr (Cr = Temperatur correction factors)

R' = R1 + m (m correctoin for meniscus)

SOIL MECHANICS LABORATORY
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	KONSULTASI KE :	TANGGAL
		 <p>The logo of Universitas Islam Indonesia (UII) is centered in the table cell. It consists of a stylized book with a quill pen resting on it, all enclosed within a rounded rectangular border. The word 'ISLAM' is written above the book, and 'UNIVERSITAS' and 'INDONESIA' are written vertically on the left and right sides, respectively. Below the logo is a line of Arabic calligraphy.</p>	

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
01	05/10/07	- see rental major summary proposal	Feri
	2/10/07	<ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki sesuai koreksi - lengkapi by letter, isi, tabel, gambar, notasi, Pustaka - Tambahan bab Perubahan of border audit - Pada penggunaan bus slope di halaman by beberapa simulasi misal: γ , H , K_b uga	Feri
	16/10/07	- Perbaiki pada bab Hasil Penelitian	Feri
	27/10/07	<ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki format rental lengkap - Tambah abstraksi 	Feri

30/10/07

see rental major
sikap TA

11/11/07

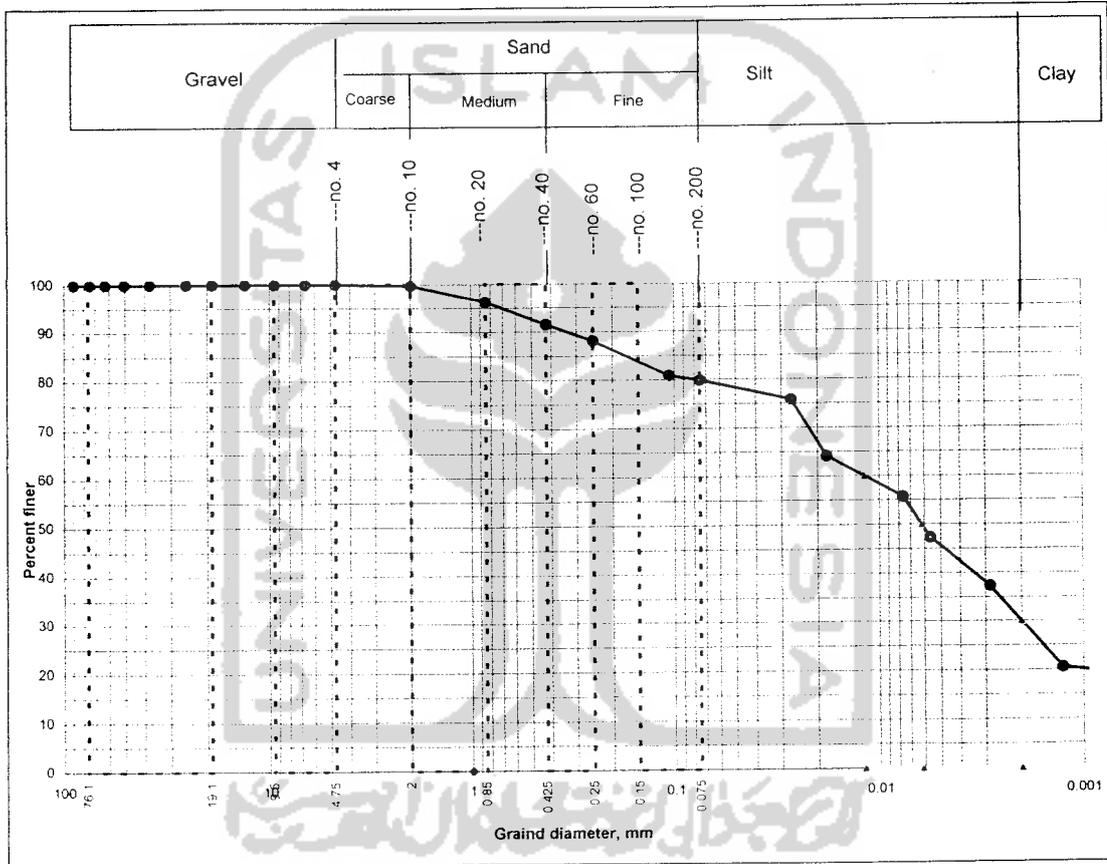
see rental major
revisi penelitian



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 : Lapindo Cs
 Date : January 2007
 Berat jenis : 2,63



Finer # 200	79.88 %	D10 (mm)	0.000010
		D30 (mm)	0.00200
Gravel	0.00 %	D60 (mm)	0.01183
Sand	20.12 %	$Cu = D60/D10$	1206.331
Silt	49.88 %	$Cc = D30^2 / (D10 \times D60)$	203.781
Clay	30.00 %	D50(mm)	0.006

Yogyakarta : January 2007

Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA

GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Tugas Akhir Tested by : Lapindo Cs
 Sample no : 1 Date : Januari 2007
 Depth : 1.00 m Location : Porong, sidoarjo, Jawa Timur
 Kode : 1

Soil sample (disturbed/undisturbed)

Mass of soil = 60 gr Hydrometer 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	0	$e_1 = 60.00$	100.00	
	13.2	0	$e_2 = 60.00$	100.00	
3/8	9.5	0	$e_3 = 60.00$	100.00	
1/4	6.7	0	$e_4 = 60.00$	100.00	
4	4.750	$d_1 = 0.00$	$e_5 = 60.00$	100.00	$e_7 = W - S_d$
10	2.000	$d_2 = 0.21$	$e_6 = 59.79$	99.65	$e_6 = d_7 + e_7$
20	0.850	$d_3 = 2.07$	$e_7 = 57.72$	96.20	$e_5 = d_6 + e_6$
40	0.425	$d_4 = 2.80$	$e_9 = 54.92$	91.53	$e_4 = d_5 + e_5$
60	0.250	$d_5 = 2.06$	$e_{10} = 52.86$	88.10	$e_3 = d_4 + e_4$
140	0.106	$d_6 = 4.32$	$e_{11} = 48.54$	80.90	$e_2 = d_3 + e_3$
200	0.075	$d_7 = 0.61$	$e_{12} = 47.93$	79.88	$e_1 = d_2 + e_2$
		$S_d = 12.07$			

Hydrometer Analysis

Time	elapsed time min. T	R1	R2	t	R' $R_1 + m$	L	K	D (mm)	Rc= $R_1 - R_2 + Cr$	P $K_2 \times R$ (%)
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

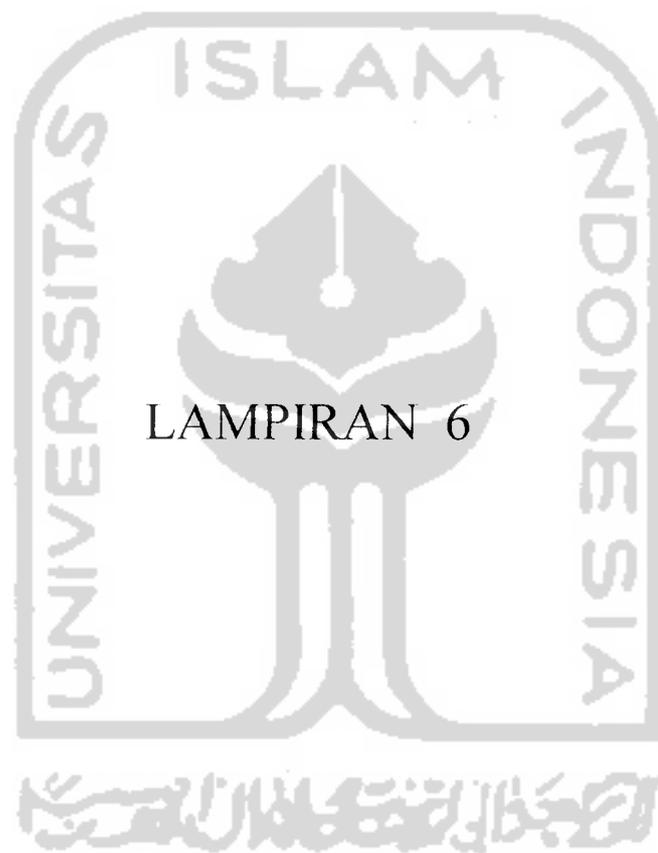
Remarks :

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

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

SOIL MECHANICS LABORATORY
CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
ISLAMIC UNIVERSITY OF INDONESIA







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

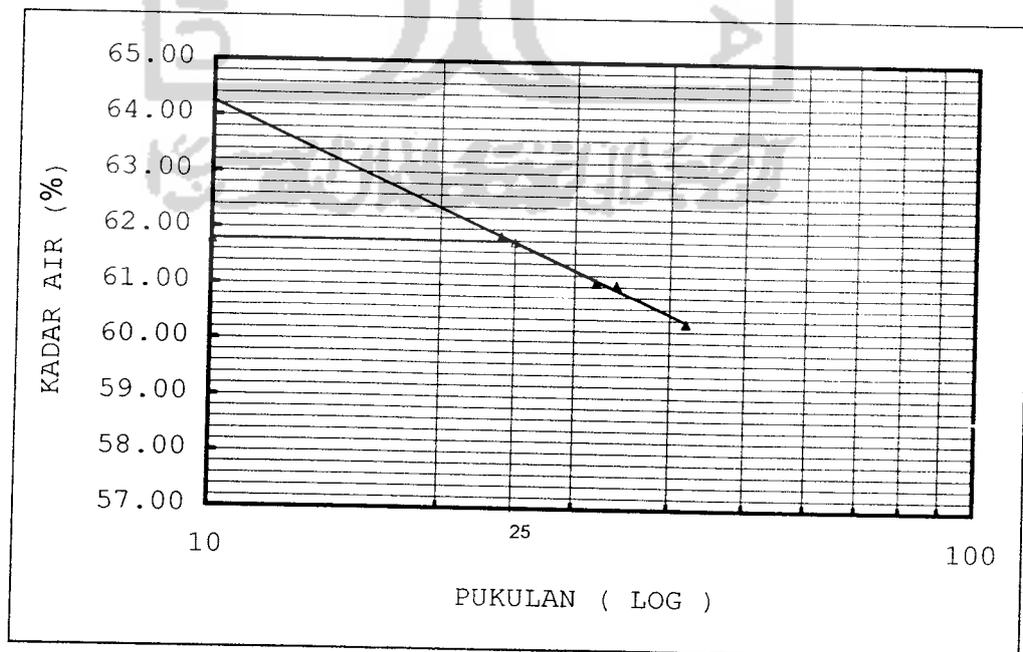
Tanggal 22/01/2007
 Dikerjakan lapindo99

NO	NO. PENGUJIAN	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	NO CAWAN								
2	Berat cawan kosong	21.60	21.85	21.64	21.66	21.49	21.54	21.89	21.79
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	32.55	30.75	31.13	37.80	31.98	37.23	31.20	34.94
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	28.35	27.36	27.55	31.65	28.00	31.29	27.69	30.00
5	Berat air (3) - (4)	4.20	3.39	3.58	6.15	3.98	5.94	3.51	4.94
6	Berat tanah kering (4) - (2)	6.75	5.51	5.91	9.99	6.51	9.75	5.80	8.21
7	KADAR AIR = $\frac{(5)}{(6)} \times 100\%$	62.22	61.52	60.58	61.56	61.14	60.92	60.52	60.17
8	KADAR AIR RATA-RATA =		61.87		61.07		61.03		60.34
9	PUKULAN		24		32		34		42

PENGUJIAN BATAS PLASTIS

NO		1	2
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 : 2.573
 BATAS CAIR : 61.78
 BATAS PLASTIS : 31.71
 INDEX PLASTISITAS : 30.06





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

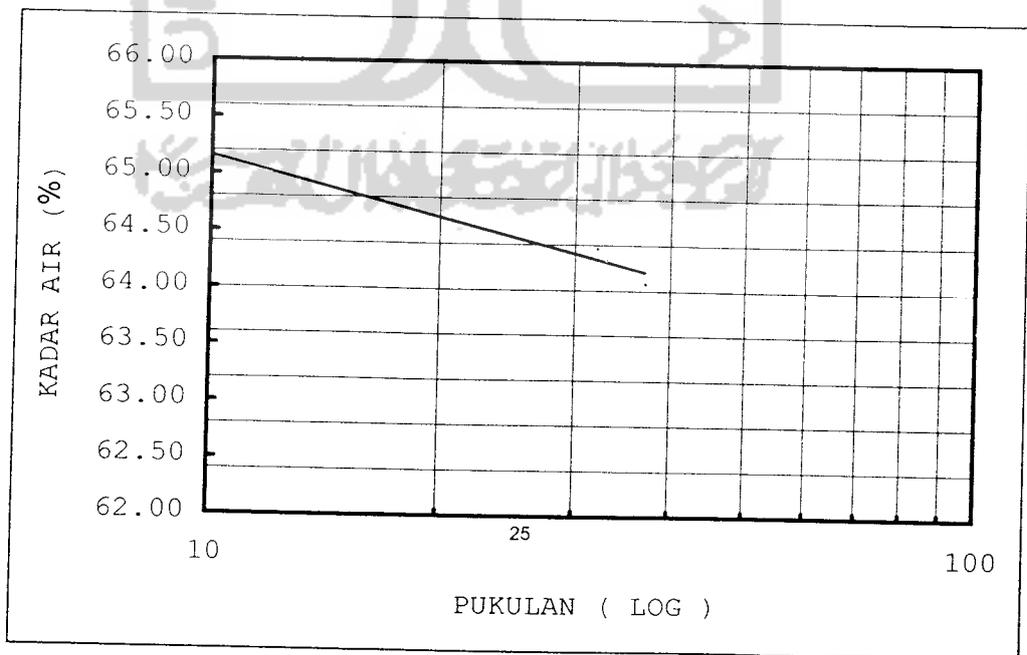
Tanggal 22/01/2007
 Dikerjakan lapindo99

NO	NO. PENGUJIAN	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	NO CAWAN								
2	Berat cawan kosong	22.03	21.56	22.09	22.15	21.90	21.71	21.73	21.85
3	Berat cawan + tanah basah (gr)	25.74	24.40	37.76	35.46	30.99	36.96	33.38	36.02
4	Berat cawan + tanah kering (gr)	24.28	23.28	31.62	30.25	27.43	31.00	28.82	30.50
5	Berat air (3) - (4)	1.46	1.12	6.14	5.21	3.56	5.96	4.56	5.52
6	Berat tanah kering (4) - (2)	2.25	1.72	9.53	8.10	5.53	9.29	7.09	8.65
7	KADAR AIR = $\frac{(5)}{(6)} \times 100\% =$	64.89	65.12	64.43	64.32	64.38	64.16	64.32	63.82
8	KADAR AIR RATA-RATA =		65.00		64.37		64.27		64.07
9	PUKULAN		12		32		33		37

PENGUJIAN BATAS PLASTIS

NO		1	2
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	: 0.692
BATAS CAIR	: 64.46
BATAS PLASTIS	: 31.71
INDEX PLASTISITAS	: 32.75



Handwritten signature



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

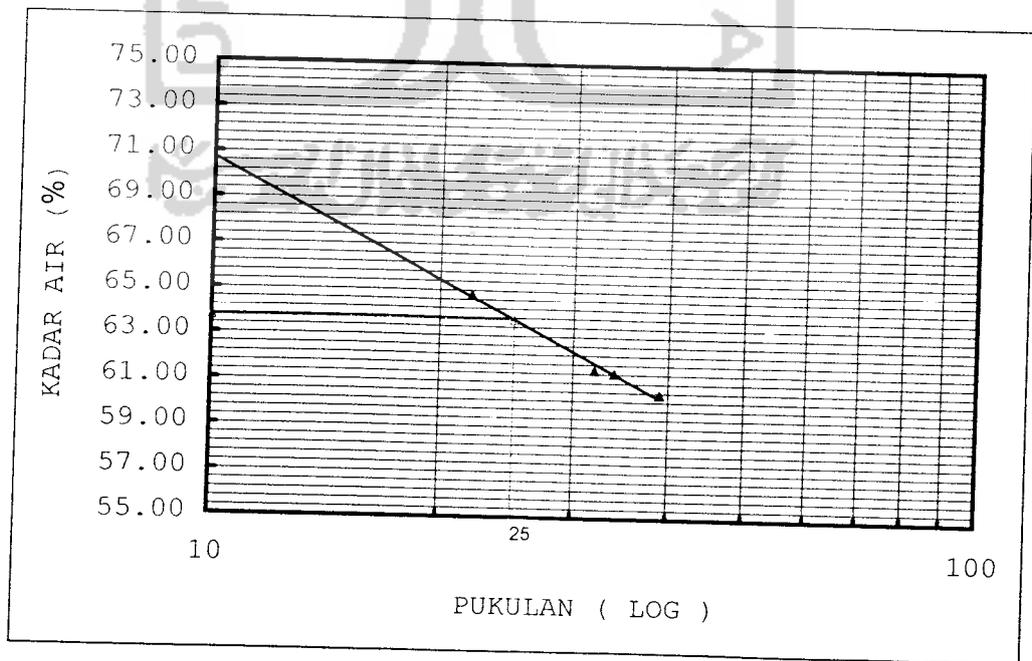
Tanggal 22/01/2007
 Dikerjakan lapindo99

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 CAWAN		
		1	2
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



[Handwritten signature]





LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DIRECT SHEAR TEST

Project
 Location
 Boring No.
 Kedalaman : 1,00 meter
 Jenis Tanah

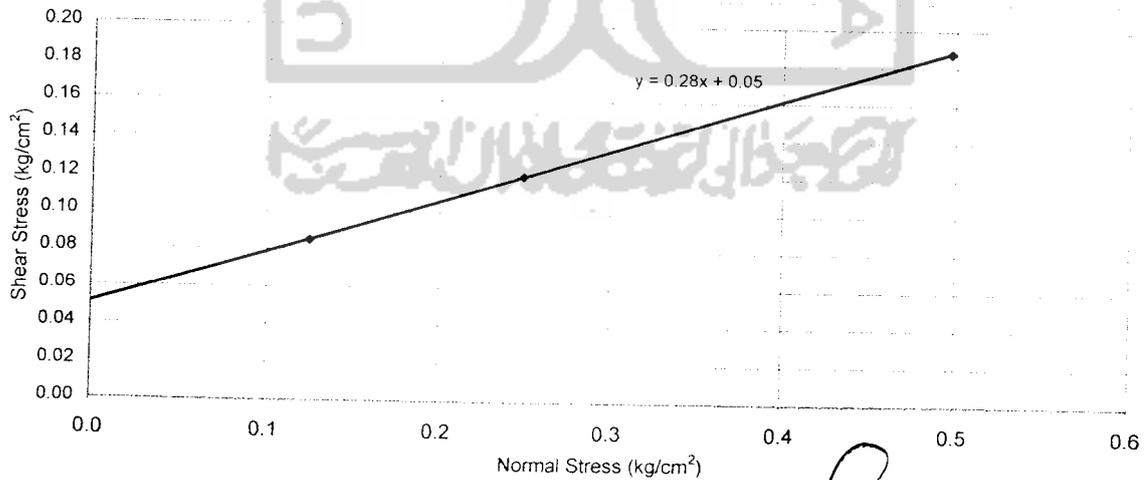
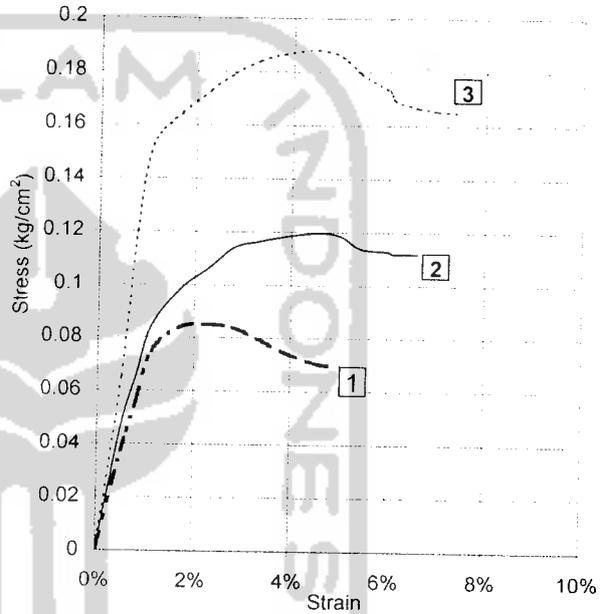
Date : January 2007
 Tested by : Lapindo 99
 Checked by :

Sample data	
diam (cm)	6.40
Area (cm ²)	32.17
Ht,Lo (cm)	2.00
Vol (cm ³)	64.34
Wt ring (gr)	67.59

LRC = 0.3 kg/div

Water Content			
Wt Container (cup), gr	21.96	21.63	21.58
Wt of Cup + Wet soil, gr	48.30	48.64	47.34
Wt of Cup + Dry soil, gr	38.34	37.65	36.07
Water Content %	60.81	68.60	64.71
Average water content %	64.71		
Wt Soil + ring (gr)	190.59	190.59	190.59
Wet Unit wt (gr/cm ³)	1.912	1.912	1.912
Dry Unit wt (gr/cm ³)	1.161	1.161	1.161
Normal Stress σ_n (kg/cm ²)	0.124	0.249	0.497
Shear stress at failur τ (kg/cm ²)	0.085	0.120	0.188

Angle Of Internal friction, ϕ = 15.6 °
 Cohesion = 0.05 kg/cm²



Kepala laboratorium,

Dr. Ir. Edy Purwanto, CES, DEA.



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DIRECT SHEAR TEST

Project Location
 Boring No.
 Kedalaman : 1,00 meter
 Jenis Tanah

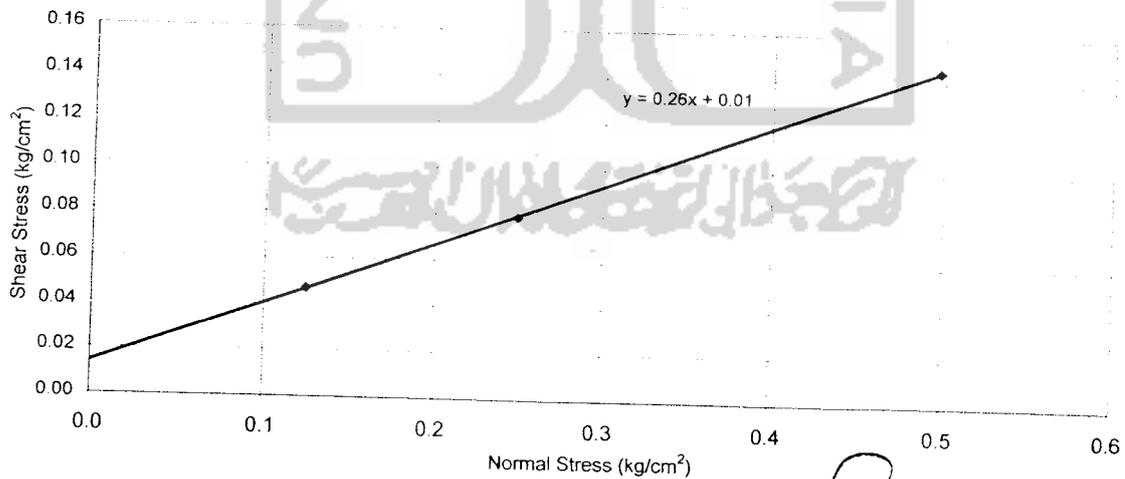
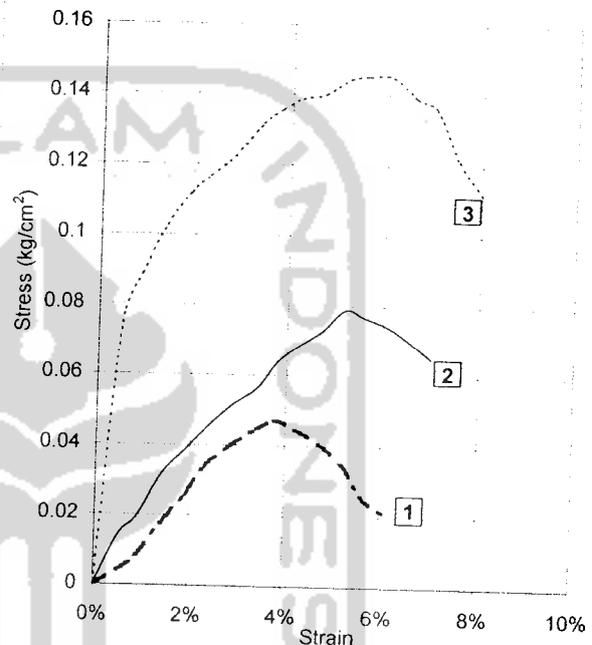
Date : Januari 2007
 Tested by : Lapindo 99
 Checked by

Sample data	
diam (cm)	6.40
Area (cm ²)	32.17
Ht,Lo (cm)	2.00
Vol (cm ³)	64.34
Wt ring (gr)	67.59

LRC = 0.3 kg/div

Water Content			
Wt Container (cup), gr	22.31	21.93	21.84
Wt of Cup + Wet soil, gr	52.35	44.41	42.85
Wt of Cup + Dry soil, gr	41.51	35.51	34.64
Water Content %	56.46	65.54	61.00
Average water content %	61.00		
Wt Soil + ring (gr)	190.99	214.14	185.30
Wet Unit wt (gr/cm ³)	1.918	2.278	1.829
Dry Unit wt (gr/cm ³)	1.191	1.415	1.136
Normal Stress σ_n (kg/cm ²)	0.124	0.249	0.497
Shear stress at failure τ (kg/cm ²)	0.047	0.079	0.145

Angle Of internal friction, ϕ =	14.6 °
Cohesion =	0.01 kg/cm ²



Kepala laboratorium

[Signature]
 Dr. Ir. Edy Puwanto, CES, DEA.



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL-FTSP
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DIRECT SHEAR TEST

Project
 Location
 Boring No.
 Kedalaman : 1,00 meter
 Jenis Tanah

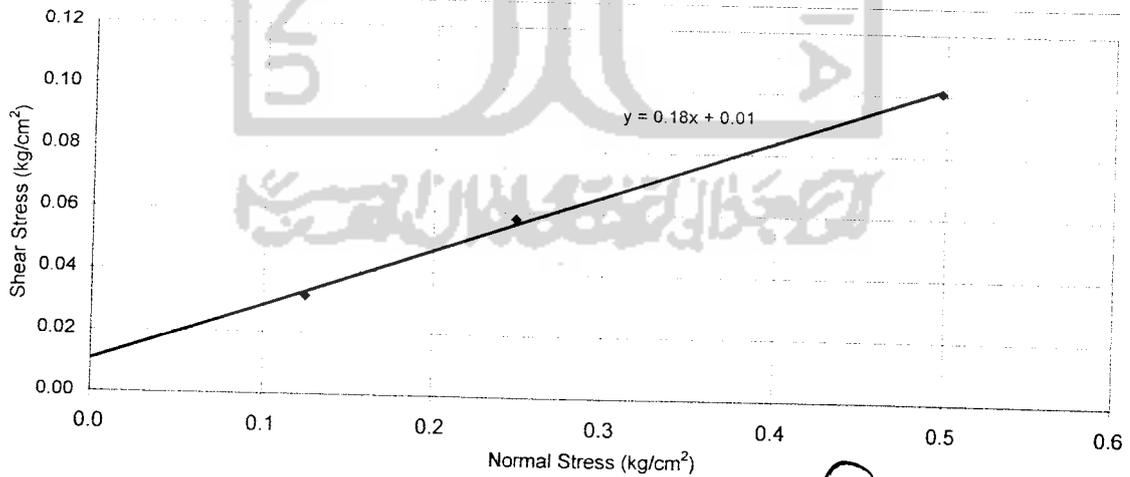
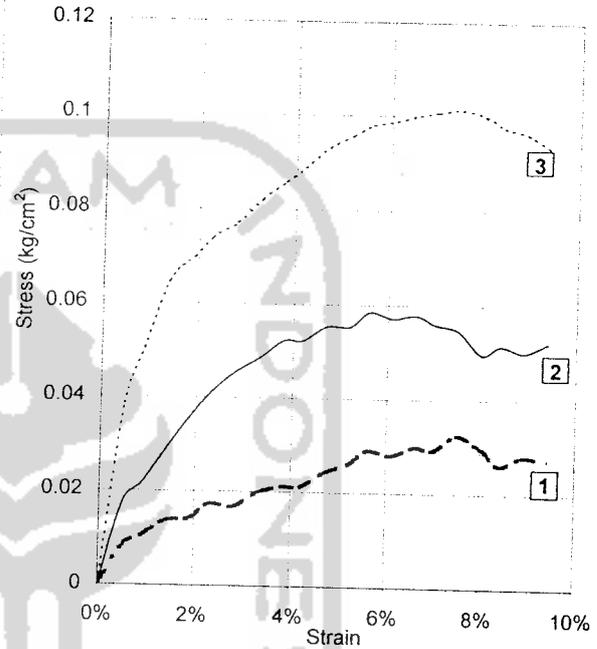
Date : January 2007
 Tested by : Lapindo 99
 Checked by :

Sample data	
diam (cm)	6.40
Area (cm ²)	32.17
Ht,Lo (cm)	2.30
Vol (cm ³)	73.99
Wt ring (gr)	67.59

LRC = 0.3 kg/div

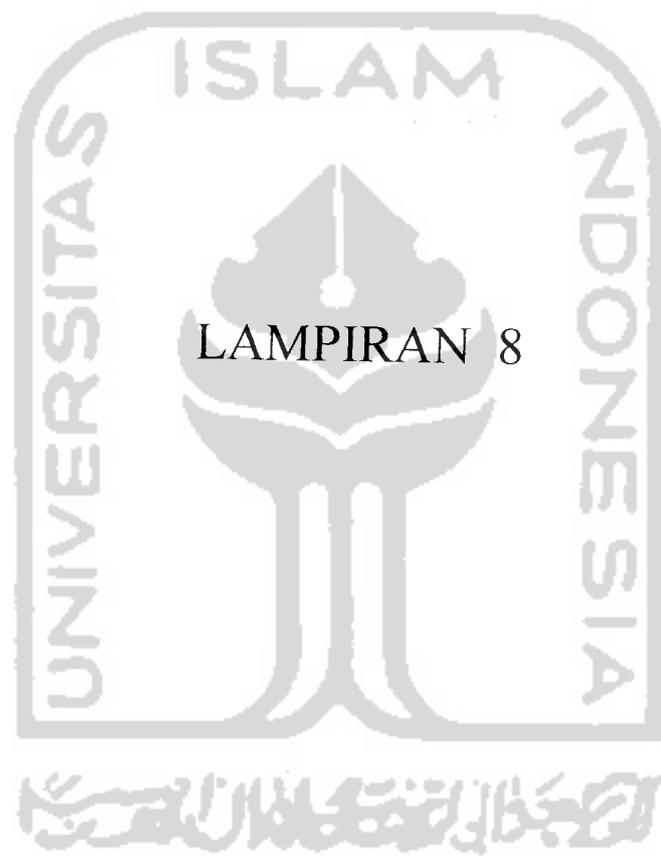
Water Content			
Wt Container (cup), gr	21.88	21.52	21.80
Wt of Cup + Wet soil, gr	42.10	44.09	43.94
Wt of Cup + Dry soil, gr	34.23	35.37	35.77
Water Content %	63.72	62.96	63.34
Average water content %	63.34		
Wt Soil + ring (gr)	188.14	214.38	190.21
Wet Unit wt (gr/cm ³)	1.629	1.984	1.657
Dry Unit wt (gr/cm ³)	0.997	1.215	1.014
Normal Stress σ_n (kg/cm ²)	0.124	0.249	0.497
Shear stress at failur τ (kg/cm ²)	0.032	0.058	0.101

Angle Of Internal friction, ϕ =	10.2 °
Cohesion =	0.01 kg/cm ²



Kepala laboratorium,

[Signature]
 Dr. Ir. Edy Purwanto, CES, DEA.





PEMADATAN TANAH
 Proctor test

PROYEK : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Lapindo, porong, Sidoarjo, Jawa Timur
 NO Sampel : f
 DIKERJAKAN : Lapindo 99
 TANGGAL : 17/01/2007

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 Tanah
 Jenis tanah : asli 3
 Berat Jenis : 2.63

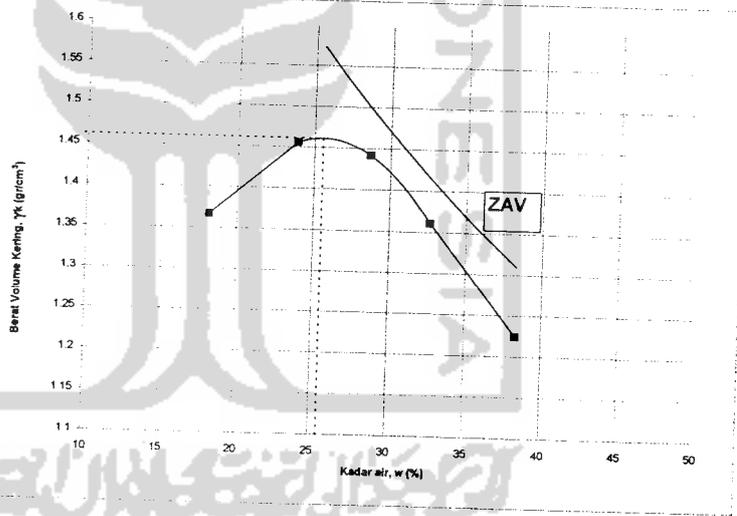
DATA PENUMBUK		
1	Berat (kg)	2.505
2	Jumlah lapis	3
3	Jumlah tumbukan /lapis	25
4	Tinggi jatuh (cm)	30.48

PENAMBAHAN AIR						
1	Berat tanah absah	gram	2000	2000	2000	2000
2	Kadar air mula-mula	%	13.46	13.46	13.46	13.46
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	3397	3481	3530	3482
3	Berat tanah padat	gram	1637	1721	1770	1722
4	Berat volume tanah	gr/cm ³	1.716	1.804	1.855	1.805

PENGUJIAN KADAR AIR, w										
1	NOMOR PERCOBAAN		1		2		3		5	
2	Nomor cawan		a	b	a	b	a	b	a	b
3	Berat cawan kosong	gram	22.00	21.92	22.25	22.12	19.91	19.75	21.60	21.73
4	Berat cawan + tanah basah	gram	48.14	62.51	37.21	37.83	32.56	33.30	35.51	31.24
5	Berat cawan + tanah kering	gram	44.15	56.22	34.13	35.01	29.50	30.55	31.94	29.00
6	Kadar air = w	%	18.01	18.34	25.93	21.88	31.91	25.46	34.53	30.81
9	Kadar air rata-rata		18.18		23.90		28.69		32.67	
10	Berat volume tanah kering	gr/cm ³	1.452		1.456		1.442		1.360	

BERAT VOLUME KERING
MAKSIMUM (gr/cm³)
 1.461
KADAR AIR
OPTIMUM (%)
 25.55



Mengetahui,
 Kepala Laboratorium
 Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



PEMADATAN TANAH

Proctor test

PROYEK : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Lapindo, porong, Sidoarjo, Jawa Timur
 NO Sampel : 1
 DIKERJAKAN : Lapindo 99
 TANGGAL : 17/01/2007

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 Tanah
 Jenis tanah : asli 2
 Berat Jenis : 2.63

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	%	13.46	13.46	13.46	13.46	13.46
3	Penambahan air	%	5	10	15	20	25
4	Penambahan air	ml	100	200	300	400	500

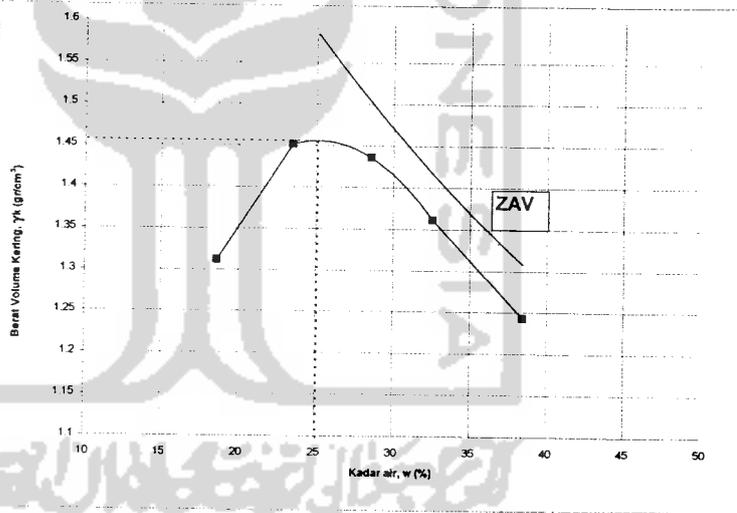
PENGUJIAN PEMADATAN SILINDER (BERAT VOLUME TANAH, γ)

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	21.60	21.75	21.98	21.95	21.48	22.10	21.60	21.73	21.94	21.88
4	Berat cawan + tanah basah	gram	48.75	62.63	37.10	37.48	31.80	32.95	35.21	31.85	38.72	44.06
5	Berat cawan + tanah kering	gram	44.61	56.02	34.27	34.48	29.50	30.55	32.20	29.13	34.09	37.87
8	Kadar air = w	%	17.99	19.29	23.03	23.94	28.68	28.40	28.40	36.76	38.11	38.71
9	Kadar air rata-rata		18.64		23.48		28.54		32.58		38.41	
10	Berat volume tanah kering	gr/cm ³	1.431		1.451		1.436		1.361		1.282	

BERAT VOLUME KERING
MAKSIMUM (gr/cm³)
1.456
KADAR AIR OPTIMUM (%)
25.11



Mengeahui
 Kepala Laboratorium

Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



PEMADATAN TANAH
 Proctor test

PROYEK : Tugas Akhir
 Asal Sampel : Lapindo, porong, Sidoarjo, Jawa Timur
 NO Sampel : 1
 DIKERJAKAN : lapindo 99
 TANGGAL : 17/01/2007

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 Tanah	
Jenis tanah	: Asli
Berat Jenis	: 2.63

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	%	13.46	13.46	13.46	13.46	13.46
3	Penambahan air	%	5	10	15	20	25
4	Penambahan air	ml	100	200	300	400	500

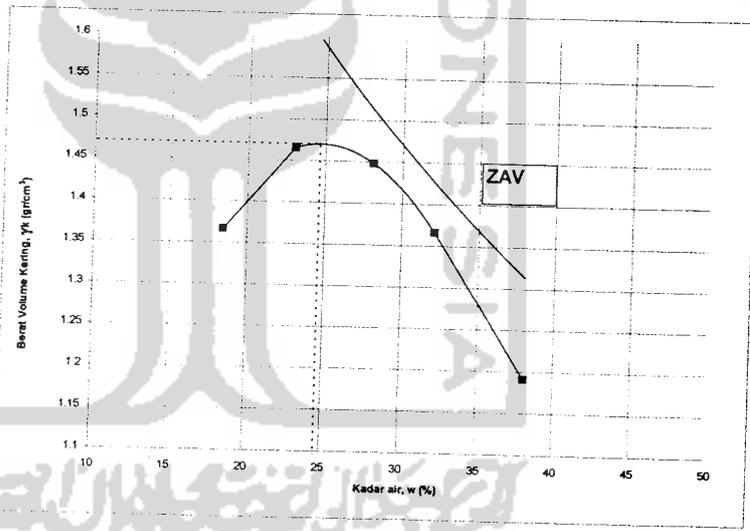
PENGUJIAN PEMADATAN SILINDER (BERAT VOLUME TANAH, γ)

1	Nomor pengujian		1	2	3	4	5
2	Berat silinder + tanah padat	gram	3380	3481	3530	3482	3464
3	Berat tanah padat	gram	1620	1721	1770	1722	1704
4	Berat volume tanah	gr/cm ³	1.698	1.804	1.855	1.805	1.786

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	21.90	21.92	21.61	21.93	21.90	21.90	21.80	21.84	21.94	21.88
4	Berat cawan + tanah basah	gram	46.23	61.39	37.56	40.72	38.71	44.30	37.12	30.01	38.89	44.14
5	Berat cawan + tanah kering	gram	42.62	54.95	34.52	37.26	35.04	39.36	33.38	28.03	34.19	38.03
8	Kadar air = w	%	17.42	19.50	23.55	22.57	27.93	28.29	32.30	31.99	38.37	37.83
9	Kadar air rata-rata		18.46		23.06		28.11		32.14		38.10	
10	Berat volume tanah kering	gr/cm ³	1.433		1.466		1.448		1.366		1.293	

BERAT VOLUME KERING
MAKSIMUM (gr/cm³)
1.470
KADAR AIR OPTIMUM (%)
24.64



Mengetahui,
 Kepala Laboratorium

 Dr. Ir. Edy Purwanto, DEA



LAMPIRAN 9