



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH KEGEMPAAN TERHADAP
STABILITAS LERENG
STUDI KASUS GEMPA PADANG SEPTEMBER 2009**

SKRIPSI

**FILYCIA RENATHA WANGKE
0606072231**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH KEGEMPAAN TERHADAP
STABILITAS LERENG
STUDI KASUS GEMPA PADANG SEPTEMBER 2009**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**FILYCIA RENATHA WANGKE
0606072231**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITY OF INDONESIA

**ANALYSES OF EARTHQUAKE EFFECTS TO
SLOPE STABILITY
CASE STUDY PADANG EARTHQUAKE 2009**

FINAL REPORT

**Submitted as one of the requirements to obtain Bachelor of Engineering
Degree**

**FILYCIA RENATHA WANGKE
0606072231**

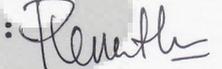
**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JULY 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Filycia Renatha Wangke

NPM : 0606072231

Tanda Tangan : 

Tanggal : 05 Juli 2010

PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT

**I declare that this final report is the result of my own research,
and all of the references either quoted or cited here
have been stated correctly.**

Name : Filycia Renatha Wangke

NPM : 0606072231

Signature : *Renatha*

Date : 5 July 2010

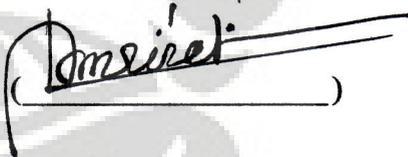
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Filycia Renatha Wangke
NPM : 0606072231
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Kegempaan Terhadap Stabilitas Lereng
(Studi Kasus Gempa Padang September 2009)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng ()
Penguji : Ir. Widjojo A Prakoso, M.Sc, Ph.D ()
Penguji : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 5 Juli 2010

STATEMENT OF LEGITIMATION

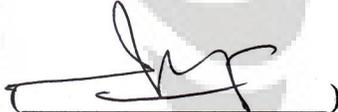
This final report is submitted by :

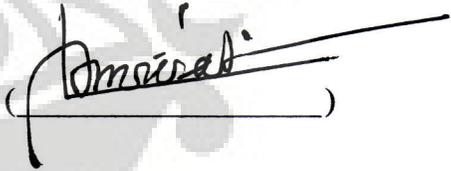
Name : Filycia Renatha Wangke
NPM : 0606072231
Study Program : Teknik Sipil
Title of Final Report : Analyses of Earthquake Effects to Slope Stability
(Case Study of Padang Earthquake 2009)

Has been successfully defended in front of the Examiners and accepted as part of the necessary requirements to obtain Engineer Bachelor Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

BOARD OF EXAMINERS

Councilor : Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng ()

Examiner : Ir. Widjojo A Prakoso, M.Sc, Ph.D ()

Examiner : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc ()

Approved at : Depok
Date : July 5th 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan hikmat yang diberikan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga untuk membimbing penulisan skripsi ini serta mengajarkan cara menyusun pemikiran yang sistematis hingga skripsi ini selesai.
2. Bapak Erwin dan Lia Octarina dari Universitas Andalas, Padang, yang telah membantu dalam pengambilan sample selama di Padang.
3. Ayah, Ibu, Adik, dan sahabat-sahabatku yang telah memberikan motivasi serta doa.
4. Para laboran yang telah membantu dalam pengujian material tanah di laboratorium Mekanika Tanah Universitas Indonesia
5. Angkatan Teknik Sipil 2006 Universitas Indonesia, terutama para mahasiswa di peminatan Geoteknik yang selama ini saling memberikan dukungan satu sama lain sehingga kita tetap solid.

Akhirnya, dengan selesainya penulisan skripsi ini, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Tuhan senantiasa mencurahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Amin.

Depok, 07 Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Filycia Renatha Wangke
NPM : 0606072231
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISA PENGARUH KEGEMPAAN TERHADAP
STABILITAS LERENG
STUDI KASUS GEMPA PADANG SEPTEMBER 2009**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 05 Juli 2010

Yang menyatakan



(Filycia Renatha Wangke)

ABSTRAK

Nama : Filycia Renatha Wangke
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisa Pengaruh Kegempaan Terhadap Stabilitas Lereng
(Studi Kasus Gempa Padang 2009)

Stabilitas tanah merupakan parameter penting dalam menentukan keamanan suatu lereng. Runtuhnya lereng akibat tanah kehilangan stabilitasnya seringkali terjadi. Stabilitas lereng, dapat berubah akibat adanya pembebanan misalnya pembebanan gempa. Gempa dapat memicu suatu peristiwa yang berpengaruh sangat besar terhadap kegagalan struktur di atasnya, yaitu peristiwa likuifaksi dimana tanah kehilangan daya dukungnya. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis akan menganalisis mengenai pengaruh kegempaan terhadap stabilitas lereng. Dengan mengetahui bagaimana pengaruh kegempaan terhadap stabilitas tanah pada lereng serta kerentanan lereng terhadap likuifaksi, maka kedepannya dapat dijadikan acuan untuk mengantisipasi kelongosoran dan meminimalisasi kegagalan dalam mendesain. Adapun analisis dalam skripsi ini dilakukan berdasarkan studi parameter dan pemodelan dengan bantuan *software*. Studi parameter dilakukan berdasarkan kasus gempa yang terjadi di Padang pada September 2009.

Kata kunci : Stabilitas Lereng, Gempa, Likuifaksi, Padang.

ABSTRACT

Name : Filycia Renatha Wangke
Study Program : Civil Engineering
Title : Analyses of Earthquake Effects to Slope Stability
(Case Study of Padang Earthquake 2009)

Soil stability is one of the most important parameter in determining the safety of a slope. Slope failure as a result from soil instability often occurs. Forces acting on slope can change the soil stability which results in failure of the slope itself. Earthquake force is one of the trigger of the slope failure which lead to liquefaction in a susceptible slope. Liquefaction is a state when the soil lost its strength due to changes on its stresses. By knowing the effects of earthquake to slope stability and the susceptibility of liquefaction, hopefully it can be a reference to anticipate slope failure. The analyses in this thesis is based on the parameters and modeling studies with the help of geotechnical engineering software. Parameters are obtained from the case of Padang Earthquake in September 2009.

Keywords : Slope Stability, Earthquake, Liquefaction, Padang.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
STATEMENT OF LEGITIMATION	v
KATA PENGANTAR	vi
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK (bahasa Indonesia).....	viii
ABSTRACT (bahasa Inggris).....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Ruang Lingkup Pembahasan	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Karakteristik Dasar Tanah.....	5
2.1.1. Sifat – sifat Tanah Berbutir Kasar	6
2.2. Tegangan Dalam Tanah.....	7
2.2.1. Tegangan Efektif	8
2.2.2. Tegangan Horizontal	9
2.3. Kekuatan Geser Tanah.....	10
2.3.1. Kekuatan Geser Tanah Non-Kohesif	11
2.4. Prinsip Stabilitas Lereng.....	12
2.5. Teori Analisa Kestabilan Lereng.....	14
2.5.1. Analisis Untuk Kasus $\phi=0$	14
2.5.2. Analisis Pseudostatik.....	16

2.6.	Pengaruh Kegempaan	18
2.6.1.	Pengertian Likuifaksi	18
2.6.2.	Penyebab Likuifaksi	20
2.6.3.	Bahaya yang Disebabkan Likuifaksi	21
2.7.	Kasus Gempa Padang	22
2.8.	Teori Penggunaan Software Geoslope	26
2.8.1.	Dasar Analisis Software Slope/W	26
2.8.2.	Perhitungan Safety Factor (FS) Kelongsoran Lereng Menggunakan GeoSlope	27
2.8.3.	Dasar Analisis Software Plaxis	31
2.8.4.	Pemodelan Pada Plaxis	33
3.	METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1.	Pemilihan Kasus	37
3.2.	Data Teknis	40
3.2.1.	Pengambilan Sample	40
3.2.2.	Hasil Pengujian Laboratorium	41
3.3.	Pengecekan stabilitas lereng dengan menggunakan software Geoslope	47
3.3.1.	Program input	48
3.3.2.	Verifying dan Solving Problem	50
4.	ANALISA	53
4.1.	Analisa Parameter Tanah	54
4.2.	Analisa Kekuatan Lereng	57
5.	PENUTUP	76
5.1.	Kesimpulan	76
5.2.	Saran	78
	DAFTAR REFERENSI	79
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rentang Ukuran Partikel	5
Gambar 2.2 Interpretasi Tegangan Efektif	8
Gambar 2.3 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb	11
Gambar 2.4 Bidang Gelincir Keruntuhan Lereng	15
Gambar 2.5 Infinite Slope Dengan Beban Seismik kW	16
Gambar 2.6 Pemetaan Lempeng Tektonik di Indonesia	22
Gambar 2.7 Gerakan Lempeng Tektonik	23
Gambar 2.8 Subduksi Pada Lempeng Hindia–Australia	23
Gambar 2.9 Intensitas Gempa Padang	24
Gambar 2.10 Area Kelongsoran di Gunung Tiga, Padang	25
Gambar 2.11 Pengaturan Awal Pada Slope/W	27
Gambar 2.12 Penentuan Properti Tanah Pada Slope/W	27
Gambar 2.13 Penentuan Titik – titik Acuan pada Slope/W	28
Gambar 2.14 Menggambarkan Geometri Lereng	28
Gambar 2.15 Menggambar Garis Pada Slope/W	29
Gambar 2.16 Grid dan Radius Keruntuhan	29
Gambar 2.17 Input Koefisien Seismik	30
Gambar 2.18 Faktor Keamanan sebagai Output Slope/W	30
Gambar 2.19 Contoh Model Plane Strain dan Axisymmetric	31
Gambar 2.20 Posisi Nodal dan Stress Point Pada Elemen Tanah	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Skripsi	39
Gambar 3.2 Sebaran Butiran Tanah untuk Sample 1	42
Gambar 3.3 Sebaran Butiran Tanah untuk Sample 2	42
Gambar 3.4 Sebaran Butiran Tanah untuk Sample 3	43
Gambar 3.5 Metode Perhitungan Safety Factro Pada Slope/W	48
Gambar 3.6 Menarik Garis	49
Gambar 3.7 Pengecekan Error pada Slope/W	50

Gambar 3.8 Nilai Safety Faktor Dari Berbagai Metode	51
Gambar 4.1 Pemodelan Pertama Dengan Tiga Lapisan Tanah.....	59
Gambar 4.2 Grafik PGA Gempa Padang	60
Gambar 4.3 Bentuk Kelongsoran dan FS untuk MAT -7 m	61
Gambar 4.4 Bentuk Kelongsoran dan FS untuk MAT -2 m	62
Gambar 4.5 Bentuk Kelongsoran untuk MAT -2m, beban gempa 0.395g	63
Gambar 4.6 Bentuk Kelongsoran dan FS MAT -7m beban gempa 0.395g	65
Gambar 4.7 Bentuk Kelongsoran dan FS MAT -4m beban gempa 0.395g	65
Gambar 4.8 Bentuk Kelongsoran dan FS MAT -5m tanpa beban gempa	67
Gambar 4.9 Bentuk Kelongsoran dan FS MAT -2m tanpa beban gempa	68
Gambar 4.10 Pemodelan Kedua Dengan Dua Lapisan Tanah.....	64
Gambar 4.11 Bentuk Kelongsoran dan FS untuk MAT -7 m	65
Gambar 4.12 Bentuk Kelongsoran dan FS untuk MAT -2 m	65
Gambar 4.13 Bentuk Kelongsoran untuk MAT -2m, beban gempa 0.395g	66
Gambar 4.14 Pemodelan Awal Pada Plaxis.....	67
Gambar 4.15 Running Dengan Plaxis, Percepatan Gempa 0.2g.....	68
Gambar 4.16 Running Dengan Plaxis, Percepatan Gempa 0.395g.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai Specific Gravity	43
Tabel 3.2 Nilai Berat Jenis Untuk Berbagai Sample Tanah.....	44
Tabel 3.3 Nilai Unit Weight Pada Kondisi Optimum.....	45
Tabel 3.4 Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah.....	46
Table 4.1 Komposisi Partikel Tanah Untuk Masing – masing Sample	55
Table 4.2 Nilai Berat Jenis Tanah.....	56
Table 4.3 Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah.....	56
Table 4.4 Perubahan Nilai FS, Pemodelan dengan 3 Lapisan Tanah	64
Table 4.5 Perubahan Nilai FS dengan Variasi MAT dan Gempa.....	66
Table 4.6 Perubahan Nilai FS, Pemodelan dengan Parameter Test I.....	69
Table 4.7 Perubahan Nilai FS Variasi MAT dengan Parameter Test I.....	70
Table 4.8 Perubahan Nilai FS, Pemodelan dengan 2 Lapisan Tanah	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Longsoran merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia dan telah menyebabkan kerugian besar, baik materi maupun non-materi. Tanah longsor sering terjadi pada lereng – lereng gunung, bukit, maupun lereng sungai, yang telah termasuk dalam kategori bahaya atau kondisi kritis, yang seharusnya tidak boleh menjadi kawasan pemukiman. Longsoran terjadi akibat berkurangnya kekuatan tanah pada lereng dan hal ini dapat disebabkan karena berbagai macam faktor diantaranya adalah gempa bumi.

Gempa bumi di seluruh dunia sejak 4.000 tahun yang lalu hingga kini, telah memakan korban lebih dari 13 juta jiwa. Pusat-pusat kepadatan penduduk berada di daerah subur, kemudahan mendapatkan air, pemandangan yang indah, kawasan tambang, perkotaan besar serta di daerah industri. Kebanyakan dari wilayah tersebut berada atau berdekatan dengan wilayah seismik.

Bagi sejarah kegempaan di Nusantara, periode tahun 2004 – 2009 penting dicatat karena banyak sekali gempa besar yang memakan korban ribuan jiwa. Dimulai dari gempa di Banda Aceh, Nias, Pangandaran, Cilacap, Jogjakarta, Tasikmalaya, serta Padang. Perlu dicatat pula, kerugian material yang sangat besar nilainya. Fenomena tersebut hanyalah beberapa peristiwa, diantara sejumlah gempa lain yang bermunculan di Indonesia. Perlu diketahui bahwa Indonesia berada di lingkaran “cincin api” (*ring of fire*) dan hanya Kalimantan yang relatif aman dari bahaya laten gempa.

Salah satu bahaya gempa yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah peristiwa likuifaksi yang terjadi pada tanah berjenis pasir atau banyak mengandung pasir. Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya

kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Lapisan pasir berubah menjadi seperti cairan sehingga tak mampu menopang beban di atasnya.

Fenomena likuifaksi setelah gempa sudah sering terjadi di berbagai daerah di seluruh dunia maupun di Indonesia. Gempa berkekuatan 7,6 SR yang mengguncang kota Padang dan Pariaman pada 30 September 2009 lalu diduga diiringi dengan terjadinya likuifaksi pada daerah tersebut, terutama di daerah Gunung Tiga yang berbukit. Hal tersebut mengakibatkan kelongsoran ruang yang sangat besar dan memakan banyak korban jiwa serta kerugian materi.

1.2. Ruang Lingkup Pembahasan

Dalam penulisan skripsi ini, penulis ingin menekankan permasalahan yaitu analisis terhadap longsor yang terjadi sebagai akibat gempa di daerah Gunung Tiga, Padang. Penulis membatasi masalah yang akan dibahas meliputi bentuk kelongsoran yang terjadi dan melihat kaitannya dengan fenomena likuifaksi. Dengan melakukan studi terhadap material tanah setempat, maka diharapkan dapat diketahui apakah kelongsoran yang terjadi merupakan akibat dari gempa dan apakah termasuk fenomena likuifaksi. Material tanah pada area yang ditinjau akan dimasukkan kedalam studi parameter tanah dimana nilai parameter tanah ditentukan berdasarkan hasil uji – uji yang dilakukan di laboratorium dan juga korelasi nilai – nilai tersebut dengan literatur yang ada.

Daerah Gunung Tiga memiliki kontur yang berbukit – bukit dengan komposisi material yang seragam, sehingga dalam studi ini diambil salah satu lereng yang dianggap dapat mewakili kondisi keseluruhan area tersebut. Analisis yang dilakukan adalah analisis terhadap material tanah yang telah diuji serta analisis kekuatan lereng dengan bantuan program GeoSlope. Dengan menganalisis kondisi material dan kekuatan lereng maka diharapkan akan dicapai suatu hasil yang dapat memperlihatkan bagaimana pengaruh kegempaan terhadap daerah setempat dan apakah kasus ini termasuk fenomena likuifaksi atau bukan. Sebagai output konkrit dari program

geoslope yaitu bentuk deformasi yang terjadi pada lereng yang ditinjau serta perubahan angka factor keamanan lereng akibat terjadinya gempa.

1.3. Tujuan Penelitian

Skripsi ini bertujuan untuk dapat memberi pendalaman pemahaman, baik untuk penulis sendiri maupun mahasiswa yang lain dalam bidang geoteknik khususnya untuk masalah analisa kestabilan lereng yang terkait dengan peristiwa likuifaksi, mengenai :

1. Perilaku tanah akibat gempa
2. Perilaku tanah pasir selama dan setelah terjadinya likuifaksi
3. Pengaruh kenaikan tekanan air pori terhadap stabilitas tanah
4. Deformasi yang terjadi akibat gempa
5. Faktor keamanan pada lereng berpasir akibat peristiwa likuifaksi

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh gempa dan peristiwa likuifaksi terhadap tanah
2. Mengetahui pengaruh kenaikan tekanan air pori dan adanya beban siklis terhadap tanah yang ditinjau
3. Mengetahui deformasi yang terjadi pada area yang ditinjau
4. Mengetahui potensi likuifaksi kembali dan bahaya yang dapat terjadi pada area yang ditinjau.
5. Memberikan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

1.5. Sistematika Penulisan

Metode penulisan dalam seminar ini dibagi dalam beberapa bab yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi pendahuluan yang memuat latar belakang permasalahan, ruang lingkup penulisan, tujuan penulisan, dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan landasan teori tentang tanah, hal – hal yang berhubungan dengan stabilitas lereng, peristiwa likuifaksi, dan tentang program yang digunakan yaitu Geoslope, serta gambaran umum mengenai kasus Gempa Padang.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan mengenai metodologi tahapan pengerjaan skripsi termasuk pengujian terhadap material tanah.

BAB IV ANALISA

Berisi proses dan hasil analisis yang telah didapatkan dari analisis perilaku lereng dengan menggunakan Program Geoslope

BAB V PENUTUP

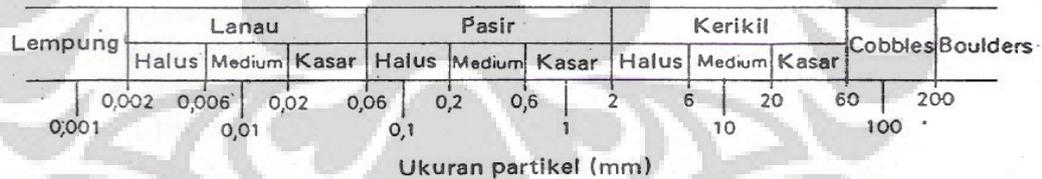
Berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah diperoleh.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Dasar Tanah

Ukuran partikel tanah sangat beragam, yaitu antara lebih besar dari 100 mm sampai kurang dari 0.001 mm. Dari ukuran yang sangat beragam tersebut, maka setiap jenis tanah memiliki sebutan yang berbeda, dimulai dari yang paling halus partikelnya yaitu lempung, lanau, pasir, kerikil, cobbles, dan boulders untuk bebatuan yang paling keras dan partikelnya paling besar. Pada umumnya, jenis tanah terdiri dari campuran berbagai rentang ukuran dan biasanya lebih dari dua rentang ukuran. Namun partikel yang berukuran lempung tidak selalu merupakan mineral lempung, bubuk batu yang paling halus mungkin berukuran partikel lempung. Jika mineral lempung terdapat pada suatu tanah, biasanya akan dapat mempengaruhi sifat tanah tersebut, meskipun persentasenya tidak terlalu besar.



Gambar 2.1 Rentang Ukuran Partikel (R.F.Craig, 1991)

Secara umum, tanah disebut kohesif bila partikel – partikelnya yang saling melekat setelah dibasahi, kemudian dikeringkan maka diperlukan gaya yang cukup besar untuk meremas tanah tersebut, ini tidak termasuk tanah yang partikel – partikelnya saling melekat ketika dibasahi akibat tegangan permukaan.

Tanah yang partikelnya terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir disebut tanah berbutir kasar (coarse grained). Sebaliknya, bila partikelnya

kebanyakan berukuran partikel lempung dan lanau, disebut tanah berbutir halus (fine grained).

2.1.1. Sifat – sifat fraksi tanah berbutir kasar

Ukuran butiran tanah tergantung pada diameter partikel tanah yang membentuk masa tanah itu. Karena pemeriksaan makroskopis massa tanah menunjukkan bahwa hanya sedikit yang menyerupai bentuk bole dengan ukuran diameternya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa deskripsi mengenai tanah termasuk relative. Secara visual, fraksi tanah berbutir kasar dapat dikenali secara langsung mengingat ukurannya yang besar.

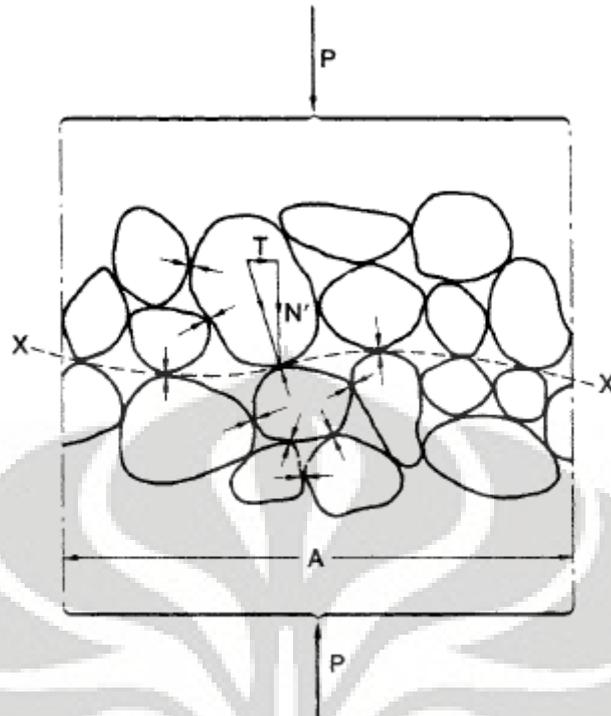
Material tanah berbutir kasar paling banyak digunakan dalam konstruksi karena sifat – sifatnya yang menguntungkan. Berikut ini adalah beberapa sifat – sifat fraksi tanah berbutir kasar, yaitu :

- Tidak mempunyai sifat kohesi
- Tingkat kompressibilitas yang tinggi dan nilai elastisitas yang besar, sehingga baik untuk material urugan. Material ini banyak dipakai untuk mengganti lapisan tanah yang buruk pada konstruksi jalan raya.
- Porositas tinggi karena banyak mempunyai celah atau void dalam susunan strukturnya
- Mempunyai kuat geser yang besar
- Dapat terkonsolidasi dalam waktu yang relative cepat
- Partikel berukuran > 0.075 mm.

2.2. Tegangan Dalam Tanah

Besarnya pengaruh gaya – gaya yang menjalar dari partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui sejak tahun 1923, ketika Terzaghi mengemukakan prinsip tegangan efektif yang didasarkan pada data hasil percobaan. Untuk rentang tegangan yang biasa dijumpai dalam praktek, masing – masing partikel padat dan air dapat dianggap tidak kompresibel; di lain pihak, udara bersifat sangat kompresibel. Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu kerangka partikel padat tanah (solid skeleton) yang membatasi pori – pori yang mana pori – pori tersebut mengandung air dan/atau udara. Volume kerangka tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat penyusunan kembali partikel – partikel padat pada posisinya yang baru, terutama dengan cara menggelincir yang menyebabkan terjadinya perubahan gaya – gaya yang bekerja diantara partikel – partikel tanah. Kompresibilitas kerangka tanah yang sesungguhnya tergantung pada susunan structural partikel tanah tersebut.

Prinsip tersebut dapat diwakili oleh model fisis sebagai berikut. Tinjaulah sebuah ‘bidang’ x-x pada suatu tanah jenuh sempurna yang melewati titik – titik singgung antar partikel, seperti terlihat pada gambar berikut. Bidang x-x yang bergelombang tersebut, dalam skala besar, sama dengan bentuk bidang yang sebenarnya karena ukuran partikel tanah relative kecil. Sebuah gaya normal P yang bekerja pada bidang A sebagian ditahan oleh gaya – gaya antar partikel dan sebagian oleh tekanan pada air pori. Gaya – gaya antar partikel pada seluruh tanah, baik besar maupun arahnya, sangat tidak beraturan (acak), tetapi pada tiap titik singgung dengan bidang yang bergelombang dapat diuraikan menjadi komponen – komponen gaya yang arahnya normal dan tangensial terhadap bidang x-x yang sebenarnya. Komponen normal dinamakan dengan N' dan komponen tangensial dengan T.



Gambar 2.2 Interpretasi Tegangan Efektif (R.F.Craig, 1991)

Tegangan geser dapat ditahan oleh kerangka partikel padat tanah dengan memanfaatkan gaya – gaya yang timbul karena persinggungan antar partikel. Tegangan normal ditahan oleh gaya – gaya antar partikel pada kerangka tanah. Jika tanah berada dalam kondisi jenuh sempurna, air pori akan mengalami tekanan karena ikut menahan tegangan normal.

2.2.1. Tegangan Efektif

Tegangan efektif adalah merupakan gaya per satuan luas yang dipikul oleh butir – butir tanah. Perubahan volume dan kekuatan tanah tergantung pada tegangan efektif di dalam massa tanah. Makin tinggi tegangan efektif suatu tanah, makin padat tanah tersebut.

Prinsip tersebut hanya berlaku untuk tanah jenuh sempurna. Tegangan – tegangan yang berhubungan dengan prinsip tersebut adalah :

1. Tegangan normal total (σ); pada bidang di dalam tanah, yaitu gaya per satuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja
2. Tekanan air pori (u); merupakan tekanan air pengisi pori – pori di antara partikel – partikel padat
3. Tegangan normal efektif (σ') pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijalarakan hanya melalui kerangka tanah saja.

Hubungan ketiga tegangan diatas adalah : $\sigma = \sigma' + u$

2.2.2. Tegangan Horizontal (Tegangan Lateral)

Dalam bidang hidrolika, kita mengetahui bahwa tekanan pada benda cair akan memiliki nilai yang sama dalam berbagai arah. Namun, sangat berbeda dengan tanah, sangat jarang terjadi pada lapisan tanah alam yang bagian dasarnya memiliki tegangan horizontal yang sama nilainya dengan tegangan vertikalnya. Adapun persamaan dari perbandingan tegangan horizontal dan vertical adalah :

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v$$

Dimana K merupakan koefisien tekanan tanah. Karena permukaan air tanah dapat berfluktuasi sehingga dapat merubah nilai tegangan total, maka koefisien K tidak konstan nilainya pada lapisan tanah. Untuk menghindari masalah muka air tanah yang fluktuatif, perbandingan tengangan tersebut harus dalam keadaan kondisi efektif.

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 adalah koefisien penting dalam bidang geoteknik. Biasa dinamakan “koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam” (coefficient of earth pressure at rest). Hal tersebut menyatakan

Universitas Indonesia

kondisi tegangan dalam tanah berada dalam keadaan efektif dan tidak tergantung dari level muka air tanah. Bahkan jika kedalaman berubah, K_0 tetap konstan, selama dalam lapisan tanah dan kepadatan yang sama.

2.3. Kekuatan Geser Tanah

Salah satu properties tanah yang terpenting adalah kekuatan geser atau kemampuan tanah untuk menahan gesekan sepanjang bidang geser dengan massanya. Kekuatan geser merupakan karakteristik tanah yang dapat menjaga keseimbangan pada permukaan lereng. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh:

1. Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (c soil).
2. Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (ϕ soil).
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (c dan ϕ soil), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena ϕ).

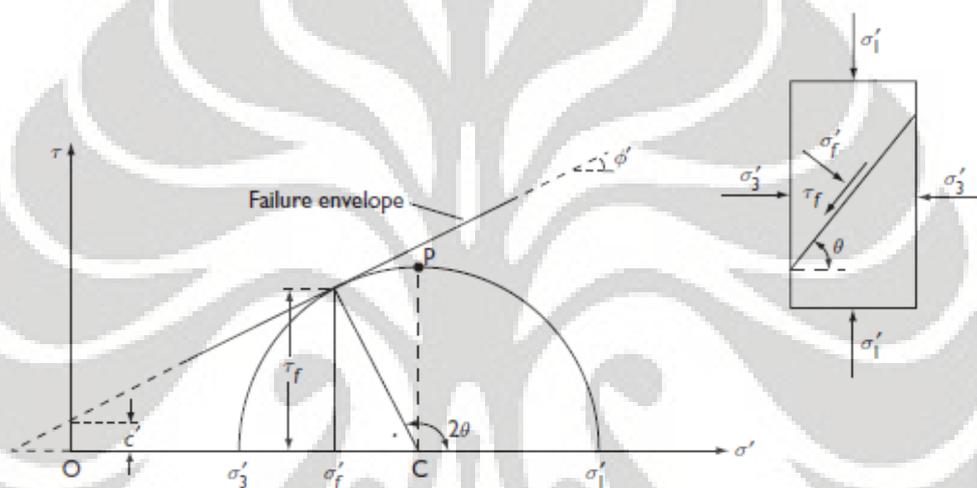
Jika pada suatu titik tertentu pada massa tanah, tegangan geser bernilai sama dengan kuat gesernya, maka saat itulah akan terjadi keruntuhan. Menurut Coulomb, kuat geser tanah pada suatu titik pada bidang tertentu, dapat diekspresikan sebagai suatu fungsi linear dari tegangan normal pada saat keruntuhan pada titik yang sama pada bidang tersebut.

$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi$$

Dimana c (kohesi) dan ϕ (sudut geser) merupakan parameter kuat geser. Berdasarkan prinsip bahwa tegangan geser pada tanah hanya dapat ditahan oleh partikel padatnya, maka kuat geser harus diekspresikan sebagai suatu fungsi dalam kondisi efektifnya, yaitu sebagai berikut :

$$\tau_f = c' + \sigma'_f \tan \phi'$$

Hubungan parameter kuat geser dengan prinsip tegangan efektif pada saat keruntuhan dapat dilihat pada gambar berikut ini, dimana lingkaran Mohr menunjukkan kasus dengan $c' > 0$.



Gambar 2.3 Kriteria keruntuhan Mohr - Coulomb (R.F. Craig, 2004)

2.3.1. Kekuatan Geser Tanah Non-Kohesif

Kekuatan geser pada tanah granuler seperti pada pasir hampir mendekati analogi pada tahanan gesek benda padat pada bidang kontak. Hubungan antara tegangan normal pada bidang tanah dan kekuatannya dapat ditulis dengan persamaan berikut :

$$\tau_f = \sigma \tan \phi$$

Dimana

τ_f = tegangan geser keruntuhan, atau kekuatan geser

σ = tegangan normal pada bidang geser

ϕ = sudut geser

Sudut geser untuk pasir jenuh sedikit lebih kecil dibandingkan dengan pasir yang kering untuk kepadatan yang relative sama. Jika pasir berada dibawah muka air, maka efek dari tegangan normal air pada bidang geser harus dihitung. Tegangan normalnya harus dalam keadaan efektif. Tegangannya sama dengan tegangan total pada sebuah titik dikurangi tegangan air pori. Kekuatan geser material akan bertambah sejalan dengan besarnya nilai sudut geser. Oleh karena itu :

$$\tau_f = (\sigma - u) \tan \phi'$$

dimana

τ_f = tegangan geser keruntuhan, atau kekuatan geser

σ = tegangan normal pada bidang geser

u = tekanan air pori

ϕ = sudut geser

2.4. Prinsip Stabilitas Lereng

Setiap massa tanah dalam suatu lereng akan mempunyai tegangan geser. Karena gaya gravitasi akan menarik massa tanah bagian atas lereng, untuk bergerak kearah bawah lereng. Jika kekuatan geser tanah lebih besar daripada tegangan yang terjadi pada bagian dalam lereng, maka lereng akan stabil. Sebaliknya, jika kekuatan geser nilainya kurang dari tegangan, maka tanah akan meluncur kebawah lereng sampai pada posisi seimbang yaitu tegangan tanah yang terjadi lebih kecil dari kekuatan gesernya. Selain akibat gaya gravitasi pada massa tanah, meningkatnya tegangan pada lereng dapat terjadi akibat beban yang berada pada permukaan lereng, ataupun beban berulang seperti gempa bumi.

Perkembangan metode batas keseimbangan yang didasarkan pada keseimbangan plastis terhadap bidang – bidang runtuh cobaan dimulai di Swedia pada tahun 1916. Disusul dengan runtuhnya sejumlah dinding dermaga pada pelabuhan Gothenburg, Petterson (1955) dan Hultin (1916)

Universitas Indonesia

dalam publikasi terpisah melaporkan bahwa bidang runtuh pada lempung lunak pada pelabuhan Gothenburg sangat menyerupai busur lingkaran. Setelah beberapa tahun kemudian, analisis lingkaran gesekan telah diperkirakan, hasil – hasil dari pengujian geser tanpa drainasi sederhana telah digunakan untuk kesuksesan yang layak dalam memprediksi stabilitas (analisis S_u atau analisis $\phi=0$), dan metode irisan telah diperkenalkan (Fellenius, 1927, 1936)

Kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (factor of safety) F.S sebagai berikut:

$$FS = \frac{\text{gaya penahan}}{\text{gaya penggerak}}$$

Dimana untuk keadaan – keadaan :

FS > 1.0 lereng dianggap stabil

FS = 1.0 lereng dalam keadaan seimbang, dan siap untuk longsor jika ada sedikit gangguan

FS < 1.0 lereng dianggap tidak stabil atau akan longsor

Dalam menganalisis suatu lereng akan selalu berkaitan dengan perhitungan – perhitungan untuk mengetahui faktor keamanan FS dari lereng yang bersangkutan. Umumnya stabil atau tidaknya suatu lereng tergantung dari hubungan antara beberapa faktor seperti:

1. Lokasi, arah, kekuatan dan karakteristik dari bidang lemah yang ada.
2. Bentuk geometri dari lereng.
3. Modulus geser relatif dari material dalam keadaan alamiah (insitu) dengan memperhatikan waktu serta kondisi tegangan
4. Kehadiran tegangan – tegangan non-gravitasi, misalnya: gaya – gaya hidrostatik dan rembesan, gaya – gaya dinamik seperti gempa tektonik, gempa vulkanik, maupun getaran akibat lalu lintas, dan lain – lain.

Dalam melakukan analisis kestabilan lereng ada hal – hal yang perlu diperhatikan secara khusus bila yang dianalisis merupakan massa batuan. Pada beberapa penyelidikan untuk merencanakan lereng yang stabil pada massa batuan biasanya batuan dianggap bersifat material

elastik yang menerus (continuous). Pada kenyataannya anggapan ini hanya dapat dipakai untuk penggalian bawah tanah yang dalam, tetapi untuk daerah terbuka dipermukaan tanah pemakaiannya perlu dibatasi. Anggapan ini hanya berguna untuk tujuan – tujuan riset, tetapi kurang tepat bila dipakai dalam praktek.

Massa batuan bukanlah material yang utuh dan menerus, tetapi merupakan batuan yang sifat – sifatnya sangat dipengaruhi oleh bidang – bidang lemah seperti sesar, kekar, dan bidang perlapisan. Hanya massa batuan yang mempunyai bidang – bidang belah yang sangat rapat (dominant) serta tingkat pelapukannya tinggi akan bersifat seperti tanah atau material elastik yang menerus.

2.5. Teori Analisa Kestabilan Lereng

2.5.1. Analisis untuk kasus dengan $\phi=0$

Analisis ini, yang dinyatakan dalam tegangan total, hanya mencakup kasus lempung jenuh sempurna pada kondisi undrained tepatnya untuk kondisi segera setelah pelaksanaan pembangunan. Dalam analisis ini, yang ditinjau hanya keseimbangan momen maka sering disebut dengan metode equilibrium.

Dengan meninjau suatu permukaan gelincir yang mungkin dapat terjadi. Momen penahan yang mencegah tanah bergerak adalah semua akibat kohesi di sepanjang ac, yang mempunyai suatu lengan momen sekeliling O yang sama dengan jari – jari r.

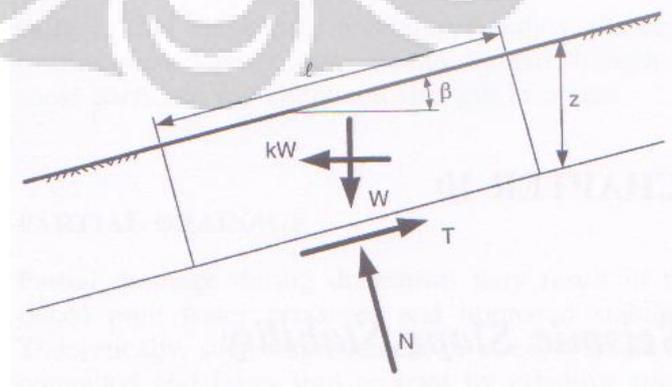
Selain Taylor, Janbu (1968) juga mempublikasikan grafik stabilitas lereng untuk tanah homogen. Untuk lereng dengan ketinggian H , koefisien stabilitas (N_o) untuk permukaan runtuh dimana factor keamanannya adalah :

$$F = N_o \frac{c_u}{\gamma H}$$

Untuk kasus $\phi_u = 0$, nilai N_o dapat ditentukan dari grafik dimana koefisien N_o tergantung pada sudut kemiringan lereng (β) dan factor kedalaman d , dimana $H + dH$ merupakan kedalaman sampai pada lapisan tanah keras (firm stratum)

2.5.2. Analisis Pseudostatik

Salah satu cara yang telah lama digunakan untuk menghitung pengaruh seismik terhadap stabilitas adalah analisis pseudostatik. Dalam analisis ini, beban gempa direpresentasikan sebagai suatu gaya statis yang disamakan dengan berat massa tanah dikalikan dengan suatu koefisien gempa, k . Gaya pseudostatik digunakan pada cara limit equilibrium dan ditinjau sebagai gaya statis yang bekerja hanya ke satu arah. Aplikasi koefisien seismik gempa dan gaya pseudostatik pada metode limit equilibrium diasumsikan sebagai gaya yang sudah diketahui dan termasuk ke dalam berbagai persamaan equilibrium, seperti berikut ini :



Gambar 2.5 Infinite Slope dengan beban seismik kW (J. Duncan & Wright, 2005)

Universitas Indonesia

Gaya – gaya yang tegak lurus terhadap bidang :

$$N = \cos \beta - kW \sin \beta \quad (1)$$

Gaya – gaya yang sejajar bidang :

$$T = W \sin \beta + kW \cos \beta \quad (2)$$

Berat blok tanah :

$$W = \gamma lz \cos \beta \quad (3)$$

Substitusi persamaan (3) ke dalam (1) dan (2) :

$$N = \gamma lz \cos^2 \beta - k\gamma lz \cos \beta \sin \beta$$

$$T = \gamma lz \cos \beta \sin \beta + k\gamma lz \cos^2 \beta$$

Tegangan – tegangan yang bekerja :

$$\sigma = \frac{N}{l} = \gamma z \cos^2 \beta - k\gamma z \cos \beta \sin \beta$$

$$\tau = \gamma z \cos \beta \sin \beta + k\gamma z \cos^2 \beta$$

Faktor keamanan :

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{\tau} = \frac{c + (\gamma z \cos^2 \beta - k\gamma z \cos \beta \sin \beta) \tan \phi}{\gamma z \cos \beta \sin \beta + k\gamma z \cos^2 \beta}$$

Pada gambar dan persamaan diatas terlihat bahwa lereng yang dianalisis berupa infinite slope dan bukan lereng dengan keruntuhan rotasi. Kuat geser direpresentasikan dalam bentuk tegangan total.

Ada berbagai tanggapan mengenai letak dimana gaya pseudostatik bekerja. Terzaghi (1950) mengusulkan bahwa gaya pseudostatik seharusnya bekerja pada titik berat dari setiap irisan atau titik berat dari keseluruhan massa tanah. Hal ini dapat diterima hanya jika percepatannya konstan pada seluruh massa tanah, namun pada kenyataannya tidak seperti itu. Seed (1979) menunjukkan bahwa lokasi yang diasumsikan untuk gaya seismik dapat memiliki efek yang cukup besar dalam perhitungan faktor keamanan. Pada suatu kasus, perubahan letak gaya pseudostatik dari titik berat ke sisi bawah irisan dapat mengurangi faktor keamanan sebesar 0.1.

2.6. Pengaruh Kegempaan

Gempa merupakan suatu bentuk pembebanan dinamis yang terjadi pada tanah dan mempengaruhi stabilitas lereng dengan dua cara yaitu :

1. Percepatan dari gerakan tanah saat gempa terhadap tanah merupakan variasi gaya - gaya siklis.
2. Regangan siklis yang disebabkan dari pembebanan gempa dapat mereduksi kuat geser tanah.

Jika berkurangnya kekuatan tanah tidak lebih dari 15% akibat pembebanan siklis, maka analisa pseudostatik terhadap pembebanan gempa dapat dilakukan. Dalam analisa pseudostatik, efek gempa direpresentasikan secara kasa dengan memberikan suatu beban horizontal yang statis pada permukaan lereng yang potensial terhadap keruntuhan. Analisa semacam ini dapat memberikan estimasi semi-empiris terhadap deformasi yang terjadi akibat gempa, apakah cukup kecil dan bisa diterima atau tidak.

Jika berkurangnya kekuatan tanah lebih dari 15%, maka digunakan analisis dinamis untuk mengestimasi deformasi yang dihasilkan akibat gempa. Analisis pengaruh gempa ini juga harus dilakukan sesudah gempa atau sesudah pembebanan berlangsung untuk melihat kekuatan tanah yang masih tersisa setelah adanya pembebanan dinamis akibat gempa.

2.6.1. Pengertian Likuifaksi

Likuifaksi merupakan kondisi dimana tanah mendapat beban siklik, misalnya beban yang diakibatkan oleh gempa, sehingga mengakibatkan tanah tersebut berdeformasi dari solid menjadi cair (*liquefied*) atau yang sering dikatakan menjadi seperti bubur. Dalam hal ini, tanah yang mengalami likuifaksi adalah tanah berjenis pasir atau mengandung banyak pasir yang berarti tanah tersebut tidak kohesif, dan juga tersaturasi. Pada tanah non-kohesif yang tersaturasi berarti celah – celah antar partikelnya terisi dengan air. Kandungan air tersebut akan memberikan tekanan pada partikel tanah sehingga menyebabkan

Universitas Indonesia

adanya ikatan pada partikel – partikel tanah tersebut. Sebelum terjadinya gempa, tekanan air pori relatif rendah, namun guncangan dari gempa dapat memicu kenaikan tekanan air dalam tanah sampai pada titik dimana partikel – partikel tanah dapat saling bergerak atau kehilangan ikatannya.

Beban yang bekerja merupakan beban siklik (dinamik) yang umumnya diakibatkan oleh gempa. Pada saat beban gempa bekerja dalam kondisi *undrained* sedangkan tanah berjenis pasir berada pada kondisi tersaturasi, maka tegangan air pori akan naik sehingga tanah tersebut akan kehilangan kekuatannya atau kuat gesernya menjadi nol.

Fenomena yang terkait dengan likuifaksi adalah *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*. Keduanya sangat penting untuk diperhatikan dalam mengevaluasi bahaya likuifaksi. *Flow liquefaction* adalah peristiwa dimana terjadi aliran – aliran tanah. Hal ini terjadi apabila tekanan geser statis yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan pada suatu massa tanah jauh lebih besar daripada tegangan geser tanah dalam kondisi cair (*liquefied*). Dengan kata lain, deformasi yang terjadi merupakan akibat dari tekanan geser statik (*static shear stress*). Pada peristiwa *flow liquefaction* ini, terdapat dua karakteristik yang dapat dilihat yaitu kecepatan aliran dan perpindahan material tanah yang sangat besar.

Cyclic mobility merupakan fenomena lainnya yang juga dapat menyebabkan deformasi permanen yang sangat besar akibat adanya guncangan gempa. Berbeda dengan *flow liquefaction*, dalam *static mobility* kondisinya adalah tekanan geser statis lebih kecil dibandingkan dengan tegangan geser tanah cair (*liquefied*). Pada fenomena ini, deformasi yang terjadi diakibatkan oleh pembebanan siklik (*cyclic loading*) dan tekanan geser statis (*static shear stress*). Dalam hal ini,

deformasi yang terjadi adalah deformasi lateral (*lateral spreading*).

Tercatat bahwa likuifaksi sebagai akibat dari gempa telah banyak terjadi di seluruh dunia selama ratusan tahun, beberapa diantaranya adalah gempa di Alaska, AS (1964), Niigata, Jepang (1964), Loma Prieta, AS (1989), dan Kobe, Jepang (1995).

2.6.2. Penyebab Likuifaksi

Untuk dapat memahami likuifaksi, diperlukan pengenalan kondisi yang terdapat pada tanah sebelum terjadinya gempa. Tanah terdiri dari partikel – partikel yang menyusunnya. Jika dilihat lebih dekat maka akan terlihat bahwa setiap partikel berhubungan dengan partikel lainnya. Karena adanya gaya berat dari partikel tanah, maka terdapatlah gaya antar partikel. Gaya inilah yang membuat setiap partikel tanah dapat berada tetap pada posisinya sehingga ada yang dimaksud dengan kekuatan tanah.

Likuifaksi terjadi apabila suatu pasir yang tersaturasi strukturnya terpecah akibat adanya pembebanan yang berlebihan dan terus – menerus. Karena strukturnya hancur, maka partikel – partikel penyusun pasir tersebut akan bergerak dan cenderung membentuk suatu konfigurasi yang lebih keras.

Pada saat terjadinya gempa, air yang berada pada pori – pori tanah berpasir tidak sempat mengalir keluar, malahan terperangkap sehingga partikel – partikel tanah tidak dapat bergerak dan merapat untuk membentuk konfigurasi yang lebih padat. Dengan adanya pembebanan akibat gempa, tekanan air di dalam tanah akan meningkat sehingga memperkecil gaya antar partikel tanah sehingga kekuatan tanahnya menjadi menurun.

Pada kasus – kasus yang ekstrim, tekanan air pori akan menjadi sangat tinggi sehingga partikel – partikel tanah kehilangan kontak satu dengan lainnya. Jika hal tersebut terjadi maka tanah akan kehilangan kekuatannya dan berlaku seperti cairan, maka peristiwa tersebut dinamakan likuifaksi.

2.6.3. Bahaya yang Disebabkan oleh Peristiwa Likuifaksi

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah yang tersaturasi, maka efeknya seringkali hanya diamati pada area yang dekat dengan badan air seperti sungai, danau, dan laut. Efek yang disebabkan oleh likuifaksi dapat berupa longsor besar ataupun terjadinya retakan – retakan pada tanah yang paralel dengan badan air, seperti kasus yang terjadi pada Montagua River, Guatemala (1976).

Saat terjadinya likuifaksi, kekuatan tanah menjadi berkurang dan kemampuan tanah untuk mendukung pondasi dari bangunan di atasnya akan berkurang pula. Likuifaksi juga dapat memberikan tekanan yang besar pada dinding – dinding penahan tanah yang dapat menyebabkan dinding penahan tanah menjadi miring ataupun bergeser. Naiknya tekanan air pori juga dapat memicu terjadinya longsor (landslides) serta rusaknya bendungan.

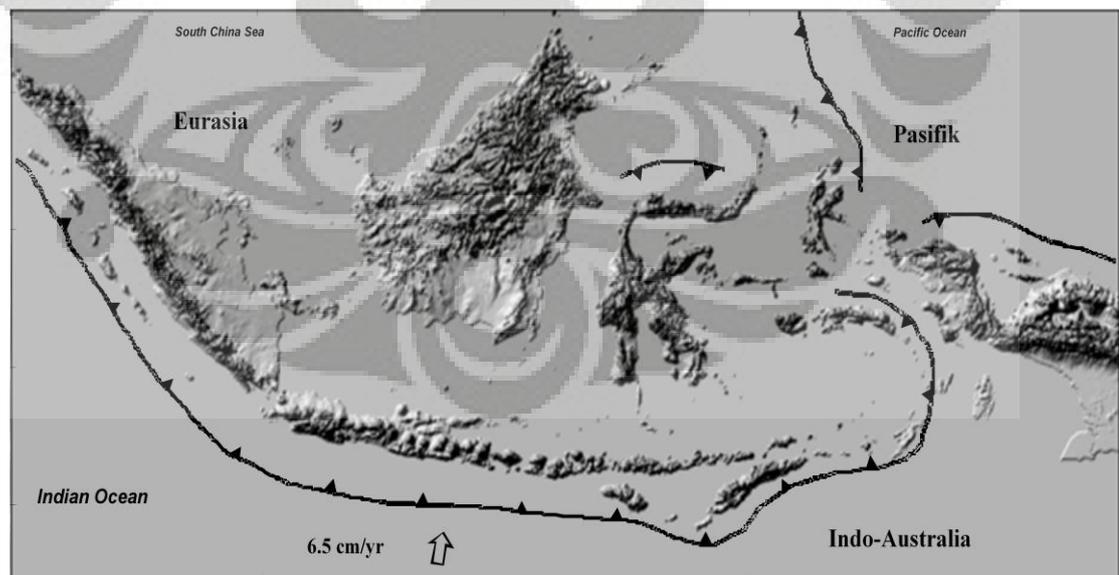
Pelabuhan dan dermaga umumnya berada pada area dekat badan air yang berpotensi terjadi likuifaksi. Pada umumnya, dermaga dan pelabuhan memiliki struktur penahan yang sangat besar. Jika tanah dibelakang dinding penahan tersebut mengalami likuifaksi, maka dapat terjadi kegagalan pada dinding penahan tanah tersebut sehingga dinding itu dapat bergeser, miring, ataupun rubuh.

Selain pada dinding penahan tanah, likuifaksi juga seringkali merusak jembatan yang melewati badan air.

Pergerakan tanah pada peristiwa likuifaksi dapat mendorong pondasi jembatan keluar sehingga jembatan kehilangan supportnya, atau menyebabkan terjadinya buckling pada pondasi jembatan. Kerusakan – kerusakan semacam ini membawa konsekuensi yang besar dalam mendesain bangunan – bangunan pada tanah pasir yang berada dekat badan air. Sebagai akibat jangka panjangnya, tentunya akan terdapat kerugian materi yang sangat besar apabila terjadi kegagalan pada struktur dibawah tanah akibat likuifaksi.

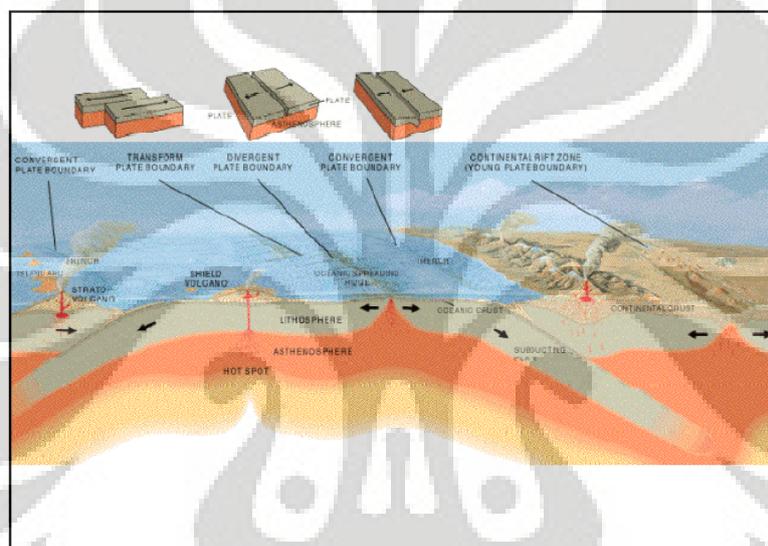
2.7. Kasus Gempa di Padang

Indonesia merupakan tempat bertemunya beberapa lempeng tektonik. Jika dilihat dari posisinya, wilayah Sumatera berada sepanjang pertemuan dua lempeng tektonik yaitu lempeng Asia (Eurasia) dan lempeng Hindia-Australia (Indo-Australia). Hal inilah yang menjadi penyebab utama dari gempa – gempa yang selama ini seringkali terjadi di wilayah Sumatera. Berikut ini merupakan pemetaan susunan lempeng tektonik di seluruh wilayah Indonesia.

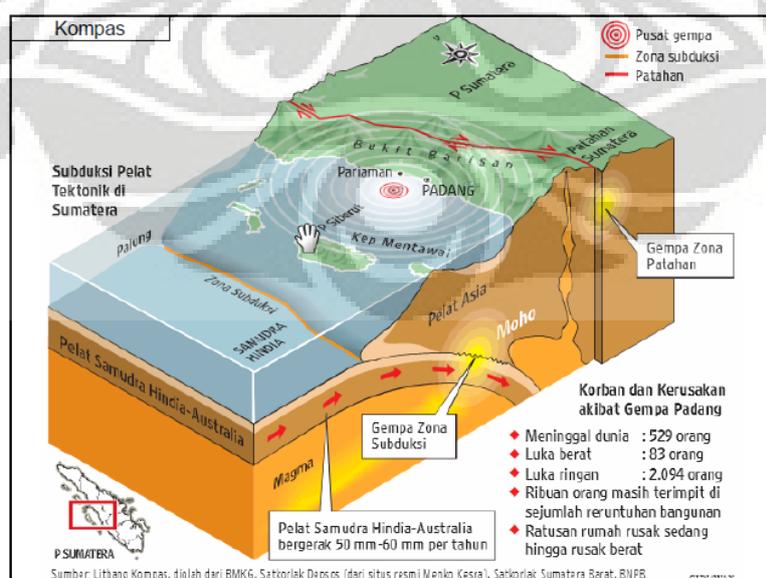


Gambar 2.6 Pemetaan lempeng tektonik di wilayah Indonesia

Melihat kenyataan bahwa wilayah Sumatera termasuk rawan gempa, maka gempa yang mengguncang kota Padang dan Pariaman pada tanggal 30 September 2009 sudah tidak dapat terelakkan lagi. Gempa yang berkekuatan 7,6 SR tersebut bahkan dapat dirasakan sampai ke wilayah Kuala Lumpur dan Singapura. Wilayah Sumatera berada pada area subduksi dari dua lempeng tektonik yang menyebabkan terjadinya gempa di Kota Padang dan memberikan dampak yang cukup besar. Letak zona subduksi dan peristiwa pergerakan lempeng tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



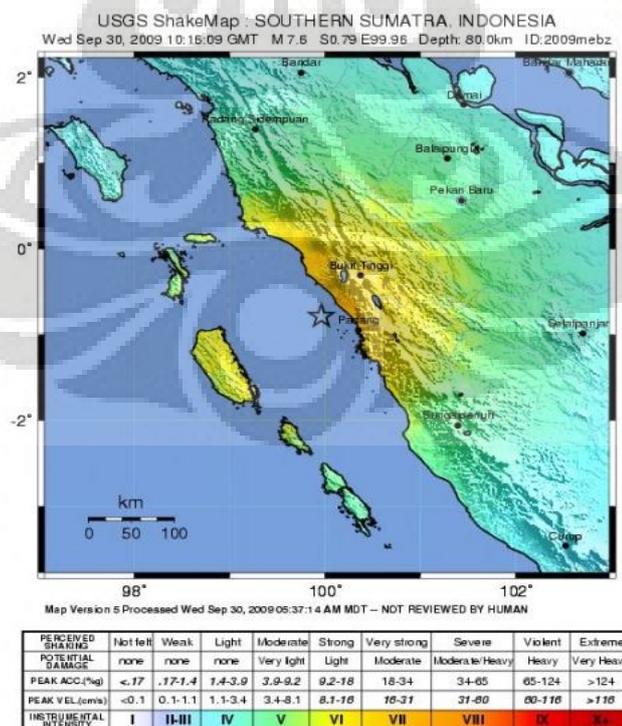
Gambar 2.7 Gerakan Lempeng Tektonik



Gambar 2.8 Subduksi Pada Lempeng Hindia - Australia

Pelat Hindia – Australia mengalami pergerakan setiap tahunnya sekitar 50 mm – 60 mm dan saat terjadinya tabrakan pelat – pelat tektonik berjuta – juta tahun yang lalu, terjadilah zona subduksi dimana pelat Hindia – Australia mendesak pelat Asia atau yang biasa disebut pelat Continental. Karena adanya desakan yang terus – menerus, maka pelat Hindia – Australia seolah – olah terlipat dan masuk ke bawah pelat Asia atau Continental. Zona inilah yang disebut dengan zona subduksi, dimana bagian dari salah satu pelat masuk ke bawah pelat yang lainnya. Zona subduksi ini terletak di sepanjang tepi barat pulau Sumatera.

Akibat pergerakan pelat Hindia – Australia yang terjadi tiap tahun seperti yang telah disebutkan diatas, maka terdapat akumulasi energi pada zona subduksi tersebut. Setelah bertahun – tahun lamanya energi tersebut terakumulasi, maka pada saat tertentu energi tersebut akan dilepaskan ke permukaan, dalam hal ini berupa gelombang gempa. Pusat gempa Padang memiliki kedalaman 80 Km dengan intensitas goyangan di permukaan yang cukup besar yaitu hingga MMI skala VI – VII yang berbahaya bagi bangunan. Berikut ini merupakan intensitas gempa yang terjadi di Padang pada bulan September yang lalu :



Gambar 2.9 Intensitas Gempa Padang

Akibat gempa tersebut, daerah yang paling parah terkena dampak kehancuran yaitu di Kota Padang dan di daerah Gunung Tiga. Dalam penulisan ini akan difokuskan kepada kasus yang terjadi di daerah Gunung Tiga.



Gambar 2.10 Salah Satu Area Kelongsoran di Gunung Tiga, Padang

Seperti yang terlihat pada gambar, di daerah tersebut kondisi tanahnya adalah granuler atau berbutir dengan dugaan banyak mengandung pasir. Satu malam sebelum terjadinya gempa, di tempat tersebut turun hujan, hal ini dapat menyebabkan naiknya permukaan air tanah. Ditambah dengan adanya beban dinamis dari gempa pada tanah yang berpasir tersebut, maka besar kemungkinan terjadi peristiwa likuifaksi pada daerah Gunung Tiga. Untuk itu dalam penulisan ini, akan dibuat suatu analisis dengan menggunakan software Geoslope mengenai peristiwa yang terjadi pada daerah yang ditinjau yaitu Gunung Tiga, Sumatera Barat.

2.8. Teori Penggunaan Software

2.8.1. Dasar Analisis Software Slope/W

Slope/W merupakan *software* yang menggunakan teori *limit equilibrium* dalam menghitung factor keamanan dari suatu lereng. Formulasi yang komprehensif membuat software ini dapat menganalisis permasalahan – permasalahan yang berkaitan dengan stabilitas lereng, baik yang sederhana maupun yang rumit dengan menggunakan berbagai macam metode perhitungan factor keamanan.

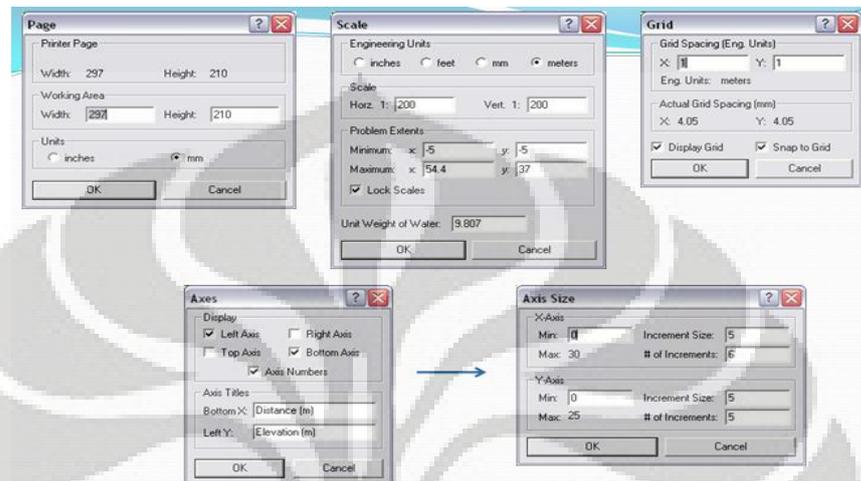
Slope/W menyediakan berbagai macam metode perhitungan factor keamanan yang dapat dipilih, diantaranya yaitu metode *Ordinary* (Fellenius), *Bishop Simplified*, *Janbu Simplified*, *Spencer method*. Penghitungan yang dijalankan merupakan suatu analisis probabilistic terhadap stabilitas lereng yang bergantung pada beberapa variable yang berkaitan dengan parameter inputnya. Variable – variable tersebut merupakan parameter material yang berbeda – beda untuk setiap kasus, misalnya kohesi dan sudut geser, berat jenis, kondisi tekanan air pori, pembebanan, serta adanya koefisien seismic.

Slope/W dapat dipadukan dengan penggunaan Quake/W untuk menganalisis pengaruh gempa pada suatu lereng dengan prinsip dasar metode dynamic finite element. Namun, pada skripsi ini penulis hanya akan menggunakan program Slope/W dengan pendekatan analisis pseudostatik untuk menganalisis gempa. Untuk itu, diperlukan adanya koefisien seismic gempa yang akan termasuk sebagai input parameter terhadap pemodelan yang dilakukan.

2.8.2. Perhitungan Safety Factor (FS) Kelongsoran Lereng Menggunakan GeoSlope

a. Prosedur Analisa

- Mengatur ukuran kertas, skala, grid, dan axes.



Menu Set → Page / Scale / Grid / Axes

Gambar 2.11 Pengaturan Awal Pada SLOPE/W

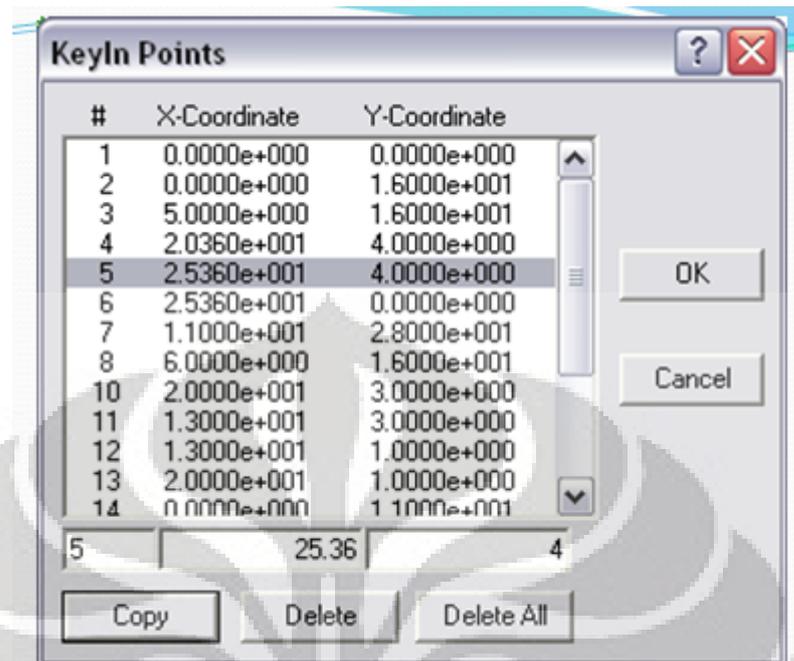
- Memasukkan properti-properti tanah pada tiap lapisan.



Menu KeyIn → Soil Properties

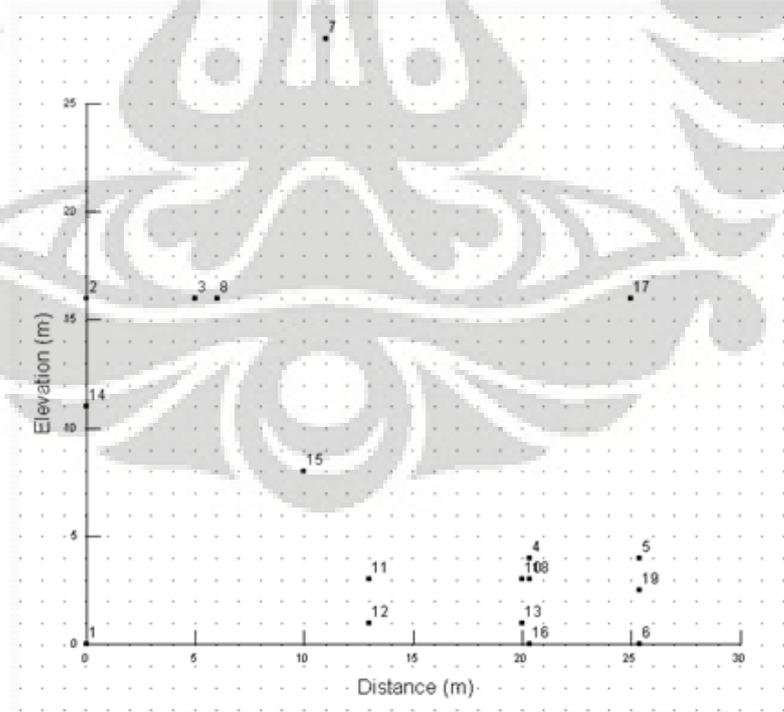
Gambar 2.12 Penentuan Properti Tanah Pada SLOPE/W

- Menentukan titik – titik acuan



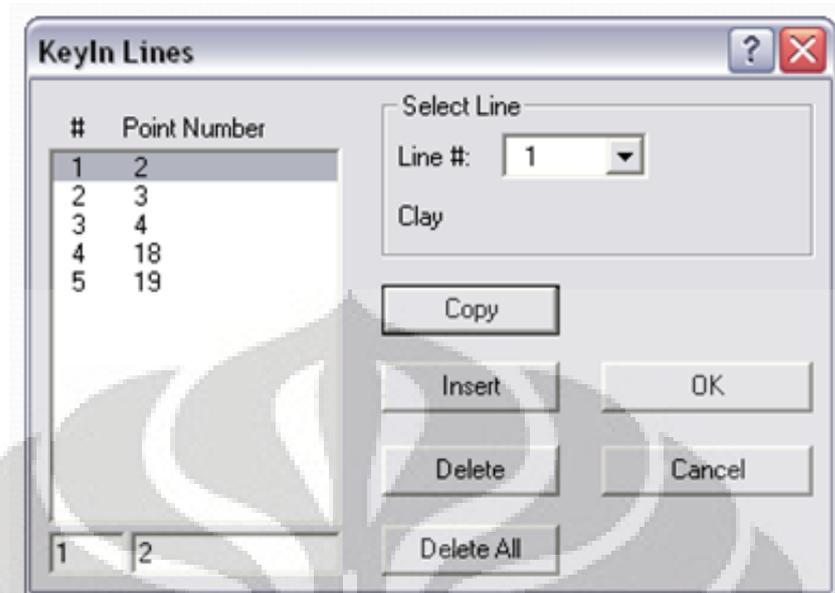
Gambar 2.13 Penentuan Titik - titik Acuan Pada SLOPE/W

- Menarik garis yang menghubungkan titik – titik tersebut untuk membentuk lapisan tanah



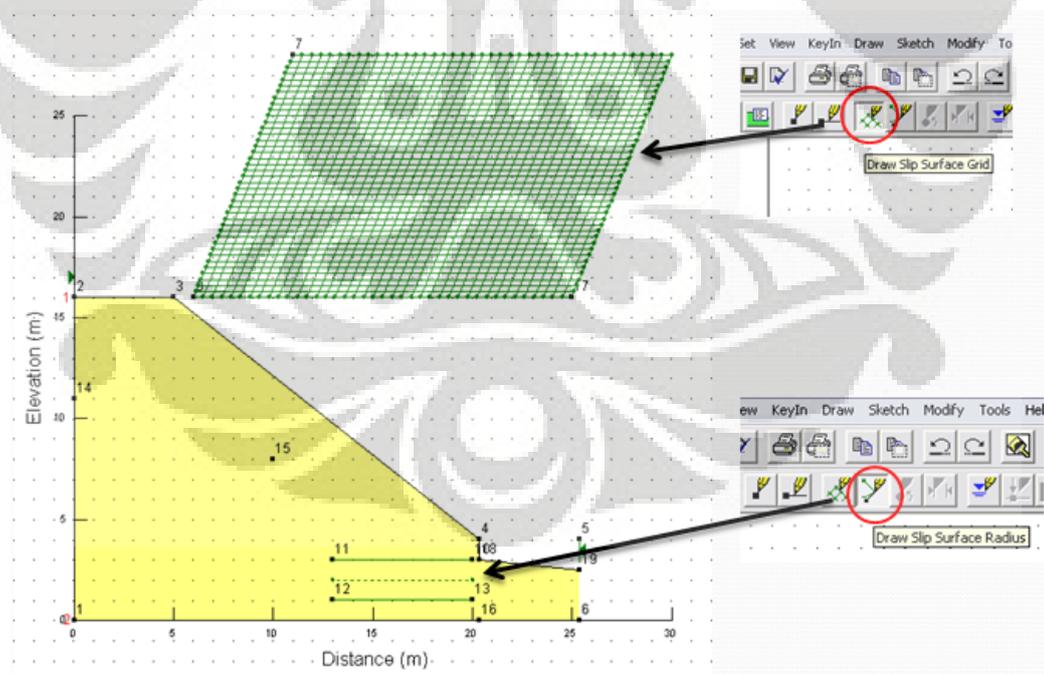
Gambar 2.14 Menggambarkan Geometri Lereng Pada SLOPE/W

- Membuat vertikal line



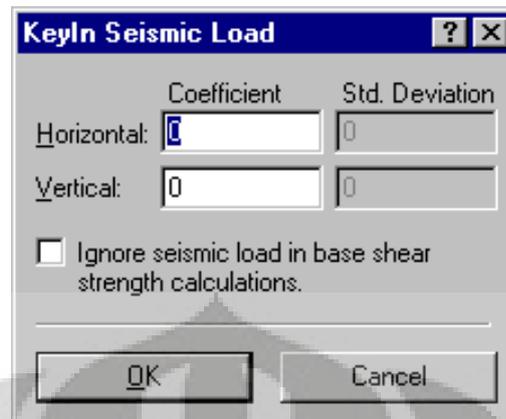
Gambar 2.3 Menggambar Garis Pada SLOPE/W

- Membuat grid (berupa matriks) dan radius untuk menentukan iterasi



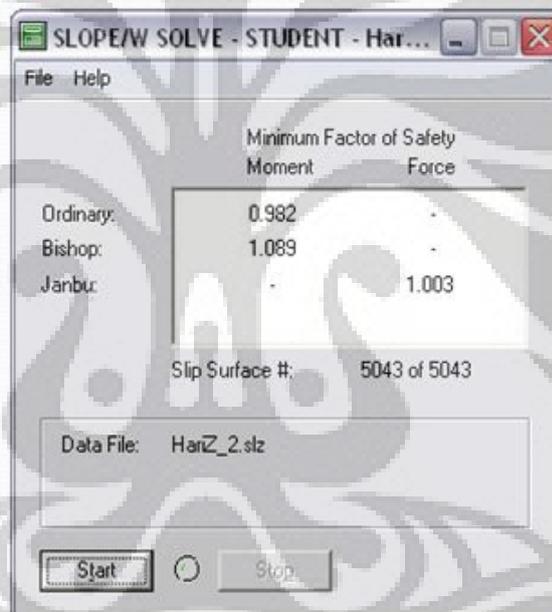
Gambar 2.16 Grid Dan Radius Keruntuhan

- Memasukkan beban gempa (koefisien seismic)



Gambar 2.17 Input Koefisien Seismik

- Menunjukkan safety factor minimum yang terjadi

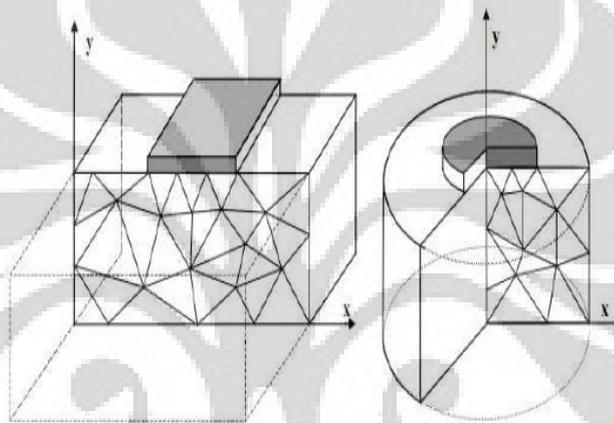


Gambar 2.18 Faktor Keamanan Sebagai Output SLOPE/W

2.8.3. Dasar Analisis Software PLAXIS

PLAXIS merupakan program komputer finite element yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai kasus pada geoteknik. Kondisi real dapat digambarkan dengan baik dengan model axisymmetric maupun model plane strain.

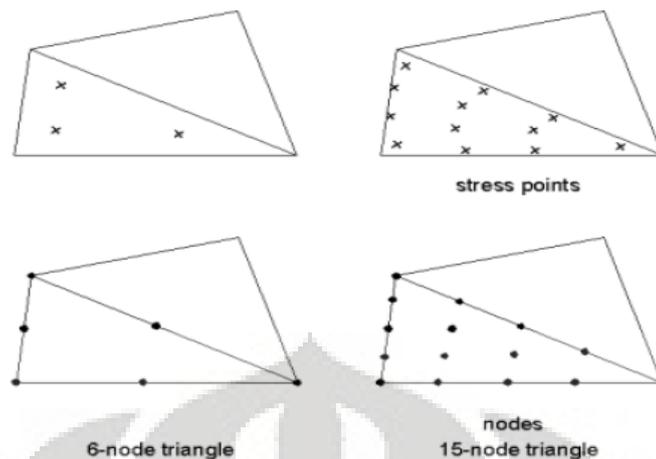
Di bawah ini adalah gambar contoh model plane strain dan axisymmetric.



Gambar 2.19 Contoh model plane strain dan axisymmetric (Plaxis ver.8 user manual)

Pada program PLAXIS tersedia dua tipe element, yaitu elemen dengan 6 nodal dan element dengan 15 nodal. Pengguna bisa memilih elemen segitiga dengan 6 nodal dan 15 nodal untuk memodelkan lapisan tanah dan cluster lainnya.

Berikut adalah gambar posisi nodal dan stress point pada elemen tanah.



Gambar 2.20 Posisi nodal dan stress point pada elemen tanah (Plaxis ver.8 user manual)

Segitiga dengan 15 nodal merupakan elemen yang sangat akurat yang menghasilkan tegangan dengan kualitas yang baik untuk masalah yang kompleks. Penggunaan segitiga dengan 15 elemen membutuhkan waktu yang lebih lama karena proses kalkulasinya sangat lambat. Oleh karena itu tipe elemen yang lebih sederhana juga tersedia.

Segitiga dengan 6 nodal merupakan elemen yang cukup akurat yang memberikan hasil yang baik dalam analisis deformasi standar, asalkan digunakan jumlah elemen yang cukup. Meskipun demikian, elemen ini kurang sesuai untuk perhitungan pada model axisymmetric khususnya pada kalkulasi phi-c reduction karena faktor keamanan yang dianalisis tidak sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Sehingga segitiga dengan 15 nodal dianggap lebih baik untuk kasus ini.

Pada penelitian ini, elemen yang digunakan adalah elemen dengan 15 nodal, yang mana elemen-elemen tersebut memiliki besar yang berbeda-beda. Dengan demikian, jumlah derajat kebebasan setiap elemen adalah 30.

2.8.4. Permodelan pada Plaxis

Pada Plaxis terdapat 4 sub-program yaitu: Input, Calculation, Output, dan Curve

2.8.4.1. Program Input

Untuk membuat analisis elemen hingga dengan Plaxis, pengguna harus membuat model elemen hingga dan menentukan property material dan kondisi batas. Dalam membuat model elemen hingga, pengguna harus membuat model geometric 2 dimensi pada bidang x-y.

Program input terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. General Setting

Pada tahap ini terdapat 2 lembar kerja (*tab sheet*) yaitu Project dan Dimension. Lembar Project berisi nama proyek dan deskripsi, tipe model dan akselerasi. Lembar Dimension berisi satuan panjang, gaya, waktu dan dimensi area untuk menggambar model.

Pada tahap ini juga penulis memberikan besarnya beban gempa yaitu berupa besaran percepatan gempa untuk arah x dan arah y.

2. Permodelan secara Geometrik

Tahapan dari permodelan elemen hingga dimulai dengan membuat model geometric yang akan menggambarkan permasalahan yang terjadi. Permodelan geometrik terdiri dari titik, garis, dan kelompok (*cluster*). Titik dan garis diinput oleh pengguna, sedangkan *cluster* diolah oleh program. Tambahan dari komponen dasar, objek struktur atau kondisi tertentu dapat digunakan permodelan geometrik mensimulasikan garis terowongan, dinding, plat, interaksi tanah dan semua komponen geometrik telah memiliki property masing-masing, maka struktur elemen hingga dapat diolah.

3. Load dan Boundary Conditions

Universitas Indonesia

Menu loads berisi pilihan yang menjelaskan distribusi beban, apakah beban garis atau beban titik. Kondisi batas menjelaskan *displacement* (perpindahan) yang sama dengan nol. Kondisi dapat diterapkan pada garis geometric dan pada titik.

4. Material Properti

Pada Plaxis, nilai properti tanah dan properti material dari struktur disimpan pada data material. Di mana ada 4 macam material, data untuk tanah dan interaksi, plat, geogrid, dan ankur. Semua data disimpan pada data base material. Berdasarkan data base tersebut dapat ditetapkan kumpulan tanah atau objek struktur pada permodelan geometrik.

5. Mesh Generation

Setelah permodelan geometric semua sudah ditetapkan dan property material dipilih untuk semua jenis kumpulan tanah dan objek struktur, permodelan geometrik harus dibagi-bagi menjadi elemen-elemen hingga (*mesh*) dengan tujuan untuk membentuk perhitungan elemen hingga. Komposisi untuk elemen hingga disebut "*mesh*".

6. Initial Condition

Setelah permodelan geometrik dibuat dan jarring elemen hingga sudah di-*generate* (diproses), keadaan tegangan awal dan konfigurasi awal yang ditetapkan. Pada *initial Conditions* (kondisi awal) terdapat dua model yang berbeda, yaitu model pertama untuk memproses tekanan air awal (*water conditions mode*) dan model kedua untuk persyaratan konfigurasi geometrik awal dan untuk memproses tegangan efektif dasar awal (*geometric configurations mode*).

2.8.4.2. Program Calculation

Setelah memproses permodelan elemen hingga dapat dilaksanakan. Oleh karena itu, perlu ditetapkan tipe dari perhitungan yang akan digunakan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi yang mana yang harus diaktifkan selama perhitungan. Semua ini dilakukan oleh program 'Calculation'. Program Calculations hanya mempertimbangkan analisis deformasi (perpindahan) dan membedakan antara perhitungan *Plastic*, analisis *Consolidations* (pemampatan), analisis *Phi-c reduction* (faktor keamanan) dan perhitungan *Dynamic*. Pengertian tipe perhitungan tersebut secara singkat dapat dijelaskan melalui penjelasan berikut:

- Perhitungan *Plastic*

Perhitungan tipe ini harus dipilih untuk mendapatkan elastic-plastic deformation analysis yang mana tidak diperlukan untuk memasukkan kekurangan dari kelebihan tekanan air pori beserta fungsi waktu kedalam perhitungan. Tipe perhitungan ini sangat cocok pada sebagian besar penerapan di bidang geoteknik.

- Perhitungan *Phi-c reduction*

Perhitungan ini digunakan pada Plaxis untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan mengurangi parameter kekuatan tanah.

Dalam pemodelan dengan plaxis, untuk bagian calculation, penulis menggunakan hanya 2 fase yang pertama adalah fase perhitungan *Plastic*, dan fase kedua adalah perhitungan *Phi-c reduction*. Fase pertama dilakukan untuk melihat deformasi yang terjadi karena kasus yang dimodelkan merupakan kasus lereng alami. Fase kedua digunakan untuk melihat nilai factor keamanan dari kasus yang dimodelkan.

2.8.4.3. Program Output

Hasil utama output dari perhitungan elemen hingga adalah displacement (perpindahan) pada titik dan perubahan tegangan pada titik yang ditinjau. Beberapa parameter yang dapat diketahui dari hasil program output adalah: deformasi, perpindahan (*total, horizontal, vertikal, dan incremental displacement*). Regangan (*total, cartesian, dan incremental strain*), tegangan (efektif dan total stresses), *Over Consolidation Ratio* (OCR), titik plastis (*plastic point*), tekanan aktif pori (*active pore pressure*), tekanan air pori berlebih (*excess pore pressure*), ground water head, Flow field, dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Dalam kasus yang dimodelkan, penulis hanya mengambil output berupa besar dan bentuk deformasi pada lereng serta nilai factor keamanan (*safety factor*). Hasil tersebut lalu dibandingkan dengan hasil yang didapat pada perhitungan dengan software Slope/W (Geoslope).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pemilihan Kasus

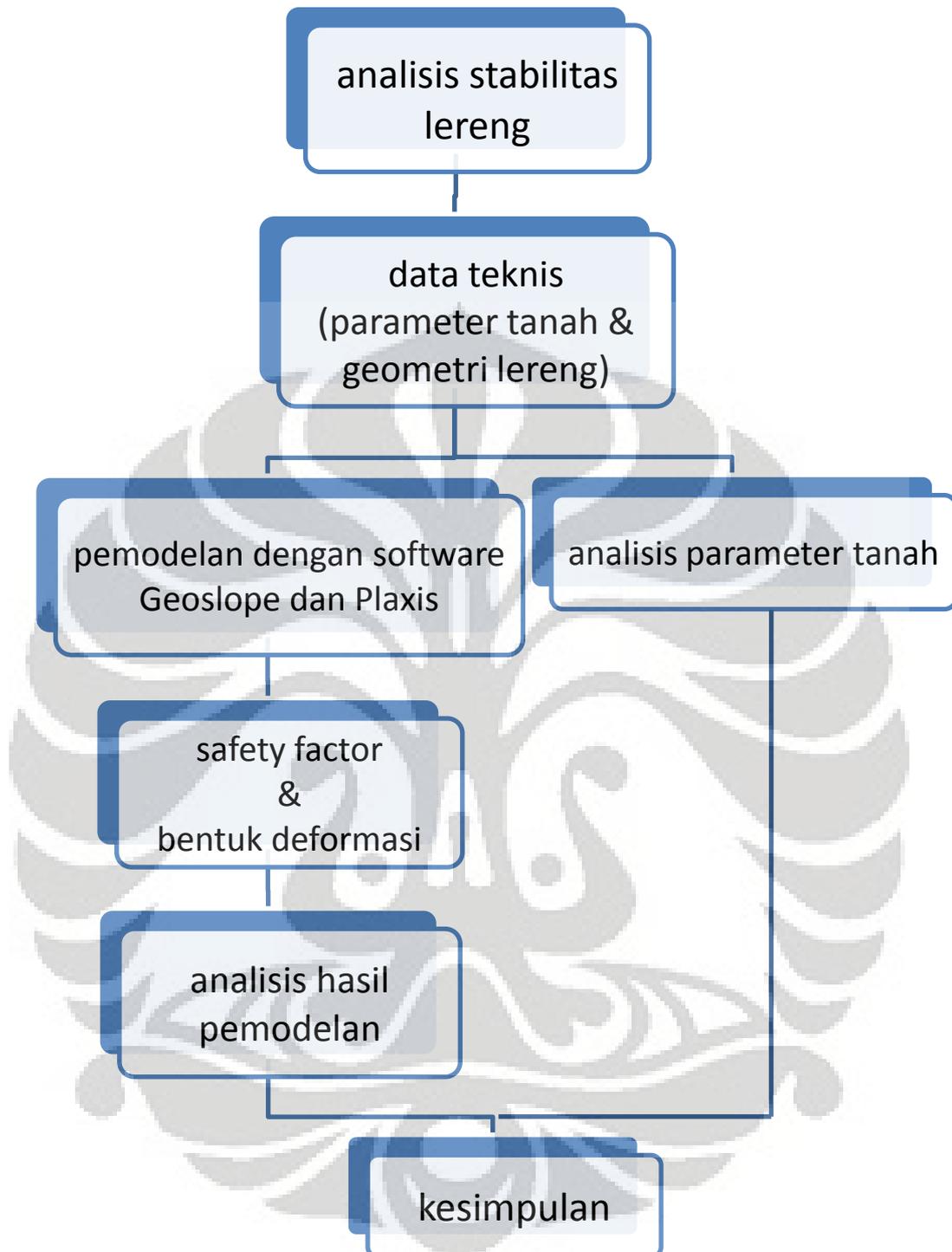
Tegangan geser pada tanah merupakan hal yang sangat berpengaruh dalam menganalisis stabilitas lereng. Jika tegangan geser tanah pada suatu lereng berkurang dan dikalahkan oleh gaya berat dari suatu massa tanah itu sendiri, maka besar kemungkinan akan terjadi keruntuhan pada lereng tersebut. Penurunan tegangan geser yang berakibat pada melemahnya permukaan lereng dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu akibat adanya pembebanan dinamis dari gempa.

Analisis *dynamic equilibrium* dapat digunakan dalam kasus – kasus kelongsoran aliran atau jatuhnya dimana terdapat massa tanah atau blok tanah tertentu yang telah ditentukan sampai kondisi statis equilibrium tercapai. Analisis stabilitas ini dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh beban seismik pada lereng alami maupun buatan. Dua metode yang sering digunakan dalam analisis ini adalah pseudostatik dan metode *overall displacement*. Metode pseudostatik menstimulasikan efek getaran seismik dengan menambahkan gaya eksternal yang sebanding dengan percepatan maksimum gempa dan bereaksi sebagai gaya aktif. Metode *overall displacement* dalam penghitungannya menggunakan variasi percepatan terhadap waktu yang disajikan dalam seismograf.

Berdasarkan pemahaman tersebut, dalam skripsi ini penulis berusaha mengamati pengaruh beban seismik dari gempa terhadap stabilitas lereng alami, dengan mengacu pada kasus di Padang Pariaman, akibat gempa Padang pada bulan September 2009. Gempa Padang terjadi pada tanggal 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 SR. Dengan melihat jenis tanah pada kawasan yang ditinjau, diasumsikan pada kawasan tersebut terjadi fenomena likuifaksi, terlihat dari adanya keruntuhan yang

berupa aliran – aliran pada lereng bukit. Untuk itu, penulis berusaha menganalisis seberapa besar pengaruh gempa yang terjadi sehingga dapat terjadi peristiwa likuifaksi tersebut.

Dalam menganalisis, diperlukan parameter – parameter fisik tanah dan kondisi geometri lereng yang ditinjau, serta parameter – parameter gempa, diantaranya yaitu percepatan maksimum gempa. Analisis yang akan dilakukan yaitu berupa analisis dengan menggunakan *software* Slope/W (Geoslope) dan untuk menentukan faktor keamanan (*safety factor*) lereng yang ditinjau serta melihat bentuk deformasi yang terjadi pasca pembebanan gempa. Analisis *software* tersebut menggunakan salah satu dari kedua prinsip yang terdapat pada analisis dynamic equilibrium, yaitu metode pseudostatik. Untuk lebih jelasnya mengenai prinsip metode dari perhitungan dengan *software* Geoslope dapat dilihat pada sub bab pemodelan. Berikut ini adalah diagram alir proses pengerjaan analisis dalam skripsi ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Skripsi

3.2. Data teknis

Skripsi ini merupakan studi kasus gempa di Padang, maka dalam penyusunannya, penulis akan menentukan parameter tanah berdasarkan kondisi eksisting pada daerah yang ditinjau. Pengambilan sample dilakukan pada titik yang dianggap dapat mewakili kondisi keseluruhan di daerah tersebut. Penulis akan mengambil beberapa titik yang diperkirakan parameter tanahnya berbeda – beda. Penentuan parameter tanah selain melalui uji – uji di laboratorium dapat juga secara empiris yaitu dengan mengkorelasikan nilai – nilai yang didapat dari uji di laboratorium dengan nilai – nilai yang ada pada berbagai sumber.

3.2.1. Pengambilan Sample

Pada skripsi ini, pengambilan data dilakukan dengan melakukan uji laboratorium terhadap sample tanah yang telah didapatkan. Adapun metode pengambilan sample tanah adalah dengan mengambil sample tanah terganggu (disturbed), bukan dengan pengeboran.

Sample tanah diambil pada daerah Pariaman, dimana topografi daerahnya berupa perbukitan sehingga terlihat jelas lokasi lereng – lereng yang longsor. Lereng yang dipilih adalah yang paling curam dan paling terlihat perbedaan stratifikasi tanahnya secara visual.

Kondisi lereng tempat sample tanah diambil adalah sebagian telah runtuh akibat gempa, namun masih ada bagian lereng yang belum runtuh. Lokasi pengambilan sample adalah pada lereng yang telah longsor. Lereng tersebut diperkirakan memiliki sudut kemiringan sekitar $35^0 - 40^0$ dan ketinggian lereng sekitar 28 meter secara keseluruhan. Pada lereng tersebut perbedaan lapisan tanah terlihat dengan sangat jelas. Perbedaan lapisan tanah dapat dilihat dari warna tiap – tiap lapisan. Pada lereng tersebut terlihat terdapat 3 lapisan tanah dengan kuning kecoklatan, putih, dan coklat, ketiga jenis tanah tersebut yang kemudian diambil sampelnya dan diberi nomor berurutan yaitu sample 1, 2, dan 3.

Sample 1 adalah yang berwarna kuning kecoklatan dengan butiran yang kasar, sample 2 adalah yang berwarna putih dengan butiran yang agak kasar, dan sample 3 adalah yang berwarna coklat dengan butiran yang sedikit lebih halus.

Kondisi pada saat pengambilan sample adalah telah terjadi hujan beberapa hari sebelum pengambilan sample, maka kondisi tanah masih jenuh air. Kedalaman muka air tanah tidak diukur secara langsung di lapangan, maka dalam pemodelan, kedalaman muka air tanah diasumsikan dengan memperkirakan jarak dari lokasi ke sungai dan dengan korelasi beberapa informasi mengenai tinggi muka air tanah yang didapat dari warga sekitar.

3.2.2. Hasil Pengujian Laboratorium

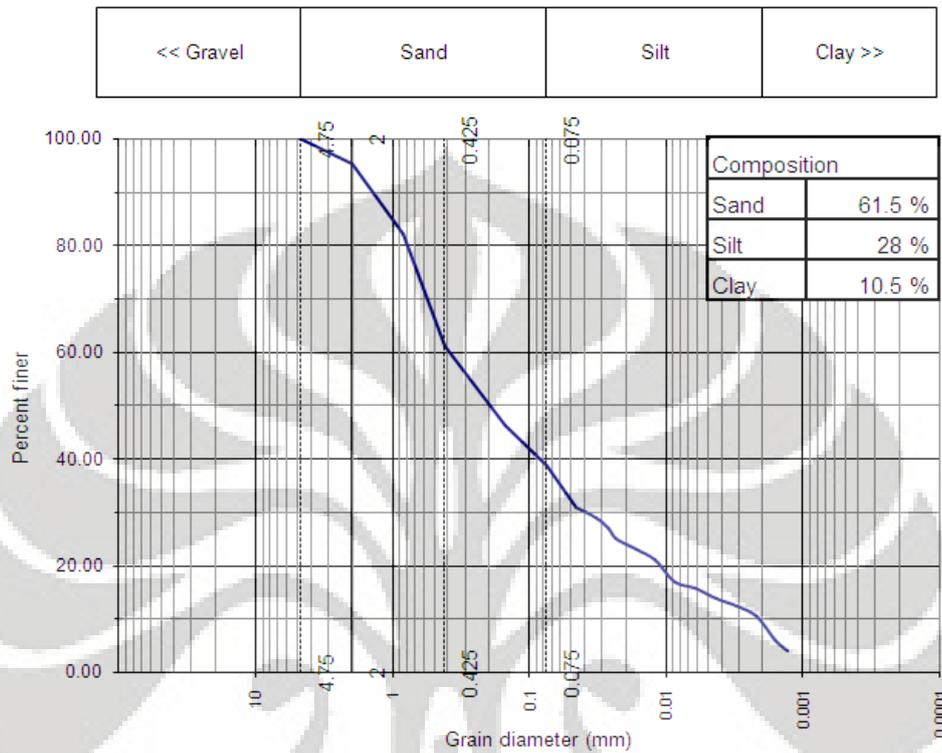
Setelah melakukan pengambilan sample tanah, maka dilakukan pengujian di laboratorium terhadap sample tanah. Hal ini bertujuan untuk menentukan parameter tanah. Dengan mengetahui parameter tanah, maka dapat ditentukan jenis tanah tersebut sehingga dapat dianalisis apakah peristiwa yang terjadi merupakan peristiwa likuifaksi atau bukan.

Pengujian yang dilakukan di laboratorium terdiri dari *specific gravity test*, *grain size analysis*, *compaction* untuk mencari *unit weight* (γ), dan *direct shear test*. Data lengkap mengenai hasil pengujian akan diberikan di lampiran. Berikut ini adalah hasil yang didapat dari masing – masing pengujian :

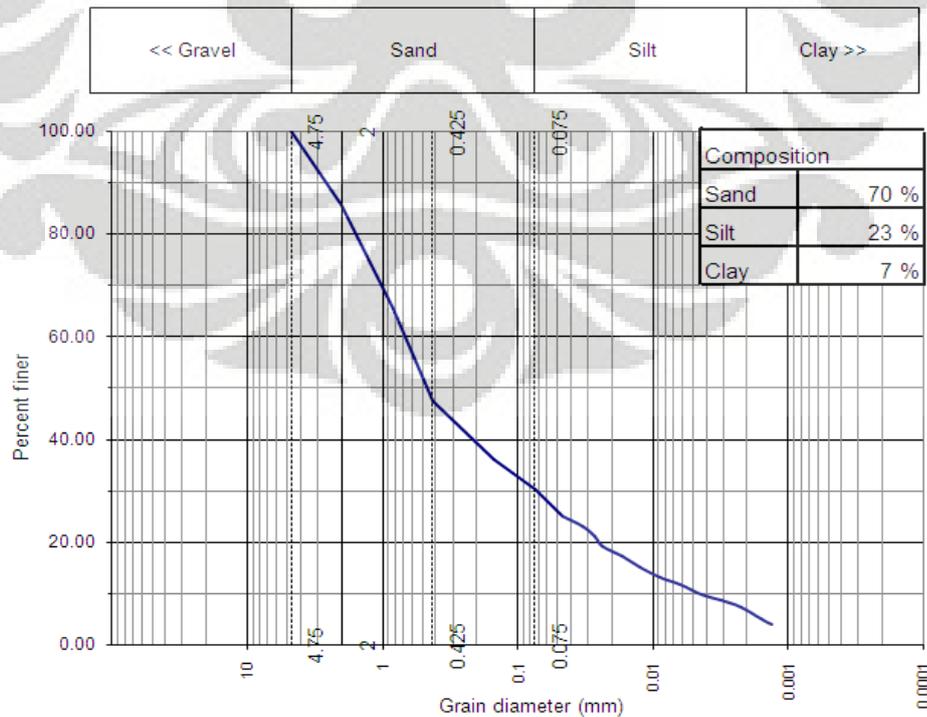
i. Grain size analysis

Analisa ukuran butiran terdiri dari dua pengujian yaitu analisa saringan (*sieve analysis*) dan uji *hydrometer*. Tujuannya adalah untuk melihat komposisi butiran pada material tanah. Dengan melihat komposisi ukuran butiran yang menyusun tanah tersebut, maka dapat diperkirakan jenis tanahnya dan dapat diperkirakan juga bagaimana susunan partikelnya.

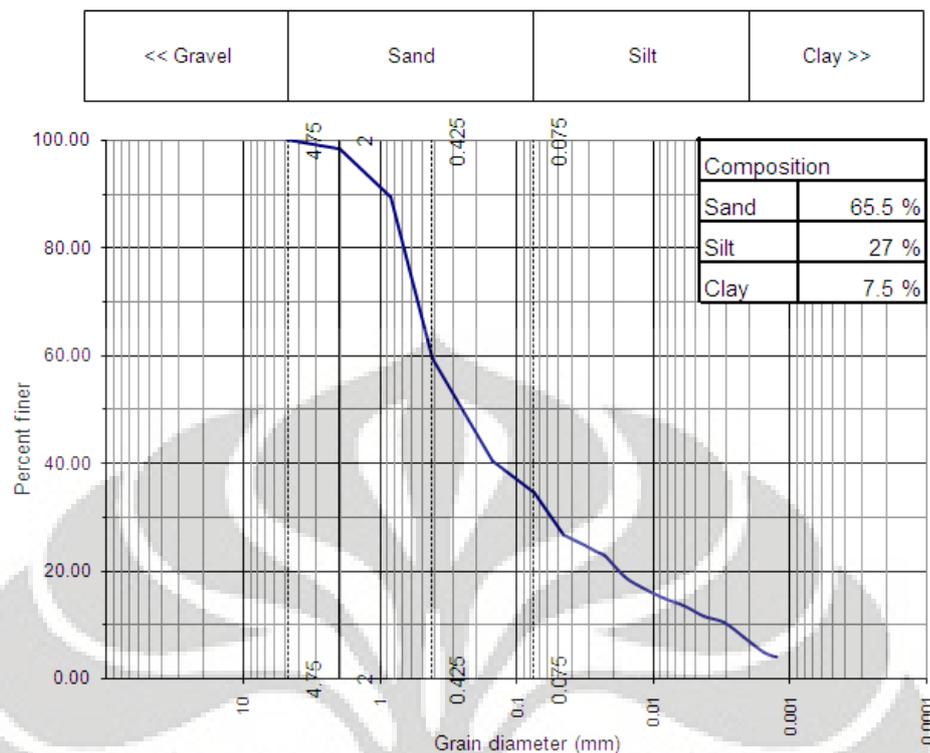
Berdasarkan pengolahan data dari analisis ukuran butiran, maka didapat grafik sebaran butiran untuk masing – masing sample. Grafik tersebut dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3.2 Sebaran Butiran Tanah untuk Sample 1



Gambar 3.3 Sebaran Butiran Tanah untuk Sample 2



Gambar 3.4 Sebaran Butiran Tanah untuk Sample 3

Dari ketiga grafik Grain Distribution diatas, terlihat bahwa persentase ukuran butiran yang paling besar dari masing – masing komposisi adalah pasir (sand), yang melebihi 50% dari keseluruhan komposisi. Namun juga terdapat lanau (silt) yang presentasinya tidak dapat diabaikan. Untuk itu, berdasarkan analisa ukuran butiran, maka jenis material penyusun tanah pada daerah yang ditinjau adalah pasir dengan sedikit lanau atau pasir kelanauan (silty sand).

ii. **Specific gravity**

	Gs	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)
Sample 1	2,683	18,064	13,173
Sample 2	2,654	17,922	13,031
Sample 3	2,732	18,303	13,412

Tabel 3.1 Nilai Specific Gravity dan Hasil Perhitungan Unit Weight Berdasarkan Nilai Gs

Typical Values of Unit Weight for Soils

Soil Type	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)
Gravel	20-22	15-17
Sand	18-20	13-16
Silt	18-20	14-18
Clay	16-22	14-21

Tabel 3.2 Nilai Berat Jenis Untuk Berbagai Jenis Tanah (Muni Budhu, 2007)

Dari pengujian ini, hasil yang didapat adalah berupa data *specific gravity* untuk masing – masing sample. Lalu dengan menggunakan rumus, maka dapat dihitung nilai *unit weight*-nya. Namun nilai unit weight ini hanya berupa nilai empiris, selanjutnya akan dilakukan pengujian untuk mencari nilai unit weight sebenarnya pada kondisi kadar air optimum. Dengan range nilai γ_{sat} yang didapat yaitu antara 17,9 – 18,3 dan γ_{dry} antara 13,03 – 13,4. Berdasarkan korelasi antara data hasil perhitungan dengan tabel diatas, maka didapatkan jenis tanah yang diuji merupakan pasir (*sand*). Hasil ini didapat pada saat uji *Specific Gravity* dilakukan terhadap kondisi asli tanah dan belum diubah menjadi kondisi optimumnya. Untuk selanjutnya, nilai *Unit Weight* akan dicari pada kondisi optimum tanah tersebut.

iii. Unit Weight

Untuk menghitung nilai berat jenis, maka tanah terlebih dahulu dicari kondisi optimumnya. Tanah yang diuji cenderung berbutir kasar karena merupakan tanah pasir, maka untuk memudahkan pemadatan (*compaction*), perlu ditambahkan air hingga mencapai kondisi optimumnya, dengan begitu maka dapat diperoleh nilai berat jenis (*unit weight*) dari pemadatan tersebut.

Data – data yang didapatkan dari pemadatan dapat di-plot kedalam grafik ZAV (*Zero Air Void*) yang menunjukkan kondisi dimana berat jenis kering bernilai maksimum. Grafik untuk masing –

masing sample dapat dilihat pada lampiran. Berikut ini merupakan nilai kadar air optimum, berat jenis kering dan basah maksimum yang didapat dari grafik tersebut.

	w_{opt} (%)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)
Sample 1	30.01	13.82	18.05
Sample 2	27.75	13.62	17.38
Sample 3	32.30	13.34	17.69

Tabel 3.3 Nilai Unit Weight Pada Kondisi Optimum Masing - masing Sample

Berdasarkan pada korelasi dengan nilai – nilai berat jenis untuk berbagai macam material secara umum (table 2 halaman 44), maka terlihat bahwa range nilai berat jenis untuk ketiga sample berada pada range nilai untuk tanah berjenis pasir. Namun ada beberapa pengujian lainnya yang harus dilakukan untuk mengetahui parameter – parameter tertentu sehingga jenis tanah pada daerah tersebut dapat diketahui dengan jelas.

iv. Direct shear

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser tanah. Kohesi akan menunjukkan seberapa kuat gaya tarik – menarik yang bekerja pada partikel – partikel tanah, sedangkan sudut geser akan memperlihatkan seberapa besar kemampuan tanah untuk menahan gaya geser yang bekerja terhadapnya. Pada umumnya, untuk tanah berjenis pasir nilai kohesi akan bernilai sangat kecil sedangkan sudut gesernya akan bernilai besar, lebih dari 30⁰.

Pengujian direct shear ini dilakukan dua kali terhadap tanah yang diteliti. Pengujian pertama dilakukan di awal saat sample tanah masih dalam keadaan basah seperti kondisi di lapangan saat dilakukan pengambilan sample, pengujian kedua dilakukan saat tanah sudah dicampur air dengan mengacu pada kondisi kadar air optimumnya. Berikut ini adalah table hasil pengujian *direct shear* terhadap tanah yang diteliti :

	Sample no.	Apparent cohesion (c)	Angle of resistance (ϕ)	Water content
Test I	1	7.44 kPa	26.02 ⁰	56.83
	2	17.68 kPa	22.31 ⁰	39.28
	3	19.82 kPa	19.01 ⁰	64.91
Test II	1	4.28 kPa	52.2 ⁰	29.36
	2	2.22 kPa	55.07 ⁰	27.24
	3	4.57 kPa	50.30 ⁰	32.28

Tabel 3.4 Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah untuk Masing - masing Sample pada Kedua Pengujian

Dari hasil diatas, dapat dilihat bahwa pada pengujian pertama, sudut geser bernilai relative kecil jika dibandingkan dengan sudut geser pasir pada umumnya, sedangkan nilai kohesi terbilang cukup besar. Hal ini disebabkan oleh kondisi tanah yang masih basah, terlihat dari nilai kadar air yang cukup tinggi. Adanya air menyebabkan kohesi meningkat, walaupun sebenarnya kohesi yang terjadi adalah antara tanah dengan air, di sisi lain, hal ini menyebabkan kecilnya nilai sudut geser. Selain itu, kondisi awal partikel saat baru dibawa dari lapangan, butirannya cukup halus, maka sudut geser mendekati nilai sudut geser pasir halus.

Pada pengujian kedua, dimana sample tanah sudah dicampur air dengan mengacu pada kondisi kadar air optimumnya, sudut geser bernilai sangat besar yaitu pada range 50⁰ – 55⁰ sedangkan nilai kohesinya sangat kecil. Hal ini berarti ikatan pada tanah tidak kuat sehingga tanah tersebut bersifat *loose*. Data – data tersebut memperlihatkan perbedaan yang signifikan terhadap nilai sudut geser tanah dari dua kondisi sample yang berbeda.

3.3. Pengecekan stabilitas lereng dengan menggunakan software GeoSlope

Geoslope merupakan suatu kumpulan program yang dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan berbagai kondisi dan terdiri dari beberapa program yang dapat digunakan terpisah maupun dipadukan. Dalam analisis ini akan digunakan batuan salah satu program yang terdapat pada Geoslope yaitu Slope/W. Program Slope/W menggunakan prinsip limit equilibrium dalam mengkalkulasikan faktor keamanan lereng dan dapat digunakan untuk menghitung berbagai macam variasi kasus baik pada lereng alami maupun buatan.

Adapun batasan – batasan kasus yang dapat dianalisis dengan menggunakan bantuan program Slope/W yaitu :

1. Lereng heterogen yang berada diatas lapisan tanah keras (bedrock)
2. Analisis keruntuhan blok (block failure)
3. Analisis dengan adanya beban luar dan reinforcement
4. Kondisi Tegangan Air Pori yang complex
5. Analisis stabilitas dengan metode Finite Element
6. Analisis stabilitas dinamis (dipadukan dengan program Quake/W)
7. Analisis stabilitas probabilistic

Seperti yang telah disebutkan diatas, dalam bab ini dilakukan analisis untuk beberapa kondisi lereng yang berbeda – beda dan memberikan beban seismic pada lereng sebagai penyesuaian atas gempa yang terjadi. Seismic atau beban dinamik gempa dapat diaplikasikan pada analisis stabilitas dengan program Slope/W yaitu dengan cara memasukan koefisien seismic gempa. Prinsip perhitungan tersebut merupakan metode *Pseudostatic Analysis* dimana koefisien gempa dikalikan dengan berat tiap irisan yang dimasukan ke dalam perhitungan sebagai gaya pseudostatis horizontal untuk masing – masing irisan.

3.3.1. Program Input

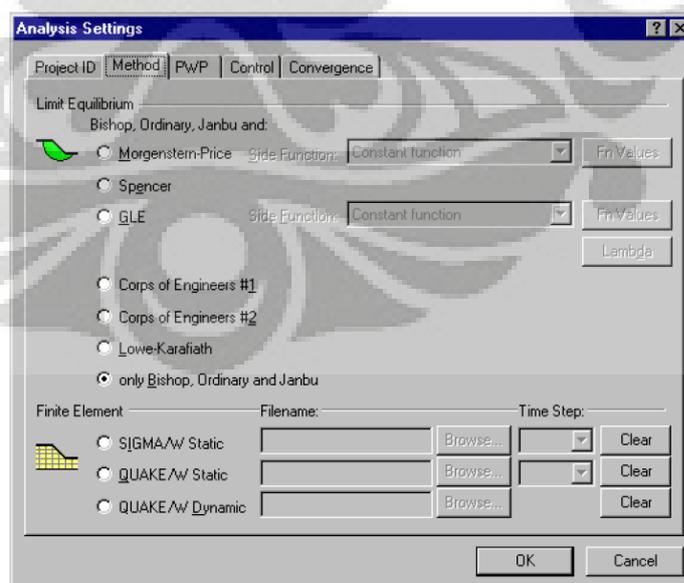
Sebelum melakukan input data – data pada program Slope/W ini, ada beberapa hal yang perlu dilakukan yaitu melakukan setting area gambar yang terdiri dari setting ukuran kertas, grid, sumbu (axes), dan skala yang digunakan, seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Setelah melakukan setting awal, maka dapat permasalahan dapat didefinisikan dengan melakukan input sesuai data – data yang dimiliki. Berikut ini merupakan langkah – langkah input yang dilakukan untuk menganalisis kasus yang sudah ditentukan pada bab ini:

1. Menentukan stratifikasi tanah

Penentuan stratifikasi tanah dilakukan sesuai data teknis tanah, dalam hal ini terdapat tiga lapisan tanah karena ada tiga sample tanah dengan parameter yang berbeda yang diteliti.

2. Menentukan metode analisis

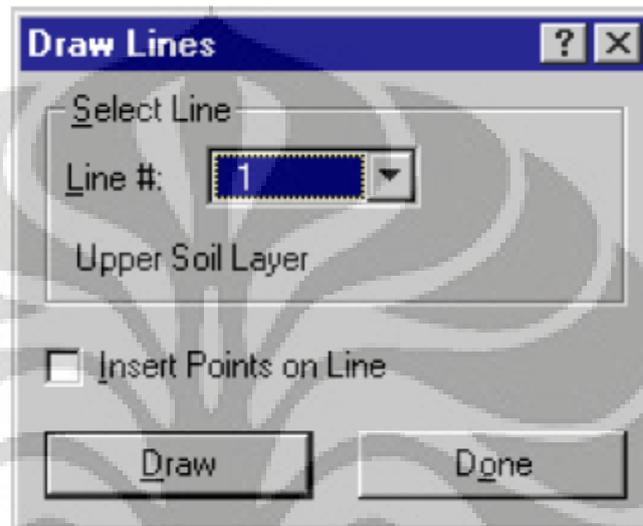
Penentuan metode analisis yaitu menggunakan hanya metode Bishop, Ordinary, dan Janbu. Hal ini dapat dilakukan dari menu KeyIn – Analysis Setting



Gambar 3.5 Metode Perhitungan Safety Factor pada Geoslope

3. Menentukan geometri lereng

Untuk menentukan geometri lereng, hal pertama yang harus dilakukan adalah menempatkan titik – titik untuk menggambar bentuk lereng yang diinginkan. Hal ini dapat dilakukan dari menu KeyIn – Points. Setelah itu, dengan menggunakan menu KeyIn – Line, gambarlah garis yang menghubungkan titik – titik tersebut.



Gambar 3.6 Menarik Garis pada Geoslope

4. Menentukan Piezometric Line

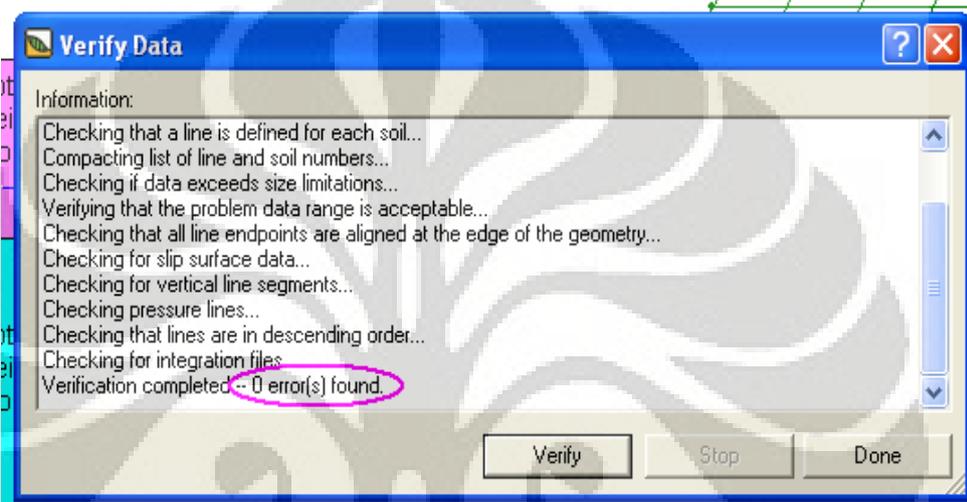
Penentuan Piezometric Line dapat dilakukan dari menu Draw – Pore Water Pressure.

5. Menentukan radius dan grid slip surface

Penentuan radius of slip surface dapat dilakukan dari menu Draw – Slip Surface – Radius. Hal ini akan menambahkan garis pada permukaan lereng, garis – garis tersebut berhubungan dengan radius keruntuhan secara tangensial. Setelah itu, kemudian dapat dilakukan penentuan grid dimana dapat diketahui letak titik pusat keruntuhan. Penentuan grid yaitu dari menu Draw – Slip Surface – Grid.

3.3.2. Verifying dan Solving Problem

Setelah semua data telah diinput, maka terlebih dahulu harus dilakukan proses verifikasi untuk melihat apakah ada error ditemukan pada pemodelan. Jika tidak terdapat error sama sekali, maka dapat dilanjutkan dengan solving problem. Verifikasi dapat dilakukan dari menu Tools – Verify dan akan muncul kotak dialog seperti berikut ini :



Gambar 3.7 Pengecekan Error Pada Pemodelan

Selanjutnya, untuk solve problem yaitu menentukan faktor keamanan hasil perhitungan yang dilakukan oleh software Slope/W, maka dapat dilakukan dengan menekan icon berikut :



Lalu hasil perhitungan faktor keamanan (safety factor) dapat dilihat pada kotak berikut ini :



Gambar 3.8 Nilai Safety Factor Dari Berbagai Metode Perhitungan

Untuk melihat bidang keruntuhan dapat dilakukan dari icon seperti ini:



Hasil – hasil pemodelan dengan program Slope/W (Geoslope) ini akan dipaparkan pada bab selanjutnya.

BAB IV

ANALISA

Setelah melakukan beberapa pengujian dalam menentukan sifat – sifat dan karakteristik sample tanah yang diambil dari lokasi yang ditinjau, yaitu Gunung Tiga, Padang. Maka dilakukan analisa berdasarkan hasil yang didapat dari pengujian tersebut. Analisa terhadap parameter tanah dilakukan berdasarkan korelasi nilai – nilai yang didapatkan dari berbagai literature sehingga didapatkan jenis tanah yang sesuai dengan parameter yang ada.

Dalam menganalisa keseluruhan kasus yang terjadi, diperlukan bantuan program, dalam hal ini program yang digunakan adalah GeoSlope (Slope/W) dimana analisa didasarkan pada bentuk geometri lereng dan parameter tanah yang menyusun lereng tersebut. Analisa dengan bantuan program ini semata – mata untuk memperlihatkan bagaimana pengaruh gempa terhadap kondisi eksisting lereng yang memiliki parameter tanah seperti yang dijabarkan, sehingga kondisi asli di lapangan yang telah dilihat langsung oleh penulis dapat tergambarkan dan terbuktikan dengan jelas.

Daerah Gunung Tiga, Padang merupakan area yang memiliki kontur yang berbukit – bukit sehingga pemodelan dilakukan dengan memodelkan salah satu lereng yang dianggap dapat mewakili keseluruhan lokasi tersebut. Dengan bekerjanya beban gempa yang cukup besar dan melihat karakteristik dari material yang menyusun tanah pada lokasi yang ditinjau, maka diasumsikan terjadi fenomena likuifaksi pada daerah tersebut. Untuk itu, dalam kaitannya dengan peristiwa likuifaksi, analisa akan dilakukan dengan melihat jenis tanah sesuai dengan parameter – parameter yang didapat dari hasil pengujian, serta melihat seberapa besar pengaruh beban gempa yang bekerja terhadap lereng yang dimodelkan pada program GeoSlope (Slope/W)

4.1. Analisa Parameter Tanah

Pada bab sebelumnya telah dipaparkan mengenai hasil – hasil dari pengujian laboratorium terhadap sample tanah yang bersangkutan. Data hasil pengujian tersebut kemudian akan digunakan sebagai data parameter tanah yang berguna sebagai input pada pemodelan dengan menggunakan program Slope/W dan Plaxis. Selain itu, data – data parameter tanah tersebut juga akan dianalisis sehingga dapat terlihat kaitannya dengan peristiwa likuifaksi yang diasumsikan terjadi pada daerah Gunung Tiga, Padang.

Likuifaksi merupakan kondisi dimana tanah mendapat beban siklik, misalnya beban yang diakibatkan oleh gempa, sehingga mengakibatkan tanah tersebut berdeformasi dari solid menjadi cair (*liquefied*) atau yang sering dikatakan menjadi seperti bubur. Dalam hal ini, jenis tanah yang dimaksud adalah tanah yang non-kohefif yang pada umumnya berjenis pasir atau pasir kelanauan.

Tidak semua jenis tanah rentan terhadap likuifaksi, untuk itu perlu dilakukan pengujian tertentu terhadap tanah. Ada beberapa kriteria dalam melihat kerentanan tanah terhadap likuifaksi, diantaranya adalah secara historis, geologi, komposisi, dan kondisi awal (*initial state*).

Secara historis, informasi mengenai likuifaksi didapat melalui investigasi lapangan pasca gempa dengan hasil yang didapat yaitu bahwa likuifaksi sering terjadi pada lokasi yang sama dimana kondisi tanah dan muka air tanah tidak berubah (Youd, 1984a). Jadi, informasi – informasi terdahulu mengenai kasus likuifaksi pada suatu daerah dapat digunakan sebagai referensi untuk melihat kerentanan tanah di daerah tersebut. Investigasi pasca gempa juga menunjukkan bahwa secara historis, daerah yang dekat dengan pusat gempa akan lebih rentan terhadap likuifaksi dibandingkan dengan daerah yang jauh dari pusat gempa.

Proses – proses geologi menyebabkan tanah dengan ukuran butiran yang seragam mengendap dan dalam kondisi lepas (*loose*) dan tidak padat dapat menyebabkan kerentanan terhadap likuifaksi. Hal ini

juga berkaitan dengan umur deposit. Deposit tanah yang lebih muda akan lebih rentan terhadap likuifaksi. Selain itu, secara geologis, kondisi muka air tanah juga berpengaruh terhadap kerentanan terhadap likuifaksi. Peristiwa likuifaksi hanya terjadi pada tanah yang tersaturasi, maka kerentanan terhadap likuifaksi akan meningkat apabila kedalaman muka air tanah berkurang. Likuifaksi sering terjadi pada daerah dengan kedalaman muka air tanah hanya beberapa meter dari permukaan tanah.

Karakteristik komponen tanah yang menyebabkan adanya perilaku perubahan volume juga berpengaruh terhadap kerentanan tanah terhadap likuifaksi. Karakteristik ini mencakup ukuran partikel, bentuk, dan gradasi atau sebaran ukuran butirannya. Partikel tanah yang berbutir kasar dengan gradasi yang cenderung seragam akan lebih rentan terhadap likuifaksi. Selain itu, kerentanan terhadap likuifaksi juga tergantung pada kondisi awal tanah (*initial state*), misalnya tegangan dan berat jenis atau kepadatan tanah.

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
Sand	61.5 %	70 %	66.5 %
Silt	28 %	23 %	27 %
Clay	10.5 %	7 %	7.5 %

Table 4.1 Komposisi partikel tanah untuk masing - masing sample

	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)
Sample 1	13.82	18.05
Sample 2	13.62	17.38
Sample 3	13.34	17.69

Table 4.2 Nilai berat jenis tanah

	Sample no.	Apparent cohesion (c)	Angle of resistance (ϕ)	Water content
Test I	1	7.44 kPa	26.02 ⁰	56.83
	2	17.68 kPa	22.31 ⁰	39.28
	3	19.82 kPa	19.01 ⁰	64.91
Test II	1	4.28 kPa	52.2 ⁰	29.36
	2	2.22 kPa	55.07 ⁰	27.24
	3	4.57 kPa	50.30 ⁰	32.28

Table 4.3 Nilai kohesi dan sudut geser tanah

Table 1 menunjukkan hasil pengujian terhadap komposisi partikel tanah. Terlihat bahwa gradasi setiap sample kurang baik, sekitar 90% partikel tanah merupakan partikel kasar (*sand* dan *silt*), sedangkan partikel halus hanya sekitar 10%. Lebih dari 60% material tanah berjenis pasir dan termasuk pasir kasar yang bersifat lepas (*loose*). Table 2 menunjukkan nilai berat jenis tanah, berdasarkan korelasi dengan nilai – nilai yang ada, range nilai – nilai tersebut menunjukkan bahwa sample tanah termasuk jenis tanah pasir.

Table 3 menunjukkan nilai kohesi dan sudut geser untuk masing – masing sample tanah. Terdapat dua macam nilai kohesi dan sudut geser, yaitu hasil dari Test I dan Test II. Test I merupakan kondisi dimana tanah masih basah, kondisi awal pada saat tanah baru dibawa dari lokasi, sedangkan Test II merupakan saat dimana tanah sudah dibuat sedemikian sehingga kadar airnya seperti pada kondisi optimumnya. Terlihat bahwa kadar air pada Test I cukup tinggi jika dibandingkan dengan kadar air pada Test II. Sudut geser dan kohesi merupakan dua parameter penting dalam menentukan stabilitas. Hasil sudut geser yang didapatkan pada Test I bernilai relative kecil sehingga diduga tanah tidak akan mampu menahan beban geser sehingga akan memperkecil nilai factor keamanan. Untuk nilai kohesi tanah, terlihat nilai yang cukup tinggi, namun hal ini bukan berarti ikatan antar partikel tanahnya kuat, melainkan adanya kohesi antara butiran tanah dengan air karena pada

saat Test I tanah berada dalam keadaan basah. Dengan nilai sudut geser yang sangat besar, berarti tanah tersebut merupakan pasir dengan butiran yang cukup kasar. Kohesi yang bernilai sangat kecil memperlihatkan bahwa ikatan antar partikel pada tanah tersebut kurang kuat sehingga mudah lepas jika terkena gangguan. Perbedaan yang signifikan untuk nilai kohesi dan sudut geser tanah pada pengujian pertama dan kedua memperlihatkan bahwa kondisi tanah itu sendiri kurang stabil dan parameternya mudah berubah apabila terdapat gangguan, terutama gangguan yang datang dari air yang menyebabkan tanah menjadi jenuh air.

Berdasarkan kriteria tanah yang rentan terhadap likuifaksi, hasil pengujian terhadap ketiga sample tersebut telah menunjukkan bahwa salah satu kriteria yaitu mengenai jenis tanahnya, tanah pasir, telah terpenuhi sehingga tanah di daerah yang ditinjau termasuk rentan terhadap likuifaksi. Tanah pasir pada daerah tersebut juga dinilai kurang stabil karena nilai – nilai parameternya mudah sekali berubah jika terjadi perubahan kondisi tanah. Perubahan nilai dapat dilihat pada data sudut geser dan kohesi partikel tanah, dimana kedua parameter tersebut sebenarnya merupakan parameter yang penting dalam menentukan stabilitas lereng. Tanah yang memiliki kadar air yang cukup tinggi yaitu pada pengujian pertama memperlihatkan nilai sudut geser yang relative kecil. Tanah dengan kadar air yang tinggi, apalagi sampai jenuh air, termasuk rentan terhadap likuifaksi.

Selain kriteria – kriteria tersebut, tanah yang rentan terhadap likuifaksi juga memerlukan gempa dengan kekuatan yang cukup besar dan durasi yang cukup panjang untuk dapat menyebabkan likuifaksi pada tanah tersebut. Gempa yang terjadi di Padang dikategorikan sebagai gempa yang cukup kuat yaitu dengan kekuatan 7.6 SR dan durasi yang cukup panjang yaitu sekitar 1 menit.

Kondisi muka air tanah pada daerah yang ditinjau juga menyebabkan tanah pada daerah tersebut rentan terhadap likuifaksi.

Dengan adanya hujan yang membuat muka air tanah naik hingga hanya beberapa meter dari permukaan, dan adanya beban gempa yang cukup kuat yang bekerja, ditambah kondisi tanah yang loose dan jenuh air, hal – hal tersebut memicu terjadinya likuifaksi pada daerah yang ditinjau.

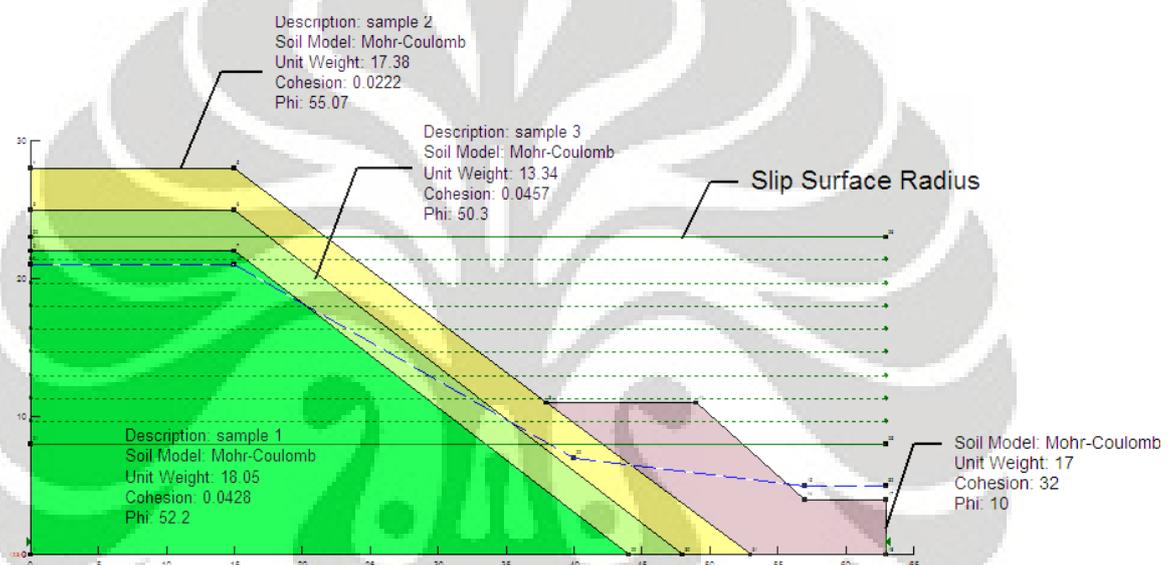
4.2. Analisa Kekuatan Lereng

Dalam bagian ini, suatu lereng tertentu akan ditinjau dan dimodelkan dengan bantuan program GeoSlope (Slope/W) untuk melihat bagaimana perilaku yang terjadi akibat adanya perubahan – perubahan yang terjadi akibat adanya gempa. Kontur yang berbukit – bukit pada daerah Gunung Tiga perlu ditinjau stabilitasnya karena dengan komposisi tanah yang ikatan antar partikelnya tidak cukup kuat, maka daerah seperti ini rawan longsor, terutama jika terjadi perubahan tegangan – tegangan dalam tanah.

Dalam menganalisa suatu kelongsoran pada lereng dengan menggunakan program GeoSlope (Slope/W), perlu diketahui beberapa informasi yang jelas mengenai bentuk geometri lereng, karakteristik fisiknya, serta parameter – parameter tanah yang menyusun lereng tersebut. Bentuk geometri dan karakteristik fisik lereng didapatkan berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, dalam hal ini penulis turun langsung ke lapangan dan meninjau lereng yang dimaksud, serta melakukan beberapa pengukuran yang memungkinkan untuk dilakukan. Selain itu juga penulis memperkirakan kondisi muka air tanah yang juga diperlukan dalam membuat pemodelan dengan program ini.

Dalam hal ini ada dua macam kasus yang dimodelkan, perbedaannya terletak pada lapisan tanah yang menyusun lereng. Dikarenakan karakteristik tanah pada sample 2 yaitu pada layer 2 yang bersifat terlalu keras dan tebal lapisan yang tidak diketahui secara pasti maka pemodelan kedua dilakukan dengan menghilangkan layer 2. Hal ini dilakukan untuk melihat kondisi paling kritis dari lereng yang ditinjau. Ketebalan masing – masing lapisan tanah tidak dapat diketahui

secara pasti sebab tidak dilakukan pengujian langsung di lapangan untuk melihat lapisan – lapisan tanah. Untuk itu, penulis mengasumsikan lapisan tanah memiliki ketebalan tertentu, yaitu 3 meter untuk lapisan pertama dan kedua, dan sisanya adalah lapisan ketiga. Lapisan tanah mengikuti kontur lereng karena diasumsikan bahwa lapisan – lapisan tanah tersebut terbentuk dari endapan material – material vulkanik yang terbawa oleh udara. Material – material tersebut mengendap begitu lama dan melalui proses alam maka menjadi suatu lapisan tanah tersendiri. Untuk pemodelan pertama dapat dilihat pada gambar berikut :

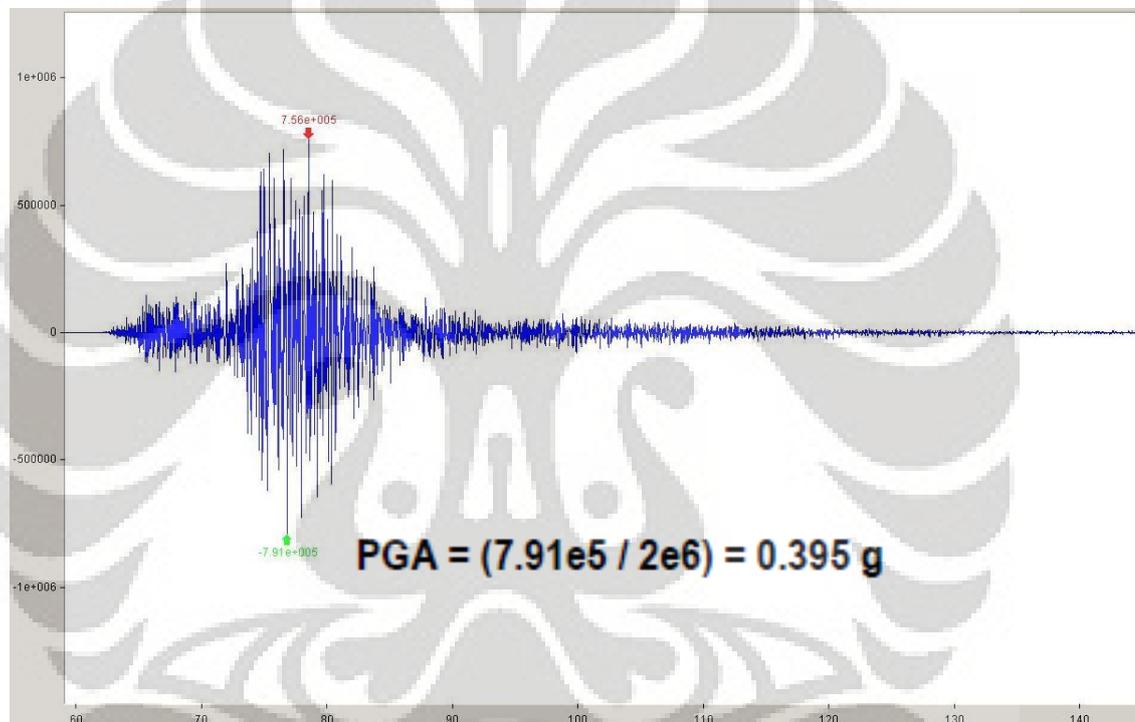


Gambar 4.1 Pemodelan Pertama, dengan tiga lapisan tanah

Pada gambar tersebut terlihat ada dua lereng dengan kemiringan yang berbeda, namun lereng yang ditinjau hanya yang bagian atas saja karena berdasarkan survey di lapangan, yang mengalami kelongsoran besar hanyalah lereng tersebut. Parameter – parameter dan kondisi geometri lereng yang digunakan pada pemodelan tersebut adalah sebagai berikut :

- Sample 1 (lapisan bawah – hijau tua)
 - ✓ $\gamma_{wet} = 18.05 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{dry} = 13.82 \text{ kN/m}^3$
 - ✓ kohesi (C) = 4.28 kPa
 - ✓ sudut geser (ϕ) = 52.20^0
- Sample 2 (lapisan tengah – hijau muda)
 - ✓ $\gamma_{wet} = 17.38 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{dry} = 13.62 \text{ kN/m}^3$

- ✓ kohesi (C) = 2.22 kPa
- ✓ sudut geser (ϕ) = 55.07⁰
- Sample 3 (lapisan atas – kuning)
 - ✓ $\gamma_{wet} = 17.69$ kN/m³ ; $\gamma_{dry} = 13.34$ kN/m³
 - ✓ kohesi (C) = 4.57 kPa
 - ✓ sudut geser (ϕ) = 50.30⁰
- Bentuk geometri lereng
 - ✓ Tinggi lereng keseluruhan hingga tanah keras (H) = 28 meter
 - ✓ Kemiringan : α_1 (atas) = 35⁰ dan α_2 (bawah) = 41⁰

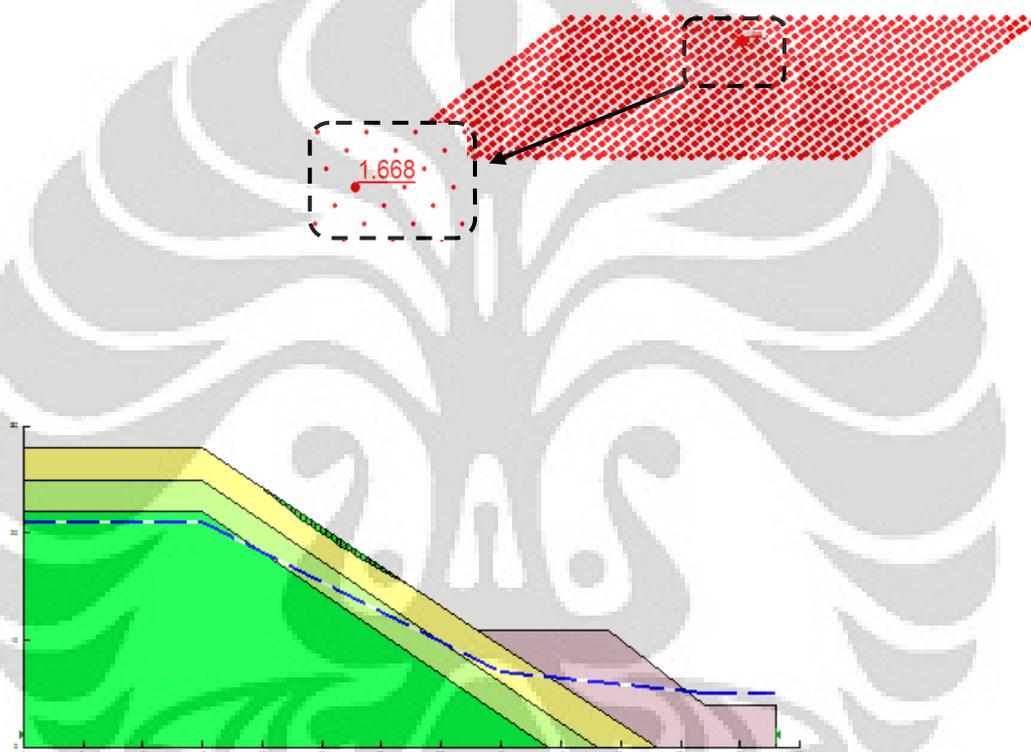


Gambar 4.2 grafik Peak Ground Acceleration untuk gempa Padang, 2009 (sumber: BMKG)

Selain parameter tanah dan kondisi geometri lereng, diperlukan juga koefisien seismic. Program Geoslope (Slope/W) ini menggunakan pendekatan pseudostatic dalam menghitung stabilitas lereng dengan beban gempa, maka diperlukan suatu koefisien pseudostatik atau yang sering disebut dengan koefisien seismic (k_h). Koefisien seismic ini mengontrol gaya pseudostatik yang bekerja pada tanah. Jika material lereng diasumsikan dalam kondisi rigid, maka gaya intarsia (gaya pseudostatik) akan sama besar dengan percepatan horizontal gempanya. Namun, pada kenyataannya, kondisi material lereng tidak rigid, maka

diperlukan suatu koefisien pseudostatik yang bernilai lebih kecil dari percepatan horizontal maksimumnya (a_{max}). Ada beberapa asumsi nilai k_h yang diusulkan para ahli, diantaranya adalah penghitungan nilai k_h dengan menggunakan rumus $k_h = 0.5a_{max}/g$ (Hynes-Griffin and Franklin, 1984). Rumus tersebut yang digunakan dalam menghitung koefisien seismic gempa yang digunakan pada pemodelan.

Pemodelan dilakukan dengan beberapa tahap dengan bentuk kelongsoran dari beberapa model dapat dilihat berikut ini :

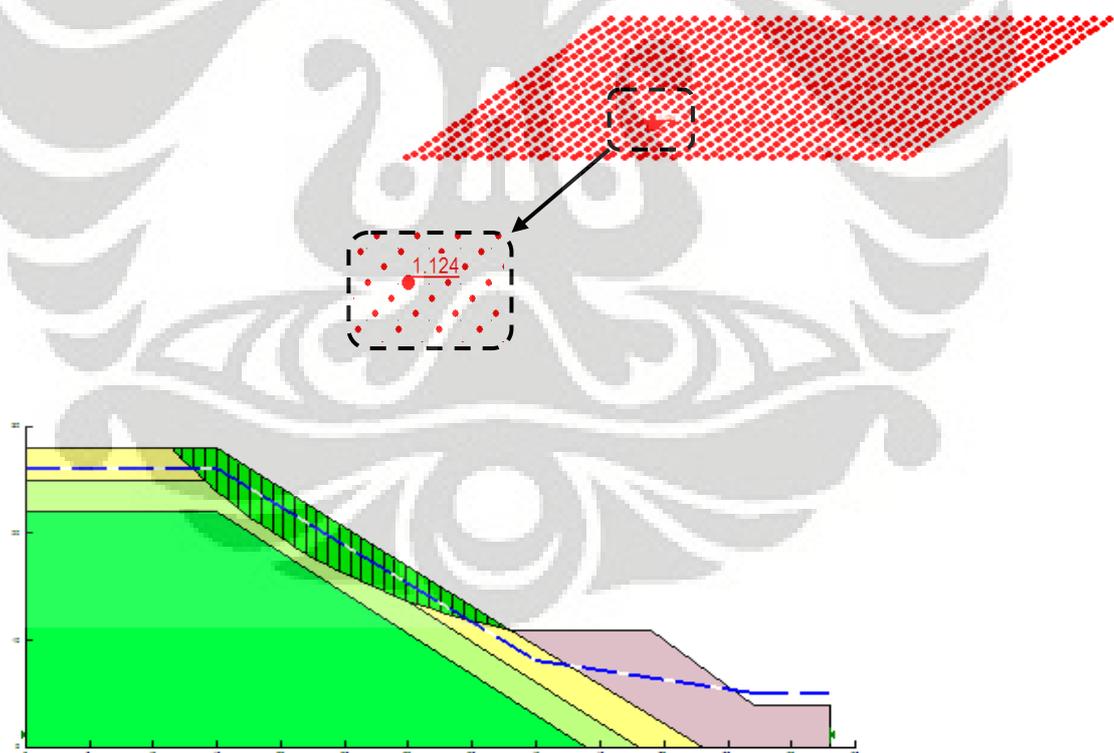


Gambar 4.3 Bentuk kelongsoran dan FS untuk MAT 7 meter dibawah permukaan tanah dan tanpa beban gempa

Pada tahap awal, dilakukan pemodelan berdasarkan kondisi normal lereng eksisting, sebelum terjadinya gangguan luar seperti bekerjanya beban gempa ataupun kenaikan muka air tanah akibat adanya hujan. Pemodelan awal ini dilakukan untuk melihat stabilitas area yang ditinjau sebelum terjadinya gempa. Pada tahap ini, terlihat bahwa kondisi lokasi tersebut cukup aman, melihat dengan parameter, kondisi geometris, dan kondisi muka air tanah yang seperti itu, nilai factor keamanan lereng tersebut mencapai 1.668 yang sudah melebihi batas aman yaitu 1.5. Dengan kondisi awal yang seperti ini, diasumsikan

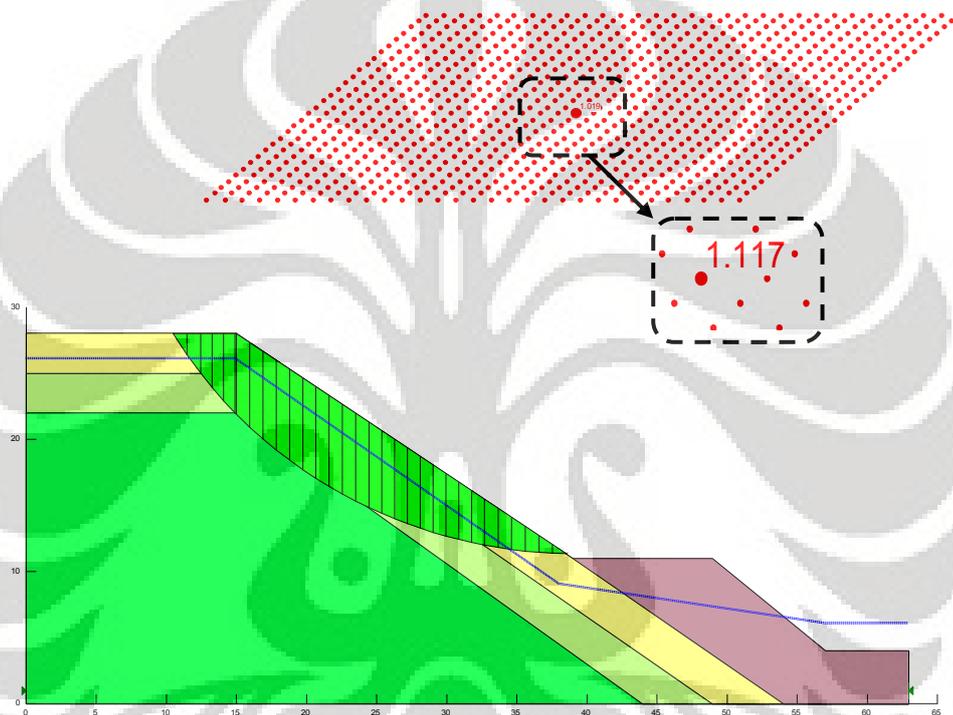
lereng tersebut aman, selama tidak terjadi gangguan lain baik berupa gempa atau perubahan cuaca yang menyebabkan adanya perubahan pada muka air tanah.

Berikutnya akan diberikan variasi pada pemodelan, sesuai dengan asumsi kondisi yang terjadi di lapangan. Variasi pertama adalah pada perubahan muka air tanah. Hal ini dilakukan berdasarkan survey yang menyatakan bahwa sebelum terjadinya gempa, pada daerah Padang Pariaman terjadi hujan dengan intensitas yang cukup tinggi. Hujan tersebut menyebabkan adanya kenaikan pada muka air tanah. Kenaikan muka air tanah pada pemodelan dilakukan secara bertahap dengan tujuan untuk melihat perubahan nilai factor keamanan untuk setiap kondisinya. Berikut ini adalah bentuk kelongsoran dan nilai factor keamanan dimana muka air tanah naik pada kondisi yang diasumsikan sebagai kondisi maksimumnya yaitu 2 meter dibawah permukaan tanah, namun belum diberlakukan beban gempa.



Gambar 4.4 Bentuk kelongsoran dan FS untuk MAT 2 meter dibawah permukaan tanah dan tanpa beban gempa

Berdasarkan data yang didapat mengenai gempa Padang, September 2009 yang lalu, dari hasil kalibrasi terhadap angka Peak Ground Acceleration (PGA), didapatkan percepatan gempa sebesar 0,395g. Untuk itu, pemodelan selanjutnya dilakukan dengan memberikan beban gempa yang bervariasi mulai dari 0.2g – 0.395g. Untuk kondisi paling kritis dimana percepatan gempa diberikan sebesar 0.395g, nilai factor keamanan dan bentuk kelongsoran dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.5 Bentuk kelongsoran dan FS untuk MAT 2 m dibawah permukaan tanah dengan beban gempa 0.395g

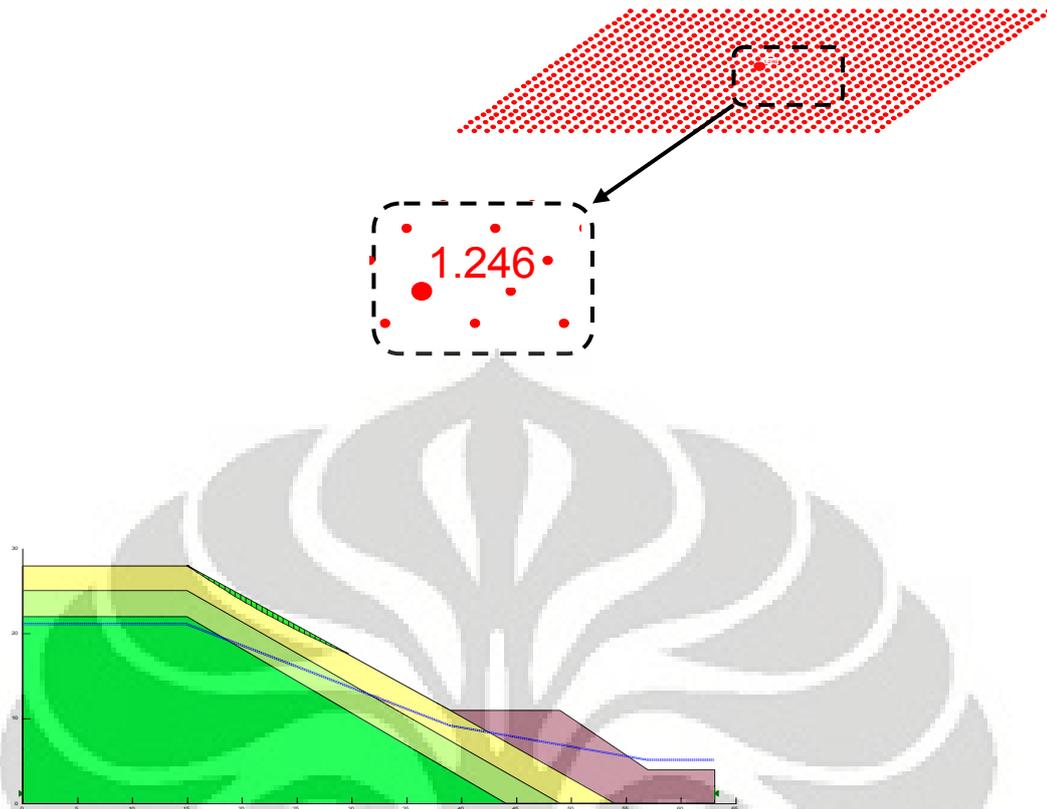
Untuk perubahan nilai factor keamanan berdasarkan perubahan kenaikan MAT (Muka Air Tanah) dan perubahan beban gempa yang diberikan dapat dilihat pada table berikut ini :

No model	Keterangan	Factor of Safety	
		Bishop	Ordinary
1	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah	1.668	1.654
2	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah	1.668	1.654
3	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah	1.668	1.637
4	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah	1.124	1.025
5	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.20g (koefisien seismic = 0.1)	1.117	0.835
6	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.25g (koefisien seismic = 0.125)	1.088	0.825
7	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.30g (koefisien seismic = 0.15)	1.062	0.790
8	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.395g (koefisien seismic = 0.1975)	1.019	0.771

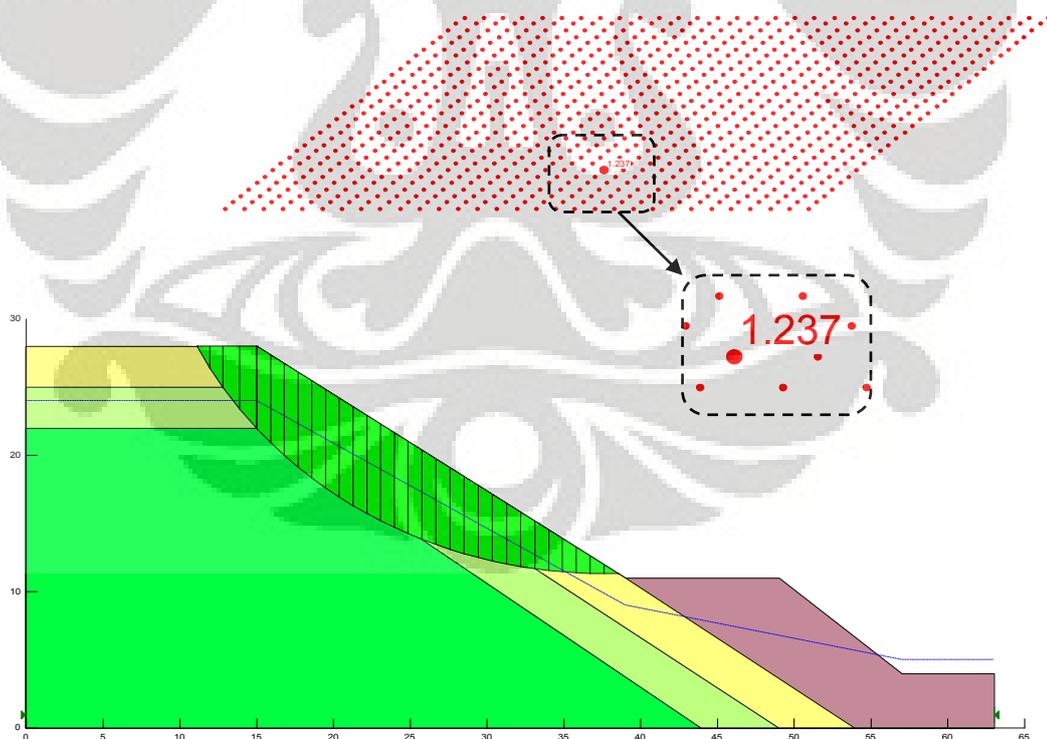
Tabel 4.4 Perubahan nilai FS untuk masing - masing kondisi

Table diatas menunjukkan pemodelan dengan variasi muka air tanah dan variasi beban gempa pada kondisi muka air tanah yang paling kritis. Dengan melihat hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa kenaikan muka air tanah dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Hal tersebut terlihat dari menurunnya factor keamanan pada pemodelan dengan kondisi muka air tanah yang semakin dangkal. Meskipun tanpa beban gempa, namun jika muka air tanah semakin dekat dengan permukaan, maka stabilitas lereng tersebut menurun. Tetapi, tidak terlihat adanya penurunan yang signifikan pada nilai factor keamanan untuk variasi muka air tanah tanpa beban gempa. Sedangkan pengaruh kenaikan beban gempa pada kondisi muka air tanah yang paling kritis, paling dangkal, menunjukkan penurunan yang cukup besar pada nilai factor keamanan.

Pemodelan – pemodelan tambahan juga dilakukan untuk melihat lebih jelas mengenai kestabilan lereng akibat adanya variasi muka air tanah saat berlangsungnya gempa. Berikut ini pemodelan dilakukan dengan memvariasikan muka air tanah dengan adanya beban gempa.



Gambar 4.6 Bentuk Kelongsoran dan FS ntuk MAT -7m Dengan Beban Gempa 0.395g



Gambar 4.7 bentuk Kelongsoran Untuk MAT -4m Dengan Beban Gempa 0.395g

Bentuk kelongsoran untuk kondisi muka air tanah yang paling dalam, dengan berbagai beban gempa, tidak jauh berbeda, yang terjadi

hanyalah longsor pada permukaan. Sedangkan untuk kondisi muka air tanah yang cukup dangkal memperlihatkan hasil kelongsoran yang cukup besar.

Hasil factor keamanan yang dihasilkan dari pemodelan tersebut dapat dilihat pada table berikut ini.

No model	Keterangan	Factor of Safety	
		Bishop	Ordinary
1	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.20g ($K_{seis} = 0.1$)	1.440	1.429
2	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.20g ($K_{seis} = 0.1$)	1.440	1.429
3	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.20g ($K_{seis} = 0.1$)	1.372	1.134
4	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.25g ($K_{seis} = 0.125$)	1.384	1.373
5	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.25g ($K_{seis} = 0.125$)	1.383	1.373
6	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.25g ($K_{seis} = 0.125$)	1.333	1.098
7	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.30g ($K_{seis} = 0.15$)	1.332	1.321
8	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.30g ($K_{seis} = 0.15$)	1.332	1.321
9	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.30g ($K_{seis} = 0.15$)	1.297	1.057
10	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.395g ($K_{seis} = 0.1925$)	1.246	1.235
11	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.395g ($K_{seis} = 0.1925$)	1.246	1.235
12	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.395g ($K_{seis} = 0.1925$)	1.237	1.023

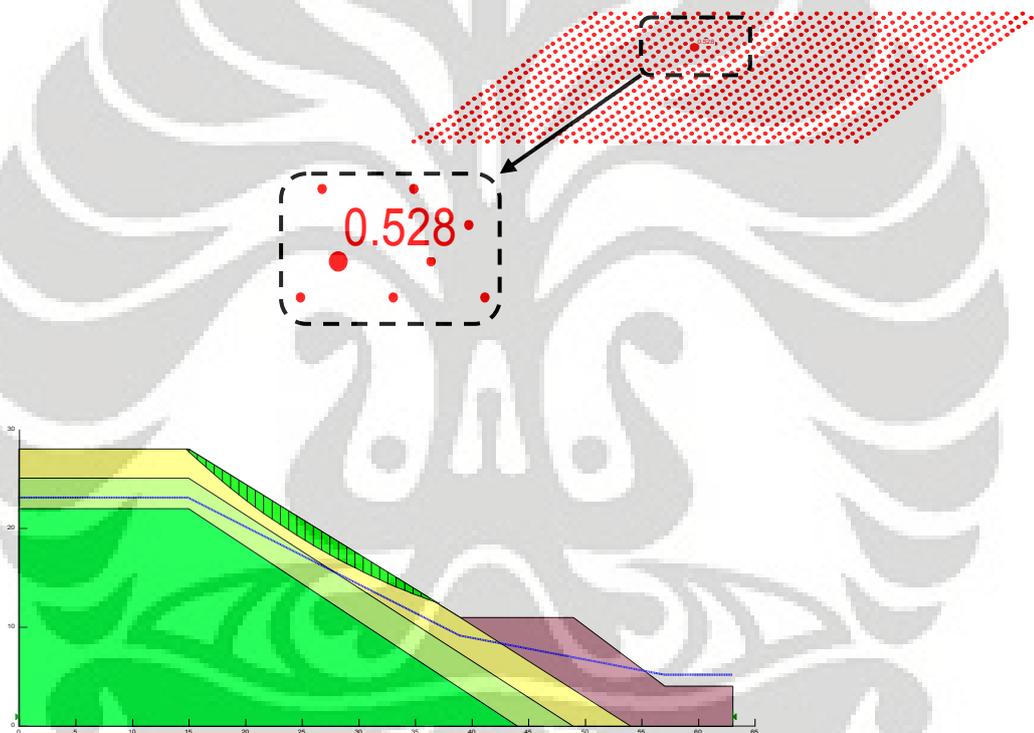
Tabel 4.5 Perubahan Nilai FS untuk Masing - masing Kondisi MAT

Pemodelan tambahan juga dilakukan dengan menggunakan parameter tanah pada Test I, dimana sudut geser tanah bernilai kecil dan kohesi bernilai besar. Parameter tanah yang digunakan pada pemodelan tambahan dapat dilihat berikut ini :

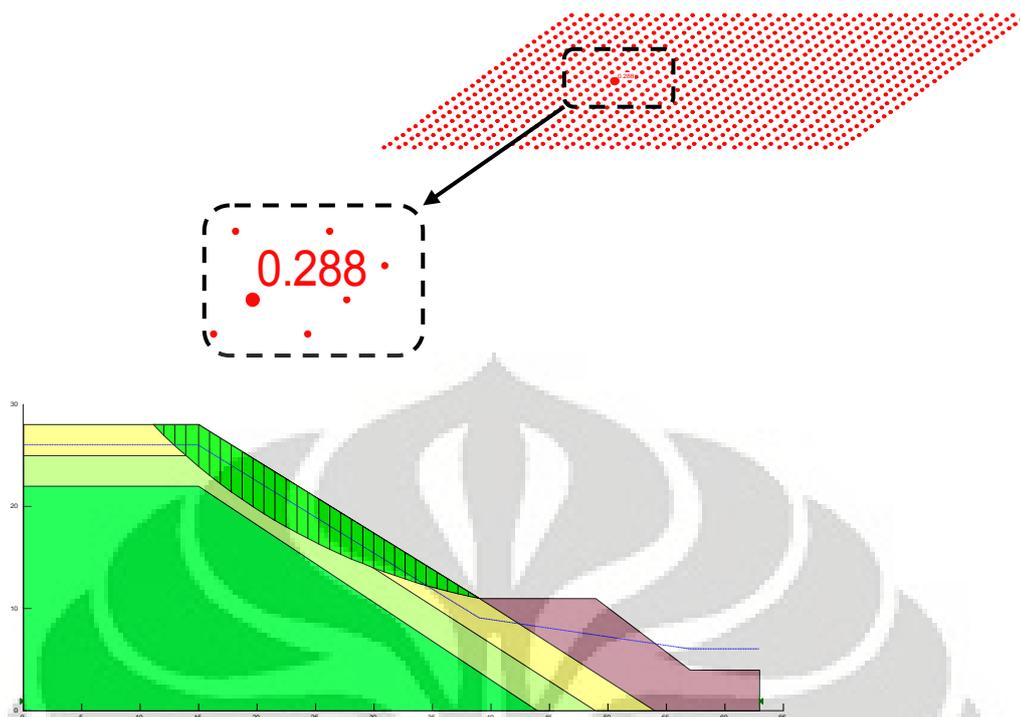
- Sample 1 (lapisan bawah – hijau tua)
 - ✓ $\gamma_{wet} = 18.05 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{dry} = 13.82 \text{ kN/m}^3$
 - ✓ kohesi (C) = 7.44 kPa
 - ✓ sudut geser (ϕ) = 26.02^0
- Sample 2 (lapisan tengah – hijau muda)

- ✓ $\gamma_{wet} = 17.38 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{dry} = 13.62 \text{ kN/m}^3$
- ✓ kohesi (C) = 17.68 kPa
- ✓ sudut geser (ϕ) = 22.31°
- Sample 3 (lapisan atas – kuning)
 - ✓ $\gamma_{wet} = 17.69 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{dry} = 13.34 \text{ kN/m}^3$
 - ✓ kohesi (C) = 19.82 kPa
 - ✓ sudut geser (ϕ) = 19.01°

Variasi pemodelan dilakukan terhadap kedalaman muka air tanah tanpa gempa, variasi beban gempa, dan variasi kedalaman muka air tanah dengan adanya beban gempa. Berikut ini merupakan bentuk kelongsoran untuk masing – masing kondisi :



Gambar 4.8 Bentuk Kelongsoran dan FS untuk MAT -5m Tanpa Beban Gempa



Gambar 9 Bentuk Kelongsoran dan FS untuk MAT -2m untuk Beban Gempa 0.395g

Bentuk kelongsoran yang didapat tidak begitu besar jika dibandingkan dengan pemodelan dengan parameter dari Test II. Pada table berikut ini dapat dilihat perubahan

No model	Keterangan	Factor of Safety	
		Bishop	Ordinary
1	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah	0.528	0.517
2	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah	0.528	0.517
3	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah	0.528	0.517
4	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah	0.375	0.345
5	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.20g (koefisien seismic = 0.1)	0.323	0.290
6	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.25g (koefisien seismic = 0.125)	0.312	0.284
7	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.30g (koefisien seismic = 0.15)	0.304	0.273
8	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.395g (koefisien seismic = 0.1975)	0.288	0.257

Tabel 4.6 Perubahan Nilai FS untuk Berbagai Kondisi dengan Parameter pada Test I

Bentuk kelongsoran untuk pemodelan dengan variasi muka air tanah pada saat berlangsungnya gempa tidak jauh berbeda dengan variasi

sebelumnya, yang terjadi hanyalah berupa longsoran pada lapisan tanah yang paling atas. Sedangkan perubahan nilai factor keamanan untuk kondisi muka air tanah yang berubah – ubah dengan berkerjanya beban gempa dapat dilihat pada table berikut ini :

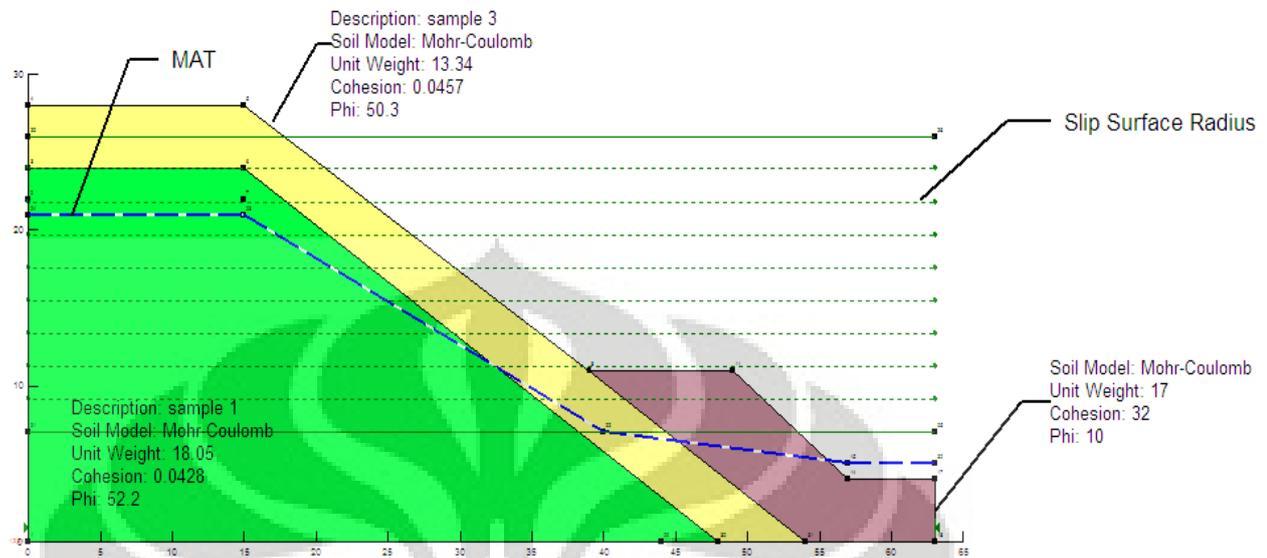
No model	Keterangan	Factor of Safety	
		Bishop	Ordinary
1	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.20g ($K_{seis}= 0.1$)	0.440	0.429
2	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.20g ($K_{seis}= 0.1$)	0.440	0.429
3	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.20g ($K_{seis}= 0.1$)	0.440	0.429
4	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.25g ($K_{seis}= 0.125$)	0.423	0.412
5	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.25g ($K_{seis}= 0.125$)	0.423	0.412
6	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.25g ($K_{seis}= 0.125$)	0.423	0.412
7	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.30g ($K_{seis}= 0.15$)	0.407	0.397
8	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.30g ($K_{seis}= 0.15$)	0.407	0.397
9	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.30g ($K_{seis}= 0.15$)	0.407	0.397
10	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.395g ($K_{seis}= 0.1925$)	0.381	0.371
11	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.395g ($K_{seis}= 0.1925$)	0.381	0.371
12	MAT berada 4 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan koefisien 0.395g ($K_{seis}= 0.1925$)	0.381	0.371

Tabel 4.7 Nilai FS untuk Berbagai Kondisi MAT dengan Parameter Pada Test I

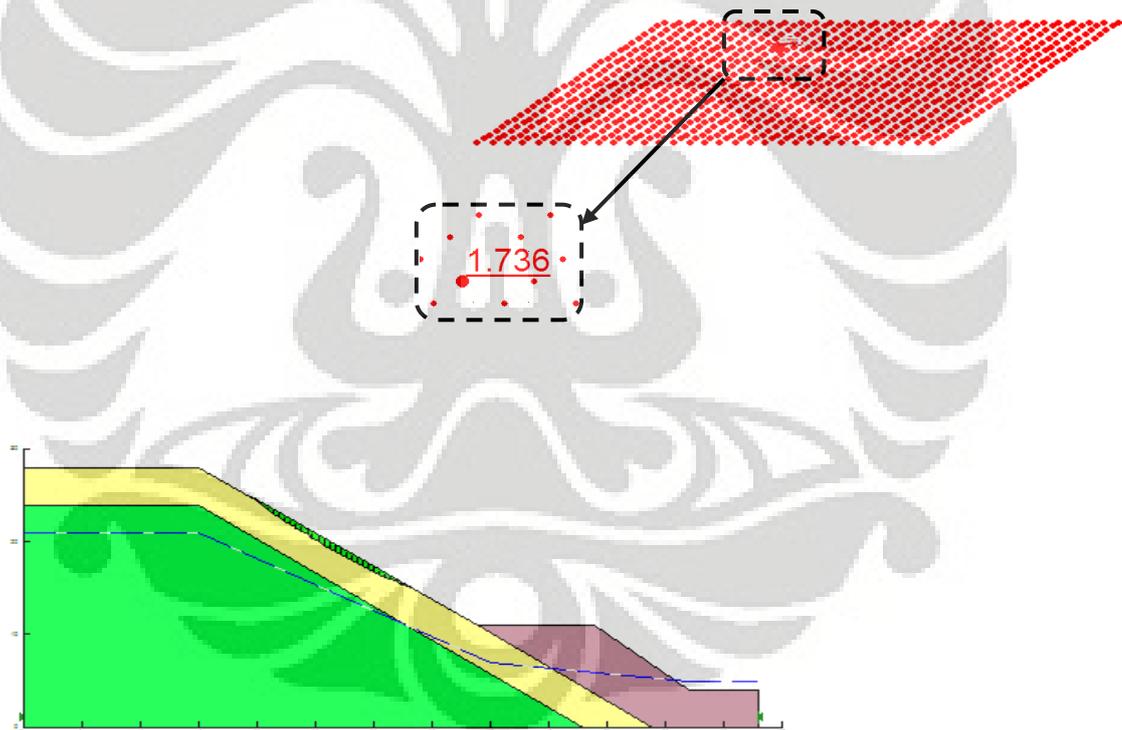
Dari keseluruhan pemodelan dengan memasukan parameter tanah yang didapat dari Test I maka dapat dilihat bahwa lereng menjadi sangat tidak stabil. Untuk itu, jika tanah pada lereng berada pada kondisi dengan kadar air yang tinggi, maka akan menyebabkan penurunan yang signifikan pada stabilitasnya. Sudut geser yang relative kecil menyebabkan tanah tidak dapat menahan beban terutama beban gempa yang dimodelkan sebagai gaya horizontal.

Pemodelan kedua dilakukan dengan menghilangkan lapisan tanah 2 dan hanya menggunakan lapisan 1 dan lapisan 3 untuk melihat

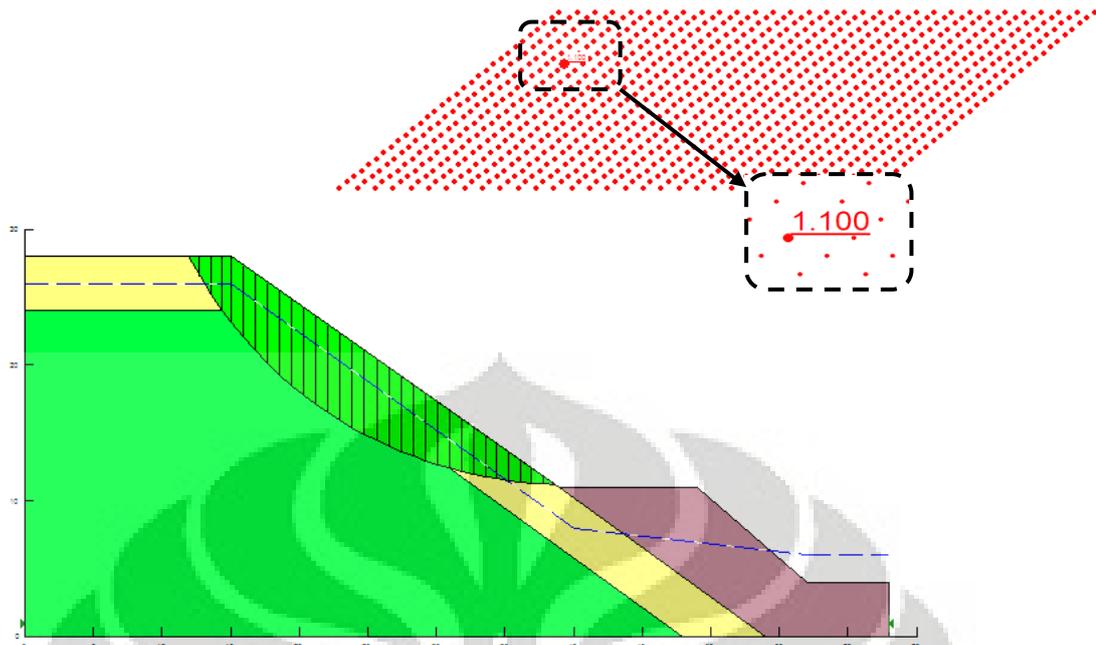
kondisi kritis pada lereng tersebut. Berikut ini pemodelan untuk kondisi tersebut :



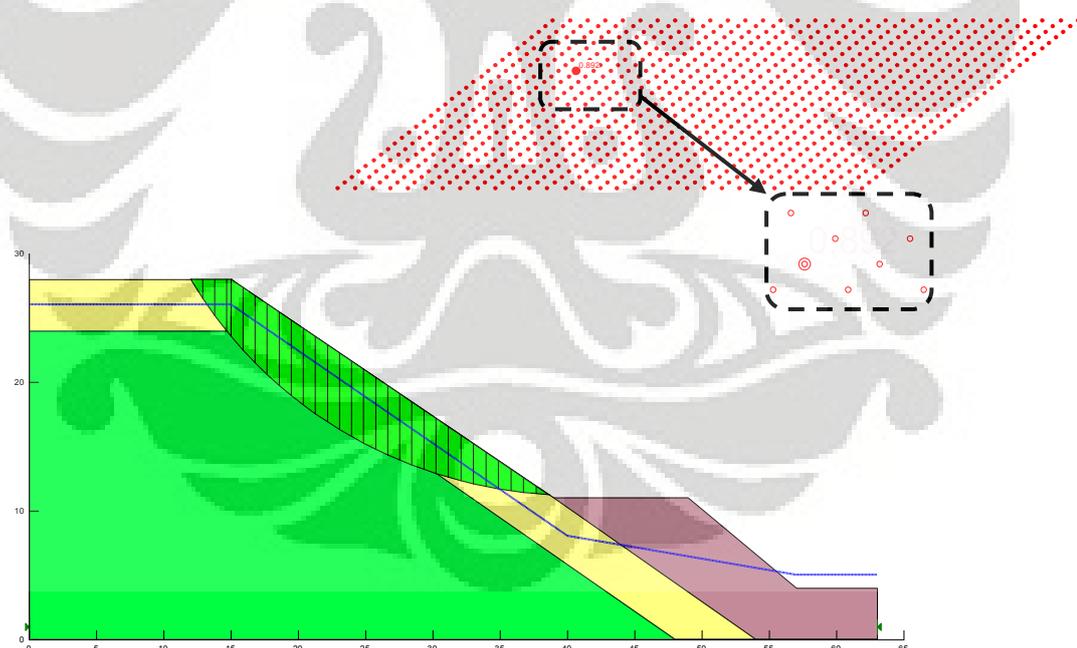
Gambar 4.10 Pemodelan Kedua, dengan 2 lapisan tanah



Gambar 4.11 Bentuk kelongsoran dan FS untuk MAT 7 meter dibawah permukaan tanah dan tanpa beban gempa



Gambar 4.12 Bentuk kelongsoran dan FS untuk MAT 2 meter di bawah permukaan tanah dan tanpa beban gempa



Gambar 4.13 Bentuk kelongsoran dan FS untuk MAT 2 m di bawah permukaan tanah dan beban gempa 0.395g

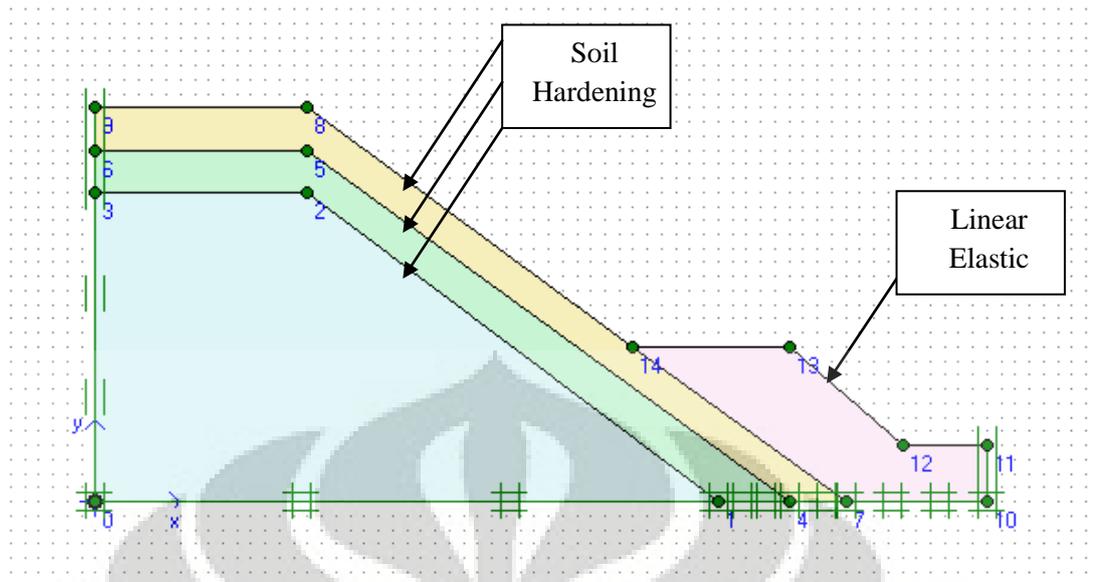
Perubahan factor keamanan untuk masing – masing kondisi pada pemodelan dengan dua lapisan tanah tersebut dapat dilihat pada table berikut ini :

No model	Keterangan	FS	
		Bishop	Ordinary
1	MAT berada 7 m dibawah permukaan tanah	1.736	1.724
2	MAT berada 5 m dibawah permukaan tanah	1.715	1.369
3	MAT berada 3 m dibawah permukaan tanah	1.318	0.991
4	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah	1.100	0.765
5	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.20g (koefisien seismic = 0.1)	0.974	0.689
6	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.25g (koefisien seismic = 0.125)	0.949	0.688
7	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.30g (koefisien seismic = 0.15)	0.927	0.673
8	MAT berada 2 m dibawah permukaan tanah, Beban seismic dengan percepatan gempa 0.395g (koefisien seismic = 0.1925)	0.892	0.651

Tabel 4.8 Perubahan FS untuk masing - masing kondisi

Analisis dengan program Slope/W (Geoslope) hanya menunjukkan keruntuhan pada titik yang paling kritis dan bentuk deformasi yang terjadi adalah seperti busur lingkaran. Untuk itu, penulis mencoba memodelkan kasus ini dengan program Plaxis agar dapat diketahui seberapa besar deformasi yang terjadi pada lereng yang ditinjau. Kemudian, pemodelan dengan Plaxis akan dibandingkan dengan hasil pemodelan dengan program Geoslope.

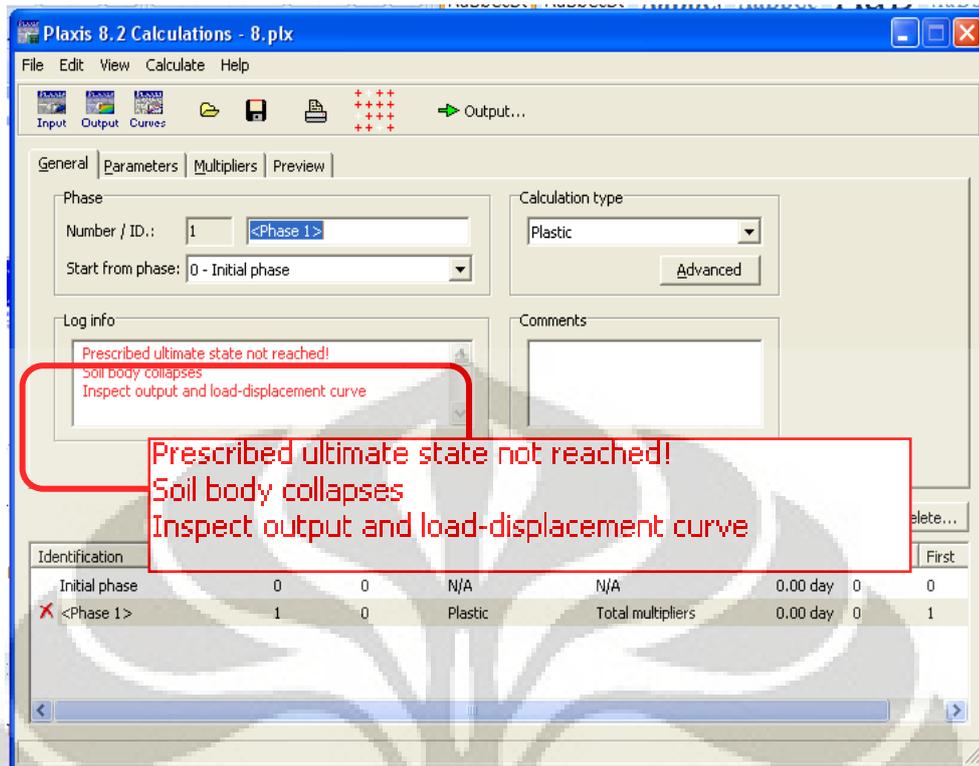
Kalkulasi dengan program Plaxis dilakukan dengan membuat variasi pada besaran gempa. Untuk kondisi geometri lereng dan parameter tanah dibuat sama dengan pemodelan pada Slope/W (Geoslope). Namun, karena adanya perbedaan metoda analisis antara Plaxis dan Slope/W (Geoslope) maka soil model pada Plaxis dibuat sedemikian sehingga memenuhi kriteria perhitungan. Berikut ini adalah material model yang digunakan dalam pemodelan dengan program Plaxis :



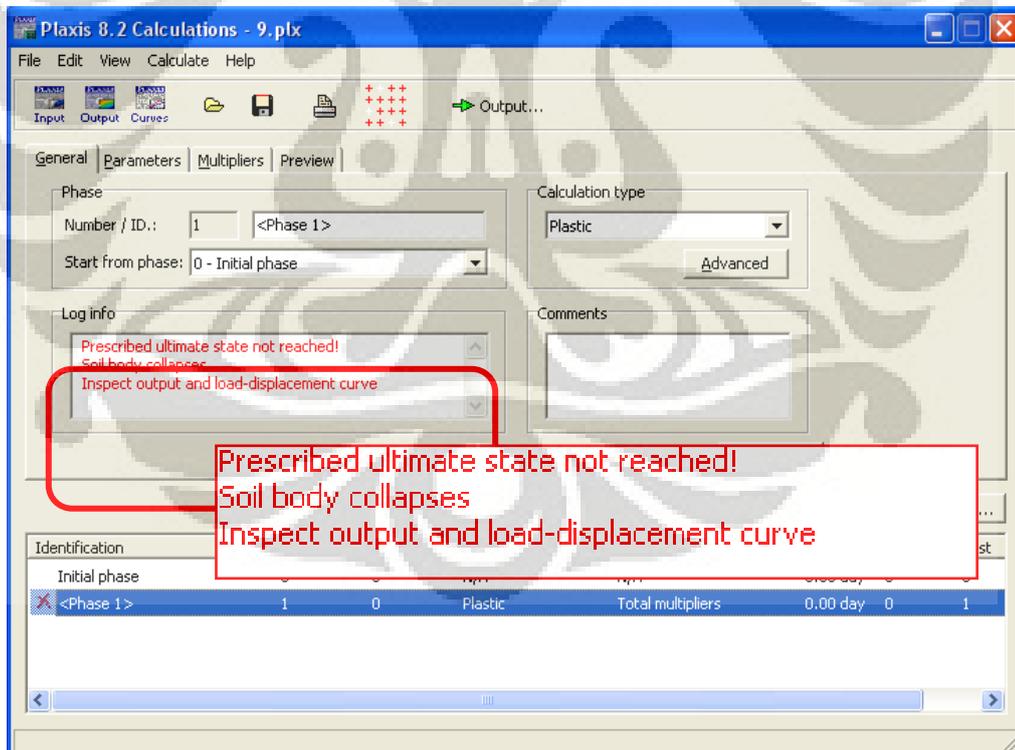
Gambar 4.14 Pemodelan Awal Pada Plaxis

Material model soil hardening digunakan untuk memodelkan tanah dengan parameter – parameter yang cenderung mendekati tanah berbutir kasar. Dalam hal ini, parameter yang digunakan yaitu pasir dengan sudut geser sangat besar dan kohesi yang sangat kecil, maka untuk menyesuaikan dengan parameter tersebut, digunakanlah model soil hardening. Karena Plaxis menggunakan metode finite elemen dalam perhitungannya, maka untuk membatasi analisis stabilitas pada lereng bagian atas saja, material model pada lereng bagian bawah harus dibuat elastic (linear elastic). Dengan begitu, massa tanah tersebut dianggap sudah elastis dan diasumsikan tidak akan bergerak lagi. Untuk variasi besaran gempa, digunakan koefisien seismic 0.1 (percepatan gempa 0.2g) dan 0.1925 (percepatan gempa 0.395g).

Setelah melakukan kalkulasi dengan program Plaxis, didapatkan hasil yang kurang memuaskan yaitu massa tanah sudah runtuh sebelum dapat dihitung factor keamanannya. Hal ini terjadi untuk kedua kasus dengan koefisien sesimik yang berbeda. Berikut ini adalah hasil run dengan program Plaxis yang menunjukkan adanya kegagalan



Gambar 15 Running dengan Plaxis, Percepatan Gempa 0.2g



Gambar 16 Running dengan Plaxis, Percepatan Gempa 0.395g

Dengan melihat hasil tersebut, penulis mengasumsikan bahwa pemodelan pada Plaxis tidak dapat diteruskan. Kemungkinan besar nilai

parameter tanah yang digunakan tidak memenuhi kriteria. Dalam hal ini, tanah dengan parameter tersebut sudah cenderung runtuh (collapse) sehingga tidak dapat dihitung sampai akhir dengan program Plaxis. Solusi yang dapat dilakukan adalah mengganti nilai parameter tanah, namun hal tersebut akan membuat penelitian ini menjadi tidak relevan karena kasus tidak dimodelkan dengan parameter aslinya. Dengan hasil yang seperti ini, maka tidak dapat dilakukan perbandingan antara software Slope/W (Geoslope) dengan Plaxis.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Gempa yang mengguncang kota Padang dan Pariaman pada tanggal 30 September 2009 yang lalu tergolong gempa yang kuat karena memiliki magnitudo 7.6 SR dengan kedalaman pusat gempa yaitu 80 km. Gempa dengan kekuatan yang besar dan berlangsung cukup lama ini, yaitu sekitar satu menit, dapat memicu terjadinya likuifaksi pada tanah – tanah yang rentan terhadap likuifaksi.

Likuifaksi merupakan suatu kondisi dimana tanah mendapat beban siklik yang umumnya beban gempa yang mengakibatkan tanah berdeformasi dari keadaan solid menjadi cair (*liquefied*) karena pengaruh meningkatnya tegangan air pori pada tanah terstulasi yang ikatannya lepas (*loose*). Untuk melihat fenomena likuifaksi ini, penulis meninjau suatu lereng dengan deformasi yang cukup besar.

Berdasarkan parameter – parameter yang didapatkan dari pengujian di laboratorium, terlihat bahwa pada lereng tersebut terjadi peristiwa likuifaksi karena material tanah penyusun lereng sangat rentan terhadap likuifaksi. Tanah yang berjenis pasir ditambah dengan hujan yang menyebabkan adanya kenaikan muka air tanah yang menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan air pori, serta adanya beban gempa yang besar dengan durasi yang cukup lama menyebabkan terjadinya peristiwa likuifaksi pada lereng tersebut. Tanah pada lereng yang berada pada kondisi solid menjadi seperti berwujud cair sehingga terjadi kelongsoran yang cukup besar pada lereng – lereng di daerah tersebut.

Dengan memodelkan kondisi lereng pada program Slope/W (Geoslope), dapat disimpulkan bahwa ada beberapa factor penting yang menyebabkan terjadinya penurunan stabilitas lereng yang terlihat dari

adanya penurunan factor keamanan. Faktor – factor yang menyebabkan stabilitas lereng menjadi berkurang :

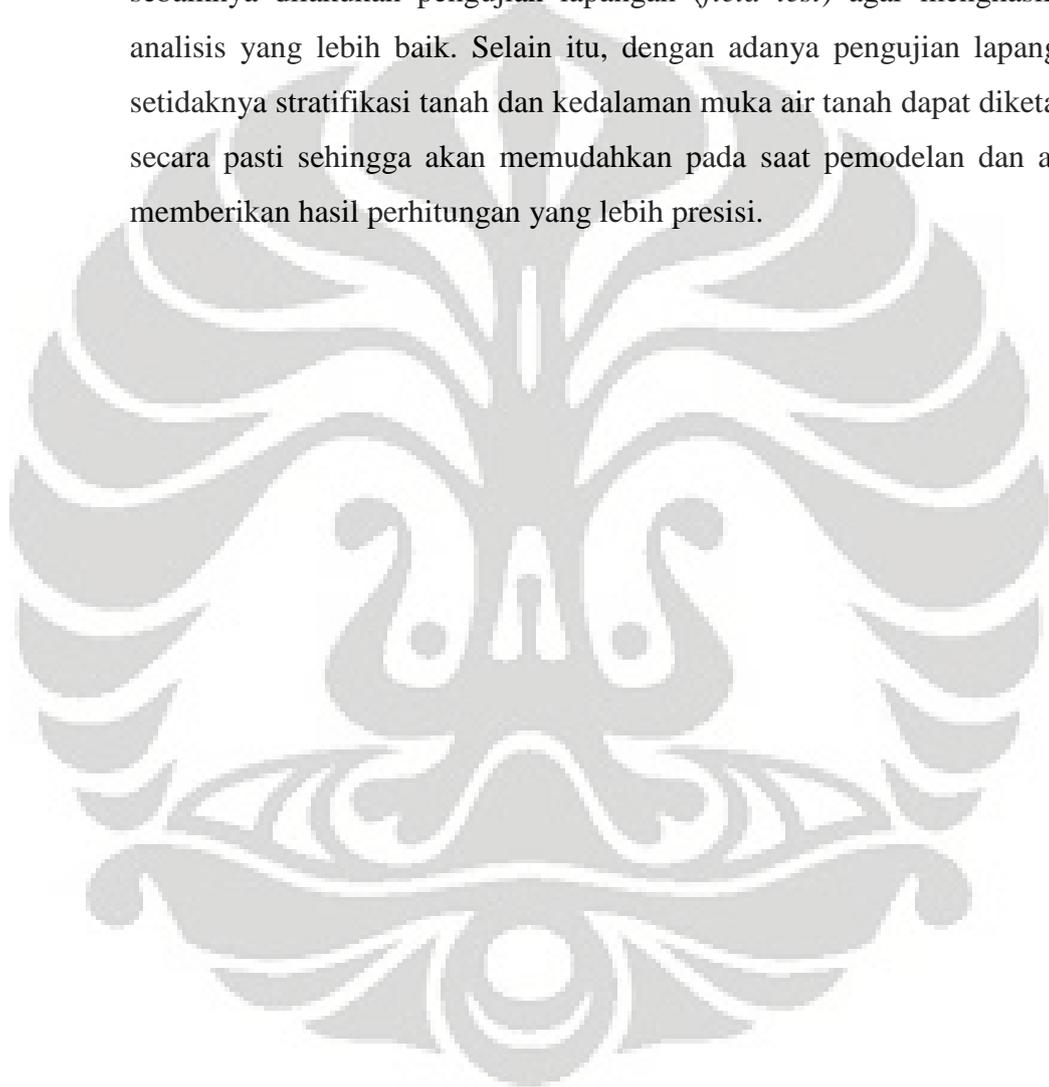
- Perubahan (kenaikan) muka air tanah
- Adanya beban gempa yang cukup besar
- Parameter tanah (sudut geser dan kohesi) yang tidak memadai

Dari keseluruhan hasil pemodelan dan analisis, didapatkan bahwa kondisi lereng paling kritis adalah pada saat beban gempa dengan percepatan 0.395g bekerja pada lereng dan kondisi muka air tanah berada sangat dekat dengan permukaan tanah, yaitu sekitar 2m. Dengan parameter tanah pada kondisi optimum (Test II), factor keamanan lereng pada keadaan paling kritisnya adalah sebesar 1.019 untuk pemodelan dengan tiga layer tanah, dan 0.892 untuk pemodelan dengan dua layer tanah. Sedangkan dengan parameter tanah pada keadaan awal (Test I) didapatkan hasil factor keamanan yang jauh lebih kecil yaitu 0.288 pada keadaan paling kritisnya. Nilai - nilai factor keamanan tersebut sangat jauh dari nilai aman. Hasil kalkulasi dengan program Plaxis tidak dapat dibandingkan dengan hasil kalkulasi dengan Slope/W (Geoslope) karena kalkulasi dengan Plaxis menunjukkan bahwa massa tanah pada pemodelan sudah runtuh (*collapse*) sehingga tidak dapat dihitung factor keamanan serta deformasinya.

Dari pembahasan pada bab – bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa daerah Gunung Tiga, Padang Pariaman cenderung tidak stabil karena material tanah pada daerah tersebut merupakan material tanah yang rentan dan mudah berubah jika terkena gangguan, dalam hal ini adalah terjadinya gempa berkekuatan besar. Melihat kondisi yang cukup rawan ini, sebaiknya tidak ada warga yang membangun tempat tinggal pada daerah tersebut, dan untuk warga di sekitarnya sebaiknya diberikan pemahaman mengenai mitigasi bencana. Warga yang bertempat tinggal di sekitar Gunung Tiga, Padang Pariaman hendaknya lebih waspada terhadap gangguan – gangguan yang terjadi karena kondisi tanah yang kurang stabil.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh penulis, fenomena likuifaksi dianalisis berdasarkan parameter – parameter tanah yang didapat dari hasil pengujian laboratorium terhadap sample tanah yang diambil pada lokasi yang ditinjau. Untuk penelitian – penelitian lebih lanjut, sebaiknya dilakukan pengujian lapangan (*field test*) agar menghasilkan analisis yang lebih baik. Selain itu, dengan adanya pengujian lapangan, setidaknya stratifikasi tanah dan kedalaman muka air tanah dapat diketahui secara pasti sehingga akan memudahkan pada saat pemodelan dan akan memberikan hasil perhitungan yang lebih presisi.



DAFTAR REFERENSI

- Craig, R. F. (1991). *Mekanika Tanah* (Dr. Ir. Budi Susilo Soepandji, Penerjemah). Jakarta : PT. Gelora Aksara Pratama
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil Liquefaction During Earthquake*. Oakland, CA : Earthquake Engineering Research Institute
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kramer, Steven L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Budhu, Muni. (2007). *Soil Mechanics and Foundations*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- M. Das, Braja. (1985). *Principles of Geotechnical Engineering*. Boston : PWS Publishers.
- Terzaghi, Ralph B. Peck, Gholamreza Mestri. (1996). *Soil Mechanics in engineering Practice*. New York : John Wiley & Sons, Inc
- Jefferies, Mike & Been, Ken. (2006). *Soil Liquefaction : A Critical State Approach*. London : Taylor & Francis e-library

U.S. Army Corps of Engineers, Dept. of the Army. (2003). *Engineering and Design : Slope Stability*. Washington, DC : Author

Hakam, Abdul. (2010, February). *Liquefaction Investigation due to the 30S'09 Padang Earthquake*. Proceedings of International Symposium and the 2nd AUN/Seed-Net Regional Conference on Geo-Disaster Mitigation in ASEAN. Bali, Indonesia.

Soehaimi, et. al. (2010, February). *Earthquake Hazards and Risk Assesment of Padang – Pariaman Destructive Earthquake of September 30, 2009*. Proceedings of International Symposium and the 2nd AUN/Seed-Net Regional Conference on Geo-Disaster Mitigation in ASEAN. Bali, Indonesia.

SLOPE/W Manual. (2003). Canada : Geo-Slope International Ltd.

PLAXIS V.8 Manual. (2002). Netherland : A. A. Balkema Publishers.

“*Kegempaan : Likuifaksi, seberapa pentingkah?*”, Pusat Penelitian Geoteknologi, LIPI. www.geotek.lipi.go.id/p=57,

“*Bencana gempa di Padang termasuk fenomena Likuifaksi?*”, Bipnewsforum. www.engineeringtown.com/home/teach.

LAMPIRAN



Figure 1 sample tanah



Figure 2 sample tanah yang telah di-oven



Figure 3 sample 1 kondisi basah



Figure 4 sample 2 kondisi basah



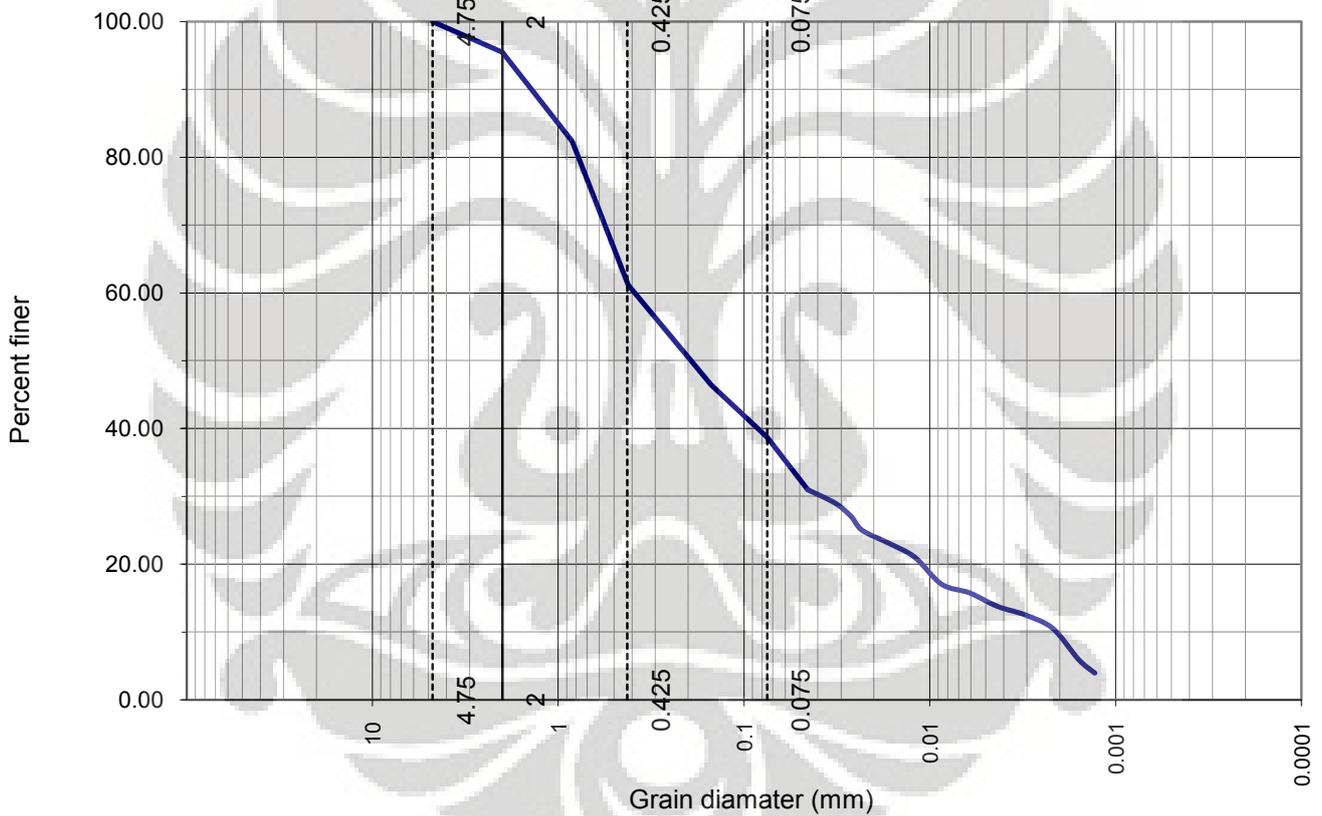
Figure 5 sample 3 kondisi basah



GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PROJECT		DEPTH OF SAMPLE - m
LOCATION		DATE OF TESTING 11/06/10
BOREHOLE NO.	SAMPLE NO. 1 (BAWAH)	TESTED BY
PROJECT NUMBER:		

<< Gravel	Sand	Silt	Clay >>
-----------	------	------	---------



Composition	
Sand	61.5 %
Silt	28 %
Clay	10.5 %

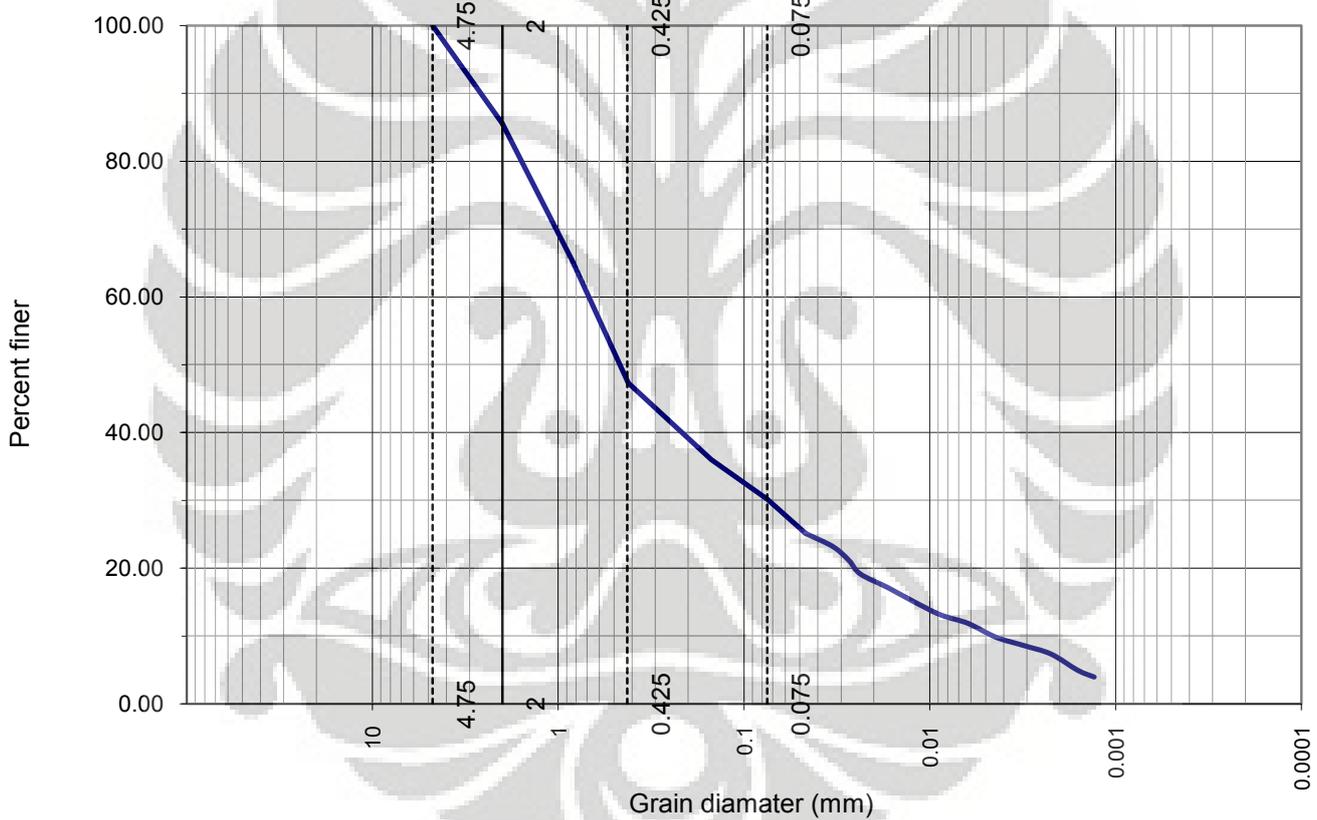
Visual Soil Description	SILTY SAND
Soil Classification	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION



GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PROJECT		DEPTH OF SAMPLE - m
LOCATION		DATE OF TESTING 11/06/10
BOREHOLE NO.	SAMPLE NO. 2 (TENGAH)	TESTED BY
PROJECT NUMBER:		

<< Gravel	Sand	Silt	Clay >>
-----------	------	------	---------



Composition	
Sand	70 %
Silt	23 %
Clay	7 %

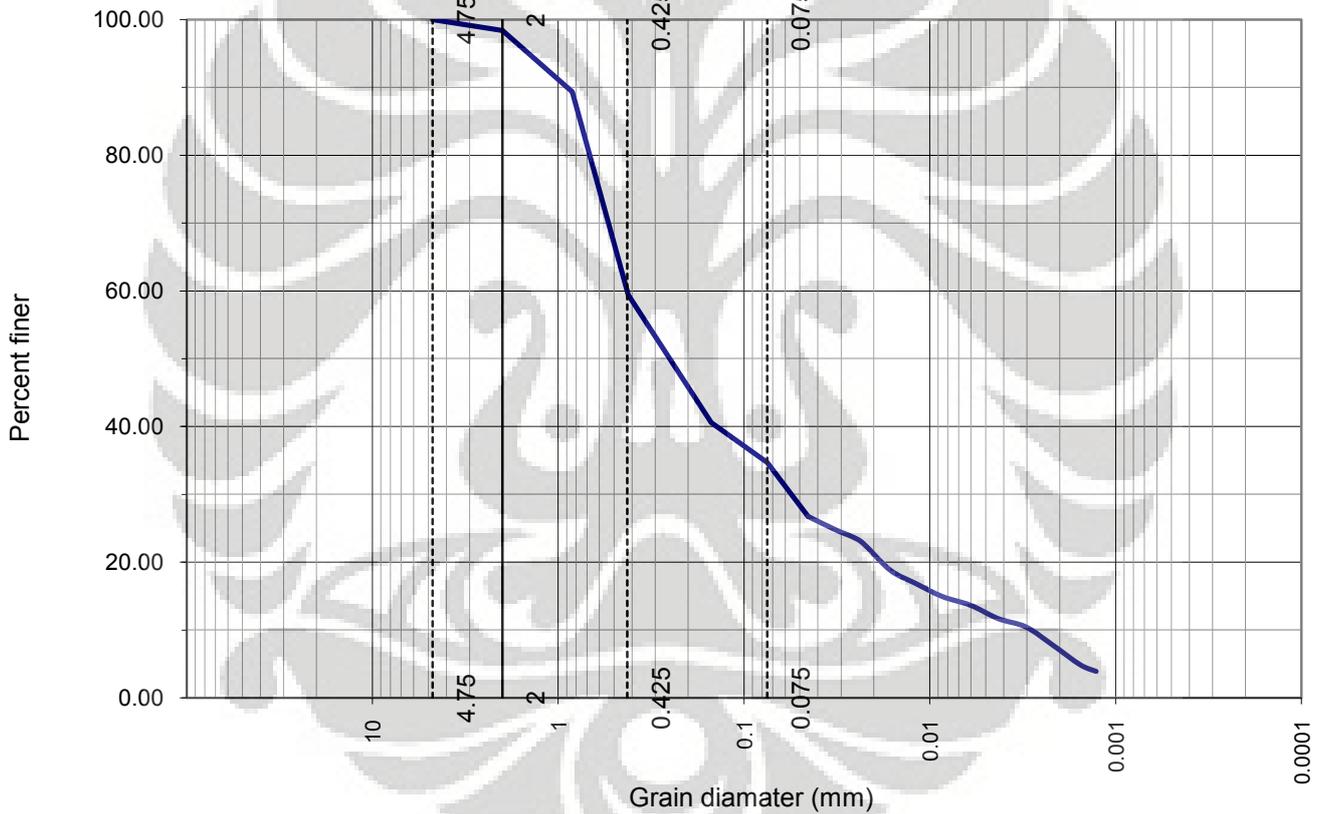
Visual Soil Description	SILTY SAND
Soil Classification	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION



GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PROJECT		DEPTH OF SAMPLE - m
LOCATION		DATE OF TESTING 11/06/10
BOREHOLE NO.	SAMPLE NO. 3 (ATAS)	TESTED BY
PROJECT NUMBER:		

<< Gravel	Sand	Silt	Clay >>
-----------	------	------	---------



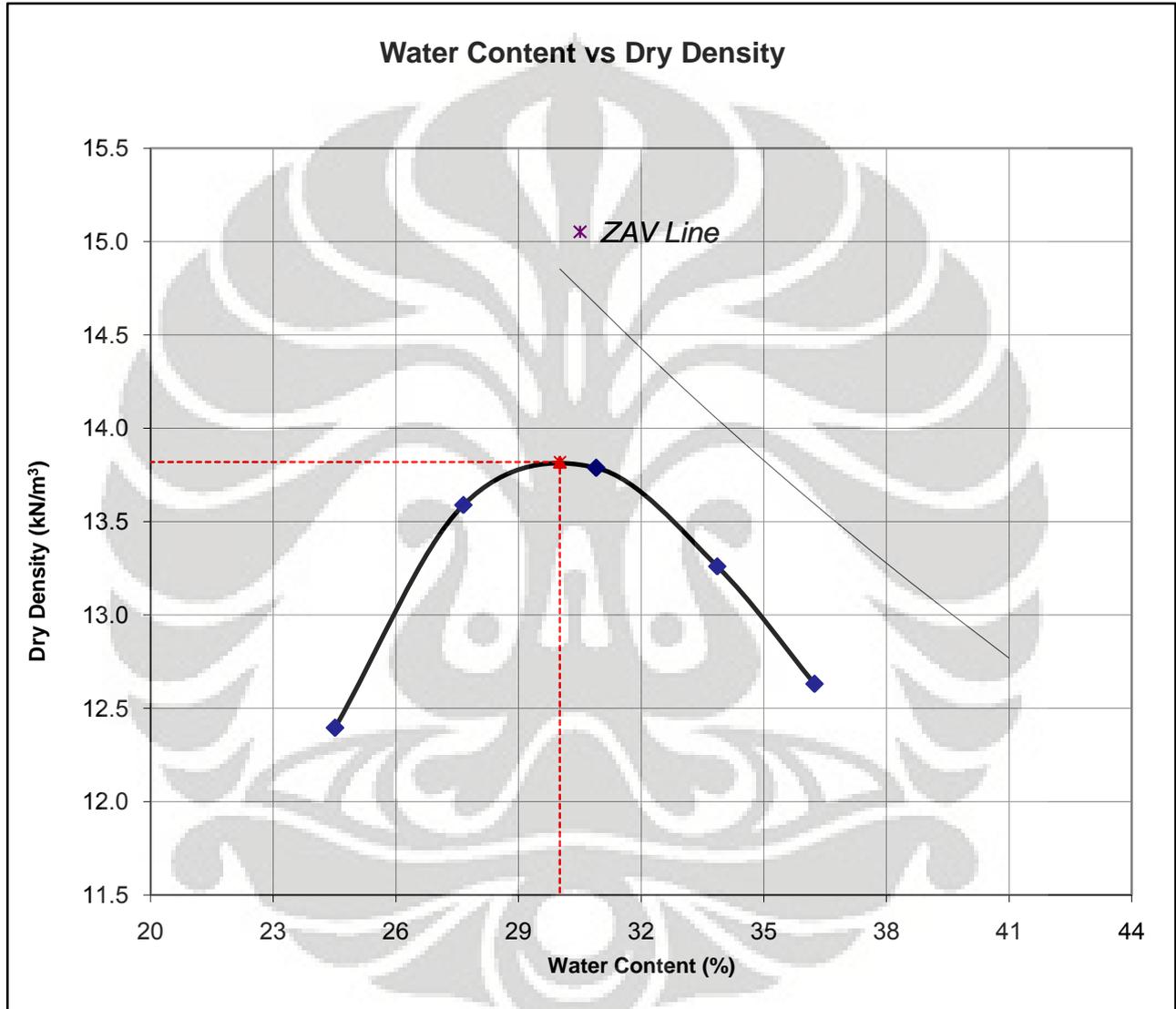
Composition	
Sand	65.5 %
Silt	27 %
Clay	7.5 %

Visual Soil Description	SILTY SAND
Soil Classification	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION



STANDARD COMPACTION TEST

PROJECT PENELITIAN (FELICIA RENATA)		DATE OF TESTING 12/02/10	
LOCATION LAB. MEKTAN DEPT. SIPIL U.I		SAMPLE Ex. PADANG (SAMPLE 1, BAWAH)	TESTED BY 0.00
PROJECT NUMBER:			



MAXIMUM DRY DENSITY ($\gamma_{dry,max}$)	13.82 kN/m³
OPTIMUM WATER CONTENT (w_{opt})	30.01 %
SPECIFIC GRAVITY (G_s)	2.68



STANDARD COMPACTION TEST

PROJECT

PENELITIAN (FELICIA RENATA)

DATE OF TESTING

12/02/10

LOCATION

LAB. MEKTAN DEPT. SIPIL U.I

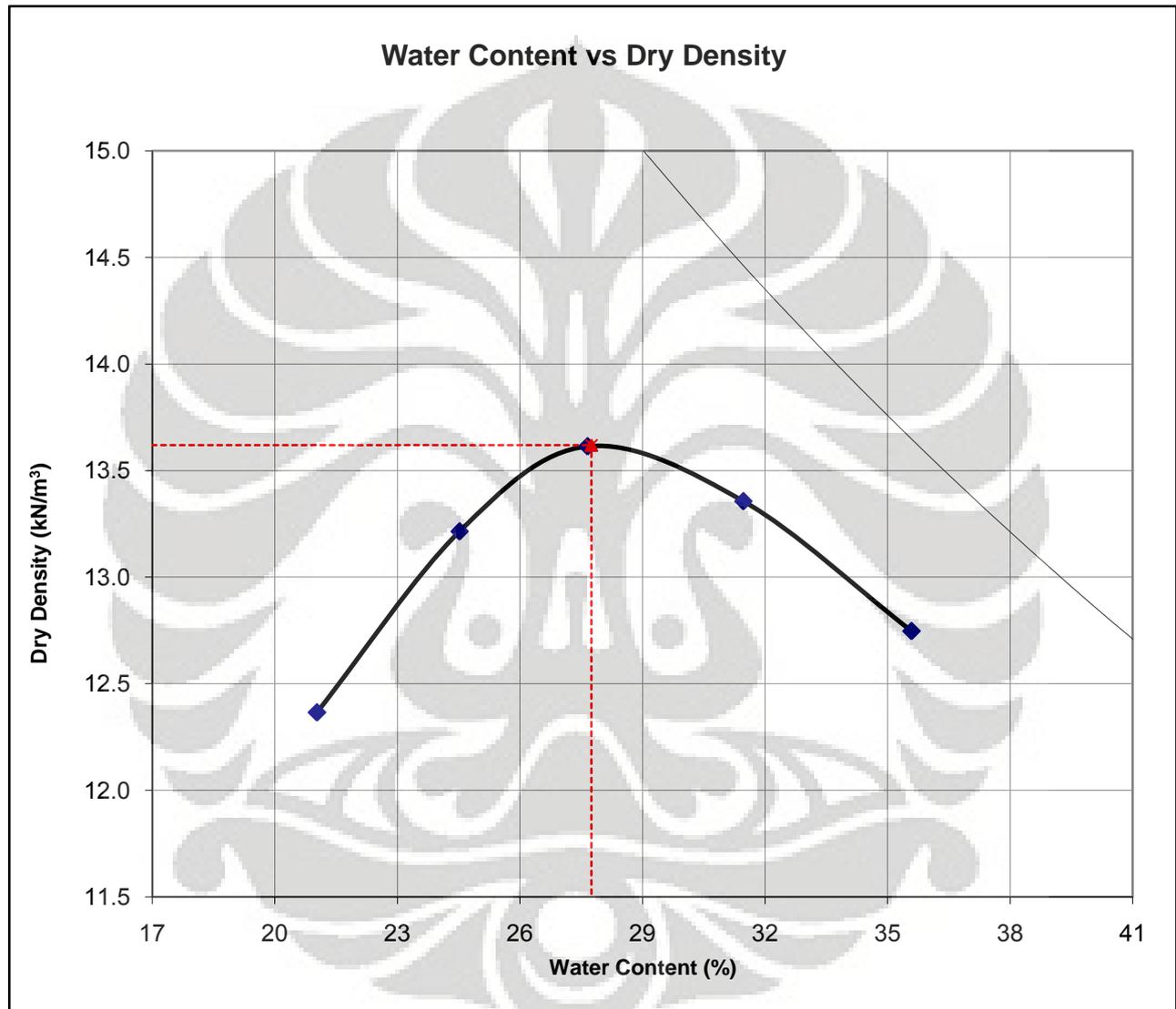
SAMPLE

Ex. PADANG (SAMPLE 2, TENGAH)

TESTED BY

0.00

PROJECT NUMBER:

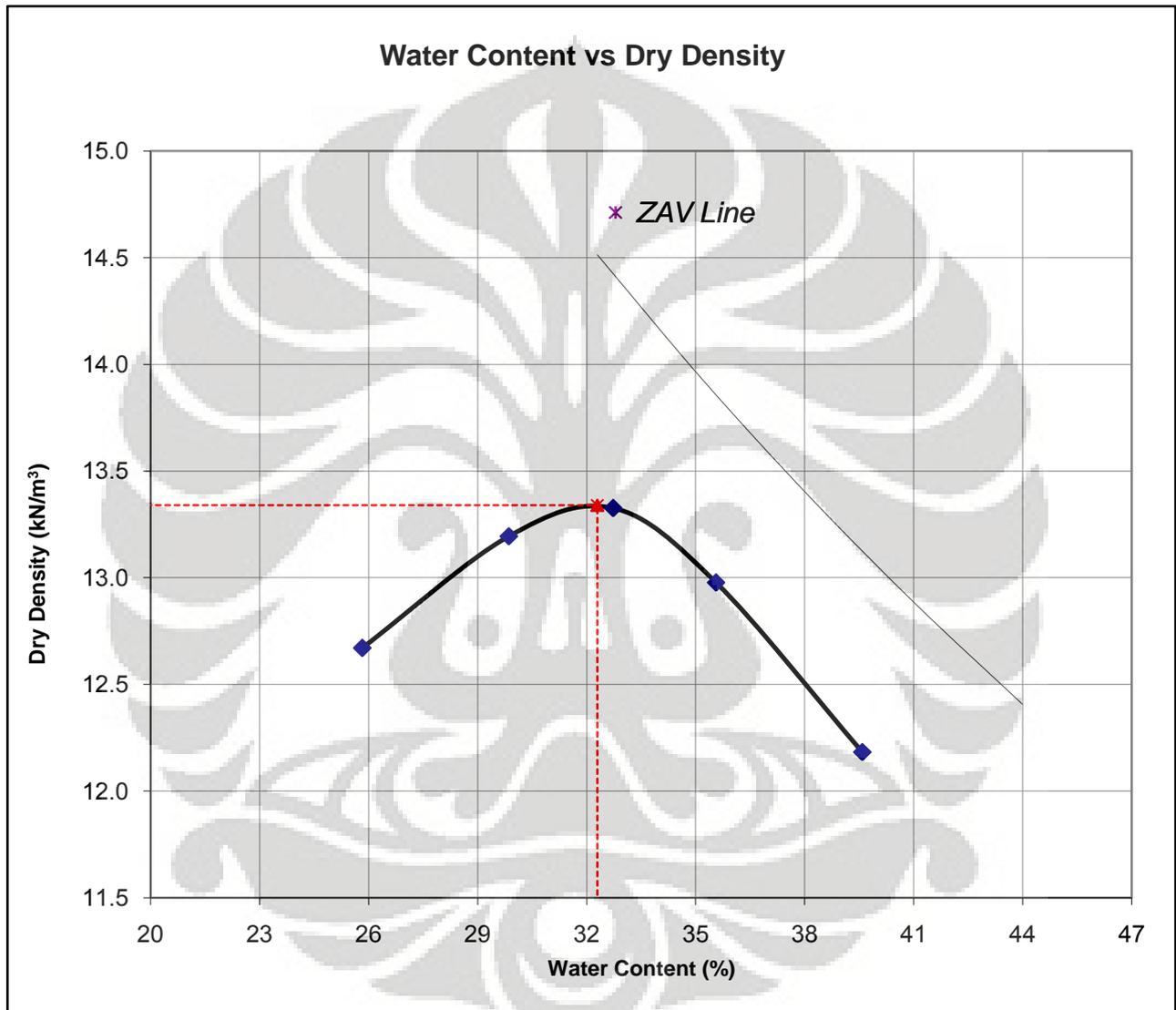


MAXIMUM DRY DENSITY ($\gamma_{dry,max}$)	13.62 kN/m³
OPTIMUM WATER CONTENT (w_{opt})	27.75 %
SPECIFIC GRAVITY (Gs)	2.654



STANDARD COMPACTION TEST

PROJECT PENELITIAN (FELICIA RENATA)		DATE OF TESTING 12/02/10	
LOCATION LAB. MEKTAN DEPT. SIPIL FTUI	SAMPLE Ex. PADANG (SAMPLE 3, ATAS)	TESTED BY 0.00	
PROJECT NUMBER:			



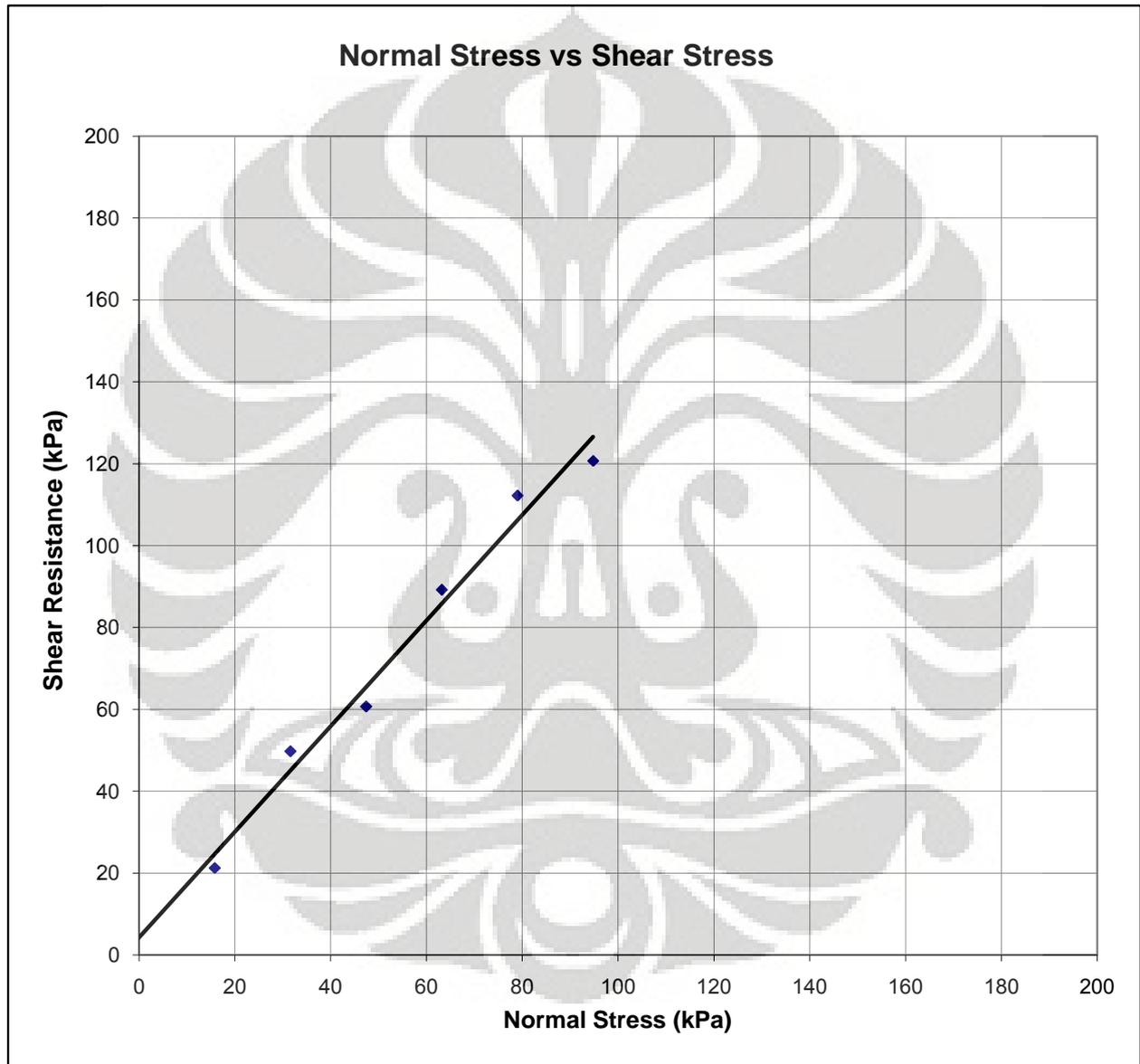
MAXIMUM DRY DENSITY ($\gamma_{dry,max}$)	13.34 kN/m³
OPTIMUM WATER CONTENT (w_{opt})	32.3 %
SPECIFIC GRAVITY (G_s)	2.732



DIRECT SHEAR TEST

PROJECT SKRIPSI	DEPTH OF SAMPLE - m
LOCATION LAB. MEKTAN	DATE 40336
BOREHOLE NO.	TESTED BY FELICYA RENATHA

PROJECT NUMBER: SAMPLE 1 - TEST II



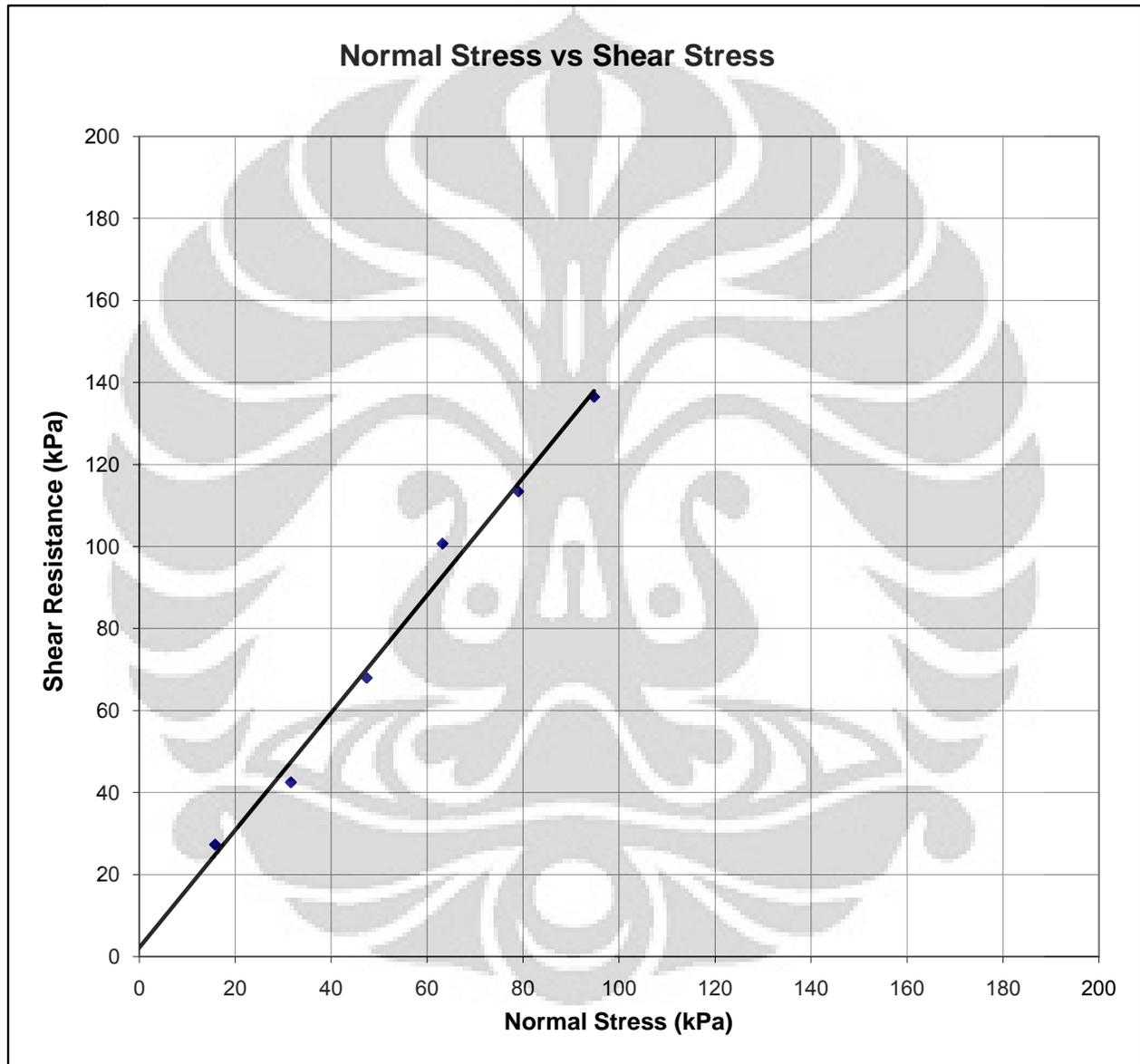
APPARENT COHESION	(c)	4.29 kPa
ANGLE OF SHEARING RESISTANCE	(ϕ)	52.22 °



DIRECT SHEAR TEST

PROJECT SKRIPSI	DEPTH OF SAMPLE - m
LOCATION LAB. MEKTAN	DATE 40336
BOREHOLE NO.	TESTED BY FELICYA RENATHA

PROJECT NUMBER: SAMPLE 2 - TEST II



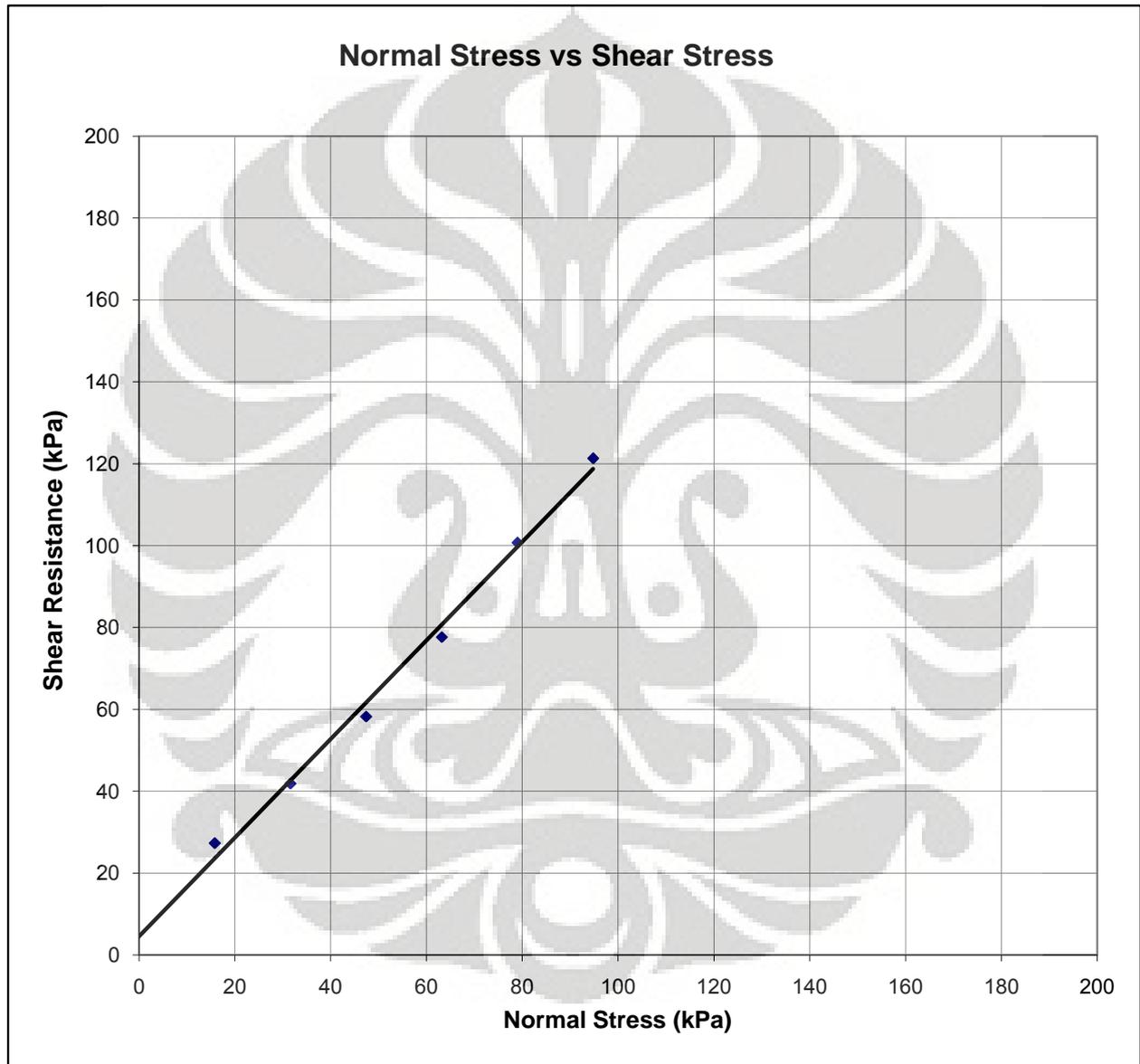
APPARENT COHESION	(c)	2.22 kPa
ANGLE OF SHEARING RESISTANCE	(ϕ)	55.07 °



DIRECT SHEAR TEST

PROJECT SKRIPSI	DEPTH OF SAMPLE - m
LOCATION LAB. MEKTAN	DATE 40336
BOREHOLE NO.	TESTED BY FELICYA RENATHA

PROJECT NUMBER: SAMPLE 3 - TEST II



APPARENT COHESION	(c)	4.57 kPa
ANGLE OF SHEARING RESISTANCE	(ϕ)	50.30 °