

**KAJIAN STABILITAS LERENG PIPA PENYALURAN PANAS BUMI  
DENGAN VARIASI TEKANAN AIR PORI PADA *CLUSTER J-I P.T*  
PERTAMINA *GEOTHERMAL* ULUBELU KABUPATEN TANGGAMUS**

**(Skripsi)**

**Oleh :**

**YUDI OKTARIANSYAH**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## ABSTRAK

### **KAJIAN STABILITAS LERENG PIPA PENYALURAN PANAS BUMI DENGAN VARIASI DERAJAT KEJENUHAN PADA CLUSTER J-I P.T PERTAMINA GEOTHERMAL ULUBELU KABUPATEN TANGGAMUS**

Oleh

**YUDI OKTARIANSYAH**

Tanggamus adalah salah satu daerah di Lampung yang memiliki potensi panas bumi besar. Pemerintah Provinsi Lampung mengklaim Provinsi tersebut mempunyai potensi panas bumi sebesar 2.867 MW atau 10% dari total potensi panas bumi Indonesia. Melihat kondisi tanah di daerah tersebut yang memiliki kontur yang curam dan cukup terjal, maka sebelum melakukan pembangunan jalur pipa panas bumi di area tersebut, PT. Pertamina *Geothermal Energy*, melakukan investigasi dan analisis keamanan pada lokasi tersebut. Salah satu parameter untuk menentukan faktor keamanan lereng adalah dengan menggunakan bantuan program perangkat lunak yang berbasis perhitungan elemen hingga, dimana hasil perhitungan dari program tersebut akan dapat menghasilkan nilai faktor aman dari lereng tersebut.

Analisis untuk stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan bantuan program perangkat lunak yang berbasis perhitungan elemen hingga, dengan memvariasikan derajat kejenuhan pada lereng tersebut. Dalam menganalisa kestabilan suatu lereng perlu diketahui beberapa parameter yang sangat penting, yaitu: jenis tanah, kohesi, poisson rasio, sudut geser dalam, modulus elastisitas, dan berat isi tanah. Suatu lereng akan stabil apabila gaya penahan pada suatu lereng dapat menahan beban dari luar lereng, maupun gaya penggerak.

Dari perhitungan program nilai faktor aman Untuk lokasi yang sangat berpotensi terjadinya kelongsoran paling besar terjadi pada lereng di titik *borehole* 3 sisi kiri lereng dengan kondisi derajat kejenuhan 70% dan variasi beban terpusat sebesar 20 ton.

Kata kunci: tanah, stabilitas lereng, Derajat Kejenuhan, faktor keamanan, deformasi, tegangan total, tegangan efektif.

## **ABSTRACT**

### ***STUDY OF SLOPE PIPE STABILITY STUDY ON EARTH DISTRIBUTION WITH VARIATION OF SATURITY DEGREE ON CLUSTER J-I P.T PERTAMINA GEOTHERMAL ULUBELU TANGGAMUS DISTRICT***

***By***

**YUDI OKTARIANSYAH**

*Tanggamus is one of the areas in Lampung that has a large geothermal potential. The Lampung Provincial Government claims the Province has a geothermal potential of 2,867 MW or 10% of Indonesia's total geothermal potential. Seeing the condition of the soil in the covered area which has a steep and fairly steep contour, then before carrying out geothermal pipeline construction in the area, PT. Pertamina Geothermal Energy, conducted an investigation and security analysis at the location. One of the parameters to determine the slope safety factor is to use a software program based on finite element calculation, where the calculation results from the program will be able to produce a safe factor value from the slope.*

*Analysis for slope stability is performed using software programs based on finite element calculations, varying the degree of saturation on the slope. In analyzing the stability of a slope, it is necessary to know several very important parameters, namely: soil type, cohesion, poison ratio, stress, modulus of elasticity, and weight of soil content. A slope will be stable if the holding force on a slope can withstand the load from outside the slope, as well as the driving force.*

*From the calculation of the program the value of the safe factor For locations with the greatest potential for landslides, the slope at the borehole point 3 on the left side of the slope with a condition of 70% degree of saturation and a variation of centralized load of 20 tons.*

*Key words : soil, slope stability, Degree of saturation, Centralized load, safety factor, deformation, total stress, effective stress.*

**KAJIAN STABILITAS LERENG PIPA PENYALURAN PANAS BUMI  
DENGAN VARIASI TEKANAN AIR PORI PADA *CLUSTER J-I P.T*  
PERTAMINA GEOTHERMAL ULUBELU KABUPATEN TANGGAMUS**

Oleh

**YUDI OKTARIANSYAH**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2019**

Judul Skripsi

: KAJIAN STABILITAS LERENG PIPA  
PENYALURAN PANAS BUMI DENGAN  
VARIASI TEKANAN AIR PORI PADA *CLUSTER*  
J-I P.T PERTAMINA GEOTHERMAL ULUBELU  
KABUPATEN TANGGAMUS

Nama Mahasiswa

: Yudi Oktariansyah

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215011116

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

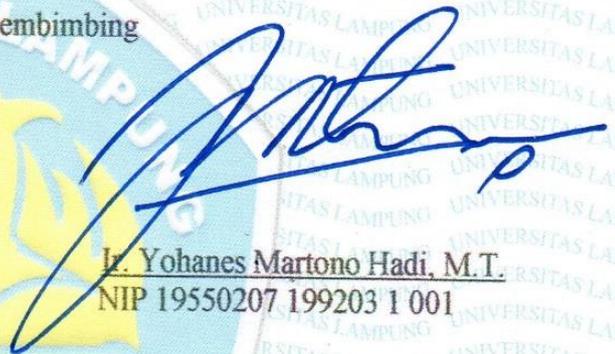
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Iswan, S.T., M.T.  
NIP 19720608 20050 1 001



J. Yohanes Martono Hadi, M.T.  
NIP 19550207 199203 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil



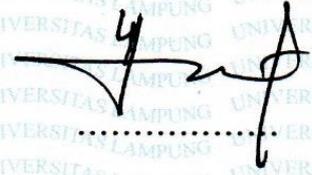
Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP 197009151995031006

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

**: Iswan, S.T.,M.T.**



**Sekretaris**

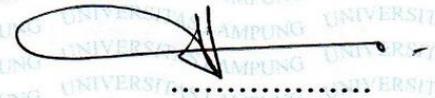
**: Ir. Yohanes Martono Hadi, M.T.**



**Penguji**

**Bukan Pembimbing**

**: Ir. Setyanto, M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**

**NIP. 19620717 198703 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 Juli 2019**

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi dengan judul simulasi penggunaan program *plaxis V 8.6* dalam menganalisis stabilitas lereng pada cluster J-I P.T Pertamina Ulubelu Kabupaten Tanggamus dengan jenis tanah lempung, lempung berpasir, lempung berbatu, batuan border dengan variasi derajat kejenuhan 90%, 70 %, dan 50% dan pemodelan beban terpusat 5, 10, 15 dan 20 ton adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidak benaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung,

2019



## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di kota Bandar Lampung pada tanggal 11 Oktober 1993, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Idun dan Ibu Heni.

Riwayat pendidikan penulis melakukan pendidikan Sekolah Dasar (SD) pada tahun 1999-2005 di SDN 2 Penengahan Bandar Lampung, Sekolah Menengah Pertama (SMP) pada tahun (2005-2008) di SMP Negeri 8 Bandar Lampung, dan

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) pada tahun (2008-2011) di SMK Negeri 2 Bandar Lampung.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2012 melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP).

Pada tahun 2017 Penulis melakukan Kerja Praktek pada Proyek Pembangunan *Fly Over* Jl. Cik ditiro sampai Jl. Imam Bonjol selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sritejo Kencono, Kecamatan Kota Gajah, Kabupaten Lampung Tengah selama 40 hari pada periode Januari-Maret 2018.

# *Persembahan*

*Untuk bapak Idun dan ibu Heni tercinta yang selalu ada untuk mendoakan dan mendukungku dalam segala hal, terima kasih telah orang tua terbaik yang pernah ada bagiku.*

*Untuk Adikku tersayang yang selalu mendoakan mendukung dalam segala hal, terimakasih telah menjadi adik terbaik yang pernah ada bagiku.*

*Untuk saudara dan kerabat yang telah memberikan dukungan dan doa. Terimakasih telah menjadi saudara dan kerabat terbaik yang pernah ada bagiku.*

*Untuk semua guru-guru dan dosen-dosen tercinta yang telah mengajarkan banyak hal kepadaku. Terimakasih telah menjadi guru-guru dan dosen-dosen terbaik yang pernah ada bagiku.*

*Untuk para sahabat Doa mimi terdekotku dan keluarga besar Matalam F.T Universitas Lampung yang selalu ada disebelahku dari mulai mahasiswa baru hingga kini untuk selalu mendukung langkahku. Terimakasih telah menjadi sahabat terbaik yang pernah ada bagiku.*

*Untuk teman-teman di Teknik Sipil Universitas Lampung, terkhusus angkatan 2012 dalam hal beribu-ribu bantuan dan dukungannya. Terimakasih telah menjadi teman terbaik yang pernah ada bagiku.*

# MOTO

*Menjadi baik tidak memerlukan alasan dan waktu, tetapi ketika siap untuk menjadi pribadi yang lebih baik dan mau merubah hal-hal yang kurang baik dalam diri disaat itulah pribadi yang baik akan tercipta.*

*Hal pertama yang perlu diingat untuk menjadi sukses adalah lakukan sesuatu dari hati.*

**(Akhadi Wira Satriaji)**

*Allah Subhaanahu wa Ta'ala berfirman: Hai anak Adam, jika kamu bersabar dan ikhlas saat tertimpa musibah, maka Aku tidak akan meridhai bagimu sebuah pahala kecuali surga.*

**(HR. Ibnu Majah)**

*Barang siapa yang meringankan kesulitan seorang mukmin dari kesulitan dunia, maka Allah akan meringankan kesulitannya dari kesulitan di hari kiamat. Barang siapa yang memudahkan orang yang tertimpa kesulitan, maka Allah akan memudahkan kepadanya di dunia & akhirat. Barang siapa menutupi aib seorang muslim, maka Allah akan menutupi aibnya di dunia & akhirat. Allah akan membantu hamba-Nya selagi hamba tersebut membantu saudaranya.*

**(HR. Muslim)**

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Simulasi Penggunaan Program Plaxis V 8.6 dalam menganalisis Stabilitas Lereng pada Jalur Pipa Penyaluran Panas Bumi P.T Pertamina Geothermal Energy dengan Variasi Derajat Kejenuhan serta Variasi Beban Terpusat*”. Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Atas terselesainya skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.,selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Bapak Iswan, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Ir. Martono Hadi, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing 2 skripsi saya yang telah membimbing dalam proses penyusunan skripsi;
5. Bapak Ir. Setyanto S.T.,M.T., selaku Dosen Penguji skripsi terimakasih untuk saran-saran dan masukan pada seminar terdahulu;
6. Bapak Iswan, S.T, M.T.,selaku dosen pembimbing akademik;

7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung atas ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan selama masa perkuliahan;
8. Bapak Idun dan Ibu Heni, terimakasih atas seluruh do'a, dukungan, dan motivasi yang selalu diberikan;
9. Adik saya, yang telah membantu dan memberikan dukungan dengan caranya tersendiri;
10. Teman-teman Doa mimi (kantor Kemiling cabang Lampung) yang tiap hari memberikan motivasi buat sayng dan bnyak berperan dalam perkuliahan saya serta kehidupan saya,
11. Terimakasih untuk keluarga besar Matalam Fakultas Teknik Universitas Lampung.
12. Terimakasih untuk teman-teman Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2012 beserta seluruh Abang-abang, dan adik-adik yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini;
13. Terimakasih Untuk Reza Tihardila yang selalu memberi semangat dan nasihat untuk menyelesaikan skripsi saya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua.

Bandar Lampung, Juli 2019

Penulis

**Yudi Oktariansyah**

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR .....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GRAFIK.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK .....	xv
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanah.....	5
2.2 Sistem Klasifikasi Tanah.....	9
2.3 Pengaruh Tekanan Air Terhadap Stabilitas Tanah.....	12
2.4 Lereng Dan Longsor.....	21
2.5 Program Analisis Stabilitas Lereng.....	22
2.6 Metode Bishop Yang Disederhanakan .....	26
2.7 Metode Fellenius .....	30
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Lokasi Penelitian .....	33
3.2 Tahapan Pengumpulan Data .....	34
3.3 Tahapan Pengujian Laboratorium .....	35
3.4 Tahapan Analisis Stabilitas Lereng .....	39
3.5 Validasi Program .....	44
3.6 Pembahasan .....	44
3.7 Kesimpulan Dan Saran.....	44

3.8	Diagram Alir Penelitian .....	45
-----	-------------------------------	----

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data-data Lereng .....	46
4.2	Klasifikasi Jenis Tanah.....	47
4.3	Pengklasifikasian Sampel Dengan Menggunakan Sistem <i>Unified</i> ..	52
4.4	Pembuatan Potongan Lereng.....	74
4.5	Perhitungan Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Perangkat Lunak Berbasis Perhitungan <i>Element</i> Hingga.....	74
4.6	Perhitungan Potongan <i>Long Section</i> Titik BH-1 Sampai BH-5 Dengan Variasi Derajat Kejenuhan 90%, 70% Dan 50% .....	75
4.7	Perhitungan Program Potongan <i>Cross Section</i> Titik BH-1, BH-2, BH-3, BH-4, Dan BH-5 Kanan Dan Kiri Dengan Variasi Derajat Kejenuhan 90%, 70% dan 50% .....	81
4.8	Perhitungan <i>Cross Section</i> BH-1 Sisi Kanan Dan Kiri Lereng Dengan Dejat Kejenuhan 90%, 70%, 50% Dan Variasi Beban 5 Ton, 10 Ton, 15 Ton Dan 20 Ton .....	82
4.9	Perhitungan Potongan <i>Cross Section</i> Titik BH-2 Sisi Kanan Dan Kiri Lereng Dalam Kondisi Lereng Dengan Variasi Derajat Kejenuhan 90%, 70% Dan 50% Dan Variasi Beban 5 Ton, 10 Ton, 15 Ton Dan 20 Ton.....	98
4.10	Perhitungan Potongan <i>Cross Section</i> Titik BH-3 Sisi Kanan Dan Kiri Lereng Dalam Kondisi Lereng Dengan Variasi Derajat Kejenuhan 90%, 70% Dan 50% Dan Variasi Beban 5 Ton, 10 Ton, 15 Ton Dan 20 Ton.....	115
4.11	Perhitungan <i>Cross Section</i> BH-4 Sisi Kanan Dan Kiri Lereng Dengan variasi dejat kejenuhan 90%, 70%, 50% Dan Variasi Beban 5 Ton, 10 Ton, 15 Ton Dan 20 Ton .....	133
4.12	Perhitungan Potongan <i>Cross Section</i> Titik BH-5 Sisi Kanan Dan Kiri Lereng Dalam Kondisi Lereng Dengan Variasi Derajat Kejenuhan 90%, 70% Dan 50% Dan Variasi Beban 5 Ton, 10 Ton, 15 Ton Dan 20 Ton.....	150

#### V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan .....	169
5.2	Saran .....	170

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar.....	
1. Tipe-tipe keruntuhan lereng ( <i>Craig, 1989</i> ).....	18
2. Memperkecil sudut kemiringan lereng ( <i>Wesley, 1977</i> ).....	19
3. Memperkecil ketinggian lereng ( <i>Wesley, 1977</i> ).....	19
4. Memakai <i>Counterweight</i> ( <i>Wesley, 1977</i> ).....	20
5. Mengurangi tegangan air pori ( <i>Wesley, 1977</i> ).....	20
6. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan .....	26
7. Diagram untuk menentukan M.....	28
8. Contoh kontur faktor aman .....	29
9. Peta Lokasi Penelitian .....	33
10. Sistem gaya pada Metode <i>Fellenius</i> .....	31
11. Tampilan <i>General Settings Project</i> .....	39
12. Tampilan <i>General Settings Dimension</i> .....	39
13. Gambar geometri.....	40
14. Gambar <i>input</i> data tanah .....	41
15. Gambar jaringan elemen .....	42
16. Gambar tekanan air pori.....	42
17. Gambar nilai tekanan air pori.....	43
18. Diagram alir penelitian.....	46
19. Pemotongan kontur <i>long section</i> BH1 – BH5.....	75
20. Tampilan lereng potongan <i>long section</i> BH-1 – BH-5 .....	76
21. Geometri muka air tanah potongan <i>long section</i> BH-1 sampai BH-5 ....	76
22. Grafik nilai faktor aman dan deformasi BH-1 sampai BH-5 .....	77
23. Grafik nilai tegangan total dan tegangan efektif BH-1 sampai BH-5.....	78
24. Grafik tegangan total BH-1 sampai BH-5 <i>long section</i> .....	79
25. Grafik tegangan efektif BH-1 sampai BH-5 <i>long section</i> .....	79
26. Pemotongan kontur <i>cross section</i> BH-1.....	82
27. Geometri lereng potongan <i>cross section</i> BH-1 kanan lereng.....	82
28. Geometri lereng potongan <i>cross section</i> BH-1 kiri lereng .....	83
29. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-1 kanan.....	83
30. Grafik nilai faktor aman BH-1 kanan <i>cross section</i> .....	84
31. Grafik deformasi aman BH-1 kiri <i>cross section</i> .....	86
32. Grafik tegangan total BH-1 kanan <i>cross section</i> .....	88
33. Grafik tegangan efektif BH-1 kanan <i>cross section</i> .....	89
34. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-1 kiri.....	91
35. Grafik nilai faktor aman BH-1 kiri <i>cross section</i> .....	91
36. Grafik deformasi BH-1 kiri <i>cross section</i> .....	93

37. Grafik tegangan total BH-1 kiri <i>cross section</i> .....	95
38. Grafik tegangan efektif BH-1 kiri <i>cross section</i> .....	96
39. Pemotongan kontur <i>cross section</i> BH-2.....	98
40. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-2 kanan lereng .....	99
41. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-2 kiri lereng .....	99
42. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-2 kanan.....	100
43. Grafik nilai faktor aman BH-2 kanan <i>cross section</i> .....	100
44. Grafik deformasi BH-2 kanan <i>cross section</i> .....	102
45. Grafik tegangan total BH-2 kanan <i>cross section</i> .....	105
46. Grafik tegangan efektif BH-2 kanan <i>cross section</i> .....	105
47. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-2 kiri.....	108
48. Grafik nilai faktor aman BH-2 kiri <i>cross section</i> .....	108
49. Grafik deformasi BH-2 kiri <i>cross section</i> .....	110
50. Grafik tegangan total BH-2 kiri <i>cross section</i> .....	113
51. Grafik tegangan efektif BH-2 kiri <i>cross section</i> .....	113
52. Pemotongan kontur <i>cross section</i> BH-3.....	115
53. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-3 kanan lereng .....	116
54. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-3 kiri lereng .....	116
55. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-3kanan.....	117
56. Grafik nilai faktor aman BH-3 kanan <i>cross section</i> .....	118
57. Grafik deformasi BH-3 kanan <i>cross section</i> .....	120
58. Grafik tegangan total BH-3 kanan <i>cross section</i> .....	122
59. Grafik tegangan efektif BH-3 kanan <i>cross section</i> .....	123
60. Derajat kejenuhan 50% potongan <i>cross section</i> BH-3 kiri .....	125
61. Grafik nilai faktor aman BH-3 kiri <i>cross section</i> .....	126
62. Grafik deformasi aman BH-3 kiri <i>cross section</i> .....	128
63. Grafik tegangan total BH-3 kiri <i>cross section</i> .....	130
64. Grafik tegangan efektif BH-3 kiri <i>cross section</i> .....	131
65. Pemotongan kontur <i>cross section</i> BH-4.....	133
66. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-4 kanan lereng .....	134
67. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-4 kiri lereng .....	134
68. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-4 kanan.....	135
69. Grafik nilai faktor aman BH-4 kanan <i>cross section</i> .....	136
70. Grafik deformasi aman BH-4 kanan <i>cross section</i> .....	137
71. Grafik tegangan total BH-4 kanan <i>cross section</i> .....	140
72. Grafik tegangan efektif BH-4 kanan <i>cross section</i> .....	140
73. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-4 kiri.....	143
74. Grafik nilai faktor aman BH-4 kiri <i>cross section</i> .....	144
75. Grafik deformasi BH-4 kiri <i>cross section</i> .....	146
76. Grafik tegangan total BH-4 kiri <i>cross section</i> .....	148
77. Grafik tegangan efektif BH-4 kiri <i>cross section</i> .....	149
78. Pemotongan kontur <i>cross section</i> BH-5.....	152
79. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-5 kanan lereng .....	153
80. Tampilan lereng potongan <i>cross section</i> BH-5 kiri lereng .....	153
81. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-5 kanan.....	154
82. Grafik nilai faktor aman BH-5 kanan <i>cross section</i> .....	155
83. Grafik deformasi BH-5 kanan <i>cross section</i> .....	156
84. Grafik tegangan total BH-5 kanan <i>cross section</i> .....	159

85. Grafik tegangan efektif BH-5 kanan <i>cross section</i> .....	159
86. Geometri muka air tanah potongan <i>cross section</i> BH-5kiri.....	161
87. Grafik nilai faktor aman BH-5 kiri <i>cross section</i> .....	162
88. Grafik deformasi BH-5 kiri <i>cross section</i> .....	164
89. Grafik tegangan total BH-5 kiri <i>cross section</i> .....	166
90. Grafik tegangan efektif BH-5 kiri <i>cross section</i> .....	167

## DAFTAR TABEL

### Tabel Halaman

1. Sistem klasifikasi tanah <i>USCS</i> .....	10
2. Sistem klasifikasi tanah <i>AASTHO</i> .....	12
3. Uji sifat fisik tanah .....	52
4. Deskripsi jenis tanah pada BH-1 .....	53
5. Deskripsi jenis tanah pada BH-2 .....	54
6. Deskripsi jenis tanah pada BH-3 .....	54
7. Deskripsi jenis tanah pada BH-4 .....	55
8. Deskripsi jenis tanah pada BH-5 .....	56
9. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-1 kedalaman 5 meter .....	56
10. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-1 kedalaman 10 meter .....	58
11. Perbandingan hasil uji lab dan sistem <i>USCS</i> BH-1 .....	59
12. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-2 kedalaman 5 meter .....	60
13. Perbandingan hasil uji lab dan sistem <i>USCS</i> BH-2 .....	61
14. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-3 kedalaman 5 meter .....	61
15. Perbandingan hasil uji lab dan sistem <i>USCS</i> BH-3 .....	62
16. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-4 kedalaman 5 meter .....	63
17. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-4 kedalaman 15 meter .....	64
18. Perbandingan hasil uji lab dan sistem <i>USCS</i> BH-4 .....	65
19. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-5 kedalaman 5 meter .....	66
20. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-5 kedalaman 10 meter .....	67
21. Klasifikasi sistem <i>USCS</i> BH-5 kedalaman 15 meter .....	68
22. Perbandingan hasil uji lab dan sistem <i>USCS</i> BH-5 .....	70
23. Nilai modulus elastisitas tanah .....	71
24. Nilai <i>poission ratio</i> tanah .....	71
25. Nilai permeabilitas tanah .....	71
26. Hasil perhitungan titik BH-1 sampai BH-5 .....	80
27. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-1 sisi kanan lereng .....	84
28. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-1 sisi kanan lereng .....	87
29. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-1 sisi kanan lereng .....	89

30. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-1 sisi kanan lereng...	89
31. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-1 sisi kiri lereng .....	91
32. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-1 sisi kiri lereng .....	94
33. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-1 sisi kiri lereng .....	95
34. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-1 sisi kiri lereng.....	96
35. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-2 sisi kanan lereng .....	100
36. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-2 sisi kanan lereng .....	102
37. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-2 sisi kanan lereng ...	105
38. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-2 sisi kanan lereng.	105
39. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-2 sisi kiri lereng .....	108
40. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-2 sisi kiri lereng .....	111
41. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-2 sisi kiri lereng.....	113
42. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-2 sisi kiri lereng.....	113
43. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-3 sisi kanan lereng .....	118
44. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-3 sisi kanan lereng .....	120
45. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-3 sisi kanan lereng ...	123
46. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-3 sisi kanan lereng.	123
47. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-3 sisi kiri lereng .....	125
48. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-3 sisi kiri lereng .....	128
49. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-3 sisi kiri lereng .....	130
50. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-3 sisi kiri lereng.....	131
51. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-4 sisi kanan lereng .....	135
52. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-4 sisi kanan lereng .....	138
53. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-4 sisi kanan lereng ...	141
54. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-4 sisi kanan lereng.	141
55. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-4 sisi kiri lereng .....	144
56. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-4 sisi kiri lereng .....	146
57. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-4 sisi kiri lereng .....	149
58. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-4 sisi kiri lereng.....	150
59. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-5 sisi kanan lereng .....	154
60. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-5 sisi kanan lereng .....	157
61. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-5 sisi kanan lereng ...	159
62. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-5 sisi kanan lereng.	160
63. Hasil perhitungan faktor aman <i>cross section</i> BH-5 sisi kiri lereng .....	162
64. Hasil perhitungan deformasi <i>cross section</i> BH-5 sisi kiri lereng .....	165
65. Hasil perhitungan tegangan total <i>cross section</i> BH-5 sisi kiri lereng.....	167
66. Hasil perhitungan tegangan efektif <i>cross section</i> BH-5 sisi kiri lereng.....	168

## **DAFTAR LAMPIRAN**

### Lampiran

1. Hasil Pengujian Sampel Tanah
2. Lokasi Penelitian
3. LembarAsistensi
4. Surat Menyurat

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Ulubelu merupakan kota yang berada di Provinsi Lampung, yang tepatnya di Kabupaten Tanggamus. Kabupaten ini terkenal sebagai daerah yang maju dalam bidang pertanian dan sumber daya alam lainnya. Tanggamus adalah salah satu daerah di Lampung yang memiliki potensi panas bumi besar. Pemerintah Provinsi Lampung mengklaim Provinsi tersebut mempunyai potensi panas bumi sebesar 2.867 MW atau 10% dari total potensi panas bumi Indonesia. Dengan potensi tersebut, Provinsi ini menduduki peringkat ketiga setelah Jawa Barat dan Sumatra Utara sebagai Provinsi dengan potensi panas bumi terbesar di Tanah Air, secara keseluruhan, pemerintah menyebutkan potensi energi panas bumi Indonesia adalah 29.000 MW. Salah satu aset kekayaan alam yang terdapat di Kabupaten Tanggamus ini adalah adalah gas alam yang dimiliki. Dan kini gas alam tersebut dimanfaatkan oleh pemerintah sebagai energi pembangkit listrik yang cukup besar. Untuk meningkatkan pelayanan kepada masyarakat pemerintah berupaya memaksimalkan sumber daya alam di daerah tersebut dengan berencana untuk membangun jalur pipa panas bumi, khususnya pada *cluster J-I*, agar pemanfaatan sumber daya dapat berjalan lebih baik lagi dan bermanfaat besar untuk masyarakat luas. Menyikapi hal tersebut PT.

Pertamina *Geothermal Energy*, berusaha untuk membangun kembali jalur pipa panas bumi di daerah tersebut agar sumber daya yang dihasilkan dapat berjalan dengan optimal. Melihat kondisi tanah di daerah tersebut yang memiliki kontur yang curam dan cukup terjal, maka sebelum melakukan pembangunan jalur pipa panas bumi di area tersebut, PT. Pertamina *Geothermal Energy*, melakukan investigasi dan analisis keamanan pada lokasi yang akan dijadikan sebagai jalur pipa panas bumi tersebut. Karena ditakutkan beban yang akan diterima pada tanah di lokasi tersebut dapat mengakibatkan terjadinya kelongsoran. Salah satu parameter untuk menentukan faktor keamanan lereng adalah dengan menggunakan bantuan program perangkat lunak, dimana hasil perhitungan dari program perangkat lunak tersebut dapat digunakan untuk menentukan standar keamanan pada lokasi tersebut dan bisa dijadikan sebagai acuan dalam pengerjaan jalur pipa panas bumi di lokasi tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang dibahas yaitu menganalisa kestabilan lereng *cluster J-I* pada pipa panas bumi Pertamina *Geothermal Energy* Ulubelu Tanggamus dengan keadaan variasi tekanan air pori menggunakan bantuan program perangkat lunak yang berbasis perhitungan elemen hingga, karena beban yang terdiri dari beban tanahnya sendiri, beban dari bangunan di atas lereng ataupun beban akibat hujan yang dikhawatirkan dapat menimbulkan kelongsoran pada lereng tersebut.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan nilai faktor aman dari analisis stabilitas lereng pada lokasi penelitian dengan menggunakan program perangkat lunak.
- b. Menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan bantuan program perangkat lunak.
- c. Menganalisa stabilitas lereng dengan variasi derajat kejenuhan.
- d. Sebagai bahan penelitian untuk menambah pengetahuan dan dalam menganalisis pergerakan tanah akibat beban pipa panas bumi dan beban kendaraan pada suatu lereng.

### 1.4 Batasan Masalah

Mengingat ruang lingkup pada penelitian ini maka batasan masalah ini sebagai berikut:

- a. Lokasi penelitian dilakukan pada satu lokasi yaitu jalur pipa panas bumi *cluster J-1 Pertamina Geothermal Energy* Ulubelu Tanggamus.
- b. Analisis pengujian menggunakan data dari tempat penelitian dan referensi lainnya.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tersebut adalah, untuk mengetahui seberapa besar pengaruh derajat kejenuhan tanah terhadap kestabilan lereng, ketika derajat kejenuhan air yang divariasikan dalam berbagai kondisi keadaan. Penelitian ini juga bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dalam

menganalisis faktor aman untuk pembuatan jalur pipa panas bumi pada *cluster J-1 Pertamina Geothermal Energy* di Ulubelu Tanggamus.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanah

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang terikat secara kimia satu dengan yang lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah merupakan bahan bangunan yang berasal dari alam, berupa bumi ini, yang terdiri dari air, udara dan butir-butir tanah yang padat, dimana bagian yang berisi dengan air dan udara disebut dengan rongga atau pori. Adapun menurut para ahli teknik sipil, tanah dapat didefinisikan sebagai :

1. Tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat dimaksud diaduk dalam air (*Terzaghi, 1987*).
2. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai/lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (*Craig, 1987*).
3. Secara umum tanah terdiri dari tiga bahan, yaitu butir tanahnya sendiri serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antar butir-butir tersebut (*Wesley, 1997*).

Perbandingan isi air dengan udara dalam pori ini menentukan kondisi tanah tersebut, yaitu apabila tanah tersebut kering, maka volume udara dalam pori lebih sedikit dibanding volume udara, maka tanah tersebut dikatakan basah. Apabila pori penuh diisi air, sehingga tidak ada udara di dalamnya, maka tanah dikatakan sebagai tanah jenuh. *Hans Jenny (1899-1992)*, seorang pakar tanah asal Swiss yang bekerja di Amerika Serikat, menyebutkan bahwa tanah terbentuk dari bahan induk yang telah mengalami modifikasi/pelapukan akibat dinamika faktor iklim, organisme (termasuk manusia), dan relief permukaan bumi (topografi) seiring dengan berjalannya waktu. Menurut *Craig (1989)*, tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan/atau udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang tersenyawa di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut di atas tetap berada padat empat semula, maka bagian ini disebut tanah sisa (*residual soil*). Hasil pelapukan yang terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation soil*). Media pengangkut tanah berupa gaya gravitasi, angin, air, dan *gletser*. Pada saat berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel-partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran, istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung digunakan untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah

dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya kemudian dipakai sebagai nama tambahan di belakang material unsur utamanya, sebagai contoh, lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung dan sebagainya. Sifat-sifat umum tanah dapat dilihat dari besarnya nilai-nilai parameter tanah yang bersangkutan misalnya :

- a. Berat volume tanah, yaitu berat tanah per satuan volume.
- b. Berat volume kering yaitu berat tanah dalam keadaan kering per satuan volume,
- c. Berat volume butir, yaitu berat tanah lepas per satuan volume,
- d. Sepesifik gravity, yaitu berat spesifik setiap butiran tanah, atau biasa disebut berat volume,
- e. Angka rongga, yaitu perbandingan volume rongga dengan volume total tanah,
- f. Porositas merupakan perbandingan volume air dengan volume pori,
- g. Kadar air merupakan jumlah air dalam tanah atau volume air dibanding dengan volume tanah,
- h. Derajat kejenuhan dan lain-lain.

## 2.2 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995). Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi. Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah Sistem *Unified Soil Classification System (USCS)* dan Sistem *AASHTO (American Association Of State Highway and Transporting Official)*. Tetapi pada penelitian ini penulis memakai system klasifikasi tanah *unified (USCS)*.

## 1. Sistem Klasifikasi *Unified (USCS)*

Sistem ini pada awalnya diperkenalkan oleh *Casagrande (1942)* untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang (*Das, 1995*). Oleh *Casagrande* sistem ini pada garis besarnya membedakan tanah atas tiga kelompok besar (*Sukirman, 1992*), yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), kurang dari 50 % lolos saringan No. 200, yaitu tanah berkerikil dan berpasir. Simbol kelompok ini dimulai dari huruf awal G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan S untuk Pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), lebih dari 50 % lolos saringan No. 200, yaitu tanah berlanau dan berlempung. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau anorganik, C untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Klasifikasi sistem *Unified* secara visual di lapangan sebaiknya dilakukan pada setiap pengambilan contoh tanah. Hal ini berguna di samping untuk dapat menentukan pemeriksaan yang mungkin perlu ditambahkan, juga sebagai pelengkap klasifikasi yang dilakukan di laboratorium agar tidak terjadi kesalahan label.

Tabel 1. Sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System (Bowles, 1991)*.

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Prefiks</b>	<b>Sub Kelompok</b>	<b>Sufiks</b>
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
		Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	wL < 50%	L
Organik	O	wL > 50%	H
Gambut	Pt		

c. Tanah Organik

Prilaku tanah organik sangat tergantung pada kadar organik (*organic content*), kadar abu (*ash content*), kadar serat (*fibrous content*). Makin tinggi kandungan organiknya makin rendah daya dukungnya (*bearing capacity*) dan kekuatan gesernya (*shear strength*), serta makin besar pemampatannya (*compressibility*). Tanah yang kandungan organiknya tinggi disebut tanah gambut (*peat soil*). Menurut *ASTM, OSRC (Organic Sediment Research Centre)* dari University of Shouth Carolina dan *LSG (Lousiana Geological Survey)*, suatu tanah organik dapat diklasifikasikan sebagai tanah peat apabila kandung organiknya 75% atau lebih. Tetapi *USSR* sistem mengklasifikasikan suatu tanah organik sebagai tanah gambut apabila kandungan organiknya 50 % atau lebih. Gambut umumnya mengacu pada bahan alami dengan daya kemampatan tinggi namun

mempunyai kekuatan rendah. Tanah gambut terbentuk di daerah berair dangkal, dalam danau, atau empang dengan sistem drainase yang buruk (*Sumber: Pedoman Konstruksi Jalan Di Atas Tanah Gambut Dan Organik, 1996*).

## 2. Sistem Klasifikasi AASTHO

*Commitee on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145)* telah mengembangkan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) sejak tahun 1929 dan sudah mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 dan dipergunakan hingga sekarang, klasifikasi ini bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*subgrade*).

Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut:

### a. Ukuran butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan diameter 2 mm (No.10).

Pasir : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan diameter 0,0075 mm (No.200).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,0075 mm (No.200).

## b. Plastisitas

Plastisitas merupakan kemampuan tanah yang dapat menyesuaikan bentuk volume konstan tanpa retak-retak ataupun remuk, hal ini tergantung pada kadar air yang terdapat pada tanah tersebut. Nama berlempung dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih. Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai Indeks Plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang.

Tabel 2. Sistem klasifikasi tanah berdasarkan *AASHTO*.

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-2	A-2			
Klasifikasi kelompok	A 1 a	A 1 b		A 2	A 2 1	A 2 5	A 2 6
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlempung atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A 4	A 5		A 6		A-7	
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36	Min 36		Min 36		Min 36	
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10		Maks 40 Min 11		Min 41 Min 11	
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Buruk sampai jelek						

\* untuk A-7-5 :  $PI < LL - 30$ \*\* untuk A-7-5 :  $PI > LL - 30$ 

Sumber: Das (1995).

### 2.3 Pengaruh tekanan air terhadap stabilitas tanah

Tekanan air pori sangat berpengaruh terhadap kestabilan tanah, hal ini disebabkan oleh kekuatan geser yang sangat tergantung pada keberadaan air di dalam tanah itu sendiri. Tanah yang mengalami tekanan mengakibatkan angka pori berkurang dan merubah sifat sifat mekanik tanah yang lain seperti menambah tahanan geser. Air pada keadaan statis didalam tanah akan mengakibatkan tekanan hidrostatik yang arahnya ke atas, akan tetapi jika air lewat lapisan tanah aliran air akan mendesak partikel tanah sebesar tekanan rembesan hidrodinamis yang bekerja menurut arah alirannya, besarnya tekanan rembesan akan merupakan fungsi dari gradien hidrolik.

Telah disebutkan bahwa tekanan hidrodinamis dapat mengubah keseimbangan lapisan tanah. Pada keadaan seimbang besarnya gaya yang bekerja kebawah ( $w$ ), sama dengan gaya rembesan ( $D$ ).

#### 2.3.1 Kondisi tekanan air pori pada saat tak jenuh

Kondisi tekanan air pori pada saat tak jenuh adalah dimana batas  $MAT$  (muka air tanah) berada pada kondisi dibawah permukaan tanah dan kondisi tanah tidak terendam.

Rumus yang digunakan untuk menghitung stabilitas lereng tanpa aliran rembesan adalah:

$$F = \frac{c}{\gamma H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\tan \phi}{\tan \alpha}$$

### 2.3.2 Kondisi tekanan air pori pada saat jenuh sebagian

kondisi tekanan air pori pada saat jenuh sebagian adalah dimana batas *MAT* (muka air tanah) berada pada kondisi sebagian permukaan tanah terendam oleh air.

Rumus yang digunakan untuk menghitung stabilitas lereng pada saat tanah berada pada kondisi jenuh sebagian adalah:

$$F = \frac{c + [(y_d n_1 + y' n_2) \cos^2 \alpha] \tan \varphi}{(y_d n_1 + \gamma_{sat} n_2) \cos \alpha \sin \alpha}$$

### 2.3.3 Kondisi tekanan air pori pada saat jenuh penuh

kondisi tekanan air pori pada saat jenuh penuh adalah dimana kondisi *MAT* (muka air tanah) berada pada kondisi seluruh permukaan tanah terendam oleh air.

Rumus yang digunakan untuk menghitung stabilitas lereng pada saat jenuh penuh adalah:

$$F = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{y' \tan \varphi}{\gamma_{sat} \tan \alpha}$$

## 2.4 Lereng dan Longsoran

### 2.4.1 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (*Das 1985*). Lereng merupakan permukaan tanah alam yang terlihat lebih menonjol karena adanya perbedaan tinggi pada

kedua tempat. Proses pembentukan lereng akibat adanya erosi, pelapukan dan juga pergerakan tanah. Tingkat kemiringan pada lereng bisa dilihat dari kontur tanahnya. Sedikit penjelasan, kontur merupakan garis tanah yang menghubungkan dari satu titik ke titik yang lainnya. Ada juga yang mengartikan kontur tanah sebagai tinggi rendahnya suatu tanah atau yang disebut topografi. Untuk menentukan kontur maka dilakukan topografi dengan melihat garis kontur yaitu garis horizontal dan garis tinggi sehingga nantinya akan terlihat naik turunnya suatu permukaan tanah. Garis kontur ini dapat memberikan informasi seputar kemiringan tanah rata-rata (*slope*), perhitungan galian dan timbunan permukaan tanah asli. Tingkat kemiringan lereng harus dipantau agar ketika terjadi pergerakan dan berpotensi terjadinya longsor bisa langsung diketahui. Memantau kemiringan lereng harus dilakukan 24 jam tapi tidak harus dilakukan secara manual, sekarang ini sudah ada *slope monitoring system*. Dengan menggunakan sistem ini maka kemiringan dan pergerakan lereng bisa diketahui menggunakan instrument dan sensor yang telah dipasang sebelumnya.

Lereng yang ada secara umum dibagi menjadi dua kategori lereng tanah, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami terbentuk secara alamiah yang biasanya terdapat di daerah perbukitan. Sedangkan lereng buatan terbentuk oleh manusia biasanya untuk keperluan konstruksi, seperti tanggul sungai, bendungan tanah,

tanggul untuk badan jalan kereta api. Lereng alami maupun buatan masih dibagi lagi dalam dua jenis (Soepandji, 1995), yaitu :

1. Lereng dengan panjang tak hingga (*infinite slopes*),
2. Lereng dengan panjang hingga (*finite slopes*) .

Keruntuhan pada lereng bisa terjadi akibat gaya dorong yang timbul karena beban pada tanah. Lereng secara alami memiliki kekuatan geser tanah dan akar tumbuhan yang digunakan sebagai gaya penahan. Apabila gaya penahan lebih kecil dibandingkan gaya pendorong maka akan timbul keruntuhan pada lereng.

#### **2.4.2 Kelongsoran**

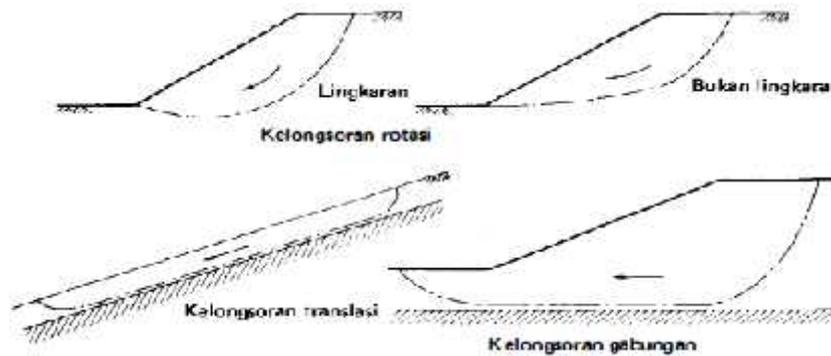
Longsor atau sering disebut gerakan tanah adalah suatu peristiwa adalah geologi yang terjadi dikarenakan pergerakan masa batuan atau tanah dengan berbagai tipe dan jenis seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. Secara umum kejadian longsor disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor pendorong dan faktor pemicu. Faktor pendorong adalah faktor-faktor yang memengaruhi kondisi material sendiri, sedangkan faktor pemicu adalah faktor yang menyebabkan bergerakinya material tersebut, meskipun penyebab utama dari kejadian ini adalah gravitasi yang sangat memengaruhi suatu lereng yang curam, namun ada pula faktor-faktor lainnya yang turut berpengaruh:

- a. Erosi yang disebabkan aliran air permukaan atau air hujan, sungai-sungai atau gelombang laut yang menggerus kaki lereng-lereng bertambah curam.
- b. Lereng dari bebatuan dan tanah diperlemah melalui saturasi yang diakibatkan hujan lebat.
- c. Gempa bumi menyebabkan getaran, tekanan pada partikel-partikel mineral dan bidang lemah pada massa batuan dan tanah yang mengakibatkan longsohnya lereng-lereng tersebut.
- d. Gunung berapi menciptakan simpanan debu yang lengang, hujan lebat dan aliran debu-debu.
- e. Getaran dari mesin, lalu lintas, penggunaan bahan-bahan peledak, dan bahkan petir
- f. Berat yang terlalu berlebihan, misalnya dari berkumpulnya hujan atau salju.

Ada 3 tipe utama dari kelongsoran tanah seperti pada Gambar 1, yaitu sebagai berikut :

- a. Kelongsoran rotasi (*rotational slips*), yaitu kelongsoran yang bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran.
- b. Kelongsoran translasi (*translational slips*), cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng.
- c. Kelongsoran gabungan (*compound slips*), terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang lebih dalam. Hal ini

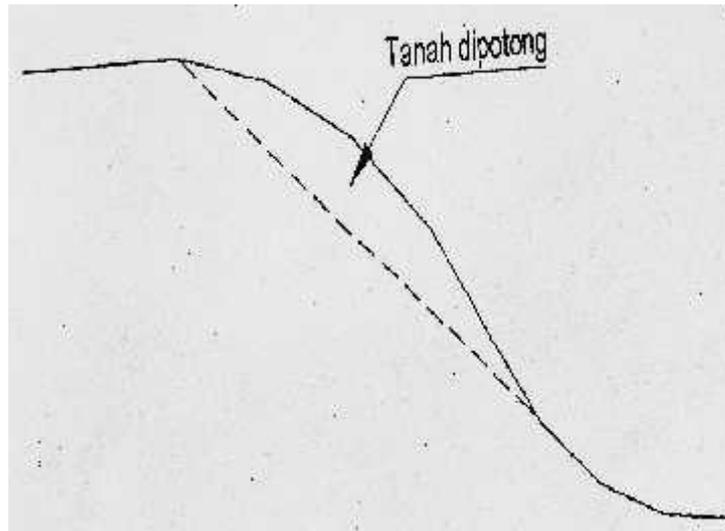
umumnya terjadi karena runtuhnya terdiri dari potongan kurva dan bidang.



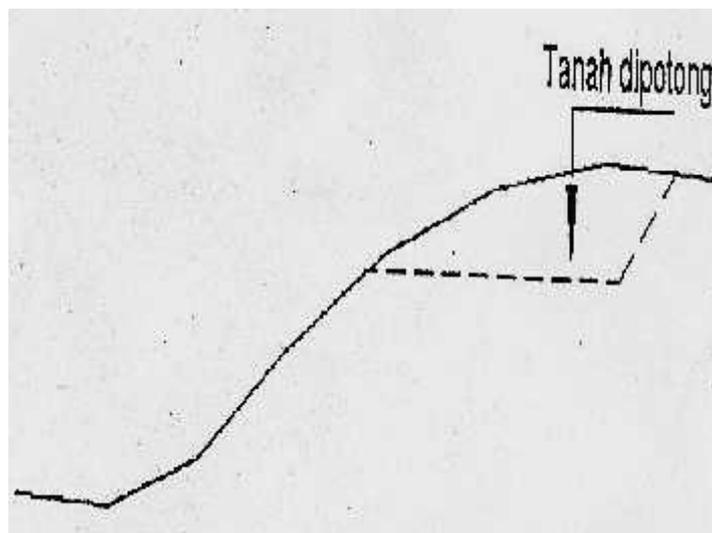
Gambar 1. Tipe-tipe keruntuhan lereng (*Craig, 1989*).

Dalam menghadapi persoalan bagaimana caranya memperbaiki atau menstabilkan lereng pada suatu daerah yang terjadi kelongsoran. Menurut (*Wesley, 1977*) ada dua cara untuk membuat lereng supaya menjadi lebih aman dan mantap, yaitu :

- a. Memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak, yaitu dengan mengubah bentuk lereng. Cara yang dilakukan yaitu :
  1. Membuat lereng lebih datar, yaitu dengan mengurangi sudut kemiringan, seperti terlihat pada Gambar 2.
  2. Memperkecil ketinggian lereng, lihat Gambar 3. Cara ini hanya dapat dipakai pada lereng yang ketinggiannya terbatas, yaitu dalam hal kelongsoran yang bersifat “*rational slide*”.

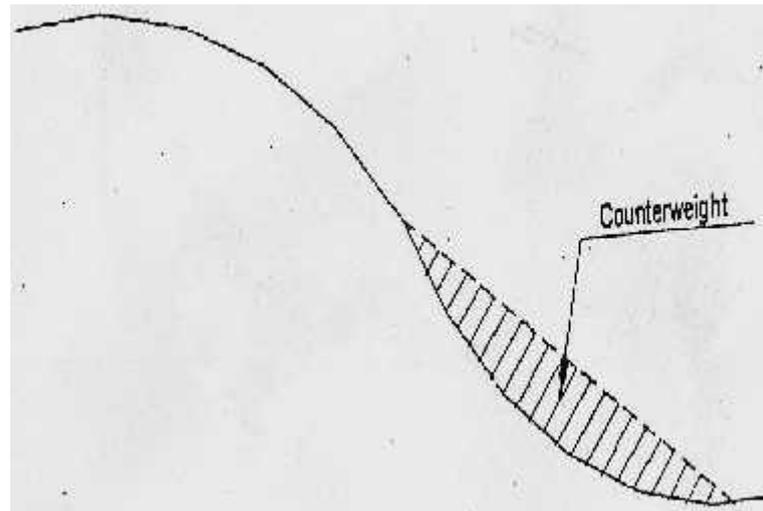


Gambar 2. Memperkecil sudut kemiringan lereng (Wesley, 1977).

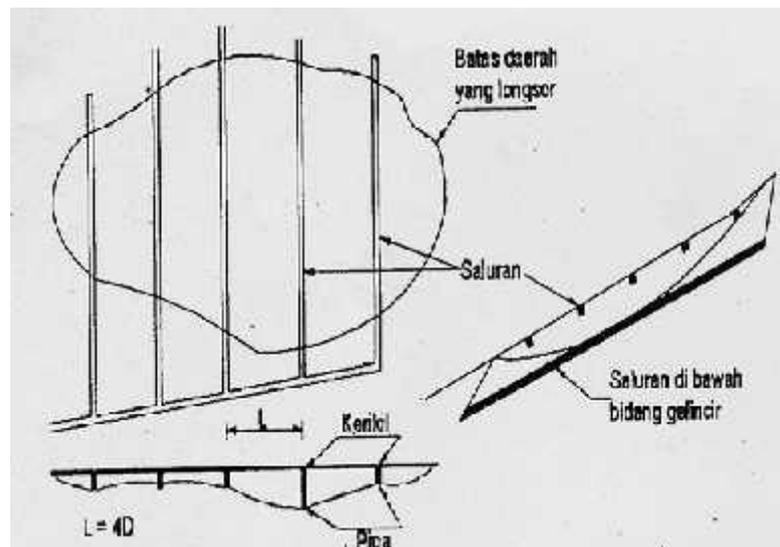


Gambar 3. Memperkecil ketinggian lereng (Wesley, 1977).

- b. Memperbesar gaya melawan, yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :
1. Dengan memakai *counterweight* yaitu tanah timbunan pada kaki lereng, lihat Gambar 4.
  2. Dengan mengurangi tegangan air pori di dalam lereng, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Memakai *Counterweight* (Wesley, 1977).



Gambar 5. Mengurangi tegangan air pori (Wesley, 1977).

3. Dengan cara injeksi, yaitu dengan menambah tanah timbunan pada kaki lereng, membuat selokan secara teratur pada lereng dengan mengurangi tegangan air pori pada tanah, dengan menambah bahan kimia atau semen dipompa melalui pipa supaya masuk ke dalam lereng.

4. Dengan cara mekanis, yaitu dengan membuat dinding penahan atau dengan memancang tiang. Cara ini dilakukan jika lereng tersebut mempunyai tingkat kelongsoran yang kecil.

Pada daerah tinjauan beberapa faktor penyebab kelongsoran juga teramati antara lain, kemiringan lereng dan pengaruh air tanah, dua parameter tersebut akan dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini.

## 2.5 Program analisis stabilitas lereng

Dalam melakukan analisis stabilitas lereng ada beberapa program yang banyak dipergunakan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Metode *Limit Equilibrium* adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, dalam Metode *Limit Equilibrium* terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu bidang kelongsorannya yang diasumsikan berbentuk *circular* dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk *non-circular*. Metode ini membutuhkan kondisi yang asli agar lebih efisien terutama ketika ada kenaikan sudut. Penentuan hasil yang optimal berdasarkan bentuk dan mencari suatu titik serta mengoptimalkan pengaruh perbedaan asumsi gaya antar irisan. Setelah ditemukan kelongsoran kritis pada bentuk *circular*, dilakukan pembagian bidang dengan cara *Optimization*.
2. *Slope/w* adalah suatu program yang menggunakan metode kesetimbangan batas untuk memecahkan (mencari faktor keamanan). Program *Geoslope* diproduksi oleh *Geo-Slope International Ltd*,

Calgary, Alberta, Canada. Program tersebut terdiri dari *slope/w*, *seep/w*, *sigma/w*, *quake/w*, *temp/w*, dan *ctran/w*. *Slope/w* merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk membantu perhitungan faktor keamanan tanah dan kemiringan tanah. Dengan program ini kita dapat menganalisa masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan tanah yang miring, tekanan air pori, sifat tanah, dan beban terkonsentrasi. Kita bisa menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis stabilitas lereng.

3. *Plaxis (Finite Element Code for Soil and Rock Analyses)* merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisis deformasi dan stabilisasi geoteknik dalam perencanaan-perencanaan sipil. Grafik prosedur-prosedur input data (*soil properties*) yang sederhana mampu menciptakan model-model elemen hingga yang kompleks dan menyediakan *output* tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan. Perhitungan program ini seluruhnya secara otomatis dan berdasarkan pada prosedur-prosedur penulisan angka yang tepat. (*Plaxis*, 1998).

Pada penelitian ini analisa stabilitas lereng dilakukan dengan bantuan program perangkat lunak dan data-data yang di pergunakan untuk melakukan analisis yaitu mengenai nilai-nilai parameter pada tanah yang didapat dari hasil penyelidikan tanah dalam hal ini adalah tanah di daerah pada PT. Pertamina *Geothermal* Ulubelu Kabupaten Tanggamus. Data-data

yang diperoleh dari hasil uji lab digunakan sebagai *input* untuk menjalankan program perangkat lunak, beberapa parameter utama dalam perhitungan program adalah sebagai berikut:

1. Berat isi jenuh dan berat isi tak jenuh ( $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ )

berat isi jenuh dan tak jenuh mengacu pada berat isi total dari tanah termasuk air yang berada dalam pori-pori. Berat tak isi jenuh  $\gamma_{unsat}$  diterapkan pada seluruh material diatas garis *freatik* (batas permukaan air tanah), dan berat isi jenuh  $\gamma_{sat}$  diaplikasikan pada seluruh material yang berada dibawah garis *freatik* (batas permukaan air tanah).

2. Permeabilitas ( $K_x$  dan  $K_y$ )

Permeabilitas mempunyai satuan kecepatan (satuan panjang persatuan waktu) permeabilitas hanya dibutuhkan untuk analisis konsolidasi dan perhitungan aliran air dalam tanah. Penerapan permeabilitas untuk klaster perlu dilakukan termasuk lapisan yang hampir kedap air yang dianggap seluruhnya kedap air.

3. Modulus Young ( $E$ )

Modulus Young sebagai modulus kekakuan dasar dalam model elastis dan model *Mohr Cloumb*, modulus kekakuan mempunyai satuan tegangan (satuan gaya per satuan luas). Nilai dari parameter kekakuan yang digunakan dalam perhitungan diperlukan perhatian khusus karena banyak material tanah yang telah menunjukkan perilaku *non-linier* dari awal pembebanan.

4. Angka poisson ( $\nu$ )

Angka poisson didapatkan dari uji triaksial, uji triaksial terdrainase standar dapat menyebabkan tingkat pemampatan volume yang signifikan pada awal pemberian beban aksial sehingga juga dapat menghasilkan nilai angka poisson awal ( $\nu_0$ ) yang rendah. Penggunaan angka poisson yang lebih tinggi akan berarti bahwa air tidak cukup kaku dibandingkan dengan butiran tanah dalam memodelkan perilaku tak terdrainase.

5. Kohesi ( $c$ )

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar molekul yang sama, salah satu yang mempengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda, kohesi dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas.

6. Sudut geser dalam ( $\phi$ )

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser didalam material tanah atau batuan, sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya, semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

adapun langkah-langkah dari program plaxis antara lain sebagai berikut :

- a. Membuat judul, model, dan elemen yang akan digunakan pada program .

- b. Membuat batas dari mistar atau dimensi Menuliskan dimensi, yaitu sepanjang ke kiri, ke kanan, ke atas, dan ke bawah.
- c. Membuat klaster atau batas-batas dari jenis-jenis tanah sesuai dengan jenis materialnya, dan kemudian diberi beban.
- d. Menentukan nilai parameter tanah dengan menekan tombol *Maerial Sets* antara lain  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ , kohesi, poisson ratio, modulus young, sudut geser dalam, permeabilitas dan lain sebagainya.
- e. Prosedur selanjutnya dapat dipahami lebih lanjut dan lebih jelas lagi pada literatur yang diperoleh dari program.

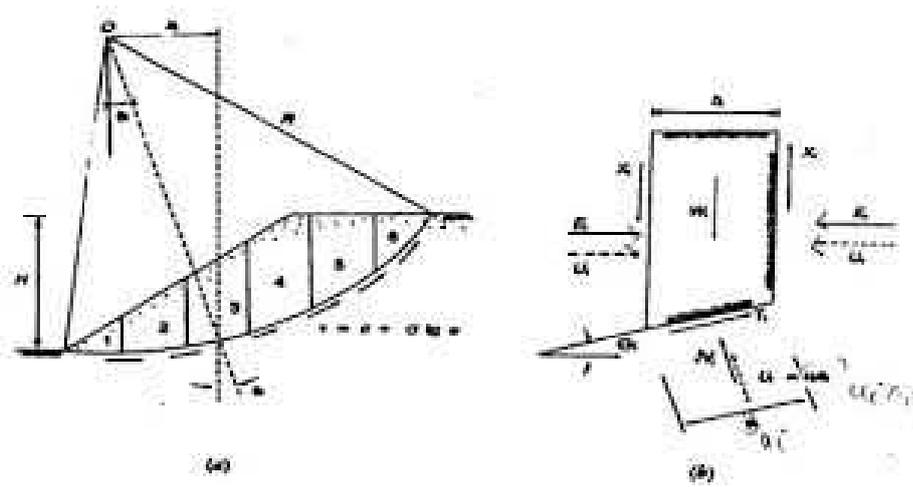
## 2.6 Metode Bishop Yang Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode Bishop disederhanakan (*Bishop, 1955 dalam Hardiyatmo (b), 2003*) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran.

Pada metode ini ada beberapa asumsi, diantaranya:

- a. Pada metode ini keruntuhan diasumsikan akibat gerakan rotasi dari tanah tersebut yang mana keruntuhan tersebut berbentuk lingkaran. Metode ini tidak biasa digunakan untuk menghitung faktor keamanan dari sebuah keruntuhan yang tidak memiliki bidang keruntuhan berbentuk lingkaran.
- b. Nilai dari gaya horizontal pada kedua sisi dapat diabaikan karena tidak diketahui nilainya dan sulit untuk dihitung.
- c. Gaya normal yang bekerja diasumsikan bekerja ditengah bidang irisan dan diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal.

Dengan metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Gambar 8 memperlihatkan satu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja padanya. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser ( $X_r$  dan  $X_l$ ) dan gaya normal efektif ( $E_r$  dan  $E_l$ ) di sepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif ( $T_i$ ) dan resultan gaya normal efektif ( $N_i$ ) yang bekerja di sepanjang dasar irisannya. Pada irisannya, tekanan air pori  $U_1$  dan  $U_r$  bekerja di kedua sisinya, dan tekanan air pori  $U_i$  bekerja pada dasarnya. Dianggap tekana air pori sudah diketahui sebelumnya.



Gambar 6. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, hingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor aman, adalah:

$$= \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{\tan \phi'}{F} \dots\dots\dots(1)$$

dengan  $\sigma$  adalah tegangan normal total pada bidang longsor dan  $u$  adalah tekanan air pori.

Untuk irisan ke  $i$ , nilai  $T_i = a_i$ , yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor untuk keseimbangan batas. Karena itu:

$$T = \frac{c'w_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{\tau g \phi'}{F} \dots\dots\dots(2)$$

Kondisi keseimbangan momen dengan pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total yang dikerahkan tanah pada dasar bidang longsor, dinyatakan oleh persamaan (**Gambar 8**):

$$W_i x_i = T_i R \dots\dots\dots(3)$$

Dengan  $x_i$  adalah jarak  $W_i$  ke pusat titik rotasi O. Dari **Persamaan (1)** dan **(2)**, dapat diperoleh:

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^n [c' a_i + (N_i - u_i a_i) \tau g \phi']}{\sum_{i=1}^n W_i x_i} \dots\dots\dots(4)$$

- $F$  = faktor aman
- $c'$  = kohesi tanah efektif (kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi'$  = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)
- $b_i$  = lebar irisan ke- $i$  (m)
- $W_i$  = berat irisan tanah ke- $i$  (kN)
- $\theta_i$  = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 8 (derajat)
- $u_i$  = tekanan air pori pada irisan ke- $i$  (kN/m<sup>2</sup>)

Rasio tekanan air pori(*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai:

$$r_u = \frac{u}{w} = \frac{u}{\gamma h} \dots\dots\dots(5)$$

dengan:

$r_u$  = rasio tekanan air pori

$u$  = tekanan air pori ( $\text{kN/m}^2$ )

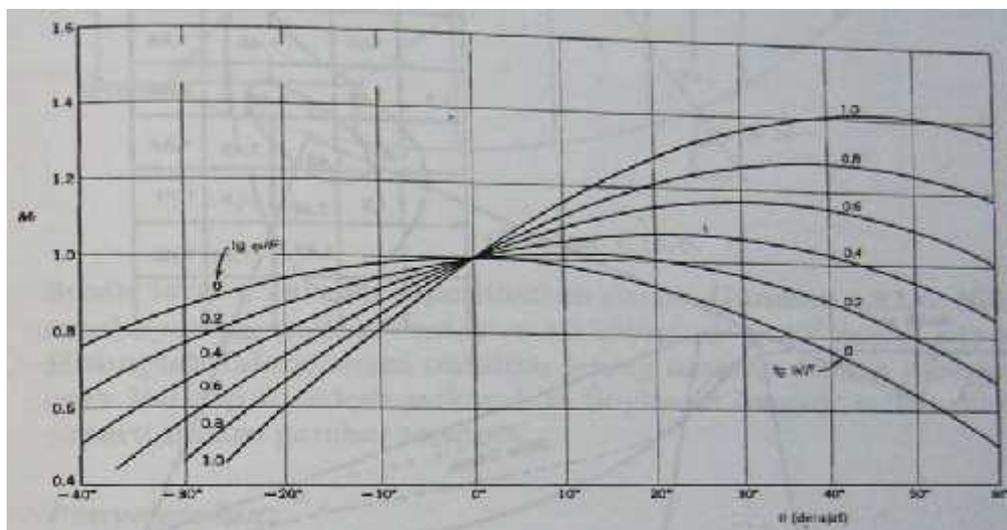
$b$  = lebar irisan (m)

= berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$h$  = tinggi irisan rata-rata (m)

Perhitungan nilai faktor aman dengan menggunakan *simplified bishop method* ini dibutuhkan cara coba-coba (trial and error), karena nilai faktor aman  $F$  nampak di kedua sisi persamaannya. Akan tetapi, cara ini telah terbukti menghasilkan nilai faktor aman yang mendekati hasil hitungan dengan cara lain yang lebih teliti. Untuk mempermudah hitungan secara manual. Gambar 9 dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi  $M_i$ , dengan:

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F) \dots \dots \dots (6)$$



Gambar 7. Diagram untuk menentukan  $M_i$

Maka, nilai faktor keamanan dalam metode ini dihitung dengan rumus:

$$F = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (W_1 + W_2) \sin \theta_i} \sum_{i=1}^n ([c' + (W_1 + W_2 - b u) \tan \phi'] \frac{1}{M_i}) \dots \dots \dots (7)$$

dengan:

$W_1 = \gamma h_1 b =$  berat tanah di atas muka air di saluran (kN)

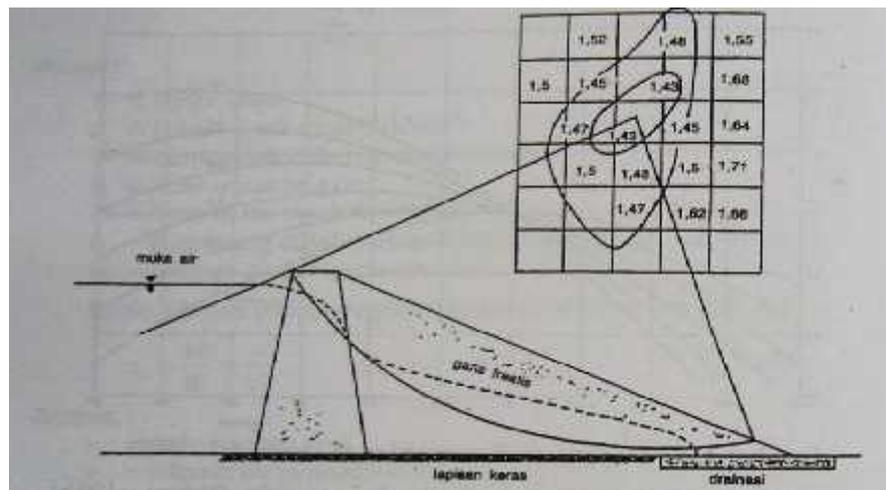
$W_2 = \gamma' h_2 b =$  berat efektif tanah terendam di bawah muka air (kN)

$b =$  lebar irisan arah horisontal (m)

$u = h_w \gamma_w =$  tekanan air dihitung dari muka air saluran (m)

$h_w =$  tinggi tekanan air rata-rata dalam irisan yang ditinjau (m).

Menentukan nilai faktor aman yang terkecil dari bidang longsor dengan pusat lingkaran pada titik tersebut, yaitu dengan cara mengubah jari-jari lingkarannya. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukan dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. Gambar 10 menunjukkan contoh kontur-kontur faktor aman yang sama, dari kontur faktor aman tersebut dapat ditentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor aman terkecil.



Gambar 8. Contoh kontur faktor aman

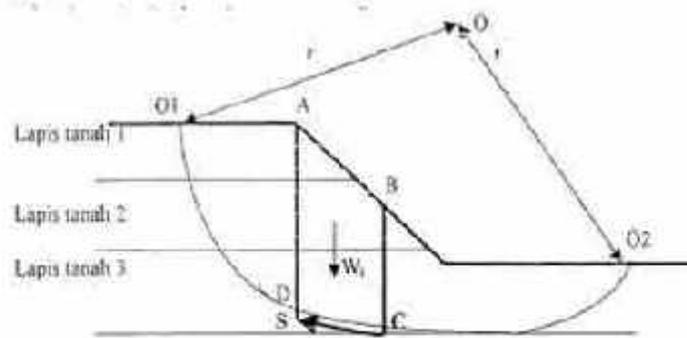
## 2.7 Metode Fellenius

Dalam menganalisis stabilitas lereng banyak metode-metode yang dapat digunakan, salah satunya metode irisan yang dicetuskan oleh *Fellenius (1939)*. Fellenius menyatakan bahwa metodenya menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (*sirkuler*) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Menurut *Sowers (1975)*, tipe longsorang terbagi kedalam 3 bagian berdasarkan kepada posisi bidang gelincirnya, yaitu:

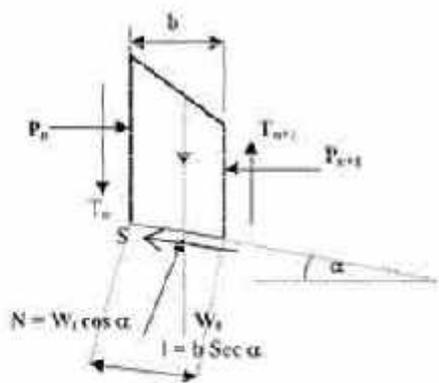
- a. Longsor kaki lereng (*toe failure*)
- b. Longsor muka lereng (*face failure*)
- c. Longsor dasar lereng (*base failure*)

Longsor muka lereng biasa terjadi pada lereng yang mempunyai lapisan keras (*hard layer*), dimana ketinggian lapisan keras ini melebihi ketinggian kaki lerengnya, sehingga lapisan lunak yang berada diatas lapisan keras berbahaya untuk longsor. Longsor dasar lereng biasa terjadi pada lereng yang tersusun oleh tanah lempung, atau bisa juga terjadi pada lereng yang tersusun oleh beberapa lapisan lunak (*soft seams*).

Agar supaya lereng menjadi stabil maka gaya-gaya yang diperlukan untuk mengakibatkan longsor haruslah lebih kecil dari pada gaya-gaya yang ada sehingga faktor keamanan akan menjadi lebih besar atau sama dengan satu (*Gabriella, 2014*).



(a) Memilih irisan-irisan agar dasar busur hanya pada satu jenis tanah



(b) Gaya-gaya yang bekerja pada irisan tunggal

$W_i$	= berat tanah irisan
$b$	= lebar irisan arah dasar
	bidang longsor
$P_n, P_{n+1}$	= gaya horizontal yang bekerja pada sisi irisan
$T_n, T_{n+1}$	= gaya tangensial pada sisi irisan
$N$	= gaya normal yang tegak lurus pada bidang longsor
$S$	= kekuatan geser yang bekerja sepanjang bidang longsor
$\alpha$	= kemiringan bidang longsor

Gambar 9. Sistem gaya pada Metode Fellenius

Berat total tanah/batuan pada suatu elemen ( $W_i$ ) termasuk beban luar yang bekerja pada permukaan lereng (gambar 2)  $W_t$ , diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar elemen. Dengan cara ini, pengaruh gaya  $T$  dan  $E$  yang bekerja disamping elemen diabaikan.

Pada gambar 2 momen tahanan geser pada bidang longsor adalah Berat total tanah/batuan pada suatu elemen ( $W_i$ ) termasuk beban luar yang bekerja pada permukaan lereng (gambar 2)  $W_t$ , diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar elemen. Dengan cara ini, pengaruh gaya  $T$  dan  $E$  yang bekerja disamping elemen diabaikan. Faktor keamanan adalah perbandingan

momen penahan longsor dengan penyebab longsor. Pada gambar 2 momen tahanan geser pada bidang longsor adalah:

$$M_{\text{Penahan}} = R \cdot r$$

Dimana;

R= gaya geser

r = jari-jari

Tahanan geser pada dasar tiap elemen adalah:

$$R = S \cdot b = b (c' + \tan \Phi), \quad = \frac{Wt \cos \alpha}{L}$$

Momen penahan yang ada sebesar:

$$M_{\text{penahan}} = r (c' b + Wt \cos \alpha \tan \Phi)$$

Komponen tangensial  $Wt$ , bekerja sebagai penyebab longsor yang menimbulkan momen penyebab sebesar:

$$M_{\text{penyebab}} = (Wt \sin \alpha) \cdot r$$

Faktor keamanan dari lereng menjadi:

$$FK = \frac{\sum (c' b + Wt \cos \alpha \tan \Phi)}{\sum Wt \sin \alpha}$$

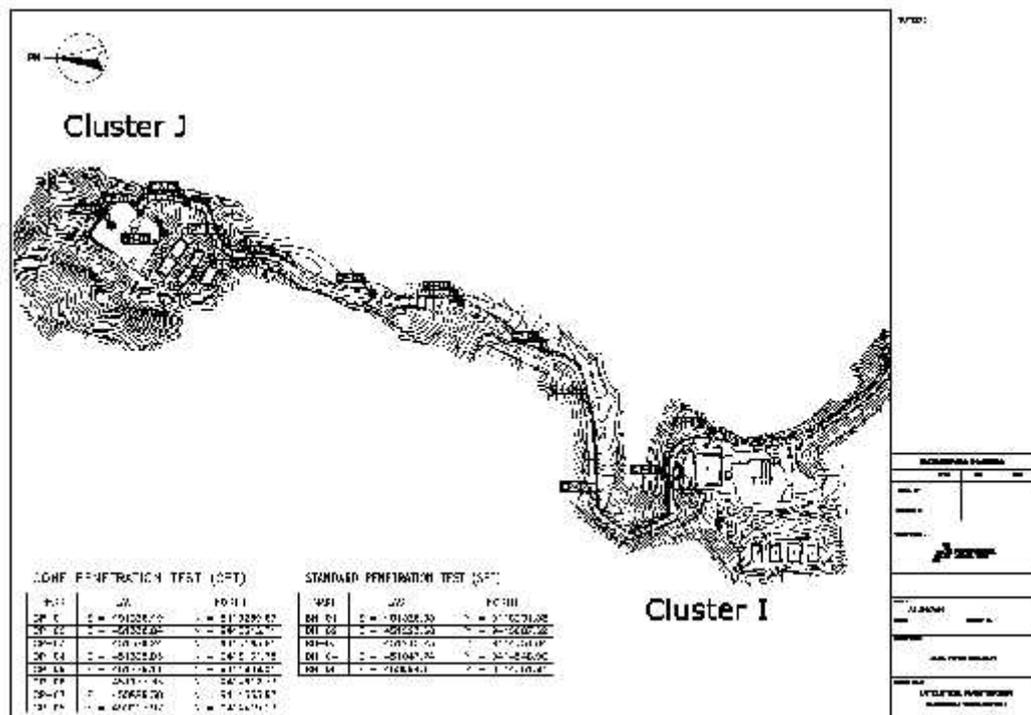
Jika lereng terendam air atau jika muka air tanah diatas kaki lereng, maka tekanan air pori akan bekerja pada dasar elemen yang ada dibawah air tersebut. Dalam hal ini tahanan geser harus diperhitungkan yang efektif sedangkan gaya penyebabnya tetap diperhitungkan secara total, sehingga rumus menjadi:

$$FK = \frac{\sum [c' b + (Wt \cos \alpha - u b) \tan \Phi]}{\sum Wt \sin \alpha}$$

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini, lokasi penelitian berada dijalur pipa panas bumi Pertamina *Geothermal*, Ulubelu Lampung Selatan. Lokasi penelitian ini dipilih pada jalur pipa panas bumi *cluster J-I* dari BH-1 – BH-5, dan daerah lereng yang rawan longsor.



(sumber: PT. Pertamina geothermal)

Gambar 10. Peta Lokasi Penelitian.

## 3.2 Tahapan Pengumpulan Data

Teknik yang digunakan untuk melakukan pengumpulan data terdiri dari pengumpulan data-data primer dan sekunder. Tahapannya adalah sebagai berikut:

### 3.2.1 Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari lapangan, data-data tersebut terdiri dari:

a. Pengukuran lereng langsung dilapangan yang dijukan untuk mendapatkan data tinggi lereng serta sudut lereng tersebut. Dan dalam pembuatan gambar geometri dilakukan juga dari pemotongan peta kontur, dalam melakukan pemotongan peta kontur ada dua potongan yaitu:

#### 1. Potongan memanjang (*long section*)

Petongan memanjang adalah pemotongan yang dibuat searah memanjang atau diantara batas kanan dan kiri mengikuti alur daerah yang ditinjau dari titik as pertama sampai titik pada batas yang diinginkan, biasanya potongan memanjang dibuat berdasarkan tinggi elevasi pada tiap daerah yang ada pada kontur.

#### 2. Potongan melintang (*cross section*)

Potongan melintang adalah pemotongan pada titik tertentu yang dibuat secara memotong pada 1 titik yang ingin ditinjau,

sehingga mendapatkan bentuk dari area di kiri dan kanan sesuai keadaan yang sebenarnya.

Pada penelitian ini dilakukan pemotongan secara memanjang dan melintang agar analisa yang dilakukan dapat lebih maksimal hasilnya.

- b. Data-data tanah yang didapatkan dari hasil uji laboratorium untuk mendapatkan nilai sudut geser, kohesi, modulus young, angka poisson dan sudut dilatasi, yaitu data-data tersebut yang akan dijadikan sebagai *input* untuk program yang digunakan.

### **3.2.2 Data Tambahan**

Pengumpulan data tambahan dilakukan dengan mencari referensi-referensi dari buku-buku mekanika tanah, juga media lainnya. Serta melakukan pengumpulan informasi dan dokumentasi dalam menunjang kelengkapan analisis input program, agar hasil yang didapat dapat maksimal.

### **3.3 Tahapan Pengujian Laboratorium**

Percobaan laboratorium untuk mendapatkan data tanah yang belum diketahui dengan menggunakan percobaan uji geser langsung. Pengambilan sampel tanah di lokasi penelitian diambil dari tanah dari lereng yang dijadikan lokasi penelitian.

### 3.3.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan antara lain :

- a. Sampel tanah asli (*undisturbed sample*) di lokasi penelitian.
- b. *Frame* alat geser langsung beserta *proving ring*.
- c. Sel geser langsung (*shear box*).
- d. Alat mengeluarkan sampel (*extruder*).
- e. Cincin cetakan benda uji dan pisau pemotong sampel.
- f. Dial pergeseran, stopwatch, dan beban uji.

### 3.3.2 Langkah Kerja

Cara kerja percobaan *direct shear test* :

- a. Masukkan cetakan benda uji dengan menekan kesampel tanah, sehingga cetakan terisi penuh dengan sampel tanah.
- b. Potong dan ratakan kedua permukaan cetakan dengan pisau pemotong.
- c. Keluarkan benda uji dari cetakan dengan *extruder*.
- d. Timbang benda uji dengan timbangan ketelitian 0,01 gram.
- e. Masukkan benda uji kedalam cincin geser yang masih terkunci dan tutup kedua cincin geser sehingga menjadi satu bagian, posisi benda uji (*sample* tanah) berada diantara dua batu pori dan kertas saring.
- f. Letakkan cincin geser beserta sampel tanah di dalam *shear box*.
- g. Atur stang penekan dalam posisi vertical dan tepat menyentuh bidang penekan.

- h. Putar engkol pendorong sampai tepat menyentuh stang penggeser bendauji (*dial proving* tepat mulai bergerak).
- i. Buka kunci cincin geser.
- j. Berikan beban pertama seberat 3320 gram dan isi shear box dengan air sampai penuh sehingga benda uji terendam.
- k. Putar engkol pendorong dengan konstan dan stabil perlahan-lahan selama 15 detik sambil membaca dengan memperhatikan *dial* pergeseran. Bila *dial* pergeseran menunjukkan 12,5 pembacaan *dial proving ring* dapat dimulai.
- l. Lakukan terus pembacaan *dial proving ring*, dengan setiap pembacaan *dial* pergeseran mempunyai selisih 12,5 dan selisih waktu 15 detik.
- m. Setelah pembacaan *proving ring* maksimum dan mulai menurun dua atau tiga kali pembacaan, percobaan dihentikan.
- n. Bersihkan cincin geser dan shear box dari kotoran sampel tanah di dalamnya.
- o. Ulangi langkah kerja (*e*) sampai langkah kerja untuk sampel tanah yang kedua dengan beban kedua sebesar 6640 gram dan sampel tanah ketiga sebesar 9960 gram.

### 3.3.3 Mencari Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah

Nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser tanah ( $\varphi$ ) dapat dicari dengan cara :

- a. Angka-angka tegangan normal ( $\sigma_n$ ) sebagai sumbu axis.
- b. Angka-angka tegangan geser ( $\sigma_s$ ) sebagai sumbu ordinat.

- c. Dari titik-titik tersebut ditarik garis lurus yang akan memotong sumbu kordinat.
- d. Untuk mencari harga kohesi ( $c$ ) diukur dari jarak titik potong garis lurus terhadap sumbu kordinat ketitik pusat. Dalam pengukuran ini hasilnya dikalikan dengan skala yang digunakan.
- e. Sudut geser dalam tanah ( $\varphi$ ) yaitu dengan mengukur sudut potong dari garis horizontal terhadap garis grafik.

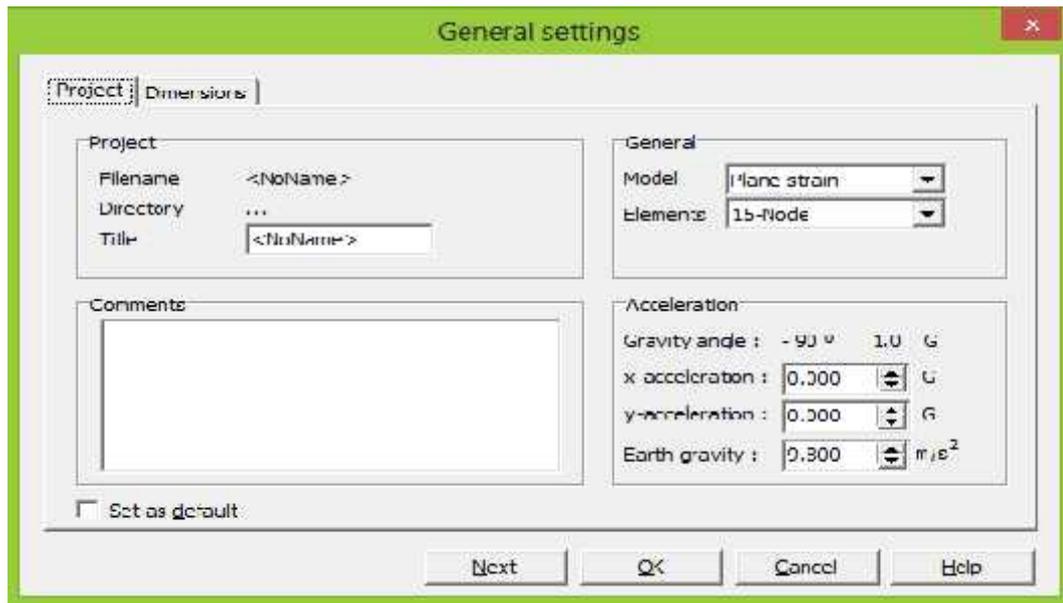
Tapi pada penelitian yang saya lakukan, saya tidak melakukan pengujian lab. Data-data dari pengujian lab saya dapatkan dari pihak pelakasana pelaksana perkejaan tersebut.

### **3.4 Tahapan Analisis Stabilitas Lereng**

#### **3.4.1 Cara Analisis Data dengan Menggunakan Program Perangkat Lunak**

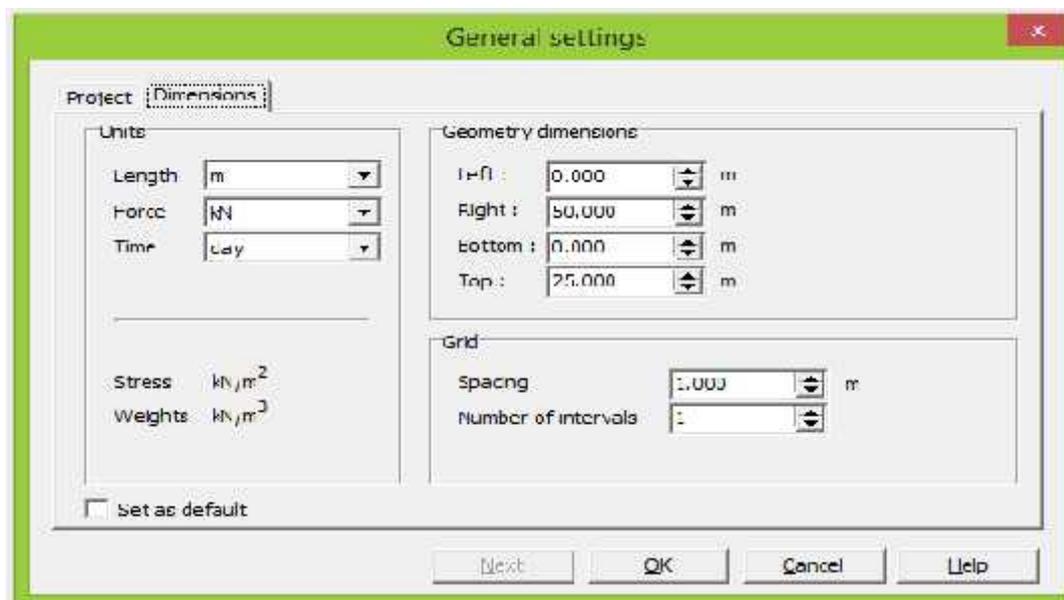
##### **3.4.1** *Input Program*

Dalam analisis pekerjaan yang akan menggunakan program, haruslah membuat pemodelan sesuai kondisi di lapangan. Berikut ini merupakan tahapan pemodelan lereng dalam program:



Gambar 11. Tampilan *General Settings Project*.

- 1) Melakukan *input* data pada tampilan *General settings*. Tampilan *General settings* terdiri dari dua, yaitu *Project* seperti terlihat pada Gambar 11 dan *Dimensions* pada Gambar 12.

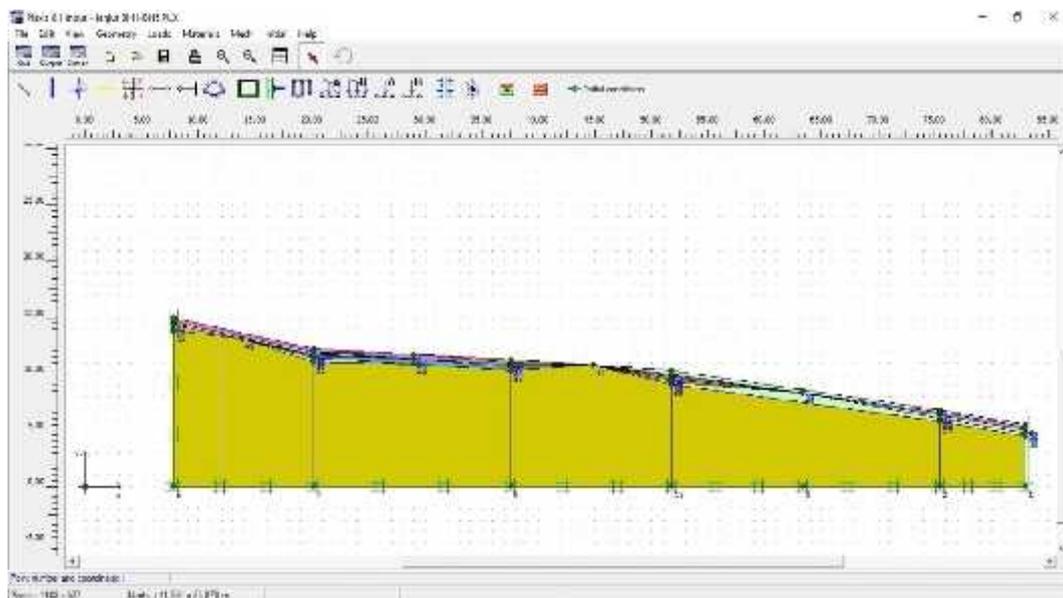


Gambar 12. Tampilan *General Settings Dimension*.

Pada *Project box* terdapat *file name*, *directory* dan *title*. *File name* dan *directory* belum terisi karena merupakan lembar kerja

baru, sedangkan pada *title* dapat diisi dengan nama pekerjaan yang akan dianalisa atau nama judul.

- 2) Menggambar geometri 2 dimensi penampang lereng yang akan dianalisis.

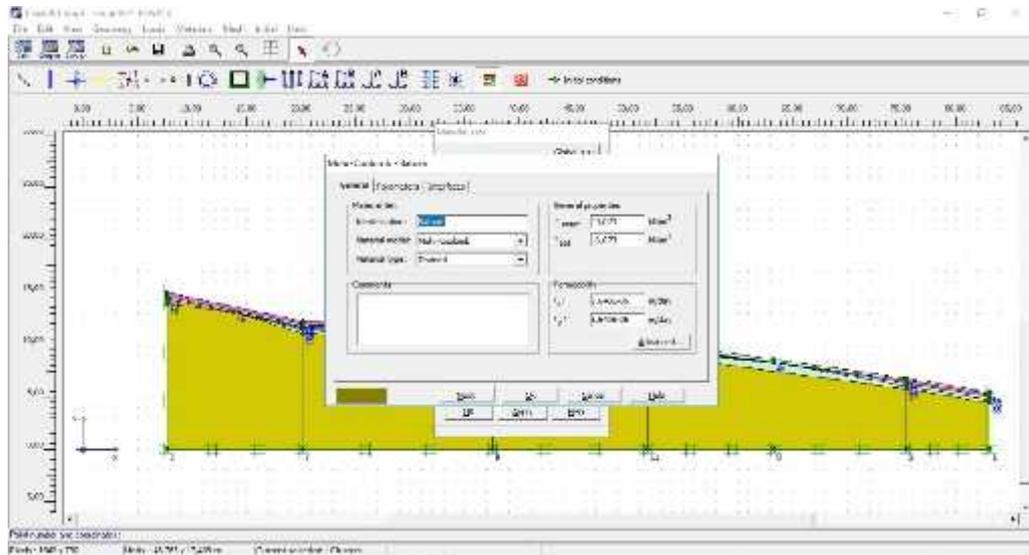


Gambar 13. Gambar geometri

Penggambaran geometri dibuat dengan memperhitungkan skala gambar, yaitu dengan skala 1cm : 20 m.

Dan pemotongan tinggi elevasi yaitu dilakukan dengan memotong 845 m, dari titik dasar tanah yaitu kedalaman 0 m, sehingga didapat sebagai contoh tinggi elevasi BH-1 yang awalnya 1145 m, menjadi 300, karena diasumsikan tanah dari kedalaman tersebut hingga dasar adalah jenis tanah keras.

### 3) Memasukan sifat-sifat material pada menu *Material Sets*.

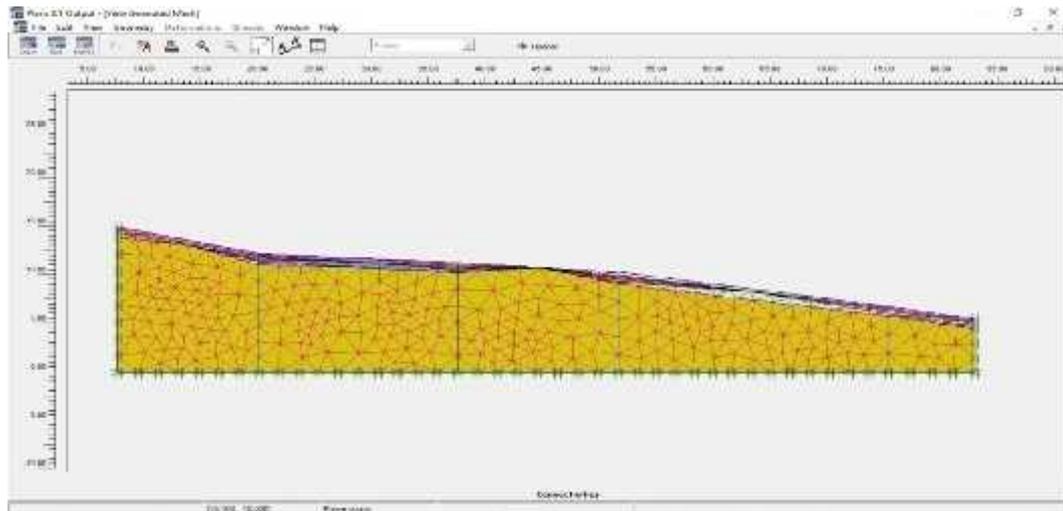


Gambar 14. Gambar *input* data tanah.

Penginputan data tanah dilakun untuk memasukan data-data yang didapat dari hasil pengujian laboratorium dengan sampel tanah dari lokasi tersebut.

Penginputan data tanah yang terdiri dari, *modulus young*, angka *poisson*, kohesi, sudut geser dan sudut dilantasi. *input* ditujukan untuk menjalankan program, agar hasil yang didapatkan sesuai dari lokasi yang sebenarnya,

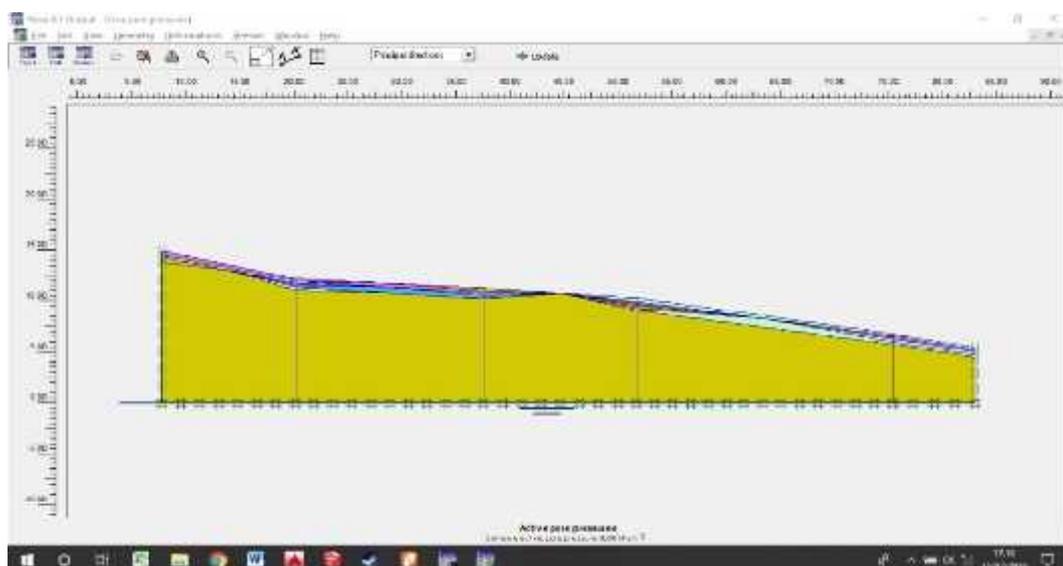
### 4) Melakukan penyusunan jaringan elemen (*Generated Mesh*).



Gambar 15. Gambar jaringan elemen.

Jaringan elemen dibuat untuk melakukan perhitungan elemen hingga, jaringan element terdiri dari 15 titik nodal dan 6 titik nodal, dan ada beberapa jenis kekasaran yang tersedia pada jaringan element, pada umumnya 15 titik nodal dan kekasaran sangat halus lebih dipilih karena untuk proses perhitungan yang lebih akurat.

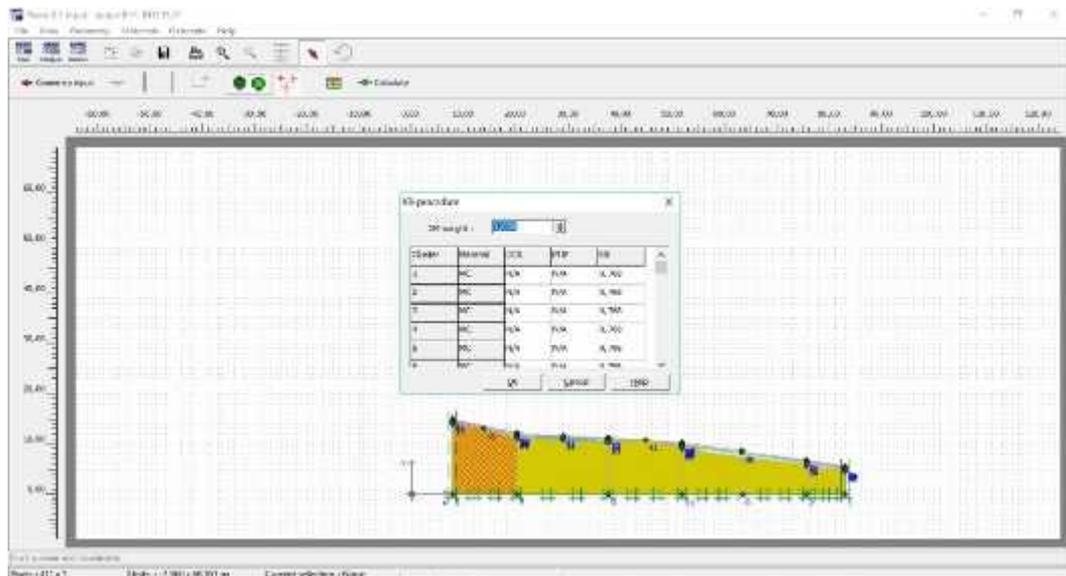
- 5) Menentukan *Initial Condition* dan *Intial Pore Pressures* untuk menentukan kondisi muka air tanah (MAT) dan *KO Procedure*.



Gambar 16. Gambar tekanan air pori.

Tekanan air pori dibuat dengan garis freatik, garis freatik dibuat untuk menentukan kondisi pada batas tekanan air pori yang diinginkan.

Seperti contoh gambar diatas garis freatik atau tekanan air pori berada dibawah permukaan tanah, atau di bawah dasar tanah.



Gambar 17. Gambar nilai tekanan air pori.

Nilai tekanan air pori yang dihasilkan dari pembuatan garis freatik dibawah dasar tanah, yang terdiri dari 5 kolom yaitu:

1. Nomor klaster, menunjukkan jenis jenis tanah pada setiap klaster
2. Model material, menunjukkan jenis pemodelan material tanah pada masing masing lapisan
3. *OCR*, menjelaskan tentang rasio konsolidasi berlebih
4. *POP*, menjelaskan tentang konsolidasi berlebih juga
5. *K0*, menunjukan nilai yang dihasilkan dari tekanan air pori.

### **3.5 Validasi Program**

Validasi program adalah salah satu cara untuk membandingkan tingkat keakuratan program dalam melakukan perhitungan analisis, Untuk mengecek validasi dari program, maka dilakukan perbandingan perhitungan stabilitas lereng dengan memvariasikan kondisi lereng yaitu pada saat lereng dalam kondisi dengan derajat kejenuhan 50% derajat kejenuhan 70%, derajat kejenuhan 90%.

Dari hasil perhitungan program kita dapat melihat pada kondisi apa sebenarnya lereng dapat menjadi tidak stabil (kecilnya nilai faktor aman).

### **3.6 Pembahasan**

Pembahasan ini mengacu pada perbandingan hasil analisis dengan menggunakan program Perangkat lunak dan rumus analisis. Selain itu ditinjau penyebab kelongsoran berdasarkan besarnya sudut kemiringan lereng dan kandungan air dalam tanah pada lereng, serta menganalisis penanganan kelongsoran lereng yang telah terjadi dilapangan dengan menggunakan program Perangkat lunak.

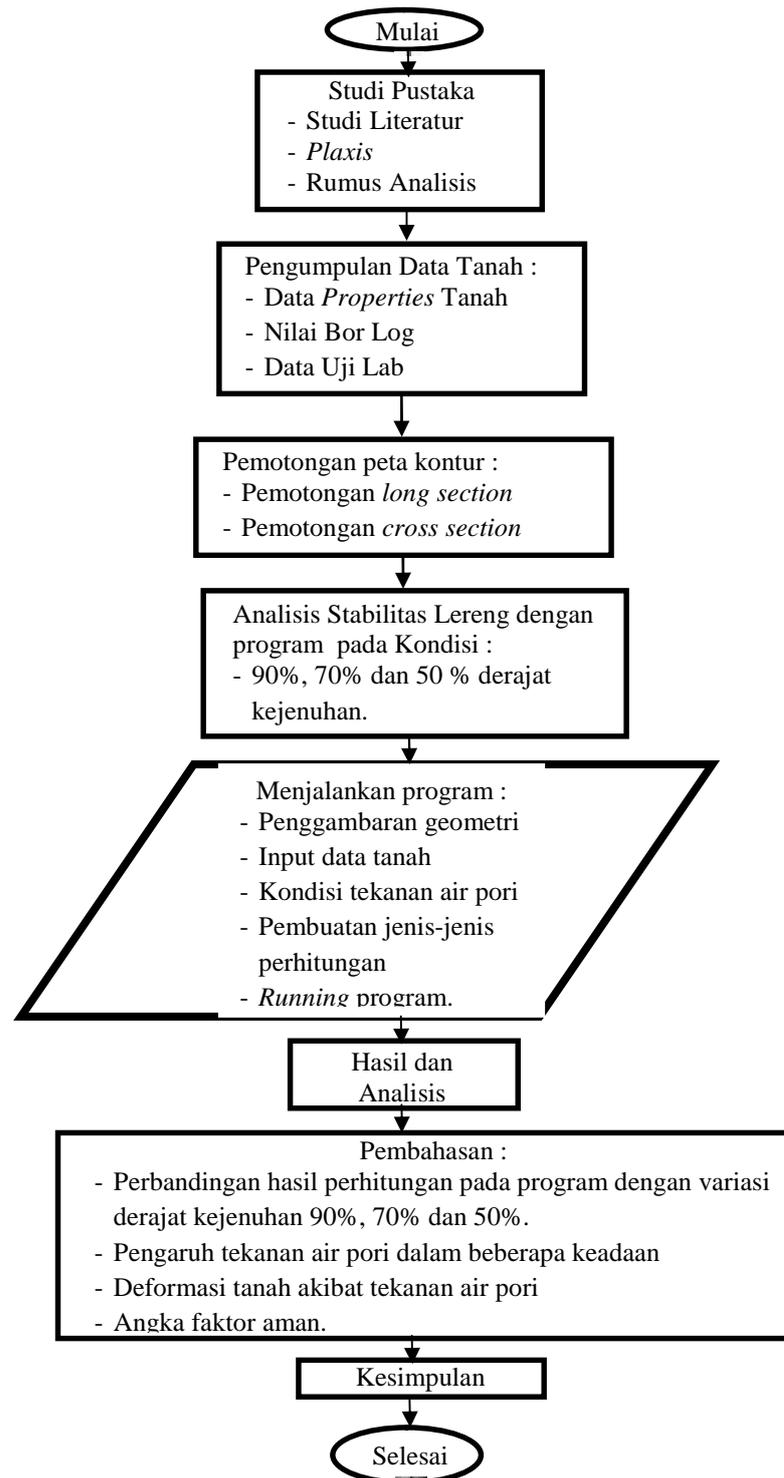
### **3.7 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan diambil sesuai dengan pembahasan dan kemudian memberikan saran berdasarkan perbandingan hasil analisis dengan program Perangkat lunak dan rumus analisis lereng tak terhingga dengan membandingkan

faktor keamanan pada saat tanah dalam kondisi derajat kejenuhan 90%, 70% dan 50%.

### **3.8 Diagram Alir Penelitian**

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dalam menganalisis kestabilan lereng adalah sebagai berikut :



Gambar 18. Diagram alir penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

2. Dari pengklasifikasian sistem *USCS* didapatkan hasil sebagai berikut:  
Beberapa jenis tanah dari hasil uji laboratorium sama dengan hasil yang diperoleh pada sistem klasifikasi *USCS*, tetapi ada juga yang berbeda, diantaranya untuk hasil yang tidak sama adalah sebagai berikut:
  - a. Titik BH-1 kedalaman 10 meter
  - b. Titik BH-2 kedalaman 5 meter
  - c. Titik BH-3 kedalaman 5 meter
  - d. Titik BH-4 kedalaman 5 meter
  - e. Titik BH-5 kedalaman 10 meter
3. Dari perhitungan program, nilai faktor aman dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adalah, jenis lapisan tanah pada lereng, sudut pada lereng, kandungan air yang terdapat pada lereng serta variasi beban yang diberikan pada lereng yang menyebabkan kestabilan lereng terganggu.
4. Untuk lokasi yang sangat berpotensi terjadinya kelongsoran paling besar terjadi pada lereng di titik *borehole* 3 sisi kiri lereng dengan kondisi derajat kejenuhan 70% dan variasi beban terpusat sebesar 20 ton.
5. Air pada tanah sangat berpengaruh terhadap kuat geser tanah, termasuk daya dukung tanah, sehingga kondisi tanah yang divariasikan dengan derajat kejenuhan, dapat menyebabkan hasil yang bervariasi, sehingga besarnya pengaruh air terhadap hasil dari nilai keamanan pada lereng.

## 5.2 Saran

Dari hasil analisis stabilitas lereng *Cluster J-I* dengan menggunakan program saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Dalam melakukan analisis perhitungan program perlu diperhatikan dalam pemasukan nilai *input* material tanah hasil uji lab yang sesuai agar keakuratan hasil dari perhitungan program baik, atau sesuai keadaan yang sesungguhnya.
2. Penentuan lokasi peninjauan sangat penting karna hasil penggambaran disesuaikan dengan detail lokasi yang ditentukan sehingga kondisi kemiringan lereng dapat di analisis dengan baik dan lebih diutamakan untuk peninjauan pada daerah yang memiliki sudut kemiringan yang kecil,
3. Memperbanyak referensi tentang lereng, kelongsoran dan ilmu analisis tanah untuk menambah faktor pendukung dalam menyelesaikan analisis program.

## DAFTAR PUSTAKA

- Christady, Hary. 2011. *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Pamungkas, Anugrah & Erny Harianti. 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. C.V Andi Offset. Yogyakarta.
- Universitas Lampung. 2013. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Unila Offset. Bandar Lampung.
- Amelinda, Lucia Nathania Christine. 2013. *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Hotel 15 (Lima Belas) Lantai*. Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Fatria, Akhmad Ridho. 2016. *Analisis Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan Metode Fellenius (Ordinary Method of Slice) Menggunakan Program PHP (Professional Home Page Hypertext Preprocessor)*. Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1996. *Teknik Fondasi 1*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2006. *Teknik Fondasi 2*. Yogyakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Pentawan, Yota. 2017. *Simulasi Penggunaan Program Geostudio Slope/W 2007 Dalam Mengalalisis Stabilitas Lereng Dengan Jenis Tanah Lempung Berpasir Pada Kondisi Tidak Jenuh, Kondisi Jenuh Sebagian, Kondisi Jenuh*. Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Saputra, Septian Adi. 2017. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Geotekstil Pada Ruas Jalan Lintas Liwa-Simpang Gunung Kemala KM. 268+550*. Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Winanda, Restu Arga. 2017. *Perencanaan Dinding Penahan Tanah Concrete Cantilever Dengan Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus: Jalan Liwa-Simpang Gunung Kemala Krui KM.264+600)*. Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Das, Braja M. 1983. *Fundamentals of Soil Dynamics*. New York: Elsevier Science Publishing Co. Inc.,