

TUGAS AKHIR

**ANALISIS BALIK (*BACK ANALYSIS*) UNTUK KASUS
KELONGSORAN DENGAN PROGRAM *SLIDE*
(STUDI KASUS KELONGSORAN BANDARA SANGGU
BUNTOK)**



OLEH:

LUKMAN IAN TRISAKTI MARBUN
DAB 111 0002

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN TINGGI
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
2020**

**ANALISIS BALIK (*BACK ANALYSIS*) UNTUK KASUS
KELONGSORAN DENGAN PROGRAM *SLIDE*
(STUDI KASUS KELONGSORAN BANDARA SANGGU BUNTOK)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

LUKMAN IAN TRISAKTI MARBUN
NIM. DAB 111 002

Telah dipaparkan di depan Tim Pembahas, pada:

Hari/Tanggal : Jum'at, 21 Februari 2020
Waktu : Pukul 09.00 – 12.00 WIB
Tempat : Ruang Audio Visual Jurusan Teknik Sipil

Pembimbing I



Ir. SURADJI GANDI, M.M.
NIP. 195707061987011002

Pembimbing II



Dr. Fatma Sarie, S.T., M.T.
NIP. 197202191997022001

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua



Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 197806082005011003

**ANALISIS BALIK (BACK ANALYSIS) UNTUK KASUS KELONGSORAN
DENGAN PROGRAM SLIDE (STUDI KASUS KELONGSORAN BANDARA
SANGGU BUNTOK)**

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-I pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya


Oleh :

LUKMAN IAN TRISAKTI MARBUN
NIM. DAB 111 002

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada :

Hari/Tanggal : Jum'at, 21 Februari 2020
Waktu : Pukul 09.00 – 12.00 WIB
Tempat : Ruang Audio Visual Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

1. Ir. H. SURADJI GANDI, M.M
NIP. 195707061987011002

 (Ketua/Pembimbing I)

2. Dr. FATMA SARIE, S.T., M.T.
NIP. 197202191997022001

 (Sekretaris/Pembimbing II)


3. M. IKHWAN YANI, S.T., M.T.
NIP. 197102251998021001

 (Anggota)

4. OKROBIANUS HENDRI, S.T., M.T.
NIP. 197510012006041003

 (Anggota)

5. VERONIKA HAPPY P, S.T., M.T.
NIP. 197407242005012002

 (Anggota)


Mengetahui :

Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya
Dekan,

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Universitas Palangka Raya
Ketua,



Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19651119 199302 1 001


Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh bahwa tugas akhir saya belum pernah dipakai sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Segala kutipan dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana disebutkan lengkap dalam daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi akibat ketidak benaran pernyataan saya.

Palangka Raya, 15 Maret 2020
Yang membuat pernyataan

LUKMAN IAN TRISAKTI MARBUN
NIM. DAB 111 002

RIWAYAT PENYUSUN



Data Pribadi

Nama : Lukman Ian Trisakti Marbun
Nim : DAB 111 002
Tempat, Tgl Lahir : Bakal Batu, 23 Oktober 1994
Status : Belum Kawin
Agama : Katolik
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat : Jl. Haka 2 No. 58
Nama Ayah : Agustinus Jones Marbun
Nama Ibu : Ruspita Manurung

Riwayat Pendidikan

1. TK : -
2. SD : SDN 173413 POLLUNG (1998-2004)
3. SLTP : SMPN 3 POLLUNG (2004-2007)
4. SLTA : SMAN 1 POLLUNG (2008-2011)
5. Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-I pada jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan Agustus 2011

Palangka Raya, 15 Februari 2020

Yang membuat pernyataan

LUKMAN IAN TRISAKTI MARBUN

NIM. DAB 111 002

HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Yesus adalah Gembalaku, takkan kekurangan aku”
(Mazmur 23:1)*

Puji syukur kepada Tuhan dan terimakasih atas semua doa dan dukungan. Dalam setiap waktu aku berusaha menjadikan hidupku baik, walau tidak semua berjalan baik. Mudah – mudahan setelah tercapainya gelar sarjana menjadikan saya lebih bijak dan baik mengingat gelar yang saya pikul. Tanpa mengurangi rasa syukur, saya persembahkan ungkapan terimakasih kepada :

- 🕒 Tuhan yang selalu menyertai, dan selalu memberi kemudahan.
- 🕒 Orang tua, kakak, adik, juga keluarga yang selalu memberi dukungan dan doa.
- 🕒 Bapak stepanus dan ibu cia, yang memberi semangat dan sudah jadi tempat saya mengadu.
- 🕒 Bapak robi (dosen terbaik sekaligus teman) yang slalu sedia mendengar curhatan dan siap membantu urusan saya.
- 🕒 Teman – teman teknik sipil lintas generasi, terkhusus teman grup talenta.
- 🕒 Dosen – dosen pembimbing dan pembahas yang rela meluangkan waktunya.
- 🕒 Dosen – dosen teknik sipil atas ilmu dan bimbingannya.
- 🕒 Staff administrasi jurusan teknik sipil yang banyak membantu.
- 🕒 Serta semua pihak yang tidak tertulis disini yang telah berpartisipasi.

ABSTRAK

Kestabilan lereng tanah memiliki peranan penting dalam pembangunan, karena selain untuk bahan bangunan tanah juga berperan penting sebagai pondasi utama berdirinya sebuah bangunan dan Salah satu bangunan yang mengalami gangguan kestabilan tanah adalah Bandara Sanggu. Landasan pacu/runway dibangun diatas tanah timbunan yang dipadatkan hingga ketinggian 9 meter dari permukaan tanah asli. Bandara tersebut berada di desa Sanggu Buntok, Kabupaten Barito Selatan, Kalimantan Tengah. Pada tahun 2015 sesudah pembangunan landasan pacu (*runway*) bandara ini mengalami kelongsoran pada lereng sisi kanan ujung landasan pacu. Longsor adalah gerakan massa tanah dan batuan yang bergerak dari tempat lebih tinggi ke tempat terendah untuk mencari kesetimbangan baru.

Umumnya longsor terjadi pada saat hujan lebat hingga sangat lebat. Longsor sangat berpotensi terjadi pada lereng buatan. Saat membuat suatu lereng untuk tujuan proyek rekayasa tentunya membutuhkan material baru. Dalam penelitian ini pengambilan sampel tanah dilakukan pada kedalaman 0 – 30 meter yang dilakukan di atas timbunan *runway* guna untuk mendapatkan hasil SPT (*standart penetration test*), pengujian sifat dan karakteristik material. Dari hasil pengujian pada kedalaman 0 – 1,5 meter merupakan tanah berjenis SC-SM (*silty, clay sand*) dan untuk kedalaman 2 – 30 meter merupakan tanah berjenis pasir dengan gradasi buruk (*poorly graded sand/SP*).

Dalam penelitian ini menggunakan sistem komputasi *software slide versi-5* dengan metode Bishop guna melakukan analisis balik yang menurunkan nilai kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ) yang bermanfaat mengetahui besarnya nilai kohesi dan sudut geser dalam pada rentang faktor keamanan 0.98 - 1.01 atau dalam kondisi kritis. Hasil penelitian ini besarnya nilai kohesi (C) sebesar 4.3 Kn/m² dan sudut geser dalam (ϕ) 30.31°.

Hasil analisis *software slide versi-5* diperoleh nilai faktor keamanan lapangan sebesar 1,097 dengan menggunakan hasil parameter tanah dari laboratorium. Sementara hasil analisis balik menggunakan *software slide versi-5* diperoleh nilai faktor keamanan saat longsor sebesar 0,97.

Kata Kunci: Longsor, Kohesi, Sudut Geser Dalam, Analisis Balik, Faktor Keamanan Lereng.

ABSTRACT

Soil Slope stability is very important in embankment construction, soil can use material construction and foundation. In one problem is Sanggu airport where in this airport the run way have landslide. Runway in this airport built on fill embankment with height embankment 9 meters. the located Sanggu Airport located in Sanggu village in Buntok district South Barito. In 2015 fill embankment have landslide. Landslide event after the Airport built. Landslide event in right position of runway Sanggu Airport. Landslide is movement soil and rock or mix of both of the mass to find new balance.

General event of landslide have in heavy rain until to very heavy rain. Landslide have potential in fill embankment. To build fill embankment need new fill material where the material take from other quarry, after that the material will to compact to increase strength of soil embankment. In this research do drilling boring until 30 meters. The sampel of soil soil take disturbed and undisturbed method. the result of sample to know the parameters of soil. Soil type is SC-SM (Silty, Clayey Sand) in 1.5 m and 2 – 30 meters the type material is sand with category sand poor graded (SP).

In this research use software Slide ver 5.0. with Bishop method to back analysis. In back analysis to find cohesion (C) and internal angle (ϕ) of soil with to decrease the cohesion (C) and internal angle (ϕ) of soil until safety factor in range 0.98 – 1.01 or critis condition. The result of this research get the cohesion (C) is 4.3 Kn/m^2 dan Internal angle (ϕ) is 30.31°

The result of analysis with slide software the laboratory the result of safety of factor is 1.097 with laboaratory paramters. The other hand the result of back analysis get the safety of factor is 0.97

Key word : Landslide, Cohesion, Internal Angle Of Soil, Back Analysis, Safety of factor

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat karunia-Nya penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tujuan penulisan ini adalah untuk menjelaskan kegiatan yang dilaksanakan dalam penelitian Tugas Akhir dan analisis data yang dibuat pada Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS BALIK (*BACK ANALYSIS*) UNTUK KASUS KELONGSORAN DENGAN PROGRAM *SLIDE* (STUDI KASUS KELONGSORAN BANDARA SANGGU BUNTOK)”**. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi program strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Laporan ini disusun berdasarkan bahan penulisan yang bersumber dari kegiatan penelitian, arahan para Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji serta sumber lain yang mendukung.

Pada kesempatan ini tidak lupa diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan P.Silitonga., S.TP., S.T., M.T, selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Tatau Wijaya Garib, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

5. Bapak Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Bapak Ir. Maryanto, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak Ir. Suradji Gandi, M.M, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
8. Ibu Dr. Fatma Sarie, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
9. Bapak Stephanus Alexsander, S.T., M.T, yang turut serta mendukung saya dan yang telah meluangkan waktu bertukar pikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
11. Bapak dan Ibu saya beserta Kakak dan Adik serta seluruh Keluarga saya.
12. Teman-teman mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya khususnya angkatan 2011 serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
13. Teman-teman di PT. CEMARA GEO ENGINEERING yang turut serta membantu saya.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan, saya meminta saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Terimakasih.

Palangka Raya, Maret 2020

LUKMAN IAN TRISAKTI MARBUN
NIM. DAB 111 0002

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIATISME	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	4
1.3.Maksud dan Tujuan.....	4
1.3.1. Maksud.....	4
1.3.2. Tujuan	4
1.4.Manfaat	5
1.5.Batasan Masalah.....	5

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1. Longsor Atau Gerakan Tanah	6
2.2. Karakteristik dan Sifat-Sifat Tanah.....	9
2.2.1. Tanah.....	9
2.2.2. Struktur Tanah.....	9
2.2.3. Sifat Fisik Tanah	11
2.2.4. Sifat Mekanik Tanah	12
2.2.4.1. Kekuatan Geser Tanah	12
2.2.4.2. Tegangan Vertikal dan Horizontal di Dalam Tanah	14
2.2.4.3. Batas Atterberg Tanah.....	15
2.3. Kestabilan Lereng	16
2.3.1. Faktor-faktor dalam Kestabilan Lereng	17
2.3.2. Teori Analisis Kestabilan Lereng.....	23
2.3.3. Metode Analisis Kestabilan Lereng	24
2.4. Metode Bishop	26
2.5. <i>Software Rocscience Slide</i> versi 5.....	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum.....	31
3.2. Lokasi Penelitian.....	31
3.3. Pengambilan Sampel dan Data.....	32
3.3.1. Pengambilan Data Lapangan.....	32
3.3.1.1. Pengambilan Sampel Tanah.....	32

3.3.1.2. Pengambilan Data Geometri Lereng	34
3.3.2. Pengujian Laboratorium	34
3.3.3. Pengolahan Data.....	37
3.4. Tata Laksana Penelitian	37
3.5. Tata Laksana Pengambilan Data Lapangan	38
3.6. Tata Laksana Pengujian Laboratorium	39
3.7. Tata Laksana Pengolahan Data	40
3.8. Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir	42

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1. Observasi Lapangan	43
4.2. Pengujian Atau Pekerjaan Lapangan	44
4.2.1. Pekerjaan Boring	44
4.2.2. Pengukuran Muka Air Tanah	47
4.3 Pengujian Lab.....	47
4.3.1. Pengujian Berat Volume Dan Kadar Air.....	48
4.3.2. Pengujian Berat Jenis (Spesifik Gravity)	48
4.3.3. Pengujian Analisis Ayakan (Saringan).....	48
4.3.4. Direct Shear Test/Uji Geser Langsung.....	48
4.4. Kesimpulan Pengujian	49
4.5. Pengolahan Data.....	50
4.5.1. Pemodelan Lereng	50
4.5.2. Input Klasifikasi Jenis Tanah	51
4.5.3. Input Material Property	52
4.5.4. Input Project Setting.....	53
4.5.5. Komputasi	54
4.5.6. Interpretasi.....	55
4.5.7. Analisis Balik	57
4.6. Hasil Analisis Balik (Nilai Phi, C Dan Safety Factor).....	58
4.6.1. Hasil Analisis Hitungan Dengan Metode Bishop.....	60

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan N-SPT di Lapangan.....	45
Tabel 4.2 Rangkuman Acuan Yang Digunakan Untuk Uji Laboratorium.....	47
Tabel 4.3 Kesimpulan Hasil Pengujian.....	49
Tabel 4.4 Data tanah pada input material properties.....	52
Tabel 4.5 Tabel Hubungan Phi, Cohesi dan FK.....	58
Tabel 4.6 Tabel perhitungan menggunakan metode Bishop.....	62
Tabel Lampiran 1 Pengujian Berat Volume dan Kadar Air.....	68
Tabel Lampiran 2 Pengujian Specific Gravity.....	77
Tabel Lampiran 3 Pengujian Saringan.....	85
Tabel Lampiran 4 Direct Shear Test / Uji Geser Langsung.....	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Struktur Tanah.....	10
Gambar 2.2 Distribusi Tegangan Vertikal dan Horizontal Akibat Penggalian...	15
Gambar 2.3 Gaya-gaya yang Bekerja pada Irisan Metode Bishop	27
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	32
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir	42
Gambar 4.1 Kondisi Lereng <i>Runway</i> Setelah Terjadi Longsor	43
Gambar 4.2 Kondisi Lereng <i>Runway</i> Setelah Terjadi Longsor	44
Gambar 4.3 Log Bor	46
Gambar 4.4 Pemodelan Bentuk Lereng	50
Gambar 4.5 Input Material Properties.....	52
Gambar 4.6 Input Project Setting.....	53
Gambar 4.7 Langkah Komputasi	54
Gambar 4.8 Langkah Interpretasi.....	55
Gambar 4.9 Tampilan Analisis <i>Interpret Software Rocscinces Slide</i> Versi 5.....	56
Gambar 4.10 Menu Scatter Plot.....	57
Gambar 4.11 Analisis Balik Saat Nilai $F_k = 0,97$	59
Gambar 4.12 Analisis Balik Saat Nilai $F_k = 1,001$	59
Gambar 4.13 Analisis Bentuk Lereng Untuk Perhitungan Metode Bishop	60
Lampiran 5 Log Bor.....	129
Lampiran 6 Diagram USCS	130
Lampiran 7 Dokumentasi Kegiatan	131

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Berat Volume Dan Kadar Air	65
Lampiran 2 Pengujian Spesifik Gravity	74
Lampiran 3 Pengujian Saringan	82
Lampiran 4 Direct Shear Test/Uji Geser Langsung	97
Lampiran 5 Log Bor	127
Lampiran 6 Diagram USCS	129
Lampiran 7 Dokumentasi Kegiatan	130

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandar udara merupakan salah satu bangunan sipil yang berdiri di atas tanah. Hal terpenting dalam pembangunan adalah kestabilan tanahnya, karena selain tanah adalah bahan bangunan, tanah merupakan pondasi utama berdirinya sebuah bangunan, seperti halnya bandar udara. Salah satu Bandara yang mengalami gangguan kestabilan tanah berada di Kalimantan Tengah, tepatnya salah satu Bandara yaitu Bandara Sanggu yang berada di desa Sanggu Buntok, Kabupaten Barito Selatan.

Pada tahap pembangunan landasan pacu (*Runway*) tahun 2015 terjadi keruntuhan pada timbunan material baru di lereng sisi kanan ujung landasan pacu. Masalah inilah yang berupaya dianalisis dan diselesaikan, masalah apa sebenarnya yang terjadi dan mencari penyebab hingga terjadinya longsor. Dan berupaya membantu memperbaikinya, karena masalah ini menghambat aktifitas Bandara.

Lereng memiliki permukaan yang terjal dan miring dan rawan terkena longsor. Selain permukaan yang miring, gaya gravitasi juga memengaruhi massa tanah bergerak ke bawah untuk mencari kesetimbangan yang baru. Longsor juga terjadi akibat adanya perubahan massa tanah yang diakibatkan hujan dan saat air meresap ke dalam tanah disitulah tanah mengalami penambahan massa tanah yang memaksa tanah mulai bergerak ke bawah.

Longsor adalah fenomena alam yang sering terjadi, terutama pada saat musim penghujan. Sebagian besar orang mendefenisikan longsor adalah runtuhannya

tanah yang terjadi pada tebing. Namun longsor dapat didefinisikan sebagai suatu gerakan massa tanah dan batuan yang bergerak dari tempat yang lebih tinggi ketempat yang lebih rendah untuk mencari kesetimbangan baru. Longsoran (*landslide*) menurut (Sharpe 1938, dalam Hansen, 1984), adalah luncuran atau gelinciran (*sliding*) atau jatuhan (*falling*) dari massa batuan/tanah atau campuran keduanya.

Kenapa terjadi longsor? Selain akibat massa tanah yang bertambah, Longsor juga bisa terjadi akibat tingginya tekanan vertical yang menambah tingginya aliran tegangan horizontal yang juga bisa mengganggu kestabilan lereng.

Longsoran dapat terjadi pada timbunan, tanggul, lereng alami maupun lereng buatan. Terlebih pada lereng buatan, longsor akan lebih sangat mungkin terjadi.

Saat membuat suatu lereng untuk tujuan proyek rekayasa, tentunya membutuhkan material baru. Tanah adalah material yang sangat mudah didapat dan lebih menghemat biaya. Namun tanah yang akan digunakan sebagai timbunan tentunya akan mendapat perlakuan baru yang mengakibatkan kita mengubah sifat mekanis tanah. Tanah adalah material yang sangat mudah menyerap air dan tanah adalah material dengan sifat mekanis yang mudah berubah jika dibanding dengan material lain seperti halnya batuan.

Untuk pembangunan suatu proyek rekayasa memerlukan timbunan hingga menciptakan sebuah lereng, penting adanya identifikasi bahaya longsor. Untuk mengidentifikasi longsor, dapat digunakan cara *back analysis* (Analisis Balik).

Cara menganalisis balik akan diketahui pada saat berapa nilai sudut geser (ϕ) dan *kohesi* (*c*) yang mengakibatkan Faktor Keamanan mengalami penurunan hingga $FK = 0,99-1,01$ (FK kritis). Itulah sebabnya kenapa menggunakan *back analysis*, karena dapat dilihat pada nilai berapa sudut geser dan nilai kohesi tanah hingga terjadinya longsor.

Pada penelitian ini menggunakan metode analisis balik untuk menganalisis kasus kelongsoran yang berada di bandara sanggu buntok. Kejadian lonsor terjadi saat hujan deras, hal tersebut dijelaskan oleh pengawas bandara sanggu.

Penggunaan metode analisis balik untuk mengetahui berapa besar nilai ϕ dan *C* dari tanah timbunan yang menyebabkan lereng pada kondisi kritis ($FK = 0,99-1,01$). Kondisi ini dapat disebut juga sebagai kondisi ambang batas. Bila nilai ϕ dan *C* lebih dari nilai ambang batas, maka pada saat nilai ϕ dan *C* tersebut mengakibatkan lereng mengalami longsor.

Dari penjelasan dan studi kasus yang akan dikaji pada penelitian ini, adalah menentukan nilai ϕ dan *C* pada kondisi kritis ($FK = 0,99-1,01$). Dengan mencocokkan model longsor dari hasil analisis dengan kondisi lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan jenis, sifat dan karakteristik tanah pada lokasi penelitian.
2. Berapa besarnya nilai ϕ dan C dari hasil analisis yang menunjukkan FK kritis dengan rentang $FK = 0,99-1,01$.
3. Bagaimana bentuk longsoran dari setiap nilai ϕ dan C dari hasil analisis.

1.3 Maksud dan Tujuan

1.3.1 Maksud

Maksud diadakannya penelitian ini adalah untuk menganalisis sifat-sifat tanah dan mengetahui karakteristik tanah dan nilai sudut geser tanah, hingga Faktor Keamanan lereng pada lokasi longsor. Serta mencari atau analisis Faktor Keamanan (FK) lereng yang dipakai saat perencanaan pembangunan timbunan.

1.3.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Menentukan jenis, sifat dan karakteristik tanah pada lokasi penelitian.
2. Mencari atau menentukan nilai ϕ dan C lapangan di lokasi longsor.
3. Menganalisis nilai ϕ dan C ambang batas yang sesuai dengan kondisi lapangan.
4. Menentukan nilai Faktor Keamanan lereng pada lereng Bandara Sanggu – Buntok.

1.4 Manfaat

Manfaat teoritis yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah hasil dari penelitian ini dapat menjadi salah satu kontribusi dalam bidang Ilmu Rekayasa Geoteknik yang berguna sebagai salah satu bahan pembelajaran bagi para pembaca dikemudian hari.

Manfaat praktis yang dapat diperoleh dari penelitian Tugas Akhir ini adalah mengetahui Faktor Keamanan (FK) pada kestabilan lereng Bandara Sanggu Buntok berdasarkan hasil analisis nilai Faktor Keamanan lereng sehingga dapat dilakukan penanganan lereng yang dikategorikan dalam keadaan seimbang tetapi berpotensi longsor serta lereng dalam keadaan tidak aman (kritis). Tujuan dari penanganan ini adalah agar kegiatan di Bandara dapat berjalan dengan baik.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian Tugas Akhir ini masalah yang dibahas sesuai dengan judul yang disetujui yaitu :

1. Analisis sifat fisik dan mekanik tanah hanya pada lokasi longsor Bandara Sanggu Buntok.
2. Mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) lereng pada Bandara Sanggu – Buntok.
3. Metode simulasi komputasi yang digunakan adalah *software rocscience slide* versi V.
4. Analisis yang dipakai yaitu dengan *metode bishop*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Longsor Atau Gerakan Tanah

Pengertian longsor (*landslide*) dengan gerakan tanah (*massmovement*) mempunyai kesamaan. Untuk memberikan definisi longsor perlu penjelasan keduanya. Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah/batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsor. Menurut definisi ini longsor adalah bagian gerakan tanah (Purbohadiwidjojo, 1998, dalam H.C. Hardiyatmo, 2006). Jika menurut definisi ini perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak adalah termasuk gerakan tanah, maka gerakan vertikal yang mengakibatkan *bulging* (lendutan) akibat keruntuhan fondasi dapat dimasukkan pula dalam jenis gerakan tanah. Dengan demikian pengertiannya menjadi sangat luas. Kelompok utama gerakan tanah (*massmovement*) terdiri atas rayapan (*creep*) dan longsor (*landslide*) yang dibagi lagi menjadi sub-kelompok gelinciran (*slide*), aliran (*flows*), jatuhan (*fall*) dan luncuran (*slip*). Definisi longsor (*landslide*) adalah luncuran atau gelinciran (*sliding*) atau jatuhan (*falling*) dari massa batuan/tanah atau campuran keduanya.

Berdasarkan definisi dan klasifikasi longsor (Varnes, 1978 dalam R.F. Hirnawan, 1993) maka disimpulkan bahwa gerakan tanah (*massmovement*) adalah gerakan perpindahan atau gerakan lereng dari bagian atas atau perpindahan massa tanah maupun batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Longsor (*landslide*) merupakan bagian dari gerakan tanah, jenisnya

terdiri atas jatuhan (*fall*), jungkiran (*topple*), luncuran (*slide*), nendatan (*slump*), aliran (*flow*), gerak horisontal atau bentangan lateral (*lateral spread*), rayapan (*creep*) dan longsoran majemuk. Untuk membedakan longsoran yang mengandung pengertian luas, maka istilah *slides* digunakan kepada longsoran gelinciran yang terdiri atas luncuran atau *slide* (longsoran gelinciran translasional) dan nendatan atau *slump* (longsoran gelinciran rotasional). Berbagai jenis longsoran (*landslide*) dalam beberapa klasifikasi di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Jatuhan (*Fall*) adalah jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan penggelindingan bongkah batu dan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain. Termasuk jenis gerakan ini adalah runturan (*urug, lawina, avalanche*) batu, bahan rombakan maupun tanah.
2. Longsoran gelinciran (*slides*) adalah gerakan yang disebabkan oleh keruntuhan melalui satu atau beberapa bidang yang dapat diamati ataupun diduga. *Slides* dibagi lagi menjadi dua jenis. Disebut luncuran (*slide*) bila dipengaruhi gerak translasional dan susunan materialnya yang banyak berubah. Bila longsoran gelinciran dengan susunan materialnya tidak banyak berubah dan umumnya dipengaruhi gerak rotasional, maka disebut nendatan (*slump*). Termasuk longsoran gelinciran adalah: luncuran bongkah tanah maupun bahan rombakan, dan nendatan tanah.
3. Aliran (*flow*) adalah gerakan yang dipengaruhi oleh jumlah kandungan atau kadar air tanah, terjadi pada material tak terkonsolidasi. Bidang longsor antara

material yang bergerak umumnya tidak dapat dikenali. Termasuk dalam jenis gerakan aliran kering adalah sandrun (larian pasir), aliran fragmen batu, aliran loess. Sedangkan jenis gerakan aliran basah adalah aliran pasir-lanau, aliran tanah cepat, aliran tanah lambat, aliran lumpur, dan aliran bahan rombakan.

4. Longsoran majemuk (*complex landslide*) adalah gabungan dari dua atau tiga jenis gerakan di atas. Pada umumnya longsoran majemuk terjadi di alam, tetapi biasanya ada salah satu jenis gerakan yang menonjol atau lebih dominan.

Longsoran majemuk diantaranya adalah bentangan lateral batuan, tanah maupun bahan rombakan.

5. Rayapan (*creep*) adalah gerakan yang dapat dibedakan dalam hal kecepatan gerakannya yang secara alami biasanya lambat.

6. Gerak horisontal / bentangan lateral (*lateral spread*), merupakan jenis longsoran yang dipengaruhi oleh pergerakan bentangan material batuan secara horisontal. Biasanya berasosiasi dengan jungkiran, jatuhnya batuan, nendatan dan luncuran lumpur sehingga biasa dimasukkan dalam kategori *complex landslide* - longsoran majemuk. Prosesnya berupa rayapan bongkah-bongkah di atas batuan lunak.

2.2 Karakteristik dan Sifat-Sifat Tanah

2.2.1 Tanah

Tanah dalam ilmu mekanika tanah dimaksudkan untuk mencakup semua bahan dari tanah berukuran lempung sampai kerakal.

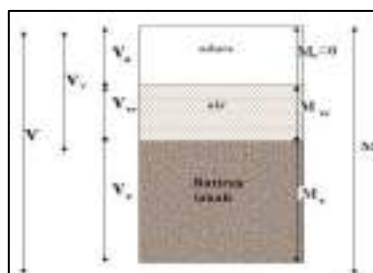
Dalam ilmu mekanika tanah, tanah dibagi menjadi dua berdasarkan cara terbentuknya yaitu tanah residu dan tanah endapan. Tanah residu (*residual soil*) merupakan tanah yang terbentuk langsung akibat pelapukan kimiawi. Tanah residu tetap pada tempat pembentukannya yaitu di atas batuan asalnya. Hujan menyebabkan erosi dan tanah diangkut melalui sungai sampai mencapai laut atau danau. Di sini terjadi pengendapan lapisan demi lapisan pada dasar laut atau danau. Proses ini berlangsung selama ribuan atau jutaan tahun. Tanah ini disebut tanah endapan (*sedimentary soil*) atau tanah yang terangkut.

Perbedaan dari tanah residu dan tanah endapan yaitu pada tanah residu yang terbentuk langsung dari batu asalnya, pada umumnya ada hubungan erat antara sifat tanah dan jenis batuan asalnya. Pada tanah endapan tidak ada hubungan antara sifatnya dan batuan asalnya. Pada tanah residu terdapat struktur, yaitu butirnya teratur ataupun terikat satu sama lain sehingga membentuk kerangka tanah. Akibat adanya struktur ini, sifat tanah menjadi berbeda sifat seandainya tidak ada struktur, yaitu butirnya merupakan kumpulan butir lepas saja.

2.2.2 Struktur Tanah

Tanah tersusun dari butiran tanah atau partikel lainnya dan rongga-rongga atau pori di antara partikel butiran tanah. Rongga-rongga terisi sebagian atau seluruhnya dengan air atau zat cair lainnya. Rongga-rongga tanah yang tidak terisi oleh air atau zat cair akan terisi oleh udara atau bentuk lain dari gas. Volume yang ditempati oleh bagian besar tanah pada umumnya termasuk bahan penyusun lainnya yaitu bagian padat, cair dan gas/udara yang selanjutnya dikenal sebagai system tiga fase tanah (*three phase systems*).

Sifat-sifat mekanis penting tanah, seperti kekuatan (*strength*) dan pemampatan (*compressibility*), secara langsung berhubungan dengan atau paling tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti rapat massa (*density*), berat volume (*unit weight*), angka pori (*void ratio*) dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*). Selain ketiga faktor tersebut terdapat satu faktor yang jarang diterangkan yaitu berat volume dibawah air (*submerged unit weight*). Definisi parameter ini adalah $\gamma^1 = \gamma - \gamma_w$, dimana γ^1 adalah berat satuan tanah terendam (*submerged*). Jadi, berat satuan terendam adalah berat efektif pada tanah di bawah muka air tanah. Berat satuan ini memperhitungkan tegangan mengapung yang berasal dari air.



Gambar 2.1 gambar struktur tanah

Sumber: <https://www.slideshare.net/inrheeyupatadungan/mechanika-tanah-dan-sifat-fisik>.

Keterangan:

M_a = Massa udara (=0)

M_w = Massa air

M_s = Massa butiran tanah

M = Massa total

V_a = Volume udara

V_w = Volume air

V_s = Volume butiran tanah

V_v = Volume pori

V = Volume total



2.2.3 Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah adalah sifat-sifat yang terkandung dalam tanah. Sifat fisik tanah dapat terlihat dan dapat diamati dengan mudah. Sifat fisik tanah antara lain adalah:

1. Tekstur tanah

Tekstur tanah disusun dari butir-butir tanah dengan berbagai ukuran. Butiran yang berukuran $>2\text{mm}$ adalah butiran kasar dan $<2\text{mm}$ adalah butiran halus.

2. Struktur tanah

Struktur tanah adalah butir-butir penyusun tanah yang terikat satu sama lain dan membentuk gumpalan-gumpalan tanah.

3. Bobot isi tanah

Bobot isi tanah merupakan kerapatan tanah persatuan volume yang dinyatakan dalam dua batasan yaitu: kerapatan partikel (*bobot partikel*) dan kerapatan massa (*bobot isi*).

4. Konsistensi tanah

Konsistensi tanah menunjukkan integrasi antar kekuatan daya kohesi butir-butir tanah dengan daya adhesi butir-butir tanah dengan benda lain. konsistensi tanah dapat dilihat dari: *tingkat kelekatan*, dan *tingkat plastisitas*.

5. Kadar air

Kadar air merupakan hal/komponen penting dalam tanah. Seperti kita ketahui, tanah adalah material yang sangat mudah menyerap tanah dan

tanah juga sangat mudah merembeskan air, tergantung konsistensi tanah.

2.2.4 Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanis tanah adalah sifat-sifat tanah yang mengidentifikasi kondisi tanah atau perilaku tanah akibat diberikannya gaya terhadap tanah. Sifat mekanis tanah tidak akan diketahui, tanpa pengujian laboratorium. Sifat mekanik tanah antara lain: kuat geser tanah, daya dukung tanah, permeabilitas tanah.

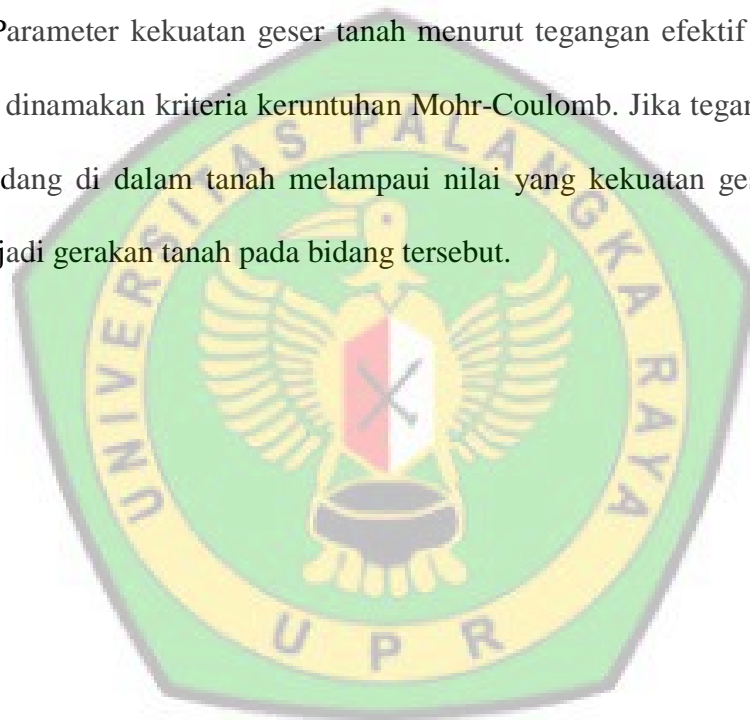
2.2.4.1 Kekuatan Geser Tanah

Kuat geser tanah yaitu kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut. Pada peristiwa longsoran suatu lereng berarti telah terjadi pergeseran dalam 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 perlekatan antara butir-butir tanah.
2. Pada tanah berbutir kasar (*non-kohesif*), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut gesek dalam.
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar, kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah.

Pada tanah, hanya kekuatan geser yang perlu diperhatikan. Dalam rekayasa geoteknik, seperti kestabilan lereng bergantung hanya pada kekuatan geser tanah. Kekuatan geser tanah tidak tetap pada jenis tanah tertentu. Pada kedalaman yang besar, umumnya tanah lebih kuat daripada dipermukaan. Pada urugan, lapisan bawah lebih kuat daripada lapisan atas. Hal ini karena kekuatan geser tanah bergantung pada tegangan.

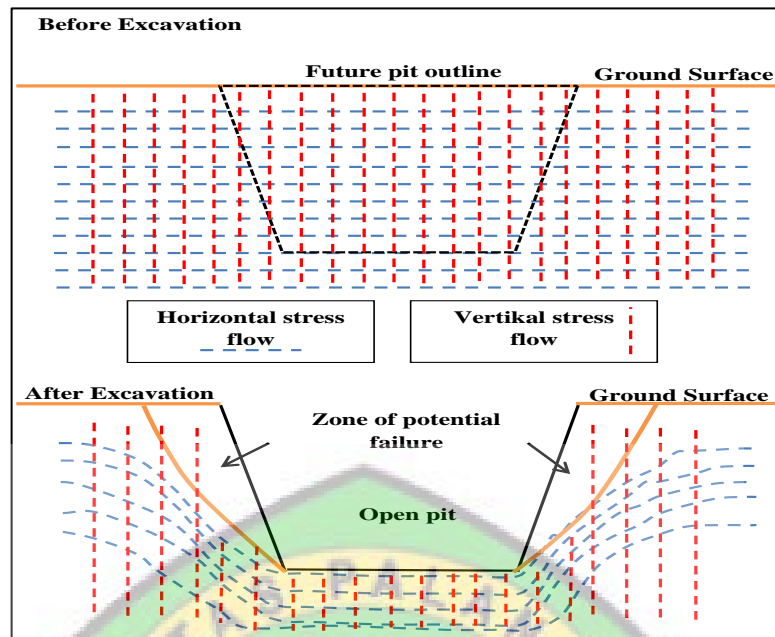
Parameter kekuatan geser tanah menurut tegangan efektif dan persamaan tersebut dinamakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Jika tegangan geser pada suatu bidang di dalam tanah melampaui nilai yang kekuatan geser tanah maka akan terjadi gerakan tanah pada bidang tersebut.



2.2.4.2 Tegangan Vertikal dan Horizontal di Dalam Tanah

Tegangan dipengaruhi oleh jenis tanah, proses pembentukannya dan riwayat tegangannya. Adanya proses penggalian menyebabkan terjadinya distribusi tegangan baru yang berupa paksaan terhadap tegangan horizontal untuk terdistribusi disekitar penggalian. Tegangan vertikal dalam tanah berkurang akibat hilangnya pembebanan karena kegiatan penggalian. Sebagai akibat dari berkurangnya gaya vertikal dalam tanah maka muncul rekahan yang menyebabkan turunnya nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah. Air tanah dengan mudah melewati rekahan-rekahan yang ada dan menyebabkan turunnya tegangan normal efektif pada bidang yang berpotensi runtuh.

Semakin digali, zona tanpa tegangan vertikal semakin besar dan konsekuensinya runtuh dapat lebih buruk. Sebaliknya tegangan horizontal semakin besar tiap bertambahnya kedalaman penggalian. Aliran dari tegangan horizontal ini menekan lereng dari kiri dan kanan yang menambah ketidakstabilan lereng. Jadi dapat dikatakan bahwa antara tegangan vertikal dan horizontal berbanding terbalik, apabila tegangan vertikal besar maka tegangan horizontal akan kecil dan sebaliknya.



Gambar 2.2 Distribusi Tegangan Vertikal Dan Horizontal Akibat Penggalian.

2.2.4.3 Batas Atterberg Tanah

Apa yang dimaksud dengan Batas Atterberg Test, tujuan dan prosedur pengujiannya? Batas Atterberg merupakan ukuran dasar dari butiran tanah. Tergantung pada kandungan air pada tanah, tanah dapat diklasifikasikan menjadi empat kondisi: padat, semi-padat, pastik, dan cair. Di setiap kondisi, konsistensi dan sifat dari tanah akan berbeda-beda, begitu pula sifat-sifat rekayasanya.

Batas Atterberg dapat digunakan untuk membedakan antara lanau dan lempung dan juga lebih detailnya dapat membedakan antara berbagai macam lanau dan lempung. Atterberg Limit Test merupakan metode pengetesan untuk mengetahui sifat konsistensi tanah berbutir halus (lanau atau lempung) dengan memberikan kadar air yang berbeda pada masing-masing sampel yang akan di tes

Logika Atterberg Limit Test

Saat air diberikan kepada satu sampel tanah halus, setiap partikel tanah dilapisi oleh lapisan air yang tipis yang diserap oleh partikel tanah. Jika air terus ditambahkan, maka ketebalan lapisan air yang menyelimuti partikel tanah akan terus bertambah. Peningkatan ketebalan lapisan air pada partikel tanah memungkinkan antar partikel untuk saling meluncur lebih mudah. Jadi sifat tanah dapat diketahui dengan membandingkan kadar air yang terkandung pada masing-masing sampel tanah.

Tujuan Atterberg Limit adalah untuk mengetahui batasan-batasan dari empat kondisi tanah yang dimiliki oleh suatu sampel tanah yang akan diuji. Uji ini biasanya dilakukan pada lanau atau lempung berkaitan dengan sifat kedua jenis tanah ini yang mudah mengembang atau menyusut tergantung pada kadar air yang terkandung pada tanah jenis ini.

Hal ini disebabkan karena lanau atau lempung secara kimia ber-reaksi terhadap air dengan merubah ukuran dan mengakibatkan perbedaan kekuatan. Jadi tujuan utama dari tes ini sering kali digunakan untuk menguji daya dukung tanah tempat suatu bangunan akan didirikan, terutama jika tanah yang terkandung adalah lanau atau lempung.

2.3 Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng merupakan kemampuan tanah pada permukaan yang tidak horizontal yang mengakibatkan komponen gravitasi cenderung memberikan tekanan yang besar ke bawah, sehingga adanya perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah sehingga dapat mengakibatkan kelongsoran (Nermeen Albataineh, 2006). Gaya yang menyebabkan ketidak mantapan (gaya penggerak) dalam hal ini adalah berat tanah itu sendiri dan gaya penahan berasal dari kuat geser tanah, sedangkan gaya luar biasanya dapat dipengaruhi oleh adanya gempa atau aktivitas di atas dari lereng tersebut (berat kendaraan yang lewat atau bangunan yang ada di atas lereng). Pola keruntuhan yang akan terjadi tidak pasti dan tidak dapat ditentukan sebelum melakukan analisis. Untuk lereng dengan tanah seragam, keruntuhan umumnya terjadi pada bidang yang mendekati busur lingkaran.

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan kerja dari lereng galian, lereng timbunan maupun lereng alami. Tujuan akhir dari analisis kestabilan lereng adalah untuk mengetahui apakah lereng tersebut dalam keadaan stabil atau tidak stabil. Apabila dalam keadaan stabil maka keadaan stabil tadi harus tetap dipertahankan tetapi apabila lereng dalam keadaan tidak stabil maka harus segera dilakukan perbaikan pada lereng untuk mencegah kelongsoran.

2.3.1 Faktor-faktor dalam Kestabilan Lereng

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan serta data yang perlu diambil dalam menganalisis kestabilan lereng adalah sebagai berikut:

1. Penyebaran tanah

Macam tanah yang terdapat di daerah penelitian harus diketahui, demikian juga penyebaran serta hubungan antar tanah. Hal ini perlu dilakukan karena sifat fisik dan mekanis suatu tanah berbeda dengan tanah lain sehingga kekuatan menahan beban akan berbeda pula. Untuk penyebaran tanah dipermukaan dapat dilihat langsung pada area penelitian atau secara tidak langsung melalui peta geologi. Untuk penyebaran tanah secara vertikal dapat dilihat dari hasil pemboran yang pernah dilakukan pada daerah penelitian.

2. Relief permukaan bumi/Morfologi

Faktor ini mempengaruhi laju erosi dan pengendapan serta juga menentukan arah aliran air permukaan dan air tanah. Hal ini disebabkan untuk daerah yang curam, kecepatan aliran air permukaan tinggi dan mengakibatkan pengikisan lebih intensif dibandingkan pada daerah yang landai. Karena erosi yang intensif, banyak dijumpai singkapan tanah dan ini menyebabkan pelapukan yang lebih cepat, sehingga kemantapan lereng menjadi berkurang. Untuk relief atau morfologi daerah penelitian dapat dilihat berdasarkan peta topografi.

3. Struktur Geologi

Struktur geologi yang perlu diperhatikan adalah sesar, kekar, bidang perlapisan, perlipatan, ketidakselarasan, rekahan serta foliasi. Hal ini penting mengingat struktur dalam ilmu pertambangan merupakan bidang lemah di dalam

suatu massa tanah atau batuan serta dapat menurunkan kemantapan lereng. Untuk permasalahan struktur dapat di lihat dilapangan pada daerah penelitian serta dapat diketahui berdasarkan peta geologi dan hasil dari pemboran pada daerah penelitian.

4. Iklim dan Cuaca

Iklim berpengaruh terhadap kemantapan lereng karena iklim mempengaruhi perubahan temperature. Temperature yang cepat sekali berubah dalam waktu yang singkat akan mempercepat proses pelapukan dan mengakibatkan lereng mudah longsor. Selain iklim cuaca mempunyai peran penting dalam penurunan kemantapan lereng. Apabila hujan terjadi dengan intensitas sangat sering turun dan lebat maka akan membuat lereng dalam keadaan jenuh dan menambah berat dari butiran tanah pada lereng sehingga menambah bobot lereng dan dapat membuat kestabilan lereng menurun sambai dengan terjadinya longsor. Selain itu hujan dapat menyebabkan naiknya tekanan air pori di dalam lereng, termasuk juga muka air tanah. Untuk iklim telah diketahui bahwa di Indonesia khususnya di Kalimantan Tengah beriklim Tropis dan pada daerah tropis pelapukan lebih cepat dibandingkan daerah dingin, sedangkan untuk cuaca dapat dilihat dari data curah hujan pada daerah penelitian dan diamati setiap hari ketika penelitian dilakukan.

5. Geometri lereng

Geometri lereng mencakup tinggi lereng, lebar jenjang, sudut kemiringan lereng serta banyaknya lereng (*single bench, multi bench*) yang menjadi objek penelitian. Lereng yang terlalu tinggi akan mengakibatkan kestabilan lereng

menjadi buruk dan cenderung menjadi mudah longsor. Lereng menjadi semakin kurang stabil bila kemiringannya besar, tetapi lereng yang kemiringannya semakin besar sangat menguntungkan. Sehingga diperlukan perancangan lereng yang aman dan ekonomis. Untuk data dari geometri lereng dapat di ambil dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan secara manual dengan menggunakan meteran untuk tinggi jenjang dan lebar jenjang serta menggunakan kompas geologi untuk mengukur kemiringan lereng atau dapat menggunakan instrument pengukuran berupa *total station* atau Theodolite. Cara komputasi dengan menggunakan data penampang yang didapatkan dari hasil sayatan peta topografi/situasi pada lereng daerah penelitian.

6. Air tanah

Air tanah adalah air yang terdapat di bawah permukaan pada zona jenuh atau air yang mengisi rongga-rongga pori tanah atau batuan. Air tanah merupakan salah satu komponen dalam suatu daur hidrologi yang berlangsung di alam saat ini. Air tanah terbentuk dari air hujan yang meresap ke dalam tanah di daerah resapan air tanah dan mengalir melalui media lapisan batuan yang bertindak sebagai lapisan pembawa air dalam satu cekungan air tanah yang berada di bawah.

Muka air tanah ialah permukaan atas [air tanah](#) yang sering kita jumpai ketika melakukan penggalian atau pengeboran. Pengertian muka air tanah lainnya adalah muka air tanah adalah garis dimana tekanan air pori bernilai nol dan menjadi batas nilai tekanan air pori yang negative dan positif. Rembesan terjadi di atas dan di bawah muka air tanah berdasarkan hukum mekanika tanah dengan pengecualian jika tanah terdiri atas bahan berbutir kasar, seperti pasir atau kerikil,

keadaannya sangat berbeda, air dapat mengalir dari pasir dengan lancar sehingga muka air tanah akan menjadi batas atas dari daerah rembesan. Pada lereng yang terdiri dari material tanah muka air tanah merupakan salah satu faktor utama ketidakstabilan lereng. Hal ini disebabkan oleh muka air tanah yang dangkal menjadikan lereng sebagian besar menjadi basah dan tanah mempunyai kandungan air yang tinggi. Tanah dengan kandungan air yang tinggi membuat kekuatan lereng menjadi rendah, dikarenakan air yang terkandung dalam butiran tanah akan menambah bobot dari lereng tersebut.

Pada keadaan lereng yang miring maka keadaan muka air tanah juga akan miring mengikuti bentuk lereng. Hal ini berarti air akan terus merembes ke bawah. Air masuk ke bagian atas lereng dari dua sumber yaitu dari air hujan yang turun langsung pada permukaan lereng dan rembesan air yang masuk ke dalam lereng dari daerah sekitarnya. Air rembesan kemudian muncul kembali pada bagian lereng yang lebih rendah dan pada dasar lereng.

7. Sifat fisik dan sifat mekanik tanah

Sifat fisik dan mekanik tanah yang diperlukan untuk menganalisis kestabilan lereng adalah (Bowles, 1989):

1. Berat satuan tanah (*unit weight*)

Berat satuan tanah merupakan perbandingan antara Berat total/volume total (M/V). Nilai berat satuan tanah dapat diperoleh dilapangan atau dilaboratorium dengan cara yang sederhana.

Untuk menentukan berat satuan tanah di laboratorium, dibutuhkan contoh tanah asli (tak terganggu). Maksud dari tanah asli adalah

contoh tanah yang diambil dari bawah tanah yang masih memiliki sifat aslinya. Setelah mendapatkan contoh tanah asli tersebut contoh tanah di masukan kedalam sebuah cawan (dengan isi yang penuh) yang sebelumnya telah dilakukan penimbangan berat cawan, pengukuran tinggi cawan dan diameter cawan. Setelah itu contoh tanah ditimbang untuk mendapatkan beratnya, lalu menghitung volume berdasarkan ukuran dari cawan yang telah diukur. Perbandingan antara berat dengan volume akan menghasilkan nilai berat satuan tanah.

Untuk menghitung berat satuan volume dilapangan cara yang paling sederhana adalah dengan menggunakan tabung contoh agar volumenya dapat dihitung dengan mudah. Apabila tabung contoh tidak ada dapat menggunakan pipa PVC ukuran 2 inchi sepanjang 50 cm yang telah ditimbang beratnya. Contoh tanah yang telah ada didalam tabung atau pipa ditimbang kemudian menghitung berat satuan tanah dengan membandingkan berat total tanah dengan volume total tanah.

2. Sudut Geser Dalam tanah

Sudut geser dalam tanah juga sering disebut sudut gesek dalam tanah memiliki pengertian yang sama yang merupakan suatu garis yang terbentuk secara linear karena perbandingan tegangan geser dan tegangan normal. Garis ini membentuk sudut sebesar ϕ terhadap horisontal. Sudut inilah yang disebut sudut geser dalam. Semakin

besar nilai sudut geser dalam tanah maka kekuatan dari tanah dalam mempertahankan posisi stabil semakin kuat pula dan sebaliknya. Nilai dari sudut geser tanah dapat dicari dengan melakukan pengujian dilaboratorium menggunakan pengujian geser langsung atau *direct shear* untuk tanah berbutir kasar atau *triaxial* untuk tanah berbutir halus.

3. Kohesi tanah

Kohesi tanah merupakan gaya perlekatan dari tanah semakin lekat suatu partikel tanah berlekatan dengan partikel lain maka semakin besar nilai kohesi tanah dan semakin kuat tanah dalam mempertahankan posisi kestabilannya. Nilai kohesi tanah didapat bersamaan dengan nilai gaya geser dalam tanah.

2.3.2 Teori Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng pada umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*) dalam Albataineh, 2006. Maksud dari analisis kestabilan lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis kestabilan lereng, beberapa anggapan dibuat, yaitu:

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif.

3. Tahanan geser dari massa tanah, di sembarang titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain, kuat geser tanah dianggap seragam (*isotropis*).
4. Faktor aman di definisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potential dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1.

Faktor aman didefinisikan sebagai perbandingan nilai antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (Nermeen Albataineh, 2006), atau dengan persamaan:

$$F = \frac{S}{S_d} \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan:

F = Nilai Faktor Keamanan

S = Kekuatan geser tanah maksimum (kN/m²)

S_d = Tegangan geser (kN/m²)

Dalam analisis kestabilan lereng, tegangan geser terjadi akibat berat butiran tanah (*unit weight*) yang juga merupakan berat beban dari lereng itu sendiri sehingga tegangan geser memiliki satuan kN/m². Tegangan geser yang telah diketahui nilainya kemudian dibandingkan dengan kekuatan geser tanah maksimum sehingga akan didapatkan nilai Faktor Keamanan.

2.3.3 Metode Analisis Kestabilan Lereng

Metode analisis kestabilan lereng banyak dikenal, tetapi secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu: cara pengamatan visual, cara komputasi dan cara grafik (Nermeen Albataineh, 2006) sebagai berikut:

1) Cara pengamatan visual adalah cara dengan mengamati langsung di lapangan dengan membandingkan kondisi lereng yang bergerak atau diperkirakan bergerak dan yang tidak, cara ini memperkirakan lereng labil maupun stabil dengan memanfaatkan pengalaman di lapangan. Cara ini kurang teliti, tergantung dari pengalaman seseorang. Cara ini dipakai bila tidak ada resiko longsor terjadi saat pengamatan. Cara ini mirip dengan memetakan indikasi gerakan tanah dalam suatu peta lereng.

2) Cara komputasi adalah dengan melakukan hitungan berdasarkan rumus (Fellenius, Bishop, Janbu, Sarma, Bishop modified dan lain-lain). Cara Fellenius dan Bishop menghitung Faktor Keamanan lereng dan dianalisis kekuatannya. Menurut J.E. Bowles (1989), pada dasarnya kunci utama gerakan tanah adalah kuat geser tanah yang dapat terjadi: (a) tak terdrainase, (b) efektif untuk beberapa kasus pembebanan, (c) meningkat sejalan peningkatan konsolidasi (sejalan dengan waktu) atau dengan kedalaman, (d) berkurang dengan meningkatnya kejenuhan air (sejalan dengan waktu) atau terbentuknya tekanan pori yang berlebih atau terjadi peningkatan air tanah. Dalam menghitung besar Faktor Keamanan lereng dalam analisis lereng tanah melalui metode sayatan, hanya longoran yang mempunyai bidang gelincir saja yang dapat dihitung.

3) Cara grafik adalah dengan menggunakan grafik yang sudah standar (Taylor, Hoek & Bray, Janbu, Cousins dan Morganstren). Cara ini dilakukan untuk material homogen dengan struktur sederhana. Material yang heterogen (terdiri atas berbagai lapisan) dapat didekati dengan penggunaan rumus (cara komputasi). Stereonet, misalnya diagram jaring Schmidt (Schmidt Net Diagram) dapat menjelaskan arah longsoran atau runtuhannya batuan dengan cara mengukur strike/dip kekar-kekar (joints) dan strike/dip lapisan batuan.



$$FS = \frac{\sum (c' b + (W(1 - \frac{u}{\gamma h})) \tan \phi') \frac{\sec \alpha}{m \alpha}}{\sum W \sin \alpha} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$m \alpha = 1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{FS} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

c' = Kohesi efektif (kN/m²)

b = lebar irisan ke-i (m)

W = berat irisan ke- i (m)

m = angka stabilitas

α = sudut yang didefinisikan dalam gambar (°)

ϕ' = sudut geser efektif dalam tanah (°)

Persamaan Faktor Keamanan Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lain, selain itu membutuhkan cara coba-coba karena nilai faktor aman F ada di kedua sisi persamaannya.

Lokasi lingkaran longsoran kritis dari metode Bishop, 1955 dalam A.W. Bishop, 1964, biasanya mendekati dengan hasil pengamatan dilapangan. Jadi, sebenarnya berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode Bishop bukan hanya nilai dari Faktor Keamanan yang dapat ditentukan tetapi juga bentuk dari longsoran yang akan terjadi.

Dalam praktik, diperlukan untuk melakukan cara coba-coba dalam menentukan bidang longsor dengan nilai Faktor Keamanan yang terkecil. Perlu diketahui bahwa tiap titik pusat lingkaran harus dilakukan pula perhitungan faktor

aman untuk menentukan nilai faktor aman yang terkecil dari bidang longsor dengan pusat lingkaran pada titik tersebut, yaitu dengan mengubah jari-jari lingkaran.

2.5 *Software Rocscience Slide* versi 5

Software Rocscience Slide versi 5 perangkat lunak analisis stabilitas lereng yang komprehensif, tersedia lengkap dengan analisis elemen hingga rembesan air tanah, penggunaan cepat, sensitivitas, analisis probabilistik dan desain pendukung. Semua jenis tanah, batuan lereng, tanggul, bendungan dan dinding penahan tanah dapat dianalisis. Merupakan salah satu perangkat lunak stabilitas lereng dengan analisis rembesan air tanah hingga elemen atau kondisi *transient*. Arus, tekanan dan gradien dihitung berdasarkan penentuan kondisi batas hidrolik. Analisis Rembesan sepenuhnya terintegrasi dengan analisis stabilitas lereng atau dapat digunakan sebagai modul mandiri. Slide versi 5 memiliki kemampuan analisis probabilistik yang luas sehingga dapat menetapkan pembagian statistik untuk hampir semua parameter masukan, termasuk sifat material, sifat dukungan, beban. Probabilitas *failure index* / keandalan hitungan dan memberikan ukuran yang obyektif dari risiko kegagalan yang terkait dengan desain kemiringan. Analisis sensitivitas memungkinkan untuk menentukan pengaruh variabel pada Faktor Keamanan lereng. Slide versi 5 memiliki 17 model kekuatan bahan yang berbeda untuk batuan dan tanah termasuk Mohr-Coulomb, *Anisotropic* dan *Generalized Hoek-Brown*. Jenis dukungan termasuk *tieback* dan *geotextile* dan lain-lain. Analisis Kembali memungkinkan untuk menentukan dukungan gaya yang dibutuhkan untuk Faktor Keamanan yang diberikan. Algoritma pencarian lanjutan

menyederhanakan tugas untuk menemukan permukaan bidang runtuh dengan Faktor Keamanan terendah.

Penggunaan Slide versi 5 memudahkan untuk melakukan perhitungan, nilai Faktor Keamanan per-sayatan dengan menggunakan metode Bishop.

Sayatan dihitung langsung oleh *software* sehingga pengguna dapat langsung mengambil hasil perhitungan dengan meng-copy pada halaman perintah yang sudah ada. Hasil perhitungan nilai Faktor Keamanan secara keseluruhan dapat langsung dilihat hasilnya karena telah dikalkulasi oleh *software*. Nilai dari Faktor Keamanan lereng keseluruhan ini yang menggambarkan bagaimana keadaan kestabilan lereng dalam keadaan nilai terkecil. Berdasarkan hasil ini maka dapat dilakukan rekomendasi untuk pencegahan kelongsoran apabila hasilnya menunjukkan bahwa lereng dalam keadaan tidak stabil.

Parameter tanah yang diperlukan dalam menganalisis nilai Faktor Keamanan lereng dengan menggunakan *Software Rocscience Slide* versi 5 adalah sebagai berikut:

- 1). Geometri lereng (tinggi jenjang, lebar jenjang, sudut kemiringan lereng)
- 2). Posisi muka air tanah pada lereng
- 3). Posisi rekahan tanah pada lereng (tidak harus ada)
- 4). Sifat fisik dan mekanik tanah (Bobot isi tanah, sudut gesek dalam, kohesi)

BAB III

METODE PENELITIAN

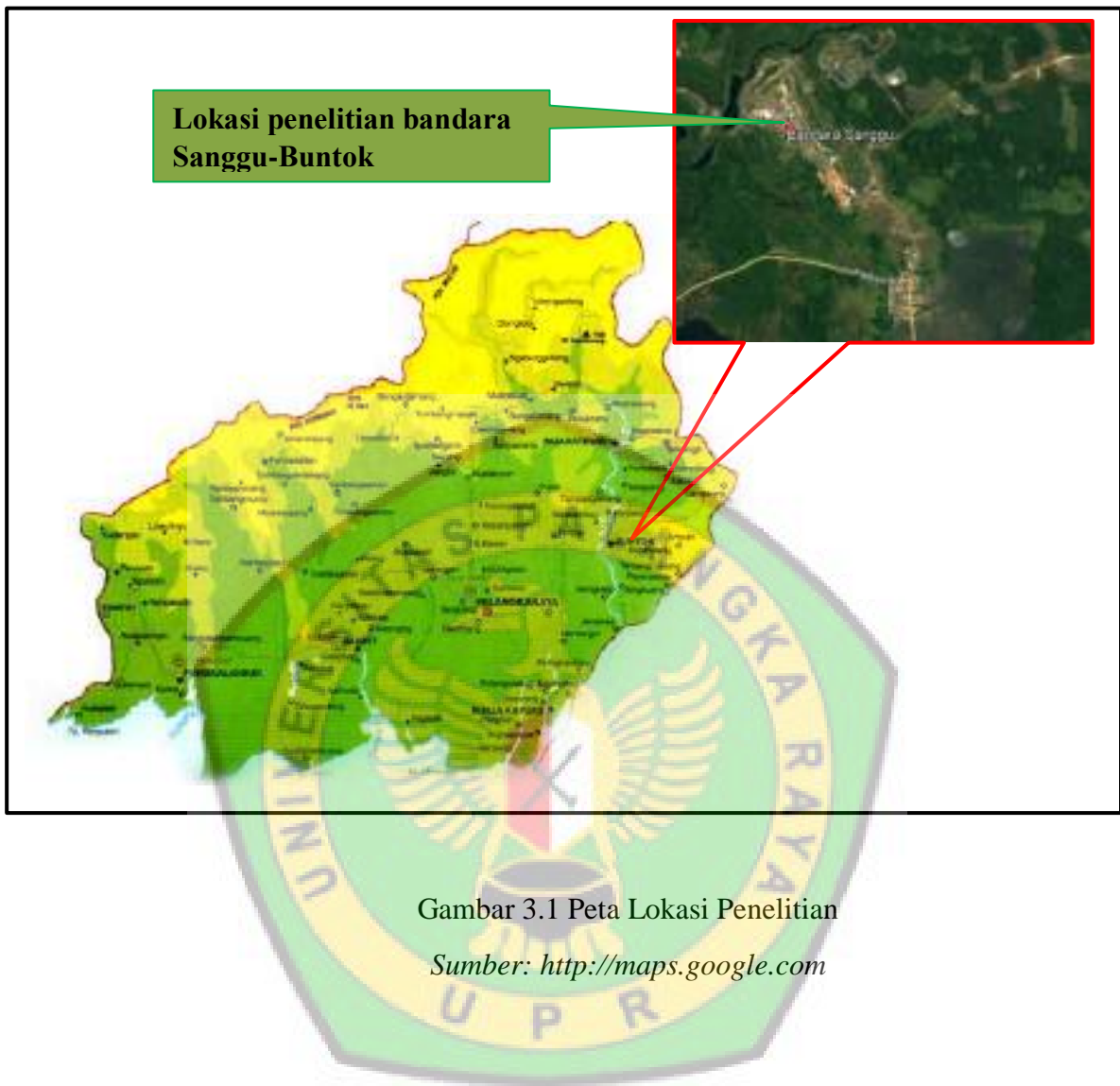
3.1 Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini merupakan metode gabungan yaitu metode kuantitatif dan kualitatif. Metode kuantitatif yang dimaksud adalah melakukan perhitungan terhadap nilai Faktor Keamanan lereng pada daerah penelitian dengan menggunakan parameter yang telah didapatkan. Sedangkan metode kualitatif yang dimaksud adalah membandingkan hasil dari perhitungan yang diperoleh dengan standar nilai yang menjadi acuan kualitas stabilitas lereng yang digunakan pada pembangunan Bandara Sanggu Buntok.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berlokasi di sebuah Bandara domestik di daerah Buntok, tepatnya pada Jln. Merdeka Desa Sanggu Buntok, Kel. Hilir Sper, Kec. Dusun Selatan, Kab. Barito Selatan. Di mana pada lokasi terjadi longsor, tepatnya pada landasan pacu Bandara.

Untuk mencapai lokasi Bandar Udara, dari Palangka Raya dapat dijangkau dengan rute : Palangka Raya – Buntok / Lokasi longsor, jarak antara Palangka Raya Buntok kurang lebih (\pm) 200 km. untuk mencapai lokasi dapat diakses dengan jalan darat menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat kurang lebih (\pm) empat (4) jam perjalanan. Peta lokasi dapat dilihat pada peta berikut.



3.3 Pengambilan Sampel dan Data

3.3.1 Pengambilan Data Lapangan

3.3.1.1 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel dilakukan secara langsung dilapangan dengan menggunakan bor geotek (bor mesin/drilling machine). Pengambilan sampel dengan bor mesin bertujuan memaksimalkan pengambilan sampel tanah hingga lapisan paling dalam, karena jika hanya memakai bor tangan/hand boring akan sangat sulit menjangkau lapisan tanah lebih dalam. Bor mesin menggunakan tenaga diesel sebagai penggerak bor. Alat ini mampu menjangkau lapisan tanah terdalam hingga ± 100 meter dari permukaan tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada titik bor dan untuk bor akan diambil sampel tanah dengan interpal 2 meter. Pengambilan sampel tanah dimaksud adalah untuk memenuhi sampel/material tanah yang akan diteliti/diuji di laboratorium. Sampel yang dimaksud berupa sampel tanah asli dan tanah timbunan yang ada pada lokasi longsor. Lalu sampel akan diteliti lebih lanjut di laboratorium mekanika tanah.

Langkah kerja yang dilakukan adalah:

1. Menentukan titik pengambilan sampel.

Menentukan titik bertujuan memudahkan pekerjaan selanjutnya pada saat pengeboran. Karena penentuan titik pengambilan sampel akan memudahkan pengebor dilapangan akan dimana titik-titik bor dilaksanakan.

2. Menentukan kedalaman pengeboran untuk pengambilan sampel.

Kedalaman lapisan yang akan kita jangkau mengacu kepada data yang dibutuhkan. Dan menghemat biaya yang keluar/serta estimasi waktu.

3. Pengambilan sampel/material yang akan diuji.

Pengambilan sampel ini dilakukan dengan cara mengebor tanah, dengan mata bor yang berputar yang akan terus membuka tiap lapisan tanah dan sampel tanah yang diambil akan masuk kedalam tabung *Shelby* yang gunanya membungkus serta mengamankan sampel tanah yang diambil.

Alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan pengambilan sampel adalah:

1. Bor mesin/*drilling machine*.
2. Tabung *Shelby*.
3. Stang hand bor.
4. Mata bor.
5. Unit penggerak bor/mesin *diesel*.

3.3.1.2 Pengambilan Data Geometri Lereng

Pengambilan data permukaan lereng dimaksud adalah untuk mengetahui bentuk dan permukaan lereng. Dari data yang didapat, bisa ditampilkan gambar permukaan lereng pada daerah longsor yang diteliti. Di mana data ini diperlukan untuk mencocokkan bentuk lereng dilapangan dengan model longsor setelah analisa.

Alat dan bahan yang diperlukan dalam pengambilan data ini adalah:

1. *Theodolite*

2. Rambu ukur
3. Alat tulis

3.3.2 Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium bertujuan untuk menguji sampel bor yang diambil dari lapangan. Pengujian yang dilakukan adalah untuk menguji karakteristik tanah, mulai dari sifat fisik dan sifat mekanik tanah. Pengujian laboratorium dilakukan di laboratorium mekanika tanah milik PT. CEMARA GEO ENGINEERING yang beralamat di Jln. Bondang no.3.

Pengujian laboratorium meliputi:

1. Uji triaksial/directshear.

Pengujian triaksial/directshear bertujuan mengetahui kohesi (c) dan sudut geser (ϕ). Namun terdapat perbedaan diantara keduanya, dimana triaksial melakukan pembebanan tiga arah, sedangkan directshear dua arah. Pada pengujian ini, sampel akan langsung di keluarkan dari tabung sampel, dan dibuat sesuai cetakan. Pada saat pengujian akan dilakukan penekanan pada sampel yang diuji. Dan pembacaannya dapat dilihat/dibaca pada alat baca yang disebut *directshear apparatus*.

2. Uji batas cair.

batas cair maksudnya, kadar air minimum di mana tanah masih bisa mengalir akibat berat tanah itu sendiri. Maka pengujian ini bertujuan menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cairnya. Pengujian batas cair dilakukan dengan alat *Casagrande*, yaitu dengan memukul-

mukulkan naik turun cawan alat yang berisi sampel yang sebelumnya sudah diberi alur. Pukulan di hentikan bila terlihat alur itu menyatu.

3. Uji kadar air.

Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dan berat kering tanah.

4. Uji ayakan.

Tanah adalah material berbutir. Maksud dari uji ayakan adalah untuk melihat gradasi butiran tanah atau penyebaran ukuran butiran tanah.

5. Uji hidrometer.

Pengujian hydrometer bertujuan untuk mengetahui jenis tanah. Terutama tanah yang berbutir sangat halus, atau lolos saringan 200. Layaknya lempung atau lanau kedua ini sangat sulit dibedakan tanpa pengujian ini.

6. Uji berat jenis.

Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air suling pada volume yang sama dan suhu tertentu. Pengujian berat jenis bertujuan mengetahui berat jenis tanah yang diuji. Uji berat jenis dilakukan dengan cara melakukan vakum atau mendidihkan piknometer yang berisi sampel tanah, yang sama-sama membuang udara dalam tanah.

3.3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dimaksud adalah pengolahan data yang didapat dilapangan dan hasil pengujian dilaboratorium. Pengolahan data dilakukan menggunakan *Software Rocscinces Slide* versi 5, yaitu dengan mengupload data hasil kedalam software secara benar.

3.4 Tata Laksana Penelitian

Tata laksana dalam melakukan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memulai penelitian dengan membuat latar belakang dari permasalahan yang ingin diteliti. Setelah latar belakang diketahui secara pasti maka mulai membuat judul penelitian.
2. Merumuskan masalah berdasarkan latar belakang penelitian.
3. Mencari studi literatur baik melalui penelitian terdahulu maupun teori-teori yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti.
4. Setelah mendapatkan persetujuan untuk melakukan penelitian baik dari dosen pembimbing akan dilakukan penelitian maka langkah selanjutnya adalah persiapan pengambilan data.
5. Pengambilan data, baik data primer maupun sekunder.

Data primer terdiri dari:

- Keadaan material tanah asli dan timbunan yang terdapat pada lokasi longsor (hasil uji lab).
- Sifat fisik dan mekanik tanah pada lokasi penelitian.

- Nilai Faktor Keamanan lereng pada lereng (hasil diperoleh dari analisis sudut geser dari pengujian lab).

Data sekunder terdiri dari:

- Geometri lereng
6. Melakukan pengolahan data menggunakan *Software Rocscience Slide* versi 5.
 7. Melakukan analisis dan pembahasan terkait rumusan masalah dan tujuan penelitian.
 8. Pembuatan laporan penelitian Tugas Akhir.

3.5 Tata Laksana Pengambilan Data Lapangan

Langkah kerja dalam mengambil data lapangan secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Sebelum pengambilan data lapangan terlebih dahulu dilakukan observasi lapangan dengan tujuan untuk mengetahui tempat, serta kondisi lapangan tempat pengambilan data lapangan.
2. Melakukan pengamatan dan pengukuran geometri lereng.
3. Melakukan pengambilan sampel tanah menggunakan bor mesin.
4. Melakukan pekerjaan geolistrik, untuk mengetahui resistivitas tanah.
5. Selain data geometri lereng, sampel tanah, dan data geolistrik data lain yang dapat diambil sebagai data penunjang adalah kondisi rekahan tanah pada punggung lereng, langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut: apabila terdapat rekahan tanah pada punggung lereng

maka harus dilakukan pengukuran kedalaman rekahan yang dapat diukur, panjang rekahan serta lebar rekahan dan jarak rekahan dari *crest* lereng

6. Mengamati rembesan air tanah pada kaki lereng sebagai salah satu parameter dalam melakukan analisis kestabilan lereng. Parameter muka air tanah juga bisa didapatkan dari hasil pemboran pada area lereng. Langkah dalam mengambil data muka air tanah pada lubang bor adalah dengan mengukur manual menggunakan meteran tangan paling sedikit sebanyak 3 kali pengulangan lalu mencatat hasil yang didapatkan.

3.6 Tata Laksana Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan untuk menganalisis/melakukan pengujian terhadap sampel tanah yang diambil dari lokasi penelitian. Pengujian dilakukan terhadap data/parameter apa saja yang dibutuhkan untuk menganalisis lereng, pada saat pengolahan data.

Garis besar pengujian laboratorium sebagai berikut:

1. Uji triaksial/directshear, pengujian ini dilakukan pada sampel tanah yang dikeluarkan langsung dari tabung shelby. Pada sampel yang akan diuji akan dilakukan penekanan.
2. Uji batas cair, dilakukan menggunakan alat yang disebut Casagrande.
3. Uji kadar air, diperoleh dari hasil konfersi nilai timbangan tanah saat basah dengan tanah setelah dilakukan pengeringan dengan oven.
4. Uji ayakan, dilakukan untuk mengetahui gradasi butiran.

5. Uji hidrometer, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jenis tanah yang lewat saringan 200.
6. Uji berat jenis, dilakukan dengan cara melakukan vakum atau mendidihkan piknometer yang berisi sampel tanah, yang sama-sama membuang udara dalam tanah.
7. Setelah semua data didapat, barulah dilakukan pengolahan data.

3.7 Tata Laksana Pengolahan Data

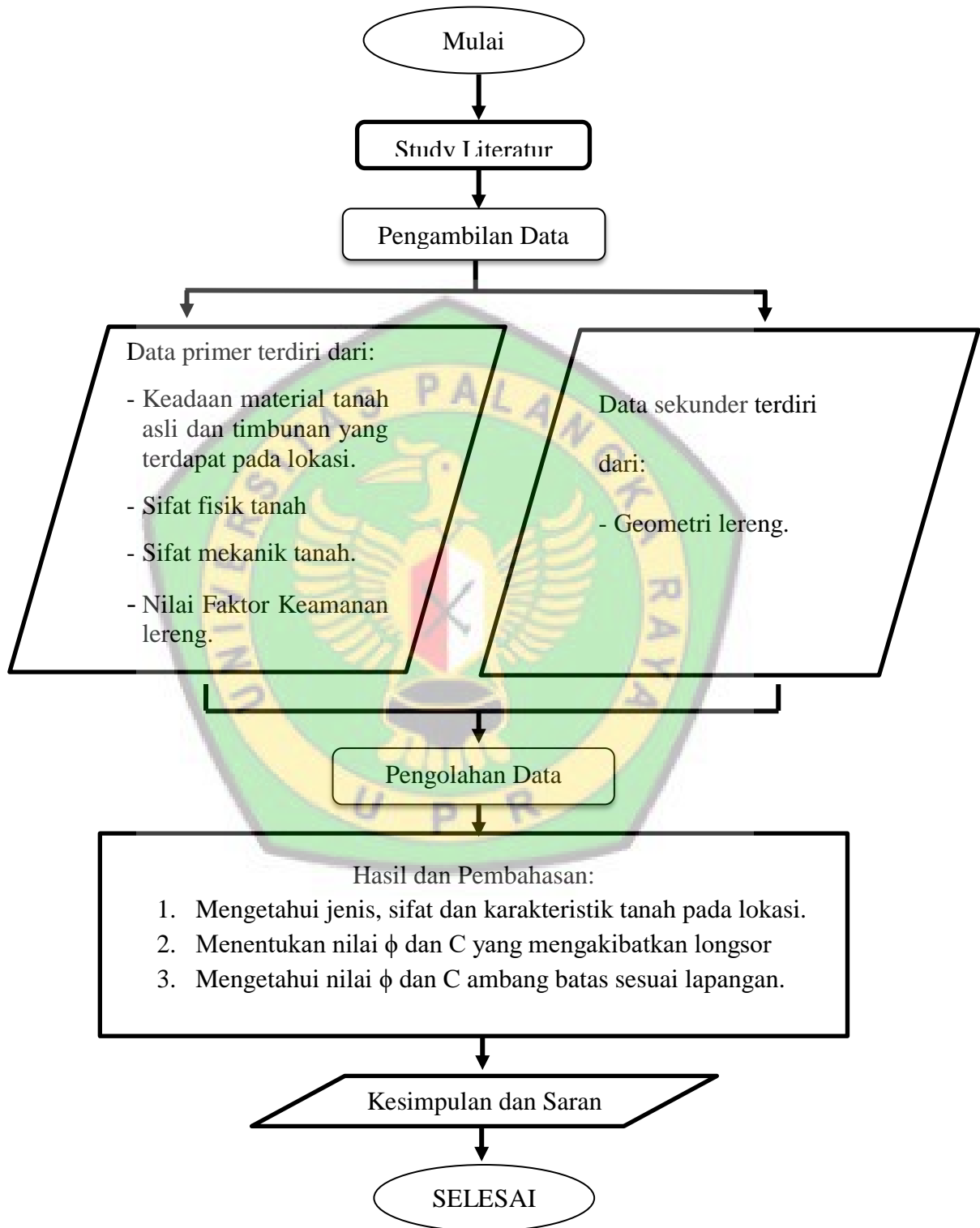
Pengolahan data dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan *Software Rocscinces Slide* versi 5 dan analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah metode Bishop. Adapun tata laksana dari pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data yang terdiri dari geometri lereng, sudut geser tanah, kohesi tanah, bobot isi tanah, serta kondisi muka air tanah pada lereng.
2. Data geometri lereng digunakan untuk menggambarkan bentuk lereng menggunakan *Software Rocscinces Slide* versi 5 dengan cara memasukan nilai jarak datar dan ketinggian.
3. Setelah bentuk lereng selesai digambarkan maka masukan parameter muka air tanah. Apabila parameter muka air tanah tidak tersedia maka dapat diasumsikan bahwa muka air tanah mengikuti dari bentuk lereng. Pengasumsian ini dilakukan untuk mengantisipasi apabila lereng dalam keadaan jenuh air. Serta dapat diasumsikan pula kondisi lereng dalam

keadaan tidak jenuh air sehingga terdapat dua model lereng yang berbeda.

4. Menggambarkan lapisan material lereng berdasarkan stratigrafi yang diperoleh dari hasil pemboran. Setelah selesai menggambarkan keadaan lapisan material lereng maka dilakukan *input* nilai parameter tanah.
5. Setelah semua parameter selesai dimasukan dan dirasa benar maka selanjutnya melakukan perhitungan nilai Faktor Keamanan menggunakan salah satu fungsi (*Analysis, Compute*) pada *Software Rocscinces Slide* versi 5.
6. Menampilkan hasil perhitungan nilai Faktor Keamanan dengan salah satu fungsi (*Analysis, Interpret*) pada *Software Rocscinces Slide* versi 5.
7. Mengeksport gambar ke format JPEG dan menyimpan gambar sebagai hasil dari perhitungan Faktor Keamanan pada lereng penelitian.

3.8 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir

BAB IV

Hasil Pengujian dan Analisis Data

4.1 Observasi Lapangan

Observasi lapangan adalah pekerjaan pengenalan lapangan, yang bertujuan untuk mengetahui kondisi sebenarnya di lapangan, dan mempermudah melakukan pekerjaan saat pengujian di lapangan.

Bandara Sanggu Buntok merupakan bandara kelas III. Bandara Sanggu Buntok merupakan bandara komersial yang masih melayani penerbangan dengan beberapa rute saja. Bandara Sanggu Buntok ini mampu melayani operasional pesawat terbesar sekelas Cassa 212, dan Susi air. Saat ini Bandara Sanggu Buntok mempunyai panjang runway 750 meter dengan lebar 23 meter, dan mempunyai taxiway dengan panjang 62 meter dengan lebar 23 meter. Berikut adalah gambar kondisi dilapangan setelah terjadi longsor.



Gambar 4.1 Kondisi Lereng *Runway* Setelah Terjadi Longsor

Sumber: Penelitian, 2016



Gambar 4.2 Kondisi Lereng *Runway* Setelah Terjadi Longsor

Sumber: Penelitian, 2016

4.2 Pengujian atau Pekerjaan Lapangan

Pengujian Lapangan berupa, pengambilan sampel dengan pengeboran, pengukuran muka air tanah, dan pengukuran geometri lereng.

4.2.1 Pekerjaan Boring

Pekerjaan boring adalah pekerjaan pengambilan sampel tanah di lapangan, sampel hasil bor adalah sampel yang akan diuji di laboratorium. Sampel yang diambil berupa sampel terganggu dan sampel tidak terganggu. Sample boring yang digunakan sebagai bahan uji adalah sample bor yang berada tepat pada titik longsor.

I. Hasil Pengujian SPT di Lapangan

Berdasarkan data yang didapatkan di lapangan maka dapat disajikan dalam bentuk tabel dari hasil lapangan hingga N_{60} yang direkomendasikan yang dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hasil pengamatan N-SPT di lapangan

Depth (L)(m)	N1/15 cm	N2/15 cm	N3/15 cm	SPT N2+N3	A	β	γ	Er/Es	Nes	N Rekomendasi	Depth (L)
2	4	4	7	11	0.75	1.20	1.00	1.3	12.87	12	2
4	4	5	7	12	0.75	1.20	1.00	1.3	14.04	14	4
6	6	8	11	19	0.85	1.20	1.00	1.3	25.194	25	6
8	6	8	13	21	0.95	1.20	1.00	1.3	31.122	31	8
10	11	15	23	38	0.95	1.20	1.00	1.3	56.316	56	10
12	10	14	17	31	1.00	1.20	1.00	1.3	48.36	48	12
14	12	16	21	37	1.00	1.20	1.00	1.3	57.72	57	14
16	12	17	23	40	1.00	1.20	1.00	1.3	62.4	62	16
18	12	18	24	42	1.00	1.20	1.00	1.3	65.52	65	18
20	13	18	25	43	1.00	1.20	1.00	1.3	67.08	67	20
22	17	23	26	49	1.00	1.20	1.00	1.3	76.44	76	22
24	19	25	29	54	1.00	1.20	1.00	1.3	84.24	84	24
26	22	27	31	58	1.00	1.20	1.00	1.3	90.48	90	26
28	24	27	33	60	1.00	1.20	1.00	1.3	93.6	93	28
30	26	29	31	60	1.00	1.20	1.00	1.3	93.6	93	30

KETERANGAN: N = nilai SPT

Sumber: Koreksi SPT Lapangan, PT. Cemara Geo Engineering 2016

4.2.2 Pengukuran Muka Air Tanah

Pengukuran muka air berlangsung di lapangan, tepatnya pada titik bora tau lubang pengeboran. Pengukuran muka air dilakukan secara langsung dengan menggunakan meteran. Kegunaan pengukuran muka air ini adalah untuk mengetahui tinggi muka air tanah. Dan data ini akan membantu Analisis pada software.

4.3 Pengujian Laboratorium

Untuk di laboratorium digunakan beberapa uji yang dapat dilihat pada tabel 1, yaitu:

Tabel. 4.2 Rangkuman Acuan yang Digunakan untuk Uji Laboratorium

No	Jenis Pengujian	Acuan Standart	Tampilan Hasil Lampiran
1	Kadar Air	ASTM D-2216	Rangkuman & Bor Log
2	Berat Jenis (Spesific Gravity)	ASTM D-854	Rangkuman & Bor Log
3	Berat Volume Basah (Bulk Density)	ASTM D-2937	Rangkuman & Bor Log
4	Analisa Ayakan	ASTM D-421	Analisa Ayakan
5	Direct Shear / Geser Langsung	SNI 03-3240-1994	Analisa Direct Shear
6	Uji Konsolidasi	ASTM D-2435-89	Data Test Konsolidasi

Sumber: ASTM dan SNI

4.3.1 Pengujian Berat volume dan Kadar Air

Maksud, tujuan, defenisi, proses pengujian mengaju pada ASTM D-2216.

Hasil pengujian tercantum di lampiran.

4.3.2 Pengujian Berat Jenis (Spesifik Gravity)

Maksud, tujuan, defenisi, proses pengujian mengaju pada ASTM D-854.

Hasil pengujian tercantum di lampiran.

4.3.3 Pengujian Analisis Ayakan (Saringan)

Maksud, tujuan, defenisi, proses pengujian mengaju pada ASTM D-421.

Hasil pengujian tercantum di lampiran.

4.3.4 Direct Shear Test/ Uji Geser Langsung

Maksud, tujuan, defenisi, proses pengujian mengaju pada SNI 03-3240-

1994. Hasil pengujian tercantum di lampiran.



4.4 Kesimpulan Pengujian

Kesimpulan pengujian ini adalah hasil pokok atau rangkuman dari semua pengujian.

Tabel 4.3 Kesimpulan Hasil Pengujian

Kedalaman (meter)	Soil Deskripsi	Klasifikasi "USCS"	Berat Isi Tanah		Spesific Gravity	Direct Shear	
			$\gamma_{moist} (g/cm^3)$	$\gamma_{dry} (g/cm^3)$		ϕ	C kg/cm ²
1,50	Lanau Kepasian	SC-SM (Silty, clayey sand)	1,68	1,46	2,594	27,54	0,05
3,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,68	1,37	2,445	28,81	0,05
5,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,63	1,37	2,564	29,44	0,05
7,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,62	1,28	2,538	32,74	0,02
9,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,72	1,37	2,572	33,02	0,03
11,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,60	1,28	2,571	32,74	0,02
13,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,44	1,26	2,532	33,31	0,04
15,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,55	1,28	2,545	33,60	0,04
17,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,75	1,40	2,427	34,44	0,05
19,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,34	1,17	2,558	34,72	0,04
21,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,48	1,26	2,209	34,99	0,05
23,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,42	1,26	2,365	35,26	0,05
25,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,57	1,33	2,436	35,81	0,05
27,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,43	1,29	2,242	36,87	0,04
29,50	Pasir	SP (Poorly graded sand)	1,60	1,27	2,300	36,34	0,04

Note : 1 kg/cm² = 100 Kpa

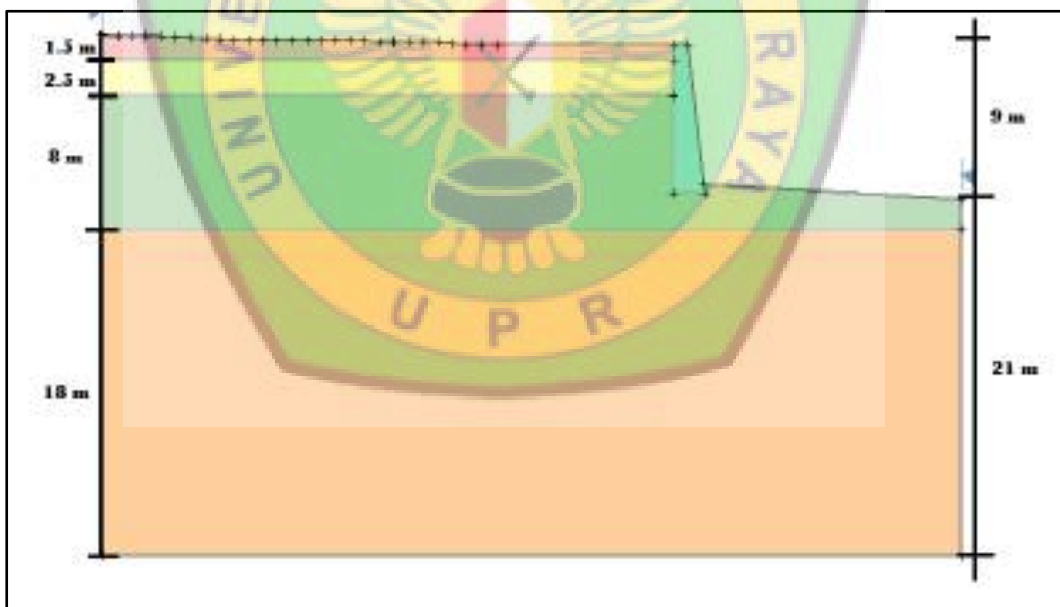
Sumber: Penelitian, 2016

4.5 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan *Software Rocscience Slide* versi 5 dan analisis stabilitas lereng yang digunakan adalah metode Bishop.

4.5.1 Pemodelan Lereng

Pemodelan lereng merupakan tahap awal dalam pengolahan data, tahap pemodelan lereng adalah penggambaran bentuk lereng sesuai lokasi penelitian atau dimodelkan sesuai elevasi yang didapat di lokasi penelitian. Gambar elevasi digambarkan sesuai bentuk awal lereng sebelum terjadi longsor, seperti pada gambar 4.3 Gambar Pemodelan Bentuk Lereng.

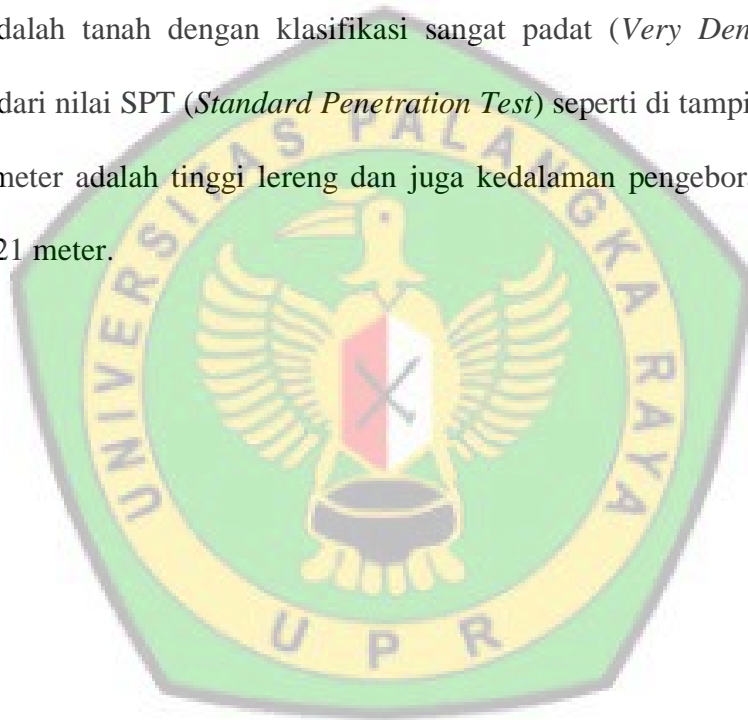


Gambar 4.4 Pemodelan Bentuk Lereng

Sumber: Penelitian, 2019

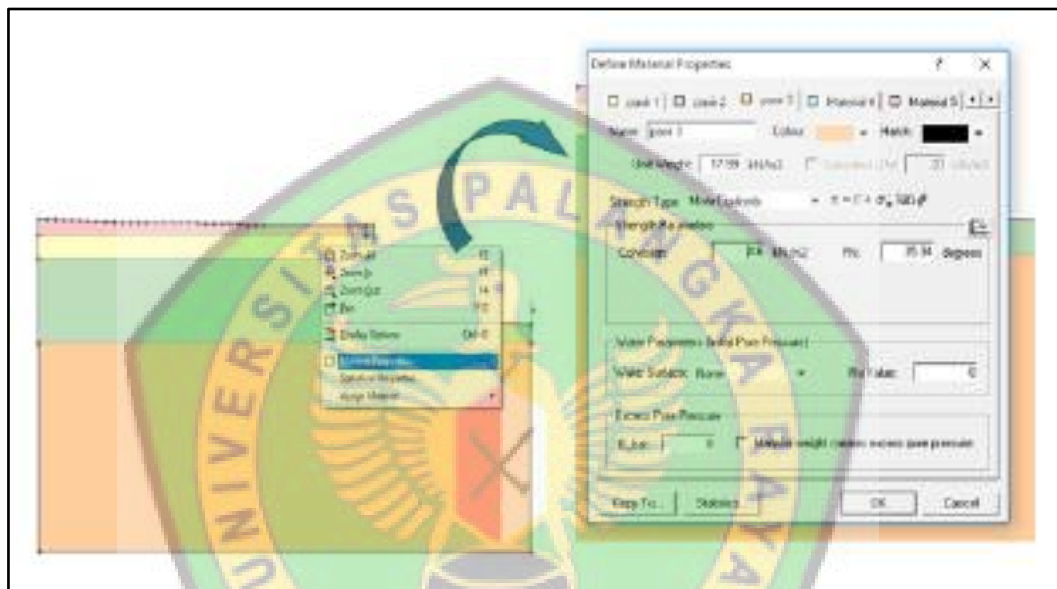
4.5.2 Input Klasifikasi Jenis Tanah

Input klasifikasi tanah adalah tahap menentukan jenis tanah dan penentuan lapisan tanah pada model lereng yang digambar. Lapisan tanah digambarkan sesuai data yang didapat di lapangan dan di laboratorium dari tanah yang menunjukkan tanah dengan kepadatan sedang (*Medium Dense*) hingga kedalaman 4 meter, 8 meter adalah tanah dengan klasifikasi padat (*Dense*), 18 meter adalah tanah dengan klasifikasi sangat padat (*Very Dense*), dan itu di peroleh dari nilai SPT (*Standard Penetration Test*) seperti di tampilkan dalam *Log Bor.* 9 meter adalah tinggi lereng dan juga kedalaman pengeboran dijumlahkan dengan 21 meter.



Input Material Properti

Input material property adalah tahap memasukkan nilai-nilai material pada tanah untuk setiap jenis lapisan yang sudah dibuat. Cara penginputan dilakukan pada submenu seperti yang tertera pada pilihan gambar 4.5 gambar input material properties. Data yang dimasukkan dapat dilihat pada tabel



Gambar 4.5 Input Material Properties

Sumber: Penelitian, 2019

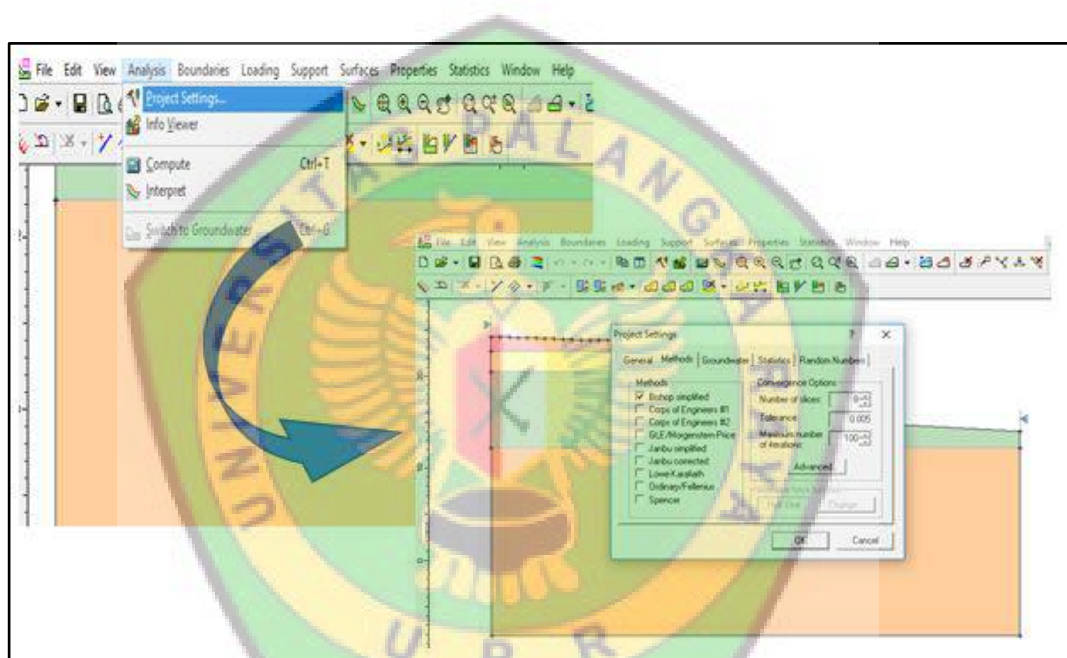
Tabel. 4.4 Data tanah pada input material properties

Lapisan	Phi/ ϕ (°)	Kohesi/C (kN/m ²)	Unit Weight (kN/m ³)
Lanau Pasiran	27,54	5	15,0
Pasir	32	5	19,1
Pasir	33,02	3,5	16,7
Pasir	36,2	5	17,1

Sumber: Penelitian, 2019

4.5.3 Input Project Setting

Tahap berikutnya yaitu melakukan tahap project setting atau proses analisis yang dibutuhkan. Seperti arah analisis, metode analisis, sensitivitas analisis, probabilistic analisis, jumlah sampel. Cara input dapat dilakukan pada menu *Analysis*, kemudian memilih project setting seperti yang tertera pada pilihan gambar 4.6 gambar input project setting.

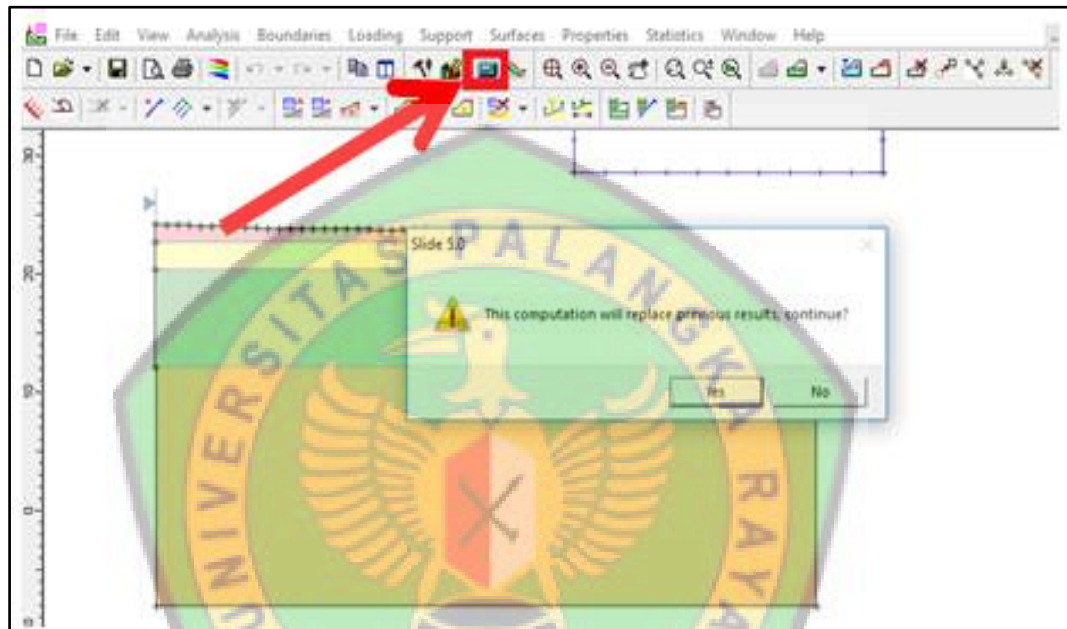


Gambar 4.6 Input Project Setting

Sumber: Penelitian, 2019

4.5.4 Komputasi

Tahap komputasi merupakan tahap perhitungan atau analisis yang dikerjakan software. Tahap ini dilakukan dengan memilih menu compute pada menu toolbar, seperti pada gambar 4.7 gambar langkah komputasi.



Gambar 4.7 Langkah Komputasi

Sumber: Penelitian, 2019

4.5.5 Interpretasi

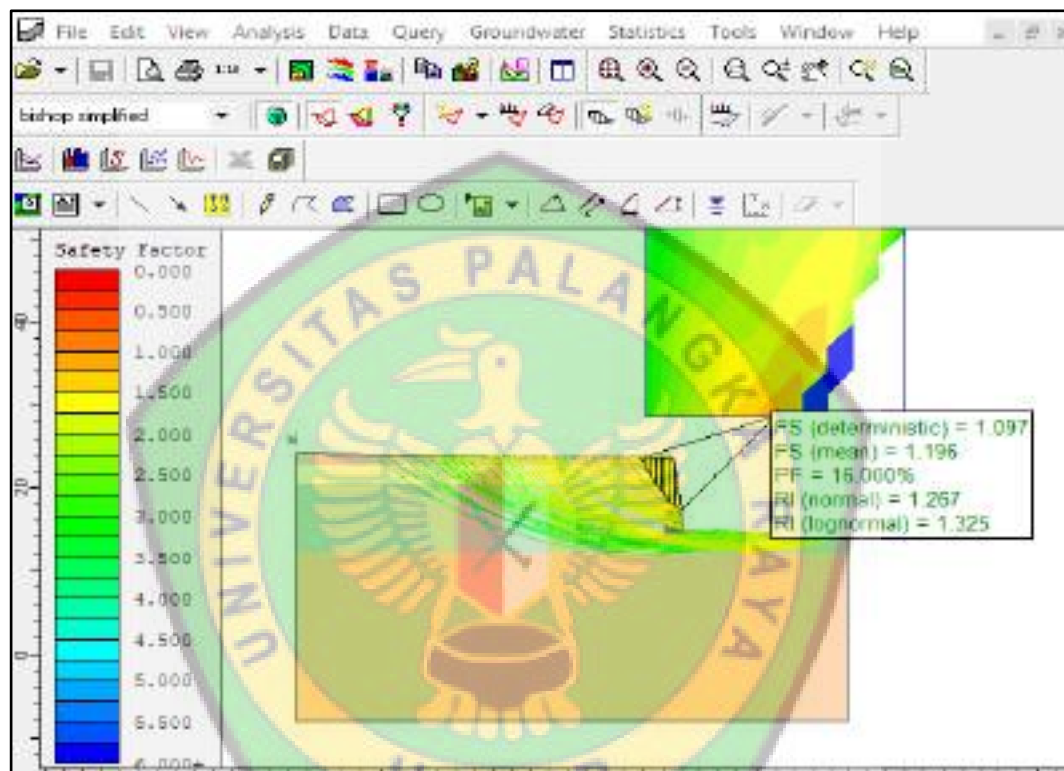
Setelah langkah komputasi, selanjutnya adalah tahap interpretasi, atau tahap analisis penafsiran hasil dari data awal yang diinput. Hampir sama dengan langkah komputasi, interpretasi hanya memilih menu interpret pada menu toolbar, seperti pada gambar 4.8 gambar langkah interpretasi.



Gambar 4.8 Langkah Interpretasi

Sumber: Penelitian, 2019

Dari hasil interpretasi menggunakan metode Bishop, diperoleh nilai $FK=1.097$. Sesudah melakukan langkah *interpret*, selanjutnya memplot nilai phi dan kohesi kedalam *Microsoft office excel*. Dari hasil itu diambil nilai phi dan kohesi untuk FK kritis ($FK=0.99-1.01$).

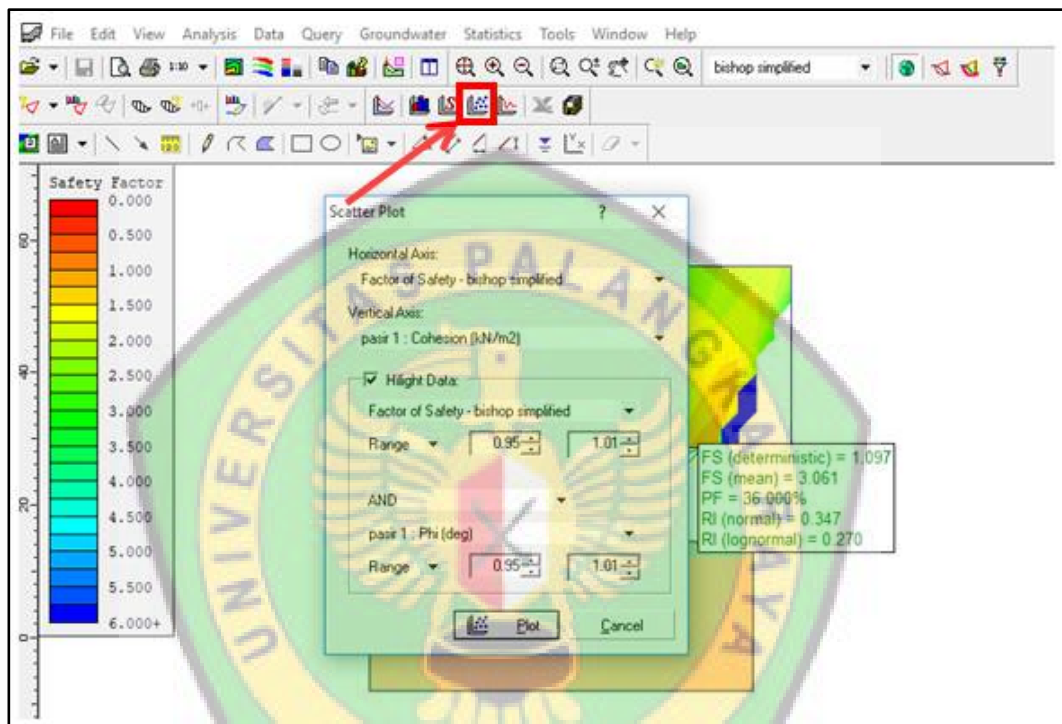


Gambar 4.9 Tampilan Analisis *Interpret Software RocscinCES Slide* Versi 5

Sumber: Penelitian, 2019

4.5.6 Analisis Balik

Langkah analisis balik adalah langkah mengeluarkan hasil/nilai data yang diperlukan terhadap nilai faktor keamanan sesuai yang diinginkan. Langkah ini dapat dilakukan dengan memilih menu scatter plot pada toolbar menu, seperti pada gambar 4.10 gambar menu scatter plot.



Gambar 4.10 Menu Scatter Plot

Sumber: Penelitian, 2019

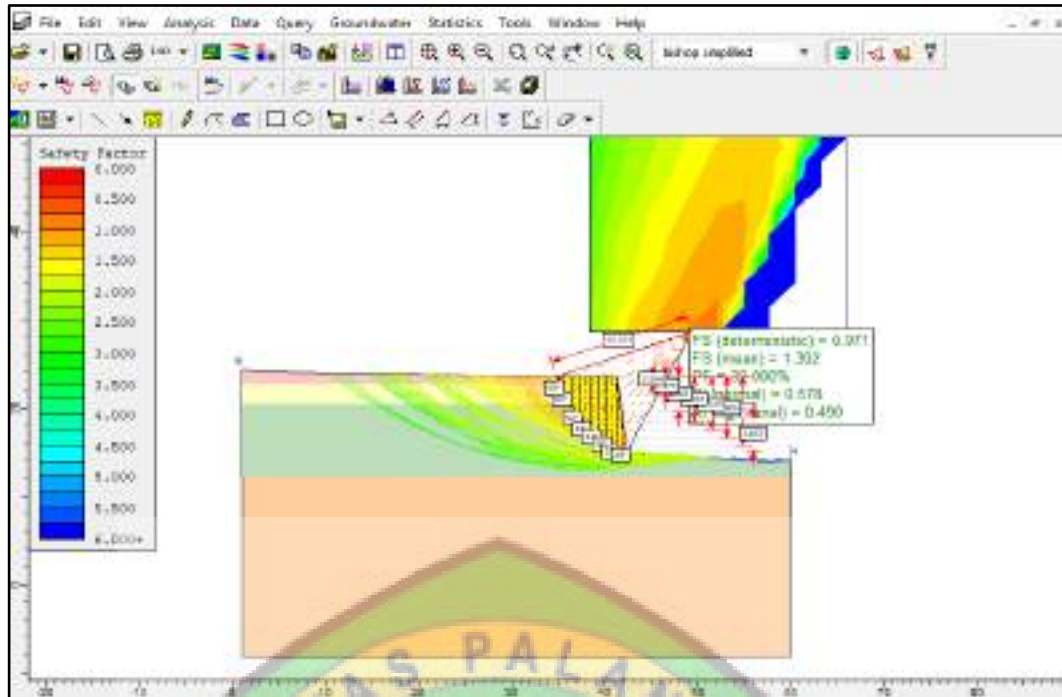
4.6 Hasil Analisis Balik (Nilai Sudut Geser, Kohesi dan Faktor Keamanan)

Pada Analisis balik, hal yang dicari adalah nilai phi dan nilai kohesi. Dari data yang didapat di lapangan maupun pengujian laboratorium dianalisislah nilai Phi dan kohesi saat terjadinya longsor. Dari semua hasil yang didapat tersebut dianalisis kembali model longsor mana yang paling sesuai dengan model longsor di lapangan itulah yang menunjukkan nilai phi dan nilai kohesi saat tanah mengalami longsor. Seperti yang ditampilkan pada tabel 4.11 Hubungan Nilai sudut geser (ϕ), Kohesi (C) dan FK.

Tabel 4.5 Tabel nilai sudut geser (ϕ), kohesi (C) dan FK

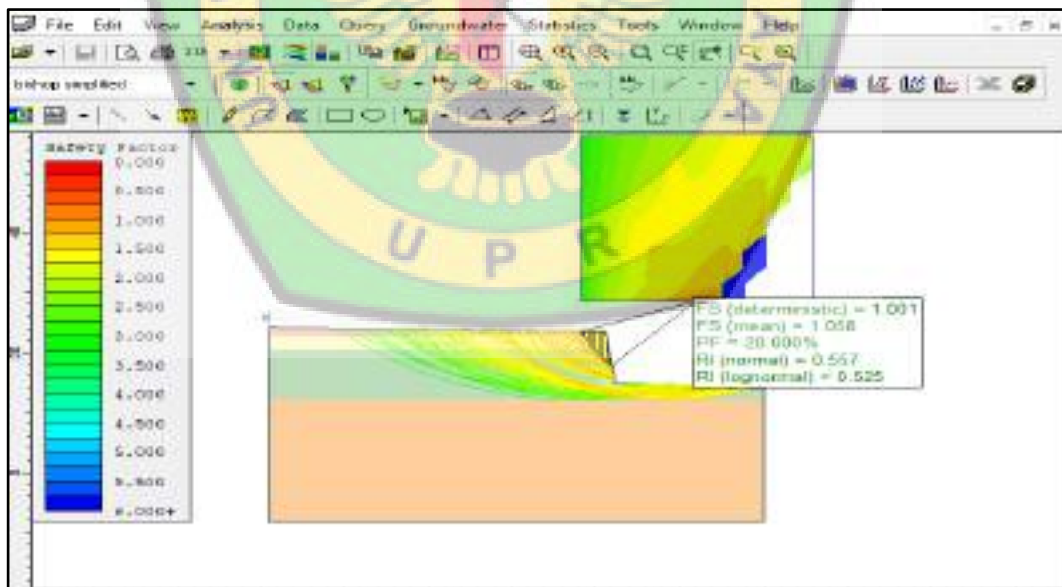
Lapisan	Sampel	Kohesi/C (Kn/M2)	Sudut Geser/ ϕ (°)	FK
Lapisan 1	1	4	27	0,971
	2	4,34	26,32	1,001
Lapisan 2	1	4,01	27,54	0,971
	2	3,98	25,05	1,001
Lapisan 3	1	3,58	30,74	0,971
	2	3,59	27,05	1,001
Lapisan 4	1	4,95	36,2	0,971
	2	4,6	35,34	1,001

Sumber: Penelitian, 2019



Gambar 4.11 Analisis Balik Saat Nilai FK = 0,97

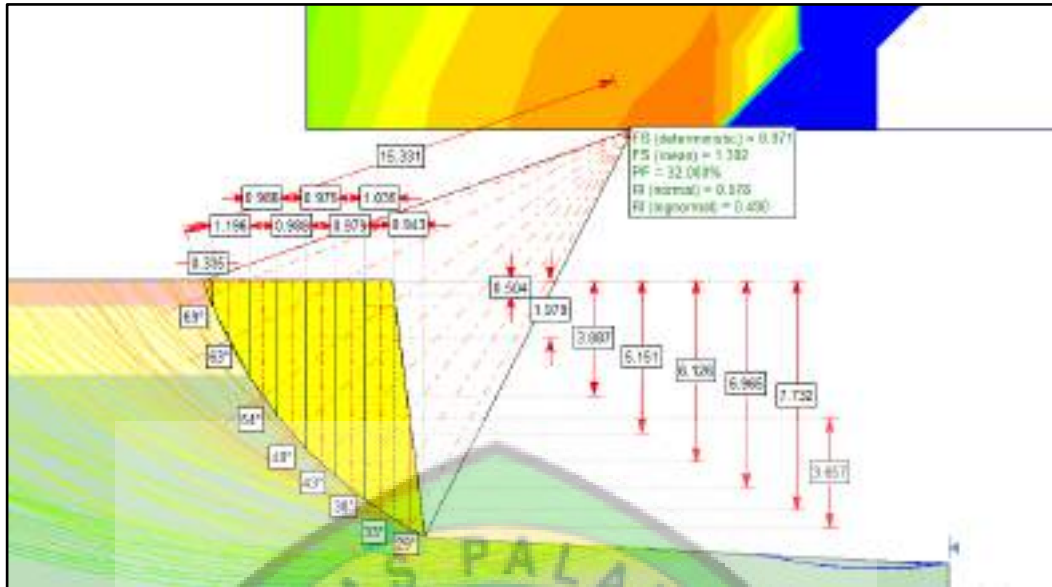
Sumber: Penelitian, 2019



Gambar 4.12 Analisis Balik Saat Nilai FK = 1,001

Sumber: Penelitian, 2019

4.6.1 Hasil Analisis Hitungan Dengan Metode Bishop



Gambar 4.13 Analisis Bentuk Lereng Untuk Perhitungan Metode Bishop.

Sumber: Penelitian, 2019

Rumus :

$$FS = \frac{\sum (c' b + (W(1 - \frac{u}{\gamma h})) \tan \phi') \frac{\sec \alpha}{m\alpha}}{\sum W \sin \alpha} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$m\alpha = 1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{FS} \dots \dots \dots (4.2)$$

Keterangan:

c' = Kohesi efektif (kN/m²)

b = Lebar irisan ke-i (m)

W = Berat irisan ke- i (m)

m = Angka stabilitas

α = Sudut yang didefinisikan dalam gambar ($^{\circ}$)

ϕ' = Sudut geser efektif dalam tanah ($^{\circ}$)

Properti tanah :

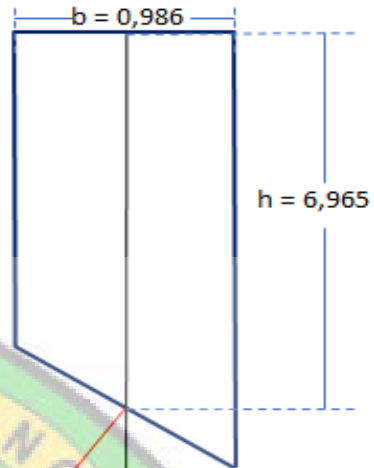
$\gamma_{\text{sat}} = 17,5 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_{\text{water}} = 10 \text{ kN/m}^3$

$\gamma' = 7,5 \text{ kN/m}^3$

$\phi' = 30,31^{\circ}$

$c' = 4,3 \text{ kN/m}^3$



$$FS = \frac{(c'b + [W(1 - \frac{U}{\gamma h})]\tan \phi') \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{FS}}}{W \sin \alpha}$$

$$FS = \frac{(4,3 \times 0,34 + [2,42(1 - \frac{9,6}{17,5 \times 0,96})]\tan 30,31) \frac{1 / \cos 69}{1 + \frac{\tan 30,31 \times \tan 69}{0,96}}}{2,42 \times \sin 69}$$

$$FS = \frac{(1,46 + 0,6) \frac{1/0,35}{1 + \frac{0,584 \times 2,6}{0,96}}}{2,42 \times 0,93}$$

$$FS = \frac{2,06 \times \frac{2,79}{2,58}}{2,42 \times 0,93}$$

$$FS = \frac{2,06 \times 1,08}{2,42 \times 0,93} = 0,96$$

Tabel 4.6 Tabel perhitungan menggunakan metode Bishop

No. Irisan	b	h1	h2	α	W1	W2	Wtotal	Sin α
	m	m	M	°	$\gamma b h_1$ (kN)	$\gamma b h_2$ (kN)	W1 + W2 (kN)	°
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,34	0,96	0,00	69,00	2,42	0,00	2,42	0,93
2	1,21	1,98	0,00	63,00	17,94	0,00	17,94	0,89
3	0,98	3,89	0,00	54,00	28,42	0,00	28,42	0,81
4	0,97	5,15	0,00	48,00	37,59	0,00	37,59	0,74
5	0,30	6,13	0,00	43,00	13,78	0,00	13,78	0,68
6	0,99	6,96	0,00	38,00	51,47	0,00	51,47	0,62
7	1,03	7,73	0,00	33,00	59,56	0,00	59,56	0,54
8	0,94	3,66	0,00	29,00	25,67	0,00	25,67	0,48

No. Irisan	A	hw	Uw	b Uw	Wtot - bu	(Wtot - bu) tan ϕ	c'b	B (14 + 15)
	Wtot Sin α	m	hw γw	kN	Kn	kN	kN	kN
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2,26	0,00	0,00	0,00	2,42	1,41	1,44	2,86
2	15,99	0,00	0,00	0,00	17,94	10,49	5,20	15,69
3	23,00	0,00	0,00	0,00	28,42	16,62	4,19	20,81
4	27,93	0,00	0,00	0,00	37,59	21,97	4,18	26,16
5	9,40	0,00	0,00	0,00	13,78	8,06	1,29	9,35
6	31,69	0,00	0,00	0,00	51,47	30,09	4,24	34,33
7	32,44	0,00	0,00	0,00	59,56	34,82	4,42	39,23
8	12,45	0,00	0,00	0,00	25,67	15,01	4,02	19,03
	155,15							

No. Irisan	M dan SF trial	Atas/Bawah	Safety Factor
	0,96	16/17	Final
	17	18	
1	1,08	3,08	0,96
2	1,00	15,74	
3	0,93	19,26	
4	0,89	23,32	
5	0,87	8,15	
6	0,86	29,52	
7	0,85	33,52	
8	0,85	16,27	
		148,87	

KESIMPULAN

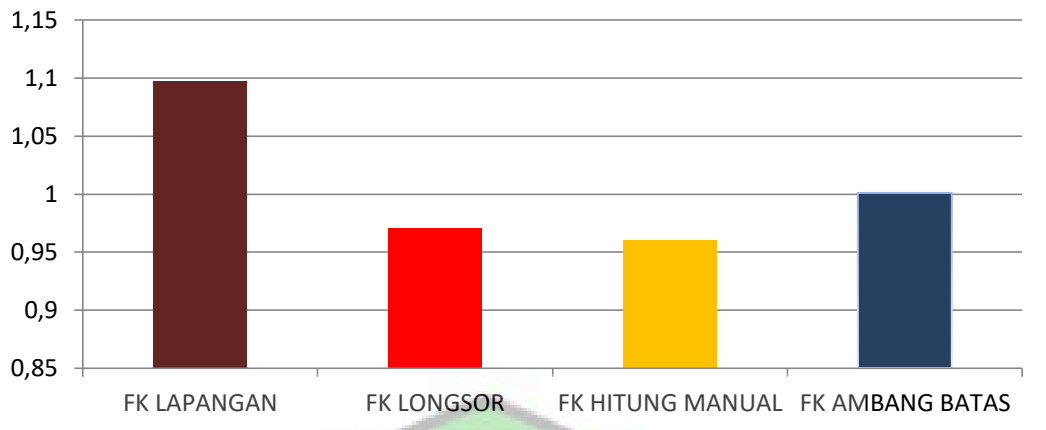
Jenis dan Karakteristik Tanah

Lapisan	Deskripsi Material	Sudut geser/ ϕ ($^{\circ}$)	Kohesi/C (Kn/M ²)
Lapisan 1	Silty, Clay Sand (Sc-Sm)	27,54	5
Lapisan 2	Poorly Graded Sand (Sp)	32,00	5
Lapisan 3	Poorly Graded Sand (Sp)	33,02	3,5
Lapisan 4	Poorly Graded Sand (Sp)	36,2	5

Tabel Phi, Kohesi dan Faktor Keamanan tiap Lapisan

Lapisan	Sudut Geser/ ϕ ($^{\circ}$)	Kohesi/C (kN/M ²)	FK	Keterangan
Lapisan 1	27,54	5	1,097	FK Data Awal
	27	4	0,97	Fk Longsor (Sesusi Lapangan)
	26,32	4,34	1,001	Fk Longsor
Lapisan 2	32	5	1,097	FK Data Awal
	27,54	4,01	0,97	Fk Longsor (Sesusi Lapangan)
	25,05	3,98	1,001	Fk Longsor
Lapisan 3	33,02	3,5	1,097	FK Data Awal
	30,74	3,58	0,97	Fk Longsor (Sesusi Lapangan)
	27,05	3,59	1,001	Fk Longsor
Lapisan 4	36,2	5	1,097	FK Data Awal
	36,2	4,95	0,97	Fk Longsor (Sesusi Lapangan)
	35,34	4,6	1,001	Fk Longsor

DIAGRAM PERBANDINGAN FAKTOR KEAMANAN



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di lapangan, dan dari data yang didapat dari pengujian laboratorium, dan setelah analisis maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material lapisan lereng pada area penelitian dari kedalaman 0,00 sampai 30,00 terdiri material lanau kepasiran dan pasir, dengan kriteria pasir bergradasi buruk/SP (*Poorly Graded Sand*).
2. Dari hasil pengujian laboratorium nilai ϕ dan C lapangan di lokasi longsor ditunjukkan nilai berikut: lapisan pertama nilai $\phi = 27,54^\circ$ dan $C = 5$; lapisan kedua nilai $\phi = 30^\circ$ dan $C = 5$; lapisan ketiga nilai $\phi = 33,02^\circ$ dan $C = 3,5$; lapisan keempat Nilai $\phi = 36,2^\circ$ dan $C = 5$
3. Nilai ϕ dan C ambang batas setelah analisis balik menggunakan software slide ditunjukkan nilai berikut: lapisan pertama nilai $\phi = 27^\circ$ dan $C = 4$, lapisan kedua nilai $\phi = 27,54^\circ$ dan $C = 4,01$, lapisan ketiga Nilai $\phi = 30,74^\circ$ dan $C = 3,58$, lapisan keempat Nilai $\phi = 36,2^\circ$ dan $C = 4,95$ adalah nilai ambang batas yang sesuai dengan kondisi lapangan dengan nilai $FK = 0,97$. Nilai fk ini merupakan nilai saat terjadi longsor.
4. Dari hasil pengujian laboratorium, nilai FK lapangan pada Bandara Sanggu Buntok adalah $FK = 1,097$.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Material timbunan yang dipakai merupakan material timbunan dengan kategori baik. Karena gradasinya yang buruk membuat material saling mengisi, jadi lebih padat. Namun material yang didominasi pasir adalah material yang mudah tergerus air, maka dari itu perlu adanya dinding penahan tanah yang lebih kokoh.
2. Dalam menentukan nilai ϕ dan C saat melakukan analisa balik nilai ambang batas yang ditampilkan oleh *software* sangat banyak dan beragam, untuk itu harus lebih diperhatikan nilai yang paling sesuai dengan hasil di lapangan maupun hasil dari laboratorium.
3. Nilai FK dilapangan dari hasil analisis *software* adalah 1,097 nilai ini dapat dikatakan kecil dan rentan, mengingat kondisi kritis itu sama dengan 1,01. Ada baiknya jika ditingkatkan hingga mendekati 1,15 atau lebih.
4. Nilai Faktor Keamanan yang rendah merupakan akibat dari air, terutama air hujan yang membentuk kantong-kantong air di dalam tanah. Kurang maksimalnya resapan air mengakibatkan terbentuknya kantong-kantong air di dalam tanah dan mengakibatkan penurunan nilai kohesi tanah hingga mengakibatkan perlemahan pada bidang tanah, untuk mengatasi penurunan ini yang perlu dilakukan adalah mengalirkan air untuk mengurangi kantong air, hal ini dapat dilakukan

dengan cara membuat vertikal drainase, berupa pipa agar air lebih cepat meresap kedalam tanah.



DAFTAR PUSTAKA

- Albatineh, Nermeen, 2006. *Slope Stability Analysis Using 2d and 3d Methods*. The Graduate Faculty of The University of, Akron.
- Bishop, A.W, 1964. *Soil Properties*. Imperial College MSc (Eng) course lecture notes.
- Bowles, JE.,1989. *Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*. Erlangga, Jakarta.
- Canonica, Lucio, 2013. *Memahami Mekanika Tanah*. Bandung, CV. Angkasa.
- Craig, R.F, 2003. *Craig's Soil Mechanics Seven Edition*. Department of Civil Engineering University of Dundee UK, London and New York.
- Das, Braja M, 2010, *Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition*. California State University, Sacramento.
- Hardiyatmo, H.C, 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C, *Mekanika Tanah II, Edisi kelima*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hirnawan, R.F, 1993, *Ketanggapan Stabilitas Lereng Perbukitan Rawan Gerakan tanah atas Tanaman Keras, Hujan & Gempa*. Disertasi, UNPAD.
- Manual Book Of Rocscience Slide Version 5*, 2010.
- Nicole, Borchardt, *Analysis of slope stability by back calculation along the Paute River Valley: application to construction of the Mazar Hydroelectric Project-Ecuador*.
- Rai, Made Astawa, dkk, 2014. *Mekanika Batuan*, ITB, Bandung.
- Sharpe, Steward (1938, dalam Hansen, 1984). *Klasifikasi Longsoran*.
- Spigolon, Joseph, S. *Geotechnical Engineering*.