

**ANALISA KESTABILAN LERENG DI AREA FERARI BLOCK  
WEST SOROWAKO PT. VALE INDONESIA TBK.**

**TUGAS AKHIR**



**MUHAMMAD FADHIL**

**45 16 041 091**

**JURUSAN SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR**

**2022**



UNIVERSITAS  
**BOSOWA**

Jalan Urip Sumoharjo Km. 4 Gd. 2 Lt 6  
Makassar – Sulawesi Selatan 90231  
Telp. 0411 452 901 – 452 789 ext. 116  
Faks. 0411 424 568  
<http://www.universitabosowa.ac.id>

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
PROGRAM STUDI TEKNIK

Act  
Got

**LEMBAR PENGAJUAN UJIAN TUTUP  
TUGAS AKHIR**

Judul : **“ANALISA KESTABILAN LERENG DI AREA FERARI BLOCK  
WEST SOROWAKO PT. VALE INDONESIA  
MENGUNAKAN SLOPE W DAN VULCAN”**


Disusun dan diajukan oleh :


Nama : **Muhammad Fadhill**

No.Stambuk : **45 16 041 091**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program  
Studi Teknik Sipil / Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa  
Makassar

Telah disetujui oleh Komisi Pembimbing :

Pembimbing I : **Dr. Ir. H. Syahrul Sariman M.T.** 

Pembimbing II : **Ir. Fauzy Lebang, ST. MT** 

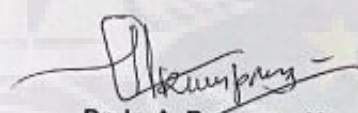
Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Ridwan, S.T., M.Si.**  
NIDN.09-101271-01

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil



**Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT**  
NIDN.00-010565-02



UNIVERSITAS  
BOSOWA

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
PROGRAM STUDI TEKNIK

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Urip Sumoharjo Km. 4 Gd. 2 Lt 6  
Makassar – Sulawesi Selatan 90231  
Telp. 0411 452 901 – 452 789 ext. 116  
Faks. 0411 424 568  
<http://www.universitاسbosowa.ac.id>

### LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar No.A 110/FT/UNIBOS/II/2022 Tanggal 23 Februari 2022, Perihal Pengangkatan panitia dan tim penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal : Rabu, 23 Februari 2022  
N a m a : **Muhammad Fadhil**  
No.Stambuk : **45 16 041 091**

Telah diterima dan disahkan oleh Panitia Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar setelah dipertahankan di depan tim penguji ujian sarjana strata satu (S-1) untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

#### TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua (Ex. Officio) : **Dr. Ir. H. Syahrul Sariman MT.**

Sekretaris (Ex. Officio) : **Ir. Fauzy Lebang, ST. MT**

Anggota : **Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT.**

**Dr. Ir. Ahmad Yauri Yunus ST. MT.**

Makassar, Februari 2022

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik  
Univ. Bosowa Makassar

**Dr. Ridwan, S.T., M.Si.**  
NIDN.09-101271-01

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil  
Univ. Bosowa Makassar

**Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT.**  
NIDN.00-010565-02

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **Muhammad Fadhil**  
Nomor Stambuk : **45 16 041 091**  
Program Studi : **Teknik Sipil**  
Judul Tugas Akhir : **Analisa Kestabilan lereng Di Area Ferari Block West PT. Vale Indonesia TBK.**

mengatakan dengan sebenarnya bahwa

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa menyimpan, megalihmediakan / mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk data base, mendistribusikan dan menampilkannya untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusa Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 2022

Yang membuat pernyataan



( **Muhammad Fadhil** )

**45 16 041 091**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat, kasih karunia yang berlimpah sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul ***“Analisa Kestabilan Lereng Di Area Ferari Block West Sorowako PT. Vale Indonesia Tbk.”***. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan di lokasi penambangan “Area Ferari Block West Sorowako” PT. Vale Indonesia Tbk. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan – bantuan pihak lain dalam memberi bantuan dan bimbingan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Allah SWT tempat meminta dan memohon pertolongan.
2. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan moral dan materi yang tidak terhitung jumlahnya, sehingga tugas akhir ini dapat rampung seperti saat ini.
3. Bapak Dr. Ir. H. Syahrul Sariman, M.T sebagai pembimbing I, yang sudah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan saya sehingga terselesainya penyusunan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Ir. Fauzy Lebang, ST. MT. sebagai pembimbing II, yang sudah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan saya sehingga terselesainya penyusunan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Dekan, Para Wakil Dekan dan Staf Fakultas Teknik Universitas Bosowa.

6. Bapak Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT. sebagai Ketua Jurusan Sipil beserta staf dan dosen pada Fakultas Teknik jurusan sipil Universitas Bosowa.

7. Bapak I Dewa Putu Mandra sebagai Presiden Direktur. PT. Puma Jaya, Bapak Dewa Agung Yudhistira sebagai Direktur PT. Puma Jaya Utama yang telah memberikan fasilitas dan support dalam penelitian tugas akhir ini.

8. Bapak Sulkifli Vallojha Geoteknik PT. Vale Indonesia Tbk.

9. Bapak Fickry Amier Baso sebagai Manager Operasional (MJO) PT. Puma Jaya Utama, Bapak Richard R. Sarungallo Sebagai Penanggung Jawab Operasional (PJO) PT. Puma Jaya Utama, Bapak Hamdani sebagai Project Manager (PM) PT. Puma Jaya Utama, dan Kakanda Yoel Lenda Pabatek Sebagai Safety Officer PT. Puma Jaya Utama.

10. Kepada Adinda Sri Angryani Djalil Angkatan 2018 Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar.

11. Teman - teman Angkatan 2016 Teknik Sipil Universitas Bosowa yang telah membagi suka dan duka dengan penulis selama perkuliahan..

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa pada penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, oleh sebab itu penulis mohon maaf dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Akhirnya, semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun rekan-rekan mahasiswa lainnya dimasa yang akan datang dan semoga segala bantuan dari semua pihak bernilai ibadah disisi Tuhan Yang Maha Esa, Amin.

Makassar, 21 Februari 2022

Muhammad Fadhil



## ABSTRAK

Kestabilan lereng merupakan masalah yang sangat penting dalam suatu kegiatan penambangan, dimana kestabilannya sangat dibutuhkan dan merupakan hal yang sangat penting bagi kelancaran proses produksi nikel. Setiap lereng dapat dihitung faktor keamanannya (FK). Faktor Keamanan (FK) lereng adalah rasio antara resultan gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya penggerak. Kondisi lereng dinyatakan stabil, apabila nilai faktor keamanannya lebih besar daripada satu ( $FK > 1$ ), akan tetapi mengingat banyaknya faktor-faktor penentu stabilitas lereng yang sulit dinyatakan secara pasti, maka diperlukan nilai-nilai empiris lain untuk menentukan kondisi stabilitas lereng pada nilai faktor keamanan tertentu. Analisis stabilitas rencana lereng *pit* dalam *geotechnical assessment* merupakan kunci utama untuk mewujudkan konstruksi *pit* yang *applicable* (dapat diterapkan saat di lapangan) dan aman terkait *concern* terhadap *safety issue* pada area operasi penambangan PT. Vale Indonesia Tbk.

Kata Kunci : Lereng, Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, Stabilitas Lereng, PT. Vale Indonesia Tbk.

## ABSTRAK

*Slope stability is a very important issue in a mining activity, where its stability is needed and is very important for the nickel production process. Each slope can be calculated the factor of safety (FK). The factor of safety (FK) of the slope is the ratio between the resultant resisting forces to the driving forces. Stable slope conditions, if the safety value is greater than one ( $FK > 1$ ), but considering the factors that affect the slope which are difficult to state with certainty, other values are needed to determine the condition of the slope at a certain safety factor value. Pit slope analysis in geotechnical assessment is the main key to realizing applicable pit construction (can be applied in the field) and related to safety issues in the mining operation area of PT. Vale Indonesia Tbk.*

*Keywords: Slope, Slope Stability, Safety Factor, Slope Stability, PT. Vale Indonesia Tbk.*



## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengajuan .....	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Lembar Pernyataan Keaslian.....	iv
Kata Pengantar .....	v
Abstrak.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-3
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	I-3
1.3.1 Maksud.....	I-3
1.3.2 Tujuan.....	I-3
1.4 Pokok Bahasan Dan Batasan Masalah.....	I-4
1.4.1 Pokok Bahasan.....	I-4
1.4.2 Batasan Masalah.....	I-4
1.5 Sistematika Penulisan.....	I-4
<b>BAB II TINJAUAN UMUM</b>	
2.1 Definisi Tanah.....	II-6

2.2 Jenis – Jenis Tanah .....	II-8
2.3 Sifat Mekanik Tanah.....	II-9
2.4 Kondisi Air Tanah.....	II-10
2.5 Gaya-gaya Dari Luar .....	II-11
2.6 Jenis-jenis Tanah .....	II-12
2.7 Kuat Geser Tanah (shear Strength).....	II-15
2.8 Definisi Lereng .....	II-17
2.9 Tipe-tipe Lereng.....	II-18
2.9.1 Lereng Alami.....	II-18
2.9.2 Lereng Buatan.....	II-19
2.10 Stabilitas Lereng.....	II-21
2.11 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng.....	II-21
2.12 Investigasi Geoteknik .....	II-23
2.12.1 Uji Lapangan (Field Tests atau In-situ Tests).....	II-25
2.12.2 Perhitungan Faktor Keamanan.....	II-25
2.12.2.1 Metode Irisan Biasa (Metode Fellenius).....	II-25
2.12.3 Metode Bishop .....	II-28
2.13 Aplikasi Program SLOPE/W© 2007 Geo-Slope Internasional	II-30

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Bagan Alur Penelitian.....	III-34
3.2 Tahap Pengambilan Data.....	III-35
3.2.1 Lokasi penelitian.....	III-35
3.2.2 Data Cone Penetration Test (CPT).....	III-35
3.2.2.1 Lokasi Titik Uji.....	III-35
3.2.3 Alat dan Bahan.....	III-36
3.3 Faktor Keamanan.....	III-36
3.3.1 Uji Lapangan (Field Tests atau In-situ Tests).....	III-37

3.3.2 Uji Sondir atau Cone Penetration Test (CPT).....	III-38
3.3.3 Uji Dynamic Cone Penetrometer (DCP).....	III-36
3.3.4 Standard Penetration Test (SPT).....	III-45
3.3.5 Uji Laboratorium .....	III-50
3.3.5.1 Unite Weight Test .....	III-50
3.3.5.2 Triaxial Test .....	III-51

## **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisa .....	IV-58
a. Field Test (Uji Lapangan) .....	IV-58
1. Standard Penetration Test (SPT).....	IV-58
2. Laboratory Test (Uji Laboratorium).....	IV-60
3. Mechanical Properties.....	IV-61
4.2 Pembahasan.....	IV-68
4.3 Metode Bishop.....	IV-69
4.4 Permodelan Desain Lereng Pada Section Nickel Hill Pit.....	IV-72
4.4.1 Section A-A' .....	IV-73
4.4.2 Section B-B' .....	IV-75
4.4.3 Section C-C'.....	IV-77
4.4.4 Section D-D'.....	IV-79
4.4.5 Section E-E'.....	IV-81
4.4.6 Section F-F' .....	IV-83
4.5 Redesigning Terhadap Desain Lereng Pada Section yang Tidak aman .....	IV-85
4.5.1 Section A-A' Redesigning.....	IV-86
4.5.2 Section B-B' Redesigning.....	IV-87
4.5.3 Section C-C' Redesigning.....	IV-88
4.5.4 Section D-D' Redesigning.....	IV-89

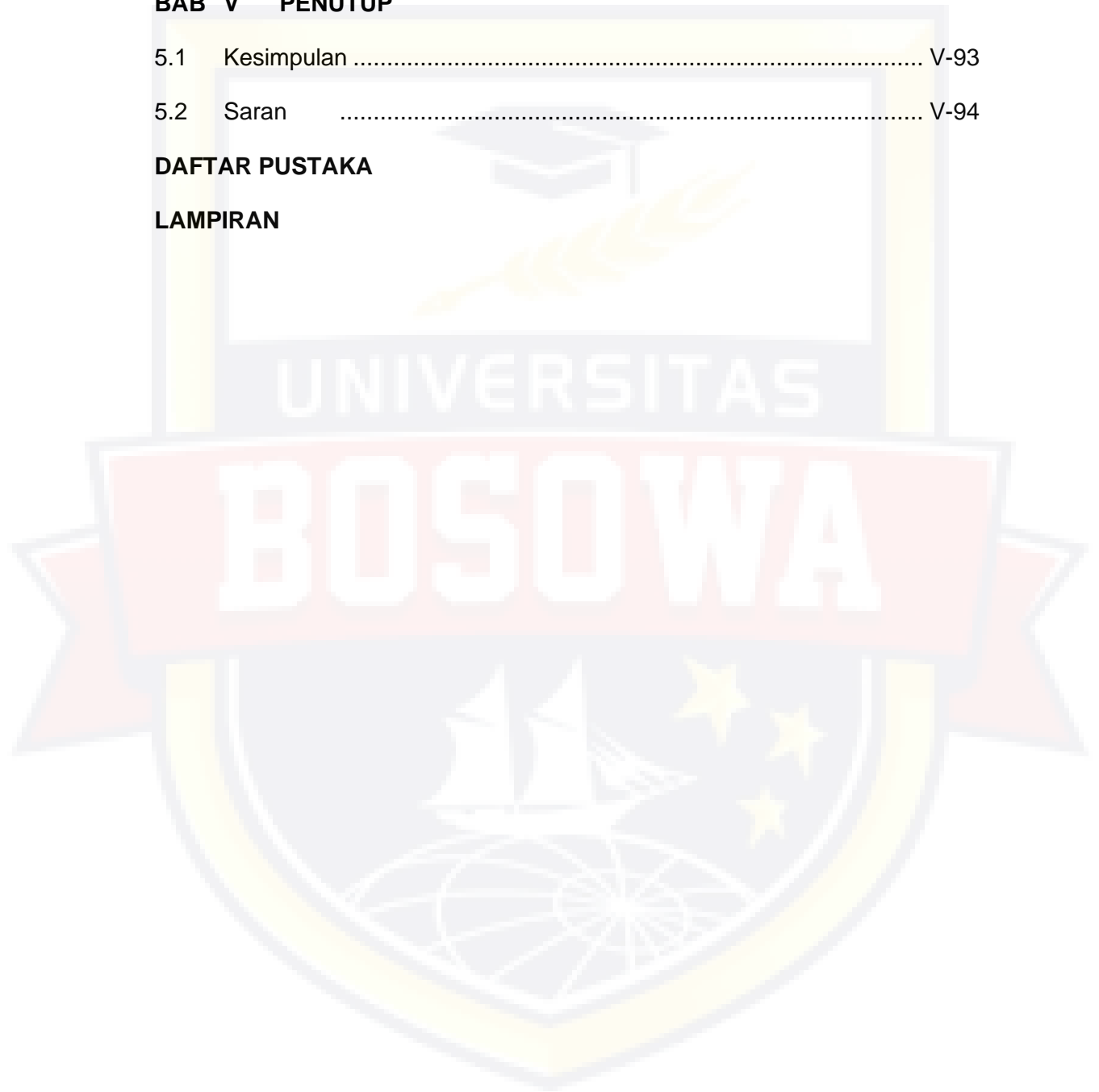
4.5.5	Section F-F' Redesigning.....	IV-90
4.6	Evaluasi Kestabilan Lereng Kondisi Faktor Keamanan Awal dan Faktor Keamanan Sesudah Redesigning.....	IV-91

## **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	V-93
5.2	Saran .....	V-94

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## **DAFTAR GAMBAR**

**Gambar**  
**Halaman**

Gambar 2.7 Hubungan Antara Kuat Geser ( $\tau$ ) dan Tegangan Normal ( $\sigma$ )

II-2

Gambar 2.11 Geometri lereng.....

II-22

Gambar 2.12.2.1 Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan.....

II-22

Gambar 2.9 Tampilan Subprogram Aplikasi SLOPE/W© 2007.....

II-22

Gambar 2.12.3 Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan.....

II-28

Gambar 2.12.3 Penentuan harga  $M\alpha$  (NAFAC DM 7.1).....

II-29

Gambar 2.13. Tampilan opening aplikasi Geo studio 2007.....

II-32

Gambar 2.13 Tampilan subprogram aplikasi SLOPE/W© 2007.....

II-33

Gambar 2.13 Contoh tampilan hasil perhitungan dari analisis

stabilitas lereng menggunakan aplikasi SLOPE/W© 2007 .....

II-33



Gambar 3.1 Bagan Alur Kegiatan.....

III-34

Gambar 3.4.4 Rincian konus ganda.....

III-39

Gambar 3.4.6 Alat pengambilan contoh tabung belah.....

III-46

Gambar 3.4.6. Diagram skematis jenis-jenis Hammer.....

III-47

Gambar 3.5 Alat Tiaxial .....

III-52

Gambar 3.5 Hubungan antara Kuat Geser ( $\tau$ ) dan Tegangan Normal ( $\sigma_n$ ) .....

III-55

Gambar 4.1 Shear strength properties .....

IV-67

Gambar 4.3 Potongan Lereng Ferari Block West .....

IV-69

Gambar 4.4.1 Tampilan model Section A - A' .....

IV-74

Gambar 4.4.2 Tampilan Section B-B'..... IV-76

Gambar 4.4.3 Tampilan Section C – C'..... IV-78

Gambar 4.4.4 Tampilan Section D – D' .....

IV-80

Gambar 4.4.5 Tampilan *Section E – E'* .....

IV-82

Gambar 4.4.6 Tampilan *Section F – F'* .....

IV-84

Gambar 4.5.1 Tampilan *Redesigning Section A – A'* .....

IV-86

Gambar 4.5.2 Tampilan *Redesigning Section B – B'* .....

IV-87

Gambar 4.5.3 Tampilan *Redesigning Section C – C'* .....

IV-88

Gambar 4.5.4 Tampilan *Redesigning Section D – D'* .....

IV-89

Gambar 4.5.5 Tampilan *Redesigning Section F – F'* .....

IV-90

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
3.2.2. Tabel Daerah Uji CPT.....	III-25
3.4.4. Tabel Kelebihan dan kekurangan uji CPT / Sondir.....	III-36
3.4.6. Hubungan Nspt dengan kepadatan relative non kohesif (mayerhoff, 1956).....	III-39
3.4.6. Hubungan Nspt denga konsistensi tanah non kohesif (Terzaghi dan peck, 1943).....	III-40
4.1. Tabel hasil uji lapangan SPT (standard Penetration Test)...	IV-2
4.1. Tabel grafik sondir (SPT) .....	IV-3
4.1. Tabel percobaan bore hole .....	IV-9
4.1. Tabel uji triaxial .....	IV-10
4.3. Tabel perhitungan menggunakan Metode Bishop.....	IV-13
4.6. Tabel evaluasi kestabilan lereng .....	IV-35

## **BAB I**

# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dengan berkembangnya zaman dan semakin majunya teknologi, industri pertambangan pun mulai berkembang dari masa ke masa. Jenis dan material yang dulunya belum dapat ditambang secara ekonomis akan dapat berubah menjadi ekonomis dengan berkembangnya teknologi dan permintaan pasar yang semakin bervariasi.

Nikel merupakan mineral berharga yang berasal dari pelapukan batuan ultrabasa yang berada di permukaan bumi. Batuan ultrabasa tersebut mengandung olivine, piroksin, magnesium silikat, besi, nikel dan silika yang terurai dan membentuk suatu larutan. Di dalam larutan tersebut besi akan bersenyawa dengan oksida dan akan mengendap sebagai ferri hidroksida.

Endapan ferri hidroksida ini akan menjadi reaktif terhadap air, sehingga kandungan air pada endapan tersebut akan mengubah ferri hidroksida menjadi mineral-mineral seperti goethite ( $\text{FeO}[\text{OH}]$ ), hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan cobalt. Mineral-mineral tersebut sering dikenal sebagai besi karat.

Endapan ini akan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel dan silika akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan

proses pelapukan (*weathering*) dan pelarutan (*leaching*). Unsur Ni sendiri merupakan unsur tambahan di dalam batuan ultrabasa.

Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air, dalam hal ini berupa kekar, maka Ni yang terbawa oleh air turun ke bawah, lambat laun akan terkumpul di zona air sudah tidak dapat turun lagi dan tidak dapat menembus *bedrock*. Ikatan dari Ni yang berasosiasi dengan Mg, SiO dan H akan membentuk mineral garnierite.

Apabila proses ini berlangsung terus menerus, maka yang akan terjadi adalah proses pengkayaan supergen (*supergen enrichment*). Zona pengkayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit. Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengkayaan yang lebih dari satu, hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu fluktuatif terutama dari perubahan musim.

Nikel digunakan dalam berbagai aplikasi komersial dan industri, seperti pelindung baja (*stainless steel*), pelindung tembaga, industri baterai, elektronik, aplikasi industri pesawat terbang, industri tekstil, turbin pembangkit listrik bertenaga gas, pembuat magnet kuat, pembuatan alat-alat laboratorium (nikrom), kawat lampu listrik, katalisator lemak, pupuk pertanian, dan berbagai fungsi lain.

Oleh karena itu nikel merupakan salah satu mineral yang ekonomis untuk ditambang dilihat dari sisi genesa ataupun cara pembentukan, kandungan atau komposisi kimia, manfaatnya di dunia industri lain.

PT Vale Indonesia Tbk merupakan perusahaan tambang penghasil bijih nikel yang terbesar di Indonesia. Kegiatan



penambangan yang dilakukan di PT Vale Indonesia Tbk adalah tambang terbuka (*Surface Mining*) dengan menggunakan metode penambangan secara *Open Cast Mining*, dimana penambangannya dilakukan dengan cara memotong bagian sisi bukit dari puncak menuju ke bawah sesuai dengan garis konturnya, sehingga dapat disebut juga *Contour Mining*. Pengupasan atau pemotongan tersebut akan membentuk jenjang lereng. Lereng-lereng tersebut perlu dianalisis faktor keamanannya agar tidak terjadi longsor saat kegiatan penambangan berlangsung.

Kestabilan lereng merupakan masalah yang sangat penting dalam suatu kegiatan penambangan, dimana kestabilannya sangat dibutuhkan dan merupakan hal yang sangat penting bagi kelancaran proses produksi nikel. Setiap lereng dapat dihitung faktor keamanannya (FK).

## **1.2 Rumusan Masalah.**

1. Membandingkan perhitungan kestabilan lereng secara manual maupun perhitungan menggunakan bantuan software yang memasukan parameter geoteknik dan geometri lereng.

2. Untuk mengetahui cara perhitungan mana yang lebih konservatif antara manual ataupun menggunakan software.

### **1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

#### **1.3.1. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilaksanakannya Penelitian ini adalah :

- a. Membandingkan faktor keamanan hasil perhitungan manual dengan hasil perhitungan menggunakan software (Slope/W<sup>®</sup>- GeoStudio 2007).
- b. Memperoleh nilai faktor keamanan pada suatu lereng yang ditinjau berdasarkan kondisi geologi, geometri lereng pada lokasi penambangan di Area Ferari Block West, PT Vale Indonesia, Sorowako, dan mengetahui bahwa cara perhitungan yang sesuai untuk memperoleh factor kestabilan lereng dan keaman lereng yang lebih konservatif.
- c. Untuk mengetahui desain yang paling efektif di area ferari itu.

#### **1.3.2 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dilaksanakannya Penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui metode-metode pengambilan data parameter geoteknik di lapangan, seperti kuat geser tanah tak terdrainase (*undrained*

*shear strenght*) dan konsistensi tanah yang diperoleh dari pekerjaan insitu test DCPT (Dutch Cone Penetration Test).

- b. Mengetahui metode-metode pengambilan data parameter geoteknik di laboratorium, seperti sifat penunjuk tanah (*index properties*) dan sifat mekanika tanah (*mechanical properties*).

#### **1.4 Pokok Bahasan dan Batasan Masalah.**

##### **1.4.1 Pokok bahasan**

- a. Untuk menganalisa kestabilan lereng di *Ferari Block West, Nickel Hill Pit*, maka dilakukan 3 (tiga) penarikan penampang melintang (*cross section*), yaitu A – A', B – B' dan C – C'.
- b. Lapisan batuan yang ditinjau meliputi *limonite, saprolite* dan *bedrock*.
- c. Analisa ini ditinjau dengan kondisi *undrained shear strength* (Su).

##### **1.4.2. Batasan Masalah**

- a. Metode yang digunakan untuk menganalisa kestabilan lereng tersebut adalah Metode Bishop.
- b. Data uji lapangan yang di dapat berasal dari Cone Penetration Test (CPT) atau uji mesin sondir.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri dari lima bab yang berurutan sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini merupakan pendahuluan yang menguraikan latar belakang

masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan, ruang lingkup penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

## **BAB II : KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini membahas tentang teori-teori pendukung mengenai penelitian yang dilakukan.

## **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang bagan alur penelitian, bahan, lokasi, dan waktu penelitian, metode penelitian, analisa penelitian dan pemecahan masalah

## **BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil rekapitulasi data, analisa penelitian dan pemecahan masalah penelian

## **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan penutup yang memberikan kesimpulan dan saran-saran yang diharapkan sesuai dengan tujuan dan manfaat penulisan.

Menyajikan deskripsi data yang telah diolah. Bagian ini memuat pula hasil-hasil yang diperoleh dari hasil deskripsi data dan cara pencapaiannya/analisisnya serta pembahasannya.

## BAB II

### TINJAUAN UMUM

#### 2.1 Definisi Tanah

Tanah merupakan suatu material yang lunak. Umumnya tanah berasal dari batuan yang telah mengalami pelapukan. Pelapukan tersebut dapat terjadi secara proses fisika (panas, dingin, membeku dan mencair) ataupun secara proses kimia (hidrasi, oksidasi). Secara proses fisika maka batuan tersebut hancur menjadi butiran-butiran tanah (sifat-sifatnya tetap seperti batu aslinya : pasir, kerikil dan lanau).

Secara proses kimia, batuan menjadi lapuk sehingga menjadi tanah dengan sifat berubah dari batu aslinya. Dikenal *transported soil* yaitu tanah yang lokasinya berpindah dari tempat pembentukannya yang disebabkan oleh aliran air, angin dan es. Sedangkan *residual soil* adalah tanah yang tidak berpindah dari tempat pembentukannya.

Tanah juga merupakan lapisan teratas lapisan bumi. Tanah memiliki ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda antara tanah di suatu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Dokuchaev (1870) dalam Fauizek dkk (2018), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan.



Menurut Das (1995), dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruangruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut).

Menurut Hardiyatmo (1992) dalam Apriliyandi (2017), tanah adalah ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya.

Menurut Bowles (1989) dalam Fauizek dkk (2018), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (boulders), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (cobbles).
2. Kerikil (gravel), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (sand), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (silt), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.

5. Lempung (clay), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (colloids), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

## 2.2 Sifat fisik tanah

Sifat fisik tanah dapat diperoleh dari hasil pengujian laboratorium. Penentuan sifat fisik tanah merupakan pengujian tanpa merusak (*non destructive test*). Pengujiannya yakni *Triaxial Test* dan *Soil Test*. Sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap stabilitas lereng adalah :

### a. Berat isi tanah ( $\gamma$ ).

Berat isi tanah ( $\gamma$ ) adalah perbandingan antara berat dengan volume material. Berat isi ini berperan dalam menentukan besarnya beban yang menimbulkan tekanan pada permukaan bidang longsor. Kenaikan harga berat isi juga akan menambah beban yang diberikan pada lereng.

### b. Porositas

Porositas adalah hasil bagi antara rongga-rongga yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya pada material dengan volume totalnya. Porositas merupakan besaran yang menunjukkan kemampuan material untuk menyerap atau merembeskan air. Semakin tinggi angka porositasnya, batuan/tanah memiliki kemampuan lebih besar untuk menyerap air sehingga berat isi batuan/tanah akan lebih besar pula. Kenaikan harga porositas akan menimbulkan tekanan pori.

c. Permeabilitas.

Permeabilitas adalah kemampuan dari suatu material untuk dilalui fluida seperti air. Semakin tinggi nilai permeabilitas berarti semakin mudah air merembes melalui pori batuan/tanah tersebut. Permeabilitas mempunyai hubungan yang erat dengan porositas yaitu batuan atau tanah dengan porositas tinggi, pori-pori akan sulit terisi air apabila nilai permeabilitasnya rendah.

d. Kadar air.

Semakin besar kandungan air pada batuan/tanah pembentuk lereng, kemungkinan longsoran lereng akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh gaya penggerak semakin besar dan kuat geser batuan/tanah makin berkurang. Ini berarti lereng semakin tidak stabil.

### 2.3 Sifat mekanik tanah

Sifat mekanik tanah juga diperoleh dari hasil pengujian laboratorium. Namun, yang membedakannya dengan pengujian sifat fisik tanah adalah penentuan sifat mekanik tanah mengaplikasikan pengujian dengan merusak (*destructive test*). Pengujian tersebut yakni *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Sifat mekanik tanah yang dapat dijadikan masukan untuk menganalisis stabilitas lereng, adalah :

a. Kohesi (*Cohesion*)

Kohesi adalah kekuatan tarik menarik antara butir sejenis pada tanah, yang dinyatakan dalam satuan berat persatuan luas. Semakin besar nilai kohesi, maka kekuatan geser tanah akan semakin besar

juga, sehingga dapat dibuat lereng dengan kemiringan yang besar pada faktor keamanan yang sama.

b. Sudut gesek dalam (*Angle of Internal Friction/Phi*)

Sudut gesek dalam suatu batuan/tanah adalah sudut dimana batuan atau tanah dapat meluncur dengan bebas karena gaya beratnya sendiri. Untuk batuan yang sangat lapuk atau (tanah) nilai sudut geser dalam diidentikkan dengan nilai angle of repose, yaitu sudut yang dibentuk oleh suatu material lepas. Sudut geser dalam berbanding lurus dengan kuat geser batuan/tanah. Semakin besar sudut geser dalam berarti massa batuan atau tanah tersebut semakin stabil

#### **2.4 Kondisi air tanah**

Pengaruh air tanah terhadap kekuatan tanah dapat mengurangi stabilitas lereng. Air tanah akan menjadikan ikatan antar molekul tanah menjadi semakin kecil sehingga akan menimbulkan adanya bidang gelincir pada lereng, disamping akan memperbesar berat lereng. Suatu lereng yang mengandung air tanah memiliki stabilitas lereng yang kecil dibandingkan lereng yang tidak mengandung air tanah, pada geometri lereng yang sama.

Air tanah juga berfungsi sebagai pelarut dan media transportasi material pengisi celah rekahan tanah. Akibatnya, proses pelapukan akan semakin cepat dan menaikkan beban bagian yang akan longsor sehingga kekuatan geser tanah menjadi berkurang. Hal ini disebabkan adanya tegangan air pori yang dipikul oleh tegangan total pada bidang geser sehingga tegangan efektif akan menjadi berkurang.

## 2.5 Gaya-gaya dari luar

Gaya-gaya ini adalah semua gaya yang datang dari luar lereng umumnya berasal dari alat-alat berat, gempa dan peledakan, yaitu :

### a. Gaya akibat alat berat

Penggunaan alat-alat berat akan memberikan gaya pada lereng. Gaya ini dapat berupa getaran akibat hilir mudiknya alat-alat berat atau sebagai penambah beban pada lereng jika alat ini bekerja atau berada di atas bagian lereng.

### b. Gaya akibat gempa & peledakan

Gempa dan peledakan akan menimbulkan getaran yang akan mengganggu stabilitas lereng. Material akan mengalami pergerakan menyerupai gerak harmonis. Jika batas elastisitas dari material terlampaui maka ikatan antara butir akan menjadi lemah, yang akan mengakibatkan longsoran lereng.

## 2.6 Jenis-jenis Tanah

Jenis - jenis tanah dapat dikelompokkan berdasarkan ukuran butir, campuran butir dan sifat lekatannya.

### 1. Pengelompokan berdasarkan sifat lekatannya :

a. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (tanah lempungan = mengandung cukup banyak lempung).

b. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung, contoh : pasir).

c. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik (sifat tidak baik).

2. Terdapat sejumlah jenis tanah di alam bebas yang mempunyai sifat khusus dan dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Jenis-jenis tanah ini adalah :

a. Tanah Residual

Tanah residual terjadi di lapangan karena proses pelapukan batuan dasar (*bedrock*). Pelapukan tersebut dapat berupa pelapukan fisis, kimia, dan biologis. Sifat-sifat teknis jenis tanah ini adalah :

1. Tidak homogen dalam jarak yang pendek.
2. Kekuatan geser tergantung pada bidang diskontinuitas dan bidang perlapisan.
3. Penyelidikan tanah untuk menentukan kekuatannya sulit sekali dilakukan di laboratorium, sehingga cara analisis balik (*back analysis*) adalah yang paling baik untuk menentukan kekuatannya.

b. Tanah lempung ekspansif

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mengandung mineral monmorlionit dalam persentase tinggi.

1. Mudah mengembang karena menyerap air di sekelilingnya.
2. Kekuatan gesernya dipengaruhi oleh perubahan kadar airnya. Kadar air tinggi, kohesi menjadi turun sampai mendekati nol.
3. Menekan tanah yang berada di sekitarnya.

c. Tanah kollavial

Tanah kollavial adalah material yang secara geologis terjadi karena pengendapan masa tanah atau batu yang bergerak turun dari lereng.

Pergerakan ini terutama terjadi karena gravitasi misalnya longSORan atau *creep debris*. Sudah jelas bahwa lereng yang terbentuk dari jenis tanah ini terdiri atas butiran yang bervariasi (tidak homogen), mulai dari lempungan, lanau sampai pasir, kerikil dan bongkahan batu dengan diameter > 25 cm.

d. Tanah lempung dispersif (*erodible soils*)

Kelongsoran yang diakibatkan oleh tanah lempung yang mudah tererosi (*dispersive soils*). Biasanya kelongsoran yang ditimbulkan oleh tanah lempung dispersif sulit sekali dianalisis menggunakan teori konvensional (*cara limit equilibrium*), ada kalanya hasilnya sangat meragukan. Biasanya perlu dilakukan peninjauan langsung di lapangan dan penyelidikan laboratorium. Beberapa sifat tanah lempung dispersif sebagai berikut :

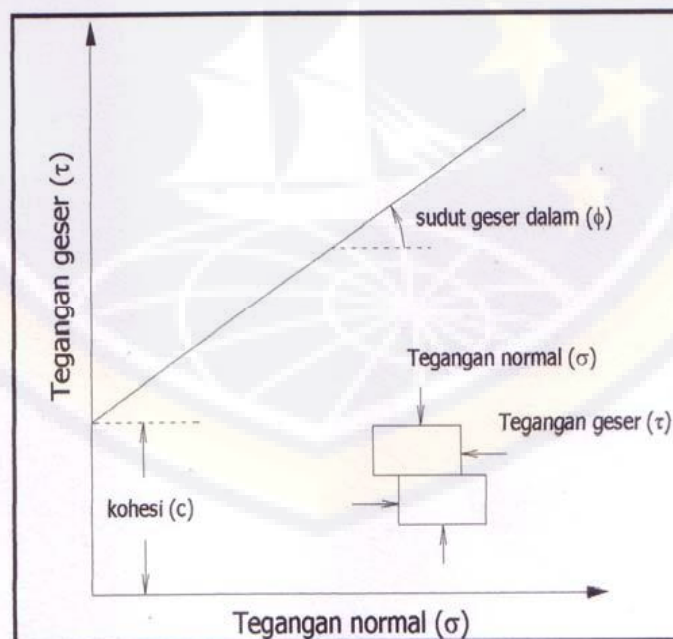
1. Mudah tergerus bila dibandingkan dengan tanah tak berkoheSI walaupun mempunyai plastis indeks yang tinggi.
2. Biasanya tergerus oleh aliran air.
3. Penyebab utamanya ditentukan oleh jumlah relatif kandungan kation sodium dibandingkan dengan kation lainnya (kalsium dan magnesium).
4. Faktor penyebab lainnya yang mengurangi tanah lempung dispersif adalah kadar garam yang terkandung dalam air itu sendiri.
5. Kasus longSORan yang diakibatkan oleh tanah lempung dispersif dimulai dengan terlebih dahulu dengan adanya :
  - a) Retakan di permukaan tanah,
  - b) Retakan dalam tubuh timbunan diakibatkan oleh penurunan yang tidak merata atau pelaksanaan pemadatan yang kurang baik.

Untuk mencegah longsor yang tersebut di atas, maka dapat dilakukan tiga pilihan :

- a. Mengganti tanah lempung dispersif dengan tanah lempung lainnya.
- b. Menstabilisasi tanah lempung dispersif dengan menggunakan kapur (4 - 6% dari beratnya).
- c. Pemasangan filter (pasir halus ditambah kerikil).

## 2.7 Kuat Geser Tanah (Shear Strength)

Nilai kekuatan geser tanah antara lain diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah atau untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada tembok penahan tanah. Bila gaya geser bekerja pada permukaan dimana bekerja pula tegangan normal, maka harga  $\sigma_n$  menjadi berbeda-beda.



Gambar 2.7 Hubungan Antara Kuat Geser ( $\tau$ ) dan Tegangan Normal ( $\sigma_n$ )



Secara sepintas kekuatan geser dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir-butir tanah itu. Sesuai dengan hal tersebut di atas, seringkali tanah itu dibagi dalam tanah yang kohesif dan tanah yang tidak kohesif. Contoh tanah yang tidak kohesif adalah pasir yang dalam persamaan (3.1) mempunyai nilai  $c = 0$ . Contoh tanah yang kohesif adalah lempung. Kohesi dari lempung diperkirakan disebabkan oleh gravitasi listrik dan sifat-sifat dari air yang diserap pada permukaan partikel lempung. Bilamana tanah berada dalam keadaan tidak jenuh, meskipun tanah itu tidak kohesif, maka sifat kohesi itu kadang-kadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi, kekuatan geser tanah berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu.

Selanjutnya, untuk mempelajari kekuatan geser tanah kohesif yang berada dalam keadaan jenuh, diperlukan suatu pengertian yang mendalam mengenai peranan dari tekanan air pori ( $u$ ). Jika gaya luar bekerja pada tanah yang jenuh, maka pada permulaan, air yang terdapat di antara pori-pori menahan tekanan normal yang bekerja ( $\sigma_n$ ). Setelah air pori itu mengalir keluar, tekanan itu berangsur-angsur ditahan oleh butir-butir tanah. Seperti diketahui, tekanan yang ditahan oleh air pori disebut tekanan air pori ( $u$ ) dan tekanan yang bekerja pada butir-butir tanah disebut tekanan efektif. Tekanan air pori ditambah tekanan efektif disebut tekanan total.

Persamaan ketika beban ditahan oleh butir-butir tanah / tegangan efektif :

$$\tau' = c' + (\sigma_{\text{total}} - u_w) \tan \phi' \dots\dots\dots (3.2)$$

$c'$  dan  $\phi'$  dalam persamaan (3.2) disebut berturut-turut kohesi dan sudut tahanan geser yang dinyatakan dengan keadaan tekanan efektif. Tetapi  $c$  dan  $\phi$  dalam persamaan (3.1) kadang-kadang disebut juga berturut-turut kohesi dan sudut tahanan geser yang dinyatakan dengan keadaan tekanan total.

Pada tanah kohesif,  $\phi$  adalah nol yang dinyatakan dengan keadaan tekanan total. Ada bermacam-macam percobaan yang dapat dilakukan untuk menentukan kekuatan geser tanah. Percobaan itu adalah pengujian geser langsung (*Direct shear test*), pengujian triaksial (*Triaxial test*) dan pengujian kekuatan geser *unconfined*. Untuk menentukan harga  $c'$  dan  $\phi'$ , maka harus dilakukan pengujian konsolidasi tanpa drainase (*consolidated undrained test = CU test*) dengan pengujian triaksial yang dapat mengukur tekanan air pori.

Nilai kekuatan geser *unconfined* (*unconfined compressive strength*) atau  $q_u$  yang diperoleh dari pengujian kekuatan *unconfined* (*unconfined compression test*) adalah sama dengan nilai yang diperoleh dari *unconsolidated undrained test (UU test)*. Dalam menghadapi persoalan yang bersangkutan dengan kekuatan geser tanah, khususnya untuk tanah-tanah kohesif, maka harus digunakan kekuatan geser yang cocok bagi kondisi tanah itu atau kondisi pembebanan.

## 2.8 Definisi Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal dan tidak

terlindungi (Das 1985). Lereng yang ada secara umum dibagi menjadi dua kategori lereng tanah, yaitu lereng alami dan lereng buatan. 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

## **2.9 Tipe-tipe Lereng**

### **2.9.1 Lereng Alami**

Lereng alami adalah lereng yang terbentuk karena adanya proses-proses alam, misalnya lereng suatu bukit. Menurut keaktifannya, lereng alam dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Lereng aktif adalah lereng yang bergerak maupun yang tidak pada saat ini tapi telah digerakkan dalam siklus musiman terakhir.
- b. Lereng tidak aktif adalah lereng dimana tidak terdapat bukti bahwa telah terjadi pergerakan atau perpindahan dalam siklus musiman terakhir. Lereng ini mungkin terhenti sementara aktivitasnya, bila terjadi gangguan, pergerakan mungkin terjadi lagi, atau lereng akan stabil jika faktor-faktor yang menyebabkan pergerakan hilang secara alami atau oleh aktivitas manusia.

Hal-hal yang menyebabkan pergerakan atau longsoran lereng tergantung pada fenomena yang menyebabkan peningkatan tegangan geser (*shear stress*) atau pengurangan kekuatan geser. Fenomena utama yang berperan pada peningkatan tegangan termasuk toe/tonjolan pada lereng atau perlemahan permukaan lereng. Perlemahan permukaan lereng atau *toe* dapat terjadi karena :

- a. Erosi oleh aliran sungai, es, angin, angin ribut, pelapukan oleh udara, pengeringan dan pembekuan
- b. Penurunan, longsoran batuan, runtuhan, sliding dan pendangkalan.
- c. Fenomena yang berhubungan dengan aktivitas manusia seperti penambangan, penggalian terowongan atau perubahan level muka air reservoir pada daerah *toe*.

### **2.9.2 Lereng Buatan**

Lereng buatan adalah lereng yang dibuat oleh manusia untuk kepentingan tertentu baik dibuat dalam tanah asli seperti tanah yang dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran irigasi maupun dibuat dari tanah yang dipadatkan misalnya tanggul untuk keperluan jalan.

Lereng buatan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu :

#### **1. Lereng Penggalian**

Contoh dari lereng penggalian antara lain lereng saluran pembuangan, lereng jalan, dan lain-lain. Faktor utama yang memengaruhi masalah stabilitas lereng penggalian adalah :

- a. Pemilihan tempat yang tergantung pada masalah lingkungan, morfologi tanah, segi stratigrafi mekanika tanah dan kondisi hidrogeologi.
- b. Pemilihan metode pembuatan

- c. Karakteristik mekanik material
- d. Kontrol rembesan (pengawasan rembesan air)

Rancangan penggalian digunakan untuk menentukan tinggi dan kemiringan rata-rata penggalian agar lereng tetap stabil, dengan mempertimbangkan faktor ekonominya. Parameter utama yang memengaruhi stabilitas lereng penggalian adalah sebagai berikut:

- a. Permukaan batuan mengalami geseran dan deformasi
- b. Segi fisik dan geometri ketidakterusan pada lereng.
- c. Tinggi rata-rata, sudut lereng dan lebar geometri jenzang
- d. Ketidakterusan dan aliran pada massa tanah/batuan
- e. Penyaliran

## 2. Lereng Penimbunan

Contoh daripada lereng penimbunan antara lain tanggul, dam, jalan, termasuk disposal (*waste dump*). Lereng penimbunan dibuat kohesif dan diperlukan pembangunan bertingkat dengan konsolidasi dan pengawasan tingkat beban untuk memperkuat pondasi tanah. Faktor utama yang memengaruhi masalah stabilitas lereng penimbunan antara lain adalah :

- a. Pemilihan tempat yang tergantung pada masalah lingkungan
- b. Karakteristik mekanik material

### 2.10 Stabilitas Lereng

Stabilitas suatu lereng tergantung oleh besarnya gaya penahan dan gaya penggerak yang terdapat pada bidang gelincir tersebut. Gaya penahan merupakan gaya yang menahan terjadinya suatu longsoran. Sedangkan gaya penggerak merupakan gaya yang menyebabkan

terjadinya suatu longsoran. Stabilitas suatu lereng dapat dinyatakan dengan suatu nilai faktor keamanan (FK) yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak. Apabila besarnya gaya penggerak lebih tinggi daripada gaya penahannya maka lereng akan mengalami kelongsoran. Sebaliknya, jika besarnya gaya penahan lebih tinggi daripada gaya penggerak maka lereng tersebut akan stabil atau tidak mengalami kelongsoran.

### **2.11 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng**

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng. Berikut ini adalah penjelasan faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng :

#### **1 Geometri lereng**

Geometri lereng mencakup seluruh aspek yang berhubungan dengan kenampakan visual lereng, yaitu :

a. Orientasi lereng.

Orientasi lereng menentukan tipe longsoran yang mungkin terjadi.

b. Kemiringan lereng.

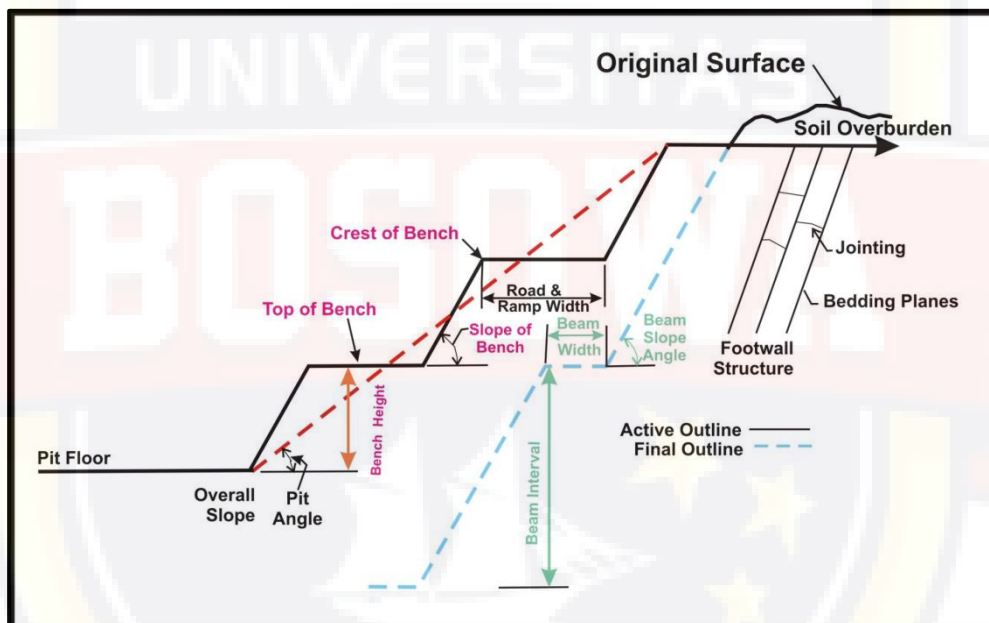
Secara umum jika suatu lereng mempunyai kemiringan yang tetap, maka penambahan tinggi lereng akan mengakibatkan penurunan stabilitas lereng yang bersangkutan karena berat lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser tanah semakin besar.

c. Tinggi lereng

Sehubungan dengan kemiringan, penambahan tinggi lereng memerlukan kemiringan lereng yang lebih kecil untuk menjaga agar lereng tetap stabil.

d. Lebar jenjang (*bench*).

Lebar jenjang akan menentukan besarnya sudut (kemiringan) lereng pada saat analisis stabilitas untuk lereng keseluruhan. Semakin besar lebar jenjang, semakin kecil sudut lereng keseluruhan.



Gambar 2.11 Geometri lereng

## 2 Struktur geologi

Struktur geologi batuan yang memengaruhi stabilitas lereng dapat berupa bidang perlapisan (*bedding plane*), sesar (*fault*), perlipatan (*fold*) dan kekar (*joints*). Struktur ini sangat memengaruhi kekuatan batuan karena bidang perlapisan dapat menjadi bidang luncur suatu longsoran.

Struktur geologi batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah yang sangat potensial sebagai tempat merembesnya air yang akan mempercepat proses pelapukan dan pengisian celah rekahan sehingga memicu untuk terjadinya suatu longsor. Orientasi bidang perlapisan dan kekar juga sangat menentukan tipe dari longsor yang mungkin terjadi. Penentuan arah jurus dan kemiringan bidang lemah merupakan bagian yang penting dalam melengkapi data untuk analisis. Jika bidang lemah tersebut searah dengan kemiringan lereng akan sangat berpengaruh karena pada bidang tersebut mempunyai kekuatan geser yang paling kecil sehingga memungkinkan terjadinya longsor.

#### **2.12 Investigasi Geoteknik**

Investigasi geoteknik diperlukan untuk menentukan stratifikasi (perlapisan) tanah dan karakteristik teknis tanah, sehingga perencanaan dan konstruksi pondasi dapat dilaksanakan dengan efektif dan efisien. Umumnya informasi dari hasil investigasi geoteknik tidak hanya digunakan untuk perencanaan pondasi saja, melainkan juga untuk evaluasi dan rekomendasi pekerjaan yang lain, seperti stabilitas lereng galian dan *dewatering*.

Disinilah letak relevansi antara pekerjaan geoteknik (dalam hal ini investigasi geoteknik) dengan dunia pertambangan. Seperti yang telah kita ketahui, kegiatan penambangan akan selalu diperhadapkan dengan isu stabilitas lereng. Sehingga, pekerjaan geoteknik tidak akan pernah terpisahkan dari rangkaian operasi penambangan.



Karakteristik tanah pada suatu lokasi umumnya bersifat unik. Maksudnya bahwa terdapat suatu lokasi yang luas dengan karakteristik tanah yang relatif seragam dan ada pula lokasi yang memiliki karakteristik tanah dengan perbedaan drastis dalam jarak hanya beberapa meter saja. Oleh sebab itu, investigasi geoteknik harus dapat mencakup informasi kondisi tanah yang sedekat mungkin dengan kondisi sebenarnya untuk mengurangi resiko akibat variasi tersebut dan dalam jumlah yang cukup untuk dapat merencanakan pondasi yang akurat.

Beberapa tujuan dari investigasi geoteknik dijabarkan sebagai berikut :

- a. Untuk mendapatkan informasi mengenai pelapisan tanah dan batuan.
- b. Untuk mendapatkan informasi sifat-sifat fisis dan sifat-sifat mekanis tanah/batuan.
- c. Menentukan parameter tanah untuk analisis.

### **2.12.1 Uji Lapangan (*Field Tests* atau *In-situ Tests*)**

Uji lapangan atau *in-situ tests* dalam investigasi geoteknik menjadi populer karena dapat memberikan informasi profil tanah secara kontinu dan dewasa ini telah dikembangkan untuk berbagai perencanaan keteknikan secara langsung dengan korelasi empirik.

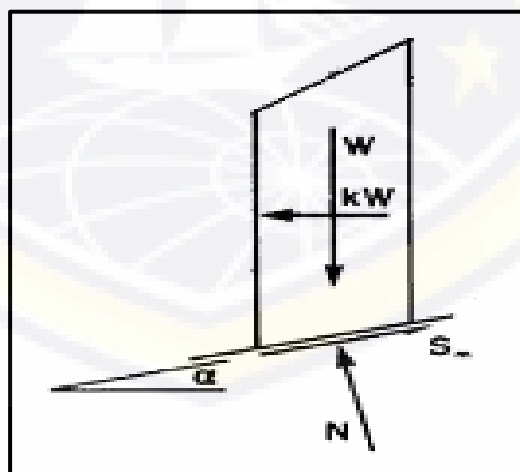
Uji lapangan yang biasa dilakukan oleh para praktisi geoteknik yaitu Uji Sondir (CPT), Uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), Uji Penetrasi Standar (SPT), Uji Geser Baling (VST), Uji *Pressuremeter*

(PMT) dan Uji *Dilatometer* (DMT). Namun pada penelitian ini hanya akan dibahas mengenai Uji Sondir/*Cone Penetration Test* (CPT) dan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).

## 2.12.2 Perhitungan Faktor Keamanan

### 2.12.2.1 Metode Irisan Biasa (Metode Fellenius)

Metode irisan biasa (Fellenius, 1936) merupakan metode yang paling sederhana diantara beberapa metode irisan. Metode ini juga dinamakan sebagai metode lingkaran Swedia. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah resultan gaya antar irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh, serta bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini hanya kesetimbangan momen untuk semua irisan pada pusat lingkaran runtuh.



Gambar 2.12.2.1 Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan

Berikut ini adalah rumus untuk menghitung faktor keamanan dengan menggunakan Metode Fellenius, yaitu :

$$(3.5) \quad N = W \cos \alpha - kW \sin \alpha \dots\dots\dots$$

$$(3F4) = \frac{\sum_{i=1}^n [c \cdot b + (N - u \cdot b) \tan \phi]}{\sum_{i=1}^n W \sin \alpha} \dots\dots\dots$$

Keterangan :

Berat total irisan

Gaya normal total pada dasar irisan

Gaya geser pada dasar irisan yang diperlukan agar irisan berada dalam kondisi tepat setimbang

Gaya seismik horisontal yang bekerja pada pusat massa irisan, dimana K adalah koefisien seismik

Gaya antar-irisan horisontal; titik bawah L dan R menunjukkan masing-masing untuk sebelah kiri dan kanan dari irisan.

positif apabila searah dengan kemiringan lereng, dan bernilai negatif apabila berlawanan arah dengan kemiringan lereng.

Lebar irisan

Panjang dasar irisan =  $b \sec \alpha$

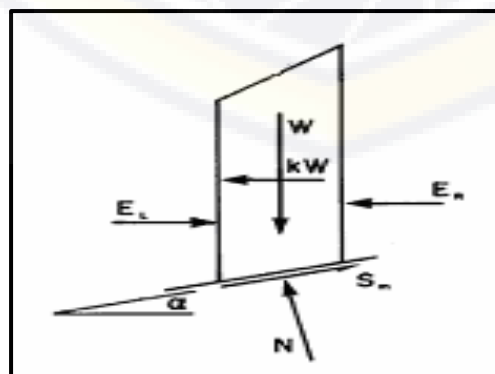
Tekanan air pori

Apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang lebih teliti, seperti Metode Bishop atau Metode Spencer, faktor keamanan yang dihitung dengan metode ini pada umumnya mempunyai nilai yang lebih rendah sebesar 5% sampai 20%. Bahkan untuk lereng landai dengan tekanan air pori yang tinggi, perbedaannya dapat mencapai sekitar 60%. Untuk lereng dengan material yang mempunyai sudut gesek sama dengan nol ( $\phi = 0$ ) metode ini dapat memberikan nilai faktor keamanan yang sama akuratnya dengan Metode Bishop Yang Disederhanakan.

Untuk lereng dengan dengan material yang mempunyai sudut gesek lebih besar daripada nol, metode ini sebaiknya tidak digunakan karena dapat menghasilkan rancangan lereng yang tidak ekonomis.

### 2.12.3 Metode Bishop

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan salah satu metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan batas dalam menentukan faktor keamanan dari suatu massa material yang berpotensi longsor. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya pada arah vertikal dan kesetimbangan momen pada titik pusat lingkaran runtuh. Gaya geser antar irisan diabaikan.



### Gambar 2.12.3 Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan

Untuk menghitung nilai faktor keamanan dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$N = \frac{1}{M\alpha} \left[ W - \frac{(c \cdot b \cdot \sin a) - (u \cdot b \cdot \sin a \cdot \tan \phi)}{F \text{ lama}} \right] \dots\dots\dots (3.5)$$

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n [c \cdot b + (N - u \cdot b) \tan \phi]}{\sum_{i=1}^n W \sin a} \dots\dots\dots (3.6)$$

Nilai  $M\alpha$  ditinjau pada masing-masing segmen dan dapat diperoleh dengan dua cara, yakni :

a. Dihitung manual dengan persamaan berikut :

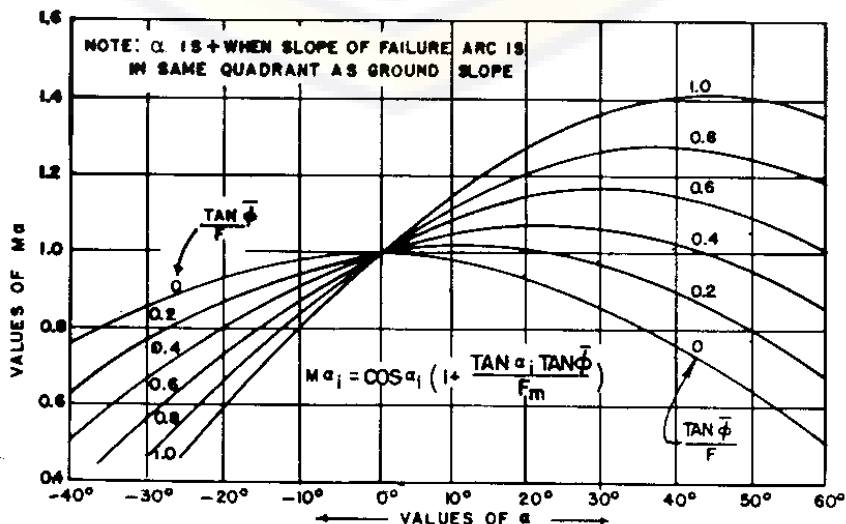
$$M\alpha = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \sin \alpha_n}{FS} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$FS = \sum \frac{(c' b_n + W_n \tan \phi) \frac{1}{M\alpha(n)}}{\sum W_n \sin \alpha_n}$$

$$FS = \frac{1}{\sum W_n \sin \alpha_n} \sum \frac{c' b_n + W_n \tan \phi}{\cos \alpha_n + \frac{\sin \alpha_n \tan \phi}{FS}} \dots\dots\dots (3.8)$$

b. Menggunakan kurva hubungan  $\alpha$  dengan  $M\alpha$  dengan variasi  $(\tan \phi / FK)$ .

Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.4.2.



### Gambar 2.12.3 Penentuan harga $M_\alpha$ (NAFAC DM 7.1)

Untuk metode Bishop apabila harga  $M_\alpha$  dimasukkan ke dalam persamaan FK maka akan terdapat dua buah nilai FK yaitu di kiri dan di kanan persamaan. Oleh karena itu, dalam metode Bishop ini perlu dilakukan cara coba-coba (*trial and error*).

Whitman & Bailey (1967) menyarankan apabila harga  $M_\alpha < 0.2$  umumnya akan terdapat masalah pada analisis kestabilan lereng, dan dianjurkan untuk menggunakan metode lain yang lebih baik, sehingga metode Bishop dapat dikatakan cukup akurat untuk kepentingan praktek dan tidak direkomendasikan digunakan apabila  $M_\alpha < 0.2$ .

Untuk kasus sudut geser dalam,  $\phi = 0$  maka formula Metode Bishop menjadi sama persis dengan Metode Fellenius. Hal ini diakibatkan karena komponen  $M_\alpha$  sama dengan  $\cos \alpha$  di mana  $l = b/\cos \alpha$  sehingga dalam penentuan FK tidak perlu dilakukan cara coba-coba.

### 2.13 Aplikasi Program SLOPE/W<sup>®</sup> 2007 GEO-SLOPE International

SLOPE/W<sup>®</sup> merupakan aplikasi perangkat lunak geoteknik yang paling pertama tersedia secara komersial untuk menganalisis stabilitas lereng, dimana telah dipasarkan sejak tahun 1977. Saat ini, SLOPE/W<sup>®</sup> telah digunakan oleh ribuan tenaga profesional baik di dunia pendidikan maupun praktisi.

Ketika menggunakan aplikasi seperti SLOPE/W<sup>®</sup> berikut ribuan opsinya, adalah sangat perlu untuk menganalisa lebih dari sekadar faktor keamanan.

Permasalahan lainnya yang perlu dipertimbangkan yakni apakah data yang diperoleh telah ditetapkan secara benar, apakah data tersebut digunakan secara tepat oleh aplikasi dan mengapa terdapat perbedaan diantara faktor keamanan dari beragam metode.

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan semacam ini, SLOPE/W<sup>®</sup> mempunyai banyak alat untuk menganalisis data yang diinput dan mengevaluasi hasilnya, semacam alat yang memudahkan kita untuk menulis suatu daftar perbedaan variabel disepanjang bidang gelincir atau untuk menampilkan gaya-gaya secara *detail* pada setiap irisan sebagai contoh. Alat-alat semacam ini sangat penting adanya untuk menjustifikasi dan memberikan keyakinan pada hasilnya.

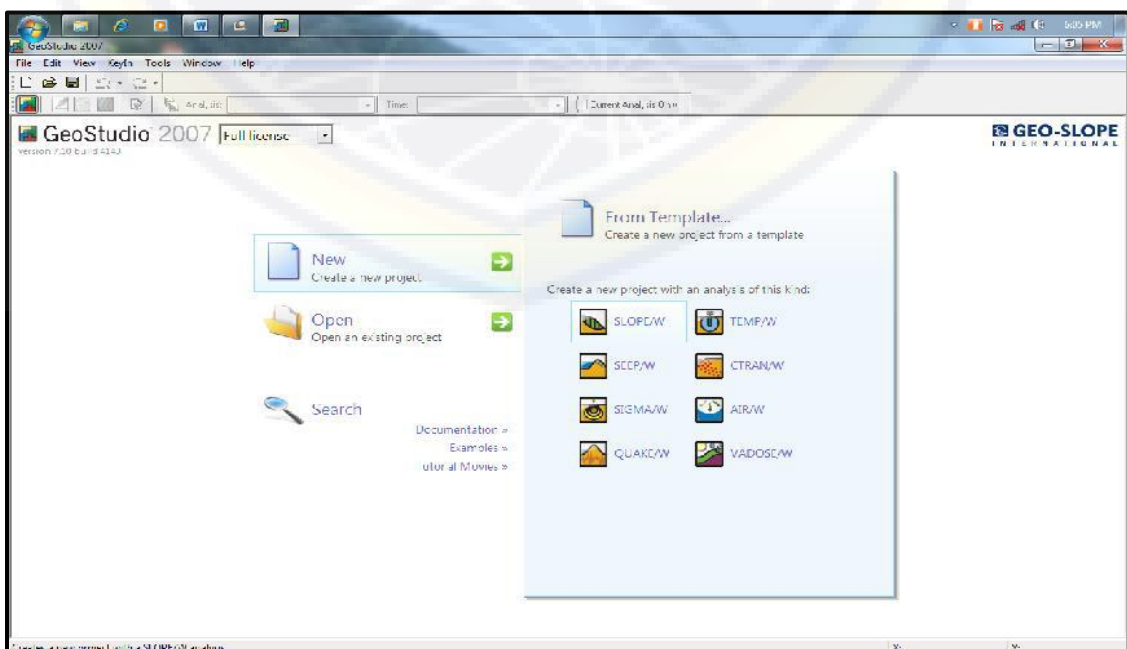
SLOPE/W<sup>®</sup> merupakan salah satu komponen dari sebuah deretan produk geoteknik yang disebut GeoStudio. Satu fitur yang menjadi kekuatan utama dari pendekatan terintegrasi ini yaitu produk ini membuka peluang berbagai jenis analisis yang lebih meluas dan lebih kompleks spektrum masalahnya, termasuk penggunaan elemen terbatas tekanan air pori terhitung dan tegangan dalam analisis stabilitas.

Bukan hanya sebuah pendekatan terintegrasi yang memperbesar kemungkinan analisis, ia juga dapat membantu mengatasi beberapa pembatasan dari formulasi kesetimbangan batas secara murni. Meskipun, tidak perlu menggunakan fitur lanjutan seperti

SLOPE/W<sup>®</sup> dapat digunakan sebagai sebuah produk pribadi, ada kepastian sebuah peningkatan dalam kapabilitas program dengan menggunakannya sebagai satu komponen dari rangkaian lengkap program aplikasi geoteknik.

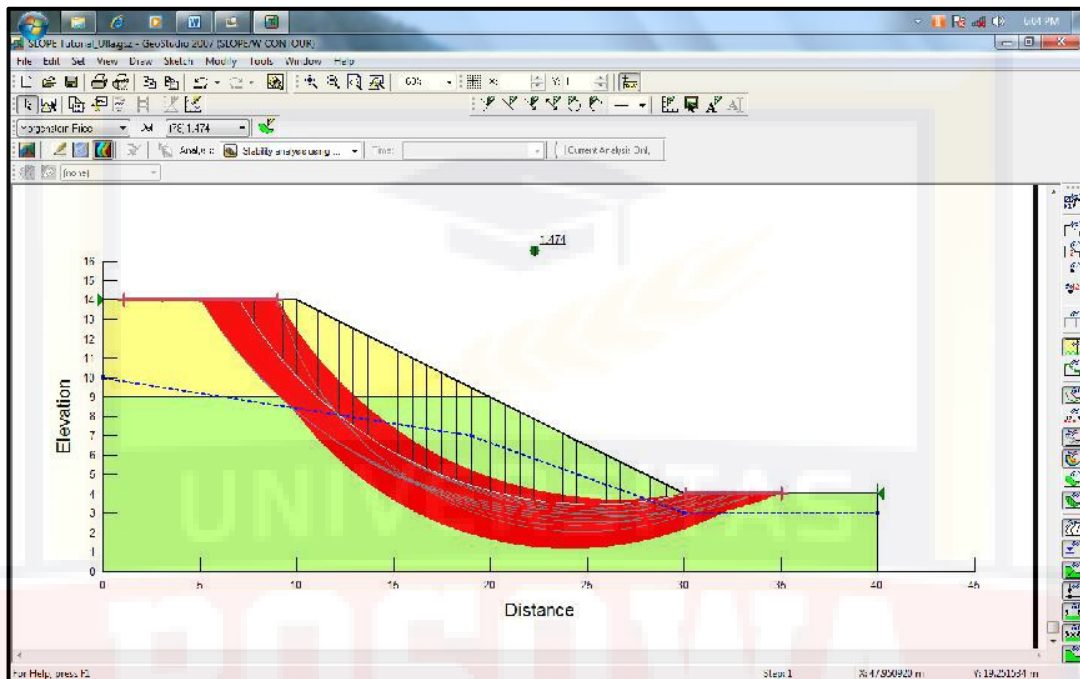
Bilangan opsi dengan jumlah yang sangat banyak dalam SLOPE/W<sup>®</sup> dapat agak membingungkan, terutama ketika kita menggunakan aplikasi ini saat pertama kali. Beberapa kemiripan perintah dapat membuat opsi-opsi berikut ini, dengan memikirkan suatu permasalahan sesuai syarat-syarat dari lima komponen, yaitu :

- a. Geometri – deskripsi stratigrafi/perlapisan dan bentuk-bentuk bidang gelincir potensial.
- b. Kekuatan tanah – parameter yang digunakan untuk menjelaskan kekuatan tanah (material)
- c. Tekanan air pori – melukiskan kondisi tekanan air pori
- d. Perkuatan atau interaksi tanah-struktur – *fabric*, paku, jangkar, tiang, dinding dan seterusnya.
- e. Muatan jatuhan – muatan tambahan atau muatan gempa bumi dinamik





**Gambar 2.13 Tampilan Opening Aplikasi GeoStudio™ 2007**



**Gambar 2.13 Tampilan Subprogram Aplikasi SLOPE/W© 2007**



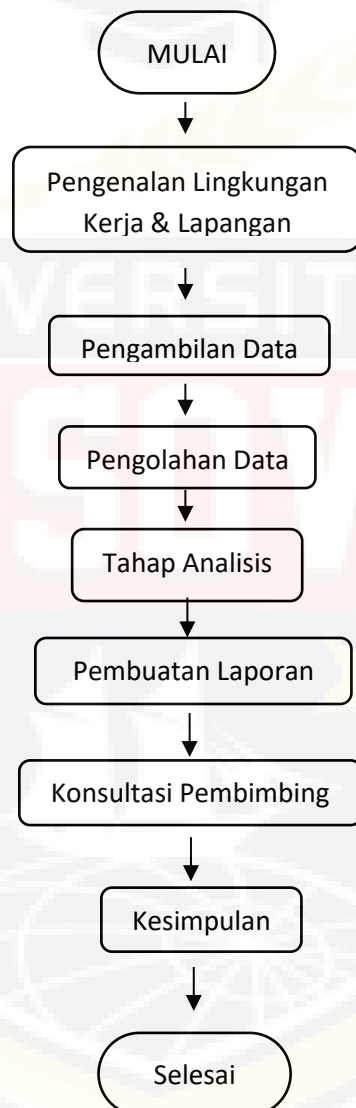
**Gambar 2.13 Contoh Tampilan Hasil Perhitungan dari Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Aplikasi SLOPE/W© 2007**

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 2.12. Bagan Alur Kegiatan

Berikut ini adalah bagan alur kegiatan penelitian pada PT Vale Indonesia Tbk, yakni :



Gambar 3.1 Bagan Alur Kegiatan Penelitian

#### 2.13. Tahap Pengambilan Data

Di tahapan ini, penulis melakukan serangkaian kegiatan pengumpulan data, yakni pengambilan data lapangan, data topografi daerah penelitian, data *cross section Nickel Hill pit*.

### 2.13.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada daerah *West Block Sorowako Pit* yang merupakan salah satu dari wilayah konsesi utama PTVI. Lokasi penelitian dipusatkan pada *Nickel Hill Pit*. Elevasi rata-rata di daerah ini +432 mdpl.

### 2.13.2. Data Cone Penetration Test (CPT)

#### 2.13.2.1. Lokasi Titik Uji

Uji CPT dilaksanakan di daerah *Nickel Hill Pit* sebanyak 8 (delapan) titik dengan data koordinat dan elevasi pada tabel di bawah ini :

No.	Name	Northing	Easting	Area	Remark
1	CPT-01	9712689	319968	Original soil	CPT
2	CPT-02	9712615	320155	Original soil	CPT
3	CPT-04	9712648	320317	Original soil	CPT
4	CPT-05	9712473	320137	Original soil	CPT
5	CPT-06	9712659	319881	Original soil	CPT
6	CPT-08	9712526	319808	Original soil	CPT
7	CPT-12	9712340	319803	Original soil	CPT
8	CPT-14	9712255	319873	Original soil	CPT

### 2.13.3. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan uji CPT ini adalah sebagai berikut :

- Mesin Sondir (*PAGANI Self – Anchored Penetrometer TG 73-200*)
- Konus penetrasi tipe Begemann *mechanic drill*
- *Rod*
- Tabel isian data hasil bacaan tahanan ujung konus ( $q_c$ ) dan tahanan total tanah ( $q_T$ ).
- Papan alas dan pulpen.

Mengenai spesifikasi alat-alat tersebut dapat dilihat pada Lampiran B.

#### **2.14. Faktor Keamanan**

Faktor Keamanan (FK) lereng adalah rasio antara resultan gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya penggerak. Kondisi lereng dinyatakan stabil, apabila nilai faktor keamanannya lebih besar daripada satu ( $FK > 1$ ), akan tetapi mengingat banyaknya faktor-faktor penentu stabilitas lereng yang sulit dinyatakan secara pasti, maka diperlukan nilai-nilai empiris lain untuk menentukan kondisi stabilitas lereng pada nilai faktor keamanan tertentu.

$$FK = \frac{s}{\tau} = \frac{\text{Gaya – gaya penahan}}{\text{Gaya – gaya penggerak}}$$

Menurut Bowles (1989) nilai faktor keamanan untuk stabilitas lereng dibagi menjadi dua yaitu secara teoritis dan secara aktual. Secara teoritis nilai faktor keamanan stabilitas lereng adalah sebagai berikut :

- Stabil :  $FK > 1,00$

- Kritis :  $FK = 1,00$
- Labil :  $FK < 1,00$

Sedangkan dalam kondisi aktual di lapangan, Bowles membagi tiga kategori, yaitu :

- Stabil :  $FK \leq 1,25$
- Kritis :  $1,07 < FK < 1,25$
- Labil :  $FK \leq 1,07$

#### **2.14.1. Uji Lapangan (*Field Tests* atau *In-situ Tests*)**

Uji lapangan atau *in-situ tests* dalam investigasi geoteknik menjadi populer karena dapat memberikan informasi profil tanah secara kontinu dan dewasa ini telah dikembangkan untuk berbagai perencanaan keteknikan secara langsung dengan korelasi empirik. Uji lapangan yang biasa dilakukan oleh para praktisi geoteknik yaitu Uji Sondir (CPT), Uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), Uji Penetrasi Standar (SPT), Uji Geser Baling (VST), Uji *Pressuremeter* (PMT) dan Uji *Dilatometer* (DMT). Namun pada penelitian ini hanya akan dibahas mengenai Uji Sondir/*Cone Penetration Test* (CPT) dan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).

#### **2.14.2. Uji Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT)**

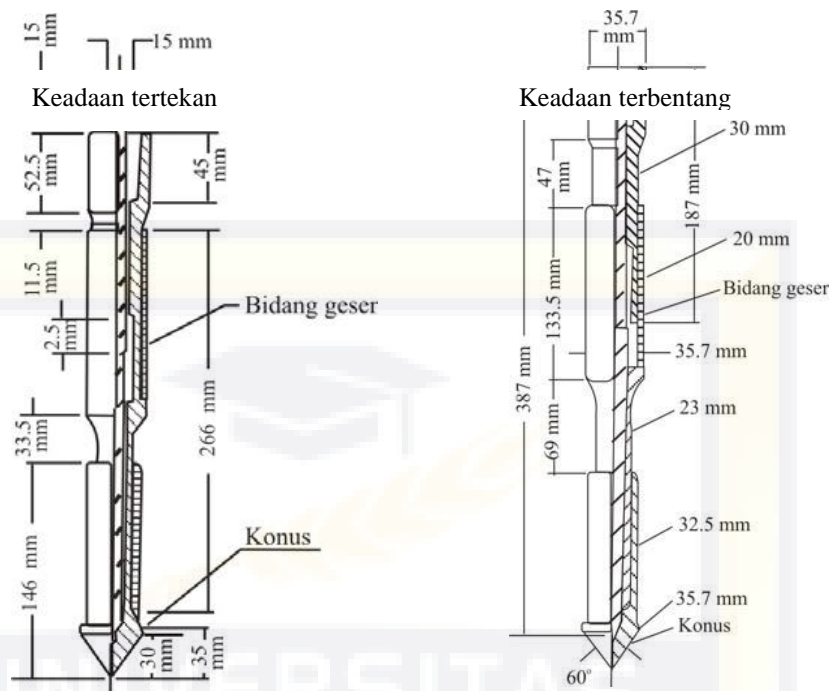
Sejarah dari uji penetrometer konus lapangan berawal dari sebuah desain oleh Departemen Pekerjaan Umum Belanda tahun 1930. Penetrometer konus buatan Belanda ini merupakan sebuah jenis operasi mekanis yang menggunakan sebuah manometer untuk membaca muatan.

Sepasang *rod* stang dalam dan luar didorong masuk ke dalam tanah dengan interval 200 mm atau 8 in. Pada 1948, konus elektrik mengizinkan perhitungan/pembacaan secara kontinu untuk dilakukan.

Di tahun 1965, tambahan perangkat penghitung gesekan selimut membuka kesempatan untuk sebuah interpretasi dalam pengidentifikasian jenis tanah. Kemudian, pada 1974, konus elektrik dikombinasikan dengan sebuah *piezoprobe* membentuk penetrometer *piezocone* yang pertama. Perkembangan terakhir, tambahan sensor telah dilakukan untuk membentuk perangkat khusus seperti konus resistivitas, konus akustik, konus seismik, *vibrocone*, konus *pressuremeter* dan konus tegangan lateral.

Uji sondir (CPT) sudah dikenal dan berkembang sejak 70 tahun yang lalu. Uji sondir ini dibanding dengan uji geoteknik lapangan lainnya relatif murah dan cepat memberikan hasilnya. Di Indonesia uji sondir telah dikenal sejak tahun 1950an. Di Indonesia pula konus Begemann pertama ditemukan oleh Prof. Begemann yang saat itu adalah dosen pada THS (*Technische Hoogeschool*) di Bandung (sekarang ITB). Di USA, uji sondir baru dikenal dan berkembang pesat sejak tahun 1965. Diperkenalkan oleh Prof. Schmertmann, dosen pada *University of Florida* di Gainesville, Florida.

Istilah Uji Sondir adalah istilah yang dipakai di Indonesia, yang aslinya berasal dari bahasa Belanda, *sondir*. Di USA dan negara-negara yang berbahasa Inggris, uji sondir dikenal dengan istilah *Dutch Cone Penetration Test* (DCPT) atau *Dutch Cone Test* atau *Cone Penetration Test* (CPT).



**Gambar 3.4.4 Rincian konus ganda**

CPT pertama kali diperkenalkan di Amerika Serikat pada tahun 1965. Sejak saat itu, CPT dengan cepat menjadi jenis uji in-situ yang sangat populer dikarenakan kecepatan, keekonomisan dan kemampuannya dalam menyediakan kenampakan geostatigrafi (perlapisan tanah) secara kontinu dan evaluasi karakteristik tanah. Didasarkan atas kapabilitas peralatan yang sebaik dengan kondisi tanah, uji penetrasi sedalam 100 - 350 m dapat dirampungkan dalam sehari.

Uji ini dilaksanakan berdasarkan standar ASTM D-3441 (secara sistem mekanik) dan ASTM D-5778 (secara sistem elektrik dan elektronik) dengan cara mendorong sebuah *probe* ke dalam tanah dengan kecepatan rata-rata 2 cm/s kemudian menghitung tahanan terhadap penetrasi tersebut.

Penetrometer standar mempunyai sudut puncak  $60^\circ$ , luas penampang  $10 \text{ cm}^2$  dan luas selimut  $150 \text{ cm}^2$ . Hasil perhitungan tahanan ujung dilambangkan dengan  $q_c$  sedangkan gesekan selimut dengan  $f_s$ .

Hasil uji sondir dipakai untuk tujuan-tujuan seperti di bawah ini :

1. Evaluasi kondisi tanah bawah permukaan di lapangan atau stratigrafi (menduga struktur lapisan tanah bawah permukaan), klasifikasi lapisan tanah (menduga jenis-jenis lapisan tanah bawah permukaan), kekuatan lapisan-lapisan tanah, kedalaman lapisan keras, dll.
2. Menentukan lapisan tanah yang harus dibuang dan diganti dengan tanah yang lebih baik dan dipadatkan, beserta kontrol pemadatan.
3. Perencanaan pondasi, pondasi dangkal maupun tiang pancang dan perhitungan settlement.
4. Perencanaan lereng dan timbunan, dll.

Tanah yang paling cocok untuk uji sondir adalah sebagian besar jenis tanah, sepanjang dapat ditembus oleh konus. Untuk pemakaian dalam desain banyak dituntut interpretasi atau *engineering judgement* yang tepat pada data hasil uji sondir.

Pada tanah yang lebih permeabel, misalnya pada tanah pasir, pengaruh tekanan air pori selama penetrasi pada kecepatan penetrasi yang normal, sangat kecil dan diabaikan. Sehingga hasil uji sondir adalah hasil pada keadaan *drained* penuh (*fully drained behaviour*). Sedangkan pada tanah lempung plastis, hasil uji sondir lebih kearah keadaan *undrained* penuh (*fully undrained behaviour*).

#### **a. Tahanan ujung konus ( $q_c$ )**



Pada waktu konus ditekan ke dalam tanah melalui lapisan tanah dengan berbagai kepadatan yang ditunjukkan dengan kurva hasil uji sondir yang menunjukkan besarnya tahanan konus ( $q_c$ ). Pada umumnya harga  $q_c$  pada lapisan lempung lebih rendah dari harga  $q_c$  pada lapisan pasir. Hal ini disebabkan oleh lebih rendahnya sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan pengaruh tekanan air pori.

Pada lempung yang *normally consolidated*, harga  $q_c$  bertambah besar dengan bertambahnya kedalaman dan memotong garis permukaan tanah di titik 0 (kurva  $q_c$  versus kedalaman). Tetapi pada pasir yang *overconsolidated* harga  $q_c$  konstan terhadap kedalaman. Keadaan *overconsolidated* dapat membingungkan terhadap yang *normally consolidated*, jika kepadatan tanah bertambah besar dengan kedalaman. Ini adalah salah satu ketidaktentuan dalam menginterpretasikan hasil uji sondir. Naiknya tekanan dan naiknya kepadatan mempunyai akibat yang sama pada besarnya  $q_c$ .

Kurva sondir jarang sekali halus, selain datanya hanya tiap perubahan kedalaman 20 cm (pada alat sondir manual atau mekanis). Pada kurva sondir hasil mesin sondir elektrik juga jarang sekali yang halus. Selama konus menembus terjadi keruntuhan-keruntuhan tanah yang berurutan karena desakan konus, dan terjadi selip-selip yang berurutan akibat pergeseran gesekan selimut. Pada lapisan lempung kurva sondir lebih halus, karena keruntuhannya sangat cepat. Dan pada pasir kurvanya lebih zig-zag, umumnya karena perbedaan kepadatannya dan karena perbedaan perlapisan pada saat pembentukannya. Bentuk kurva zig-zag tersebut lebih jelas pada hasil sondir dengan mesin sondir elektrik.

## b. Gaya gesekan selimut ( $f_s$ ) dan rasio geser (FR)

Konus yang dilengkapi dengan silinder geser pertama kali ditemukan oleh Begemann (1953–1965) di Bandung. Dengan konus tersebut, selain dapat diukur tahanan ujung konus, juga dapat diukur tahanan pada silinder geser yang disebut gesekan selimut. Dari diketahuinya gesekan selimut dan tahanan konus dapat diperoleh suatu besaran yang tidak berdimensi, yaitu Rasio Geser (*Friction Ratio = FR*) yaitu rasio antara gesekan selimut dengan tahanan konus pada kedalaman yang sama.

Rasio geser yang diukur dengan konus *Fugro* umumnya lebih kecil daripada rasio geser yang diukur dengan konus mekanis. Schmertmann menunjukkan penurunan dari 1,25% dengan konus mekanis, menjadi 0,5% dengan konus *Fugro*. Nilai rasio geser antara 4 - 7%, dengan memakai konus *Fugro* maupun konus mekanis, menunjukkan lempung yang tidak sensitif.

CPT digunakan pada material berupa lempung sangat lunak sampai pasir padat dan tidak untuk kerikil/bongkah atau daerah berbatu. Selaku jenis uji yang menyediakan angka-angka yang lebih akurat dengan tingkat keyakinan yang tinggi, tanpa perlu mengambil sampel tanah, CPT menyediakan pelengkap dari uji bor tanah konvensional dengan pengukuran SPT. Berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan dari CPT :

Kelebihan CPT	Kekurangan CPT
<ul style="list-style-type: none"><li>• Memberikan kenampakan yang cepat dan kontinu</li><li>• Ekonomis dan produktif</li><li>• Hasil bukan dari ketergantungan kepada operator</li><li>• Mempunyai landasan teoritis yang kuat dalam penginterpretasiannya</li><li>• Sangat cocok untuk tanah</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modal/investasi tinggi</li><li>• Membutuhkan kecekatan operator dalam pelaksanaannya</li><li>• Menimbulkan arus listrik, kebisingan dan kalibrasi</li><li>• Tidak melakukan pengambilan sampel</li><li>• Tidak cocok untuk material kerikil</li></ul>

**Tabel 3.4.4 Kelebihan dan kekurangan uji CPT / Sondir**

### **2.14.3. Uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)**

*Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) atau penetrometer konus dinamik merupakan suatu jenis alat uji lapangan atau penyelidikan geoteknik *in-situ* yang bertujuan untuk mengukur daya dukung atau kekuatan geser tanah dengan menggunakan penetrometer konus (sudut ujung  $90^\circ$ ) yang digerakkan secara dinamik (dengan pukulan dari mekanisme *hammer* yang dijatuhkan dari ketinggian 0,75 m) menembus ke bawah lapisan tanah. Parameter yang dihitung adalah jumlah pukulan (*blows*) yang dilontarkan pada setiap interval 20 cm.

Misalkan, lapisan tanah 20 cm dari permukaan dapat ditembus dengan 1 kali pukulan, kemudian lapisan 20 cm di bawahnya baru dapat ditembus dengan 3 kali pukulan. Jadi berdasarkan jumlah pukulan (*blows*) ini kemudian dilakukan pengkorelasian untuk menentukan besarnya daya dukung/kekuatan geser tanah tersebut.

Jika dibandingkan dengan CPT, mekanisme kerja DCP ini pada dasarnya sama. Yakni sama-sama melakukan penetrasi ke dalam lapisan tanah. Hanya yang membedakannya adalah parameter yang dihasilkan. CPT menghasilkan nilai  $q_c$  dan  $f_s$ , sedangkan pada DCP menghasilkan *blows* per 20 cm. DCP memiliki beberapa keuntungan, yaitu praktis, jauh lebih cepat dan murah dalam penggunaannya.

#### **3.4.6 Standard Penetration Test (SPT)**

Standard Penetration Test telah memperoleh popularitas dimana-mana sejak tahun 1927 dan telah diterima sebagai uji tanah rutin di lapangan. SPT dapat dilakukan dengan cara yang relatif mudah sehingga tidak membutuhkan keterampilan khusus dari pemakainya. Metoda Pengujian tanah dengan SPT termasuk cara yang cukup ekonomis untuk memperoleh informasi mengenai kondisi tanah.

Metode pengujian SPT telah distandardkan dalam ASTM D-1586 sejak tahun 1958 dengan revisi secara periodik hingga sekarang. Alat uji ini terdiri dari beberapa komponen yang sederhana, mudah ditransportasikan, dipasang dan mudah memeliharanya. Pandangan para ahli masih sama yaitu bahwa alat ini akan terus dipakai untuk penyelidikan tanah rutin karena relatif masih ekonomis dan dapat diandalkan.

Aplikasi SPT pada saat ini meliputi:

1. Penentuan profil tanah

Dalam hal ini Karena dari uji SPT diperoleh contoh tanah terganggu yang dapat diidentifikasi secara visual maupun diuji di laboratorium.

## 2. Penentuan kuat geser dan modulus tanah

Kuat geser tanah pasiran (sudut geser dalam  $\phi$ ), kepadatan relatif, modulus elastis (E), dan modulus geser (G) dapat diperkirakan. Demikian juga kuat geser tak teralir (*undrained shear strength*) tanah kohesif dan sifat kemampatannya (*mv*).

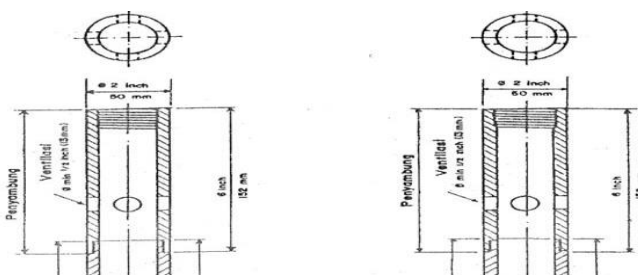
## 3. Pengendalian muatu

Kepadatan tanah timbunan (khususnya tanah pasiran) atau hasil pemadatan dalam (*deep compaction*).

Adapun bagian-bagian yang perlu diperhatikan dari alat yang digunakan untuk melakukan SPT, yaitu:

### a. Tabung SPT

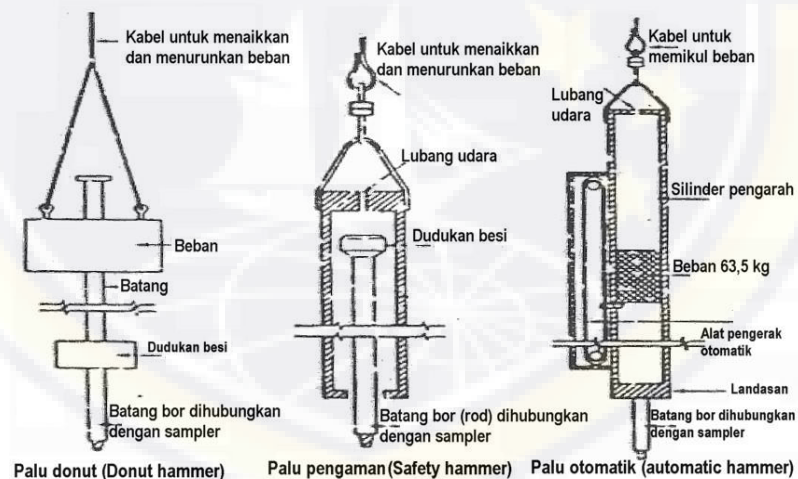
Geometri dari tabung umumnya mengikuti gambar dimana tabung mempunyai diameter luar 51 mm dan diameter dalam 38,1 mm. Ukuran lubang ventilasi tidak memiliki ketentuan khusus. Tabung yang dapat dipisahkan (*split tube*, *split spoon*) dan mempunyai *driving shoe* agar tidak mudah rusak pada saat pentrasi. Pada bagian atas dilengkapi dengan *coupling* supaya dapat disambung dengan bor (*drill rod*) ke permukaan tanah. Sebuah sisipan pengambil contoh (*sampler insert*) dapat dipasang pada bagian bawah bila tanah yang harus diambil contohnya berupa pasir lepas atau lumpur. Ukuran batang (*rod*) dapat bervariasi antara diameter 40 mm – 60 mm.



Gambar 3.4.6 Alat pengambilan contoh tabung belah

b. Jenis Hammer dan Energi

Jenis-jenis hammer yang digunakan bisa bermacam-macam diantaranya *donut hammer*, *safety hammer* dan *automatic trip hammer*. Namun demikian semua mempunyai berat yang sama, yaitu 63,5 kg (140lb). Tinggi jatuh hammer adalah 76,2 cm (30"). Berbagai jenis hammer tersebut ternyata memberikan energi yang tidak berbeda-beda dan menimbulkan perbedaan hasil uji.



**Gambar 3.4.6 Diagram Skematis Jenis-jenis Hammer**

c. Lubang bor

Diameter lubang bor menurut catatan yang dipraktekan di seluruh dunia saat ini berkisar antara 62,5 mm – 150 mm. Rentang ini terlampau besar

karena Skempton (1986) mendapatkan bahwa ukuran lubang bor berpengaruh terhadap hasil uji. Ada kecenderungan untuk membatasi diameter lubang bor maksimum 160 mm.

Prinsip kerja SPT adalah dengan memasukkan ujung penetrometer ke dalam tanah dan dengan sejumlah pukulan yang dilakukan dengan cara menjatuhkan sebuah beban secara bebas. Beban yang dijatuhkan dengan ketinggian tertentu dan juga dengan jumlah pukulan tertentu akan menghasilkan penurunan penetrometer (biasanya penurunan telah ditetapkan sejauh 3 X 15 cm). Pengujian ini sering dilaksanakan bersamaan dengan pengujian bor (Bor mesin). Pengujian ini sangat cocok digunakan pada tanah berbutir.

Tabung belah ( Split Spoon Sampler ) dimasukkan ke dalam tanah pada dasar lubang bor dan dengan memakai beban penumbuk (Drive Weight) seberat  $\pm 140$  lbs ( $\pm 63$  kg) yang dijatuhkan bebas dari ketinggian  $\pm 6$  inci ( $\pm 30$  cm) dengan pukulan beban penumbuk.

Jumlah pukulan di atas tersebut, disebut sebagai nilai  $N_{SPT}$ ,  $N_{SPT}$  dapat dihitung dengan rumus :

$$N_{SPT} = N_2 + N_3 \dots \dots \dots (3.8)$$

*Dimana :*  $N_2$  = Jumlah pukulan pada interval 15 cm kedua.

$N_3$  = Jumlah pukulan pada interval 15 cm ketiga .

Untuk nilai  $N_1$  tidak diperhitungkan dengan anggapan bahwa ujung split spoon terletak pada lapisan tanah yang kondisinya tidak asli atau

terganggu. Pengujian dilakukan pada lubang pengeboran pada kedalaman  $\pm 15$  m, kemudian di bor lagi dengan kedalaman  $\pm 15$  m seta diuji kembali, begitu seterusnya hingga mencapai kedalaman yang diinginkan atau  $N > 50$ . Di daerah tertentu perlu dipasang casing pada lubang bor supaya lubang bekas pemboran tidak runtuh. Bila split spoon turun sendiri sebelum ditumbuk, maka dapat disimpulkan bahwa perlawanan tanah adalah nol.

Hubungan antara  $N_{SPT}$  dengan kepadatan relatif (tanah non kohesif) dan konsistensi (tanah non kohesif) dapat dilihat pada tabel berikut :

- a. Kepadatan relatif (tanah non kohesif)

**Tabel 3.4.6 Hubungan  $N_{SPT}$  dengan kepadatan relatif non kohesif**

**(Mayerhoff, 1956)**

State of packing	Relative Density	Standard Penetration Resistance, N blows/ft
Very loose	< 0,2	< 4
Loose	0,2 – 0,4	4 – 10
Medium Dense	0,4 – 0,6	10 – 30
Dense	0,6 – 0,8	30 – 50
Very Dense	>0,8	>50

- b. Konsistensi Tanah (tanah non kohesif)

**Tabel 3.4.6 Hubungan  $N_{SPT}$  dengan konsistensi tanah non kohesif**

**(Terzaghi dan Peck, 1943)**



$N_{spt}$	Consistency	Unconfined compression strength ( tons/ft <sup>2</sup> )
< 2	Very soft	< 0,25
2 – 4	Soft	0,25 – 0,50
4 – 8	Firm	0,50 – 1,00
8– 15	Stiff	1,00 – 2,00
15 - 30	Very stiff	2,00 – 4,00
> 30	Hard	> 4

Hasil pengujian dengan SPT ini sebaiknya selalu dianggap sebagai perkiraan kasar saja, bukan hasil yang teliti Umumnya hasil percobaan penetrasi statis seperti alat sondir lebih dipercaya daripada hasil percobaan SPT.

### 3.3.5 Uji Laboratorium

Pengujian di laboratorium berguna untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanik tanah dari sampel yang diambil di lapangan. Terdapat berbagai macam uji di laboratorium, Namun pada penelitian ini hanya akan dibahas mengenai *Unit Weight Test* dan *Triaxial Test*.

#### 3.3.5.1 Unit Weight Test

Menurut Lembaga Penelitian Tanah (1979), definisi berat isi tanah adalah berat tanah utuh (undisturbed) dalam keadaan kering dibagi dengan volume tanah, dinyatakan dalam gr/cm<sup>3</sup>. Nilai berat isi tanah sangat

bervariasi antara satu titik dengan titik lainnya karena perbedaan kandungan bahan organik, tekstur tanah, kedalaman tanah, jenis fauna tanah, dan kadar air tanah (Agus et al. 2006).

Uji ini dimaksudkan untuk mendapatkan berat isi tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya. Uji ini dilakukan dengan cara mengukur volume dari tabung yang akan diisi oleh sampel, lalu mengukur berat tabung kosong lalu mengukur berat tabung yang sudah diisi oleh sampel tersebut, setelah mendapatkan data-data tersebut, dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana :  $W_2$  = Berat tabung isi sampel.

$W_1$  = Berat Tabung.

$V$  = Volume Tabung.

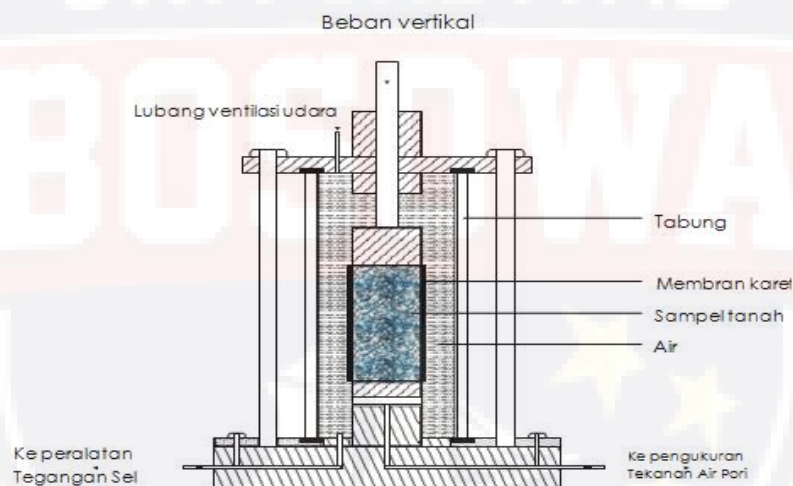
### 3.3.5.2 Triaxial Test

Pada pengujian triaksial (*triaxial test*) ini dapat digunakan benda uji dengan diameter kira-kira 3,5 cm dan tinggi 2 kali diameter. Benda uji dimasukkan ke dalam selubung karet tipis dan diletakkan ke dalam tabung kaca. Biasanya, ruang di dalam tabung diisi dengan air atau gliserin. Benda uji mendapatkan tegangan sel ( $\sigma_3$ ), dengan jalan memberikan tekanan pada cairan dalam tabung.

Udara kadang-kadang dapat digunakan sebagai media untuk penerapan tegangan selnya (tegangan kelilingnya). Alat pengujian dihubungkan dengan pengatur drainase ke dalam maupun ke luar dari

benda uji. Gaya aksial diberikan melalui bagian atas benda ujinya. Tegangan  $\sigma_1$  disebut tegangan utama mayor, tegangan  $\sigma_3$  disebut tegangan utama minor.

Tegangan utama tengah  $\sigma_2 = \sigma_3$ , merupakan tegangan keliling atau tegangan sel. Karena tinjauan hanya dua dimensi, tegangan  $\sigma_2$  sering tidak diperhitungkan. Tegangan yang terjadi dari selisih  $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$  disebut tegangan deviator atau beda tegangan. Regangan aksial diukur selama pemberian tegangan deviatornya. Selama proses penambahan regangan akan mendeformasikan tampang melintang benda uji, untuk itu dilakukan koreksi penampang.



**Gambar 3.5 Alat Triaxial**

Pengujian triaksial dibedakan atas 3 cara yakni :

- Pengujian triaksial tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase (UU), pengukuran tanpa mengukur tekanan air pori.
- Pengujian triaksial terkonsolidasi dan tidak terdrainase (CU), dilakukan pengukuran tekanan air pori.

c. Pengujian triaksial terkonsolidasi dan terdrainase (CD), tekanan air pori dijaga agar tidak meningkat selama pengujian. Hasil yang diperoleh adalah kuat geser tegangan efektif.

Keruntuhan tanah merupakan akibat gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut, bukan karena hancurnya butir-butir tersebut. Dengan demikian, kekuatan geser  $c$  (Shear Failure) tanah dapat dianggap terdiri dari dua komponen, yaitu :

1. Bagian yang bersifat kohesi dan tergantung pada macam tanah dan kepadatannya.
2. Bagian yang mempunyai sifat gesekan (Frictional) yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang gesernya.

Percobaan kekuatan geser dilakukan dalam 2 tahap, yaitu

1. Pemberian tegangan normal.
2. Pemberian tegangan geser sampai terjadi failure dimana saat itu tercapai tegangan geser maksimum
3. Kran terbuka sehingga air dapat mengalir:
4. *Consolidated drained test*, pada tahap 1 dan 2 air boleh mengalir
5. Kran tertutup sehingga air tidak dapat mengalir.
6. *Unconsolidated undrained test*, pada tahap 1 dan 2 air tidak mengalir.
7. *Consolidated undrained test*, pada tahap 1 air boleh mengalir tapi pada tahap 2 air tidak boleh mengalir.

Nilai kekuatan geser tanah antara lain diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah atau untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada tembok penahan tanah. Bila gaya geser bekerja pada permukaan

dimana bekerja pula tegangan normal, maka harga  $\sigma_n$  menjadi berbeda-beda. Garis lurus dalam Gambar 3.15, memperlihatkan karakteristik kekuatan dari tanah yang dinyatakan oleh persamaan :

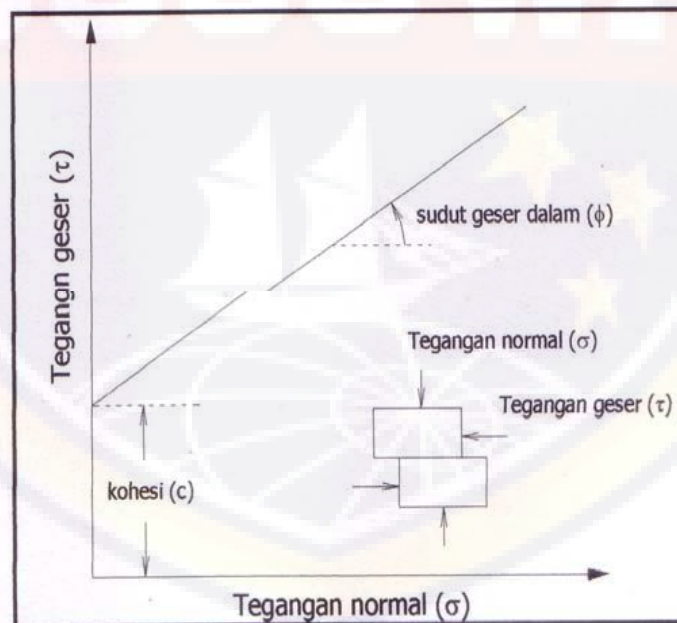
$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (3.10)$$

dimana :

$c$  = Kohesi tanah (kPa)

$\sigma$  = Tegangan normal yang bekerja

$\phi$  = Sudut geser tanah



**Gambar 3.5 Hubungan antara Kuat Geser ( $\tau$ ) dan Tegangan Normal ( $\sigma_n$ )**

Secara sepintas kekuatan geser dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir-butir tanah itu. Sesuai dengan hal tersebut di atas, seringkali tanah itu dibagi dalam tanah yang kohesif dan tanah yang tidak kohesif. Contoh tanah yang tidak kohesif adalah pasir.

Contoh tanah yang kohesif adalah lempung. Kohesi dari lempung diperkirakan disebabkan oleh gravitasi listrik dan sifat-sifat dari air yang diserap pada permukaan partikel lempung. Bilamana tanah berada dalam keadaan tidak jenuh, meskipun tanah itu tidak kohesif, maka sifat kohesi itu kadang-kadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi, kekuatan geser tanah berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu.

Selanjutnya, untuk mempelajari kekuatan geser tanah kohesif yang berada dalam keadaan jenuh, diperlukan suatu pengertian yang mendalam mengenai peranan dari tekanan air pori ( $u$ ). Jika gaya luar bekerja pada tanah yang jenuh, maka pada permulaan, air yang terdapat di antara pori-pori menahan tekanan normal yang bekerja ( $\sigma_n$ ).

Setelah air pori itu mengalir keluar, tekanan itu berangsur-angsur ditahan oleh butir-butir tanah. Seperti diketahui, tekanan yang ditahan oleh air pori disebut tekanan air pori ( $u$ ) dan tekanan yang bekerja pada butir-butir tanah disebut tekanan efektif. Tekanan air pori ditambah tekanan efektif disebut tekanan total.

Persamaan ketika beban ditahan oleh butir-butir tanah / tegangan efektif :

$$\tau' = c' + (\sigma_{\text{total}} - u_w) \tan \phi' \dots\dots\dots (3.11)$$

$c'$  dan  $\phi'$  dalam persamaan (3.11) disebut berturut-turut kohesi dan sudut tahanan geser yang dinyatakan dengan keadaan tekanan efektif. Tetapi  $c$  dan  $\phi$  dalam persamaan (3.1) kadang-kadang disebut juga berturut-turut kohesi dan sudut tahanan geser yang dinyatakan dengan keadaan tekanan total.

Pada tanah kohesif,  $\phi$  adalah nol yang dinyatakan dengan keadaan tekanan total. Ada bermacam-macam percobaan yang dapat dilakukan untuk menentukan kekuatan geser tanah. Percobaan itu adalah pengujian geser langsung (*Direct shear test*), pengujian triaksial (*Triaxial test*) dan pengujian kekuatan geser *unconfined*.

Untuk menentukan harga  $c'$  dan  $\phi'$ , maka harus dilakukan pengujian konsolidasi tanpa drainase (*consolidated undrained test = CU test*) dengan pengujian triaksial yang dapat mengukur tekanan air pori.

Nilai kekuatan geser *unconfined* (*unconfined compressive strength*) atau  $q_u$  yang diperoleh dari pengujian kekuatan *unconfined* (*unconfined compression test*) adalah sama dengan nilai yang diperoleh dari *unconsolidated undrained test (UU test)*.

Dalam menghadapi persoalan yang bersangkutan dengan kekuatan geser tanah, khususnya untuk tanah-tanah kohesif, maka harus digunakan kekuatan geser yang cocok bagi kondisi tanah itu atau kondisi pembebanan.

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa

a. *Field Test* (Uji Lapangan)

1. SPT (*Standart Penetration Test*)

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitas *Nickel Hill*

Total kedalaman : 4 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	0	0	0	0,00
0,4	4	14	10	222,22
0,6	6	11	5	333,33
0,8	6	14	8	333,33
<b>1,00</b>	7	16	9	388,89
1,2	7	16	9	388,89
1,4	8	18	10	444,44
1,6	8	24	16	444,44
1,8	10	24	14	555,56
<b>2,00</b>	11	16	5	611,11
2,2	11	19	8	611,11
2,4	8	15	7	444,44
2,6	8	15	7	444,44
2,8	9	19	10	500,00
<b>3,00</b>	11	16	5	611,11
3,2	13	19	6	722,22
3,4	7	16	9	388,89
3,6	7	12	5	388,89
3,8	12	25	13	666,67
<b>4,00</b>	13	25	12	722,22

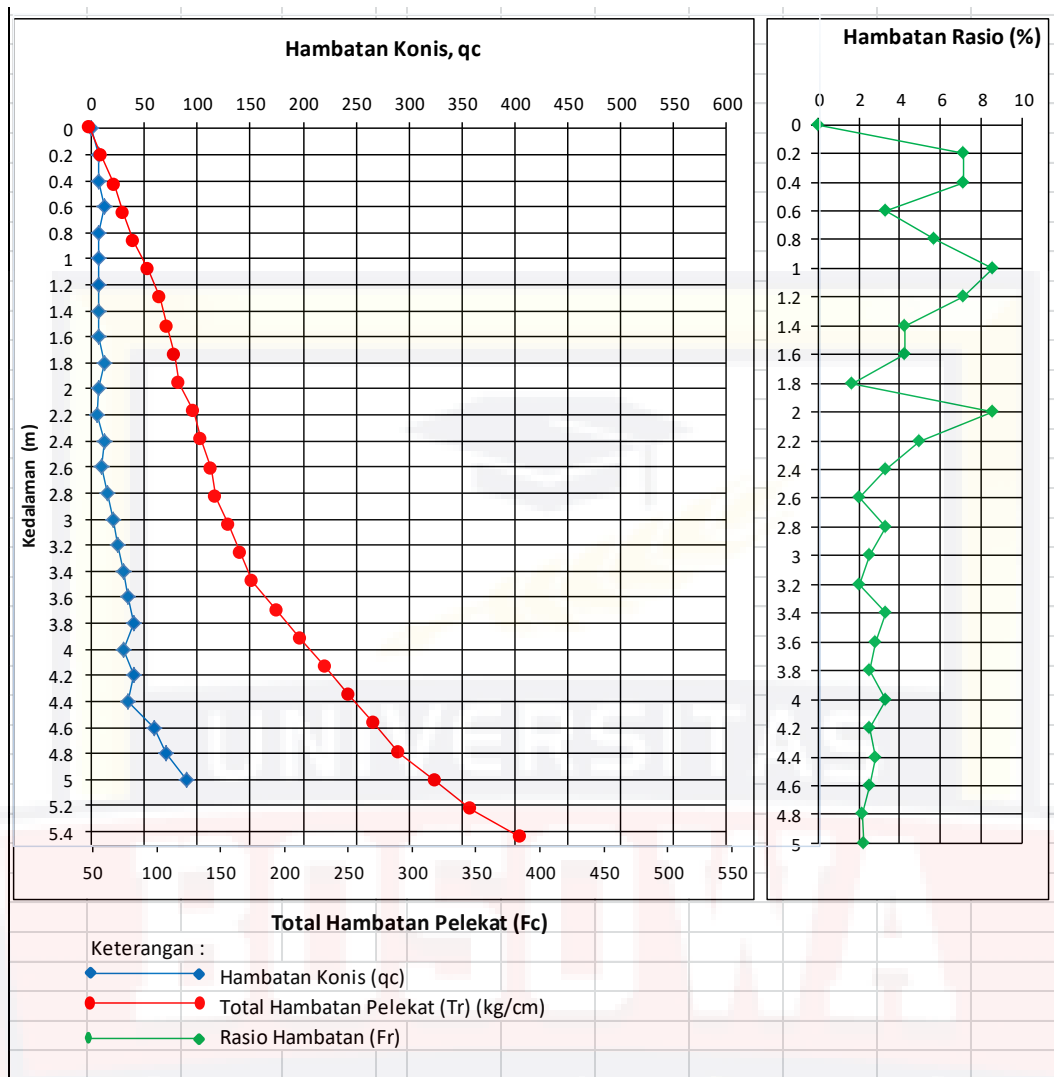


Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitas *Nickel Hill*

Total kedalaman : 5,2 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	0	0	0	0,00
0,4	5	14	9	27,78
0,6	6	11	5	33,33
0,8	6	11	5	33,33
1,0	8	15	7	44,44
1,2	8	16	8	44,44
1,4	9	12	3	50,00
1,6	6	20	14	33,33
1,8	5	15	10	27,78
2,0	5	17	12	27,78
2,2	9	18	9	50,00
2,4	8	17	9	44,44
2,6	6	11	5	33,33
2,8	6	10	4	33,33
3,0	7	12	5	38,89
3,2	5	10	5	27,78
3,4	5	10	5	27,78
3,6	3	16	13	16,67
3,8	4	6	2	22,22
4,0	8	13	5	44,44
4,2	10	26	16	55,56
4,4	11	16	5	61,11
4,6	18	22	4	100,00
4,8	18	22	4	100,00
5,0	54	68	14	300,00
5,2	77	156	79	427,78



**Tabel Grafik sondir (CPT) 4.1**

2. *Laboratory Test* (Uji Laboratorium).

a. *Water Content*

Dari hasil pengujian *water content* pada hasil pengeboran maka di dapatkan hasil pengujian melalui laboratorium, Pada kedalaman 1,50-1,95 rata-rata *water content* adalah 64,44. Pada kedalaman 3,00-3,50 di dapatkan rata-rata *water content* adalah 37,85. Pada kedalaman 3,50-3,95 di dapatkan rata-rata *water content* adalah 34,88. Pada kedalaman 5,50-5,92 di dapatkan rata-rata *water content* adalah 63,20. Pada kedalaman 9,00-9,45 di dapatkan rata-rata *water content* adalah 42,08. Pada kedalaman 11,00-11,45.

c. *Hidrometer*

Dari hasil pengujian *Hidrometer* yang di analisis bersama *grain size analysis* pada hasil pengeboran maka di dapatkan hasil pengujian melalui laboratorium, maka diperoleh hasil berupa penamaan komposisi tanah maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Pada kedalaman 1,50-1,95 m dinamakan *sandy silt with clay*. Pada kedalaman 3,50 m-3,95 m dinamakan *Silty sand with clay*. Pada kedalaman 5,50 m-5,9 m dinamakan *Silty sand with clay*. Pada kedalaman 9,00 m-9,45 m dinamakan *Silty sand with clay*. Pada kedalaman 11,00 m-11,45 m dinamakan *Silty sand with clay*.

3. *Mechanical Properties*

Pada *Mechanical Properties* sampel yang di uji adalah UDS (Undisturbed Sample) atau biasa disebut dengan tanah tak terganggu. Uji yang dilakukan sebagai berikut :

a. *Unit Weight Test*

Angka yang sering didapat [ $\gamma_w$ ], berkisar antara (1,6 - 2,0)  $\text{gr/cm}^3$  dan jarang untuk suatu tanah asli di bawah 1,2 atau lebih dari 2,5  $\text{gr/cm}^3$ .

Dari hasil pengujian Unit Weight ini maka diperoleh hasil maka diperoleh sebagai berikut :

**Sampel IA**

W1	=	104,20	gram
W2	=	19,70	gram
W3	=	213,50	gram

W5 = 54,66 gram  
W6 = 195,70 gram

### **Sampel IB**

W1 = 104,20 gram  
W2 = 28,30 gram  
W3 = 217,40 gram  
W5 = 54,66 gram  
W6 = 198,60 gram

W1 = Berat Ring

W2 = Berat Cawan

W3 = Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Basah

W5 = Volume of Soil

W6 = Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Kering

### **a. Tanah Basah**

Rumus : Tanah Basah (W4) = W3 - W2 - W1

### **Sampel IA**

W4 = 213,50 - 19,70 - 104,20  
= 89,60 gram

### **Sampel IB**

W4 = 217,4 - 28,30 - 104,20  
= 84,90 gram

### **b. Berat Tanah Kering**

Berat Tanah Kering (W7) = W6 - W2 - W1

### **Sampel IA**

W7 = 195,70 - 19,70 - 104,20  
= 71,80 gram

### **Sampel IB**

$$\begin{aligned} W7 &= 198,6 - 28,30 - 104,20 \\ &= 66,10 \quad \text{gram} \end{aligned}$$

### **c. Berat Air**

Rumus : Berat Air ( W8 ) = W4-W7

#### **Sampel IA**

$$\begin{aligned} W8 &= 89,60 - 71,80 \\ &= 17,80 \quad \text{cm}^3 \end{aligned}$$

#### **Sampel IB**

$$\begin{aligned} W8 &= 84,90 - 66,10 \\ &= 18,80 \quad \text{cm}^3 \end{aligned}$$

### **d. Volume of Dry Soil**

Rumus : Volume of Dry Soil ( W9 ) = ( W7 )/Gs

#### **Sampel IA**

$$W9 = \frac{71,80}{2,66} = 26,99 \quad \text{cm}^3$$

#### **Sampel IB**

$$W9 = \frac{66,10}{2,66} = 24,85 \quad \text{cm}^3$$

### **e. Volume of Pore**

Rumus : Volume of Pore (W10) = (W5)-(W9)

#### **Sampel IA**

$$\begin{aligned} W10 &= 54,66 - 26,99 \\ &= 27,67 \quad \text{cm}^3 \end{aligned}$$

**Sampel IB**

$$W_{10} = 54,66 - 24,85$$

$$= 29,81 \text{ cm}^3$$

**f. Wet Density,  $\gamma_{wet}$** 

Rumus : Wet Density,  $\gamma_{wet} = (W_4) - (W_5)$

**Sampel IA**

$$\text{Wet Density, } \gamma_{wet} = 89,60 - 54,66$$

$$= 34,94 \text{ Gr/cm}^3$$

**Sampel IB**

$$\text{Wet Density, } \gamma_{wet} = 84,90 - 54,66$$

$$= 30,24 \text{ Gr/cm}^3$$

**g. Kadar Air**

Rumus :  $w = (W_8)/(W_7) * 100\%$

**Sampel IA**

$$W = \frac{17,80}{71,80} \times 100\% = 24,791 \%$$

**Sampel IB**

$$W = \frac{18,80}{66,10} \times 100\% = 28,442 \%$$

**h. Dry Density,  $\gamma_{dry} = \gamma_{wet}/(1+w)$** 

Rumus : Dry Density,  $\gamma_{dry} = \gamma_{wet}/(1+w)$

**Sampel IA**

$$W = \frac{34,90}{1 + 24,80} = 28,00 \text{ Gr/cm}^3$$

**Sampel IB**

$$W = \frac{30,20}{1 + 24,80} = 23,54 \text{ Gr/cm}^3$$

$$1 + \frac{28,40}{\dots}$$

### i. Porositas

Rumus :  $n = (W10)/(W5)*100\%$

#### **Sampel IA**

$$n = \frac{27,70}{54,70} \times 100\% = 50,62 \%$$

#### **Sampel IB**

$$n = \frac{29,80}{54,70} \times 100\% = 54,54 \%$$

### j. Derajat Kejenuhan

Rumus :  $Sr = (W8)/(W10)*100\%$

#### **Sampel IA**

$$Sr = \frac{17,80}{27,70} \times 100\% = 64,34 \%$$

#### **Sampel IB**

$$Sr = \frac{18,80}{29,80} \times 100\% = 63,07 \%$$

**Jadi Rata-Rata = 63,70 %**

**Tabel Percobaan Bore Hole**

Bore Hole No.	-	BH-2	
Sample	-	1	
Sample Depth	m	4.0 - 4.5	
Ring/Container Number	-	1	2
Berat Ring ( W1 )	gram	104,20	104,20
Berat Cawan ( W2 )	gram	19,70	28,30
Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Basah ( W3 )	gram	213,50	217,40
Tanah Basah ( W4 ) = W3-W2-W1	gram	89,60	84,90
Volume of Soil ( 5 )	cm <sup>3</sup>	54,66	54,66
Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Kering ( W6 )	gram	195,70	198,60
Berat Tanah Kering ( W7 ) = W6-W1-W2	gram	71,80	66,10
Berat Air ( W8 ) = W4-W7	gram	17,80	18,80
Berat Jenis, Gs	-	2,66	2,66
Volume of Dry Soil (9) = (7)/Gs	cm <sup>3</sup>	26,99	24,85
Volume of Pore (10) = (5)-(9)	cm <sup>3</sup>	27,67	29,81
Wet Density, $\rho_{wet} = (4)/(5)$	gr/cm <sup>3</sup>	34,94	30,24
Kadar Air $w = ( W8 )/( W7 ) * 100\%$	%	24,79	28,44
Dry Density, $\rho_{dry} = \rho_{wet}/(1+w)$	gr/cm <sup>3</sup>	28,00	23,54
Porositas, $n = ( W10 )/( W5 ) * 100\%$	%	50,62	54,54
Derajat Kejenuhan $Sr = ( W8 )/( W10 ) * 100\%$	%	64,34	63,07

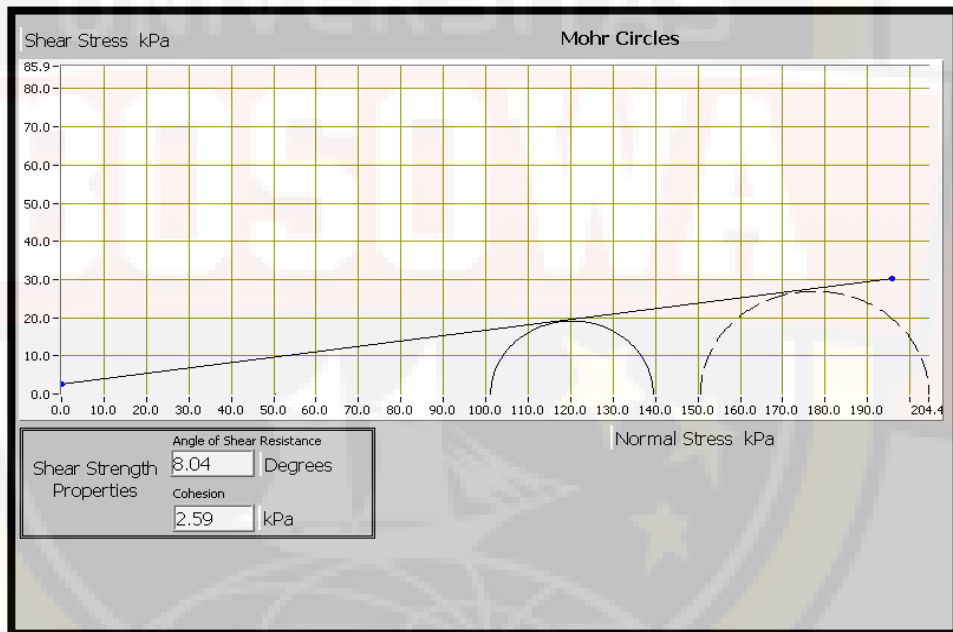
b. Uji *Triaxial*

Dari hasil pengujian triaxial ini maka diperoleh hasil maka diperoleh sebagai berikut :



Tabel Hasil Pengujian Triaxial

Ref	Minor Principal Stress	Major Principal Stress	Compressive Strength (Corrected)	Cumulative Strain	Mode of Failure
Stage 1	50.5kPa	50.5 kPa	0.0 kPa	0.20 %	Max Deviator Stress
Stage 2	101.2kPa	139.4 kPa	38.3 kPa	0.89 %	Max Deviator Stress
Stage 3	150.6kPa	204.4 kPa	53.8 kPa	3.90 %	Max Deviator Stress



Gambar 4.1 Shear strength properties

## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari hasil Uji lapangan dan Uji Lab IV sebelumnya. Lanjutan ini merupakan petunjuk utama dalam dalam perhitungan dan perencanaan menggunakan aplikasi untuk menunjang hasil dari penelitian ini. Adapun hal-hal yang akan dilakukan dalam analisis ini yaitu :

1. Pemodelan rencana *Nickel Hill pit* secara dua dimensi (2D) menggunakan aplikasi SLOPE/W<sup>®</sup> 2007 berdasarkan data *critical cross section* yang diperoleh dari aplikasi Vulcan<sup>™</sup> 7.5. Setelah itu menghitung Faktor Keamanan dari masing-masing *section* tersebut.
2. Memodifikasi geometri (*redesigning*) rencana *Nickel Hill pit* terhadap *section* yang memiliki nilai  $FK < 1,3$  (tidak aman) sehingga didapatkan desain dengan nilai  $FK \geq 1,3$ .
3. Penentuan geometri lereng yang *applicable* (dapat diterapkan di lapangan) setelah dilakukan analisa kestabilan lereng yang baru (*redesigning*).

### 4.3 Metode Bishop

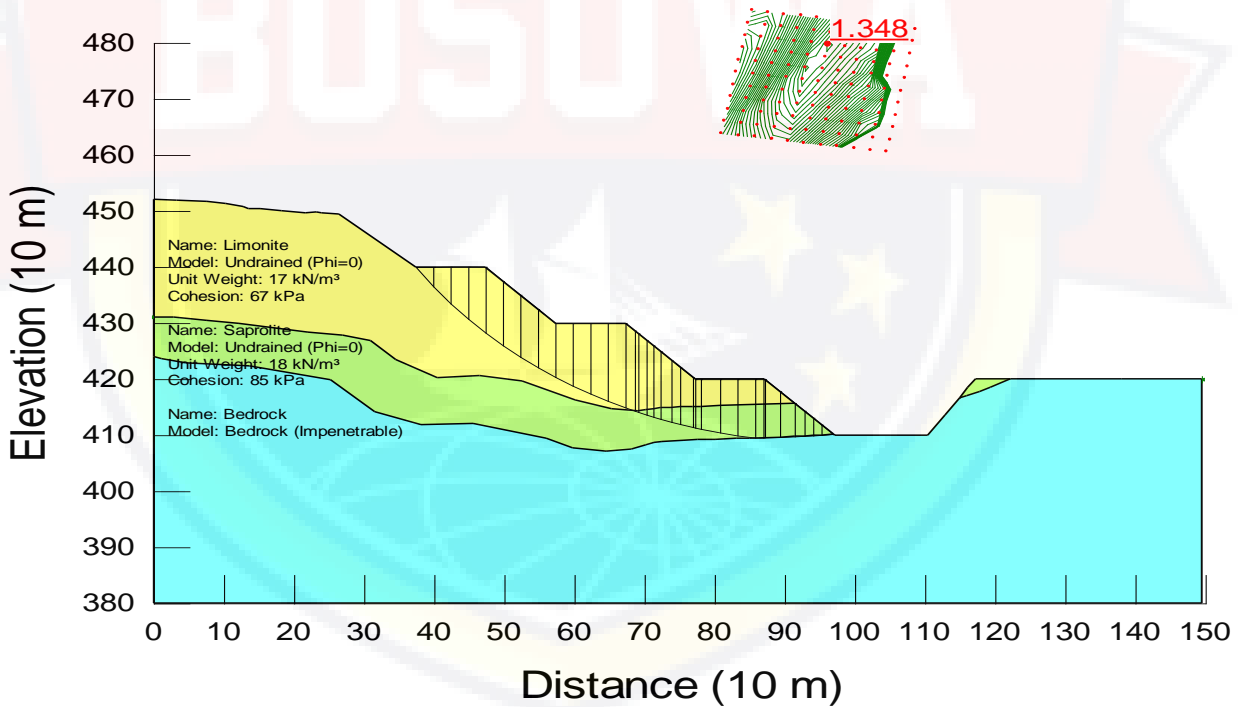
Untuk Perbandingan Aplikasi dan hitungan manual kita memakai metode bishop untuk menghitung manual dengan persamaan rumus sebagai berikut :

Rumus :

$$FS = \frac{1}{\sum W_n \sin a_n} \sum \frac{c' b_n + W_n \tan \phi}{\cos a_n + \frac{\sin a_n \tan \phi'}{FS}}$$

Penyelesaian :

Untuk perhitunga ini di pakai lereng ferari block west PT. Vale Indonesia yaitu :



Gambar Potongan Lereng yang Ferari Block west 4.3

Simplified Bishop's Method												
Slice No	$A_n$	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$W_n$	$a_n$	$\sin(a_n)$	$\cos(a_n)$	$b_n$	$W_n \sin(a_n)$	$C'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$\tan(\phi')$	$W_n \tan(\phi')$
1	25.86	18	465.43	-10	-0.17	0.98	6.63	-80.82	15	19	0.34	160.26
2	77.36	18	1392.54	11	0.19	0.98	7.21	265.71	15	19	0.34	479.49
3	81.18	18	1461.32	34	0.56	0.83	7.21	817.16	15	19	0.34	503.17
4	21.88	18	393.92	61	0.87	0.48	4.94	344.53	15	19	0.34	135.64
							Total 1	1346.58				

$A=c' b_n + W_n \tan(\phi')$	FS	$B = \cos(a_n) + \sin(a_n) * \tan(\phi')$ /FS	A/B
259.71	1.31	0.94	276.53
587.64	1.31	1.03	569.54
611.32	1.31	0.98	626.34
209.74	1.31	0.71	293.46
		Total 2	1765.88

Dik:	FS = 1.31
Kohesi (c) = 15 kPa	
$\gamma = 18 \text{ Kn/m}^3$	
$\phi = 19^\circ$	

FS= Total 2/ Total1	
FS=	1.31

Untuk Perhitungannya sesuai gambar diatas di ambil data yang diketahui :

Dik :

$$W_n = 3713.20$$

$$\text{Sin} a_n = 1.45$$

$$\text{Cos} a_n = 3.28$$

$$b_n = 25.99$$

$$\text{Tan}(\phi') = 1.38$$

$$\text{Kohesi}(c) = 15 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 18 \text{ Kn/m}^3$$

$$\phi = 19^\circ$$

$$\text{FS} = 1.31$$

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{FS} &= \frac{1}{\sum 3713.20 * 1.45} / \sum \frac{15 * 25.99 + 3713.20 * 1.38}{3.28 + \frac{1.45 * 1.38}{1.31}} \\ &= \frac{1}{\sum 3713.20 * 1.45} \longrightarrow \sum \frac{15 * 25.99 + 3713.20 * 1.38}{3.28 + \frac{1.45 * 1.38}{1.31}} \\ &= \frac{1}{1346.58} \longrightarrow \left( \frac{1668.41}{3.66} \right) \end{aligned}$$

$$\text{FS} = \frac{1}{1346.58} \left( \frac{1668.41}{3.66} \right)$$

$$\text{FS} = 0.000743(1765.88)$$

$$\text{FS} = 1.31 \longrightarrow \text{FS SNI} (1.31)$$

Jadi hasil perhitungan menggunakan metode bishop adalah 1.31 dan FS yang digunakan sesuai dengan SNI adalah 1.31, dengan ini

persamaan perhitungan dan sesuai dengan SNI yang digunakan adalah 1.31, maka lereng yang di hitung dan lereng yang dalam perhitungan serta desain dinyatakan aman.

#### **4.4 Permodelan Desain Lereng pada *Section Nickel Hill pit***

Pemodelan yang dimaksud adalah membuat geometri mengikuti alur tampilan *critical cross section* perlapisan material pada *Nickel Hill pit* yang telah diperoleh dari aplikasi Vulcan™ 7.5 secara dua dimensi/2D (x,y) dengan menggunakan aplikasi SLOPE/W® 2007. Tampilan *section* ditransformasikan menjadi *region* berbentuk poligon tertutup yang mewakili setiap perlapisan tanah sesuai dengan zona lapisan material yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah *region* terbentuk maka dilakukan *input* model kekuatan dan nilai karakteristik materialnya. Pemodelan material-material tersebut menyesuaikan dengan ciri khas/karakteristiknya masing-masing yang telah dijelaskan sebelumnya pada bagian akhir Bab IV sehingga perhitungan nilai Faktor Keamanan (FK) pada SLOPE/W® 2007 dapat dilaksanakan. Perlu ditekankan sebelumnya bahwa poin yang akan dijelaskan pada subbab ini hanyalah pemodelan berdasarkan desain *original* dan tidak termasuk *redesigning*. Pembahasan mengenai *redesigning* ini akan dijelaskan tersendiri pada subbab selanjutnya.

##### **4.4.1 Section A – A'**

*Section* ini dibuat dengan tujuan memperlihatkan penampang rencana *Nickel Hill pit* yang disayat mengikuti model *design Nickel Hill pit*. Untuk kepentingan *slope stability*, maka lereng inilah yang akan dianalisis

stabilitasnya. Ketinggian *crest* desain lereng berada pada level +535,5 mdpl, sudut lereng  $56^\circ$ , tinggi jenjang 10 m dan lebar jenjang (berm) 5 m. Berdasarkan hasil perhitungan SLOPE/W<sup>®</sup> 2007, nilai FK yang didapatkan terhadap stabilitas lereng *Nickel Hill pit* adalah 0.925. Hal ini dapat disebabkan oleh elevasi desain lereng terlalu tinggi dan jarak horisontalnya terlalu jauh dari jalan akses. Untuk masalah elevasi, jika lereng terlalu tinggi dalam hal ini jarak antara puncak (*crest*) ke kaki (*toe*) menjadi besar, maka akan membuat lereng tersebut cenderung berada pada kondisi yang tidak aman. Karena nilai FK yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan ( $FK < 1,3$ ), maka hal ini menandakan bahwa penerapan desain pada *section* ini tidak direkomendasikan dan perlu dilakukan *redesigning* (desain Kembali).

#### **4.4.2 Section B – B'**

*Section* ini dibuat dengan tujuan memperlihatkan penampang rencana *Nickel Hill pit* yang disayat mengikuti model *design Nickel Hill pit*. Untuk kepentingan *slope stability*, maka lereng inilah yang akan dianalisis stabilitasnya. Ketinggian *crest* desain lereng berada pada level +526 mdpl, sudut lereng  $56^\circ$ , tinggi jenjang 10 m dan lebar jenjang (berm) 5 m. Berdasarkan hasil perhitungan SLOPE/W<sup>®</sup> 2007, nilai FK yang didapatkan terhadap stabilitas lereng *Nickel Hill pit* adalah 0,714. Hal ini dapat disebabkan oleh elevasi desain lereng terlalu tinggi dan jarak horisontalnya terlalu jauh dari jalan akses. Untuk masalah elevasi, jika lereng terlalu tinggi dalam hal ini jarak antara puncak (*crest*) ke kaki (*toe*) menjadi besar, maka akan membuat lereng tersebut cenderung berada pada kondisi yang tidak aman. Karena nilai FK yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan ( $FK <$

1,3), maka hal ini menandakan bahwa penerapan desain pada *section* ini tidak direkomendasikan dan perlu dilakukan *redesigning* (desain kembali).

#### **4.4.3 Section C – C'**

*Section* ini dibuat dengan tujuan memperlihatkan penampang rencana *Nickel Hill pit* yang disayat mengikuti model *design Nickel Hill pit*. Untuk kepentingan *slope stability*, maka lereng inilah yang akan dianalisis stabilitasnya. Ketinggian *crest* desain lereng berada pada level +512mdpl, sudut lereng 56 °, tinggi jenjang 10 m dan lebar jenjang (berm) 5 m. Berdasarkan hasil perhitungan SLOPE/W<sup>®</sup> 2007, nilai FK yang didapatkan terhadap stabilitas lereng *Nickel Hill pit* adalah 0,862. Hal ini dapat disebabkan oleh elevasi desain lereng terlalu tinggi dan jarak horisontalnya terlalu jauh dari jalan akses. Untuk masalah elevasi, jika lereng terlalu tinggi dalam hal ini jarak antara puncak (*crest*) ke kaki (*toe*) menjadi besar, maka akan membuat lereng tersebut cenderung berada pada kondisi yang tidak aman. Karena nilai FK yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan ( $FK < 1,3$ ), maka hal ini menandakan bahwa penerapan desain pada *section* ini tidak direkomendasikan dan perlu dilakukan *redesigning* (desain kembali).

#### **4.4.4 Section D – D'**

*Section* ini dibuat dengan tujuan memperlihatkan penampang rencana *Nickel Hill pit* yang disayat mengikuti model *design Nickel Hill pit*. Untuk kepentingan *slope stability*, maka lereng inilah yang akan dianalisis stabilitasnya. Ketinggian *crest* desain lereng berada pada level +485,5 mdpl, sudut lereng 56 °, tinggi jenjang 10 m dan lebar jenjang (berm) 5 m. Berdasarkan hasil perhitungan SLOPE/W<sup>®</sup> 2007, nilai FK yang didapatkan



terhadap stabilitas lereng *Nickel Hill pit* adalah 0,941. Hal ini dapat disebabkan oleh elevasi desain lereng terlalu tinggi dan jarak horisontalnya terlalu jauh dari jalan akses. Untuk masalah elevasi, jika lereng terlalu tinggi dalam hal ini jarak antara puncak (*crest*) ke kaki (*toe*) menjadi besar, maka akan membuat lereng tersebut cenderung berada pada kondisi yang tidak aman. Karena nilai FK yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan ( $FK < 1,3$ ), maka hal ini menandakan bahwa penerapan desain pada *section* ini tidak direkomendasikan dan perlu dilakukan *redesigning* (desain kembali).

#### **4.4.5 Section E – E'**

*Section* ini dibuat dengan tujuan memperlihatkan penampang rencana *Nickel Hill pit* yang disayat mengikuti model *design Nickel Hill pit*. Untuk kepentingan *slope stability*, maka lereng inilah yang akan dianalisis stabilitasnya. Ketinggian *crest* desain lereng berada pada level +454 mdpl, sudut lereng  $56^\circ$ , tinggi jenjang 10 m dan lebar jenjang (berm) 5 m. Berdasarkan hasil perhitungan SLOPE/W<sup>®</sup> 2007, nilai FK yang didapatkan terhadap stabilitas lereng *Nickel Hill pit* adalah 2,09. Karena nilai FK yang dihasilkan memenuhi persyaratan ( $FK \geq 1,3$ ), maka hal ini menandakan bahwa penerapan desain pada *section* ini direkomendasikan dan tidak perlu dilakukan *redesigning*.

#### **4.4.6 Section F – F'**

*Section* ini dibuat dengan tujuan memperlihatkan penampang rencana *Nickel Hill pit* yang disayat mengikuti model *design Nickel Hill pit*.

Untuk kepentingan *slope stability*, maka lereng inilah yang akan dianalisis stabilitasnya. Ketinggian *crest* desain lereng berada pada level +441,5 mdpl, sudut lereng  $56^\circ$ , tinggi jenjang 10 m dan lebar jenjang (berm) 5 m. Berdasarkan hasil perhitungan SLOPE/W<sup>®</sup> 2007, nilai FK yang didapatkan terhadap stabilitas lereng *Nickel Hill pit* adalah 0,806. Hal ini dapat disebabkan oleh elevasi desain lereng terlalu tinggi dan jarak horisontalnya terlalu jauh dari jalan akses. Untuk masalah elevasi, jika lereng terlalu tinggi dalam hal ini jarak antara puncak (*crest*) ke kaki (*toe*) menjadi besar, maka akan membuat lereng tersebut cenderung berada pada kondisi yang tidak aman. Karena nilai FK yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan ( $FK < 1,3$ ), maka hal ini menandakan bahwa penerapan desain pada *section* ini tidak direkomendasikan dan perlu dilakukan *redesigning* (desain kembali).

#### **4.5 Redesigning terhadap Desain Lereng pada *Section* yang Tidak Aman**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pemodelan kestabilan lereng terhadap desain lereng pada *Section Nickel Hill pit* seperti yang telah dideskripsikan di atas, maka ada dua hal yang harus ditindaklanjuti, yakni :

1. Dari analisis semua *section* yang ada, *section* yang memperlihatkan hasil nilai FK yang aman dan memenuhi persyaratan, yakni E – E' dan G – G'
2. Dari analisis semua *section* yang ada, *section* yang memperlihatkan hasil nilai FK yang tidak aman dan tidak memenuhi persyaratan, yakni *Section* A – A', B – B', C – C', D – D', F – F', H – H', I – I', J – J', K – K' dan L – L'.

3. Hal-hal yang dianggap menjadi penyebab sehingga nilai FK tidak memenuhi persyaratan pada semua *section* adalah elevasi lereng yang terlalu tinggi, sudut slope yang terlalu tegak dan jarak horisontal desain lereng yang terlalu pendek.

#### **4.5.1 Section A – A' Redesigning**

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, maka dilakukan beberapa langkah modifikasi desain, yakni :

1. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 10 meter pada *Bench* level +510 mdpl hingga level +530 mdpl.

#### **4.5.2 Section B – B' Redesigning**

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, maka dilakukan beberapa langkah modifikasi desain, yakni :

1. Melandaikan *slope*  $56^{\circ}$  menjadi  $45^{\circ}$  pada semua *Bench*.
2. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 7 meter pada *Bench* yang berada pada level +510 mdpl hingga +520 mdpl. Dan pada level 480 mdpl
3. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 10 meter pada *Bench* yang berada pada level +490 mdpl hingga +500 mdpl

#### **4.5.3 Section C – C' Redesigning**

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, maka dilakukan beberapa langkah modifikasi desain, yakni :

1. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 10 meter pada *Bench* yang berada pada level +480 mdpl hingga +490 mdpl.
2. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 15 meter pada *Bench* yang berada pada level +500 mdpl hingga +510 mdpl.

#### **4.5.4 Section D – D' Redesigning**

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, maka dilakukan beberapa langkah modifikasi desain, yakni :

1. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 7 meter pada *Bench* yang berada pada level +460 mdpl.
2. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 7 meter pada *Bench* yang berada pada level +470 mdpl hingga +480 mdpl .

#### **4.5.5 Section F – F' Redesigning**

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, maka dilakukan beberapa langkah modifikasi desain, yakni :

1. Melandaikan *slope*  $56^\circ$  menjadi  $45^\circ$  pada *Bench* yang berada pada level +410 mdpl hingga +450 mdpl.
2. Memperpanjang berm dari 5 meter menjadi 10 meter pada *Bench* yang berada pada level +420 mdpl hingga +440 mdpl.

#### **4.6 Evaluasi Kestabilan Lereng Pada Kondisi Faktor Keamanan Awal dan Faktor Keamanan Sesudah Redesigning menggunakan Aplikasi Geo studio (Slope/W)**

Ketiga hal di atas dapat disimpulkan mengarahkan analisis selanjutnya ke tindakan *redesigning*. *Redesigning* pada pembahasan ini adalah membuat desain kembali/memodifikasi geometri desain lereng yang telah ada sebelumnya dengan tujuan mengubah desain lereng yang tidak aman menjadi aman dengan cara-cara menurunkan elevasi lereng, memperlandai sudut slope dan memundurkan jarak horisontal desain lereng (*pushback*).

Berikut ini ditampilkan hasil *redesigning* terhadap semua *Section*. Perlu ditekankan disini bahwa *redesigning* yang dilakukan bukan menjadi desain final dari *Nickel Hill pit*, melainkan hanya sebagai desain temporer yang dapat dijadikan sebagai desain tahapan dalam konstruksi di lapangan (*stage reconstruction*) dan sebagai acuan dalam *geotechnical assessment* selanjutnya terhadap *Nickel Hill pit* dalam rangka mewujudkan desain yang telah diajukan di awal jika memang memungkinkan untuk dapat diterapkan.

Berdasarkan hasil *Redesigning* yang telah dilakukan, didapatkan data informasi *detail* geometri lereng dari masing-masing section. yang terdapat pada table 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6 Evaluasi Kestabilan Lereng

Section	Bench	Level (mdpl)		Berm (m)		Slope (°)		FS	
		Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
A - A'	1	535.5	537	-	-	56	56	0.925	1.431
	2	530	530	5	10	56	56		
	3	520	520	5	10	56	56		
	4	510	510	5	10	56	56		
	5	500	500	23.5	23.5	56	56		
B - B'	1	526	523	-	-	56	45	0.714	1.344
	2	520	520	5	7	56	45		
	3	510	510	5	7	56	45		
	4	500	500	5	10	56	45		
	5	490	490	5	10	56	45		
	6	480	480	5	7	56	56		
C - C'	1	511	518	-	-	56	56	0.862	1.335
	2	510	510	5	15	56	56		
	3	500	500	5	15	56	56		
	4	490	490	5	10	56	56		
	5	480	480	5	10	56	56		
	6	470	470	44	44	56	56		
	7	460	460	5	5	56	56		
D - D'	1	485	484	-	-	56	56	0.941	1.325
	2	480	480	5	10	56	56		
	3	470	470	5	10	56	56		
	4	460	460	5	7	56	56		
E - E'	1	454	454	-	-	56	56	2.09	2.09
	2	450	450	5	5	56	56		
	3	440	440	5	5	56	56		
F - F'	1	441.5	449.5	-	-	56	45	0.806	1.348
	2	440	440	5	10	56	45		
	3	430	430	5	10	56	45		
	4	420	420	5	10	56	45		

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Analisis stabilitas rencana lereng *pit* dalam *geotechnical assessment* merupakan kunci utama untuk mewujudkan konstruksi *pit* yang *applicable* (dapat diterapkan saat di lapangan) dan aman terkait *concern* terhadap *safety issue* pada area operasi penambangan PT Vale Indonesia Tbk. Secara umum, hal ini dilakukan dengan tujuan mendukung suksesnya keseluruhan rangkaian operasi penambangan agar dapat berlangsung dengan aman. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Lereng *Nickel Hill pit* dianalisa dengan kondisi *undrained shear strength*, karena kondisi tersebut merupakan kondisi jenuh total sehingga nilai FK merupakan nilai yang kritis.
2. Rencana awal desain model *Nickel Hill pit* dengan penampang melintang A – A', B – B', C – C', D – D', dan F – F' tidak memenuhi kriteria faktor keamanan (tidak direkomendasikan) dari suatu lereng ( $FK < 1,2$ ), maka perlu dilakukan modifikasi/*redesigning* pada geometri lereng tersebut.
3. Modifikasi (*redesigning*) dilakukan dengan memundurkan batas pit (pit limit) dari desain lereng awal, sehingga desain pit awal menjadi lebih luas.
4. Perbedaan nilai FK dari perhitungan secara manual dengan Slope-W<sup>®</sup> 2007 terletak pada lebar irisan, sudut yang dibentuk dari setiap irisan.

5. Perolehan nilai FK setelah dimodifikasi baik secara perhitungan manual maupun dengan Slope-W<sup>®</sup> 2007 yaitu sama-sama aman dan tidak kritis.
6. Nilai FK minimum yang didapatkan dari hasil analisis stabilitas lereng adalah 1,30 sedangkan nilai FK maksimum adalah 1,49 dengan menggunakan Slope-W<sup>®</sup> 2007.

### **3.1 Saran**

1. Sangatlah penting untuk mengetahui teori dan perhitungan secara manual untuk mencari solusi ketika lereng berada pada kondisi tidak stabil, sebab semua berawal dari pengetahuan yang diperoleh dari studi literatur maupun praktek di lapangan. *Software* dalam keseharian digunakan untuk membantu dan mempermudah kegiatan sehari-hari.
2. Mematuhi rekomendasi geotek terhadap rekomendasi geometri lereng sangatlah penting untuk menghindari potensi kegagalan lereng (kelongsoran).



## DAFTAR PUSTAKA

- Arief, S. (2008) Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan. Sorowako: PT Vale Indonesia.
- Mardan. 2013. Disposal STP Section. Sorowako. PT. Vale Indonesia, Tbk.
- Santosa, B dan Suprarto, H. 1998. Mekanika Tanah Lanjutan. Jakarta. Gunadarma.
- Kusuma, A. C. and Wiyono, B. (2015) Analisis Kestabilan Lereng di Pit Pajajaran PT. Tambang Tondano Nusajaya Sulawesi Utara. Jurnal Teknologi Pertambangan. 1 Nomor 1 (Periode Maret-Agustus 2015), pp. 5–11.
- Rifa'i, A., 2009. Perilaku interaksi tanah-geotekstil terhadap parameter kuat geser. Jurnal Dinamika Teknik Sipil 9(1), pp. 92-100.
- Sinarta I. N., 2016. Tegangan pori negatif sebagai parameter stabilitas lereng tanah tak jenuh. Jurnal PADURAKSA 5(1), pp. 31-43.
- Das, B.M., Endah, N., Mochtar, I.B., 1988, "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)" Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M., Endah, N., Mochtar, I.B., 1993, "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)" Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Soedarmo, G. Djatmiko dan S. J. Edy Purnomo. 1993. Mekanika Tanah 1. Yogyakarta: Kanisius
- Soedarmo, G. Djatmiko dan S. J. Edy Purnomo. 1997. Mekanika Tanah 2. Yogyakarta: Kanisius.



# Tabel Isian Data Lapangan

## DATA CONE PENETRATION TEST (CPT)

CPT – 01

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitas *Nickel Hill*

Total kedalaman : 12 meter

Depth	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	0	0	0	0,00
0,4	11	17	6	61,11
0,6	11	22	11	61,11
0,8	10	21	11	55,56
<b>1,0</b>	12	25	13	66,67
1,2	15	24	9	83,33
1,4	16	30	14	88,89
1,6	18	32	14	100,00
1,8	17	26	9	94,44
<b>2,0</b>	22	36	14	122,22
2,2	24	34	10	133,33
2,4	24	34	10	133,33
2,6	25	37	12	138,89
2,8	25	38	13	138,89
<b>3,0</b>	29	41	12	161,11
3,2	32	51	19	177,78
3,4	30	53	23	166,67
3,6	32	52	20	177,78
3,8	33	55	22	183,33
<b>4,0</b>	30	43	13	166,67
4,2	30	55	25	166,67
4,4	29	59	30	161,11
4,6	26	42	16	144,44
4,8	24	40	16	133,33
<b>5,0</b>	28	47	19	155,56

5,2	25	42	17	138,89
5,4	27	33	6	150,00
5,6	23	40	17	127,78
5,8	31	33	2	172,22
<b>6,0</b>	28	42	14	155,56
6,2	25	48	23	138,89
6,4	22	45	23	122,22
6,6	26	38	12	144,44
6,8	24	39	15	133,33
<b>7,0</b>	27	32	5	150,00
7,2	26	34	8	144,44
7,4	27	46	19	150,00
7,6	28	45	17	155,56
7,8	24	42	18	133,33
<b>8,0</b>	22	32	10	122,22
8,2	23	36	13	127,78
8,4	20	32	12	111,11
8,6	23	33	10	127,78
8,8	27	39	12	150,00
<b>9,0</b>	24	47	23	133,33
9,2	20	30	10	111,11
9,4	20	35	15	111,11
9,6	22	27	5	122,22
9,8	21	41	20	116,67
<b>10,0</b>	24	39	15	133,33
<b>10,2</b>	24	39	15	133,33
10,4	20	35	15	111,11
10,6	19	34	15	105,56
10,8	21	38	17	116,67
<b>11,0</b>	22	46	24	122,22
11,2	21	42	21	116,67
11,4	24	40	16	133,33
11,6	27	50	23	150,00
11,8	28	55	27	155,56
<b>12,0</b>	32	58	26	177,78

CPT – 02

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitar *Nickel Hill*

Total kedalaman : 5,2 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	0	0	0	0,00
0,4	5	14	9	27,78
0,6	6	11	5	33,33
0,8	6	11	5	33,33
<b>1,0</b>	8	15	7	44,44
1,2	8	16	8	44,44
1,4	9	12	3	50,00
1,6	6	20	14	33,33
1,8	5	15	10	27,78
<b>2,0</b>	5	17	12	27,78
2,2	9	18	9	50,00
2,4	8	17	9	44,44
2,6	6	11	5	33,33
2,8	6	10	4	33,33
<b>3,0</b>	7	12	5	38,89
3,2	5	10	5	27,78
3,4	5	10	5	27,78
3,6	3	16	13	16,67
3,8	4	6	2	22,22
<b>4,0</b>	8	13	5	44,44
4,2	10	26	16	55,56
4,4	11	16	5	61,11
4,6	18	22	4	100,00
4,8	18	22	4	100,00
<b>5,0</b>	54	68	14	300,00
5,2	77	156	79	427,78

CPT – 04

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitar *Nickel Hill*

Total kedalaman : 9,2 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	2	12	10	111,11
0,4	4	11	7	222,22
0,6	5	8	3	277,78
0,8	6	15	9	333,33
<b>1,0</b>	7	18	11	388,89
1,2	6	21	15	333,33
1,4	7	17	10	388,89
1,6	6	11	5	333,33
1,8	8	21	13	444,44
<b>2,0</b>	8	22	14	444,44
2,2	12	22	10	666,67
2,4	13	22	9	722,22
2,6	18	21	3	1000,00
2,8	18	27	9	1000,00
<b>3,0</b>	10	17	7	555,56
3,2	9	17	8	500,00
3,4	8	16	8	444,44
3,6	8	14	6	444,44
3,8	8	12	4	444,44
<b>4,0</b>	7	12	5	388,89
4,2	6	10	4	333,33
4,4	4	10	6	222,22
4,6	4	7	3	222,22
4,8	5	9	4	277,78
<b>5,0</b>	4	9	5	222,22
5,2	4	8	4	222,22
5,4	4	8	4	222,22
5,6	4	8	4	222,22
5,8	6	10	4	333,33
<b>6,0</b>	4	9	5	222,22

6,2	2	4	2	111,11
6,4	2	7	5	111,11
6,6	4	8	4	222,22
6,8	1	6	5	55,56
<b>7,0</b>	96	124	28	5333,33
7,2	53	123	70	2944,44
7,4	54	243	189	3000,00
7,6	89	118	29	4944,44
7,8	23	89	66	1277,78
<b>8,0</b>	10	37	27	555,56
8,2	110	195	85	6111,11
8,4	31	83	52	1722,22
8,6	50	76	26	2777,78
8,8	27	64	37	1500,00
<b>9,0</b>	14	83	69	777,78
9,2	24	180	156	1333,33

CPT – 05

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitar *Nickel Hill*

Total kedalaman : 10 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	7	15	8	388,89
0,4	6	14	8	333,33
0,6	7	15	8	388,89
0,8	6	16	10	333,33
<b>1,00</b>	7	18	11	388,89
1,2	9	17	8	500,00
1,4	7	16	9	388,89
1,6	11	16	5	611,11
1,8	11	22	11	611,11
<b>2,0</b>	12	14	2	666,67
2,2	16	26	10	888,89
2,4	16	21	5	888,89
2,6	16	25	9	888,89
2,8	17	27	10	944,44
<b>3,0</b>	19	27	8	1055,56
3,2	16	25	9	888,89
3,4	19	25	6	1055,56
3,6	19	25	6	1055,56
3,8	18	22	4	1000,00
<b>4,0</b>	18	24	6	1000,00
4,2	29	48	19	1611,11
4,4	37	48	11	2055,56
4,6	32	36	4	1777,78
4,8	17	48	31	944,44
<b>5,0</b>	15	29	14	833,33
5,2	16	23	7	888,89
5,4	27	36	9	1500,00
5,6	39	58	19	2166,67
5,8	21	93	72	1166,67
<b>6,0</b>	31	68	37	1722,22
6,2	20	41	21	1111,11
6,4	14	48	34	777,78
6,6	14	26	12	777,78
6,8	17	22	5	944,44



7,0	18	21	3	1000,00
7,2	18	25	7	1000,00
7,4	12	25	13	666,67
7,6	15	31	16	833,33
7,8	14	19	5	777,78
8,0	16	25	9	888,89
8,2	15	28	13	833,33
8,4	13	28	15	722,22
8,6	14	23	9	777,78
8,8	16	19	3	888,89
9,0	19	25	6	1055,56
9,2	19	32	13	1055,56
9,4	17	30	13	944,44
9,6	17	27	10	944,44
9,8	16	29	13	888,89
10,0	19	29	10	1055,56

UNIVERSITAS

**BOSOWA**



Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitar *Nickel Hill*

Total kedalaman : 4 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	0	0	0	0,00
0,4	4	14	10	222,22
0,6	6	11	5	333,33
0,8	6	14	8	333,33
<b>1,00</b>	7	16	9	388,89
1,2	7	16	9	388,89
1,4	8	18	10	444,44
1,6	8	24	16	444,44
1,8	10	24	14	555,56
<b>2,00</b>	11	16	5	611,11
2,2	11	19	8	611,11
2,4	8	15	7	444,44
2,6	8	15	7	444,44
2,8	9	19	10	500,00
<b>3,00</b>	11	16	5	611,11
3,2	13	19	6	722,22
3,4	7	16	9	388,89
3,6	7	12	5	388,89
3,8	12	25	13	666,67
<b>4,00</b>	13	25	12	722,22

CPT – 08

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitas *Nickel Hill*

Total kedalaman : 11,2 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm2)	qc + fs (Kg/Cm2)	fs (Kg/Cm2)	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	0	0	0	0,00
0,4	1	8	7	55,56
0,6	8	16	8	444,44
0,8	9	20	11	500,00
<b>1,00</b>	8	16	8	444,44
1,2	8	19	11	444,44
1,4	8	16	8	444,44
1,6	7	9	2	388,89
1,8	11	18	7	611,11
<b>2,00</b>	11	18	7	611,11
2,2	11	16	5	611,11
2,4	11	16	5	611,11
2,6	8	15	7	444,44
2,8	10	14	4	555,56
<b>3,00</b>	10	16	6	555,56
3,2	10	17	7	555,56
3,4	2	13	11	111,11
3,6	2	13	11	111,11
3,8	15	21	6	833,33
<b>4,00</b>	15	27	12	833,33
4,2	19	27	8	1055,56
4,4	20	28	8	1111,11
4,6	18	27	9	1000,00
4,8	19	28	9	1055,56
<b>5,00</b>	5	19	14	277,78
5,2	20	24	4	1111,11
5,4	21	32	11	1166,67

5,6	16	30	14	888,89
5,8	16	30	14	888,89
<b>6,00</b>	19	28	9	1055,56
6,2	20	31	11	1111,11
6,4	15	28	13	833,33
6,6	14	23	9	777,78
6,8	12	21	9	666,67
<b>7,00</b>	13	17	4	722,22
7,2	14	24	10	777,78
7,4	18	22	4	1000,00
7,6	15	29	14	833,33
7,8	13	24	11	722,22
<b>8,00</b>	15	32	17	833,33
8,2	18	35	17	1000,00
8,4	19	33	14	1055,56
8,6	27	40	13	1500,00
8,8	62	112	50	3444,44
<b>9,00</b>	40	83	43	2222,22
9,2	14	51	37	777,78
9,4	15	44	29	833,33
9,6	20	41	21	1111,11
9,8	18	43	25	1000,00
<b>10,0</b>	23	43	20	1277,78
10,2	14	29	15	777,78
10,4	15	24	9	833,33
10,6	16	24	8	888,89
10,8	15	24	9	833,33
<b>11,0</b>	12	18	6	666,67
11,2	11	20	9	611,11

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitar *Nickel Hill*

Total kedalaman : 6,6 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	9	14	5	500,00
0,4	21	22	1	1166,67
0,6	30	44	14	1666,67

0,8	32	33	1	1777,78
<b>1,00</b>	35	39	4	1944,44
1,2	29	35	6	1611,11
1,4	27	29	2	1500,00
1,6	22	24	2	1222,22
1,8	16	21	5	888,89
<b>2,00</b>	21	27	6	1166,67
2,2	25	27	2	1388,89
2,4	25	26	1	1388,89
2,6	16	29	13	888,89
2,8	31	41	10	1722,22
<b>3,00</b>	29	31	2	1611,11
3,2	32	35	3	1777,78
3,4	29	31	2	1611,11
3,6	28	35	7	1555,56
3,8	31	44	13	1722,22
<b>4,00</b>	27	32	5	1500,00
4,2	27	32	5	1500,00
4,4	42	53	11	2333,33
4,6	43	58	15	2388,89
4,8	41	64	23	2277,78
<b>5,00</b>	36	50	14	2000,00
5,2	42	51	9	2333,33
5,4	36	62	26	2000,00
5,6	32	46	14	1777,78
5,8	36	53	17	2000,00
<b>6,00</b>	37	63	26	2055,56
6,2	29	34	5	1611,11
6,4	37	41	4	2055,56
6,6	42	48	6	2333,33

CPT – 14

Waktu pelaksanaan : 20 Maret 2021

Lokasi pengambilan : *Original soil* di sekitar *Nickel Hill*

Total kedalaman : 9 meter

Depth (m)	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc + fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/Cm <sup>2</sup> )	Su (kPa) = qc/Nc ; Nc=18
0	0	0	0	0,00
0,2	14	18	4	777,78
0,4	13	71	58	722,22
0,6	46	73	27	2555,56
0,8	39	41	2	2166,67
<b>1,00</b>	13	32	19	722,22
1,2	19	27	8	1055,56
1,4	18	24	6	1000,00
1,6	15	31	16	833,33
1,8	17	21	4	944,44
<b>2,00</b>	14	25	11	777,78
2,2	14	21	7	777,78
2,4	14	23	9	777,78
2,6	17	22	5	944,44
2,8	19	20	1	1055,56
<b>3,00</b>	24	32	8	1333,33
3,2	23	32	9	1277,78
3,4	24	38	14	1333,33
3,6	26	36	10	1444,44
3,8	22	33	11	1222,22
<b>4,00</b>	21	32	11	1166,67
4,2	27	35	8	1500,00
4,4	32	41	9	1777,78
4,6	25	31	6	1388,89
4,8	24	28	4	1333,33
<b>5,00</b>	34	42	8	1888,89
5,2	34	40	6	1888,89
5,4	28	36	8	1555,56
5,6	38	46	8	2111,11
5,8	36	51	15	2000,00
<b>6,00</b>	31	51	20	1722,22

6,2	38	42	4	2111,11
6,4	39	40	1	2166,67
6,6	39	41	2	2166,67
6,8	36	47	11	2000,00
7,00	40	47	7	2222,22
7,2	38	44	6	2111,11
7,4	31	43	12	1722,22
7,6	35	37	2	1944,44
7,8	35	43	8	1944,44
8,00	36	38	2	2000,00
8,2	37	38	1	2055,56
8,4	24	43	19	1333,33
8,6	30	44	14	1666,67
8,8	30	53	23	1666,67
9,00	28	55	27	1555,56

Keterangan :

Depth = Kedalaman di bawah permukaan tanah (m)

qc = Tahanan ujung konus (kg/cm<sup>2</sup> dan Mpa)

fs = Gesekan selimut (kg/cm<sup>2</sup>)

Su = *Undrained Shear Strength*/kuat geser tanah  
*undrained* (kpa)

rumus :

su =  $(qc / Nk) \times 1000$  ; qc dalam Mpa

Nk = Faktor daya dukung = 18

### **SPESIFIKASI ALAT UJI CPT Mesin Sondir**

Merek : PAGANI Geotechnical Equipment

Nama mesin : Self – Anchored Penetrometer

Tipe : TG 73 – 200

Buatan : Italia

Tahun perakitan : 2011

Massa : 3000 kg

Daya : 26.5 kW

Voltase : 12 V DC

Daya dorong : 200 kN  
Daya tarik : 250 kN

**CPT (Tipe Begemann *Mechanical Drill*)**

Diameter ujung : 35,7 mm  
Diameter alas : 36 mm  
Luas penampang konus : 10 cm<sup>2</sup>  
Sudut ujung konus : 60°  
Luas penampang selimut : 150 cm<sup>2</sup>  
Kecepatan penetrasi : 2 cm/s

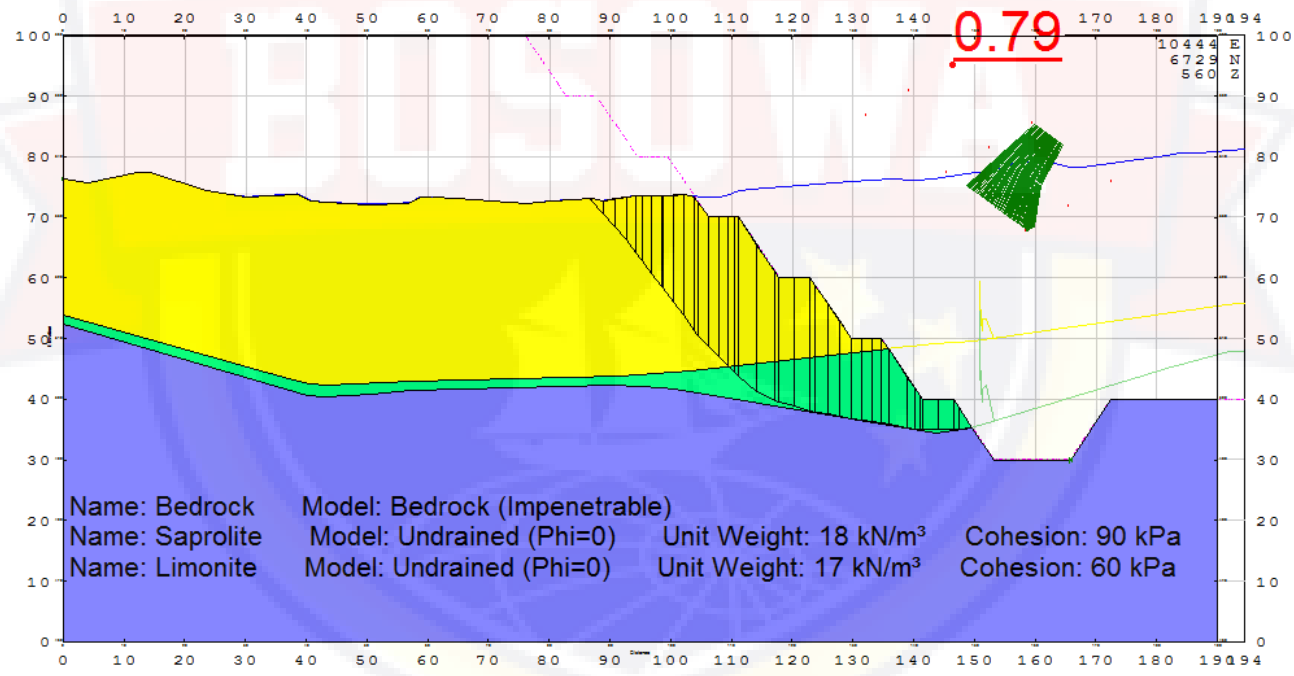




## LAMPIRAN C

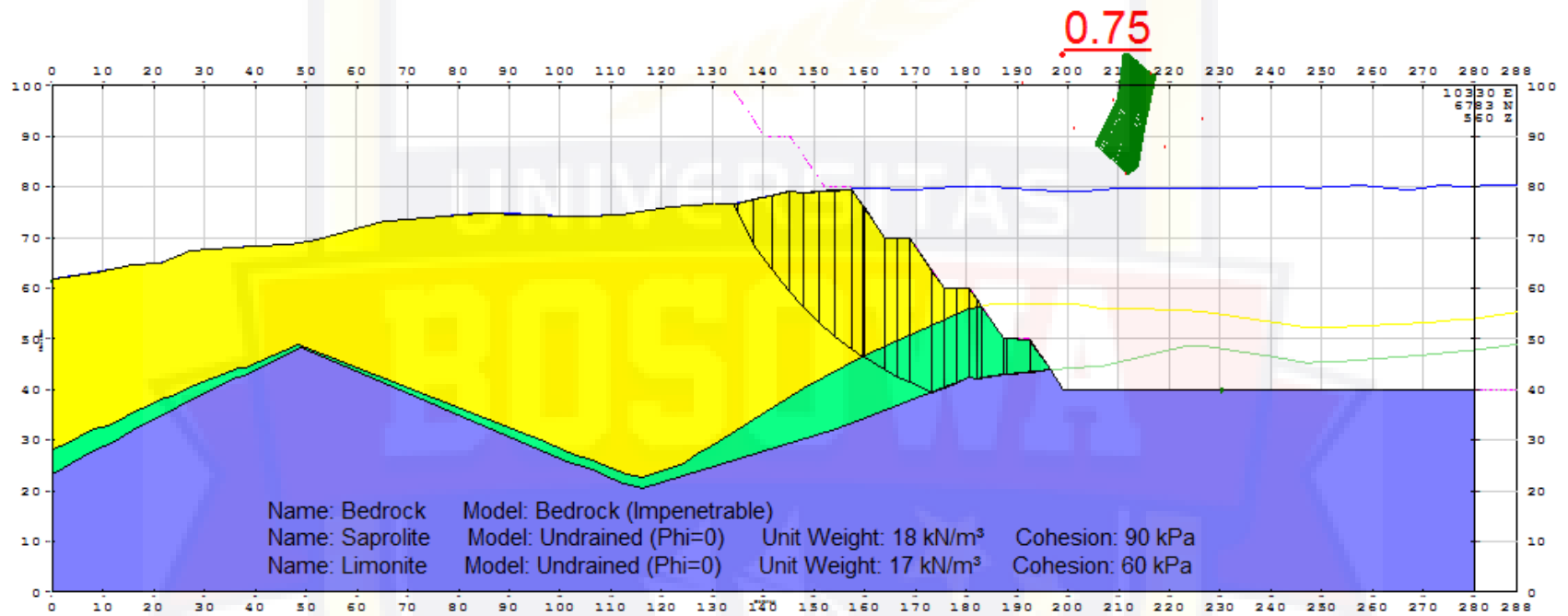
### GAMBAR PEMODELAN RENCANA *NICKEL HILL PIT* DENGAN HASIL PERHITUNGAN NILAI FK UNTUK SETIAP *SECTION* DARI APLIKASI SLOPE/W© 2007

Section A – A'

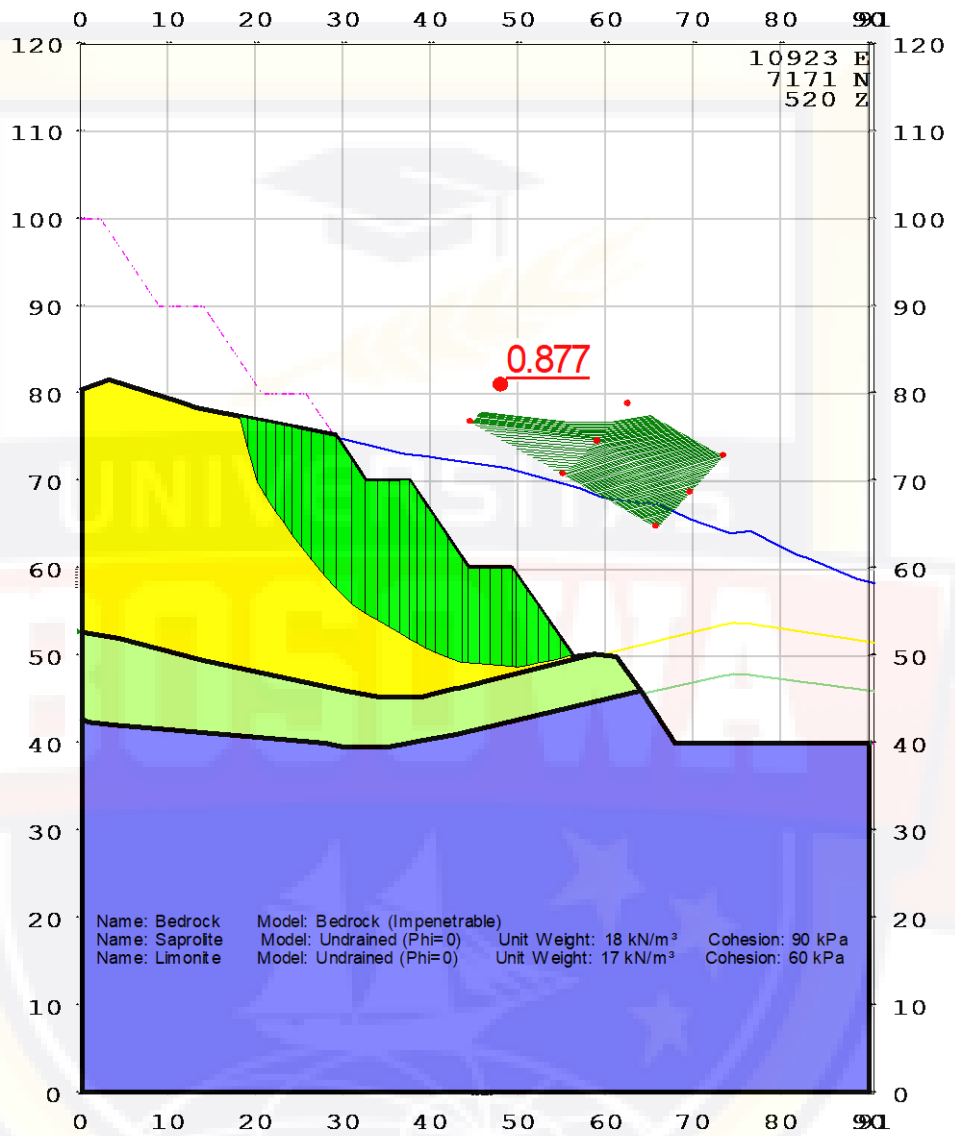


Section B –

B'



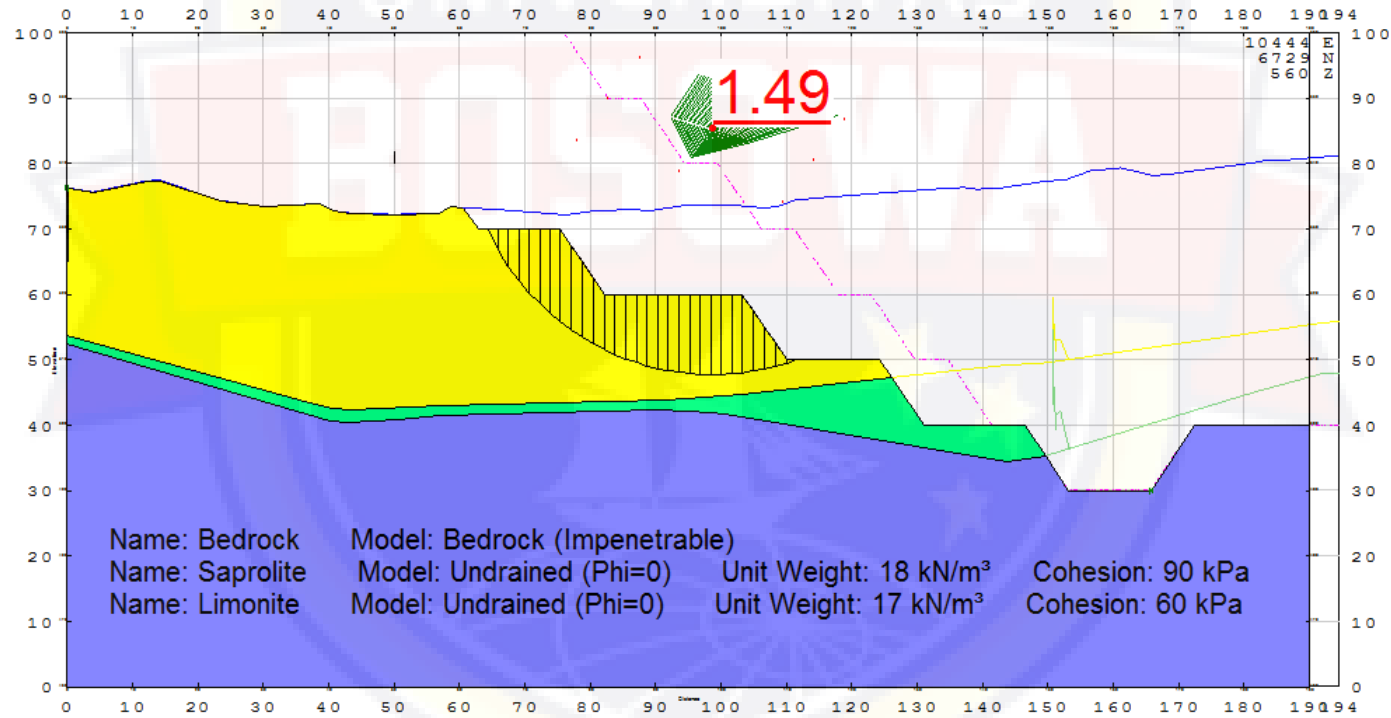
Section C – C'



## LAMPIRAN D

### GAMBAR HASIL *REDESIGNING* TERHADAP DESAIN LERENG *SECTION* YANG TIDAK AMAN PADA RENCANA *NICKEL HILL PIT* (SLOPE/W© 2007)

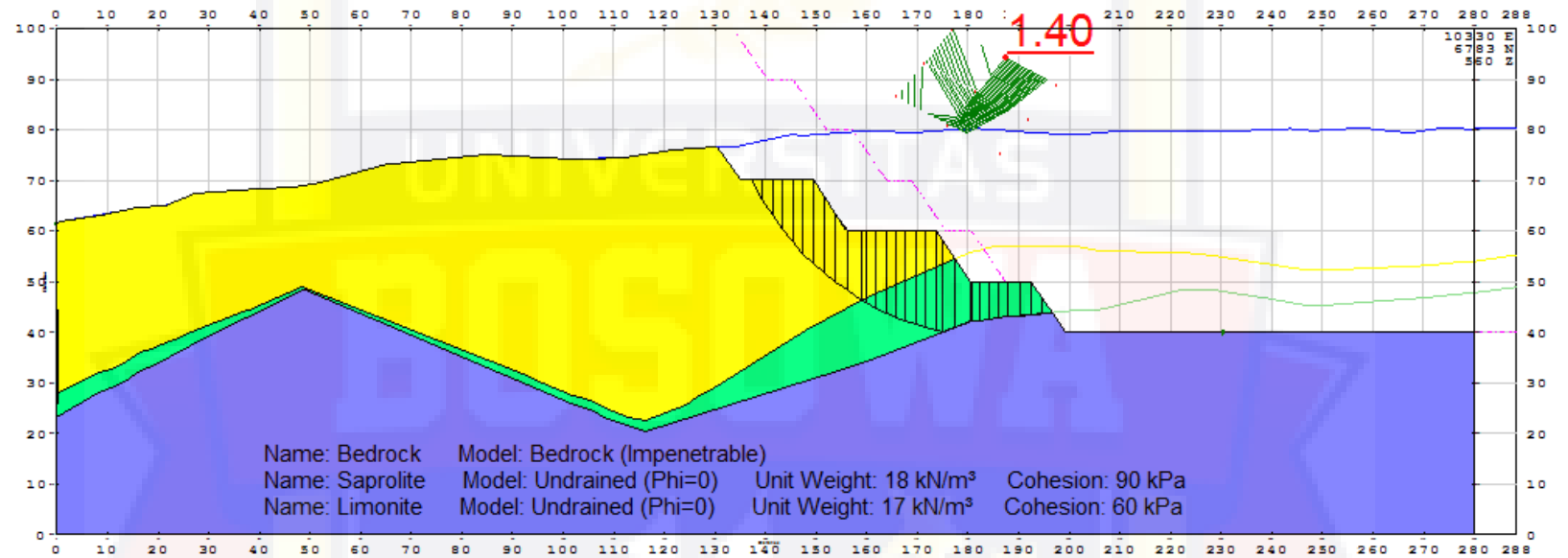
Section A – A'



Summary dari redesign section A – A'

Bench	Level (mdpl)		Pushback (m)	Berm	FS	
	Before	After			Before	After
1	533,52	533,27	43,2	12,5	0,785	1,486
2	530,08	530,03	36	21		
3	519,9	530,03	20	14,2		
4	510,04	510,02	10,5	15,5		
5	499,96	499,96	0	0		

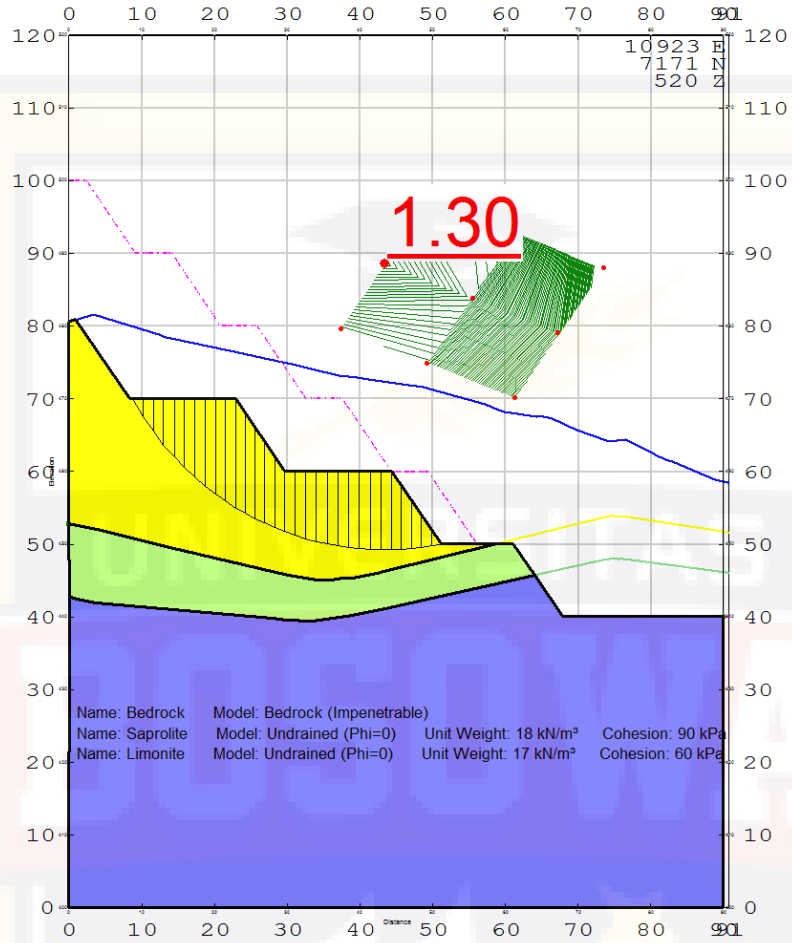
*Section B – B'*



*Summary dari redesign section B – B'*

Bench	Level (mdpl)		Pushback (m)	Berm	FS	
	Before	After			Before	After
1	539,62	536,54	29	14,3	0,746	1,402
2	530,03	530,08	19,7	17,7		
3	519,96	520,04	6,8	12,2		
4	509,95	509,95	0	0		

Section C–C'

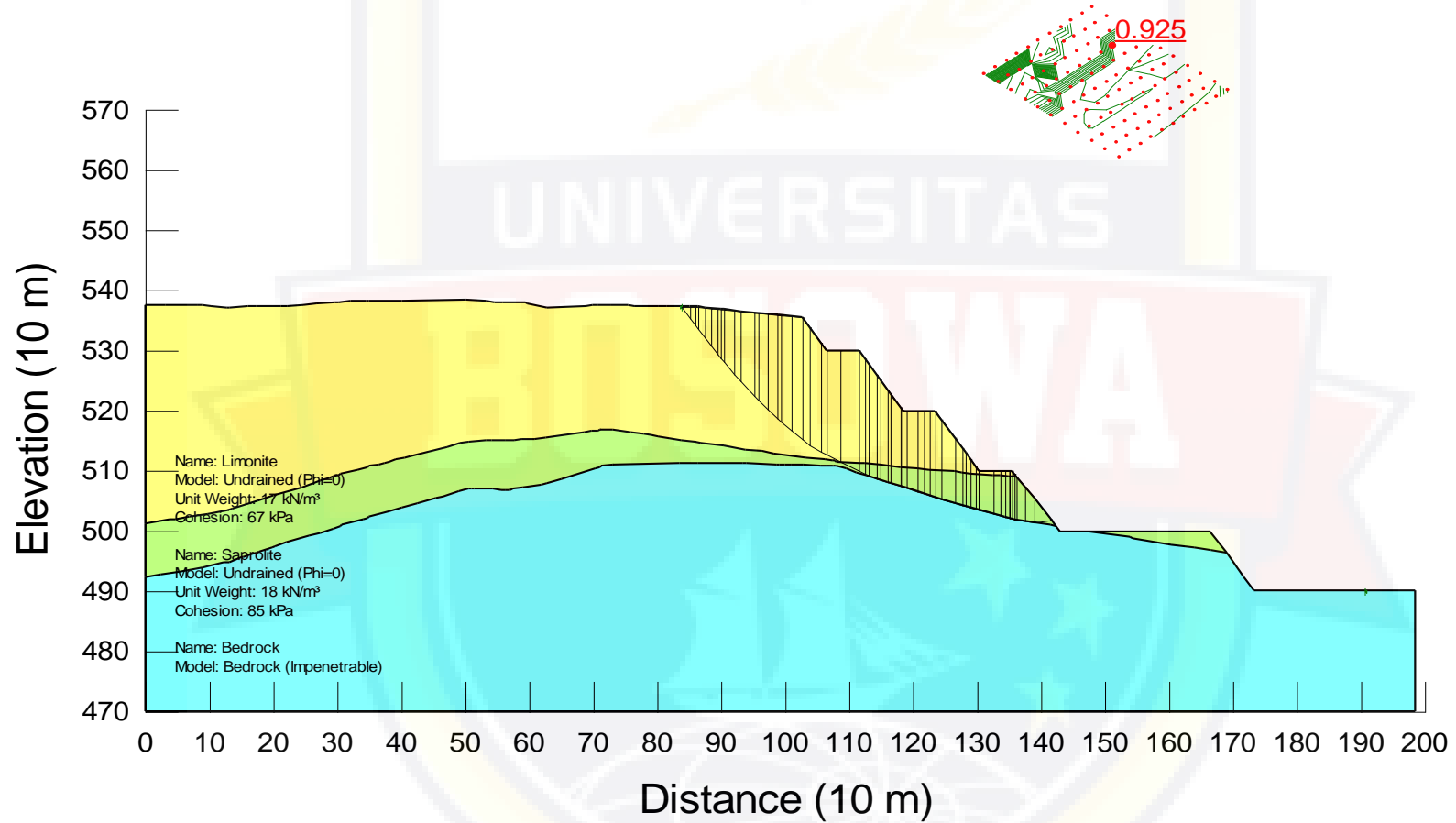


Summary dari redesign section C – C'

Bench	Level (mdpl)		Pushback (m)	Berm	FS	
	Before	After			Before	After
1	475,09	480,84	24,4	14,8	0,877	1,302
2	470,02	470	14,7	14,7		
3	460,2	460,04	4,8	9,8		
4	450,03	450,03	0	0		



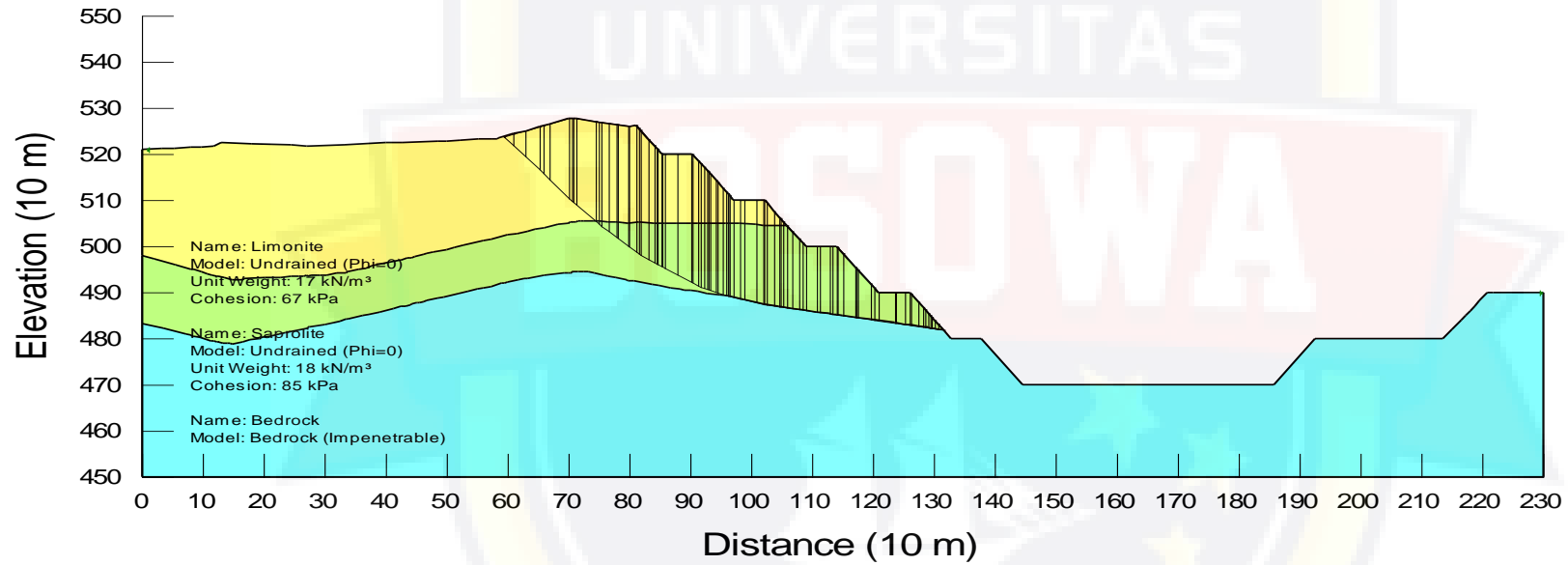
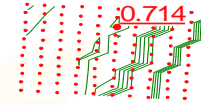
tampilan section A – A'



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W<sup>®</sup> 2007

Gambar 5.1 Tampilan model Section A - A'

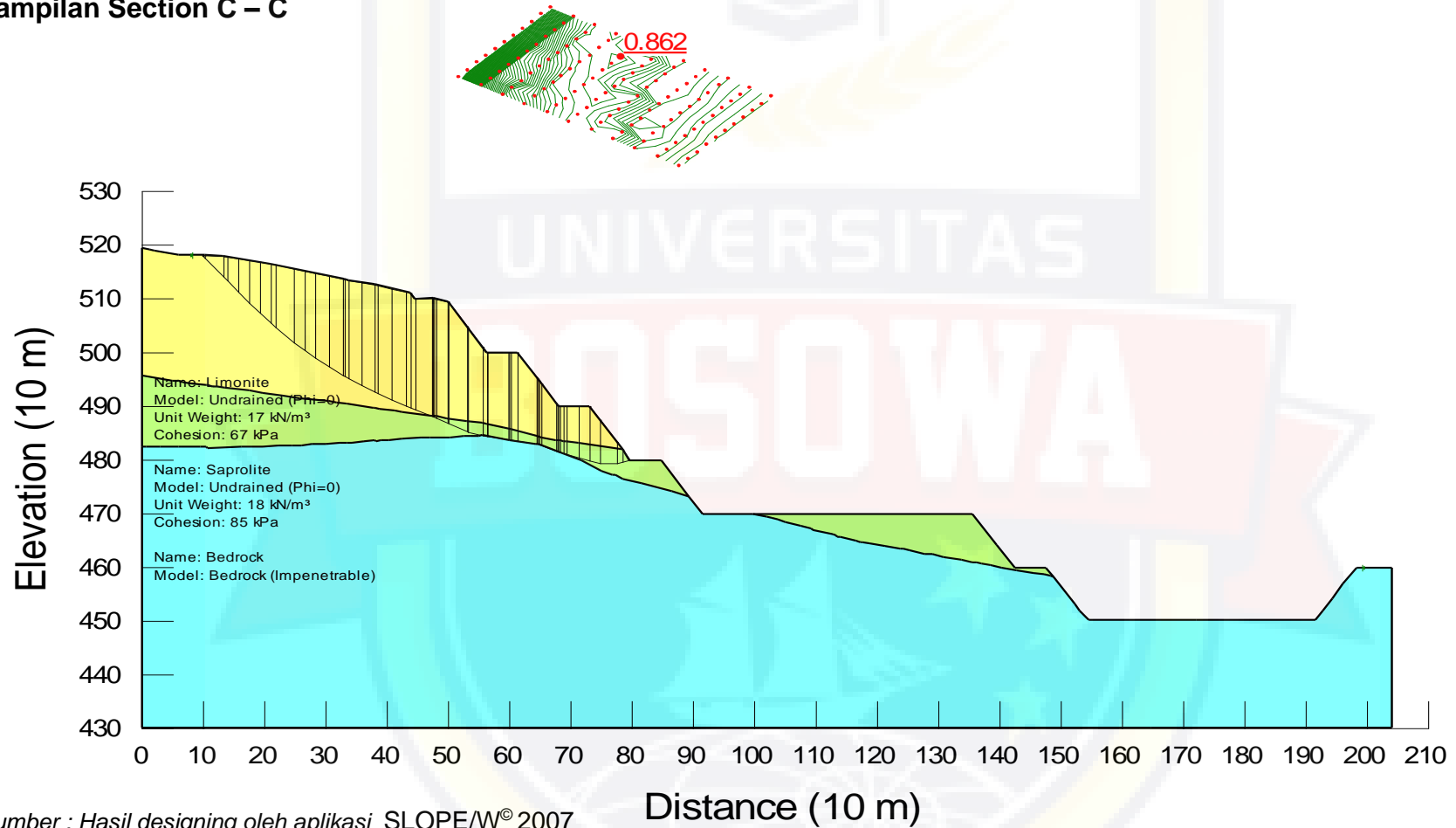
- **Tampilan Section B – B'**



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W<sup>®</sup> 2007

**Gambar 4.4.2 Tampilan Section B-B**

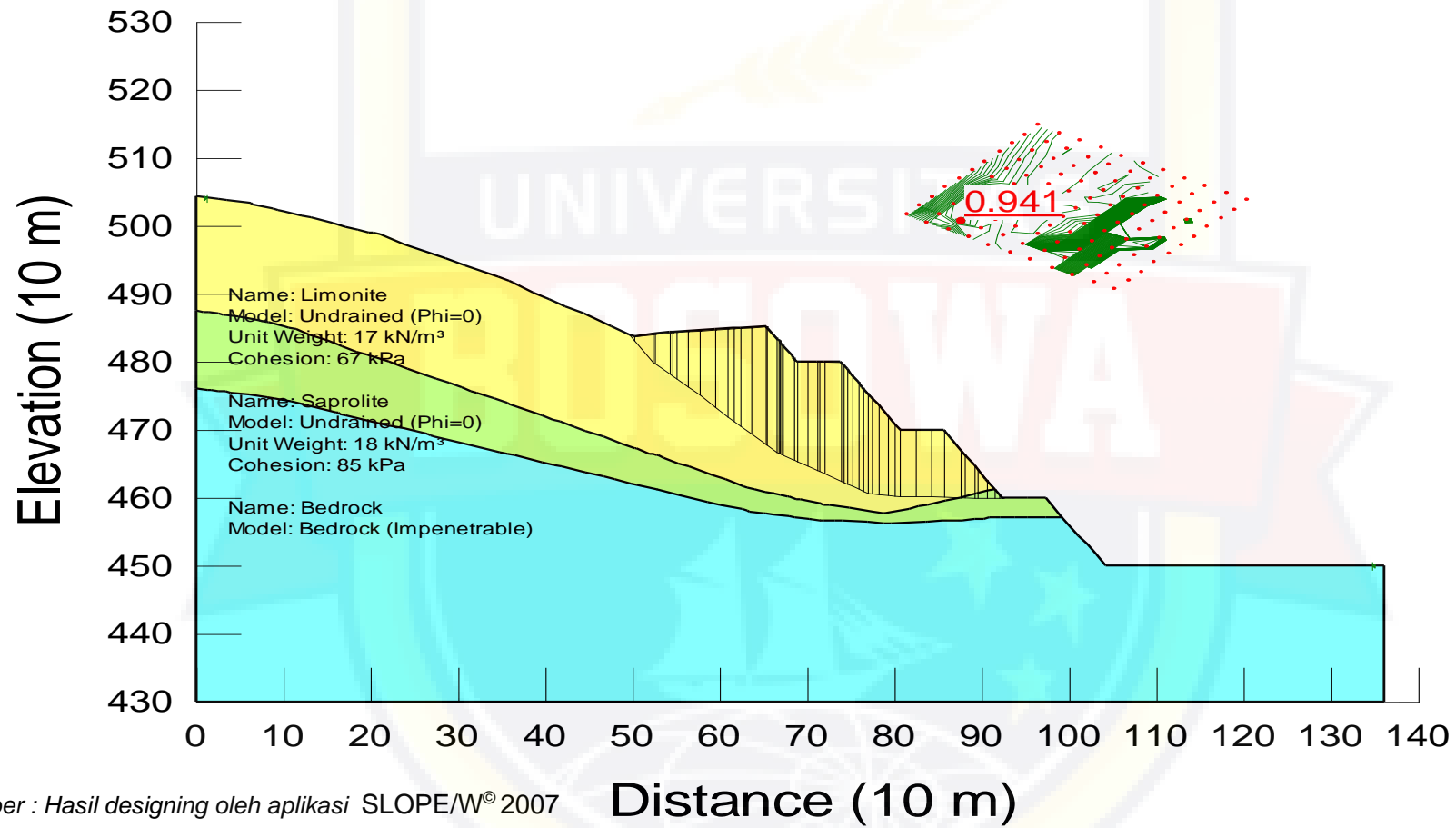
### Tampilan Section C – C



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W® 2007

Gambar 4.4.3 Tampilan Section C – C'

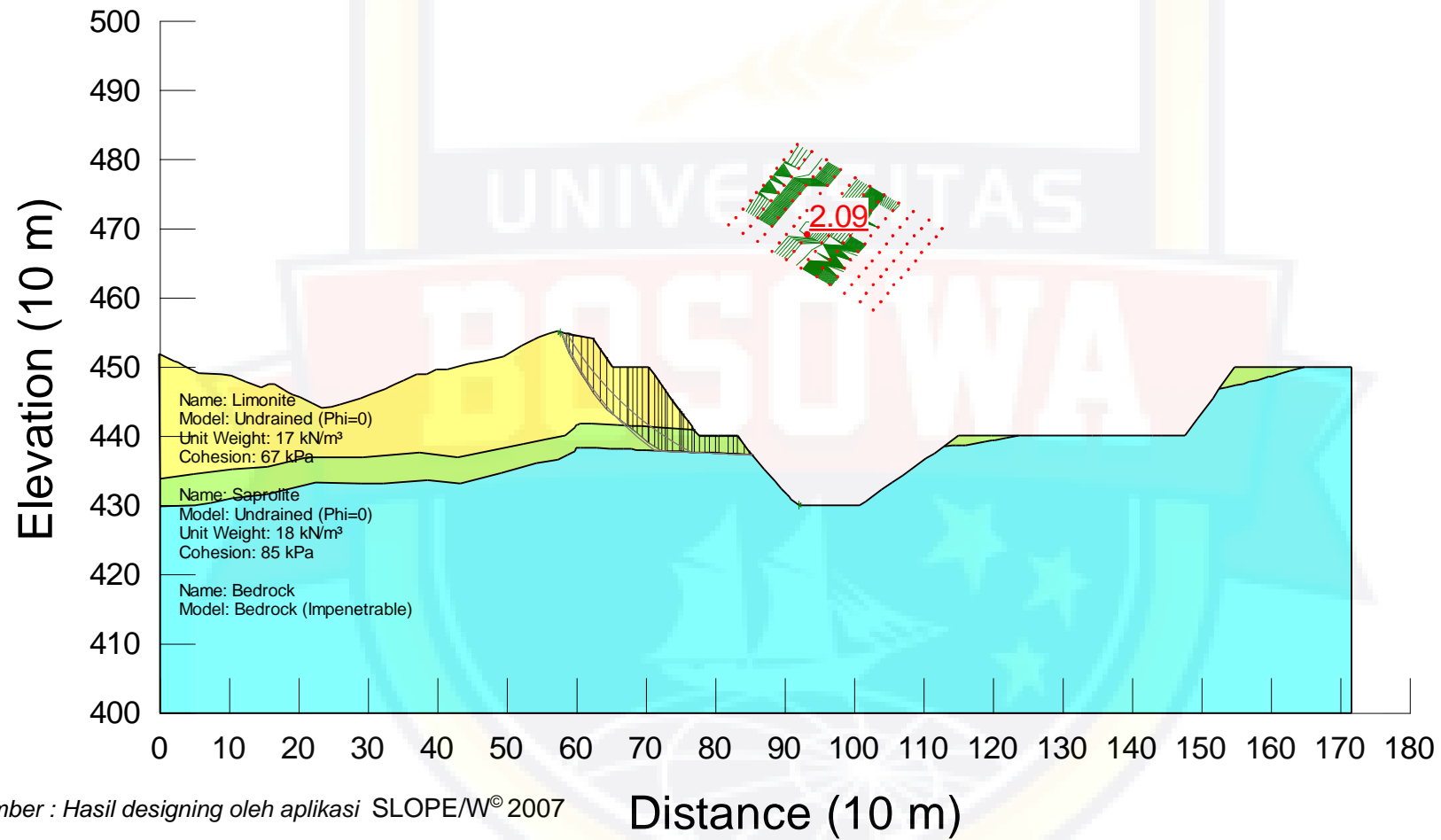
Tampilan Section D – D'



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W<sup>®</sup> 2007

Gambar 4.4.4 Tampilan Section D – D'

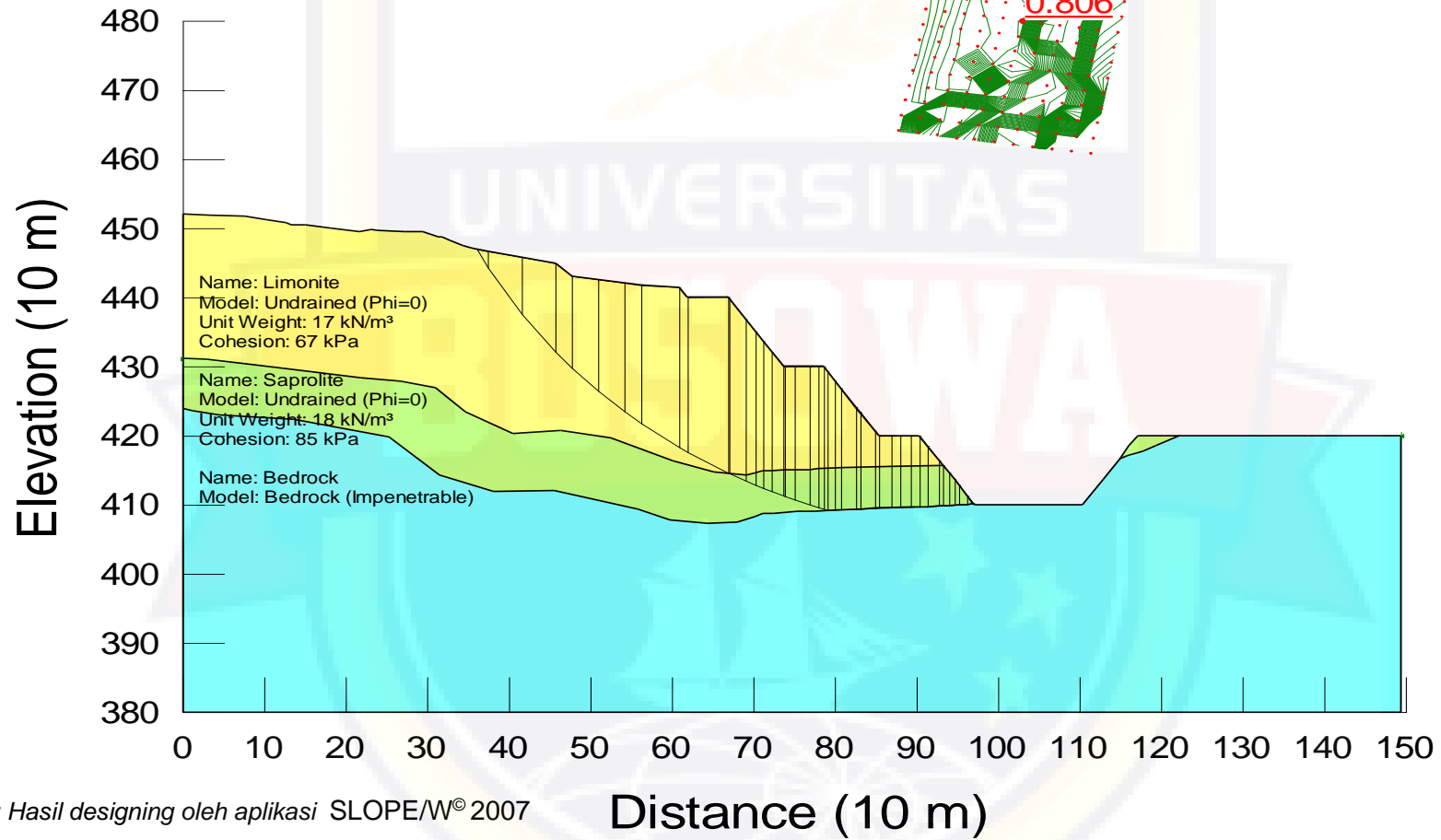
- **Tampilan Section E – E'**



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W® 2007

**Gambar 4.4.5 Tampilan Section E – E'**

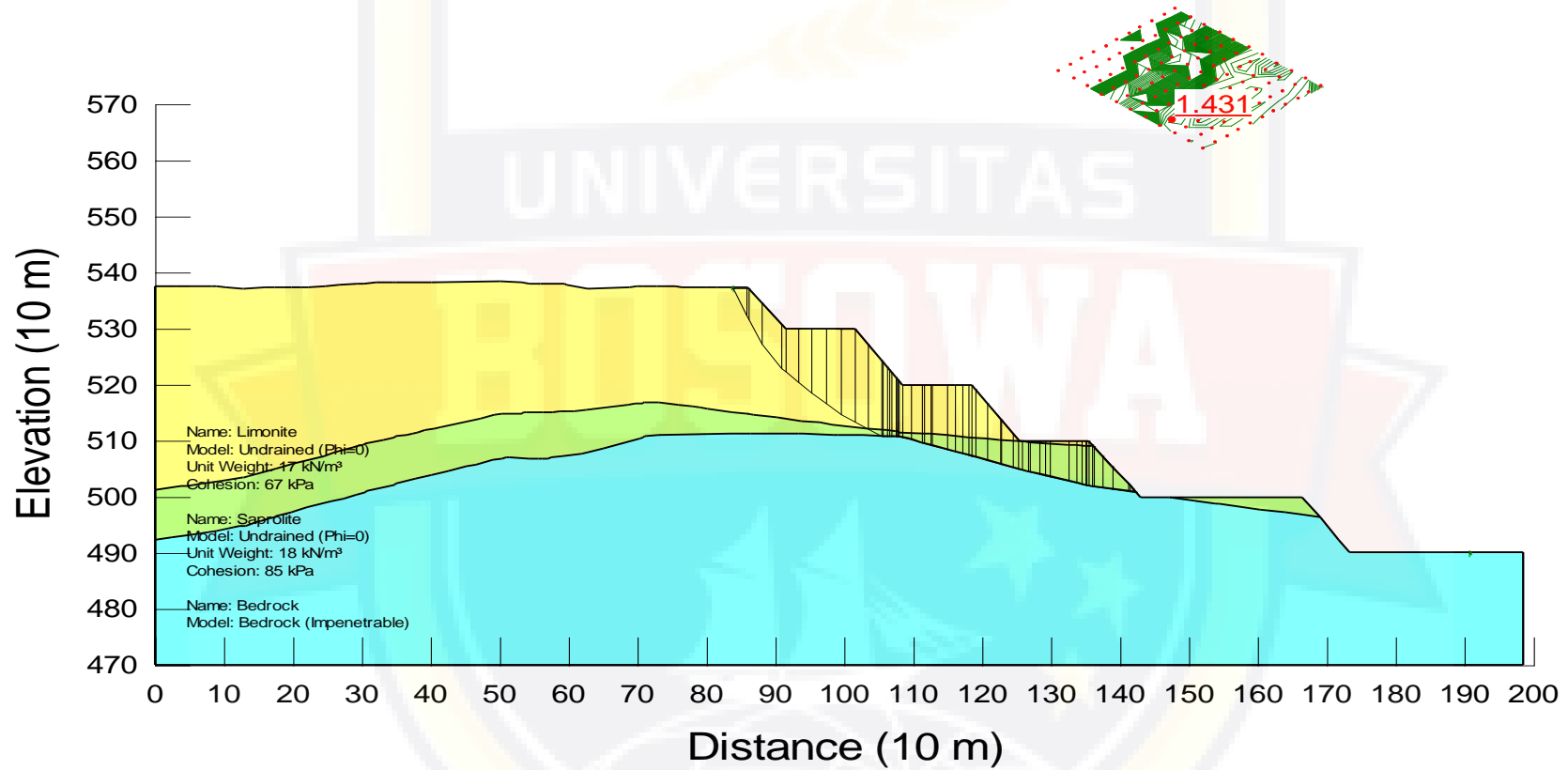
- **Tampilan Section F – F'**



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W® 2007

Gambar 4.4.6 Tampilan Section F – F

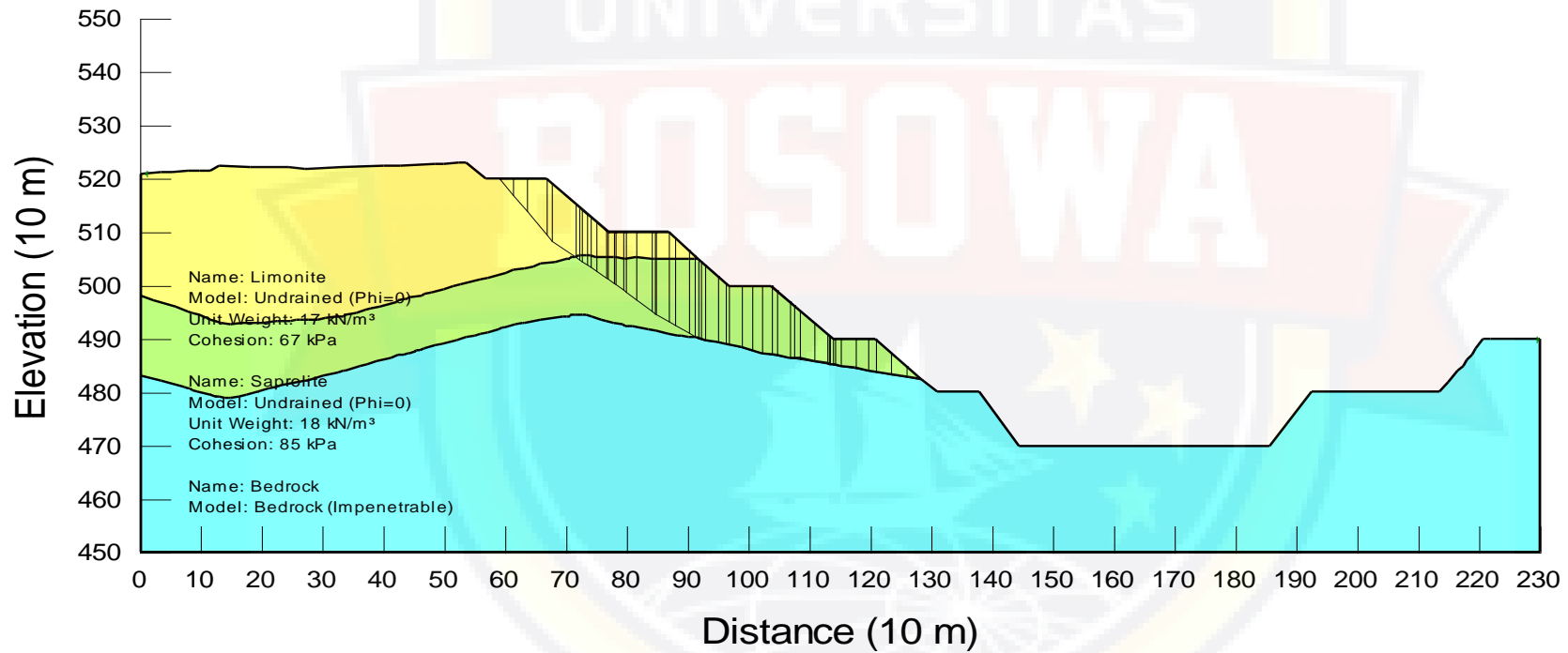
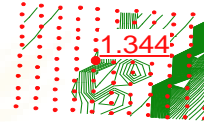
#### 4.6.1 Section A – A' Redesigning



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W® 2007

Gambar 4.5.1 Tampilan Redesigning Section A – A'

#### 4.6.2 Section B – B' Redesigning

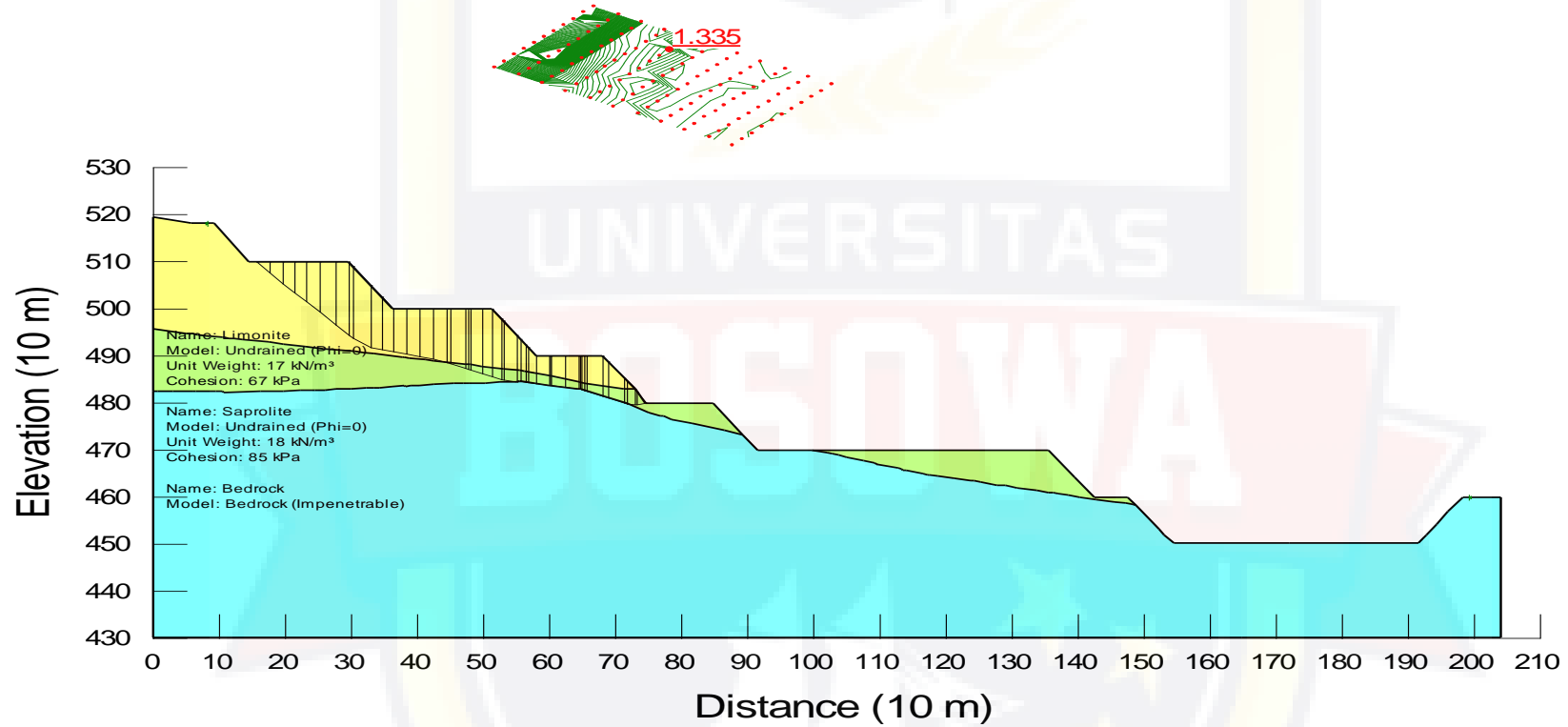


Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W® 2007

Gambar 4.5.2 Tampilan Redesigning Section B – B'

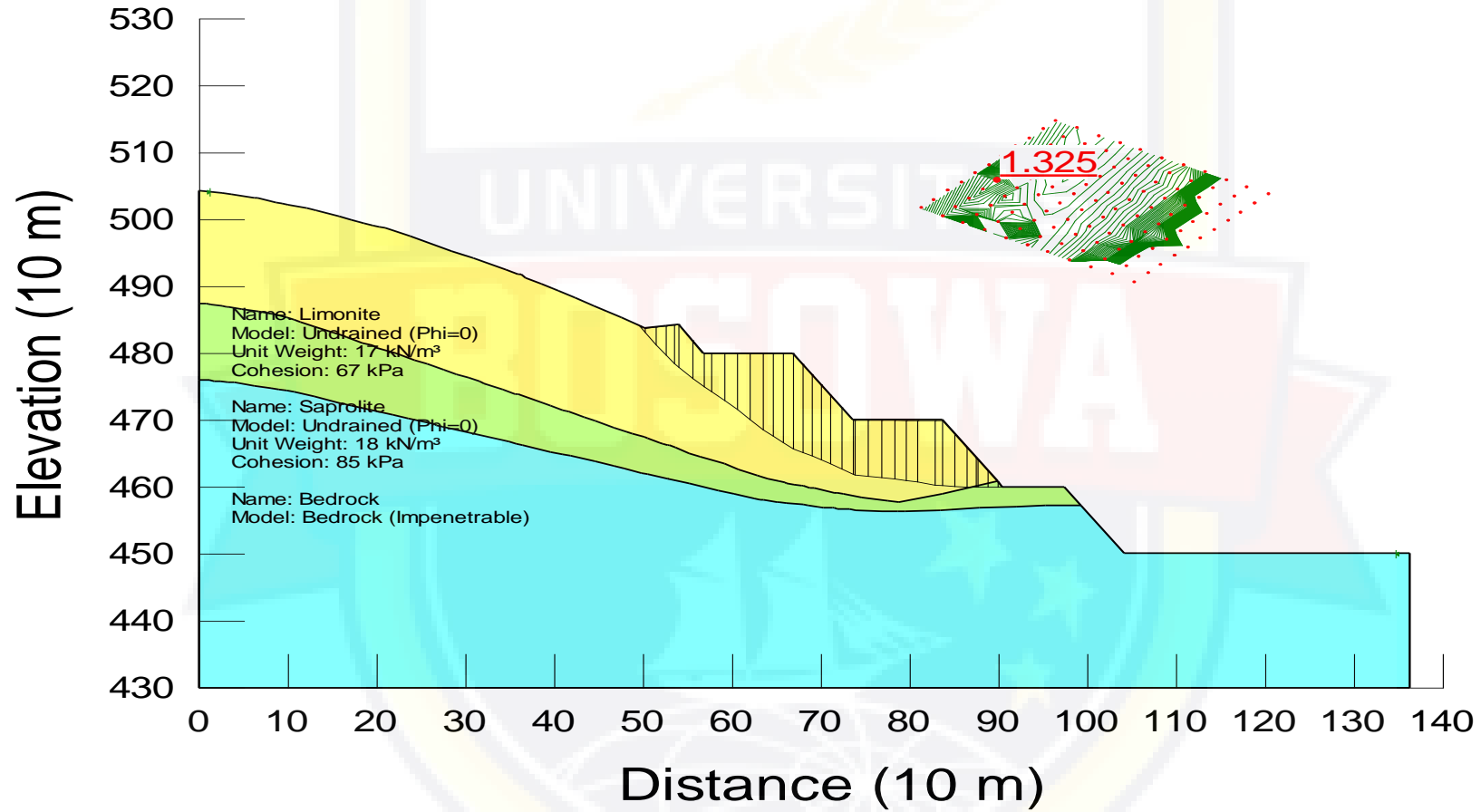


### 4.6.3 Section C – C' Redesigning



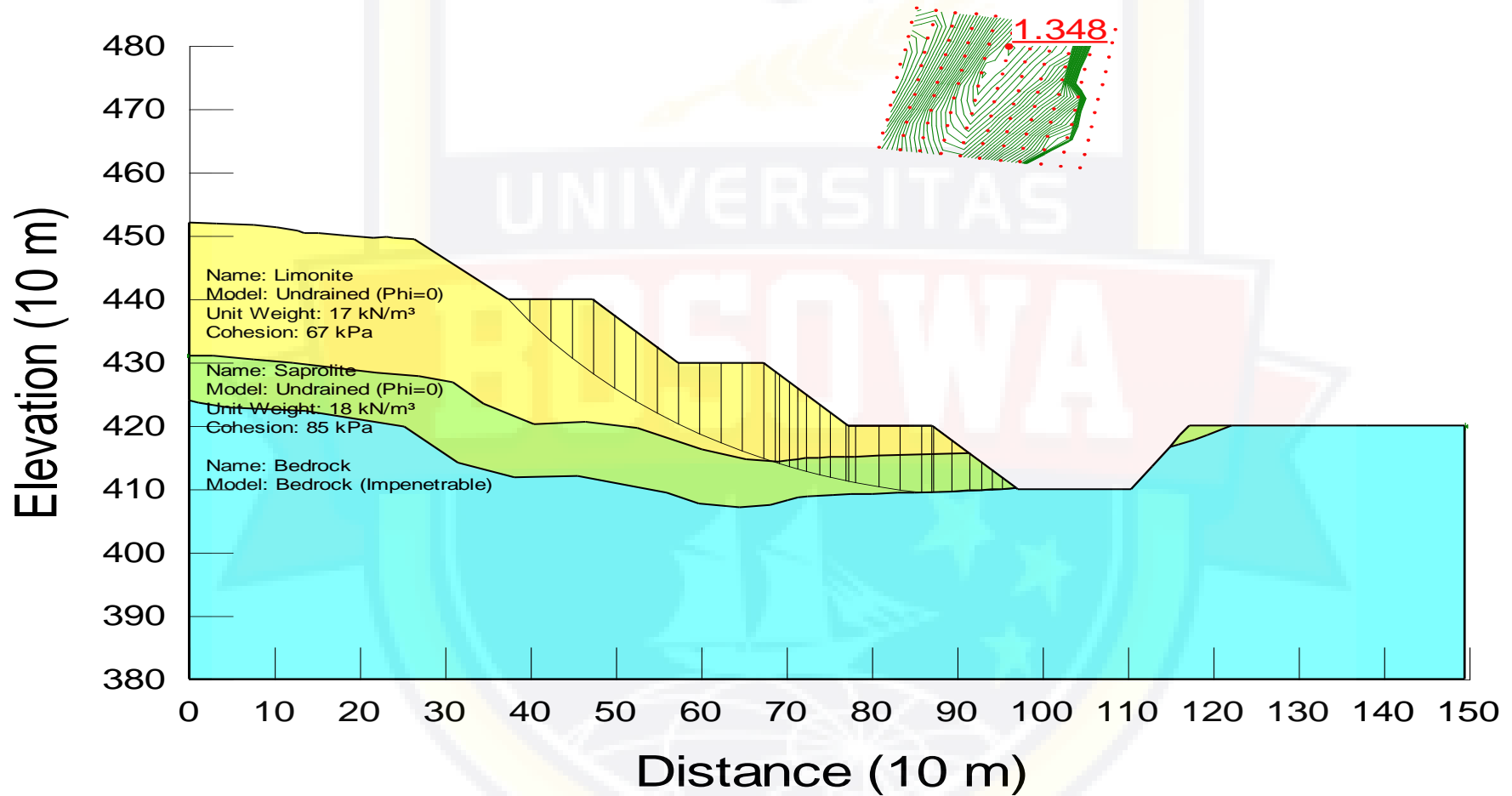
Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W<sup>®</sup> 2007 **Gambar 4.5.3 Tampilan Redesigning Section C – C'**

#### 4.6.4 Section D – D' Redesigning



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W<sup>®</sup> 2007 **Gambar 4.5.4 Tampilan Redesigning Section D – D'**

#### 4.6.5 Section F – F' Redesigning



Sumber : Hasil designing oleh aplikasi SLOPE/W® 2007 Gambar 4.5.5 Tampilan Redesigning Section F –

**D  
O  
K  
U  
M  
E  
N  
T  
A  
S  
I**





**Area Ferari Block Sorowako**



**Area Disposal PT. Vale Indonesia Tbk., Sorowako**





**Alat Drilling untuk pengambilan sampel**



**Proses Drilling untuk pengambilan sampel**



**Proses Drilling untuk pengambilan sampel**



**Sampel SPT dan Sampel Coring**





**UDS (Undisturbed Sample) di dalam shelby tube sample**



**Proses Analisis Sarinagan**





**Sampel pada saat di Watter Content**



**Pengujian Berat Jenis**



**Pengujian Batas Cair**



**Peguajuan Batas Plastis**





**Proses Pengujian Hidrometer**



**Alat Triaxial Test**



**Hasil Pengujian Triaxial**

**BOSUWA**

