

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN TERASERING  
DAN TANAMAN VETIVER MENGGUNAKAN PROGRAM GEOSTUDIO**

**(Studi Kasus Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon,  
Kabupaten Malang, Jawa Timur)**

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



**HARIS ANDRIANTO  
NIM. 175060101111005**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2021**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN TERASERING  
DAN TANAMAN VETIVER MENGGUNAKAN PROGRAM GEOSTUDIO**  
(Studi Kasus Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon,  
Kabupaten Malang, Jawa Timur)

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**HARIS ANDRIANTO**

**NIM. 175060101111005**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 11 Januari 2022

Dosen Pembimbing I

Dr. rer. nat. Ir. Arief Rachmansyah  
NIP. 19600926 198802 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Harimurti, MT.  
NIP. 19591111 198601 1 003

Mengetahui

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)  
NIP. 19810220 200604 1 002





**HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**

**JUDUL SKRIPSI :**

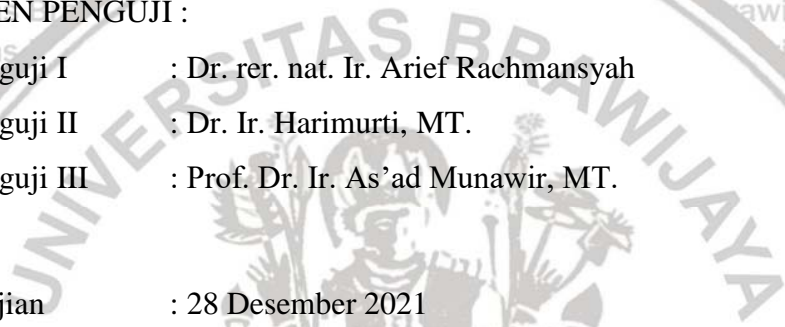
Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver Dengan Program Geostudio (Studi Kasus Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang, Jawa Timur)

Nama Mahasiswa : Haris Andrianto  
NIM : 175060101111005  
Program Studi : Teknik Sipil  
Minat : Geoteknik

**TIM DOSEN PENGUJI :**

Dosen Penguji I : Dr. rer. nat. Ir. Arief Rachmansyah  
Dosen Penguji II : Dr. Ir. Harimurti, MT.  
Dosen Penguji III : Prof. Dr. Ir. As'ad Munawir, MT.

Tanggal Ujian : 28 Desember 2021  
SK Penguji : 2974/UN10.F07/PP/2021





**PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Desember 2021



Haris Andrianto

NIM. 175060101111005





# TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 006/UN10.F07.11.11/PP/2022

Sertifikat ini diberikan kepada :

**HARIS ANDRIANTO**

Dengan Judul Skripsi :

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN TERASERING  
DAN TANAMAN VETIVER MENGGUNAKAN PROGRAM GEOSTUDIO**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 14 Januari 2022

Ketua Departemen Teknik Sipil

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil



I. Eko Andi Suryo, ST., MT., Ph.D  
NIP. 19761023 200604 1 002

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng [Prac]  
NIP. 19810220 200604 1 002



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena karunia dan rahmat-Nya, Penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver Dengan Program Geotudio (Studi Kasus Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang Jawa Timur)**” dengan baik dan lancar.

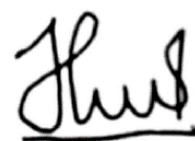
Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan terakhir untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan, dan kesehatan.
2. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan, motivasi serta memfasilitasi dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.
4. Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.), selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
5. Dr. rer. nat. Ir. Arief Rachmansyah selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan nasehat, motivasi, arahan, dan dukungan.
6. Dr. Ir. Harimurti, MT., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan nasehat, motivasi, arahan, dan dukungan.
7. Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya atas jasa-jasanya selama kami berada di bangku kuliah untuk menuntut ilmu.
8. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil FT-UB Angkatan 2017 yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Diki Wahyudi, Syarif Hidayatulloh, Riza Fhirnanda, dan Kevin Al Kautsar selaku rekan sesama tugas akhir yang telah berjuang bersama.
10. Kepada tunangan penulis Muktassatul Arifah yang senantiasa memberikan semangat, motivasi dan dukungan.
11. Dan kepada semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna, segala kritik dan saran akan Penulis jadikan masukan yang berarti untuk kedepannya.

Malang, 9 Desember 2021



Haris Andrianto



**DAFTAR ISI**

|  |          |
|--|----------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                      | i        |
| HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI .....  | ii       |
| PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI .....        | iii      |
| RIWAYAT HIDUP .....                          | iv       |
| KATA PENGANTAR .....                         | v        |
| DAFTAR ISI .....                             | vi       |
| DAFTAR GAMBAR .....                          | viii     |
| DAFTAR TABEL .....                           | x        |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                        | xi       |
| RINGKASAN .....                              | xii      |
| SUMMARY .....                                | xiii     |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>               | <b>1</b> |
| 1.1 Latar Belakang .....                     | 1        |
| 1.2 Identifikasi Masalah .....               | 3        |
| 1.3 Rumusan Masalah .....                    | 3        |
| 1.4 Batasan Masalah .....                    | 3        |
| 1.5 Maksud dan Tujuan Penelitian .....       | 3        |
| 1.6 Manfaat Penelitian .....                 | 4        |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>         | <b>5</b> |
| 2.1 Parameter Tanah .....                    | 5        |
| 2.1.1 Tanah Pasir .....                      | 6        |
| 2.1.2 Sudut Geser Dalam .....                | 8        |
| 2.1 Stabilitas Lereng .....                  | 8        |
| 2.2 Tipe Keruntuhan Lereng .....             | 9        |
| 2.3 Perbaikan Lereng .....                   | 10       |
| 2.3.1 Dinding Penahan Tanah .....            | 11       |
| 2.3.2 Sumuran .....                          | 11       |
| 2.3.3 Tiang Pancang .....                    | 12       |
| 2.3.4 Bronjong .....                         | 12       |
| 2.3.5 Perkuatan Geotekstil .....             | 12       |
| 2.3.6 Melandaikan Kemiringan Lereng .....    | 12       |
| 2.3.7 Terasering Tanah .....                 | 13       |
| 2.3.8 Vetiver System .....                   | 20       |
| 2.4 Perhitungan Faktor Keamanan Lereng ..... | 25       |
| 2.4.1 Metode Irisan Biasa (Fellenius) .....  | 28       |
| 2.4.2 Metode Bishop .....                    | 29       |
| 2.5 GeoStudio .....                          | 31       |





|                |  |    |
|----------------|--|----|
| BAB III        | METODOLOGI PENELITIAN .....  | 33 |
| 3.1            | Waktu dan Tempat .....   | 33 |
| 3.2            | Metode Penelitian .....  | 34 |
| 3.3            | Pengumpulan Data .....   | 34 |
| 3.3.1          | Data Primer .....  | 34 |
| 3.3.2          | Data Sekunder .....  | 34 |
| 3.4            | Tahap Penelitian .....   | 35 |
| 3.4.1          | Studi Literature .....   | 35 |
| 3.4.2          | Pengumpulan Data .....   | 35 |
| 3.5            | Pemodelan Lereng dengan Program Geoslope .....   | 35 |
| 3.5.1          | Pengaturan Awal .....  | 35 |
| 3.5.2          | Membuat Sketsa Gambar .....  | 37 |
| 3.5.3          | Menggambar Properties Tanah .....  | 38 |
| 3.5.4          | Menginput Material Tanah .....   | 38 |
| 3.5.5          | Mendefinisikan Materials ke Model Lereng .....   | 39 |
| 3.5.6          | Menggambar Entry and Exit Bidang Longsor .....   | 39 |
| 3.5.7          | Menampilkan Hasil Analisis .....   | 40 |
| 3.6            | Diagram Alir Penelitian .....  | 41 |
| BAB IV         | HASIL DAN PEMBAHASAN .....   | 42 |
| 4.1            | Karakteristik Tanah Asli .....   | 42 |
| 4.1.1          | Analisa Saringan .....   | 42 |
| 4.1.2          | Pengujian Kadar Air Tanah (Water Content) .....  | 43 |
| 4.1.3          | Pengujian Berat Isi Tanah (Density) .....  | 43 |
| 4.1.4          | Pengujian Berat Jenis Tanah (Specific Gravity) .....   | 44 |
| 4.1.5          | Pengujian Geser Langsung (Direct Shear) .....  | 45 |
| 4.2            | Jenis Tanah Berdasarkan U.S.C.S .....  | 45 |
| 4.3            | Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan .....   | 46 |
| 4.3.1          | Analisis Lereng Menggunakan Program Geoslope .....   | 47 |
| 4.3.2          | Analisis Lereng Menggunakan Metode Manual Tanpa Perkuatan .....                                    | 49 |
| 4.4            | Analisis Lereng Dengan Metode Perkuatan Tersering dan Tanaman Vetiver .....                        | 57 |
| 4.4.1          | Analisis Lereng Menggunakan Program Geoslope dengan Perkuatan Terasering .....                     | 58 |
| 4.4.2          | Analisis Lereng Menggunakan Program Geoslope dengan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver ..... | 59 |
| 4.4.3          | Analisis Lereng Menggunakan Metode Manual Dengan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver .....    | 62 |
| BAB V          | PENUTUP .....  | 70 |
| 5.1            | KESIMPULAN .....   | 70 |
| 5.2            | SARAN .....  | 71 |
| DAFTAR PUSTAKA | .....  | 72 |
| LAMPIRAN       | .....  | 73 |





DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kondisi lereng di lapangan ..... 2

Gambar 2.1 Hubungan antar fase tanah..... 5

Gambar 2.2 Tipe-tipe keruntuhan lereng..... 9

Gambar 2.3 Perbaikan stabilitas lereng metode geometri ..... 10

Gambar 2.4 Perbaikan stabilitas lereng ..... 10

Gambar 2.5 Perbaikan stabilitas lereng ..... 11

Gambar 2.6 Contoh terasering di perbukitan..... 13

Gambar 2.7 Teras datar ..... 15

Gambar 2.8 Teras kredit ..... 16

Gambar 2.9 Teras guludan..... 17

Gambar 2.10 Teras bangku..... 17

Gambar 2.11 Teras individu ..... 18

Gambar 2.12 Potongan melintang teras individu ..... 18

Gambar 2.13 Teras kebun..... 19

Gambar 2.14 Penanaman vetiver di lereng..... 21

Gambar 2.15 Tata letak penanaman rumput vetiver..... 22

Gambar 2.16 Grafik hubungan antara angka stabilitas dengan sudut kemiringan lereng ..... 27

Gambar 2.17 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan (*Fellenius*) ..... 28

Gambar 2.18 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan (*Bishop*) ..... 29

Gambar 2.19 Tampilan *geoslope* ..... 31

Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian ..... 33

Gambar 3.2 Lokasi penelitian..... 33

Gambar 3.3 Jendela pengaturan kertas kerja ..... 36

Gambar 3.4 Jenis-jenis program..... 36

Gambar 3.5 Jendela pengaturan analisis..... 36

Gambar 3.6 Jendela pengaturan koordinat ..... 37

Gambar 3.7 Jendela penggambaran model lereng..... 37

Gambar 3.8 Jendela penggambaran lapisan tanah..... 38

Gambar 3.9 Jendela *Define Materials* ..... 38

Gambar 3.10 Jendela penggambaran material tanah ..... 39

Gambar 3.11 Jendela *entry and exit* ..... 39

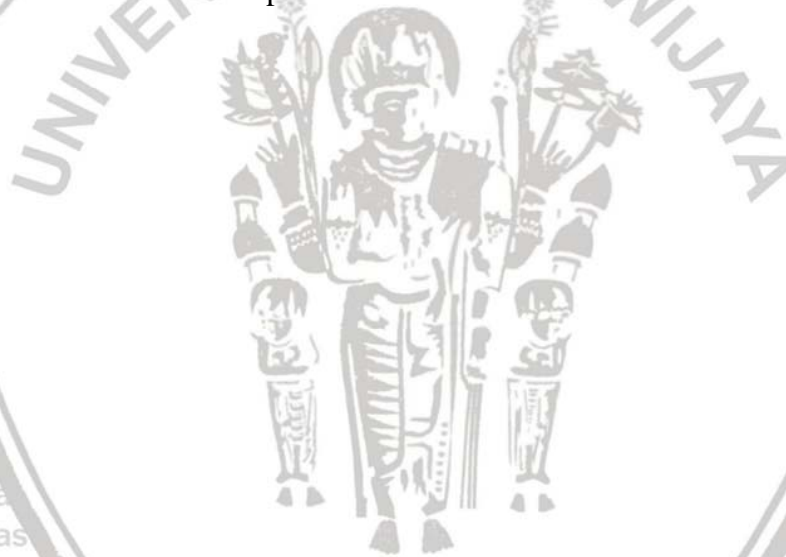
Gambar 3.12 Jendela hasil analisis..... 40

Gambar 4.1 Gradasi butiran..... 42





|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.2 Profil potongan melintang lereng .....   | 47 |
| Gambar 4.3 Output <i>geoslope</i> metode <i>fellenius</i> tanpa perkuatan .....                               | 47 |
| Gambar 4.4 Output <i>geoslope</i> metode <i>bishop</i> tanpa perkuatan .....                                  | 48 |
| Gambar 4.5 Hasil analisis lereng metode <i>fellenius</i> tanpa perkuatan .....                                | 49 |
| Gambar 4.6 Hasil analisis lereng metode <i>bishop</i> tanpa perkuatan .....                                   | 52 |
| Gambar 4.7 Grafik nilai FS lereng asli .....  | 56 |
| Gambar 4.8 Pemodelan lereng dengan terasering .....   | 58 |
| Gambar 4.9 Output <i>geoslope</i> metode <i>fellenius</i> dengan perkuatan terasering .....                   | 58 |
| Gambar 4.10 Output <i>geoslope</i> metode <i>bishop</i> dengan perkuatan terasering .....                     | 59 |
| Gambar 4.11 Grafik hubungan antara kohesi dan jumlah tunas pada minggu ketujuh .....                          | 60 |
| Gambar 4.12 Output <i>geoslope</i> metode <i>fellenius</i> dengan perkuatan terasering dan tanaman vetiver .. | 61 |
| Gambar 4.13 Output <i>geoslope</i> metode <i>bishop</i> dengan perkuatan terasering dan tanaman vetiver ..... | 62 |
| Gambar 4.14 Hasil analisis lereng metode <i>fellenius</i> dengan perkuatan .....                              | 62 |
| Gambar 4.15 Hasil analisis lereng metode <i>bishop</i> dengan perkuatan .....                                 | 65 |
| Gambar 4.16 Grafik nilai FS setelah perkuatan .....   | 69 |





DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Simbol dan penjelasan untuk tabel <i>unified</i> .....                 | 6  |
| Tabel 2.2 Sistem klasifikasi <i>unified</i> untuk tanah pasir.....               | 6  |
| Tabel 2.3 Nilai faktor keamanan untuk perencanaan lereng.....                    | 26 |
| Tabel 2.4 Hubungan nilai FS dan kemungkinan kelongsoran lereng.....              | 26 |
| Tabel 2.5 Kisaran faktor keamanan.....   | 26 |
| Tabel 4.1 Perhitungan kadar air tanah.....                                       | 43 |
| Tabel 4.2 Perhitungan berat isi tanah.....                                       | 44 |
| Tabel 4.3 Data material lereng asli.....   | 45 |
| Tabel 4.4 Perhitungan manual metode <i>fellenius</i> tanpa perkuatan.....        | 51 |
| Tabel 4.5 Perhitungan manual metode <i>bishop</i> tanpa perkuatan.....           | 54 |
| Tabel 4.6 Rekapitulasi perhitungan angka keamanan lereng asli.....               | 56 |
| Tabel 4.7 Data material lereng terasering.....                                   | 57 |
| Tabel 4.8 Data material lereng terasering dan tanaman vetiver.....               | 61 |
| Tabel 4.9 Perhitungan manual metode <i>fellenius</i> dengan perkuatan.....       | 64 |
| Tabel 4.10 Perhitungan manual metode <i>bishop</i> dengan perkuatan.....         | 67 |
| Tabel 4.11 Rekapitulasi perhitungan angka keamanan lereng setelah perkuatan..... | 69 |





DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisi Saringan (*Grainsize*) ..... 73

Lampiran 2 Perhitungan Kadar Air (*Water Content*) ..... 74

Lampiran 3 Perhitungan Berat Isi (*Density*) ..... 74

Lampiran 4 Perhitungan Berat Jenis (*Specific Gravity*) ..... 75

Lampiran 5 Analisis Uji Geser Langsung (*Direct Shear*) ..... 79





## RINGKASAN

**Haris Andrianto**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2021, *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver Dengan Program Geotudio (Studi Kasus Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang Jawa Timur)*, Dosen Pembimbing : Arief Rachmansyah dan Harimurti.

---

Tanah longsor adalah suatu gerakan tanah atau batuan yang menuruni lereng akibat terganggunya kestabilan atau bahan penyusun lereng tersebut. Longsor sering terjadi pada daerah pegunungan dengan curah hujan yang tinggi. Hal ini disebabkan berat air diatas lereng akan membebani tanah dibawahnya sehingga terjadi longsor.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis stabilitas lereng untuk mengetahui angka keamanan pada lereng yang akan ditinjau. Peningkatan stabilitas lereng dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan terasering. Terasering adalah metode perbaikan lereng dengan cara memperpendek panjang lereng dan memperkecil kemiringan lereng dengan sistem betingkat-tingkat. Lereng dibagi menjadi 3 lapisan dan memperkecil sudut dalamnya. Lapisan 1 mempunyai tinggi lereng 10 m, lapisan 2 mempunyai tinggi 10 m, dan lapisan 3 mempunyai tinggi 15 m. Setiap lapisan dibuat dengan sudut  $30^{\circ}$  sehingga bisa melandaikan kemiringan lereng dari sebelumnya. Pada penelitian ini, diasumsikan menggunakan tanaman vetiver untuk menambah perkuatan pada lereng. Tanaman vetiver ditanam pada setiap lapisan terasering. Tanaman vetiver cocok untuk stabilisasi lereng karena sistem perakaran yang banyak dan menembus sangat dalam ke lapisan tanah. Sistem akar yang tebal dapat mengikat tanah membentuk pagar hidup yang padat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis kelongsoran lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan. Mengetahui angka keamanan lereng pada setiap lapisan terasering. Membandingkan nilai angka keamanan lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan terasering dan tanaman vetiver menggunakan analisis program geostudio.

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan jenis keruntuhan lereng berupa keruntuhan pada lereng. Untuk analisis stabilitas lereng asli menggunakan perhitungan manual dengan metode *fellenius* dan *bishop* yang disederhanakan. Angka keamanan lereng tanpa perkuatan dengan metode *fellenius* adalah 0,315 sedangkan metode *bishop* yang disederhanakan didapatkan angka keamanannya sebesar 0,367. Untuk program *Geoslope*, angka keamanan dengan metode *fellenius* yaitu 0,325 sedangkan metode *bishop* sebesar 0,367. Untuk lereng dengan perkuatan terasering angka keamanannya adalah 0,810. Hal ini menunjukkan lereng belum aman sehingga ditambah perkuatan dengan tanaman vetiver. Angka keamanan setelah ditambah perkuatan tanaman vetiver meningkat yaitu sebesar 1,438. Sehingga perbandingan hasil analisis menggunakan metode manual dengan program *geoslope* yaitu sebesar 4,5%

**Kata kunci** : Longsor, Analisis Stabilitas Lereng, Perkuatan, Terasering, Tanaman Vetiver, *fellenius*, *bishop* yang disederhanakan.



## SUMMARY

**Haris Andrianto**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, October 2021, Analysis of Slope Stability Using Reinforcement Terraces and Vetiver Plants With Geotudio Program (Case Study Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Pujon District, Malang Regency, East Java), Supervisors : Arief Rachmansyah and Harimurti.

---

*Landslide is a movement of soil or rock that descends the slope due to disruption of the stability or materials that make up the slope. Landslides often occur in mountainous areas with high rainfall. This is because the weight of the water above the slope will burden the soil below it, causing landslides.*

*In this study, a slope stability analysis was carried out to determine the safety value on the slope to be reviewed. Increasing slope stability can be done in several ways, one of which is terracing. Terracing is a method of improving slopes by shortening the length of the slope and reducing the slope of the slope with a tiered system. The slope is divided into 3 layers and reduces the inner corner. Layer 1 has a slope height of 10 m, layer 2 has a height of 10 m, and layer 3 has a height of 15 m. Each layer is made at an angle of 30o so that it can slope the slope of the previous one. In this study, it is assumed to use vetiver plants to add reinforcement to the slopes. Vetiver plants are planted in each layer of the terraces. Vetiver plants are suitable for slope stabilization because of their extensive root system and penetrate very deeply into the soil layer. A thick root system can bind the soil to form a dense living fence.*

*The purpose of this study was to determine the type of unreinforced and unreinforced slope failure. Knowing the slope safety value for each layer of terracing. Comparing the value of slope safety without reinforcement and with reinforced terraces and vetiver plants using geostudio program analysis.*

*From the research that has been done, it is found that the type of slope failure is a collapse on the slope. For the analysis of the stability of the original slope using manual calculations with the simplified Felenius and Bishop method. The safety value of the unreinforced slope using the Felenius method is 0.315, while the simplified Bishop method has a safety rating of 0.367. For the Geoslope program, the safety number using the Felenius method is 0.325 while the Bishop method is 0.367. For slopes with reinforced terraces, the safety value is 0.810. This shows that the slope is not safe, so it is added to strengthen it with vetiver plants. The safety number after adding vetiver plant reinforcement increased by 1.438. So that the comparison of the results of the analysis using the manual method with the geoslope program is 4.5%*

**Keywords:** *Landslide, Slope Stability Analysis, Reinforcement, Terraces, Vetiver Plants, fellenius, simplified bishop.*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telah memberikan dampak yang besar dalam setiap bidang ilmu, salah satunya adalah bidang teknik sipil. Perencanaan suatu konstruksi harus dilakukan secara matang, baik konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Salah satu permasalahan yang akan dihadapi oleh perencana dan pelaksana konstruksi adalah cara menangani tanah yang buruk agar mampu menahan suatu konstruksi di atasnya. Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, tanah cenderung bergerak ke bawah karena adanya gaya gravitasi. Jika gaya gravitasi semakin besar dan tanah tidak mampu untuk menahannya maka akan terjadi longsor.

Analisis permukaan tanah yang miring ini, biasanya disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering dijumpai pada perencanaan konstruksi jalan di suatu pegunungan yang rawan terjadi longsor. Umumnya analisis ini digunakan untuk mengecek keamanan lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah. Penyebab kelongsoran lereng terdiri dari akibat pengaruh luar (*external effect*), yaitu perbuatan manusia yang mempertajam kemiringan tebing, curah hujan yang tinggi, erosi sungai, dan lain sebagainya. Selain itu juga ada pengaruh dari dalam (*internal effect*), yaitu longsor yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori di dalam lerengnya.

Lereng yang ditinjau berada di Jalan Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon, Malang. Daerah tersebut merupakan daerah pegunungan dengan kondisi tebing dan lereng yang curam yang dapat berpotensi menjadi longsor. Akses jalan tersebut merupakan akses jalan utama yang dilalui kendaraan dari jalan Malang – Kediri ataupun sebaliknya. Lereng yang berada di jalan tersebut mengalami ambles dan longsor pada beberapa bagian titik, hal ini disebabkan karena lereng yang terlalu curam dan ditambah dengan curah hujan yang tinggi. Dengan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan adanya upaya perkuatan pada lereng.





**Gambar 1.1.** Kondisi lereng di lapangan

Banyak metode perbaikan lereng yang bisa digunakan untuk menjadikan suatu lereng stabil terhadap tekanan tanah yaitu dinding penahan tanah, *geotekstil*, *soil nailing*, bronjong, tiang pancang, terasering, dan tanaman vetiver. Metode yang cocok untuk lokasi penelitian ini adalah dengan terasering dan tanaman vetiver. Terasering adalah bangunan konservasi tanah dan air secara mekanis yang dibuat untuk memperpendek panjang lereng dan memperkecil kemiringan lereng dengan jalan penggalian dan pengurangan tanah melintang lereng. Tujuan pembuatan terasering adalah untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan (*run off*) dan memperbesar resapan air, sehingga kehilangan tanah berkurang. Pada lereng ini digunakan perkuatan tambahan yaitu dengan tanaman vetiver. Tanaman vetiver memiliki sistem perakaran yang banyak dan menembus sangat dalam ke dalam permukaan tanah. Sistem akar yang tebal dapat mengikat tanah dan membentuk pagar hidup apabila ditanam berdekatan.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan menggunakan perhitungan manual dan perangkat lunak SLOPE/W untuk mempermudah dan mempersingkat waktu yang diperlukan. Berdasarkan hal tersebut, maka penulis memilih untuk melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan terasering dan tanaman vetiver dengan program geotudio di Jalan Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang.



## 1.2 Identifikasi Masalah

Kelongsoran lereng tebing dipengaruhi oleh banyak faktor, umumnya disebabkan oleh faktor pendorong dan faktor pemicu. Apalagi pada saat musim penghujan yang bisa menambah kemungkinan akan terjadinya kelongsoran pada lereng. Hal itu terjadi akibat meningkatnya tekanan air pori pada lereng sehingga terjadi penurunan kuat geser tanah dan sudut geser dalam. Pada kondisi tersebut terlihat tanah mengalami pergerakan sehingga membuat lereng menjadi longsor. Untuk itu perlu dilakukan analisis stabilitas lereng untuk menentukan kekuatan geser yang terbangun sepanjang permukaan keruntuhan dan membedakannya dengan kekuatan geser tanah.

## 1.3 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah yang diambil dalam penyusunan skripsi ini antara lain :

1. Bagaimana stabilitas lereng sebelum ada perkuatan?
2. Bagaimana stabilitas lereng setelah diperkuat dengan terasering dan tanaman vetiver?
3. Bagaimana perbandingan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual dengan program *geoslope*?

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka penyusunan skripsi ini dibatasi permasalahannya, antara lain :

1. Data tanah diperoleh dari sampel tanah yang ada di lapangan
2. Model berupa lereng miring dengan dibuat terasering
3. Analisis kondisi struktur lereng menggunakan bantuan perangkat lunak *Geoslope* (*slope/w*) dan perhitungan manual

## 1.5 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penyusunan skripsi ini adalah untuk menganalisis lereng di jalan penghubung Malang-Kediri yang mengalami keruntuhan serta merencanakan struktur perkuatan lereng yaitu terasering.

Tujuan dari penyusunan skripsi antara lain :

1. Untuk mengetahui stabilitas lereng sebelum ada perkuatan
2. Untuk mengetahui kondisi stabilitas lereng yang diperkuat dengan menggunakan terasering dan tanaman vetiver
3. Untuk mengetahui perbandingan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual dengan program *geoslope*



## 1.6 Manfaat Penelitian

Dalam penyusunan skripsi ini, diharapkan dapat menambah pengetahuan penulis yang berkaitan dengan hal-hal sebagai berikut :

1. Dapat menambah pengetahuan tentang stabilitas lereng dan alternatif perbaikannya
2. Dapat menganalisis kondisi stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak (*software*) / *Geoslope (slope/w)*.
3. Dapat menghemat waktu dalam menyelesaikan permasalahan dalam bidang geoteknik dengan memanfaatkan program *geoslope (slope/w)*
4. Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dan referensi untuk perancangan ulang struktur lereng yang diperkuat dengan terasering untuk kasus yang sama pada tempat berbeda.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





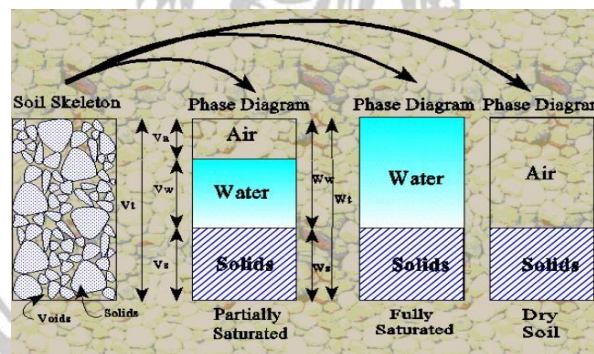
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Parameter Tanah

Dalam mendesain bangunan geoteknik, diperlukan data tanah yang dapat menunjukkan kondisi tanah di lapangan. Data yang diperlukan dapat berupa data pengujian di laboratorium dan data hasil pengujian di lapangan. Pengambilan sampel tanah dan pengujian laboratorium tidak dilakukan pada seluruh lokasi melainkan di tempat-tempat yang memungkinkan dianggap mewakili lokasi sebenarnya.

Kelengkapan data dalam penyelidikan lapangan, menentukan akurasi dalam perencanaan, tetapi tidak semua data dapat diperoleh dengan lengkap. Hal terkait dengan masalah biaya pengambilan sampel atau kendala non teknis yang terjadi di lapangan. Oleh karena itu, perencana harus dapat mengambil asumsi yang dapat dipertanggung jawabkan dengan nilai kesalahan yang minimal. Asumsi tersebut diperoleh dari korelasi empiris yang telah dilakukan oleh ahli-ahli geoteknik yang mengacu pada pemahaman mekanika tanah yang baik.

Secara umum elemen tanah mempunyai 3 (tiga) fase, yaitu butiran padat, air dan udara. Pemahaman mengenai komposisi tanah diperlukan untuk mengambil keputusan dalam memperoleh parameter tanah. Berdasarkan ketiga fase tersebut, diperoleh hubungan antara volume dengan berat seperti terlihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Hubungan antar fase tanah





### 2.1.1 Tanah Pasir

Tanah pasir adalah salah satu jenis tanah yang terbentuk dari butiran kasar dan kerikil yang berasal dari pelapukan batuan beku dan sedimen. “Pasir dan kerikil adalah agregat yang tak saling koheren tersusun oleh fragmen angular dan subangular yang berasal dari mineral atau batuan yang murni atau belum mengalami perubahan sedikitpun” (Terzaghi & Peck, 1993:5).

Tanah pasir adalah salah satu jenis tanah yang memiliki butiran yang tak saling terhubung. Ketika dalam keadaan kering dan saling melekat pada keadaan terkena air akibat gaya adhesi antara air dan pasir. Tanah pasir adalah tanah yang tak saling terikat dan tidak memiliki garis batas antara keadaan non-plastis dan plastisnya, karena tanah ini non-plastis dalam semua nilai kadar air. Namun dalam keadaan khusus, tanah yang tak saling terikat dapat mengental dalam keadaan kadar air tinggi. Tarikan antar partikel tanah memiliki kondisi kohesi semu (*apparent cohesion*) karena tarikan antar partikel akan hilang saat kondisi tanah tidak memiliki kadar air sama sekali atau keadaan jenuh. (Syarifudin, 2012).

Pada tahun 1942 Casagrande memperkenalkan sistem klasifikasi tanah *unified* (U.S.C.S) yang telah diakui secara internasional. Sistem klasifikasi tanah tersebut telah dipakai untuk berbagai macam pekerjaan pondasi bangunan seperti pada pembangunan bendungan atau bangunan lain yang serupa. Seiring berjalannya waktu, teori tersebut dipakai dalam mendesain pekerjaan tanah sebagai jalan dan juga lapangan udara. Sistem *unified* merupakan hasil dari pengujian pada laboratorium sehingga bersifat mutlak. Kegiatan pengujian tersebut meliputi analisa batas-batas *atterberg* tanah serta analisa butiran tanah. Tabel *unified* (U.S.C.S) ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Pada sistem *unified* (U.S.C.S) tanah dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar sebagai berikut.

- a. Tanah berbutir kasar : Tanah yang lolos ayakan No. 200 dengan berat totalnya kurang dari 50% .
- b. Tanah berbutir halus : Tanah yang lolos ayakan No. 200 dengan berat totalnya lebih dari 50% .



c. Tanah organik

Untuk tanah berbutir kasar menggunakan simbol huruf berikut :

Tabel 2.1 Simbol dan penjelasan untuk tabel *unified*

| Huruf pertama              | Huruf Kedua                              |
|----------------------------|--|
| Pasir ( <i>Sand</i> )      | -Lanau ( <i>Silt</i> )                   |
| -Kerikil ( <i>Gravel</i> ) | -Lempung ( <i>Clay</i> )                 |
|                            | -Bergradasi baik ( <i>Well Graded</i> )  |
|                            | -Bergradasi jelek ( <i>Poor Graded</i> ) |

Tabel 2.2 Sistem klasifikasi *unified* untuk pasir

| PROSEDUR KLASIFIKASI  |   | SYMBOL               | NAMA JENIS   | IDENTIFIKASI LAB  |   |
|---|---|----------------------|--|---|---|
| Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% tertahan pada ayakan no. 200 (Φ 0,075 mm)) | Kerikil (lebih dari 50 % tertahan pada ayakan no. 4 (Φ4,75 mm)) | Kerikil Murni        | GW<br>Kerikil bergradasi baik, kerikil bercampur sedikit pasir tanpa ada butiran halus   | CU = D60/D10 = 1-4<br>CC= D30 <sup>2</sup> /D10=1-3                   |   |
|   |   |                      | GP<br>Kerikil bergradasi buruk, kerikil bercampur pasir mengandung sedikit butiran halus | Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk GW                           |   |
|   | Kerikil Berbutir Halus  | GM                   | Kerikil berlanau, kerikil mengandung pasir-lanau bergradasi buruk                        | IP < 7  |   |
|   |   | GC                   | Kerikil berlempung, kerikil mengandung pasir dan lempung bergradasi buruk                | IP > 7  |   |
|   | Kerikil (lebih dari 50 % lolos pada ayakan no. 4 (Φ4,75 mm))    | Pasir bersih         | SW   | Pasir bergradasi baik, pasir dengan sedikit pasir tanpa butiran halus | CU = D60/D10 ≥ 6<br>CC= D30 <sup>2</sup> /D10=1-3 |
|   |   |                      | SP   | Pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus                  | Tidak memenuhi syarat CU maupun CC untuk SW       |
|   |   | Pasir berbutir halus | SM   | Pasir berlanau, pasir bercampur lanau lanau bergradasi buruk          | IP > 7 serta<br>PI, LL < 2,25                     |
|   |   |                      | SC   | Pasir berlempung, pasir bercampur lempung bergradasi buruk            | IP > 7,<br>PI, LL > 2,25                          |





### 2.1.2 Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam.

Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear Test*.

### 2.1 Stabilitas Lereng

Sebuah permukaan tanah yang terbuka yang berdiri membentuk sudut tertentu terhadap horisontal disebut sebuah lereng. Lereng dapat terjadi secara ilmiah atau buatan manusia. Jika tanah tidak horisontal, suatu komponen gravitasi akan cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi cukup besar maka kegagalan lereng akan terjadi, yakni massa tanah dapat meluncur jatuh. Gaya yang meluncurkan mempengaruhi ketahanan dari kuat geser tanah sepanjang permukaan keruntuhan.

Seorang *engineer* sering diminta untuk membuat perhitungan untuk memeriksa keamanan dari lereng alamiah, lereng galian, dan lereng timbunan. Pemeriksaan ini termasuk menentukan kekuatan geser yang terbangun sepanjang permukaan keruntuhan dan membedakannya dengan kekuatan geser tanah. Proses ini disebut analisis stabilitas lereng. Permukaan keruntuhan itu biasanya adalah permukaan kritis yang memiliki faktor keamanan minimum.

Analisis stabilitas lereng adalah hal yang sulit untuk dilakukan. Evaluasi variabel-variabel seperti stratifikasi tanah dan parameter-parameter tanahnya bisa menjadi suatu pekerjaan yang berat. Rembesan pada lereng dan pemilihan suatu permukaan gelincir potensial menambah kompleksitas dari permasalahan ini.

Pengertian tanah longsor sebagai respon dari pada yang merupakan faktor utama dalam proses geomorfologi akan terjadi di mana saja di atas permukaan bumi, terutama permukaan relief pegunungan yang berlereng terjal, maupun permukaan lereng bawah laut. Tanah longsor didefinisikan sebagai tanah batuan atau tanah di atas lereng permukaan yang bergerak ke arah bawah lereng bumi disebabkan oleh gravitasi.

Di daerah yang beriklim tropis termasuk Indonesia, air hujan yang jatuh ke atas permukaan tanah yang memicu gerakan material yang ada di atas permukaan lereng. Material berupa tanah atau campuran tanah dan rombakan batuan akan bergerak ke arah bawah lereng dengan cara air meresap kedalam celah pori batuan atau tanah, sehingga menambah beban material permukaan lereng dan menekan material tanah dan bongkah-



bongkah perombakan batuan, selanjutnya memicu lepas dan Bergeraknya material bersama-sama dengan air.

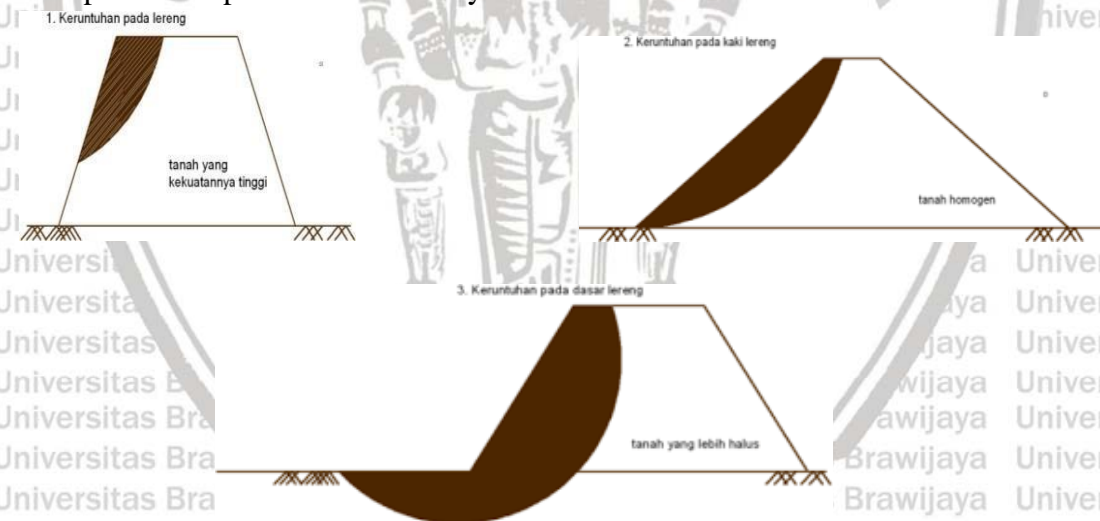
## 2.2 Tipe Keruntuhan Lereng

Penyelidikan yang pernah diadakan di Swedia menegaskan bahwa bidang keruntuhan lereng tanah menyerupai bentuk busur lingkaran Tipe keruntuhan lereng yang normal terjadi dapat dibagi atas :

1. Keruntuhan pada lereng (*slope failure*)
2. Keruntuhan pada kaki lereng (*toe failure*)
3. Keruntuhan dibawah kaki lereng (*base failure*)

Keruntuhan pada lereng (*slope failure*) terjadi karena sudut lereng sangat besar dan tanah yang dekat dengan kaki lereng tersebut memiliki kekuatan yang tinggi.

Keruntuhan pada kaki lereng terjadi ketika tanah yang berada di atas dan di bawah kaki lereng bersifat homogen. Sedangkan keruntuhan dasar lereng terutama diakibatkan sudut lereng yang kecil dan tanah yang berada di bawah kaki lereng lebih halus dan lebih plastis daripada tanah di atasnya.



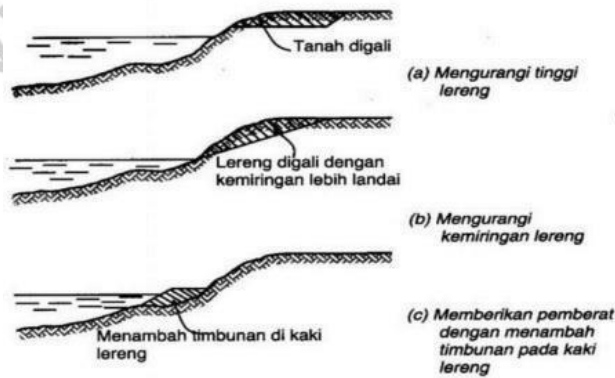
Gambar 2.2 Tipe-tipe keruntuhan pada lereng



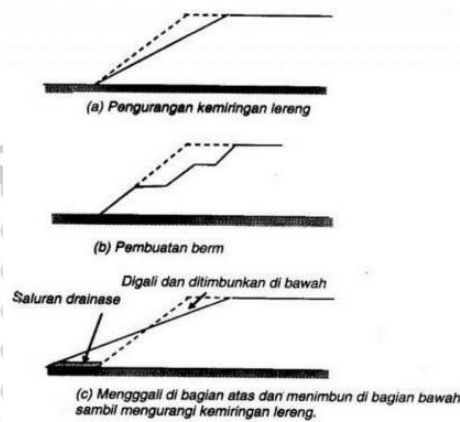
### 2.3 Perbaikan Lereng

Banyak cara dapat dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, antara lain: pemotongan lereng, pembuatan berm, menurunkan muka air tanah, pemasangan tiang-tiang dan lain-lainnya (Hardiyatmo, 2003:391). Menurut Hardiyatmo metode stabilitas lereng dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu:

1. Metode geometri, yaitu perbaikan lereng dengan cara merubah geometri lereng. Contoh pada gambar 2.3 dan gambar 2.4
2. Metode hidrologi, yaitu dengan cara menurunkan muka air tanah atau menurunkan kadar air tanah pada lereng. Contoh pada gambar 2.5 (b)
3. Metode-metode kimia dan mekanis, dengan cara grouting semen untuk menambah kuat geser tanah atau memasang bahan tertentu (tiang) di dalam tanah. Contoh pada gambar 2.5 (a)

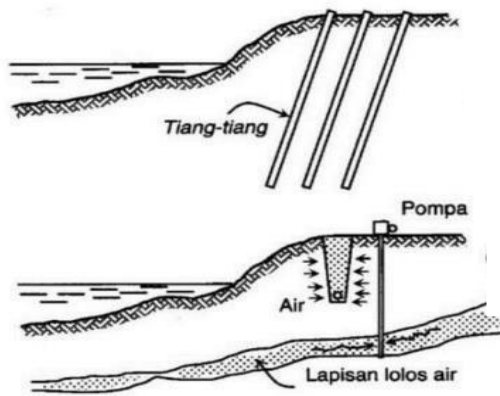


**Gambar 2.3** Perbaikan Stabilitas Lereng Metode Geometri  
(Sumber : Hardiyatmo, HC.2003 Mekanika Tanah II)



**Gambar 2.4** Perbaikan Stabilitas Lereng  
(Sumber: Hardiyatmo, HC.2003 Mekanika Tanah II)





a) Perbaikan dengan pemasangan perkuatan tiang/pile

b) Perbaikan dengan menurunkan muka air tanah

**Gambar 2.5** Perbaikan Stabilitas Lereng (Sumber: Hardiyatmo, HC.2003 Mekanika Tanah II)

Penanggulangan kelongsoran lereng sangat penting dilakukan, agar jika belum terjadi dapat ditanggulangi sedini mungkin sebelum adanya korban atau kerugian, ataupun kelongsoran sudah terjadi dapat diperbaiki dan meminimalisir kerugian yang terjadi kembali. Berikut ini metode penanggulangan kelongsoran yang dapat dilakukan.

### 2.3.1 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah dibuat dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Keberhasilan dinding penahan tanah tergantung pada kemampuan menahan geseran dan stabilitas terhadap guling. Selain untuk menahan gerakan tanah, juga berfungsi melindungi bangunan dari runtuh. Dinding penahan tanah wajib dipasang drainase dan pipa air, sehingga tidak terjadi tekanan hidrostatik yang besar.

### 2.3.2 Sumuran

Gorong-gorong beton pracetak dimasukkan ke dalam sumuran yang digali dengan kedalaman melebihi bidang longsor. Kemudian gorong-gorong diisi dengan beton tumbuk atau material berbutir tergantung dari kekuatan geser yang dikehendaki. Pelaksanaan penanggulangan tersebut bisa dilakukan sampai dengan kedalaman lereng 15 meter.



### 2.3.3 Tiang Pancang

Pemasangan tiang pancang cocok digunakan untuk mencegah atau menanggulangi kelongsoran yang tidak terlalu dalam, namun tidak cocok untuk jenis tanah yang sensitif karena getaran yang terjadi pada saat pemancangan dapat menurunkan massa tanah. Tingkat efektifitasnya tergantung pada kemampuan menembus lapisan tanah.

### 2.3.4 Bronjong

Bronjong adalah bangunan berupa anyaman kawat yang diisi dengan batu belah. Keuntungan penggunaan bronjong adalah sebagai berikut:

- a. Bronjong memiliki sifat yang tidak kaku, sehingga dapat menahan gerak vertikal maupun horisontal,
- b. Jika bronjong runtuh, masih dapat digunakan lagi,
- c. Bronjong bersifat lulus air sehingga tidak menyebabkan terjadinya genangan air permukaan,
- d. Pelaksanaan pemasangannya mudah,
- e. Material mudah didapat,
- f. Biaya lebih ekonomis.

### 2.3.5 Perkuatan Geotekstil

Geotekstil merupakan teknik pelapisan tanah untuk mencegah terjadinya longsor dan amblesan tanah. Bahan geotekstil memiliki kuat tarik yang tinggi, khususnya jenis geotekstil *woven*. Biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan geotekstil ini 40% lebih murah dibandingkan dengan beton dan waktu

### 2.3.6 Melandaikan Kemiringan Lereng

Semakin landai lereng, maka semakin kecil laju dan jumlah aliran permukaan dan semakin kecil kemungkinan erosi yang akan terjadi. Jika kemiringan lereng semakin landai, maka jumlah butiran tanah yang terpercik ke bawah oleh air hujan akan semakin sedikit. Hal itu disebabkan karena gaya berat yang mengecil, sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horisontal, sehingga lapisan tanah atas yang tererosi akan semakin sedikit.



### 2.3.7 Terasering Tanah

Terasering tanah merupakan bangunan konservasi tanah dan air secara mekanis yang dibuat untuk memperpendek panjang lereng dan atau memperkecil kemiringan lereng dengan jalan penggalian dan pengurugan tanah melintang lereng. Tujuan pembuatan teras adalah untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan (*run off*) dan memperbesar peresapan air, sehingga kehilangan tanah berkurang. (Sukartaatmadja, 2004).

Terasering adalah suatu konsep yang digunakan untuk meletakkan tanaman dengan sistem yang bertingkat-tingkat. Lahan yang paling cocok dan pas digunakan untuk terasering adalah lahan yang bentuknya miring. Lahan seperti ini biasanya ditemukan di daerah perbukitan. Bentuk tanah atau lahan yang miring akan memudahkan kita untuk membuat konsep penataan, karena tinggal menyesuaikan derajat kemiringan tersebut, namun demikian bukan berarti lahan yang bentuknya datar tidak bisa digunakan untuk membuat terasering. Ada banyak keuntungan jika menggunakan konsep seperti ini. (Arsyad, 1986).



**Gambar 2.6** Contoh terasering di perbukitan

Jadi secara garis besar terasering adalah kondisi lereng yang dibuat bertangga tangga yang dapat digunakan pada timbunan atau galian yang tinggi dan berfungsi untuk:

1. Menambah stabilitas lereng.
2. Memudahkan dalam perawatan (konservasi lereng).
3. Memperpanjang daerah resapan air.



4. Memperpendek panjang lereng dan atau memperkecil kemiringan lereng.
5. Mengurangi kecepatan aliran permukaan (*run off*).
6. Dapat digunakan untuk *landscaping*.

Dalam penelitian ini terasering yang didesain secara bervariasi sehingga diharapkan mampu memberikan pilihan desain yang tepat untuk lereng. Ada 2 kondisi lereng yang dianalisis dalam penelitian ini, yaitu kondisi sebelum terasering dan setelah terasering. Pemodelan lereng dalam penelitian dapat diketahui nilai faktor aman dalam beberapa kondisi. Desain lereng dengan terasering diharapkan bisa menambah faktor aman dan mengurangilongsor.

Terasering dapat dibagi menurut bentuknya, yaitu sebagai berikut ini.

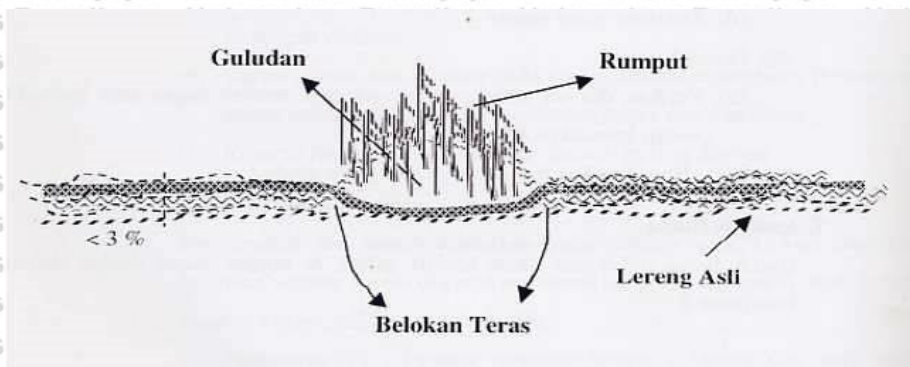
1. Teras Datar (*level terrace*)

Teras datar atau teras sawah (*level terrace*) adalah bangunan konservasi tanah berupa tanggul sejajar kontur, dengan kelerengan lahan tidak lebih dari 3 % dilengkapi dilengkapi saluran di atas dan di bawah tanggul. (Yuliarta, 2002).

Teras datar dibuat tepat menurut arah garis kontur dan pada tanah-tanah yang permeabilitasnya cukup besar sehingga tidak terjadi penggenangan dan tidak terjadi aliran air melalui tebing teras. Teras datar pada dasarnya berfungsi menahan dan menyerap air, dan juga sangat efektif dalam konservasi air. (Arsyad, 1989).

Tujuan utama dari teras datar ini adalah konservasi air/kelembapan tanah, sedangkan pengendalian erosi adalah tujuan sekunder. Karena itu teras tipe ini dibangun di daerah dengan curah hujan rendah sampai sedang untuk menahan dan meresapkan air ke lapisan tanah. Di daerah yang permeabilitasnya tinggi, teras tipe ini dapat digunakan untuk di daerah dengan curah hujan tinggi. Sketsa teras datar ditunjukkan pada Gambar 2.6. (Schwab et al, 1966).





Gambar 2.7 Teras Datar (Priyono, et al, 2002)

Cara pembuatan teras datar yaitu :

- Tanah digali menurut garis kontur dan tanah galiannya ditimbunkan ke tepi luar
- Teras dibuat sejajar dengan garis kontur
- Lebar guludan atas 0,37 - 0,5 m, lebar dasar guludan bawah menyesuaikan kemiringan guludan
- Jarak tepi bawah saluran di bawah guludan terhadap tengah guludan 2,5 - 3,5 m, sedang jarak tepi atas saluran di atas guludan terhadap tengah guludan 3 - 6 m,
- Guludan ditanami rumput makanan ternak. (Priyono, et al, 2002)

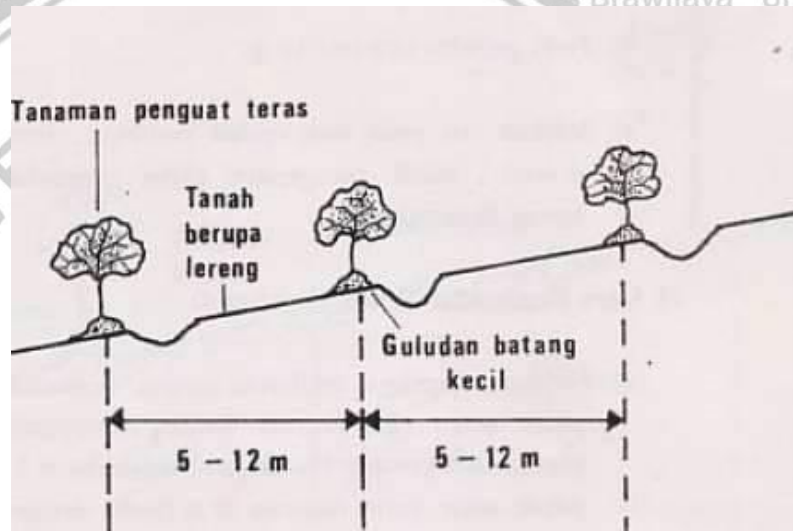
## 2. Teras Kredit (*ridge terrace*)

Terasering kredit merupakan suatu terasering dengan bentuk guludan tanah atau batu yang sejajar kontur. Jenis terasering ini menggabungkan guludan dan saluran air menjadi satu. Syarat untuk membuat terasering kredit ini dengan kemiringan lereng 3-10% dan kedalaman tanah >30 cm, tanah harus memiliki daya resap air yang tinggi dan tidak ada kanal yang rawan longsor. Kekurangan terasering kredit ini membutuhkan banyak tenaga kerja dan harus dibuat pada daerah yang intensitas hujannya rendah.



Cara pembuatan teras kredit adalah:

- a) Persiapan lapangan dimulai dengan memancangkan patok-patok menurut garis kontur dengan menggunakan *waterpas* plastik. Jarak patok dalam garis kontur 5 m, dan jarak antar bariuis 5 – 12 m,
- b) Pembuatan bangunan teras berupa guludan tanah atau guludan batu yang arahnya sejajar garis kontur,
- c) Penanaman tanaman penguat teras (kaliandra, lamtoro, gamal) secara rapat di sepanjang guludan. Benih/biji jenis tanaman tahunan (*legume tree crop*) ditanam dengan secara merata. Bila digunakan stek atau *stump*, jarak tanamnya 0,5 m sepanjang guludan. (Anonim, 1993).

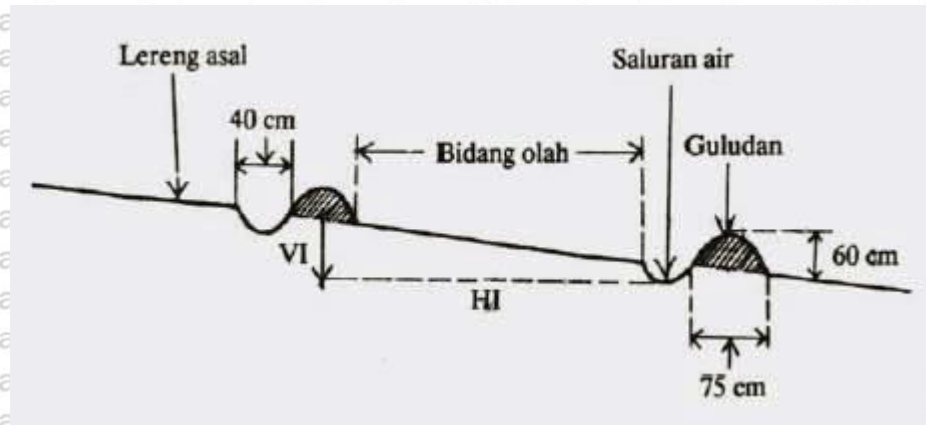


Gambar 2.8 Teras Kredit (Pyiyono, et al, 2002)

### 3. Teras Guludan (*cotour terrace*)

Terasing guludan adalah terasing dengan bentuk guludan yang dibuat melintang lereng. Tersering ini dibuat pada lereng dengan kemiringan 10- 15% dan kedalaman tanah >30 cm, pada daerah dengan daya resap air yang tinggi, diperlukan saluran pembuangan air yang landai dengan kemiringan 0,1%, sehingga dapat menampung endapan tanah hasil erosi tersebut. Gambar terasing guludan dapat dilihat pada Gambar 2,9 berikut ini.

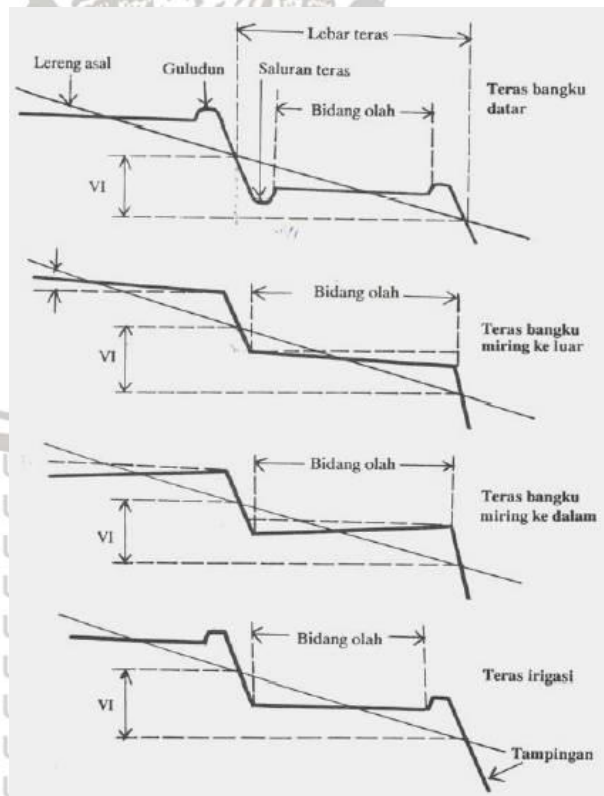




Gambar 2.9 Teras Guludan (Priyono et al, 2002)

4. Teras Bangku (*bench terrace*)

Terasing bangku adalah suatu teras yang dibuat dengan memotong lereng, sehingga bidang olah miring ke belakang (*reverse back slope*) dan membentuk deretan bangku. Teras bangku dilengkapi dengan saluran pembuangan air dan ditanami rumput untuk menguatkan lereng. Syarat pembuatan terasing jenis ini yaitu hampir sama dengan teras guludan, namun dapat dibuat di daerah dengan daya serap air yang rendah. Berikut ini Gambar 2.10 terasing bangku.

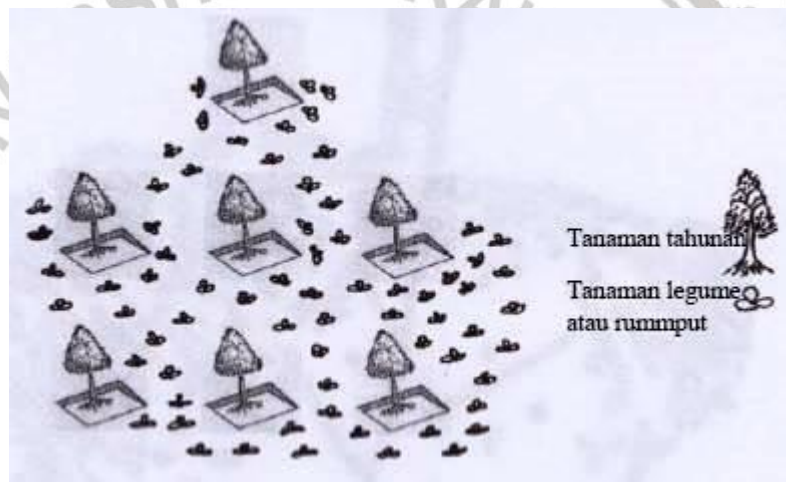


Gambar 2.10 Teras bangku (Priyono, et al, 2002)

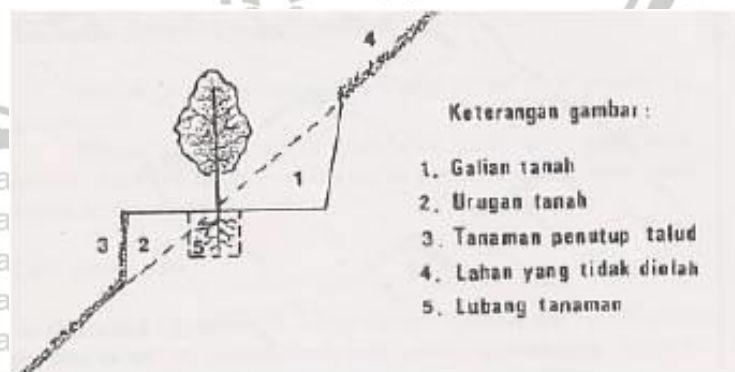


5. Teras Individu

Teras individu dibuat pada lahan dengan kemiringan lereng antara 30 – 50 % yang direncanakan untuk areal penanaman tanaman perkebunan di daerah yang curah hujannya terbatas dan penutupan tanahnya cukup baik sehingga memungkinkan pembuatan teras individu. Teras dibuat berdiri sendiri untuk setiap tanaman sebagai tempat pembuatan lobang tanaman. Ukuran teras individu disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing jenis komoditas. Cara dan teknik pembuatan teras individu cukup sederhana yaitu dengan menggali tanah pada tempat rencana lubang tanaman dan menimbunnya ke lereng sebelah bawah sampai datar sehingga bentuknya seperti teras bangku yang terpisah. Tanah di sekeliling teras individu tidak diolah (tetap berupa padang rumput) atau ditanami dengan rumput atau tanaman penutup tanah.



Gambar 2.11 Teras individu (Priyono, et al, 2002)



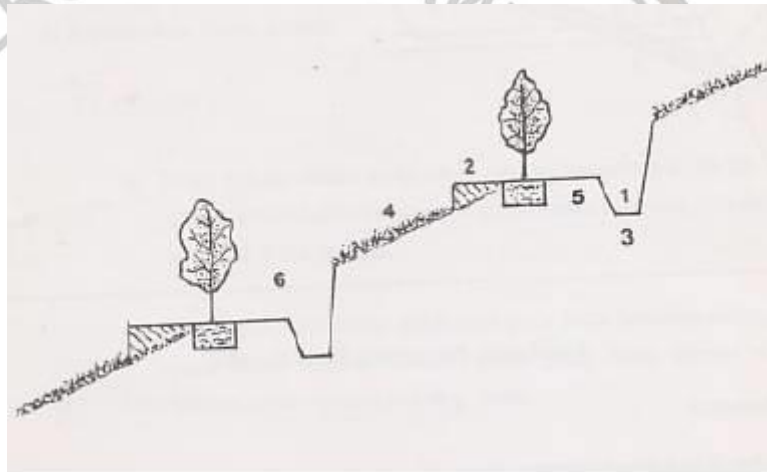
Gambar 2.12 Potongan Melintang Teras Individu (Priyono, et al, 2002)



6. Teras Kebun

Terasing kebun merupakan suatu terasing yang dibuat sejajar kontur dengan bagian lain yang dibiarkan seperti keadaan aslinya. Lahan yang letaknya berada di antara dua teras yang bersebelahan dibiarkan tidak diolah. Pembuatan terasing jenis ini dapat dilakukan pada lereng dengan kemiringan 30-50%.

Dijelaskan bahwa teras kebun merupakan bangunan konservasi tanah berupa teras yang dibuat hanya pada bagian lahan yang akan ditanami tanaman tertentu, dibuat sejajar kontur dan membiarkan bagian lainnya tetap seperti keadaan semula, biasanya ditanami tanaman penutup tanah. Teras ini dibuat pada lahan dengan kemiringan 10 – 30 %, tetapi dapat dilakukan sampai kemiringan 50 % jika tanah cukup stabil / tidak mudah longsor. Sketsa teras kebun ditunjukkan pada Gambar 2.13. (Yuliarta, et. al., 2002).



Gambar 2.13 Teras Kebun (Priyono, et al, 2002)

Cara pembuatan teras kebun yaitu :

- a) Membuat batas galian dengan menghubungkan patok-patok pembantu melalui pencangkulan tanah
- b) Menggali tanah di bagian bawah batas galian dan timbunkan ke bagian bawah sampai patok batas timbunan
- c) Tanah urugan dipadatkan dan permukaan tanah dibuat miring ke arah dalam sekitar 1%
- d) Di bawah talud dibuat selokan teras atau saluran buntu dengan panjang 2 m, lebar 20 cm dan dalam 10 cm.



## 7. Teras Saluran

Teras saluran atau lebih dikenal dengan rorak atau parit buntu adalah teknik konservasi tanah dan air berupa pembuatan lubang-lubang buntu yang dibuat untuk meresapkan air ke dalam tanah serta menampung sedimen-sedimen dari bidang olah.

Tujuan pembuatan teras saluran ini adalah meningkatkan jumlah persediaan air tanah, menahan tanah yang tererosi (sedimen) dari bidang olah dan mengendalikan sedimen yang terkumpul ke bidang olah, serta dapat dikombinasikan dengan mulsa vertikal untuk memperoleh kompos.

Beberapa aspek teknis berkaitan dengan pembuatan parit buntu / rorak / teras saluran ini adalah:

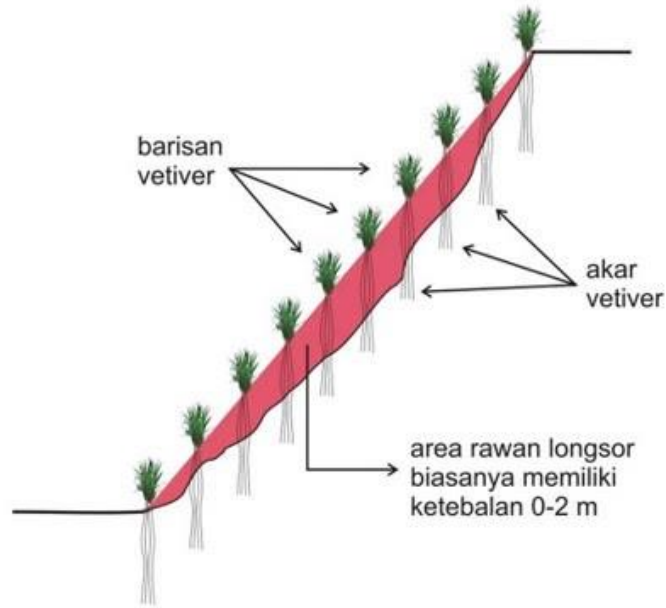
- a) Ukuran rorak umumnya berukuran panjang 1 – 2 meter, lebar 25 – 50 cm dan dalam 20 – 30 cm,
- b) Rorak dapat diisi dengan mulsa slot untuk mengurangi sedimentasi dan meningkatkan kesuburan tanah,
- c) Pembuatan rorak mengakibatkan pengurangan lahan sebesar 3 – 10 %,
- d) Rorak buntu dapat dibuat pada bagian lereng atas tanaman,
- e) Sedimen yang tertampung dalam rorak buntu dapat digunakan untuk membumbun tanaman.

### 2.3.8 *Vetiver System*

Salah satu upaya penanganan erosi yang dilakukan dengan metode vegetatif yaitu dengan vetiver system. Vetiver System (VS) adalah sebuah teknologi sederhana, berbiaya murah yang memanfaatkan rumput vetiver hidup untuk konservasi tanah dan air serta perlindungan lingkungan. Vetiver system sangat praktis, tidak mahal, mudah dipelihara, dan sangat efektif dalam mengontrol erosi dan sedimentasi tanah, konservasi air, serta stabilisasi dan rehabilitasi lahan.

Vetiver juga mudah dikendalikan karena tidak menghasilkan bunga dan biji yang dapat menyebar liar seperti alang-alang atau rerumputan lainnya. Vetiver yang ditanam tidak diperbolehkan dipanen akarnya karena jika terjadi, hal ini dapat menimbulkan efek yang kontradiktif, yaitu terjadinya kerusakan tanah.





**Gambar 2.14** Penanaman vetiver di lereng

1. Karakteristik Akar Vetiver Untuk Stabilisasi Lereng

Atribut vetiver yang unik telah diteliti, diuji, dan dikembangkan di daerah tropis, jadi dapat dipastikan vetiver sangat efektif sebagai alat bioteknologi. Berikut karakteristik akar vetiver yang cocok untuk stabilisasi lereng :

- a) Meskipun secara teknis vetiver adalah rumput, namun vetiver digunakan dalam aplikasi menstabilkan lahan lebih baik daripada pohon atau semak . Hal ini dikarenakan akar vetive (per unit area) lebih dalam dan kuat dibanding akar pohon.
- b) Sekuat atau lebih kuat dari spesies kayu keras, akar vetiver memiliki daya tarik yang sangat tinggi yang terbukti positif untuk penguatan lereng curam.
- c) Akar vetiver dapat menembus tanah padat seperti tanah padas keras dan tanah lempung gumpal yang umumnya ada di tanah tropis, yang menyediakan penahan yang baik untuk tanah timbunan dan permukaan.
- d) Ketika ditanam merapat, tumbuhan Vetiver membentuk pagar padat yang mengurangi kecepatan arus, mengalihkan limpasan air, menciptakan penyaring yang sangat efektif yang mengendalikan erosi. Tanaman pagar mengurangi arus dan menyebarkannya, memberi waktu bagi air untuk meresap ke dalam tanah.
- e) Sebagai penyaring yang sangat efektif, pagar vetiver membantu mengurangi kekeruhan akibat limpasan air. Karena akar baru berkembang dari tunas yang



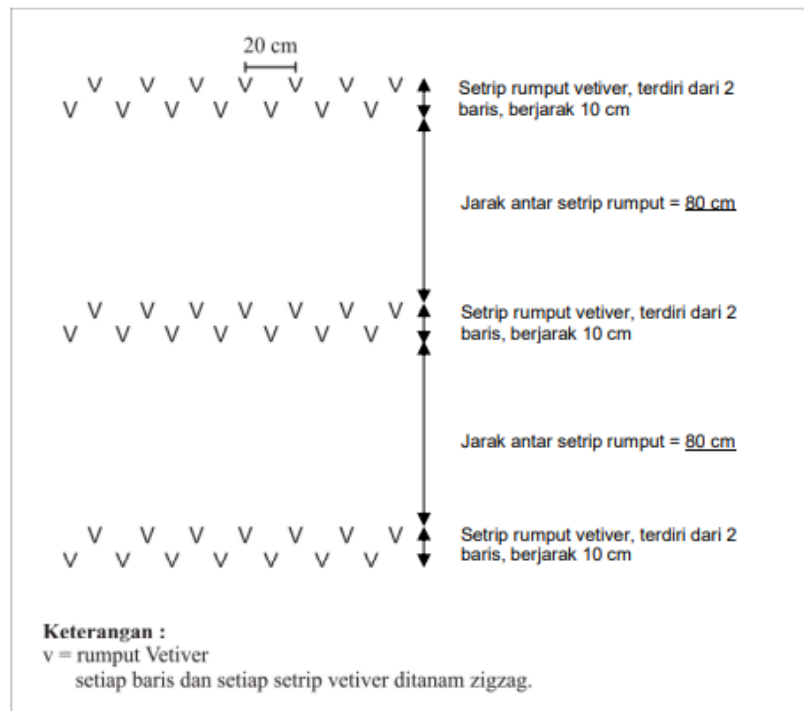


terkubur oleh sedimen yang terperangkap, Vetiver akan terus tumbuh ketika level tanah naik. Teras akan terbentuk pada tanah tanaman pagar, dan sedimen sebaiknya tidak dipindahkan. Sedimen yang subur biasanya berisi bibit tanaman lokal yang membantu pertumbuhannya kembali.

- f) Vetiver toleran terhadap iklim ekstrim dan lingkungan yang beragam, termasuk kekeringan berkepanjangan, banjir dan perendaman, dan suhu yang ekstrim dari -14°C sampai 55°C (7° F sampai 131°F) (Truong et al, 1996)
- g) Rumput ini tumbuh lagi dengan cepat sesudah kekeringan, beku, asin dan keadaan tanah lain yang berbeda ketika suhu-suhu ekstrim tadi berlalu.
- h) Vetiver menunjukkan toleransi tinggi terhadap keasaman tanah, salinitas, sodisitas dan kondisi asam sulfat (Le van Du and Truong, 2003).

## 2. Cara Penanaman Vetiver

Penanaman vetiver dapat disimulasikan pada media *prototype* maupun ditanam langsung di lapangan. Penanaman vetiver dilakukan dengan pola yang telah ditentukan Kementerian Pekerjaan Umum (2009) “Pedoman Penanaman Rumput Vetiver untuk Pengendalian Erosi Permukaan dan Pencegahan Longsor Dang Pada Lereng Jalan” yang terdapat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Tata letak penanaman rumput vetiver



Tanaman vetiver disiram sejak awal penanaman, paling sedikit dilakukan dilakukan selama 3 bulan awal umur tanam vetiver. Penyiraman dilakukan setiap pagi dan sore hari yaitu pagi sebelum jam 9 atau pada sore hari setelah jam 4 sore.

Selama dua minggu pertama setelah penanaman, disiram setiap hari. Kemudian disiram 2 hari sekali selama 2 minggu berikutnya. Akhirnya disiram 2 kali seminggu hingga usia penanaman 3 bulan. Setelah umur 3 bulan tanaman vetiver diharapkan sudah tumbuh kuat, sehingga tidak perlu lagi dilakukan penyiraman.

### 3. Pengaruh Akar Vetiver Untuk Material Tanah

Setelah dilakukan penanaman hingga 3 bulan, dilakukan pengujian fisik dan mekanis tanah. Tujuannya untuk mengetahui perbedaan hasil pengujian mekanis lereng asli dengan lereng yang sudah ditanami rumput vetiver. Dari beberapa percobaan diketahui bahwa dengan adanya rumput vetiver memiliki nilai kohesi dan sudut geser lebih besar dibandingkan dengan benda uji tanpa rumput vetiver.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Zulkarnain (2014), dalam jurnal yang berjudul “Analisa Numerik Pengaruh Tanaman Vetiver Terhadap Stabilitas Lereng” dilakukan penelitian dengan menggunakan 2 variasi penanaman rumput vetiver yaitu 6 tunas dan 9 tunas dengan lama masa penanaman 7 minggu. Berdasarkan pengujian mekanis diperoleh nilai sudut geser tanah asli ( $\phi$ )  $24^\circ$  dan kohesi (c)  $0,05 \text{ kg/cm}^2$ . Pada variasi 6 tunas diperoleh nilai sudut geser ( $\phi$ )  $34,5^\circ$  dan kohesi (c)  $0,31 \text{ kg/cm}^2$ . Sedangkan pada variasi 9 tunas diperoleh nilai sudut geser ( $\phi$ )  $36^\circ$  dan kohesi (c)  $0,32 \text{ kg/cm}^2$ .

Pada penelitian yang dilakukan oleh Firmansyah Ilham (2010), dalam jurnal yang berjudul “Karakteristik Mekanis Perkuatan Lereng Menggunakan *Geo-Root* dengan Tanaman Vetiver” dilakukan penelitian menggunakan 3 variasi rumput vetiver dengan variasi kedalaman sampel 0 - 30 cm dan 30 - 60 cm. Pengujian sifat fisik dan mekanis tanah dilakukan pada umur tanam vetiver 4, 5, 6, dan 7 minggu. Berdasarkan hasil pengujian, tanaman vetiver mampu meningkatkan sifat fisik dan mekanis tanah. Penanaman vetiver memberikan peningkatan nilai kohesi (c) dari  $0,05 \text{ kg/cm}^2$  menjadi  $0,34 \text{ kg/cm}^2$  dan nilai sudut geser ( $\phi$ ) dari  $24^\circ$  menjadi  $37^\circ$  pada variasi 9 rumpun dengan kedalaman 0 – 30 cm pada minggu ketujuh.



Pada penelitian yang dilakukan oleh Putri Kurniawati (2020), dalam jurnal yang berjudul “Analisis Pengaruh Tanaman Vetiver Terhadap Stabilitas Lereng” dilakukan penelitian menggunakan 2 variasi jumlah tunas vetiver. Variasi jumlah tunas vetiver yang digunakan yaitu 3 dan 6 rumpun tunas dengan kedalaman 0 – 30 cm dan 30 - 60 cm. Pengujian sifat fisik dan mekanis tanah dilakukan pada umur tanam vetiver 4, 5, 6, 7, dan 16 minggu. Berdasarkan pengujian mekanis diperoleh nilai sudut geser tanah asli ( $\phi$ )  $24^\circ$  dan kohesi (c)  $0,025 \text{ kg/cm}^2$ . Pada variasi 3 tunas diperoleh nilai sudut geser ( $\phi$ )  $34,5^\circ$  dan kohesi (c)  $0,306 \text{ kg/cm}^2$ . Sedangkan pada variasi 6 tunas diperoleh nilai sudut geser ( $\phi$ )  $36^\circ$  dan kohesi (c)  $0,325 \text{ kg/cm}^2$ .

Berdasarkan penelitian terdahulu dapat diketahui bahwa tanaman vetiver sudah digunakan sebagai metode stabilisasi lereng. Tanaman vetiver mampu memberikan dampak yang baik bagi kekuatan tanah dengan kemampuan akarnya yang menembus ke dalam tanah. Tanaman vetiver mampu meningkatkan nilai kohesi dan sudut geser dari tanah dengan berbagai variasi baik jumlah tunas vetiver maupun kedalaman tanamnya. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan vetiver sebagai perkuatan tambahan pada lereng.



## 2.4 Perhitungan Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan (FS) lereng tanah dapat dihitung dengan berbagai metode. Faktor Keamanan (FS) adalah nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya-yang menggerakkan. Data-data yang diperlukan dalam perhitungan nilai faktor keamanan suatu lereng adalah :

a. Data lereng (terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng.)

- Sudut kemiringan lereng
- Tinggi lereng atau panjang lereng dari kaki lereng ke puncak lereng.

b. Data mekanika tanah

- Sudut geser dalam ( $\phi$ )
- Berat isi tanah ( $\gamma$ )
- Kohesi ( $c$ )
- Kadar air tanah ( $w$ )

Perumusan dalam perhitungan suatu faktor keamanan (FS) suatu lereng

$$\text{adalah: } FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Dimana: FS = Faktor Keamanan

$\tau_f$  = Tegangan geser rata-rata tanah

$\tau_d$  = Tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang runtuh

Sedangkan nilai  $\tau_f$  dan  $\tau_d$  dari adalah:

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

$$\tau_d = c'_d + \sigma'_d \tan \phi'_d$$

Sehingga diperoleh persamaan baru yakni :

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Faktor keamanan yang diperhitungkan juga ditinjau dari faktor keamanan kohesi ( $F_c$ ) dan faktor keamanan friksi ( $F_\phi$ ). Membandingkan nilai  $F_c$  dan  $F_\phi$ , sehingga diperoleh:

$$FS = F_c = F_\phi$$





Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat dari Tabel 2.3 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

**Tabel 2.3** Nilai Faktor Keamanan Untuk Perencanaan Lereng (*Sosrodarsono* , 2003)

| Faktor Keamanan ( FS ) | Keadaan Lereng   |
|------------------------|--|
| $FS < 1,00$            | Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng <i>labil</i> ) |
| $1,00 < FS < 1,20$     | Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan                |
| $1,30 < FS < 1,40$     | Lereng dalam kondisi memuaskan                           |
| $1,50 < FS < 1,70$     | Lereng dalam kondisi mantap (lereng <i>stabil</i> )      |

**Tabel 2.4** Hubungan nilai FS dan kemungkinan kelongsoran lereng (*Bowles, J.E., 1989*)

| Faktor Keamanan ( FS ) | Kemungkinan Longsor        |
|------------------------|----------------------------|
| $FS < 1,07$            | Kelongsoran biasa terjadi  |
| $1,07 < FS < 1,25$     | Kelongsoran pernah terjadi |
| $FS > 1,40$            | Kelongsoran jarang terjadi |

**Tabel 2.5** Kisaran faktor keamanan

| Faktor Keamanan ( FS ) | Kerentanan Gesekan Tanah                           |
|------------------------|--|
| $FS < 1,2$             | Tinggi, gerakan tanah sering terjadi               |
| $1,2 < FS < 1,7$       | Menengah, gerakan tanah dapat terjadi              |
| $1,7 < FS < 2,0$       | Rendah, gerakan tanah dapat terjadi                |
| $FS > 2,0$             | Sangat rendah, gerakan tanah sangat jarang terjadi |

Dalam perhitungan perhitungan nilai faktor keamanan suatu lereng dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan metode grafik. Menurut *Taylor* (1937), perhitungan faktor keamanan dapat dilakukan dengan menghitung resultan gaya dari faktor keamanan kohesi ( $F_c$ ) dan faktor keamanan friksi ( $F_\phi$ ). Angka stabilitas ( $m$ ) diperoleh dari plot antara nilai sudut geser dalam tanah dengan sudut kemiringan lereng yang ditinjau, atau dengan menggunakan rumusan berupa:

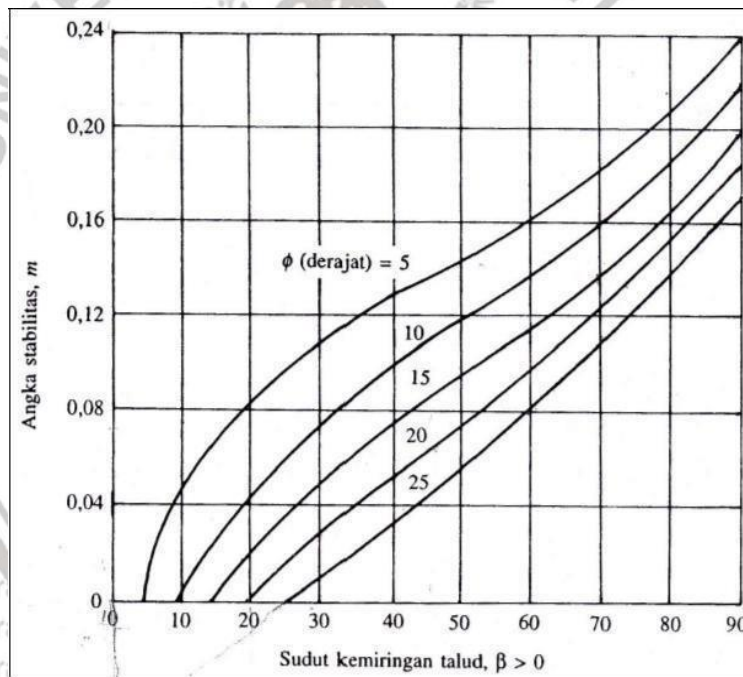


$$m = \frac{c}{\gamma H}$$

Dimana :  $m$  = angka stabilitas  
 $c$  = kohesi tanah (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\gamma$  = berat isi tanah (g/cm<sup>3</sup>)  
 $H$  = tinggi lereng (m)

Gambar 2.16 menunjukkan grafik hubungan antara angka stabilitas dengan sudut kemiringan lereng ( $\phi > 0$ ). Dengan menggunakan metode Taylor (1970) juga memberikan grafik untuk menentukan angka-angka keamanan (FS) untuk bermacam-macam kemiringan lereng.

**Gambar 2.16** Grafik Hubungan antara Angka Stabilitas dengan Sudut Kemiringan Lereng,  $\phi > 0$  (Taylor, 1970)

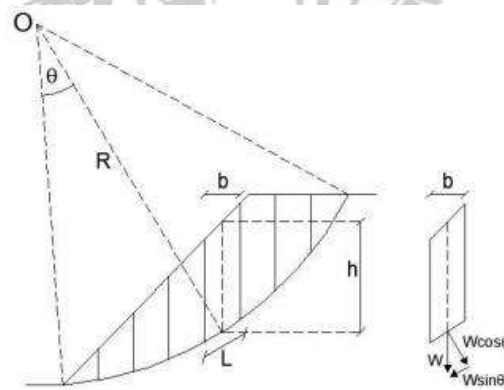




### 2.4.1 Metode Irisan Biasa (*Fellenius*)

Metode Fellenius (*ordinary method of slice*) diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius, yang menyatakan gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode Fellenius menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodanya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah irisan. Diasumsikan bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan menggunakan metode Fellenius dapat dilihat pada Gambar 2.17 berikut ini.



**Gambar 2.17** Gaya-gaya yang bekerja pada irisan.

(Sumber: Hardiyatmo, HC.2010. Mekanika Tanah II)

dimana:

$X_1, X_r$  = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan

$E_1, E_r$  = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan

$T_i$  = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

$N_i$  = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

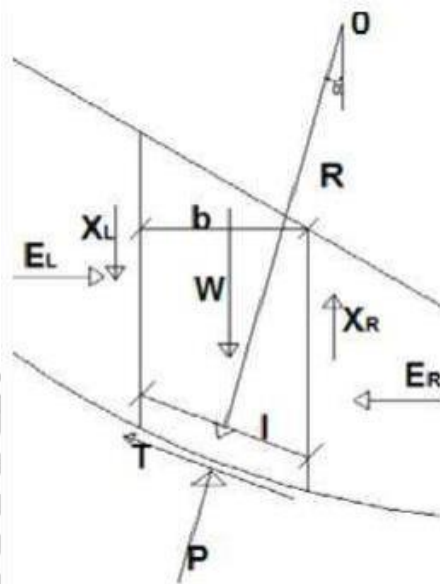
$U_1, U_r$  = tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan



### 2.4.2 Metode Bishop

Metode Bishop adalah metode yang diperkenalkan pertama kali oleh A.W. Bishop menggunakan cara potongan dimana gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan. Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada/bekerja di pusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Bishop,1995).

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Kesalahan metode ini apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan seperti Metode Spencer atau Metode Kesetimbangan Batas Umum, jarang lebih besar dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum.



Gambar 2.18 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan.  
(Sumber: Octovian, 2014)



Dimana :

$W$  = Berat total pada irisan

$EL, ER$  = Gaya antar irisan yang bekerja secara horisontal pada penampang kiri dan kanan

$XL, XR$  = Gaya antar irisan yang bekerja secara vertikal pada penampang kiri dan kanan

$P$  = Gaya normal total pada irisan

$T$  = Gaya geser pada dasar irisan

$b$  = Lebar dari irisan

$l$  = Panjang dari irisan

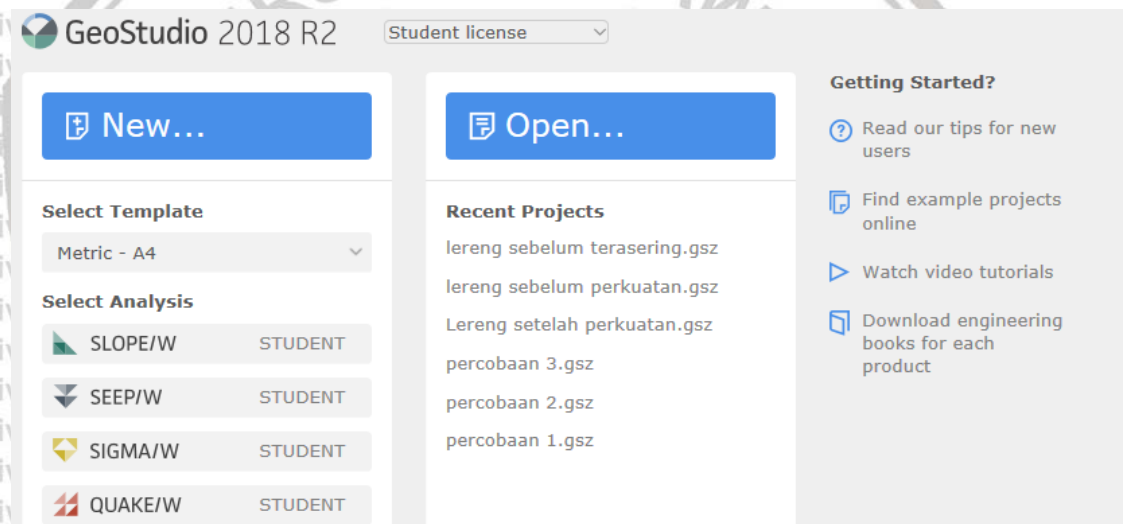




## 2.5 GeoStudio

Geostudio merupakan perangkat lunak dalam bidang desain geoteknik yang berasal dari Kanada. Perusahaan yang membuat software geostudio ini adalah GEOSLOPE International Ltd. Perusahaan ini bagian dari Seequent Limited, mengembangkan, memasarkan, dan mendukung perangkat lunak canggih untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Pelanggannya berasal dari perusahaan teknik kecil hingga perusahaan multinasional besar dan termasuk lembaga pemerintah, komisi regulasi, universitas terkemuka, dan lembaga pendidikan di seluruh dunia.

Sejak 1977, dedikasinya pada pengembangan perangkat lunak mencakup komitmen kuat untuk terus meningkatkan perangkat lunak. Mereka terus berupaya untuk meningkatkan kemampuan tekniknya dan mengikuti perkembangan pesat dalam industri komputer. Hal ini membuat mengakuisisi perangkat lunak GEOSLOPE menjadi investasi jangka panjang yang menguntungkan.



Gambar 2.19. Tampilan Geoslope

Fasilitas geostudio yang dapat digunakan untuk analisis stabilitas lereng adalah pada menu *SLOPE/W*. *SLOPE/W* merupakan program yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng, baik tanah maupun batuan, termasuk galian dan timbunan.

Parameter software geostudio slope/w yang dibutuhkan:

1. *Piezometric line* jika muka air tanah diperhitungkan dalam analisis stabilitas lereng.
2. Parameter tanah antara lain,  $\gamma$  tanah (berat isi tanah) dalam satuan  $\text{kN/m}^3$ ,  $\phi$  (sudut gesek tanah) dalam satuan  $^\circ$  (derajat),  $c$  (kohesi) dalam satuan  $\text{kPa}$
3.  $\gamma$  beban (berat isi beban pada lereng) dalam satuan  $\text{kN/m}^3$
4.  $\gamma$  beton (berat isi beton) dalam satuan  $\text{kN/m}^3$



SLOPE/W mampu memodelkan kondisi-kondisi seperti berikut:

- Lapisan tanah yang kompleks.
- Kondisi tekanan air pori yang sangat tidak beraturan.
- Beberapa model kuat geser tanah, Mohr-Coloumb, Anisotropic, dll
- Parameter Kuat geser pada kondisi tidak jenuh.
- Pendekatan bentuk bidang gelincir dengan atau tanpa tension crack.
- Beban merata, dan beban gempa.
- Perkuatan dengan struktur.

SLOPE/W dapat menganalisis masalah stabilitas baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan (Limit Equilibrium) batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi.

*SLOPE/W Define* merupakan program yang digunakan untuk pemodelan permasalahan lereng dalam bentuk penggambaran pada layar komputer dalam aplikasi *Computer Aided Design (CAD)*. Perhitungan dilakukan dengan *input* data material properties tanah ( $c$ ,  $\gamma$ , dan  $\phi$ ) dan pengaturan analisis sesuai kebutuhan. Setelah itu tahap *verify* untuk pengecekan apakah terjadi kesalahan/*error* dalam proses penginputan data. Hasil analisis kemudian dapat ditampilkan berupa bidang longsor dan nilai faktor keamanan (FS).

Ada beberapa metode perhitungan faktor keamanan (FS) antara lain dengan metode *ordinary*, *bishop*, *janbu*, dan metode lainnya yang dapat dipilih sesuai keinginan. Hasil gambar output perhitungan bisa di *export* ke dalam bentuk foto format (bmp, wmf, dan emf).



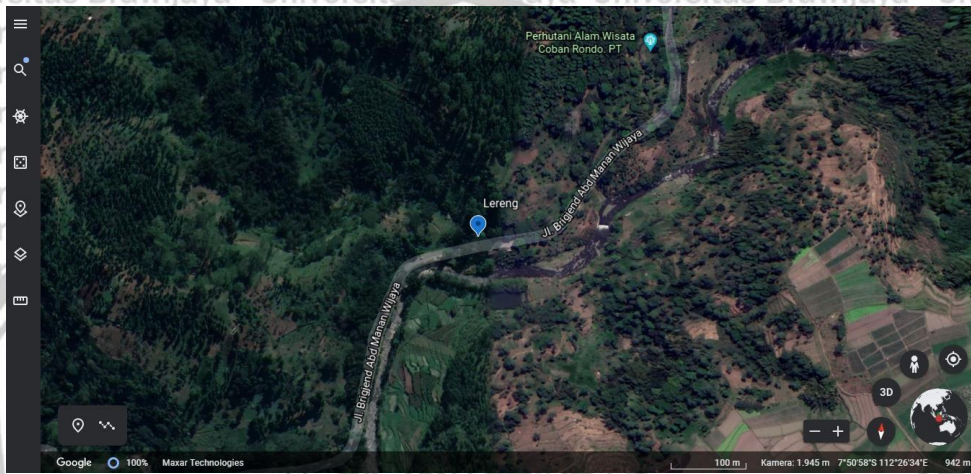
### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Waktu : Maret 2021 – Juli 2021

Tempat : Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang, Koordinat (7°50'59.6"S 112°26'32.8"E)

: Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.



**Gambar 3.1** Peta Lokasi Penelitian  
(Sumber : *Google Earth*)



**Gambar 3.2** Lokasi Penelitian  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



### 3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan perhitungan manual menggunakan 2 metode yaitu, *Fellenius* dan Bishop. Selain itu perhitungan juga dilakukan menggunakan bantuan program *geoslope*. Di dalam penelitian ini menggunakan variasi yaitu desain terasering sehingga diharapkan mampu memberikan pilihan desain yang tepat untuk lereng. Dengan bantuan program *geoslope* didapatkan bidang gelincir kritis yang mungkin terjadi, kemudian gelincir kritis ini dijadikan acuan untuk menentukan desain terasering yang tepat.

### 3.3 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan sumber Data Primer dan Sekunder.

#### 3.3.1 Data Primer

Data primer yang dimaksud adalah data *indeks properties* tanah dan data hasil uji geser langsung. Data ini diperoleh dengan pengujian sampel tanah di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan bantuan perangkat lunak sebagai basic analisis data.

#### 3.3.2 Data Sekunder

##### 1) Observasi

Tujuan dari observasi adalah untuk mendapatkan data yang meliputi kondisi dan gambaran objek yang akan diteliti.

##### 2) Wawancara

Wawancara dilakukan untuk melengkapi data-data yang sekiranya dibutuhkan. Data diperoleh dengan melakukan wawancara terhadap pihak-pihak yang terkait dengan objek yang akan dianalisis dan pihak-pihak yang memahami objek penelitian



### 3.4 Tahap Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, adapun langkah-langkah dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

#### 3.4.1 Studi Literature

Tahapan mempelajari dan mencari literature atau referensi yang berkaitan dengan penelitian ini.

#### 3.4.2 Pengumpulan Data

Tahapan yang dilakukan untuk mendukung analisis pada penelitian ini berupa data primer ataupun data sekunder.

Pengujian Sampel Tanah Lapangan di Laboratorium

##### a. Indeks Properties

Benda uji merupakan sampel tanah yang di ambil langsung dari lereng yang belum longsor tepatnya di Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya 141, Kecamatan Pujon, Malang.

- 1) Analisa Saringan (SNI 3432:2008)
- 2) Pengujian Kadar Air (SNI 1965:2008)
- 3) Pengujian Berat Volume (SNI 03-3637-1994)
- 4) Pengujian Berat Jenis (SNI 1964:2008)
- 5) *Direct Shear Test I* (SNI 3420:2008)

### 3.5 Pemodelan Lereng dengan Program *Geoslope*

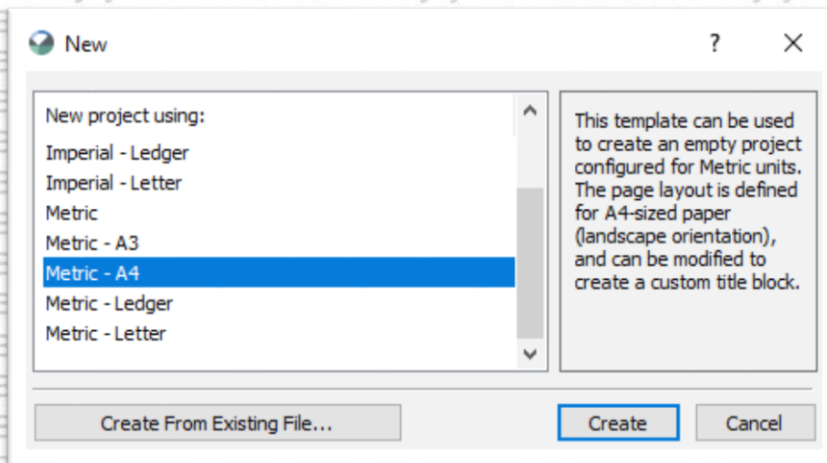
#### 3.5.1 Pengaturan Awal

Pengaturan awal untuk melakukan analisis dengan program *Geoslope* terdiri dari beberapa langkah, diantaranya pengaturan ukuran kertas kerja, memilih jenis program, memilih metode yang akan digunakan, dan mengatur garis koordinat.

Adapun langkah-langkah pengaturan awal sebagai berikut :

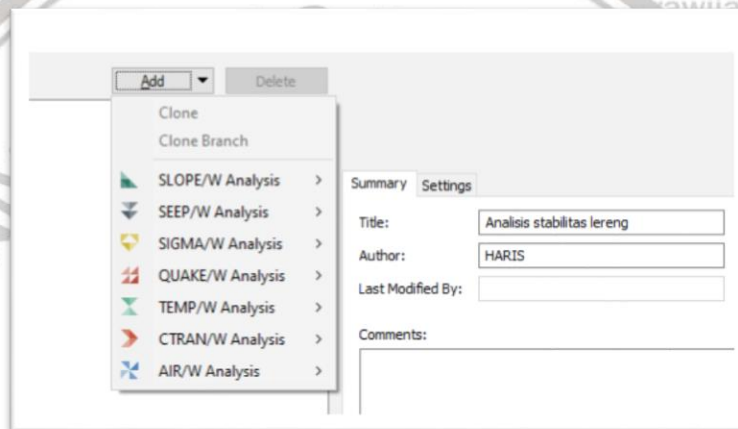


1) Mengatur kertas kerja, klik menu *New* kemudian pilih kertas yang akan digunakan



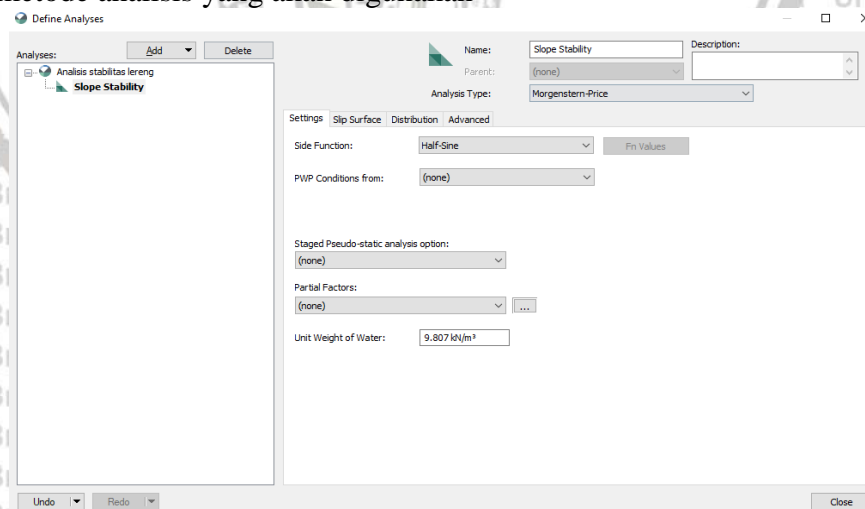
Gambar 3.3 Jendela pengaturan kertas kerja

2) Pilih program yang akan digunakan yaitu *SLOPE/W*



Gambar 3.4 Jenis-jenis program

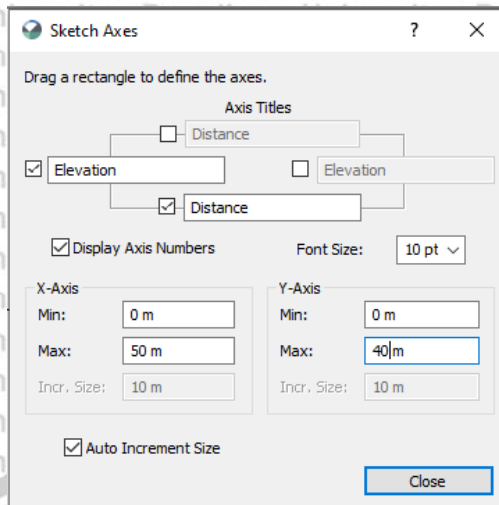
3) Pilih metode analisis yang akan digunakan



Gambar 3.5 Jendela pengaturan analisis

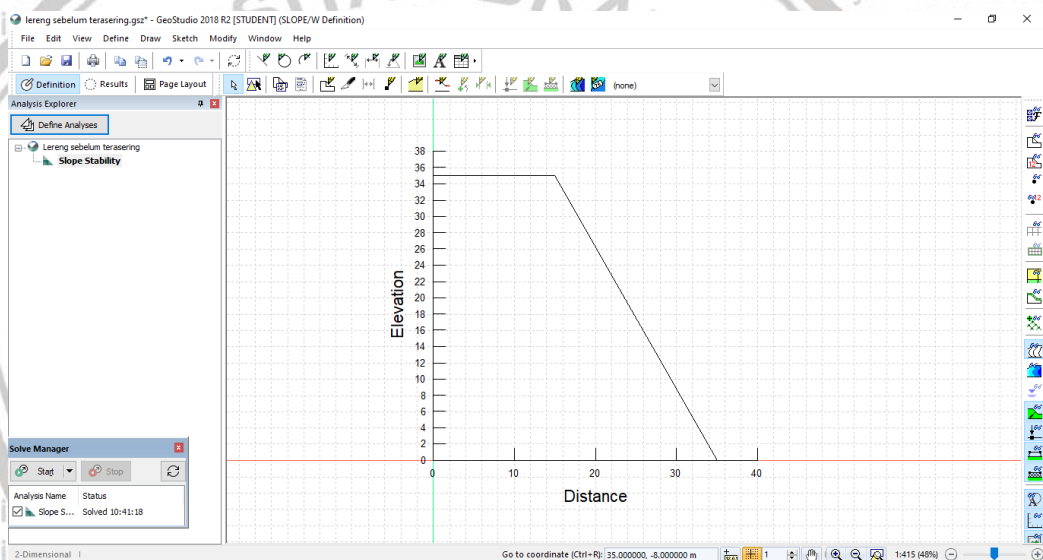


4) Mengatur garis koordinat untuk memudahkan menggambar sketsa



Gambar 3.6 Jendela pengaturan koordinat

### 3.5.2 Membuat Sketsa Gambar

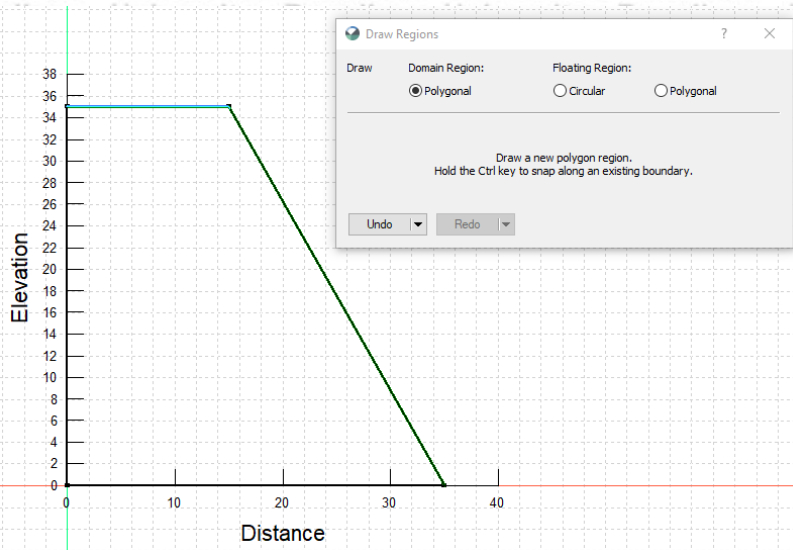


Gambar 3.7 Jendela Penggambaran Model Lereng

Pemodelan lereng dimulai dengan pembuatan sketsa gambar dari model yang merupakan representasi dari masalah yang ingin dianalisis. Pemodelan tersebut dibuat dari menu utama *sketch*, kemudian klik *lines* untuk menggambar model lereng seperti yang terlihat pada gambar 2.22.



### 3.5.3 Menggambar Properties Tanah

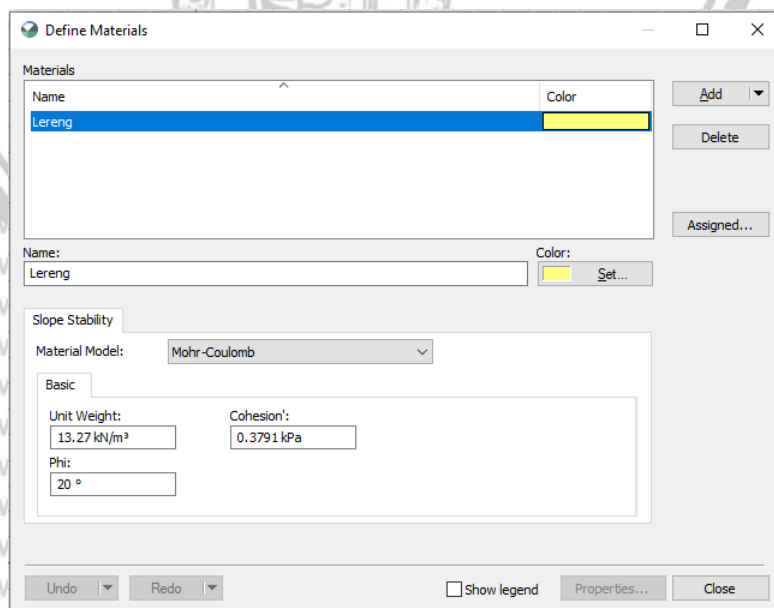


**Gambar 3.8** Jendela Penggambaran Lapisan Tanah

Setelah membuat sketsa gambar selanjutnya menggambar properties tanah dengan cara klik *draw* lalu pilih *regions*. Kemudian klik titik pertama yang dijadikan sebagai titik acuan dan buat garis mengelilingi lapisan tanah dan kembali ke titik pertama.

### 3.5.4 Menginput Material Tanah

Material model yang digunakan adalah *Mohr-Coulomb*. Parameter yang diperlukan yaitu berat isi tanah ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ), dan sudut geser ( $\phi$ ). Langkah untuk menginput material tanah yaitu dari tampilan menu utama *define* lalu klik material seperti yang terdapat pada Gambar 3.9.

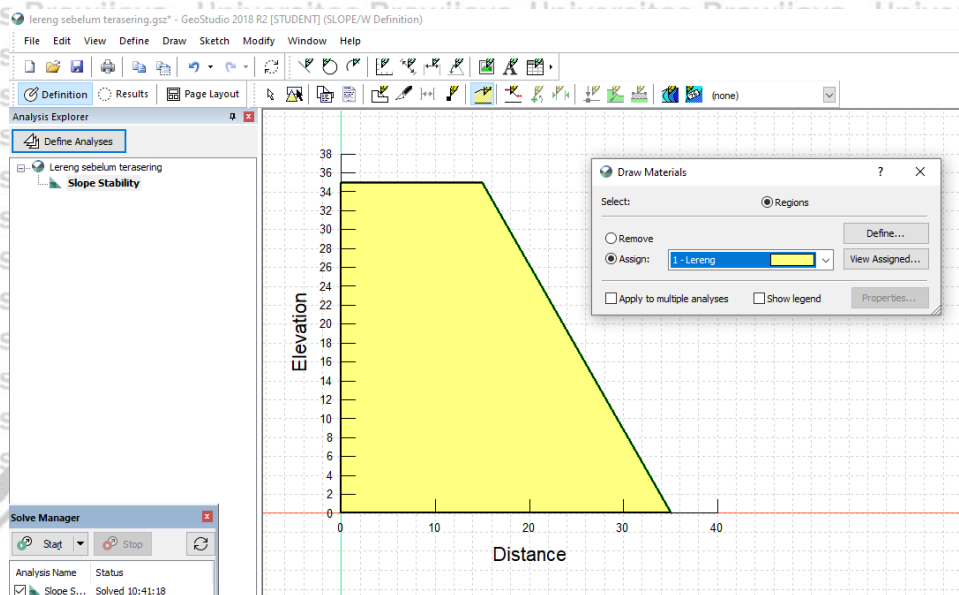


**Gambar 3.9** Jendela *Define Materials*



### 3.5.5 Mendefinisikan Materials ke Model Lereng

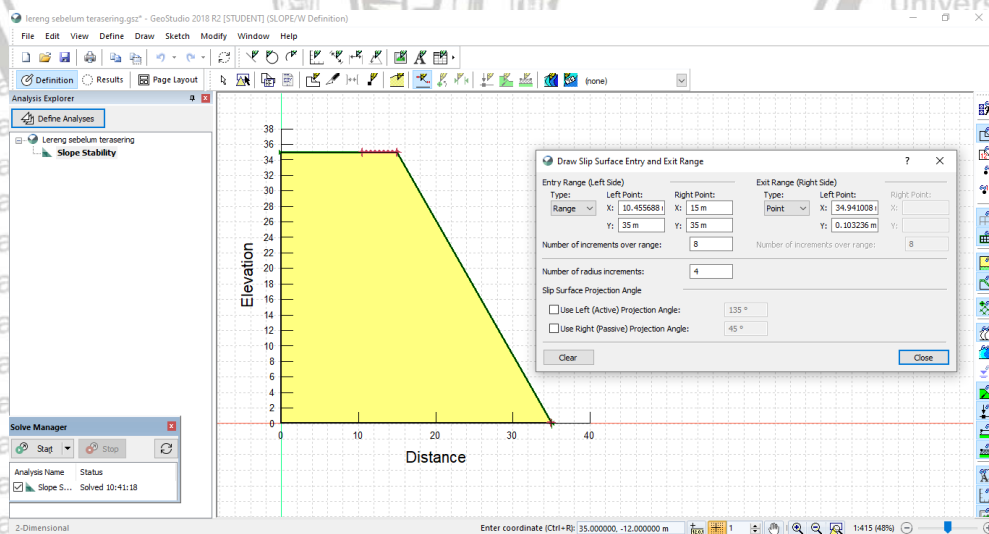
Mendefinisikan materials yang sudah diinput ke dalam model lereng dengan cara pilih menu *Draw* lalu pilih *Materials* dan tinggal diklik ke model lerengnya seperti yang terlihat di Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Jendela Penggambaran Material Tanah

### 3.5.6 Menggambar *Entry and Exit* Bidang Longsor

Metode *Entry and Exit* digunakan untuk menentukan lokasi dimana percobaan bidang longsor yang kemungkinan akan masuk dan keluar dari permukaan tanah. Untuk menggambarkan *Entry and Exit* seperti yang terdapat pada Gambar 3.11.

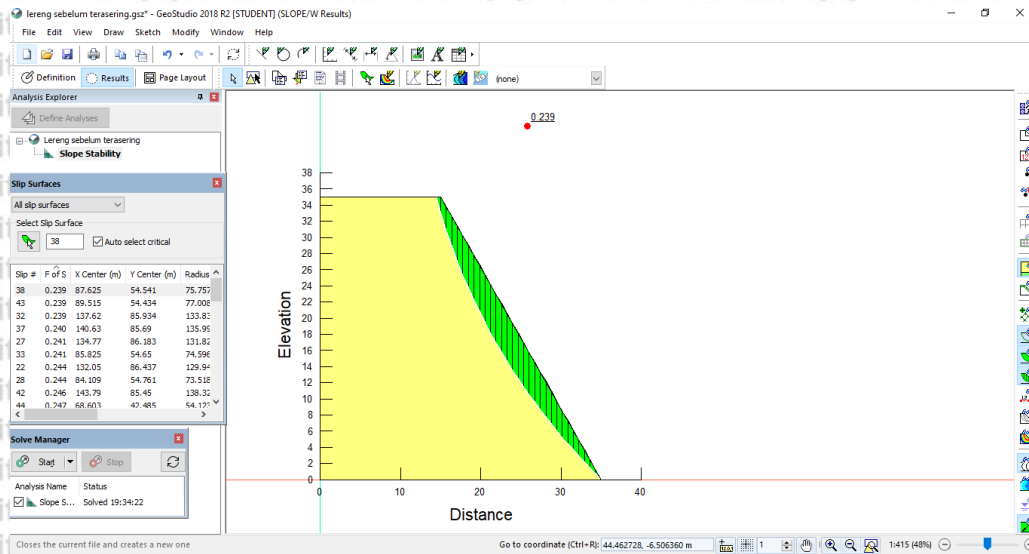


Gambar 3.11 Jendela *Entry and Exit*



### 3.5.7 Menampilkan Hasil Analisis

Untuk menampilkan hasil analisis dalam bentuk gambar bidang longsor pada menu di samping kiri bawah pilih *start* pada jendela *solve manager*

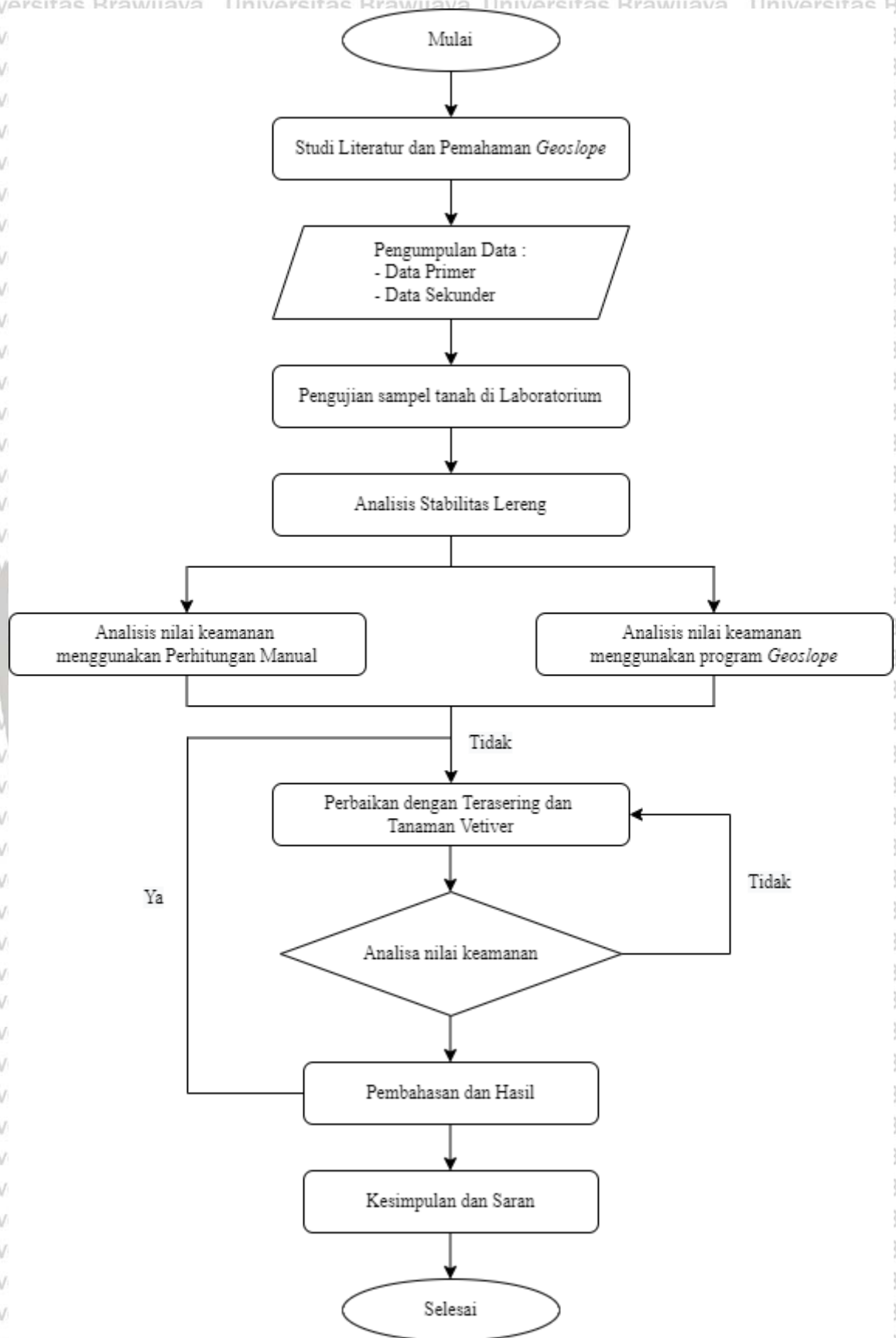


Gambar 3.12 Jendela Hasil Analisis





### 3.6 Diagram Alir Penelitian





## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

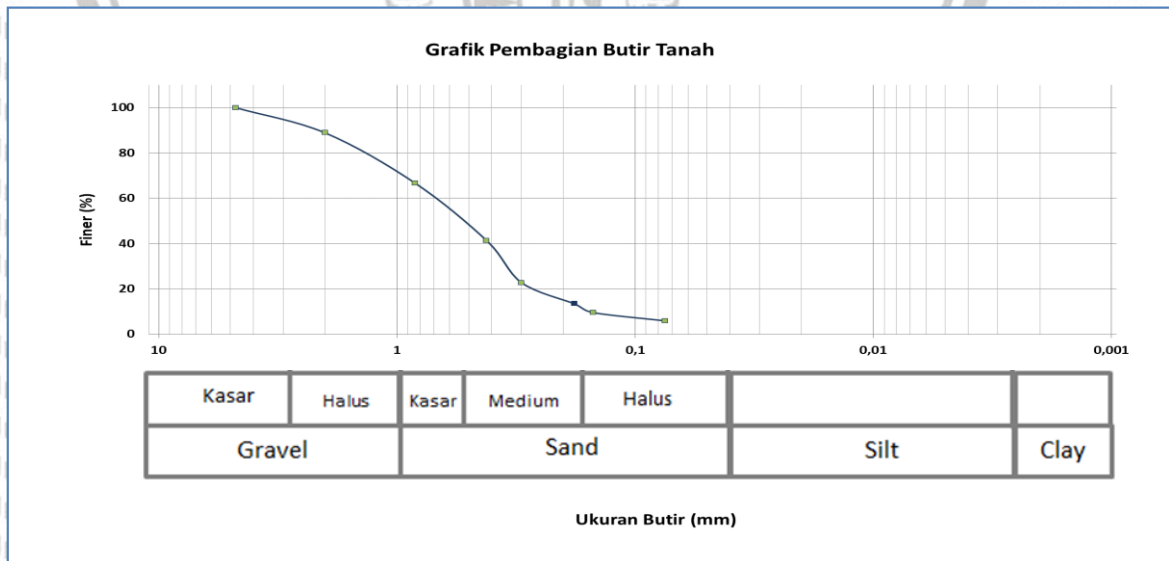
### 4.1 Karakteristik Tanah Asli

Pada penelitian ini dilakukan pengujian sampel tanah di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Sampel tanah didapatkan di lapangan dengan kondisi lereng yang longsor akibat kurangnya perkuatan pada lereng.

Pengujian *indeks properties* dilakukan sebagai langkah awal agar dapat diketahui karakteristik tanah asli yang akan digunakan pada penelitian. Berikut *indeks properties test* yang dilakukan pada penelitian ini :

#### 4.1.1 Analisa Saringan

Pada analisa saringan bertujuan untuk mengetahui pembagian butiran atau gradasi butiran agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Analisis ini dilakukan dengan cara menimbang pasir yang tertahan oleh saringan. Nomor saringan yang digunakan adalah nomor 4, 10, 20, 40, 50, 80, 100, dan 200. Berdasarkan **Gambar 4.1**, didapatkan hasil tanah yang lolos saringan nomor 200 sebanyak 4,9% dengan persentase yang lolos pada saringan nomor 200 kurang dari 5% dan nilai  $C_u$  kurang dari 6 serta nilai  $C_c$  kurang dari 1 sesuai dengan klasifikasi tanah dengan sistem *unified* (U.S.C.S). Maka tanah tersebut dapat digolongkan sebagai tanah berbutir kasar jenis SP (*poorly graded sand*) dengan nama jenis pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus.



**Gambar 4.1** Gradasi butiran tanah





#### 4.1.2 Pengujian Kadar Air Tanah (*Water Content*)

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam tanah. Pengujian dilakukan dengan cara mengambil 3 sampel tanah dan diletakkan dalam cawan (W1) yang sebelumnya ditimbang terlebih dahulu. Kemudian timbang cawan + tanah (W2) lalu dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam. Hal ini bertujuan agar air dalam tanah dapat menguap secara menyeluruh dan tanah dalam kondisi kering. Selanjutnya timbang kembali tanah yang sudah di-oven dan didapatkan berat tanah kering + cawan (W3). Selanjutnya dari berat sebelum dan sesudah di-oven akan didapatkan kadar air pada tanah. Berdasarkan tabel

4.1, dari pengujian tersebut didapatkan kadar air tanah rata-rata sebesar 43,59%.

**Tabel 4.1** Perhitungan kadar air tanah

| No. Cawan                                      | Satuan | 1     | 2     | 3     |
|--|--------|-------|-------|-------|
| 1 Berat Cawan (W <sub>1</sub> )                | gram   | 6,07  | 5,89  | 4,2   |
| 2 Berat Cawan + Tanah Basah (W <sub>2</sub> )  | gram   | 22,19 | 21,38 | 21,76 |
| 3 Berat Cawan + Tanah Kering (W <sub>3</sub> ) | gram   | 17,33 | 16,79 | 16,27 |
| 4 Berat Air (W <sub>a</sub> )                  | gram   | 4,86  | 4,59  | 5,49  |
| 5 Berat Tanah Kering (W <sub>t</sub> )         | gram   | 11,26 | 10,9  | 12,07 |
| 6 Kadar Air (W)                                | %      | 43,16 | 42,11 | 45,48 |
| 7 Rata-rata Kadar Air                          | %      | 43,59 |       |       |

#### 4.1.3 Pengujian Berat Isi Tanah (*Density*)

Pengujian berat isi tanah dilakukan untuk mengetahui berat isi, angka pori, dan derajat kejenuhan pada sampel tanah. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil 3 sampel tanah dengan menggunakan ring. Sebelum itu ring ditimbang terlebih dahulu karena tiap ring biasanya mempunyai berat yang berbeda. Lalu ukur juga tinggi dan diameter ring menggunakan jangka sorong. Kemudian ring dibawa ke lokasi pengambilan sampel dan masukkan ring ke dalam tanah yang akan diuji hingga seluruh permukaan ring terisi penuh dengan tanah. Selanjutnya timbang ring + tanah dan masukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam. Kemudian timbang kembali ring + tanah yang sudah di-oven, sehingga didapatkan berat isi tanah. Berdasarkan tabel 4.2, dari pengujian tersebut didapatkan derajat kejenuhan ring 1 sebesar 69,7%, ring 2 sebesar 69,29%, dan ring 3 sebesar 75,41%, sehingga didapatkan derajat kejenuhan rata-rata sebesar 71,47%.



Tabel 4.2 Perhitungan berat isi tanah

| Titik No. / Kedalaman                      | Satuan               | 1     | 2     | 3     |
|--|----------------------|-------|-------|-------|
| Tinggi Ring                                | cm                   | 1,64  | 1,83  | 2,39  |
| Diameter Ring (tabung)                     | cm                   | 2,55  | 2,60  | 2,33  |
| 1. Berat Ring                              | gram                 | 11,24 | 12,82 | 17,15 |
| 2. Berat Ring + Tanah Basah                | gram                 | 22,70 | 26,64 | 30,06 |
| 3. Berat Tanah Basah (2)-(1)               | gram                 | 11,46 | 13,82 | 12,91 |
| 4. Volume Tanah (Volume Ring)              | cm <sup>3</sup>      | 8,37  | 9,71  | 10,19 |
| 5. Berat Isi Tanah (3)/(4)                 | gram/cm <sup>3</sup> | 1,37  | 1,42  | 1,27  |
| 6. Berat Ring + Tanah Kering               | gram                 | 19,20 | 22,83 | 24,81 |
| 7. Berat Tanah Kering (6)-(1)              | gram                 | 7,96  | 10,01 | 7,66  |
| 8. Berat Air (3)-(7)                       | gram                 | 3,50  | 3,81  | 5,25  |
| 9. Kadar Air (8) / (7) x 100%              | %                    | 43,97 | 38,06 | 68,54 |
| 10. $\gamma_d$ (7)/(4)                     | gram/cm <sup>3</sup> | 0,95  | 1,03  | 0,75  |
| 11. Berat Jenis (Gs)                       |                      | 2,38  |       |       |
| 12. Volume Tanah Kering (7)/(Gs)           |                      | 3,35  | 4,21  | 3,22  |
| 13. Isi Pori (4)-(12)                      |                      | 5,02  | 5,50  | 6,96  |
| 14. Derajat Kejenuhan Sr = (8)/(13) x 100% | %                    | 69,70 | 69,29 | 75,41 |
| 15. Porositas (13)/(4) x 100%              | %                    | 59,98 | 56,62 | 68,35 |

#### 4.1.4 Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis tanah perlu dilakukan untuk mengetahui berat jenis tanah yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan cara menimbang tanah yang lolos saringan nomor 200 dengan diameter 0,075 mm, selanjutnya pasir ditimbang dengan setiap 500 gram dan dimasukkan ke dalam picnometer. Sebelum itu *picnometer* perlu dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan.

Hasil pengujian berat jenis tanah yang terdapat pada **Lampiran** perlu diperiksa dan dianalisis. Dari pemeriksaan dan analisis didapatkan labu ukur 1 nilai Gs sebesar 2,595; untuk labu ukur 2 nilai Gs sebesar 2,644; dan labu ukur 3 nilai Gs sebesar 2,564. Setelah itu dirata-rata nilai Gs dari labu ukur 1, 2, dan 3 sehingga didapatkan nilai Gs rata-rata sebesar 2,601 yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya.



#### 4.1.5 Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear*)

Pengujian geser langsung dilakukan untuk mengetahui kohesi tanah ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Pada pengujian ini diambil tiga sampel untuk setiap lapisan pada lokasi yang berbeda. Dari grafik hubungan antara tegangan normal ( $s$ ) terhadap tegangan geser maksimum ( $t$ ) akan didapatkan nilai kohesi ( $c$ ) sudut geser ( $\phi$ ). Dari grafik hubungan  $t$  dan  $s$  akan diperoleh titik-titik yang selanjutnya dihubungkan sehingga membentuk garis yang kemudian ditarik garis lurus memotong sumbu vertikal untuk mendapatkan nilai kohesi ( $c$ ) dan ditarik garis lurus memotong sumbu horizontal untuk mendapatkan nilai sudut geser ( $\phi$ ). Nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser ( $\phi$ ) selanjutnya dicari menggunakan persamaan  $t = s \tan \phi + c$ . Dari hasil pengujian *direct shear* didapatkan data material lereng asli, berikut adalah data hasil laboratorium seperti pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Data Material Lereng Asli

| Lapisan Tanah (dari atas) | Properties Tanah |   | Parameter Geser          |        |
|---------------------------|------------------|---|--------------------------|--------|
|                           | Model Tanah      | Berat Isi Tanah ( $\gamma$ ) (kN/m <sup>3</sup> ) | $c$ (Kn/m <sup>2</sup> ) | $\phi$ |
| Lereng (0-35) m           | Mohr Coulomb     | 13,27   | 0,3791                   | 20     |

#### 4.2 Jenis Tanah Berdasarkan U.S.C.S

Berdasarkan analisis sampel yang telah dilakukan yaitu analisis saringan, maka bisa diketahui jenis tanah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*). Pada analisa saringan didapatkan hasil tanah yang lolos saringan nomor 200 sebanyak 4,9%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa tanah berbutir kasar dengan persentase yang lolos pada saringan nomor 200 kurang dari 5%.

Dari hasil analisis saringan ini diketahui bahwa tanah berjenis pasir baik itu SW, SP, SM, ataupun SC. Adapun syarat klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus dalam metode USCS adalah sebagai berikut:

1. Kurang dari 5% lolos saringan No.200: GW, GP, SW, SP
2. 5% - 12% lolos saringan No.200: Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel
3. Lebih dari 12 % lolos saringan No.200: GM, GC, SM, SC.





Dari hasil pengujian sampel memiliki nilai kurang dari 5% lolos saringan

No.200 sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah berjenis pasir baik SW ataupun SP.

Selanjutnya untuk menentukan apakah tanah berjenis pasir SW atau SP maka langkah terakhir yang dilakukan adalah dengan menentukan nilai Koefisien Keseragaman ( $C_u$ ) dan Koefisien Gradasi ( $C_c$ ). Adapun kriteria klasifikasi yaitu:

1. Tanah berjenis pasir SW jika nilai  $C_u > 6$  atau  $1 < C_c < 3$
2. Namun tanah berjenis pasir SP jika tidak memenuhi

Setelah itu dilakukan perhitungan mencari nilai  $D_{60}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{10}$  yang diperoleh dari grafik gradasi butiran tanah (Gambar 4.1) untuk mendapatkan nilai  $C_u$  dan  $C_c$ .

Dari grafik didapatkan  $D_{60} = 0,55$ ;  $D_{30} = 0,59$ ;  $D_{10} = 0,16$ .

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,55}{0,16} = 3,42$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(0,59)^2}{0,55 \times 0,16} = 0,1$$

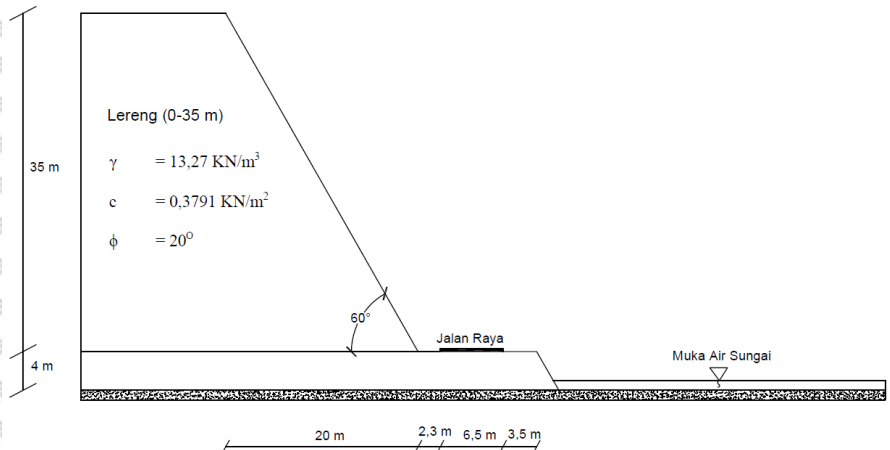
Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa tanah berjenis pasir bergradasi buruk, dengan sedikit butiran halus yang diberi simbol SP (*poorly graded sand*).

#### 4.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Analisis kestabilan lereng tanpa perkuatan dilakukan terhadap stabilitas kelongsoran lereng. Analisis menggunakan program *geoslope* menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop* yang disederhanakan untuk mendapatkan bidang longsor dan angka keamanan (FS) pada lereng. Kemudian dihitung kembali dengan perhitungan manual untuk mengetahui besarnya angka keamanan (FS) pada lereng asli.

Perbandingan metode analisis ini digunakan untuk melihat perbedaan hasil perhitungan menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop* yang disederhanakan dengan program *Geoslope*. Contoh pemodelan yang akan digunakan dalam analisis ini terlihat seperti pada Gambar 4.2. berikut ini.





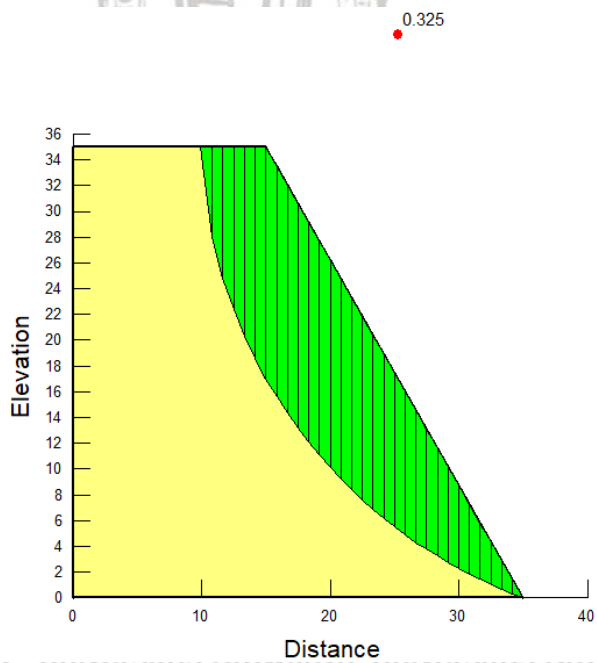
Gambar 4.2 Profil Potongan Melintang Lereng

4.3.1 Analisis Lereng Menggunakan Program Geoslope

Analisis lereng menggunakan Program Geoslope dihitung berdasarkan 2 metode, yaitu *fellenius* dan *bishop*.

1. Perhitungan FS dengan Program Geoslope Metode Fellenius

Dari hasil perhitungan dengan program *geoslope* didapatkan bentuk bidang longsor pada lereng dengan kemiringan 60°, yang kemudian titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan titik *entry and exit* pada perhitungan selanjutnya. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *fellenius* pada lereng sebesar 0,325. Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Output Geoslope Metode Fellenius Tanpa Perkuatan

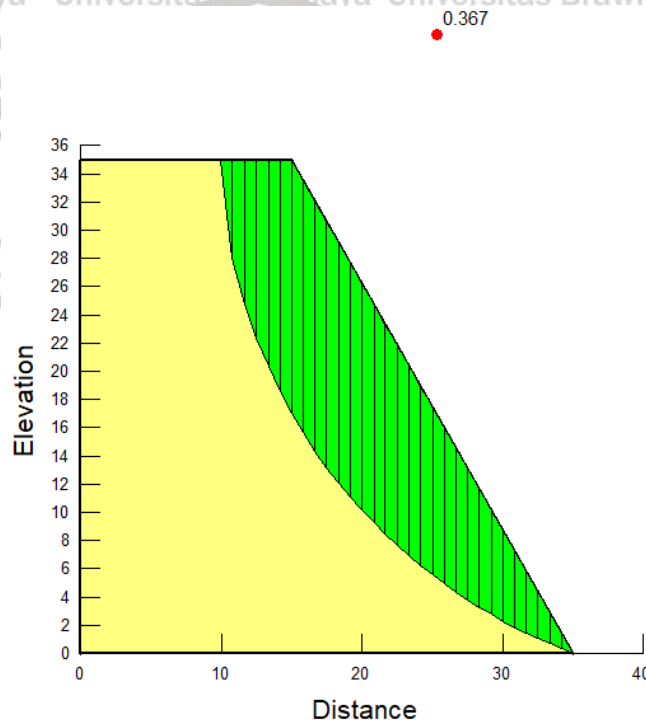




2. Perhitungan FS dengan Program *Geoslope* Metode *Bishop*

Dari hasil perhitungan dengan program *geoslope* didapatkan bentuk bidang longsor pada lereng dengan kemiringan  $60^\circ$ , yang kemudian titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan titik *entry and exit* pada perhitungan selanjutnya. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *bishop* yang disederhanakan pada lereng sebesar 0,367.

Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode *bishop* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



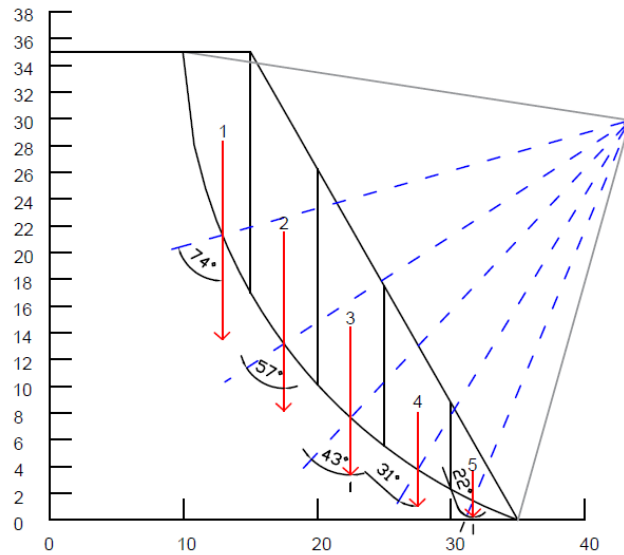
Gambar 4.4 Output *Geoslope* Metode *Bishop* Tanpa Perkuatan



### 4.3.2 Analisis Lereng Menggunakan Metode Manual Tanpa Perkuatan

#### 1. Perhitungan FS Manual dengan Metode *Fellenius*

Perhitungan yang digunakan dalam analisis ini yaitu seperti pada Gambar 4.5 berikut



**Gambar 4.5** Hasil Analisis Lereng Metode *Fellenius* Tanpa Perkuatan

#### a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

Perhitungan berat irisan tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Dibawah ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 8 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$W_1 = \gamma \cdot A_1 = 13,27 \times 45,54 = 604,32 \text{ kN}$$

$$W_2 = \gamma \cdot A_2 = 13,27 \times 82,28 = 1131,6 \text{ kN}$$

$$W_3 = \gamma \cdot A_3 = 13,27 \times 70,18 = 931,22 \text{ kN}$$

$$W_4 = \gamma \cdot A_4 = 13,27 \times 46,08 = 611,42 \text{ kN}$$

$$W_5 = \gamma \cdot A_5 = 13,27 \times 16,18 = 214,64 \text{ kN}$$



b. Perhitungan Radians

Sudut tiap irisan didapatkan dengan bantuan program Autocad 2017.

$$\text{Rad1} = \theta \times \frac{\pi}{180} = 74^\circ \times \frac{22}{180} = 1,29$$

c. Perhitungan sin  $\alpha$

$$\text{Sin } \alpha 1 = \sin (\text{rad1}) = \sin (1,29) = 0,961$$

d. Perhitungan cos  $\alpha$

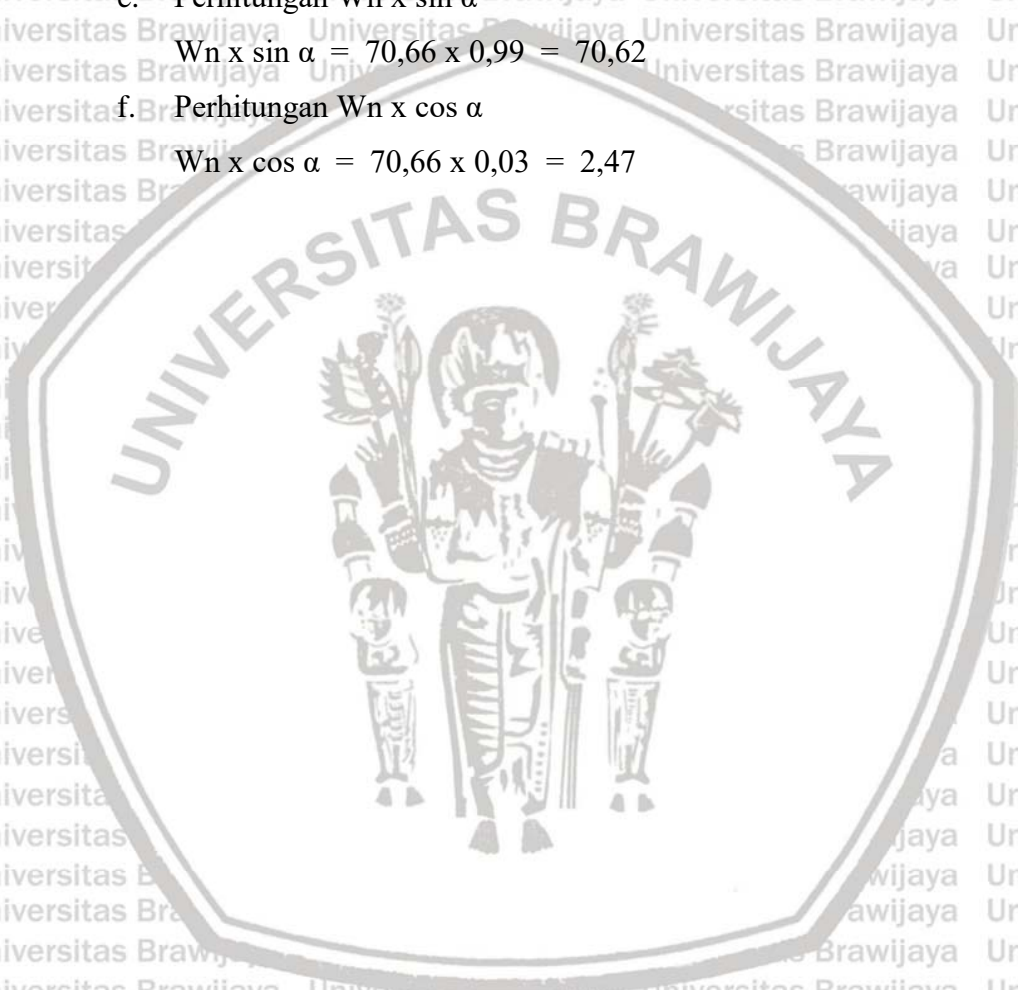
$$\text{Cos } \alpha 1 = \cos (\text{rad1}) = \cos (1,29) = 0,28$$

e. Perhitungan  $W_n \times \sin \alpha$

$$W_n \times \sin \alpha = 70,66 \times 0,99 = 70,62$$

f. Perhitungan  $W_n \times \cos \alpha$

$$W_n \times \cos \alpha = 70,66 \times 0,03 = 2,47$$





Perhitungan selengkapnya untuk manual *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 4.4 Berikut ini.

**Tabel 4.4** Perhitungan Manual Metode *Fellenius* Tanpa Perkuatan

| METODE FELLENIUS |                    |                               |              |                               |         |                 |                 |          |                     |                     |
|------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|---------|-----------------|-----------------|----------|---------------------|---------------------|
| Irisan No        | Panjang Irisan (m) | Luas Irisan (m <sup>2</sup> ) | Sudut Irisan | $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> ) | Radians | $\sin \alpha_n$ | $\cos \alpha_n$ | $W_n$    | $W_n \sin \alpha_n$ | $W_n \cos \alpha_n$ |
| 1                | 5,06               | 45,54                         | 74           | 13,27                         | 1,29    | 0,961           | 0,28            | 604,32   | 580,91              | 166,57              |
| 2                | 5                  | 85,28                         | 57           | 13,27                         | 0,99    | 0,839           | 0,54            | 1131,60  | 949,04              | 616,31              |
| 3                | 5                  | 70,18                         | 43           | 13,27                         | 0,75    | 0,682           | 0,73            | 931,22   | 635,09              | 681,05              |
| 4                | 5                  | 46,08                         | 31           | 13,27                         | 0,54    | 0,515           | 0,86            | 611,42   | 314,90              | 524,09              |
| 5                | 5                  | 16,18                         | 22           | 13,27                         | 0,38    | 0,375           | 0,93            | 214,64   | 80,41               | 199,01              |
| $\Sigma$         | 25,06              |                               |              |                               |         |                 |                 | $\Sigma$ | 2560,35             | 2187,04             |



Nilai faktor keamanan dari perhitungan di atas adalah :

$$FS = \frac{\Sigma(c \times L + \tan \theta \cdot W \cos \alpha)}{\Sigma W \sin \alpha}$$

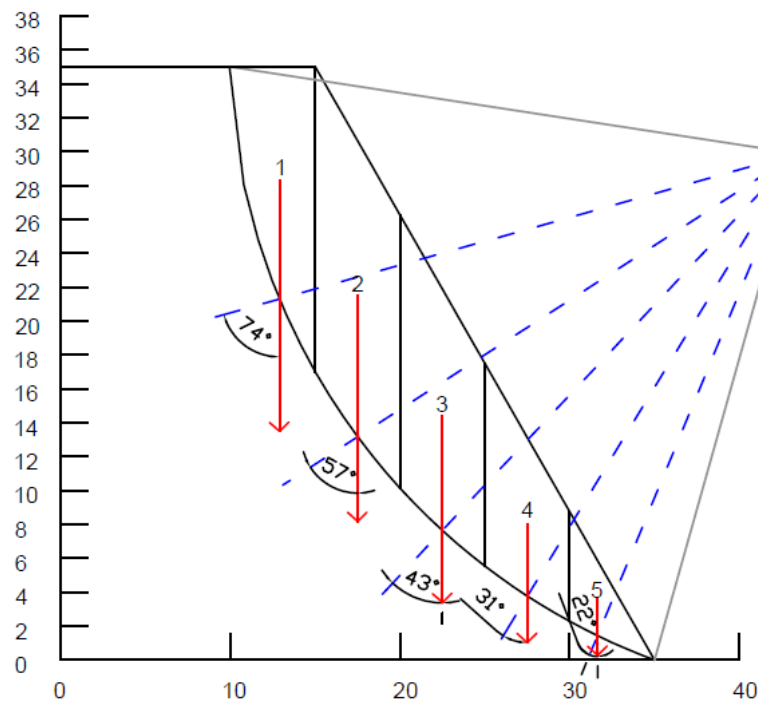
$$= \frac{(0,3791 \times 25,06 + 0,36 \times 2187,04)}{2560,35}$$

$$= 0,315$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *fellenius* secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 0,315. Hasil tersebut hampir mendekati hasil analisis metode *fellenius* dengan program *geoslope* yaitu 0,325.

2. Perhitungan FS Manual Dengan Metode *Bishop* yang Disederhanakan

Contoh perhitungan yang digunakan dalam analisis metode *bishop* yang disederhanakan yaitu seperti pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6 Hasil Analisis Lereng Metode *Bishop* Tanpa Perkuatan



## a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

Perhitungan berat irisan tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$W_i = \gamma \cdot A_i$$

Dibawah ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 8 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$W_1 = \gamma \cdot A_1 = 13,27 \times 45,54 = 604,32 \text{ kN}$$

$$W_2 = \gamma \cdot A_2 = 13,27 \times 82,28 = 1131,6 \text{ kN}$$

$$W_3 = \gamma \cdot A_3 = 13,27 \times 70,18 = 931,22 \text{ kN}$$

$$W_4 = \gamma \cdot A_4 = 13,27 \times 46,08 = 611,42 \text{ kN}$$

$$W_5 = \gamma \cdot A_5 = 13,27 \times 16,18 = 214,64 \text{ kN}$$

b. Perhitungan  $\sin \alpha$ 

$$\sin \alpha_1 = \sin (74) = 0,96$$

c. Perhitungan  $\tan \phi$ 

$$\tan \alpha_1 = \tan (20) = 0,36$$

d. Perhitungan  $W_n \times \sin \alpha$ 

$$W_n \times \sin \alpha = 604,32 \times 0,96 = 580,91$$

e. Perhitungan  $W_n \times \tan \phi$ 

$$W_n \times \tan \phi = 604,32 \times 0,36 = 219,95$$





Untuk perhitungan selengkapnya metode *Bishop* yang disederhanakan dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini :

**Tabel 4.5** Perhitungan Manual Metode *Bishop* Tanpa Perkuatan

| METODE BISHOP |            |         |      |                |                |            |                   |               |      |          |      |      |        |        |       |       |
|---------------|------------|---------|------|----------------|----------------|------------|-------------------|---------------|------|----------|------|------|--------|--------|-------|-------|
| No            | $\alpha_n$ | Wn      | bn   | sin $\alpha_n$ | tan $\alpha_n$ | tan $\phi$ | Wn sin $\alpha_n$ | Wn tan $\phi$ | c.bn | $\sigma$ | Ma   |      | F      |        | FS    |       |
|               |            |         |      |                |                |            |                   |               |      |          | 0,3  | 0,36 | 0,3    | 0,36   | FS 1  | FS 2  |
| 1             | 74         | 604,32  | 5,06 | 0,96           | 3,49           | 0,36       | 580,91            | 219,95        | 1,92 | 221,87   | 1,44 | 1,25 | 153,88 | 177,85 | 0,331 | 0,367 |
| 2             | 57         | 1131,60 | 5    | 0,84           | 1,54           | 0,36       | 949,04            | 411,87        | 1,90 | 413,76   | 1,56 | 1,39 | 264,87 | 297,12 |       |       |
| 3             | 43         | 931,22  | 5    | 0,68           | 0,93           | 0,36       | 635,09            | 338,94        | 1,90 | 340,83   | 1,56 | 1,42 | 218,65 | 239,88 |       |       |
| 4             | 31         | 611,42  | 5    | 0,52           | 0,60           | 0,36       | 314,90            | 222,54        | 1,90 | 224,43   | 1,48 | 1,38 | 151,44 | 162,88 |       |       |
| 5             | 22         | 214,64  | 5    | 0,37           | 0,40           | 0,36       | 80,41             | 78,12         | 1,90 | 80,02    | 1,38 | 1,31 | 57,91  | 61,27  |       |       |
| Total         |            | 3493,19 |      |                |                |            | 2560,35           |               |      |          |      |      | 846,75 | 939,01 |       |       |



Penjelasan perhitungan pada tabel di atas adalah sebagai berikut.

1) Penentuan FS menggunakan cara coba-coba (*trial and error*) dengan menggunakan FS sementara atau FS lama sampai FS menjadi konvergen yaitu

$$FS_1 = 0,3 \text{ dan } FS_2 = 0,36$$

$$\begin{aligned} Mi_1 &= (1 + \tan \alpha n \times \tan \phi / F) \times \cos \alpha n \\ &= (1 + \tan (74) \times \tan (20) / (0,3)) \times \cos (74) \\ &= 1,44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mi_2 &= (1 + \tan \alpha n \times \tan \phi / F) \times \cos \alpha n \\ &= (1 + \tan (74) \times \tan (20) / (0,36)) \times \cos (74) \\ &= 1,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \sigma_1 &= Wn \tan \phi + c.bn \\ &= 219,95 + 1,92 \\ &= 221,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) F_1 &= \frac{\sigma_1}{Ma_1} \\ &= \frac{221,87}{1,44} \\ &= 153,88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{\sigma_1}{Ma_1} \\ &= \frac{221,87}{1,25} \\ &= 177,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) FS_1 &= \frac{\Sigma F_1}{\Sigma Wn \sin \alpha n} \\ &= \frac{846,75}{2560,35} \\ &= 0,331 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) FS_1 &= \frac{\Sigma F_2}{\Sigma Wn \sin \alpha n} \\ &= \frac{939,01}{2560,35} \\ &= 0,367 \end{aligned}$$



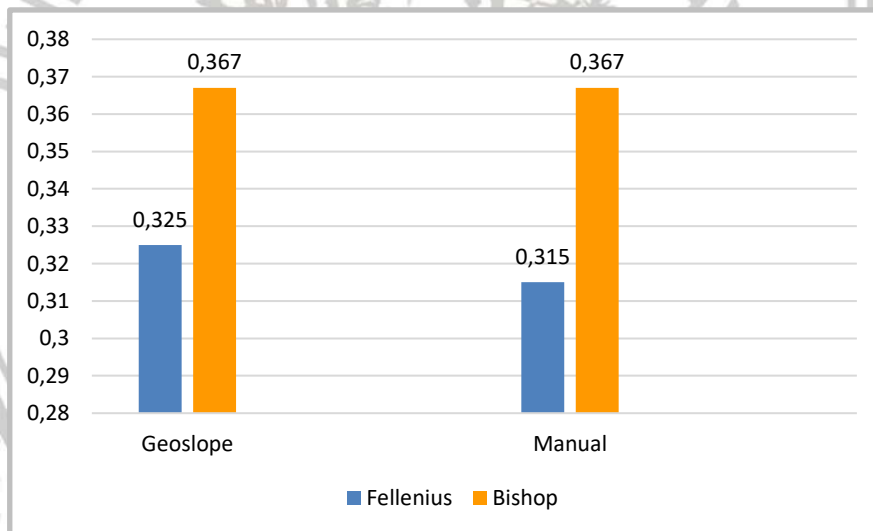


Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *bishop* yang disederhanakan secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 0,367. Hasil tersebut sama dengan hasil analisis metode *bishop* yang disederhanakan dengan program *geoslope* yaitu sebesar 0,367.

Setelah dilakukan perhitungan dengan program *geoslope* dan manual menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop* yang disederhanakan, maka dapat dibuat rekapitulasi perhitungan angka keamanan lereng asli seperti pada tabel 4.6 dan gambar 4.7 berikut.

**Tabel 4.6** Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Lereng Asli

| Metode | <i>Geoslope</i>  |               | Manual           |               |
|--------|------------------|---------------|------------------|---------------|
|        | <i>Fellenius</i> | <i>Bishop</i> | <i>Fellenius</i> | <i>Bishop</i> |
| FS     | 0,325            | 0,367         | 0,315            | 0,367         |



**Gambar 4.7** Grafik Nilai FS Lereng Asli



#### 4.4 Analisis Lereng Dengan Metode Perkuatan Tersering dan Tanaman Vetiver

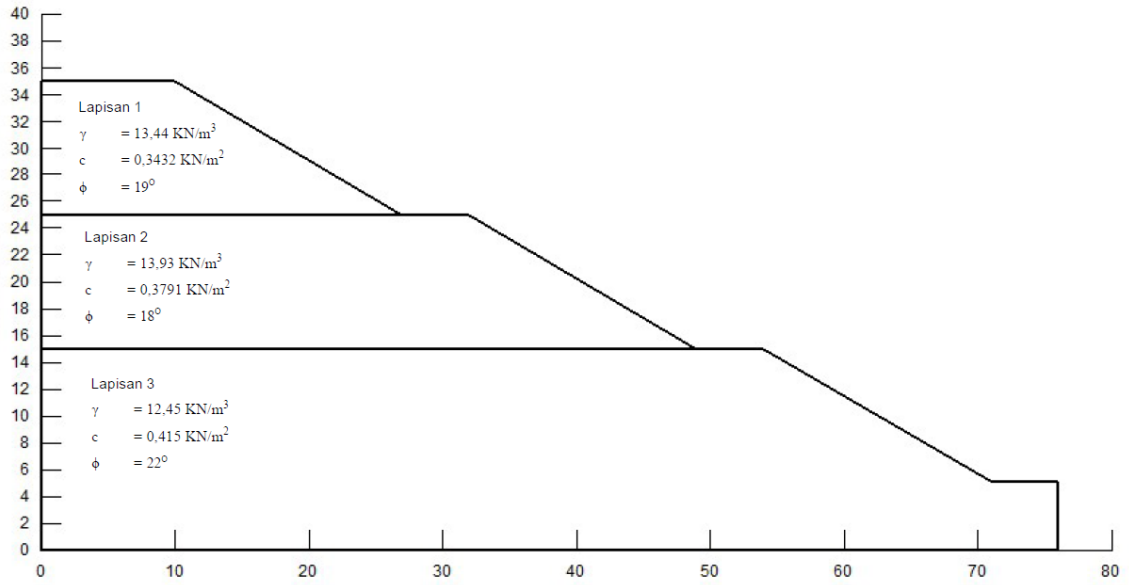
Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan perkuatan terasering untuk melandaikan kemiringan lereng asli. Lereng dibuat dengan 3 lapisan yang masing-masing mempunyai sudut yang sama yaitu sebesar  $30^\circ$  sehingga cukup untuk menambah keamanan dari lereng tersebut. Lapisan 1 dan 2 mempunyai tinggi yang yaitu 10 m dan tinggi lapisan 3 mempunyai tinggi sebesar 15 m. Data material tiap lapisan yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

**Tabel 4.7** Data Material Lereng Terasering

| Lapisan Tanah (dari atas) | Properties Tanah |   | Parameter Geser          |        |
|---------------------------|------------------|---|--------------------------|--------|
|                           | Model Tanah      | Berat Isi Tanah ( $\gamma$ ) (kN/m <sup>3</sup> ) | $c$ (Kn/m <sup>2</sup> ) | $\phi$ |
| Lapisan 1 (0-10) m        | Mohr Coulomb     | 13,44   | 0,3432                   | 18,79  |
| Lapisan 1 (10-20) m       | Mohr Coulomb     | 13,93   | 0,3791                   | 18     |
| Lapisan 1 (20-35) m       | Mohr Coulomb     | 12,45   | 0,415                    | 21,19  |

Analisis menggunakan program *geoslope* menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop* yang disederhanakan dan perhitungan manual untuk mengetahui besarnya angka keamanan (FS) pada lereng. Perbandingan metode analisis ini digunakan untuk melihat perbedaan hasil perhitungan menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop* yang disederhanakan dengan program *Geoslope*. Contoh pemodelan yang akan digunakan dalam analisis ini terlihat seperti pada Gambar 4.8. berikut ini.





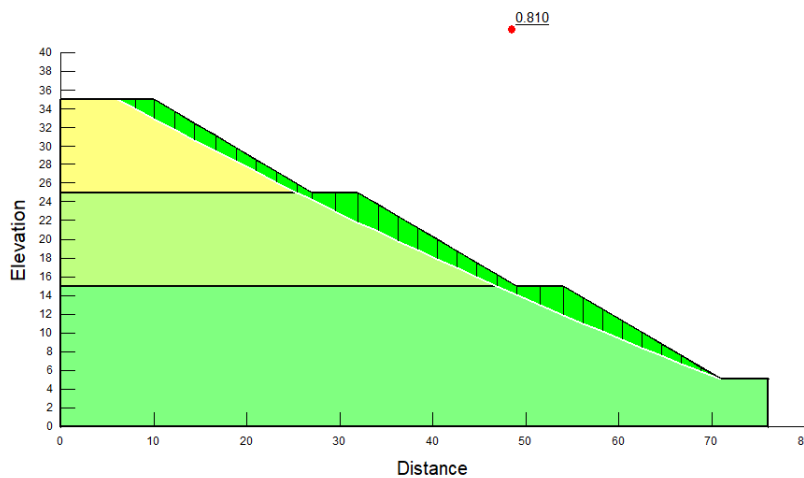
Gambar 4.8 Pemodelan Lereng Dengan Terasering

#### 4.4.1 Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Perkuatan Terasering

Analisis lereng menggunakan Program *Geoslope* dihitung berdasarkan 2 metode, yaitu *fellenius* dan *bishop*.

##### 1. Perhitungan FS dengan Program *Geoslope* Metode *Fellenius*

Hasil analisis menggunakan program *geoslope* pada lereng yang diperkuat terasering didapatkan bidang longsor dan angka keamanannya. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *fellenius* pada lereng sebesar 0,810. Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.

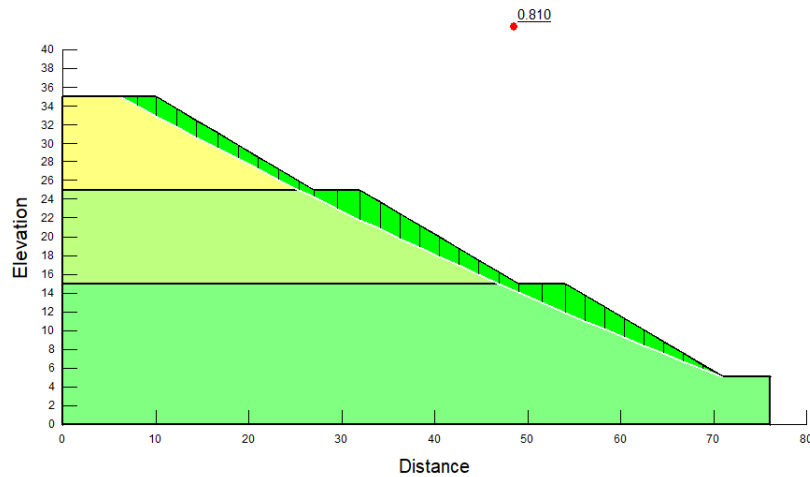


Gambar 4.9 Output *Geoslope* Metode *Fellenius* Dengan Perkuatan Terasering



2. Perhitungan FS dengan Program *Geoslope* Metode *Bishop*

Hasil analisis menggunakan program *geoslope* pada lereng yang diperkuat terasering didapatkan bidang longsor dan angka keamanannya. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *fellenius* pada lereng sebesar 0,810. Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



**Gambar 4.10** Output *Geoslope* Metode *Fellenius* Dengan Perkuatan Terasering

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *fellenius* dan *bishop* yang disederhanakan mempunyai hasil yang sama yaitu sebesar 0,810. Hasil tersebut belum bisa dikatakan aman karena menurut *Sosrodarsono*, nilai faktor keamanan harus di atas 1,25 supaya lereng tersebut stabil. Jadi diperlukan perkuatan tambahan untuk menambah nilai faktor keamanan lereng.

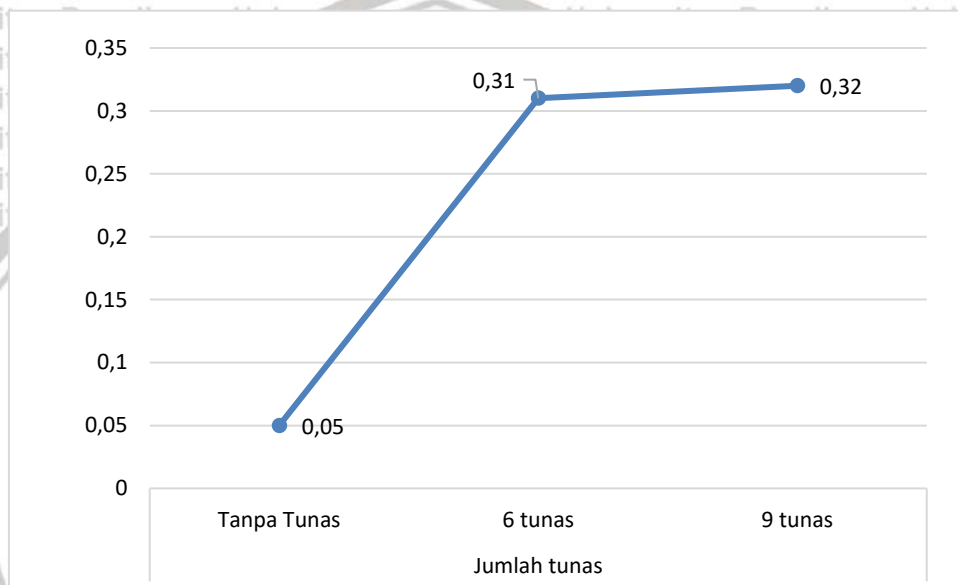
**4.4.2 Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver**

Setelah lereng diperkuat dengan terasering ternyata angka keamanannya masih belum bisa membuat lereng menjadi stabil. Tanaman vetiver cocok untuk perkuatan tambahan pada lereng tersebut dikarenakan sistem perakaran yang banyak dan menembus sangat dalam ke dalam tanah, sistem akar yang tebal dapat mengikat tanah, dan vetiver juga membentuk pagar hidup yang padat apabila ditanam berdekatan.





Pada penelitian “Analisa Numerik Pengaruh Tanaman Vetiver Terhadap Stabilitas Lereng” oleh Zulkarnain 2014, dilakukan penelitian dengan menggunakan 2 varian rumpun vetiver. Diperoleh nilai sudut geser tanah asli ( $\phi$ )  $24^\circ$  dan kohesi ( $c$ )  $0,05 \text{ kg/cm}^2$ . Pada variasi 6 tunas diperoleh nilai sudut geser ( $\phi$ )  $34,5^\circ$  dan kohesi ( $c$ )  $0,31 \text{ kg/cm}^2$ . Sedangkan pada variasi 9 tunas diperoleh nilai sudut geser ( $\phi$ )  $36^\circ$  dan kohesi ( $c$ )  $0,32 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai *safety factor* yang diperoleh pada kondisi tanah asli sebesar 1,369, pada variasi 6 tunas sebesar 2,187 dan pada variasi 9 tunas sebesar 2,190. Perbandingan nilai kohesi tanpa rumput vetiver dan dengan rumput vetiver dapat dilihat pada Gambar 4.11



**Gambar 4.11** Grafik hubungan antara kohesi dan jumlah tunas pada minggu ketujuh

Berdasarkan penelitian terdahulu yang sudah dilakukan, vetiver memberikan dampak yang baik bagi kekuatan tanah. Selain itu bisa menambah nilai sudut geser tanah ( $\phi$ ) hingga 50% dan menambah nilai kohesi ( $c$ ) hingga 540%. Penelitian ini diasumsikan kenaikannya sama dengan penelitian terdahulu, jadi setelah perkuatan terasering nilai sudut geser tanah ( $\phi$ ) dinaikkan sebesar 50% dan nilai kohesi dinaikkan sebesar 540%. Sehingga bisa didapatkan data material tanah seperti pada tabel 4.8 sebagai berikut.



**Tabel 4.8** Data Material Lereng Terasering dan Tanaman Vetiver

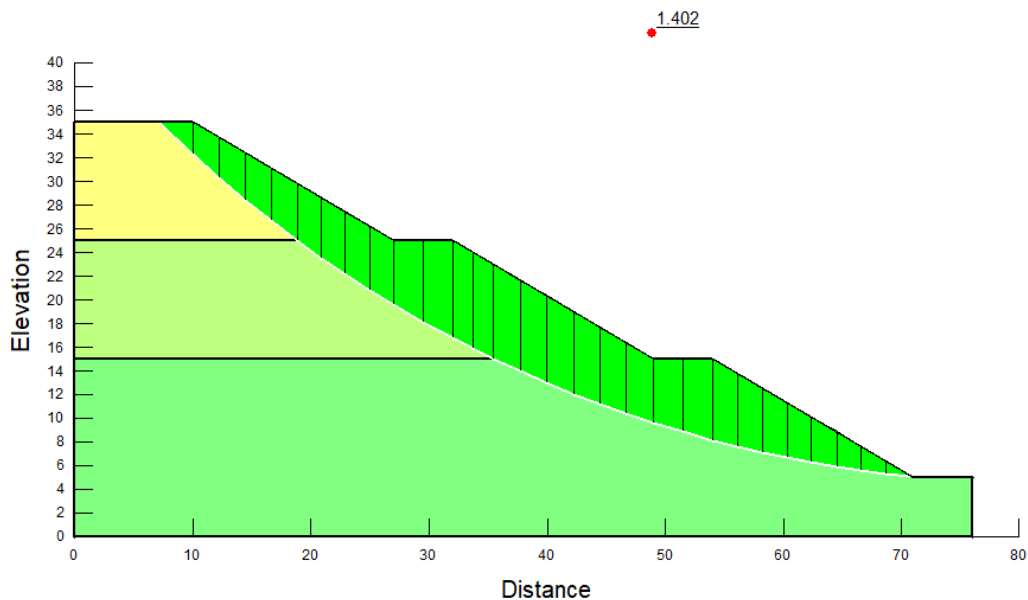
| Lapisan Tanah (dari atas) | Properties Tanah |   | Parameter Geser          |        |
|---------------------------|------------------|---|--------------------------|--------|
|                           | Model Tanah      | Berat Isi Tanah ( $\gamma$ ) (kN/m <sup>3</sup> ) | $c$ (Kn/m <sup>2</sup> ) | $\phi$ |
| Lapisan 1 (0-10) m        | Mohr Coulomb     | 13,44   | 2,196                    | 28,5   |
| Lapisan 1 (10-20) m       | Mohr Coulomb     | 13,93   | 2,43                     | 27     |
| Lapisan 1 (20-35) m       | Mohr Coulomb     | 12,45   | 2,655                    | 33     |

1. Perhitungan FS dengan Program *Geoslope* Metode *Fellenius*

Hasil analisis menggunakan program *geoslope* pada lereng yang diperkuat terasering dan tanaman vetiver didapatkan bidang longsor dan angka keamanannya.

Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *fellenius* pada lereng sebesar 1,402.

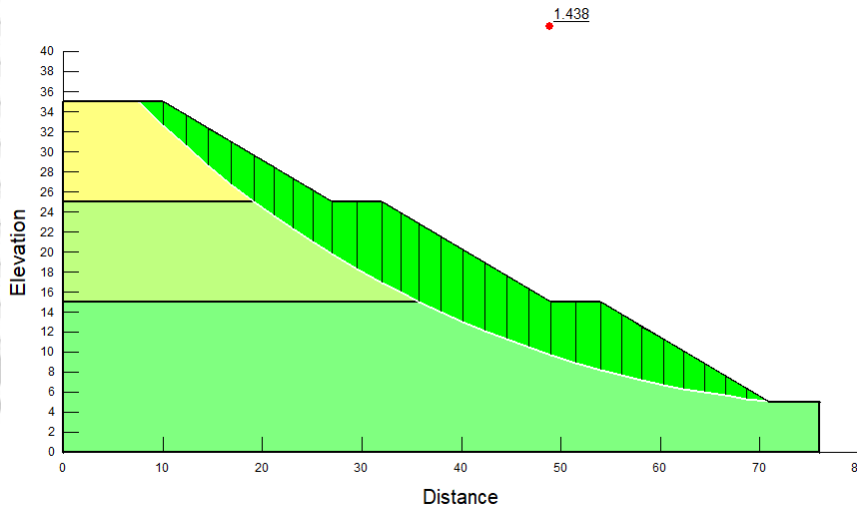
Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 4.12 di bawah ini.



**Gambar 4.12** Output *Geoslope* Metode *Fellenius* Dengan Perkuatan Tersering dan Tanaman Vetiver



2. Perhitungan FS dengan Program *Geoslope* Metode *Bishop* yang Disederhanakan  
 Hasil analisis menggunakan program *geoslope* pada lereng yang diperkuat terasering dan tanaman vetiver didapatkan bidang longsor dan angka keamanannya. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *bishop* yang disederhanakan pada lereng sebesar 1,438. Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode *fellenius* dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini.

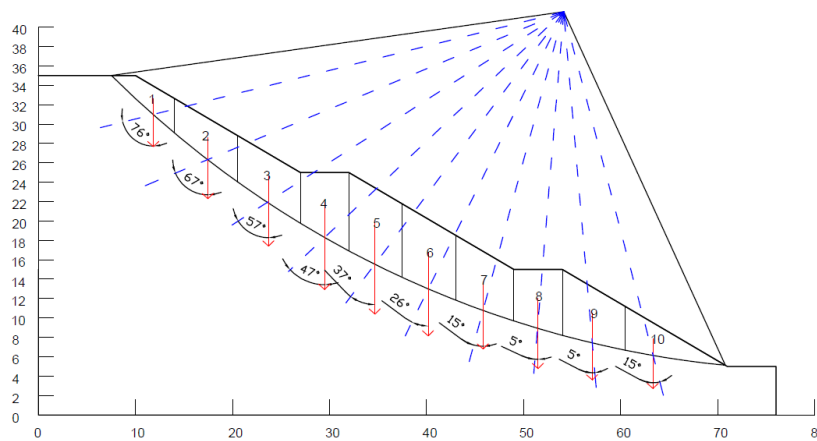


**Gambar 4.13** Output *Geoslope* Metode *Bishop* yang Disederhanakan Dengan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver

**4.4.3 Analisis Lereng Menggunakan Metode Manual Dengan Perkuatan Terasering dan Tanaman Vetiver**

1. Perhitungan FS Manual dengan Metode *Fellenius*

Perhitungan yang digunakan dalam analisis ini yaitu seperti pada Gambar 4.14 berikut



**Gambar 4.14** Hasil Analisis Lereng Metode *Fellenius* Dengan Perkuatan





a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

Perhitungan berat irisan tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Dibawah ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 8 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$W_1 = \gamma \cdot A_1 = 13,44 \times 11,54 = 155,06 \text{ kN}$$

$$W_2 = \gamma \cdot A_2 = 13,44 \times 27,04 = 363,42 \text{ kN}$$

$$W_3 = \gamma \cdot A_3 = 13,44 \times 32,5 = 436,8 \text{ kN}$$

$$W_4 = \gamma \cdot A_4 = 13,93 \times 33,28 = 463,52 \text{ kN}$$

$$W_5 = \gamma \cdot A_5 = 13,93 \times 43,04 = 599,51 \text{ kN}$$

$$W_6 = \gamma \cdot A_6 = 13,93 \times 39,19 = 545,88 \text{ kN}$$

$$W_7 = \gamma \cdot A_7 = 13,93 \times 36,75 = 511,92 \text{ kN}$$

$$W_8 = \gamma \cdot A_8 = 12,45 \times 30,28 = 376,92 \text{ kN}$$

$$W_9 = \gamma \cdot A_9 = 12,45 \times 45,2 = 562,74 \text{ kN}$$

$$W_{10} = \gamma \cdot A_{10} = 12,45 \times 19,8 = 246,51 \text{ kN}$$

b. Perhitungan Radians

Sudut tiap irisan didapatkan dengan bantuan program Autocad 2017.

$$\text{Rad1} = \theta \times \frac{\pi}{180} = 76^\circ \times \frac{22}{180} = 1,33$$

c. Perhitungan sin  $\alpha$

$$\text{Sin } \alpha 1 = \sin (\text{rad1}) = \sin (1,33) = 0,97$$

d. Perhitungan cos  $\alpha$

$$\text{Cos } \alpha 1 = \cos (\text{rad1}) = \cos (1,33) = 0,24$$

e. Perhitungan  $W_n \times \sin \alpha$

$$W_n \times \sin \alpha = 155,06 \times 0,97 = 150,46$$

f. Perhitungan  $W_n \times \cos \alpha$

$$W_n \times \cos \alpha = 155,06 \times 0,24 = 37,51$$





Perhitungan selengkapnya untuk manual *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 4.9 Berikut ini.

**Tabel 4.9** Perhitungan Manual Metode *Fellenius* Dengan Perkuatan

| METODE FELLENIUS |                    |                               |              |                               |         |                 |                 |          |                    |                    |
|------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|---------|-----------------|-----------------|----------|--------------------|--------------------|
| Irisan No        | Panjang Irisan (m) | Luas Irisan (m <sup>2</sup> ) | Sudut Irisan | $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> ) | Radians | $\sin \alpha_n$ | $\cos \alpha_n$ | Wn       | Wn $\sin \alpha_n$ | Wn $\cos \alpha_n$ |
| 1                | 6,5                | 11,54                         | 76           | 13,44                         | 1,33    | 0,97            | 0,24            | 155,06   | 150,46             | 37,51              |
| 2                | 6,5                | 27,04                         | 67           | 13,44                         | 1,17    | 0,92            | 0,39            | 363,42   | 334,53             | 142,00             |
| 3                | 6,5                | 32,50                         | 57           | 13,44                         | 0,99    | 0,84            | 0,54            | 436,80   | 366,33             | 237,90             |
| 4                | 5                  | 33,28                         | 47           | 13,93                         | 0,82    | 0,73            | 0,68            | 463,52   | 339,00             | 316,12             |
| 5                | 5,5                | 43,04                         | 37           | 13,93                         | 0,65    | 0,60            | 0,80            | 599,51   | 350,80             | 478,79             |
| 6                | 5,5                | 39,19                         | 26           | 13,93                         | 0,45    | 0,44            | 0,90            | 545,88   | 239,30             | 490,64             |
| 7                | 6,13               | 36,75                         | 15           | 13,93                         | 0,26    | 0,26            | 0,97            | 511,92   | 129,50             | 494,48             |
| 8                | 5                  | 30,28                         | 5            | 12,45                         | 0,09    | 0,09            | 1,00            | 376,92   | 32,85              | 375,49             |
| 9                | 8                  | 45,2                          | -5           | 12,45                         | -0,09   | -0,09           | 1,00            | 562,74   | -49,05             | 560,60             |
| 10               | 8,8                | 19,8                          | -15          | 12,45                         | -0,26   | -0,26           | 0,97            | 246,51   | -63,80             | 238,11             |
| $\Sigma$         | 63,43              |                               |              |                               |         |                 |                 | $\Sigma$ | 1829,92            | 3371,63            |



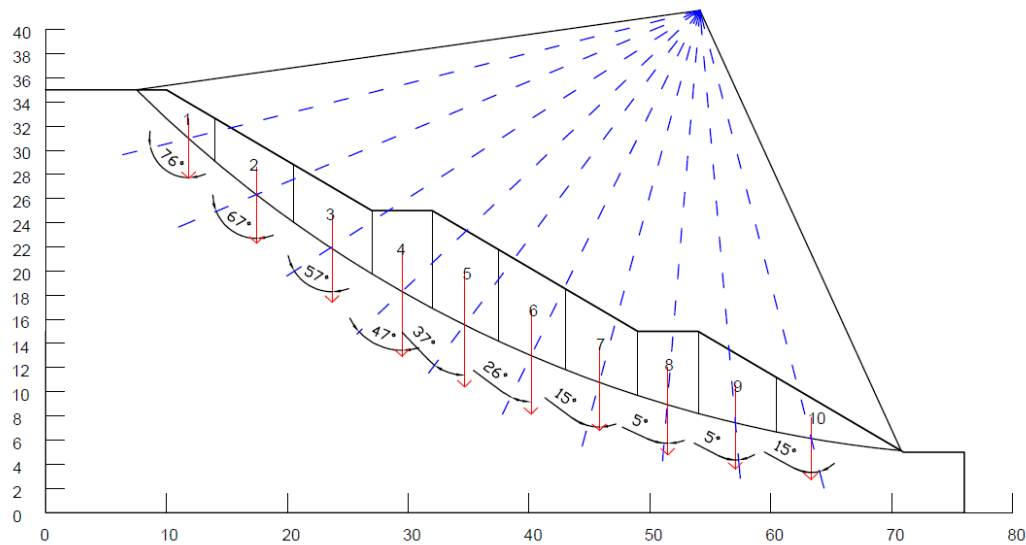
Nilai faktor keamanan dari perhitungan di atas adalah :

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{\Sigma(c \times L + \tan \theta \cdot W \cos \alpha)}{\Sigma W \sin \alpha} \\
 &= \frac{(2,43 \times 63,43 + 0,67 \times 3371,63)}{1829,92} \\
 &= 1,319
 \end{aligned}$$

Jadi, nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *fellenius* secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 1,319.

## 2. Perhitungan FS Manual dengan Metode *Bishop*

Perhitungan yang digunakan dalam analisis ini yaitu seperti pada Gambar 4.15 berikut



Gambar 4.15 Hasil Analisis Lereng Metode *Bishop* Dengan Perkuatan



a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

Perhitungan berat irisan tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Dibawah ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 8 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$W_1 = \gamma \cdot A_1 = 13,44 \times 11,54 = 155,06 \text{ kN}$$

$$W_2 = \gamma \cdot A_2 = 13,44 \times 27,04 = 363,42 \text{ kN}$$

$$W_3 = \gamma \cdot A_3 = 13,44 \times 32,5 = 436,8 \text{ kN}$$

$$W_4 = \gamma \cdot A_4 = 13,93 \times 33,28 = 463,52 \text{ kN}$$

$$W_5 = \gamma \cdot A_5 = 13,93 \times 43,04 = 599,51 \text{ kN}$$

$$W_6 = \gamma \cdot A_6 = 13,93 \times 39,19 = 545,88 \text{ kN}$$

$$W_7 = \gamma \cdot A_7 = 13,93 \times 36,75 = 511,92 \text{ kN}$$

$$W_8 = \gamma \cdot A_8 = 12,45 \times 30,28 = 376,92 \text{ kN}$$

$$W_9 = \gamma \cdot A_9 = 12,45 \times 45,2 = 562,74 \text{ kN}$$

$$W_{10} = \gamma \cdot A_{10} = 12,45 \times 19,8 = 246,51 \text{ kN}$$

b. Perhitungan sin  $\alpha$

$$\sin \alpha_1 = \sin (76) = 0,97$$

c. Perhitungan tan  $\phi$

$$\tan \phi_1 = \tan (28,5) = 0,54$$

d. Perhitungan  $W_n \times \sin \alpha$

$$W_n \times \sin \alpha_1 = 155,06 \times 0,97 = 150,46$$

e. Perhitungan  $W_n \times \tan \phi$

$$W_n \times \tan \phi_1 = 155,06 \times 0,54 = 84,19$$





Untuk perhitungan selengkapnya metode *Bishop* yang disederhanakan dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut ini :

**Tabel 4.10** Perhitungan Manual Metode *Bishop* Dengan Perkuatan

| METODE BISHOP |            |         |      |                |                |            |                   |               |       |          |      |      |         |         |       |       |
|---------------|------------|---------|------|----------------|----------------|------------|-------------------|---------------|-------|----------|------|------|---------|---------|-------|-------|
| No            | $\alpha_n$ | Wn      | bn   | sin $\alpha_n$ | tan $\alpha_n$ | tan $\phi$ | Wn sin $\alpha_n$ | Wn tan $\phi$ | c.bn  | $\sigma$ | Ma   |      | F       |         | FS    |       |
|               |            |         |      |                |                |            |                   |               |       |          | 1,4  | 1,43 | 1,4     | 1,43    | FS 1  | FS 2  |
| 1             | 76         | 155,06  | 6,5  | 0,97           | 4,01           | 0,54       | 150,46            | 84,19         | 14,27 | 98,47    | 0,62 | 0,61 | 159,27  | 161,33  | 1,472 | 1,478 |
| 2             | 67         | 363,42  | 6,5  | 0,92           | 2,36           | 0,54       | 334,53            | 197,32        | 14,27 | 211,59   | 0,75 | 0,74 | 282,98  | 285,85  |       |       |
| 3             | 57         | 436,80  | 6,5  | 0,84           | 1,54           | 0,54       | 366,33            | 237,16        | 14,27 | 251,44   | 0,87 | 0,86 | 289,04  | 291,33  |       |       |
| 4             | 47         | 463,52  | 5    | 0,73           | 1,07           | 0,51       | 339,00            | 236,18        | 12,15 | 248,33   | 0,95 | 0,94 | 261,90  | 263,45  |       |       |
| 5             | 37         | 599,51  | 5,5  | 0,60           | 0,75           | 0,51       | 360,80            | 305,47        | 13,37 | 318,83   | 1,02 | 1,01 | 313,30  | 314,72  |       |       |
| 6             | 26         | 545,88  | 5,5  | 0,44           | 0,49           | 0,51       | 239,30            | 278,14        | 13,37 | 291,51   | 1,06 | 1,05 | 275,44  | 276,31  |       |       |
| 7             | 15         | 511,92  | 6,13 | 0,26           | 0,27           | 0,51       | 132,49            | 260,84        | 14,90 | 275,73   | 1,06 | 1,06 | 260,09  | 260,58  |       |       |
| 8             | 5          | 376,92  | 5    | 0,09           | 0,09           | 0,65       | 32,85             | 244,78        | 13,28 | 258,06   | 1,04 | 1,04 | 248,94  | 249,14  |       |       |
| 9             | -5         | 562,74  | 8    | -0,09          | -0,09          | 0,65       | -49,05            | 365,45        | 21,25 | 386,70   | 0,96 | 0,96 | 404,59  | 404,23  |       |       |
| 10            | -15        | 246,51  | 8,8  | -0,26          | -0,27          | 0,65       | -63,80            | 160,09        | 23,37 | 183,46   | 0,85 | 0,85 | 216,89  | 216,24  |       |       |
| Total         |            | 2243,97 |      |                |                |            | 1842,91           |               |       |          |      |      | 2712,45 | 2723,19 |       |       |



Penjelasan perhitungan pada tabel di atas adalah sebagai berikut.

- 1) Penentuan FS menggunakan cara coba-coba (*trial and error*) dengan menggunakan FS sementara atau FS lama sampai FS menjadi konvergen yaitu

$$FS_1 = 1,4 \text{ dan } FS_2 = 1,43$$

$$\begin{aligned} Mi_1 &= (1 + \tan \alpha_n \times \tan \phi / F) \times \cos \alpha_n \\ &= (1 + \tan (76) \times \tan (28,5) / (1,4)) \times \cos (76) \\ &= 0,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mi_2 &= (1 + \tan \alpha_n \times \tan \phi / F) \times \cos \alpha_n \\ &= (1 + \tan (76) \times \tan (28,5) / (1,43)) \times \cos (76) \\ &= 0,61 \end{aligned}$$

2)  $\sigma_1$

$$\begin{aligned} &= W_n \tan \phi + c \cdot b_n \\ &= 84,19 + 14,27 \\ &= 98,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

3)  $F_1$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sigma_1}{Ma_1} \\ &= \frac{98,47}{0,62} \\ &= 159,27 \end{aligned}$$

$F_2$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sigma_1}{Ma_1} \\ &= \frac{98,47}{0,61} \\ &= 161,33 \end{aligned}$$

4)  $FS_1$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum F_1}{\sum W_n \sin \alpha_n} \\ &= \frac{2712,45}{1842,91} \\ &= 1,472 \end{aligned}$$

5)  $FS_2$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum F_2}{\sum W_n \sin \alpha_n} \\ &= \frac{2723,19}{1842,91} \\ &= 1,478 \end{aligned}$$



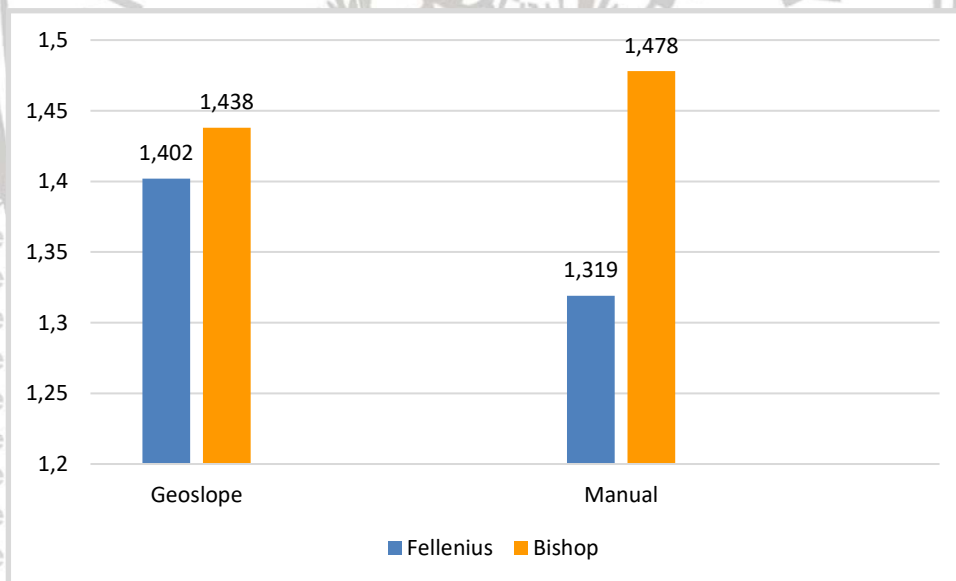


Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *bishop* yang disederhanakan secara perhitungan manual dengan perkuatan terasering dan tanaman vetiver yaitu sebesar 1,478. Hasil tersebut tidak berbeda jauh dengan analisis metode *bishop* yang disederhanakan dengan program *geoslope* yaitu sebesar 1,438.

Setelah dilakukan perhitungan dengan program *geoslope* dan manual menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop* yang disederhanakan, maka dapat dibuat rekapitulasi perhitungan angka keamanan lereng setelah diperkuat dengan terasering dan tanaman vetiver seperti pada tabel 4.11 dan gambar 4.16 berikut.

**Tabel 4.11** Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Lereng Setelah Perkuatan

| Metode | <i>Geoslope</i>  |               | Manual           |               |
|--------|------------------|---------------|------------------|---------------|
|        | <i>Fellenius</i> | <i>Bishop</i> | <i>Fellenius</i> | <i>Bishop</i> |
| FS     | 1,402            | 1,438         | 1,319            | 1,478         |



**Gambar 4.16** Grafik Nilai FS Lereng Setelah Perkuatan



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian perkuatan lereng dengan terasering dan tanaman vetiver didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Stabilitas lereng sebelum perkuatan masih belum stabil dan faktor keamanannya masih di bawah angka minimum yang diharuskan. Untuk jenis kelongsoran pada lereng sebelum perkuatan adalah kelongsoran pada lereng. Lereng memiliki kemiringan  $60^\circ$  dan tinggi 35 m yang dianalisis dengan metode *fellenius* dan *bishop*. Analisis dengan metode *fellenius* didapatkan FS sebesar 0,325 dan metode *bishop* didapatkan FS sebesar 0,367. Hasil analisis ini masih cukup jauh dari angka minimum yang seharusnya bisa lebih dari 1,3 untuk lereng tersebut bisa stabil. Sehingga perlu adanya perkuatan yang bisa menstabilkan lereng.
2. Stabilitas lereng setelah diperkuat dengan terasering dan tanaman vetiver sudah stabil dan faktor keamanannya sudah mencukupi dari angka minimum. Untuk jenis kelongsoran pada lereng setelah perkuatan adalah kelongsoran pada lereng. Lereng dibuat menjadi 3 lapisan dengan masing-masing lapisan memiliki kemiringan  $30^\circ$  dan tinggi (lapisan 1 dan 2 sebesar 10 m, lapisan 3 sebesar 15m).
  - Analisis dengan perkuatan terasering menggunakan metode *fellenius* didapatkan FS sebesar 0,810 dan metode *bishop* didapatkan FS sebesar 0,810. Hasil analisis ini belum cukup untuk bisa menstabilkan lereng. Sehingga perlu adanya perkuatan tambahan yang bisa menstabilkan lereng.
  - Analisis dengan perkuatan terasering dan tanaman vetiver menggunakan metode *fellenius* didapatkan FS sebesar 1,402 dan metode *bishop* didapatkan FS sebesar 1,438. Hasil analisis ini sudah cukup untuk bisa menstabilkan lereng.
3. Perhitungan stabilitas lereng dengan perhitungan manual dan program *geoslope* memberikan hasil yang hampir sama, dengan rata-rata selisih perhitungan sebesar 4,5%.



## 5.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk melengkapi dan mengembangkan tema penelitian ini. Maka dari itu diharapkan pada penelitian yang akan datang :

1. Pada penelitian ini menggunakan sudut lereng  $30^\circ$  pada perkuatan terasering, diharapkan pada penelitian selanjutnya memberikan variasi pada sudut lereng.
2. Memberikan variasi beban pada lereng, seperti beban jalan atau bangunan. Karena pada penelitian ini tidak terdapat beban pada lereng.
3. Memperhitungkan adanya muka air tanah, dikarenakan pada penelitian ini tidak ditemukan muka air tanah di lapangan.
4. Perlu dilakukan penanaman vetiver secara langsung di lapangan, karena penelitian ini didapatkan dari literatur yang ada.
5. Pemodelan selanjutnya diharapkan menggunakan software geoteknik yang lain, seperti Plaxis.
6. Membandingkan dengan jenis perkuatan yang lain, misalnya dinding penahan tanah.



## DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M., 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M. 2007. *Principles of Foundation Engineering - 6th Edition*. Toronto, Ontario, Canada: Nelson, A Division of Thomson Canada Limited
- Famungkas F. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya)*. Malang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- GEO-SLOPE International Ltd. 2008. *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version. Third Edition*. Canada.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Teknik Pondasi I. Edisi Kedua*. Yogyakarta: Beta Offset.
- SNI 3420:2016, *Metode Uji Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B. Peck. 1967. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. Edisi Kedua Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Zulkarnain. 2014. *Analisis Numerik Pengaruh Tanaman Vetiver Terhadap Stabilitas Lereng*.
- Bayu Prasetyo Utomo. 2013. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Dengan Menggunakan Progran Geoslope*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2009. *Pedoman Penanaman Rumput Vetiver untuk Pengendalian Erosi Permukaan dan Pencegahan Longsoran Dangkal pada Lereng Jalan*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- F. Ilham. 2010. *Karakteristik Mekanis Perkuatan Lereng Menggunakan Geo-Root dengan Tanaman Akar Wangi*
- Putri Kurniawari. 2020. *Analisis Pengaruh Tanaman Vetiver Terhadap Stabilitas Lereng*. Jakarta: Program Studi Teknik Sipil Universitas Gunadarma.

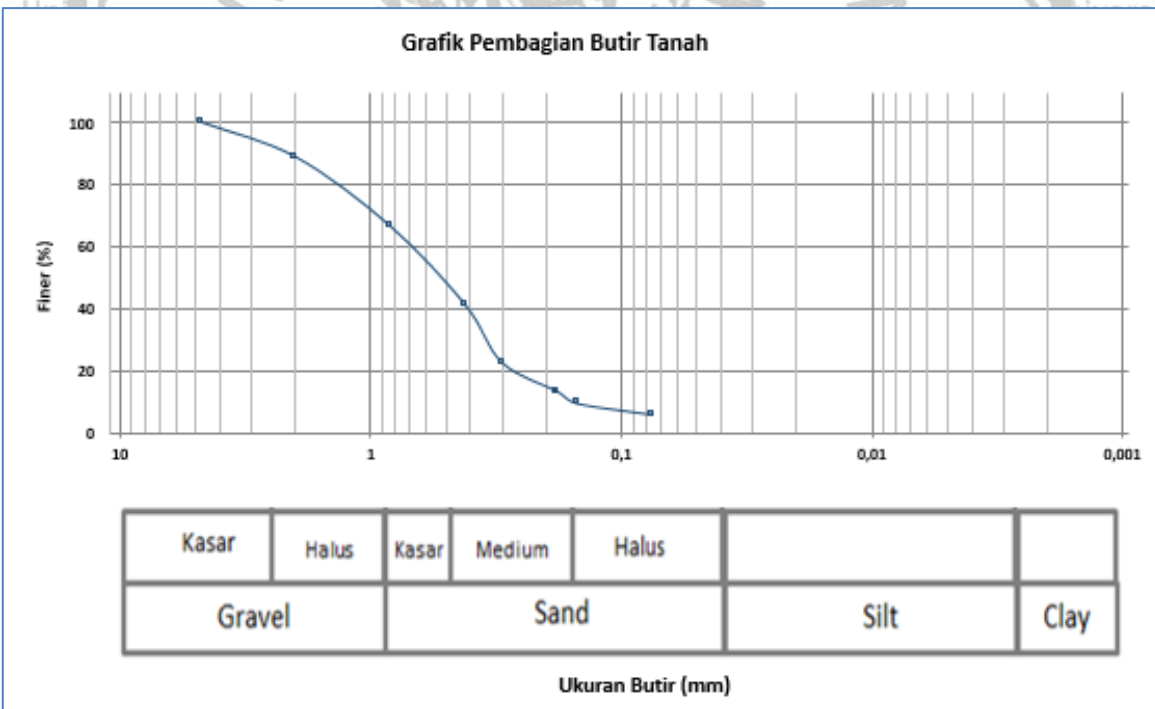


LAMPIRAN

Lampiran Soil Properties

➤ ANALISA SARINGAN (GRAINSIZE)

| Saringan |               | Tertahan saringan (gram) | Jumlah Tertahan (gram) | % Jumlah Tertahan | % Lolos Saringan |
|----------|---------------|--------------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| No.      | Diameter (mm) |                          |                        |                   |                  |
| 4        | 4,75          | 4,9                      | 4,9                    | 0,99              | 100              |
| 10       | 2             | 50,45                    | 55,35                  | 11,13             | 88,87            |
| 20       | 0,84          | 110,03                   | 165,38                 | 33,27             | 66,73            |
| 40       | 0,42          | 126,53                   | 291,91                 | 58,72             | 41,28            |
| 50       | 0,3           | 92,1                     | 384,01                 | 77,25             | 22,75            |
| 80       | 0,18          | 46,53                    | 430,54                 | 86,61             | 13,39            |
| 100      | 0,15          | 19,25                    | 449,79                 | 90,48             | 9,52             |
| 200      | 0,075         | 18,06                    | 467,85                 | 94,11             | 5,89             |
| PAN      |               | 29,27                    | 497,12                 | 100               | 0                |
| TOTAL    |               | 497,12                   |                        |                   |                  |





➤ PERHITUNGAN KADAR AIR (*WATER CONTENT*)

| No. Cawan |                                      | Satuan | Rumus                      | 1     | 2     | 3     |
|-----------|--------------------------------------|--------|----------------------------|-------|-------|-------|
| 1         | Berat Cawan ( $W_1$ )                | gram   |                            | 6,07  | 5,89  | 4,2   |
| 2         | Berat Cawan + Tanah Basah ( $W_2$ )  | gram   |                            | 22,19 | 21,38 | 21,76 |
| 3         | Berat Cawan + Tanah Kering ( $W_3$ ) | gram   |                            | 17,33 | 16,79 | 16,27 |
| 4         | Berat Air ( $W_a$ )                  | gram   | $(W_2 - W_3)$              | 4,86  | 4,59  | 5,49  |
| 5         | Berat Tanah Kering ( $W_t$ )         | gram   | $(W_3 - W_1)$              | 11,26 | 10,9  | 12,07 |
| 6         | Kadar Air ( $W$ )                    | %      | $(W_a / W_t) \times 100\%$ | 43,16 | 42,11 | 45,48 |
| 7         | Rata-rata Kadar Air                  | %      |                            | 43,59 |       |       |

➤ PERHITUNGAN BERAT ISI (*DENSITY*)

| Titik No. / Kedalaman                             | Satuan                     | 1     | 2     | 3     |
|---|----------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Tinggi Ring</b>                                | <b>cm</b>                  | 1,64  | 1,83  | 2,39  |
| <b>Diameter Ring (tabung)</b>                     | <b>cm</b>                  | 2,55  | 2,60  | 2,33  |
| <b>1. Berat Ring</b>                              | <b>gram</b>                | 11,24 | 12,82 | 17,15 |
| <b>2. Berat Ring + Tanah Basah</b>                | <b>gram</b>                | 22,70 | 26,64 | 30,06 |
| <b>3. Berat Tanah Basah (2)-(1)</b>               | <b>gram</b>                | 11,46 | 13,82 | 12,91 |
| <b>4. Volume Tanah (Volume Ring)</b>              | <b>cm<sup>3</sup></b>      | 8,37  | 9,71  | 10,19 |
| <b>5. Berat Isi Tanah (3)/(4)</b>                 | <b>gram/cm<sup>3</sup></b> | 1,37  | 1,42  | 1,27  |
| <b>6. Berat Ring + Tanah Kering</b>               | <b>gram</b>                | 19,20 | 22,83 | 24,81 |
| <b>7. Berat Tanah Kering (6)-(1)</b>              | <b>gram</b>                | 7,96  | 10,01 | 7,66  |
| <b>8. Berat Air (3)-(7)</b>                       | <b>gram</b>                | 3,50  | 3,81  | 5,25  |
| <b>9. Kadar Air (8) / (7) x 100%</b>              | <b>%</b>                   | 43,97 | 38,06 | 68,54 |
| <b>10. <math>\gamma_d</math> (7)/(4)</b>          | <b>gram/cm<sup>3</sup></b> | 0,95  | 1,03  | 0,75  |
| <b>11. Berat Jenis (Gs)</b>                       |                            | 2,38  |       |       |
| <b>12. Volume Tanah Kering (7)/(Gs)</b>           |                            | 3,35  | 4,21  | 3,22  |
| <b>13. Isi Pori (4)-(12)</b>                      |                            | 5,02  | 5,50  | 6,96  |
| <b>14. Derajat Kejenuhan Sr = (8)/(13) x 100%</b> | <b>%</b>                   | 69,70 | 69,29 | 75,41 |
| <b>15. Porositas (13)/(4) x 100%</b>              | <b>%</b>                   | 59,98 | 56,62 | 68,35 |

| Keadaan Tanah       | Derajat Kejenuhan |
|---------------------|-------------------|
| Tanah Kering        | 0                 |
| Tanah agak Lembab   | 0 - 25            |
| Tanah Lembab        | 26 - 50           |
| Tanah Sangat Lembab | 51 - 75           |
| Tanah Basah         | 76- 99            |
| Tanah Jenuh         | 100               |





➤ PERHITUNGAN BERAT JENIS (*SPECIFIC GRAVITY*)

1. Data Kalibrasi Labu Ukur

| No. | 1                            |            | 2                            |            | 3                            |            |
|-----|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|     | Berat Labu Ukur + Air (gram) | temp. (°C) | Berat Labu Ukur + Air (gram) | temp. (°C) | Berat Labu Ukur + Air (gram) | temp. (°C) |
| 1   | 147,2                        | 63         | 163,54                       | 62         | 162,78                       | 63         |
| 2   | 147,51                       | 58         | 163,84                       | 57         | 163,07                       | 55         |
| 3   | 147,7                        | 51         | 163,97                       | 55         | 163,45                       | 49         |
| 4   | 147,95                       | 49         | 164,16                       | 50         | 163,83                       | 44         |
| 5   | 148,32                       | 45         | 164,44                       | 46         | 163,92                       | 43         |
| 6   | 148,49                       | 41         | 164,63                       | 43         | 164,05                       | 38         |
| 7   | 148,81                       | 37         | 164,82                       | 38         | 164,17                       | 35         |
| 8   | 149,13                       | 35         | 164,95                       | 36         | 164,23                       | 32         |
| 9   | 149,37                       | 33         | 165,11                       | 32         | 164,38                       | 31         |
| 10  | 149,63                       | 30         | 165,28                       | 30         | 164,44                       | 30         |

2. Data Kalibrasi Labu Ukur + Tanah

| No. | 1                                    |            | 2                                    |            | 3                                    |            |
|-----|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
|     | Berat Labu Ukur + Air (gram) + Tanah | temp. (oC) | Berat Labu Ukur + Air (gram) + Tanah | temp. (oC) | Berat Labu Ukur + Air (gram) + Tanah | temp. (oC) |
| 1   | 158,88                               | 70         | 175,72                               | 64         | 174,66                               | 65         |
| 2   | 159,63                               | 61         | 176,05                               | 57         | 175,22                               | 61         |
| 3   | 159,92                               | 54         | 176,34                               | 54         | 175,53                               | 56         |
| 4   | 160,29                               | 49         | 176,53                               | 51         | 175,7                                | 50         |
| 5   | 160,68                               | 45         | 176,71                               | 45         | 175,82                               | 45         |
| 6   | 160,77                               | 42         | 176,96                               | 43         | 176,04                               | 39         |
| 7   | 161,16                               | 38         | 177,48                               | 37         | 176,35                               | 36         |
| 8   | 161,37                               | 35         | 177,67                               | 35         | 176,49                               | 32         |
| 9   | 161,54                               | 34         | 177,77                               | 32         | 176,57                               | 31         |
| 10  | 161,63                               | 30         | 177,89                               | 30         | 176,68                               | 30         |

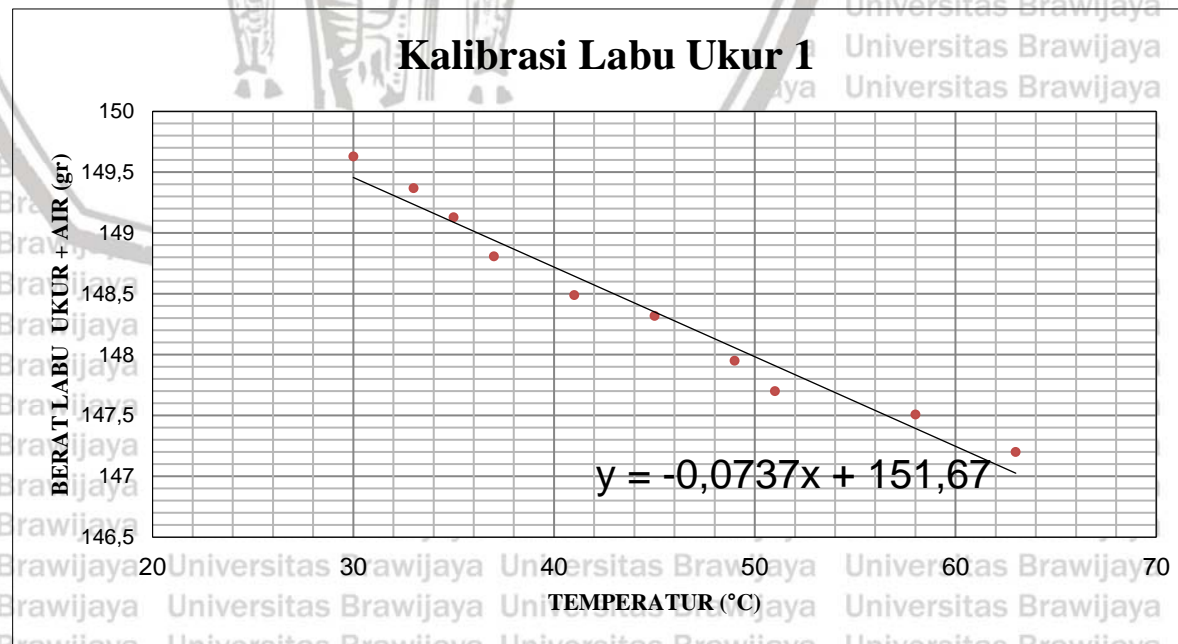




➤ Labu Ukur 1

| LABU UKUR                                 | SATUAN               | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| Berat Tanah Kering (Ws)                   | gram                 | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20 |
| Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1) | gram                 | 158,88 | 159,63 | 159,92 | 160,29 | 160,68 | 160,77 | 161,16 | 161,37 | 161,54 | 161,63 |    |
| Suhu (°C)                                 | °C                   | 70     | 61     | 54     | 49     | 45     | 42     | 38     | 35     | 34     | 30     |    |
| Berat Labu Ukur + Air (W2)                | gram                 | 146,51 | 147,17 | 147,69 | 148,06 | 148,35 | 148,57 | 148,87 | 149,09 | 149,16 | 149,46 |    |
| Berat Jenis air (Gt)                      | gram/cm <sup>3</sup> | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      |    |
| Berat Jenis Tanah (Gs)                    | gram/cm <sup>3</sup> | 2,621  | 2,651  | 2,561  | 2,574  | 2,606  | 2,563  | 2,594  | 2,591  | 2,623  | 2,555  |    |
| Rata-rata Berat Jenis                     | gram/cm <sup>3</sup> | 2,595  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |    |

**Kalibrasi Labu Ukur 1**

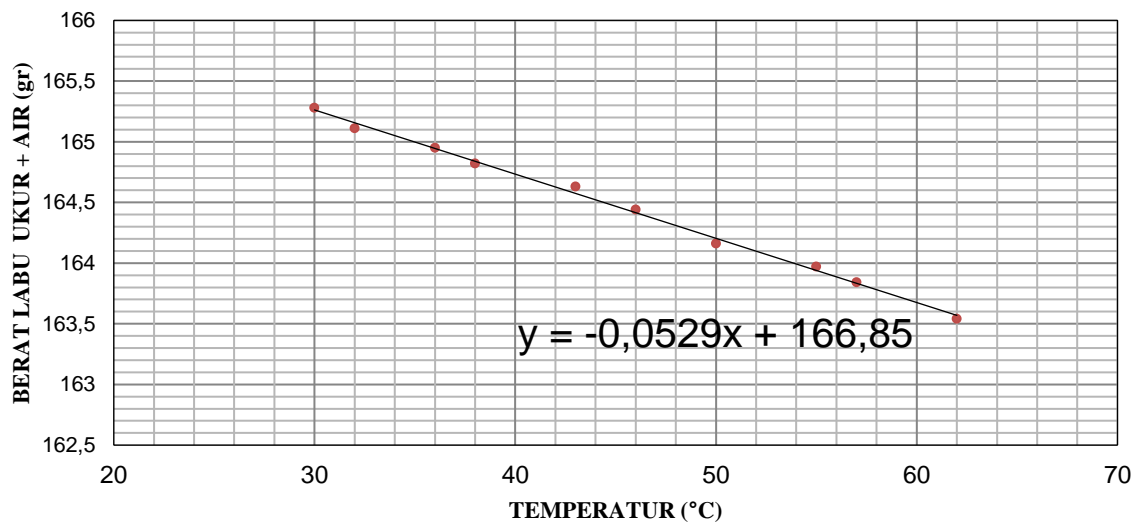




➤ Labu Ukur 2

| LABU UKUR                                 | SATUAN               | 2      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Berat Tanah Kering (Ws)                   | gram                 | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     |
| Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1) | gram                 | 175,72 | 176,05 | 176,34 | 176,53 | 176,71 | 176,96 | 177,48 | 177,67 | 177,77 | 177,89 |
| Suhu (°C)                                 | °C                   | 64     | 57     | 54     | 51     | 45     | 43     | 37     | 35     | 32     | 30     |
| Berat Labu Ukur + Air (W2)                | gram                 | 163,46 | 163,83 | 163,99 | 164,15 | 164,47 | 164,58 | 164,89 | 165,00 | 165,16 | 165,26 |
| Berat Jenis air (Gt)                      | gram/cm <sup>3</sup> | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      |
| Berat Jenis Tanah (Gs)                    | gram/cm <sup>3</sup> | 2,58   | 2,57   | 2,61   | 2,62   | 2,58   | 2,63   | 2,70   | 2,73   | 2,71   | 2,71   |
| Rata-rata Berat Jenis                     | gram/cm <sup>3</sup> | 2,644  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

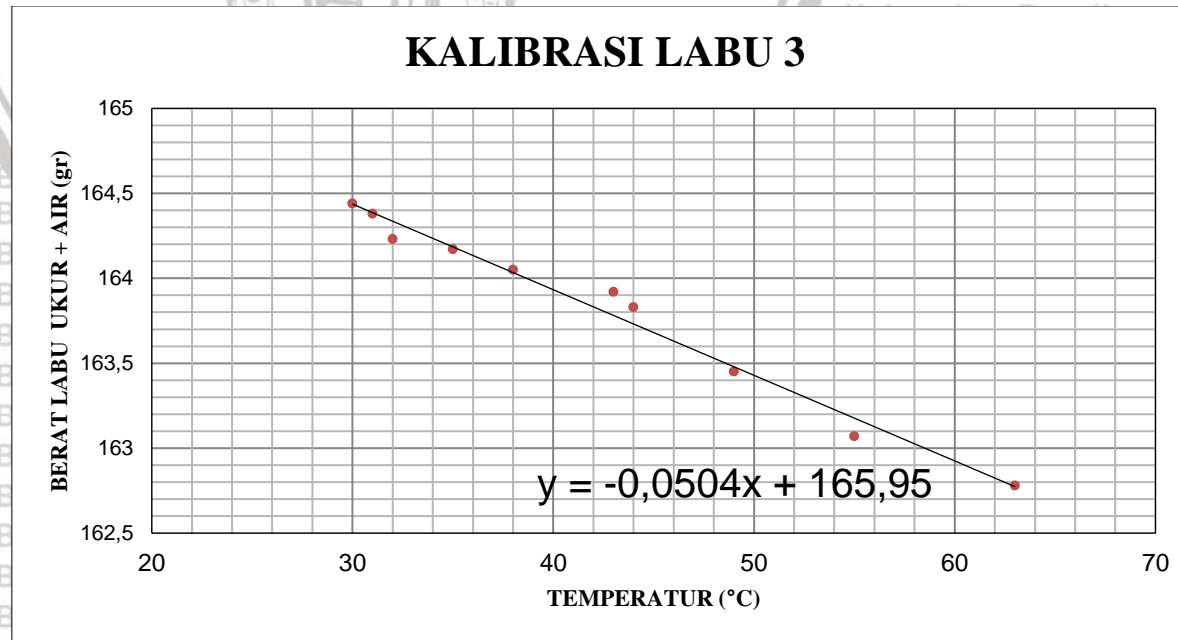
### KALIBRASI LABU 2





➤ Labu Ukur 3

| LABU UKUR                                 | SATUAN               | 3      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Berat Tanah Kering (Ws)                   | gram                 | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     | 20     |
| Berat Labu Ukur + Air + Tanah Kering (W1) | gram                 | 174,66 | 175,22 | 175,53 | 175,7  | 175,82 | 176,04 | 176,35 | 176,49 | 176,57 | 176,68 |
| Suhu (°C)                                 | °C                   | 65     | 61     | 56     | 50     | 45     | 39     | 36     | 32     | 31     | 30     |
| Berat Labu Ukur + Air (W2)                | gram                 | 162,67 | 162,88 | 163,13 | 163,43 | 163,68 | 163,98 | 164,14 | 164,34 | 164,39 | 164,44 |
| Berat Jenis air (Gt)                      | gram/cm <sup>3</sup> | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      |
| Berat Jenis Tanah (Gs)                    | gram/cm <sup>3</sup> | 2,50   | 2,61   | 2,63   | 2,59   | 2,54   | 2,52   | 2,57   | 2,55   | 2,56   | 2,58   |
| Rata-rata Berat Jenis                     | gram/cm <sup>3</sup> | 2,564  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |





➤ ANALISIS UJI GESER LANGSUNG (*DIRECT SHEAR*)

1. Lapisan 1

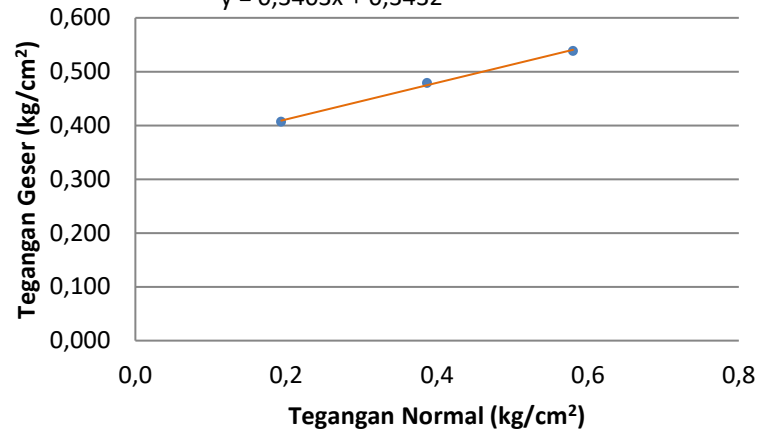
| Horizontal Dial Reading (div) | Horizontal Disp. Δh (mm) | P1 = 0,4 kg                  |                 |                   |                     | P2 = 0,8 kg                  |                 |                   |                     | P3 = 1,2 kg                  |                 |                   |                     |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
|                               |                          | $\sigma_1 = P/A * f = 0,200$ |                 |                   |                     | $\sigma_2 = P/A * f = 0,400$ |                 |                   |                     | $\sigma_3 = P/A * f = 0,800$ |                 |                   |                     |
|                               |                          | Load Ring Dial (div)         | Gaya            |                   |                     |                              | Gaya            |                   |                     |                              | Gaya            |                   |                     |
|                               |                          |                              | Geser<br>x 0,35 | Tegangan<br>Geser | Regangan<br>(ΔL/Lo) | Dial<br>Reading<br>x0,01     | Geser<br>x 0,35 | Tegangan<br>Geser | Regangan<br>(ΔL/Lo) | Dial<br>Reading<br>x0,01     | Geser<br>x 0,35 | Tegangan<br>Geser | Regangan<br>(ΔL/Lo) |
| 0                             | 0                        | 0                            | 0               | 0,000             | 0                   | 0                            | 0,000           | 0                 | 0                   | 0                            | 0               | 0                 |                     |
| 25                            | 0,25                     | 18                           | 6,3             | 0,215             | 0,0041              | 23                           | 8,05            | 0,275             | 0,0041              | 25                           | 8,75            | 0,2993            | 0,0041              |
| 50                            | 0,5                      | 25                           | 8,75            | 0,299             | 0,0082              | 31                           | 10,85           | 0,371             | 0,0082              | 29                           | 10,15           | 0,3472            | 0,0082              |
| 75                            | 0,75                     | 28                           | 9,8             | 0,335             | 0,0123              | 35                           | 12,25           | 0,419             | 0,0123              | 33                           | 11,55           | 0,3951            | 0,0123              |
| 100                           | 1                        | 30                           | 10,5            | 0,359             | 0,0164              | 37                           | 12,95           | 0,443             | 0,0164              | 35                           | 12,25           | 0,4190            | 0,0164              |
| 125                           | 1,25                     | 31                           | 10,85           | 0,371             | 0,0205              | 38                           | 13,3            | 0,455             | 0,0205              | 37                           | 12,95           | 0,4429            | 0,0205              |
| 150                           | 1,5                      | 32                           | 11,2            | 0,383             | 0,0246              | 39                           | 13,65           | 0,467             | 0,0246              | 38                           | 13,3            | 0,4549            | 0,0246              |
| 175                           | 1,75                     | 33                           | 11,55           | 0,395             | 0,0287              | 40                           | 14              | 0,479             | 0,0287              | 40                           | 14              | 0,4789            | 0,0287              |
| 200                           | 2                        | 34                           | 11,9            | 0,407             | 0,0328              | 40                           | 14              | 0,479             | 0,0328              | 41                           | 14,35           | 0,4908            | 0,0328              |
| 225                           | 2,25                     | 34                           | 11,9            | 0,407             | 0,0369              | 40                           | 14              | 0,479             | 0,0369              | 42                           | 14,7            | 0,5028            | 0,0369              |
| 250                           | 2,5                      | 34                           | 11,9            | 0,407             | 0,0410              | 40                           | 14              | 0,479             | 0,0410              | 43                           | 15,05           | 0,5148            | 0,0410              |
| 275                           | 2,75                     | 34                           | 11,9            | 0,407             | 0,0451              |                              |                 |                   |                     | 44                           | 15,4            | 0,5267            | 0,0451              |
| 300                           | 3                        |                              |                 |                   |                     |                              |                 |                   |                     | 45                           | 15,75           | 0,5387            | 0,0492              |
| 325                           | 3,25                     |                              |                 |                   |                     |                              |                 |                   |                     | 45                           | 15,75           | 0,5387            | 0,0533              |
| 350                           | 3,5                      |                              |                 |                   |                     |                              |                 |                   |                     | 45                           | 15,75           | 0,5387            | 0,0574              |
| 375                           | 3,75                     |                              |                 |                   |                     |                              |                 |                   |                     | 45                           | 15,75           | 0,5387            | 0,0615              |



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

### Grafik Uji Geser Langsung

$$y = 0,3403x + 0,3432$$





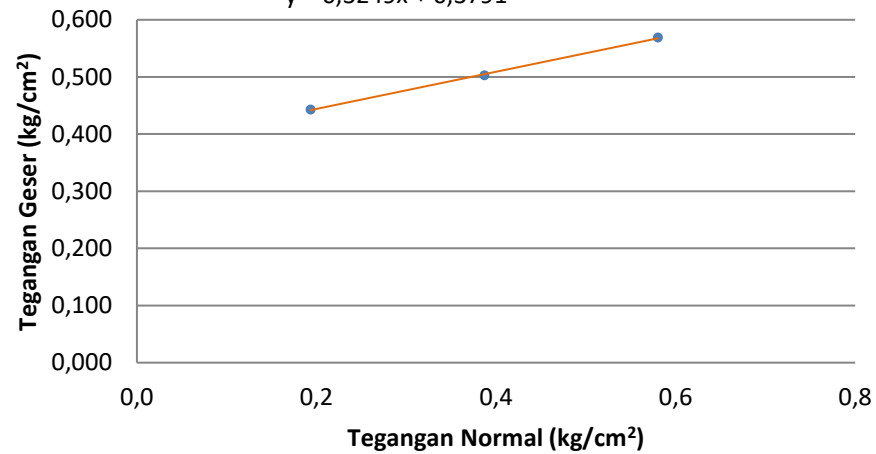
2. Lapisan 2

| Horizontal Dial Reading (div) | Horizontal Disp. Δh (mm) | P1 = 0,4 kg          |                                |          |          | P2 = 0,8 kg                    |            |          |                                | P3 = 1,2 kg   |            |          |          |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------|----------|----------|--------------------------------|------------|----------|--------------------------------|---------------|------------|----------|----------|
|                               |                          | Load Ring Dial (div) | σ <sub>1</sub> = P/A*f = 0,200 |          |          | σ <sub>2</sub> = P/A*f = 0,400 |            |          | σ <sub>3</sub> = P/A*f = 0,800 |               |            |          |          |
|                               |                          |                      | Gaya Geser                     | Tegangan | Regangan | Dial                           | Gaya Geser | Tegangan | Regangan                       | Dial          | Gaya Geser | Tegangan | Regangan |
|                               |                          |                      | x 0,35                         | Geser    | (ΔL/Lo)  | Reading x0,01                  | x 0,35     | Geser    | (ΔL/Lo)                        | Reading x0,01 | x 0,35     | Geser    | (ΔL/Lo)  |
| 0                             | 0                        | 0                    | 0                              | 0,000    | 0        | 0                              | 0          | 0        | 0,000                          | 0             | 0          | 0        | 0        |
| 25                            | 0,25                     | 20                   | 7                              | 0,239    | 0,0041   | 24                             | 8,4        | 0,287    | 0,0041                         | 25            | 8,75       | 0,2993   | 0,0041   |
| 50                            | 0,5                      | 24                   | 8,4                            | 0,287    | 0,0082   | 28                             | 9,8        | 0,335    | 0,0082                         | 30            | 10,5       | 0,3591   | 0,0082   |
| 75                            | 0,75                     | 26                   | 9,1                            | 0,311    | 0,0123   | 31                             | 10,85      | 0,371    | 0,0123                         | 34            | 11,9       | 0,4070   | 0,0123   |
| 100                           | 1                        | 27                   | 9,45                           | 0,323    | 0,0164   | 33                             | 11,55      | 0,395    | 0,0164                         | 37            | 12,95      | 0,4429   | 0,0164   |
| 125                           | 1,25                     | 29                   | 10,15                          | 0,347    | 0,0205   | 35                             | 12,25      | 0,419    | 0,0205                         | 40            | 14         | 0,4789   | 0,0205   |
| 150                           | 1,5                      | 31                   | 10,85                          | 0,371    | 0,0246   | 37,5                           | 13,125     | 0,449    | 0,0246                         | 42            | 14,7       | 0,5028   | 0,0246   |
| 175                           | 1,75                     | 34                   | 11,9                           | 0,407    | 0,0287   | 38                             | 13,3       | 0,455    | 0,0287                         | 43,5          | 15,225     | 0,5208   | 0,0287   |
| 200                           | 2                        | 35                   | 12,25                          | 0,419    | 0,0328   | 39                             | 13,65      | 0,467    | 0,0328                         | 44            | 15,4       | 0,5267   | 0,0328   |
| 225                           | 2,25                     | 36                   | 12,6                           | 0,431    | 0,0369   | 40                             | 14         | 0,479    | 0,0369                         | 45            | 15,75      | 0,5387   | 0,0369   |
| 250                           | 2,5                      | 37                   | 12,95                          | 0,443    | 0,0410   | 41                             | 14,35      | 0,491    | 0,0410                         | 45            | 15,75      | 0,5387   | 0,0410   |
| 275                           | 2,75                     | 37                   | 12,95                          | 0,443    | 0,0451   | 42                             | 14,7       | 0,503    | 0,0451                         | 46            | 16,1       | 0,5507   | 0,0451   |
| 300                           | 3                        | 37                   | 12,95                          | 0,443    | 0,0492   | 42                             | 14,7       | 0,503    | 0,0492                         | 47,5          | 16,625     | 0,5686   | 0,0492   |
| 325                           | 3,25                     |                      |                                |          |          | 42                             | 14,7       | 0,503    | 0,0533                         | 47,5          | 16,625     | 0,5686   | 0,0533   |
| 350                           | 3,5                      |                      |                                |          |          |                                |            |          |                                | 47            | 16,45      | 0,5627   | 0,0574   |
| 375                           | 3,75                     |                      |                                |          |          |                                |            |          |                                | 47            | 16,45      | 0,5627   | 0,0615   |
| 400                           | 4                        |                      |                                |          |          |                                |            |          |                                | 47            | 16,45      | 0,5627   | 0,0656   |



## Grafik Uji Geser Langsung

$$y = 0,3249x + 0,3791$$



3. Lapisan 3

| Horizontal Dial Reading (div) | Horizontal Disp. Δh (mm) | P1 = 0,4 kg          |                                |          |          | P2 = 0,8 kg                    |        |          |                                | P3 = 1,2 kg |        |          |          |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------|----------|----------|--------------------------------|--------|----------|--------------------------------|-------------|--------|----------|----------|
|                               |                          | Load Ring Dial (div) | σ <sub>1</sub> = P/A*f = 0,200 |          |          | σ <sub>2</sub> = P/A*f = 0,400 |        |          | σ <sub>3</sub> = P/A*f = 0,800 |             |        |          |          |
|                               |                          |                      | Gaya                           |          |          |                                | Gaya   |          |                                |             | Gaya   |          |          |
|                               |                          |                      | Geser                          | Tegangan | Regangan | Dial                           | Geser  | Tegangan | Regangan                       | Dial        | Geser  | Tegangan | Regangan |
|                               |                          |                      | x 0,35                         | Geser    | (ΔL/Lo)  | Reading                        | x 0,35 | Geser    | (ΔL/Lo)                        | Reading     | x 0,35 | Geser    | (ΔL/Lo)  |
|                               |                          |                      | x0,01                          |          |          |                                | x0,01  |          |                                |             |        |          |          |
| 0                             | 0                        | 0                    | 0                              | 0,000    | 0        | 0                              | 0,000  | 0        | 0                              | 0           | 0      | 0        |          |
| 25                            | 0,25                     | 21                   | 7,35                           | 0,251    | 0,004098 | 25                             | 8,75   | 0,299    | 0,004098                       | 26          | 9,1    | 0,311256 | 0,004098 |
| 50                            | 0,5                      | 28                   | 9,8                            | 0,335    | 0,008197 | 30                             | 10,5   | 0,359    | 0,008197                       | 29          | 10,15  | 0,34717  | 0,008197 |
| 75                            | 0,75                     | 33                   | 11,55                          | 0,395    | 0,012295 | 32                             | 11,2   | 0,383    | 0,012295                       | 32          | 11,2   | 0,383084 | 0,012295 |
| 100                           | 1                        | 35                   | 12,25                          | 0,419    | 0,016393 | 34                             | 11,9   | 0,407    | 0,016393                       | 35          | 12,25  | 0,418998 | 0,016393 |
| 125                           | 1,25                     | 37                   | 12,95                          | 0,443    | 0,020492 | 36                             | 12,6   | 0,431    | 0,020492                       | 38          | 13,3   | 0,454912 | 0,020492 |
| 150                           | 1,5                      | 38                   | 13,3                           | 0,455    | 0,02459  | 38                             | 13,3   | 0,455    | 0,02459                        | 41          | 14,35  | 0,490826 | 0,02459  |
| 175                           | 1,75                     | 39                   | 13,65                          | 0,467    | 0,028689 | 39                             | 13,65  | 0,467    | 0,028689                       | 43          | 15,05  | 0,514769 | 0,028689 |
| 200                           | 2                        | 41                   | 14,35                          | 0,491    | 0,032787 | 41                             | 14,35  | 0,491    | 0,032787                       | 45          | 15,75  | 0,538711 | 0,032787 |
| 225                           | 2,25                     | 42                   | 14,7                           | 0,503    | 0,036885 | 43                             | 15,05  | 0,515    | 0,036885                       | 48          | 16,8   | 0,574626 | 0,036885 |
| 250                           | 2,5                      | 42                   | 14,7                           | 0,503    | 0,040984 | 44                             | 15,4   | 0,527    | 0,040984                       | 49          | 17,15  | 0,586597 | 0,040984 |
| 275                           | 2,75                     | 42                   | 14,7                           | 0,503    | 0,045082 | 45,5                           | 15,925 | 0,545    | 0,045082                       | 51          | 17,85  | 0,61054  | 0,045082 |
| 300                           | 3                        |                      |                                |          |          | 45,5                           | 15,925 | 0,545    | 0,04918                        | 53          | 18,55  | 0,634482 | 0,04918  |
| 325                           | 3,25                     |                      |                                |          |          | 46                             | 16,1   | 0,551    | 0,053279                       | 54          | 18,9   | 0,646454 | 0,053279 |
| 350                           | 3,5                      |                      |                                |          |          | 46                             | 16,1   | 0,551    | 0,057377                       | 55          | 19,25  | 0,658425 | 0,057377 |
| 375                           | 3,75                     |                      |                                |          |          | 46                             | 16,1   | 0,551    | 0,061475                       | 55          | 19,25  | 0,658425 | 0,061475 |
| 400                           | 4                        |                      |                                |          |          |                                |        |          |                                | 55          | 19,25  | 0,658425 | 0,065574 |



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

### Grafik Uji Geser Langsung

$$y = 0,4022x + 0,415$$

