



**PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH SEBAGAI  
UPAYA PENANGANAN STRUKTURAL BENCANA  
LONGSOR  
(Studi Kasus Bencana Longsor Desa Dompok Kecamatan  
Bendungan Kabupaten Trenggalek)**

**SKRIPSI**

Oleh

**Endah Nurhidayah  
NIM 161910301031**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**



**PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH SEBAGAI UPAYA  
PENANGANAN STRUKTURAL BENCANA LONGSOR  
(Studi Kasus Bencana Longsor Desa Dompyong Kecamatan Bendungan Kabupaten  
Trenggalek)**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1) dan memperoleh gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Endah Nurhidayah  
NIM 161910301031**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah Subhannahu Wata'alla dengan rahmat, nikmat, hidayah dan karunia-Nya, Saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu sesuai yang telah saya rencanakan. Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua yang saya sayangi Ibu Sudarmi dan Bapak Jaiman, kedua adik Saya Salma Wahyu Kinanti dan Renata Triyassandi Helena serta seluruh keluarga besar saya atas doa, dukungan moril, serta pengorbanan yang tidak dapat diucapkan dalam kata.
2. Almamater Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
3. Teman – teman CUPU (Oik, Yoga, Jeje, Ilga, Afri, Yulia, Tika) yang selalu menjadi sahabat saya saat di bangku kuliah ini.
4. Tim Pengendali Tanah (Fahmi Ibrahim, Tariska, Shofana, Rian, Bagus, Fahir, Huda) yang telah membantu dalam proses koordinasi dan komunikasi selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Teman – teman Biji Besi Teknik Sipil 2016 yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama perkuliahan.

**MOTO**

Yang Diperjuangkan Hendaknya Dipertahankan  
(Endah Nurhidayah)

atau

Dan Janganlah Kamu Berputus Asa dari Rahmat Allah. Sesungguhnya Tiada  
Berputus dari Rahmat Allah Melainkan Orang – Orang yang Kufur.

(Terjemahan Al-Qur'an Surat Yusuf : 87)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>PBR.2007 *Al Qur'an dan Terjemahannya for Women Aisyah*. Bandung : PT. Sygma Examedia Arkanleema

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Endah Nurhidayah

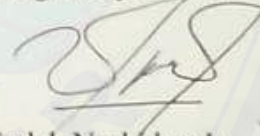
NIM : 161910301031

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Perencanaan Dinding Penahan Tanah Sebagai Upaya Penanganan Struktural Bencana Longsor (Studi Kasus Bencana Longsor Desa Dompok Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek” adalah benar – benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Januari 2020

Yang Menyatakan,



Endah Nurhidayah  
NIM 161910301031

**SKRIPSI**

**PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH SEBAGAI UPAYA  
PENANGANAN STRUKTURAL BENCANA LONGSOR  
(Studi Kasus Bencana Longsor Desa Dompjong Kecamatan Bendungan  
Kabupaten Trenggalek)**

Oleh

Endah Nurhidayah  
NIM 161910301031

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama : Indra Nurtjahjaningtyas, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Perencanaan Dinding Penahan Tanah Sebagai Upaya Penanganan Struktural Bencana Longsor (Studi Kasus Bencana Longsor Desa Dompjong Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek), Endah Nurhidayah, 161910301031” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Jum’at, 10 Januari 2020

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

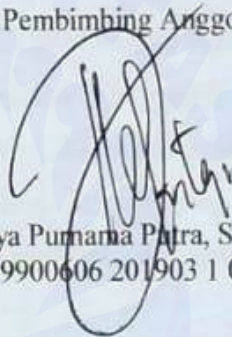
**Tim Pembimbing :**

Dosen Pembimbing Utama,



Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T.  
NIP. 19701024 199803 2 001

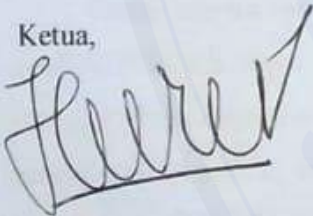
Dosen Pembimbing Anggota,



Paksitya Purnama Patra, S.T., M.T.  
NIP. 19900606 201903 1 022

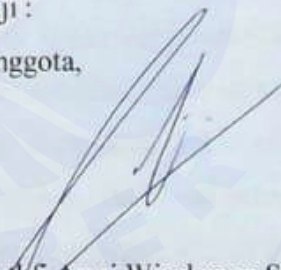
**Tim Penguji :**

Ketua,



Dr. Ir. Krisnamurti, M.T.  
NIP. 19661228 199903 1 002

Anggota,



Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T.  
NRP.760016771

Mengesahkan  
Dekan,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.  
NIP. 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

**Perencanaan Dinding Penahan Tanah Sebagai Upaya Penanganan Struktural Bencana Longsor (Studi Kasus Bencana Longsor Desa Dompjong Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek):** Endah Nurhidayah, 161910301031); 2020: 96 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tanah longsor adalah suatu gerakan perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau ke luar lereng. Berdasarkan data riwayat kebencanaan BPBD Kabupaten Trenggalek dari tahun 2016 hingga Agustus 2018, tercatat setidaknya 273 kejadian longsor di Kabupaten Trenggalek. Kejadian longsor salah satunya terjadi di Desa Dompjong, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek. Setelah dilakukan identifikasi, longsor yang terjadi di Dompjong merupakan longsor translasional dengan material yang dibawa berupa tanah.

Tanah longsor biasanya terjadi pada suatu lereng yang memiliki nilai FS rendah. Nilai FS dapat diketahui dari analisis stabilitas salah satunya dengan menggunakan *Rocscience Slide*. Metode yang digunakan dalam menganalisis lereng pada penelitian ini adalah *Simplified – Bishop*. Dari hasil pemodelan dan perhitungan didapatkan nilai FS lereng sebelum penggalian adalah 0,850 untuk sondir S-01 dan sondir S-02. Setelah penggalian FS lereng sebesar 0,625 untuk sondir S-01 dan S-02. Kemudian hasil SF perhitungan manual pada kondisi sebelum penggalian 1,172 dan 0,756 setelah galian. Validasi perhitungan manual dan aplikasi 27% untuk kondisi awal dan 17% untuk kondisi setelah longsor. Nilai FS longsor setelah terjadi longsor adalah 0,595 yang menunjukkan lereng masih dalam kondisi labil dan dapat sewaktu – waktu mengalami longsor kembali.

Upaya perbaikan lereng yang dilakukan untuk menangani longsor yang terjadi adalah dengan merencanakan dinding penahan tanah. Pada pembahasan ini, dinding penahan tanah yang digunakan adalah *cantilever wall*. Berdasarkan hasil dimensi rencana, setelah dilakukan analisis diperoleh nilai FS dinding penahan terhadap guling sebesar 2,69, FS terhadap geser 1,58 untuk sondir 1 dan 1,70 untuk sondir 2, dan FS terhadap daya dukung sebesar 3,10 untuk sondir 1 dan 3,33 untuk sondir 2. Dimensi dinding rencana kemudian dimodelkan kembali dan menghasilkan nilai FS 0,801. Oleh karena itu perbaikan lereng diperkuat kembali dengan penambahan *micropile* dengan panjang 5 meter yang dipasang dengan sudut  $45^{\circ}$ . Hasil pemodelan lereng setelah perbaikan diperoleh nilai SF  $> 1,25$  yang menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi stabil. Untuk penambahan jumlah *micropile* pada lereng perlu diperhatikan untuk jarak pemasangan dan jumlahnya. Karena jika terlalu banyak dapat menjadi beban bagi lereng itu sendiri.



## SUMMARY

***Design Of Retaining Wall As A Structural Handling For Landslides (Case Study Landslide Of Dompok Village In Bendungan Subdistrict Of Trenggalek)***. Endah Nurhidayah, 161910301031); 2020: 96 Halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Landslide is the displacement of slope-forming material in the form of rocks, rubble, soil or mixed material, moving downward or outward slope. Based on the BPBD Trenggalek disaster history data from 2016 to August 2018, there were at least 273 landslides in Trenggalek. One of them occurred in the Dompok, Bendungan, Trenggalek. After being identified, the landslide that occurred in Dompok was a translational landslide with the material carried was soil.

Landslides usually occur on a slope that has a low FS value. FS can be determined from the analysis of the stability by using *Rocscience Slide*. The method used in analyzing slopes in this study is *Simplified - Bishop*. From the results of modeling and calculation, the value of FS slope before excavation is 0.850 for sondir S-01 and S-02. After being excavated the FS of slope is 0.625 for S-01 and S-02. Then the SF calculation results manually on the conditions before excavation 1,172 and 0,756 after excavation. Validation of manual calculations and applications 27% for initial conditions and 17% for conditions after excavated. The value of the retired FS after a landslide is 0.595 which indicates that the slope is unstable condition and lanslides can at any time occurred.

One of the repair methods for the slopes that can be done to deal with landslides is by planning a retaining wall. In this study, the retaining wall planned is a *cantilever wall*. Based on the results, after the analysis was obtained the FS value of the retaining wall for overturning is 2.69, the FS for sliding is 1.58 for sondir 1 and 1.70 for sondir 2, and the FS for the bearing capacity was 3.10 for sondir 1 and 3.33 for sondir 2. The dimensions of the planned wall are then remodeled and produce an FS 0,801. Therefore, the improvement of the slope is strengthened again by adding a *micropile* with a length of 5 meters and angle  $45^{\circ}$ . The results of slope modeling after improvement obtained SF value  $> 1.25$  which indicates that the slope is in a stable condition. For the addition of *micropile* to the slope repair also pay attention to the installation distance and the amount. Because if too much can be a burden on the slope itself.

## PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir saya tepat waktu sesuai dengan rencana. Atas terselesaikannya tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Dr. Gusfan Halik, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Jember.
3. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T. dan Paksitya Purnama Putra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Anggota Tugas Akhir.
4. Dr. Ir. Krisnamurti, S.T., M.T. dan Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 1 dan 2 yang telah memberikan arahan yang membangun.
5. Willy Kriswardhana, S.T., M.T. selaku Dosen Perwalian Akademik yang telah memberikan arahan selama perkuliahan.
6. Seluruh Civitas Akademika Teknik Sipil Universitas Jember yang telah memberi dukungan.
7. Seluruh pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini seperti halnya peribahasa tiada gading yang tak retak. Untuk itu, diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun untuk penulisan karya ilmiah selanjutnya yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Jember, 10 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTO</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	iix
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xviii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan</b> .....	4
<b>1.4 Manfaat</b> .....	4
<b>1.5 Batasan masalah</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Tanah Longsor</b> .....	5
<b>2.2 Faktor – Faktor Terjadinya Tanah Longsor</b> .....	6
<b>2.3 Tipe Tanah Longsor</b> .....	7
<b>2.4 Stabilitas Lereng</b> .....	11
2.4.1 Faktor Aman.....	12
2.4.2 Metode Irisan.....	13
<b>2.5 Dinding Penahan Tanah</b> .....	16
<b>2.6 Tekanan Lateral Tanah</b> .....	16
2.6.1 Tekanan Tanah Lateral Diam .....	17
2.6.2 Tekanan Tanah Aktif Rankine .....	19
2.6.3 Tekanan Tanah Aktif Coulomb.....	22

2.6.4 Tekanan Pasif Rankine .....	24
2.6.5 Tekanan Pasif Coulomb.....	24
<b>2.7 Penyelidikan Tanah.....</b>	<b>25</b>
2.7.1 Pengukuran Kondisi Eksisting .....	25
2.7.2 Penyelidikan Tanah .....	26
<b>2.8 Perencanaan Dinding Penahan Tanah .....</b>	<b>31</b>
2.8.1 Tahap Perencanaan .....	33
2.8.2 Proporsi Desain Dinding Penahan Tanah .....	33
2.7.1 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah .....	35
<b>2.9 Proses Pemodelan dan Analisis.....</b>	<b>42</b>
2.9.1 Spesifikasi Perangkat Lunak .....	42
2.9.2 Rocscience Slide V.6.020 .....	43
<b>2.10 Penelitian Terdahulu .....</b>	<b>47</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1 Ruang Lingkup Penelitian .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Lokasi Penelitian .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3 Rancangan Penelitian.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4 Metode Penelitian .....</b>	<b>50</b>
<b>3.5 Langkah – Langkah Penelitian .....</b>	<b>53</b>
3.5.1 Data Penelitian .....	53
3.5.2 Pemodelan dengan <i>Software</i> .....	53
3.5.3 Identifikasi Tipe Keruntuhan dan Analisis Stabilitas ...	54
3.5.4 Perencanaan dan Kontrol Stabilitas Dinding Penahan ..	55
3.5.5 Pemeriksaan Keadaan Setelah Perbaikan Lereng .....	55
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1 Kondisi Eksisting .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2 Data Hasil Pengukuran .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3 Identifikasi Keruntuhan Lereng .....</b>	<b>60</b>
4.3.1 Identifikasi Tipe Longsor Berdasarkan Morfologi.....	60
4.3.2 Identifikasi Longsor berdasarkan Pola Keruntuhan ...	62
<b>4.4 Data Tanah .....</b>	<b>62</b>
4.4.1 Karakteristik Tanah.....	62
4.4.2 Hasil Penyelidikan Tanah.....	63
<b>4.5 Pemodelan dan Analisis Lereng.....</b>	<b>66</b>

4.5.1	Data Masukan.....	66
4.5.2	Perhitungan Manual dan Validasi.....	79
4.5.3	Analisis dan Interpretasi.....	82
<b>4.6</b>	<b>Perencanaan Dinding Penahan.....</b>	<b>84</b>
4.6.1	Perencanaan Dimensi.....	84
<b>4.7</b>	<b>Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Rencana.....</b>	<b>87</b>
4.7.1	Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Rencana..	87
4.7.2	Interpretasi Kekuatan Dinding Penahan.....	90
<b>4.8</b>	<b>Rencana Implementasi Lapangan.....</b>	<b>91</b>
<b>4.9</b>	<b>Pemeriksaan Kondisi Lereng Setelah Perbaikan.....</b>	<b>92</b>
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	<b>.....</b>	<b>95</b>
5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran.....	96
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>97</b>
<b>DOKUMENTASI</b>	<b>.....</b>	<b>100</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>102</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Penyebab umum tanah longsor.....	7
2.2 Klasifikasi pergerakan lereng.....	8
2.3 Kisaran nilai <i>factor of safety</i> .....	12
2.4 Nilai $K_a$ .....	21
2.5 Nilai $K_a$ untuk $\beta = 90^\circ$ dan $\alpha = 0^\circ$ .....	23
2.8 Zona Tipe Tanah qt-Fr Robertson et. al 1990 .....	27
2.9 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir .....	27
2.10 Korelasi macam tanah dan koefisien rembesan ( $k$ ) .....	28
2.11 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus....	28
2.12 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus....	28
2.13 Korelasi macam tanah (bahan) dan sudut geser dalam .	29
2.14 Hubungan antara Kepadatan, Kerapatan Relatif, .....	29
2.15 Korelasi berat jenis tanah ( $\gamma$ ) .....	30
2.16 Hubungan antara $E_s$ dan $q_c$ .....	30
2.17 Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah.....	31
2.18 Nilai faktor daya dukung tanah .....	35
2.19 Prosedur perhitungan <b>MR</b> .....	38
3.1 Jadwal Penelitian .....	56
4.1 Identifikasi Keruntuhan Lereng .....	61
4.2 Kode warna stratigrafi tanah .....	63
4.3 Stratigrafi titik S-01 .....	64
4.4 Stratigrafi titik S-02 .....	65
4.9 Nilai validasi .....	82
4.10 Dimensi rencana <i>cantilever wall</i> .....	87
4.11 Perhitungan $\sum MR$ dinding penahan .....	88

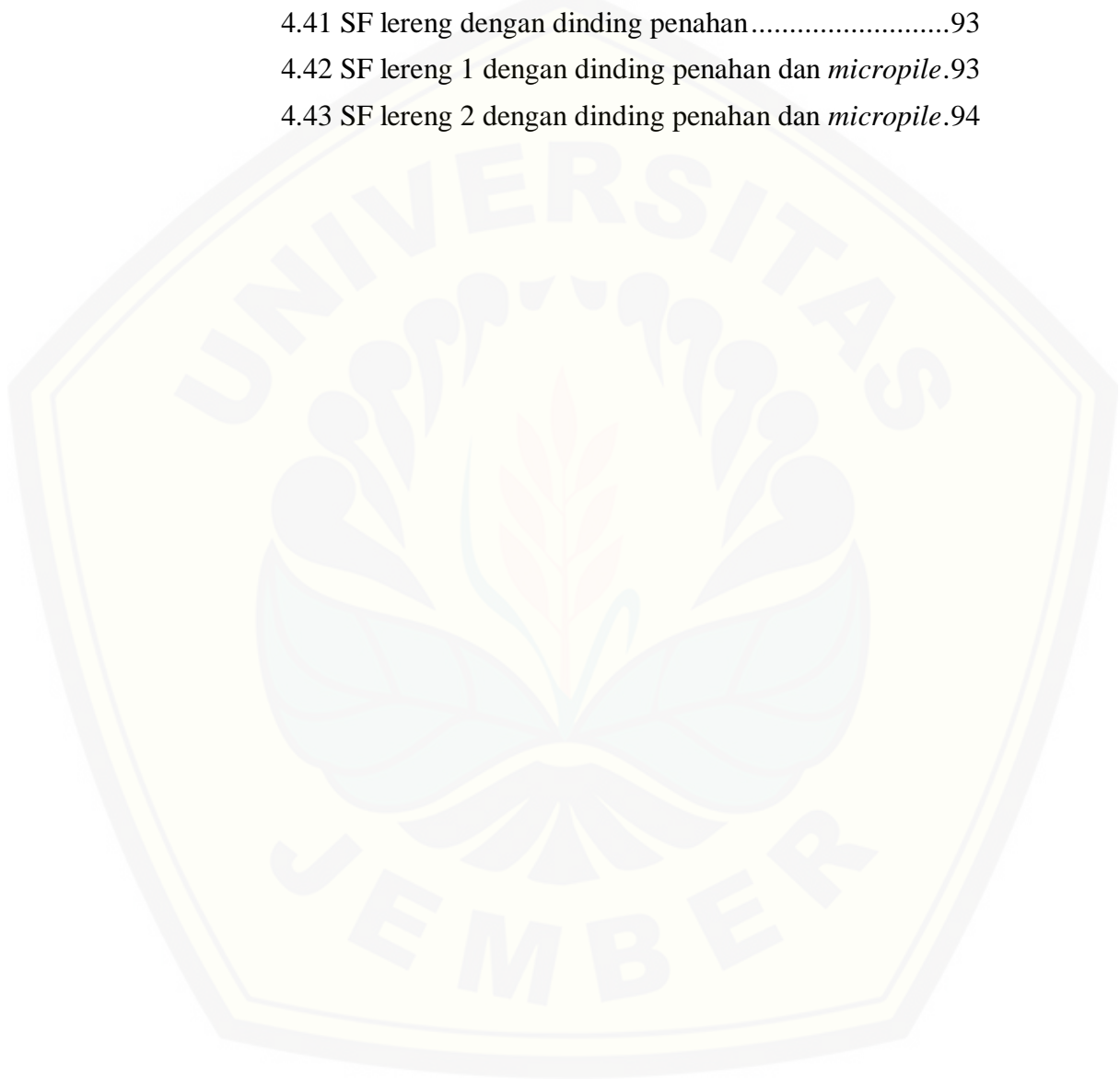
**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Tanah Longsor.....	5
2.2 Skema jenis pergerakan tanah pada lereng .....	9
2.3 Gaya – gaya yang bekerja pada irisan .....	13
2.4 Sifat tekanan tanah lateral pada dinding penahan .....	16
2.5 Tekanan tanah diam.....	17
2.6 Tekanan tanah diam dengan muka air tanah $z < H$ .....	19
2.7 Tekanan aktif Rankine .....	20
2.8 Tekanan aktif Coulomb.....	22
2.9 Tekanan aktif Coulomb.....	23
2.10 Tekanan Pasif Rankine .....	24
2.11 Tekanan Pasif Coulomb .....	25
2.12 Zona Tipe Tanah .....	26
2.13 Macam – macam dinding penahan tanah.....	32
2.14 Dimensi perkiraan untuk dinding penahan .....	34
2.15 Kegagalan dinding penahan .....	36
2.16 Pemeriksaan terhadap guling .....	37
2.17 Kontrol geser sepanjang dasar.....	39
2.18 Pemeriksaan terhadap daya dukung.....	41
2.19 Perangkat lunak proses dan output .....	42
2.20 <i>Rocscience Slide V.6.0.20</i> .....	43
2.21 Metode analisis .....	43
2.22 Bidang gelincir lereng.....	44
2.23 Interpretasi <i>SF Slide</i> .....	45
2.24 Metode Perbaikan <i>Slide</i> .....	45
2.25 Dimensi lereng dengan <i>Slide</i> .....	46
2.26 Perhitungan <i>pore water pressure</i> .....	46
3.1 Lokasi penelitian .....	49
3.2 Diagram alir penelitian .....	52
3.3 Proses pemodelan dengan <i>Rocscience Slide</i> .....	54
4.1 Kondisi awal lereng .....	57

4.2 Kondisi lereng setelah longsor .....	58
4.3 Kondisi lereng setelah longsor .....	58
4.4 Geometri lereng .....	59
4.5. Identifikasi longsor .....	62
4.6 Peta topografi Kabupaten Trenggalek .....	66
4. 7(a) Input batas geometri lereng an (b) batas material .	67
4. 8 Geometri lereng setelah diinput.....	68
4. 9 Batas lapisan tanah .....	68
4.10 Pengaturan umum .....	69
4.11 Pengaturan metode.....	69
4.12 Pengaturan pengaruh air dalam kestabilan lereng ....	70
4.13 Input material .....	70
4.14 <i>Assign</i> material pada lereng.....	71
4.15 Kenampakan lereng .....	71
4.16 Perintah input beban .....	71
4.17 Beban yang telah diinput.....	72
4.18 Penentuan bidang gelincir .....	72
4.19 Pengaturan <i>grid</i> .....	73
4.20 <i>Running</i> .....	73
4.21 <i>Rocscience Slide Interpret</i> sondir 1 kondisi awal.....	74
4.22 Grafik <i>shear strength</i> titik sondir 1 kondisi awal.....	74
4.23 <i>Rocscience Slide Interpret</i> sondir 2 kondisi awal.....	75
4.24 Grafik <i>shear strength</i> titik sondir 2 kondisi awal.....	75
4.25 <i>Slide Interpret</i> sondir 1 kondisi setelah digali.....	76
4.26 Grafik <i>shear strength</i> sondir 1 setelah digali .....	76
4.27 <i>Slide Interpret</i> sondir 1setelah digali .....	77
4.28 <i>Shear strength</i> sondir 1 kondisi setelah digali .....	77
4.29 Irisan lereng sondir 1 .....	78
4.30 Irisan lereng sondir 2 .....	78
4.31 Permukaan lereng yang mengalami longsor .....	79
4.32 Perkiraan koreksi $\phi'$ .....	80
4.33 Tampilan <i>Query Slice Data</i> .....	81
4.34 Kondisi lereng eksisting setelah longsor.....	84
4.35 Tipikal penanganan kombinasi.....	85



4.36 SF lereng setelah longsor .....	86
4.37 Bagian – bagian <i>cantilever wall</i> .....	86
4.38 Galian lereng 1 .....	91
4.39 Galian lereng 2 .....	92
4.40 Penimbunan dengan tanah galian .....	92
4.41 SF lereng dengan dinding penahan .....	93
4.42 SF lereng 1 dengan dinding penahan dan <i>micropile</i> .	93
4.43 SF lereng 2 dengan dinding penahan dan <i>micropile</i> .	94



**DAFTAR LAMPIRAN**

- 1 Peta ancaman bencana longsor Kabupaten Trenggalek
- 2 Peta geomorfologi Kabupaten Trenggalek
- 3 Tabel 2.6 Nilai  $K_a$  untuk  $d' = \frac{2}{3} \phi'$
- 4 Tabel 2.7 Nilai  $K_a$  untuk  $d' = \phi'/2$
- 5 Penelitian terdahulu
- 6 Geometri lereng hasil pengukuran
- 7 Data tanah
- 8 Pengolahan data sondir
- 9 Peta Topografi Kabupaten Trenggalek
- 10 Analisis stabilitas lereng
- 11 Perhitungan manual lereng metode *simplified - bishop*
- 12 Perencanaan dinding penahan tanah
- 13 Kondisi lereng setelah perbaikan

## BAB 1. PENDAHULUAN

Kejadian multi bencana yang terjadi di Indonesia menunjukkan adanya peningkatan intensitas dari tahun ketahun. Berdasarkan data BNPB, sepanjang tahun 2017 tidak kurang dari 2.341 peristiwa bencana yang terjadi dengan rincian 787 kejadian banjir, 716 kejadian puting beliung, 614 kejadian longsor, 96 kejadian kebakaran hutan, 76 kejadian banjir serta tanah longsor, 19 kejadian kekeringan, 20 kejadian gempa bumi, dan 11 kejadian gelombang pasang dan abrasi (BNPB,2017). Intensitas tanah longsor menempati urutan ketiga dengan jumlah yang cukup banyak.

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI), Kabupaten Trenggalek merupakan kabupaten yang memiliki kelas resiko tinggi (skor 198) dengan peringkat 63 se-Indonesia, sedangkan untuk Indeks Risiko Bencana tanah longsor Kabupaten/Kota Trenggalek menempati peringkat ke-103 dari 497 Kabupaten/ Kota di Indonesia. (BNPB,2013). Hal ini dapat dilihat dari tingginya intensitas kejadian multi bencana di Kabupaten Trenggalek selama tahun 2017 telah terjadi 23 bencana banjir, 50 longsor, 25 puting beliung, 17 kekeringan, 10 kebakaran hutan dan lahan, 20 gempa dan 7 tanah gerak (BPBD Kabupaten Trenggalek, 2017). Tanah longsor menempati peringkat pertama bencana dengan intensitas tertinggi dari kejadian yang lain. Tanah longsor merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, maupun percampuran keduanya, menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan yang menyusun lereng.

Tanah longsor biasanya terjadi pada suatu lereng yang tidak stabil. Ketidakstabilan lereng dapat diketahui dari nilai faktor aman lereng tersebut. Berdasarkan data riwayat kebencanaan BPBD Kabupaten Trenggalek dari tahun 2016 hingga Agustus 2018, tercatat setidaknya 273 kejadian longsor di Kabupaten Trenggalek.

Menurut Plt Bupati Trenggalek, Mochammad Nur Arifin mengatakan sesuai data dari BPBD puluhan titik longsor tersebar di Kecamatan Bendungan, Trenggalek, Suruh, Dongko, Pule, Tugu dan Kecamatan Panggul (detik.news.com). Berdasarkan Peta Ancaman Bencana Longsor Kabupaten Trenggalek (Lampiran 1), zona ancaman bencana longsor di Trenggalek dibagi menjadi tiga zona ancaman bencana longsor, yaitu zona ancaman rendah, zona ancaman sedang dan zona ancaman tinggi. Zona ancaman rendah terdapat di bagian Timur Kecamatan Gandusari, Pogalan, Durenan, dan Watulimo dengan Litologi penyusun berupa batu gamping dan batuan intrusi, selain itu Kecamatan Suruh, Dongko, Kampak, Panggul dan Bendungan dengan litologi penyusun batu gamping. Zona ancaman sedang terdapat hampir di seluruh wilayah Kabupaten Trenggalek khususnya Kecamatan Munjungan, Watulimo, Karang and Trenggalek. Zona ancaman tinggi terdapat di seluruh wilayah Kabupaten Trenggalek, khususnya di Kecamatan Bendungan, Tugu, Pule, Suruh, bagian barat Panggul, dan barat Watulimo. Kecamatan Bendungan merupakan daerah yang memiliki ancaman resiko tinggi mengingat kondisi geomorfologi (Lampiran 2) merupakan daerah punggungan aliran lahar berlereng terjal. Menurut ESDM (2010), daerah Bendungan sendiri masuk ke dalam daerah dengan kerentanan gerakan tanah tanah tinggi.

Kejadian longsor yang terjadi salah satunya adalah di Desa Dompoyong. Riwayat terjadinya longsor pada daerah ini tercatat terjadi 9 kali dengan kejadian terakhir tanggal 7 Maret 2018 lalu. Untuk menangani bencana longsor sendiri di wilayah Kabupaten Trenggalek telah dilakukan beberapa upaya mitigasi. Secara struktural, penanganan longsor dapat menggunakan struktur penguat. Studi mengenai metode perkuatan lereng yang telah dilakukan adalah dengan metode kontrol, metode perkuatan yaitu dengan bronjong dan dinding penahan tanah (talud), dan kombinasi kedua metode tersebut.

Seiring pesatnya kemajuan teknologi di bidang konstruksi salah satunya dalam bidang geoteknik, dalam menangani kasus tanah longsor sebagian besar peneliti dewasa ini menggunakan analisis kestabilan untuk memodelkan kestabilan lereng. Pemodelan tersebut dapat menggunakan program bantu

komputer *software* berupa *Rocscience Slide*, OPTUM, GEO 5, *Geo Slope/W*, *Plaxis* dan lain – lain. Dalam pembahasan ini, pemodelan menggunakan *software Rocscience Slide*. Analisis kestabilan lereng dengan program ini memerlukan data – data yang diketahui lebih dahulu parameter geser tanah dan titik koordinat lereng yang akan dianalisis (Turangan, 2014).

Berdasarkan uraian di atas, maka pembahasan yang akan dilakukan adalah analisis kestabilan dan kekuatan lereng yang dapat diaplikasikan untuk menangani longsor yang terjadi di Desa Dompoyong Kecamatan Bendungan Mengingat bahwa daerah ini didominasi oleh daerah pemukiman dan ruas jalan yang sering tertimbun longsor merupakan ruas jalan penghubung dari Kecamatan Bendungan menuju Kecamatan Trenggalek dan daerah Kabupaten Trenggalek, maka dibutuhkan penanganan yang tepat sehingga kejadian longsor tidak terjadi kembali di kemudian hari. Tentunya dalam merencanakan upaya penanganan struktural, harus diperhatikan juga bagaimana tata guna lahan yang ada di daerah tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tipe longsor yang terjadi di lokasi bencana longsor?
2. Bagaimana analisis stabilitas lereng di lokasi bencana longsor Desa Dompoyong dengan *software Rocscience Slide* ?
3. Bagaimana perencanaan dinding penahan tanah yang tepat untuk menangani longsor tersebut ?
4. Bagaimana interpretasi nilai SF kondisi lereng setelah perbaikan dengan dinding penahan tanah menggunakan pemodelan *Rocscience Slide* ?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan pembahasan ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui tipe longsor yang terjadi.
2. Menganalisis stabilitas lereng di lokasi bencana longsor Desa Dompiong dengan *software Rocscience Slide* untuk mengetahui kondisi lereng.
3. Merencanakan dimensi dinding penahan tanah yang tepat dan efisien.
4. Mengetahui nilai SF pada kondisi lereng setelah perbaikan dengan *Rocscience Slide*.

### 1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Mengetahui jenis longsor yang terjadi di Desa Dompiong, Kecamatan Bendungan yang selanjutnya dilakukan analisis kestabilan untuk menentukan solusi yang tepat untuk menangani masalah longsor tersebut.
2. Memodelkan penanganan yang tepat untuk menangani longsor yang terjadi di Desa Dompiong, Kecamatan Bendungan.
3. Dapat membantu Dinas Pekerjaan Umum dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) untuk memberikan solusi penanganan tanah longsor yang sering terjadi di daerah tersebut khususnya dan wilayah Kabupaten Trenggalek pada umumnya.

### 1.5 Batasan masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan ini dilakukan berdasarkan kasus longsor di Desa Dompiong, Kecamatan Bendungan.
2. Analisis stabilitas lereng dengan dinding penahan tanah dilakukan dengan menggunakan program komputer *Rocscience Slide* menggunakan metode *Simplified – Bishop* untuk mendapatkan nilai *Safety Factor (SF)* lereng.
3. Dalam penelitian ini penanganan longsor yang direncanakan adalah dinding penahan tanah tipe *cantillevor wall* yang direncanakan menggunakan beton bertulang tanpa adanya perhitungan tulangan dan RAB.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Permasalahan dalam menganalisis longsor sangatlah kompleks. Kondisi geografis suatu daerah yang berbeda – beda menyebabkan analisis geografi satu daerah berbeda dengan daerah lainnya. Sebagian besar kejadian tanah longsor disebabkan karena tingginya curah hujan, litologi serta perubahan tata guna lahan. Kurangnya ruang penyerapan air hujan ke dalam tanah dan tidak adanya perkuatan lereng menambah kerentanan lereng akan terjadinya bencana longsor.

### 2.1 Tanah Longsor

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau ke luar lereng. Proses terjadinya tanah longsor dapat diterangkan sebagai berikut : air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng (Muntohar, 2010).



Gambar 2.1 Tanah Longsor  
Sumber : katadata.com

Kepala Badan Geologi Rudy Suhendar dalam katadata.com (2019) mengatakan ada dua pembagian zona yakni merah yang merupakan wilayah berpotensi tinggi terjadinya gerakan tanah dan kuning yang menengah. Zona merah umumnya berada pada jalur jalan dan pemukiman di perbukitan pegunungan dan sepanjang aliran sungai. Itu bisa terjadi di seluruh wilayah Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua, Maluku, Bali dan Nusa Tenggara.

## **2.2 Faktor – Faktor Terjadinya Tanah Longsor**

Dalam mengidentifikasi tanah longsor, dibutuhkan adanya identifikasi faktor penyebab (*causes*) dan faktor pemicunya (*trigger*). Penyebab tanah longsor diartikan sebagai faktor yang membuat suatu lereng menjadi rentan terhadap keruntuhan atau longsor pada suatu lokasi dan waktu tertentu. Penyebab tanah longsor meliputi faktor geologi, morfologi dan aktivitas manusia. Faktor penyebab dapat disebut sebagai faktor – faktor yang membuat lereng mengalami kegagalan struktur, yang kemudian membuat lereng menjadi tidak stabil. Pemicu (*trigger*) adalah kejadian tunggal yang akhirnya dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor. Secara umum, ketidakstabilan lereng atau mekanisme kegagalan struktur dapat dikelompokkan pada peningkatan nilai tegangan geser dan kuat geser tanah (Varnes, 1978).

Longsor terjadi karena lereng tidak stabil, sehingga material yang berada di atas lereng bergerak menurun. Ketidakstabilan lereng dikarenakan beberapa sebab, terutama adalah penjeñuhan material oleh air (hujan). Penyebab umum terjadinya tanah longsor menurut Transportation Research Board (TRB) 1996 ditunjukkan oleh Tabel 2.1 berikut.



Tabel 2.1 Penyebab umum tanah longsor

Kelompok Faktor Penyebab	Sumber Penyebab
Faktor Geologi :	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Lapisan batuan yang lemah dan sensitif</li> <li>b. Pelapukan batuan</li> <li>c. Pergeseran batuan</li> <li>d. Retakan atau pertemuan lapisan batuan</li> <li>e. Perbedaan permeabilitas lapisan tanah</li> <li>f. Perbedaan kekuatan batuan (kaku, padat, plastis)</li> </ul>
Faktor Morfologi :	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Pengangkatan tektonik atau vulkanik</li> <li>b. Lapisan es</li> <li>c. Erosi</li> <li>d. Perubahan letak beban pada lereng</li> </ul>
Faktor Fisik :	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Curah hujan yang sangat tinggi</li> <li>b. Pencairan es</li> <li>c. Hujan yang sangat lama</li> <li>d. Perubahan muka air tanah</li> <li>e. Gempa bumi</li> <li>f. Letusan vulkanik</li> <li>g. Kembang – susut karena pelapukan tanah</li> </ul>
Faktor Manusia :	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Penggalian lereng</li> <li>b. Penggundulan hutan (<i>deforestation</i>)</li> <li>c. Penambangan</li> <li>d. Getaran – getaran buatan, seperti percobaan nuklir</li> </ul>

Sumber : TRB, 1996 dalam Muntohar 2010

### 2.3 Tipe Tanah Longsor

Longsor didefinisikan sebagai pergerakan masa yang terjadi hanya pada lereng baik itu pada daerah perbukitan, pegunungan, bantaran sungai maupun struktur timbunan. Pergerakan massa tanah/ batuan pada saat longsor dapat berupa geser (*sliding*), menggelinding (*rolling*), runtuh (*falling*), atau mengalir (*flowing*).

Sistem klasifikasi atau pengelompokan jenis pergerakan tanah yang diusulkan oleh Varnes adalah sebagai berikut.

Tabel 2.2 Klasifikasi pergerakan lereng

Jenis Pergerakan			Jenis Material			
			Batuan		Tanah	
					Butir kasar	Butir halus
Reruntuhan ( <i>falls</i> )			Reruntuhan batu	Reruntuhan debris	Reruntuhan tanah	
Jatuhan ( <i>topples</i> )			Jatuhan batu	Jatuhan debris	Jatuhan tanah	
Longsor ( <i>slide</i> )	Rotasi	Sedikit bagian	Longsor batu	<i>Debris slide</i>	<i>Earth slide</i>	
	Translasi	Banyak bagian	<i>Rock block slide</i>	<i>Debris block slide</i>	<i>Earth block slide</i>	
			<i>Rock slide</i>	<i>Debris slide</i>	<i>Earth slide</i>	
Lateral ( <i>lateral spread</i> )			Batuan menyebar	Debris menyebar	Tanah menyebar	
Aliran ( <i>flow</i> )			Aliran batu ( <i>deep creep</i> )	Aliran debris	Aliran tanah (rayapan tanah)	
Komplek ( <i>complex</i> )			Kombinasi dua atau lebih pergerakan tanah			

Sumber : Varnes 1978

Berdasarkan mekanisme longsornya, tanah longsor dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu :



Gambar 2.2 Skema jenis pergerakan tanah pada lereng  
Sumber : Higland, 2004 dalam Muntohar, 2010

a. Luncuran (*slide*)

Pergerakan massa tanah ini terjadi karena perbedaan jenis lapisan tanah dimana lapisan tanah atau batuan yang stabil berada di atas lapisan tanah atau batuan yang stabil. Longsor tipe ini memiliki dua jenis berdasarkan keruntuhan tanah longsor, yaitu longsor rotasi dan longsor translasi. Bidang longsor

pada jenis rotasi berbentuk cekung ke atas (Gambar 2.2a). Sedangkan bidang longsor translasi berupa bidang datar dengan sedikit berbentuk cekungan ke atas (Gambar 2.2b). Pergerakan tanah jenis translasi dapat berupa satu kesatuan blok tanah (Gambar 2.2c).

b. Reruntuhan (*fall*)

Keruntuhan jenis ini lebih sering terjadi pada lereng batuan yang mana batuan bergerak hingga terlepas dari lereng yang terjal seperti pada Gambar 2.2d. Longsor jenis runtuh batuan ini biasanya terjadi pada agregat batuan yang pelapukannya tidak merata, batuan yang mempunyai banyak kekar (*joint*) atau retakan (*fracture*), atau pada batas antara dua jenis batuan berbeda atau zona kontak batuan (*bedding planes*)

c. Jatuhan (*topple*)

Runtuhan (*topple*) adalah runtuhnya sekelompok massa batuan yang diakibatkan gravitasi bumi. Perbedaan longsor jenis ini adalah adanya gerak rotasi massa material ke depan dari satu atau beberapa blok material, baik pada pusatnya, di bawahnya atau di dasar blok pada wilayah yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya pendorong yang disebabkan oleh blok material tersebut pada wilayah longsor (Gambar 2.2e).

d. Aliran (*flow*)

Aliran (*flow*) adalah longsor material yang menuruni lereng dengan ukuran yang bervariasi mulai dari fragmen tanah halus sampai bongkah yang bercampur dengan air. Longsor aliran memiliki beberapa perbedaan karakteristik, yaitu :

- 1) Aliran debris (*debris flow*) yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2f.
- 2) Debris bahan rombakan (*debris avalanche*) merupakan jenis aliran debris yang bergerak dengan sangat cepat dan dalam masa yang besar (Gambar 2.2g)
- 3) Aliran tanah (*earth flow*) : longsor dengan jenis aliran ini memiliki karakteristik hampir sama dengan aliran debris, hanya saja ukuran materialnya relatif halus dan seragam. Aliran tanah biasanya terjadi pada

lahan dengan kemiringan lereng yang tidak terlalu curam sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 2.2h.

- 4) Rayapan (*creep*) : merupakan aliran material berupa batuan dan tanah pada lereng yang bergerak secara sangat perlahan dan dalam waktu yang relatif lama, mantap, dan bergerak menurun (Gambar 2.2i)
- 5) Lateral (*lateral – spreading failures*): longsoran lateral adalah peristiwa yang unik karena terjadi pada kemiringan yang landai atau pada wilayah yang cenderung datar (Gambar 2.2j).

#### 2.4 Stabilitas Lereng

Lereng adalah sebuah permukaan tanah yang terbuka, yang berdiri membentuk sudut tertentu terhadap sumbu horizontal. Analisis stabilitas tanah pada permukaan yang miring disebut analisis stabilitas lereng. Stabilitas suatu lereng dapat dilakukan dengan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) dan analisis deformasi (*deformation analysis*). Metode keseimbangan batas berdasarkan keseimbangan gaya atau momen yang menghitung tegangan geser dan kuat geser pada lereng. Sehingga metode ini dinyatakan dalam faktor aman (*factor of safety*). Analisis deformasi biasanya didasarkan pada metode numerik guna mempelajari pergerakan tanah dan tegangan lereng. Sehingga metode ini dinyatakan dalam faktor aman (*factor of safety*). Analisis deformasi biasanya didasarkan pada metode numerik guna mempelajari pergerakan tanah dan tegangan lereng (Muntohar, 2010). Berdasarkan interaksi antara momen – momen gaya, nilai suatu kestabilan lereng dapat dihitung dengan membandingkan antara nilai gaya yang menahan (*resisting forces*) dan gaya yang meluncurkan (*driving forces*). Perbandingan tersebut kemudian disebut faktor aman atau *factor of safety*. *Factor of Safety (Fs)* atau yang lebih dikenal dengan istilah faktor keamanan adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kestabilan lereng. Lereng akan tetap pada kondisi stabil jika gaya penahan lebih besar dari gaya peluncuran ( $F_s > 1$ ). Kisaran tingkat keamanan pada suatu lereng adalah sebagai berikut.

Tabel 2.3 Kisaran nilai *factor of safety*

Nilai FS	Kondisi Lereng
$F_s < 1,07$	Lereng Labil
$1,07 < F_s < 1,25$	Lereng Kritis
$F_s > 1,25$	Lereng Relatif Stabil

Sumber : BPBD Kabupaten Trenggalek, 2017

Stabilitas lereng adalah suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah maupun batuan karena menyangkut persoalan keselamatan manusia, keamanan dan kelancaran produksi. Dalam menganalisis stabilitas lereng, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu penyebab kelongsoran lereng tersebut. Pada pembahasan ini, metode analisis stabilitas lereng yang dijelaskan adalah metode irisan.

#### 2.4.1 Faktor Aman

Metode yang sering digunakan untuk mendefinisikan faktor aman adalah keseimbangan gaya dan momen. Keseimbangan momen (*moment equilibrium*) digunakan untuk analisis bidang longsor berbentuk lingkaran. Faktor aman terhadap momen dituliskan :

$$FS_m = \frac{M_r}{M_d} \quad (2.1)$$

Dengan :

$M_r$  = jumlah momen tahanan

$M_d$  = jumlah momen yang mendorong

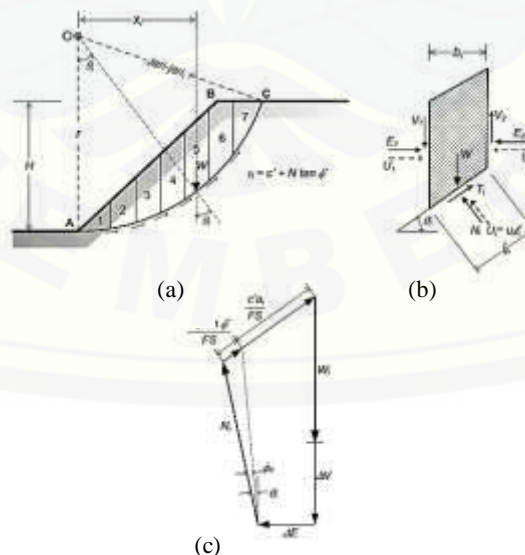
Untuk bidang keruntuhan berbentuk lingkaran, pusat lingkaran diambil sebagai titik tinjauan momen. Sedangkan untuk bidang longsor berbentuk lainnya, sembarang titik dapat diambil sebagai titik tinjauan momen dalam analisis. Umumnya faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2.

### 2.4.2 Metode Irisan

Analisis lereng dengan metode irisan menganggap bahwa tanah di atas bidang keruntuhan terdiri atas beberapa bagian blok-blok tanah kecil atau irisan tanah (Gambar 2.3a). Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik itu. Analisis keseimbangan gaya kemudian dilakukan pada setiap irisan tersebut. Gambar 2.3b menunjukkan satu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja padanya. Gaya ini terdiri atas gaya geser ( $V_1$  dan  $V_2$ ) dan gaya normal efektif ( $E_1$  dan  $E_2$ ) di sepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif ( $T_i$ ) dan resultan gaya normal efektif ( $N_i$ ) yang bekerja di sepanjang dasar irisannya. Gaya akibat tekanan air pori  $U_1$  dan  $U_2$  bekerja di kedua sisinya, dan gaya tekan air pori  $U_i$  bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori  $u_i$  sudah diketahui sebelumnya.

#### a. Metode Fellenius

Metode Fellenius ini dikenal pula sebagai Metode Swedia (Swedish method). Analisis stabilitas lereng oleh Fellenius (1927), menganggap gaya-gaya yang bekerja pada bagian kanan – kiri irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsohnya,  $E_1 = E_2$  dan  $V_1 = V_2$ .



Gambar 2.3 Gaya – gaya yang bekerja pada irisan  
Sumber : Highland, 2004 dalam Muntohar, 2010

Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori adalah :

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta \quad (2.2)$$

atau

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i = W_i \cos \theta_i - u_i l_i \quad (2.3)$$

Faktor aman didefinisikan dalam rumus berikut :

$$FS = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \quad (2.4)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $r \sin \theta$ , maka

$$\sum M_d = r \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (2.5)$$

Dengan:

$r$  = jari – jari lingkaran bidang longsor

$n$  = jumlah irisan

$W_i$  = berat massa tanah irisan ke –  $i$

$\theta_i$  = sudut

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah yang akan longsor, adalah:

$$\sum M_r = r \sum_{i=1}^{i=n} (c' l_i + N_i \tan \phi') \quad (2.6)$$

maka persamaan faktor aman menjadi :

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c' l_i + N_i \tan \phi')}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (2.7)$$

Metode Fellenius memberikan faktor aman yang relatif 20% lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5-40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Untuk menentukan faktor aman yang kritis, terlebih dahulu ditentukan letak pusat lingkaran dan jari-jarinya guna membuat bidang keruntuhan. Dengan demikian, diperlukan beberapa percobaan bidang keruntuhan untuk menghasilkan nilai FS yang paling minimum.



b. Metode Bishop Disederhanakan

Metode Bishop-disederhanakan (*Simplified-Bishop*) ini menganggap bahwa gaya-gaya geser di samping irisan adalah sama dan saling berlawanan arah,  $V_1 = V_2$ . Tetapi gaya-gaya normal pada irisan tidak sama besarnya,  $E_1 \neq E_2$ . Keseimbangan gaya-gaya pada arah vertikal memberikan:

$$N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta = W_i + V_i \quad (2.8)$$

$$T_i = N_i \tan \phi' + c'_d li = \frac{N_i \tan \phi' + c'_d li}{FS} \quad (2.9)$$

Keseimbangan gaya dari Gambar 2.3c untuk irisan ke-i pada arah vertikal, dimana  $E_2 - E_1 = \Delta E$  dan  $V_2 - V_1 = \Delta V$  :

$$W_i + \Delta V = N_i \cos \theta_i + \left( \frac{N_i \tan \phi' + c'_d li}{FS} \right) \sin \theta_i \quad (2.10)$$

Atau

$$N_i = \frac{W_i + \Delta V - \frac{c'_d li}{FS} \sin \theta_i}{\cos \theta_i + \frac{\tan \phi' \sin \theta_i}{FS}} \quad (2.11)$$

Tinjauan keseluruhan bidang runtuh terhadap keseimbangan momen di titik O (lihat Gambar 2.3a) diperoleh :

$$\sum_{i=1}^n W_i r \sin \theta_i = \sum_{i=1}^n T_i r \quad (2.12)$$

Dimana

$$T_i = \frac{(c' + \sigma' \tan \phi') li}{FS} = \frac{(c' li + N_i \tan \phi')}{FS} \quad (2.13)$$

Persamaan (2.11) dan (2.13) kemudian disubstitusikan ke Persamaan (2.12) dan diperoleh :

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n (c' bi + W_i \tan \phi' + \Delta V \tan \phi') \frac{1}{\left( \cos \theta_i + \frac{\tan \phi' \sin \theta_i}{FS} \right)}}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (2.14)$$

Bila  $\Delta V = 0$ , maka persamaan (2.73) dapat disederhanakan menjadi:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n (c' bi + W_i \tan \phi' + \frac{1}{\left( \cos \theta_i + \frac{\tan \phi' \sin \theta_i}{FS} \right)})}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (2.15)$$

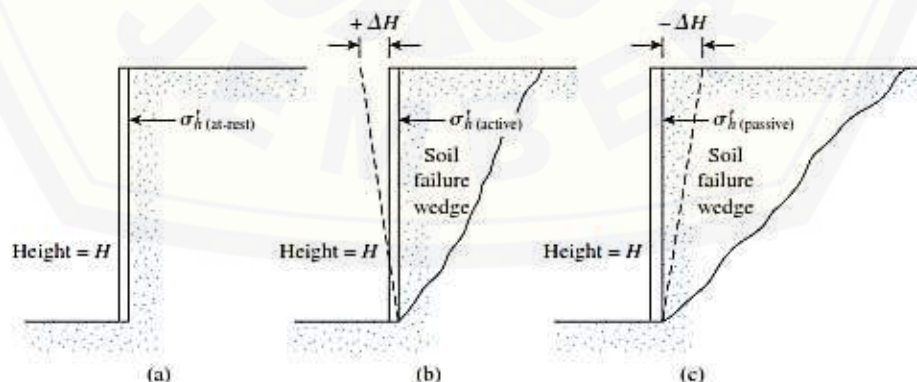
Nilai FS hanya dapat diperoleh dengan cara iterasi atau coba-coba (*trial – and – error*).

## 2.5 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah atau *retaining wall* adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau tanah alami yang mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng dengan stabilitasnya yang kurang atau berpotensi mengalami keruntuhan. Tanah yang ditahan juga memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur cenderung akan mengalami kegagalan berupa geser dan guling. Dinding penahan biasanya terbuat dari beton (*cantiliver wall*) dan dari batu kali (*gravity wall*). Pada pembahasan ini, dinding penahan tanah yang direncanakan adalah dinding penahan tanah dari beton yaitu *cantilever wall*. *Cantilever wall* tersusun dari beton bertulang yang tersusun dari suatu dinding vertikal dan tapak lantai dengan ketinggian dinding tidak lebih dari 6 – 7 meter saja.

## 2.6 Tekanan Lateral Tanah

Lereng tanah vertikal atau hampir vertikal ditopang oleh dinding penahan, tumpukan-kantilever dinding, sekat tiang pancang, potongan bresing, dan struktur serupa lainnya. Desain yang tepat untuk struktur tersebut memerlukan estimasi tekanan tanah lateral, yang merupakan fungsi dari beberapa faktor, seperti (a) jenis dan jumlah gerakan dinding, (b) parameter kekuatan geser dari tanah, (c) satuan berat tanah, dan (d) kondisi drainase di timbunan (Das, 2011).



Gambar 2.4 Sifat tekanan tanah lateral pada dinding penahan

Sumber : Das,2011

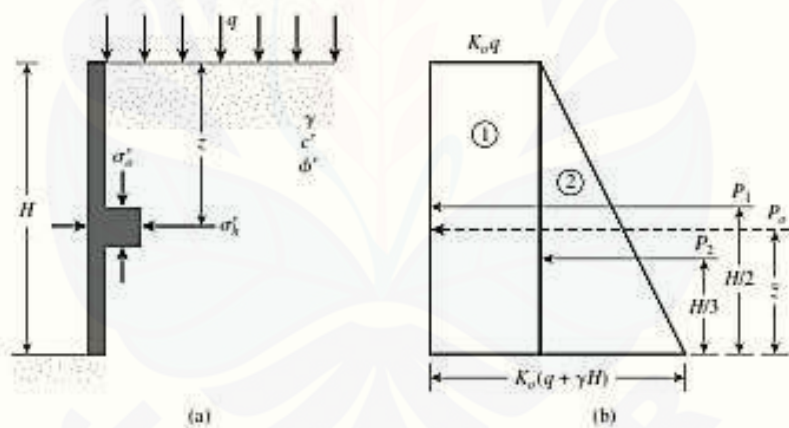
Terdapat tiga macam tekanan lateral pada tanah yaitu tekanan tanah lateral diam, tekanan lateral aktif, tekanan tanah lateral pasif. Tekanan Dalam mekanika tanah terdapat Teori Rankine (1857) dan Teori Coulomb (1776) untuk menghitung tekanan tanah aktif dan pasif. Oleh karena itu, pada subsubbab ini akan dijelaskan mengenai tekanan tanah aktif dan pasif Rankine dan Coulomb.

### 2.6.1 Tekanan Tanah Lateral Diam

Dinding vertikal dengan ketinggian  $H$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, menahan tanah yang memiliki berat jenis dari beban yang terdistribusi secara merata yang juga disebarkan pada permukaan tanah.

Dengan :

- $c'$  = kohesi
- $\phi'$  = sudut geser
- $\sigma'$  = tekanan efektif normal



Gambar 2.5 Tekanan tanah diam

Sumber : Das, 2011

Jika tembok dalam keadaan diam dan tidak diperbolehkan adanya pergerakan sama sekali, baik jauh atau dekat dari massa tanah, maka tekanan tanah lateral pada kedalaman  $z$  adalah :

$$\sigma_h = K_0 \sigma'_o + u \quad (2.16)$$

Dengan :

$u$  = tekanan air pori

$K_0$  = koefisien tekanan tanah diam

Untuk tanah yang terkonsolidasi normal, nilai  $K_0$  adalah ( Jaky, 1944) :

$$K_0 \approx 1 - \sin \phi' \quad (2.17)$$

Untuk tanah yang *overconsolidated*, nilai  $K_0$  adalah sebagai berikut (Mayne dan Kulhawy, 1982) :

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \text{OCR}^{\sin \phi'} \quad (2.18)$$

Dengan

$\text{OCR} = \text{overconsolidated ratio}$

Dengan nilai yang dipilih dari koefisien tekanan tanah diam, Persamaan (2.18) dapat digunakan untuk menentukan variasi tekanan tanah lateral dengan kedalaman  $z$ . Gambar 2.5b menunjukkan variasi dengan kedalaman untuk dinding yang digambarkan pada Gambar 2.5a. jika timbunan  $q = 0$  dan tekanan air pori  $u = 0$ , diagram tekanan akan menjadi segitiga. Total gaya,  $P_0$  per satuan panjang dinding yang diberikan Gambar 2.5 a sekarang dapat diperoleh dari area diagram tekanan yang diberikan pada Gambar 2.5b dalam persamaan berikut :

$$P_0 = P_1 + P_2 = qK_0H + \frac{1}{2}\gamma H^2K_0 \quad (2.19)$$

Dengan :

$P_1 = \text{luasan persegi 1}$

$P_2 = \text{luasan segitiga 2}$

Letak garis resultan gaya  $P_0$ , dapat diperoleh dengan mengambil momen bagian dinding. Maka,

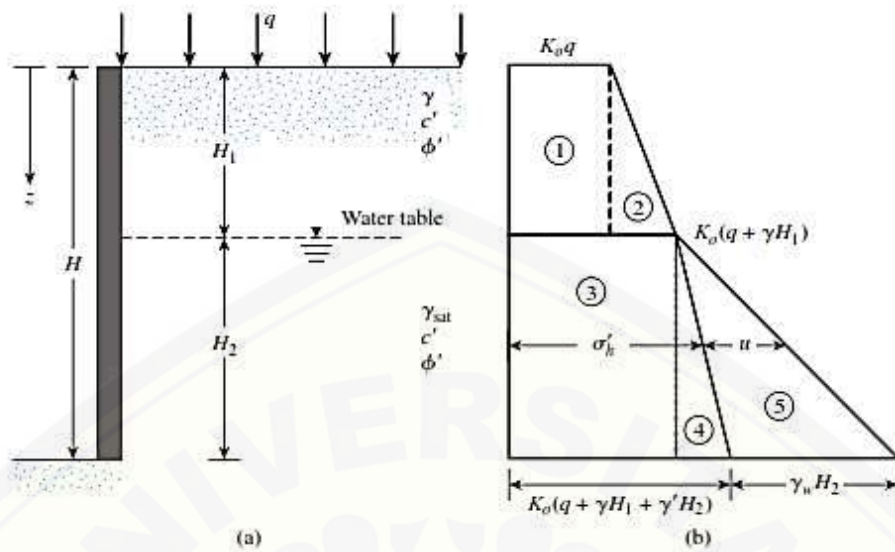
$$\bar{z} = \frac{P_1 \left(\frac{H}{2}\right) + P_2 \left(\frac{H}{3}\right)}{P_0} \quad (2.20)$$

Jika muka air tanah berada pada kedalaman  $z < H$ , pada diagram tekanan tanah diam pada gambar 2.6b maka akan dimodifikasi seperti ditunjukkan pada gambar 2.18. jika berat jenis tanah di bawah muka air tanah adalah  $\gamma'$ , maka

$$z = 0, \sigma'_h = K_0 \sigma'_o = K_0 q$$

$$z = H_1 \sigma'_h = K_0 \sigma'_o = K_0 (q + \gamma H_1) \text{ dan}$$

$$z = H_2 = \sigma'_h = K_0 \sigma'_o = K_0 (q + \gamma H_1 + \gamma' H_2)$$



Gambar 2.6 Tekanan tanah diam dengan muka air tanah pada kedalaman  $z < H$   
 Sumber : Das, 2011

Perhatikan bahwa dalam persamaan sebelumnya,  $\sigma'_o$  dan  $\sigma'_h$  merupakan tekanan vertikal dan horizontal yang efektif. Menentukan distribusi tekanan total pada dinding membutuhkan penambahan tekanan hidrostatis  $u$ , yaitu nol  $z = 0$   $z = H_1$  dan  $H_2$   $\gamma_w$  berada di  $z = H_2$ . Variasi  $\sigma'_h$  dan  $u$  dengan kedalaman ditunjukkan pada Gambar 2.18b. Karenanya, total gaya per unit Panjang dinding dapat ditentukan dari luas diagram tekanan.

$$P_o = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \quad (2.21)$$

Dengan :

$A$  = luas diagram tekanan

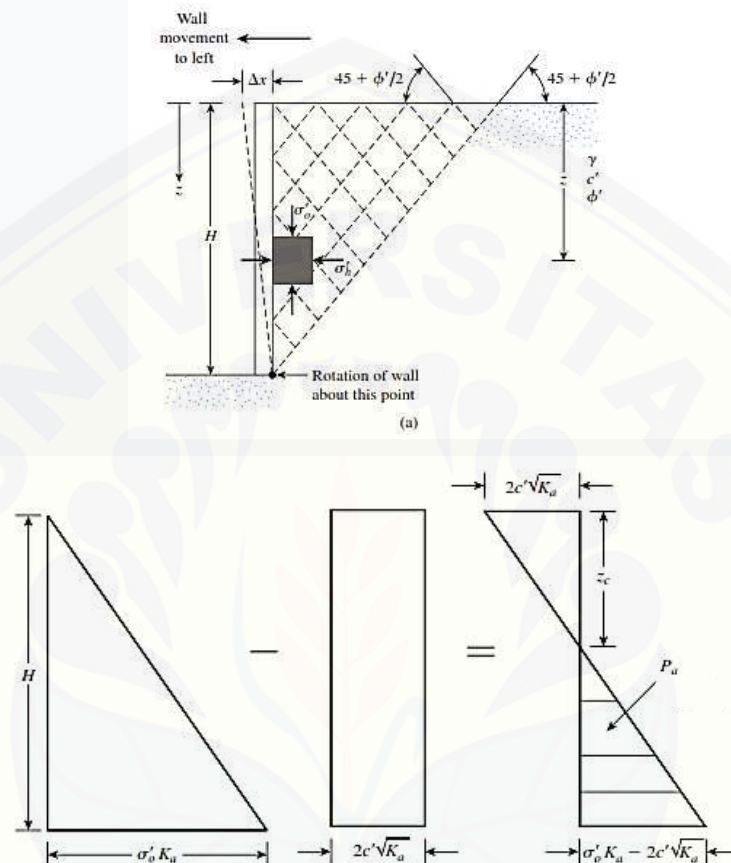
Jadi,

$$P_o = K_o q H_1 + \frac{1}{2} K_o \gamma H_1^2 + K_o (q + \gamma H_1) H_2 + \frac{1}{2} K_o \gamma' H_2^2 + \frac{1}{2} \gamma_w H_2^2 \quad (2.22)$$

### 2.6.2 Tekanan Tanah Aktif Rankine

Dinding cenderung menjauh dari tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19a berikut, tekanan tanah di dinding pada kedalaman berapapun akan

berkurang. Untuk dinding tanpa gesekan, tekanan horizontal  $\sigma'_h$  pada kedalaman  $z$  akan sama dengan  $K_o\sigma'_o$  ( $= K_o\gamma z$ ) saat  $\Delta x = 0$ . Dengan  $\Delta x > 0$ ,  $\sigma'_h$  akan kurang dari  $K_o\sigma'_o$



Gambar 2.7 Tekanan aktif Rankine

Sumber : Das,2011

Dengan :

$$K_a = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) = \text{koefisien tekanan aktif Rankine}$$

Variasi tekanan aktif dengan perbedaan kedalaman ditunjukkan pada gambar 2.7

c. Jumlah yang diperlukan perpindahan keluar dinding adalah sekitar  $0.001H$  hingga  $0,004H$  untuk tanah timbunan granular sekitar  $0,01H$  hingga  $0,04H$  untuk tanah timbunan kohesif. Nilai  $K_a$  dapat juga dilihat pada tabel 2.4 berikut.

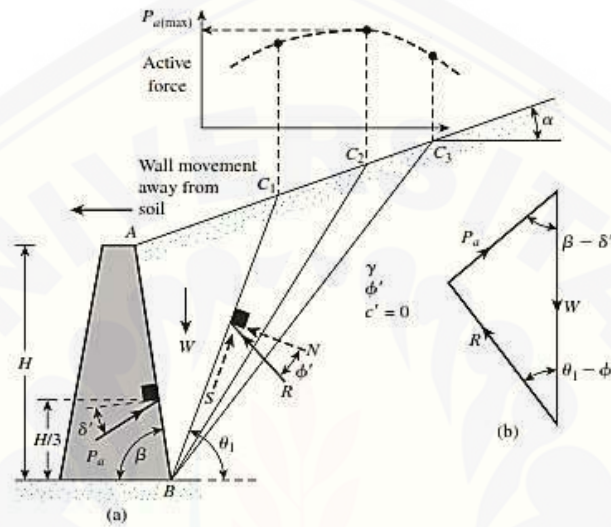
Tabel 2.4 Nilai Ka

$\alpha$ (deg)	$\phi'$ (deg)												
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0	0,3610	0,3470	0,3333	0,3201	0,3073	0,2948	0,2827	0,2710	0,2596	0,2486	0,2379	0,2275	0,2174
1	0,3612	0,3471	0,3335	0,3202	0,3074	0,2949	0,2828	0,2711	0,2597	0,2487	0,2380	0,2276	0,2175
2	0,3618	0,3476	0,3339	0,3207	0,3078	0,2953	0,2832	0,2714	0,2600	0,2489	0,2382	0,2278	0,2177
3	0,3627	0,3485	0,3347	0,3214	0,3084	0,2959	0,2837	0,2719	0,2605	0,2494	0,2386	0,2282	0,2181
4	0,3639	0,3496	0,3358	0,3224	0,3094	0,2967	0,2845	0,2726	0,2611	0,2500	0,2392	0,2287	0,2186
5	0,3656	0,3512	0,3372	0,3237	0,3105	0,2978	0,2855	0,2736	0,2620	0,2508	0,2399	0,2294	0,2192
6	0,3676	0,3531	0,3389	0,3253	0,3120	0,2992	0,2868	0,2747	0,2631	0,2518	0,2409	0,2303	0,2200
7	0,3701	0,3553	0,3410	0,3272	0,3138	0,3008	0,2883	0,2761	0,2644	0,2530	0,2420	0,2313	0,2209
8	0,3730	0,3580	0,3435	0,3294	0,3159	0,3027	0,2900	0,2778	0,2659	0,2544	0,2432	0,2325	0,2220
9	0,3764	0,3611	0,3463	0,3320	0,3182	0,3049	0,2921	0,2796	0,2676	0,2560	0,2447	0,2338	0,2233
10	0,3802	0,3646	0,3495	0,3350	0,3210	0,3074	0,2944	0,2818	0,2696	0,2578	0,2464	0,2354	0,2247
11	0,3846	0,3686	0,3532	0,3383	0,3241	0,3103	0,2970	0,2841	0,2718	0,2598	0,2674	0,2371	0,2263
12	0,3896	0,3731	0,3573	0,3421	0,3275	0,3134	0,2999	0,2868	0,2742	0,2621	0,2503	0,2390	0,2281
13	0,3952	0,3782	0,3620	0,3464	0,3314	0,3170	0,3031	0,2898	0,2770	0,2646	0,2527	0,2412	0,2301
14	0,4015	0,3839	0,3671	0,3511	0,3357	0,3209	0,3068	0,2931	0,2800	0,2674	0,2552	0,2435	0,2322
15	0,4086	0,3903	0,3729	0,3564	0,3405	0,3253	0,3108	0,2968	0,2834	0,2705	0,2581	0,2461	0,2346
16	0,4165	0,3975	0,3794	0,3622	0,3458	0,3302	0,3152	0,3008	0,2871	0,2739	0,2612	0,2490	0,2373
17	0,4255	0,4056	0,3867	0,3688	0,3518	0,3356	0,3201	0,3053	0,2911	0,2776	0,2646	0,2521	0,2401
18	0,4357	0,4146	0,3948	0,3761	0,3584	0,3415	0,3255	0,3102	0,2956	0,2817	0,2683	0,2555	0,2433
19	0,4473	0,4249	0,4039	0,3842	0,3657	0,3481	0,3315	0,3156	0,3006	0,2862	0,2724	0,2593	0,2467
20	0,4605	0,4365	0,4142	0,3934	0,3739	0,3555	0,3381	0,3216	0,3060	0,2911	0,2769	0,2634	0,2504
21	0,4758	0,4498	0,4259	0,4037	0,3830	0,3637	0,3456	0,3283	0,3120	0,2965	0,2818	0,2678	0,2545
22	0,4936	0,4651	0,4392	4154	0,3934	0,3729	0,3537	0,3356	0,3186	0,3025	0,2872	0,2727	0,2590
23	0,5147	0,4829	0,4545	0,4287	0,4050	0,3832	0,3628	0,3438	0,3259	0,3091	0,2932	0,2781	0,2638
24	0,5404	0,5041	0,4724	0,4440	0,4183	0,3948	0,3731	0,3529	0,3341	0,3164	0,2997	0,2840	0,2692
25	0,5727	0,5299	0,4936	0,4619	0,4336	0,4081	0,3847	0,3631	0,3431	0,3245	0,3070	0,2905	0,2750

Sumber : Das, 2011

2.6.3 Tekanan Tanah Aktif Coulomb

Untuk menerapkan teori tekanan tanah aktif Coulomb, hal yang harus dipertimbangkan bahwa dinding penahan dengan timbunan yang condong pada sudut  $\beta$  dengan horizontal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Timbunan adalah tanah granular yang miring pada sudut  $\alpha$  dengan horizontal.



Gambar 2.8 Tekanan aktif Coulomb  
Sumber : Das, 2011

Nilai maksimum tekanan aktif Coulomb (Gambar 2.20) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \tag{2.24}$$

Dengan :

$K_a$  = Koefisien tekanan aktif Coulomb

$$K_a = \frac{\sin^2 (\beta + \phi')}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta') \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \alpha)}{\sin(\beta - \delta') \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \tag{2.25}$$

H = tinggi dinding

Nilai dari koefisien tekanan aktif,  $K_a$  untuk dinding vertikal ( $\beta=90^\circ$ ) dengan timbunan horisontal ( $\alpha=0^\circ$ ) tersedia dalam Tabel 2.4 berikut. Yang perlu diperhatikan adalah bahwa besarnya resultan gaya bekerja pada H/3 di atas



permukaan dinding dan akan condong pada  $\delta'$  pada kondisi normal. Pada kenyataannya, nilai sudut gesekan  $\delta'$  diasumsikan antara  $\phi'/2$  dan  $2/3 \phi'$ . Koefisien tekanan aktif lainnya,  $\phi', \alpha, \beta$  dan  $\delta'$  yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan 2.6 pada Lampiran 3 dan Lampiran 4. Jika timbunan seragam  $q$  terletak di atas bagian belakang dinding seperti pada Gambar 2.8, tekanan aktif  $P_a$  dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_{eq} H^2 \tag{2.26}$$

Dengan :

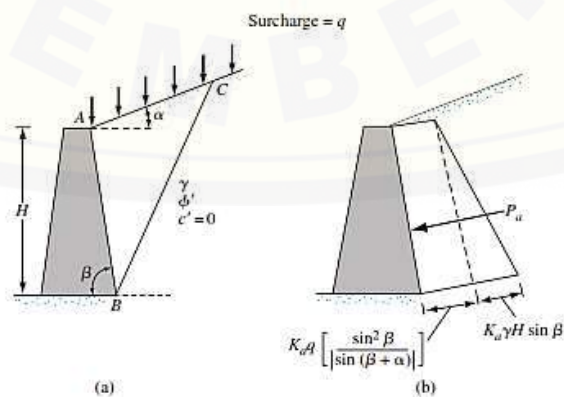
$$\gamma_{eq} = \gamma + \left[ \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \alpha)} \right] \left( \frac{2q}{H} \right)$$

Tabel 2.5 Nilai  $K_a$  untuk  $\beta = 90^\circ$  dan  $\alpha = 0^\circ$

$\Phi'(^{\circ})$	$\delta' (^{\circ})$					
	0	5	10	15	20	25
28	0.3610	0.3448	0,3330	0,3251	0,3203	0,3186
30	0,3333	0,3189	0,3085	0,3014	0,2973	0,2956
32	0,3073	0,2945	0,2853	0,2791	0,2755	0,2745
34	0,2827	0,2714	0,2633	0,2579	0,2549	0,2542
36	0,2596	0,2497	0,2426	0,2379	0,2354	0,2350
38	0,2379	0,2292	0,2230	0,2190	0,2169	0,2167
40	0,2174	0,2098	0,2045	0,2011	0,1994	0,1995
42	0,1982	0,1916	0,1870	0,1841	0,1828	0,1831

Sumber : Das,2011

Untuk nilai  $K_a$  lain, dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan 2.7 di Lampiran 3 dan Lampiran 4.

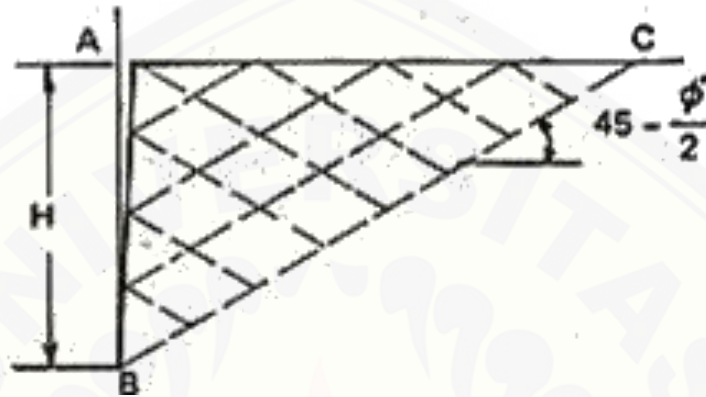


Gambar 2.9 Tekanan aktif Coulomb dengan timbunan di belakang dinding  
 Sumber : Das,2011

#### 2.6.4 Tekanan Pasif Rankine

Tekanan pasif per satuan panjang pada dinding penahan tanah dapat diperoleh persamaan :

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2c' \sqrt{Kp} \quad (2.27)$$

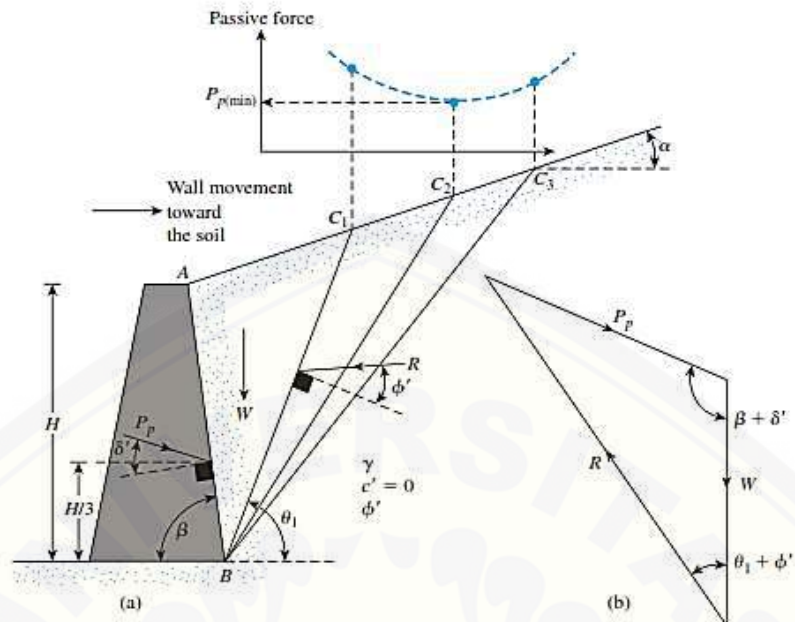


Gambar 2.10 Tekanan Pasif Rankine  
Sumber : Das,2011

#### 2.6.5 Tekanan Pasif Coulomb

Seperti dalam kasus tekanan aktif, Coulomb menganggap potensi kegagalan permukaan dalam tanah adalah bidang. Untuk percobaan yang gagal, ganjalan tanah  $ABC_1$ , seperti gaya per satuan panjang dinding yang bekerja pada irisan adalah :

1. Berat potongan.  $W$
2. Resultan,  $R$  pada gesek normal  $BC_1$
3. Tekanan Pasif,  $P_p$



Gambar 2.11 Tekanan Pasif Coulomb  
Sumber : Das,2011

Nilai minimum tekanan pasif Coulomb dihitung sebagai berikut:

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2c' \sqrt{K_p} \quad (2.28)$$

Dengan :

$K_p$  = koefisien tekanan pasif Coulomb

$$= \frac{\sin^2 (\beta - \phi')}{\sin^2 \beta \sin (\beta + \delta') \left[ 1 - \frac{\sin (\phi' + \delta') \sin (\phi' + \alpha)}{\sin (\beta + \delta') \sin (\alpha + \beta)} \right]^2} \quad (2.29)$$

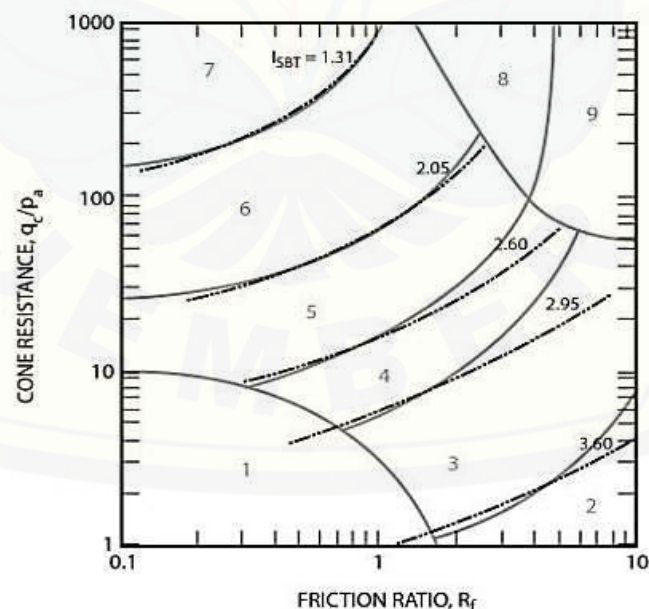
## 2.7 Penyelidikan Tanah

### 2.7.1 Pengukuran Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting yang dimaksud adalah kondisi sebenarnya yang ada dilapangan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan roll meter pada area longsor. Pengukuran meliputi panjang dan tinggi tebing yang terjadi longsor. Data pengukuran ini kemudian menjadi acuan untuk pemodelan lereng.

### 2.7.2 Penyelidikan Tanah

Analisis stabilitas lereng membutuhkan langkah awal yaitu identifikasi parameter tanah berupa *engineering properties*. Dalam penelitian ini, data tanah diperoleh dari *Cone Penetration Test (CPT)*/ Sondir. CPT merupakan salah satu metode pengujian tanah lapangan/*in situ*. Metode ini efektif dalam mengkarakteristikan material tanah pada daerah dengan stratigrafi yang tidak terkonsolidasi, material lensa lunak, lensa yang tidak menerus, material organik (gambut), dan material yang berpotensi mengalami likuifaksi. Melalui uji CPT di lapangan kita bisa menentukan lapisan dan tipe tanah dengan menggunakan grafik berdasarkan nilai *cone resistance* dan *sleeve friction* atau dengan korelasi berdasarkan nilai tahanan konus. Grafik yang dipublikasikan Robertson et al.(1986) lebih sering dipakai dibandingkan dengan grafik yang lain. Grafik yang dibuat oleh Robertson pada tahun 1986 memiliki dua belas jenis tanah (Gambar 2.24) akan tetapi pada 1990 dengan jumlahnya menjadi sembilan jenis saja (Pranantya, 2018). Berikut adalah Grafik zona tipe tanah qt-Fr Robertson et.al 1990.



Gambar 2.12 Zona Tipe Tanah qt-Fr Robertson et.al 1990  
Sumber : Pranantya,2018

Berikut adalah tipe tanah berdasarkan Grafik Robertson et. Al 1986.

Tabel 2.8 Zona Tipe Tanah qt-Fr Robertson et. al 1990

Zone	Soil Behaviour Type
1	<i>Sensitive Fine Grained</i>
2	<i>Clay- Organic Soil</i>
3	<i>Clays: clay to silty clay</i>
4	<i>Silt mixtures: clayey silt &amp; silty clay</i>
5	<i>Sand mixtures: silty sand to sandy silt</i>
6	<i>Sands : clean sands to silty sand</i>
7	<i>Dense sand to gravelly sand</i>
8	<i>Stiff sand to clayey sand*</i>
9	<i>Stiff fine-grained*</i>

Sumber : Pranantya, 2018

Selain dengan grafik Robertson di atas, untuk menentukan klasifikasi tanah berdasarkan data sondir dengan data hasil tekanan konus (qc) dan hambatan pelekat (fs) yang didapatkan seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.9 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc	fs	
6,1	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 - 10,0	0,2	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,2 - 0,6	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 - 30,0	0,1	Kerikil lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,40 - 0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
30,0 - 60,0	0,5 - 1,0	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 - 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60,0 - 150	1	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 - 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3	Lempung berkerikil kenyal
150 - 300	1,0 - 2,0	Pasir padat, pasir berkerikil, pasir kasar pasir kelanauan sangat padat

Sumber : Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid I, 1995

Parameter sifat fisik mekanik tanah yang biasa digunakan dalam analisa geoteknik adalah bobot isi tanah, sedangkan sifat mekaniknya adalah kuat geser batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam.

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan. Hubungan tersebut sebanding dimana semakin tinggi nilai  $c$  dan  $q_c$  maka semakin keras tanah tersebut. Untuk analisis stabilitas lereng untuk jangka panjang digunakan harga kuat geser efektif maksimum ( $c'$  dan  $\phi'$ ). Untuk lereng yang sudah mengalami gerakan atau material pembentuk lereng mempunyai diskontinuitas tinggi digunakan harga kuat geser sisa ( $c_r = 0$ ;  $\phi_r$ ). Nilai kohesi dapat dilihat pada tabel 2.11 berikut ini.

Tabel 2.10 Korelasi macam tanah dan koefisien rembesan (k)

Jenis tanah	Koefisien rembesan (k) (cm/detik)
Pasir yang mengandung lempung atau lanau	$10^{-2}$ s.d. $5 \times 10^{-3}$
Pasir halus	$5 \times 10^{-2}$ s.d. $10^{-3}$
pasir kelanauan	$2 \times 10^{-3}$ s.d. $10^{-4}$
lanau	$5 \times 10^{-5}$ s.d. $10^{-5}$
lempung	$10^{-6}$ s.d. $10^{-9}$

Sumber : Wesley, L.D., 1997 dalam Arif Imam Nur Arifin, 2015

Tabel 2.11 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus

Konsistensi Tanah	Tekanan Konus $q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Undrained Cohesion (T/m <sup>2</sup> )
Very Soft	<2,5	<1,25
Soft	2,5 - 5,0	1,25 - 2,5
Medium Stiff	5,0 - 10,0	2,50 - 5,0
Stiff	10,0 - 20,0	5,0 - 10,0
Very Stiff	20,0 - 40,0	10,0 - 20,0
Hard	>40	>20,0

Sumber : Begeman, 1965 dalam Braja, M. Das

Tabel 2.12 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus

N-SPT	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )
0 - 2	12,5
2,0 - 4,0	12,5 - 25
4,0 - 8,0	25 - 50
8,0 - 15,0	50 - 100
15,0 - 30,0	100 - 200
>30	>200

Sumber : Article Stream Stabilisation Project, 2007

Tabel 2.13 Korelasi macam tanah (bahan) dan sudut geser dalam

Bahan	$\phi$ (deg)
Kerikil Kepasiran	35 s.d. 40
Isian Batu (Rock Fill)	35 s.d. 40
Pasir Padat	35 s.d. 40
Pasir Lepas	60
Lempung Kelanauan	25 s.d. 30
Lempung Plastis Rendah	25
Lempung Plastis Tinggi	20
Nilai c' bahan = 0	
Bahan	6
Beton	20
Tembok	20
Tiang Besi	15

Sumber: Wesley, L.D.,1997 dalam Arif Imam Nur Arifin, 2015

Demikian juga hubungan antara kepadatan dengan kerapatan relatif ,nilai N SPT, qc dan sudut geser dalam ( $\Theta$ ) adalah sebanding. Hubungan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.12 berikut

Tabel 2.14 Hubungan antara Kepadatan, Kerapatan Relatif, Nilai N SPT, qc dan  $\Theta$ 

Kepadatan	Relative Density (Dr)	Nilai N SPT	Tekanan Konus qc (kg/cm <sup>2</sup> )	Sudut Geser ( $\Theta$ )
Very Loose (sangat lepas)	<0,2	<4	<20	<30
Loose (lepas)	0,2 - 0,4	4,0 - 10	20 - 40	30 - 35
Medium Dense (agak kompak)	0,4 - 0,6	10,0 - 30	40 - 120	35 - 40
Dense (Kompak)	0,6 - 0,8	30 - 50	120 - 200	40 - 45
Very Dense (Sangat Kompak)	0,8 - 1,0	>50	>200	>45

Sumber : Mayerhoff, 1965

Selain itu diperlukan informasi berupa berat jenis tanah. Berat jenis tanah diperoleh dari hubungan kepadatan dan kerapatan tanah dengan sudut geser dalam. Hubungan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.13 berikut.

Tabel 2.15 Korelasi berat jenis tanah ( $\gamma$ ) untuk tanah non kohesif dan kohesif

Cohesionless Soil					
N	0 - 10	11,0 - 30,0	31,0 - 50,0	>50	
Unit Weight $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	12,0 - 16,0	14,0 - 18,0	16,0 - 20,0	18,0 - 23,0	
Angle of Friction $\phi$	25,0 - 32,0	28,0 - 36,0	30,0 - 40,0	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
Cohesive					
N	<4	4,0 - 6,0	6,0 - 15,0	16,0 - 25,0	>25
Unit Weight $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	14,0 - 18,0	16,0 - 18,0	16,0 - 18,0	16,0 - 20,0	>20
qu, kPa	<25	20,0 - 50,0	30,0 - 60,0	40,0 - 200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Soil Mechanics, Whilliam T., Whitman, Robert V., 1962

Karakteristik tanah yang lain yaitu nilai modulus *Young* ( $E_s$ ). Nilai ini menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai  $E_s$  secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti tabel 2.16 berikut.

Tabel 2.16 Hubungan antara  $E_s$  dan  $q_c$

Jenis Tanah	CPT (kg/cm <sup>2</sup> )
Pasir terkonsolidasi normal	$E_s = (2-4) q_c$
Pasir over konsolidasi	$E_s = (6-30) q_c$
Pasir berlempung	$E_s = (3-6) q_c$
Pasir berlanau	$E_s = (1-2) q_c$
Lempung lunak	$E_s = (3-8) q_c$

Sumber : Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid I, 1995



Sedangkan menurut *Bowles*, nilai modulus elastisitas tanah adalah sebagai berikut.

Tabel 2.17 Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah

Macam Tanah	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>LEMPUNG</b>	
Sangat lunak	3,0 - 30
Lunak	20-40
Sedang	45-90
Berpasir	300-425
<b>PASIR</b>	
Berlanau	50-200
Tidak padat	100-250
Padat	500-1000
<b>PASIR DAN KERIKIL</b>	
Padat	800-2000
Tidak padat	500-1400
<b>LANAU</b>	20-200
<b>LOSES</b>	150-600
<b>CADAS</b>	1400-14000

Sumber : Bowles,1997

Berdasarkan tabel – tabel di atas maka dapat diperoleh informasi berupa sifat fisis dan mekanik tanah yang meliputi; klasifikasi tanah, nilai kohesi, kerapatan relatif, nilai N SPT, sudut geser dan berat jenis tanah. Dari data tersebut dapat digunakan untuk pemodelan lereng untuk menganalisis stabilitas lereng.

## 2.8 Perencanaan Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan cara untuk mencapai stabilitasnya, maka dinding penahan tanah digolongkan sebagai berikut (Das, 2011):

### a. Dinding penahan gravitasi (*Gravity retaining walls*)

Dinding penahan gravitasi (Gambar 2.18a) biasanya menggunakan beton atau pasangan batu. Dinding penahan jenis ini bergantung pada beratnya sendirinya dan tanah yang berada di atasnya. Konstruksi jenis ini tidak ekonomis untuk tembok tinggi.

### b. Dinding penahan semi gravitasi (*Semi-gravity retaining walls*)

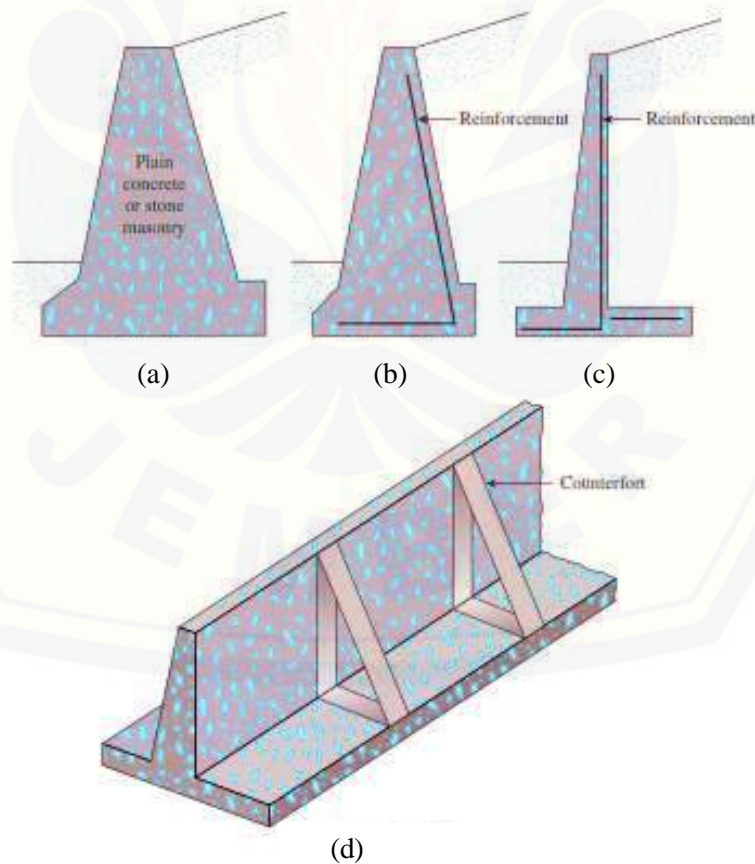
Dalam beberapa kasus, baja dalam jumlah kecil dapat digunakan pada konstruksi dinding penahan gravitasi sehingga meminimalkan ukuran bagian dinding. Dinding tersebut umumnya disebut sebagai dinding penahan semi gravitasi (Gambar 2.18b)

c. Dinding penahan kantilever (*Cantilever retaining walls*)

Dinding penahan kantilever (Gambar 2.18c) terbuat dari beton bertulang yang terdiri dari batang tipis dan pelat dasar. Jenis dinding penahan ini ekonomis untuk ketinggian sekitar 8 meter.

d. Dinding penahan *counterfort* (*Counterfort retaining walls*)

Dinding penahan *counterfort* (Gambar 2.18d) mirip dengan dinding kantilever. Secara teratur dinding ini memiliki lempengan beton vertikal tipis yang dikenal sebagai *counterforts* yang mengikat dinding dan pelat dasar bersama. Tujuan dari *counterforts* adalah untuk mengurangi geser dan momen lentur.



Gambar 2.13 Macam – macam dinding penahan tanah

Sumber : Das,2011

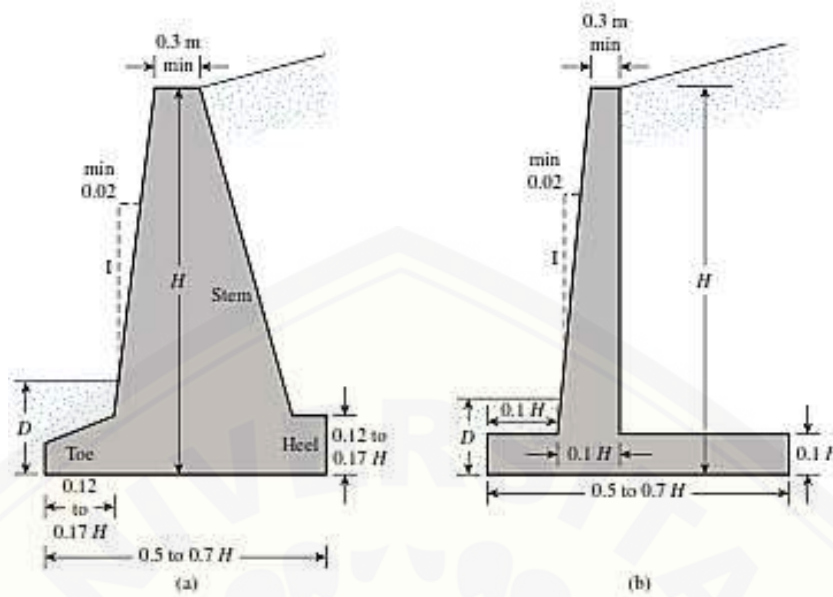
### 2.8.1 Tahap Perencanaan

Sebelum melakukan perencanaan, seorang *engineer* harus mengetahui parameter dasar berat jenis, sudut gesekan, dan kohesi dari tanah yang ditahan di belakang dinding dan tanah di bawah lempengan dasar. Tujuan dari mengetahui sifat-sifat tanah di balik tersebut memungkinkan *engineer* untuk menentukan distribusi tekanan lateral yang seharusnya digunakan dalam perancangan.

Ada dua fase dalam desain dinding penahan tanah konvensional. Pertama, dengan tekanan tanah lateral yang diketahui, struktur secara keseluruhan diperiksa stabilitasnya. Struktur dinding penahan diperiksa untuk kemungkinan kegagalan terbalik (*overturning*), geser (*sliding*), dan daya dukung (*bearing capacity*). Kedua, masing-masing komponen struktur diperiksa untuk kekuatan, dan tulangan baja masing-masing komponen yang ditentukan. (Das, 2011).

### 2.8.2 Proporsi Desain Dinding Penahan Tanah

Dalam merancang dinding penahan, seorang *engineer* harus mengasumsikan dimensinya. Asumsi ini dapat juga pra rancang atau proporsi desain. Asumsi semacam itu digunakan pemeriksaan stabilitas dinding pada saat percobaan untuk mendapatkan dimensi yang dinilai efektif dan efisien. Jika pemeriksaan stabilitas tidak mencapai hasil yang diinginkan, maka dapat diubah beberapa dimensi dari bagian dinding penahan tanah tersebut. Gambar 2.14 menunjukkan proporsi umum dari berbagai komponen dinding penahan yang dapat digunakan untuk pemeriksaan awal. Hal yang harus diperhatikan adalah bagian atas batang dari dinding penahan tidak boleh kurang dari sekitar 0,3 meter. Kedalaman,  $D$ , ke bagian bawah pelat dasar harus minimum. Namun, bagian bawah pelat dasar harus diposisikan di bawah garis 0,6 m. Untuk dinding penahan *counterfort*, proporsi umum batang dan pelat dasar sama seperti untuk dinding kantilever. Namun, pelat *counterfort* berukuran sekitar 0,3 m tebal dan berjarak pada jarak pusat ke pusat dari  $0,3H$  sampai  $0,7H$ .



Gambar 2.14 Dimensi perkiraan untuk berbagai komponen dinding penahan untuk pemeriksaan stabilitas awal (a) *gravity wall*; (b) *cantilever wall*

Sumber : Das,2011

Pada perhitungan perencanaan yang dilakukan, tipe dinding yang digunakan sebagai perkuatan lereng adalah tipe *Cantilever wall*. Hal ini dikarenakan, pada kondisi lapangan di daerah studi kasus banyak digunakan dinding penahan tipe ini. Selain itu, untuk pelaksanaan kerja dinding penahan tipe *cantilever wall* juga mudah diterapkan di lapangan.

Pada tahap perencanaan dan konstruksi, adanya timbunan tanah pada dinding juga perlu diperhitungkan karena adanya perbedaan jenis tanah yang digunakan. Oleh karena itu untuk menghitung daya dukung baik daya dukung tanah asli dan tanah timbunan dapat digunakan Tabel 2.13 berikut. Tanah timbunan merupakan tanah rencana yang akan digunakan, sehingga nilai karakteristik tanah yang digunakan juga merupakan hasil nilai rencana yang dianggap efektif.

Tabel 2.18 Nilai faktor daya dukung tanah

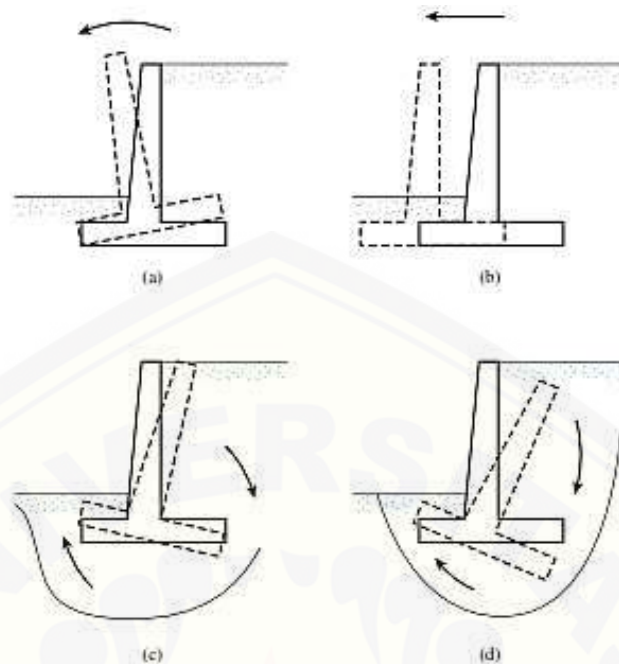
$\phi'$ (deg)	Nc	Nq	N $\gamma$	$\phi'$ (deg)	Nc	Nq	N $\gamma$
1	5,14	1,00	0,00	26	22,25	10,66	10,88
2	5,38	1,09	0,07	27	23,94	11,85	12,54
3	5,63	1,20	0,15	28	25,80	13,20	14,47
4	5,90	1,31	0,24	29	27,86	14,72	16,72
5	6,19	1,43	0,34	30	30,14	16,44	19,34
6	6,49	1,57	0,45	31	32,67	18,40	22,40
7	6,81	1,72	0,57	32	35,49	20,63	25,99
8	7,16	1,88	0,71	33	38,64	23,18	30,22
9	7,53	2,06	0,86	34	42,16	26,09	35,19
10	7,92	2,25	1,03	35	46,12	29,44	41,06
11	8,35	2,47	1,22	36	50,59	33,30	48,03
12	8,80	2,71	1,44	37	55,63	37,75	56,31
13	9,28	2,97	1,69	38	61,35	42,92	66,19
14	9,81	3,26	1,97	39	67,87	48,93	78,03
15	10,37	3,59	2,29	40	75,31	55,96	92,25
16	10,98	3,94	2,65	41	83,86	64,20	109,41
17	11,63	4,34	3,06	42	93,71	73,90	130,22
18	12,34	4,77	3,53	43	105,11	85,38	155,55
19	13,10	5,26	4,07	44	118,37	99,02	186,54
20	14,83	5,80	4,68	45	133,88	115,31	222,64
21	15,82	6,40	5,39	46	152,10	134,88	271,76
22	16,88	7,07	6,20	47	173,64	158,51	330,35
23	18,05	7,82	7,13	48	199,26	187,21	403,67
24	19,32	8,66	8,20	49	229,93	222,31	496,01
25	20,72	9,60	9,44	50	266,89	265,51	613,16

Sumber : Das, 2011

### 2.7.1 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan mungkin mengalami kegagalan pada salah satu kondisi berikut (Das, 2011):

1. Kegagalan guling (*Overtuning*) (Gambar 2.15a)
2. Kegagalan geser (*Sliding*) (Gambar 2.15b)
3. Kegagalan karena kehilangan daya dukung (*Bearing capacity*) (Gambar 2.15c)
4. Kegagalan geser yang mendalam (*Deep-seated*) (Gambar 2.15d)



Gambar 2.15 Kegagalan dinding penahan : (a) terhadap guling (*overturning*); (b) terhadap geser (*sliding*); (c) terhadap daya dukung (*bearing capacity*); (d) terhadap geser dalam (*deep-seated shear*)

Sumber : Das,2011

Ketika lapisan tanah lemah terletak di kedalaman dangkal yaitu, dalam kedalaman 1,5 kali lebar alas lempengan dinding , harus mempertimbangkan adanya penurunan tanah. Dalam beberapa kasus, penggunaan bahan urugan ringan di belakang dinding penahan dapat memecahkan masalah tersebut. Kegagalan geser dalam dapat terjadi di sepanjang permukaan silinder, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 abc sebagai hasil dari keberadaan lapisan tanah yang lemah di bawah dinding pada kedalaman sekitar 1,5 kali lebar pelat dasar dinding penahan. Dalam kasus tersebut, kegagalan permukaan abc harus ditentukan dengan coba-coba (*trial and error*), menggunakan berbagai pusat seperti Permukaan yang rusak di mana *safety factor* (SF) minimumnya yang diperoleh adalah permukaan kritis geser. Untuk kemiringan urugan dengan  $\alpha$  kurang dari sekitar  $10^0$  kegagalan kritis tampaknya melewati tepi lempengan (seperti pada gambar). Dalam keadaan tersebut, *safety factor* (SF) minimum juga harus ditentukan dengan uji coba dan kesalahan dengan mengubah pusat lingkaran percobaan.

a. Pemeriksaan Terhadap Guling (*Overturning*)

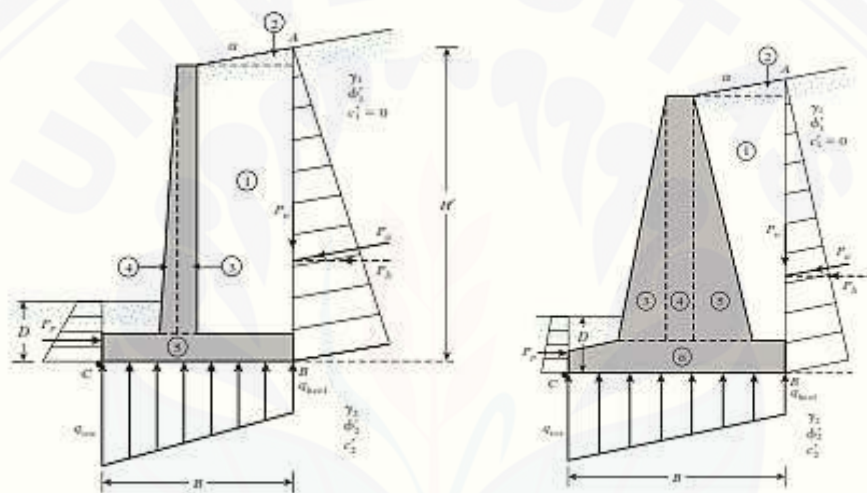
Faktor keamanan terhadap guling yaitu, tentang titik C di Gambar 2.16 dapat dinyatakan sebagai rumus berikut :

$$FS_{(\text{overturning})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \quad (2.30)$$

Dengan :

$\sum M_O$  = jumlah momen guling titik C

$\sum M_R$  = jumlah momen tahanan guling titik C



Gambar 2.16 Pemeriksaan terhadap guling yang mengasumsikan tekanan Rankine  
Sumber : Das,2011

Momen guling dirumuskan sebagai berikut :

$$\sum M_O = P_h \left( \frac{H'}{3} \right) \quad (2.31)$$

Dengan

$$P_h = P_a \cos \alpha$$

Untuk menghitung momen penolakan, (mengabaikan Pp), dapat dilihat pada Tabel 2.11. Berat tanah di atas tumit dan berat beton (atau pasangan bata) adalah kedua gaya yang bekerja pada momen tahanan. Perhatikan bahwa gaya juga  $P_v$  juga bekerja pada momen tahanan.  $P_v$  adalah komponen vertikal dari gaya aktif atau :

$$P_v = P_a \sin \alpha \quad (2.32)$$

Besarnya momen  $P_v$  pada C adalah

$$M_v = P_v \sin \alpha B \tag{2.33}$$

Dengan  $B$  = lebar pelat dasar.

Oleh karena itu didapatkan  $\sum M_R$ , maka faktor keamanan (*safety factor*) dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$FS_{(overturning)} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v}{P_a \cos \alpha \left(\frac{H'}{3}\right)} \tag{2.34}$$

Pada umumnya nilai *factor of safety* yang diizinkan untuk tahanan guling sebesar 2 – 3.

Tabel 2.19 Prosedur perhitungan  $\sum M_R$

Section (1)	Area (2)	Weight/ unit length of the wall (3)	Lengan Momen dari C (4)	Moment about C (5)
1	$A_1$	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	$X_1$	$M_1$
2	$A_2$	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	$X_2$	$M_1$
3	$A_3$	$W_1 = \gamma_c \times A_1$	$X_3$	$M_1$
4	$A_4$	$W_1 = \gamma_c \times A_1$	$X_4$	$M_1$
5	$A_5$	$W_1 = \gamma_c \times A_1$	$X_5$	$M_1$
6	$A_6$	$W_1 = \gamma_c \times A_1$	$X_6$	$M_1$
		$P_v$	$B$	$M_1$
		$\sum^v$		$\sum M_R$

$\gamma_1$  = berat jenis tanah timbunan

$\gamma_c$  = berat jenis beton

b. Pemeriksaan Terhadap Geser (*sliding*)

Faktor keamanan terhadap geser ditunjukkan dalam persamaan berikut.

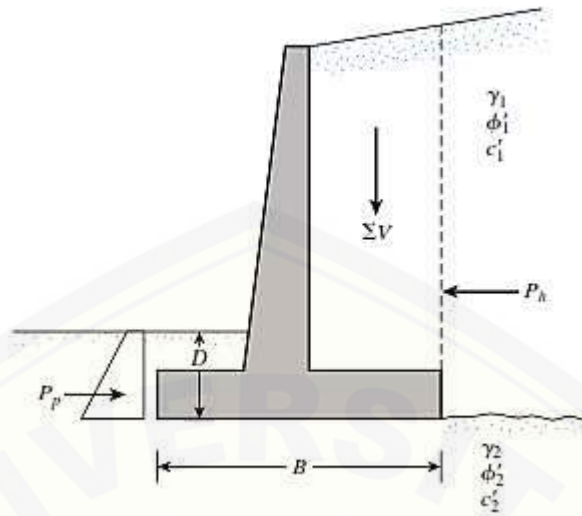
$$FS_{(sliding)} = \frac{\sum F'_R}{\sum F_d} \tag{2.35}$$

Dengan :

$\sum F'_R$  = jumlah gaya tahanan horizontal

$\sum F_d$  = jumlah gaya dorong horizontal





Gambar 2.17 Kontrol geser sepanjang dasar  
Sumber: Das,2011

Gambar 2.17 menunjukkan bahwa kekuatan geser tanah di bawah dasar dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$s = \sigma' \tan \delta' + c'_a \quad (2.36)$$

Dengan :

$\delta'$  = sudut geser antara tanah dan pelat dasar

$c'_a$  = adhesi antara tanah dan pelat dasar

Gaya maksimum yang bisa ditahan yang berasal dari persatuan panjang dinding di bawah base slab adalah

$$R' = s (\text{area of cross section}) = s (B \times 1) = B\sigma' \tan \delta' + Bc'_a$$

Dengan :

$B\sigma'$  = jumlah gaya vertikal

$\Sigma V$  = Lihat Tabel 2.19

Jadi

$$R' = (\Sigma V) \tan \delta' + Bc'_a \quad (2.37)$$

Gambar 2. 17 menunjukkan tekanan pasif  $P_p$  juga tahanan horizontal. Maka :

$$\Sigma F'_R = (\Sigma V) \tan \delta' + Bc'_a + P_p \quad (2.38)$$

Satu – satunya gaya horizontal yang akan cenderung menyebabkan dinding tergelincir adalah komponen horizontal dan gaya aktif Pa, jadi

$$\sum Fd = Pa \cos \alpha \quad (2.39)$$

Dengan kombinasi persamaan (2.38) dan (2.39) maka,

$$FS \text{ (sliding)} = \frac{(\sum V)\tan\delta' + Bc'a+Pp}{Pa \cos \alpha} \quad (2.40)$$

Faktor aman maksimum adalah 1.5.

### c. Pemeriksaan Terhadap Daya Dukung (*Bearing Capacity*)

Tekanan vertikal yang ditransmisikan ke tanah oleh pelat dasar dinding penahan seharusnya diperiksa terhadap daya dukung utama tanah. Tekanan vertikal yang ditransmisikan oleh pelat dasar ke tanah ditunjukkan pada Gambar 2.18 berikut.

Jumlah tekanan vertikal yang bekerja pada plat dasar adalah :

$$R = \sum V + Ph = \sum V + Pa \cos \alpha \quad (2.41)$$

Resultan gaya pada titik C pada gambar 2.18 adalah

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_O \quad (2.42)$$

Eksentrisitas resultan R dapat ditunjukkan oleh rumus berikut.

$$e = \frac{B}{2} - \overline{CE} = \frac{B}{2} - \frac{M_{net}}{\sum V} \quad (2.43)$$

Distribusi beban di bawah plat dasar dapat ditunjukkan dengan persamaan sederhana sebagai berikut.

$$q = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{M_{net} y}{I} \quad (2.44)$$

Dengan :

$M_{net}$  = Momen =  $(\sum V)e$

$I$  = momen inersia per satuan panjang dari dasar

Untuk tekanan maksimum dan minimum, nilai  $y$  pada persamaan (2.44) sama dengan  $B/2$

$$q_{max} = q_{toe} = \frac{\sum V}{(B)(1)} + \frac{e(\sum V)\frac{B}{2}}{\frac{1}{12}(B^3)} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \quad (2.45)$$

$$q_{min} = q_{heel} = \frac{\sum V}{(B)} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \quad (2.46)$$

$$q_u = c'_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.47)$$

Dengan :

$$q = \gamma_2 D$$

$$B' = B - 2e$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'_2}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi'_2 (1 - \sin \phi'_2)^2 \frac{D}{B'}$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi_o}{90^\circ}\right)^2$$

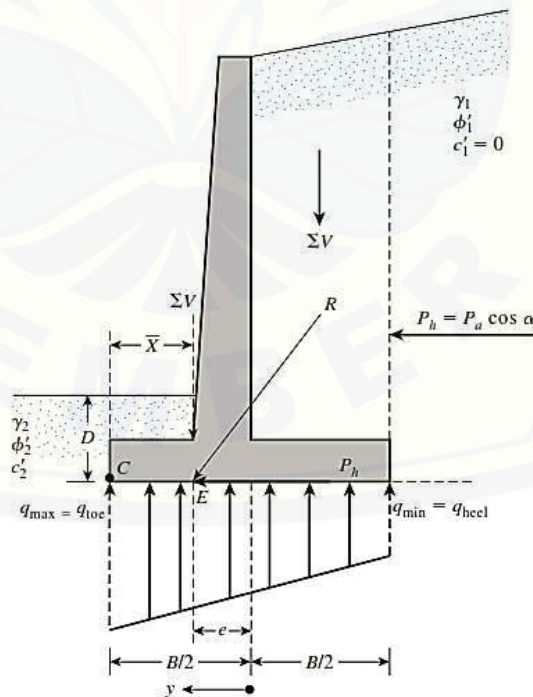
$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi_o}{\phi'_2}\right)^2$$

$$\Psi_o = \tan^{-1} \left( \frac{P_a \cos \alpha}{\Sigma V} \right)$$

Nilai faktor keamanan terhadap daya dukung dapat dilihat dengan rumus berikut.

$$FS(\text{bearing capacity}) = \frac{qu}{qt_{oe}} \quad (2.48)$$

Nilai FS terhadap daya dukung minimum adalah 3.

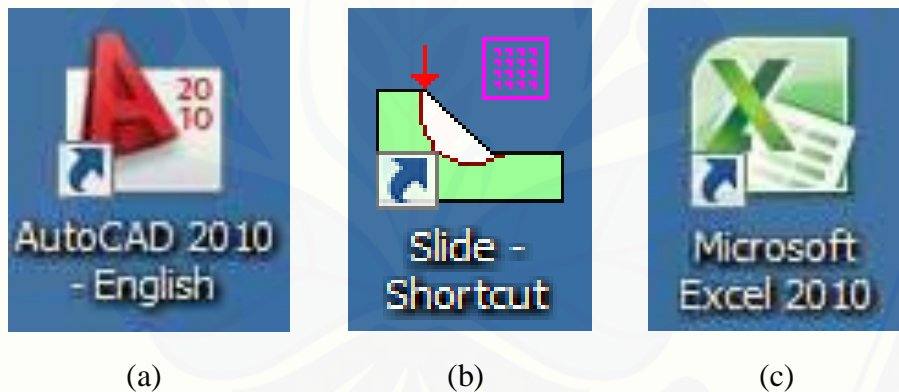


Gambar 2.18 Pemeriksaan terhadap daya dukung  
Sumber : Das,2011

## 2.9 Proses Pemodelan dan Analisis

### 2.9.1 Spesifikasi Perangkat Lunak

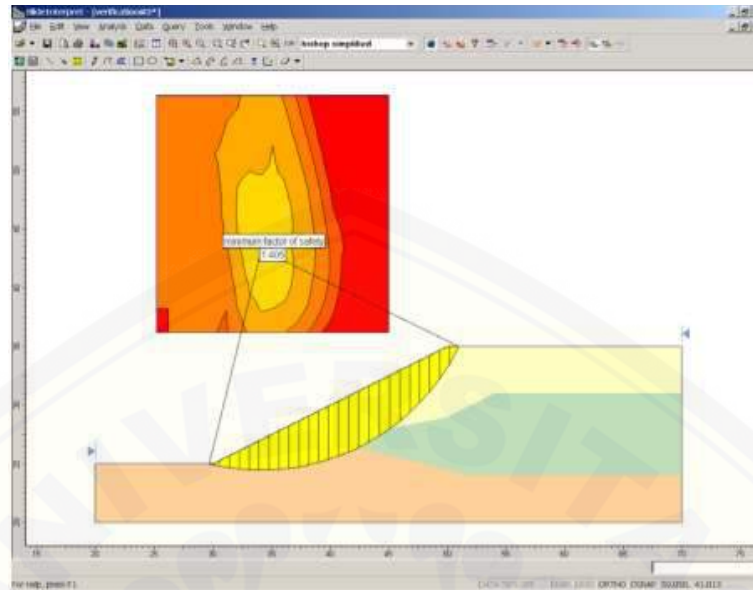
Perangkat lunak proses digunakan untuk memproses data – data yang telah terkumpul menjadi sebuah informasi berupa nilai kestabilan lereng yang disimbolkan dalam nilai *Safety Factor* (SF). Perangkat lunak yang digunakan adalah *Rocscience Slide V.6.0.20*. *Rocscience Slide* adalah salah satu aplikasi pemodelan stabilitas lereng yang dilengkapi berbagai fitur untuk melakukan analisis lereng dengan beberapa parameter tambahan seperti muka air tanah dan lain – lain. Untuk mendukung hasil lereng yang lebih rinci dengan lapisan tanah, maka digunakan program bantu lain yaitu AutoCAD yang memiliki spesifikasi sebagai software grafis. Lereng yang telah dibuat geometrinya, kemudian disimpan dalam format *.dxf*. Kemudian dilakukan perhitungan perencanaan lereng dengan menggunakan Microsoft Excel 2010.



Gambar 2.19 Perangkat lunak proses dan output (a) AutoCAD 2010 (b) *Rocscience Slide V.6.0.20* (c) *Microsoft Excel 2010*

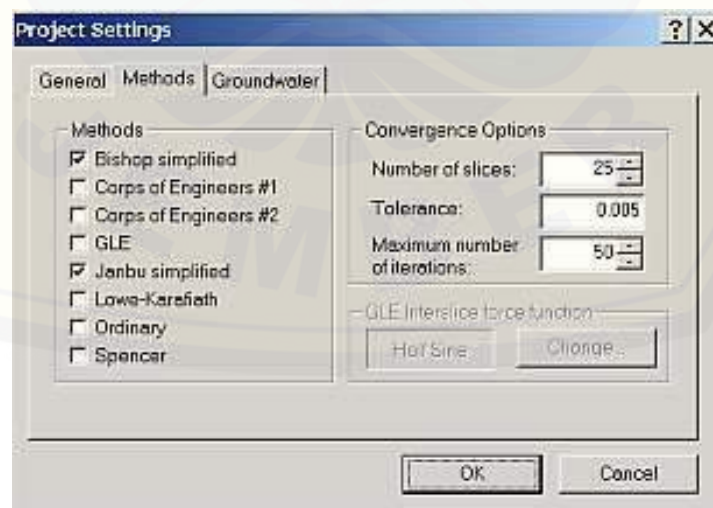
*Rocscience Slide* dilengkapi dengan fitur *Rocscience Interpret* yang merupakan hasil keluaran dari *slide input*. *Slide interpret* memberikan informasi nilai SF dari lereng yang dianalisis dan bidang longsor yang terjadi. Selain dapat digunakan untuk menunjukkan nilai SF, *Slide Interpret* dapat digunakan untuk menunjukkan garis aliran lereng dan juga potongan bidang longsor lereng yang selanjutnya dapat digunakan untuk perhitungan manual.

### 2.9.2 Rocscience Slide V.6.020



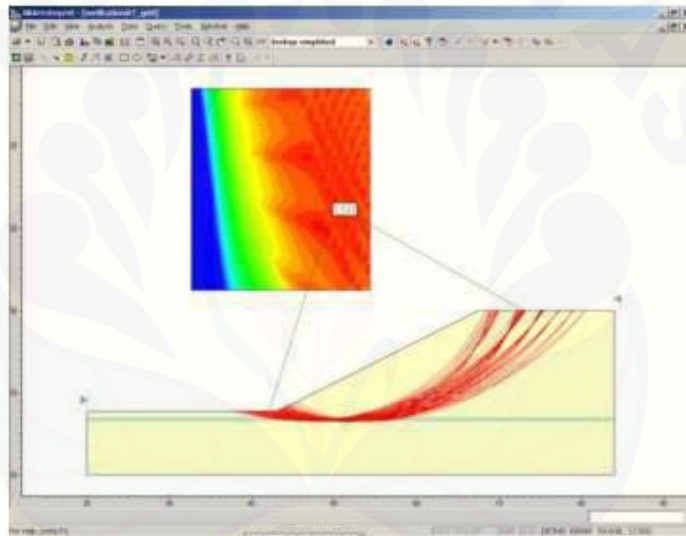
Gambar 2.20 Rocscience Slide V.6.0.20

*Rocscience Slide* atau biasanya disebut *Slide* adalah program analisis stabilitas lereng dua dimensi yang dikembangkan oleh *Rocscience*. *Slide* dapat digunakan untuk mendesain dan/ atau menganalisis lereng alami maupun lereng buatan manusia seperti hasil galian, timbunan yang termasuk juga bendungan dan struktur penahan seperti dinding penahan tanah dan struktur *soil nail* (Manual Slide).

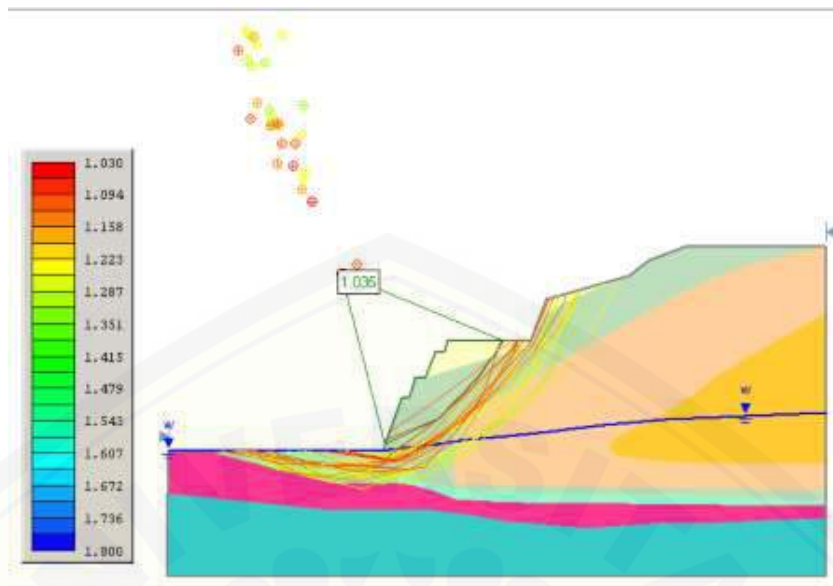


Gambar 2.21 Metode analisis  
Sumber : Manual *Slide*

Stabilitas lereng dipengaruhi beberapa faktor seperti kondisi geologi (lapisan tanah dan batuan, muka air tanah, dll.), bahan penyusun lereng, dan geometri. Dari semua faktor tersebut tidak dapat ditentukan secara spesifik. Ketidakpastian tersebut berarti harus ada beberapa analisis yang mungkin dapat menggambarkan kondisi lereng. Keuntungan menggunakan program *Slide* adalah dimana program ini dapat menentukan metode analisis stabilitas lereng yang akan digunakan seperti metode Ordinary/Fellenius, Bishop Simplified, Janbu Simplified, Janbu Corrected, Spencer, Generalized Limit Equilibrium Method (GLE) dan metode lainnya. Sehingga akan memudahkan perhitungan validasi yang akan dihitung secara manual nantinya.

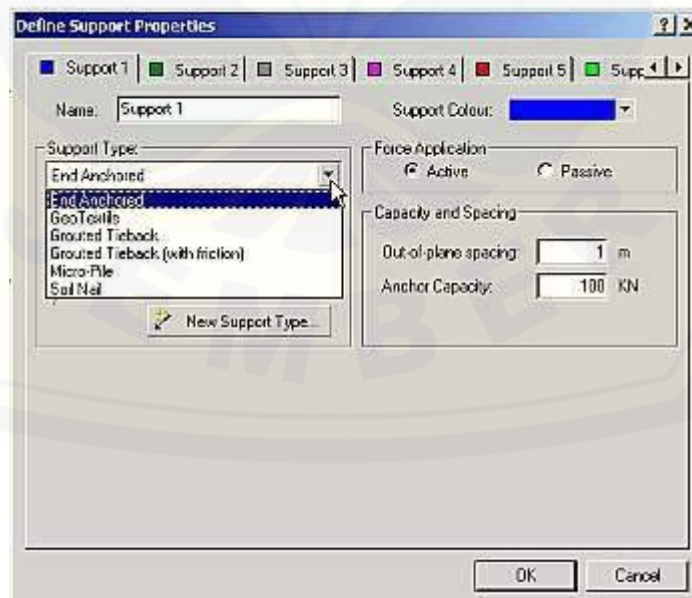


Gambar 2.22 Bidang gelincir lereng  
Sumber : Manual *Slide*



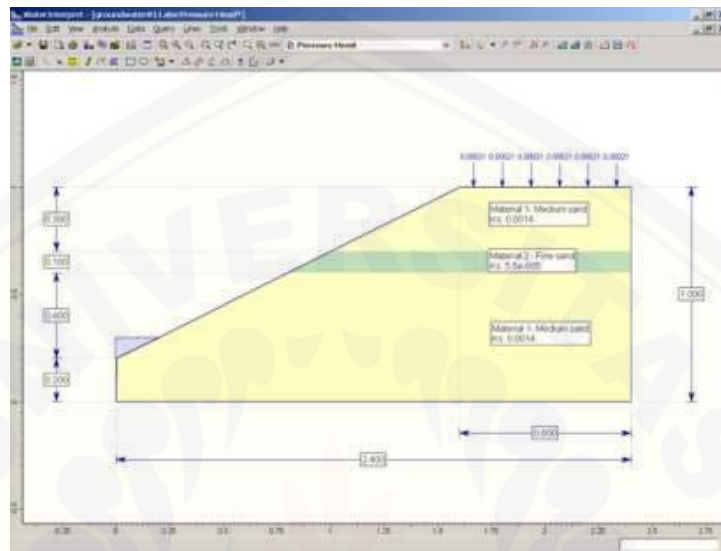
Gambar 2.23 Interpretasi SF Slide  
Sumber : Manual Slide

Selain itu, *Slide* juga dapat menunjukkan permukaan kritis dari lereng yang dianalisis. Pada program ini, nilai SF yang ditunjukkan merupakan nilai SF yang terkecil dari lereng. Nilai SF tersebut didapat setelah proses *Running* yang kemudian diinterpretasikan.



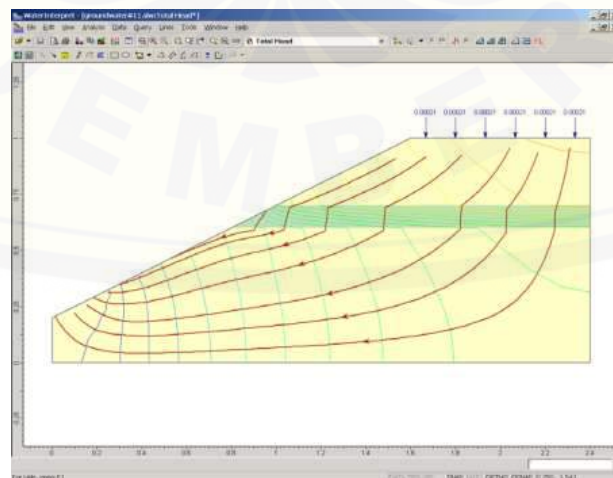
Gambar 2.24 Metode Perbaikan Slide  
Sumber : Manual Slide

Selain itu, *Slide* juga didukung dengan beberapa fitur material yang jumlahnya dapat dikostumisasi oleh penggunaanya. Selain itu ada fitur *support* untuk perbaikan lereng diantaranya *Grouted Tieback*, *End-Anchored Support*, *Soil Nails*, *GeoTextiles*, *Micropiles*, dan *User-Defined Support*.



Gambar 2.25 Dimensi lereng dengan *Slide*  
Sumber : Manual *Slide*

Input geometri lereng pada *Slide* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu yang pertama dengan input geometri dengan memasukkan koordinat lereng, atau dengan mengimport geometri lereng yang sudah tergambar dari AutoCAD dalam format *.dxf*.



Gambar 2.26 Perhitungan *pore water pressure*  
Sumber : Manual *Slide*



Kemudian posisi muka air tanah juga dapat digambar pada *Slide* yang mana nantinya muka air tanah tersebut dapat mempengaruhi stabilitas lereng karena menambah berat lereng tersebut. Selain itu keberadaan air yang meresap ke dalam lapisan tanah akan membuat gesekan antar partikel tanah yang memperbesar kemungkinan lereng mengalami kelongsoran.

### 2.10 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat beberapa metode analisis kestabilan lereng misalnya dengan *Finite Element Method* dengan Plaxis dan perbaikan lereng dengan dinding penahan tanah oleh Wihardi, dkk (2018). Pada penelitian tersebut, hasil nilai FK lereng  $< 1,25$ . Sehingga diperlukan perbaikan lereng. Selain itu, penelitian dari Rajagukguk & Monintja (2014) dengan *Rocscience Slide* yang menggunakan metode *Bishop* dan perbaikan lereng berupa *End Anchored* menghasilkan FS 1,099 pada kondisi awal. Setelah perbaikan dengan *End Anchored* FS mengalami peningkatan menjadi 1,522. Penelitian terdahulu mengenai analisis stabilitas lereng dan perbaikannya selanjutnya dapat dilihat pada Lampiran 5

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan bagian terpenting dalam sebuah penelitian ilmiah. Metodologi mencakup mengenai proses bagaimana sebuah penelitian terjadi dimulai dari proses pengambilan sampel atau data, tahap pemrosesan dan analisa data yang kemudian outputnya berupa sebuah informasi. Dalam bab ini akan diuraikan metode penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan masalah stabilitas lereng pada daerah rawan longsor yang ada di Desa Dompok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek.

#### 3.1 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kasus tentang stabilitas lereng pada tebing ruas Jalan Trenggalek – Bendungan Desa Dompok, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek. Daerah tersebut merupakan salah satu daerah rawan longsor di Kabupaten Trenggalek. Kondisi geografi yang berbasis topografi pegunungan menyebabkan bencana yang dominan terjadi adalah bencana longsor. Pada daerah ini, bencana tanah longsor sudah diupayakan untuk ditangani sedemikian rupa yaitu dengan dibangunnya dinding penahan tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng pada sekitar kawasan tersebut. Sebelum memasuki tahap analisis akan dilakukan tahap identifikasi tipe longsor atau keruntuhan lereng yang terjadi dengan studi literatur. Kemudian metode yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng adalah pemodelan lereng menggunakan *software Rocscience Slide* dan dengan perencanaan dinding penahan tanah untuk mendapatkan dimensi yang efektif dan efisien untuk menangani bencana longsor. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa desain yang dihasilkan benar – benar dapat mengatasi bencana longsor yang terjadi pada kawasan tersebut. Pada perencanaan dinding penahan tanah tentunya dilakukan analisis stabilitas untuk memastikan bahwa desain yang dihasilkan aman.

### 3.2 Lokasi Penelitian



Gambar 3.1 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian terdapat pada ruas jalan Trenggalek – Bendungan Desa Dompiong, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek. Pada lokasi ini merupakan jalan penghubung antara dua kecamatan yaitu Kecamatan Bendungan dan Trenggalek.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Pada tahap awal penelitian, hal yang dilakukan adalah pengumpulan data. Data yang dimaksud adalah data karakteristik tanah dari hasil pengujian lapangan yang didapatkan dari Uji Penetrasi Konus (*Cone Penetration Test*). Kemudian data yang telah diperoleh diolah untuk lingkup penelitian yang selanjutnya.

Data tanah yang telah diperoleh selanjutnya digunakan sebagai data masukan untuk pemodelan lereng dengan *software*. *Software* yang digunakan adalah *Rocscience Slide*. Dari pemodelan tersebut selanjutnya dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan metode Bishop- Disederhanakan (*simplified-Bishop*). Dari pemodelan lereng dengan *Rocscience Slide* akan diperoleh bidang longsor yang diperoleh pada pemodelan kemudian dianalisis dan diinterpretasikan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan atau *safety factor* (SF). Kemudian dari hasil potongan lereng, nantinya akan digunakan acuan untuk perhitungan manual SF lereng dengan metode *simplified-Bishop* sebagai validasi.

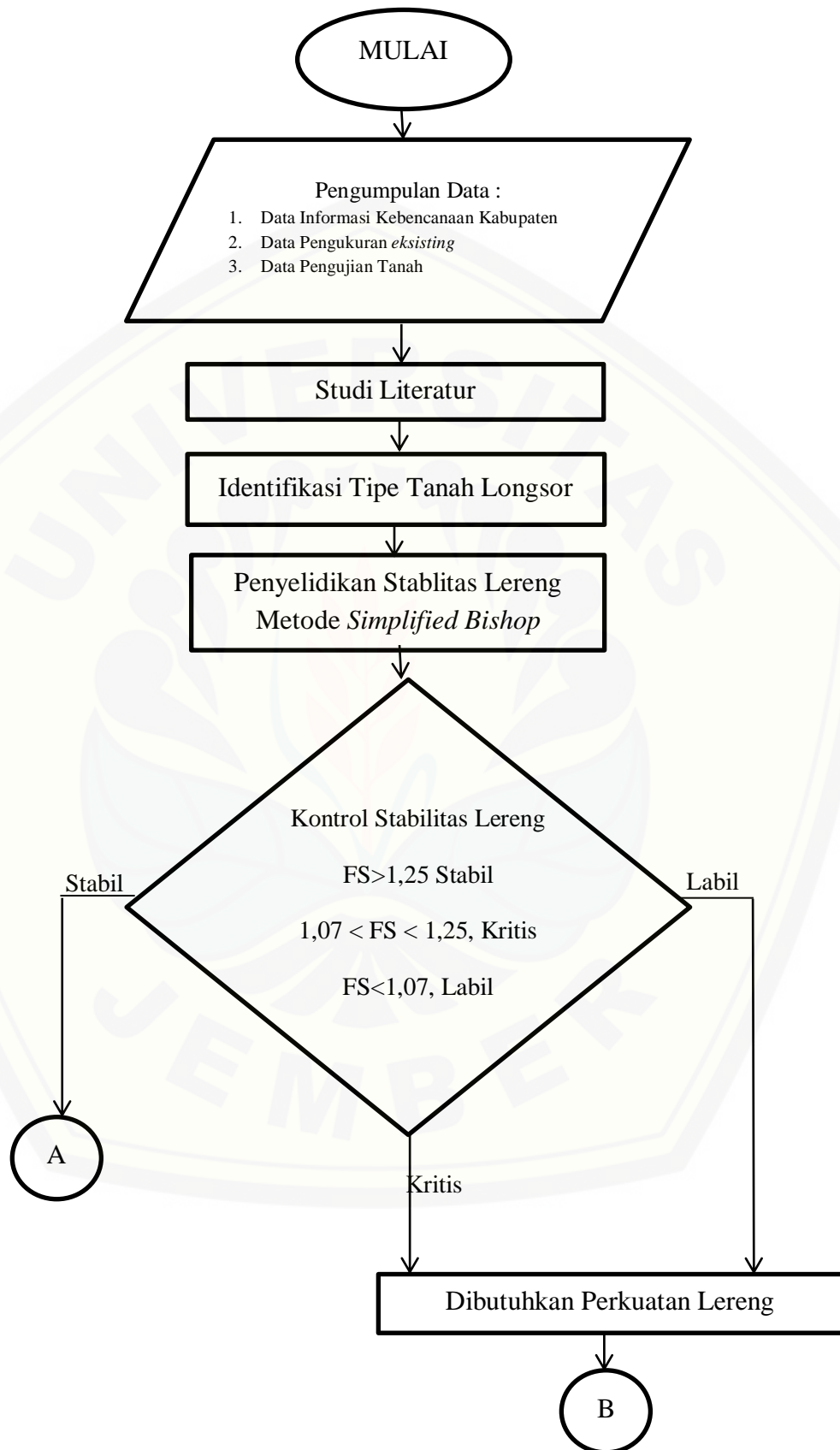
Selanjutnya, untuk penanganan struktural dilakukan dengan perencanaan dinding penahan tanah. Tujuan adanya dinding penahan ini selain mencegah

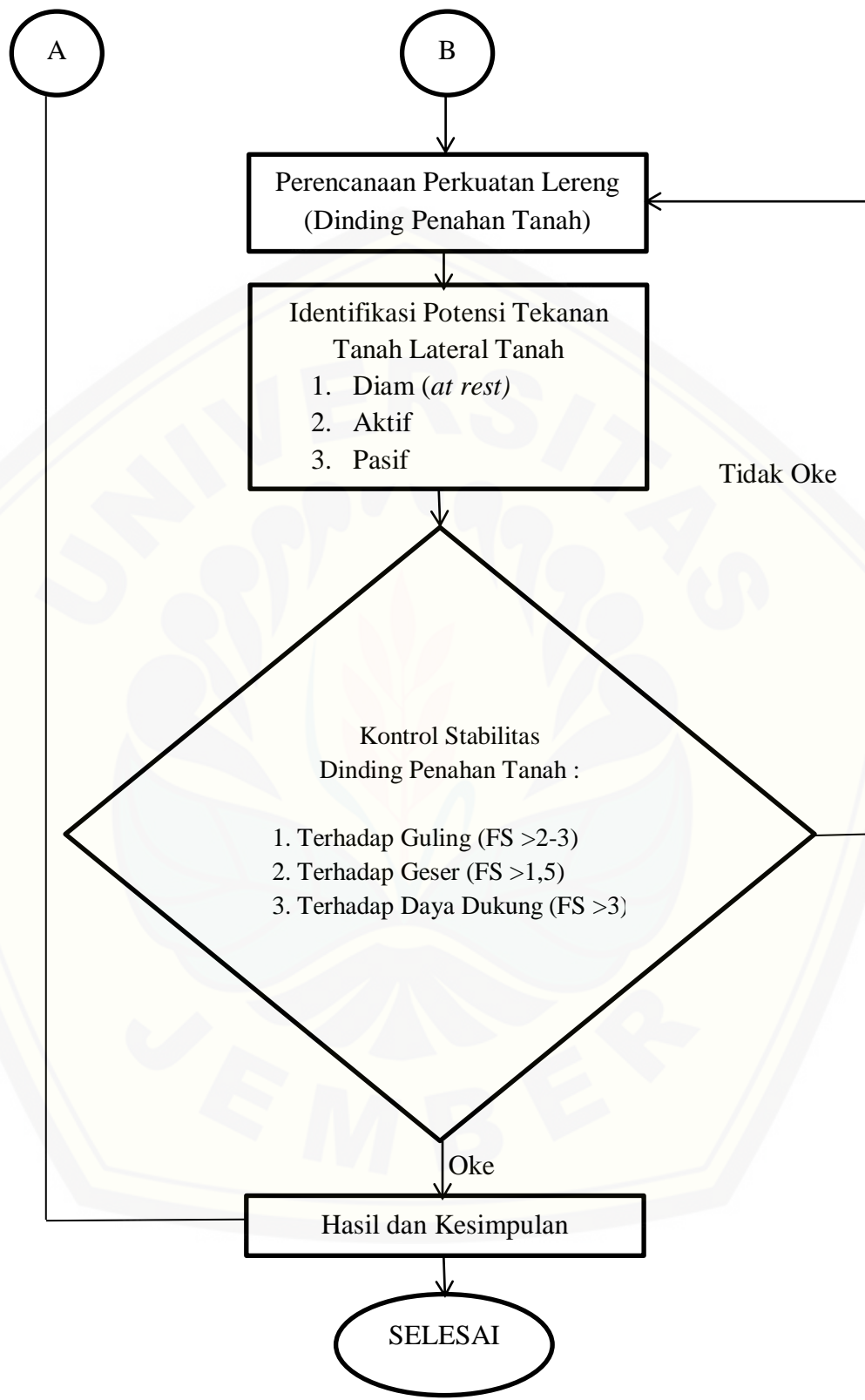
pergerakan tanah yang terjadi pada lereng juga untuk menjaga keamanan ruas jalan saat kendaraan melintas tanpa takut terjadinya tanah longsor.

### 3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode analisis. Analisis ini meliputi perencanaan perbaikan stabilitas lereng melalui penanganan struktural berupa dinding penahan tanah. Desain dinding penahan tanah yang dipilih merupakan desain dinding penahan tipe *cantilever wall*. Perencanaan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel* untuk perencanaan dimensi dan analisis stabilitas secara coba - coba .

Kegiatan penelitian dilakukan di lapangan dan studi literatur untuk melakukan analisa stabilitas lereng. Kegiatan di lapangan dimaksudkan untuk memperoleh data hasil pengukuran kondisi *eksisting* dari lokasi penelitian. Kemudian data hasil pengukuran tersebut digunakan untuk memodelkan kondisi lereng untuk memperoleh informasi berupa stabilitas lereng dan bidang longsor yang ada pada daerah tersebut. Kemudian untuk memperoleh informasi kondisi lereng awal sebelum terjadinya longsor digunakan peta topografi wilayah Kabupaten Trenggalek. Berikut merupakan diagram alir penelitian :





Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

### 3.5 Langkah – Langkah Penelitian

#### 3.5.1 Data Penelitian

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan adalah data pengukuran kondisi *eksisting* area terjadinya longsor yaitu di Desa Dompok Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek. Untuk mendapatkan data lereng, digunakan *roll meter*; kompas; dan alat tulis.

Data sekunder yang digunakan adalah data pengujian tanah dan Data Kajian Penanggulangan Bencana dari BPBD Kabupaten Trenggalek. Data tanah ini merupakan data hasil uji lapangan dari tes sondir. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam analisis maupun perencanaan.

#### 3.5.2 Pemodelan dengan *Software*

Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan lereng bertujuan untuk mempermudah langkah analisis stabilitas. Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui bidang keruntuhan atau longsor dari lereng tinjauan. Bidang longsor ini digunakan untuk mencari nilai *safety factor* (SF) lereng tersebut. Selain itu langkah ini juga digunakan dalam pertimbangan perencanaan dinding penahan tanah yang akan direncanakan.

*Software* yang digunakan adalah *Rocscience Slide*. *Rocscience Slide* adalah salah satu software perhitungan kestabilan lereng. Secara umum untuk menganalisis kestabilan lereng dengan langkah pemodelan yang berupa gambaran geometri lereng, identifikasi metode yaitu metode yang akan digunakan dan input parameter perhitungan berupa karakteristik analisis dan karakteristik tanah, penentuan bidang gelincir, kemudian *running*/kalkulasi, dan interpretasi nilai FoS atau nilai keamanan lereng. Data karakteristik tanah yang didapatkan dari sondir menjadi data masukan untuk pemodelan lereng yang terlebih dahulu dilakukan korelasi dan pengolahan sehingga menghasilkan data karakteristik tanah. Selanjutnya program dari *software* ini digunakan untuk mengetahui bidang longsor dan stabilitas lereng. Langkah yang harus dilakukan untuk pemodelan dengan *software Rocscience Slide* adalah sebagai berikut.



Gambar 3.3 Proses pemodelan dengan *Rocscience Slide*

### 3.5.3 Identifikasi Tipe Keruntuhan dan Analisis Stabilitas Lereng

Identifikasi tipe keruntuhan lereng dilakukan dengan menggunakan studi literatur. Kejadian tanah longsor memiliki keterkaitan dimensi ruang dan waktu. Tanah longsor dapat diketahui melalui identifikasi faktor – faktor penyebabnya dan faktor pemicu yang menyebabkan terjadinya tanah longsor seperti yang telah dijelaskan pada poin 2.3 pada bab sebelumnya. Dari hasil identifikasi tersebut dapat diperoleh informasi tipe longsor yang terjadi.

Langkah analisis stabilitas lereng dilakukan setelah tahap identifikasi selesai dilakukan. Analisis stabilitas lereng dari pemodelan *software* yang dihasilkan menggunakan metode Bishop- Disederhanakan (*simplified-Bishop*). *Software* yang digunakan adalah *Rocscience Slide* yang mana pada *software* ini



telah memuat metode Bishop-Disederhanakan sehingga memudahkan dalam perhitungan. Selain itu, perhitungan manual dilakukan untuk memperoleh nilai validasi Faktor Aman lereng (FS). Persamaan yang digunakan adalah persamaan (2.15).

#### 3.5.4 Perencanaan dan Kontrol Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Setelah nilai stabilitas lereng diperoleh dari tahap sebelumnya, kemudian dilakukan perencanaan dinding penahan yang meliputi perencanaan tebal pelat dasar, tinggi dinding penahan, serta kedalamannya untuk memperbaiki stabilitas lereng yang kurang baik. Pada tahap perencanaan ini menggunakan bantuan *software* AutoCAD 2010 untuk menggambarkan dimensi dinding penahan rencana. kontrol stabilitas dilakukan dengan pemeriksaan terhadap tiga parameter yang telah dibahas pada poin 2.7.3. Dalam merencanakan dimensi dinding penahan tanah digunakan juga *trial – and – error* hingga didapatkan dimensi yang efisien yang disesuaikan dengan nilai FS minimum masing - masing. Untuk memudahkan perhitungan maka digunakan bantuan *software Rocscience Slide* dan Microsoft Excel 2010.

#### 3.5.5 Pemeriksaan Keadaan Setelah Perbaikan Lereng

Keadaan setelah perbaikan atau *controlling* perlu dilakukan untuk mengetahui hasil perbaikan stabilitas lereng yang direncanakan, apakah sudah aman atau perlu dilakukan perencanaan ulang. Dari beberapa parameter yang ada, desain dinding penahan yang diharapkan dapat meningkatkan kestabilan lereng haruslah terpenuhi seluruhnya untuk memastikan bahwa desain tersebut aman. Apabila setelah dilakukan beberapa kali percobaan tetap tidak terpenuhi seluruh persyaratan stabilitas yang ada, maka sebelum desain tersebut direalisasikan terlebih dahulu dilakukan perbaikan tanah. Setelah dilakukan, kemudian akan dilaksanakan tahap membandingkan atau perbandingan kondisi eksisting dan kondisi optimasi. Sehingga dengan demikian perencanaan dinilai lebih efektif dan efisien.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perencanaan perkuatan lereng yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Berdasarkan identifikasi keruntuhan lereng tipe keruntuhan lereng, longsor yang terjadi merupakan tipe Translational dengan material yang dibawa berupa tanah (*Earth Slide*).
2. Nilai *Safety Factor* (SF) lereng pada sondir S-01 dan S-02 dengan metode *Simplified- Bishop* adalah 0,850. Kemudian SF kondisi setelah adanya penggalian sebesar 0,625. Sedangkan dengan perhitungan manual dengan metode yang sama, nilai SF lereng adalah 1,172. Selisih nilai perhitungan manual dan perhitungan dengan *Rocscience Slide* adalah 27%. Kemudian nilai SF lereng setelah digali adalah 0,625 dengan *Slide* dan 0,756 dengan perhitungan manual. Validasi perhitungan manual dengan hasil *Slide* adalah 17%.
3. Perkuatan lereng yang direncanakan merupakan dinding penahan tanah/*retaining wall* tipe *cantilever wall* dengan dimensi rencana yang efektif digunakan dengan dimensi tinggi dinding total (H) adalah 7,919873 m, lebar total (B) adalah 5,3 meter dan sudut kemiringan timbunan adalah  $10^\circ$ . Dimensi yang direncanakan memiliki ukuran yang sama, hanya saja lapisan tanah yang menjadi dasar plat yang berbeda. Berdasarkan hasil dimensi rencana, setelah dilakukan analisis diperoleh nilai SF terhadap guling sebesar 2,69, SF terhadap geser 1,58 untuk sondir 1 dan 1,70 untuk sondir 2, dan SF terhadap daya dukung sebesar 3,10 untuk sondir 1 dan 3,33 untuk sondir 2. Nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan minimum untuk perencanaan dinding penahan.
4. Setelah dilakukan pemodelan, kondisi lereng setelah perbaikan dengan *cantilever wall* mengalami peningkatan nilai SF menjadi 0,801. Nilai SF tersebut dinilai belum mencapai tingkat kondisi lereng stabil karena masih <

1,25. Kemudian dilakukan penambahan perbaikan lereng dengan komponen *micropile* yang mana nilai SF lereng mengalami peningkatan menjadi 1,370 pada sondir S-01 dan 1,289 pada area sondir S-02. *Micropile* yang digunakan memiliki panjang 5 meter dengan sudut kemiringan pemasangan  $45^{\circ}$ . Jumlah *micropile* yang digunakan hanya sebatas untuk mencapai tingkat kondisi lereng yang stabil yaitu sebanyak 11 buah yang tersebar dari sisi lereng hingga pelat *cantilever wall*.

## 5.2 Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut disarankan data tanah yang diperoleh harus lebih detail dan disarankan menggunakan data hasil pengujian SPT atau pengujian lain yang lebih detail dari pengujian CPT yang dapat menunjukkan keberadaan muka air tanah pada lereng, sehingga dapat diperhitungkan pengaruh air yang bekerja pada lereng.
2. Untuk pengaruh hidrologi berupa infiltrasi air ke dalam lereng, dapat dianalisis dengan menggunakan tambahan data hidrologi kabupaten yaitu data curah hujan atau data yang lain.
3. Metode perbaikan lereng dan metode pelaksanaan dapat diuji coba dengan bentuk perbaikan lereng lain yang lebih modern.
4. Perlu dilakukan studi lanjut mengenai implementasi *micropile* di lapangan

## DAFTAR PUSTAKA

- Apriyono, A., Sumiyanto, & Waiyatno, N. G. (2016). Analisis Penanggulangan Kelongsoran Tanah pada Ruas Jalan Gunung Tugel Patikraja Banyumas. *Jurnal Teknik Sipil Volume 14*, 53-61.
- Arifin, A. I. (2015). Analisis Faktor Keamanan (Safety Factor) Stabilitas Lereng Menggunakan Geo Slope/W 2012 (Studi Kasus Daerah Rawan Longsor Desa Panyindangan Kecamatan Banjaran - Kabupaten Majalengka). -, -.
- Batali, L., & Andreea, C. (2016). Slope stability analysis using the unsaturated stress analysis. Case study. *Procedia Engineering*, 284-291.
- BNPB. (2013). *IRBI Indeks Risiko Bencana Indonesia*. Sentul: Direktorat Pengurangan Risiko Bencana Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design Fifth Edition*. Singapore: McGraw-Hill.
- Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering 7th edition*. USA: Cengage Learning.
- Diantara, F. A. (2018). *Evaluasi stabilitas lereng pada kawasan rawan tanah longsor rembangan (Studi Kasus Tanah Ekspansif Dusun Rayap, Desa Kemuning Lor, Kecamatan Arjasa, Kabupaten Jember)*. Jember: Universitas Jember.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Trenggalek. (2018). *Laporan Hasil Uji Sondir Ringan Perencanaan Pembangunan Tembok Penahan Jalan Desa Dompjong Kecamatan Bendungan*. Trenggalek.
- Fadhilah, L., & Sudarno. (2017). Perencanaan dinding penahan tanah untuk perbaikan longsor di ruas jalan Balerejo Kalegen. *Reviews in Civil Engineering v.01,n.1*, 25-28.
- Fahlevi, F., & Hastuty, I. P. (-). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Plaxis V.8 dan Metode Bishop (Studi Kasus: Pembangunan TPA Sipirok). -, -.
- Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. (2018). *Penyusunan Kajian Penanggulangan Bencana (Updating Peta Bencana) di Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

- Highland, M. L., & Bobrowsky, P. (t.thn.). *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslide*.
- Ir, D., & Inayatillah, A. (t.thn.). Analisis Kestabilan Lereng dengan Software Rocscience Slide.
- Kota, R. K. (2013). Analisis pembuatan dinding penahan tanah pada lereng jalan raya Ende-Nangapanda Kab. Ende. -, -.
- Madalina Ciotlaus, G. K. (2017). Slope stability of railway embankments. *Procedia Engineering*, 52-59.
- Madjri, A. D. (2012). Analisa Perencanaan Perbaikan Kelongsoran Lereng di Desa Tanjung Redeb Kabupaten Berau Kalimantan Timur (STA 0+00 s/d STA 0+250). *Jurnal Teknik POMITS*, 1-5.
- Michalowski, R. L. (1995). Slope stability analysis : a kinematical approach. *Geotechnique* 45 No. 2, 283 - 293.
- Muntohar, A. S. (2010). *Tanah Longsor Analisis -Prediksi - Mitigasi*. Yogyakarta: Geotechnical Engineering Research Group.
- Nur, O. F., & Hakam, A. (2010). Analisa stabilitas dinding penahan tanah (Retaining wall) akibat beban dinamis dengan simulasi numerik. *Jurnal Rekayasa Sipil Volume 6 No. 2*, -.
- Nurmanza, E. (-). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Tiang (Pile) dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya). -, -.
- Nurtjahjaningtyas, I. (2005). Pemilihan Metode Perbaikan Tanah untuk Kawasan Pantai (Studi Kasus : Di Wilayah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya). *Media Teknik Sipil* 5 No. 2, 65 - 70.
- Panemanan, V. G., & Sompie, A. O. (2014). Analisis kestabilan lereng dengan metode fellenius (Studi kasus : kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No.1*, 37-46.
- Pranantya, P. A. (2018). Korelasi Nilai Sondir Terhadap Parameter Geoteknik Dan Rembesan Pada Pondasi Tanggul Fase E, Kalibaru, Jakarta Utara. *Jurnal Sumber Daya Air Vol.14 No.2*, 73-86.
- Rafek, A. G., Jamin, N. H., Lai, G. T., Simon, N., & Hussin, A. (2016). Systematic approach to sustainable rock slope stability evaluation. *Procedia Chemistry*, 981-985.

Rajagukguk, O. P., & Monintja, T. S. (2014). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus : Kawasan Citraland Sta. 1000 m). *Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No. 3*, 139-147.

Slide;. (t.thn.). *Slide 4.0. rocscience*.

Soares, J. D. (-). Design of retaining wall structure stability of rock and concrete at times segment - Kediri Malang STA. 12500 KM. -, -.

Takwin, G. A., E., T. A., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis kestabilan lereng metode morgenstern-price (Studi kasus : Diamond Hill Citraland). *TEKNO Vol.15/No/67*.

Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes. Dalam R. L. Schuster, & R. J. Krizek, *Landslide Analysis and Control* (hal. 11-33). Washington D.C.: Transportation Research and Board.

Wibowo, R., Zulfikar, & Paramu, H. d. (2016). *Pedoman penulisan karya ilmiah*. Jember: Universitas Jember.

Wihardi, Munirwansyah, & Sale, M. S. (2018). Analisis stabilitas lereng menggunakan software plaxis 8.6 dengan dinding penahan tanah (retaining wall) (Studi kasus ruas jalan nasional Banda Aceh-Medan STA 83+135 Gunung Seulawah). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan 1 (3)*, 76-82.

**DOKUMENTASI**



**Pengukuran geometri lereng**



**Pengukuran ketinggian lereng**





**Pengukuran lebar jalan**



**Kondisi lereng setelah longsor**



# LAMPIRAN

## 1

**PETA ANCAMAN BENCANA LONGSOR  
KABUPATEN TRENGGALEK, JAWA TIMUR**

Tahun 2018



Sistem Koordinat Lokal : UTM WGS 1984, 49S  
Sistem Koordinat Peta : GCS WGS 1984

**Legenda**

- |                        |                          |                |
|------------------------|--------------------------|----------------|
| Kantor Kabupaten       | Jaringan Jalan           | Sungai         |
| Kantor Kecamatan       | Jalan Provinsi           | Sungai Utama   |
| Batas Kabupaten        | Jalan Kabupaten          | Sungai Musiman |
| Batas Kecamatan        | Jalan Lain               |                |
| <b>Tingkat Ancaman</b> |                          |                |
| Ancaman Rendah         | Riwayat Kejadian Bencana |                |
| Ancaman Sedang         |                          |                |
| Ancaman Tinggi         |                          |                |

**Sumber Data :**

1. Data spasial dari BAPPEDA Kabupaten Trenggalek skala 1:25000
2. Data DEM dari BAPPEDA Kabupaten Trenggalek dengan resolusi spasial 10 meter
3. Data kemiringan lereng dari BAPPEDA Kabupaten Trenggalek
4. Data penggunaan lahan dari BAPPEDA Kabupaten Trenggalek

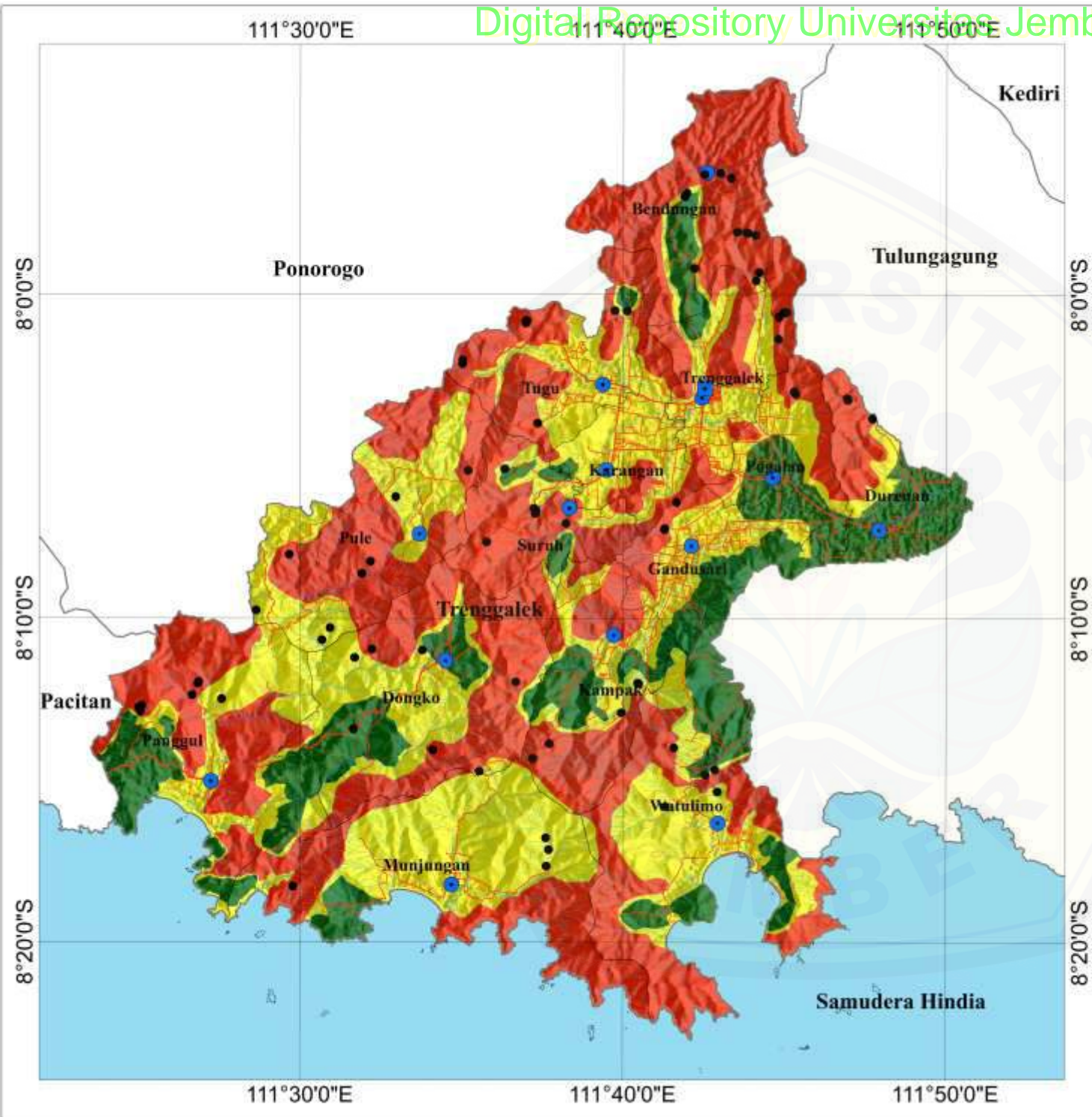


Kabupaten Trenggalek

Disusun Oleh :



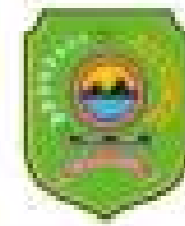
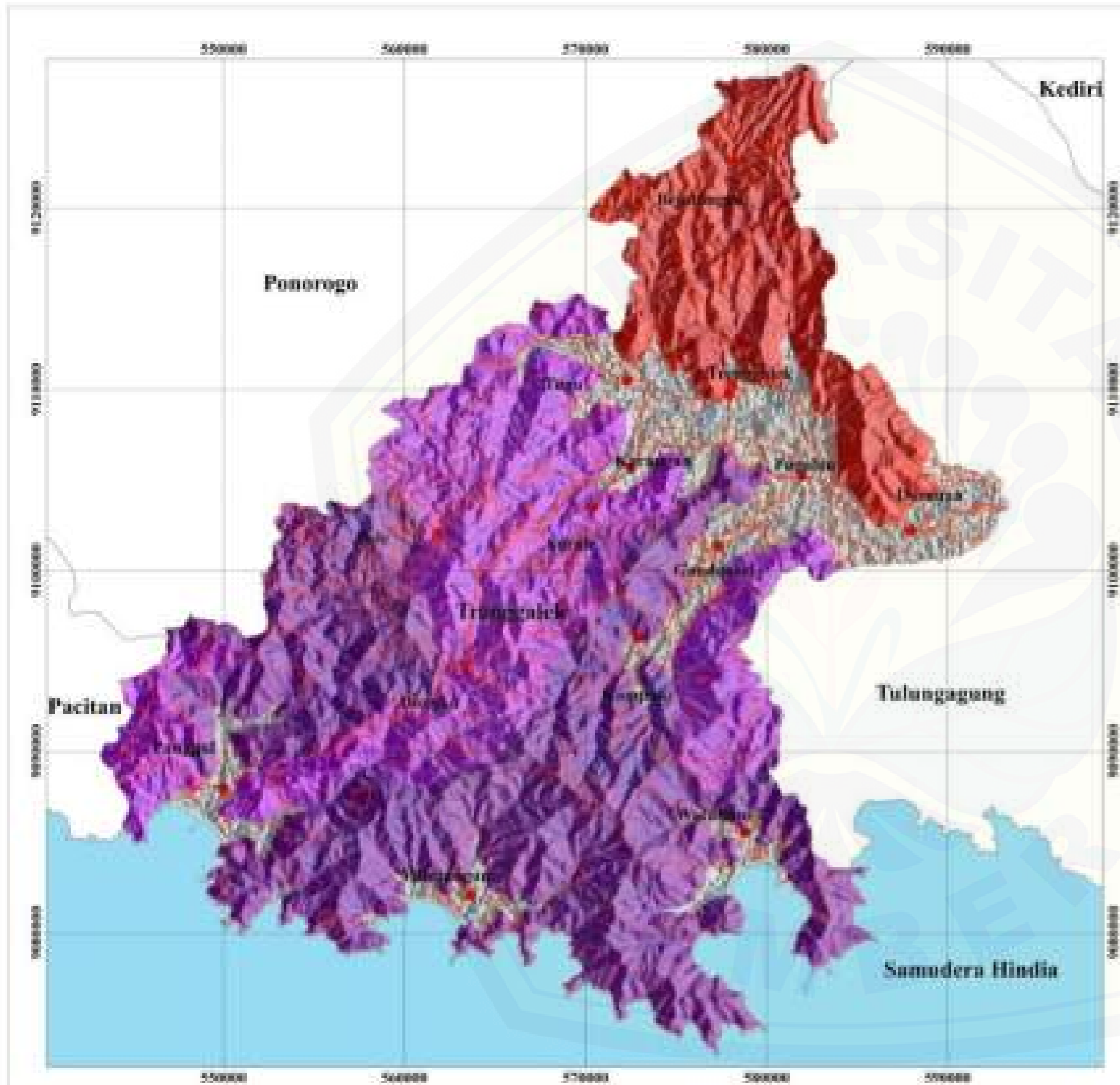
**UNIVERSITAS  
GADJAH MADA**



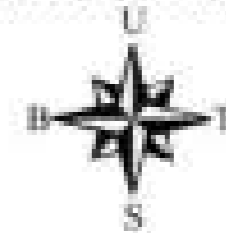


# LAMPIRAN

# 2



### PETA GEOMORFOLOGI KABUPATEN TRENGGALEK, JAWA TIMUR



Sistem Koordinat : UTM WGS 1984; Zona 49S

#### Legenda

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| ■ Kantor Bupati   | Jaringan Jalan   |
| ■ Kantor Camat    | — Jalan Kolektor |
| — Sungai Utama    | — Jalan Lain     |
| — Sungai Musiman  | — Jalan Lokal    |
| □ Batas Kabupaten | — Jalan Setapak  |
| □ Batas Kecamatan |                  |

#### Geomorfologi

- Dataran tererosi kuat berlereng landai
- Perbukitan tersesarkan berlereng sedang
- Perbukitan tersesarkan berlereng terjal
- Punggungan aliran lahar berlereng terjal

#### Sumber Data :

1. Data digital dari BIG skala 1:25000



DISUSUN OLEH :  
TIM MITIGASI BENCANA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS GADJAH MADA  
TAHUN 2017



# LAMPIRAN

3

Lampiran 3

Tabel 2.6 Nilai  $K_a$  untuk  $\delta' = 2/3 \phi'$

$\alpha(\text{deg})$	$\phi'$ (deg)	90	85	80	75	70	65
0	28	0,3213	0,3588	0,4007	0,4481	0,5026	0,5662
	29	0,3091	0,3467	0,3886	0,4362	0,4908	0,5547
	30	0,2973	0,3349	0,3769	0,4245	0,4794	0,5435
	31	0,2860	0,3235	0,3655	0,4133	0,4682	0,5326
	32	0,2750	0,3125	0,3545	0,4023	0,4574	0,5220
	33	0,2645	0,3019	0,3439	0,3917	0,4469	0,5117
	34	0,2543	0,2916	0,3335	0,3813	0,4367	0,5017
	35	0,2444	0,2816	0,3235	0,3713	0,4267	0,4919
	36	0,2349	0,2719	0,3137	0,3615	0,4170	0,4824
	37	0,2257	0,2626	0,3042	0,3520	0,4075	0,4732
	38	0,2168	0,2535	0,2950	0,3427	0,3983	0,4641
	39	0,2082	0,2447	0,2861	0,3337	0,3894	0,4553
	40	0,1998	0,2361	0,2774	0,3249	0,3806	0,4468
	41	0,1918	0,2278	0,2689	0,3164	0,3721	0,4384
42	0,1840	0,2197	0,2606	0,3080	0,3637	0,4302	
5	28	0,3431	0,3845	0,4311	0,4843	0,5461	0,6190
	29	0,3295	0,3709	0,4175	0,4707	0,5325	0,6056
	30	0,3165	0,3578	0,4043	0,4575	0,5194	0,5926
	31	0,3039	0,3451	0,3916	0,4447	0,5067	0,5800
	32	0,2919	0,3329	0,3792	0,4324	0,4943	0,5677
	33	0,2803	0,3211	0,3673	0,4204	0,4823	0,5558
	34	0,2691	0,3097	0,3558	0,4088	0,4707	0,5443
	35	0,2583	0,2987	0,3446	0,3975	0,4594	0,5330
	36	0,2479	0,2881	0,3338	0,3866	0,4484	0,5221
	37	0,2379	0,2778	0,3233	0,3759	0,4377	0,5115
	38	0,2282	0,2679	0,3131	0,3656	0,4273	0,5012
	39	0,2188	0,2582	0,3033	0,3556	0,4172	0,4911
	40	0,2098	0,2489	0,2937	0,3458	0,4074	0,4813
	41	0,2011	0,2398	0,2844	0,3363	0,3978	0,4718
42	0,1927	0,2311	0,2753	0,3271	0,3884	0,4625	
10	28	0,3702	0,4164	0,4686	0,5287	0,5992	0,6834
	29	0,3548	0,4007	0,4528	0,5128	0,5831	0,6672
	30	0,3400	0,3857	0,4376	0,4974	0,5676	0,6516
	31	0,3259	0,3713	0,4230	0,4826	0,5526	0,6365
	32	0,3123	0,3575	0,4089	0,4683	0,5382	0,6219
	33	0,2993	0,3442	0,3953	0,4545	0,5242	0,6078
	34	0,2868	0,3314	0,3822	0,4412	0,5107	0,5942
	35	0,2748	0,3190	0,3696	0,4283	0,4976	0,5810
	36	0,2633	0,3072	0,3574	0,4158	0,4849	0,5682
	37	0,2522	0,2957	0,3456	0,4037	0,4726	0,5558
	38	0,2415	0,2846	0,3342	0,3920	0,4607	0,5437
39	0,2313	0,2740	0,3231	0,3807	0,4491	0,5321	

	40	0,2214	0,2636	0,3125	0,3697	0,4379	0,5207
	41	0,2119	0,2537	0,3021	0,3590	0,4270	0,5097
	42	0,2027	0,2441	0,2921	0,3487	0,4164	0,4990
15	28	0,4065	0,4585	0,5179	0,5868	0,6685	0,7670
	29	0,3881	0,4397	0,4987	0,5672	0,6483	0,7463
	30	0,3707	0,4219	0,4804	0,5484	0,6291	0,7265
	31	0,3541	0,4049	0,4629	0,5305	0,6106	0,7076
	32	0,3384	0,3887	0,4462	0,5133	0,5930	0,6895
	33	0,3234	0,3732	0,4303	0,4969	0,5761	0,6721
	34	0,3091	0,3583	0,415	0,4811	0,5598	0,6554
	35	0,2954	0,3442	0,4003	0,4659	0,5442	0,6393
	36	0,2823	0,3306	0,3862	0,4513	0,5291	0,6238
	37	0,2698	0,3175	0,3726	0,4373	0,5146	0,6089
	38	0,2578	0,3050	0,3595	0,4237	0,5006	0,5945
	39	0,2463	0,2929	0,3470	0,4106	0,4871	0,5805
	40	0,2353	0,2813	0,3348	0,3980	0,4740	0,5671
	41	0,2247	0,2702	0,3231	0,3858	0,4613	0,5541
	42	0,2146	0,2594	0,3118	0,3740	0,4491	0,5415
20	28	0,4602	0,5205	0,5900	0,6714	0,7689	0,8880
	29	0,4364	0,4958	0,5642	0,6445	0,7406	0,8581
	30	0,4142	0,4728	0,5403	0,6195	0,7144	0,8303
	31	0,3935	0,4513	0,5179	0,5961	0,6898	0,8043
	32	0,3742	0,4311	0,4968	0,5741	0,6666	0,7799
	33	0,3559	0,4121	0,4769	0,5532	0,6448	0,7569
	34	0,3388	0,3941	0,4581	0,5335	0,6241	0,7351
	35	0,3225	0,3771	0,4402	0,5148	0,6044	0,7144
	36	0,3071	0,3609	0,4233	0,4969	0,5856	0,6947
	37	0,2925	0,3455	0,4071	0,4799	0,5677	0,6759
	38	0,2787	0,3308	0,3916	0,4636	0,5506	0,6579
	39	0,2654	0,3168	0,3768	0,4480	0,5342	0,6407
	40	0,2529	0,3034	0,3626	0,4331	0,5185	0,6242
	41	0,2408	0,2906	0,3490	0,4187	0,5033	0,6083
	42	0,2294	0,2784	0,3360	0,4049	0,4888	0,5930

Sumber : Das,2011





# LAMPIRAN

4

Lampiran 4

Tabel 2.7 Nila  $K_a$  untuk  $\delta' = \phi'/2$

$\alpha$ (deg)	$\phi'$ (deg)	90	85	80	75	70	65
0	28	0,3264	0,3629	0,4034	0,449	0,5011	0,5616
	29	0,3137	0,3502	0,3907	0,4363	0,4886	0,5492
	30	0,3014	0,3379	0,3784	0,4241	0,4764	0,5371
	31	0,2896	0,3260	0,3665	0,4121	0,4645	0,5253
	32	0,2782	0,3145	0,3549	0,4005	0,4529	0,5137
	33	0,2671	0,3033	0,3436	0,3892	0,4415	0,5025
	34	0,2564	0,2925	0,3327	0,3782	0,4305	0,4915
	35	0,2461	0,2820	0,3221	0,3675	0,4197	0,4807
	36	0,2362	0,2718	0,3118	0,3571	0,4092	0,4702
10	28	0,3743	0,4187	0,4688	0,5261	0,5928	0,6719
	29	0,3584	0,4026	0,4525	0,5096	0,5761	0,6549
	30	0,3432	0,3872	0,4368	0,4936	0,5599	0,6385
	31	0,3286	0,3723	0,4217	0,4782	0,5442	0,6225
	32	0,3145	0,3580	0,4071	0,4633	0,5290	0,6071
	33	0,3011	0,3442	0,3930	0,4489	0,5143	0,5920
	34	0,2881	0,3309	0,3793	0,4350	0,5000	0,5775
	35	0,2757	0,3181	0,3662	0,4215	0,4862	0,5633
	36	0,2637	0,3058	0,3534	0,4084	0,4727	0,5495
	37	0,2522	0,2938	0,3411	0,3957	0,4597	0,5361
	38	0,2412	0,2823	0,3292	0,3833	0,4470	0,5230
	39	0,2305	0,2712	0,3176	0,3714	0,4346	0,5103
	40	0,2202	0,2604	0,3064	0,3597	0,4226	0,4979
	41	0,2103	0,2500	0,2956	0,3484	0,4109	0,4858
42	0,2007	0,2400	0,2850	0,3375	0,3995	0,4740	
15	28	0,4095	0,4594	0,5159	0,5812	0,6579	0,7498
	29	0,3908	0,4402	0,4964	0,5611	0,6373	0,7284
	30	0,3730	0,4220	0,4777	0,5419	0,6175	0,7080
	31	0,3560	0,4046	0,4598	0,5235	0,5985	0,6884
	32	0,3398	0,3880	0,4427	0,5059	0,5803	0,6695
	33	0,3244	0,3721	0,4262	0,4889	0,5627	0,6513
	34	0,3097	0,3568	0,4105	0,4726	0,5458	0,6338
	35	0,2956	0,3422	0,3953	0,4569	0,5295	0,6168
20	28	0,4614	0,5188	0,5844	0,6608	0,7514	0,8613
	29	0,4374	0,4940	0,5586	0,6339	0,7232	0,8313
	30	0,4150	0,4708	0,5345	0,6087	0,6968	0,8034
	31	0,3941	0,4491	0,5119	0,5851	0,6720	0,7772
	32	0,3744	0,4286	0,4906	0,5628	0,6486	0,7524
	33	0,3559	0,4093	0,4704	0,5417	0,6264	0,7289
	34	0,3384	0,3910	0,4513	0,5216	0,6052	0,7066
35	0,3218	0,3736	0,4331	0,5025	0,5851	0,6853	

36	0,3061	0,3571	0,4157	0,4842	0,5658	0,6649
37	0,2911	0,3413	0,3991	0,4668	0,5474	0,6453
38	0,2769	0,3263	0,3833	0,4500	0,5297	0,6266
39	0,2633	0,3120	0,3681	0,4340	0,5127	0,6085
40	0,2504	0,2982	0,3535	0,4185	0,4963	0,5912
41	0,2381	0,2851	0,3395	0,4037	0,4805	0,5744
42	0,2263	0,2725	0,3261	0,3894	0,4653	0,5582

---

Sumber : Das,2011





# LAMPIRAN

5

## Lampiran 10

### a. Analisis Stabilitas Lereng

Tabel 2.20 Penelitian Stabilitas Lereng

No.	Topik	Metode	Hasil	Referensi
1.	Analisis Stabilitas Lereng dengan variasi pembebanan dan kondisi lereng yang berbeda	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Software Rocscience Slide</i></li> <li>2. <i>Simplified-Bishop</i></li> <li>3. <i>Ordinary/Fellenius</i></li> </ol>	<p>Semakin besar beban yang ada pada lereng maka nilai FS semakin kecil</p> <p>Nilai FoS = 1,290</p>	<p>Ir, D., &amp; Inayatillah, A. (t.thn.). Analisis Kestabilan Lereng dengan Software Rocscience Slide.</p>
2.	Stability analysis of slopes based on a translational mechanism of failure	<i>Kinematical approach</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stability factor <math>\gamma H/c</math> rather than the factor safety for specific slopes.</li> <li>2. This factor calculated for homogeneous slope and using the translational and rotational collapse mechanism is shown in this figure.</li> </ol>	<p>Michalowski, R. L. (1995). Slope stability analysis: a kinematical approach. <i>Geotechnique</i> 45 No. 2, 283 - 293.</p>

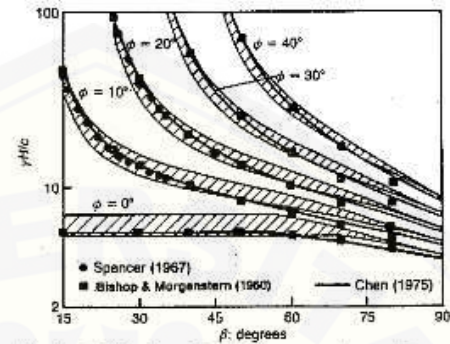


Fig. 6. Stability factor for homogeneous slopes with zero pore pressure: the shaded area represents the range of solutions for the translational mechanism ( $r_s = 0$ )

3. The calculation for the translational mechanism was performed assuming that the failure surface ABCD follows the shape of a circular arc.
4. The result for analyzing using the simplified Bishop method follow the upper bound for the rotational collapse very closely and drop below it only for very step closer

<p>3. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Plaxis dan Dinding Penahan Tanah</p>	<p><i>Finite Element Method</i> dengan Bantuan Software <i>Plaxis</i></p>	<p>Nilai FK hasil analisis stabilitas kondisi eksisting dengan Plaxis &lt;1.25. Perkuatan lereng yang digunakan adalah dinding penahan tanah Sudut lereng yang diubah dengan nilai FK &gt;1.25</p>	<p>Wihardi, Munirwansyah, &amp; Sale, M. S. (2018). Analisis stabilitas lereng menggunakan software plaxis 8.6 dengan dinding penahan tanah (<i>retaining wall</i>) (Studi kasus ruas jalan nasional Banda Aceh-Medan STA 83+135 Gunung Seulawah). <i>Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan</i> 1 (3), 76-82.</p>
<p>4. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop</p>	<p>1. <i>Software Rocscience Slide 6.0</i> 2. Metode Bishop</p>	<p>1. FS lereng pada kondisi kritis 1,099 2. Perbaiki lereng yang digunakan <i>End Anchored</i> 3. Setelah digunakan <i>End Anchored</i> nilai FS = 1,522</p>	<p>Rajagukguk, O. P., &amp; Monintja, T. S. (2014). Analisis kestabilan lereng dengan metode bishop (Studi kasus : Kawasan Citraland Sta. 1000 m). <i>Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No. 3</i>, 139-147.</p>

5. Analisis Kestabilan Lereng Metode <i>Morgenstern-Price</i>	Analisis dengan program <i>SLIDE</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. FS =0,202 sebelum perbaikan</li> <li>2. Perbaikan yang digunakan adalah <i>soil nail</i></li> <li>3. Setelah perbaikan FS = 1,625</li> </ol>	Takwin, G. A., E., T. A., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis kestabilan lereng metode Morgenstern-price (Studi kasus : Diamond Hill Citraland). <i>TEKNO Vol.15/No/67</i> .
6. Analisis kestabilan lereng Metode Fellenius	Metode <i>Factor Safety</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. FS =0,193 sebelum perbaikan</li> <li>2. Perbaikan yang digunakan adalah soil nail</li> <li>3. Setelah perbaiki FS = 1,926</li> </ol>	Panemanan, V. G., & Sompie, A. O. (2014). Analisis kestabilan ereng dengan metode Fellenius (Studi kasus : kawasan Citraland). <i>Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No.1, 37-46</i> .
7. Analisis Kestabilan Lereng dengan <i>Software Geo Slope / W 2012</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metode Bishop (<i>Method</i>)</li> <li>2. Pemodelan Slope/ W 2012</li> </ol>	<p>Irisan Longsor terjadi pada lereng di Desa Panyindangan dengan nilai faktor keamanan &gt;1,2</p> <p>Nilai SF perhitungan dengan Geo Slope/W 2012 :</p>	Arifin, A. I. (2015). Analisa Faktor Keamanan (Safety Factor) Stabilitas Lereng Menggunakan Geo Slope/W 2012 (Studi Kasus Daerah



		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metode Fellenius : 0,8</li> <li>2. Metode Simplified Bishop : 0,8</li> <li>3. Metode Irisan : 0,9</li> </ol> <p>Sedangkan nilai SF dengan perhitungan manual adalah :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metode Fellenius : 0,25</li> <li>2. Metode Simplified Bishop : 0,62</li> <li>3. Metode Irisan : 0,4</li> </ol> <p>Selisih perbandingan perhitungan manual dan GEO Slope/ W 2012 adalah 22,5% - 68,75%</p>	<p>Rawan Longsor Desa Panyindangan Kecamatan Banjaran - Kabupaten Majalengka). -, -.</p>
8. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Sheet Pile	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menggunakan Metode Bishop</li> <li>2. Bantuan Software <i>PLAXIS V.8</i></li> </ol>	<p>Nilai SF sebelum perbaikan adalah:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nilai SF dengan Plaxis : 1,172</li> <li>2. Nilai SF dengan perhitungan manual : 1,052</li> <li>3. Selisih : 10,23%</li> </ol> <p>Nilai SF setelah perbaikan adalah</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nilai SF dengan Plaxis : 1,4171;1,4525;1,4524</li> <li>2. Nilai SF dengan Bishop :</li> </ol>	<p>Fahlevi, F., &amp; Hastuty, I. P. (-). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Plaxis V.8 dan Metode Bishop (Studi Kasus: Pembangunan TPA Sipirok).</p>

1,37;1,395;1,452

3. SF meningkat : 17,3% - 17,8% dengan Plaxis
4. SF meningkat : 23%-27,5% dengan perhitungan manual

b. Dinding Penahan Tanah

Tabel 2.21 Penelitian Dinding Penahan

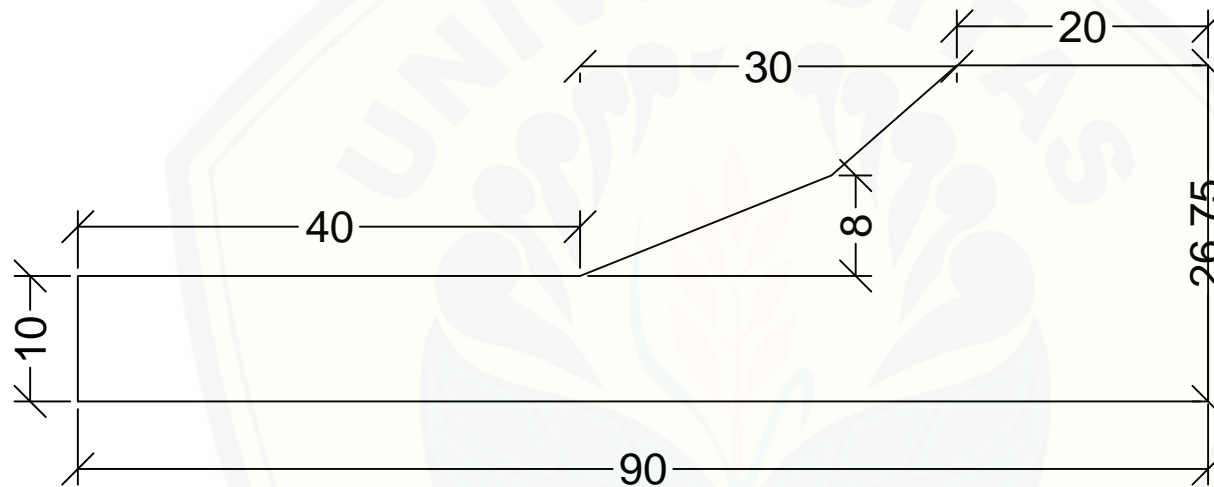
No.	Topik	Metode	Hasil	Referensi
1.	Analisa Stablitas Dinding Penahan Tanah akibat beban dinamis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simulasi numerik</li> <li>2. Simulasi dengan PLAXIS</li> <li>3. Metode <i>Mononobe-Okabe</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dari PLAXIS diperoleh grafik perpindahan terhadap waktu</li> <li>2. Analisis stabilitas dinamis dinding penahn degan dua variasi sudut yaitu <math>\alpha = 45 + \phi/2</math> dan <math>\alpha = \phi</math></li> </ol>	<p>Nur, O. F., &amp; Hakam, A. (2010). Analisa stabilitas dinding penaha tanah (<i>Retaining wall</i>) akibat beban dinamis degan simulasi numerik. <i>Jurnal Rekayasa Sipil Volume 6 No. 2</i>, -.</p>
2.	Perencanaan Dinding Penahan Tanah untuk Perbaikan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analisis kondisi Eksisting</li> <li>2. Perencanaan Dinding Penahan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dinding penahan tanah Rencana adalah tipe <i>Cantilever</i> dengan tinggi 550 cm, lebar bawah 385 cm, lebar atas 55 cm, lebar tumit 130 cm, lebar</li> </ol>	<p>Fadhilah, L., &amp; Sudarno. (2017). Perencanaan dinding penahan tanah untuk perbaikan logsor di ruas jalan Balerejo Kalegen. <i>Reviews in Civil</i></p>

Longsor	Tanah tipe <i>Cantilever</i>	kaki 100 cm dengan tinggi tertanam 50 cm 2. Dinding penahan tanah ini aman terhadap bahaya guling dan bahaya geser	<i>Engineering v.01,n.1, 25-28.</i>
3. Perencanaan Dinding Penahan Tanah pada Lereng Jalan	1. Dinding penahan tanah yang digunakan adalah <i>Gravity wall</i> 2. Desain dimensi di cek terhadap <i>Fs Overtuning, Fs Slading, Fs Bearing Capacity</i>	1. Dimensi hasil rencana $H = 9,65$ m, $B = 5,79$ m, $T_a = 1$ m, $T_b = 4,5$ m 2. $F_s$ guling = 2,4 $F_s$ Geser = 1,81 $F_s$ Daya dukung = 0,84	Kota, R. K. (2013). Analisis pembuatan dinding penahan tanah pada lereng jalan raya Ende-Nangapanda Kab. Ende. -, -.
4. Perencanaan Retaining Wall	1. Dinding penahan tanah tipe <i>gravity wall</i> dan <i>cantilever wall</i>	1. Dimensi dinding stabil terhadap gaya dukung tanah = $288,05 > q_a = 31,259$ 2. Dinding stabil terhadap gaya geser $1,6 > 1,5$ 3. Dinding stabil terhadap gaya guling $2,2 > 1,5$	Soares, J. D. (-). Design of retaining wall structure stability of rock and concrete at times segment - Kediri Malang STA. 12500 KM. -, -.



# LAMPIRAN

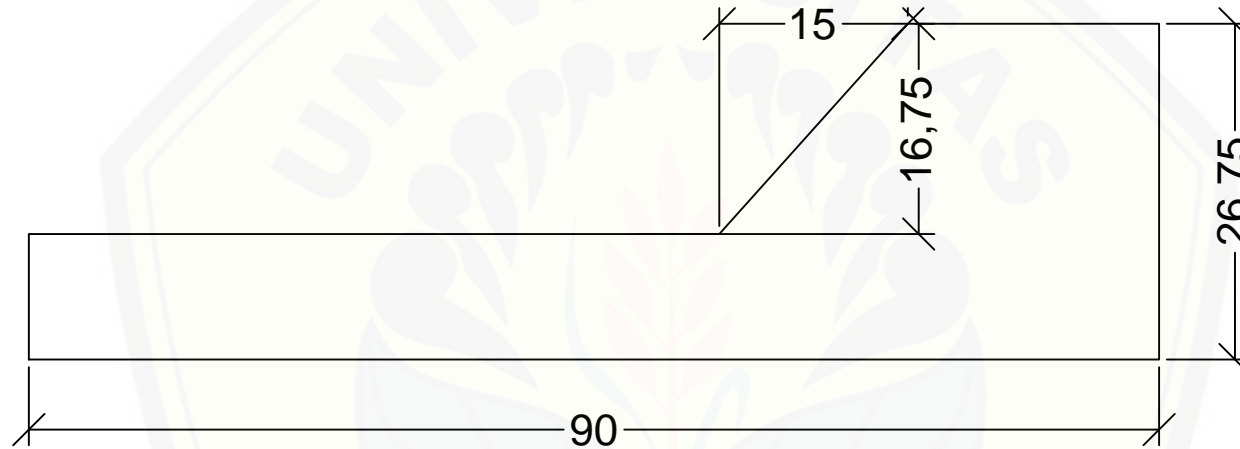
# 6



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241  
web: www.unej.ac.id

DIPERIKSA OLEH :

DPU : Indra Nurtjahjaningtyas, S.T.,M.T.	PARAF :
NIP : 197010241998032001	_____
DPA : Paksitya Purnama Putra, S.T.,M.T.	_____
NIP : 199006062019031022	_____



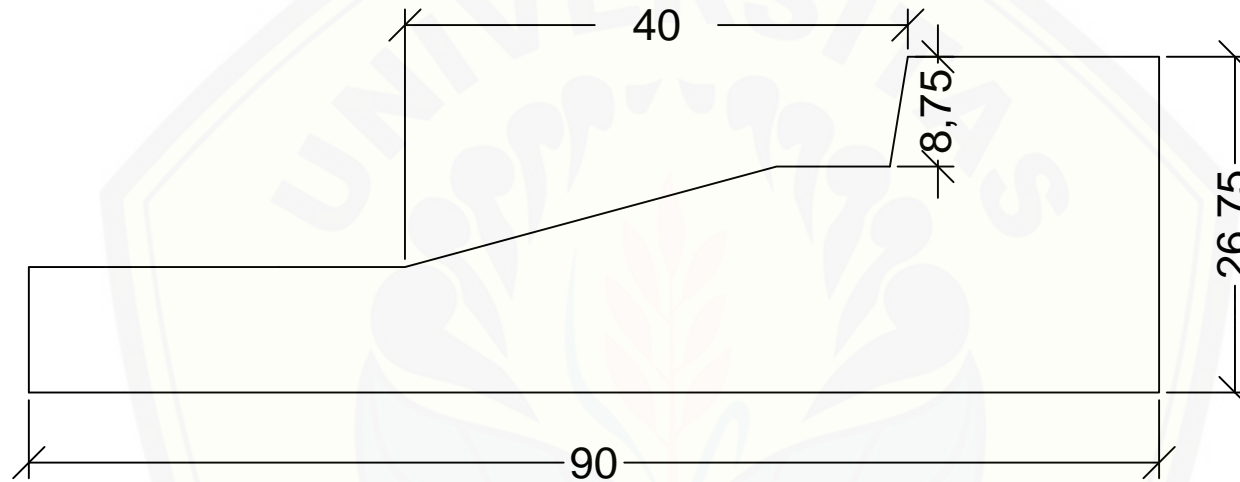
GEOMETRI LERENG SETELAH PENGALIAN  
Skala 1 : 100



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241  
web: www.unej.ac.id

DIPERIKSA OLEH :

DPU : Indra Nurtjahjaningtyas, S.T.,M.T.	PARAF :
NIP : 197010241998032001	_____
DPA : Paksitya Purnama Putra, S.T.,M.T.	_____
NIP : 199006062019031022	_____



GEOMETRI LERENG SETELAH LONGSOR  
Skala 1 : 100



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL  
Jln Kalimantan No. 37, Jember 68121, Telp. / Fax. (0331) 484977, 410241  
web: www.unej.ac.id

DIPERIKSA OLEH :

DPU : Indra Nurtjahjaningtyas, S.T.,M.T.	PARAF :
NIP : 197010241998032001	_____
DPA : Paksitya Purnama Putra, S.T.,M.T.	_____
NIP : 199006062019031022	_____



# LAMPIRAN

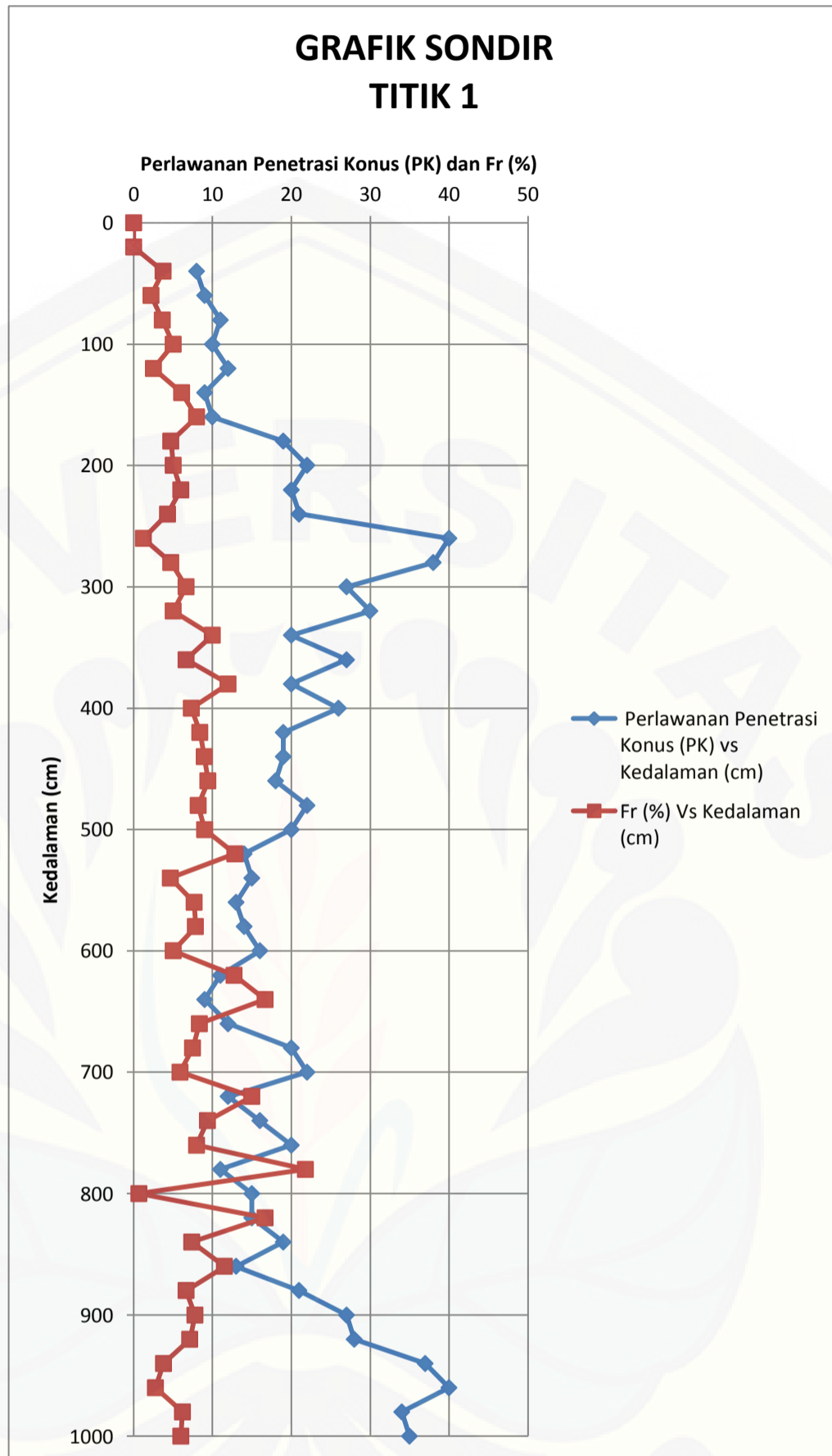
7

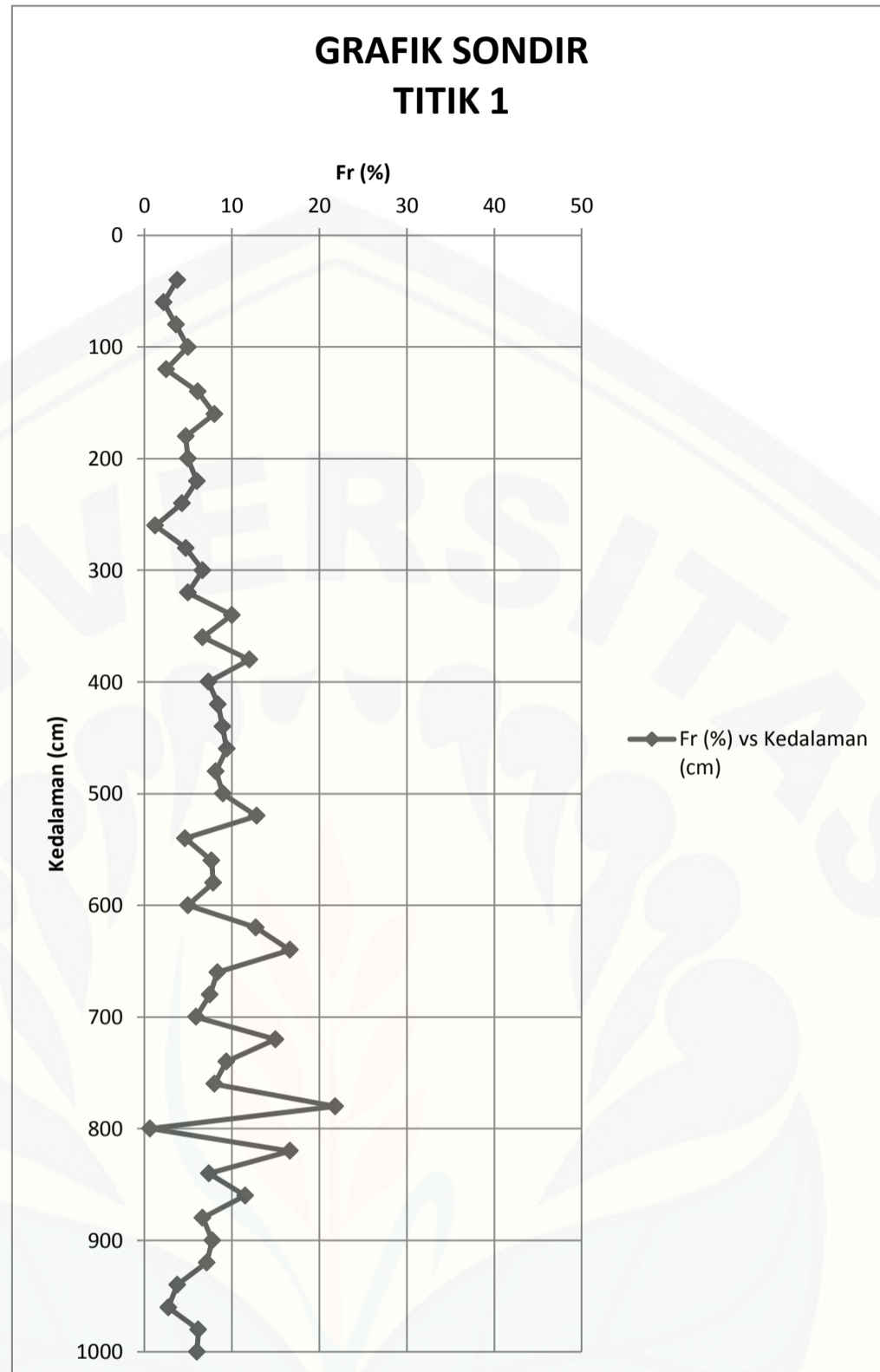


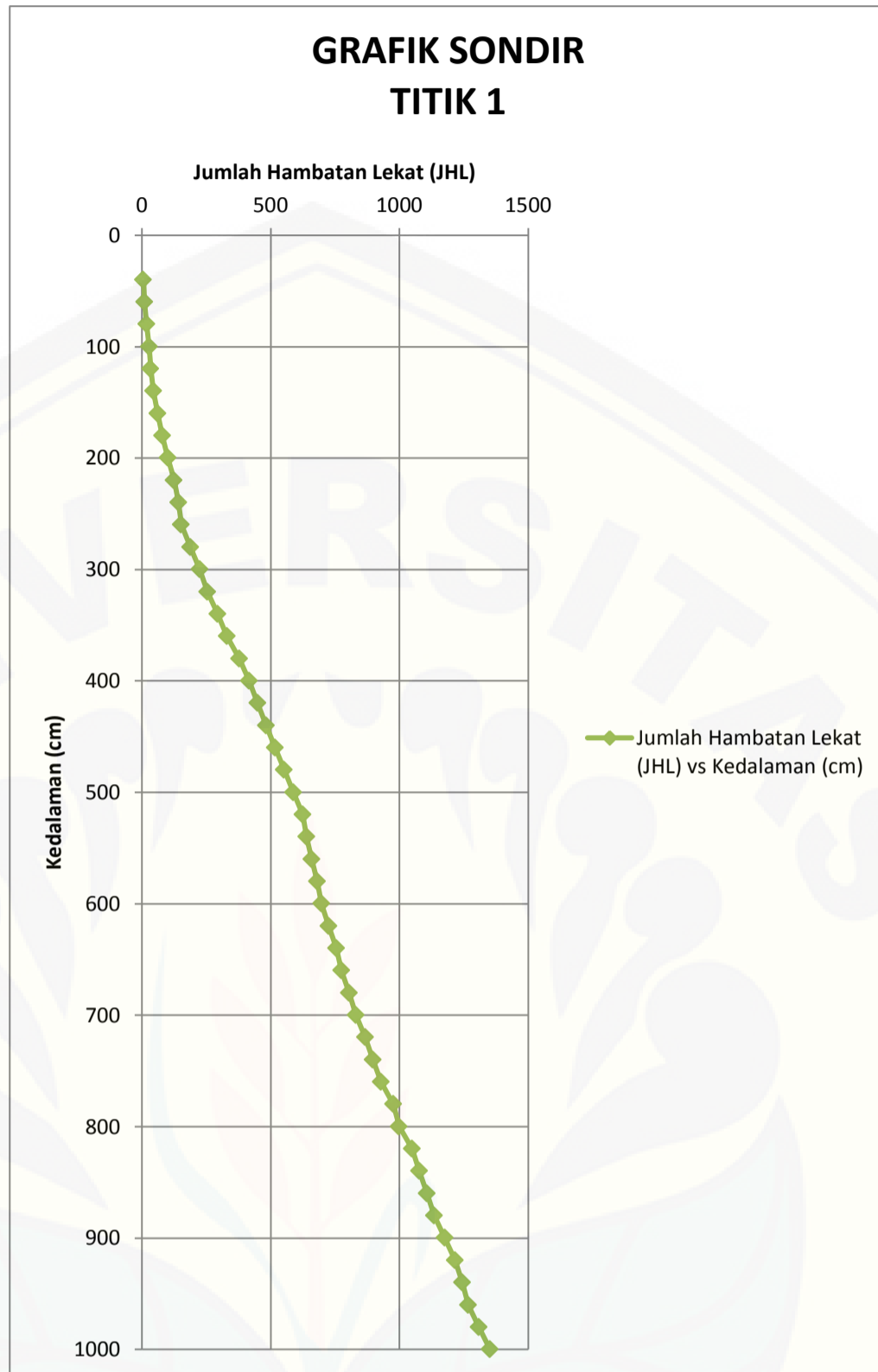
**DATA SONDIR**

Proyek : Pembangunan Tembok Penahan Jalan      Tipe Sondir : Sondir Ringan  
 Desa Dompok  
 Lokasi : Kecamatan Bendungan      Dikerjakan : Lab Dinas PUPR  
 Tanggal : 10/10/2018      No. Sondir : I

Kedalaman M.T (m)	Perlawanan Penetrasi Konus (PK)	Jumlah Perlawanan (JP)	Hambatan Lekat f(HL)	Unit Hambatan Pelekat fs	Nilai fs/ 20 cm f x 20	Jumlah Hambatan Lekat (JHL)	Hambatan rasio Fr = fs/qC
cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2		kg/cm2	%
0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
40	8	11	3	0,3	6	6	3,75
60	9	11	2	0,2	4	10	2,22
80	11	15	4	0,4	8	18	3,64
100	10	15	5	0,5	10	28	5,00
120	12	15	3	0,3	6	34	2,50
140	9	14,5	5,5	0,55	11	45	6,11
160	10	18	8	0,8	16	61	8,00
180	19	28	9	0,9	18	79	4,74
200	22	33	11	1,1	22	101	5,00
220	20	32	12	1,2	24	125	6,00
240	21	30	9	0,9	18	143	4,29
260	40	45	5	0,5	10	153	1,25
280	38	56	18	1,8	36	189	4,74
300	27	45	18	1,8	36	225	6,67
320	30	45	15	1,5	30	255	5,00
340	20	40	20	2	40	295	10,00
360	27	45	18	1,8	36	331	6,67
380	20	44	24	2,4	48	379	12,00
400	26	45	19	1,9	38	417	7,31
420	19	35	16	1,6	32	449	8,42
440	19	36	17	1,7	34	483	8,95
460	18	35	17	1,7	34	517	9,44
480	22	40	18	1,8	36	553	8,18
500	20	38	18	1,8	36	589	9,00
520	14	32	18	1,8	36	625	12,86
540	15	22	7	0,7	14	639	4,67
560	13	23	10	1	20	659	7,69
580	14	25	11	1,1	22	681	7,86
600	16	24	8	0,8	16	697	5,00
620	11	25	14	1,4	28	725	12,73
640	9	24	15	1,5	30	755	16,67
660	12	22	10	1	20	775	8,33
680	20	35	15	1,5	30	805	7,50
700	22	35	13	1,3	26	831	5,91
720	12	30	18	1,8	36	867	15,00
740	16	31	15	1,5	30	897	9,38
760	20	36	16	1,6	32	929	8,00
780	11	35	24	2,4	48	977	21,82
800	15	26	1	0,1	22	999	0,67
820	15	40	25	2,5	50	1049	16,67
840	19	33	14	1,4	28	1077	7,37
860	13	28	15	1,5	30	1107	11,54
880	21	35	14	1,4	28	1135	6,67
900	27	48	21	2,1	42	1177	7,78
920	28	48	20	2	40	1217	7,14
940	37	51	14	1,4	28	1245	3,78
960	40	51	11	1,1	22	1267	2,75
980	34	55	21	2,1	42	1309	6,18
1000	35	56	21	2,1	42	1351	6,00



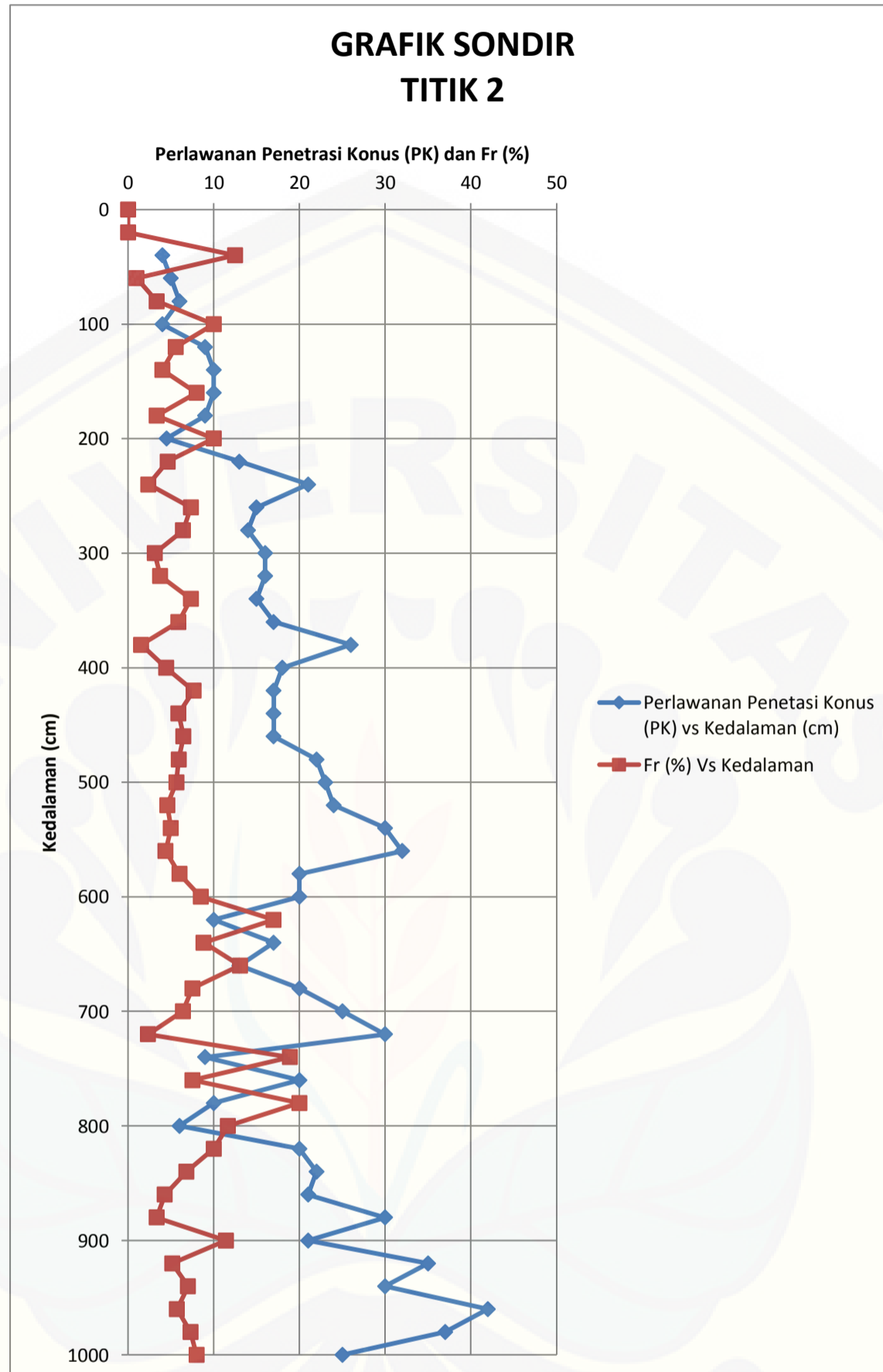


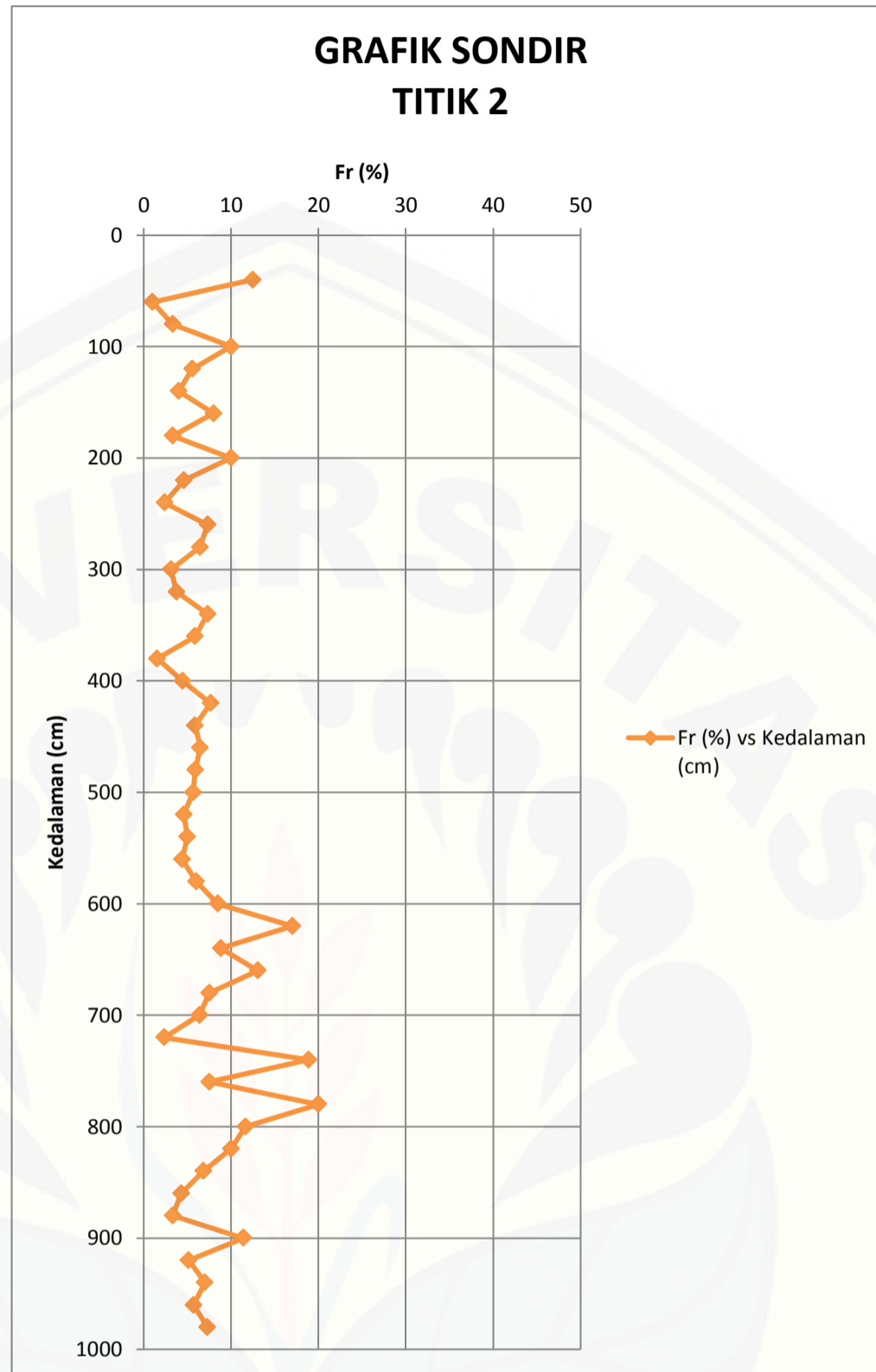


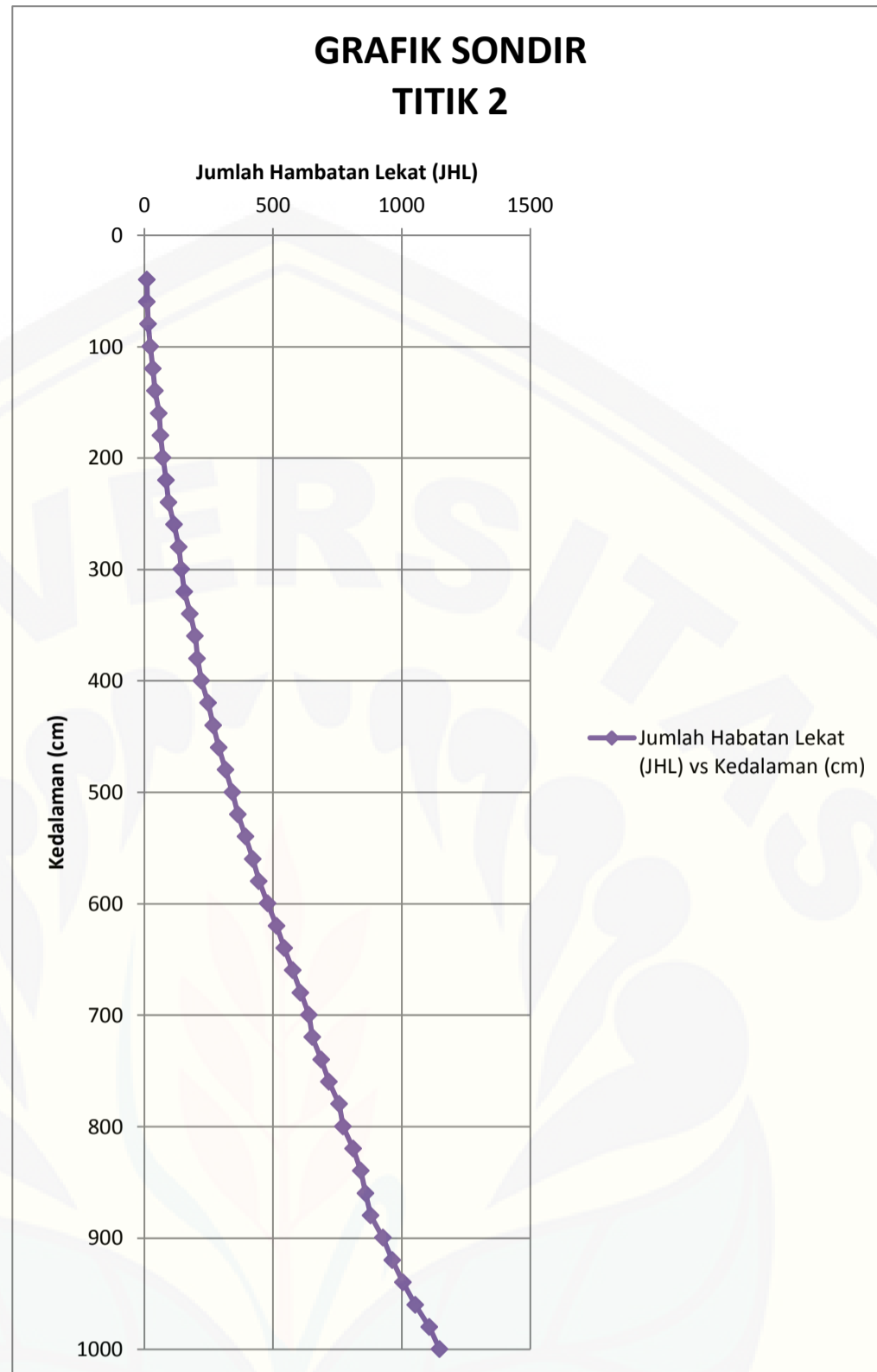
**DATA SONDIR**

Proyek : Pembangunan Tembok Penahan Jalan  
 Desa Dompok  
 Lokasi : Kecamatan Bendungan  
 Tanggal : 10/10/2018  
 Tipe Sondir : Sondir Ringan  
 Dikerjakan : Lab Dinas PUPR  
 No. Sondir : II

Kedalaman M.T (m)	Perlawanan Penetrasi Konus (PK)	Jumlah Perlawanan (JP)	Hambatan Lekat f(HL)	Unit Hambatan Pelekat fs	Nilai fs/ 20 cm f x 20	Jumlah Hambatan Lekat (JHL)	Hambatan rasio Fr = fs/qC
cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2		kg/cm2	%
0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
40	4	9	5	0,5	10	10	12,50
60	5	5,5	0,5	0,05	1	11	1,00
80	6	8	2	0,2	4	15	3,33
100	4	8	4	0,4	8	23	10,00
120	9	14	5	0,5	10	33	5,56
140	10	14	4	0,4	8	41	4,00
160	10	18	8	0,8	16	57	8,00
180	9	12	3	0,3	6	63	3,33
200	4,5	9	4,5	0,45	9	72	10,00
220	13	19	6	0,6	12	84	4,62
240	21	26	5	0,5	10	94	2,38
260	15	26	11	1,1	22	116	7,33
280	14	23	9	0,9	18	134	6,43
300	16	21	5	0,5	10	144	3,13
320	16	2	6	0,6	12	156	3,75
340	15	26	11	1,1	22	178	7,33
360	17	27	10	1	20	198	5,88
380	26	30	4	0,4	8	206	1,54
400	18	26	8	0,8	16	222	4,44
420	17	30	13	1,3	26	248	7,65
440	17	27	10	1	20	268	5,88
460	17	28	11	1,1	22	290	6,47
480	22	35	13	1,3	26	316	5,91
500	23	36	13	1,3	26	342	5,65
520	24	35	11	1,1	22	364	4,58
540	30	45	15	1,5	30	394	5,00
560	32	46	14	1,4	28	422	4,38
580	20	32	12	1,2	24	446	6,00
600	20	37	17	1,7	34	480	8,50
620	10	27	17	1,7	34	514	17,00
640	17	32	15	1,5	30	544	8,82
660	13	30	17	1,7	34	578	13,08
680	20	36	15	1,5	30	608	7,50
700	25	41	16	1,6	32	640	6,40
720	30	37	7	0,7	14	654	2,33
740	9	26	17	1,7	34	688	18,89
760	20	35	15	1,5	30	718	7,50
780	10	30	20	2	40	758	20,00
800	6	13	7	0,7	14	772	11,67
820	20	40	20	2	40	812	10,00
840	22	37	15	1,5	30	842	6,82
860	21	30	9	0,9	18	860	4,29
880	30	40	10	1	20	880	3,33
900	21	45	24	2,4	48	928	11,43
920	35	53	18	1,8	36	964	5,14
940	30	51	21	2,1	42	1006	7,00
960	42	66	24	2,4	48	1054	5,71
980	37	64	27	2,7	54	1108	7,30
1000	25	45	20	2	40	1148	8,00









PERKIRAAN DAYA DUKUNG TANAH

Proyek : Pembangunan Tembok Penahan Jalan  
 Desa Dompjong  
 Lokasi : Kecamatan Bendungan  
 Tanggal : 10/10/2018  
 Tipe Sondir : Sondir Ringan

Df	Titik Sondir I			Df	Titik Sondir II		
	Perlawanan Penetrasi Konus (qc)	Pondasi Langsung $\sigma_t = \frac{qc}{50} \left(1 + \frac{1}{b}\right)^2$	Pondasi Sumuran (Qa) $Qa = \sigma_t \times A$ $A = \pi r^2$		Perlawanan Penetrasi Konus (qc)	Pondasi Langsung $\sigma_t = \frac{qc}{50} \left(1 + \frac{1}{b}\right)^2$	Pondasi Sumuran (Qa) $Qa = \sigma_t \times A$ $A = \pi r^2$
m	kg/cm <sup>2</sup>	b= 1,00 m kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	m	kg/cm <sup>2</sup>	b= 1,00 m kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1,00	10	0,80	0,628	1,00	6	0,32	0,251
2,00	22	1,76	1,382	2,00	9	0,36	0,283
3,00	27	2,16	1,696	3,00	14	1,28	1,005
4,00	26	2,08	1,634	4,00	26	1,44	1,131
5,00	20	1,60	1,257	5,00	22	1,84	1,445
6,00	16	1,28	1,005	6,00	20	1,6	1,257
7,00	22	1,76	1,382	7,00	20	2	1,571
8,00	15	1,20	0,942	8,00	10	0,48	0,377
9,00	27	2,16	1,696	9,00	30	1,68	1,319
10,00	35	2,80	2,199	10,00	37	2	1,571



# LAMPIRAN

## 8

## PENYELIDIKAN TANAH TITIK S-01

Kedalaman M.T (m)	Perlawanan Penetrasi Konus (PK)	Klasifikasi Tanah	Konsistensi	N-SPT	c'	'	
cm	kg/cm <sup>2</sup>				kg/m <sup>2</sup>	deg	kN/m <sup>2</sup>
0	0	Humus, lempung sangat lunak	Very Soft	2	12	17	17
20	0	Humus, lempung sangat lunak	Very Soft	2	12	17	17
40	8	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	6	40	19	18
60	9	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	7	45	19	18
80	11	Lempung atau lempung kelanauan	Stiff	8	55	20	18
100	10	Lempung atau lempung kelanauan	Medium Stiff	8	50	19	18
120	12	Pasir lepas	Stiff	9	60	20	19
140	9	Lempung atau lempung kelanauan	Medium Stiff	7	45	19	18
160	10	Lempung atau lempung kelanauan	Medium Stiff	8	50	19	18
180	19	Lempung agak kenyal	Stiff	14	95	22	19
200	22	Lempung agak kenyal	Very Stiff	17	110	22	20
220	20	Lempung agak kenyal	Very Stiff	15	100	22	20
240	21	Lempung agak kenyal	Very Stiff	16	105	22	20
260	40	Pasir kelanauan, pasir agak padat	Very Stiff	30	200	28	22
280	38	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	29	190	27	22
300	27	Lempung agak kenyal	Very Stiff	20	135	24	20
320	30	Lempung agak kenyal	Very Stiff	23	150	25	21
340	20	Lempung agak kenyal	Stiff	15	100	22	20
360	27	Lempung agak kenyal	Very Stiff	20	135	24	20
380	20	Lempung agak kenyal	Stiff	15	100	22	20
400	26	Lempung agak kenyal	Very Stiff	20	130	24	20
420	19	Lempung agak kenyal	Stiff	14	95	22	19
440	19	Lempung agak kenyal	Stiff	14	95	22	19
460	18	Lempung agak kenyal	Stiff	14	90	21	19

## Digital Repository Universitas Jember

480	22	Lempung agak kenyal	Very Stiff	17	110	22	20
500	20	Lempung agak kenyal	Stiff	15	100	22	20
520	14	Lempung agak kenyal	Stiff	11	70	20	19
540	15	Lempung atau lempung kelanauan	Stiff	11	75	21	19
560	13	Lempung agak kenyal	Stiff	10	65	20	19
580	14	Lempung agak kenyal	Stiff	11	70	20	19
600	16	Lempung agak kenyal	Stiff	12	80	21	19
620	11	Lempung agak kenyal	Stiff	8	55	20	18
640	9	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Stiff	7	45	19	18
660	12	Lempung agak kenyal	Stiff	9	60	20	19
680	20	Lempung agak kenyal	Stiff	15	100	22	20
700	22	Lempung agak kenyal	Very Stiff	17	110	22	20
720	12	Lempung agak kenyal	Stiff	9	60	20	19
740	16	Lempung agak kenyal	Stiff	12	80	21	19
760	20	Lempung agak kenyal	Stiff	15	100	22	20
780	11	Lempung agak kenyal	Stiff	8	55	20	18
800	15	Lempung agak kenyal	Stiff	11	75	21	19
820	15	Lempung agak kenyal	Stiff	11	75	21	19
840	19	Lempung agak kenyal	Stiff	14	95	22	19
860	13	Lempung agak kenyal	Stiff	10	65	20	19
880	21	Lempung agak kenyal	Very Stiff	16	105	22	20
900	27	Lempung agak kenyal	Very Stiff	20	135	24	20
920	28	Lempung agak kenyal	Very Stiff	21	140	24	21
940	37	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	28	185	27	22
960	40	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	30	200	28	22
980	34	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	26	170	26	21
1000	35	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	26	175	26	21

## PENYELIDIKAN TANAH TITIK S-02

Kedalaman M.T (m)	Perlawanan Penetrasi Konus (PK)	Klasifikasi Tanah	Konsistensi	N-SPT	c'	'	
cm	kg/cm <sup>2</sup>				kN/m <sup>2</sup>	deg	kN/m <sup>2</sup>
0	0	Humus, lempung sangat lunak	Very Soft	2	12	17	17
20	0	Humus, lempung sangat lunak	Very Soft	2	12	17	17
40	4	Humus, lempung sangat lunak	Soft	3	20	18	18
60	5	Humus, lempung sangat lunak	Soft	4	25	18	18
80	6	Humus, lempung sangat lunak	Medium Stiff	5	30	18	18
100	4	Humus, lempung sangat lunak	Medium Stiff	3	20	18	18
120	9	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	7	45	19	18
140	10	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	8	50	19	18
160	10	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	8	50	19	18
180	9	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	7	45	19	18
200	4,5	Humus, lempung sangat lunak	Soft	4	23	18	18
220	13	Lempung atau lempung kelanauan	Stiff	10	65	20	19
240	21	Lempung atau lempung kelanauan	Very Stiff	16	105	22	20
260	15	Lempung agak kenyal	Stiff	11	75	21	19
280	14	Lempung agak kenyal	Stiff	11	70	20	19
300	16	Lempung atau lempung kelanauan	Stiff	12	80	21	19
320	16	Lempung atau lempung kelanauan	Stiff	12	80	21	19
340	15	Lempung agak kenyal	Stiff	11	75	21	19
360	17	Lempung agak kenyal	Stiff	13	85	21	19
380	26	Lempung atau lempung kelanauan	Very Stiff	20	130	24	20
400	18	Lempung atau lempung kelanauan	Stiff	14	90	21	19
420	17	Lempung agak kenyal	Stiff	13	85	21	19
440	17	Lempung agak kenyal	Stiff	13	85	21	19
460	17	Lempung agak kenyal	Stiff	13	85	21	19

## Digital Repository Universitas Jember

480	22	Lempung agak kenyal	Very Stiff	17	110	22	20
500	23	Lempung agak kenyal	Very Stiff	17	115	23	20
520	24	Lempung agak kenyal	Very Stiff	18	120	23	20
540	30	Lempung agak kenyal	Very Stiff	23	150	25	21
560	32	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	24	160	25	21
580	20	Lempung agak kenyal	Stiff	15	100	22	20
600	20	Lempung agak kenyal	Stiff	15	100	22	20
620	10	Lempung agak kenyal	Stiff	8	50	19	18
640	17	Lempung agak kenyal	Stiff	13	85	21	19
660	13	Lempung agak kenyal	Stiff	10	65	20	19
680	20	Lempung agak kenyal	Very Stiff	15	100	22	20
700	25	Lempung agak kenyal	Very Stiff	19	125	23	20
720	30	Pasir kelanauan, pasir agak padat	Very Stiff	23	150	25	21
740	9	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	7	45	19	18
760	20	Lempung agak kenyal	Very Stiff	15	100	22	20
780	10	Lempung agak kenyal	Medium Stiff	8	50	19	18
800	6	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek	Medium Stiff	5	30	18	18
820	20	Lempung agak kenyal	Medium Stiff	15	100	22	20
840	22	Lempung agak kenyal	Very Stiff	17	110	22	20
860	21	Lempung agak kenyal	Very Stiff	16	105	22	20
880	30	Lempung agak kenyal	Very Stiff	23	150	25	21
900	21	Lempung agak kenyal	Very Stiff	16	105	22	20
920	35	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	26	175	26	21
940	30	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	23	150	25	21
960	42	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Hard	31	210	28	22
980	37	Lempung atau lempung kelanauan kenyal	Very Stiff	28	185	27	22
1000	25	Lempung agak kenyal	Very Stiff	19	125	23	20



# LAMPIRAN

9



Sumber : Data Primer Digitasi Global Mapper

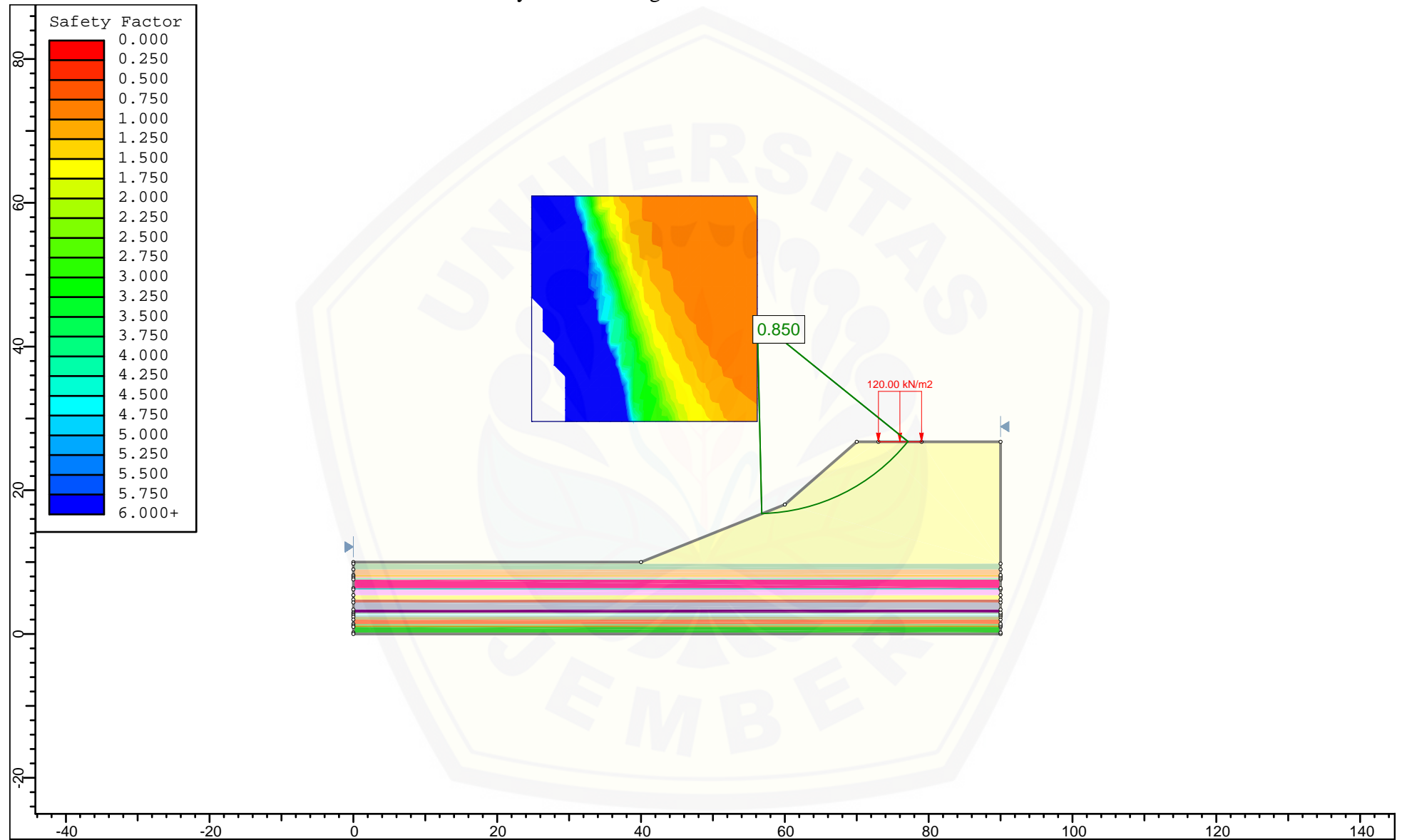




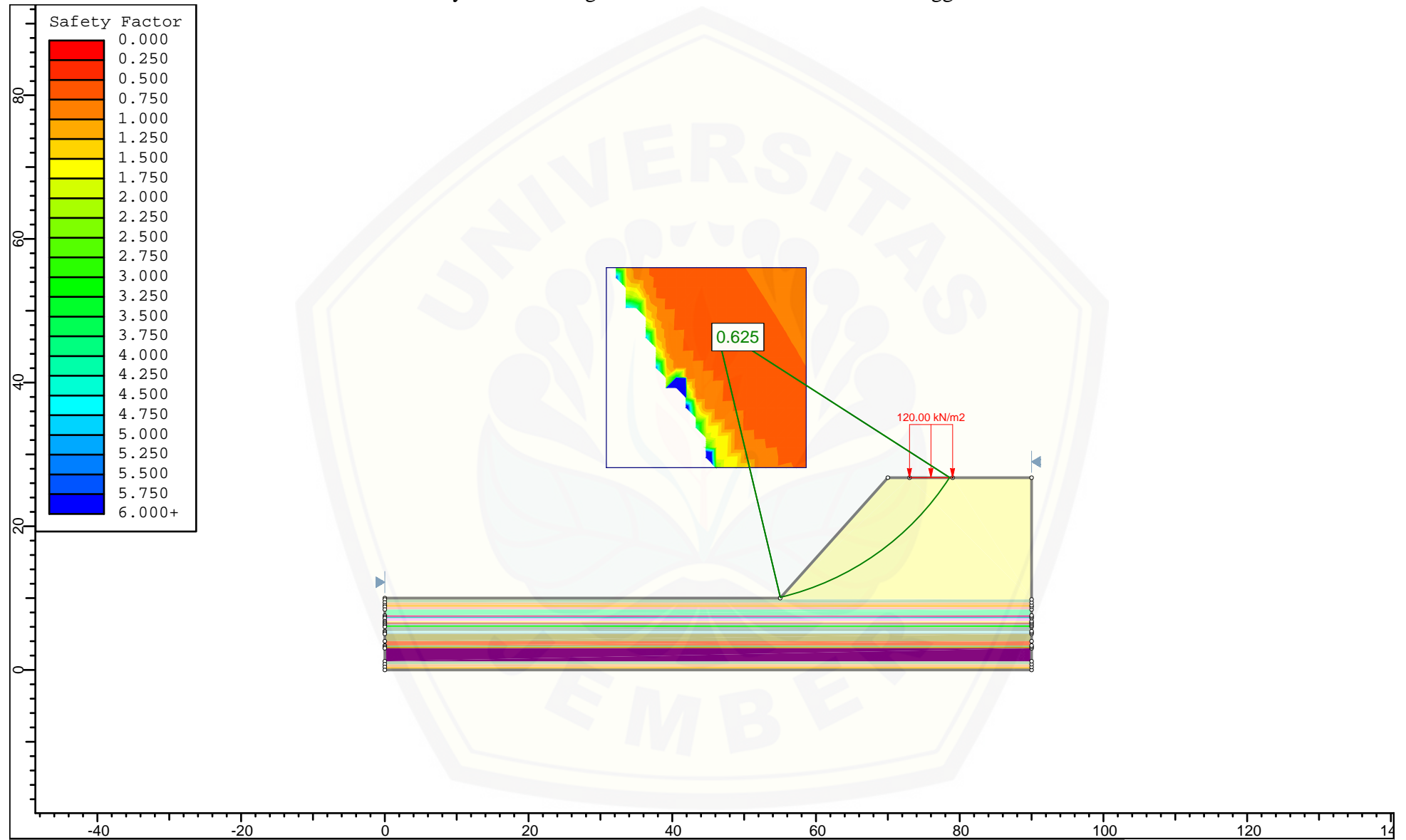
# LAMPIRAN

# 10

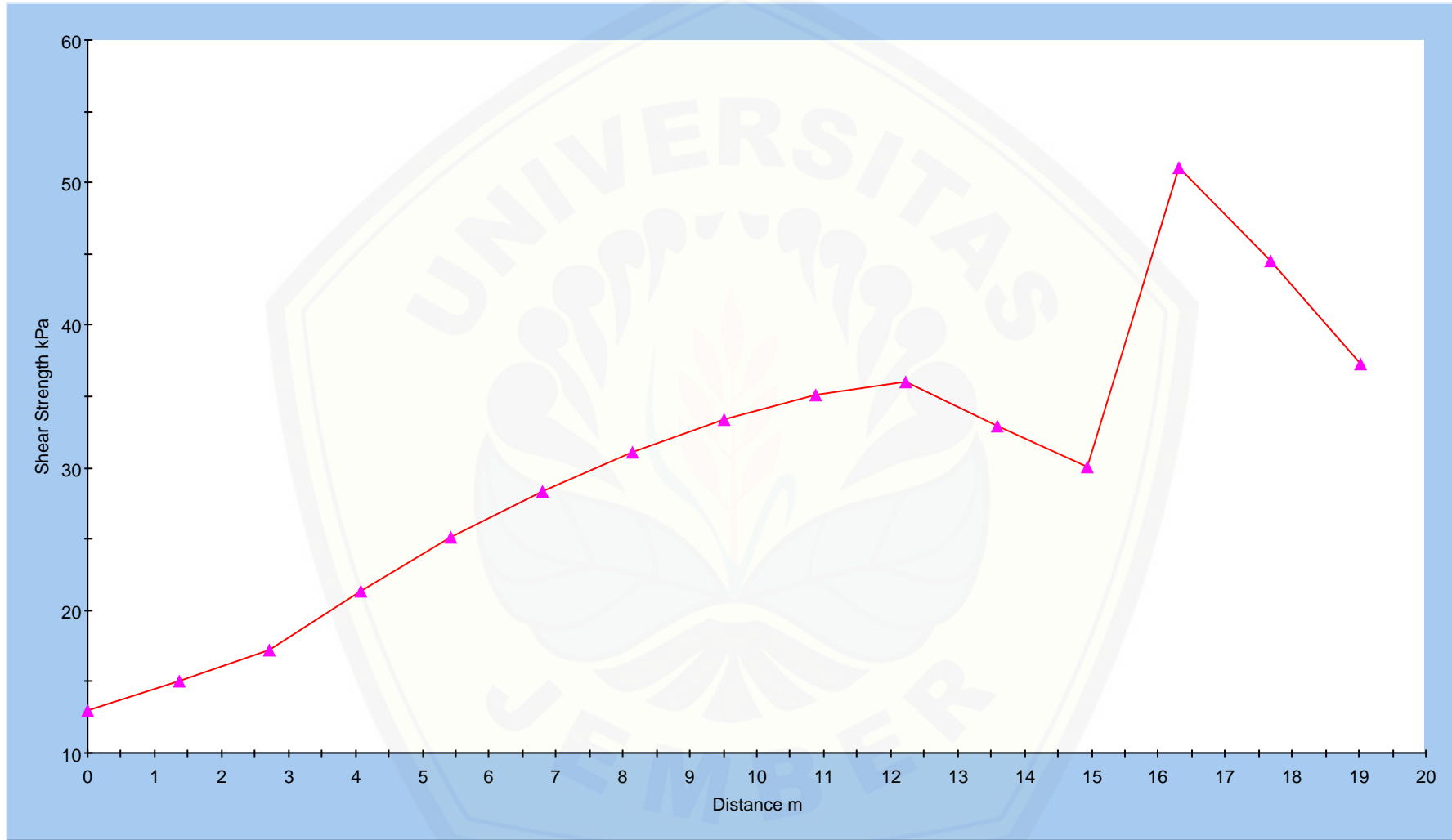
Safety Factor Lereng Titik Sondir 01 Kondisi Awal



Safety Factor Lereng Titik Sondir 01 Kondisi Setelah Penggalian

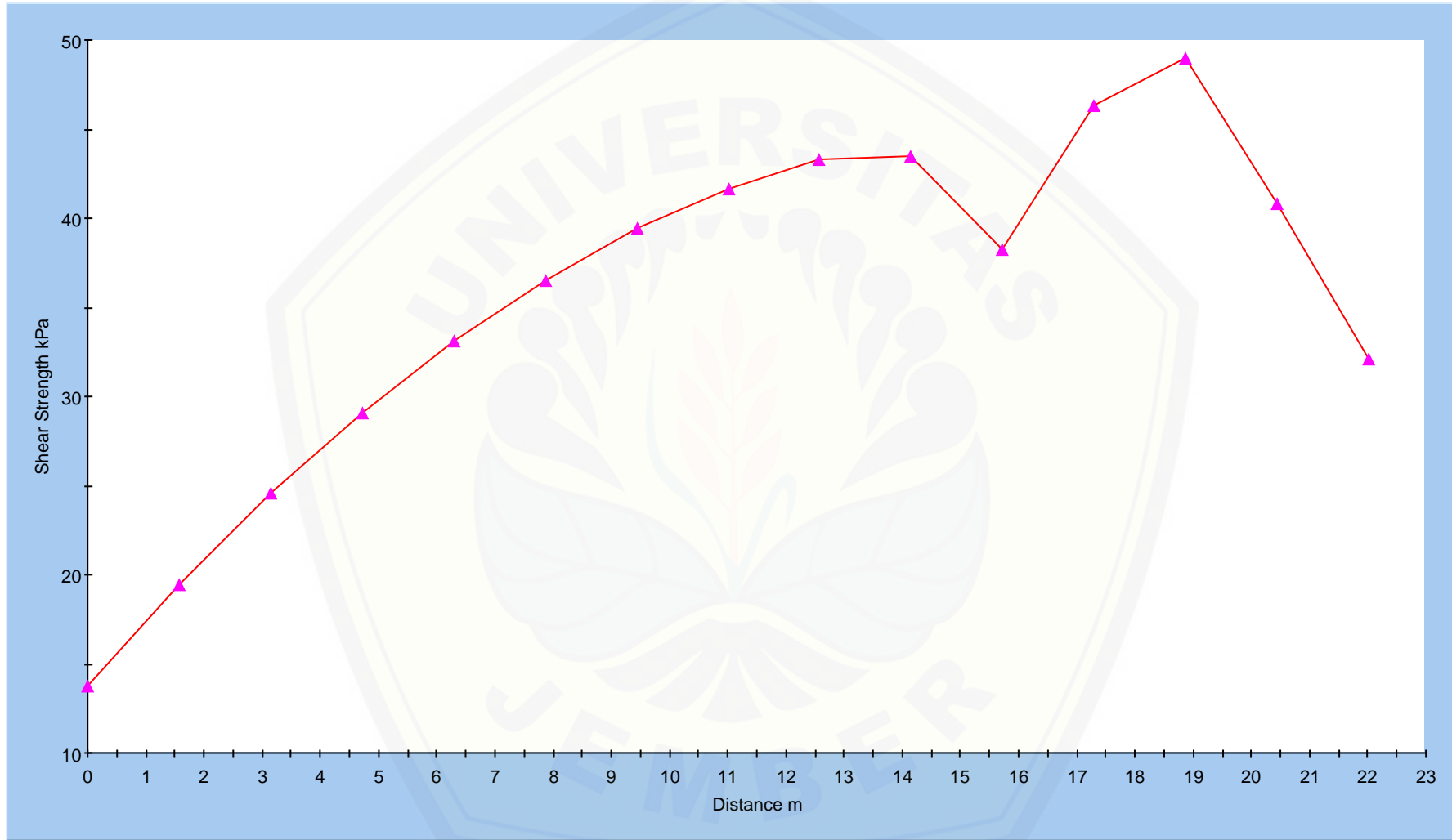


Grafik Shear Strength Sondir S-01 Kondisi Awal



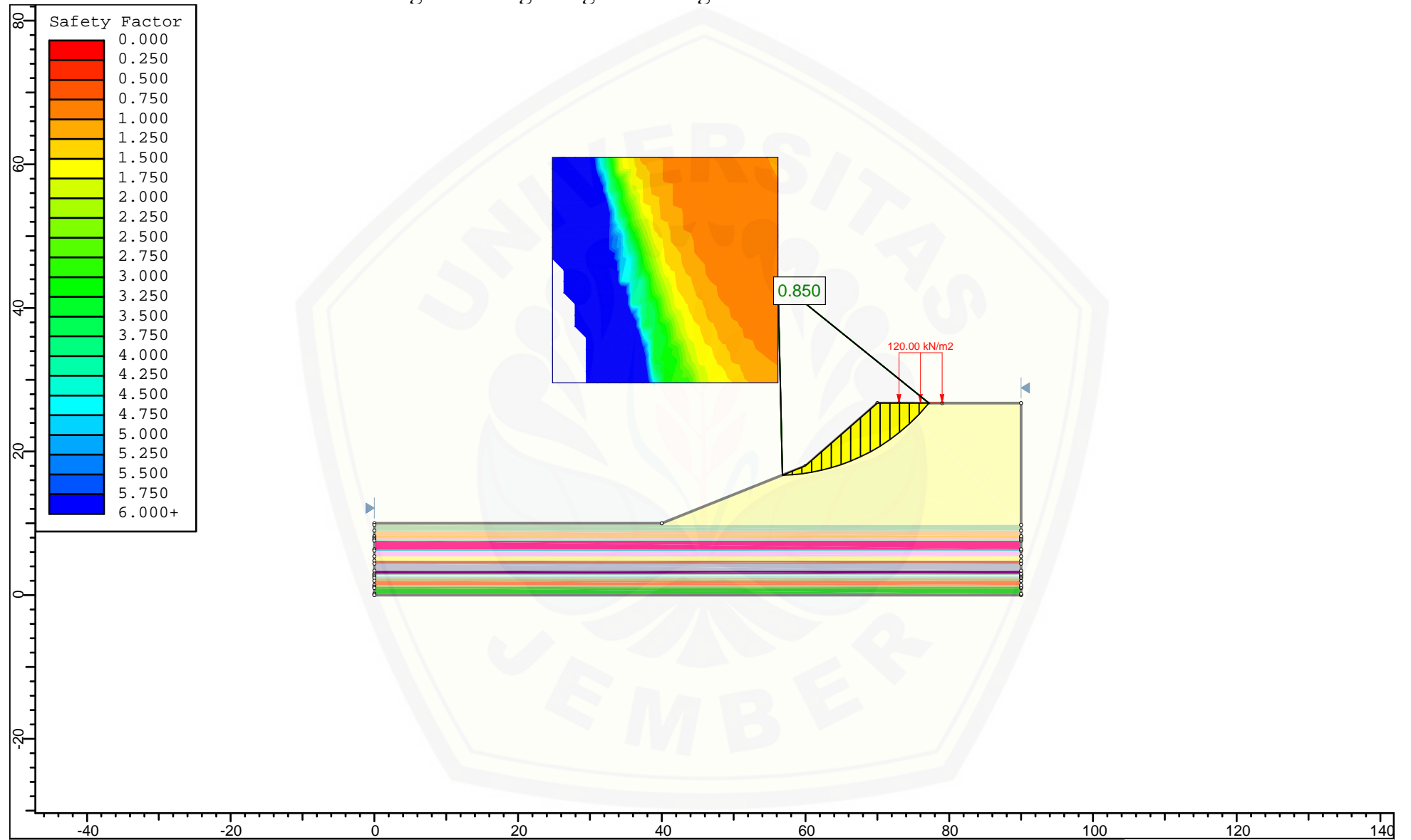
bishop simplified method  
—▲— Radius (26.990) Center (56.158, 43.696) FS = 0.850

Grafik Shear Strength Sondir S-01 Kondisi Setelah Digali

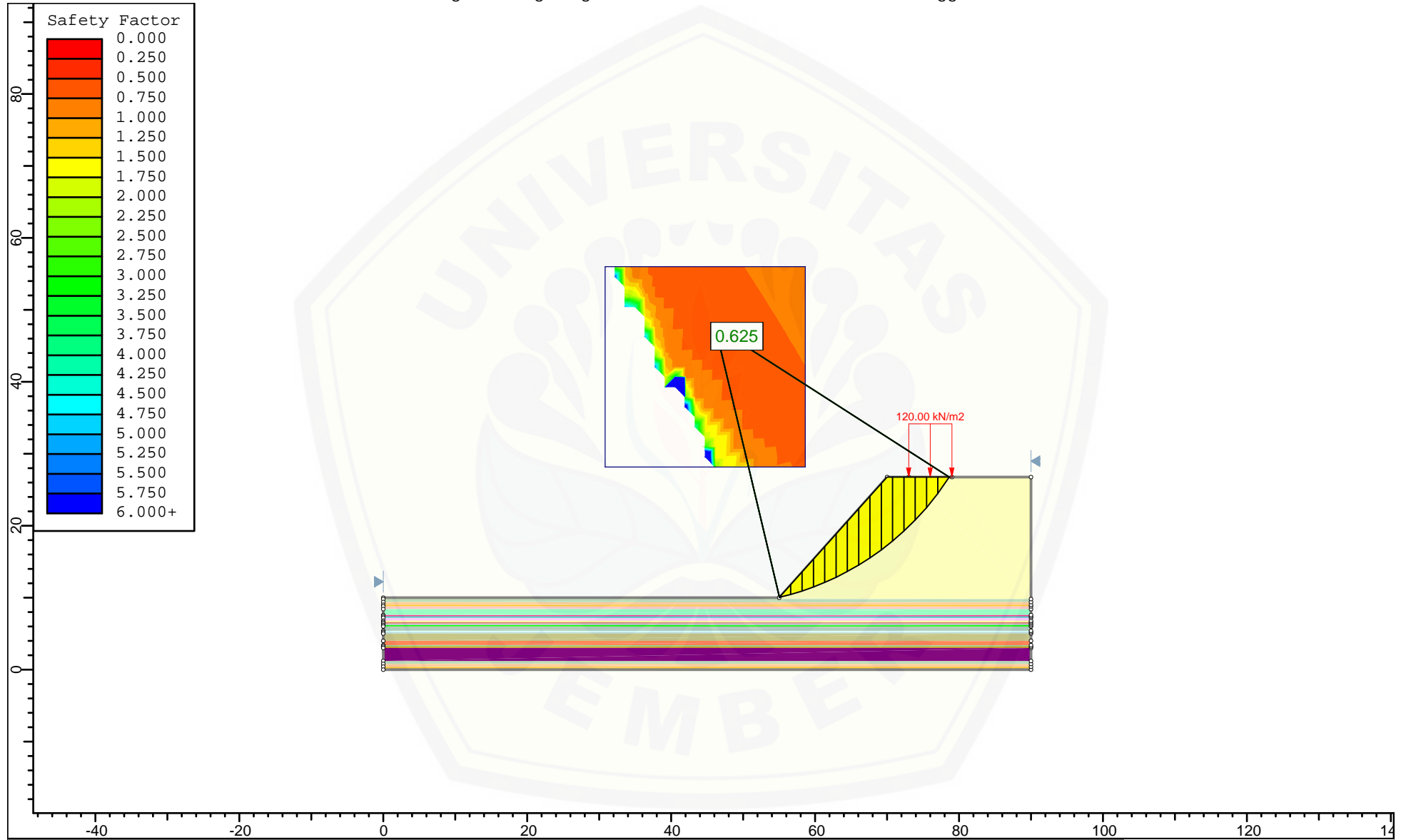


bishop simplified method  
Radius (38.653) Center (46.119, 47.656) FS = 0.625

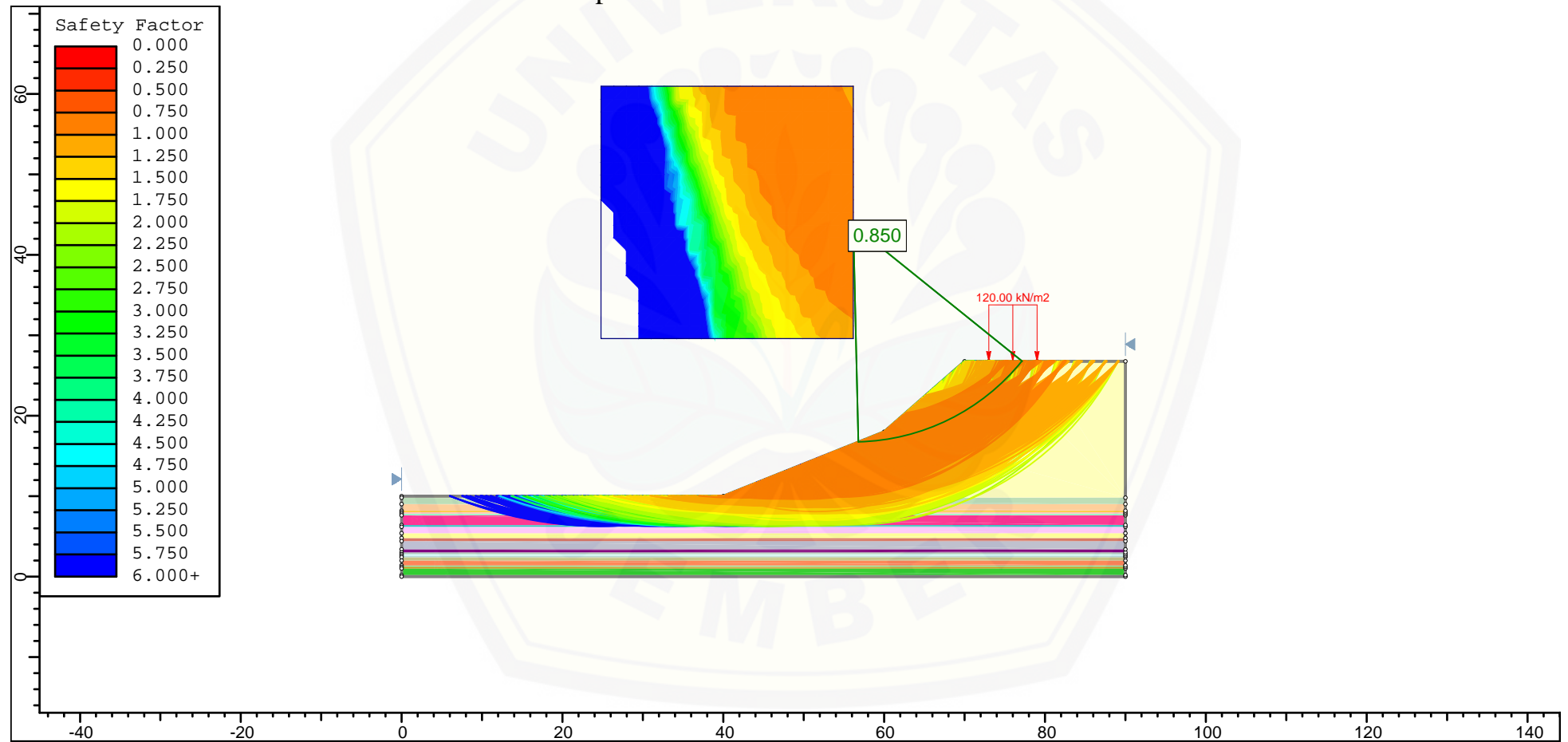
Potongan Bidang Longsor Lereng Titik Sondir S-01 Kondisi Awal



Potongan Bidang Longsor Titik Sondir S-01 Kondisi Setelah Penggalian

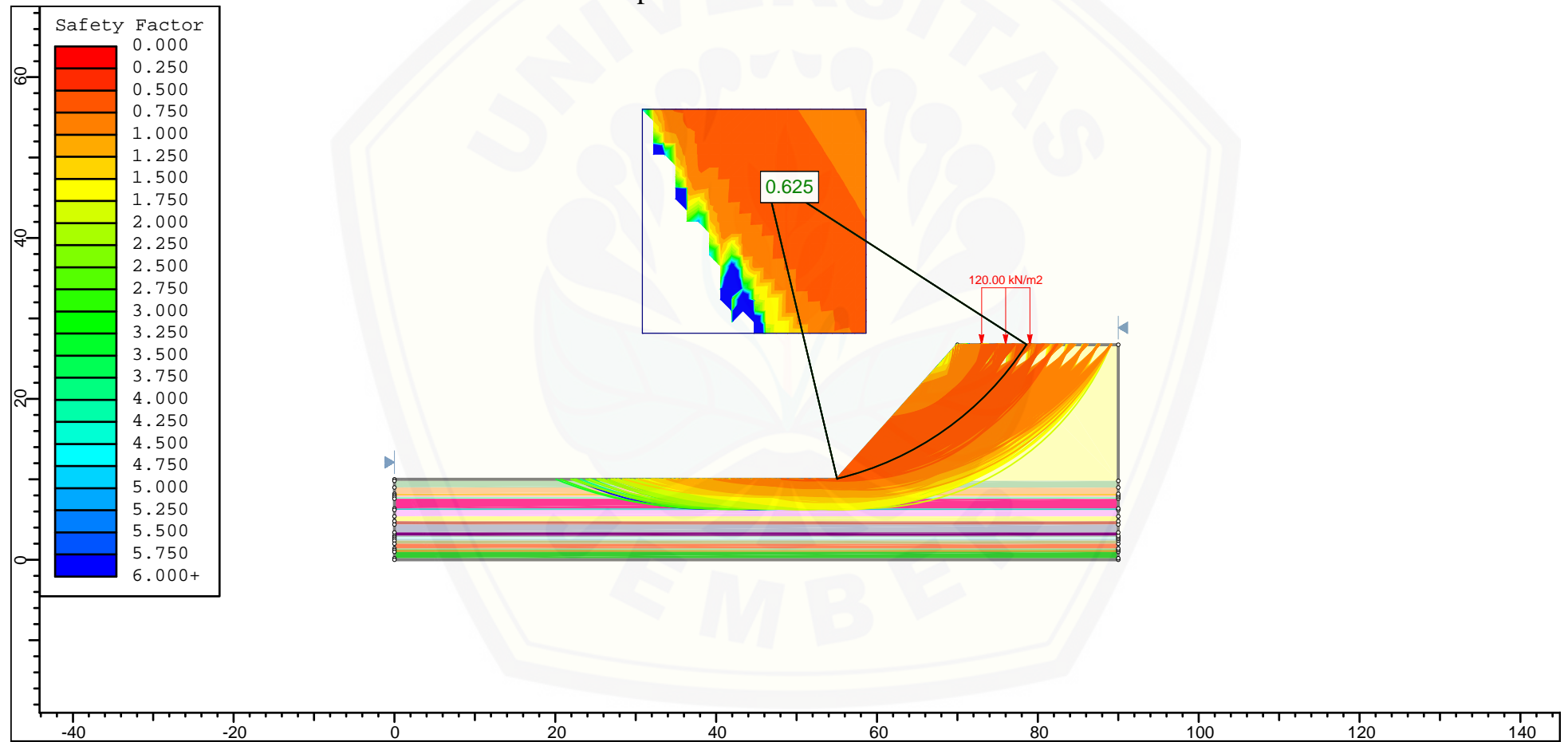


Slip Surface Titik S-01 Kondisi Awal

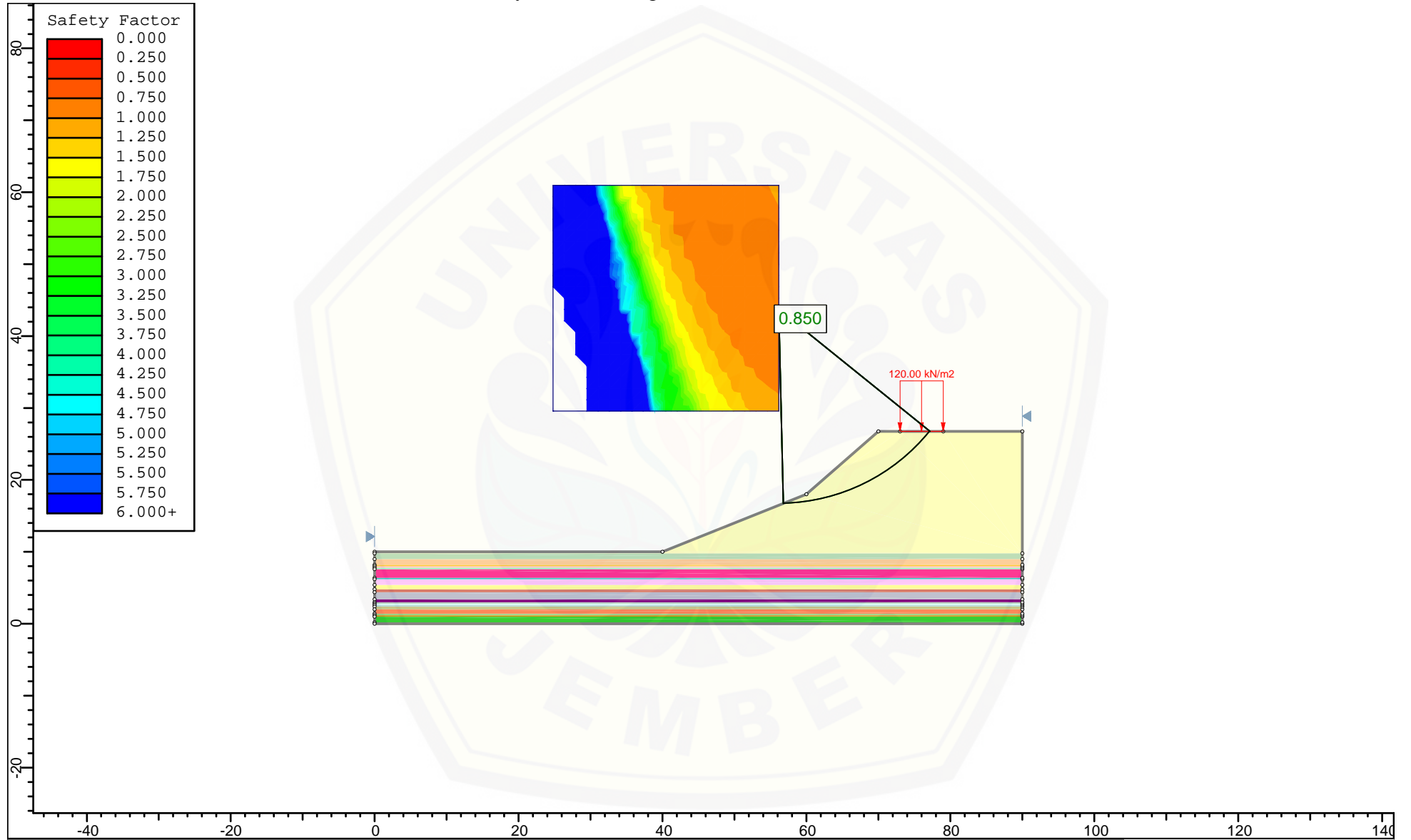




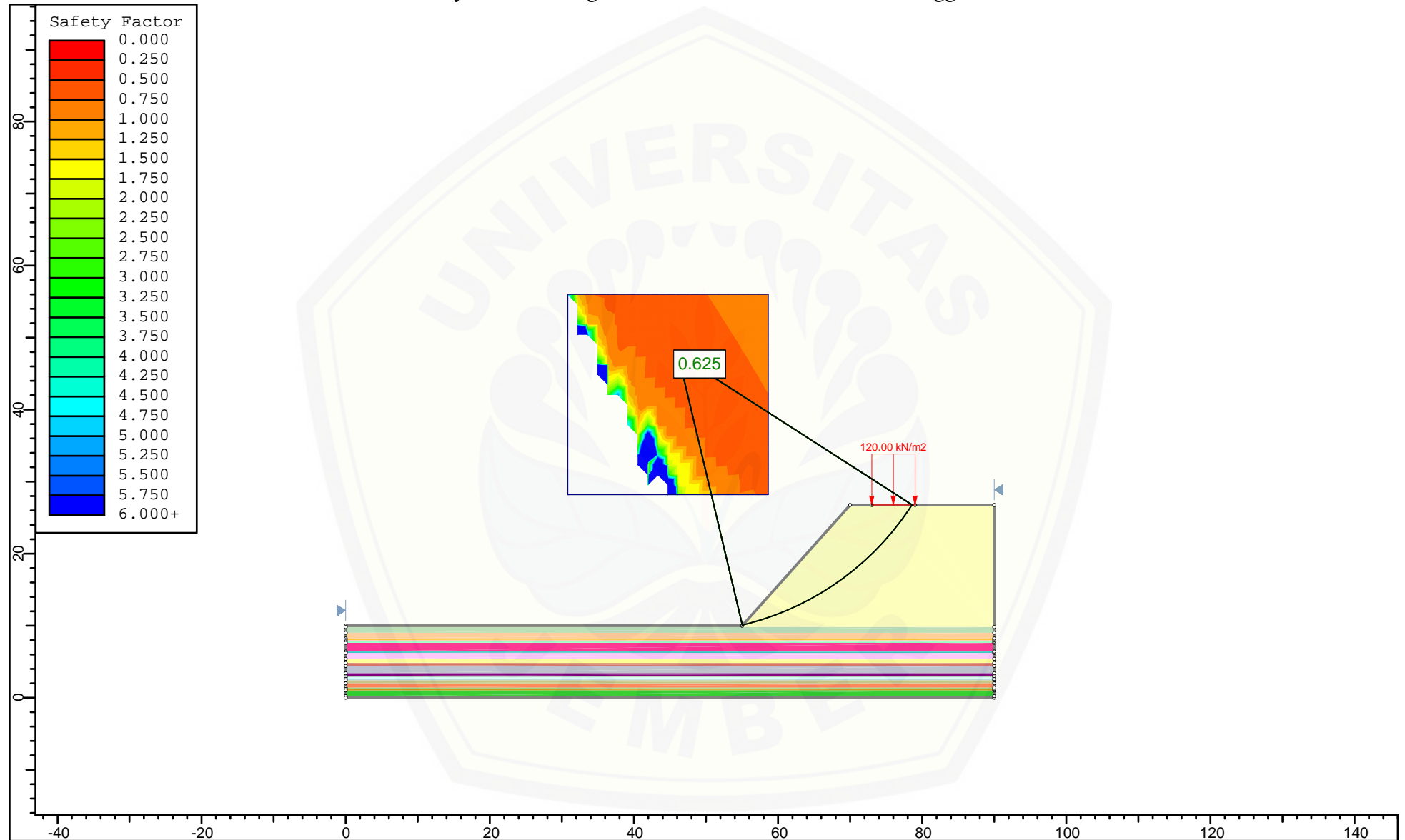
Slip Surface Titik Sondir S-02



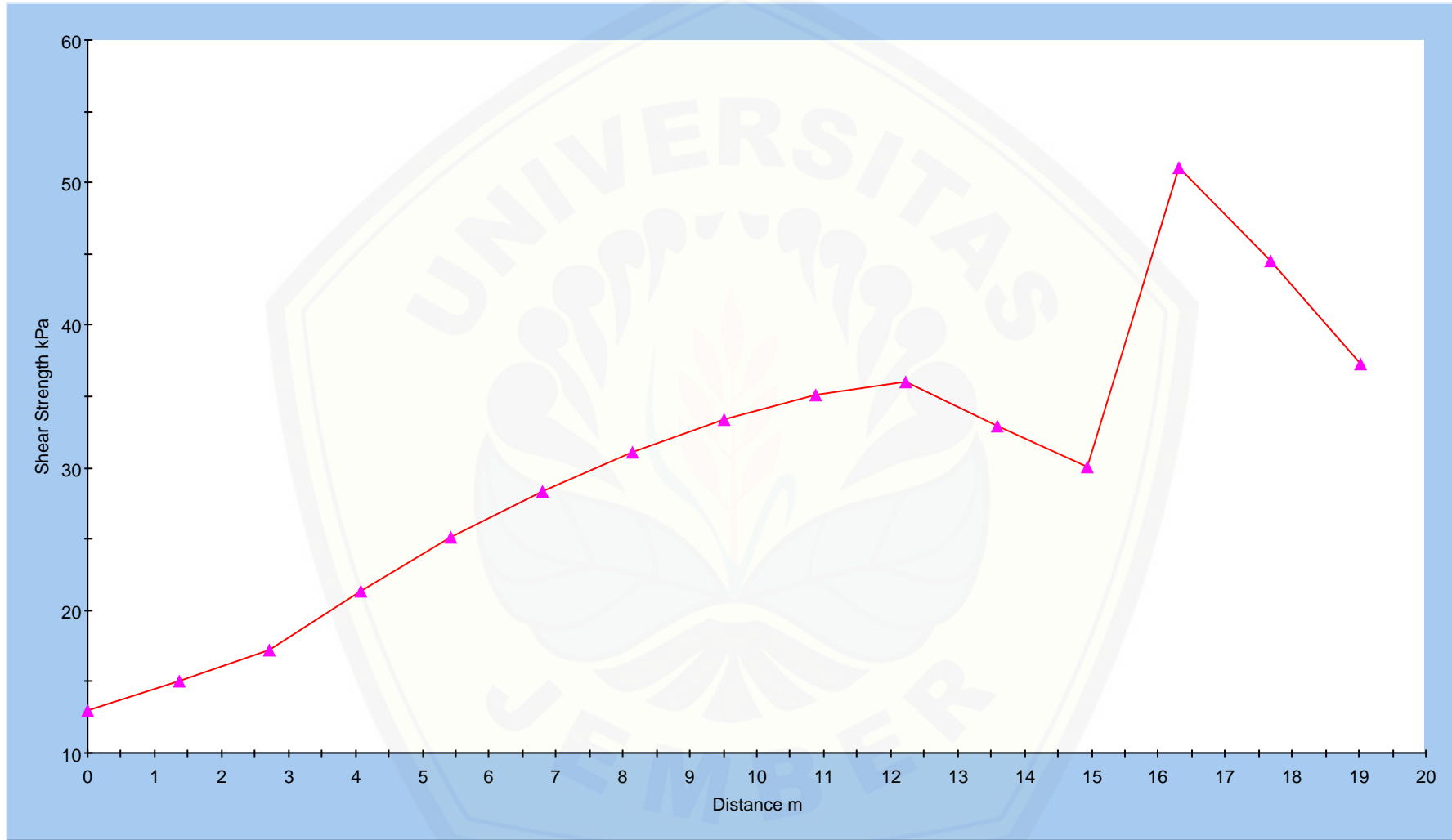
Safety Factor Lereng Titik Sondir 02 Kondisi Awal



Safety Factor Lereng Titik Sondir 02 Kondisi Setelah Penggalian

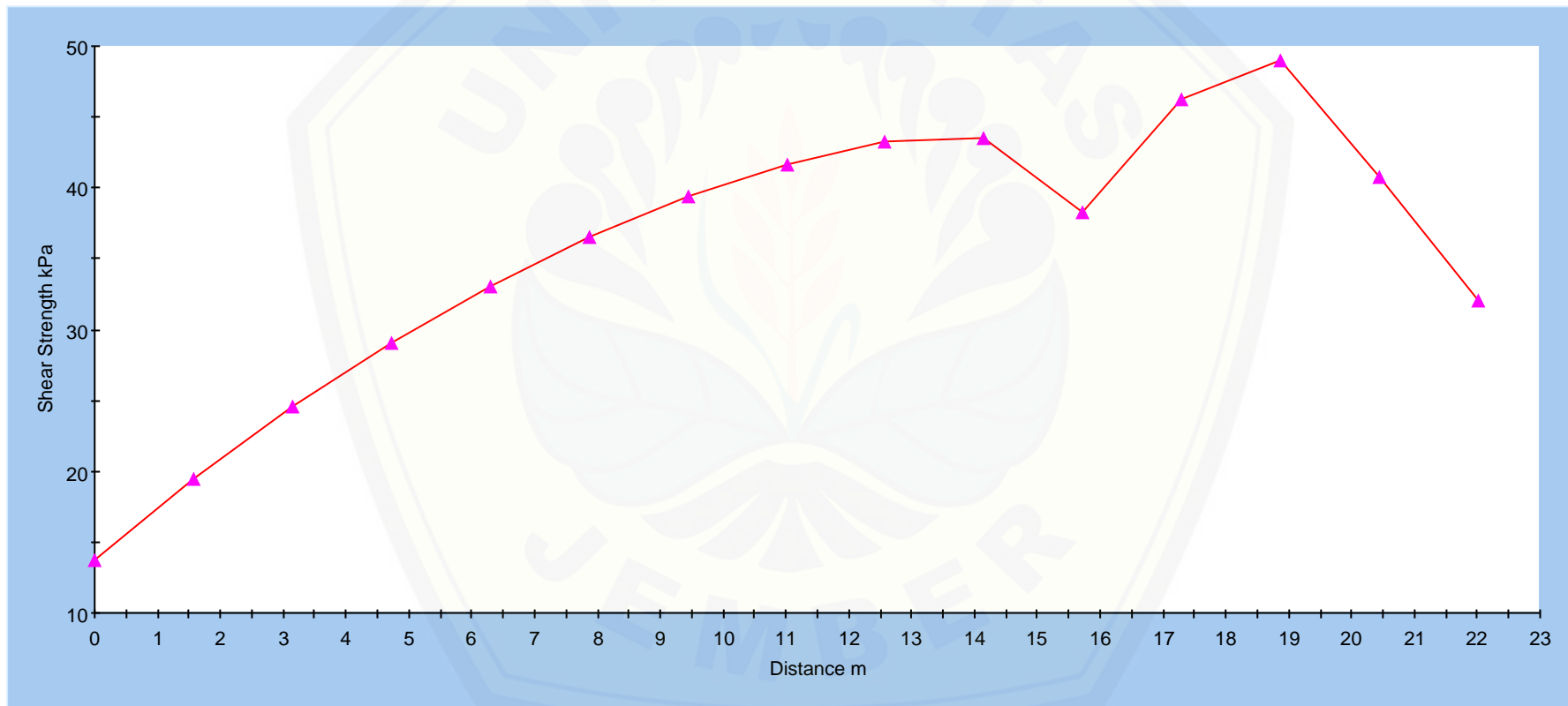


Grafik Shear Strength Sondir S-02 Kondisi Awal



bishop simplified method  
—▲— Radius (26.990) Center (56.158, 43.696) FS = 0.850

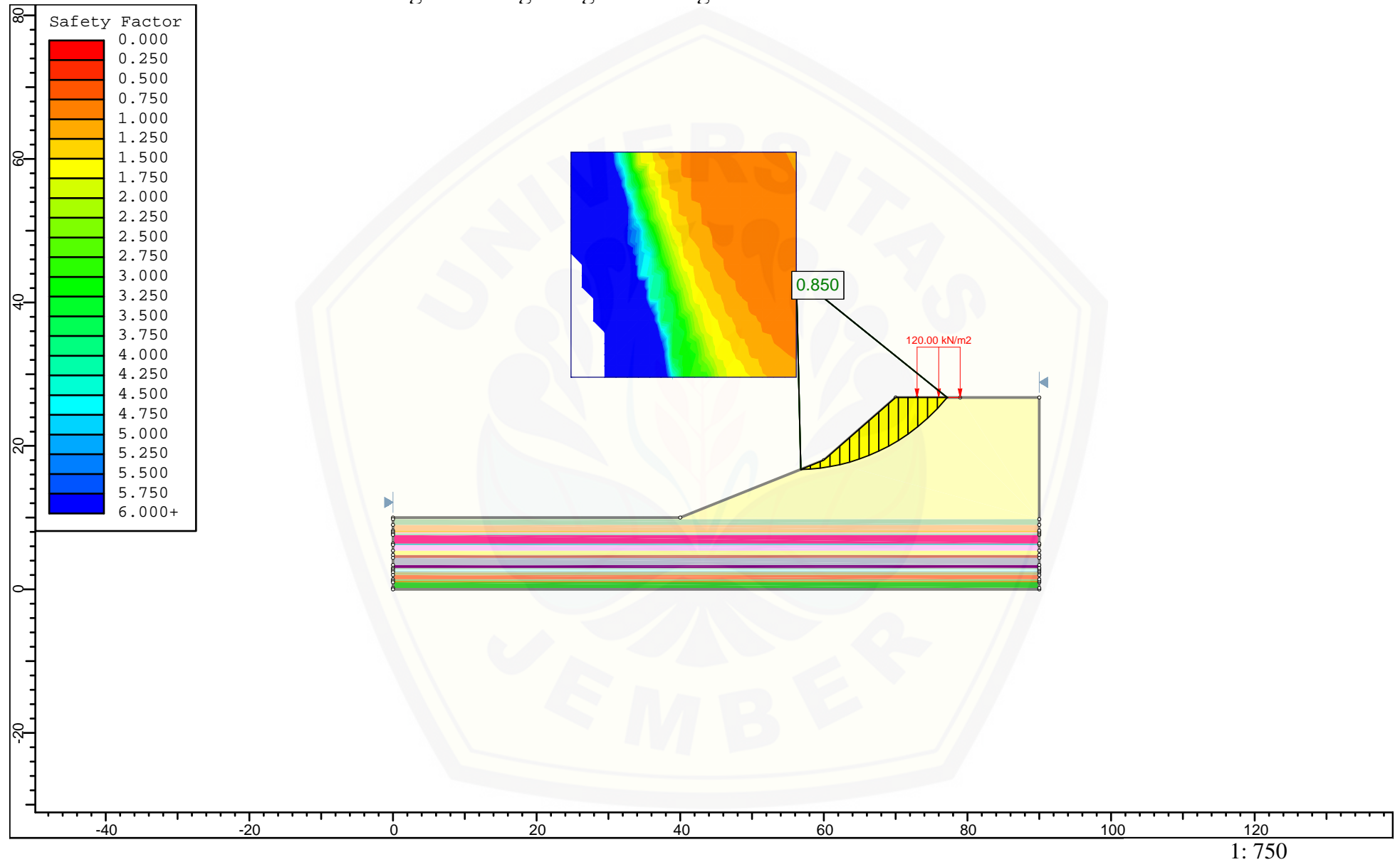
## Grafik Shear Strength Titik Sondir S-02



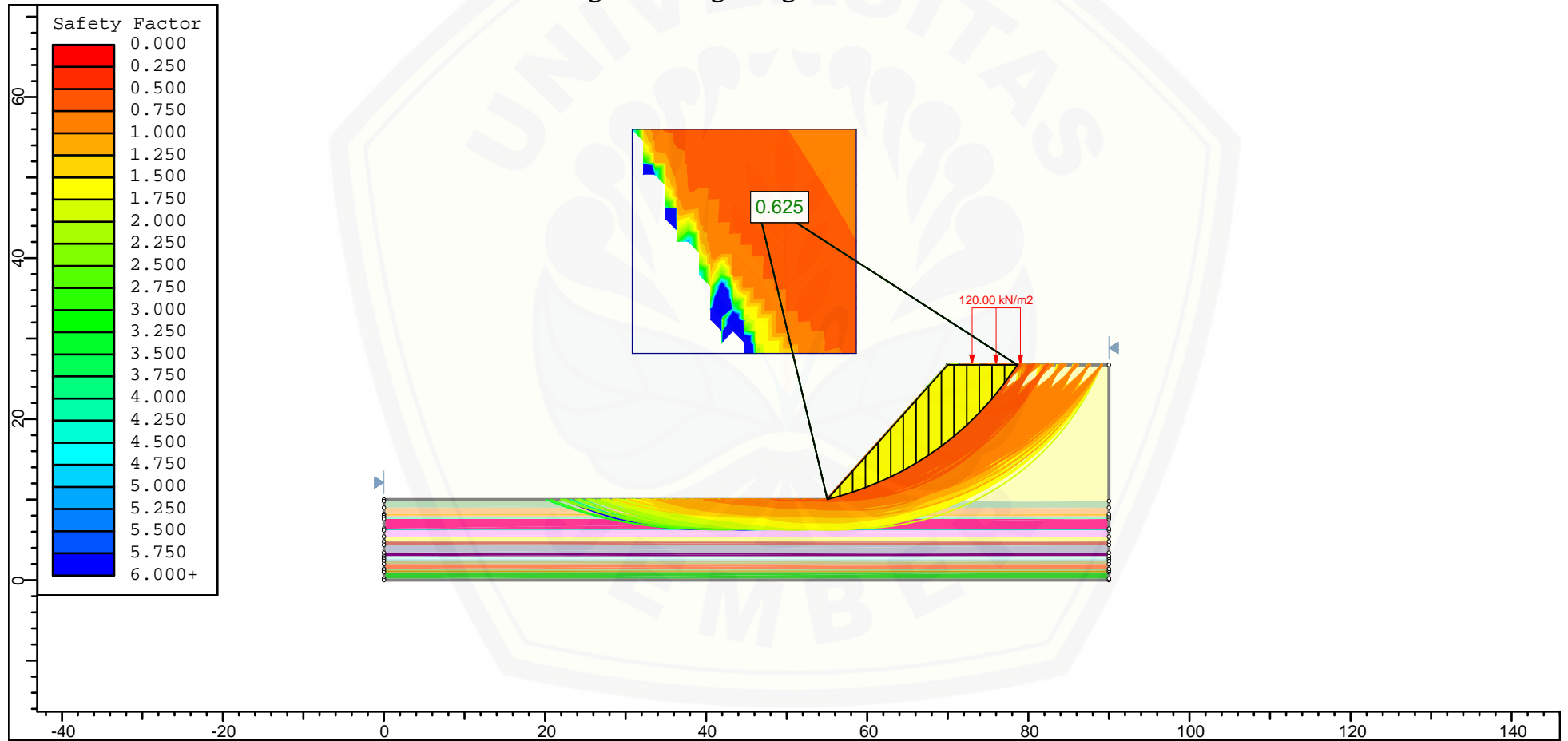
bishop simplified method

—▲— Radius (38.653) Center (46.119, 47.656) FS = 0.625

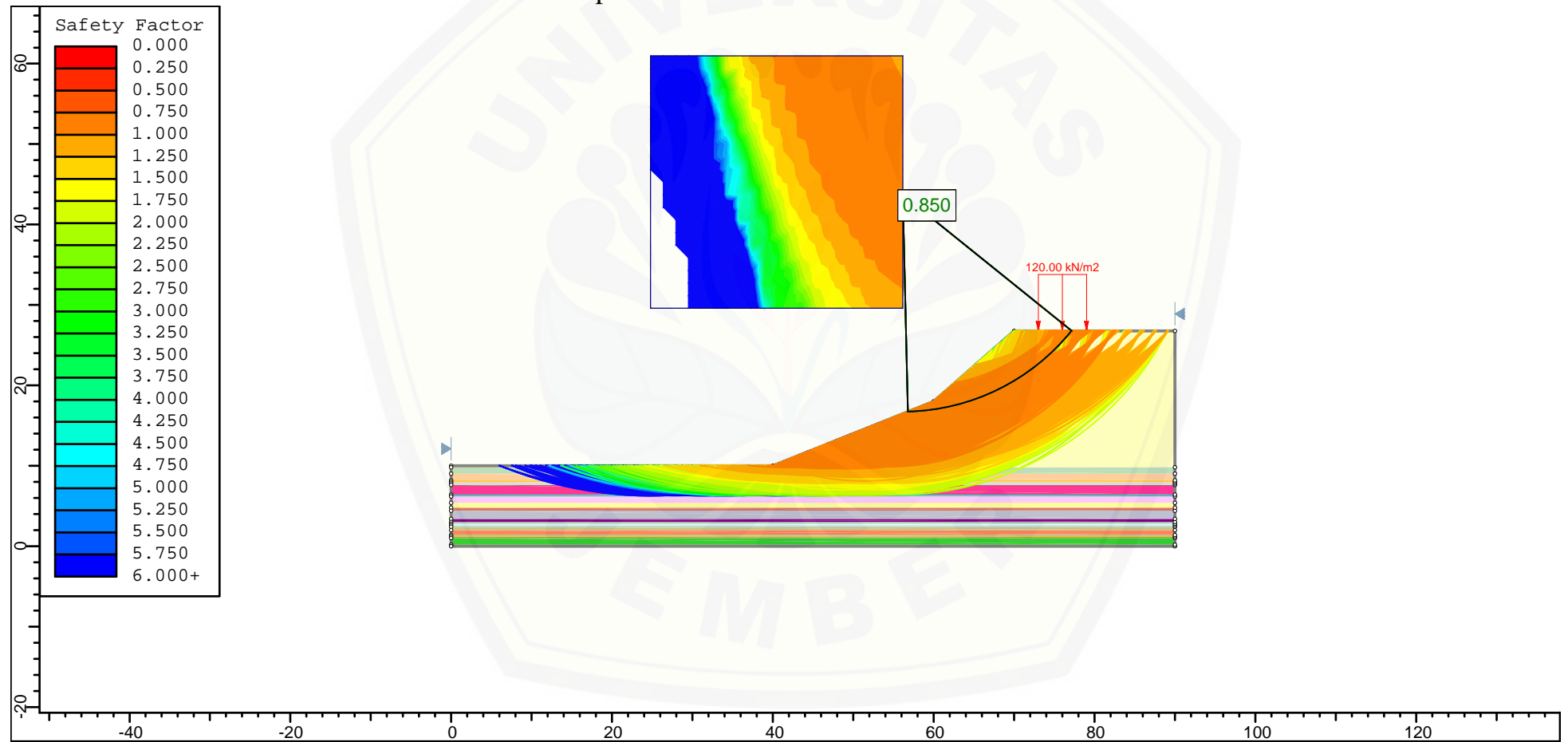
Potongan Bidang Longsor Lereng Titik Sondir S-02 Kondisi Awal



Potongan Bidang Longsor Titik Sondir S-02

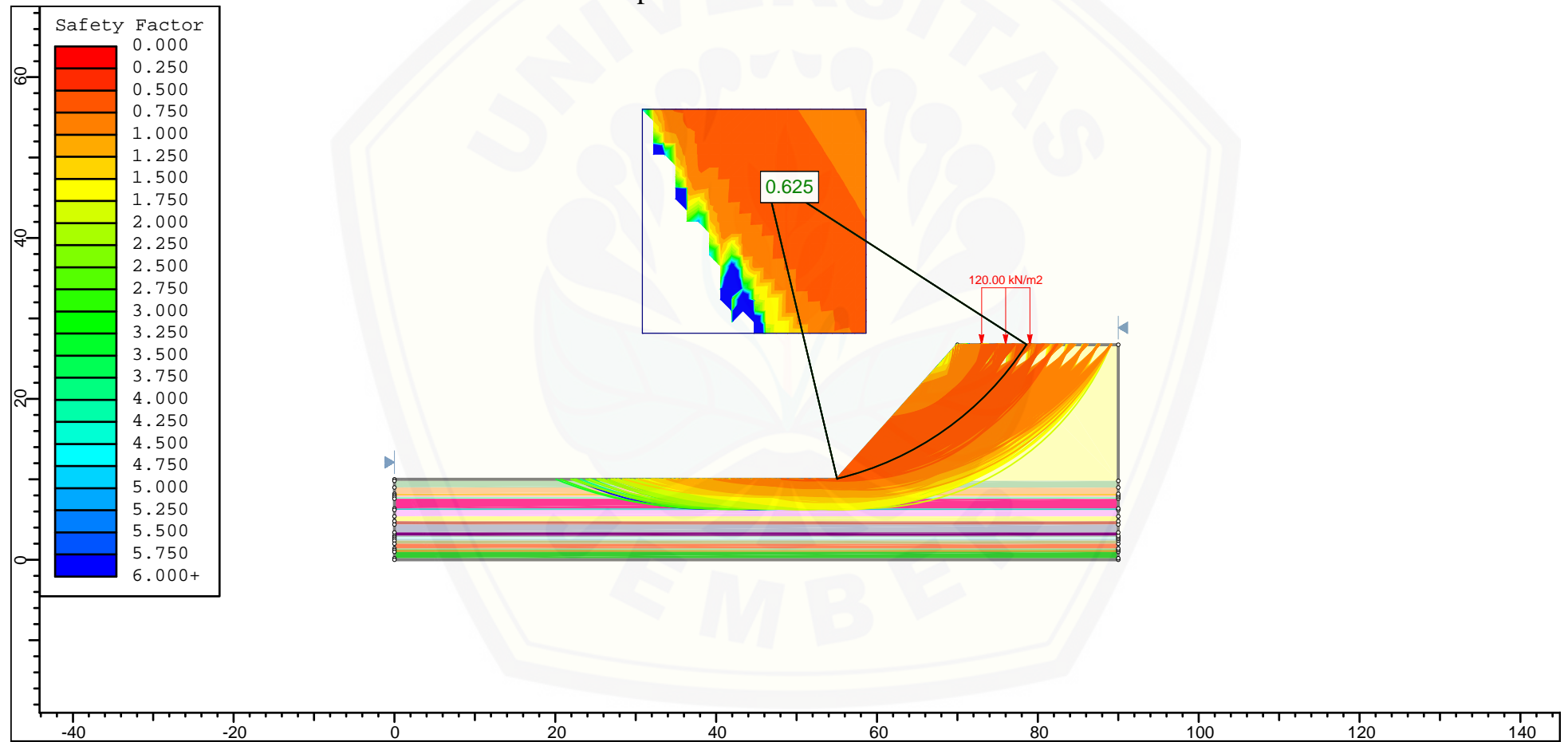


Slip Surface Titik S-02 Kondisi Awal





Slip Surface Titik Sondir S-02





# LAMPIRAN

11

Hasil Running Rocscience Slide S-01

	Hasil		
	Bishop	Manual	Validasi
Awal	0,85	1,172	27%
KL	Labil	Kritis	
Digali	0,625	0,756	17%
KL	Labil	Stabil	

AWAL

Perhitungan Manual Metode Bishop S-01

R Angle 26,99 m o 141,1

No. Irisan	Lebar (b) m	Tinggi (h) m	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	Berat W kN	$\theta$ deg	$\Theta'$ deg	$c'$ kN/m <sup>2</sup>	Nr kN	c x b	Wtan $\Theta'$	Fsa =		
											1 Nd (kN)	1,172 Nd (kN)	1,2 Nd (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	1,3589	1,3605	17,0	5,5193	2,77	17,0	12	0,26663768	16,3068	1,68741324	17,752735	17,79078	17,79595
2	1,3589	1,3656	17,0	15,7606	5,66	17,0	12	1,55516456	16,3068	4,81849898	20,604268	20,69363	20,70581
3	1,3589	1,3743	17,0	27,3704	8,57	17,0	12	4,07925264	16,3068	8,36797104	23,854254	24,00947	24,03068
4	1,3589	1,3868	17,0	48,2674	11,50	17,0	12	9,62470541	16,3068	14,7568251	29,843582	30,10233	30,13777
5	1,3589	1,4034	17,0	68,4929	14,46	17,0	12	17,1074689	16,3068	20,940381	35,654579	36,04121	36,09431
6	1,3589	1,4246	17,0	86,9736	17,47	17,0	12	26,1040941	16,3068	26,590498	41,024246	41,55948	41,63316
7	1,3589	1,4510	17,0	103,6290	20,52	17,0	12	36,3228108	16,3068	31,6825648	45,979122	46,68253	46,77962
8	1,3589	1,4833	17,0	118,3540	23,63	17,0	12	47,445935	16,3068	36,1844491	50,535929	51,42647	51,54971
9	1,3589	1,5228	17,0	131,0170	26,82	17,0	12	59,1224192	16,3068	40,0559167	54,702123	55,7986	55,95074
10	1,3589	1,5708	17,0	140,4250	30,11	17,0	12	70,4424557	16,3068	42,9322309	58,16622	59,48075	59,66366
11	1,3589	1,6297	17,0	128,1950	33,51	17,0	12	70,766756	16,3068	39,1931447	55,356086	56,75825	56,95396
12	1,3589	1,7025	17,0	105,9570	37,04	17,0	12	63,8307418	16,3068	32,3943058	49,575771	50,97845	51,17487
13	1,3589	1,7939	17,0	80,5830	40,76	17,0	12	52,6069859	16,3068	24,6366955	42,778938	44,1295	44,31931
14	1,3589	1,9114	17,0	51,5292	44,69	17,0	12	36,2383338	16,3068	15,7540574	34,62512	35,84669	36,01908
15	1,3589	2,0671	17,0	18,0013	48,91	17,0	12	13,5678879	16,3068	5,50354972	24,571348	25,54457	25,68257
							$\Sigma$	509,081649			585,02432	596,8427	598,4912
								Fsc			1,149	1,172	1,176

coba - coba

Sesudah Digali

Perhitungan Manual

Metode Bishop

Slide 1

No. Irisan	Lebar (b) m	Tinggi (h) m	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	Berat W kN	$\theta$ deg	$\Theta'$ deg	$c'$ kN/m <sup>2</sup>	Nr kN	c x b	Wtan $\Theta'$	R	38,653	m
											Angle	46,119	o
											Fsa =		
											0,7	0,756	0,8
											Nd (kN)	Nd (kN)	Nd (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	1,5726	1,6248	17,0	18,0183	14,5504	17,0	12	4,52676515	18,87168	5,50874714	22,623604	22,79553	22,91526
2	1,5726	1,6443	17,0	53,0948	16,9734	17,0	12	15,4998429	18,87168	16,2327094	32,38585	32,67051	32,86914
3	1,5726	1,6676	17,0	86,2131	19,4281	17,0	12	28,6765189	18,87168	26,3579898	41,558564	41,97359	42,26376
4	1,5726	1,6952	17,0	117,2880	21,9206	17,0	12	43,7861146	18,87168	35,8585402	50,176538	50,73836	51,13197
5	1,5726	1,7277	17,0	146,2160	24,4577	17,0	12	60,5365426	18,87168	44,7027173	58,266636	58,99082	59,49924
6	1,5726	1,7658	17,0	172,8710	27,0470	17,0	12	78,6081161	18,87168	52,8519686	65,847605	66,74913	67,38338
7	1,5726	1,8104	17,0	197,0980	29,6978	17,0	12	97,6473387	18,87168	60,2589059	72,929294	74,02277	74,79375
8	1,5726	1,8630	17,0	218,7060	32,4206	17,0	12	117,25492	18,87168	66,8651344	79,511502	80,81141	81,73003
9	1,5726	1,9252	17,0	237,4580	35,2285	17,0	12	136,974966	18,87168	72,5981962	85,582081	87,10298	88,18034
10	1,5726	1,9995	17,0	247,4600	38,1376	17,0	12	152,819458	18,87168	75,6561144	89,493698	91,21914	92,44449
11	1,5726	2,0891	17,0	218,7190	41,1682	17,0	12	143,97654	18,87168	66,8691089	82,420408	84,14298	85,36963
12	1,5726	2,1991	17,0	179,7880	44,3468	17,0	12	125,671747	18,87168	54,9667078	72,361079	74,00108	75,17239
13	1,5726	2,3371	17,0	136,1290	47,7093	17,0	12	100,700111	18,87168	41,6188119	60,734643	62,22997	63,30145
14	1,5726	2,5256	17,0	86,7728	51,3065	17,0	12	67,7262861	18,87168	26,5291073	46,996584	48,25798	49,16521
15	1,5726	2,7566	17,0	30,2634	55,2157	17,0	12	24,8554988	18,87168	9,25244991	30,267023	31,15801	31,80162
								$\Sigma$	1199,26077		891,15511	906,8643	918,0217
									Fsc		0,743	0,756	0,765

coba - coba

Hasil Running Rocscience Slide S-02

	Bishop	Manual	Validasi
Awal	0,85	1,172	27%
KL	Labil	Kritis	
Digali	0,625	0,756	17%
KL	Labil	Stabil	

AWAL

Perhitungan Manual  
Metode Bishop  
S-02

No. Irisan	Lebar (b) m	Tinggi (h) m	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	Berat W kN	$\theta$ deg	$\Theta'$ deg	c' kN/m <sup>2</sup>	Nr kN	c x b	Wtan $\Theta'$	Fsa =		
											R Angle	26,99 141,1	m o
											1	1,172	1,2
											Nd (kN)	Nd (kN)	Nd (kN)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	1,3589	1,3605	17,0	5,5193	2,77	17,0	12	0,266637676	16,3068	1,6874	17,75273524	17,79078101	17,79595482
2	1,3589	1,3656	17,0	15,7606	5,66	17,0	12	1,555164559	16,3068	4,8185	20,60426808	20,69362627	20,70580825
3	1,3589	1,3743	17,0	27,3704	8,57	17,0	12	4,079252643	16,3068	8,368	23,85425415	24,00946947	24,03068155
4	1,3589	1,3868	17,0	48,2674	11,50	17,0	12	9,624705409	16,3068	14,757	29,84358153	30,10232671	30,13777382
5	1,3589	1,4034	17,0	68,4929	14,46	17,0	12	17,10746886	16,3068	20,94	35,65457855	36,04121373	36,09431112
6	1,3589	1,4246	17,0	86,9736	17,47	17,0	12	26,10409407	16,3068	26,59	41,02424637	41,55947803	41,6331647
7	1,3589	1,4510	17,0	103,6290	20,52	17,0	12	36,3228108	16,3068	31,683	45,97912191	46,68253115	46,7796162
8	1,3589	1,4833	17,0	118,3540	23,63	17,0	12	47,44593497	16,3068	36,184	50,5359289	51,42647422	51,54970816
9	1,3589	1,5228	17,0	131,0170	26,82	17,0	12	59,12241917	16,3068	40,056	54,70212296	55,7986011	55,95074341
10	1,3589	1,5708	17,0	140,4250	30,11	17,0	12	70,44245571	16,3068	42,932	58,16622005	59,48074616	59,66366425
11	1,3589	1,6297	17,0	128,1950	33,51	17,0	12	70,76675599	16,3068	39,193	55,35608608	56,75825362	56,95396082
12	1,3589	1,7025	17,0	105,9570	37,04	17,0	12	63,83074185	16,3068	32,394	49,57577057	50,9784465	51,17486978
13	1,3589	1,7939	17,0	80,5830	40,76	17,0	12	52,60698589	16,3068	24,637	42,77893839	44,12949853	44,31931122
14	1,3589	1,9114	17,0	51,5292	44,69	17,0	12	36,23833379	16,3068	15,754	34,62512046	35,84669497	36,01908402
15	1,3589	2,0671	17,0	18,0013	48,91	17,0	12	13,5678879	16,3068	5,5035	24,57134762	25,54457255	25,68257
							$\Sigma$	509,0816493			585,0243209	596,842714	598,4912221
								Fsc			1,149	1,172	1,176

coba - coba

Sesudah Digali

Perhitungan Manual

Metode Bishop

Slide 2

No. Irisan	Lebar (b) m	Tinggi (h) m	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	Berat W kN	$\theta$ deg	$\Theta'$ deg	$c'$ kN/m <sup>2</sup>	Nr kN	c x b	Wtan $\Theta'$	R	38,653	m	
											Angle	46,119	o	
											Fsa =			
											0,7	0,756	0,8	
											Nd (kN)	Nd (kN)	Nd (kN)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
1	1,5726	1,6248	17,0	18,0183	14,5504	17,0	12	4,526765153	18,87168	5,5087	22,62360402	22,79553401	22,91525969	
2	1,5726	1,6443	17,0	53,0948	16,9734	17,0	12	15,49984293	18,87168	16,233	32,38585044	32,67051433	32,86914126	
3	1,5726	1,6676	17,0	86,2131	19,4281	17,0	12	28,67651891	18,87168	26,358	41,5585636	41,97358796	42,26375888	
4	1,5726	1,6952	17,0	117,2880	21,9206	17,0	12	43,78611458	18,87168	35,859	50,17653776	50,73836136	51,1319699	
5	1,5726	1,7277	17,0	146,2160	24,4577	17,0	12	60,5365426	18,87168	44,703	58,26663567	58,99082495	59,49923749	
6	1,5726	1,7658	17,0	172,8710	27,0470	17,0	12	78,60811614	18,87168	52,852	65,84760536	66,74912596	67,38337694	
7	1,5726	1,8104	17,0	197,0980	29,6978	17,0	12	97,64733874	18,87168	60,259	72,92929383	74,02276757	74,79374978	
8	1,5726	1,8630	17,0	218,7060	32,4206	17,0	12	117,2549196	18,87168	66,865	79,51150169	80,81141051	81,73003351	
9	1,5726	1,9252	17,0	237,4580	35,2285	17,0	12	136,9749659	18,87168	72,598	85,5820809	87,10297634	88,18033664	
10	1,5726	1,9995	17,0	247,4600	38,1376	17,0	12	152,8194584	18,87168	75,656	89,49369818	91,21913776	92,44449024	
11	1,5726	2,0891	17,0	218,7190	41,1682	17,0	12	143,9765405	18,87168	66,869	82,42040794	84,14298086	85,36962598	
12	1,5726	2,1991	17,0	179,7880	44,3468	17,0	12	125,6717473	18,87168	54,967	72,36107946	74,00108412	75,17239214	
13	1,5726	2,3371	17,0	136,1290	47,7093	17,0	12	100,7001108	18,87168	41,619	60,73464264	62,22996712	63,30145023	
14	1,5726	2,5256	17,0	86,7728	51,3065	17,0	12	67,72628614	18,87168	26,529	46,99658413	48,2579845	49,16521428	
15	1,5726	2,7566	17,0	30,2634	55,2157	17,0	12	24,85549879	18,87168	9,2524	30,26702275	31,15801172	31,80162445	
								$\Sigma$	1199,260766		891,1551084	906,8642691	918,0216614	
								Fsc		0,743		0,756		0,765

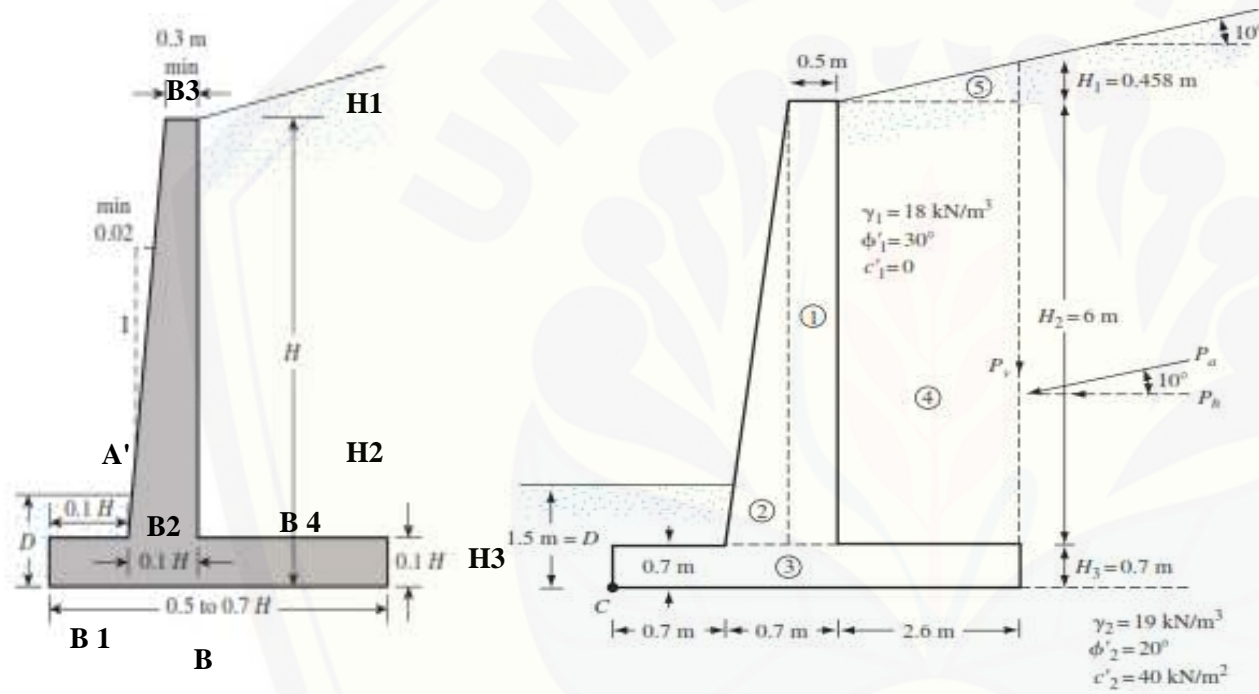
coba - coba



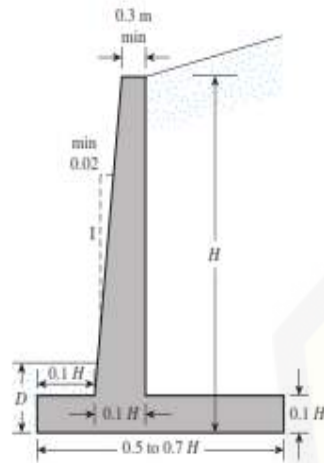
# LAMPIRAN

# 12

CANTILEVER WALL







(b)

Section 2	H	W	Satuan	Bentuk	Elemen
1	6	0,3	m	Persegi	Beton
2	6	1	m	Segitiga	Beton
3	1,25	5,3	m	Persegi	Beton
4	6	2,5	m	Persegi	Tanah
5	0,6699	2,5	m	Segitiga	Tanah

Perencanaan :		
H	H1	0,6699 m
	H2	6 m
	H3	1,25 m
D		1,5 m
B		5,3 m
	B1	1,5 m
	B2	1 m
	B3	0,3 m
	B4	2,5 m

Table 8.1 Procedure for Calculating  $\Sigma M_R$

Section (1)	Area (2)	Weight/unit length of wall (3)	Moment arm measured from C (4)	Moment about C (5)
1	$A_1$	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	$X_1$	$M_1$
2	$A_2$	$W_2 = \gamma_1 \times A_2$	$X_2$	$M_2$
3	$A_3$	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	$X_3$	$M_3$
4	$A_4$	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	$X_4$	$M_4$
5	$A_5$	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	$X_5$	$M_5$
6	$A_6$	$W_6 = \gamma_c \times A_6$	$X_6$	$M_6$
		$P_v$	$B$	$M_v$
		$\Sigma V$		$\Sigma M_R$

(Note:  $\gamma_1$  = unit weight of backfill  
 $\gamma_c$  = unit weight of concrete)





PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH

**Dimensi**

$H' = H1 + H2 + H3$

H'=	7,919872981	
H1=	0,6699	m
H2=	6	m
H3=	1,25	m

**Earth Pressure**

1. Tekanan Aktif Rankine

$Pp = \frac{1}{2} \gamma H'^2 K_a$

$\alpha =$	10	derajat	1 adalah tanah asli (Lapisan 1 atau tanah lereng)	
$\phi_1 =$	17	derajat		
$\gamma_1 =$	17	kN/m <sup>3</sup>		
$K_a =$	0,5518	Tabel 2.4		
$P_a =$	$\frac{1}{2} \gamma H'^2 * K_a$			
	294,20	kN/m		
$P_v =$	$P_a \cdot \sin \alpha$		$\sin \alpha$	0,173648178
	51,09	kN/m		
$P_h =$	$P_a \cdot \cos \alpha$		$\cos \alpha$	0,984807753
	289,73	kN/m		

**Cek Stabilitas RW**

1. Terhadap Guling (*Overturning*)

Section No.	Area	Weight Unit length (kNm)	Moment arm from point C (m)	Moment (kNm/m)	Catatan
1	1,8	43,20	2,65	114,48	
2	3	72,00	2,1667	156,00	0,667
3	6,625	159,00	2,65	421,35	
4	15	255,00	4,05	1032,75	
5	0,837	14,23	4,4675	63,59	0,667
	Pv	51,09	5,3	270,76	
	ΣV	594,52		2058,94	ΣMR

γconcrete 24 kN/m<sup>3</sup>

γsoil 17 kN/m<sup>3</sup>

Momen Guling

Mo= 764,87 kN-m/m

$$M_o = P_k \left( \frac{H'}{3} \right)$$

Kesimpulan Syarat minimum

FS overturning= 2,69 > 2 - 3

$$FS_{(overturning)} = \frac{\sum M_R}{M_o}$$

oke

2. Terhadap Geser (*Sliding*)

$$FS_{(sliding)} = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \phi'_2) + Bk_2 c'_2 + P_p}{P_o \cos \alpha}$$

$k_1 = k_2 = 0,667$

$$P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma_2D^2 + 2c'_2\sqrt{K_p}D$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'_2}{2}\right)$$

$P_p =$	171 kN/m		2 adalah lapisan bawah dasar plat (Lapisan ke 2)
$K_p =$	1,27	$\phi_2$	$\phi'_2 = 19$ derajat
$D =$	1,5		$\gamma_2 = 18$ kN/m <sup>3</sup>
$\phi_2$	19 derajat		$c'_2 = 43$ kN/m <sup>2</sup>
$c_2$	43 kN/m <sup>2</sup>		
$\gamma_2$	18 kN/m <sup>3</sup>		

$k_1\phi_2 = 12,66666667$

$\tan k_1\phi_2 = 0,22474849$

$B = 5,3$  m

$FS \text{ sliding} = 1,58 > 1,5$

Kesimpulan : oke

Note : untuk beberapa perencanaan, kedalaman D pada perhitungan tekanan pasif dapat sama pada sepanjang pelat dasar

3. Terhadap Daya Dukung (*Bearing Capacity*)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V}$$

$< \frac{B}{6}$

$e = 0,473342868$  m  $< 0,883333333$  m

$$q_{\text{heel}}^{\text{toe}} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$q_{\text{toe heel}} = 172,3$  kN/m<sup>2</sup> toe  
 $52,1$  kN/m<sup>2</sup> heel

Dari Tabel 2.13 berdasarkan  $\phi$

$\phi_2 =$	17	derajat	sin	0,292371705	$N_q$	5,26
$c_2 =$	43	kN/m <sup>2</sup>	tan	0,305730681	$N_c$	13,10
$\gamma_2 =$	18	kN/m <sup>3</sup>			$N_\gamma$	4,07
$q =$	27	kN/m <sup>2</sup>				

$$q = \gamma_2 D$$

$$B' = \frac{B - 2e}{2} = 3,533 \text{ m}$$

$$F_{qd} = 1,130 \text{ m}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi'_2 (1 - \sin \phi'_2)^2 \left( \frac{D}{B'} \right)$$

$$F_{cd} = 1,162 \text{ p}$$

$$F_{qd} = \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'_2}$$

$$F_{yd} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = 0,506$$

$$\left( 1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$\psi = 0,487327587 \text{ } 26 \text{ derajat}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{P_u \cos \alpha}{\Sigma V} \right)$$

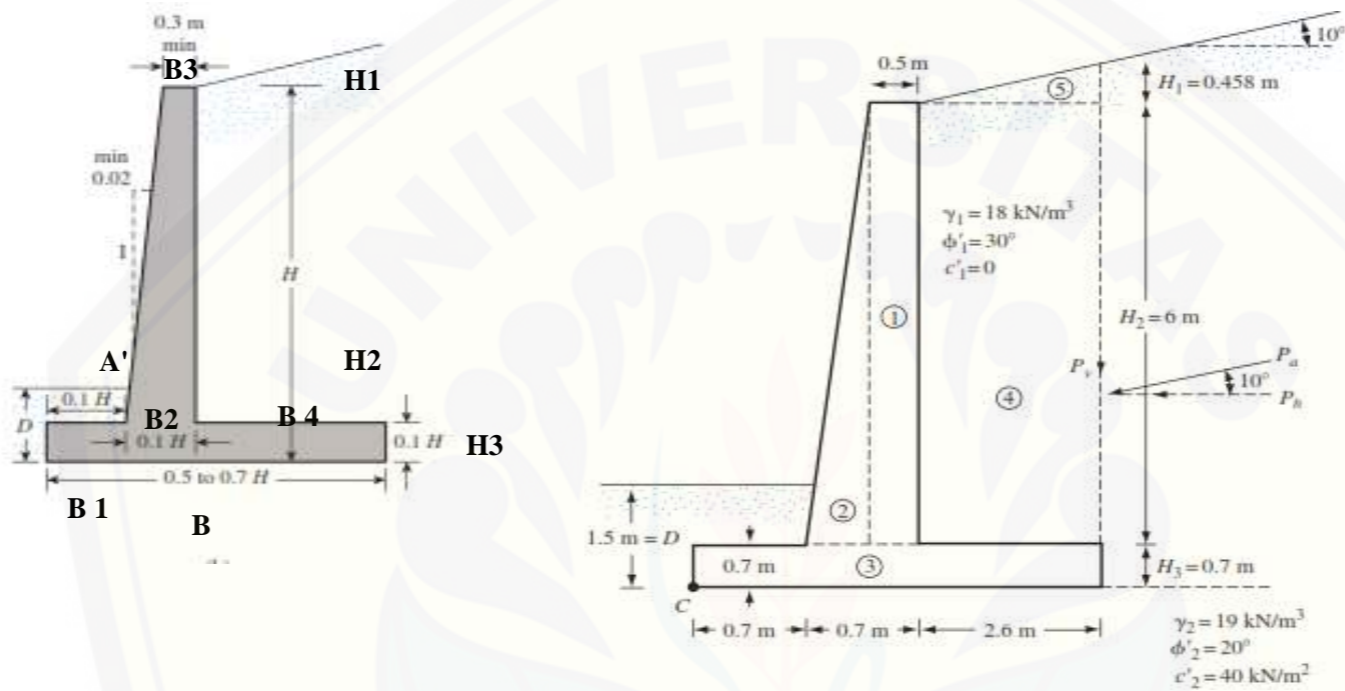
$$F_{\gamma i} = 0,943489101 \text{ } 0$$

$$q_u = 534,6241726$$

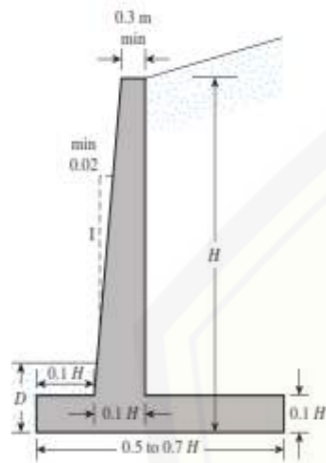
$$q_u = c'_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

FS bearing capacity  $\frac{q_u}{q_{toe}} = 3,10 > 3$

Kesimpulan oke







Section 2	H	W	Satuan	Bentuk	Elemen
1	6	0,3	m	Persegi	Beton
2	6	1	m	Segitiga	Beton
3	1,25	5,3	m	Persegi	Beton
4	6	2,5	m	Persegi	Tanah
5	0,6699	2,5	m	Segitiga	Tanah

(b)

Perencanaan :		
H	H1	0,6699 m
	H2	6 m
	H3	1,25 m
D		1,5 m
B		5,3 m
	B1	1,5 m
	B2	1 m
	B3	0,3 m
	B4	2,5 m

Table 8.1 Procedure for Calculating  $\Sigma M_R$

Section (1)	Area (2)	Weight/unit length of wall (3)	Moment arm measured from C (4)	Moment about C (5)
1	$A_1$	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	$X_1$	$M_1$
2	$A_2$	$W_2 = \gamma_1 \times A_2$	$X_2$	$M_2$
3	$A_3$	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	$X_3$	$M_3$
4	$A_4$	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	$X_4$	$M_4$
5	$A_5$	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	$X_5$	$M_5$
6	$A_6$	$W_6 = \gamma_c \times A_6$	$X_6$	$M_6$
		$P_v$	$B$	$M_v$
		$\Sigma V$		$\Sigma M_R$

(Note:  $\gamma_1$  = unit weight of backfill  
 $\gamma_c$  = unit weight of concrete)





PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH

**Dimensi**

$H' = H1 + H2 + H3$

H'	7,919872981	
H1	0,6699	m
H2	6	m
H3	1,25	m

**Earth Pressure**

1. Tekanan Aktif Rankine

$Pp = \frac{1}{2} \gamma H'^2 K_a$

$\alpha =$	10	derajat	1 adalah tanah asli (Lapisan 1 atau tanah lereng)
$\phi_1 =$	17	derajat	
$Pv =$	$Pa \cdot \sin \alpha$		$\sin \alpha$ 0,173648178
	51,09	kN/m	
$Ph =$	$Pa \cdot \cos \alpha$		$\cos \alpha$ 0,984807753
	289,73	kN/m	

**Cek Stabilitas RW**

1. Terhadap Guling (*Overtuning*)

Section No.	Area	Weight Unit length (kNm)	Moment arm from point C (m)	Moment (kNm/m)	Catatan
1	1,8	43,20	2,65	114,48	
2	3	72,00	2,1667	156,00	0,667
3	6,625	159,00	2,65	421,35	
4	15	255,00	4,05	1032,75	
5	0,837	14,23	4,4675	63,59	0,667
	Pv	51,09	5,3	270,76	
	$\Sigma V$	594,52		2058,94	$\Sigma MR$

$\gamma_{\text{concrete}}$  24 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{\text{soil}}$  17 kN/m<sup>3</sup>

Momen Guling

$M_o =$  764,87 kN-m/m

$$M_o = P_h \left( \frac{H'}{3} \right)$$

Kesimpulan Syarat minimum

FS overturning= 2,69 > 2 - 3

$$FS_{\text{(overturning)}} = \frac{\Sigma M_R}{M_o}$$

oke

2. Terhadap Geser (*Sliding*)

$$FS_{\text{(sliding)}} = \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi'_2) + Bk_2 c'_2 + P_p}{P_o \cos \alpha}$$

$k_1 = k_2 = 0,667$

$$P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma_2 D^2 + 2c_2'\sqrt{K_p}D$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi_2'}{2}\right)$$

Pp =	188	kN/m		2 adalah lapisan bawah dasar plat (Lapisan ke 2)
Kp =	1,27	manual input	$\phi_2$	$\phi_2 = 19$ derajat
D =	1,5			$\gamma_2 = 18$ kN/m <sup>3</sup>
$\phi_2 =$	19	derajat	manual input	c2 = 48 kN/m <sup>2</sup>
c2 =	48	kN/m <sup>2</sup>	manual input	
$\gamma_2 =$	18	kN/m <sup>3</sup>	manual input	

$k_1\phi_2 = 12,66666667$   
 $\tan k_1\phi_2 = 0,22474849$   
 B = 5,3 m

FS sliding = 1,70 > 1,5

Kesimpulan : oke

Note : untuk beberapa perencanaan, kedalaman D pada perhitungan tekanan pasif dapat sama pada sepanjang pelat dasar

3. Terhadap Daya Dukung (*Bearing Capacity*)

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V}$$

<  $\frac{B}{6}$

e = 0,473342868 m < 0,883333333 m

$$q_{\text{heel}}^{\text{toe}} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

q toe heel = 172,3 kN/m<sup>2</sup> toe  
 52,1 kN/m<sup>2</sup> heel

Dari Tabel 2.13 berdasarkan  $\phi$

$\phi_2 =$	17 derajat	sin	0,292371705	$N_q$	5,26
$c_2 =$	48 kN/m <sup>2</sup>	tan	0,305730681	$N_c$	13,10
$\gamma_2 =$	18 kN/m <sup>3</sup>			$N_\gamma$	4,07
$q =$	27				

$$q = \gamma_2 D$$

$$B' = B - 2e = 3,533 \text{ m}$$

$$F_{qd} = 1,130 \text{ m}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi'_2 (1 - \sin \phi'_2)^2 \left( \frac{D}{B'} \right)$$

$$F_{cd} = 1,162 \quad p$$

$$F_{qd} = \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'_2}$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = 0,506$$

$$\left( 1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$\psi = 0,487327587 \quad 26 \text{ derajat}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{P_u \cos \alpha}{\Sigma V} \right)$$

$$F_{\gamma i} = 0,943489101 \quad 0$$

$$q_u = 573,1489573$$

$$q_u = c'_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

FS bearing capacity  $\frac{q_u}{q_{toe}} = 3,33 > 3$

Kesimpulan oke

No.	Parameter	Nilai SF Minimum	SF Hasil Perencanaan S-01	SF Hasil Perencanaan S-02	Kesimpulan
1	Cek Terhadap Guling ( <i>Overturning</i> )	2 s.d 3	2,69	2,69	layak
2	Cek Terhadap Geser ( <i>Sliding</i> )	1,5	1,58	1,70	layak
3	Cek Terhadap Daya Dukung ( <i>Bearing Capacity</i> )	3	3,10	3,33	layak



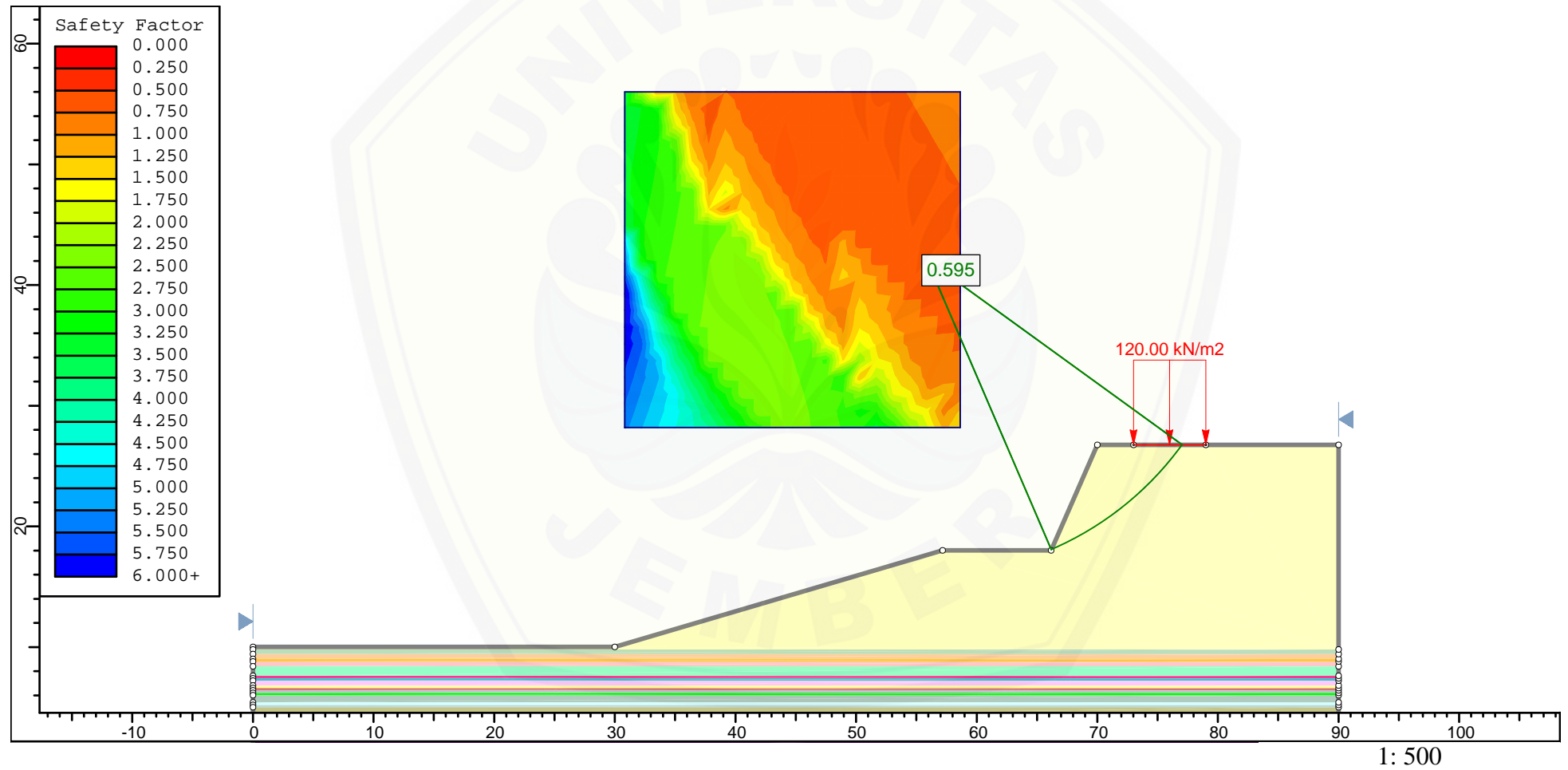




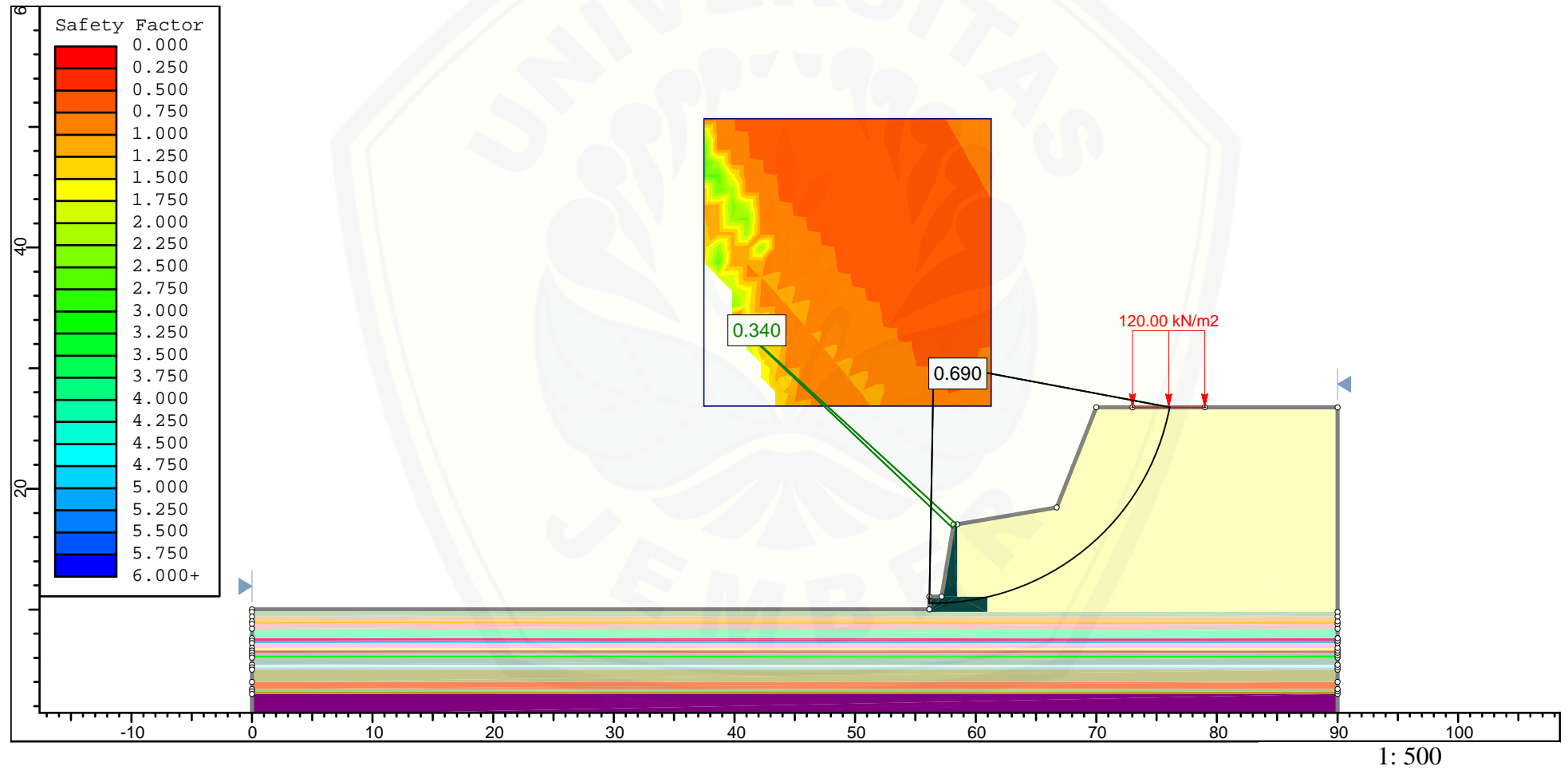
# LAMPIRAN

13

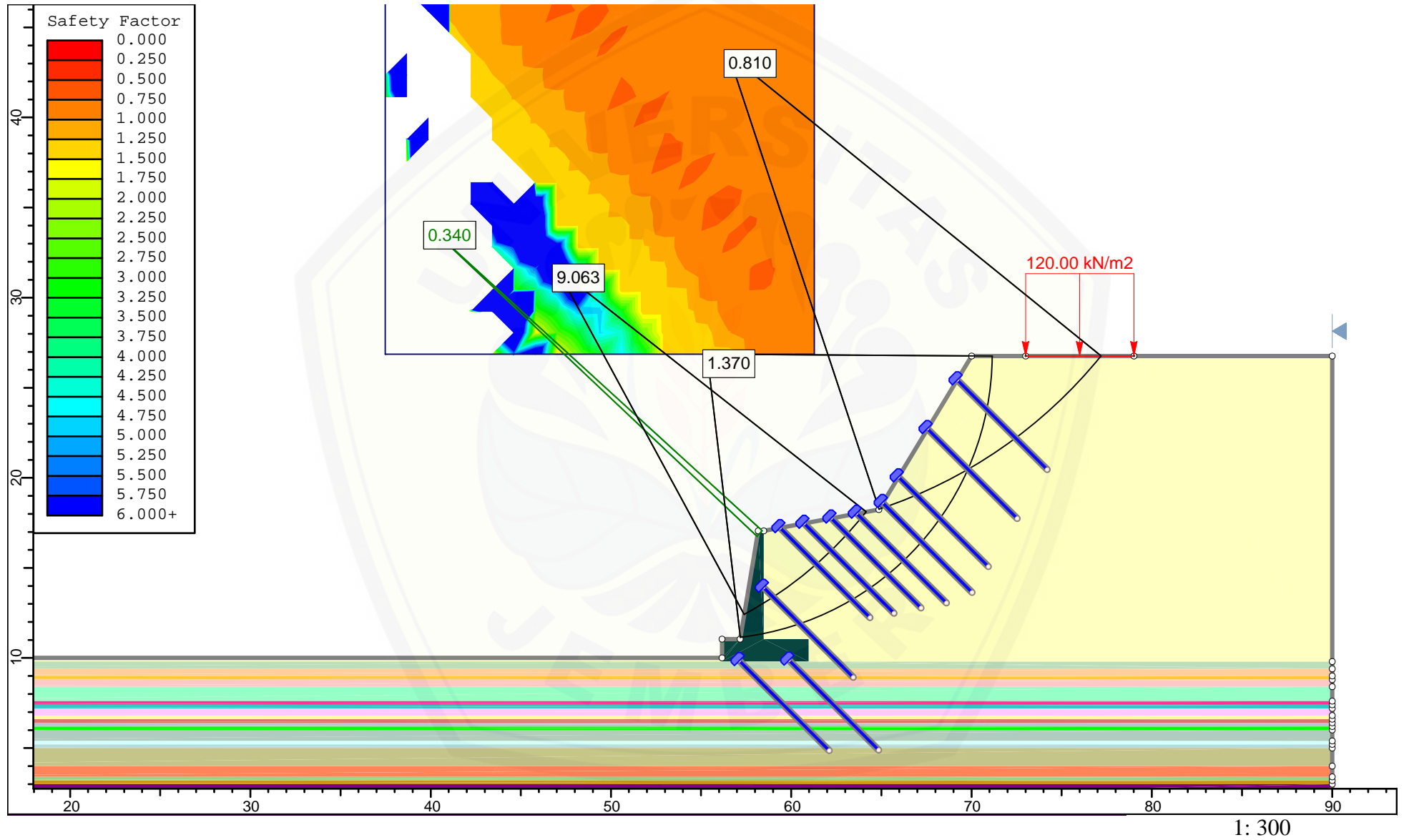
Safety Factor lereng titik S-01 setelah longsor



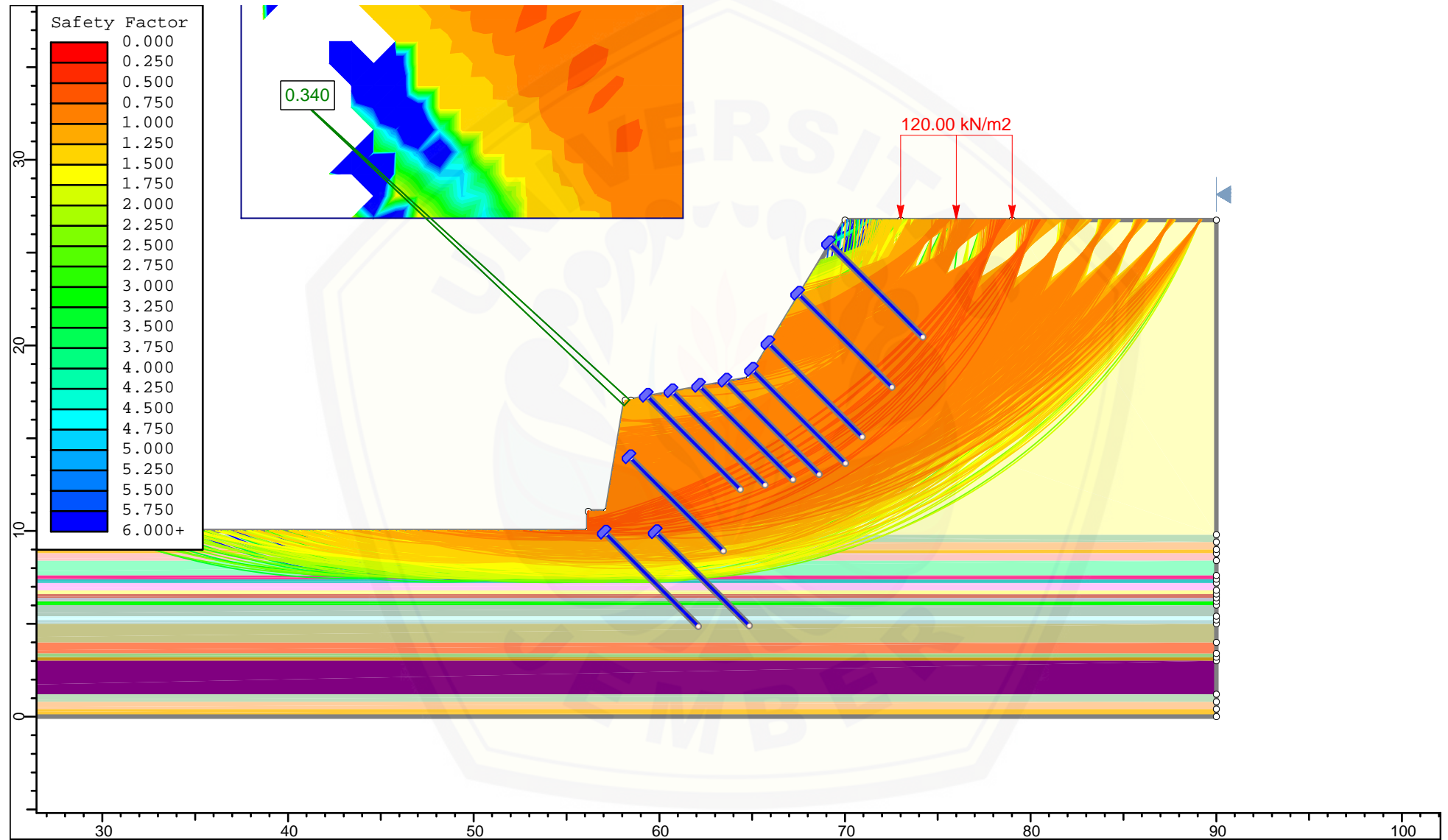
Safety Factor lereng titik S-01 dengan perbaikan Dinding Cantilever



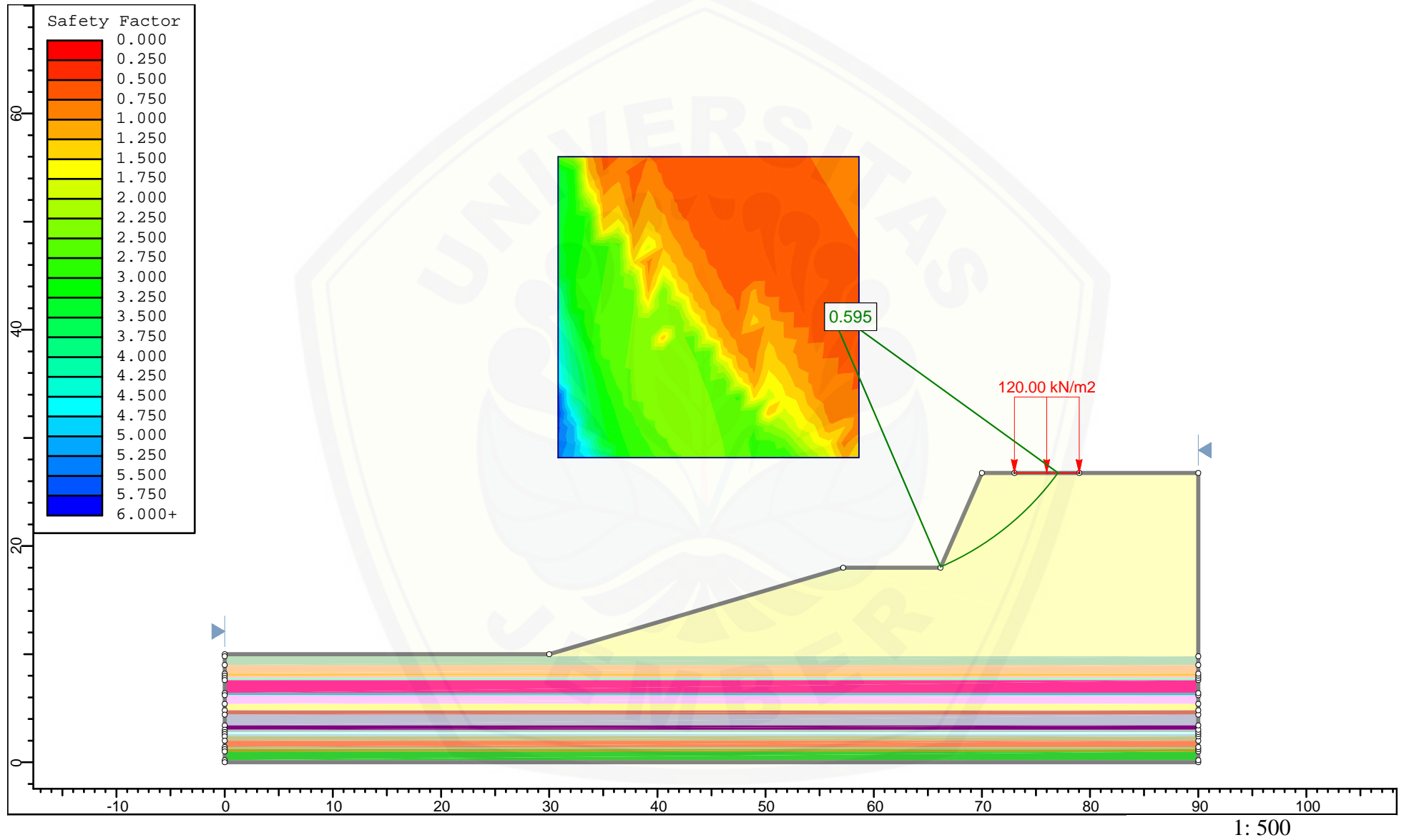
Safety Factor lereng titik S-01 dengan perbaikan Dinding Cantilever dan Micropile



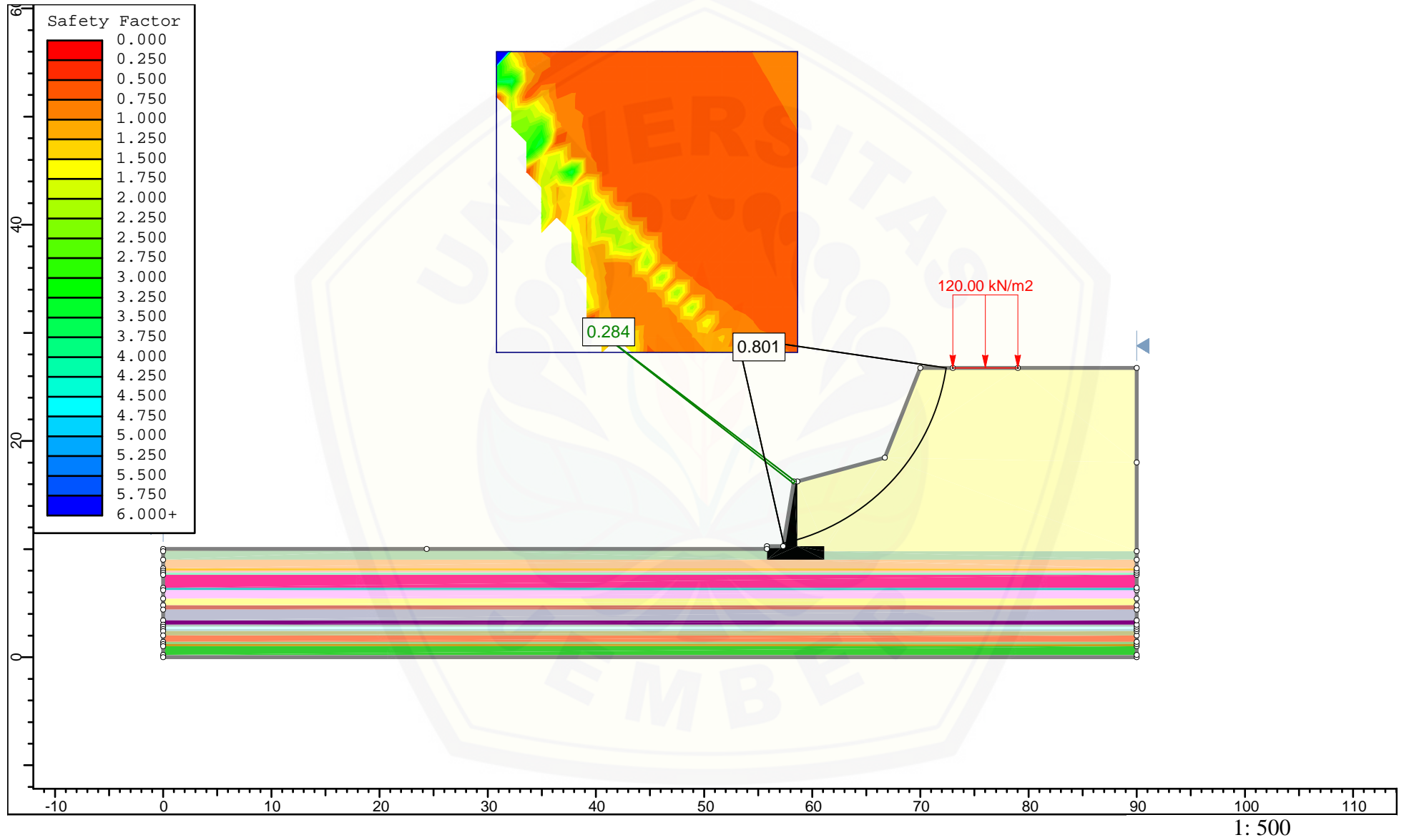
Slip Surface S-01 diperbaiki dengan dinding cantilever dan micropile



Safety Factor lereng titik S-02 setelah longsor

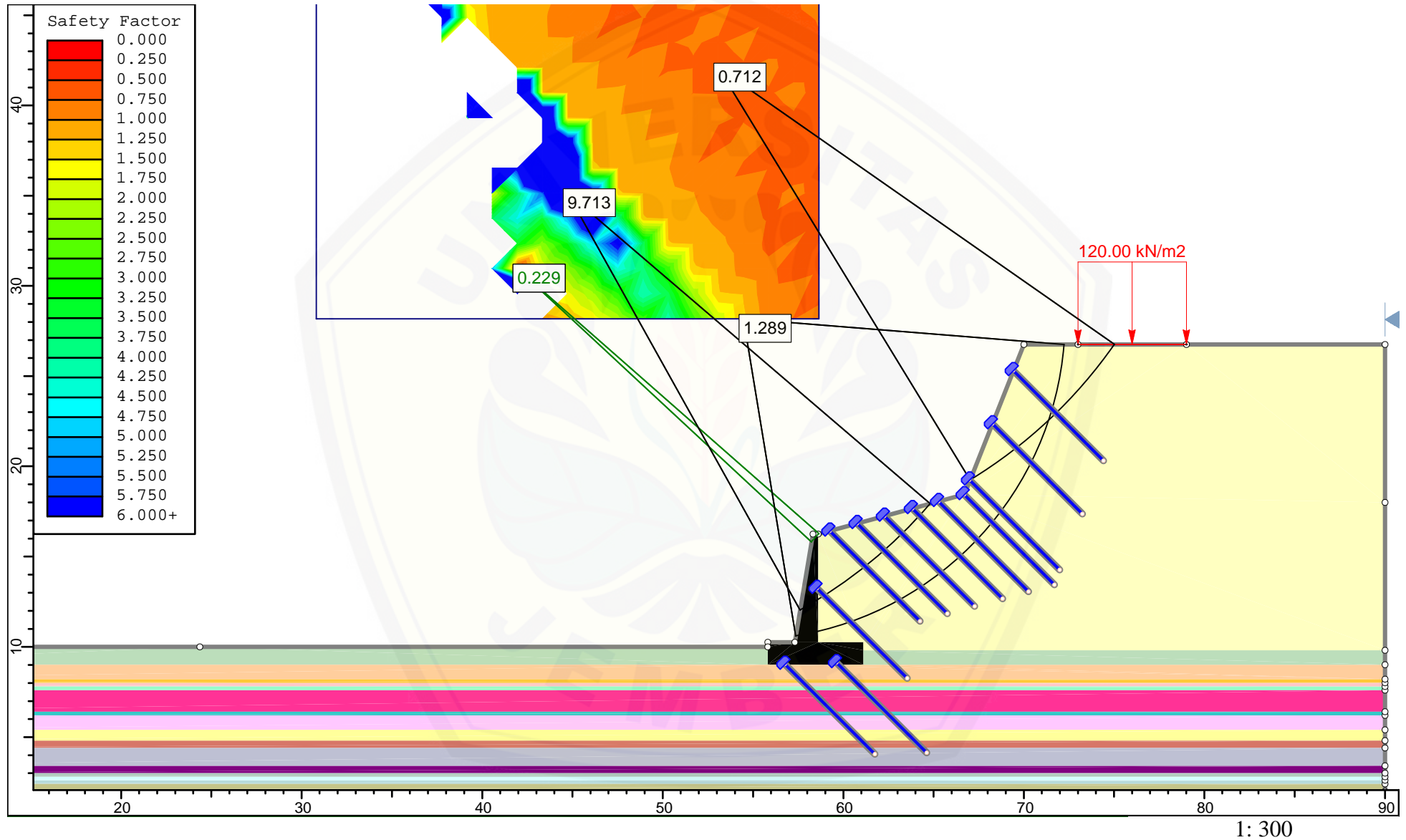


Safety Factor lereng titik S-02 dengan perbaikan Dinding Cantilever





Safety Factor lereng titik S-02 diperbaiki dengan dijdng cantilever dan micropile



Slip Surface S-02 diperbaiki dengan dijdng cantilever dan micropile

