



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**REKOMENDASI SOLUSI UNTUK MENGATASI  
KELONGSORAN PADA LERENG JALAN AKSES  
PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8) DENGAN  
PENDEKATAN *CRACKED SOIL***

BRENA AUDRA C.T  
NRP. 0311164000072

Dosen Pembimbing I  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Musta'in Arif, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**REKOMENDASI SOLUSI UNTUK MENGATASI  
KELONGSORAN PADA LERENG JALAN AKSES PLTA  
MUSI (KM 5 DAN KM 8) DENGAN PENDEKATAN  
*CRACKED SOIL***

BRENA AUDRA C.T  
NRP. 0311164000072

Dosen Pembimbing I  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Musta'in Arif, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



FINAL PROJECT (RC18-4803)

**RECOMMENDATION OF SOLUTIONS TO REMEDY  
LANDSLIDE ON MUSI HYDROPOWER PLANT ACCESS  
ROAD (KM 5 AND KM 8) USING CRACKED SOIL  
APPROACH**

BRENA AUDRA C.T  
NRP. 0311164000072

Academic Supervisor I  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

Academic Supervisor II  
Musta'in Arif, ST., MT

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Civil Engineering , Planning and Geo Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**REKOMENDASI SOLUSI UNTUK MENGATASI  
KELONGSORAN PADA LERENG JALAN AKSES PLTA  
MUSI (KM 5 DAN KM 8) DENGAN PENDEKATAN  
*CRACKED SOIL***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S1 Departemen Teknik Sipil Fakultas  
Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan Institut  
Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh :

**BRENA AUDRA CLARINA TARIGAN**  
NRP. 031 116 4000 0072

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

*Indrasurya B. Mochtar*

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc., Ph.D....(Pembimbing I)
2. Musta'in Arif ST., MT.....(Pembimbing II)



**SURABAYA  
AGUSTUS, 2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**REKOMENDASI SOLUSI UNTUK MENGATASI  
KELONGSORAN PADA LERENG JALAN AKSES PLTA  
MUSI (KM 5 DAN KM 8) DENGAN PENDEKATAN  
*CRACKED SOIL***

**Nama Mahasiswa** : Brena Audra C.T  
**NRP** : 0311164000072  
**Departemen/Fakultas** : Teknik Sipil FTSPK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,  
M.Sc., Ph.D  
2. Musta'in Arif, ST., MT

**ABSTRAK**

*PLTA Musi Bengkulu merupakan pembangkit listrik tenaga air terbesar di Sumatera. Namun, lereng tepi jalan akses menuju lokasi tersebut mengalami kelongsoran ketika hujan yang sangat lebat melanda Kota Bengkulu pada tahun 2017, sedangkan jalan ini berperan penting untuk menunjang aspek transportasi dan ekonomi masyarakat Bengkulu. Untuk menyelesaikan masalah ini, pemerintah daerah telah melakukan perbaikan drainase. Akan tetapi longsor terjadi kembali ketika hujan deras melanda Bengkulu pada tahun 2019. Oleh karena itu, perbaikan drainase tidak cukup untuk menjadi solusi dalam penyelesaian masalah ini karena gagalnya saluran drainase bukan merupakan satu-satunya penyebab kelongsoran.*

*Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan perencanaan perkuatan lereng untuk mencegah terjadinya kelongsoran di masa yang akan datang. Dalam Tugas Akhir ini, beberapa alternatif perkuatan lereng yang ditawarkan, antara lain seperti subdrain dan soil reinforcement, bored pile, serta ground anchor. Perencanaan ini akan dilakukan pada dua lokasi, yaitu KM 5 dan KM 8, yang dapat dianggap sebagai acuan dalam penyelesaian kelongsoran di lokasi lainnya. Perencanaan untuk perbaikan lereng jalan yang longsor dilakukan berdasarkan*

*pendekatan cracked soil, dimana tanah diasumsikan bersifat behaving like sand.*

*Dari beberapa alternatif perkuatan yang ada, maka rekomendasi solusi untuk mengatasi kelongsoran pada lokasi KM 5 adalah pemasangan subdrain dan geotextile praktis sebanyak 21 lapis dengan panjang masing-masing 2 meter. Hasil perencanaan ini membutuhkan biaya Rp 1.380.592.037. Sedangkan untuk lereng KM 8 digunakan ground anchor sebanyak 2 buah dengan kapasitas sebesar 256.67 kN. Biaya yang diperlukan adalah Rp 39.577.185.*

***Kata kunci : Bored pile, cracked soil approach, ground anchor, lereng, soil reinforcement, subdrain.***

**RECOMMENDATION OF SOLUTIONS TO REMEDY  
LANDSLIDE ON MUSI HYDROPOWER PLANT ACCESS  
ROAD (KM 5 AND KM 8) USING CRACKED SOIL  
APPROACH**

**Student Name** : Brena Audra C.T  
**Student Number** : 0311164000072  
**Departement** : Teknik Sipil FTSPK-ITS  
**Supervisors** : 1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,  
M.Sc., Ph.D  
2. Musta'in Arif, ST., MT

**ABSTRACT**

*Musi Hydropower Plant in Bengkulu is the largest hydroelectric power station in Sumatra. However, there were several landslides on the slope of the access road leading to the location when heavy rains hit Bengkulu in 2017, while this road played an important role to support the transportation and economic aspects of the society. To solve this problem, the local government has repaired the drainage system. However, landslides occurred again when heavy rains hit Bengkulu in 2019. Therefore, drainage repairment is not enough to be the solution in solving this problem because the failure of the drainage channel is not the only cause of landslides.*

*From these problems, it is necessary to plan the slope reinforcement to prevent the possibility of landslides in the future. In this Final Project, several alternative of slope reinforcement are offered, such as subdrain and soil reinforcement (geotextile), bored pile, and ground anchor. This planning will be applied on two locations, such as KM 5 and KM 8, which can be considered as a reference to solve landslides in other locations. The planning*

*of slope reinforcement is based on the cracked soil approach, where the soil is assumed to be behaving like sand.*

*From the several alternative reinforcement available, the solution to remedy landslide in KM 5 is by using subdrain and 21 layers of geotextile. This alternative will cost Rp 1.380.592.037. As for the slopes of KM 8, 2 ground anchors are used with the capacity of 256.67 kN each. This alternative will cost Rp 39.577.185.*

***Keyword : Bored pile, cracked soil approach, ground anchor, landslide, soil reinforcement, subdrain.***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “REKOMENDASI SOLUSI UNTUK MENGATASI KELONGSORAN PADA LERENG JALAN AKSES PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8) DENGAN PENDEKATAN *CRACKED SOIL*” ini dengan baik dan tepat waktu. Pada akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D dan Musta'in Arif, ST., MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dengan sangat baik sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
2. Putu Tantri Kumalasari, ST., MT dan Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT selaku dosen konsultasi yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan moral, materi, dan motivasi.
4. Widya, Nela, Farhan, Victor, dan teman S59 lainnya yang turut membantu dan memotivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, penulis selaku penyusun menerima segala kritik dan saran guna untuk membangun Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat menjadi manfaat yang nyata untuk para pembaca.

Surabaya, 6 Agustus 2020

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxiii
BAB I    PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	7
1.3    Tujuan.....	8
1.4    Batasan Masalah.....	8
1.5    Manfaat.....	9
BAB II    TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1    Jenis Tanah dan Perilakunya .....	11
2.2    Korelasi Data Tanah.....	12
2.3    Lereng.....	14
2.3.1    Jenis Kelongsoran Lereng .....	14
2.3.2    Faktor – Faktor Penyebab Kelongsoran .....	15
2.4    Analisis Stabilitas Lereng.....	16
2.5    Cracked Soil Approach .....	18
2.6    Subdrain .....	19

2.7	Perencanaan Perkuatan dengan <i>Soil Reinforcement</i> .....	20
2.7.1	Komponen Utama.....	20
2.7.2	Perencanaan Geotextile .....	21
2.8	Perencanaan Perkuatan dengan <i>Bored Pile</i> .....	23
2.8.1	Cerucuk untuk Meningkatkan Tahanan Geser Tanah .....	24
2.8.2	Kekuatan Cerucuk Terhadap Gaya Horizontal....	24
2.8.3	Penentuan Jumlah Tiang.....	29
2.9	Perencanaan Perkuatan dengan <i>Ground Anchor</i> .....	30
2.9.1	Tipe-tipe Ground Anchor .....	30
2.9.2	Metode Ground Anchor.....	31
2.9.3	Perencanaan Ground Anchor.....	35
BAB III	METODOLOGI .....	39
3.1	Bagan Alir Tahapan Perencanaan .....	39
3.2	Uraian Tahapan Perencanaan .....	41
BAB IV	ANALISA DATA .....	45
4.1	Analisa Data Tanah .....	45
4.1.1	Lokasi Pengambilan Data Tanah.....	45
4.1.2	Penyelidikan Tanah di Lapangan (Uji N-SPT)....	46
4.1.3	Statigrafi Tanah .....	49
4.1.4	Penentuan Parameter Tanah .....	52
4.1.4	Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> .....	55
4.2	Analisa Stabilitas Lereng.....	63



4.2.1	Pemodelan Geometri Lereng .....	63
4.2.2	Analisa Stabilitas dengan Program GeoStudio....	64
4.2.2.1	Kondisi Eksisting .....	64
4.2.2.2	Penyebab Kelongsoran Lereng.....	69
4.2.2.3	Kondisi <i>Behaving Like Sand</i> .....	70
BAB V PERENCANAAN PERKUATAN LERENG .....		79
5.1	Perencanaan Subdrain dan <i>Soil Reinforcement</i> .....	79
5.1.1	Perencanaan Subdrain dan <i>Soil Reinforcement</i> di Lokasi KM 5 .....	79
5.1.2	Perencanaan Subdrain dan <i>Soil Reinforcement</i> di Lokasi KM 8.....	81
5.1.2.1	Perencanaan Geotextile pada Lokasi KM 8 .....	82
5.2	Perencanaan Bored Pile.....	86
5.2.1	Perencanaan Panjang <i>Bored Pile</i> .....	87
5.2.2	Perencanaan Tulangan <i>Bored Pile</i> .....	88
5.2.3	Gaya Penahan <i>Bored Pile</i> .....	91
5.2.3	Gaya Horizontal yang Mampu Dipikul 1 Tiang..	93
5.2.4	Jumlah <i>Bored Pile</i> yang Diperlukan.....	95
5.3	Perencanaan <i>Ground Anchor</i> .....	99
5.3.1	Perencanaan <i>Ground Anchor</i> pada Lokasi KM 5	99
5.3.2	Perencanaan <i>Ground Anchor</i> pada Lokasi KM 8....	109
5.4	Analisa Kebutuhan Material dan Biaya.....	118

5.4.1	Analisa Biaya Material Subdrain dan <i>Soil Reinforcement</i> .....	118
5.4.2	Analisa Biaya Material Bored Pile.....	121
5.4.3	Analisa Biaya Material <i>Ground Anchor</i> .....	123
BAB VI KESIMPULAN .....		127
6.1	Kesimpulan.....	127
6.2	Saran.....	129
DAFTAR PUSTAKA.....		131
LAMPIRAN .....		133
BIODATA PENULIS.....		185

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi jalan akses menuju PLTA Musi.....	1
Gambar 1.2 Peta kerusakan di sekitar lokasi jalan akses PLTA Musi, Bengkulu .....	3
Gambar 1.3 Kondisi longsor di KM 5 .....	4
Gambar 1.4 Kondisi longsor di KM 8.....	4
Gambar 1.5 Potongan melintang lereng di lokasi KM 5 .....	5
Gambar 1.6 Potongan melintang lereng di lokasi KM 8 .....	5
Gambar 2.1 <i>Translational slide</i> .....	14
Gambar 2.2 <i>Rotational slide</i> .....	14
Gambar 2.3 <i>Surface slide</i> .....	15
Gambar 2.4 <i>Deep slide</i> .....	15
Gambar 2.5 Retakan pada tanah saat hujan lebat .....	18
Gambar 2.6 Subdrain pada lereng .....	19
Gambar 2.7 Konsep tekanan tanah dan teori untuk dinding <i>geotextile</i> .....	23
Gambar 2.8 Asumsi Gaya yang Diterima Cerucuk.....	24
Gambar 2.9 Kurva untuk menentukan harga $f$ dari berbagai jenis tanah .....	25
Gambar 2.10 Grafik untuk mencari nilai $F_M$ .....	27
Gambar 2.11 Tipe-tipe <i>ground anchor</i> .....	31
Gambar 2.12 Metode jangkar dengan tabung tekanan .....	32
Gambar 2.13 Metode jangkar dengan inti yang dipancang .....	33
Gambar 2.14 Metode pelat jangkar .....	34
Gambar 2.15 Metode jangkar dengan membesarkan bagian bawah .....	35
Gambar 2.16 Faktor daya dukung untuk keruntuhan geser menyeluruh menurut Terzaghi .....	38
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi tugas akhir .....	40
Gambar 4.1 Lokasi <i>bore hole</i> di KM 5 (Sumber: PT PLN) .....	45

Gambar 4.2 Lokasi <i>bore hole</i> di KM 8 (Sumber: PT. PLN) .....	46
Gambar 4.3 Letak <i>bore hole</i> pada lereng KM 5 .....	47
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara elevasi dan N-SPT untuk lokasi KM 5 .....	47
Gambar 4.5 Letak <i>bore hole</i> pada lereng KM 8 .....	48
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara elevasi dan N-SPT untuk lokasi KM 8 .....	48
Gambar 4.7 Statigrafi tanah di lokasi KM 5 .....	49
Gambar 4.8 Statigrafi tanah di lokasi KM 8 .....	51
Gambar 4.9 Potongan melintang lereng di lokasi KM 5 .....	63
Gambar 4.10 Potongan melintang lereng di lokasi KM 8 .....	63
Gambar 4.11 Geometri lereng KM 5 .....	65
Gambar 4.12 Bidang longsor pada potongan melintang lereng KM 5 .....	66
Gambar 4.13 Geometri lereng KM 8 .....	67
Gambar 4.14 Bidang longsor pada potongan melintang lereng KM 8 .....	69
Gambar 4.15 Bidang longsor pada lereng KM 5 dengan tanah <i>behaving like sand</i> sedalam 3 m .....	72
Gambar 4.16 Bidang longsor pada lereng KM 5 dengan tanah <i>behaving like sand</i> sedalam 5 m .....	72
Gambar 4.17 Bidang longsor pada lereng KM 5 dengan tanah <i>behaving like sand</i> sedalam 7 m .....	73
Gambar 4.18 Bidang longsor pada lereng KM 8 dengan tanah <i>behaving like sand</i> sedalam 3 m .....	76
Gambar 4.19 Bidang longsor pada lereng KM 8 dengan tanah <i>behaving like sand</i> sedalam 5 m .....	76
Gambar 4.20 Bidang longsor pada lereng KM 8 dengan tanah <i>behaving like sand</i> sedalam 7 m .....	77
Gambar 5.1 Jarak acuan subdrain di lokasi KM 5 .....	80
Gambar 5.2 Desain subdrain dan geotextile pada lereng KM 5 ..	81

Gambar 5.3 Jarak acuan sudrain di lokasi KM 8.....	82
Gambar 5.4 Desain subdrain dan geotextile pada lereng KM 8..	86
Gambar 5.5 Sketsa analisa stabilitas .....	87
Gambar 5.6 Diagram interaksi penulangan <i>bored pile</i> .....	89
Gambar 5.7 Grafik NAVFAC untuk mendapatkan nilai $f$ .....	92
Gambar 5.8 Grafik NAVFAC untuk mendapatkan nilai $F_m$ .....	93
Gambar 5.9 Sketsa letak pemasangan <i>bored pile</i> .....	96
Gambar 5.11 Hasil verifikasi <i>pile 1</i> .....	97
Gambar 5.10 <i>Safety factor</i> permodelan <i>bored pile</i> .....	97
Gambar 5.12 Hasil verifikasi <i>pile 2</i> .....	98
Gambar 5.13 Hasil verifikasi <i>pile 3</i> .....	98
Gambar 5.14 Dimensi balok beton penahan di KM 5 .....	105
Gambar 5.15 Jarak antar grouting KM 5.....	105
Gambar 5.16 Pemodelan <i>ground anchor</i> di lokasi KM 5 .....	108
Gambar 5.17 <i>Safety factor ground anchor</i> di lokasi KM 5 .....	108
Gambar 5.18 Dimensi balok penahan anchor di lokasi KM 8..	114
Gambar 5.19 Jarak tiap grouting pada lokasi KM 8.....	114
Gambar 5.20 Pemodelan <i>ground anchor</i> pada lokasi KM 8 .....	117
Gambar 5.21 <i>Safety factor ground anchor</i> di lokasi KM 8.....	117

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Nilai N-SPT dengan Parameter Tanah.....	12
Tabel 2.2 Parameter <i>Cohesion</i> dan <i>Friction Angle</i> untuk Batuan .....	13
Tabel 2.3 Hubungan Antara <i>Effective Cohesion</i> dan <i>Friction Angle</i> pada Tanah Kohesif .....	13
Tabel 2.4 Nilai Faktor Reduksi .....	21
Tabel 2.5 Tabel Hubungan Sudut Geser dengan $K_u$ .....	37
Tabel 4.1 Rekapitulasi Parameter Tanah di KM 5 .....	53
Tabel 4.2 Rekapitulasi Parameter Tanah di KM 8 .....	54
Tabel 4.3 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Kedalaman 3 m di Lokasi KM 5.....	57
Tabel 4.4 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Kedalaman 5 m di Lokasi KM 5.....	58
Tabel 4.5 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Kedalaman 7 m di Lokasi KM 5.....	59
Tabel 4.6 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Kedalaman 3 m di Lokasi KM 8.....	60
Tabel 4.7 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Kedalaman 5 m di Lokasi KM 8.....	61
Tabel 4.8 Data Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Kedalaman 7 m di Lokasi KM 8.....	62
Tabel 4.9 Parameter Tanah di KM 5 untuk Program GeoStudio	65
Tabel 4.10 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5.....	66
Tabel 4.11 Parameter Tanah di KM 8 untuk Program GeoStudio .....	67
Tabel 4.12 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8.....	68
Tabel 4.13 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5 dengan Asumsi Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Hingga Kedalaman 3 m .....	70

Tabel 4.14 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5 dengan Asumsi Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Hingga Kedalaman 5 m .....	71
Tabel 4.15 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5 dengan Asumsi Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Hingga Kedalaman 7 m .....	71
Tabel 4.16 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8 dengan Asumsi Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Hingga Kedalaman 3 m .....	74
Tabel 4.17 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8 dengan Asumsi Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Hingga Kedalaman 5 m .....	74
Tabel 4.18 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8 dengan Asumsi Tanah <i>Behaving Like Sand</i> Hingga Kedalaman 7 m .....	75
Tabel 5.1 Perhitungan Desain Geotextile di KM 8 (1).....	84
Tabel 5.2 Perhitungan Desain Geotextile di KM 8 (2).....	85
Tabel 5.3 Parameter Tanah.....	91
Tabel 5.4 Perhitungan Panjang <i>Grouting</i> di Lokasi KM 5.....	101
Tabel 5.5 Panjang <i>Grouting</i> Total di Lokasi KM 5.....	102
Tabel 5.6 Perhitungan Panjang <i>Grouting</i> di Lokasi KM 8.....	111
Tabel 5.7 Panjang <i>Grouting</i> Total di Lokasi KM 8.....	112
Tabel 5.8 Rekapitulasi Biaya Material <i>Soil Reinforcement</i> .....	121
Tabel 5.9 Rekapitulasi Biaya Material Subdrain.....	121
Tabel 5.10 Total Biaya Material <i>Bored Pile</i> .....	123
Tabel 5.11 Total Biaya <i>Ground Anchor</i> di Lokasi KM 5.....	124
Tabel 5.12 Total Biaya <i>Ground Anchor</i> di Lokasi KM 8.....	126



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

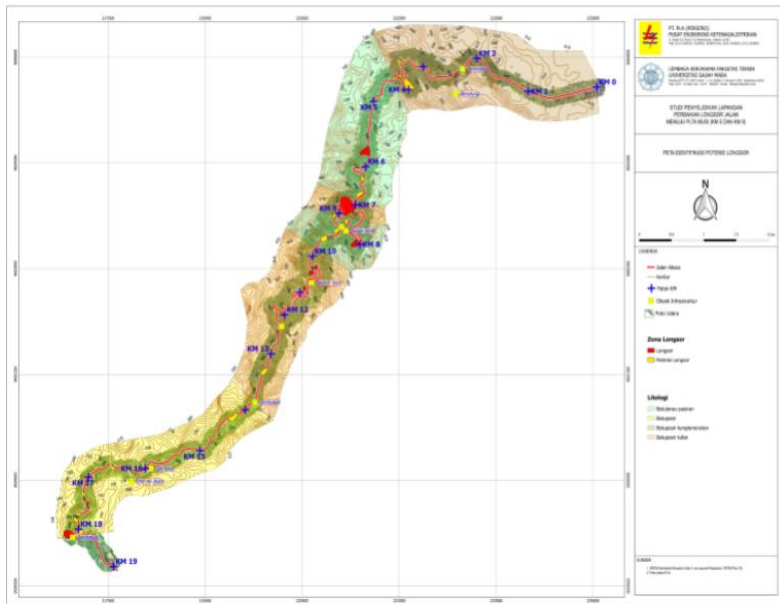
### **1.1 Latar Belakang**

PLTA Musi merupakan pembangkit listrik tenaga air yang terletak di Desa Ujan Mas Atas, Kecamatan Ujan Mas, Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu. PLTA ini dinyatakan sebagai pembangkit listrik tenaga air yang terbesar di Sumatera. Energi yang dihasilkan mencapai 210 MW sehingga mampu menyuplai kebutuhan listrik seluruh wilayah Bengkulu; bahkan energi listrik yang dihasilkan masih berlebih sehingga listrik tersebut didistribusikan ke Sumatera Selatan dan Lampung. Akan tetapi, saat ini ada masalah dengan jalan akses yang menuju lokasi tersebut.

Jalan akses PLTA Musi memiliki panjang kurang lebih 19 kilometer dengan lebar sebesar 14 meter. Secara administratif, jalan ini melintasi dua wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Kepahiang dan Kabupaten Bengkulu Tengah. Jalan akses ini berada pada daerah dataran tinggi dan memiliki jenis tanah relatif batu pasir. Jalan ini memiliki kemiringan lahan cukup tajam dan curam, sehingga diperlukan perencanaan yang tepat agar tidak terjadi kerusakan atau kelongsoran pada lereng. Peta jalan akses dapat dilihat pada Gambar 1.1 sedangkan peta kelongsoran jalan akses pada lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.2



Gambar 1.1 Lokasi jalan akses menuju PLTA Musi  
(Sumber: Google Earth)



Gambar 1.2 Peta kerusakan di sekitar lokasi jalan akses PLTA Musi, Bengkulu  
(Sumber: PT PLN (Persero))

Pada tahun 2017 terjadi beberapa kerusakan berupa longsor pada lereng di area jalan akses PLTA Musi, yaitu KM 5, KM 7, KM 8, KM 10 dan KM 11. Beberapa lokasi dengan kelongsoran yang cukup parah adalah KM 5 dan KM 8. Pada lokasi lereng KM 5, kelongsoran yang terjadi cukup panjang, sedangkan pada lokasi KM 8, longsor terjadi pada lereng yang curam. Area kelongsoran lereng pada kedua lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.5 dan Gambar 1.6. Kelongsoran tersebut terjadi pada saat hujan lebat. Hal ini ditunjang dengan data curah hujan pada daerah Bengkulu. Pada tahun 2017, curah hujan bahkan mencapai hingga 3918 mm/tahun. Kemungkinan terjadinya longsor akibat hujan yang sangat lebat akan selalu ada apabila tidak dilakukan

perencanaan perkuatan lereng. Hal ini dikarenakan Bengkulu merupakan salah satu provinsi dengan curah hujan tertinggi.



Gambar 1.3 Kondisi longsor di KM 5  
(Sumber: PT. PLN (Persero))



Gambar 1.4 Kondisi longsor di KM 8  
(Sumber: PT. PLN (Persero))



ini. Hal ini dikarenakan gagalnya saluran drainase bukan merupakan satu-satunya penyebab kelongsoran.

Hujan yang lebat kerap dijadikan faktor utama yang menyebabkan kelongsoran. Namun, ada teori baru yang mengasumsikan bahwa pada lereng tanah tersebut sudah ada retakan terlebih dahulu. Mochtar (2014) mencetuskan teori *cracked soil approach* dengan mengasumsikan bahwa retakan sudah ada di dalam tanah dan lereng, dan retakan tersebut merupakan faktor utama yang menyebabkan hujan yang sangat lebat mampu melongsorkan lereng. Pendekatan ini juga mengasumsikan bahwa retakan di dalam tanah sudah ada cukup lama dan sudah beberapa kali dipenuhi air hujan. Untuk hujan kecil hingga sedang, retakan tersebut hanya sebagian dipenuhi oleh air. Namun, ketika hujan yang terjadi sangat lebat, retakan tersebut akan sepenuhnya terisi oleh air hujan yang apabila terjadi terus menerus maka lama-kelamaan retakan tersebut akan semakin besar. Retakan inilah yang dapat menyebabkan kelongsoran pada lereng. Untuk mengatasi longsor, dibutuhkan beberapa alternatif perkuatan lereng, antara lain seperti *soil reinforcement*, *bored pile*, dan *ground anchor*, di samping dengan perencanaan perbaikan saluran drainase yang ada. Lokasi KM 8 memiliki lereng yang curam, maka perencanaan perkuatan dengan menggunakan *bored pile* tidak dilakukan. Jadi, perencanaan untuk perbaikan lereng jalan yang longsor harus dilakukan berdasarkan pendekatan *cracked soil* di atas.

Jalan ini sangat penting untuk menunjang aspek transportasi masyarakat Bengkulu. Selain digunakan sebagai jalan akses utama menuju PLTA Musi, jalan ini kerap digunakan untuk memasok bahan pangan dari daerah luar. Hal ini dikarenakan Provinsi Bengkulu masih belum bisa memenuhi kebutuhan pangan mereka, sehingga masih harus memasok bahan pangan tersebut dari daerah Sumatera Selatan maupun Lampung. Apabila kelongsoran jalan akses ini tidak ditangani secepatnya, maka kegiatan transportasi untuk pemenuhan bahan pangan tersebut akan terkendala.

Mengingat pentingnya jalan akses ini, maka kelongsoran tersebut harus ditangani secepatnya agar tidak menjadi semakin parah. Upaya ini merupakan tindakan darurat untuk mencegah kerusakan pada beberapa lokasi lainnya yang berpotensi mengalami kelongsoran. Dengan menggunakan cara pendekatan *cracked soil* untuk mendapatkan alternatif perkuatan lereng yang paling efektif, diharapkan longsor di masa penghujan yang akan datang dapat diminimalisir atau bahkan tidak ada sama sekali. Hal ini juga didukung dengan perencanaan subdrain di belakang jalan sehingga perencanaan perkuatan tidak perlu mempertimbangkan pengaruh air. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencarian alternatif permanen yang terbaik dari segi biaya untuk mengatasi kelongsoran pada KM 5 dan KM 8 jalan akses PLTA Musi Bengkulu pada musim penghujan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka beberapa masalah yang harus dibahas adalah:

1. Bagaimana hasil analisa kestabilan lereng dan bidang longsor yang terjadi pada lereng KM 5 dan KM 8 tepi jalan akses bila berdasarkan *cracked soil approach*?
2. Bagaimana mekanisme kelongsoran di KM 5 dan KM 8 jalan akses PLTA Musi menurut *cracked soil approach*?
3. Bagaimana perencanaan subdrain dan perkuatan stabilitas lereng KM 5 dan KM 8 tepi jalan akses PLTA Musi dengan menggunakan *soil reinforcement*?
4. Bagaimana perencanaan perkuatan stabilitas lereng KM 5 tepi jalan akses PLTA Musi dengan menggunakan *bored pile*?
5. Bagaimana perencanaan perkuatan stabilitas lereng KM 5 dan KM 8 tepi jalan akses PLTA Musi dengan menggunakan *ground anchor* untuk lereng yang curam?
6. Apakah alternatif solusi terbaik untuk mengatasi kelongsoran pada musim penghujan secara permanen dari segi biaya?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya perencanaan ini adalah:

1. Mengetahui hasil analisa kestabilan lereng dan bidang longsor yang terjadi pada lereng KM 5 dan KM 8 tepi jalan akses bila berdasarkan *cracked soil approach*.
2. Mengetahui mekanisme kelongsoran di KM 5 dan KM 8 jalan akses PLTA Musi menurut *cracked soil approach*.
3. Mendapatkan perencanaan subdrain dan perkuatan stabilitas lereng KM 5 dan KM 8 tepi jalan akses PLTA Musi dengan menggunakan *soil reinforcement*.
4. Mendapatkan perencanaan perkuatan stabilitas lereng KM 5 tepi jalan akses PLTA Musi dengan menggunakan *bored pile*.
5. Mendapatkan perencanaan perkuatan stabilitas lereng KM 5 dan KM 8 tepi jalan akses PLTA Musi dengan menggunakan *ground anchor* untuk lereng yang curam.
6. Mengetahui alternatif solusi terbaik untuk mengatasi kelongsoran pada musim penghujan secara permanen dari segi biaya.

### 1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi permasalahan pada Tugas Akhir ini, maka diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Perencanaan hanya akan dilakukan pada lokasi KM 5 dan KM 8.
2. Biaya yang dihitung hanya berupa biaya kebutuhan material.
3. Tidak membahas metode dan waktu pelaksanaan alternatif.
4. *Soil reinforcement* yang digunakan adalah *geotextile*.



## **1.5 Manfaat**

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan alternatif permanen terbaik dari segi biaya untuk mengatasi kelongsoran pada lereng jalan akses PLTA Musi pada musim penghujan. Selain itu, diharapkan Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi dalam perencanaan perkuatan lereng pada kasus kelongsoran yang sejenis sehingga tidak ada lagi gangguan pada aktivitas transportasi jalan.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jenis Tanah dan Perilakunya

Berdasarkan karakteristiknya, tanah dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu:

a. Tanah Tak Berkohesi

Kestabilan lereng dari tanah ini ( $\phi > 0$ ,  $C = 0$ ) dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu :

- Sudut geser dalam ( $\phi$ )
- Kelandaian lereng yang dinyatakan dengan sudut ( $\beta$ )
- Berat volume tanah ( $\gamma$ )

Dalam perencanaan kestabilan lereng dari tanah tak berkohesi, ada beberapa sifat penting yang perlu diperhatikan, yaitu :

- Tanah tak berkohesi mudah tererosi oleh limpasan permukaan (*surface run-off*), sehingga geometri lereng mudah berubah.
- Tanah tak berkohesi yang jenuh air mempunyai potensi tinggi terhadap bahaya *liquefaction* (*Liquefaction* atau Likuifaksi adalah fenomena di mana kekuatan dan kekakuan tanah berkurang dikarenakan pergerakan tanah).
- Tanah tak berkohesi yang kering mudah mengalami penurunan bila terkena beban siklik (vibrasi).

b. Tanah Berkohesi

Kestabilan lereng dari tanah ini dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu :

- Kekuatan geser yang dinyatakan dalam ( $\phi$ ) dan ( $C$ )
- Kelandaian talud yang dinyatakan dengan sudut ( $\beta$ )
- Tinggi lereng ( $H$ )

- Berat volume tanah ( $\gamma$ )
- Tekanan air pori tanah.

## 2.2 Korelasi Data Tanah

Dikarenakan data tanah di lokasi proyek yang didapatkan hanya berupa nilai SPT dari setiap meter kedalaman, maka perlu dilakukan korelasi antara nilai SPT dengan parameter-parameter tanah seperti pada Tabel 2.1, Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Hubungan Nilai N-SPT dengan Parameter Tanah

<i>Cohesionless Soil</i>					
N (blows)	0-3	44108	Nov-30	31-50	>50
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	*	42705	14-18	16-20	18-23
$\phi$ (°)	*	25-32	28-36	30-40	>35
<i>State</i>	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
Dr (%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
<i>Cohesive Soil</i>					
N (blows)	<4	43986	42156	16-25	>25
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
qu (kPa)	25	20-50	30-60	40-200	>100
<i>Consistency</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Sumber: Bowles (1984) dalam Sari (2017)

Tabel 2.2 Parameter *Cohession* dan *Friction Angle* untuk Batuan

Origin	Rock Type	Shear Strength	
		Cohession (Mpa)	Friction Angle (°)
Sedimentary - soft	Sandstone (triassic), coal, chalk, shale, limestone (triassic)	1 s/d 20	25 s/d 35
Sedimentary - hard	Limestone, dolomite, greywacke sandstone (carbomiferous), limestone (carbomiferous)	10 s/d 30	35 s/d 45
Metamorphic - non foliated	Quartzite, marble, gneiss	20 s/d 40	30 s/d 40
Metamorphic - foliated	Schist, slate, phyllite	10 s/d 30	25 s/d 35
Igneous - acid	Granite	30 s/d 50	45 s/d 55
Igneous - basic	Basalt	30 s/d 50	30 s/d 40

(Sumber: Burt Look, 2007)

Tabel 2.3 Hubungan Antara *Effective Cohession* dan *Friction Angle* pada Tanah Kohesif

Type	Soil Description/State	Effective Cohession (kPa)	Friction Angle (Degree)
Cohesive	Soft - organic	5 s/d 10	10 s/d 20
	Soft - non organic	10 s/d 20	15 s/d 25
	Stiff	20 s/d 50	20 s/d 30
	Hard	50 s/d 100	25 s/d 30

(Sumber : Burt Look, 2007)

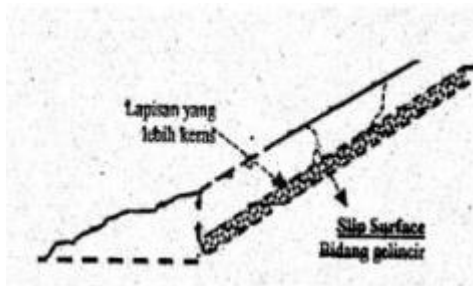
## 2.3 Lereng

### 2.3.1 Jenis Kelongsoran Lereng

Berdasarkan jenis bidang longsohnya, kelongsoran lereng dibagi menjadi 4, yaitu:

#### 1. *Translational Slide*

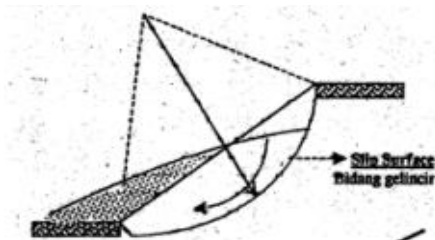
Longsor translasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai. Longsor ini terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan.



Gambar 2.1 *Translational slide*

#### 2. *Rotational Slide*

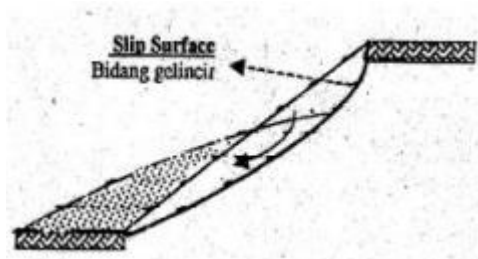
Longsor rotasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang longsor berbentuk cekung. Kelongsoran ini berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen.



Gambar 2.2 *Rotational slide*

### 3. *Surface Slide*

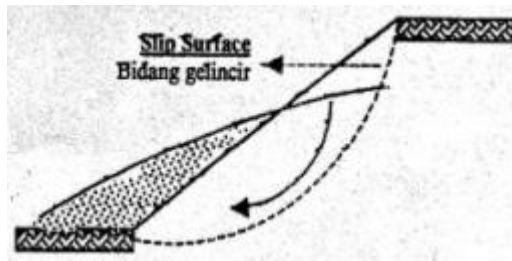
Kelongsoran ini memiliki bidang longsor yang dangkal dan masih dalam batas lereng.



Gambar 2.3 *Surface slide*

### 4. *Deep Slide*

Kelongsoran *deep slide* memiliki bidang longsor yang terletak jauh dibawah permukaan tanah.



Gambar 2.4 *Deep slide*

## 2.3.2 Faktor – Faktor Penyebab Kelongsoran

Material yang membentuk lereng memiliki kecenderungan tergelincir dibawa beratnya sendiri dan gaya-gaya luar yang ditahan oleh kuat geser tanah dari material tersebut. Gangguan terhadap kestabilan terjadi bila tahanan geser tanah tidak dapat mengimbangi gaya-gaya yang menyebabkan gelinciri pada bidang longsor. Terzaghi (1950) membagi penyebab longsor lereng terdiri dari 2 hal, antara lain:

### 1. Faktor Pengaruh Luar (Eksternal)

Faktor eksternal terjadi akibat meningkatnya tegangan geser yang terjadi pada tanah sehingga *safety factor*-nya menurun ( $SF < 1$ ). Hal ini disebabkan oleh faktor – faktor sebagai berikut:

- Kaki lereng tererosi oleh aliran sungai atau air hujan.
- Adanya kegiatan galian pada lereng.
- Air hujan yang tertahan di atas lereng.
- Berat timbunan tanah pada lereng.
- Berat bangunan di atas lereng.
- Perubahan geometri lereng akibat getaran berupa gempa bumi, ledakan dan getaran mesin.

### 2. Faktor Pengaruh Dalam (Internal)

Faktor internal terjadi akibat penurunan kekuatan geser tanah. Adapun penyebabnya antara lain:

- Material tanah pembentuk lereng dan struktur geologi.
- Kemiringan lereng.
- Tekanan air tanah.
- Pelapukan.
- Perubahan berat volume dan tekanan air pori tanah.

## 2.4 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng merupakan suatu telaah yang digunakan untuk memeriksa keamanan lereng alamiah, lereng galian maupun lereng timbunan. Oleh karena itu, faktor keamanan atau *safety factor* ( $SF$ ) harus diperhitungkan. Faktor keamanan didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan kelongsoran Untuk menentukan angka keamanan dari suatu lereng dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Das, 1985) :



$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.1)$$

dimana:

SF = angka keamanan

$\tau_f$  = kekuatan tanah untuk menahan kelongsoran ( $\text{kN/m}^2$ )

$\tau_d$  = gaya dorong yang bekerja sepanjang bidang longsor ( $\text{kN/m}^2$ )

Menurut teori Mohr-Coulomb, tahanan geser ( $\tau$ ) yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang longsohnya dinyatakan dengan:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (2.2)$$

dimana:

$c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  = tegangan normal ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varphi$  = sudut geser dalam tanah ( $^\circ$ )

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi ( $\tau_d$ ) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsohnya (Chasanah, 2012):

$$\tau_d = cd + \sigma \tan \varphi_d \quad (2.3)$$

dimana:

$cd$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varphi_d$  = sudut geser yang bekerja sepanjang bidang longsor ( $^\circ$ )

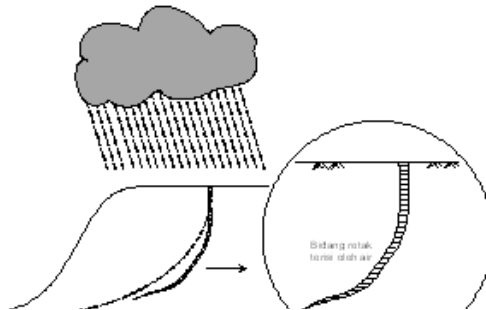
Dengan memasukkan persamaan (2.2) dan (2.3) ke persamaan (2.1) maka diperoleh persamaan (2.4) seperti berikut:

$$SF = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{cd + \sigma \tan \varphi_d} \quad (2.4)$$

Secara teoritis, suatu lereng dapat diketahui longsor atau tidak berdasarkan nilai SF-nya. Apabila nilai  $SF < 1$ , maka lereng tersebut terjadi longsor. Jika  $SF = 1$ , maka kondisi lereng dapat dinyatakan kritis atau tepat akan mengalami longsor. Sedangkan apabila  $SF > 1$ , maka lereng dapat dinyatakan stabil dan tidak mengalami longsor.

## 2.5 Cracked Soil Approach

*Cracked soil approach* adalah teori yang mengasumsikan bahwa retakan sudah ada di dalam tanah dan lereng, dan retakan tersebut merupakan faktor utama yang menyebabkan hujan yang sangat lebat mampu melongsorkan lereng. Pendekatan ini juga mengasumsikan bahwa retakan di dalam tanah sudah ada cukup lama dan sudah beberapa kali dipenuhi air hujan. Untuk hujan kecil hingga sedang, retakan tersebut hanya sebagian dipenuhi oleh air.



Gambar 2.5 Retakan pada tanah saat hujan lebat

Namun, ketika hujan yang terjadi sangat lebat, retakan tersebut akan sepenuhnya terisi oleh air hujan yang apabila terjadi terus menerus maka lama-kelamaan retakan tersebut akan semakin besar. Retakan inilah yang dapat menyebabkan kelongsoran pada lereng.

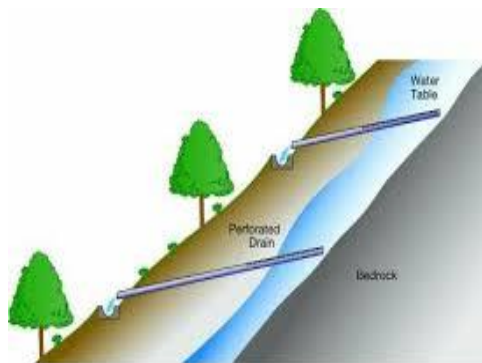
Bidang-bidang keretakan yang hampir selalu dilalui air hujan tersebut lambat laun mengalami erosi oleh air hujan; partikel tanah yang lebih halus seperti lanau dan lempung dengan mudah terbawa oleh rembesan air hujan tersebut, sehingga pada retakan tersebut hanya tertinggal butiran tanah pasir saja, juga kadang-kadang dapat tersisa fraksi kerikil. Jadi pada semua bidang keretakan yang telah terjadi, akan tertinggal lapisan pasir saja. Yang menentukan stabilitas lereng terhadap kelongsoran adalah adanya bidang-bidang keretakan yang sudah terisi pasir tersebut.

Mochtar (2014) juga menyatakan bahwa pendekatan *cracked soil* dapat digunakan untuk desain stabilitas timbunan jalan raya. Perancang harus mempertimbangkan timbunan jalan

raya sebagai jenuh penuh dan permukaan air harus diasumsikan mengikuti permukaan atas timbunan. Hal ini untuk mensimulasikan kondisi ketika retakan berkembang di dalam tanah dan terjadi hujan lebat. Namun, ketika sistem subdrain yang memadai dirancang untuk timbunan, perancang dapat mengabaikan keberadaan air di timbunan dan permukaan air dapat dirancang untuk mengikuti permukaan air alami di lapangan.

## 2.6 Subdrain

Perencanaan subdrain dilakukan untuk menurunkan muka air tanah yang tinggi seminimum mungkin, sehingga dapat meningkatkan nilai SF lereng. Muka air tanah tertinggi terjadi ketika hujan dan setelah hujan saat air genangan mulai merembes ke dalam tanah. Subdrain yang direncanakan terbuat dari susunan batu pecah dan kerikil yang disusun menyerupai bronjong dan dibungkus dengan geotextile non-woven agar butiran tanah tidak ikut terbawa keluar bersamaan dengan air. Gambar 2.6 merupakan contoh subdrain.



Gambar 2.6 Subdrain pada lereng  
(Sumber: google image)

## 2.7 Perencanaan Perkuatan dengan *Soil Reinforcement*

*Soil reinforcement* merupakan perkuatan dengan sistem stabilisasi internal yang memanfaatkan penyaluran tegangan dari elemen perkuatan kepada tanah urug yang terjadi melalui gesekan antara permukaan elemen perkuatan dengan tanah dan tahanan pasif yang timbul antara bagian elemen perkuatan yang tegak lurus terhadap pergerakan relatif antara tanah dengan perkuatannya. Pada perencanaan kali ini, *soil reinforcement* yang digunakan merupakan geotextile.

### 2.7.1 Komponen Utama

Pada dasarnya, *soil reinforcement* terdiri atas 3 komponen utama, yaitu bagian muka (panel muka), elemen perkuatan, dan tanah urug.

#### 1. Bagian Muka (Panel Muka)

Panel muka berfungsi untuk menjaga material tanah agar tidak tererosi. Dalam kasus tertentu, panel muka juga berfungsi untuk mengakomodasi drainase. Umumnya panel muka dapat menggunakan panel beton pra-cetak, modular blok, gabion, *wire mesh* dan *shotcrete*.

#### 2. Elemen Perkuatan

Elemen perkuatan yang digunakan dapat dikelompokkan menjadi 2 kategori, yaitu material dengan regangan kecil atau relatif tidak meregang (*intextensible material*) misalnya baja; material dengan regangan yang relatif besar (*extensible material*) misalnya geosintetik.

#### 3. Tanah Urug

Tanah urug umumnya dianjurkan untuk menggunakan tanah granular sebab tanah granular memiliki kemampuan menyalurkan tegangan, ketahanan dan drainase yang lebih baik dibandingkan tanah lempung. Kriteria penggunaan tanah urug harus mempertimbangkan pengaruh jangka panjang keseluruhan struktur dan pengaruh terhadap material perkuatan.

### 2.7.2 Perencanaan Geotextile

Pada perencanaan *geotextile* diperlukan data-data yang didapatkan dari hasil *running* program GeoStudio. Adapun data – data yang diperlukan adalah nilai *safety factor* (SF), momen penahan ( $M_R$ ), dan jari-jari kelongsoran (R). Kebutuhan kekuatan ( $\Delta M_R$ ) bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$M_D = \frac{Mr}{SF} \quad (2.5)$$

$$\Delta M_R = SF_{rencana} \times M_D - M_R \quad (2.6)$$

Pada perencanaan *geotextile* juga perlu diperhatikan kekuatan tarik dari bahan dalam menerima atau memikul gaya geser saat terjadinya kelongsoran. Untuk menghitung kekuatan bahan geotextile digunakan persamaan :

$$T_{allow} = T_{ult} \left( \frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD}} \right) \quad (2.7)$$

dimana:

$T_{allow}$  = kekuatan geotextile yang tersedia

$T_{ult}$  = kekuatan ultimate geotextile

$RF_{ID}$  = faktor reduksi akibat kesalahan pemasangan

$RF_{CR}$  = faktor reduksi akibat rangkak

Tabel 2.4 Nilai Faktor Reduksi

Penggunaan geotextile	Nilai faktor reduksi (RF)			
	Kesalahan Pemasangan	Rangkak	Pengaruh Kimia	Pengaruh Biologi
Separation	1.1 - 2.5	1.5 - 2.5	1.0 - 1.5	1.0 - 1.2
Cushioning	1.1 - 2.0	1.2 - 1.5	1.0 - 2.0	1.0 - 1.2
Unpaved roads	1.1 - 2.0	1.5 - 2.5	1.0 - 1.5	1.0 - 1.2
Walls	1.1 - 2.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.5	1.0 - 1.3
Embankments	1.1 - 2.0	2.0 - 3.5	1.0 - 1.5	1.0 - 1.3
Bearing Capacity	1.1 - 2.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.5	1.0 - 1.3
Slope Stabilization	1.1 - 1.5	2.0 - 3.0	1.0 - 1.5	1.0 - 1.3
Pavement Overlays	1.1 - 1.5	1.0 - 2.0	1.0 - 1.5	1.0 - 1.1
Railroads	1.5 - 3.0	1.0 - 1.5	1.5 - 2.0	1.0 - 1.2
Flexible Forms	1.1 - 1.5	1.5 - 3.0	1.0 - 1.5	1.0 - 1.1
Silt Fences	1.1 - 1.5	1.5 - 2.5	1.0 - 1.5	1.0 - 1.1

(Sumber: Koerner,1999)

$RF_{CD}$  = faktor reduksi akibat pengaruh kimia  
 $RF_{BD}$  = faktor reduksi akibat pengaruh biologi  
 $RF_{ID}$ ,  $RF_{CR}$ ,  $RF_{CD}$ ,  $RF_{BD}$  merupakan faktor reduksi akibat pengurangan kekuatan geotextile yang besarnya dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Untuk menghitung jumlah kebutuhan geotextile digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta M_R \leq T_{allow} \times \sum T_i \quad (2.8)$$

dimana:

$\sum T_i$  = penjumlahan jarak pasang masing-masing geotextile terhadap titik pusat jari-jari kelongsoran, hingga nilainya lebih besar dari  $\Delta M_R$  ketika dikalikan  $T_{allow}$

Panjang geotextile yang ditanam ( $L$ ) dapat diselesaikan dengan persamaan:

$$L = L_e + L_R \quad (2.9)$$

dimana:

$$L_e = \frac{T_{all} \times SF}{(\tau_{atas} + \tau_{bawah}) \times E} \quad (2.10)$$

$$T_i = Cu + \sigma v \tan \theta \quad (2.11)$$

keterangan:

$L_e$  = panjang geotextile yang berada di belakang bidang longsor

$L_R$  = panjang geotextile yang berada di depan bidang longsor; dapat diukur dengan program GeoStudio

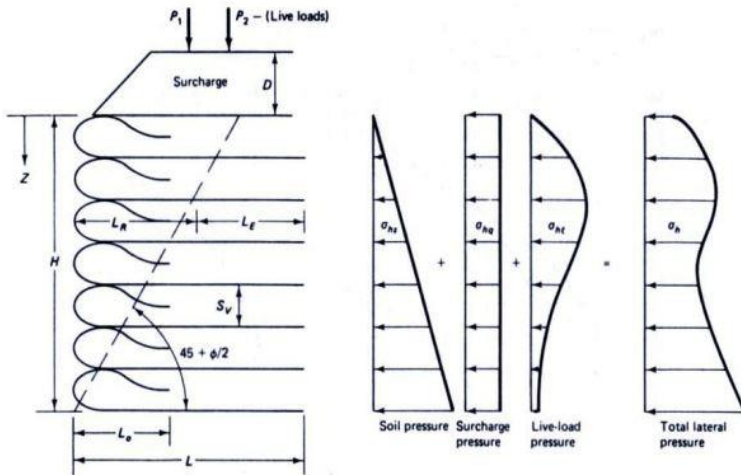
$\tau_{atas}$  = tegangan geser antara geotextile dengan tanah di atas geotextile

$\tau_{bawah}$  = tegangan geser antara geotextile dengan tanah di bawah geotextile

$c$  = kohesi tanah ( $c = 0$  apabila tanah pasir)

$\theta$  = sudut geser antara tanah

$SF$  = faktor keamanan (1.3 s/d 1.5)



Gambar 2.7 Konsep tekanan tanah dan teori untuk dinding *geotextile*

(Sumber: Koerner, 1999)

Panjang lipatan ( $L_o$ ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

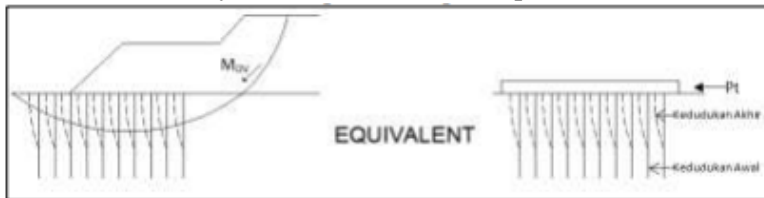
$$L_o = \frac{1}{2} L_e \quad (2.12)$$

## 2.8 Perencanaan Perkuatan dengan *Bored Pile*

*Bored pile* adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, 2010). Pemasangan pondasi *bored pile* ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan *temporary casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Dalam Tugas Akhir ini, *bored pile* yang digunakan menggunakan prinsip seperti cerucuk dimana berfungsi untuk meningkatkan tahanan geser tanah.

### 2.8.1 Cerucuk untuk Meningkatkan Tahanan Geser Tanah

Penggunaan cerucuk dimasukkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, daya dukung tanah juga meningkat. Asumsi yang dipergunakan dalam konstruksi cerucuk dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada gambar tersebut kelompok tiang (cerucuk) dengan "rigid cap" pada permukaan tanah menerima gaya horisontal. Gaya horisontal ini adalah merupakan tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang gelincir. Konstruksi cerucuk yang dapat dipakai yaitu, cerucuk bambu, cerucuk kayu, cerucuk beton (mikropile) dan lain-lain.



Gambar 2.8 Asumsi Gaya yang Diterima Cerucuk  
(Sumber: Mochtar, 2012)

### 2.8.2 Kekuatan Cerucuk Terhadap Gaya Horizontal

Perhitungan cerucuk terhadap gaya horizontal berfungsi untuk mendapatkan jumlah cerucuk yang dibutuhkan. Perhitungan kekuatan satu buah cerucuk terhadap gaya horisontal adalah sebagai berikut (NAVFAC DM-7, 1971):

1. Menghitung faktor kekakuan relative (*relative stiffness factor*) seperti pada persamaan 2.13.

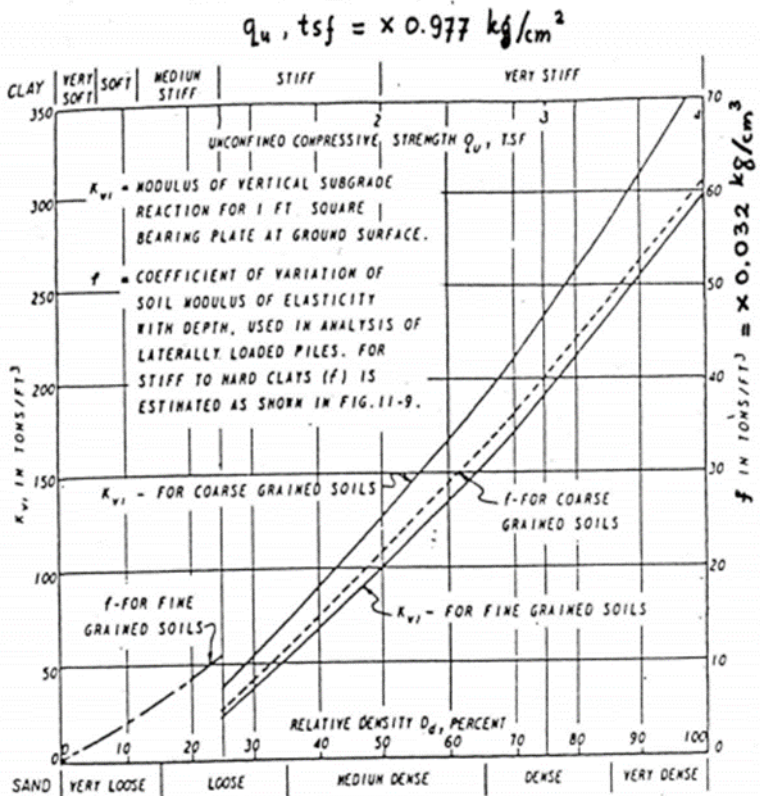
$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.13)$$

dimana:

- E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm<sup>2</sup>
- I = momen inersia tiang (cerucuk), cm<sup>4</sup>
- f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm<sup>3</sup> (Gambar 2.9)
- T = dalam cm



Harga  $f$  didapat dengan menggunakan kurva pada Gambar 2.9 (dari Design Manual, NAVFAC DM-7 1971) yang merupakan grafik hubungan antara  $f$  dengan *unconfined compression strength*,  $q_u = 2 C_u$ .



Gambar 2.9 Kurva untuk menentukan harga  $f$  dari berbagai jenis tanah

(Sumber : NAVFAC DM-7, 1971)

## 2. Gaya Horizontal yang Mampu Ditahan 1 Tiang

$$M_p = FM (P \times T) \quad (2.14)$$

dimana:

$M_p$  = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban  $P$ , kg-cm

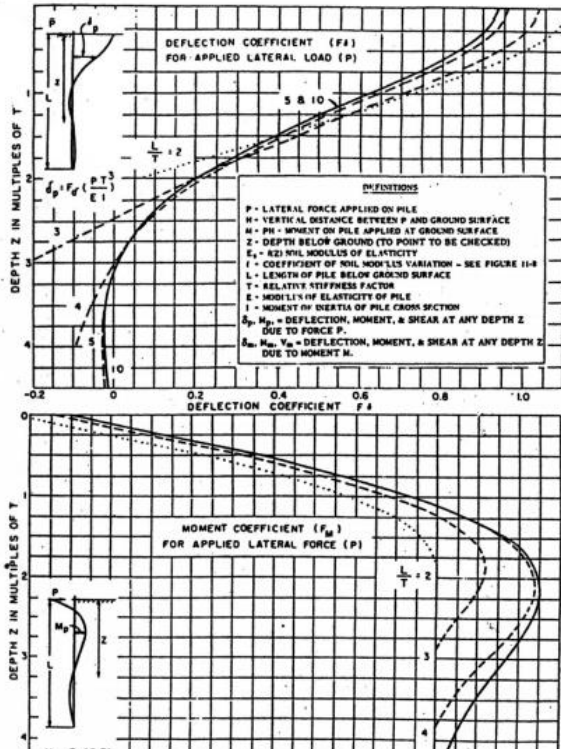
$FM$  = koefisien momen akibat gaya lateral  $P$

$P$  = gaya horisontal yang diterima cerucuk, kg

$T$  = faktor kekakuan relatif, cm

Dengan merencanakan panjang cerucuk yang tertahan di bawah/atas bidang gelincir ( $L$ ) didapat  $L/T$ . Dari harga  $L/T$  pada kedalaman ( $=Z$ ) dengan grafik Gambar 2.10 (dari Design Manual, NAVFAC DM-7 1971) maka didapatkan harga  $FM$ . Jadi gaya horizontal yang mampu dipikul oleh 1 (satu) cerucuk adalah :

$$P = \frac{M_p}{FM \times T} \quad (2.15)$$



Gambar 2.10 Grafik untuk mencari nilai  $F_M$   
(Sumber : NAVFAC DM-7, 1971)

Gaya maksimal  $P_{max}$  yang dapat ditahan oleh satu cerucuk terjadi bila  $M_p$  = momen maksimum lentur bahan cerucuk. Bila kekuatan bahan dan dimensi bahan diketahui, maka :

$$M_p \text{ max 1 cerucuk} = \frac{\sigma_{\text{max bahan}} \times I_n}{C} \quad (2.16)$$

dimana:

$\sigma_{mx}$  = tegangan tarik/tekan majsunyn dari bahan cerucuk

$I_n$  = momen inersia penampang cerucuk terhadap garis netral penampang

$C$  = 0.5  $D$ ,  $D$  = diameter cerucuk

Harga  $M_p$  yang telah diperoleh kemudian dipergunakan untuk menghitung gaya maksimum ( $P_{max}$ ) yang dapat ditahan oleh satu cerucuk, yaitu:

$$P_{\max 1 \text{ cerucuk}} = \frac{M_p \max 1 \text{ cerucuk}}{F_m \times T} \times Fkg \quad (2.17)$$

dimana menurut Mochtar & Arya (2002),

$$Fkg = 2.3 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_d$$

dimana:

-  $Y_t$  = variasi rasio tancap

Untuk  $X_t < 5$ ,

$$Y_t = 0.05 X_t \quad (2.18)$$

Untuk  $5 < X_t < 20$

$$Y_t = 0.09 X_t - 0.35 \quad (2.19)$$

Untuk  $X_t > 20$

$$Y_t = 1.45 \quad (2.20)$$

Dimana  $X_t$  = rasio tancap

$$= L/D$$

-  $Y_s$  = variasi spasi

$$= -0.057 (X_s)^2 + 0.614 (X_s) - 0.658 \quad (2.21)$$

Untuk  $X_s = 5$

$$Y_s = 1$$

Dimana  $X_s$  = spasi

$$= S/D$$

-  $Y_n$  = variasi spasi (sejajar)

$$= 1.051 - 0.047(X_n) \quad (2.22)$$

Untuk  $X_n = 1$

$$Y_n = 1$$

Dimana  $X_n$  = jumlah cerucuk

-  $Y_d$  = variasi rasio diameter

$$= 46.616 (X_d) - 3.582 \quad (2.23)$$

Untuk  $X_d = 0.1$

$$Y_d = 1$$

Dimana  $X_d$  = diameter

$$= D/T$$

### 2.8.3 Penentuan Jumlah Tiang

Untuk menghitung banyaknya tiang/cerucuk per-meter, maka ditentukan gaya horisontal total yang terjadi pada bidang gelincir (Pt). Gaya horizontal Pt tersebut kemudian direncanakan untuk dipikul oleh cerucuk. Untuk itu, Momen Dorong ( $M_D$ ) yang terjadi akibat beban timbunan dan beban lain yang ada perlu dihitung. Dengan menggunakan  $X_{stabil}$ , Geoslope, atau lainnya diperoleh angka keamanan minimum (SF min), Momen Penahan (MR), titik pusat bidang longsor, dan jari-jari kelongsoran. Dari data yang diperoleh tersebut kemudian dihitung Momen Dorong ( $M_D$ ), yaitu:

$$\text{Momen Dorong } (M_D) = \frac{MR}{SF \text{ min}} \quad (2.24)$$

dimana :

SF = Safety factor /angka keamanan

$M_R = \Sigma \Delta c_u \times L \times R$

$\Sigma \Delta c_u$  = tegangan geser undrained tanah dasar

L = panjang bidang gelincir

R = jari – jari putar bidang gelincir

Setelah besarnya  $M_D$  dan  $M_R$  diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung Momen Penahan Tambahan ( $\Delta M_R$ ) yang diperlukan untuk meningkatkan Angka Keamanan, SF, caranya :

- Menentukan Angka Keamanan Rencana (SF rencana)  
 $SF_{renc} \geq 1.10$  untuk beban sementara  
 $SF_{renc} \geq 1.50$  untuk beban tetap
- Menghitung Momen Penahan Tambahan ( $\Delta M_R$ )

$$\Delta M_R = (SF \text{ renc} - SF \text{ min}) \times M_D \quad (2.25)$$

Dengan diperolehnya harga  $\Delta M_R$ , besarnya tambahan gaya yang harus dipikul oleh cerucuk (Pt) dapat ditentukan dengan cara:

$$Pt = \frac{\Delta M_R}{R} \quad (2.26)$$

dimana:

$R$  = jari – jari kelongsoran

Jumlah cerucuk ( $n$ ) yang harus dipasang persatuan panjang adalah

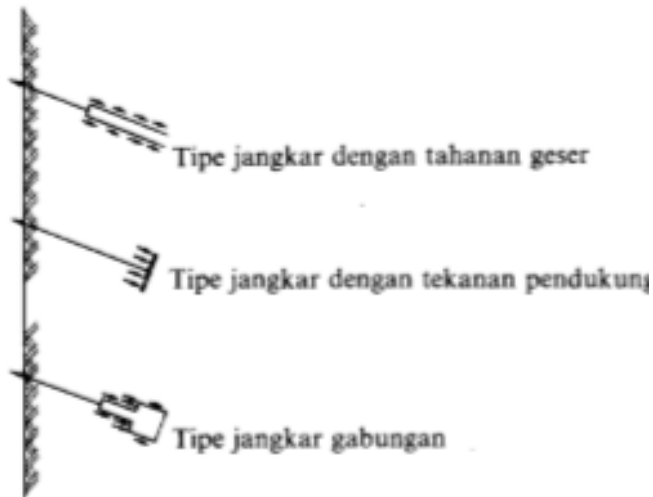
$$n = \frac{Pt}{P_{\max 1 \text{ cerucuk}} \Delta MR} = \frac{Pt}{(R \times P_{\max 1 \text{ cerucuk}})} \quad (2.27)$$

## 2.9 Perencanaan Perkuatan dengan *Ground Anchor*

*Ground anchor* memiliki bagian penting yang mengirimkan gaya tarik (*tensile force*) dari struktur utama ke tanah di sekitarnya. Kekuatan geser dari tanah digunakan untuk melawan gaya tarik tersebut serta untuk mengikat struktur *ground anchor* pada tanah. Struktur *ground anchor* biasanya terdiri dari baja tendon dengan kekuatan tinggi yang dipasang pada sudut kemiringan (inklinasi) tertentu dan pada kedalaman yang diperlukan untuk melawan beban yang ada.

### 2.9.1 Tipe-tipe *Ground Anchor*

1. Penjangkaran dengan tahanan geser. Jenis ini memakai batang jangkar yang silindris yang digROUT di dalam lubang bor dan gaya tarik ditimbulkan dari tahanan geser yang bekerja sekelilingnya.
2. Penjangkaran dengan plat pemikul. Jenis ini menggunakan suatu plat massif yang dipasang di dalam tanah sehingga tekanan tanah pasifnya yang bekerja dapat menahan gaya tarik.
3. Penjangkaran gabungan. Dimana ada bagian- bagian yang diperbesar dan tekanan pasif bersama-sama tahanan geser batangnya yang menahan gaya tarik, sehingga dapat disebut sebagai gabungan dari kedua metode terdahulu. Untuk membuat penjangkaran dengan diameter besar pembuatan lubangnya perlu menggunakan mata bor khusus atau semburan air bertekanan tinggi.



Gambar 2.11 Tipe-tipe *ground anchor*

(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

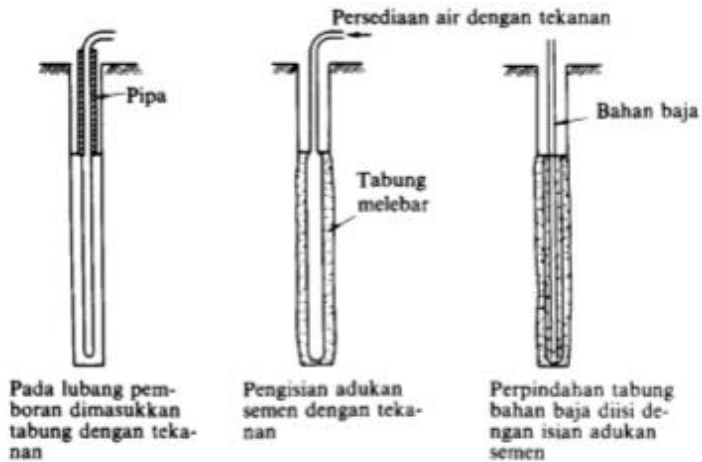
Jenis *ground anchor* yang paling sering digunakan dewasa ini adalah jenis 1. Sedangkan jenis 2 dan 3 digunakan apabila suatu lapisan tanah mempunyai tahanan geser yang tidak dapat diandalkan pada suatu kedalaman tertentu, atau lapisan yang lebih padat seperti *mudstone* terdapat pada kedalaman yang dangkal.

### 2.9.2 Metode Ground Anchor

Beberapa metode penjangkaran yang dipakai pada saat ini diantaranya :

1. Metode penjangkaran dengan grouting  
Setelah suatu batang baja atau kabel terpasang sebagai batang tarik di dalam lubang hasil pemboran, dilaksanakan grouting dan batang tarik ini dijangkar. Kemudian, dipasang alat “packer” untuk menahan keluarnya aliran semen dari lubang.
2. Metode penjangkaran dengan tabung bertekanan  
Metode dimana suatu tabung yang dapat mengembang dimasukkan ke dalam lubang hasil pemboran dan adukan

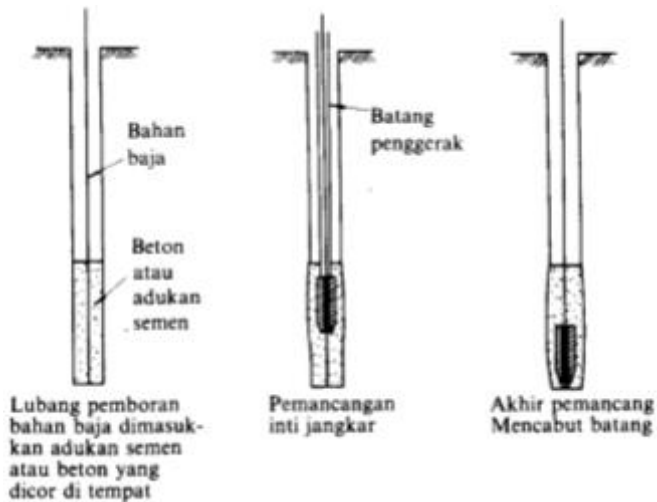
mengisi bagian luar dari dinding tabung dan kemudian air bertekanan dimasukkan ke dalam tabung tersebut agar mengembang (Gambar 2.12).



Gambar 2.12 Metode jangkar dengan tabung tekanan  
(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

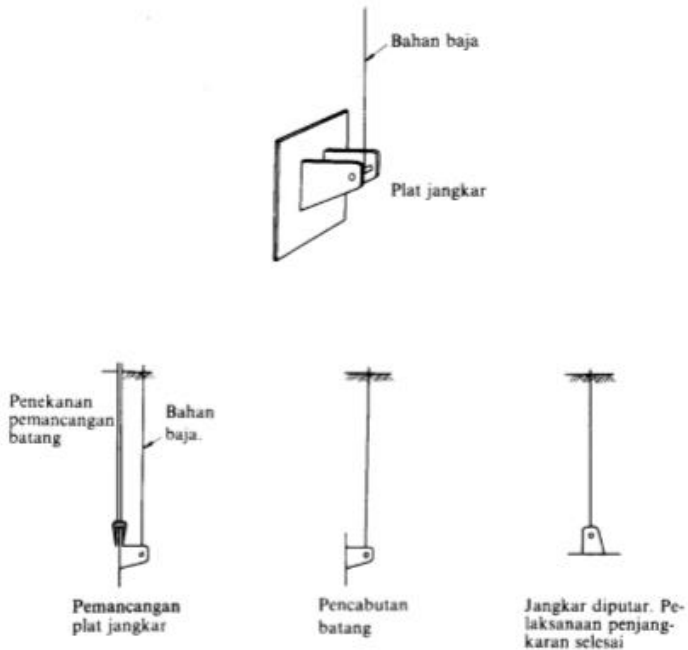
Batang PC baja dimasukkan ke lubangnya dan adukan diisikan ke dalam dasar lubang, lalu beton bertulang yang berlubang tengahnya sebagai inti dari jangkar ini dengan batang baja tadi sebagai pengarahnya dipukul masuk kedalam adukannya untuk memperbesar dinding lubangnya.





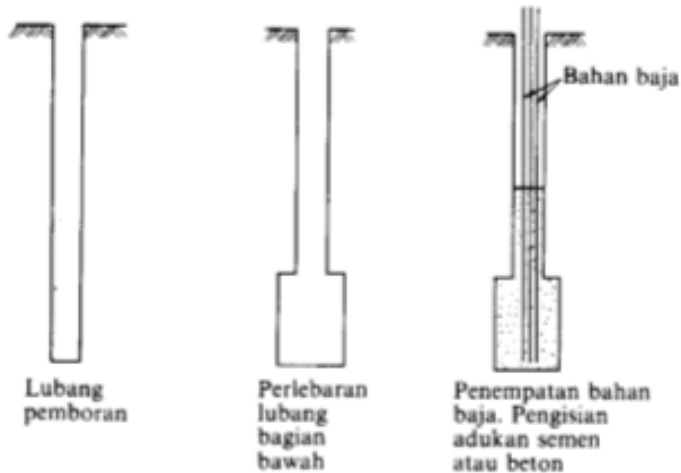
Gambar 2.13 Metode jangkar dengan inti yang dipancang  
(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

Metode ini disebut juga sebagai metode penjangkaran mekanis. Metode ini terdiri dari batang baja dan bagian jangkar yang terbuat dari plat baja dan dimasukkan ke dalam tanah dengan dipukul. Setelah dimasukkan, batang-batang baja itu ditarik sehingga plat tadi berputar dan menjadi plat penahan.



Gambar 2.14 Metode pelat jangkar  
(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

Setelah dibor dalam kedalaman yang diperlukan, mata bor khusus digunakan untuk memperbesar bagian dasar lubang yang menambah tahanan cabut jangka tersebut seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Metode jangkar dengan membesarkan bagian bawah  
(Sumber: Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 2000)

### 2.9.3 Perencanaan Ground Anchor

1. Pengaturan letak *ground anchor*  
Posisi, arah dan jarak antar *ground anchor* seharusnya ditentukan pertama pada saat perancangan.
  - a. Sudut pemasangan anchor  $10^\circ$  sampai  $-10^\circ$  dari arah horizontal.
  - b. Arah anchor parallel dengan arah keruntuhan tanah.
  - c. Jarak anchor ditentukan berdasarkan pengaruh antar anchor, yang ditinjau dari kekuatan anchor, diameter anchor, kedalaman, dan kekuatan geser tanah.
2. Mencari gaya tahanan dan dorong
  - Mencari  $\Delta MR$  yang akan dipikul oleh perkuatan *ground anchor*

$$M_{dorong} = \frac{M_{resisten}}{SF} \quad (2.28)$$

Dengan menggunakan rumus di atas, didapatkan nilai momen dorong yang selanjutnya dikalikan dengan SF rencana.

$$M_{res\ rencana} = M_{dorong} \times SF \quad (2.29)$$

Maka, didapatkanlah  $\Delta MR$  yang nantinya nilai  $\Delta MR$  tersebut akan dipakai sebagai nilai momen yang akan dipikul oleh kekuatan *ground anchor*.

$$\Delta M_R = M_{resisten\ rencana} - M_{resisten\ yang\ terjadi} \quad (2.30)$$

- Mencari nilai  $T_{max}$  dari kekuatan *ground anchor*

$$T_{max} = N \tan \phi \quad (2.31)$$

Yang dimana nilai  $T_{max}$  adalah nilai maksimum yang dipikul oleh *anchor* itu sendiri. Selanjutnya nilai  $T_{max}$  tersebut dikalikan dengan jari-jari bidang longsor. Kemudian didapatkan nilai momen dari *anchor* yang nantinya dibandingkan dengan nilai  $\Delta MR$ .

$$\Delta MR = N \tan \phi \times R \quad (2.32)$$

$$N_{anchor} = \frac{\Delta MR}{R \times \tan \phi} \quad (2.33)$$

### 3. Perhitungan panjang *grouting*

Panjang *grouting* adalah panjang *ground anchor* yang menahan gaya *stressing* yang melewati garis bidang longsor. Perhitungan panjang *grouting* adalah sebagai berikut:

$$N \times SF = C \times \pi \times D \times L \quad (2.34)$$

$$L = \frac{N \times SF}{C \times \pi \times D} \quad (2.35)$$

dimana:

$N$  = Kekuatan tarik jangkar

$C$  = Kekuatan geser

$D$  = Diameter *grouting*

$L$  = Panjang *grouting*

$SF = 1.5$  (konstruksi sementara) dan  $3$  (konstruksi permanen)

Adapun untuk tanah pasir ( $C_u = 0$ ) maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L = \frac{N \times SF}{\pi \times D \times k_u \times \tan \phi \times \sigma_{avg}} \quad (2.36)$$

dimana:

$L$  = Panjang *grouting*

$N$  = Kekuatan tarik jangkar

$D$  = Diameter *grouting*

$K_u$  = Koefisien tekanan tanah lateral untuk uplift

$\sigma_{avg}$  = Rata-rata tegangan vertikal sepanjang angkur

Tabel 2.5 Tabel Hubungan Sudut Geser dengan  $K_u$

$\phi$	$K_u$
25	1.2
30	1.5
35	2.5
40	3.9
45	5.3

(Sumber: Meyerhof (1968))

4. Perhitungan balok beton penahan

Perhitungan balok beton penahan *ground anchor* menggunakan pondasi telapak bujur sangkar dengan rumus sebagai berikut:

$$q_{ult} = 1.2 C' N_c' + q N_q' + 0.4 \gamma' B N_\gamma' \quad (2.37)$$

(Terzaghi)

dimana:

$C'$  = Kohesi tanah,  $C' = C_u$  (kN/m<sup>2</sup>)

$q$  =  $\gamma' \times$  kedalaman pondasi (m)

$\gamma'$  = Berat volume efektif (kN/m<sup>3</sup>)

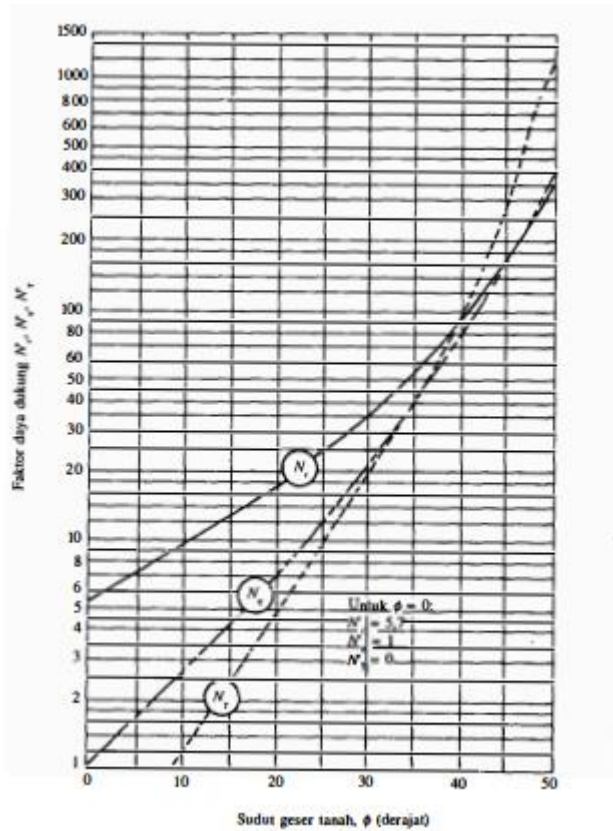
$B$  = Lebar pondasi (m)

$q_{ult}$  = Daya dukung ultimate (kN/m<sup>2</sup>)

$q_{ijin}$  =  $q_{ult}/SF$  (kN/m<sup>2</sup>)

$SF$  = 3 (beban tetap)

$N_c'$ ,  $N_q'$  dan  $N_\gamma'$  = Faktor daya dukung (nilai menggunakan Gambar 2.16)

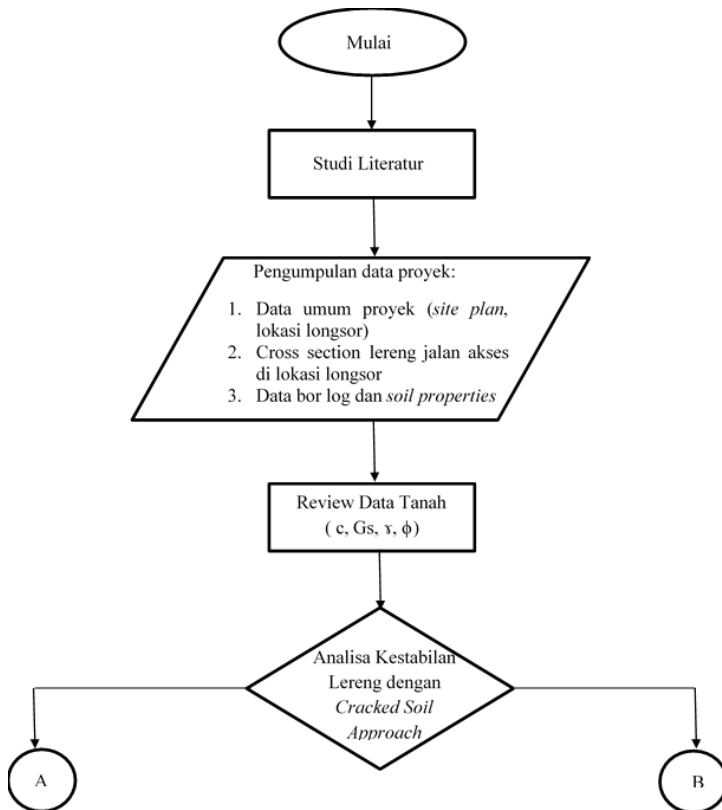


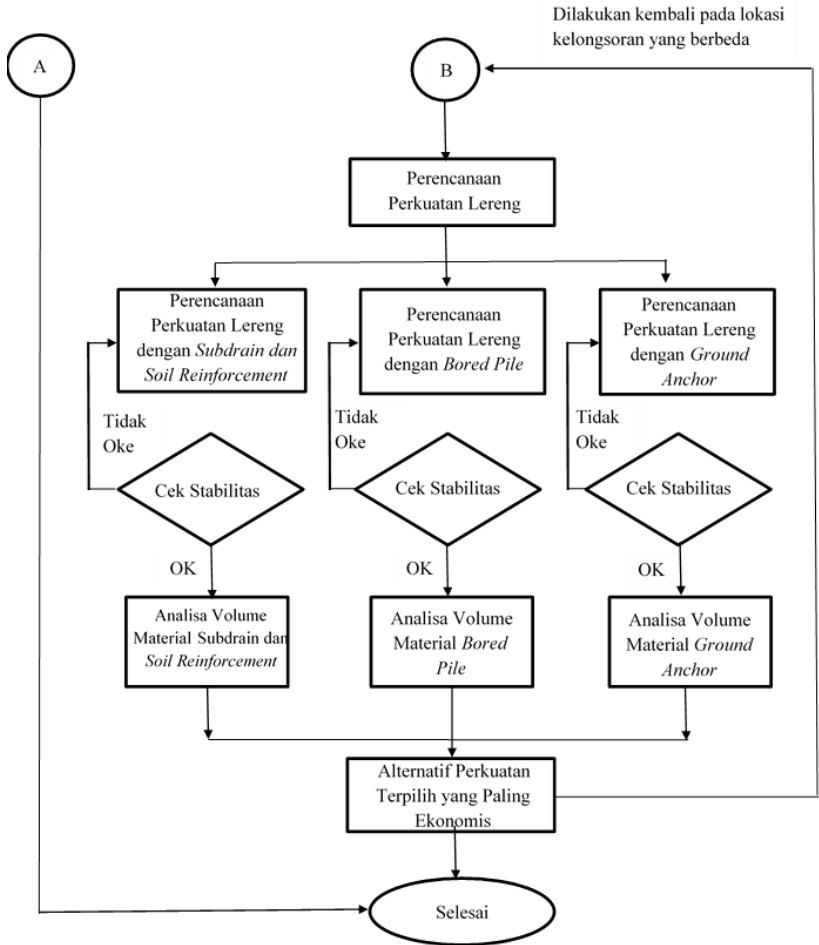
Gambar 2.16 Faktor daya dukung untuk keruntuhan geser menyeluruh menurut Terzaghi (Sumber: Das, 1985)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Bagan Alir Tahapan Perencanaan

Berikut ini adalah diagram alir dalam perencanaan ini:





Gambar 3.1 Diagram alir metodologi tugas akhir



### 3.2 Uraian Tahapan Perencanaan

Dari diagram alur di atas, metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pemahaman lebih lanjut terhadap permasalahan yang ada serta sebagai acuan dalam perencanaan Tugas Akhir ini. Diperlukan beberapa literatur untuk mendapatkan teori-teori yang relevan untuk membahas hal-hal berikut:

- a. Analisa stabilitas lereng.
- b. Perhitungan dan perencanaan dengan subdrain, *soil reinforcement* (geotextile), *bored pile*, dan *ground anchor*.

#### 2. Pengumpulan Data Proyek

Data proyek yang digunakan merupakan data sekunder yang terdiri atas :

- a. Data umum proyek: data *site plan*, lokasi kelongsoran, dan keadaan lingkungan di sekitarnya.
- b. *Cross section* lereng jalan akses yang longsor: data ini digunakan untuk melakukan analisa kestabilan lereng.
- c. Data bor log dan *soil properties*: data yang dibutuhkan adalah data N-SPT dan *soil properties* yang didapat dari hasil tes laboratorium.

#### 3. Review Data Tanah

Review data tanah dilakukan untuk mendapatkan beberapa data tanah, seperti  $c_u$ ,  $\phi$ , dan  $\tau$ . Juga dilakukan penggambaran *cross section* lapisan tanah berdasarkan data tanah yang telah diperoleh. Analisa data tanah ini nantinya digunakan untuk analisa stabilitas lereng.

#### 4. Analisis Kestabilan Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui bentuk bidang longsor, besar momen pendorong, dan nilai angka keamanan sebelum adanya perkuatan. Angka keamanan ini nantinya digunakan sebagai acuan untuk merencanakan

perkuatan lereng. Perhitungan stabilitas lereng dilakukan dengan *software* GeoStudio.

### **5. Perencanaan Perkuatan Lereng**

Adapun beberapa alternatif perkuatan lereng yang dapat diterapkan adalah:

1. Subdrain dan *soil reinforcement* (geotextile)
  - Merencanakan kedalaman subdrain yang akan dipasang.
  - Menghitung lembar geotextile yang diperlukan.
  - Menghitung panjang geotextile yang diperlukan.
2. *Bored pile*
  - Menghitung dimensi *bored pile* yang akan dipasang.
  - Merencanakan kedalaman *bored pile* yang akan dipasang.
  - Menghitung jumlah dan dimensi tulangan yang diperlukan.
3. *Ground anchor*
  - Merencanakan jumlah dan panjang *anchor* yang dibutuhkan.
  - Menghitung ukuran balok penahan *ground anchor* yang diperlukan.

### **6. Kontrol Kestabilan Perkuatan Lereng**

Setelah perencanaan perkuatan lereng selesai, maka perlu dilakukan kontrol angka keamanan untuk mengecek apakah perkuatan sudah sesuai dengan syarat keamanan stabilitas lereng. Jika belum memenuhi, maka perlu dilakukan perencanaan ulang sampai angka keamanan terpenuhi.

## **7. Perbandingan Perencanaan Perkuatan Lereng**

Perbandingan ini digunakan untuk mendapatkan perencanaan perkuatan lereng yang paling efektif dan ekonomis yang akan digunakan untuk perbaikan lereng jalan akses PLTA Musi yang longsor di KM 5 dan 8. Perbandingan ini hanya akan berdasarkan pada biaya material yang digunakan.

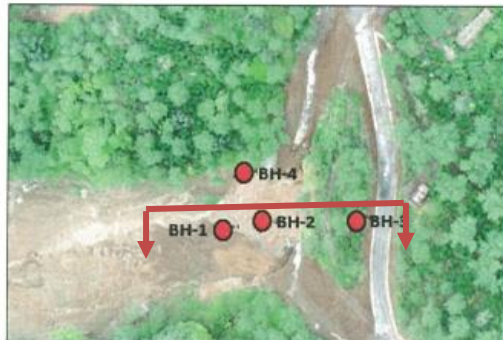
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV ANALISA DATA

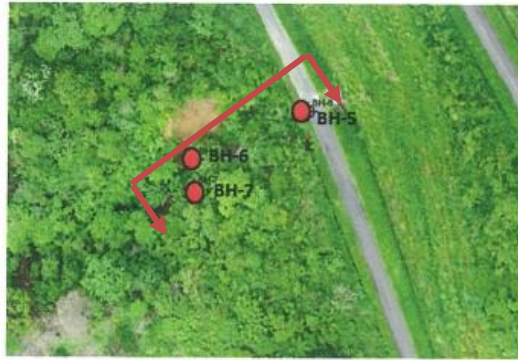
### 4.1 Analisa Data Tanah

#### 4.1.1 Lokasi Pengambilan Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah hasil penyelidikan tanah berupa *standard penetration test* (SPT) yang dilakukan oleh PT. PLN pada lereng tepi jalan akses PLTA Musi pada KM 5 dan KM 8 yang mengalami kelongsoran. Pada lokasi KM 5 dilakukan pengeboran di 4 titik, yaitu koordinat 221474.25;9604642.28 untuk BH 1, koordinat 221487.56;9604644.41 untuk BH 2, koordinat 221522.06;9604645.78 untuk BH 3, dan koordinat 221480.41;9604662.35 untuk BH 4. Sedangkan pada lokasi KM 8 dilakukan pengeboran di 3 titik, yaitu koordinat 221358.16;9603408.88 untuk BH 5, koordinat 221330.55;9603397.06 untuk BH 6, dan koordinat 221330.43;9603390.11 untuk BH 7. Lokasi pengeboran untuk KM 5 dapat dilihat pada Gambar 4.1 sedangkan untuk lokasi KM 8 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



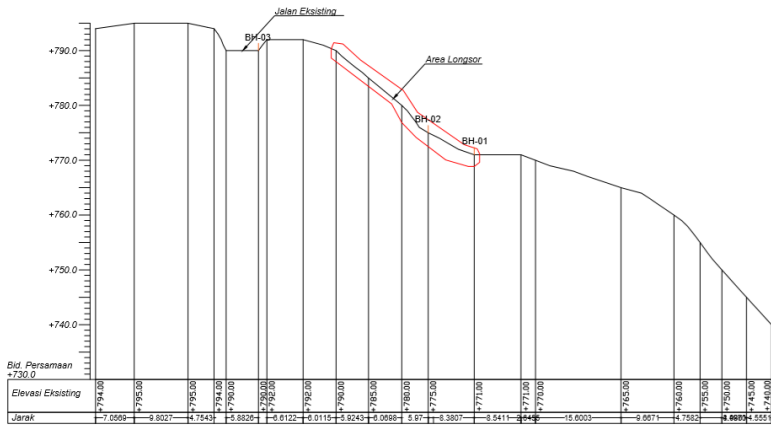
Gambar 4.1 Lokasi *bore hole* di KM 5  
(Sumber: PT PLN)



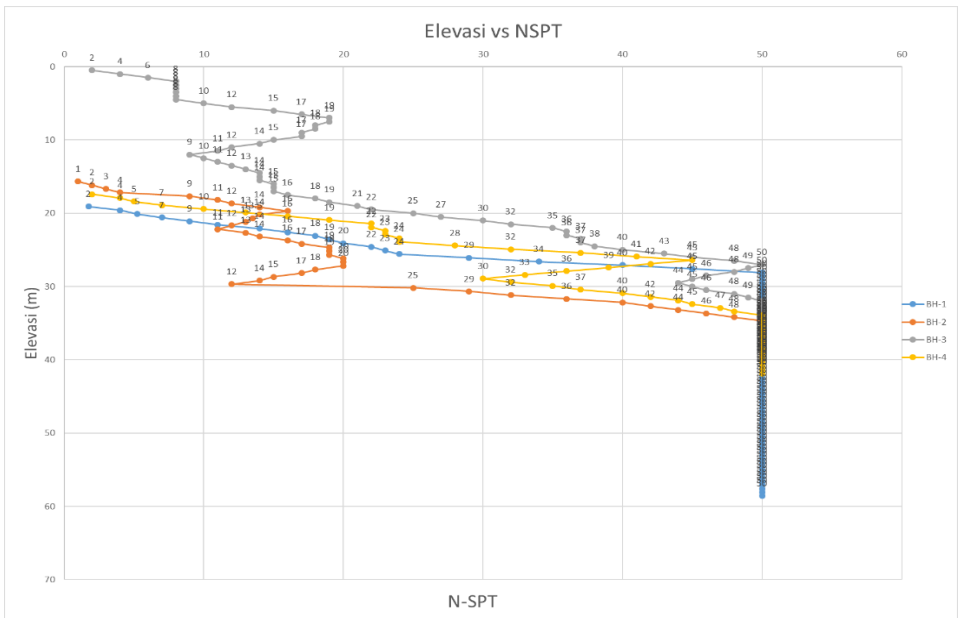
Gambar 4.2 Lokasi *bore hole* di KM 8  
(Sumber: PT. PLN)

#### 4.1.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan (Uji N-SPT)

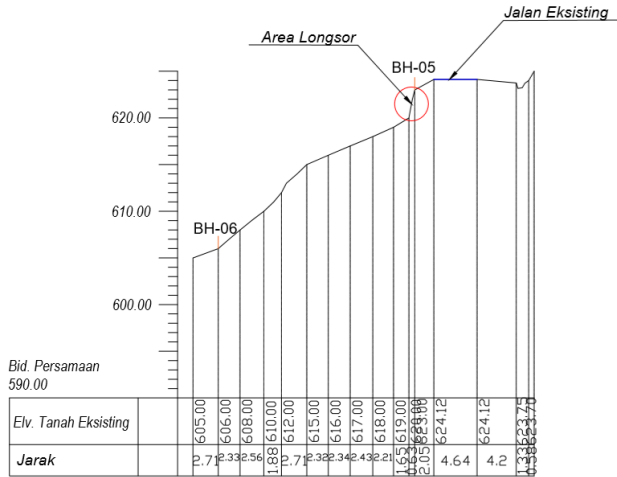
Hasil penyelidikan tanah berdasarkan uji NSPT dapat dilihat pada Lampiran 2 dan Lampiran 3. Setiap *bore hole* memiliki elevasi 0 yang berbeda-beda disebabkan oleh kontur lereng. Grafik hubungan antara elevasi dan N-SPT dapat dilihat pada Gambar 4.4 untuk lokasi KM 5 dan Gambar 4.6 untuk lokasi KM 8.



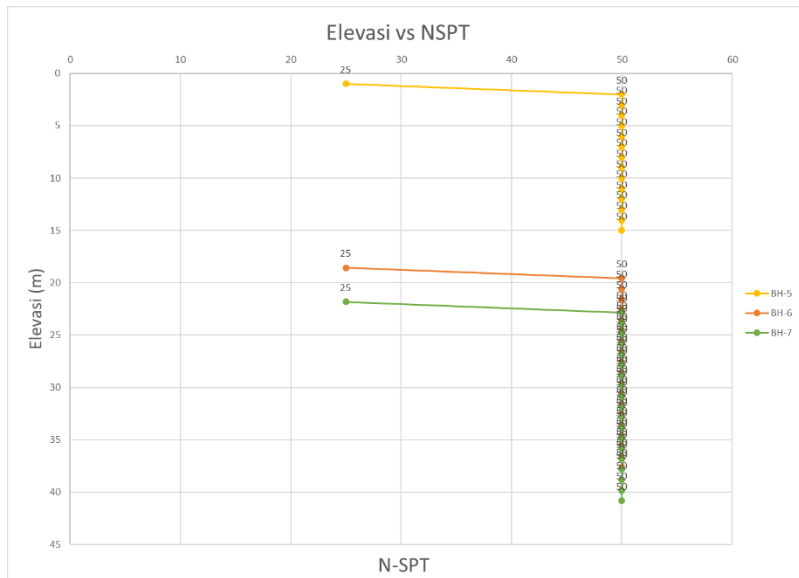
Gambar 4.3 Letak bore hole pada lereng KM 5



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara elevasi dan N-SPT untuk lokasi KM 5



Gambar 4.5 Letak bore hole pada lereng KM 8



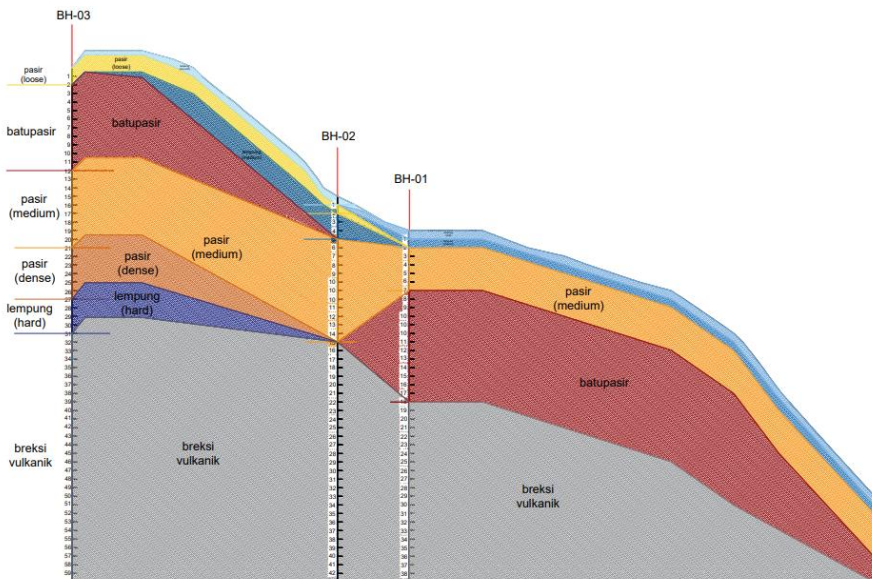
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara elevasi dan N-SPT untuk lokasi KM 8



### 4.1.3 Statigrafi Tanah

Untuk memudahkan proses pembacaan persebaran lapisan tanah, maka dilakukan pengelompokan tanah berdasarkan jenis dan konsistensi tanah yang sama dari setiap *bore hole* di tiap lokasi. Pengelompokan konsistensi tanah dilakukan menggunakan korelasi N-SPT dengan Tabel Bowless pada Tabel 2.1.

Statigrafi tanah pada lokasi KM 5 dilakukan dengan menggunakan hasil pengelompokan dari 3 titik pengujian tanah, yaitu BH 1, BH 2, dan BH 3 di sekitar area longsor pada lereng dapat dilihat pada Gambar 4.7. Adapun untuk tiap *bore hole* memiliki elevasi yang berbeda-beda.

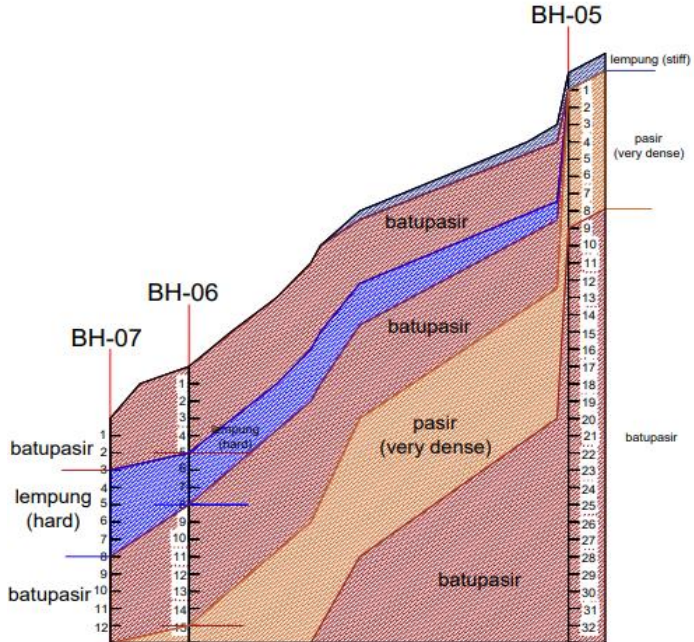


Gambar 4.7 Statigrafi tanah di lokasi KM 5

Dari hasil stratigrafi diatas, untuk persebaran konsistensi tanah pada lokasi KM 5 dapat diketahui antara lain sebagai berikut:

- Pada BH 1, tanah merupakan lempung berpasir lunak (*soft*) sedalam 1 meter, lalu lempung berpasir medium hingga kedalaman 2 meter. Lapisan berikutnya adalah pasir medium hingga kedalaman 10 meter. Kemudian lapisan batu pasir hingga kedalaman 18 meter. Lapisan terakhir merupakan breksi vulkanik hingga kedalaman 40 meter.
- Pada BH 2, tanah merupakan lempung berpasir sangat lunak (*very soft*) sedalam 1 meter, kemudian lapisan pasir renggang (*loose*) hingga kedalaman 2 meter. Selanjutnya lapisan lempung berlanau medium hingga kedalaman 5 meter. Lalu tanah pasir medium hingga kedalaman 15 meter. Lapisan tanah terakhir merupakan breksi vulkanik hingga kedalaman 25 meter.
- Pada BH 3, tanah merupakan pasir dengan konsistensi renggang (*loose*) sedalam 2 meter, kemudian lapisan batupasir hingga kedalaman 12 meter, lapisan pasir dengan konsistensi medium hingga kedalaman 21 meter namun ada lapisan tanah lensa berupa lempung berpasir dengan konsistensi medium. Selanjutnya lapisan pasir *dense* hingga kedalaman 27 meter, lalu lapisan lempung berpasir dengan konsistensi keras (*hard*) sedalam 31 meter. Lapisan tanah terakhir berupa breksi vulkanik hingga kedalaman 35 meter.

Untuk stratigrafi tanah pada lokasi KM 8 dilakukan dengan menggunakan hasil pengelompokkan dari 3 titik pengujian tanah, yaitu BH 5, BH 6, dan BH 7 di sekitar area longsor pada lereng dapat dilihat pada Gambar 4.8. Adapun tiap *bore hole* memiliki elevasi yang berbeda-beda.



Gambar 4.8 Statigrafi tanah di lokasi KM 8

Dari hasil statigrafi diatas, untuk persebaran konsistensi tanah pada lokasi KM 8 dapat diketahui antara lain sebagai berikut:

- Pada BH 5, tanah merupakan lempung berpasir kaku (*stiff*) sedalam 1 meter, lalu lapisan pasir sangat padat (*very dense*) hingga kedalaman 9 meter. Lapisan terakhir merupakan batupasir hingga kedalaman 15 meter.
- Pada BH 6, lapisan tanah merupakan batupasir sedalam 5 meter. Kemudian lapisan lempung berkerikil keras (*hard*) hingga kedalaman 8 meter, lalu lapisan batupasir hingga kedalaman 15 meter.

Lapisan terakhir merupakan pasir *very dense* hingga kedalaman 20 meter.

- Pada BH 7, tanah merupakan batupasir hingga kedalaman 3 meter, kemudian lapisan lempung berkerikil keras (*hard*) hingga kedalaman 8 meter. Selanjutnya lapisan batupasir hingga kedalaman 13 meter. Berikutnya lapisan breksi vulkanik hingga kedalaman 20 meter.

#### **4.1.4 Penentuan Parameter Tanah**

Data sekunder berupa bor log dikorelasikan menggunakan Tabel Bowless untuk menentukan parameter tanah yang tidak diketahui sebelumnya. Data parameter tanah antara lain berat jenis tanah basah ( $\gamma_{\text{saturated}}$ ), harga kekuatan geser undrained ( $C_u$ ), dan sudut geser tanah ( $\phi$ ). Hasil pengelompokan tanah dan hasil korelasi parameter tanah dari tiap *bore hole* dapat dilihat pada Lampiran. Kemudian, data parameter tanah untuk tiap bore hole dengan konsistensi tanah yang sama dirata-rata dan digabungkan dalam satu tabel. Adapun elevasi tiap bore hole disesuaikan dimana pada lokasi KM 5 diasumsikan titik 0 berada pada *bore hole* 3 dan untuk lokasi KM 8 diasumsikan titik 0 berada pada *bore hole* 5. Rekapitulasi pengelompokan dan korelasi parameter tanah yang dibuat berdasarkan statigrafi persebaran tanah untuk lokasi KM 5 dapat dilihat pada Tabel 4.1, sedangkan untuk lokasi KM 8 dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Parameter Tanah di KM 5

Kedalaman (m)	BH-03					BH-02					BH-01										
	Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Konsistensi Tanah	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength	Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Konsistensi Tanah	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength	Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Konsistensi Tanah	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength						
																Ø	Cu	Ø	Cu	Ø	Cu
																kN/m <sup>3</sup>	° kPa	kN/m <sup>3</sup>	° kPa	kN/m <sup>3</sup>	° kPa
0	Pasir	5	Loose	12.6	30	0															
1																					
2	Batupasir	13	-	22	45	0															
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9	Pasir	18	Medium	15.5	31	0															
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16	Pasir	41	Dense	18	35	0	Pasir	18	Medium	15.5	31	0									
17																					
18	Lempung	47	Hard	20	23	50															
19																					
20	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30									
21																					
22	Pasir	18	Medium	15.5	31	0															
23																					
24	Lempung	7	Medium	16.22	5	16.65															
25																					
26	Pasir	18	Medium	15.5	31	0															
27																					
28	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30									
29																					
30	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
31																					
32	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
33																					
34	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
35																					
36	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
37																					
38	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
39																					
40	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
41																					
42	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
43																					
44	Breksi Vulkanik	50	-	22	40	30															
45																					



#### 4.1.4 Data Tanah *Behaving Like Sand*

Data tanah dianalisa dengan pendekatan *cracked soil* dimana tanah diasumsikan *behaving like sand*. Perbedaan antara data tanah asli dan tanah *behaving like sand* adalah pada nilai  $C_u$  dan  $\phi$ . Pada tanah asli, tanah seperti apa adanya sesuai dengan hasil pengeboran di lapangan, sedangkan pada tanah *behaving like sand* data tanah diasumsikan menyerupai pasir. Pendekatan ini digunakan dikarenakan kelongsoran yang terjadi pada saat hujan yang sangat lebat menyebabkan air hujan membawa partikel halus (lanau, lempung) keluar dari lereng sehingga menyisakan partikel kasar (pasir, kerikil). Hujan yang sangat lebat ini juga yang menyebabkan kondisi muka air tanah berada di atas permukaan lereng (kondisi terkritik). Hal tersebut menyebabkan stabilitas lereng menjadi tidak aman sehingga diperlukan perkuatan lereng.

Dari asumsi tersebut maka diambil keputusan bahwa nilai  $C_u$  dianggap sama dengan nol dan nilai  $\phi$  dianggap bersifat seperti pasir, dimana untuk tanah pasir nilai  $\phi = 30$  dan untuk tanah lempung/lanau nilai  $\phi$  merupakan hasil korelasi dengan menggunakan Tabel Burt Look (Tabel 2.3). Berikut adalah contoh perhitungan nilai  $\phi$  baru dengan Tabel Burt Look.

- Lempung (*very soft*) di BH-02  
 $C_u = 13$  kPa (korelasi dengan Tabel Bowless)  
 $C' = \frac{2}{3} C_u = 8.67$  kPa  
 Maka, parameter tanah lempung menjadi:  
 $\phi = 16^\circ$  (korelasi dengan Tabel Burt Look)  
 $C_u = 0$  (*behaving like sand*)

Untuk menentukan seberapa dalam tanah diasumsikan *behaving like sand*, maka dilakukan *trial dan error* analisa stabilitas lereng. Hal ini dikarenakan seringkali analisa stabilitas lereng dengan kondisi tanah eksisting menghasilkan angka keamanan  $SF > 1$  (stabil) namun yang terjadi di lapangan adalah lereng tetap longsor. *Trial and error* lapisan tanah *behaving like sand* berguna untuk menghasilkan kelongsoran yang disesuaikan dengan kondisi eksisting di lapangan. Kedalaman lapisan tanah *behaving like sand* diasumsikan mulai dari kedalaman -3 m, -5 m,

-7 m sampai mencapai kedalaman dimana  $SF < 1$  dikarenakan semua kedalaman tersebut mungkin saja longsor. Data tanah *trial behaving like sand* untuk lokasi KM 5 dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Tabel 4.5. Sedangkan, data *trial behaving like sand* untuk lokasi KM 8 dapat dilihat pada Tabel 4.6, Tabel 4.7, dan Tabel 4.8. Data *trial behaving like sand* ini adalah parameter tanah yang akan digunakan dalam *trial and error* kedalaman *behaving like sand* dalam pemodelan GeoStudio, sehingga kelongsoran yang terjadi dapat disesuaikan dengan kelongsoran di lapangan.



Tabel 4.3 Data Tanah *Behaving Like Sand* Kedalaman 3 m di Lokasi KM 5

Kedalaman (m)	BH-03					BH-02					BH-01							
	Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength	
					Ø	Cu					Ø	Cu					Ø	Cu
					kN/m <sup>3</sup>	° kPa					kN/m <sup>3</sup>	° kPa					kN/m <sup>3</sup>	° kPa
0																		
1	Pasir (loose)	5	<i>Behaving like sand</i>	12.6	30	0	Data dimulai dari elevasi sesuai dengan topografi lereng											
2																		
3			<i>Behaving like sand</i>		30	0												
4																		
5																		
6																		
7	Batupasir	13	Normal	22	45	0												
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17	Pasir (medium)	18	Normal	15.5	31	0	Lempung (very soft)	2	<i>Behaving like sand</i>	16	16	0	Pasir (loose)	5	<i>Behaving like sand</i>	12.6	30	0
18							Lempung (medium)	13	Normal	17.6	12	26.5	Lempung (soft)	4	<i>Behaving like sand</i>	16	16	0
19													Lempung (medium)	7	<i>Behaving like sand</i>	16.22	18.7	0
20															<i>Behaving like sand</i>			30
21																		0
22													Pasir (medium)	18	Normal	15.5	31	0
23																		
24	Pasir (dense)	41	Normal	18	35	0	Pasir (medium)	18	Normal	15.5	31	0						
25																		
26																		
27																		
28																		
29	Lempung (hard)	47	Normal	20	23	50							Batupasir	48	Normal	22	45	30
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		
35																		
36																		
37																		
38	Breksi Vulkanik	50	Normal	22	40	30	Breksi Vulkanik	50	Normal	22	40	30	Breksi Vulkanik	50	Normal	22	40	30
39																		
40																		
41																		
42																		
43																		
44																		
45																		



Tabel 4.5 Data Tanah *Behaving Like Sand* Kedalaman 7 m di Lokasi KM 5

Kedalaman (m)	BH-03					BH-02					BH-01							
	Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)	Strength	
					Ø	Cu					Ø	Cu					Ø	Cu
					kN/m <sup>3</sup>	°					kPa	kN/m <sup>3</sup>					°	kPa
0	Pasir (loose)	5	<i>Behaving like sand</i>	12.6	30	0	Data dimulai dari elevasi sesuai dengan topografi lereng											
1					30	0												
2	Batupasir	13	<i>Behaving like sand</i>	22	30	0												
3					Normal	45											0	
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		Pasir (medium)
14	Pasir (loose)	5	<i>Behaving like sand</i>	12.6	30	0												
15	Lempung (soft)	4	<i>Behaving like sand</i>	16	16	0												
16	Lempung (medium)	7	<i>Behaving like sand</i>	16.22	18.7	0												
17	Pasir (dense)	41	Normal	18	35	0	Pasir (medium)	18	Normal	15.5	31	0	Pasir (medium)	18	<i>Behaving like sand</i>	15.5	30	0
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23	Lempung (hard)	47	Normal	20	23	50	Batupasir	48	Normal	22	45	30						
24																		
25																		
26	Breksi Vulkanik	50	Normal	22	40	30	Breksi Vulkanik	50	Normal	22	40	30						
27																		
28																		
29																		
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		
35																		
36																		
37																		
38																		
39																		
40																		
41																		
42																		
43																		
44																		
45																		

Tabel 4.6 Data Tanah *Behaving Like Sand* Kedalaman 3 m di Lokasi KM 8

Kedalaman (m)	BH-05						BH-06						BH-07																													
	Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Seusai Asumsi	$\gamma_{sat}$ (Bowless)		Strength		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Seusai Asumsi	$\gamma_{sat}$ (Bowless)		Strength		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Seusai Asumsi	$\gamma_{sat}$ (Bowless)		Strength																						
				$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ °	$\sigma$	$c_u$				$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ °	$\sigma$	$c_u$				$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ °	$\sigma$	$c_u$																					
0	Lempung (stiff)	25	<i>Behaving like sand</i>	16.95	24	0	Data dimulai dari elevasi sesuai dengan topografi lereng																																			
1																																										
2			<i>Behaving like sand</i>		30	0																																				
3																																										
4	Pasir (very dense)	50	Normal	18	35	0																																				
5																																										
6																																										
7																																										
8																																										
9																																										
10																																										
11																																										
12																																										
13																																										
14																																										
15																																										
16																																										
17							Batupasir	44	<i>Behaving like sand</i>	22	30	0																														
18									Normal		45	30	Batupasir	44	<i>Behaving like sand</i>	22	30	0																								
19																																										
20																																										
21																																										
22							Lempung (hard)	50	Normal	20	24	50																														
23																																										
24																																										
25	Batupasir	50	Normal	22	45	30							Lempung (hard)	50	Normal	20	24	50																								
26																																										
27																																										
28							Batupasir	50	Normal	22	45	30																														
29																																										
30																																										
31																																										
32																																										
33																																										
34																																										
35																																										
36							Pasir (very dense)	50	Normal	18	35	0																														
37																																										
38																																										
39													Breksi Vulkanik	50	Normal	22	40	50																								

Tabel 4.7 Data Tanah *Behaving Like Sand* Kedalaman 5 m di Lokasi KM 8

Kedalaman (m)	BH-05					BH-06					BH-07					
	Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)		Jenis Tanah	NSPT Rata-Rata	Kondisi Sesuai Asumsi	γ <sub>sat</sub> (Bowless)		
				Ø	Cu				Ø	Cu				Ø	Cu	
				kN/m <sup>3</sup>	°				°				kN/m <sup>3</sup>	°	kPa	
0	Lempung (stiff)	25	Behaving like sand	16.95	24	0	Data dimulai dari elevasi sesuai dengan topografi lereng					Data dimulai dari elevasi sesuai dengan topografi lereng				
1	Pasir (very dense)	50	Behaving like sand	18	30	0										
2																
3																
4		Normal	35	0												
5																
6																
7																
8																
9																
10	Batupasir	50	Normal	22	45	30	Data dimulai dari elevasi sesuai dengan topografi lereng					Data dimulai dari elevasi sesuai dengan topografi lereng				
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																





## **4.2.2 Analisa Stabilitas dengan Program GeoStudio**

### **4.2.2.1 Kondisi Eksisting**

Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan program bantu GeoStudio. Pemodelan lapisan tanah dilakukan sesuai dengan stratigrafi tanah dan juga kemiringan lereng. Parameter tanah yang dimasukkan disesuaikan dengan data tanah kondisi eksisting pada Tabel 4.1 untuk lokasi KM 5 dan Tabel 4.2 untuk lokasi KM 8. Muka air tanah dimodelkan di atas permukaan lereng dikarenakan kelongsoran terjadi pada musim hujan, sehingga besar kemungkinan penyebab utama kelongsoran adalah tingginya muka air tanah. Pemodelan ini menggunakan beban *surcharge* 10 kPa sesuai dengan SNI 8460:2017 pasal 7.5.1. Analisa dilakukan menggunakan metode irisan *Bishop*.

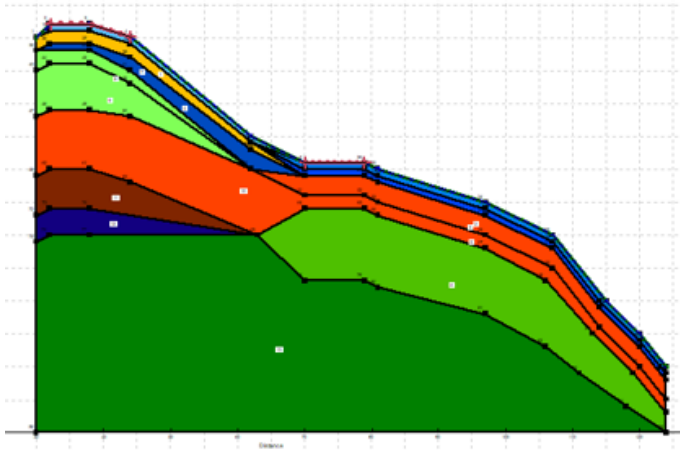
#### **1. Lokasi KM 5**

Untuk memudahkan proses *input* data dalam program GeoStudio, maka data parameter tanah pada Tabel 4.1 disederhanakan dengan menggunakan indikator warna. Tabel data tanah lokasi KM 5 yang akan dimasukkan dalam program GeoStudio dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut



Tabel 4.9 Parameter Tanah di KM 5 untuk Program GeoStudio

Jenis Tanah	Keterangan	$\gamma_{sat}$	$\phi$	Cu
		kN/m <sup>3</sup>	°	kPa
Lempung ( <i>very soft</i> )		16	1	13.0
Lempung ( <i>soft</i> )		16	3	16.7
Lempung ( <i>medium</i> )		16.22	5	16.65
Pasir ( <i>loose</i> )		12.6	30	0
Lempung ( <i>medium</i> ) 2		17.6	12	27
Batupasir		22	45	0
Pasir ( <i>medium</i> )		15.5	31	0
Pasir ( <i>dense</i> )		18	35	0
Lempung ( <i>hard</i> )		20	23	50
Batupasir 2		22	45	30
Breksi Vulkanik		22	40	30



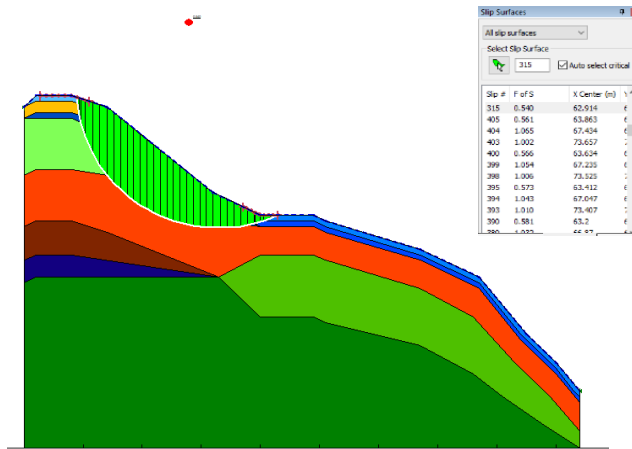
Gambar 4.11 Geometri lereng KM 5

Analisa stabilitas lereng dengan menggunakan program GeoStudio dilakukan sebanyak 5 kali dengan mengubah *slip surface*, sehingga didapatkan bidang longsor dan parameter kelongsoran yang berbeda-beda. Hasil *running* GeoStudio yang sudah direkapitulasi dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	$\Delta Mr$ (kN.m)	Radius (m)
1	0.553	28888.878	52227.414	49452.24	23.565
2	0.545	28139.544	51598.564	49258.3	23.713
3	0.540	28344.73	52441.838	50318.03	23.928
4	0.546	30347.979	55590.165	53037.27	24.15
5	0.541	32086.473	59284.436	56840.18	24.781

Dari hasil analisa stabilitas lereng dengan kondisi eksisting, maka didapatkan nilai *safety factor* terkritik sebesar 0.540. Lereng dikatakan longsor ketika SF yang dihasilkan kurang dari SF = 1 (kritik). Maka, analisa stabilitas lereng dengan parameter data tanah eksisting sudah menghasilkan longsor. Bidang longsor yang dihasilkan ketika *safety factor* terkritik dapat dilihat pada Gambar 4.12, sedangkan untuk bidang longsor yang dihasilkan pada setiap setiap *trial* GeoStudio dapat dilihat pada Lampiran.



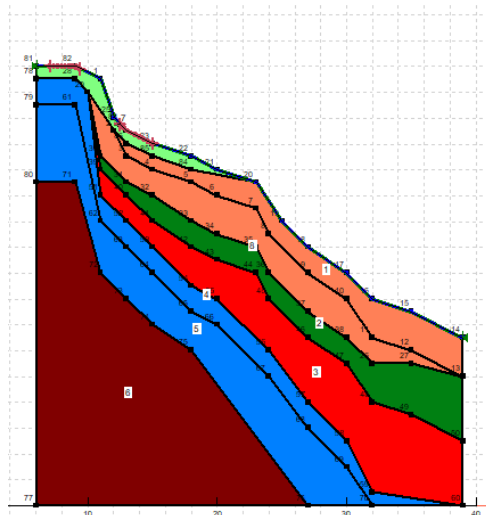
Gambar 4.12 Bidang longsor pada potongan melintang lereng KM 5

## 2. Lokasi KM 8

Untuk memudahkan proses *input* data dalam program GeosStudio, maka data parameter tanah pada Tabel 4.2 disederhanakan dengan menggunakan indikator warna. Tabel data tanah lokasi KM 8 yang akan dimasukkan dalam program GeosStudio dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11 Parameter Tanah di KM 8 untuk Program GeoStudio

Jenis Tanah	Keterangan	$\gamma_{sat}$	$\phi$	Cu
		kN/m <sup>3</sup>	°	kPa
Lempung ( <i>stiff</i> )		16.95	24	50
Batupasir		22	45	30
Lempung ( <i>hard</i> )		20	24	50
Batupasir 2		22	45	30
Pasir ( <i>very dense</i> )		18	35	0
Batupasir 3		22	45	30



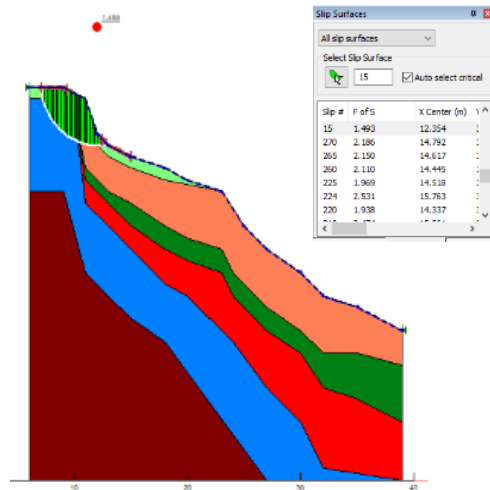
Gambar 4.13 Geometri lereng KM 8

Analisa stabilitas lereng dengan menggunakan program GeoStudio dilakukan sebanyak 5 kali dengan mengubah *slip surface*, sehingga didapatkan bidang longsor dan parameter kelongsoran yang berbeda-beda. Hasil *running* GeoStudio yang sudah direkapitulasi dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	Radius (m)
1	1.493	1112.054	744.658	5.27
2	1.499	1041.12	694.41	5.23
3	1.505	983.418	653.425	5.09
4	1.498	2029.007	1269.563	6.37
5	1.502	1001.461	666.736	5.195

Dari hasil analisa stabilitas lereng dengan kondisi eksisting, maka didapatkan nilai *safety factor* terkritik sebesar 1.493. Dikarenakan nilai SF > 1, maka lereng tersebut stabil (tidak longsor). Namun, pada kenyataannya di lapangan lereng tersebut tetap longsor, sehingga perlu dilakukan telaah mengenai penyebab dari kelongsoran tersebut. Adapun bidang longsor yang dihasilkan ketika *safety factor* terkritik dapat dilihat pada Gambar 4.14, sedangkan untuk bidang longsor yang dihasilkan pada setiap setiap *trial* GeoStudio dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 4.14 Bidang longsor pada potongan melintang lereng KM 8

#### 4.2.2.2 Penyebab Kelongsoran Lereng

Hasil analisa stabilitas lereng dengan menggunakan data tanah kondisi eksisting pada program GeoStudio menunjukkan bahwa lereng KM 5 tidak stabil ( $SF < 1$ ) sedangkan lereng KM 8 memiki  $SF > 1$  (stabil). Kedua lereng ini tidak memiliki perkuatan dan merupakan lereng alami. Keduanya memiliki lapisan tanah paling atas berupa lempung, dimana seharusnya air tidak bisa merembes ke dalam lereng. Namun, pada kenyataannya di lapangan kedua lereng tersebut tetap longsor. Oleh karena itu, penulis mengasumsikan kedua lereng tersebut kemungkinan telah mengalami keretakan dan ditambah curah hujan yang tinggi di Provinsi Bengkulu yang dapat menyebabkan bidang keretakan hampir selalu dilalui air hujan dengan intensitas tinggi (hujan lebat) lambat laun membuat partikel halus seperti lanau dan lempung terbawa oleh air hujan dan menyisakan partikel pasir dan kerikil pada bidang retakan tersebut. Jika kondisi ini terjadi maka dapat

menyebabkan tanah *behaving like sand* dan stabilitas lereng perlu dianalisa dengan pendekatan *cracked soil*. Adapun teori *cracked soil approach* dapat dilihat pada subbab 2.5.

#### 4.2.2.3 Kondisi *Behaving Like Sand*

##### 1. KM 5

Pemodelan lereng dilakukan dengan cara *trial and error* hingga menghasilkan nilai  $SF < 1$  yang menandakan kelongsoran terjadi. Lereng dikatakan longsor ketika  $SF$  yang dihasilkan kurang dari  $SF = 1$  (kritis). Pemodelan ini dilakukan dengan mengasumsikan tanah merupakan *behaving like sand* hingga kedalaman tertentu untuk menghasilkan kelongsoran yang sesuai dengan di lapangan dimana kelongsoran yang terjadi adalah longsor rotasi. *Entry* dan *exit* dari *slip surface* juga dilakukan dengan cara coba-coba untuk menghasilkan kelongsoran yang sesuai dengan di lapangan. *Trial and error* untuk tanah *behaving like sand* dilakukan pada asumsi kedalaman -3.0 m, -5.0 m, dan -7.0 m. Setiap *trial* kedalaman dilakukan sebanyak 5 kali, sehingga desain perkuatan lereng nantinya memperhatikan kondisi yang paling kritis. Hasil rekapitulasi untuk setiap percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.13 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5 dengan Asumsi Tanah *Behaving Like Sand* Hingga Kedalaman 3 m

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	$\Delta Mr$ (kN.m)	Radius (m)
1	0.422	28801.697	68209.247	73512.17	30.6
2	0.405	18117.503	44694.004	48923.5	65.22
3	0.450	36458.064	81101.475	85194.15	30.95
4	0.437	32352.893	73956.127	78581.3	30.37
5	0.451	37410.282	82947.147	87010.44	31.283

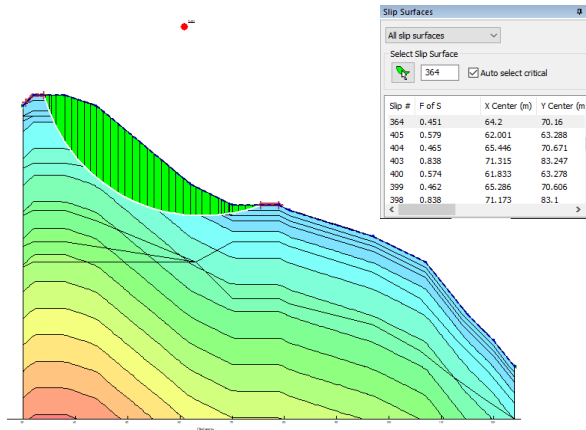
Tabel 4.14 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5 dengan Asumsi Tanah *Behaving Like Sand* Hingga Kedalaman 5 m

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	$\Delta Mr$ (kN.m)	Radius (m)
1	0.28	12124.941	43377.92	52941.94	37.611
2	0.414	25417.653	61394.08	66673.47	29.78
3	0.424	29551.207	69749.11	75072.46	30.25
4	0.284	13953.97	49181.498	59818.28	41.26
5	0.415	25901.57	62418.08	67725.55	29.66

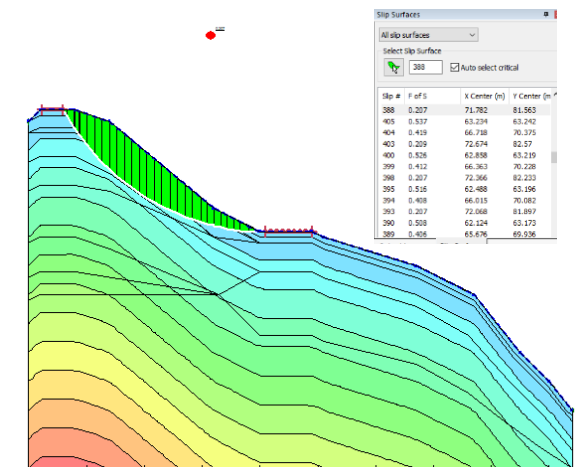
Tabel 4.15 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5 dengan Asumsi Tanah *Behaving Like Sand* Hingga Kedalaman 7 m

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	$\Delta Mr$ (kN.m)	Radius (m)
1	0.207	13340.061	64589.261	83543.83	40.78
2	0.379	28597.224	75425.952	84541.70	42.49
3	0.135	5513.396	40771.058	55643.19	40.79
4	0.142	6861.01	48422.464	65772.69	40.46
5	0.38	28757.314	75581.672	84615.19	42.52

Dari setiap percobaan yang dilakukan, maka didapatkan hasil bahwa hanya dengan mengasumsikan tanah *behaving like sand* sedalam 3 m sudah menunjukkan  $SF < 1$  (tidak stabil), sehingga kelongsoran pada lereng terjadi. Pada percobaan asumsi tanah *behaving like sand* sedalam 3 m yang menghasilkan bidang longsor yang sesuai dengan di lapangan serta  $\Delta Mr$  terkritis adalah pada uji coba ke-5 dengan nilai  $SF = 0.451$ . Maka, perencanaan perkuatan stabilitas lereng KM 5 akan menggunakan asumsi tanah *behaving like sand* sedalam 3 m. Adapun untuk hasil analisa stabilitas setiap percobaan dengan asumsi *behaving like sand* dapat dilihat pada Lampiran.

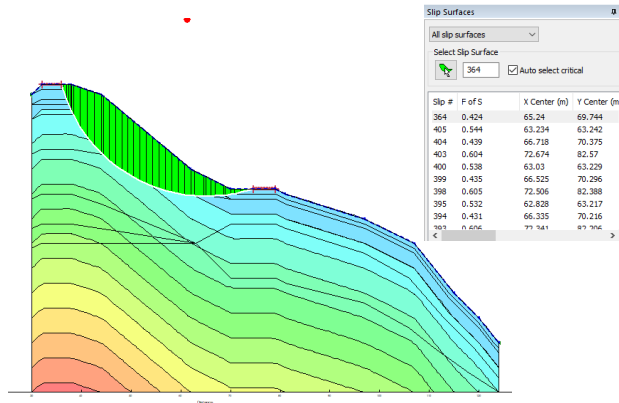


Gambar 4.15 Bidang longsor pada lereng KM 5 dengan tanah *behaving like sand* sedalam 3 m



Gambar 4.16 Bidang longsor pada lereng KM 5 dengan tanah *behaving like sand* sedalam 5 m





Gambar 4.17 Bidang longsor pada lereng KM 5 dengan tanah *behaving like sand* sedalam 7 m

## 2. KM 8

Pemodelan lereng dilakukan dengan cara *trial and error* hingga menghasilkan nilai  $SF < 1$  yang menandakan kelongsoran terjadi. Lereng dikatakan longsor ketika  $SF$  yang dihasilkan kurang dari  $SF = 1$  (kritis). Pemodelan ini dilakukan dengan mengasumsikan tanah merupakan *behaving like sand* hingga kedalaman tertentu untuk menghasilkan kelongsoran yang sesuai dengan di lapangan dimana kelongsoran yang terjadi adalah longsor rotasi. *Entry* dan *exit* dari *slip surface* juga dilakukan dengan cara coba-coba untuk menghasilkan kelongsoran yang sesuai dengan di lapangan. *Trial and error* untuk tanah *behaving like sand* dilakukan pada asumsi kedalaman -3.0 m, -5.0 m, dan -7.0 m. Setiap *trial* kedalaman dilakukan sebanyak 5 kali, sehingga desain perkuatan lereng nantinya memperhatikan kondisi yang paling kritis. Hasil rekapitulasi untuk setiap percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.16, Tabel 4.17, dan Tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.16 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8 dengan Asumsi Tanah *Behaving Like Sand* Hingga Kedalaman 3 m

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	$\Delta Mr$ (kN.m)	Radius (m)
1	0.338	512.928	1516.7	1762.12	10.61
2	0.165	63.784	385.72	514.8	4.98
3	0.343	469.595	1369.07	1584.01	10.168
4	0.380	374.64	986.94	1105.77	6.74
5	0.400	356.226	890.04	978.834	6.25

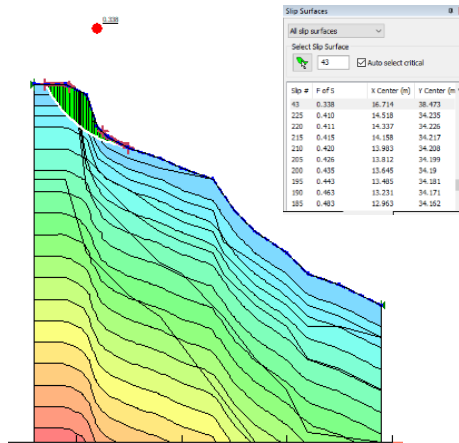
Tabel 4.17 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8 dengan Asumsi Tanah *Behaving Like Sand* Hingga Kedalaman 5 m

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	$\Delta Mr$ (kN.m)	Radius (m)
1	0.326	296.367	908.28	1066.05	6.194
2	0.291	457.165	1573.64	1903.3	10.52
3	0.289	608.743	2109.655	2555.74	12.11
4	0.196	161.400	823.999	1074.6	7.73
5	0.296	408.489	1380.739	1662.62	8.26

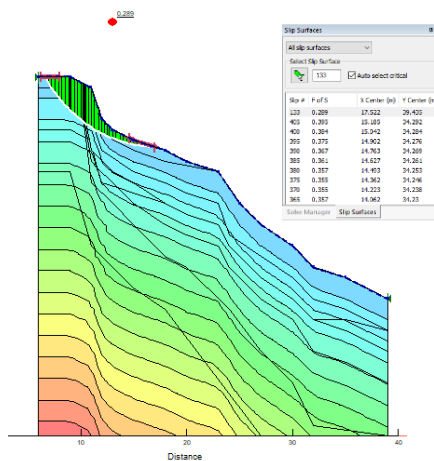
Tabel 4.18 Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8 dengan Asumsi Tanah *Behaving Like Sand* Hingga Kedalaman 7 m

Uji Coba	SF	Resisting Moment (kN.m)	Activating Moment (kN.m)	$\Delta Mr$ (kN.m)	Radius (m)
1	0.296	408.489	1380.74	1662.62	8.258
2	0.297	491.96	1654.89	1990.38	6.78
3	0.291	440.57	1512.009	1827.44	8.75
4	0.293	432.055	1473.69	1778.48	10.22
5	0.366	299.969	819.831	929.78	6.80

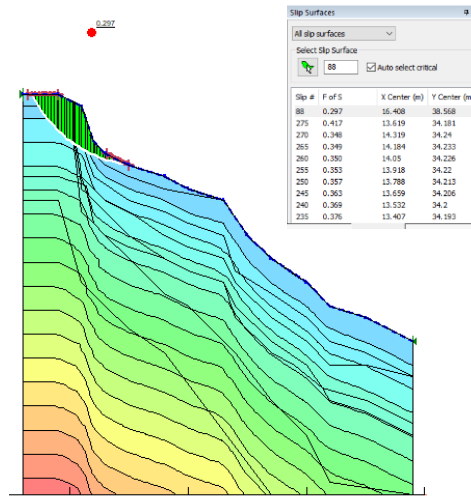
Dari setiap percobaan yang dilakukan, maka didapatkan hasil bahwa hanya dengan mengasumsikan tanah *behaving like sand* sedalam 3 m sudah menunjukkan  $SF < 1$  (tidak stabil), sehingga kelongsoran pada lereng terjadi. Pada percobaan asumsi tanah *behaving like sand* sedalam 3 m yang menghasilkan bidang longsor yang sesuai dengan di lapangan serta  $\Delta Mr$  terkritis adalah pada uji coba ke-1 dengan nilai  $SF = 0.338$ . Maka, perencanaan perkuatan stabilitas lereng KM 5 akan menggunakan asumsi tanah *behaving like sand* sedalam 3 m. Adapun untuk hasil analisa stabilitas setiap percobaan dengan asumsi *behaving like sand* dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 4.18 Bidang longsor pada lereng KM 8 dengan tanah *behaving like sand* sedalam 3 m



Gambar 4.19 Bidang longsor pada lereng KM 8 dengan tanah *behaving like sand* sedalam 5 m



Gambar 4.20 Bidang longsor pada lereng KM 8 dengan tanah *behaving like sand* sedalam 7 m

Hasil analisa lereng dengan *cracked soil approach* pada lokasi KM 5 dan KM 8 masing-masing menunjukkan hasil  $SF < 1$  yang menandakan bahwa lereng tersebut tidak aman terhadap kelongsoran. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan perkuatan lereng agar  $SF$  yang dihasilkan sebesar 1.3.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **PERENCANAAN PERKUATAN LERENG**

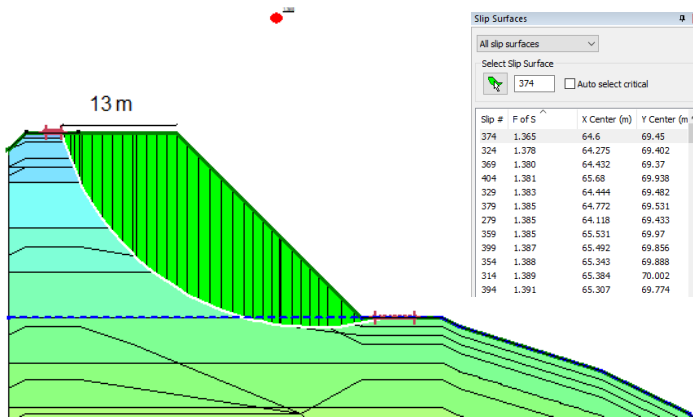
Berdasarkan hasil analisa stabilitas lereng yang telah dilakukan pada Bab IV, maka diperlukan adanya perkuatan lereng guna untuk meningkatkan angka keamanan lereng hingga mencapai *safety factor* rencana yaitu  $SF = 1.3$ . Dalam Tugas Akhir ini, alternatif perkuatan yang akan direncanakan adalah subdrain dan *soil reinforcement*, *bored pile*, dan *ground anchor* untuk lokasi KM 5. Sedangkan, perencanaan untuk lokasi KM 8 dilakukan tanpa adanya alternatif *bored pile* dikarenakan geometri lereng yang terlalu terjal. Perencanaan perkuatan ini menggunakan data tanah asumsi *behaving like sand* sedalam 3 meter. Hasil perencanaan perkuatan terpilih nantinya adalah alternatif yang paling ekonomis.

#### **5.1 Perencanaan Subdrain dan *Soil Reinforcement***

##### **5.1.1 Perencanaan Subdrain dan *Soil Reinforcement* di Lokasi KM 5**

Perencanaan subdrain dilakukan untuk mengeluarkan air hujan yang masuk ke dalam tanah secepat mungkin ke luar dari lereng. Subdrain yang direncanakan terbuat dari susunan batu pecah dan kerikil yang disusun menyerupai bronjong dan dibungkus dengan geotextile non-woven agar butiran tanah tidak tergerus oleh air. Subdrain dipasang dari bagian atas lereng hingga kaki lereng, sehingga lereng tetap dalam kondisi kering.

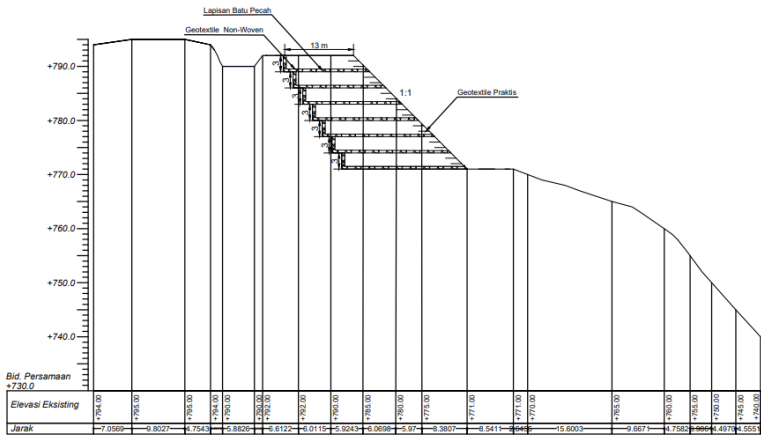
Lereng yang longsor memiliki ketinggian 21 meter. Selanjutnya, pada lereng ini ditimbun dengan tanah urug sehingga timbunan lereng memiliki kemiringan 1:1. Perencanaan subdrain harus berada di belakang bidang longsor dengan  $SF = 1$  (kritis). Dengan program bantu GeoStudio, didapatkan jarak yang tepat untuk pemasangan subdrain adalah 13 meter dari bibir lereng. Jarak acuan pemasangan subdrain dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Jarak acuan subdrain di lokasi KM 5

Dengan menggunakan *software* GeoStudio, didapatkan hasil analisa stabilitas lereng yang sudah ditimbun dan muka air tanahnya diturunkan hingga kaki lereng adalah  $SF = 1.365$ . Dikarenakan  $SF$  yang terjadi sudah melebihi dari  $SF$  rencana = 1.3, maka tidak diperlukan lagi perkuatan dengan geotextile. Namun, lereng tetap dipasang dengan geotextile praktis sepanjang 2 meter sebanyak 21 buah. Geotextile praktis berguna untuk menghindari gerusan air pada permukaan lereng. Desain subdrain dan geotextile dapat pada lokasi KM 5 dapat dilihat pada Gambar 5.2.

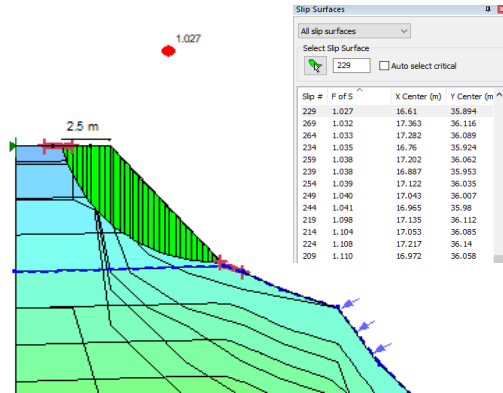




Gambar 5.2 Desain subdrain dan geotextile pada lereng KM 5

## 5.1.2 Perencanaan Subdrain dan *Soil Reinforcement* di Lokasi KM 8

Lereng di KM 8 yang longsor memiliki ketinggian 6 meter. Selanjutnya, pada lereng ini ditimbun dengan tanah urug sehingga timbunan lereng memiliki kemiringan 1:1. Perencanaan subdrain harus berada di belakang bidang longsor dengan SF = 1 (kritis). Dengan program bantu GeoStudio, didapatkan jarak yang tepat untuk pemasangan subdrain adalah 2.5 meter dari bibir lereng. Jarak acuan pemasangan subdrain dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Jarak acuan sudrain di lokasi KM 8

Dengan menggunakan *software* GeoStudio, didapatkan hasil analisa stabilitas lereng yang sudah ditambun dan muka air tanahnya diturunkan hingga kaki lereng adalah SF = 1.017. Oleh karena itu, untuk mencapai SF rencana = 1.3, maka diperlukan perencanaan geotextile.

### 5.1.2.1 Perencanaan Geotextile pada Lokasi KM 8

Direncanakan geotextile sebanyak 6 layer dengan jarak antar layer ( $S_v$ ) sebesar 1 m. Jenis geotextile yang digunakan adalah geotextile woven type 25 dengan kuat tarik ultimate 55.79 kN/m. Adapun data tanah yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### Data tanah urugan

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$C = 0 \text{ kPa}$$

#### Data tanah dasar (lempung stiff, cracked)

$$\gamma = 16.95 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 24^\circ$$

$$C = 0 \text{ kPa}$$

### Perhitungan Momen Dorong ( $M_D$ )

Dikarenakan perencanaan subdrain juga dilakukan, maka perkuatan lereng dengan geotextile dapat direncanakan tanpa memperhitungkan pengaruh air (kondisi kemarau). Pemasangan geotextile pada lereng yang longsor nantinya dilakukan secara bertahap sehingga membentuk lereng dengan kemiringan 1:1. Dengan membentuk kemiringan lereng yang baru dengan tanah urugan, maka didapatkan nilai-nilai kelongsoran yang baru dengan program GeoStudio, antara lain seperti *safety factor*, momen pendorong, dan momen penahan. Momen pendorong ( $M_D$ ) adalah momen yang terjadi yang mengakibatkan tanah runtuh. Adapun nilai  $M_D$  dapat dihitung sebagai berikut dengan SF terjadi = 1.027.

$$M_D = \frac{M_{resisting}}{SF}$$

$$M_D = \frac{1697.7}{1.027} = 1653.1 \text{ kN.m}$$

### Perhitungan Delta Momen Resisting ( $\Delta M_R$ )

Delta momen resisting ( $\Delta M_R$ ) adalah momen penahan tambahan yang terjadi dalam tanah untuk menahan agar tanah tidak runtuh. Pada Tugas Akhir ini, SF rencana yang digunakan adalah 1.5.

$$M_{\text{resisting rencana}} = M_{\text{dorong}} \times \text{SF rencana}$$

$$M_{\text{resisting rencana}} = 1653.1 \times 1.3$$

$$M_{\text{resisting rencana}} = 2149.04 \text{ kN.m}$$

$$\Delta M_R = M_{\text{res rencana}} - M_{\text{res eksisting}}$$

$$\Delta M_R = 2149.04 - 1697.7$$

$$\Delta M_R = 451.298 \text{ kN.m}$$

### Perhitungan $T_{\text{allowable}}$

Pada perencanaan ini digunakan geotextile woven type 25 dengan  $T_{\text{ultimate}}$  sebesar 55.79 kN/m. Nilai SF ditentukan berdasarkan fungsi dari geotextile. Adapun pada perencanaan ini geotextile berfungsi sebagai perkuatan lereng (*slope stablilitation*). Sehingga memiliki nilai sebagai berikut:

$$FS_{id} = 1.25$$

$$FS_{cr} = 1.7$$

$$FS_{cd} = 1.25$$

$$FS_{bd} = 1.15$$

Sehingga nilai  $T_{all}$  adalah:

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd} \times FS_{id}}$$

$$T_{all} = \frac{55.79}{1.25 \times 1.7 \times 1.25 \times 1.15}$$

$$T_{all} = 18.264 \text{ kN/m}$$

### Perhitungan Desain Geotextile

Desain geotextile meliputi jumlah lembar,  $Le$ ,  $Lo$ , dan  $Lr$ . Pada Tugas Akhir ini direncanakan jarak antar geotextile ( $S_v$ ) sebesar 1 m. Untuk memperkirakan jumlah kebutuhan geotextile dapat dilakukan dengan cara membandingkan nilai  $\Delta M_R$  dengan momen geotextile, dimana momen geotextile harus lebih besar dari nilai  $\Delta M_R$  karena kekurangan momen penahan akan ditahan oleh geotextile. Tabel perhitungan desain geotextile dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Perhitungan Desain Geotextile di KM 8 (1)

No layer	Hi	Ti	$\tau_1$ (atas)	$\tau_2$ (bawah)	Le	Le pakai
(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(m)	(m)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
1	6	8.34	58.88973	58.889727	0.202	1
2	5	7.34	49.07477	49.074773	0.242	1
3	4	6.34	39.25982	39.259818	0.302	1
4	3	5.34	29.44486	29.444864	0.403	1
5	2	4.34	19.62991	19.629909	0.605	1
6	1	3.34	9.814955	9.8149546	1.210	2

dimana:

(a) No layer merupakan urutan layer dari bawah hingga atas

(b)  $H_i$  = kedalaman layer ke permukaan tanah (m)

(c)  $T_i$  = jarak layer ke titik pusat kelongsoran

(d)  $\tau_1$  (tanah diatas geotextile) =  $c + \sigma_v \tan \phi$   
 $\tau_1 = 0 + (17 \times 6) \tan 30^\circ = 58.89 \text{ kN/m}^2$

(e)  $\tau_2$  (tanah dibawah geotextile) =  $c + \sigma_v \tan \phi$   
 $\tau_2 = 0 + (17 \times 6) \tan 30^\circ = 58.89 \text{ kN/m}^2$

(f)  $L_e$  = panjang geotextile di belakang garis kelongsoran, minimal 1 meter.

$$L_e = \frac{T_{all} \times SF}{(\tau_1 + \tau_2) \times E}$$

$$L_e = \frac{18.264 \times 1.3}{(58.89 + 58.89) \times 0.8} = 0.202 \text{ m}$$

Karena nilai  $L_e$  kurang dari 1 m, maka nilai  $L_e$  pakai adalah 1 m.

(g) Panjang  $L_e$  yang dipasang

Tabel 5.2 Perhitungan Desain Geotextile di KM 8 (2)

$L_o$	$L_r$ (geoslope)	$L$	Jumlah geo per lapisan	$M$ geotextile kN m	$\sum M$ geotextile kN m
(m)	(m)	(m)	(k)	(l)	(m)
0.50	0.56	2.06	1	152.319542	152.3195417
0.50	3.27	4.77	1	134.055808	286.3753494
0.50	3.87	5.4	1	115.792074	402.167423
0.50	3.92	5.42	1	97.5283396	499.6957627
0.50	3.74	5.24	1	79.2646056	578.9603683
1.00	3.33	6.33	1	61.0008716	639.9612399

dimana:

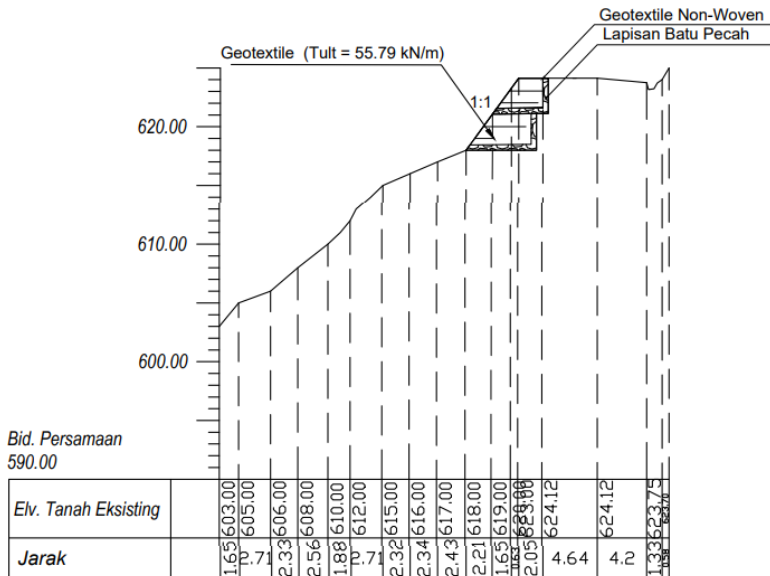
(h)  $L_o$  atau panjang lipatan geotextile merupakan setengah dari panjang  $L_e$ . Apabila  $L_o \geq 1 \text{ m}$ , maka digunakan  $L_o = 1 \text{ m}$ .

$$L_o = 0.5 L_e = 0.5 (1) = 0.5 \text{ m}$$

(i)  $L_r$  adalah panjang geotextile didepan bidang kelongsoran. Dapat diukur dengan program GeoStudio.

- (j)  $L = L_e + L_o + L_r$ , panjang total geotextile pada layer tersebut
- (k) Jumlah lembar geotextile pada layer tersebut
- (l) Momen geotextile =  $T_i \times T_{all} \times n$  lembar geotextile
- (m) Kumulatif jumlah seluruh Momen geotextile pada lapisan tersebut dan lapisan sebelumnya.

Dari perencanaan tersebut, maka didapatkan  $\Sigma$ Momen geotextile = 639.961 kN.m >  $\Delta M_R = 451.298$  kN.m. Maka, perencanaan geotextile memenuhi syarat. Desain subdrain dan geotextile pada lereng KM 8 dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Desain subdrain dan geotextile pada lereng KM 8

## 5.2 Perencanaan Bored Pile

Perencanaan *bored pile* yang akan digunakan pada lokasi KM 5 menggunakan prinsip seperti cerucuk, dimana *bored pile* berfungsi untuk menahan tekanan tanah lateral. Pada Bab IV telah

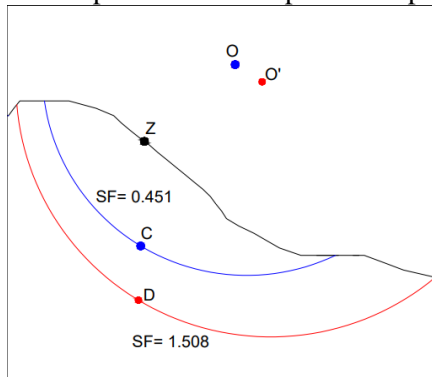
dilakukan analisa stabilitas untuk lereng di KM 5 menggunakan *software* GeoStudio sehingga didapatkan SF sebesar 0.451. Adapun besar momen penahan adalah sebesar 37410.282 kN.m.

Untuk mendapatkan besar momen dorong adalah dengan membagi momen penahan dengan SF yang didapatkan dari *software* GeoStudio. Sehingga, didapatkan momen dorong sebesar 82947.15 kN.m

$$M_{\text{dorong}} = \frac{M_{\text{res}}}{\text{SF}} = \frac{37410.282}{0.451} = 82947.15 \text{ kNm}$$

### 5.2.1 Perencanaan Panjang *Bored Pile*

*Bored pile* yang berfungsi sebagai cerucuk harus direncanakan memotong bidang longsor dimana SF rencana = 1.5. Oleh karena itu, perlu dilakukan *running* GeoStudio dengan mengubah *slip surface* untuk mendapatkan SF = 1.5. Adapun untuk bidang longsor dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Sketsa analisa stabilitas

- Koordinat lereng
  - $x_z = 49$
  - $y_z = 57$
- Koordinat dasar bidang longsor (ketika SF kritis = 0.451)

$$x_c = 49$$

$$y_c = 44$$

- Koordinat dasar bidang longsor (ketika SF = 1.508)

$$x_D = 49$$

$$y_D = 32$$

$$\begin{aligned} L_a \text{ di atas bidang longsor} &= \text{koordinat } (Y_z - Y_c) \\ &= 57 - 44 \\ &= 13 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_b \text{ di bawah bidang longsor} &= \text{koordinat } (Y_c - Y_D) \\ &= 44 - 32 \\ &= 12 \text{ m} \end{aligned}$$

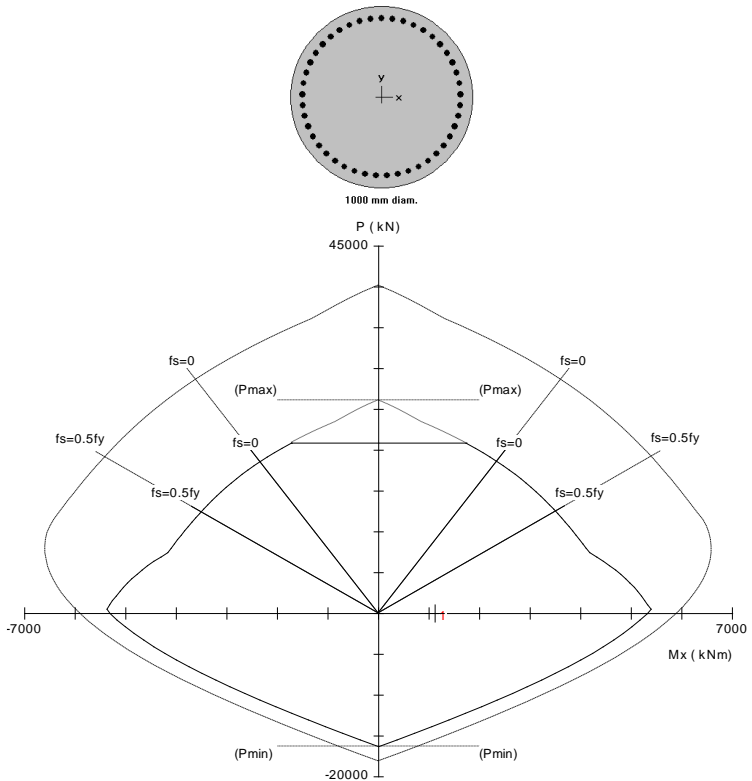
$$\begin{aligned} L \text{ total} &= L_a + L_b \\ &= 13 + 12 \\ &= 25 \text{ m} \end{aligned}$$

### 5.2.2 Perencanaan Tulangan *Bored Pile*

#### a. Tulangan Utama

Dengan menggunakan spColumn direncanakan *bored pile* berukuran 1000 mm dengan mutu beton  $f'_c = 35$  MPa dan mutu tulangan  $f_y = 400$  MPa. *Bored pile* direncanakan dengan tulangan utama diameter 36 mm sejumlah 45 buah. Diagram interaksi penulangan dari spColumn dapat dilihat pada Gambar 5.6.





Gambar 5.6 Diagram interaksi penulangan *bored pile*

Adapun data *bored pile* adalah sebagai berikut:

Diameter	= 1000 mm
$f'_c$	= 35 MPa
$f_y$	= 400 MPa
$I_x = I_y$	= 49087 cm <sup>4</sup>
$M_n$	= 5289 kN.m

b. Tulangan Geser

Digunakan pembebanan gaya geser terbesar pada *bored pile*, yaitu pada ujung bawah *bored pile* dimana  $V_u =$

842520 N. Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.1.1 desain penampang terhadap gaya geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u$$

dimana.

$$V_n = V_c + V_s$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0.17 \times 1 \times \sqrt{35} \times \frac{1}{4} \pi (1000)^2 \\ &= 790219.228 \text{ N} \\ &= 790.219 \text{ kN} \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang D16 dengan jarak 120 mm

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s}$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (16)^2 \\ &= 201.143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{cover} - D_{\text{sengkang}} - 0.5 D_{\text{tul. utama}} \\ &= 1000 - 30 - 16 - 0.5 \times 36 \\ &= 936 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{201.143 \times 400 \times 936}{120} \\ &= 627565.714 \text{ N} \\ &= 627.566 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 790.219 + 627.566 \\ &= 1417.785 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$0.75 \times 1417.785 \text{ kN} \geq 842.5 \text{ kN}$$

$$1063.34 \text{ kN} \geq 842.5 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

### 5.2.3 Gaya Penahan *Bored Pile*

Pada perencanaan *bored pile* ini menggunakan parameter tanah pasir *dense* dimana merupakan lapisan dimana ujung *bored pile* berada. Adapun untuk keseluruhan parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Parameter Tanah

Jenis Tanah	Kedalaman	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cu (kN/m <sup>2</sup> )	$\emptyset$
Lempung very soft (cracked)	0-1 meter	6	0	16
Pasir loose (cracked)	1-3 meter	2.6	0	30
Lempung medium (cracked)	3-4 meter	7.6	0	23
Lempung medium	4-5 meter	7.6	26.5	12
Batupasir	5-12 meter	12	45	0
Pasir medium	12-21 meter	5.5	0	31
Pasir dense	21 - 27 meter	8	0	35

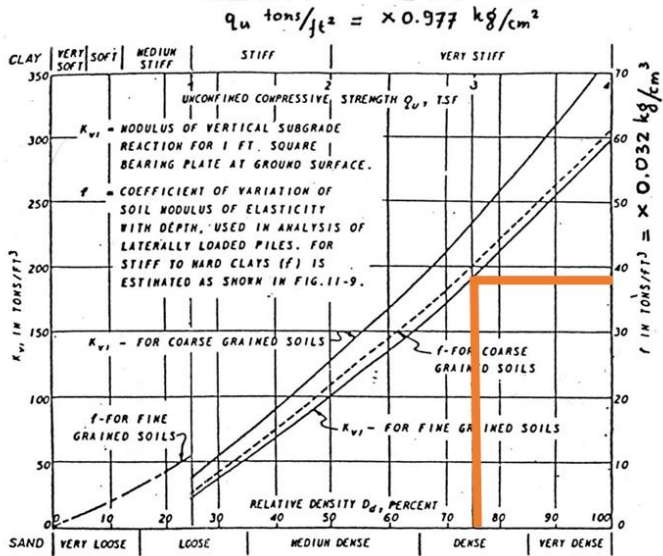
$$C_u = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u = 2 C_u = 0 \text{ kN/m}^2$$

Dengan menggunakan grafik NAVFAC, DM-7, 1971 didapatkan nilai faktor modulus tanah ( $f$ ). Grafik NAVFAC, DM-7 dapat dilihat pada Gambar 5.7. Untuk jenis tanah pasir dense dengan  $D_R$  51% didapatkan nilai  $f$  sebesar 39 t/ft<sup>3</sup>.

$$f = 39 \text{ t/ft}^3$$

$$= 39 \times 0.032 = 1.248 \text{ kg/cm}^3$$



Gambar 5.7 Grafik NAVFAC untuk mendapatkan nilai  $f$

Setelah mendapatkan nilai  $f$ , maka faktor kekakuan relatif ( $T$ ) dapat dicari. Adapun rumus  $T$  adalah sebagai berikut:

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{1/5}$$

Untuk nilai  $I$  bisa didapatkan dengan program spColumn.

$$I = 49087 \text{ cm}^4$$

$$E = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$= 4700 \sqrt{35}$$

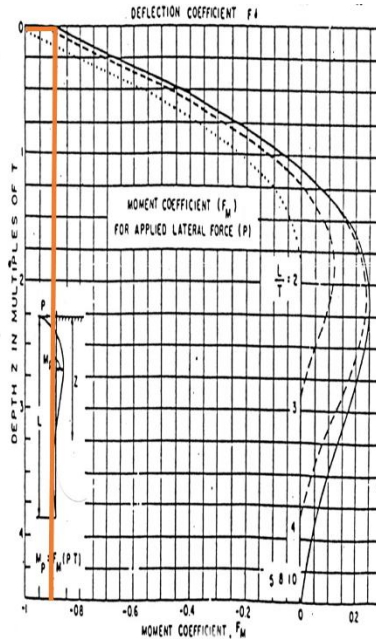
$$= 27805.575 \text{ kg/cm}^2$$

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{1/5}$$

$$= \left(\frac{27805.575 \times 49087}{1.248}\right)^{1/5}$$

$$= 64.24 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan grafik NAVFAC, DM-7, 1971 didapatkan koefisien momen akibat gaya lateral. Grafik NAVFAC, DM-7 dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik NAVFAC untuk mendapatkan nilai F<sub>m</sub>

$$Lb/T = \frac{1200}{64.24} = 18.7$$

$$Z = 0$$

$$F_m = 0.9 \text{ (dari grafik)}$$

### 5.2.3 Gaya Horizontal yang Mampu Dipikul 1 Tiang

Adapun perencanaan *bored pile* yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Diameter} = 1000 \text{ mm}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$D_{\text{tulangan}} = 36 \text{ mm}$$

$$n_{\text{tulangan}} = 45 \text{ buah}$$

Dengan menggunakan spColum didapatkan:

$$\begin{aligned} M_n &= 5289 \text{ kN.m} \\ &= 52890000 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \phi M_n \\ &= 0.9 \times 52890000 \\ &= 47601000 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$F_{kg} = 2.3 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_d$$

dimana:

$$\begin{aligned} - Y_t &= \text{variasi rasio tancap} \\ &= 0.09 X_t - 0.35 \quad (\text{untuk } 5 < X_t < 20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_t &= L/D \\ &= 1200 / 100 \\ &= 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_t &= 0.09 (2) - 0.35 \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - Y_s &= \text{variasi spasi} \\ &= -0.057 X_s^2 + 0.614 X_s - 0.658 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_s &= \text{spasi } S/D \\ &= 250 / 100 \\ &= 2.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_s &= -0.057 (2.5)^2 + 0.614 (2.5) - 0.658 \\ &= 0.521 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - Y_n &= \text{variasi jumlah (sejajar)} \\ &= 1.051 - 0.047 X_n \end{aligned}$$

$$X_n = \text{jumlah } pile, \text{ diasumsikan } 3$$

$$Y_n = 1.051 - 0.047 (3) = 0.91$$

$$\begin{aligned} - Y_d &= \text{variasi diameter} \\ &= 46.616 X_d - 3.582 \end{aligned}$$

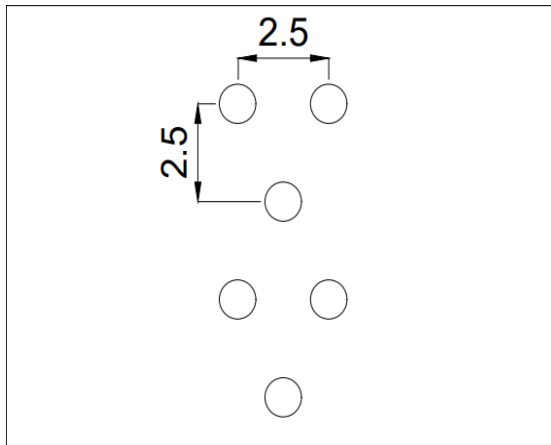
$$\begin{aligned}
 X_d &= D/T \\
 &= 100 / 64.24 \\
 &= 1.56 \quad (X_d > 0.12 \text{ maka } Y_d = 2) \\
 Y_d &= 2 \\
 \text{Maka, nilai } F_{kg} &\text{ adalah sebagai berikut.} \\
 F_{kg} &= 2.3 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_d \\
 &= 2.3 \times 0.73 \times 0.521 \times 0.91 \times 2 \\
 &= 1.59 \\
 P_{\max} &= \frac{Mu \times F_{kg}}{Fm \times T} \\
 &= \frac{47601000 \times 1.59}{0.9 \times 64.24} \\
 &= 1310230 \text{ kg.cm} \\
 &= 1310.23 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 5.2.4 Jumlah *Bored Pile* yang Diperlukan

$$\begin{aligned}
 SF_{\min} &= 0.451 \\
 MR_{\min} &= 37410.28 \text{ kN.m} \\
 R &= 31.28 \text{ m} \\
 SF_{\text{rencana}} &= 1.5 \\
 M_{\text{dorong}} &= \frac{M_{\text{res}}}{SF} = \frac{37410.28}{0.451} \\
 &= 82947.15 \text{ kN.m} \\
 M_{R \text{ rencana}} &= M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \\
 &= 82947.15 \times 1.5 \\
 &= 124424.44 \text{ kN.m} \\
 \Delta M_R &= M_{R \text{ rencana}} - M_R \text{ eksisting} \\
 &= 124424.44 - 37410.28 \\
 &= 87014.16 \text{ kN.m} \\
 n &= \frac{\Delta M_R}{P_{\max} \times R} \\
 &= \frac{87014.16}{1310.23 \times 31.28}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.13 \text{ buah/m} \\
 \text{jarak} &= 2.5 \text{ m} \\
 n &= 2.13 \times 2.5 \text{ m} \\
 &= 5.3 \approx 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

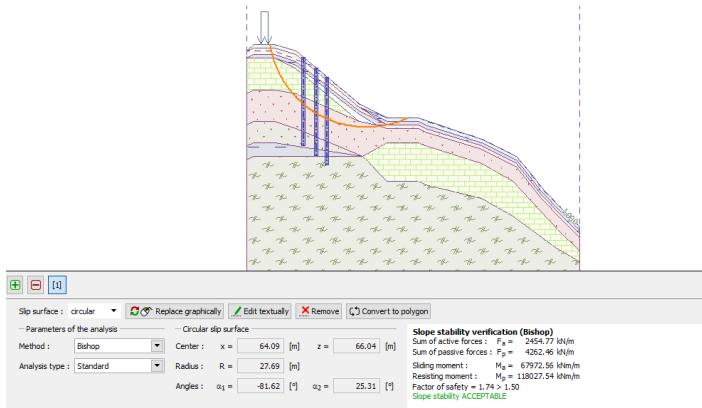
Gambar letak pemasangan *bored pile* sebagai cerucuk dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Sketsa letak pemasangan *bored pile*

Selanjutnya, *bored pile* yang telah direncanakan dimodelkan pada *software* Geo5. Hasil analisa stabilitas dengan Geo5 dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.





Gambar 5.11 *Safety factor* permodelan *bored pile*

Berdasarkan hasil analisa Geo5, didapatkan nilai *safety factor* yang terjadi sebesar 1.74. Dengan nilai  $SF = 1.74 > 1.3$ , maka desain *bored pile* aman terhadap kelongsoran. Selanjutnya dilakukan *pile verification* untuk mengetahui kuat geser maksimum, momen maksimum, dan *displacement*. Adapun hasil verifikasi dapat dilihat pada Gambar 5.11, Gambar 5.12, dan Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.10 Hasil verifikasi *pile* 1

Berdasarkan hasil analisa Geo5 tersebut, maka didapatkan hasil verifikasi *pile 1* sebagai berikut:

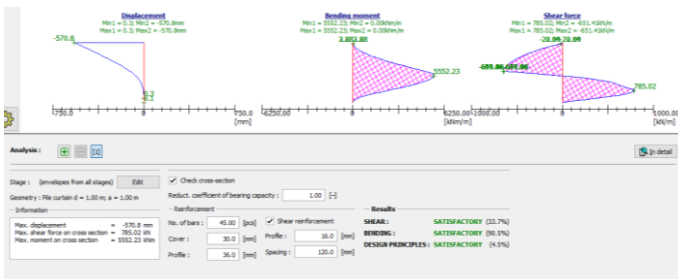
*Max. Displacement* = -485.2 mm  
*Max. Shear force on cross section* = 633.26 kN  
*Max. Moment on cross section* = 4363.04 kN.m



Gambar 5.12 Hasil verifikasi *pile 2*

Adapun hasil analisa Geo5 untuk verifikasi *pile 2* adalah sebagai berikut:

*Max. Displacement* = -631 mm  
*Max. Shear force on cross section* = 842.52 kN  
*Max. Moment on cross section* = 5688.93 kNm



Gambar 5.13 Hasil verifikasi *pile 3*

Hasil analisa Geo5 untuk verifikasi *pile* 3 adalah sebagai berikut:

<i>Max. Displacement</i>	= -570.8 mm
<i>Max. Shear force on cross section</i>	= 785.02 kN
<i>Max. Moment on cross section</i>	= 5552.23 kN.m

Adapun untuk hasil verifikasi *pile*, yang terdiri atas kontrol *shear*, *bending*, dan *design principles*, semuanya menunjukkan hasil yang OK. Sehingga, desain *bored pile* dapat digunakan.

### 5.3 Perencanaan *Ground Anchor*

#### 5.3.1 Perencanaan *Ground Anchor* pada Lokasi KM 5

Dalam perencanaan *ground anchor* pada KM 5 digunakan parameter tanah dibawah bidang longsor, yaitu pasir medium yang dengan nilai  $C_u = 0 \text{ kN/m}^2$  dengan  $\phi = 31^\circ$ . *Ground anchor* direncanakan akan dipasang setiap 2 meter dengan diameter 0.2 m. Berikut adalah perhitungan nilai  $\Delta M_r$ , jumlah *anchor* yang diperlukan, gaya prategang (N *anchor*) yang diterima tiap *anchor* dan juga panjang *grouting* (L) yang diperlukan sebagai perkuatan lereng.

#### Perhitungan Jumlah *Anchor*

Dengan menggunakan persamaan 2.28 maka didapat nilai M dorong sebesar:

$$M_{\text{dorong}} = \frac{M_{\text{resisting}}}{SF}$$

$$M_{\text{dorong}} = \frac{37410.282}{0.451}$$

$$M_{\text{dorong}} = 82949.63 \text{ kN.m}$$

Setelah mendapatkan nilai M dorong, maka M resisting rencana bisa didapatkan dengan SF rencana = 1.3.

$$\begin{aligned} M_{\text{resisting rencana}} &= M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \\ &= 82949.63 \times 1.3 \\ &= 107834.52 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Maka didapat nilai  $\Delta M_r$  yaitu nilai momen yang akan dipikul oleh *ground anchor* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta M_r &= M_{\text{resisting rencana}} - M_{\text{resisting terjadi}} \\ &= 107834.52 - 37410.282 \\ &= 70424 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Dikarenakan *ground anchor* direncanakan dipasang setiap 2 meter, maka nilai momen yang dipikul *ground anchor* harus dikali 2.

$$\begin{aligned}\Delta M_r &= 70424 \times 2 \\ &= 140848.47 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.33 maka didapat nilai N (gaya pra-tegang tegak lurus bidang longsor).

$$\begin{aligned}N_{\text{ anchor}} &= \frac{\Delta M_r}{R} \\ &= \frac{140848.47}{31.283} \\ &= 4502.4 \text{ kN}\end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai N, maka jumlah kebutuhan *ground anchor* dapat dihitung. Adapun *anchor* yang digunakan adalah Freyssinet. Dalam brosur ini, digunakan tipe Freyssibar dimana *ultimate load* = 2534 kN. Maka, *tensile allowable* yang digunakan adalah 1/3 dari *ultimate load*. Brosur *Anchoring Systems for Geotechnical Engineering* dari Freyssinet dapat dilihat dalam Lampiran.

$$P = \frac{2534}{3} = 844.67 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{max}} &= P \tan \phi \\ &= 844.67 (0.601) \\ &= 507.53\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_{\text{ anchor}} &= \frac{N_{\text{ anchor}}}{P} \\ &= \frac{4502.4}{507.53} \\ &= 9 \text{ buah}\end{aligned}$$

### Perhitungan Panjang *Grouting*

Dengan menggunakan persamaan 2.36 maka panjang *grouting* (L) di belakang bidang longsor dapat dicari. Dalam perencanaan panjang *grouting* ini diputuskan menggunakan nilai SF = 2 dan kemampuan tarik harus lebih besar dua kali P *anchor*, sehingga:

$$P = 844.67 \text{ kN}$$

$$SF = 2$$

$$P \times SF = \pi \times D \times L \times k_u \times \tan \phi \times \sigma_{V_{average}}$$

$$L = \frac{P \times SF}{\pi \times D \times k_u \times \tan \phi \times \sigma_{avg}}$$

$$= \frac{844.67 \times 2}{\pi \times 0.2 \times 1.7 \times 0.601 \times 234.8}$$

$$= 12 \text{ m}$$

Adapun untuk perhitungan panjang *grouting* untuk setiap *anchor* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut. Untuk panjang *anchor* di depan bidang longsor dapat diukur dengan menggunakan program GeoStudio.

Tabel 5.4 Perhitungan Panjang *Grouting* di Lokasi KM 5

No anchor	P kN	SF	D m	$\phi$ °	Ku	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\tan \phi$	L m	L bid longsor m	L total m	Pull out resistenc
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
1	844.67	2	0.2	31	1.7	234.8	0.6009	12.0	7.6	19.6	137.5266
2	844.67	2	0.2	31	1.7	256.8	0.6009	11.0	9.4	20.4	131.8638
3	844.67	2	0.2	31	1.7	287.8	0.6009	10.0	10.3	20.3	132.5134
4	844.67	2	0.2	31	1.7	307.9	0.6009	9.0	11.4	20.4	131.9932
5	844.67	2	0.2	31	1.7	314.6	0.6009	9.0	11.7	20.7	129.9527
6	844.67	2	0.2	31	1.7	327.36	0.6009	9.0	11.4	20.4	132.058
7	844.67	2	0.2	31	1.7	320.86	0.6009	9.0	11.1	20.1	133.8319
8	844.67	2	0.2	31	1.7	291.3	0.6009	10.0	10.0	20.0	134.5011
9	844.67	2	0.2	31	1.7	286.9	0.6009	10.0	8.8	18.8	143.0862

dimana:

(a) Nomor *anchor* merupakan urutan *anchor* dari paling atas

(b) P = gaya yang diberikan pada tiap *grouting*

- (c) SF = 2
- (d) D = diameter *grouting*
- (e)  $\Phi$  = nilai sudut geser dari tanah di sekitar *grouting*
- (f) Ku = koefisien tekanan tanah lateral untuk uplift  
(Tabel 2.5)
- (g)  $\sigma_v$  = rata-rata tegangan vertikal sepanjang *grouting*
- (h)  $\tan 31 = 0.601$
- (i) L = panjang *grouting* di belakang bidang longsor
- (j) Panjang *grouting* di dalam bidang longsor yang diukur dengan *software* GeoStudio
- (k) L total = L grouted + L bidang longsor
- (l) *Pull out resistance* =  $\frac{2 \times P}{\pi \times D \times L}$

Panjang *grouting* total dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Panjang Grouting Total di Lokasi KM 5

No anchor	L total
	m
1	20.0
2	21.0
3	21.0
4	21.0
5	21.0
6	21.0
7	21.0
8	20.0
9	19.0

### Perencanaan Balok Beton Penahan *Anchor*

Setelah didapat panjang *anchor*, dilakukan perhitungan balok beton sebagai pondasi penahan *anchor* di permukaan tanah menggunakan rumus pondasi telapak bujur sangkar.

$$q_{ult} = 1.3 C' Nc' + q Nq' + 0.4 \gamma' B N\gamma' \text{ (Terzaghi)}$$

dimana:

$$C' = \text{Koheesi tanah, } C' = \frac{2}{3} C_u \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q = \gamma' \times D_f \text{ (m)}$$

$$\gamma' = \text{Berat volume efektif (kN/m}^3\text{)}$$

$$B = \text{Lebar pondasi (m)}$$

$$q_{ult} = \text{Daya dukung ultimate (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_{ijin} = q_{ult}/SF \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$SF = 3 \text{ (untuk beban tetap)}$$

$Nc'$ ,  $Nq'$  dan  $N\gamma'$  = Faktor daya dukung yang dipengaruhi oleh nilai sudut geser dalam tanah.

Adapun lapisan tanah lereng bagian atas digali sedalam 5 meter hingga mencapai lapisan tanah yang lebih keras. Dalam perencanaan ini, pondasi diletakkan pada lapisan batupasir.

Direncanakan:

- $C'$  lapisan atas = 0 kPa
- $\gamma'$  = 12 kN/m<sup>3</sup>
- Lebar pondasi (B) asumsi = 1 meter
- Kedalaman pondasi rencana,  $D_f$  = 5 meter
- Sudut geser dalam,  $\phi$  = 45°

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 2.16 maka didapatkan nilai faktor daya dukung untuk  $\phi = 45^\circ$ .

- $Nc'$  = 172.28

- $Nq'$  = 173.28

- $N\gamma'$  = 325.34

$$q_{ult} = 1.3 C' Nc' + q Nq' + 0.4 \gamma' B N\gamma'$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.3 C' Nc' + \gamma' Df Nq' + 0.4 \gamma' B N\gamma' \\
 &= (1.3 \times 0 \times 172.28) + (12 \times 5 \times 173.28) + (0.4 \times 12 \times 1 \times 325.34) \\
 &= 11952.4 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai  $q$  ultimate, maka nilai  $q$  ijin bisa didapatkan dengan menggunakan  $SF = 3$  (beban tetap).

$$\begin{aligned}
 Q \text{ ijin} &= \frac{q \text{ ult}}{SF} \\
 &= \frac{11952.4}{3} \\
 &= 3986 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya  $P$  *anchor* tersebut sudah berada tegak lurus dengan pelat beton. Untuk mencari tegangan yang dihasilkan prategang  $P$  *anchor* adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A}, \text{ sehingga } A = \frac{P}{\sigma}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{844.67}{3986.14} \\
 &= 0.211 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \sqrt{0.211} \\
 s &= 0.5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

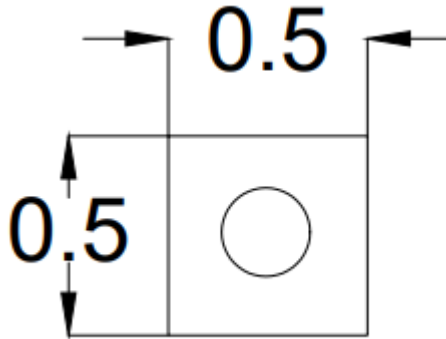
Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah tulangan yang dibutuhkan pelat beton penahan. Adapun data perencanaan untuk pondasi beton penahan adalah sebagai berikut:

- Dimensi pelat = 500 x 500 mm
- Tebal pelat = 5000 mm
- Tebal decking = 40 mm
- Diameter tulangan = 36 mm
- $f_y$  = 400 MPa
- $f'_c$  = 30 MPa
- $d$  =  $h - \text{decking} - 0.5 d$  tulangan  
 = 5000 – 40 – 0.5 x 36  
 = 4942 mm



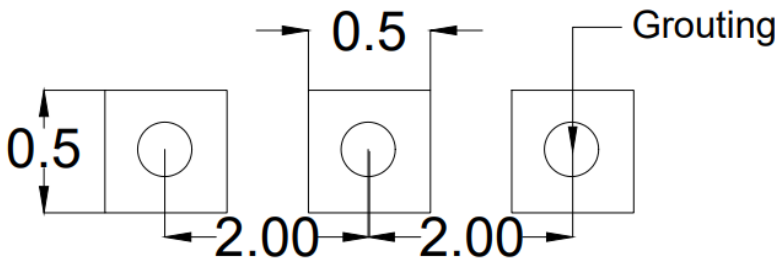
- $$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05 (f'c - 28)}{7}$$

$$= 0.84$$



Gambar 5.14 Dimensi balok beton penahan di KM 5

Jarak antar grouting dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Jarak antar grouting KM 5

### Perhitungan Beban Merata pada Pelat Penahan

$$\begin{aligned}
 Q_t &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{844.67}{(0.5 \times 0.5)} \\
 &= 3378.68 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Momen Ultimate Beton Penahan**

$$\begin{aligned}
 Mu &= \frac{1}{8} qb^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 3986 \times 0.5^2 \\
 &= 105.6 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Momen Nominal Beton Penahan**

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{0.9} \\
 &= \frac{105.6}{0.9} \\
 &= 117.3 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Rasio Penulangan**

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\
 &= \frac{1173148184.8}{500 \times 3942^2} \\
 &= 0.01 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0.85 f'c} \\
 &= \frac{400}{0.85 (30)} \\
 &= 15.69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15.69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 (15.69) (0.01)}{400}} \right) \\
 &= 0.0018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= \frac{1.4}{fy} \\
 &= \frac{1.4}{400} \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ max} &= 0.75 \times \frac{0.85 \times \beta \times f'c}{fy} \times \frac{600}{(600+fy)} \\
 &= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.84 \times 30}{400} \times \frac{600}{(600+400)}
 \end{aligned}$$

$$= 0.024$$

Syarat :  $\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$   
 $0.0035 < 0.0018 < 0.024$

Karena  $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$ , maka yang digunakan adalah  $\rho \text{ min}$ .

### **Perhitungan Jumlah Tulangan**

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0035 \times 500 \times 4942 \\ &= 7962.27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As tulangan} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (36)^2 \\ &= 1018.29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} \\ &= \frac{7962.27}{1018.29} \\ &= 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

### **Jarak Pemasangan Tulangan**

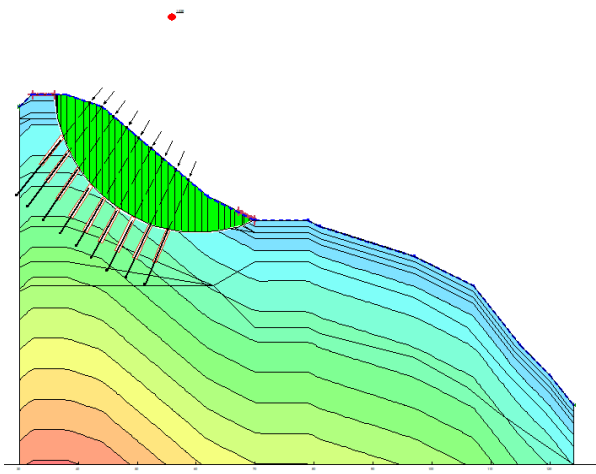
$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{(n-1)} \\ &= 66 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Syarat:

$$s \text{ max} = 450 \text{ mm}$$

$$s \text{ pakai} < s \text{ max} \quad \text{(OK)}$$

Jadi, dipasang tulangan D36-60 mm sejumlah 8 buah.



Gambar 5..16 Pemodelan *ground anchor* di lokasi KM 5

Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

405  Auto select critical

Slip #	F of S	X Center (m)	Y Center (m)
405	1.538	60.127	63.039
360	1.569	59.801	63.049
400	1.587	59.905	63.029
315	1.589	59.477	63.06
355	1.609	59.578	63.039
270	1.610	59.155	63.07
395	1.628	59.683	63.019
225	1.631	58.836	63.081
310	1.641	59.254	63.05
180	1.645	58.519	63.091
350	1.652	59.356	63.029
265	1.653	58.932	63.06

Gambar 5.17 *Safety factor ground anchor* di lokasi KM 5

Berdasarkan hasil analisa *software* GeoStudio, didapatkan nilai *safety factor* yang terjadi sebesar 1.538. Dengan nilai  $SF = 1.538 > SF \text{ rencana} = 1.3$ , maka desain *ground anchor* aman terhadap kelongsoran. Desain tampak atas pemasangan *ground anchor* di KM 5 dapat dilihat pada Lampiran.

### 5.3.2 Perencanaan *Ground Anchor* pada Lokasi KM 8

Dalam perencanaan *ground anchor* pada KM 8 digunakan parameter tanah dibawah bidang longsor, yaitu pasir *medium* yang dengan nilai  $C_u = 0 \text{ kN/m}^2$  dengan  $\phi = 35^\circ$ . *Ground anchor* direncanakan akan dipasang setiap 1.5 meter dengan diameter 0.2 m. Berikut adalah perhitungan nilai  $\Delta M_r$ , jumlah *anchor* yang diperlukan, gaya prategang ( $N \text{ anchor}$ ) yang diterima tiap *anchor* dan juga panjang *grouting* (L) yang diperlukan sebagai perkuatan lereng.

#### Perhitungan Jumlah *Anchor*

Dengan menggunakan persamaan 2.28 maka didapat nilai M dorong sebesar:

$$M_{\text{dorong}} = \frac{M_{\text{resisting}}}{SF}$$

$$M_{\text{dorong}} = \frac{512.928}{0.338}$$

$$M_{\text{dorong}} = 1517.54 \text{ kN.m}$$

Setelah mendapatkan nilai M dorong, maka M resisting rencana bisa didapatkan dengan  $SF \text{ rencana} = 1.3$ .

$$\begin{aligned} M_{\text{resisting rencana}} &= M_{\text{dorong}} \times SF_{\text{rencana}} \\ &= 1517.54 \times 1.3 \\ &= 1973 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Maka didapat nilai  $\Delta M_r$  yaitu nilai momen yang akan dipikul oleh *ground anchor* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta M_r &= M_{\text{resisting rencana}} - M_{\text{resisting terjadi}} \\ &= 1973 - 512.928 \end{aligned}$$

$$= 1459.87 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan *ground anchor* direncanakan dipasang setiap 1.5 meter, maka nilai momen yang dipikul *ground anchor* harus dikali 1.5.

$$\begin{aligned} \Delta Mr &= 1459.87 \times 1.5 \\ &= 2189.81 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.33 maka didapat nilai N (gaya pra-tegang tegak lurus bidang longsor).

$$\begin{aligned} N_{\text{anchor}} &= \frac{\Delta Mr}{R} \\ &= \frac{2189.81}{10.61} \\ &= 206.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai N, maka jumlah kebutuhan *ground anchor* dapat dihitung. Adapun *anchor* yang digunakan adalah Freyssinet. Dalam brosur ini, digunakan tipe Freyssinet670-E dimana *ultimate load* = 770 kN. Maka, *tensile allowable* yang digunakan adalah 1/3 dari *ultimate load*. Brosur *Anchoring Systems for Geotechnical Engineering* dari Freyssinet dapat dilihat dalam Lampiran.

$$P = \frac{1}{3} \times 770 \text{ kN} = 256.67 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{max}} &= P \tan \phi \\ &= 256.67 (0.7) \\ &= 179.72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{anchor}} &= \frac{N_{\text{anchor}}}{P_{\text{max}}} \\ &= \frac{206.4}{179.72} \\ &= 1.15 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

### **Perhitungan Panjang Grouting**

Dengan menggunakan persamaan 2.36 maka panjang *grouting* (L) di belakang bidang longsor dapat dicari. Dalam

perencanaan panjang *grouting* ini diputuskan menggunakan nilai  $SF = 2$  dan kemampuan tarik harus lebih besar dua kali  $P$  *anchor*.

$$P = 256.67 \text{ kN}$$

$$SF = 2$$

$$K_u = 2.5 \text{ (dengan menggunakan Tabel 2.5)}$$

$$P \times SF = \pi \times D \times L \times k_u \times \tan \phi \times \sigma_{V_{\text{average}}}$$

$$L = \frac{P \times SF}{\pi \times D \times k_u \times \tan \phi \times \sigma_{\text{avg}}}$$

$$= \frac{256.67 \times 2}{\pi \times 0.2 \times 2.5 \times 0.7 \times 126.95}$$

$$= 4 \text{ m}$$

Adapun untuk perhitungan panjang *grouting* untuk setiap *anchor* dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.6 Perhitungan Panjang *Grouting* di Lokasi KM 8

No anchor	P kN	SF	D m	$\phi$ °	$K_u$	$\sigma_v$ kN/m <sup>2</sup>	$\tan \phi$	Lgrout m	L bid longsor m	L total m	Pull out resistance kN/m <sup>2</sup>
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
1	256.667	2	0.2	35	2.5	126.95	0.70	4	2	6	215.9320789
2	256.667	2	0.2	35	2.5	148.95	0.70	4	2.5	7	188.633023

dimana:

- (a) Nomor *anchor* merupakan urutan *anchor* dari paling atas
- (b)  $P$  = gaya yang diberikan pada tiap *grouting*
- (c)  $SF$  = 2
- (d)  $D$  = diameter *grouting*
- (e)  $\Phi$  = nilai sudut geser dari tanah di sekitar *grouting*
- (f)  $K_u$  = koefisien tekanan tanah lateral untuk uplift (Tabel 2.5)
- (g)  $\sigma_v$  = rata-rata tegangan vertikal sepanjang *grouting*
- (h)  $\tan 35 = 0.7$
- (i)  $L$  = panjang *grouting* di belakang bidang longsor
- (j) Panjang *grouting* di dalam bidang longsor yang dapat diukur dengan *software* GeoStudio
- (k)  $L$  total =  $L$  grouted +  $L$  *grouting* dalam bidang longsor

$$(1) \text{ Pull out resistance} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times L}$$

Panjang *grouting* total dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.7 Panjang *Grouting* Total di Lokasi KM 8

No anchor	L total
	(m)
1	6
2	7

### Perencanaan Balok Beton Penahan *Anchor*

Setelah didapat panjang *anchor*, dilakukan perhitungan balok beton sebagai pondasi penahan *anchor* di permukaan tanah menggunakan rumus pondasi telapak bujur sangkar.

$$q_{ult} = 1.3 C' N_{c'} + q N_{q'} + 0.4 \gamma' B N_{\gamma'} \quad (\text{Terzaghi})$$

dimana:

$$C' = \text{Koehesi tanah, } C' = \frac{2}{3} C_u \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q = \gamma' \times D_f \text{ (m)}$$

$$\gamma' = \text{Berat volume efektif (kN/m}^3\text{)}$$

$$B = \text{Lebar pondasi (m)}$$

$$q_{ult} = \text{Daya dukung ultimate (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_{ijin} = q_{ult}/SF \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$SF = 3 \text{ (untuk beban tetap)}$$

$N_{c'}$ ,  $N_{q'}$  dan  $N_{\gamma'}$  = Faktor daya dukung yang dipengaruhi oleh nilai sudut geser dalam tanah.

Direncanakan:

- $C'$  lapisan atas = 33.3 kPa
- $\gamma'$  = 7 kN/m<sup>3</sup>
- Lebar pondasi (B) asumsi = 1 meter
- Kedalaman pondasi rencana,  $D_f$  = 0.3 meter
- Sudut geser dalam,  $\phi$  = 24°



Dengan menggunakan grafik pada Gambar 2.16 maka didapatkan nilai faktor daya dukung untuk  $\phi = 24^\circ$ .

- $Nc'$  = 23.36
- $Nq'$  = 11.4
- $N\gamma'$  = 7.08

$$\begin{aligned} q_{ult} &= 1.3 C' Nc' + q Nq' + 0.4 \gamma' B N\gamma' \\ &= 1.3 C' Nc' + \gamma' D_f Nq' + 0.4 \gamma' B N\gamma' \\ &= (1.3 \times 33.3 \times 23,36) + (7 \times 0.3 \times 11.4) + (0.4 \times 7 \times 1 \times 7.08) \\ &= 1056 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai  $q_{ultimate}$ , maka nilai  $q_{ijin}$  bisa didapatkan dengan menggunakan  $SF = 3$  (beban tetap).

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= \frac{q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{1056}{3} \\ &= 351.91 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

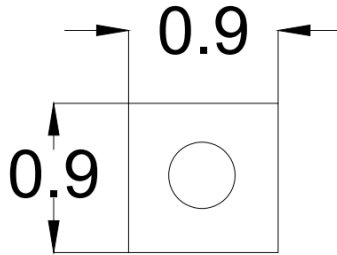
Gaya  $P_{anchor}$  tersebut sudah berada tegak lurus dengan pelat beton. Untuk mencari tegangan yang dihasilkan prategang  $T_{anchor}$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P}{A}, \text{ sehingga } A = \frac{P}{\sigma} \\ A &= \frac{235.67}{351.91} \\ &= 0.729 \text{ m}^2 \\ s &= \sqrt{0.729} \\ s &= 0.854 \approx 0.9 \text{ m} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah tulangan yang dibutuhkan pelat beton penahan. Adapun data perencanaan untuk pelat beton penahan adalah sebagai berikut:

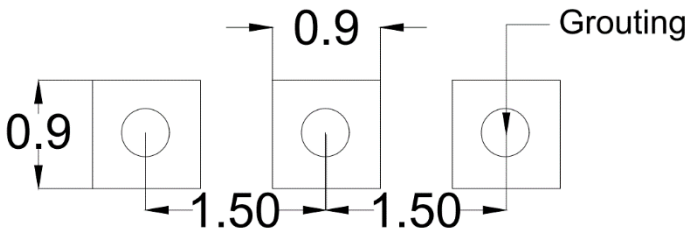
- Dimensi pelat = 900 x 900 mm
- Tebal pelat = 300 mm
- Tebal decking = 40 mm
- Diameter tulangan = 29 mm

- $f_y$  = 400 MPa
- $f'_c$  = 30 MPa
- $d$  =  $h - \text{decking} - 0.5 d \text{ tulangan}$   
 =  $300 - 40 - 0.5 \times 29$   
 = 245.5 mm
- $\beta_1$  =  $0.85 - \frac{0.05 (f'_c - 28)}{7} = 0.84$



Gambar 5.18 Dimensi balok penahan anchor di lokasi KM 8

Jarak tiap grouting dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Jarak tiap grouting pada lokasi KM 8

### Perhitungan Beban Merata pada Pelat Penahan

$$\begin{aligned}
 Q_t &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{256.67}{(0.9 \times 0.9)} \\
 &= 351.91 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Momen Ultimate Beton Penahan**

$$\begin{aligned}
 Mu &= \frac{1}{8} qb^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 351.91 \times 0.9^2 \\
 &= 35.63 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Momen Nominal Beton Penahan**

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{0.9} \\
 &= \frac{35.63}{0.9} \\
 &= 39.59 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Rasio Penulangan**

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \times d^2} \\
 &= \frac{39589427.5}{900 \times 245.5^2} \\
 &= 0.73 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0.85 f'c} \\
 &= \frac{400}{0.85 (30)} \\
 &= 15.69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15.69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 (15.69) (0.73)}{400}} \right) \\
 &= 0.0153
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ min} &= \frac{1.4}{fy} \\
 &= \frac{1.4}{400} \\
 &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ max} &= 0.75 \times \frac{0.85 \times \beta \times f'c}{fy} \times \frac{600}{(600+fy)} \\
 &= 0.75 \times \frac{0.85 \times 0.84 \times 30}{400} \times \frac{600}{(600+400)}
 \end{aligned}$$

$$= 0.024$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0.0035 < 0.0153 < 0.024$$

**(OK)**

### **Perhitungan Jumlah Tulangan**

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0153 \times 900 \times 244 \\ &= 3370 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As tulangan} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (29)^2 \\ &= 660.79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As tulangan}} \\ &= \frac{3370}{660.79} \\ &= 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

### **Perhitungan Jarak Pemasangan Tulangan**

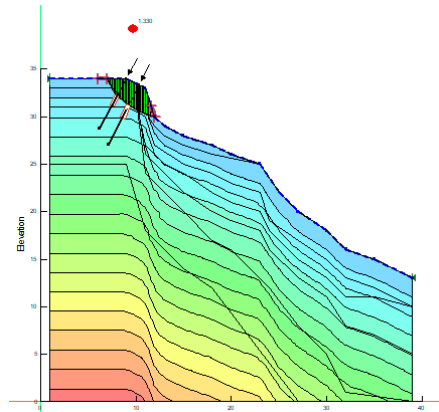
$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{(n-1)} \\ &= 180 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$s_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} < s_{\max} \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi, dipasang tulangan D29-180 mm sejumlah 6 buah.



Gambar 5.20 Pemodelan *ground anchor* pada lokasi KM 8

Slip Surfaces			
All slip surfaces			
Select Slip Surface			
<input checked="" type="checkbox"/>	358	<input type="checkbox"/>	Auto select critical
Slip #	F of S	X Center (m)	Y Center (m)
358	1.330	13.292	36.938
398	1.359	13.192	36.837
402	1.376	16.934	41.292
313	1.401	13.166	36.975
399	1.414	11.86	35.128
353	1.433	13.066	36.875
357	1.434	16.754	41.375
394	1.452	11.701	35.104
393	1.467	12.967	36.774
268	1.473	13.043	37.013
397	1.475	16.531	41.122
312	1.496	16.581	41.458
308	1.514	12.944	36.912
404	1.540	12.021	35.152

Gambar 5.21 *Safety factor ground anchor* di lokasi KM 8

Berdasarkan hasil analisa *software* GeoStudio, didapatkan nilai *safety factor* yang terjadi sebesar 1.330. Dengan  $SF = 1.330 > SF \text{ rencana} = 1.3$  untuk lereng permanen, maka desain *ground anchor* aman terhadap kelongsoran. Desain tampak atas pemasangan *ground anchor* di KM 8 dapat dilihat pada Lampiran.

## 5.4 Analisa Kebutuhan Material dan Biaya

Pada subbab ini akan dibahas mengenai analisa kebutuhan material dan biaya pada perencanaan perkuatan yang diajukan dalam Tugas Akhir ini. Adapun semua alternatif perkuatan disertai dengan perencanaan subdrain. Alternatif tersebut akan dibandingkan satu sama lain dan alternatif terpilih adalah perencanaan perkuatan yang paling ekonomis dari segi material.

### 5.4.1 Analisa Biaya Material Subdrain dan *Soil Reinforcement*

Pada perencanaan subdrain dalam Tugas Akhir ini menggunakan susunan batu pecah dan kerikil yang disusun menyerupai bronjong dan dibungkus dengan menggunakan geotextile non-woven agar butiran tanah tidak ikut terbawa keluar bersamaan dengan air. Sedangkan *soil reinforcement* yang digunakan adalah geotextile, dimana pada lokasi KM 5 digunakan geotextile praktis dan untuk lokasi KM 8 digunakan geotextile type 25.

#### 1. KM 5

- Subdrain

Panjang lereng	= 53.9 m
Tebal subdrain	= 0.5 m
Luas (dari AutoCad)	= 76 m <sup>2</sup>
Volume bronjong	= 76 x 53.9 m = 4096.4 m <sup>3</sup>
Harga batu belah	= Rp 250.000 / m <sup>3</sup>
Total harga bronjong	= Rp 1.024.100.000

Keliling subdrain (dari AutoCad)	= 311 m
Luas geotextile non-woven	= 311 x 53.9 = 16762.9 m <sup>2</sup>

Harga geotextile non-woven	= Rp 12.300 / m <sup>2</sup>
Total harga geotextile	= Rp 206.183.670
Total biaya	= Rp 1.230.283.670
<b>Total biaya + 10%</b>	= 1.1 x Rp1.230.283.670
	= Rp 1.353.312.037

- Geotextile

L total geotextile	= 21 x 2 = 42 m
L lereng	= 53.9 m
Luas kebutuhan geotextile	= 42 x 53.9
	= 2263.8 m <sup>2</sup>

Untuk lokasi KM 5 digunakan geotextile type 25 dengan ukuran 150 x 4 m. Maka, jumlah roll geotextile yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

Jumlah roll	= $\frac{\text{Luas kebutuhan geotextile}}{\text{Luas spek geotextile}}$
	= $\frac{2263.8}{150 \times 4}$
	= 3.77 $\approx$ 4 roll
Harga per roll	= Rp 6.700.000
Total biaya geotextile	= 4 x Rp 6.200.000
	= Rp 24.800.000
<b>Total biaya + 10%</b>	= Rp 27.280.000

## 2. KM 8

- Subdrain

Panjang lereng	= 23.58 m
Tebal subdrain	= 0.5 m
Luas (dari AutoCad)	= 7 m <sup>2</sup>
Volume bronjong	= 7 x 23.58 m
	= 165.06 m <sup>3</sup>
Harga batu belah	= Rp 250.000 / m <sup>3</sup>
Total harga bronjong	= Rp 41.265.000

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling subdrain (AutoCad)} &= 34 \text{ m} \\
 \text{Luas geotextile} &= 34 \times 23.58 \\
 &= 801.72 \text{ m}^2 \\
 \text{Harga geotextile non-woven} &= \text{Rp } 12.300 / \text{m}^2 \\
 \text{Total harga geotextile} &= \text{Rp } 9.861.156 \\
 \text{Total biaya} &= \text{Rp } 51.126.156 \\
 \text{Total biaya + 10\%} &= 1.1 \times \text{Rp } 51.126.156 \\
 &= \text{Rp } 56.238.771
 \end{aligned}$$

- Geotextile

Berdasarkan perhitungan kebutuhan geotextile yang telah dilakukan pada subbab 5.1.2, maka didapatkan kebutuhan panjang geotextile adalah 29.19 m.

$$\begin{aligned}
 \text{L total geotextile} &= 29.19 \text{ m} \\
 \text{L lereng} &= 23.58 \text{ m} \\
 \text{Luas kebutuhan geotextile} &= 29.19 \times 23.58 \\
 &= 688.3 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Untuk lokasi KM 8 digunakan geotextile woven type 25 dengan ukuran 150 x 4 m. Maka, jumlah roll geotextile yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah roll} &= \frac{\text{Luas kebutuhan geotextile}}{\text{Luas spek geotextile}} \\
 &= \frac{688.3}{150 \times 4} \\
 &= 1.15 \approx 2 \text{ roll} \\
 \text{Harga per roll} &= \text{Rp } 6.200.000 \\
 \text{Total biaya geotextile} &= 2 \times \text{Rp } 6.200.000 \\
 &= \text{Rp } 12.400.000 \\
 \text{Total biaya + 10\%} &= \text{Rp } 13.640.000
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi biaya material geotextile untuk lokasi KM 5 dan KM 8 dapat dilihat pada Tabel 5.8, sedangkan untuk rekapitulasi biaya material subdrain dapat dilihat pada Tabel 5.9.



Tabel 5.8 Rekapitulasi Biaya Material *Soil Reinforcement*

KM 5						
L total geotextile (m)	L lereng (m)	Luas kebutuhan (m <sup>2</sup> )	Luas geotextile (m <sup>2</sup> )	Jumlah roll	Harga 1 roll	TOTAL
42	53.9	2263.8	600	4	Rp 6,200,000	Rp 24,800,000.00
<b>TOTAL + 10%</b>						Rp 27,280,000.00
KM 8						
L total geotextile (m)	L lereng (m)	Luas kebutuhan (m <sup>2</sup> )	Luas geotextile (m <sup>2</sup> )	Jumlah roll	Harga 1 roll	TOTAL
29.19	23.58	688.3002	600	2	Rp 6,200,000	Rp 12,400,000.00
<b>TOTAL + 10%</b>						Rp 13,640,000.00

Tabel 5.9 Rekapitulasi Biaya Material Subdrain

KM 5					
Bronjong	Tebal (m)	Luas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Harga/m <sup>3</sup>	TOTAL
	0.5	76	4096.4	Rp 250,000	Rp 1,024,100,000
Geotextile	Keliling (m)		Luas (m <sup>2</sup> )	Harga/m <sup>2</sup>	TOTAL
	311		16762.9	Rp 12,300.00	Rp 206,183,670.00
<b>TOTAL + 10%</b>					Rp 1,353,312,037.00
KM 8					
Bronjong	Tebal (m)	Luas (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Harga/m <sup>3</sup>	TOTAL
	0.5	7	165.06	Rp 250,000	Rp 41,265,000
Geotextile	Keliling (m)		Luas (m <sup>2</sup> )	Harga/m <sup>2</sup>	TOTAL
	34		801.72	Rp 12,300.00	Rp 9,861,156.00
<b>TOTAL + 10%</b>					Rp 56,238,771.60

### 5.4.2 Analisa Biaya Material Bored Pile

Alternatif *bored pile* hanya digunakan di lokasi KM 5 dimana *bored pile* direncanakan memiliki diameter 1 meter dengan jarak pemasangan 2.5 meter antar tiang. Panjang total setiap *bored pile* adalah 25 meter. Perhitungan biaya material *bored pile* adalah sebagai berikut:

Panjang lereng KM 5 = 53.9 m

Jumlah pile/ m' = 2.13 buah

Jumlah titik *bored pile* = 53.9 m / 2.5 m = 21.6 titik

$$\begin{aligned}
 &= 21.6 \times 2.13 \\
 &= 45.9 \text{ titik} \approx 46 \text{ titik} \\
 \text{Volume beton / pile} &= \frac{1}{4} \pi D^2 L \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times (1)^2 \times 25 \\
 &= 19.625 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Penulangan beton yang digunakan adalah D36 sebanyak 45 buah untuk tulangan utama dan tulangan geser D16 sebanyak 9 buah.

$$\begin{aligned}
 \text{L tulangan utama} &= n \times L \\
 &= 45 \times 25 \\
 &= 1125 \text{ m per pile} \\
 \text{L tulangan geser} &= \text{keliling lingkaran} \times n \times L \\
 &= (\pi \times 1) \times 9 \times 25 \\
 &= 732.67 \text{ m per pile}
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui panjang tulangan yang diperlukan tiap pile, maka biaya material tulangan dapat dihitung. Adapun untuk harga tulangan D36 adalah Rp 912.000 / 12 m dan harga tulangan D16 adalah Rp 162.000 / 12 m. Sehingga, harga tulangan untuk 1 *bored pile* adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Harga tulangan} &= \frac{1125 \times \text{Rp } 912.000}{12} + \frac{732.67 \times \text{Rp } 162.000}{12} \\
 &= \text{Rp } 95.391.000 / \text{pile} \\
 \text{Harga ready mix K-450} &= \text{Rp } 1.040.000 \\
 \text{Harga beton} &= 19.625 \times \text{Rp } 1.040.000 \\
 &= \text{Rp } 20.410.000 / \text{pile}
 \end{aligned}$$

Harga material yang dibutuhkan untuk pengecoran dan penulangan 46 titik *bored pile* berdasarkan harga yang telah dihitung adalah seperti Tabel 5.10. Penambahan 10% sebagai antisipasi terhadap kehilangan material saat pelaksanaan.

Tabel 5.10 Total Biaya Material *Bored Pile*

Harga tulangan / pile	=	Rp	95.391.000
Harga ready mix beton / pile	=	Rp	20.410.000
Total	=	Rp	115.801.000
Total 46 titik + 10%	=	Rp	5.859.530.600

### 5.4.3 Analisa Biaya Material *Ground Anchor*

#### 1. KM 5

Pada perencanaan *ground anchor* dengan menggunakan brosur Freyssinet, maka direncanakan tulangan pembentuk *ground anchor* adalah tulangan D25 berkekuatan  $f_y = 290$  MPa. Berikut adalah contoh perhitungan untuk salah satu *anchor* di KM 5.

$$\begin{aligned}
 A \text{ tulangan D25} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (25)^2 \\
 &= 490.87 \text{ mm}^2 \\
 f_y &= 290 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Kapasitas tarik} &= f_y \times A = 290 \times 490.87 \\
 &= 142.35 \text{ kN} \\
 \text{Harga tulangan D25} &= \text{Rp } 489.854 / 12 \text{ meter} \\
 n \text{ tulangan 1 } anchor &= \frac{N}{\frac{\text{Kapasitas tarik 1 tulangan}}{142.35}} \\
 &= \frac{844.67}{142.35} \\
 &= 5.9 \approx 6 \text{ buah} \\
 L \text{ tulangan} &= L \text{ total} \times n = 20 \times 6 \\
 &= 120 \text{ m} \\
 \text{Harga tulangan 1 anchor} &= 120 \text{ m} \times \frac{\text{Rp } 678.500}{12 \text{ m}} \\
 &= \text{Rp } 6.785.000 \\
 \text{Volume beton yang diperlukan:} \\
 \text{Volume pondasi} &= B \times H \times D_f \\
 &= 0.5 \times 0.5 \times 5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.06 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume grout} &= \pi r^2 L \\
 &= \pi \times (0.1)^2 \times 12 \\
 &= 0.377 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume total} &= \text{Volume pondasi} + \text{Volume grout} \\
 &= 1.06 + 0.377 \\
 &= 1.436 \text{ m}^3 \\
 \text{Harga ready mix} &= \text{Rp } 926.000 \\
 \text{Harga beton 1 anchor} &= 1.436 \text{ m}^3 \times \text{Rp } 926.000 \\
 &= \text{Rp } 1.329.736 \\
 \text{Total harga 1 titik} &= \text{Rp } 6.785.000 + \text{Rp } 1.329.736 \\
 &= \text{Rp } 8.114.736
 \end{aligned}$$

Total harga yang dibutuhkan untuk 243 titik dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan detail perhitungan pada lampiran. Adapun penambahan 10% dialokasikan untuk material yang berpotensi terbuang dalam pelaksanaan.

Tabel 5.11 Total Biaya *Ground Anchor* di Lokasi KM 5

Total harga tulangan	=	Rp	1,691,415,687.50
Total harga <i>ready mix</i>	=	Rp	307,707,052
Total harga 243 titik + 10%	=	Rp	2,199,035,013.65

## 2. KM 8

Pada perencanaan *ground anchor* dengan menggunakan brosur Freyssinet, maka direncanakan tulangan pembentuk *ground anchor* adalah tulangan D25 berkekuatan  $f_y = 290 \text{ MPa}$ . Berikut adalah contoh perhitungan untuk salah satu *anchor* di KM 8.

$$\begin{aligned}
 \text{A tulangan D25} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (25)^2 \\
 &= 490.87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_y &= 290 \text{ N/mm}^2 \\
 \text{Kapabilitas tarik} &= f_y \times A = 290 \times 490.87 \\
 &= 142.35 \text{ kN} \\
 \text{Harga tulangan D25} &= \text{Rp } 489.854 / 12 \text{ meter} \\
 n \text{ tulangan 1 anchor} &= \frac{N}{\text{Kapabilitas tarik 1 tulangan}} \\
 &= \frac{256.67}{142.35} \\
 &= 1.8 \approx 2 \text{ buah} \\
 L \text{ tulangan} &= L \text{ total} \times n = 6 \times 2 \\
 &= 12 \text{ m} \\
 \text{Harga 1 anchor} &= 12 \text{ m} \times \frac{\text{Rp } 678.500}{12 \text{ m}} \\
 &= \text{Rp } 678.500 \\
 \text{Volume beton yang diperlukan:} & \\
 \text{Volume pondasi} &= B \times H \times D_f \\
 &= 0.9 \times 0.9 \times 0.3 \\
 &= 0.243 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume grout} &= \pi r^2 L \\
 &= \pi \times (0.1)^2 \times 4 \\
 &= 0.115 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume total} &= \text{Volume pondasi} + \text{Volume grout} \\
 &= 0.243 + 0.115 \\
 &= 0.358 \text{ m}^3 \\
 \text{Harga ready mix} &= \text{Rp } 926.000 \\
 \text{Harga 1 beton} &= 0.358 \text{ m}^3 \times \text{Rp } 926.000 \\
 &= \text{Rp } 331.508 \\
 \text{Total harga 1 titik} &= \text{Rp } 678.500 + \text{Rp } 331.508 \\
 &= \text{Rp } 1.010.008
 \end{aligned}$$

Total harga yang dibutuhkan untuk 32 titik dapat dilihat pada Tabel 5.12. Penambahan 10% dialokasikan untuk material yang berpotensi terbuang dalam pelaksanaan.

Tabel 5.12 Total Biaya *Ground Anchor* di Lokasi KM 8

Total harga tulangan	=	Rp	23,109,710.00
Total harga <i>ready mix</i>	=	Rp	12,869,550
Total harga + 10%	=	Rp	39,577,185.63

## BAB VI KESIMPULAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa kondisi tanah, perencanaan perkuatan lereng dan biaya yang dihasilkan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan *software* GeoStudio dengan pendekatan *cracked soil*, dimana lapisan diasumsikan *behaving like sand* hingga kedalaman 3 meter. Hasil analisa stabilitas lereng KM 5 menunjukkan bahwa terjadi longsor global pada saat kondisi muka air kritis, yaitu setinggi permukaan lereng. *Safety factor* yang dihasilkan adalah sebesar  $SF = 0.451$  dengan  $R_{\text{bidang longsor}} = 31.283$  m. Sedangkan, untuk lereng KM 8 *safety factor* yang dihasilkan sebesar  $SF = 0.338$  dengan  $R_{\text{bidang longsor}} = 10.61$  m. Dikarenakan *safety factor* yang dihasilkan kurang dari *safety factor* kritis lereng ( $SF = 1$ ), maka perlu dilakukan perkuatan lereng untuk mencapai *safety factor* rencana sebesar 1.3.
2. Hasil analisa stabilitas lereng dengan tanah kondisi eksisting menunjukkan bahwa lereng KM 5 mengalami kelongsoran ( $SF < 1$ ), sedangkan lereng KM 8 menunjukkan angka keamanan yang baik ( $SF > 1$ ). Namun, faktanya di lapangan kelongsoran tetap terjadi ketika hujan lebat melanda Bengkulu. Kedua lereng ini memiliki lapisan tanah paling atas berupa lempung, dimana seharusnya air tidak merembes ke dalam lereng. Keduanya tidak memiliki perkuatan dan merupakan lereng alam. Kedua lereng tersebut kemungkinan telah

mengalami keretakan dan ditambah curah hujan yang tinggi di Provinsi Bengkulu yang dapat menyebabkan bidang keretakan hampir selalu dilalui air hujan dengan intensitas tinggi (hujan lebat) lambat laun membuat partikel halus seperti lanau dan lempung terbawa oleh air hujan dan menyisakan partikel pasir dan kerikil pada bidang retakan tersebut. Jika kondisi ini terjadi maka dapat menyebabkan tanah *behaving like sand* dan stabilitas lereng perlu dianalisa dengan pendekatan *cracked soil*, sehingga perkuatan lereng yang direncanakan sudah memperhatikan kondisi kritis.

3. Pada lokasi KM 5, subdrain dipasang sejauh 13 meter dari bibir lereng. Subdrain dibuat untuk menurunkan muka air tanah hingga kaki lereng setinggi 21 meter. Perencanaan subdrain juga dilengkapi dengan 21 lapis geotextile praktis dengan panjang 2 meter. Total panjang geotextile untuk lereng KM 5 adalah 42 m/m'. Untuk lokasi KM 8, subdrain dipasang sejauh 2.5 meter dari bibir lereng. Subdrain dibuat untuk menurunkan muka air tanah hingga kaki lereng setinggi 6 meter. Perencanaan subdrain juga dilengkapi dengan 6 lapis geotextile dengan kekuatan bahan ( $T_{ult}$ ) sebesar 55.76 kN/m. Total panjang geotextile untuk lereng KM 8 adalah 29.19 m/m'.
4. Perencanaan *bored pile* pada lokasi KM 5 terdiri dari 3 buah *bored pile per m'* yang dipasang tiap jarak 2.5 meter dengan diameter 1000 mm dan kedalaman masing-masing *pile* sebesar 25 m.
5. Perencanaan *ground anchor* untuk perkuatan lereng KM 5 memiliki diameter *grouting* sebesar 0.2 meter sejumlah 9 buah arah melintang lereng. Balok beton pondasi *anchor* berukuran 0.5 m x 0.5 m. Sedangkan untuk *ground anchor*



lereng KM 8 memiliki diameter *grouting* sebesar 0.2 meter sejumlah 2 buah arah melintang lereng. Balok beton pondasi *anchor* berukuran 0.9 m x 0.9 m.

6. Dari beberapa alternatif perkuatan, biaya kebutuhan material yang paling murah untuk lokasi KM 5 adalah subdrain yang disertai *soil reinforcement* dengan menggunakan geotextile dengan harga Rp 1.380.592.037. Sedangkan alternatif terpilih untuk lokasi KM 8 adalah *ground anchor* dengan harga Rp 39.577.185. Rekapitulasi perbandingan biaya tiap alternatif untuk masing-masing lokasi dapat dilihat pada Lampiran.

## **6.2 Saran**

Dengan mempertimbangkan hasil analisa stabilitas lereng kondisi eksisting pada lokasi KM 5 dan KM 8, penulis menyarankan untuk perlu dilakukan analisa stabilitas lereng pada lokasi lainnya di jalan akses PLTA Musi Bengkulu dengan memperhatikan kondisi terkritik, dimana dalam hal ini dengan pendekatan *cracked soil*. Hal ini berguna untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya longsor di zona lainnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

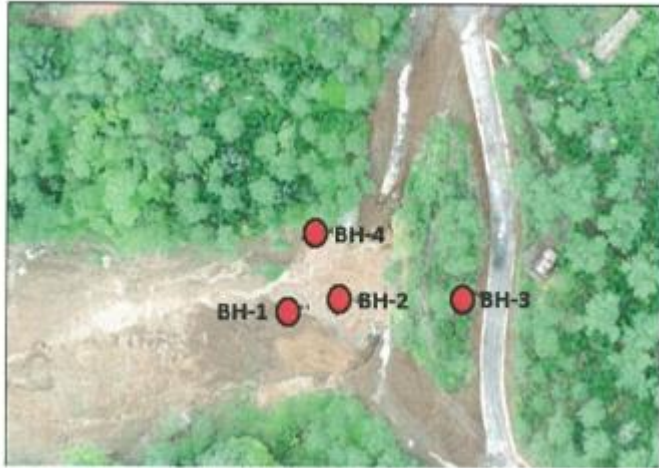
## DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1985. **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II**. Jakarta: Erlangga.
- Koerner, Robert M. 1997. **Designing with Geosynthetics**. New Jersey: Prentice-Hal, Inc.
- Look, Burt G. 2007. **Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables**. London: Taylor & Francis Group.
- Mochtar, Noor E. 2012. **Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- NAVFAC DM-7.01. 1986. **Design Manual: Soil Mechanics**. Naval Facilities Engineering Command.
- SNI 8460-2017, 2017. **Persyaratan Perancangan Geoteknik**. Bandung: Badan Standarisasi Nasional
- Sosrodarsono, S. and Nakazawa ,K., (translated by Taulu L.). 2000. **Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi**. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Terzaghi, K. and Peck R.B. 1967. **Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd edition**. Jakarta: Erlangga.
- Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dangkal**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.

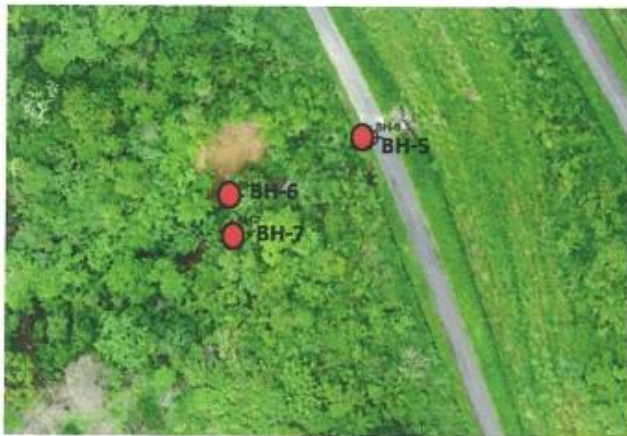
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **LAMPIRAN**

## Lampiran 1 – Denah Pengeboran

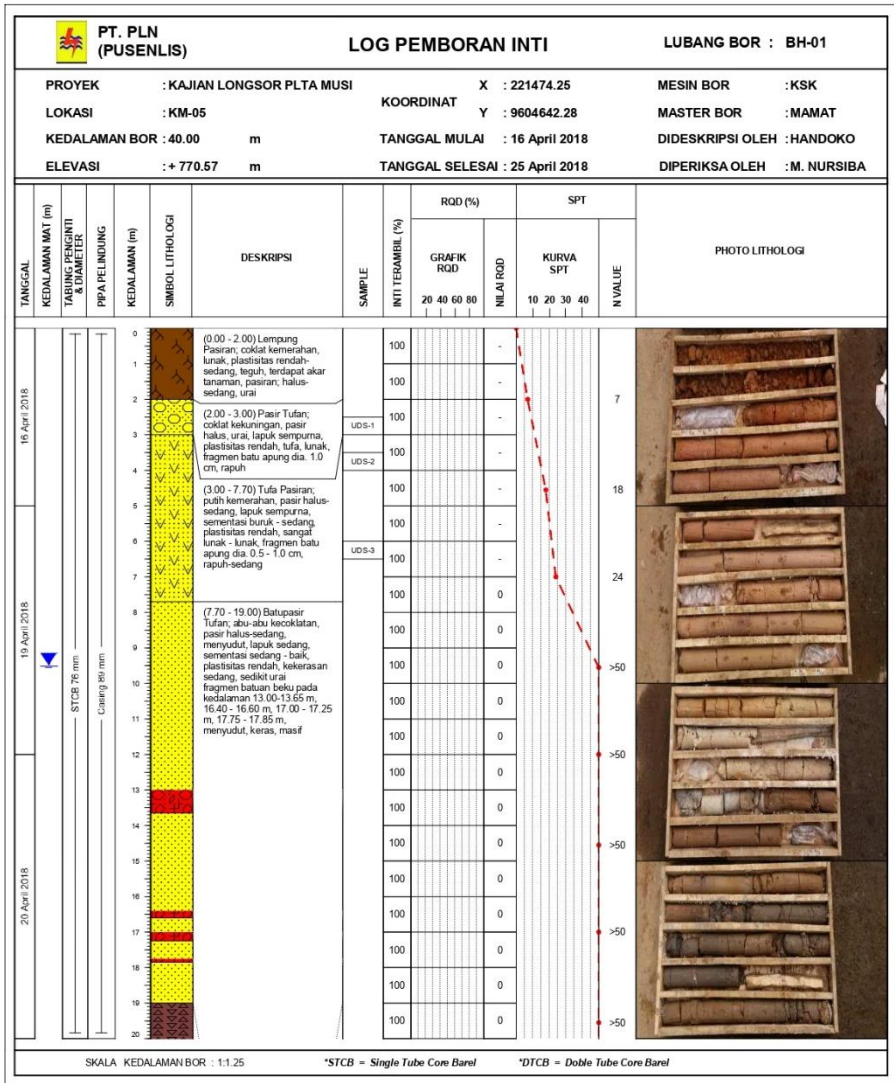


Gambar Denah Pengeboran di Lokasi KM 5



Gambar Denah Pengeboran di Lokasi KM 8

## Lampiran 2 – Data Tanah di lokasi KM 5





**PT. PLN  
(PUSENLIS)**

**LOG PEMBORAN INTI**

**LUBANG BOR : BH-01**

**PROYEK** : KAJIAN LONGSOR PLTA MUSI **X** : 221474.25 **MESIN BOR** : KSK  
**LOKASI** : KM-05 **KOORDINAT Y** : 9604642.28 **MASTER BOR** : MAMAT  
**KEDALAMAN BOR** : 40.00 m **TANGGAL MULAI** : 16 April 2018 **DIDESKRIPSI OLEH** : HANDOKO  
**ELEVASI** : + 770.57 m **TANGGAL SELESAI** : 25 April 2018 **DIPERIKSA OLEH** : M. NURSIBA

TANGGAL	KEDALAMAN MAT (m)	TABUNG PENGINTI & DIAMETER	PIPA PELINDUNG	KEDALAMAN (m)	SIMBOL LITHOLOGI	DESKRIPSI	SAMPLE	ROD (%)			SPT			PHOTO LITHOLOGI								
								INTI TERAMBIL (%)			NILAI ROD	KURVA SPT			N VALUE							
								20	40	60		80	10			20	30	40				
21 April 2018				20	(19.00 - 25.40) Breksi vulkanik; coklat abu-abu, kemas terbuka, kepadatan sedang, fragmen andesit berwarna kelabu cerah dia. 10-15 cm, subangular, kekerasan sedang, oksida besi, massa dasar pasir, abu-abu, butir sedang-kasar, sementasi lemah, urai, rapuh, lapuk sedang (MW)	100			0													
				21		100			0													
				22		100			0													
				23		100			0													
				24		100			0													
				25		100			0													
				26		100			0													
				27		100			0													
				28		100			0													
				29		100			0													
22 April 2018				30	(25.40 - 40.00) Breksi vulkanik; coklat keabuan, kemas terbuka, kepadatan sedang, fragmen andesit berwarna kelabu cerah dia. 10-15 cm, subangular, kekerasan sedang-keras, oksida besi, massa dasar pasir sedikit tufa, abu-abu, butir halus, sementasi lemah, rapuh, lapuk sedang (MW)	100			0													
				31	100			0														
				32	100			0														
				33	100			0														
				34	100			0														
				35	100			0														
				36	100			0														
				37	100			0														
				38	100			0														
				39	100			0														
25 April 2018				40	100			0														



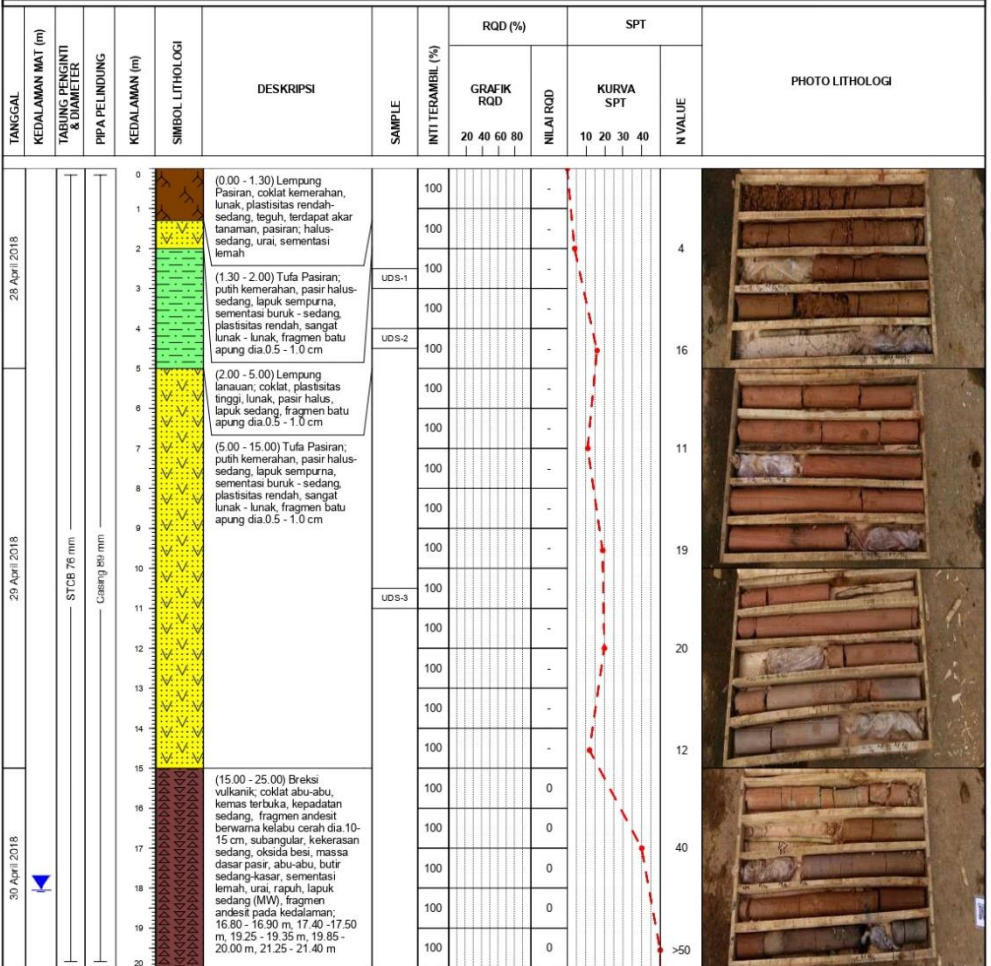


**PT. PLN  
(PUSNELIS)**

### LOG PEMBORAN INTI

**LUBANG BOR : BH-02**

<b>PROYEK</b>	: KAJIAN LONGSOR PLTA MUSI	<b>X</b>	: 221487.56	<b>MESIN BOR</b>	: KSK
<b>LOKASI</b>	: KM-05	<b>Y</b>	: 9604644.41	<b>MASTER BOR</b>	: MAMAT
<b>KEDALAMAN BOR</b>	: 25.00 m	<b>TANGGAL MULAI</b>	: 28 April 2018	<b>DIDESKRIPSI OLEH</b>	: HANDOKO
<b>ELEVASI</b>	: + 773.98 m	<b>TANGGAL SELESAI</b>	: 01 Mei 2018	<b>DIPERIKSA OLEH</b>	: M. NURSIBA



SKALA KEDALAMAN BOR : 1:1.25

\*STCB = Single Tube Core Barel

\*DTCB = Doble Tube Core Barel



**PT. PLN  
(PUSENLIS)**

**LOG PEMBORAN INTI**

**LUBANG BOR : BH-02**

PROYEK : KAJIAN LONGSOR PLTA MUSI

KOORDINAT X : 221487.56

MESIN BOR : KSK

LOKASI : KM-05

KOORDINAT Y : 9604644.41

MASTER BOR : MAMAT

KEDALAMAN BOR : 25.00 m



TANGGAL MULAI : 28 April 2018

DIDESKRIPSI OLEH : HANDOKO

ELEVASI : + 773.98 m

TANGGAL SELESAI : 01 Mei 2018

DIPERIKSA OLEH : M. NURSIBA

TANGGAL	KEDALAMAN MAT (m)	TABUNG PENGINTI & DIAMETER	PEPA PELINDUNG	KEDALAMAN (m)	SIMBOL LITHOLOGI	DESKRIPSI	SAMPLE	RQD (%)				SPT				PHOTO LITHOLOGI	
								INTI TERAMBIL (%)				KURVA SPT		N VALUE			
								GRAFIK RQD		NILAI RQD	KURVA SPT						
20	40	60	80			10	20	30	40								
01 Mei 2018		STCB 76 mm		25				100			0						
				20				100			0						
				15				100			0						
				10				100			0						
				5				100			0						

SKALA KEDALAMAN BOR : 1:1.25

\*STCB = Single Tube Core Barel

\*DTCB = Double Tube Core Barel

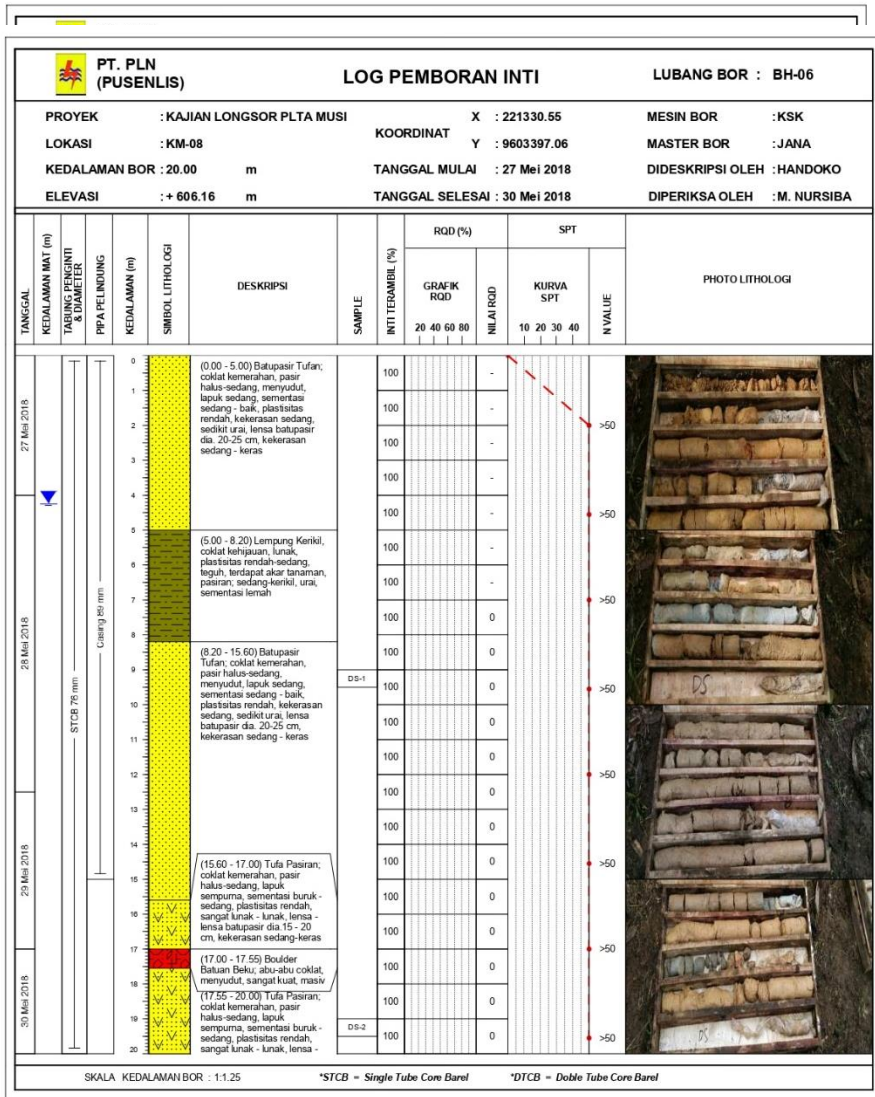








## Lampiran 3 – Data Tanah di lokasi KM 8



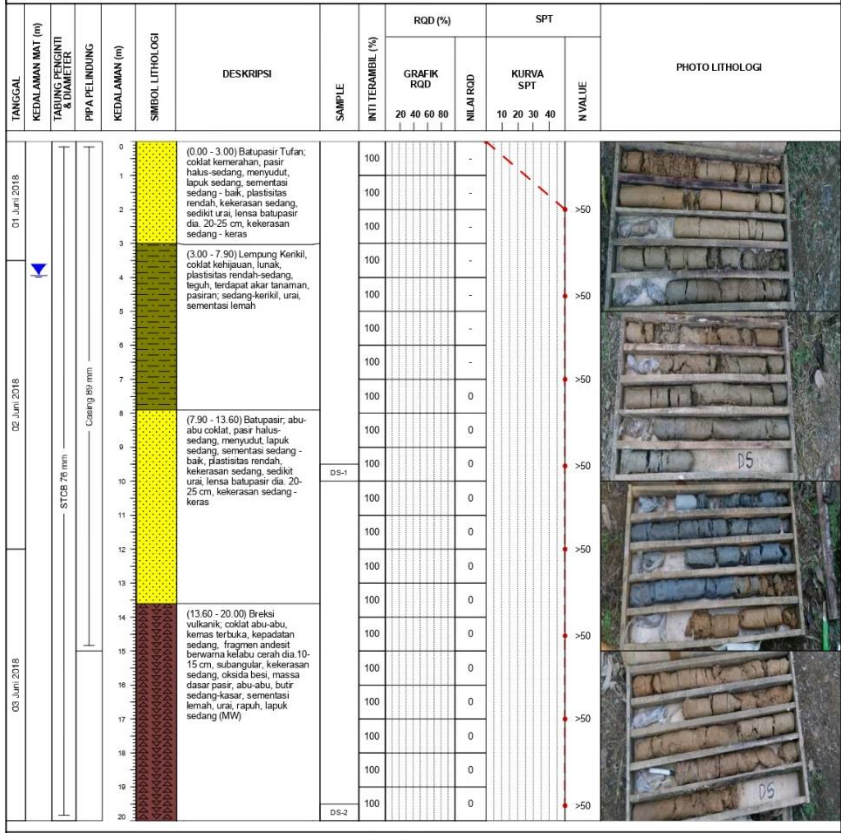


**PT. PLN  
(PUSENLIS)**

**LOG PEMBORAN INTI**

**LUBANG BOR : BH-07**

**PROYEK** : KAJIAN LONGSOR PLTA MUSI **KOORDINAT X** : 221330.43 **MESIN BOR** : KSK  
**LOKASI** : KM-08 **KOORDINAT Y** : 9603390.11 **MASTER BOR** : JANA  
**KEDALAMAN BOR** : 20.00 m **TANGGAL MULAI** : 01 Juni 2018 **DIDESKRIPSI OLEH** : HANDOKO  
**ELEVASI** : + 602.90 m **TANGGAL SELESAI** : 03 Juni 2018 **DIPERIKSA OLEH** : M. NURSIBA



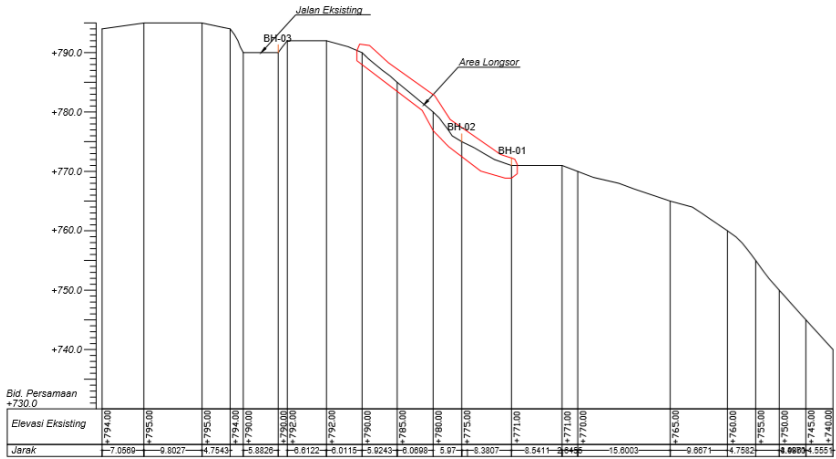
SKALA KEDALAMAN BOR : 1:1.25

\*STCB = Single Tube Core Barrel

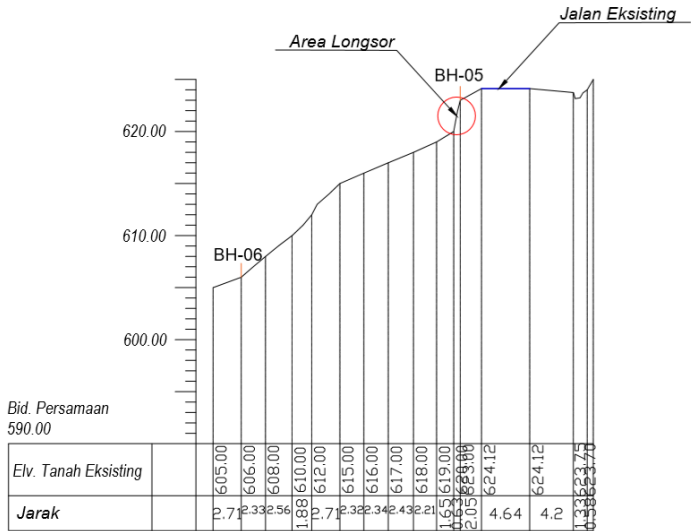
\*DTCB = Double Tube Core Barrel



## Lampiran 4 – Potongan Melintang Lereng



Gambar Potongan Melintang Lereng KM 5



Gambar Potongan Melintang Lereng KM 8

### Lampiran 5 – Data Parameter Tanah Tiap *Bore Hole* di KM 5

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	$\gamma_{sat}$ (Bowless)	$\gamma_{sat}$	Strength		Rata-Rata		
				kN/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	Ø	Cu	$\gamma_{sat}$	Ø	Cu
				°	kPa	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa		
1	Lempung	4	Soft	16	1.6	3	25	1.6	3	13
2	Lempung	7	Medium	16.22	1.622	5	33.3	1.622	5	17
3	Pasir	11	Medium	14	1.4	28	0	1.56	31	0
4		16	Medium	15	1.5	30.1	0			
5		19	Medium	15.7	1.57	31.4	0			
6		22	Medium	16.32	1.632	32.6	0			
7		24	Medium	16.74	1.674	33.5	0			
8	Batupasir	34		22	2.2	45	30	2.2	45	30
9		45		22	2.2					
10				22						
11				22						
12				22						
13				22						
14				22						
15				22						
16				22						
17				22						
18			22							
19	Breksi Vulkanik	50		22	2.2	40	50	2.2	40	50
20				22						
21				22						
22				22						
23				22						
24				22						
25				22						
26				22						
27				22						
28				22						
29				22						
30				22						
31				22						
32				22						
33				22						
34				22						
35				22						
36				22						
37				22						
38				22						
39				22						
40				22						

Gambar Data Parameter Tanah BH 1

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat}$	Strength		Rata-Rata		
				(Bowless)		$\phi$	Cu	$\gamma_{sat}$	$\phi$	Cu
				kN/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa
1	Lempung	2	Very Soft	16	1.6	1	25	1.6	1	12.5
2	Pasir	4	Loose	12	1.2	25	0	1.2	25	0
3	Lempung	11	Medium	17.11	1.711	9	46.7	1.76	11	27
4		14	Medium	17.77	1.777	12	56.7			
5		14	Medium	17.77	1.777	12	56.7			
6	Pasir	13	Medium	14.42	1.442	28.8	0	1.53	31	0
7		11	Medium	14	1.4	28	0			
8		14	Medium	14.63	1.463	29.3	0			
9		17	Medium	15.26	1.526	30.5	0			
10		19	Medium	15.68	1.57	31.4	0			
11		20	Medium	15.9	1.59	31.8	0			
12		20	Medium	15.9	1.59	31.8	0			
13		17	Medium	15.26	1.526	30.5	0			
14		14	Medium	14.63	1.463	29.3	0			
15		25	Medium	16.95	1.695	34	0			
16	Breksi Vulkanik	32		22	2.2	40	50	2.2	40	50
17		40		22						
18		44		22						
19		48		22						
20	Breksi Vulkanik	50		22	2.2	40	50	2.2	40	50
21				22						
22				22						
23				22						
24				22						
25				22						

Gambar Data Parameter Tanah BH 2

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat}$	Strength		Rata-Rata		
				(Bowless kN/m <sup>3</sup> )	g/cm <sup>3</sup>	$\phi$	Cu	$\gamma_{sat}$	$\phi$	Cu
						°	kPa	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa
1	Pasir	4	Loose	12	1.2	25	0	1.33	27	0
2		8	Loose	14.67	1.467	29.7	0			
3	Batupasir	8		22	2.2	45	30	2.2	45	0
4		8		22						
5		10		22						
6		15		22						
7		19		22						
8		18		22						
9		17		22						
10		15		22						
11		12		22						
12		9		22						
13	Pasir	11	Medium	14	1.4	28	0	1.435	29	0
14		13	Medium	14.42	1.44	28.8	0			
15		14	Medium	14.63	1.463	29.3	0			
16	Lempung	15	Medium	18	1.8	13	60	1.8	13	30
17		15		18		13	60			
18	Pasir	18	Medium	15.47	1.547	31	0	1.663	33	0
19		21	Medium	16.1	1.61	32.2	0			
20		25	Medium	16.95	1.695	34	0			
21		30	Medium	18	1.8	36	0			
22	Pasir	35	Dense	16.84	1.684	32.1	0	1.8	35	0
23		36	Dense	17.05	1.705	32.6	0			
24		37	Dense	17.26	1.726	33.2	0			
25		40	Dense	17.9	1.79	34.7	0			
26		45	Dense	18.95	1.895	37.4	0			
27		50	Dense	20	2	40	0			
28	Lempung	48	Hard	20	2	22	100	2	21	50
29		45		20		100				
30		45		20		100				
31		48		20		100				
32	Breksi Vulkanik	50		22	2.2	40	50	2.2	40	50
33				22						
34				22						
35				22						

Gambar Data Parameter Tanah BH 3

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	$\gamma_{sat}$		Strength		Rata-Rata		
				$\gamma_{sat}$ (Bowless kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ g/cm <sup>3</sup>	$\phi$ °	Cu kPa	$\gamma_{sat}$ g/cm <sup>3</sup>	$\phi$ °	Cu kPa
				1	Pasir	4	Loose	12	1.2	25
2	7	Loose	14	1.4		28.5	0			
3	Pasir	13	Medium	14.42	1.442	28.8	0	1.5938	32	0
4		19	Medium	15.68	1.568	31.4	0			
5		22	Medium	16.32	1.632	32.6	0			
6		23	Medium	16.53	1.653	33	0			
7	Pasir	24	Medium	16.74	1.674	33.5	0	1.621	31	0
8		32	Dense	16.21	1.621	30.5	0			
9	Lempung	41	Hard	20	2	20	100	2	19	50
10		42	Hard	20		20	100			
11		36	Hard	20		18	100			
12		30	Hard	20		16	100			
13		35	Hard	20		18	100			
14		40	Hard	20		20	100			
15		44	Hard	20		20	100			
16	Breksi Vulkanik	47		22	2.2	40	50	2.2	40	50
17			22							
18			22							
19			22							
20			22							
21			22							
22			22							
23			22							
24			22							
25			22							

Gambar Data Parameter Tanah BH 4

## Lampiran 6 – Data Parameter Tanah Tiap *Bore Hole* di KM 8

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat}$	Strength	
				(Bowless		$\phi$	Cu
				kN/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa
1	Lempung	25	Stiff	16.95	1.70	15	50
2	Pasir	50	Very Dense	18	1.8	35	0
3	Pasir	50		18			
4		50		18			
5		50		18			
6		50		18			
7		50		18			
8		50		18			
9	Batupasir	50		2.2	45	30	
10		50					
11		50					
12		50					
13		50					
14		50					
15		50					

Gambar Data Parameter Tanah BH 5

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat}$	Strength	
				(Bowless		$\phi$	Cu
				kN/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa
1	Batupasir	25		22	2.2	45	30
2		50		22			
3		50		22			
4		50		22			
5		50		22			
6	Lempung	50	Hard	20	2	24	50
7		50		20			
8		50		20			
9	Batupasir	50		22	2.2	45	30
10		50		22			
11		50		22			
12		50		22			
13		50		22			
14		50		22			
15		50		22			
16	Pasir	50	Very Dense	18	1.8	35	0
17		50		18			
18		50		18			
19		50		18			
20		50		18			

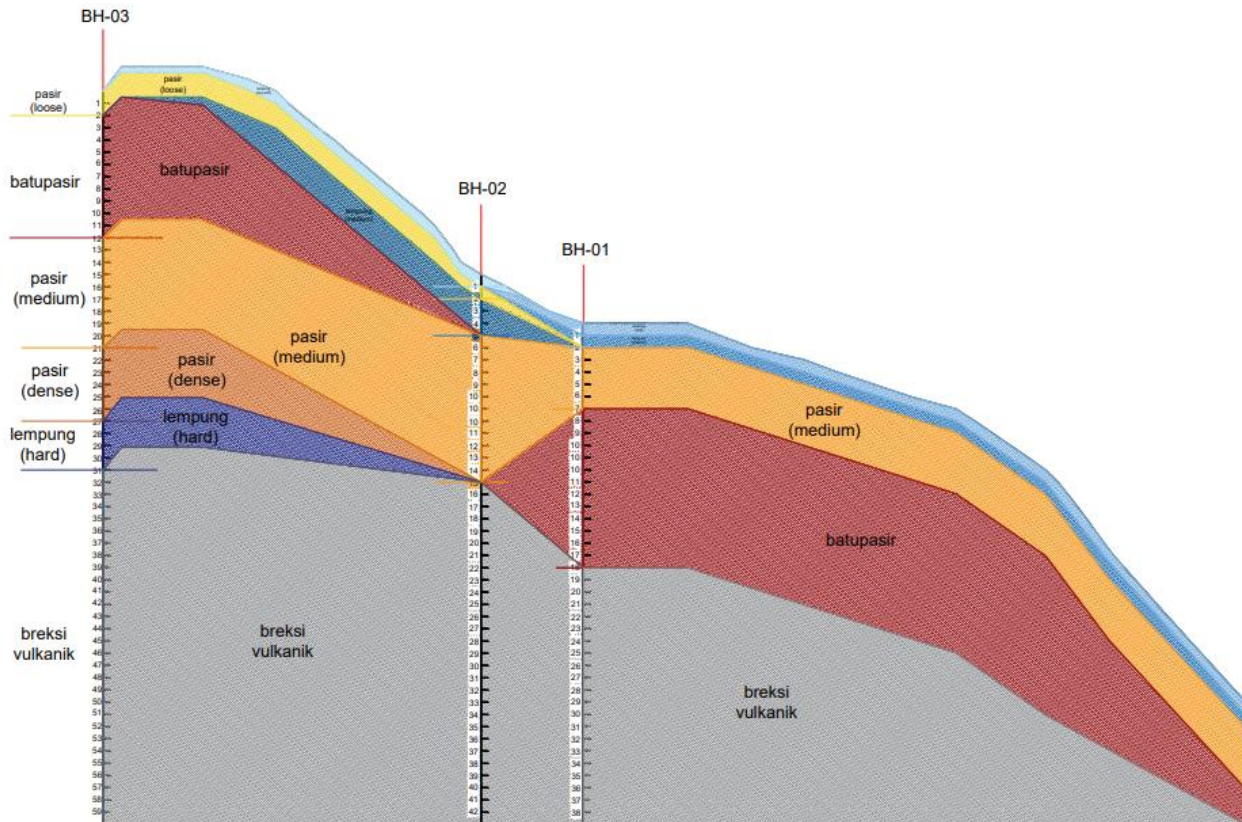
Gambar Data Parameter Tanah BH 6

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{sat}$	Strength	
				(Bowless		$\emptyset$	Cu
				kN/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	°	kPa
1	Batupasir	25		22	2.2	45	30
2		50		22			
3		50		22			
4	Lempung	50	Hard	20	2	24	50
5		50		20			
6		50		20			
7		50		20			
8		50		20			
9	Batupasir	50		22	2.2	45	30
10		50		22			
11		50		22			
12		50		22			
13		50		22			
14	Breksi Vulkanik	50		22	2.2	40	50
15		50		22			
16		50		22			
17		50		22			
18		50		22			
19		50		22			
20		50		22			

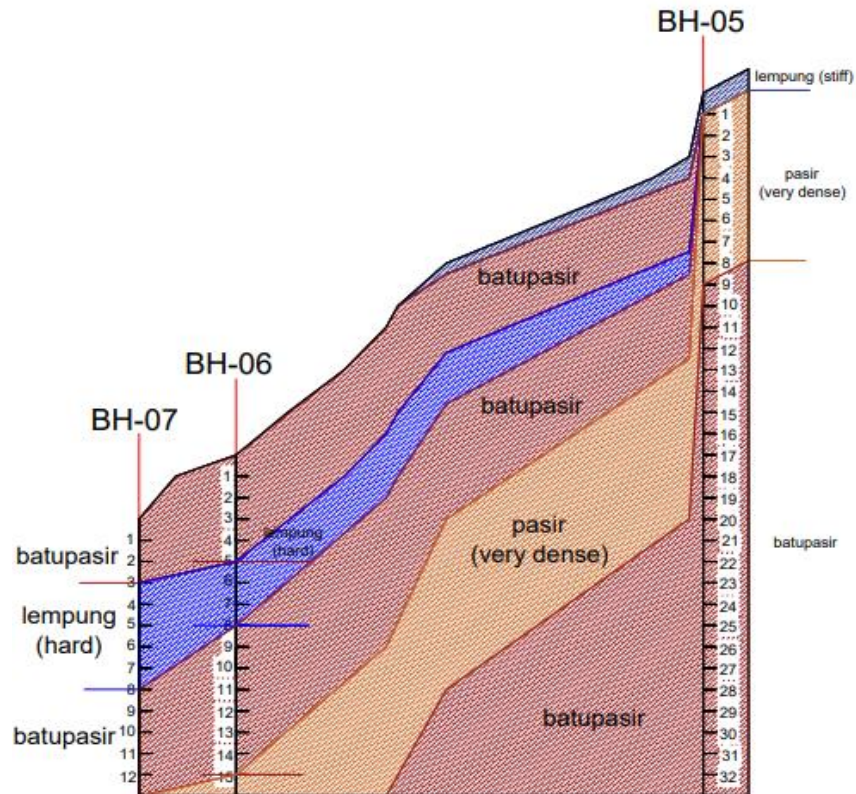
Gambar Data Parameter Tanah BH 7



## Lampiran 7 – Statigrafi Tanah KM 5

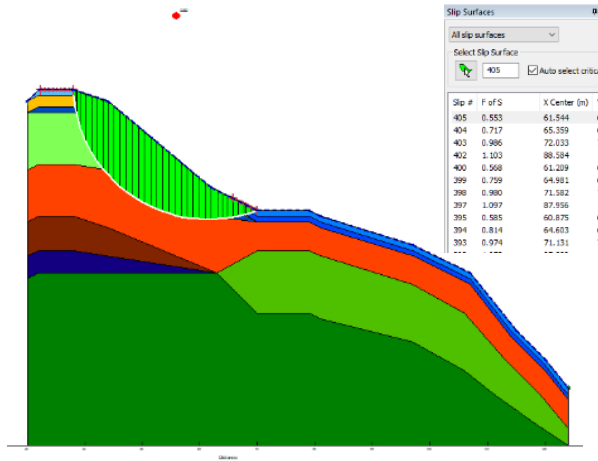


## Lampiran 8 - Stratigrafi KM 8

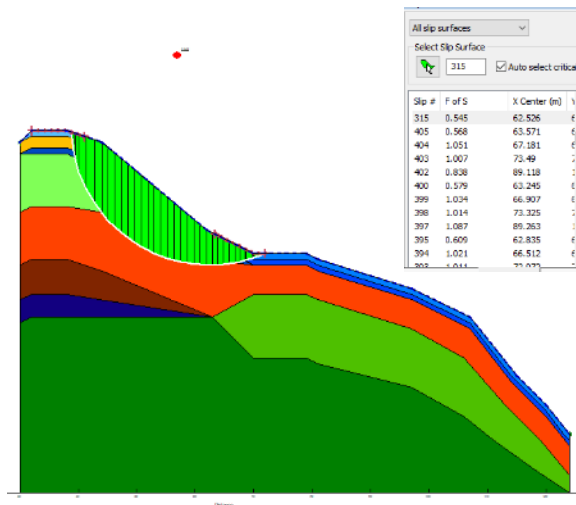


## Lampiran 9 – Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 5

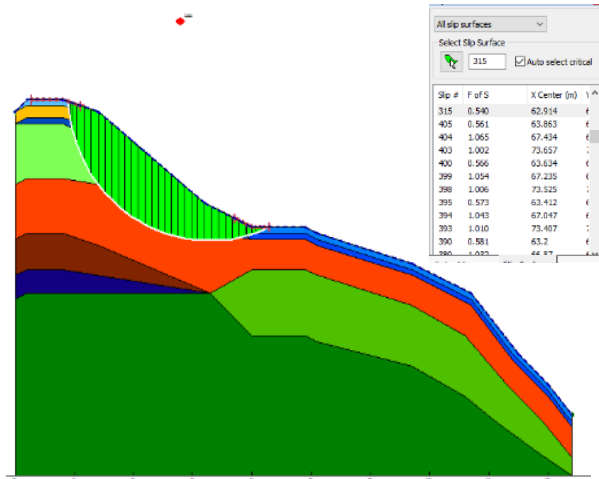
- **Kondisi normal (eksisting)**



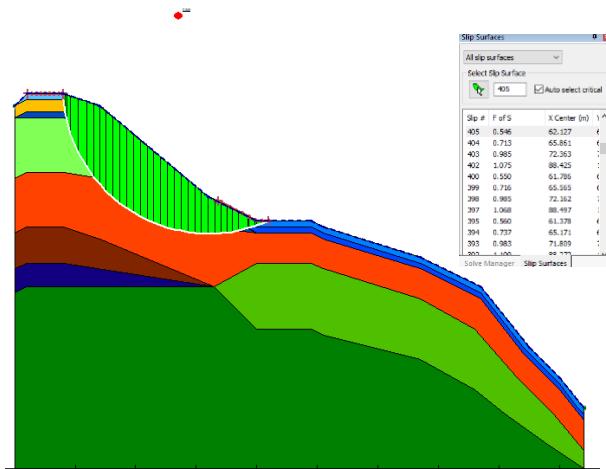
Uji Coba 1



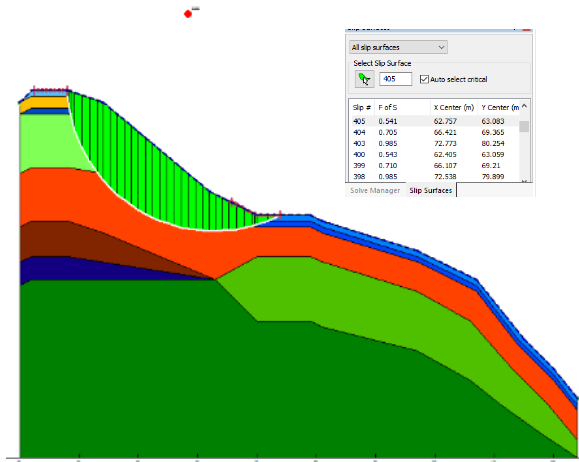
Uji Coba 2



Uji Coba 3

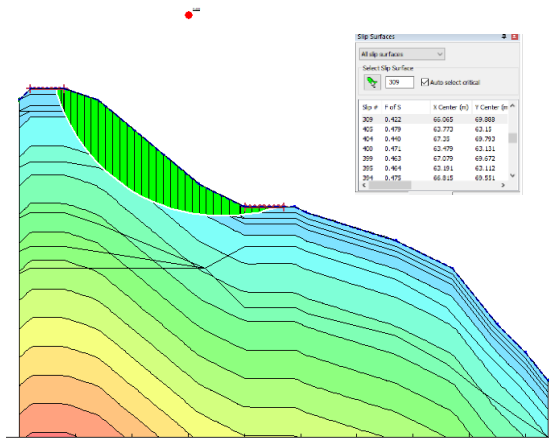


Uji Coba 4

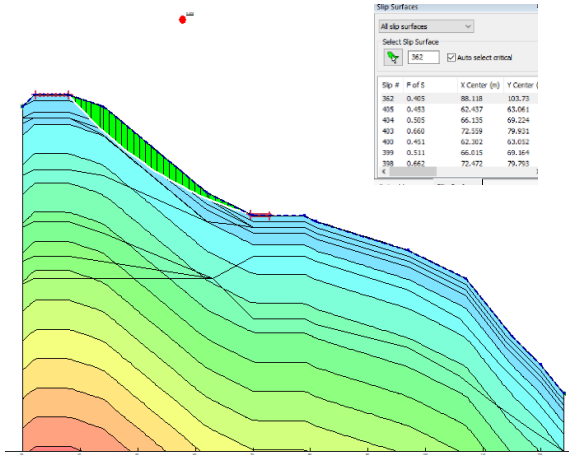


Uji Coba 5

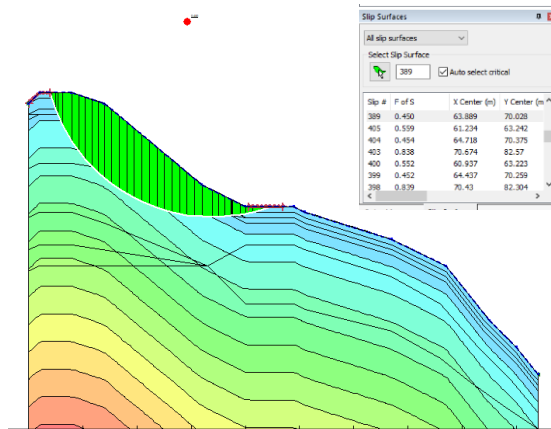
- **Kondisi Tanah *Behaving Like Sand* Sedalam 3 m**



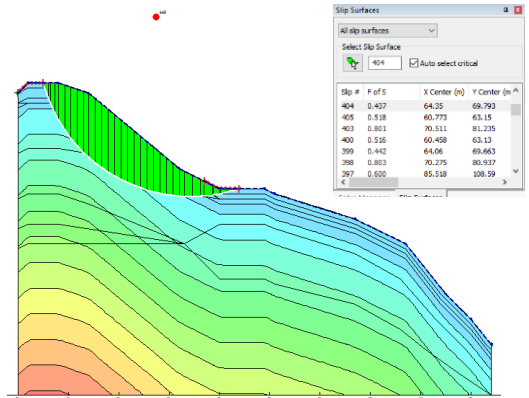
Uji Coba 1



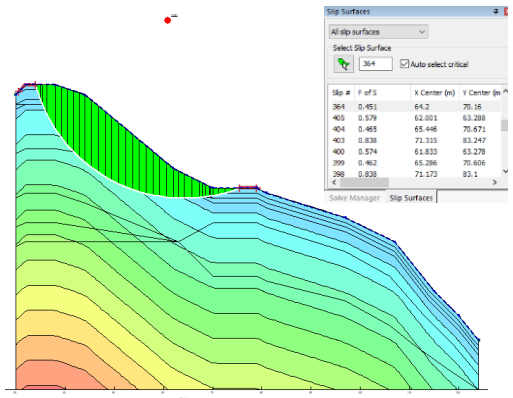
Uji Coba 2



Uji Coba 3

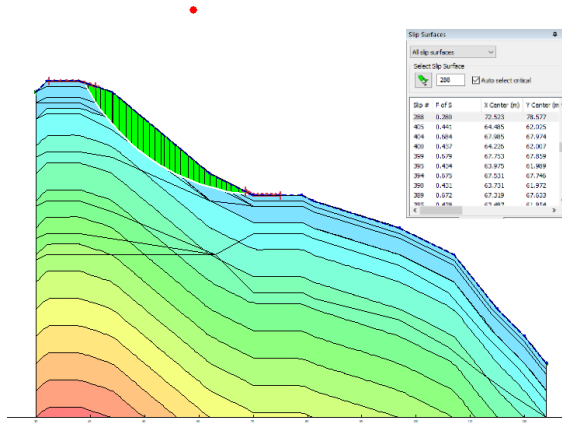


Uji Coba 4

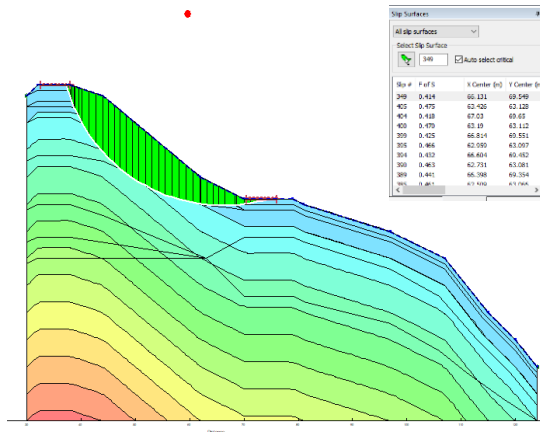


Uji Coba 5

- **Kondisi Tanah *Behaving Like Sand* Sedalam 5 m**

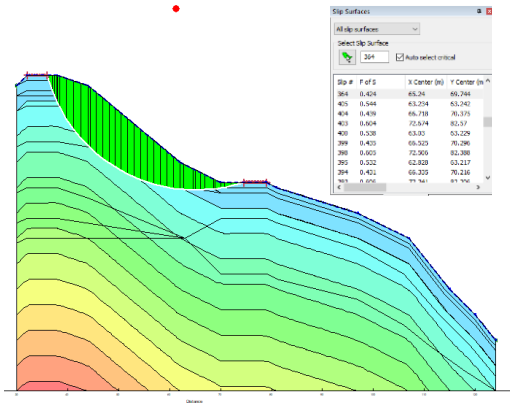


Uji Coba 1

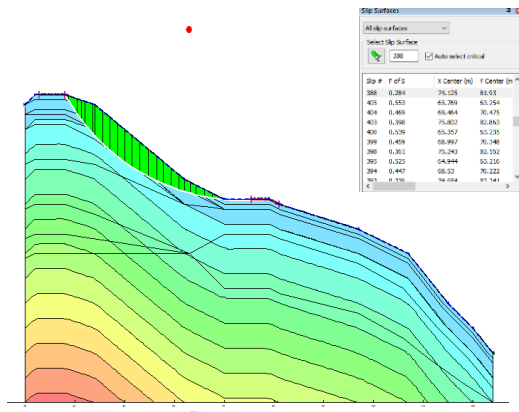


Uji Coba 2

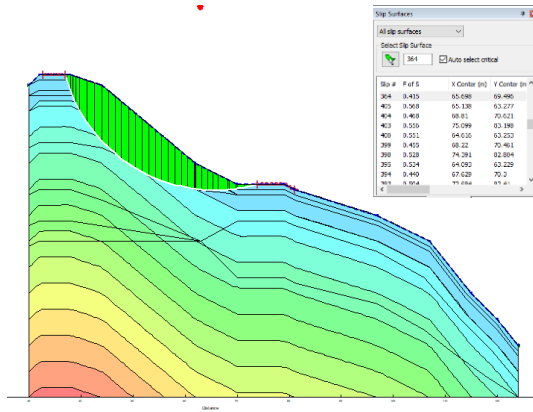




Uji Coba 3

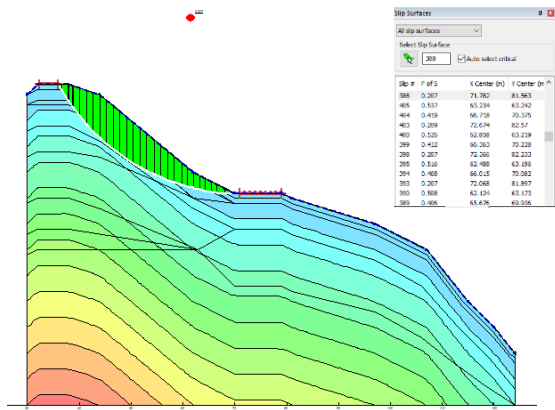


Uji Coba 4

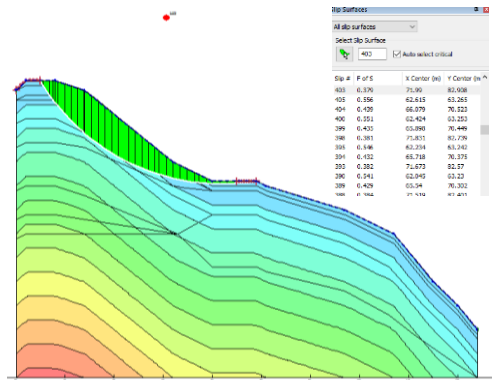


Uji Coba 5

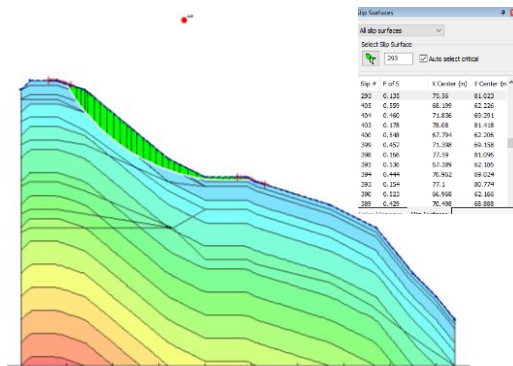
- **Kondisi Tanah *Behaving Like Sand* Sedalam 7 m**



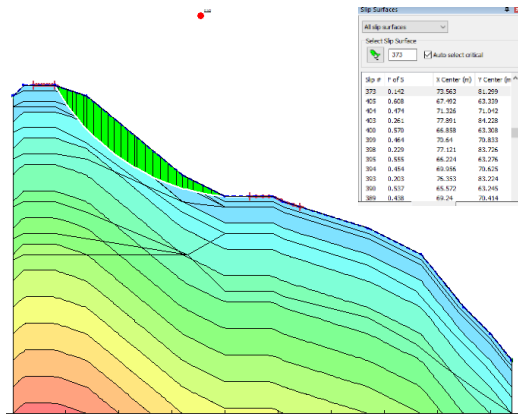
Uji Coba 1



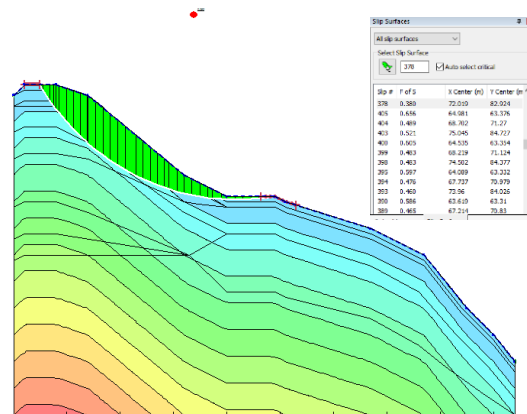
Uji Coba 2



Uji Coba 3



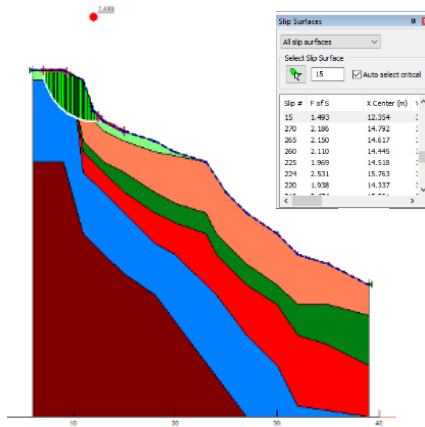
Uji Coba 4



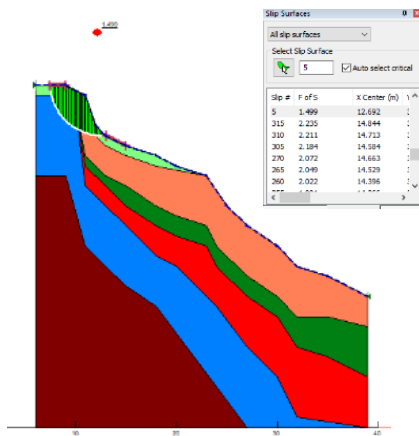
Uji Coba 5

## Lampiran 10 – Hasil Analisa Stabilitas Lereng KM 8

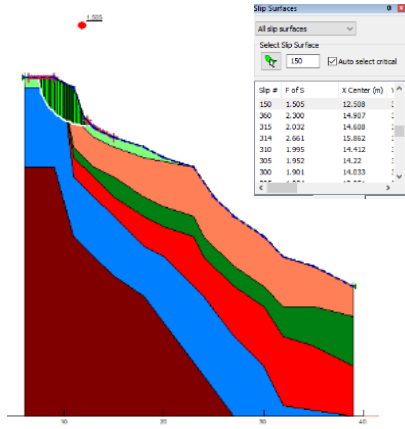
- **Kondisi Normal (Eksisting)**



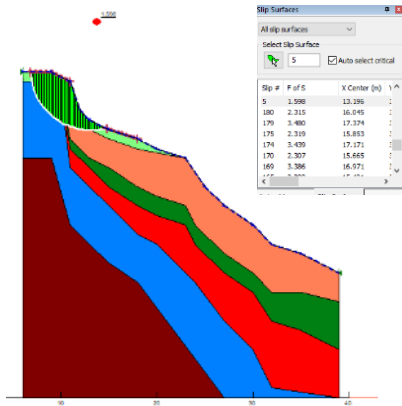
Uji Coba 1



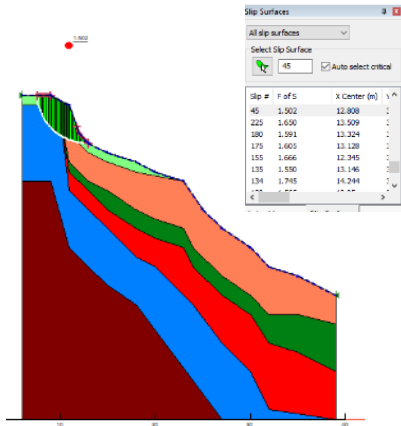
Uji Coba 2



Uji Coba 3

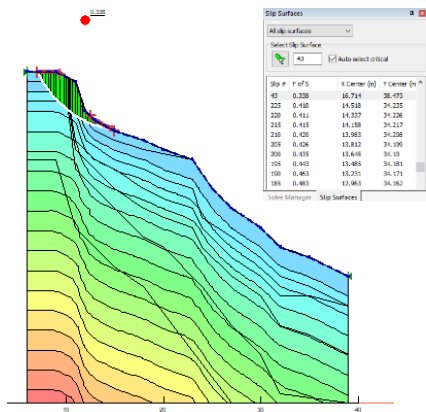


Uji Coba 4

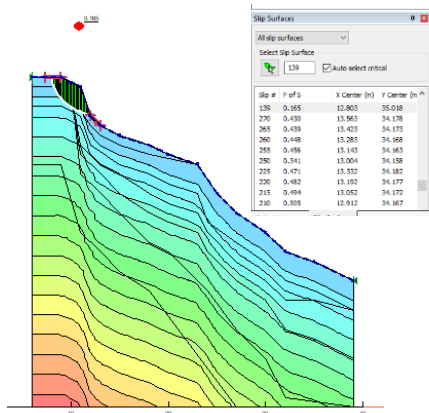


Uji Coba 5

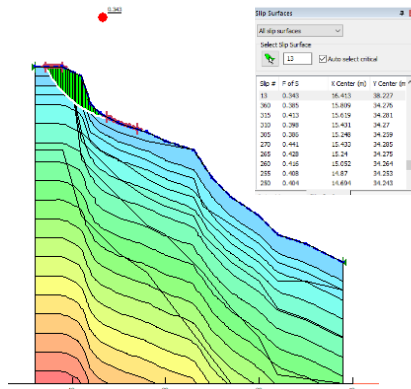
- **Kondisi Tanah *Behaving Like Sand* Sedalam 3 m**



Uji Coba 1

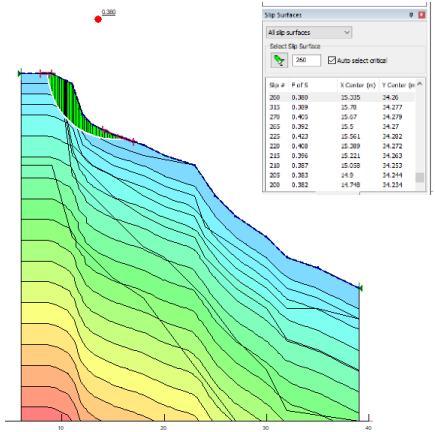


Uji Coba 2

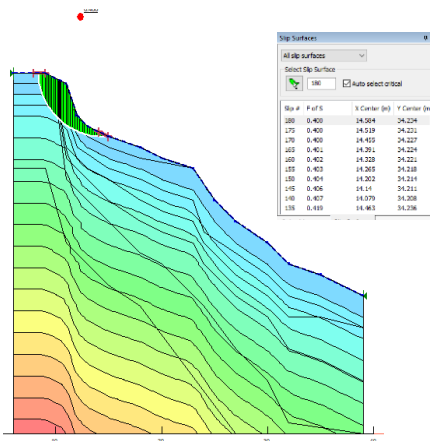


Uji Coba 3



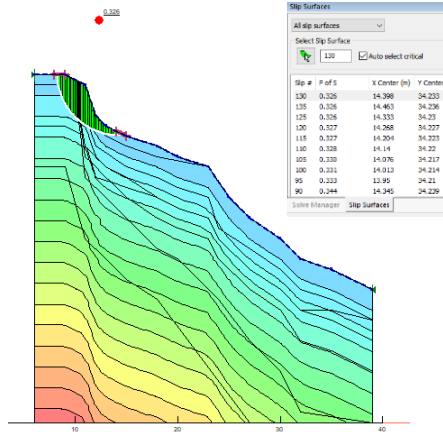


Uji Coba 4

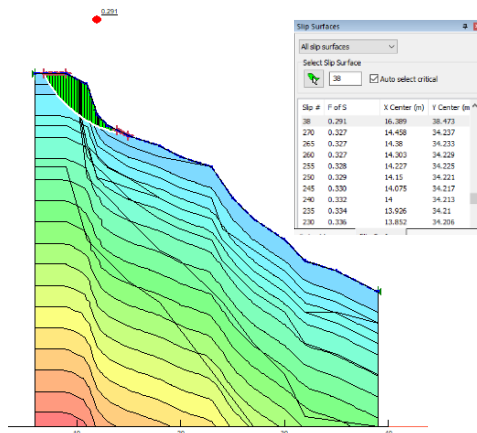


Uji Coba 5

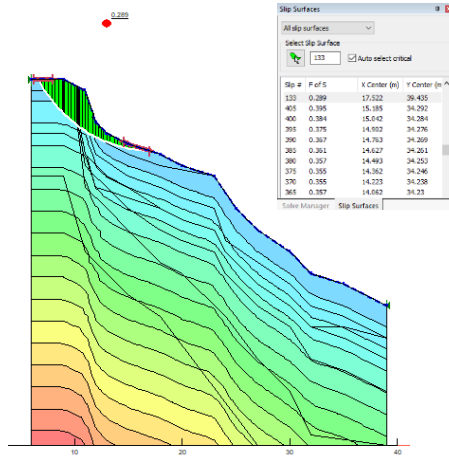
- **Kondisi Tanah *Behaving Like Sand* Sedalam 5 m**



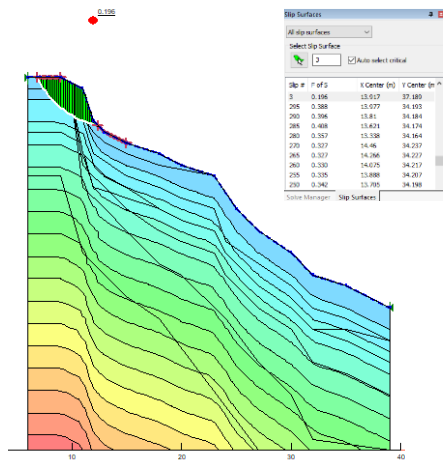
Uji Coba 1



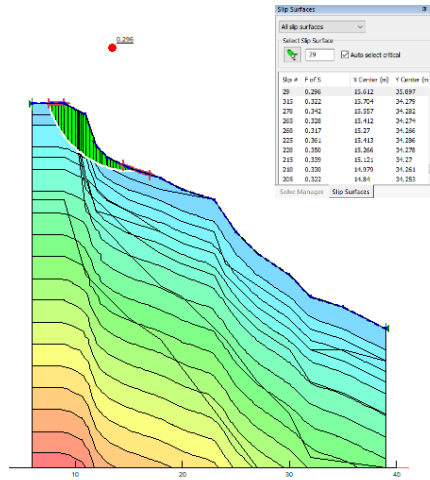
Uji Coba 2



Uji Coba 3

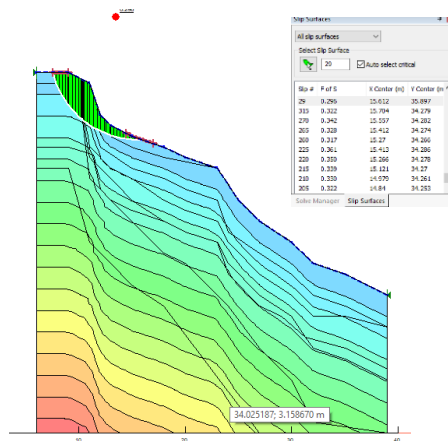


Uji Coba 4

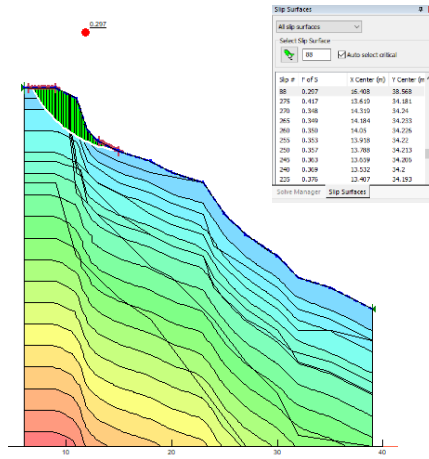


Uji Coba 5

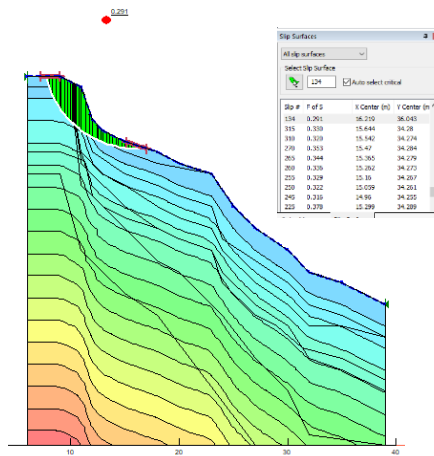
- **Kondisi Tanah *Behaving Like Sand* Sedalam 7 m**



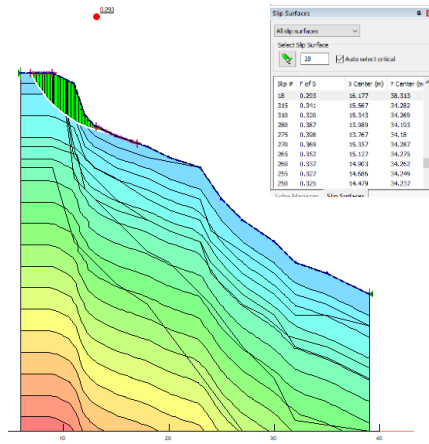
Uji Coba 1



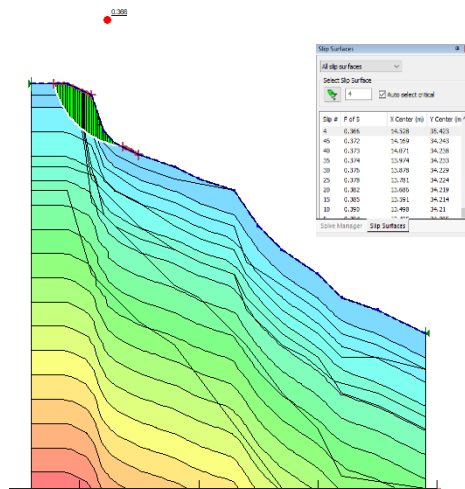
Uji Coba 2



Uji Coba 3



Uji Coba 4



Uji Coba 5

## Lampiran 11 – Brosur Geotextile

Data Sheet Geotextile Woven					
PROPERTIES	TEST METHOD	TYPE 15	TYPE 20	TYPE 25	UNIT
Mass ( Berat )	D 5261 - 10	149,18	182,57	247,75	Gr/m <sup>2</sup>
Thickness ( Ketebalan )	D 5199 - 12	0,57 - 0,63	0,66 - 0,75	0,88 - 0,97	mm
Ukuran Pori ( Apparent opening size / AOS )	D 4751 - 16	180 ≤ AOS ≤ 210	125 ≤ AOS ≤ 150	75 ≤ AOS ≤ 90	µm
Ketahanan Tusuk ( CBR Puncture Resistance )	D 6241 - 14	3091,79	3299,43	5796,08	N
Color ( Warna )		Black	Black	Black	
Kuat Tarik ( Tensile Strength )					
* Arah Panjang	D 4595 - 05	24,71	27,73	55,79	kN/m
* Arah Lebar		20,58	25,70	42,84	kN/m
Renggang Putus ( Elongation at Break )					
* Arah Panjang	D 4565 - 05	16,67	18,33	21,00	%
* Arah Lebar		18,33	19,67	23,33	%
Kuat Tarik Pegang ( Grab Tensile Strength )					
* Arah Panjang	D 4632 - 13	860,01	971,19	1769,07	N
* Arah Lebar		768,45	868,51	1680,78	N
Renggang Putus Pegang ( Grab Elongation at Break )					
* Arah Panjang	D 4632 - 13	23,00	24,00	26,00	%
* Arah Lebar		23,00	27,00	38,33	%
Permeabilitas air filter ( Water filter Permeability ) dengan water presure head 50 mm :					
* Permittivitas ( Permittivity )	D 4491 - 14	0,274	0,242	0,322	1/s
* Permeabilitas ( Permeability )		0,164	0,169	0,298	mm/s
* Laju Aliran ( Flow Rate )		14.735	12.993	17.306	l/m <sup>2</sup> .s
Ukuran Roll ( Roll Dimension )					
* Panjang ( Long )		100	100	150	m
* Lebar ( Wide )		4	4	4	m
* Luas ( Large )		800	800	600	m <sup>2</sup>

## Lampiran 12 – Perhitungan Desain Geotextile di KM 8

No layer	Hi	Ti	$\tau_1$ (atas)	$\tau_2$ (bawah)	Le	Le pakai	Lo	Lr (geoslope)	L	Jumlah geo per lapisan	M geotextile kN m	$\Sigma$ M geotextile kN m
(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(k)	(l)	(m)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)
1	6	8.34	58.88973	58.889727	0.202	1	0.50	0.56	2.06	1	152.319542	152.3195417
2	5	7.34	49.07477	49.074773	0.242	1	0.50	3.27	4.77	1	134.055808	286.3753494
3	4	6.34	39.25982	39.259818	0.302	1	0.50	3.87	5.4	1	115.792074	402.167423
4	3	5.34	29.44486	29.444864	0.403	1	0.50	3.92	5.42	1	97.5283396	499.6957627
5	2	4.34	19.62991	19.629909	0.605	1	0.50	3.74	5.24	1	79.2646056	578.9603683
6	1	3.34	9.814955	9.8149546	1.210	2	1.00	3.33	6.33	1	61.0008716	639.9612399



### Lampiran 13 – Perhitungan *Ground Anchor* di KM 5




No anchor	P	SF	D	$\phi$	Ku	$\sigma_v$	tan $\phi$	L	L bid longsor	L total	Pull out resistenc
	kN		m	°		(kN/m <sup>2</sup> )		m	m	m	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
1	844.6666667	2	0.2	31	1.7	234.8	0.6009	12.0	7.6	19.6	137.5266
2	844.6666667	2	0.2	31	1.7	256.8	0.6009	11.0	9.4	20.4	131.8638
3	844.6666667	2	0.2	31	1.7	287.8	0.6009	10.0	10.3	20.3	132.5134
4	844.6666667	2	0.2	31	1.7	307.9	0.6009	9.0	11.4	20.4	131.9932
5	844.6666667	2	0.2	31	1.7	314.6	0.6009	9.0	11.7	20.7	129.9527
6	844.6666667	2	0.2	31	1.7	327.36	0.6009	9.0	11.4	20.4	132.058
7	844.6666667	2	0.2	31	1.7	320.86	0.6009	9.0	11.1	20.1	133.8319
8	844.6666667	2	0.2	31	1.7	291.3	0.6009	10.0	10.0	20.0	134.5011
9	844.6666667	2	0.2	31	1.7	286.9	0.6009	10.0	8.8	18.8	143.0862

### Lampiran 14 – Perhitungan *Ground Anchor* di KM 8

No anchor	P	SF	D	$\phi$	Ku	$\sigma_v$	tan $\phi$	Lgrout	L bid longsor	L total	Pull out resistance
	kN		m	°		kN/m <sup>2</sup>		m	m	m	kN/m <sup>2</sup>
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
1	256.6666667	2	0.2	35	2.5	126.95	0.70	4	2	6	215.9320789
2	256.6666667	2	0.2	35	2.5	148.95	0.70	4	2.5	7	188.633023

## Lampiran 15 - Brosur *Ground Anchor*

### Tendons specifications

Steel tendon	Diam. (mm)		Min. cross-section mm <sup>2</sup>	Min. weight kg/m	Ultimate strength N/mm <sup>2</sup>	Ultimate load kN	Yield strength N/mm <sup>2</sup>	Yield load kN	Average Young modulus N/mm <sup>2</sup>	
	Nom.	Ext.								
Prestressing strand 	p 8-9	112.5	12.5	93	0.73	173		152	195,000	
		112.9	12.9	100	0.78	186		164		
		115.3	15.3	140	1.10	260	1,860	1,650		229
		115.7	15.7	150	1.18	279		246		
Freysibar 	p 10-11	26.5	28.8	552	4.56	568		461	170,000	
		32	34.5	804	6.66	828		672		
		36	38.6	1,018	8.45	1,048	1,030	835		850
		40	43.4	1,257	10.41	1,295		1,049		
		50	53.2	1,964	16.02	2,022		1,640		
Freys 670-E 	p 12-13	22	23.8	375	2.94	300		251	210,000	
		25	27.3	491	3.85	393		329		
		28	30.6	616	4.83	493		413		
		30	33.0	707	5.55	566	800	670		474
		35	38.3	962	7.55	770		645		
		43	46.8	1,452	11.40	1,162		973		
		57.5	61.5	2,597	20.38	2,078		1,740		
63.5	67.8	3,167	24.86	2,534		2,122				
Freys 500 / Freys 500E 	p 12-13	20	22.1	314	2.47	173		157	210,000	
		25	27.6	491	3.85	270		246		
		28	30.9	616	4.83	339	550	500		308
		32	35.4	804	6.31	442		402		
		40	43.9	1,257	9.87	691		629		
		50	54.3	1,963	15.40	1,078		982		
		63.5	67.9	3,167	24.86	2,217	700	550		1,758
Freys SD 	p 14	R25N	25	250	2.00	200		150	190,000	
		R32N	32	350	2.70	280		230		
		R32S	32	430	3.40	360		280		
		R38N	38	590	4.70	500		400		
		R51L	51	740	5.90	800	600 to 850	500 to 680		450
		R51N	51	940	7.40	800		630		
		T76L	76	1,650	12.90	1,200		1,000		
		T76N	76	2,080	16.30	1,600		1,200		
		T76S	76	2,460	19.30	1,900		1,500		

## Lampiran 16 – Biaya Tiap Alternatif

### Geotextile

KM 5						
L total geotextile (m)	L lereng (m)	Luas kebutuhan (m <sup>2</sup> )	Luas geotextile (m <sup>2</sup> )	Jumlah roll	Harga 1 roll	TOTAL
42	53.9	2263.8	600	4	Rp 6,200,000	Rp 24,800,000.00
<b>TOTAL + 10%</b>						Rp 27,280,000.00
KM 8						
L total geotextile (m)	L lereng (m)	Luas kebutuhan (m <sup>2</sup> )	Luas geotextile (m <sup>2</sup> )	Jumlah roll	Harga 1 roll	TOTAL
29.19	23.58	688.3002	600	2	Rp 6,200,000	Rp 12,400,000.00
<b>TOTAL + 10%</b>						Rp 13,640,000.00

## Subdrain

KM 5					
Bronjong	Tebal (m)	Luas (m2)	Volume (m3)	Harga/m3	<b>TOTAL</b>
	0.5	76	4096.4	Rp 250,000	Rp 1,024,100,000
Geotextile	Keliling (m)		Luas (m2)	Harga/m2	<b>TOTAL</b>
	311		16762.9	Rp 12,300.00	Rp 206,183,670.00
<b>TOTAL + 10%</b>					Rp 1,353,312,037.00
KM 8					
Bronjong	Tebal (m)	Luas (m2)	Volume (m3)	Harga/m3	<b>TOTAL</b>
	0.5	7	165.06	Rp 250,000	Rp 41,265,000
Geotextile	Keliling (m)		Luas (m2)	Harga/m2	<b>TOTAL</b>
	34		801.72	Rp 12,300.00	Rp 9,861,156.00
<b>TOTAL + 10%</b>					Rp 56,238,771.60

## Bored Pile

Tulangan Utama				
n tulangan	Diameter (mm)	L tulangan utama	Harga (per 12 m)	Harga
45	36	1125	Rp 912,000.00	Rp 85,500,000.00
Tulangan Geser				
n tulangan	Diameter (mm)	L tulangan geser	Harga (per 12 m)	Harga
9	16	732.6666667	Rp 162,000.00	Rp 9,891,000.00
<b>Total Harga Tulangan</b>				<b>Rp 95,391,000.00</b>
Ready Mix				
Diameter pile (m)	L pile (m)	Volume beton (m3)	Harga beton K-450	Harga
1	25	19.625	Rp 1,040,000.00	Rp 20,410,000.00
<b>Total 46 titik + 10%</b>				<b>Rp 5,859,530,600.00</b>

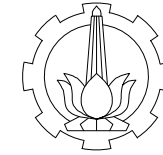
## Ground Anchor

KM 5													
No anchor	L anchor (m)	L grouted (m)	N (kN)	n tulangan	L tulangan (m)	Jumlah anchor	Harga anchor	Total	s pondasi (m)	Volume (m3)	Vol grouted (m3)	Volume total (m3)	Harga
1	20	12	845	6	120	27	Rp 6,785.000.00	Rp 182,855,750.00	0.5	1.059503	0.377	1.436	Rp 35,843,958
2	21	11			126	27	Rp 7,124,250.00	Rp 191,998,537.50	0.5	1.059503	0.345	1.405	Rp 35,060,349
3	21	10			126	27	Rp 7,124,250.00	Rp 191,998,537.50	0.5	1.059503	0.314	1.374	Rp 34,276,740
4	21	9			126	27	Rp 7,124,250.00	Rp 191,998,537.50	0.5	1.059503	0.283	1.342	Rp 33,493,131
5	21	9			126	27	Rp 7,124,250.00	Rp 191,998,537.50	0.5	1.059503	0.283	1.342	Rp 33,493,131
6	21	9			126	27	Rp 7,124,250.00	Rp 191,998,537.50	0.5	1.059503	0.283	1.342	Rp 33,493,131
7	21	9			126	27	Rp 7,124,250.00	Rp 191,998,537.50	0.5	1.059503	0.283	1.342	Rp 33,493,131
8	20	10			120	27	Rp 6,785.000.00	Rp 182,855,750.00	0.5	1.059503	0.314	1.374	Rp 34,276,740
9	19	10			114	27	Rp 6,445,750.00	Rp 173,712,962.50	0.5	1.059503	0.314	1.374	Rp 34,276,740
<b>Harga</b>								Rp 1,691,415,687.50	<b>Harga</b>				Rp 307,707,052
<b>Harga Total + 10%</b>												Rp 2,199,035,013.65	

KM 8													
No anchor	L anchor (m)	L grouted (m)	N (kN)	n tulangan	L tulangan (m)	Jumlah anchor	Harga anchor	Total	s pondasi (m)	Volume (m3)	Vol grouted (m3)	Volume total (m3)	Harga
1	6	4	257	2	12	16	Rp 678,500.00	Rp 10,666,020.00	0.9	0.243	0.115	0.358	Rp 5,218,538
2	7	4			14	16	Rp 791,583.33	Rp 12,443,690.00	0.9	0.243	0.283	0.526	Rp 7,651,012
<b>Harga</b>								Rp 23,109,710.00	<b>Harga</b>				Rp 12,869,550
<b>Harga Total + 10%</b>												Rp 39,577,185.63	

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,  
 PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
 NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

REKOMENDASI SOLUSI UNTUK  
 MENGATASI KELONGSORAN  
 PADA LERENG JALAN AKSES  
 PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8)  
 DENGAN PENDEKATAN  
*CRACKED SOIL*

MAHASISWA

BRENA AUDRA C.T  
 0311164000072

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D  
 Musta'in Arif, ST., MT.

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MELINTANG  
 SUBDRAIN DAN GEOTEXTILE  
 DI KM 5

SKALA

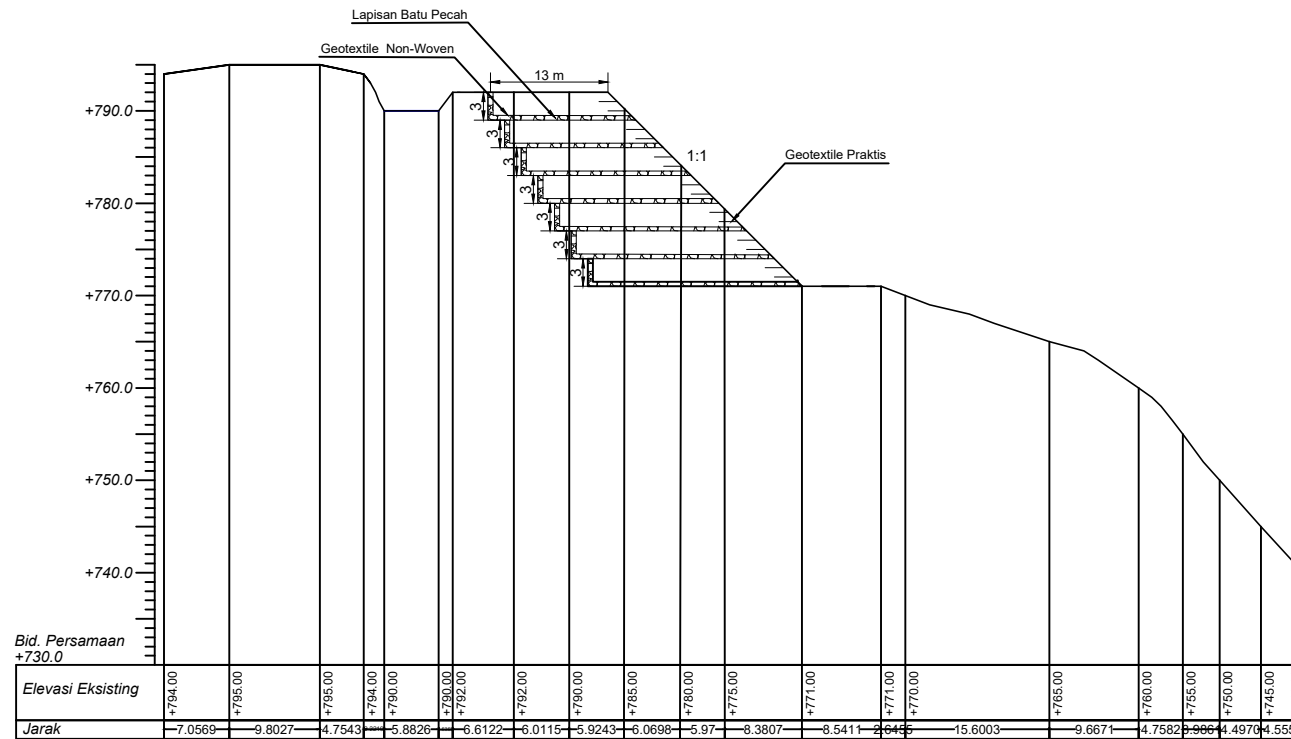
1 : 1000

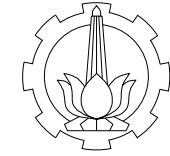
NO. GAMBAR

JUMLAH  
 GAMBAR

1

7





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,  
 PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
 NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

REKOMENDASI SOLUSI UNTUK  
 MENGATASI KELONGSORAN  
 PADA LERENG JALAN AKSES  
 PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8)  
 DENGAN PENDEKATAN  
 CRACKED SOIL

MAHASISWA

BRENA AUDRA C.T  
 03111640000072

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D  
 Musta'in Arif, ST., MT.

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MELINTANG  
 SUBDRAIN DAN  
 GEOTEXTILE DI KM 8

SKALA

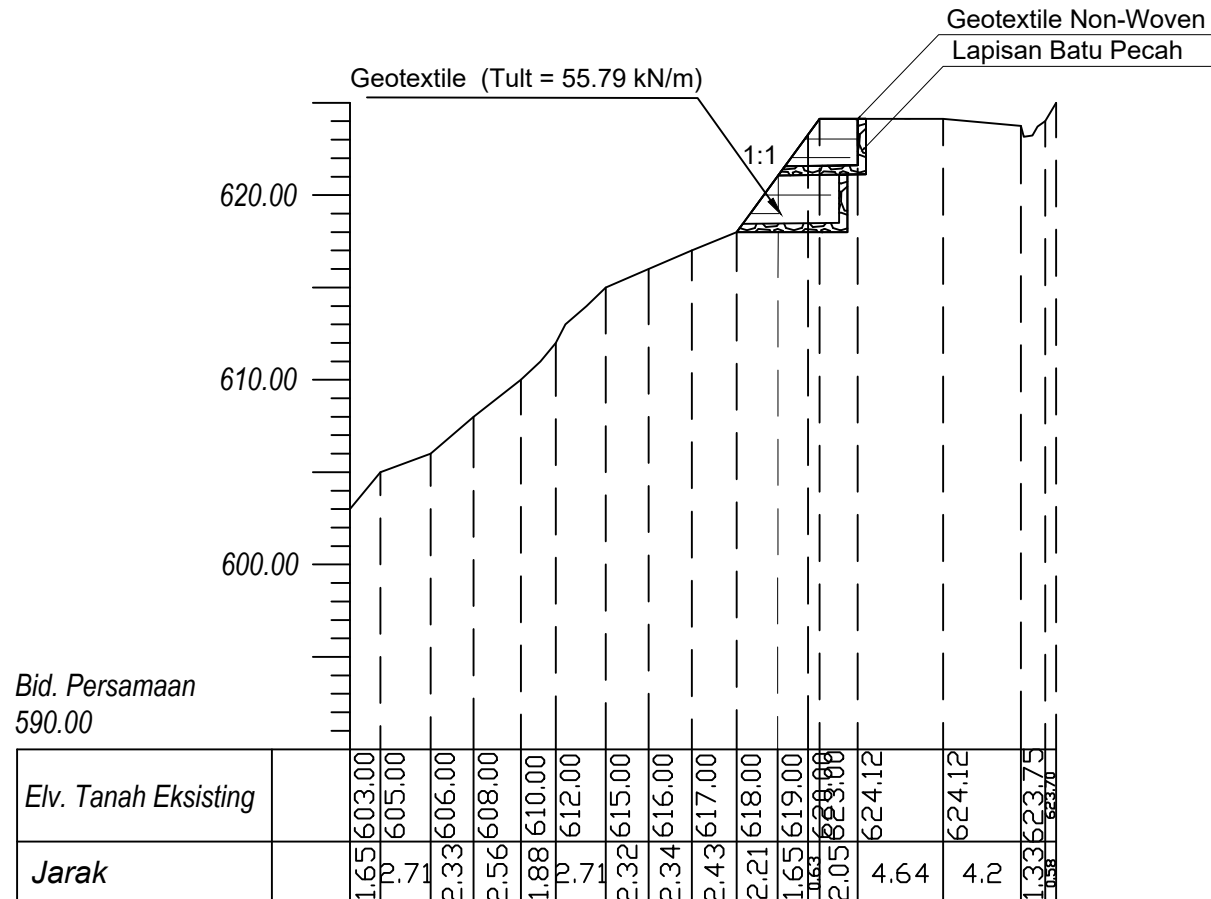
1 : 500

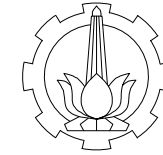
NO. GAMBAR

JUMLAH  
 GAMBAR

2

7





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,  
 PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
 NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

REKOMENDASI SOLUSI UNTUK  
 MENGATASI KELONGSORAN  
 PADA LERENG JALAN AKSES  
 PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8)  
 DENGAN PENDEKATAN  
 CRACKED SOIL

MAHASISWA

BRENA AUDRA C.T  
 0311164000072

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D  
 Musta'in Arif, ST., MT.

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN *BORED PILE*  
 PADA POTONGAN LERENG  
 KM 5

SKALA

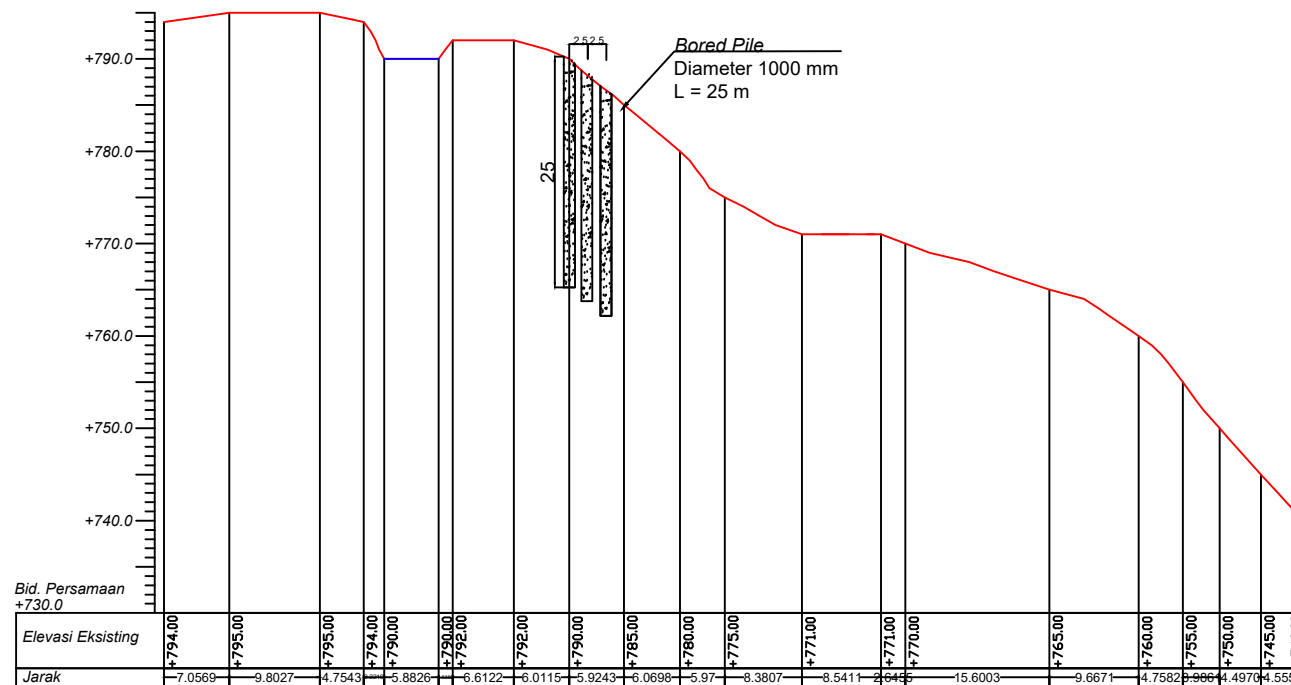
1 : 1000

NO. GAMBAR

JUMLAH  
 GAMBAR

3

7





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,  
 PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
 NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

REKOMENDASI SOLUSI UNTUK  
 MENGATASI KELONGSORAN  
 PADA LERENG JALAN AKSES  
 PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8)  
 DENGAN PENDEKATAN  
 CRACKED SOIL

MAHASISWA

BRENA AUDRA C.T  
 0311164000072

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D  
 Musta'in Arif, ST., MT.

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN GROUND  
 ANCHOR PADA POTONGAN  
 LERENG KM 5

SKALA

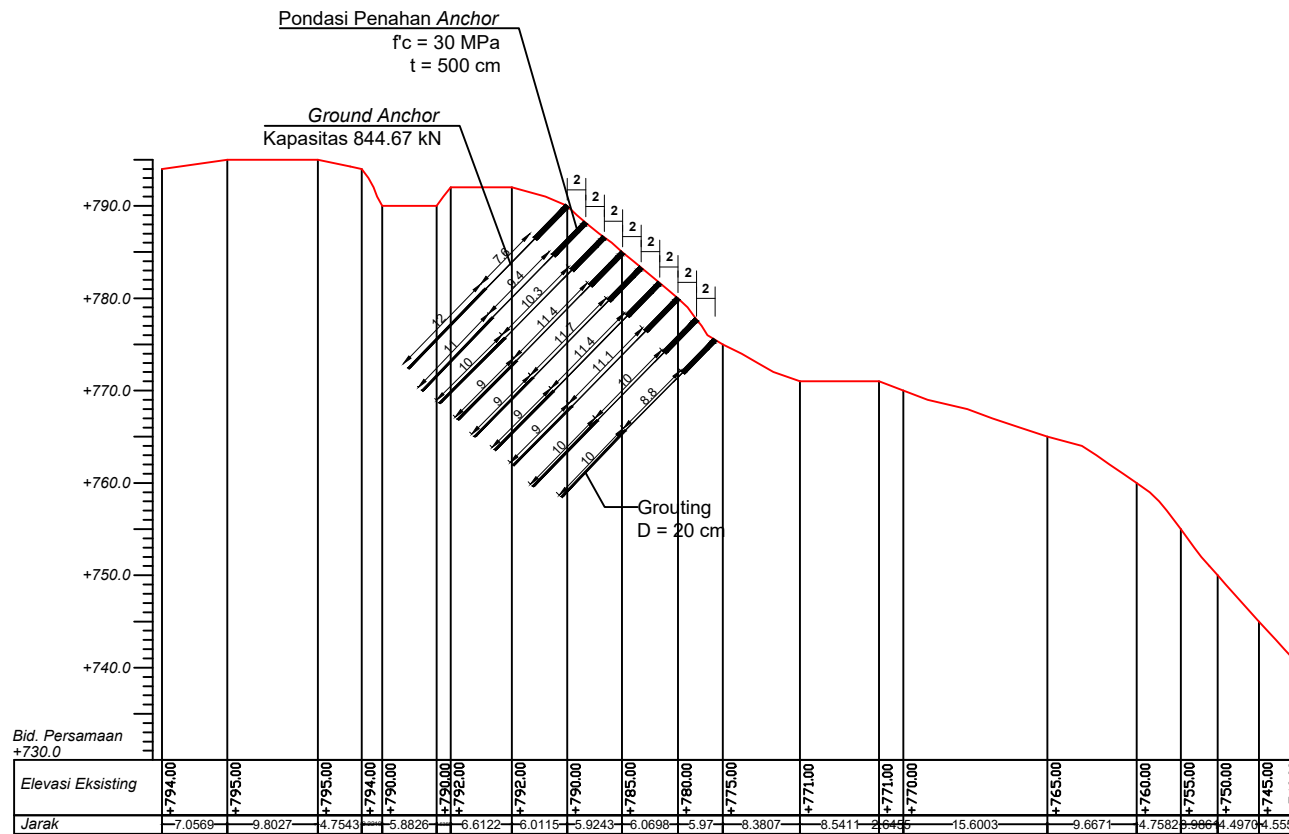
1 : 1000

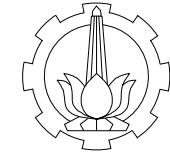
NO. GAMBAR

JUMLAH  
 GAMBAR

4

7





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,  
 PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
 NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

REKOMENDASI SOLUSI UNTUK  
 MENGATASI KELONGSORAN  
 PADA LERENG JALAN AKSES  
 PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8)  
 DENGAN PENDEKATAN  
*CRACKED SOIL*

MAHASISWA

BRENA AUDRA C.T  
 0311164000072

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D  
 Musta'in Arif, ST., MT.

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN  
 PEMASANGAN GROUND  
 ANCHOR PADA LERENG KM 5

SKALA

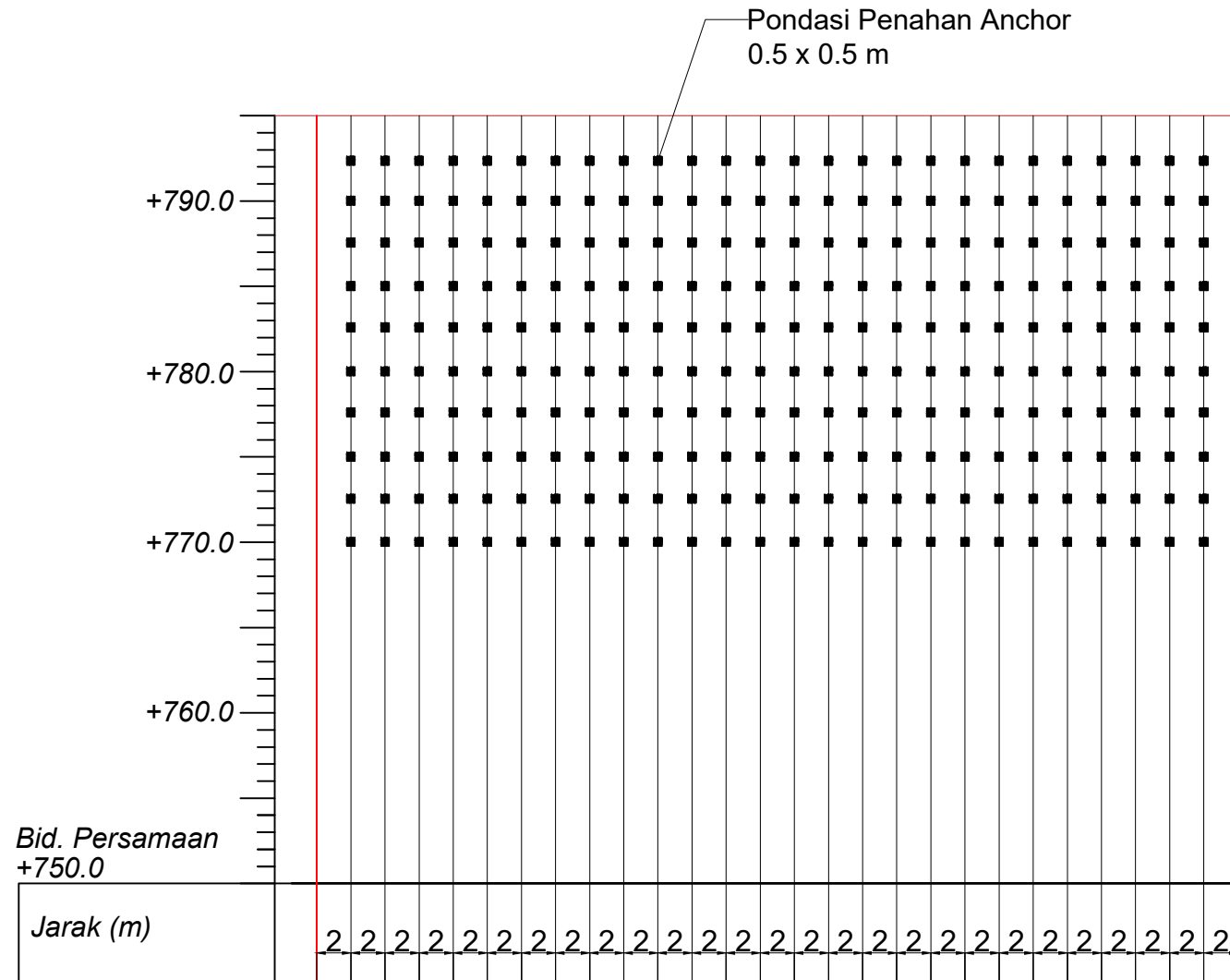
1 : 500

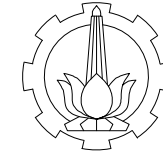
NO. GAMBAR

JUMLAH  
 GAMBAR

5

7





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL,  
 PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
 NOPEMBER

JUDUL TUGAS AKHIR

REKOMENDASI SOLUSI UNTUK  
 MENGATASI KELONGSORAN  
 PADA LERENG JALAN AKSES  
 PLTA MUSI (KM 5 DAN KM 8)  
 DENGAN PENDEKATAN  
 CRACKED SOIL

MAHASISWA

BRENA AUDRA C.T  
 03111640000072

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D  
 Musta'in Arif, ST., MT.

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN *GROUND*  
*ANCHOR*  
 PADA POTONGAN LERENG KM 8

SKALA

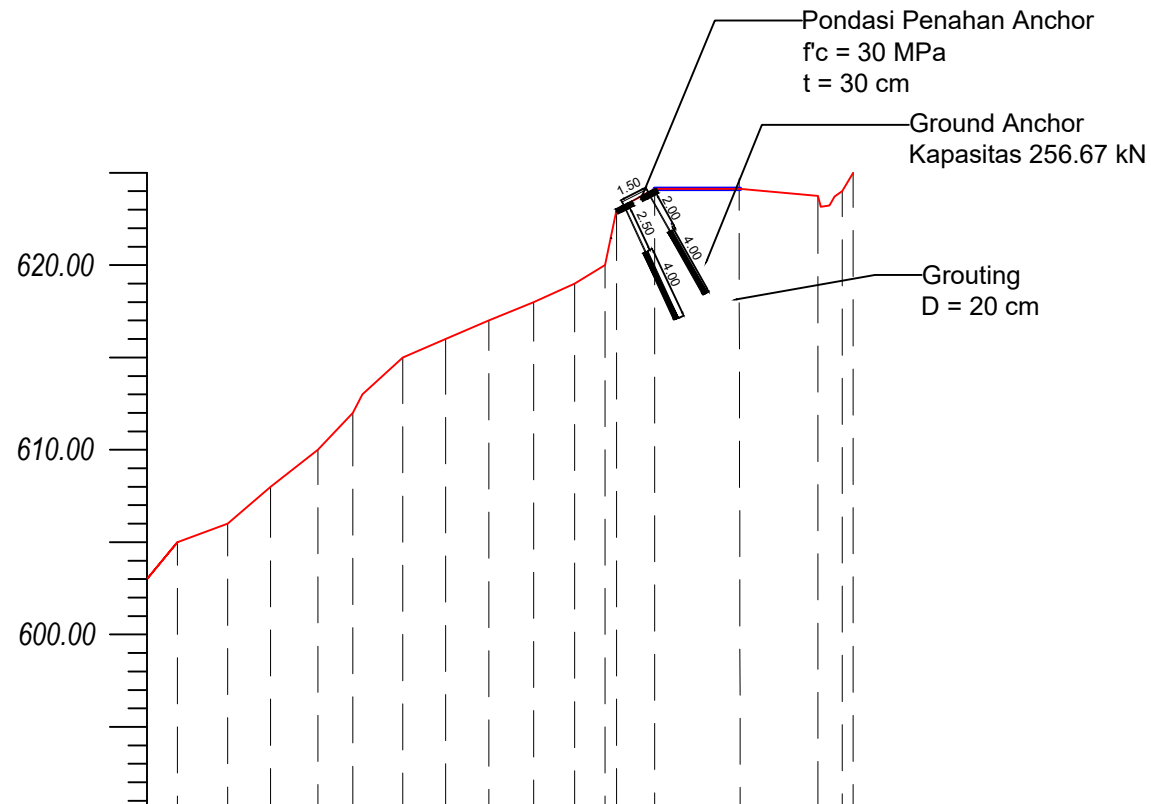
1 : 500

NO. GAMBAR

JUMLAH  
 GAMBAR

6

7



Bid. Persamaan  
 590.00

Elv. Tanah Eksisting		603.00	605.00	606.00	608.00	610.00	612.00	615.00	616.00	617.00	618.00	619.00	620.00	623.00	624.12	624.12	623.75
Jarak		1.65	1.71	2.33	2.56	1.88	1.71	2.32	2.34	2.43	2.21	1.65	1.63	2.05	4.64	4.2	1.33



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Brena Audra Clarina Tarigan lahir di Palangkaraya, pada tanggal 20 Maret 2000. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDK Ipeka Balikpapan, SMP Negeri 1 Balikpapan, dan SMA Negeri 1 Balikpapan. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Sipil (FTSPK) Surabaya melalui Program Sarjana (S1) dengan bidang Studi Geoteknik. Dalam Tugas Akhir ini, penulis mengambil judul “Rekomendasi Solusi untuk Mengatasi Kelongsoran di Lereng Jalan Akses PLTA Musi (KM 5 dan KM 8) dengan Pendekatan *Cracked Soil Approach*”. Penulis merupakan pengurus aktif organisasi, seperti Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS) ITS dan Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) ITS. Penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan tingkat Departemen maupun Institut, seperti Civil Expo, Natal serta Paskah ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email: **[brenaudra20@gmail.com](mailto:brenaudra20@gmail.com)**