TUGAS AKHIR (RC18-4803)

ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN LERENG PADA JALAN TOL SURABAYA – MOJOKERTO KM 737+400

FAIZAL LUTHFI DWI KUSUMA
NRP. 03111640000076

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

Dosen Pembimbing II
Musta'in Arif, S.T, M.T.

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

TUGAS AKHIR (RC18-4803)

ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN LERENG PADA JALAN TOL SURABAYA – MOJOKERTO KM 737+400

FAIZAL LUTHFI DWI KUSUMA
NRP. 03111640000076

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

Dosen Pembimbing II
Musta'in Arif., S.T, M.T.

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

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

FINAL PROJECT (RC18-4803)

ALTERNATIVE DESIGN OF SLOPE REINFORCEMENT ON SURABAYA – MOJOKERTO EXPRESSWAY KM 737+400

FAIZAL LUTHFI DWI KUSUMA
NRP. 03111640000076

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

Academic Supervisor II
Musta'in Arif., S.T, M.T.

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

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN LERENG PADA JALAN TOL SURABAYA – MOJOKERTO KM 737+400

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
FAIZAL LUTHFI DWI KUSUMA
NRP. 031 116 4000 0076

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

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

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN LERENG PADA JALAN TOL SURABAYA – MOJOKERTO KM 737+400

Nama Mahasiswa	**: Faizal Luthfi Dwi Kusuma**
NRP	**: 03111640000076**
Jurusan	**: Teknik Sipil FTSPK-ITS**
Dosen Pembimbing	**: 1) Prof. Ir. Indrasurya B. M, M.Sc, Ph.D.**
	2) Musta'in Arif, ST.,MT.

ABSTRAK

Jalan tol Surabaya - Mojokerto merupakan jalan tol yang menghubungkan Kota Surabaya dan Kota Mojokerto. Adanya jalan Tol tersebut diharapkan mampu mengatasi kemacetan yang diakibatkan oleh laju pertumbuhan kendaraan yang terus meningkat.. Pembangunan tersebut melewati area perbukitan dan lembah sehingga diperlukan pekerjaan galian dan timbunan. Pada KM 737+400 merupakan daerah galian dan lerengnya mengalami kelongsoran, di sebelah lereng yang mengalami kelongsoran telah terpasang perkuatan grassblock. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi penyebab kelongsoran dan alternatif perbaikannya agar kelongsoran tidak terjadi lagi pada ruas jalan tol tersebut.

Dengan memperhatikan hasil data tanah yang ada maka dapat dihitung angka keamanan dari stabilitas lereng pada saat kelongsoran terjadi. Dengan menggunakan data tanah asli, diperoleh nilai SF>1, ini berarti kondisi lereng tidak mengalami longsor, berbeda dengan kondisi yang ada di lapangan. Nilai SF<1 diperoleh dengan menganggap tanah sebagai pasir (behaving like sand). Maka pada perencanaan ini lereng direncanakan dalam kondisi terburuk, jadi tanah yang digunakan adalah data tanah behaving like sand. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kemudian dapat direncanakan sistem perkuatan lereng dengan pemasangan geotextile + subdrain, soil nailing, dan gabion + geotextile.

Dari hasil perhitungan perencanaan perkuatan lereng tersebut didapatkan, 1) Perkuatan geotextile + subdrain membutuhkan 8 lapis geotextile dengan kuat tarik 50 kN dan panjang total adalah 36 m serta dimensi subdrain 30 cm x 30 cm; 2) Perkuatan soil nailing membutuhkan 125 buah dengan panjang 4,5 m; 3) Perkuatan gabion + geotextile menggunakan bronjong dimensi ukuran panjang 200 cm, lebar 100 cm, dan tinggi 50 cm serta jumlah geotextile dibutuhkan 11 lapis geotextile dengan kuat tarik 200 kN dan panjang total adalah 71,5 m.

Dilihat dari biaya material yang ekonomis maka dipilih perkuatan geotextile + subdrain dengan total biaya material yang dibutuhkan adalah Rp 957.001.050.

Kata kunci: Gabion, Geotextile, Kelongsoran Lereng, Soil Nailing, Subdrain, Tol Surabaya – Mojokerto

ALTERNATIVE DESIGN OF SLOPE REINFORCEMENT ON SURABAYA – MOJOKERTO EXPRESSWAY KM 737+400

Student Name	**: Faizal Luthfi Dwi Kusuma**
NRP	**: 03111640000076**
Department	**: Civil Engineering FTSPK-ITS**
Advisor	**: 1) Prof. Ir. Indrasurya B. M, M.Sc, Ph.D.**
	2) Musta'in Arif, S.T.,M.T.

ABSTRACT

Surabaya - Mojokerto expressway is a highway that connects the city of Surabaya and the city of Mojokerto. The existence of the toll road is expected to be able to overcome the congestion caused by the growth rate of vehicles that continues to increase. The construction passes through hilly areas and valleys so that excavation and embankment work is needed. At KM 737 + 400 is an excavated area and the slope is overflow, next to the slope experiencing landslide has been installed grass block reinforcement. But after being analyzed using geoslope software the SF value is less than 1.5. For this reason, it is necessary to evaluate the causes of landslides and alternative improvements so that landslides do not occur again on the expressway section.

By paying attention to the results of the existing soil data, it can be calculated the safety value of the slope stability at the time of the landslide. By using field soil data, the value of SF> 1 is obtained, this means that the slope does not overflow, which is different from the conditions in the field. The value of SF <1 is obtained by considering the soil as sand (behaving like sand). So in this plan the slope is planned in the worst condition, so the soil used is behaving like sand soil data. Based on the results of these calculations, then the slope reinforcement system can be planned by installing geotextile + subdrain, soil nailing, and gabion + geotextile.

From the calculation of the slope reinforcement plan, it is obtained, 1) Reinforcement of the geotextile + subdrain requires 8 layers of geotextile with a tensile strength of 50 kN and a total length of 36 m and a subdrain dimension of 30 cm x 30 cm; 2) Reinforcement of soil nailing requires 125 pieces with a length of 4,5 m; 3) Reinforcement of gabion + geotextile using gabions with dimensions of length 200 cm, width 100 cm and height 50 cm and the number of geotextile required 11 layers of geotextile with a tensile strength of 200 kN and a total length of 71,5 m.

Geotextile + subdrain reinforcement is chosen because the cheapest among others. Total cost of material required is IDR 957.001.050.

Keywords: Gabion, Geotextile, Landslide Slope, Soil Nailing, Subdrain, Surabaya – Mojokerto Highway

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayah serta karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelsaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Pada kesempatan kali ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Prof. Ir. Indrasurya B. M, MSc, PhD selaku dosen pembimbing 1 dan Musta'in Arif, ST.,MT. selaku dosen pembimbing 2 yang telah membimbing dan membantu selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Seluruh dosen pengajar jurusan Teknik Sipil ITS yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan bimbingan dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis.
3. Kedua orang tua dan kakak-kakak saya yang selalu memberikan doa, semangat dan dorongan sepenuhnya dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Rekan-rekan penghuni kos A-58 sebagai teman diskusi mulai dari pembuatan dan penyusunan proposal tugas akhir sampai tugas akhir ini.
5. Civitas Akademika Departemen Teknik Sipil ITS terutaman rekan-rekan S59 yang telah memberikan bantuan selama proses penyusunan proposal tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan tugas akhir ini terdapat kelebihan dan kekurangan. Segala kelebihan pada tugas akhir ini diharapkan memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi rekan-rekan dengan disiplin ilmu Teknik Sipil khususnya bidang geoteknik. Penulis tidak lupa meminta kritik dan saran yang membangun terhadap proposal tugas akhir ini, sehingga sebagai pembaca dan penulis menjadi lebih baik. Akhir kata

penulis mengucapkan terimakasih.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK vii
KATA PENGANTAR.....xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR..... xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Rumusan Masalah 6
1.3 Batasan Masalah.....6
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....6
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....7
1.6 Lingkup Studi 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Jenis Tanah dan Perilakunya 9
2.2 Parameter Tanah.....9
2.2.1 Pengelompokan tanah.....10
2.2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan data sondir 10
2.2.3 Korelasi untuk mendapatkan nilai parameter tanah....15
2.3 Faktor yang menyebabkan kelongsoran 19
2.3.1 Teori *Cracked Soil*.....21
2.4 Stabilitas lereng 22
2.5 Konsep perkuatan lereng 23
2.5.1 Metode perkuatan lereng dengan *Geotextile* 23
2.5.2 Metode perkuatan lereng dengan *Soil Nailing*.....31

2.5.3 Metode perkuatan lereng dengan Gabion 47
BAB III METODOLOGI 53
3.1 Diagram Bagan Alir 53
3.2 Uraian Tahapan Perencanaan 55
3.2.1 Studi Literatur 55
3.2.2 Pengumpulan Data 55
3.2.3 Analisa Data Tanah Sebelum Longsor 55
3.2.4 Analisa Penyebab Longsor 55
3.2.5 Perencanaan Alternatif Perkuatan Lereng yang Sesuai 56
3.2.6 Membandingkan dan Menentukan Alternatif Perkuatan Lereng yang Tepat 56
3.2.7 Kesimpulan dan Saran 56
BAB IV ANALISA DATA 57
4.1. Data Tanah Lapangan 57
4.2. Analisa Parameter Tanah 58
4.2.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir 58
4.2.2. Korelasi Untuk Mendapatkan Nilai Parameter Tanah 60
4.3. Stabilitas Lereng 62
4.3.1. Permodelan Geometri Lereng 63
4.3.2. Analisa Kondisi Eksisting 63
4.3.3. Data Tanah Asumsi *Cracked Soil* 66
BAB V PERENCANAAN ALTERNATIF PERKUATAN LERENG 69
5.1. Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan *Geotextile + Subdrain* 69

5.2. Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan *Soil Nailing* 73
5.3. Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan *Gabion + Geotextile*.....81
5.4. Analisa Kebutuhan Material dan Biaya.....87
BAB VI KESIMPULAN.....89
6.1. Kesimpulan.....89

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Jalan Tol Surabaya – Mojokerto KM 737+400 2
Gambar 1. 2 Lokasi terjadinya longsor 3
Gambar 1. 3 Sisi lereng yang terjadi longsor 3
Gambar 1. 4 Sisi lereng yang terpasang grassblock 4
Gambar 1. 5 Sisi lereng yang terpasang cerucuk bambu 4
Gambar 1. 6 Layout tampak atas 5
Gambar 1. 7 Perkiraan profil tanah 5
Gambar 2. 1 Grafik Schmertmann 12
Gambar 2. 2 Grafik Korelasi LL dan Cv 18
Gambar 2. 3 Grafik Korelasi LL dan PI 19
Gambar 2. 4 Retakan tanah saat hujan 21
Gambar 2. 5 Diagram tekanan tanah lateral yang disebabkan oleh beban permukaan 25
Gambar 2. 6 Konsep tekanan tanah dan teori untuk dinding *geotextile* 27
Gambar 2. 7 Guling (*overturning*) 29
Gambar 2. 8 Geser (*sliding*) 30
Gambar 2. 9 Daya dukung (*bearing capacity*) 30
Gambar 2. 10 Kestabilan lereng dengan metode *Bishop* 32
Gambar 2. 11 Stabilitas geser untuk lereng yang diperkuat dengan soil nailing 34
Gambar 2. 12 Lapisan keras tebal di bawah tanah lunak 36
Gambar 2. 13 Lapisan keras tipis di bawah tanah lunak 36
Gambar 2. 14 Faktor N_c untuk analisa pada tanah kohesif 37
Gambar 2. 15 Kegagalan cabut pada soil nailing 39
Gambar 2. 16 Skema lokasi dari gaya tarik maksimum soil nail 40
Gambar 2. 17 Ilustrasi penulangan 43
Gambar 2. 18 Kegagalan punching shear 45
Gambar 2. 19 Sambungan head-stud struktur penahan permanen 46
Gambar 2. 20 Gabion 48
Gambar 2. 21 *Gravity wall design* 48

Gambar 4. 1 Grafik sondir pada Km 737+400.....57
Gambar 4. 2 Geometri lereng.....63
Gambar 4. 3 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah asli.....63
Gambar 4. 4 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah asli.....64
Gambar 4. 5 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah asli.....64
Gambar 4. 6 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah asli.....64
Gambar 4. 7 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah asli.....65
Gambar 4. 8 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah asli.....65
Gambar 4. 9 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah *behaving like sand* 67
Gambar 4. 10 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah *behaving like sand* 68
Gambar 5. 1 Bidang longsor lereng SF=1,009.....69
Gambar 5. 2 Bidang longsor tanah urugan 70
Gambar 5. 3 Sketsa pemasangan *geotextile* 73
Gambar 5. 4 Arah kelongsoran hasil *geoslope* dari lereng yang diperkuat dengan *geotextile*.....73
Gambar 5. 5 Perencanaan awal perkuatan *soil nailing* 74
Gambar 5. 6 Pembagian lapisan pada bidang longsor 77
Gambar 5. 7 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan bidang gesernya.....78
Gambar 5. 8 Arah kelongsoran hasil *geoslope* dari lereng yang diperkuat dengan *soil nailing* 80
Gambar 5. 9 Sketsa perencanaan *gabion* 81
Gambar 5. 10 Sketsa pemasangan *geotextile* 87
Gambar 5. 11 Arah kelongsoran hasil *geo5* dari lereng yang diperkuat dengan *geotextile*.....87

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Tabel Jumlah Kendaraan Bermotor 2013-2017.....1
Tabel 2. 1 Konsistensi Tanah (Tanah Dominan Lanau dan Lempung) 13
Tabel 2. 2 Internal Friction (φ) untuk Tanah Kohesif.....13
Tabel 2. 3 Korelasi N-SPT dengan Karakteristik Tanah 13
Tabel 2. 4 Perkiraan Daya Dukung Pasir Berdasarkan Test Pen 14
Tabel 2. 5 Konsistensi Tanah (Tanah Dominan Pasir) 14
Tabel 2. 6 Nilai-Nilai Tipikal n, e, ω, γd, dan γsat untuk Tanah Keadaan Asli di Lapangan.....15
Tabel 2. 7 Modulus Elastisitas.....17
Tabel 2. 8 Koefisien Poisson 17
Tabel 2. 9 Nilai Faktor Reduksi.....24
Tabel 4. 1 Deskripsi Lapisan Tanah untuk Setiap Kedalaman ...58
Tabel 4. 2 Harga N-SPT untuk Setiap Kedalaman 59
Tabel 4. 3 Konsistensi Tanah untuk setiap Kedalaman 60
Tabel 4. 4 Hasil Korelasi Parameter Tanah pada Titik S-1 62
Tabel 4. 5 Data Tanah *Behaving Like Sand*.....67
Tabel 5. 1 Tegangan Vertikal.....75
Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Gaya Cabut yang Terjadi 76
Tabel 5. 3 Nilai Ka.....79
Tabel 5. 4 Nilai Tegangan Vertikal.....79
Tabel 5. 5 Nilai Tegangan Horisontal.....79
Tabel 5. 6 Nilai Gaya.....80
Tabel 5. 7 Data Tanah.....81
Tabel 5. 8 Nilai Ka.....81
Tabel 5. 9 Nilai Tegangan Vertikal.....82
Tabel 5. 10 Nilai Tegangan Horisontal.....82
Tabel 5. 11 Nilai Gaya.....82
Tabel 5. 12 Harga Perkuatan *Geotextile + Subdrain*.....88
Tabel 5. 13 Harga Perkuatan *Soil Nailing* 88
Tabel 5. 14 Harga Perkuatan *Gabion + Geotextile*.....88

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masyarakat Indonesia kebanyakan lebih memilih kendaraan pribadi seperti mobil dan motor dibandingkan menggunakan fasilitas umum seperti bis, kereta, dll. Oleh sebab itu jumlah kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat sehingga menyebabkan kemacetan di jalan raya. Menurut data dari Badan Pusat Statisik tahun 2013-2017, jumlah kendaraan bermotor terus meningkat tiap tahunnya **(Tabel 1.1)**. Hal ini tidak sebanding dengan pembangunan infrastruktur jalan atau dengan kata lain laju pertumbuhan jumlah kendaraan lebih tinggi daripada laju pertumbuhan pembangunan jalan. Sebagai akibatnya kemacetan terjadi di banyak kota di Indonesia.

Tabel 1. 1 Tabel Jumlah Kendaraan Bermotor 2013-2017

Jenis Kendaraan Bermotor	Jumlah Kendaraan Bermotor (unit)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Mobil Penumpang	11484514	12599038	13480973	14580666	15493068
Mobil Bis	2286309	2398846	2420917	2486898	2509258
Mobil Barang	565494	6235136	66110028	7063433	7523550
Sepeda Motor	84732652	92976240	98881267	105150082	113030793
Jumlah	104118969	114209260	121394185	129281079	138556669

Sumber: Badan Pusat Statistik

Salah satu alternatif yang digunakan untuk mengatasi kemacetan adalah jalan tol. Oleh sebab itu, proyek pembangunan jalan tol semakin ditingkatkan guna mengimbangi jumlah kendaraan yang semakin meningkat tiap tahunnya. Langkah nyata yang dilakukan pemerintah saat ini adalah dengan menjalankan program pembangunan tol Trans Jawa. Tol Trans Jawa ini nantinya akan menghubungkan dua kota besar yang ada di Jawa, yaitu Jakarta dan Banyuwangi.

Jalan Tol Surabaya–Mojokerto merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa yang menghubungkan Kota Surabaya dengan Kota Mojokerto **(Gambar 1.1)**. Jalan tol ini melintasi Kota Surabaya, Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Gresik, dan Kabupaten Mojokerto yang sudah beroperasi penuh sejak tahun 2017.

Gambar 1. 1 Lokasi Jalan Tol Surabaya – Mojokerto KM 737+400
(Sumber: www.maps.google.com)

Pembangunan Jalan Tol Surabaya–Mojokerto tersebut melewati area perbukitan dan lembah sehingga diperlukan pekerjaan galian dan timbunan. Ruas tol yang ada pada KM 737+200 s/d KM 737+600 merupakan ruas jalan yang berada dalam galian. Kedalaman galian tersebut kurang lebih sekitar 8,5 meter dan sudut kemiringan lereng kurang lebih sekitar 45°. Pada KM 737+400 lerengnya mengalami kelongsoran yang terjadi pada saat musim kemarau **(Gambar 1.2)**. Pada sebelah titik longsor tersebut telah dipasang grassblock namun kondisi lerengnya tetap melendut **(Gambar 1.4)**. Di sebelah sisi lainnya telah dipasang cerucuk bambu yang digunakan sebagai penahan sementara **(Gambar 1.5)**. Di bagian atas dari lereng merupakan area persawahan, sedang di bagian bawah

lereng pada kedua sisi jalan tol terdapat parit **(Gambar 1.2 dan 1.3)**.

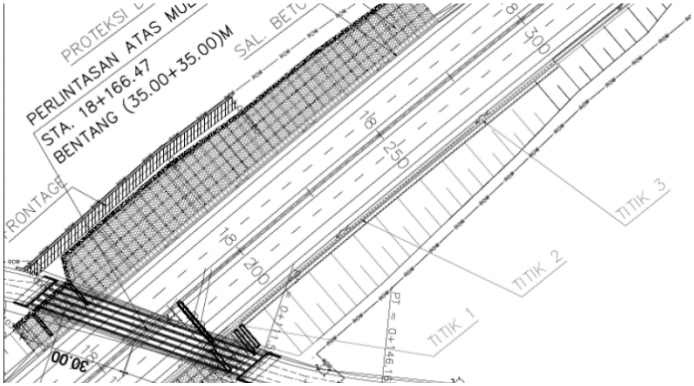
Kelongsoran pada lereng jalan tol tersebut diakibatkan karena merembesnya air tanah dari dalam lereng itu keluar, adanya sumber air persawahan di dekat lokasi tersebut sehingga air terus mengalir, dapat dilihat pada gambar bahwa parit tersebut terus teraliri air meskipun di musim kemarau. Serta lokasi tersebut merupakan daerah galian sehingga muka air tanah tinggi.

Gambar 1. 2 Lokasi terjadinya longsor

Gambar 1. 3 Sisi lereng yang terjadi longsor

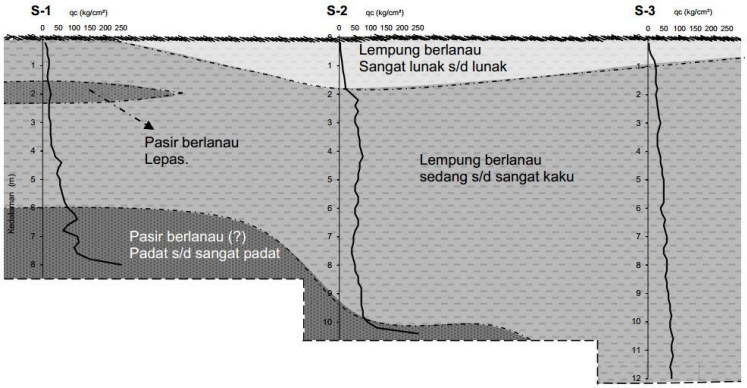
Gambar 1. 4 Sisi lereng yang terpasang grassblock

Gambar 1. 5 Sisi lereng yang terpasang cerucuk bambu



Gambar 1. 6 Layout tampak atas

Jenis tanah pada lereng tersebut adalah lempung berlanau, sedangkan lapisan tanah secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.6. Kepadatan lapisan tanah pasir yang dijumpai mulai dari kedalaman ± 6 – 9 m cukup bervariasi, seperti ditunjukkan pada data sondir S-1 dan S-2. Sementara untuk lokasi uji S-3 konus sondir dapat menembus hingga kedalaman ± 12 m. Untuk lokasi kelongsoran berada di sebelah titik sondir 1.



Gambar 1. 7 Perkiraan profil tanah

Untuk menjaga kelancaran lalu lintas di jalan tol tersebut, maka kelongsoran yang telah terjadi harus segera ditanggulangi dan harus dijaga agar tidak terjadi kelongsoran susulan pada lereng tersebut. Untuk itu, perlu analisa penyebab kelongsoran pada lereng tersebut. Selain itu, perlu direncanakan perkuatan untuk meningkatkan kestabilan lereng.

1.2 Rumusan Masalah

Secara umum berdasarkan latar belakang diatas, terdapat beberapa masalah yang harus dibahas :

1. Apakah kiranya yang menjadi penyebab dari terjadinya kelongsoran?
2. Bagaimana perencanaan perkuatan *geotextile + subdrain*, *soil nailing*, dan *gabion + geotextile* di jalan tol Surabaya-Mojokerto KM 737+400?
3. Alternatif perkuatan dan penggunaan material manakah yang paling efektif?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut :

1. Data yang diambil merupakan data sekunder.
2. Analisa kelongsoran dan perkuatan lereng yang direncanakan hanya pada KM 737+400 dimana tempat terjadinya longsor.
3. Alternatif perkuatan lereng yang digunakan yaitu *geotextile*, *soil nailing*, dan *gabion*.
4. Tidak membahas perhitungan bangunan jalan.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui penyebab kelongsoran dan melakukan perencanaan *geotextile*, *soil nailing*, dan *gabion* untuk perkuatan lereng untuk mencegah kelongsoran pada segmen Jalan Tol Surabaya – Mojokerto KM 737+400.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah untuk dapat mengetahui alternatif terbaik yang digunakan sebagai metode perkuatan lereng sesuai dengan kondisi lapangan. Merencanakan alternatif sesuai kondisi eksisting yang ada tanpa ada kegagalan.

1.6 Lingkup Studi

a. Studi Literatur
   - Teori *crack*
   - Teori stabilitas lereng
   - Teori mengenai alternatif perkuatan lereng yang direncanakan (*geotextile, soil nailing, gabion*)

b. Pengumpulan Data
   - Data pengujian tanah sebelum longsor di lapangan.
   - Kondisi eksisting.
   - Kondisi longsor pada ruas jalan.

c. Analisa Data Tanah
   - Melakukan korelasi parameter tanah terhadap data sondir.

d. Analisa Penyebab Longsor
   - Melakukan analisa penyebab kelongsoran dengan menggunakan data tanah yang telah diperoleh berdasarkan literatur yang ada.

e. Perencanaan Alternatif Perkuatan Lereng
   - *Geotextile*
     - *Internal stability*
     - *External stability*
       - Stabilitas terhadap guling.
       - Stabilitas terhadap geser.
       - Stabilitas terhadap daya dukung.
   - *Soil Nailing*
     - Analisis stabilitas lereng eksternal
       - Analisis terhadap keruntuhan lereng global
         - Gaya geser dan gaya tarik ijin global

        - Gaya Tarik ijin dari perkuatan *soil nailing*
      - Analisis terhadap penggeseran
    - Analisis stabilitas lereng internal
      - Analisis terhadap putus tulangan
      - Analisis terhadap cabut tulangan
  - *Gabion*
    - Stabilitas terhadap guling
    - Stabilitas terhadap geser
    - Stabilitas terhadap daya dukung

f. Menghitung Volume Material
  - Melakukan perhitungan volume material dari ketiga alternatif yang direncanakan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jenis Tanah dan Perilakunya

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefisinikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersegmentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Menurut K. Terzaghi, tanah terdiri dari butiran-butiran material hasil pelapukan massa batuan massive, dimana ukuran butirannya bisa sebesar bongkahan.

Di antara faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah adalah bentuk, ukuran, dan komposisi mineral dari butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah. Secara umum, tanah dapat dimasukkan ke dalam dua kelompok berdasarkan sifat lekatnya yaitu; tanah tak berkohesi (*Cohesionless Soil*) dan tanah kohesif (*Cohesive Soil*). Tanah tak berkohesi adalah tanah yang tidak memiliki atau sedikit sekali lekatan antar butirnya seperti pasir. Sedangkan tanah kohesif adalah tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir-butirnya seperti tanah lempung.

2.2 Parameter Tanah

Analisa parameter tanah ini bertujuan untuk mengelompokan jenis tanah yang beragam dilapangan menjadi beberapa jenis dengan pendekatan statistik sederhana. Dasar pengelompokanya yaitu dengan cara membuat statigrafi nilai parameter tanah dari beberapa data hasil uji lapangan.

2.2.1 Pengelompokan tanah

Pendekatan statistik yang digunakan yaitu mengambil keputusan berdasarkan besar *coefisien variasi (CV)* dari suatu distribusi nilai parameter tanah. Berikut merupakan perumusan yang dapat digunakan:

Rata-rata = $U = \frac{\sum_{n=1}^{n} x}{n}$ (2.1)

Standar Deviasi = $STD = \sqrt{\frac{\sum(x-U)^2}{n}}$ (2.2)

Rata-rata = $CV = \frac{STD}{U} \times 100\%$ (2.3)

Dimana distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien variasi dari sebaran tersebut antara 10-20%. Jika nilai sebaran tersebut >20%, maka harus dilakukan pembagian lapisan kembali.

2.2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan data sondir

Uji sondir atau dikenal dengan uji penetrasi kerucut statis banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tanah. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus (*qc*) yang diperoleh dari pengujian dapat langsung dikorelasikan dengan kapasitas dukung tanah (Sianipar, 2016). Pada uji sondir, terjadi perubahan yang kompleks dari tegangan tanah saat penetrasi sehingga hal ini mempersulit interpretasi secara teoritis. Dengan demikian meskipun secara teoritis interpretasi hasil uji sondir telah ada, dalam prakteknya uji sondir tetap bersifat empiris. Keuntungan uji sondir (Sianipar, 2016):

1. Cukup ekonomis dan cepat.
2. Dapat dilakukan ulang dengan hasil yang relatif hampir sama.
3. Korelasi empirik yang terbukti semakin andal.

4. Perkembangan yang semakin meningkat khususnya dengan adanya penambahan sensor pada sondir listrik.

- Hambatan Konus (*qc*)

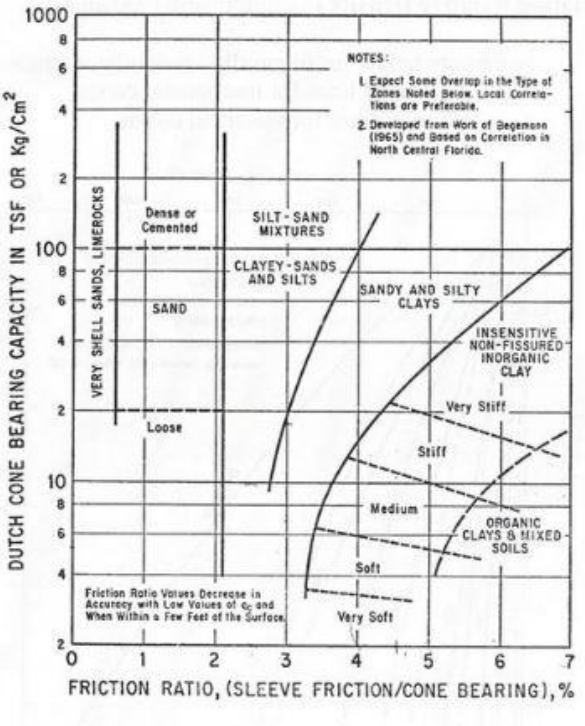
  Nilai yang penting diukur dari uji sondir adalah hambatan ujung konus (*qc*). Besarnya nilai ini seringkali menunjukkan identifikasi dari jenis tanah dan konsistensinya. Pada tanah pasiran, hambatan 10 ujung jauh lebih besar dari tanah berbutir halus. Pada pasir padat (*dense*) dan sangat padat (*very dense*), sondir ringan umumnya tidak dapat menembus lapisan ini. Schmertman, (1978) dalam Rahardjo, (2008) memberikan petunjuk sederhana untuk menginterpretasi data sondir untuk keperluan klasifikasi dan kondisi tanah.

- Gesekan Selimut (*fs*)

  Nilai *fs* dapat menggambarkan klasifikasi tanah. Selain itu rasio *fs* dan *qc* yang dikenal dengan nama rasio gesekan (*Rf*) dapat digunakan untuk membedakan tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar (Sianipar, 2016). Dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah berbutir kasar mempunyai nilai *Rf* yang kecil (<2%), sementara untuk tanah berbutir halus (lanau dan lempung) nilai *Rf* lebih tinggi.

  Adapun tahapan yang perlu dilakukan sebelum menentukan nilai parameter tanah dari data sondir adalah sebagai berikut:

  1. Menentukan tebal lapisan tiap kedalaman tanah berdasarkan harga tahanan konus, qc.
  2. Mendeskripsikan jenis lapisan tanah berdasarkan harga perlawanan penetrasi konus (qc) dan *friction ratio* (FR) seperti pada **Gambar 2.1.**



Gambar 2. 1 Grafik Schmertmann
(Sumber: *google.com*)

3. Merubah nilai harga tahanan konus (qc) kedalam bentuk NSPT untuk memudahkan korelasi parameter tanah. Merubah harga tahanan konus (qc) kedalam bentuk N-SPT dapat dilakukan secara langsung menggunakan **Tabel 2.1** (untuk tanah dominan lanau dan lempung) dan **Tabel 2.5** (untuk tanah dominan pasir) dengan mencari nilai relative density (Dr) terlebih dahulu dengan menggunakan **Tabel 2.6**.
4. Menentukan konsistensi tanah berdasarkan harga tahanan konus/N-SPT menggunakan **Tabel 2.1**. Hubungan antara konsistensi terhadap tekanan konus, *undrained cohesion* dan *internal friction* adalah

sebanding dimana semakin tinggi nilai c, φ dan qc maka semakin keras tanah tersebut.

Tabel 2. 1 Konsistensi Tanah (Tanah Dominan Lanau dan Lempung)

Konsistensi Tanah	**Taksiran Harga Kekuatan Geser Undrained, Cu**		**Taksiran Harga SPT, harga N**	**Taksiran Harga Tahanan Conus, qc (Dari Sondir)**	
	Kpa	**ton/m²**		**kg/cm²**	**Kpa**
Sangat Lunak (*Very Soft*)	0 - 12.5	0 - 1.25	0 - 2.5	0 - 10	0 - 1000
Lunak (*Soft*)	12.5 - 25	1.25 - 2.5	2.5 - 5	10 - 20	1000 - 2000
Menengah (*Medium*)	25 - 50	2.5 - 5	5 - 10	20 - 40	2000 - 4000
Kaku (*Stiff*)	50 - 100	5 - 10	10 - 20	40 - 75	4000 - 7500
Sangat Kaku (*Very Stiff*)	100 - 200	10 - 20	20 - 40	75 - 150	7500 - 15000
Keras (*Hard*)	> 200	> 20	> 40	> 150	> 15000

Sumber: Mochtar (2006), revised (2012)

Tabel 2. 2 Internal Friction (φ) untuk Tanah Kohesif

Deskripsi Tanah / Konsistensi	***Effective Cohession***
	Kpa
Soft - Organic	5 - 10
Soft - non Organic	10 - 20
Stiff	20 - 50
Hard	50 - 100

Sumber: Geotechnical Investigation and Design Tables, Burt Look

Tabel 2. 3 Korelasi N-SPT dengan Karakteristik Tanah

Cohesive Soil					
N (blows)	< 4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	> 25
γsat (kN/m³)	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
qu (kPa)	< 25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	> 100
Consistensy	***very soft***	***soft***	***medium***	***stiff***	***hard***

Sumber: J.E Bowles (1984), Wahyudi (1999)

Begitu pula hubungan antara kepadatan dengan *relative density*, nilai N-SPT, qc dan φ adalah sebanding. Hal ini dapat dilihat pada **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6.**

Tabel 2. 4 Perkiraan Daya Dukung Pasir Berdasarkan Test Pen

Deskripsi	**Kepadatan Relatif (Dr)**	**Tahanan Konus (qc)**
	(%)	**(Mpa)**
Sangat Renggang (*Very Loose*)	< 15	< 2.5
Renggang (*Loose*)	15 - 35	2.5 - 5
Menengah (*Medium*)	35 - 65	5 - 10
Rapat (*Dense*)	65 - 85	10 - 20
Sangat Rapat (*Very Dense*)	85 - 100	> 20

Sumber: Geotechnical Investigation and Design Tables, Burt Look

Tabel 2. 5 Konsistensi Tanah (Tanah Dominan Pasir)

Kondisi Kepadatan	**Relative Density (Kepadatan Relatif) Dr**	**Taksiran Harga SPT, harga N**	**Perkiraan Harga φ**	**Perkiraan Berat Volume Jenuh γsat**
	(%)		**(°)**	**t/m³**
Sangat Renggang (*Very Loose*)	0 - 15	0 - 4	0 - 28	< 1.6
Renggang (*Loose*)	15 - 35	4 - 10	28 - 30	1.5 - 2
Menengah (*Medium*)	35 - 65	10 - 30	30 - 36	1.75 - 2.1
Rapat (*Dense*)	65 - 85	30 - 50	36 - 41	1.75 - 2.25
Sangat Rapat (*Very Dense*)	85 - 100	> 60	41	

Sumber: Mochtar (2009)

Tabel 2. 6 Nilai-Nilai Tipikal n, e, ω, γd, dan γsat untuk Tanah Keadaan Asli di Lapangan

Deskripsi Tanah	n	e	ω	γd	γsat
	(%)		(%)	kN/m³	kN/m³
Pasir seragam, tidak padat	46	0.85	32	14.3	18.9
Pasir seragam, padat	34	0.51	19	17.5	20.9
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0.67	25	15.9	19.9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0.43	16	18.6	21.6
Lempung lunak sedikit organik	66	1.90	70	-	15.8
Lempung lunak sangat organik	75	3.00	110	-	14.3

Sumber: Terzaghi (1947)

2.2.3 Korelasi untuk mendapatkan nilai parameter tanah

Setelah didapatkan hasil deskripsi dan konsistensi jenis lapisan tanah, selanjutnya adalah melakukan pendekatan korelasi untuk mendapatkan nilai-nilai parameter tanah yang akan digunakan dalam perencanaan seperti berat isi tanah (γ), kohesi (*Cu*), modulus elastis (*E*) dan *internal friction* (*φ*).

1. Berat volume jenuh tanah (γ*sat*) didapatkan dari korelasi berdasarkan konsistensi tanah dan nilai N-SPT.
   - Untuk tanah kohesif dapat dilihat pada **Tabel 2.3** yang bersumber dari *J.E Bowles* (1984), Wahyudi (1999).
   - Untuk tanah non-kohesif dapat dilihat pada **Tabel 2.5** yang bersumber dari Mochtar, 2009.
2. Nilai kadar air (ωsat), porositas (n), angka pori (e), dan koefisien konsolidasi vertikal (Cv) didapatkan berdasarkan:
   - Untuk tanah kohesif, didapatkan dari korelasi berdasarkan nilai berat volume jenuh tanah (γsat)
   - Untuk tanah non-kohesif didapatkan berdasarkan konsistensi tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

3. Berat jenis tanah (GS) didapatkan dari korelasi berdasarkan nilai berat volume jenuh tanah (γsat) dan angka pori (e) dengan menggunakan persamaan (Das B. M, 1988):

$$GS = \frac{\gamma sat \times (1 + e)}{\gamma w} - e \quad (2.4)$$

Dimana:
GS = berat jenis tanah
γsat = berat volume jenuh tanah (t/m³)
γw = berat volume air = 1 (t/m³)
e = angka pori

4. Berat volume tanah (γm) didapatkan dari korelasi berdasarkan nilai kadar air (ω), angka pori (e), dan berat jenis tanah (GS) dengan menggunakan persamaan (*Das B. M*, 1988):

$$\gamma m = \frac{GS \times \gamma w \times (1 + \omega)}{(1 + e)} \quad (2.5)$$

Dimana:
γm = berat volume tanah (t/m³)
ω = kadar air (%)
γw = berat volume air = 1 (t/m³)
e = angka pori

5. Indeks pemampatan (Cc) didapatkan dari korelasi berdasarkan harga batas cair (LL) dengan menggunakan persamaan *Biarez & Favre*

$$Cc = 0.009 \times (LL - 13) \quad (2.6)$$

Dimana:
Cc = indeks pemampatan
LL = batas cair (%)

6. Kohesi (Cu) didapatkan dari korelasi berdasarkan harga NSPT dengan menggunakan **Tabel 2.1**.

7. *Internal friction* / sudut geser dalam (φ) didapatkan berdasarkan:
   - Untuk tanah kohesif didapat berdasarkan konsistensi tanah tersebut, dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.
   - Untuk tanah non kohesif didapat berdasarkan nilai relative density (Dr) yang dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.
8. Modulus elastisitas (E) didapatkan dari korelasi berdasarkan konsistensi tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 2.7.**

Tabel 2. 7 Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas (kN/m^3)
Lempung lembek	1380 - 3450
Lempung keras	5865 - 13800
Pasir lepas	10350 - 27600
Pasir padat	34500 - 69000

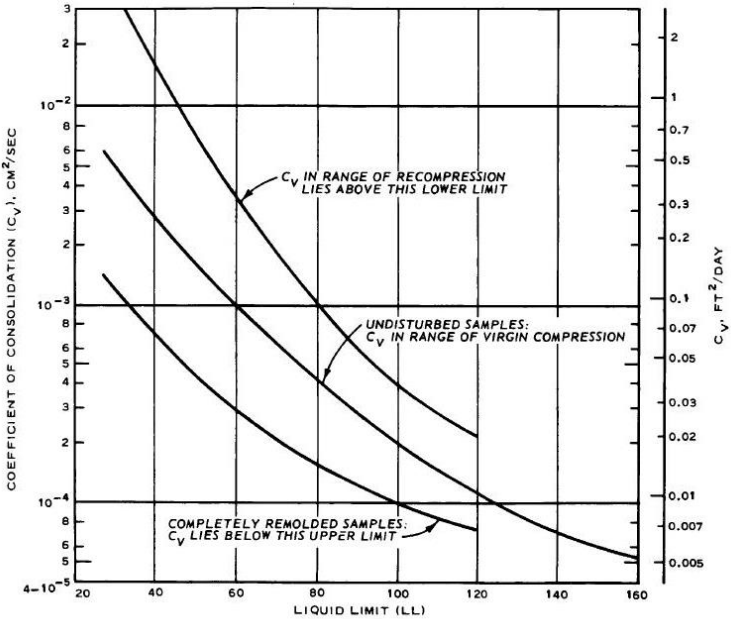
Sumber: Braja M. Das

9. Koefisien *poisson* (μ) didapatkan dari korelasi berdasarkan konsistensi tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2. 8 Koefisien Poisson

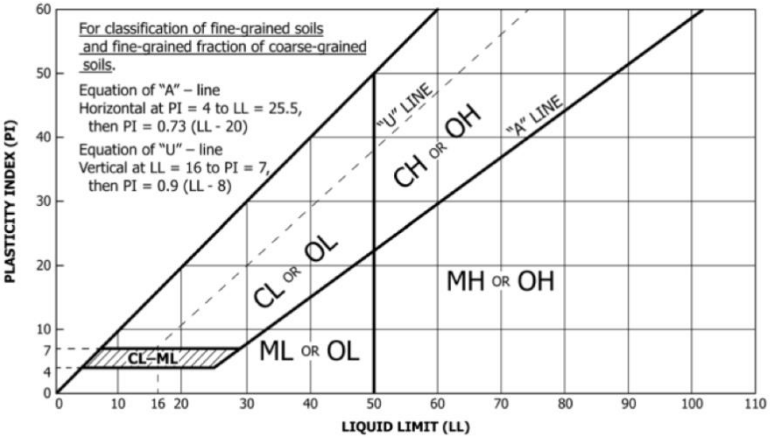
Jenis Tanah	Angka Poisson μ
Pasir lepas	0.20 - 0.40
Pasir agak padat	0.25 - 0.40
Pasir padat	0.30 - 0.45
Pasir berlanau	0.20 - 0.40
Lempung lembek	0.15 - 0.25
Lempung agak kaku	0.20 - 0.50

Sumber: Braja M. Das



Gambar 2. 2 Grafik Korelasi LL dan Cv
(Sumber: *tpub.com*)

10. Nilai batas cair (LL) dapat ditentukan dengan grafik korelasi LL dan CV **(Gambar 2.2)**, serta untuk nilai Indeks Plastisitas dapat ditentukan dengan grafik korelasi LL dan PI **(Gambar 2.3)**.



Gambar 2. 3 Grafik Korelasi LL dan PI
(Sumber: NZGS, 2005)

2.3 Faktor yang menyebabkan kelongsoran

Tanah mempunyai sifat-sifat fisik seperti berat jenis, sudut geser dan kohesi yang sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan juga mempengaruhi stabilitas talud. Stabilitas talud merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah. Faktor – faktor penyebab ketidakstabilan talud dapat dibagi menjadi dua kelompok besar (Terzaghi), antara lain :

1. Faktor Pengaruh Eksternal

   Faktor eksternal terjadi akibat meningkatnya tegangan geser yang terjadi pada tanah sehingga *Safety Factor*nya menurun (SF<1). Hal ini disebabkan karena faktor – faktor sebagai berikut:

   - Kaki talud tererosi oleh aliran sungai atau air hujan.
   - Adanya kegiatan galian pada talud.
   - Air hujan yang tertahan di atas talud.
   - Berat akibat timbunan.

- Berat bangunan di atas talud.
- Perubahan geometri talud akibat pergerakan tektonik dan gempa bumi.

2. Faktor Pengaruh Internal

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

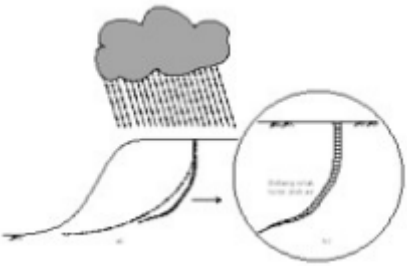
- Peningkatan kadar air yang terjadi pada tanah lempung.
- Struktur geologi dan keadaan geometri talud.
- Absorbsi oleh mineral lempung yang diikuti oleh penurunan harga kohesi tanah.
- Penyusutan tanah lempung yang dapat menimbulkan retak susut.
- Perubahan berat volume dan tekanan air pori tanah.

Sedangkan menurut Vames (1958) dalam (Uyun, 2017), faktor-faktor ketidakstabilan suatu lereng diuraikan menjadi 2 kelompok juga yaitu:

1. Tegangan geser yang meningkat yang disebabkan oleh bertambahnya beban lereng (bangunan dan timbunan pada bagian atasnya), hilangnya dukungan lateral (pemotongan dan penggalian pada kaki lereng), perubahan muka air yang berbatasan dengan lereng dan berlangsung cepat (*sudden draw down*), meningkatnya tegangan lateral (celah-celah retakan terisi oleh air), dan akibat beban gempa yang terjadi.
2. Terjadi pengurangan tahanan geser yang disebabkan oleh meningkatnya tekanan air pori yang mengurangi tegangan efektif (infiltrasi air hujan kedalam lereng, tidak terkontrolnya aliran air dalam drainase, gempa bumi yang menyebabkan tekanan air murni), pengembangan pada tanah lempung, pelapukan dan degradasi sifat kimia serta keruntuhan progresif karena melemahnya tegangan geser.

2.3.1 Teori *Cracked Soil*

Cracked soil merupakan teori yang mengasumsikan bahwa retakan sudah ada di dalam tanah maupun lereng. Retakan tersebut merupakan faktor utama yang disebabkan oleh hujan lebat sehingga lereng mengalami kelongsoran. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa retakan yang ada di dalam tanah sudah ada cukup lama dan beberapa kali terisi oleh air hujan. Untuk hujan kecil hingga sedang, rtakan tersebut hanya sebagian terisi oleh air. Namun, ketika hujan lebat, retakan tersebut akan terisi sepenuhnya oleh air hujan. Apabila terjadi hujan lebat terus menerus maka lama kelamaan retakan tersebut akan semakin membesar sehingga dapat menyebabkan kelongsoran pada lereng.



Gambar 2. 4 Retakan tanah saat hujan

Bidang-bidang keretakan yang hamper selalu dilalui air hujan tersebut lambat laun mengalami erosi oleh air hujan; partikel tanah yang lebih halus seperti lempung atau lanau akan lebih mudah terbawa oleh rembesan air hujan tersebut, sehingga pada retakan tersebut hanya akan tersisa butiran pasir atau kerikil. Yang menentukan stabilitas lereng terhadap kelongsoran adalah adanya bidang-bidang keretakan yang telah terisi pasir tersebut. Dalam mengevaluasi stabilitas lereng yang sangat kritis saat hujan lebat diasumsikan bahwa lereng seluruhnya merupakan tanah berpasir yang dikeringkan.

Mochtar (2014) menyatakan bahwa *cracked soil* dapat digunakan untuk desain stabilitas timbunan jalan raya. Perancang harus mempertimbangkan timbunan sebagai tanah jenuh dan muka air harus diasumsikan mengikuti permukaan timbunan. Hal ini untuk mensimulasikan kondisi ketika retakan berkembang di dalam tanah dan terjadi hujan lebat.

2.4 Stabilitas lereng

Analisis stabilitas lereng merupakan suatu analisis guna memeriksa keamanan lereng alamiah, lereng galian maupun lereng timbunan. Faktor yang perlu dilakukan pemeriksaan adalah menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan retak yang paling kritis dengan kekuatan geser tanah yang bersangkutan, hasil perbandingan dari kedua parameter tersebut dinamakan angka keamanan. Umumnya angka keamanan didefinisikan sebagai (Das, 1985):

$$Fs = \frac{\tau f}{\tau d} \tag{2.7}$$

Dimana:

Fs = angka keamanan

τf = kekuatan tanah untuk menahan kelongsoran

τd = gaya dorong yang bekerja sepanjang bidang longsor

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua komponen, yaitu kohesi dan sudut geser tanah, yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau f = c + \sigma \, tan\emptyset \tag{2.8}$$

Dimana:

c = kohesi

∅ = sudut geser tanah

σ = tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor

Dengan cara yang sama, dapat juga dituliskan :

$$\tau d = cd + \sigma \, tan\emptyset_d \qquad (2.9)$$

Dimana:
c_d = kohesi
$\emptyset_d$ = sudut geser yang bekerja sepanjang bidang longsor
Dengan memasukkan persamaan (2.8) dan (2.9) ke persamaan (2.7) maka diperoleh persamaan (2.10) seperti berikut :

$$Fs = \frac{c + \sigma \, tan\emptyset}{cd + \sigma \, tan\emptyset_d} \qquad (2.10)$$

2.5 Konsep perkuatan lereng

2.5.1 Metode perkuatan lereng dengan *Geotextile*

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

$$T_{allow} = T_{ult}\left(\frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD}}\right) \qquad (2.11)$$

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
RF_{CD} = faktor reduksi akibat pengaruh kimia
RF_{BD} = faktor reduksi akibat pengaruh biologi

RF_{ID}, RF_{CR}, RF_{CD}, RF_{BD} merupakan factor reduksi akibat pengurangan kekuatan geotextile yang besarnya dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2. 9 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)

Kontrol stabilitas lereng yang diperkuat dengan bahan *geotextile* terdiri dari *Internal Stability* dan *External Stability.*

1. Internal Stability

   Gaya-gaya yang perlu diperhatikan adalah:

   - Tanah yang berada di belakang lereng
   - Beban luar yang terdiri dari beban tambahan *(surcharge)* dan beban hidup

   Besarnya tegangan horizontal yang diterima dinding (σ_H) adalah:

$$\sigma_H = \sigma_{HS} + \sigma_{Hq} + \sigma_{HL} \qquad (2.12)$$

   Dimana:

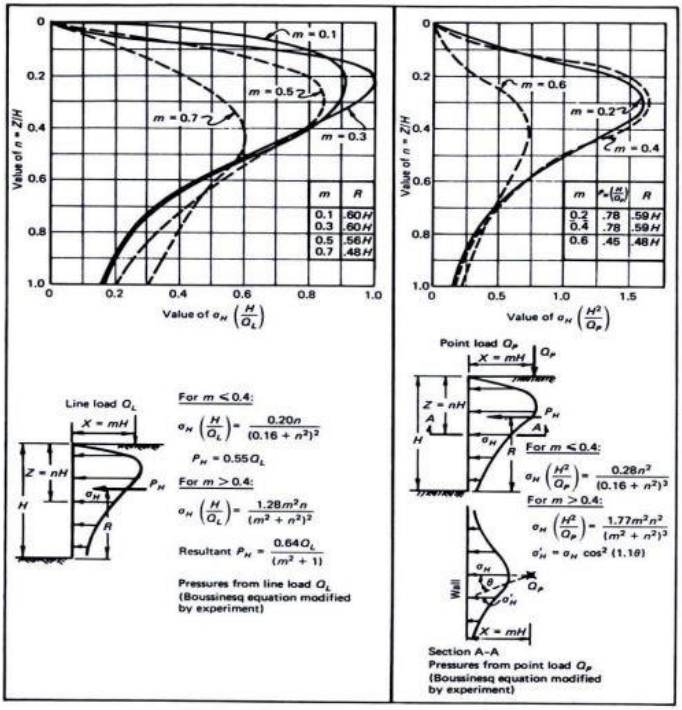
   σ_H = tegangan horizontal yang akan diterima dinding

σ_{HS} = tegangan horizontal akibat tanah di belakang dinding

σ_{Hq} = tegangan horizontal akibat tanah timbunan

σ_{HL} = tegangan horizontal akibat beban hidup

Distribusi tegangan horizontal akibat beban hidup σ_{HL} dapat dihitung dengan menggunakan kurva pada **Gambar 2.5**



Gambar 2. 5 Diagram tekanan tanah lateral yang disebabkan oleh beban permukaan (Kiri: beban garis, Kanan: beban terpusat). (NAVFAC [90])

Jarak vertikal pemasangan *geotextile* (S_v) seperti pada **Gambar 2.6** adalah sebagai berikut:

$$\sigma_H \times S_V = \frac{T_{ALL}}{SF} \quad (2.13)$$

$$S_V = \frac{T_{ALL}}{\sigma_H \times SF} \quad (2.14)$$

Dimana:
σ_{HZ} = tegangan horizontal pada kedalaman z
T_{ALL} = kekuatan *geotextile* yang tersedia
SF = factor keamanan yang direncakan

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

$$L = L_e + L_R \quad (2.15)$$

Dimana:

$$L_R = (H - Z) \times [tg\left(45° - \frac{\emptyset}{2}\right)]$$

dan

$$S_v \times \sigma_h \times FS = 2\tau L_e \text{ dengan } \tau = c + \sigma_v tg\delta$$

Sehingga:

$$L_e = \frac{S_v \times \sigma_H \times SF}{2[c + \sigma_v(tg\delta)]} \quad (2.18)$$

Keterangan:

L_e = panjang *geotextile* yang berada dalam *anchorage zone* (minimum 3 ft atau 1 m)

L_R = panjang *geotextile* yang berada di depan bidang longsor

τ = kekuatan geser tanah terhadap *geotextile*

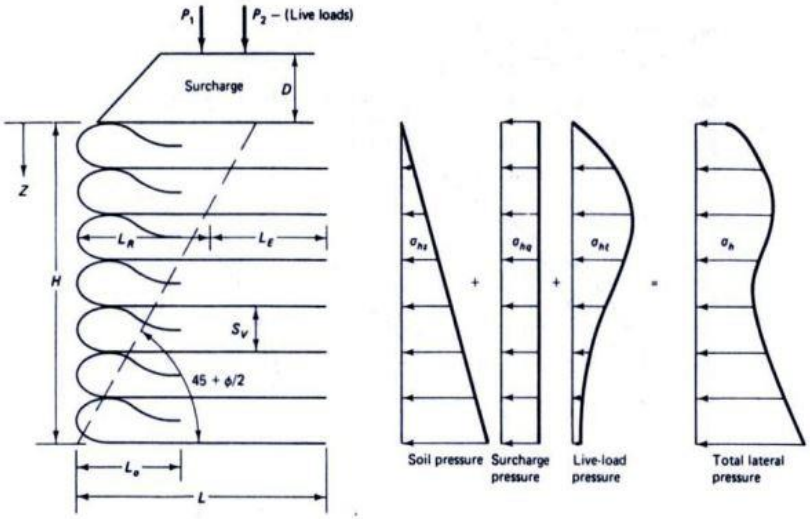
c = kohesi tanah (c = 0 apabila tanah pasir)

δ = sudut geser antara tanah dan *geotextile*

σ_H = tegangan horizontal

σ_v = tegangan vertical ($\sigma_v = \gamma . Z$)

SF = factor keamanan (1.3 s/d 1.5)



Gambar 2. 6 Konsep tekanan tanah dan teori untuk dinding *geotextile*
(Sumber: Koerner, 1999)

Panjang lipatan (L_o) dimana gaya yang diperhitungkan ½ σ_H

$$L_o = \frac{S_v \times \sigma_H \times SF}{4[c + \sigma_v(tg\delta)]} \quad (2.19)$$

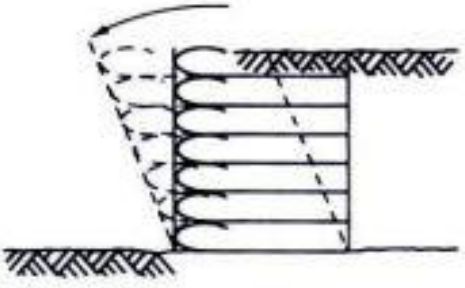
Dimana:
c = kohesi tanah (c = 0 apabila tanah pasir)
δ = sudut geser antara tanah dan *geotextile*
σ_H = tegangan horisontal
σ_v = tegangan vertikal ($\sigma_v = \gamma . Z$)
SF = faktor keamanan (1.3 s/d 1.5)

2. Eksternal Stability
Perencanaan kekuatan lereng menggunakan *geotextile* juga harus diperhatikan kontrol terhadap *Eksternal Stability* diantaranya adalah:
   a. Stabilitas terhadap Guling
   Stabilitas lereng terhadap guling **(Gambar 2.7)** dapat dihitung dengan menggunakan formula:

$$FS_{OT} = \sum \frac{Momen\ Penahan}{Momen\ Penggerak} \quad (2.20)$$

$$= \frac{W_i x_i + P_a sin\delta(L)}{P_a cos\delta(^H/_3)} \quad (2.21)$$

Dimana:
FS_{OT} = angka keamanan lereng terhadap guling
W_i = berat dinding tanah
x_i = jarak ke titik berat
P_a = tekanan tanah aktif
δ = sudut geser antara tanah dan *geotextile*
L = panjang *geotextile*



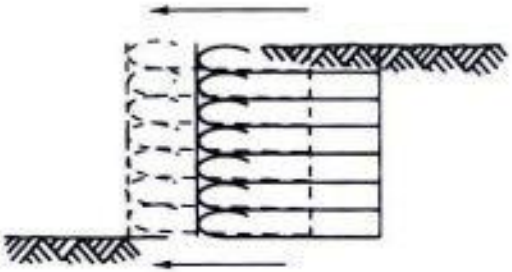
Gambar 2. 7 Guling (*overturning*)

b. Stabilitas terhadap Geser
Keamanan lereng terhadap geser **(Gambar 2.8)** dapat dihitung dengan menggunakan formula:

$$FS_{OT} = \sum \frac{Momen\ Penahan}{Momen\ Penggerak} \tag{2.22}$$

$$= \frac{\left[c + \left(\frac{W_i + P_a sin\delta}{L}\right) \tan\delta\right] L}{P_a cos\delta} \tag{2.23}$$

Dimana:
FS_S = angka keamanan lereng terhadap geser
W_i = berat dinding tanah
x_i = jarak ke titik berat
P_a = tekanan tanah aktif
δ = sudut geser antara tanah dan *geotextile*
L = panjang *geotextile*

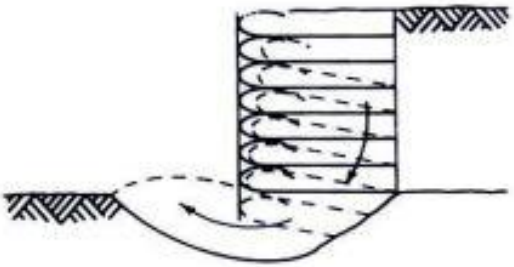


Gambar 2. 8 Geser (*sliding*)

c. Stabilitas terhadap Daya Dukung
Kemampuan tanah dalam mendukung beban **(Gambar 2.9)** dapat dicek dengan formula:

$$FS_{BC} = \frac{q_{ult}}{\sigma_{max}} \quad (2.24)$$

q_{ult} dihitung dengan menggunakan teori daya dukung untuk pondasi dangkal sedangkan P_{act} adalah tegangan yang disebabkan oleh beban luar (berat tanah timbunan dan beban lain yang bekerja di atas timbunan)



Gambar 2. 9 Daya dukung (*bearing capacity*)

2.5.2 Metode perkuatan lereng dengan *Soil Nailing*

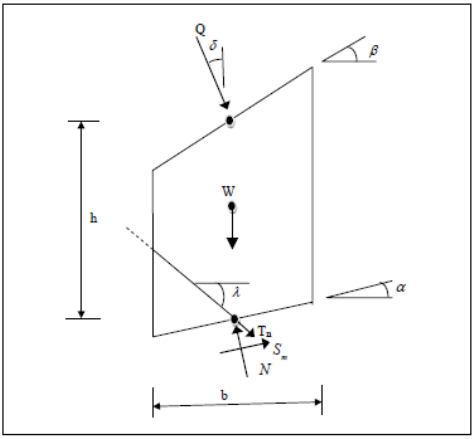
Soil nailing adalah sebuah teknik dimana talud, daerah galian atau dinding penahan tanah secara pasif diperkuat oleh penyisipan elemen yang relatif ramping, biasanya berbentuk seperti baja tulangan. *Soil nail* biasanya dipasang dengan sudut 20 derajat terhadap sisi horizontal dan berfungsi menahan tegangan tarik. *Soil nailing* biasanya digunakan untuk menstabilkan lereng asli atau galian dimana konstruksi *top-to-bottom* lebih menguntungkan dibandingkan dengan jenis dinding penahan yang lain. (Prashant dan Mukherjee, 2010). Berbagai jenis metode *soil nailing* yang digunakan di lapangan adalah sebagai berikut:

a. *Grouted nail*: Setelah penggalian, dilakukan pengeboran untuk membuat lubang pada lereng kemudian *nail* dimasukkan ke dalam lubang. Setelah itu lubang diisi dengan pasta semen.
b. *Driven nail*: Pada tipe ini, *nails* secara mekanis didorong ke dalam lereng saat penggalian. Pemasangan dengan metode ini sangat cepat dilakukan, namun metode ini tidak melindungi *nail* dari korosi. Metode ini umumnya digunakan untuk penahan tanah sementara.
c. *Self-drilling soil nail*: *Nail* berongga didorong dan grout dimasukkan melalui *nail* berongga secara bersamaan selama pengeboran. Metode ini lebih cepat daripada *grouted nail* dan memiliki perlindungan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan dengan *driven nail*.
d. *Launched soil nail*: Batangan baja “ditembakkan” ke tanah dengan kecepatan sangat tinggi menggunakan mesin penembak Metode ini sangat cepat dalam pelaksanaannya namun sulit untuk melakukan pengontrolan panjang baja yang telah masuk kedalam tanah.

1. Stabilitas Eksternal Lereng
   a. Stabilitas Lereng (*Slope Stability*)

      Stabilitas lereng setelah dipasang *soil nailing* dihitung menggunakan *modified equilibrium equation*. Angka keamanan yang digunakan adalah 1,5 untuk kondisi statis. Hanya kekuatan tarik dari tulangan baja yang digunakan dalam analisa karena kuat lentur dan geser tulangan baja memiliki efek yang kecil. (Jewell dan Pedley, 1992)

      Tegangan pada tulangan baja (Tj) dihitung berdasarkan tahanan cabut dari tulangan baja. Tahanan cabut ini sama dengan besarnya kekuatan ikatan antara tulangan dan tanah dari hasil tes di lapangan atau kekuatan tarik dari tulangan baja itu sendiri, manapun yang bernilai lebih kecil. Salah satu cara untuk menghitung stabilitas lereng adalah dengan metode *Bishop* seperti yang ada pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Kestabilan lereng dengan metode *Bishop* (Sumber: Prashand dan Mukherjee, 2010)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:
Dimana:

$$FS_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} C + N \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{n} A_1 - \sum_{i=1}^{n} A_2 - \sum_{i=1}^{n} A_3} \quad (2.25)$$

Dimana:
A_1 = [W + Q cos δ] sin α
A_2 = (Q sin δ) (R cos α - $\frac{h}{R}$)
A_3 = T_n cos (α + λ)

b. Stabilitas Geser

Stabilitas geser mengontrol kemampuan tanah yang telah dipasang *soil nailing* untuk menahan geser sepanjang dasar lereng sebagai respon terhadap tekanan tanah lateral dibelakang sistem *soil nailing.* Oleh karena itu, saat menentukan panjang awal dari batang baja, kontrol ketahanan masa tanah yang telah diperkuat terhadap geser pada dasar lereng perlu dilakukan.

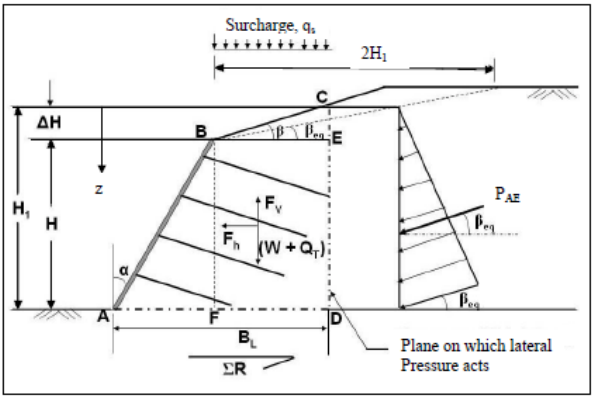
Untuk menghitung angka keamanan, lereng yang dipasang tulangan baja dianggap sebagai *rigid block* dengan lebar B_L (lihat Gambar 2.11) yang melawan tekanan tanah horizontal dari tanah di belakangnya. Angka kemanan terhadap geser ditentukan dengan rumus berikut:

$$FS_{SL} = \frac{\sum Gaya\ Penahan\ Horisontal}{\sum Gaya\ Pendorong\ Horisontal}$$

$$FS_{SL} = \frac{C \times B_L + W \tan \varphi}{0{,}5 \times Ka \times \gamma \times H^2} \quad (2.26)$$

Dimana:
Ka = koefisien tekanan horizontal tanah aktif
C = kohesi tanah dasar (kN/m^2)

B_L = lebar tanah terpasang perkuatan
W = berat tanah (kN)
Φ = sudut geser tanah dasar



Gambar 2. 11 Stabilitas geser untuk lereng yang diperkuat dengan soil nailing (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)

c. Daya Dukung

Daya dukung dalah faktor yang penting saat penggalian dilakukan pda tanah lunak berbutir halus. Pada kasus permukaan dinding tidak melebihi dasar galian, beban yang tidak seimbang akibat galian mungkin menyebabkan bagian dasar galian terangkat yang memicu kegagalan daya dukung dari pondasi.

Untuk tanah kohesif atau tanah saturated ($\phi = 0$, $c = S_u$), daya dukung dapat ditulis sebagai $S_u N_c$. Angka keamanan untuk menahan beban $H_{eq}\gamma$ untuk galian sedalam H dengan *overburden* setara ΔH didapat dengan:

$$F_{SH} = \frac{S_u N_c}{H_{eq}\gamma} \qquad (2.27)$$

Untuk tanah c – ϕ besarnya daya dukung adalah cN_c + $0{,}5\gamma BN_\gamma$ (jika tidak ada surcharge) dan faktor keamanan adalah:

$$F_{SH} = \frac{CN_c + 0{,}5\gamma B_e N_\gamma}{H_{eq}\gamma} \quad (2.28)$$

Dimana:

ϕ	= sudut geser internal
c	= kohesi
Su	= undrained shear strength
N_c, N_γ	= Faktor daya dukung
γ	= berat jenis tanah dibelakang dinding
H	= tinggi dinding/dalam galian
Heq	= H + ΔH
ΔH	= ekivalen *overburden*
B	= lebar pengaruh = B_e / √2
Be	= Lebar galian
Le	= Panjang galian

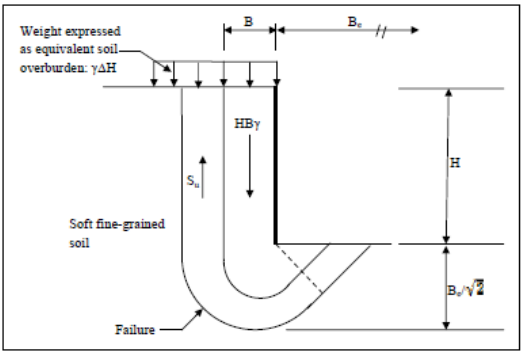
Rumus diatas dapat digunakan ketika lebar penggalian (B_e) sangat besar atau kontribusi tahanan geser S_uH diluar daerah kegagalan dengan lebar B diabaikan. Rumus ini dianggap aman karena mengabaikan kontribusi kekuatan geser dari tulangan baja yang berpotongan dengan bidang longsor sepeti pada Gambar 2.13.

Untuk lebar daerah galian yang lebih kecil, kontribusi dari tahanan geser diluar daerah kegagalan ikut diperhitungkan sehingga angka keamanan terhadap gaya angkat (*heave*) (Terzaghi et al., 1996) seperti yang ditunjukkan pada rumus dibawah ini:

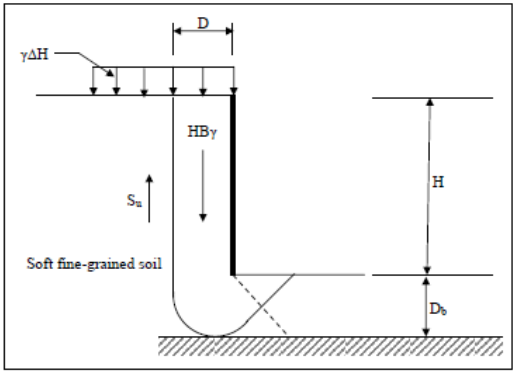
$$F_{SH} = \frac{S_u N_c}{H_{eq}(\gamma - \frac{S_u}{B})} \quad (2.29)$$

$$F_{SH} = \frac{CN_c + 0{,}5\gamma B_e N_\gamma}{H_{eq}(\gamma - \frac{S_u}{B})} \quad (2.30)$$

Jika lapisan yang keras yang mendasari lapisan lunak dan terletak pada kedalaman $D_B = B_e / \sqrt{2}$ dibawah dasar penggalian (Gambar 2.13), B pada rumus 2.29 digantikan dengan D_B.

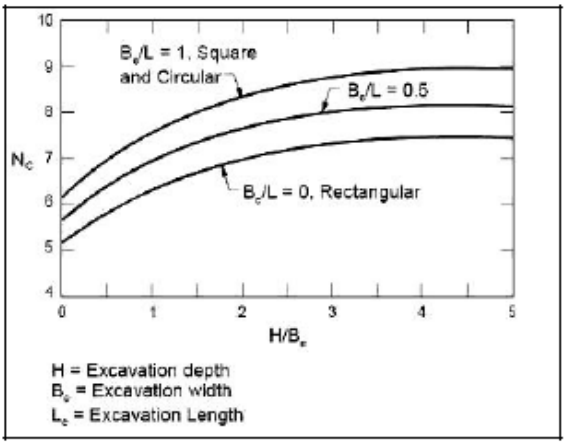


Gambar 2. 12 Lapisan keras tebal di bawah tanah lunak (Sumber: Prashant dan Mukherjee)



Gambar 2. 13 Lapisan keras tipis di bawah tanah lunak (Sumber: Prashant dan Mukherjee)

Faktor daya dukung (N_c, N_γ) dihitung berdasarkan c – ϕ (Terzaghi et all., 1996). Faktor-faktor ini diambil berdasarkan kondisi geometric yang ada, dan untuk tanah kohesif (ϕ = 0, c = S_u) nilai N_c dapat dilihat pada gambar 2.14. Pada umumnya, angka kemanan FS_H yang digunakan adalah 2,5 untuk perkuatan semetara dan 3 untuk perkuatan permanen.



Gambar 2. 14 Faktor N_c untuk analisa pada tanah kohesif (φ = 0, c = Su) (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)

2. Stabilitas Internal Lereng

Stabilitas internal dari soil nailing adalah kemampuan tulangan baja untuk menerima gaya tarik dan menyalurkannya lewat gesekan, gesekan dan adhesi/lekatan, atau gesekan dan daya dukung. Perencanaan biasanya menggunakan tulangan baja ulir dan grout dengan mutu tinggi sehingga kemungkinan selip antara baja dan grout dapat diabaikan. Dikarenakan sifat tulangan baja yang daktail dan kekuatan grout tidak

dihitung, kekuatan geser dan lentur dari tulangan baja diabaikan demi keamanan.

a. Kegagalan Cabut (*Nail Pull-out Failure*)

Kegagalan cabut terjadi pada permukaan antara tanah dengan *grout* atau tanah dengan tulangan baja (pada kasus *driven nail*) disebabkan oleh kekuatan ikatan yang tidak memadai atau panjang tulangan baja yang terlalu pendek. Kuat cabut tulangan baja ditentukan oleh faktor-faktor berikut:

- Lokasi bidang geser kritis dari lereng
- Diameter lubang yang diisi grout untuk *soil nail.*
- Kekuatan gesekan antara *grout* dan tanah

Pada keadaan sebenarnya, pergerakan tegangan geser pada ikatan yang berhubungan dengan laju transfer beban tidak seragam pada sepanjang tulangan baja. Namun demi kemudahan, pergerakan tegangan geser ikatan sering dianggap konstan yang menjadikan laju transfer beban, Q, yang konstan pula. Oleh karena itu, kekuatan tulangan baja pada ujung, Lp, dapat dihitung dengan rumus:

$$T_0 = Q\ L_p \tag{2.31}$$

L_p adalah panjang tulangan bada di belakang bidang longsor seperti yang ada pada Gambar 2.15. Kekuatan cabut, R_p, akan bergerak dan berubah nilainya saat kekuatan ikatan ultimit tercapai dan dirumuskan dengan:

$$R_p = T_{max} = Q_u\ L_p \tag{2.32}$$

$$Q_u = \pi\ q_u\ d \tag{2.33}$$

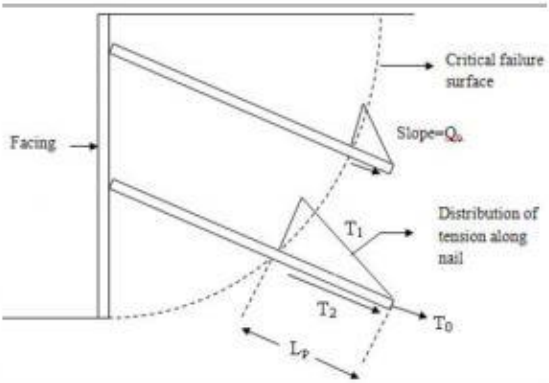
Dimana:
Qu = kapasitas cabut tiap satuan panjang
q_u = kekuatan ikatan ultimit (dapat menggunakan nilai pada tabel 4.3 pada *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Station* oleh Prashant dan Mukherjee)
d = diameter lubang bor rata rata

Untuk mengurangi efek tidak terduga dari kekuatan ikatan antara *grout* dan tanah, nilai Q_u dalam perencanaan menggunakan:

$$Q_u\ allowable = \frac{Q_u}{FS_p} \tag{2.34}$$

Sehingga,

$$R_p\ allowable = \frac{R_p}{FS_p} \tag{2.35}$$



Gambar 2. 15 Kegagalan cabut pada soil nailing (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)

FS_P adalah faktor kemanan terhadap cabut minimum menggunakan 2. FS_P untuk tulangan

baja yang ditanam pada kedalaman z dari permukaan tanah dapat dihitung dengan rumus

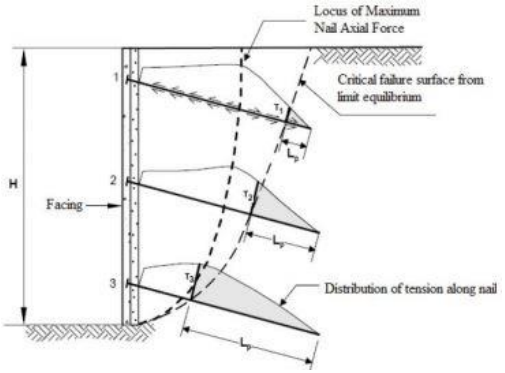
$$FS_p = \frac{R_p}{T} \quad (2.36)$$

Rp didapatkan dari rumus 2.36 dan gaya aksial maksimum T pada kedalaman z dapat didapat dengan:

$$T = K(q_s + \gamma z)S_h S_v \quad (2.37)$$

b. Kegagalan Tarik (*Nail Tensile Failure*)

Kegagalan tarik terjadi saat gaya aksial T yang bekerja pada tulangan baja lebih besar dari kapasitas tarik baja. Lokasi dari gaya tarik T_{max} mempunyai peran penting dalam menentukan kekuatan tarik dari tulangan baja. Gambar 2.16 menunjukkan distribusi gaya tarik pada tiga tulangan baja yang dipasang pada ketinggian berbeda, dan dapat dilihat bahwa kontribusi gaya tarik untuk stabilitas global bermacam-macam pada tiap tulangan.



Gambar 2. 16 Skema lokasi dari gaya tarik maksimum soil nail (Sumber: Prashant dan Mukherjee)

Angka keamanan untuk kegagalan taarik FS_T pada tiap tulangan baja yang dipasang pada kedalaman z dapat dihitung menggunakan rumus:

$$(FS_T)_Z = (\frac{R_T}{T})_Z \quad (2.38)$$

Dimana:
$(R_T)_z$ (kN) = kapasitas tarik maksimum tulangan baja = $(0{,}25\pi d_2 f_y)/1000$
$(T)_z$ = gaya aksial maksimum yang terjadi di tulangan baja pada kedalaman z

3. Desain Struktur Permukaan Lereng

Permukaan dinding yang dipasang *soil nail* biasanya memiliki dua jenis *finishing* yaitu untuk struktur sementara dan struktur permanen. Struktur sementara menggunakan *wire mesh* pada seluruh permukaan dinding yang kemudian ditutup dengan *shotcrete*, sedangkan struktur permanen biasanya menggunakan beton yang dicor setempat. F*inishing* sementara berfungsi untuk menahan sebagian besar beban yang disalurkan dari tulangan baja menuju *nail head* pada permukaan dinding dan *finishing* permanen digunakan sebagai penambak aestetik.

Merencanakan struktur permukaan perlu menggunakan metode yang tepat agar tidak terjadi kegagalan pada struktur. Langkah-langkah merencanakannya adalah sebagai berikut:

i. Menghitung kekuatan tarik rencana pada ujung tulangan baja (T_0)
T_0 (kN) = T_{max} [0,6 + 0,2 (S_{max} - 1)]
Dimana: T_{max} (kN) = gaya aksial maksimum pada tulangan baja
S_{max} (m) = s_v dan s_h maksimum

ii. Menentukan tebal beton
Untuk perkuatan sementara h_2: 100, 150, atau 200 mm
Untuk perkuatan permanen h_1: 200 mm

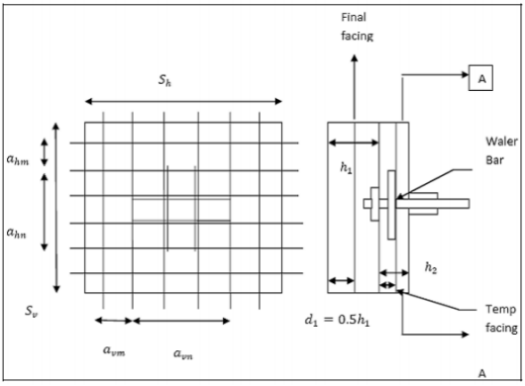
iii. Menentukan jenis material yang sesuai
   a) Gunakan tulangan baja grade Fe 415 atau Fe 500 dengan kekuatan fy = 420 MPa atau fy = 500 Mpa
   b) Gunakan *welded wire mesh* dan tulangan yang cocok (lihat tabel 4.4 pada *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Station* oleh Prashant dan Mukherjee)
   c) Gunakan beton/*shotcrete* dengan kekuatan antara M20 dan M30 dengan kuat tekan antara 20 Mpa dan 30 Mpa.
   d) Gunakan karakteristik baut ujung tulangan baja yang sesuai. (lihat Tabel 4.7 pada *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Station* oleh Prashant dan Mukherjee)
   e) Gunakan *bearing plate* dengan ukuran minimal 200 mm x 200 mm x 19 mm

iv. Hitung kebutuhan minimum dan maksimum tulangan
   a) Rasio kebutuhan tulangan dapat dilihat pada rumus 2.39 dan 2.40. Pada tiap segmen, rasio tulangan adalah perbandingan antara luas efektif tulangan dan luas efektif beton**. Gambar 2.19** menunjukkan penulangan pada beton di permukaan lereng.

$$\rho_{min} = 20\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_y} \tag{2.39}$$

$$\rho_{max} = 50\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_y}\left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \quad (2.40)$$

$\rho_{min} \leq \rho_{use} \leq \rho_{max}$, $\rho_{use} \leq 2{,}5$



Gambar 2. 17 Ilustrasi penulangan
(Sumber: Prasha dan Mukherjee, 2010)

b) Pilih luas tulangan/panjang satuan *wire mesh* untuk perkuatan sementara/permanen (lihat tabel 4.4 pada *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Station* oleh Prashant dan Mukherjee) pada daerah a_n dan a_m di sisi horizontal dan vertikal. Biasanya $a_n = a_m$pada sisi vertikal dan horizontal. Namun pada perkuatan sementara, jika digunakan tulangan tarik bersamaan dengan *wire mesh* di ujung *soil nail*, hitung kembali total luasan tulangan sisi vertikal dan horizontal menggunakan rumus 2.41 dan 2.42.

$$a_{vn} = a_{vm}\frac{a_{vw}}{S_h} \quad (2.41)$$

$$a_{hn} = a_{hm}\frac{a_{hw}}{S_v} \quad (2.42)$$

a_{vn}, a_{hn} = luas tulangan per satuan lebar arah vertical dan horizontal pada kepala *soil nail*
a_{vm}, a_{hm} = luas tulangan per satuan lebar arah vertical dan horizontal pada bagian tengah

c) Hitung rasio tulangan pada daerah kepala *soil nail* dan bagian tengah:

$$\rho_n = \frac{a_n}{0{,}5h}100 \quad (2.43)$$

$$\rho_m = \frac{a_m}{0{,}5h}100 \quad (2.44)$$

d) Pastikan $\rho_{min} \leq \rho_{use}$, jika tidak memenuhi maka tambah jumlah tulangan (a_n dan/atau a_m) untuk memenuhi syarat.

v. Periksa kekuatan lentur struktur R_{FF}

a) Hitung R_{FF} minimum untuk struktur sementara dan permanen:

$$R_{FF} = \frac{C_F}{265} \times (a_{hn} + a_{hm}) \times (\frac{S_h}{S_v}h) \times f_y \quad (2.45)$$

C_F = faktor koreksi untuk ketidakseragaman tanah
$C_{F\ permanen} = 1$
$C_{F\ sementara} = 2$ (untuk ketebalan 100 mm)
1,5 (untuk ketebalan 150 mm)
1 (untuk ketebalan 200 mm)

b) Hitung angka keamanan terhadap kegagalan lentur (FS_{FF}) dengan persamaan 2.46.

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_0} \quad (2.46)$$

vi. Memeriksa kekuatan *punching shear* R_{FP} (**Gambar 2.20**)

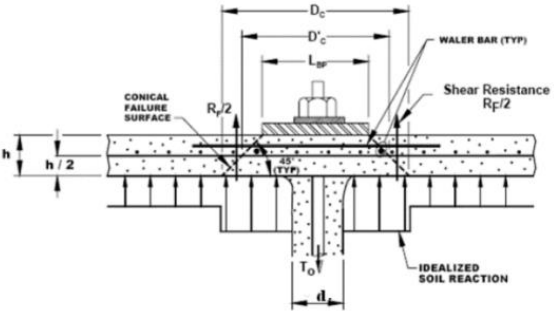
a) Demi kemudahan, R_{FP} dianggap seperti pelat beton yang menerima beban terpusat dan dihitung dengan cara:

$$R_{FP} = 330\sqrt{f_{ck}\pi D'_c h_c} \qquad (2.47)$$

Dimana:

D'_c = diameter efektif kegagalan (m)

h_c = kedalaman efektif kegagalan (m)



Gambar 2. 18 Kegagalan punching shear (Sumber: Prasha dan Mukherjee, 2010)

b) Untuk struktur sementara

$D'_c = L_{BP} + h$ dan $h_c = h$; L_{BP} = panjang *bearing plate* dan h = ketebalan dari beton

Untuk struktur permanen (lihat **gambar 2.21**)

D'_c = terkecil dari ($S_{hs} + h_c$ dan $2h_c$) dan $hc = L_s - t_H + t_p$

Dimana:

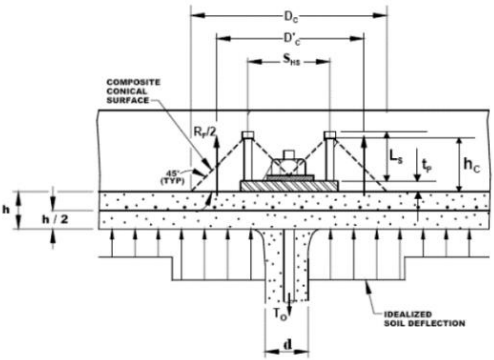
S_{hs} = jarak antara *headed-stud*

L_s = panjang *head-stud*

t_H = ketebalan kepala *head-stud*

t_p = ketebalan *bearing plate* (lihat tabel 4.7 pada *Soil Nailing for Stabilization of Steep*

Slopes Near RailwayStation oleh Prashant dan Mukherjee)



Gambar 2. 19 Sambungan head-stud struktur penahan permanen (Sumber: Prasha dan Mukherjee, 2010)

c) Hitung FS_{FP} menggunakan rumus 2.48.

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_0} \tag{2.48}$$

vii. Memeriksa kekuatan baut di ujung *soil nailing* R_{HT} (untuk struktur permanen)

a) Kapasitas tarik dari sambungan *headed-studs* (kepala baut) membantu mengikatkan tulangan baja sebagai *soil nails* dengan beton yang berfungsi sebagai struktur pada permukaan lereng. Kapasitas pangkal tulangan melawan kegagalan tarik *headedstuds* R_{HT} dapat dihitung:

$$R_{HT} = N_H A_{SH} f_y \tag{2.49}$$

Dimana:

N_H = banyak *headed-studs* pada sambungan

(biasanya 4)

A_{SH} = luas area dari batang *headed-stud*

fy = kekuatan leleh dari *headed-stud*

b) Angka keamanan terhadap kegagalan tarik dari *headed-studs* FS_{HT} dapat dihitung:

$$FS_{HT} = \frac{R_{HT}}{T_0} \tag{2.50}$$

c) Selain itu pastikan bahwa tegangan tekan pada beton di belakang *headed-stud* berada dalam batas wajar dengan memeriksa:

$A_H > 2{,}5A_{SH}$; $t_H \geq 0{,}5(D_h - D_s)$

viii. Hal-hal lain yang perlu diperhatikan

Untuk meminimalisir kemungkinan kegagalan pada sambungan antara tulangan dengan beton:

a) *Bearing plate* harus merupakan baja ringan dengan kuat leleh minimal fy = 250 MPa

b) Mur harus bertipe segidelapan yang kuat dan dilapisi anti korosi

c) *Beveled washer* (jika digunakan) harus berbahan baja atau baja galvanis

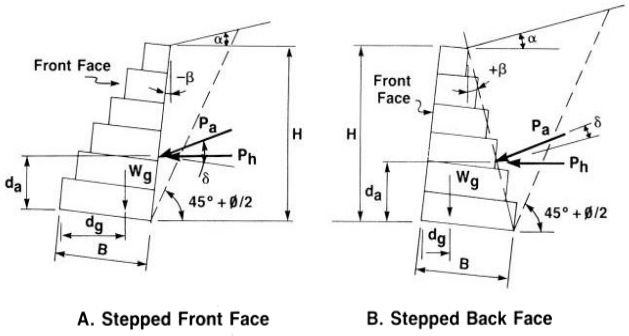
2.5.3 Metode perkuatan lereng dengan Gabion

Gabion adalah nama lain untuk Bronjong. *Geogrid* dipakai seperti kawat kasa pada bronjong, dan kemudian diisi batu-batu. Sistem *gabion* ini dapat dipakai untuk konstruksi penahan tanah (Mochtar 1990) seperti pada **Gambar 2.22**

Gambar 2. 20 Gabion
(Sumber: *www.gabbioni.it*)

1. Desain Gabion

   Gabion umumnya dianalisis sebagai dinding penahan gravitasi yaitu dinding yang menggunakan berat sendiri untuk menahan tekanan tanah lateral. *Gabion* bisa difungsikan dengan penampang miring didepan maupun penampang miring dibelakang dan kedua jenis itu didasarkan pada prinsip yang sama seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.23**



Gambar 2. 21 *Gravity wall design*
(Sumber: *Modular Gabion System*)

2. Gaya yang bekerja pada dinding Gabion

Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.23** gaya utama yang bekerja pada dinding *gabion* adalah gaya vertikal dari berat *gabion* dan tekanan tanah lateral yang bekerja dibelakang dinding. Apabila ada beban kendaraan atau beban gempa maka beban-beban tersebut harus dimasukkan juga dalam analisis. Tekanan tanah aktif P_a, menurut Coulomb adalah:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a W s \, H^2 \tag{2.51}$$

Apabila terdapat beban merata di permukaan urugan, maka persamaan di atas dimodifikasi menjadi:

$$P_a = K_a \left(\frac{W_s H^2}{2} + qH\right) \tag{2.52}$$

Dimana:

W_s = berat volume tanah
K_a = koefisien tekanan tanah aktif
H = tinggi dinding *gabion*
q = beban terbagi merata

Ka adalah koefisien tekanan tanah aktif, dimana menurut Coulomb harganya adalah (*Modular Gabion Systems*):

$$K_a = \frac{cos^2(\emptyset - \beta)}{cos^2\beta \cos(\delta + \beta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset + \delta).\sin(\emptyset - \alpha)}{\cos(\delta + \beta).\cos(\alpha - \beta)}}\right]^2} \tag{2.53}$$

Dimana:

α = sudut kemiringan pada permukaan urugan di belakang dinding *gabion*
β = sudut kemiringan bagian belakang dinding *gabion*
δ = sudut geser antara tanah dan dinding *gabion*

ϕ = sudut geser tanah

Adapun nilai ϕ untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada **Tabel 2.12**

Tabel 2.12 Nilai ϕ untuk Berbagai Jenis Tanah

Soil Type	Soil Condition	ϕ (deg)	γ (lb/ft³)
Course sand, sand, gravel	Compact soil	40	140
	Loose	35	90
Medium sand	Compact soil	40	130
	Loose	30	90
Fine silty sand, sandy silt	Compact soil	30	130
	Loose	25	85
Uniform silt	Compact soil	30	135
	Loose	25	85
Clay-silt	Soft / medium	20	90/120
Silty clay	Soft / medium	15	90/120
Clay	Soft / medium	0/10	90/120

Sumber: Modular Gabion Systems (Merrit 1983)

Nilai Pa cenderung membentuk sudut δ terhadap bidang yang tegak lurus pada bagian belakang dinding *gabion*. Namun karena pengaruh gesekan dinding kecil, maka δ dianggap nol. Komponen horisontal dari Pa dapat ditulis seperti persamaan dibawah :

$$P_h = P_a \cos \beta \qquad (2.54)$$

Komponen vertikal, Pa biasanya diabaikan dalam desain karena mengurangi momen guling dan meningkatkan ketahanan geser.

3. Stabilitas *Gabion*
   a. Stabilitas terhadap Guling

      Stabilitas terhadap guling dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$M_r > SF_O \, M_O \quad (2.55)$$

Dimana:
M_r = momen perlawanan
M_o = momen guling
SF_o = faktor keamanan = 1.5

Menggunakan prinsip-prinsip dasar statika, perhitungan momen perlawanan dilakukan terhadap titik guling. Sedangkan untuk perhitungan momen guling dilakukan dengan persamaan dibawah ini :

$$M_O = d_a \, P_h \quad (2.56)$$

Dengan:

$$d_a = \frac{H(H + 3q/Ws)}{3(H + 2q/Ws)} + B \sin\beta \quad (2.57)$$

Dimana:
d_a = jarak vertikal pada H/3
H = tinggi dinding *gabion*
q = beban tambahan (*surcharge*)
Ws = berat volume tanah
β = sudut kemiringan bagian belakang dinding *gabion*

b. Stabilitas terhadap Geser
Stabilitas terhadap geser dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu \, W_g \geq SF_s \, P_h \quad (2.58)$$

Dimana:
μ = koefisien gesekan (tan ϕ)

W_g = berat sendiri *gabion*
SF_S = faktor keamanan = 1.5

c. Stabilitas terhadap Daya Dukung
Nilai eksentrisitas dapat ditentukan sebagai berikut:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{(M_r - M_o)}{W_g} \quad (2.59)$$

Untuk resultan gaya yang terletak pada H/3 adalah:

$$-\frac{B}{6} \leq e \leq \frac{B}{6} \quad (2.60)$$

Tekanan maksimum dibawah dasar, P adalah:

$$P = (\frac{W_g}{B})(\frac{1 + 6e}{B}) \quad (2.61)$$

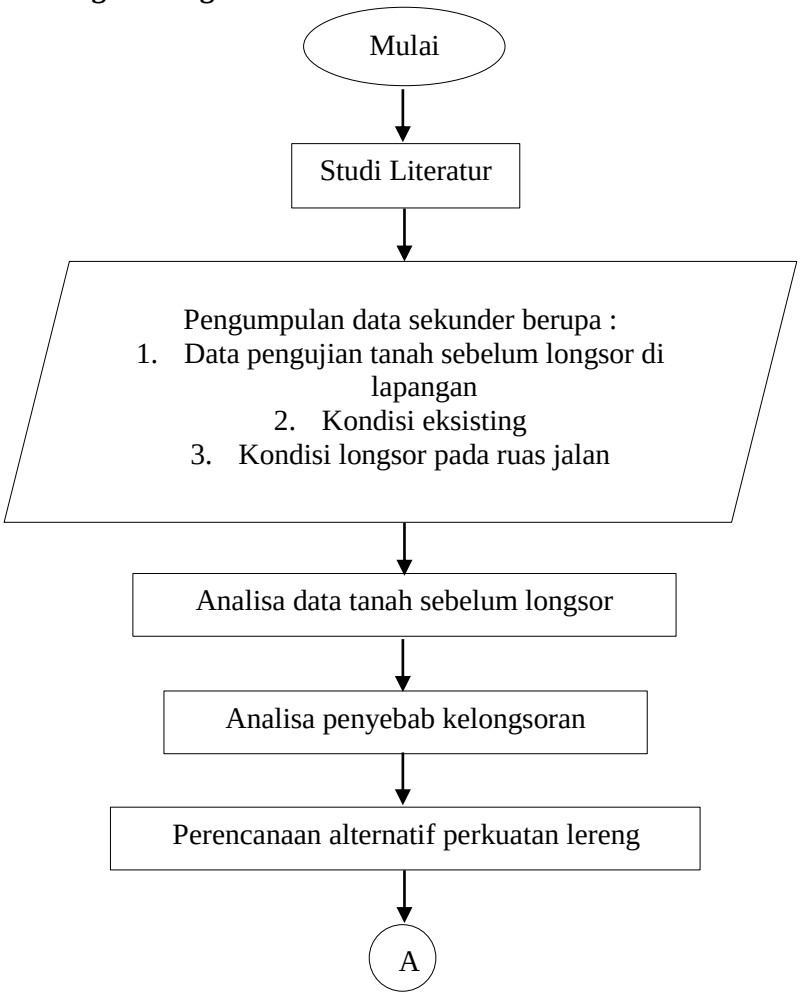
Tekanan maksimum tidak boleh melebihi daya dukung tanah (*soil bearing capacity*) yang diijinkan, yaitu:

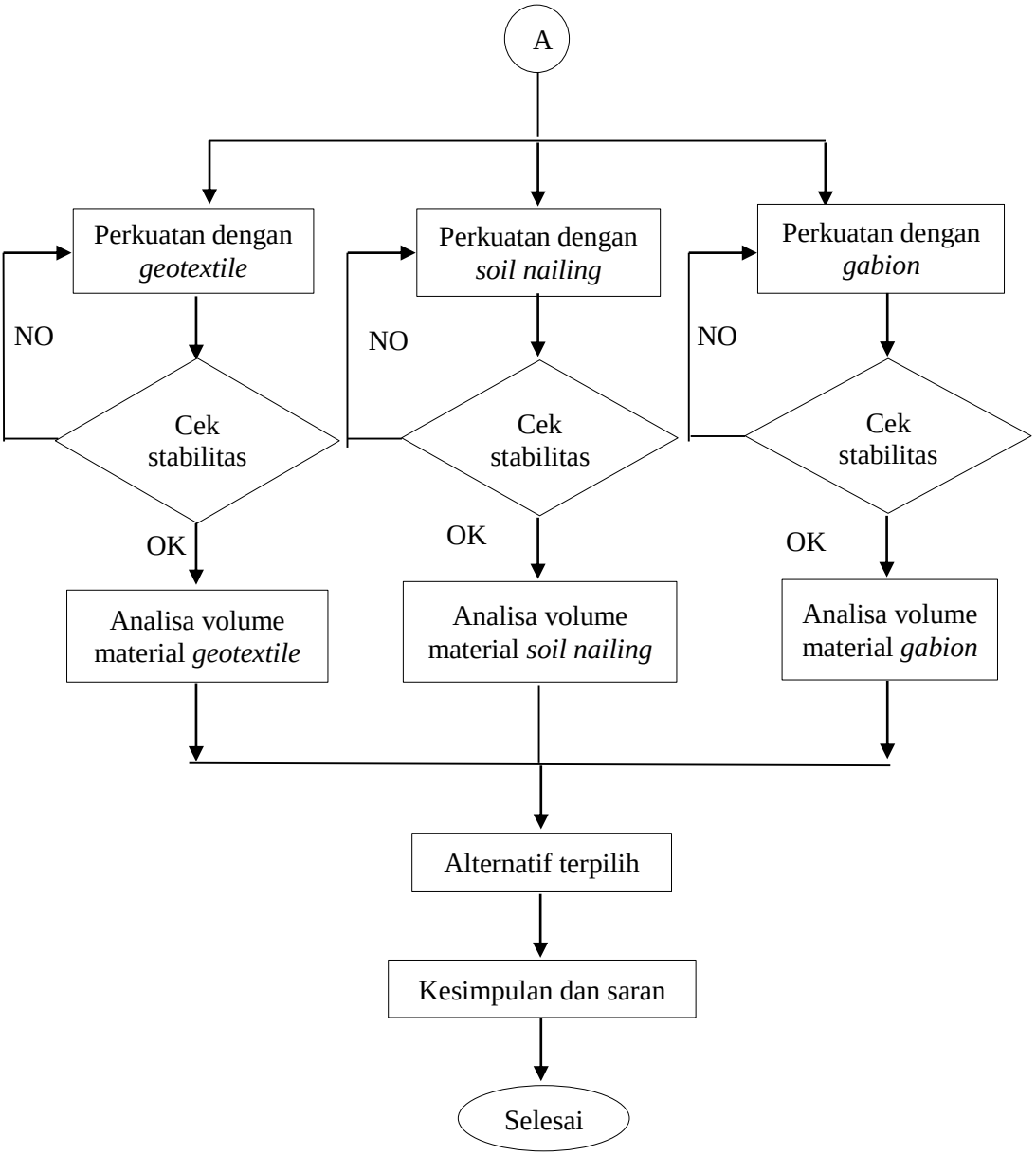
$$P \leq SF_b \, P_b \quad (2.62)$$

Dimana:
e = eksentrisitas
B = lebar alas *gabion*
M_r = momen tahanan
M_o = momen guling
W_g = berat sendiri *gabion*

BAB III
METODOLOGI

3.1 Diagram Bagan Alir




A
Perkuatan dengan *geotextile*
Perkuatan dengan *soil nailing*
Perkuatan dengan *gabion*
NO
NO
NO
Cek stabilitas
Cek stabilitas
Cek stabilitas
OK
OK
OK
Analisa volume material *geotextile*
Analisa volume material *soil nailing*
Analisa volume material *gabion*
Alternatif terpilih
Kesimpulan dan saran
Selesai

3.2 Uraian Tahapan Perencanaan

Tahapan yang dilakukan dalam studi untuk menyelesaikan masalah kelongsoran lereng pada ruas Jalan Tol Surabaya – Mojokerto KM 737+400.

3.2.1 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan membaca dan mengambil intisari dari buku-buku serta referensi yang berhubungan dengan perencanaan ini adalah sebaga berikut :

1. Referensi mengenai perhitungan Stabilitas Lereng.
2. Referensi tentang pengoperasian dengan *software*.
3. Referensi mengenai perhitungan dan perencanaan sistem *geotextile*, *soil nailing*, dan *gabion* untuk sistem perkuatan lereng.
4. Ringkasan yang menunjang beserta rumus-rumus yang mendukung.

3.2.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk perencanaan ini adalah data sekunder, dengan rincian sebagai berikut:

1. Data pengujian tanah sebelum longsor di lapangan
2. Kondisi eksisting
3. Kondisi longsor pada ruas jalan

3.2.3 Analisa Data Tanah Sebelum Longsor

Analisa data tanah digunakan untuk mendapatkan parameter tanah berdasarkan data tanah yang telah diperoleh. Hasil analisa data tanah ini merupakan parameter yang akan digunakan dalam proses perencanaan.

3.2.5 Analisa Penyebab Longsor

Berdasarkan data sekunder dan pengamatan di lapangan dapat dilakukan analisis dengan literatur yang ada untuk menentukan penyebab kelongsoran yang terjadi. Data tanah yang digunakan dalam tahapan ini adalah data tanah yang

telah diperoleh serta perubahan parameter tanah setelah longsor terjadi.

3.2.6 Perencanaan Alternatif Perkuatan Lereng yang Sesuai

Berdasarkan hasil analisis penyebab kelongsoran dan melihat kondisi di lapangan maka alternatif yang memungkinkan untuk diterapkan adalah :

1. Perkuatan *geotextile + subdrain*
   - Merencanakan dimensi subdrain
   - Merencanakan jumlah lembar *geotextile*
   - Menghitung panjang *geotextile* yang dibutuhkan
2. Perkuatan *soil nailing*
   - Merencanakan jumlah *soil nailing* yang dibutuhkan
   - Merencanakan panjang *soil nailing* yang dibutuhkan
3. Perkuatan *gabion + geotextile*
   - Menentukan ukuran *gabion* yang digunakan
   - Merencanakan jumlah lembar *geotextile*
   - Menghitung panjang *geotextile* yang dibutuhkan

Ketiga alternatif tersebut direncanakan dan kemudian dicek stabilitasnya. Jika tidak memenuhi, syarat maka direncanakan ulang hingga memenuhi syarat stabilitas.

3.2.7 Membandingkan dan Menentukan Alternatif Perkuatan Lereng yang Tepat

Membandingkan volume material dari output masing – masing alternatif sehingga didapat alternatif yang paling efektif untuk perbaikan jangka pendek maupun jangka panjang berdasarkan analisis yang telah dilakukan.

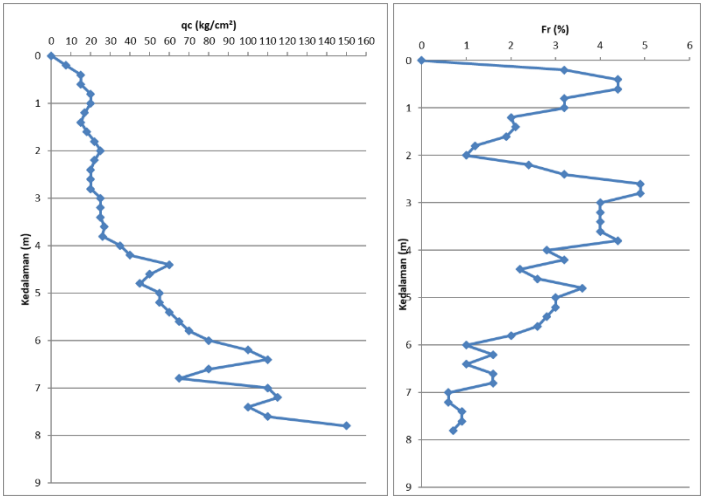
3.2.8 Kesimpulan dan Saran

Setelah analisis penyebab kelongsoran, maka dapat disimpulkan penyebab dari kelongsoran di lokasi tugas akhir dan mendapatkan alternatif perbaikan yang paling efektif untuk mencegah terjadinya kelongsoran lereng di masa yang akan datang.

BAB IV
ANALISA DATA

4.1. Data Tanah Lapangan

Data tanah yang digunakan dalam perencanaan ini adalah data yang didapat langsung dari hasil pengujian sondir di lapangan yang dilakukan oleh Testana Engineering, Inc. pada tahun 2017 (**Lampiran 1**). Berdasarkan hasil sondir S-1 sampai dengan S-3 maka dibuat grafik gabungan untuk melihat konsistensi dari jenis tanah yang ada. Hasil grafik kondisi lapisan tanah dasar dapat dilihat pada pada **Gambar 4.1.**



Gambar 4. 1 Grafik sondir pada Km 737+400
(Sumber: Data Proyek)

4.2. Analisa Parameter Tanah

Pada tugas akhir ini data tanah yang diperoleh adalah data sondir, sedangkan parameter fisik lainnya tidak tersedia karena keterbatasan data yang diperoleh maka dari itu perlu adanya korelasi/pendekatan berdasarkan data hasil pengujian tanah di lapangan. Korelasi digunakan untuk mendapatkan nilai parameterparameter tanah yang dibutuhkan dalam melakukan sebuah analisa/perencanaan. Dalam analisa parameter tanah ini, diambil satu contoh hasil pengujian yang terdapat pada Km. 737+400. Adapun tahapan yang perlu dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter-paramater tanah berdasarkan data pengujian sondir adalah dengan melakukan klasifikasi tanah dan korelasi nilai parameter tanah.

4.2.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir

Dalam melakukan klasifikasi tanah hal yang harus dilakukan adalah:

1. Mendiskripsikan jenis lapisan tanah dari kedalaman yang telah didapat berdasarkan harga perlawanan konus (qc) dan *friction ratio* (FR) (**Gambar 2.1**). Hasil deskripsi lapisan dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Deskripsi Lapisan Tanah untuk Setiap Kedalaman

Kedalaman	S-1		
(m)	qc (kg/cm²)	Fr (%)	Jenis tanah
0	7.5	3.2	Lempung Berlanau
0.4	17	3.217	Lempung Berlanau
1.6	18	1.9	Pasir Berlanau
1.8	23	1.533	Pasir Berlanau
2.4	26.3	3.94	Lempung Berlanau
4.4	55.714	2.829	Lempung Berlanau
6	80	1	Lempung Berlanau
6.2	98.75	1.1	Pasir Berlanau
7.8	150	0.7	Pasir Berlanau

2. Menghitung nilai rata-rata tahanan konus yang memiliki jenis tanah dan konsistensi yang sama (**Tabel.4.2**).
3. Mengubah nilai harga perlawanan tahanan konus (qc) kedalam bentuk N-SPT dengan cara:
   - Untuk tanah dominan lempung dan lanau menggunakan **Tabel 2.2.**
   - Untuk tanah dominan pasir/pasir menggunakan **Tabel 2.5** dengan mencari nilai *relative density* (Dr) terlebih dahulu (**Tabel 2.4**).

Tabel 4. 2 Harga N-SPT untuk Setiap Kedalaman

Kedalaman (m)	S-1		
	qc (kg/cm²)	Jenis tanah	N-SPT
0	7.5	Lempung Berlanau	2
0.4	17	Lempung Berlanau	5
1.6	18	Pasir Berlanau	3
1.8	23	Pasir Berlanau	4
2.4	26.3	Lempung Berlanau	7
4.4	55.714	Lempung Berlanau	15
6	80	Lempung Berlanau	22
6.2	98.75	Pasir Berlanau	35
7.8	150	Pasir Berlanau	40

4. Menentukan konsistensi setiap lapisan tanah berdasarkan harga perlawanan konus (qc)/N-SPT dan deskripsi lapisan tanah (**Tabel 2.2**). Konsistensi tanah yang didapat pada setiap kedalaman dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4. 3 Konsistensi Tanah untuk setiap Kedalaman

Kedalaman	S-1			
(m)	qc (kg/cm²)	Jenis tanah	N-SPT	Konsistensi
0	7.5	Lempung Berlanau	2	Very Soft
0.4	17	Lempung Berlanau	5	Soft
1.6	18	Pasir Berlanau	3	Very Loose
1.8	23	Pasir Berlanau	4	Loose
2.4	26.3	Lempung Berlanau	7	Medium
4.4	55.714	Lempung Berlanau	15	Stiff
6	80	Lempung Berlanau	22	Very Stiff
6.2	98.75	Pasir Berlanau	35	Medium
7.8	150	Pasir Berlanau	40	Dense

4.2.2. Korelasi Untuk Mendapatkan Nilai Parameter Tanah

Setelah diperoleh hasil deskripsi jenis lapisan tanah dan konsistensi setiap kedalaman jenis lapisan tanah, maka selanjutnya adalah mencari nilai parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam perencanaan. Berikut ini merupakan korelasi yang digunakan untuk mendapatkan paramater-parameter tanah, dengan mengambil sampel contoh perhitungan pada tanah lempung berlanau pada kedalaman 2,4 meter.

1. Berat volume jenuh tanah (γ_{sat}) diperoleh dari korelasi berdasarkan nilai N-SPT.
   - Untuk tanah kohesif (dominan lanau/lempung) menggunakan **Tabel 2.3**.
   - Untuk tanah non-kohesif menggunakan **Tabel 2.5**

   Contoh perhitungan korelasi:

   N-SPT = 7

$$\gamma_{sat} = \frac{7-6}{15-6} \times (18-16) + 16 = 16{,}22\ kN/m^3$$

Dengan cara yang sama diperoleh hasil korelasi berat volume jenuh tanah (γ_{sat}) pada kedalaman yang lain dan dapat dilihat pada **Tabel 4.4**

2. Nilai berat volume tanah (γ_d), kadar air (ω_{sat}), porositas (n), angka pori (e) didapat berdasarkan:
   - Untuk tanah kohesif, didapat dari korelasi berdasarkan nilai berat volume jenuh tanah (γ_{sat}) yang bersumber dari *Biarez*, dapat dilihat pada **Lampiran 3**.
   - Untuk tanah non-kohesif didapat berdasarkan konsistensi tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

   Contoh perhitungan korelasi:

   γ_{sat} = 16,22 kN/m^3 maka berdasarkan tabel *Biarez* didapatkan:
   - Kadar air (ω_{sat}) = 64,48 %
   - Porositas (n) = 0,63
   - Angka pori = 1,73

   Dengan cara yang sama, hasil korelasi Nilai kadar air (ω_{sat}), porositas (n), dan angka pori (e) pada kedalaman yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.
3. Berat jenis tanah (GS) didapat dari korelasi berdasarkan nilai berat volume jenuh tanah (γ_{sat}) dan angka pori (e) dengan menggunakan **Persamaan 2.5**.
   Contoh perhitungan korelasi:

$$GS = \frac{1{,}622 \times (1 + 1{,}73)}{1} - 1{,}73 = 2{,}7$$

4. *Cohesi undrained* (*Cu*) didapat dari korelasi berdasarkan harga N-SPT dengan menggunakan tabel yang bersumber dari Szechy dan Varga, 1978.
   Contoh perhitungan korelasi:
   N-SPT = 7

$$Cu = \frac{7 - 2}{8 - 2} \times (40 - 12{,}5) + 12{,}5 = 35{,}417\ kPa$$

Dengan cara yang sama, hasil korelasi *Cohesi undrained* (*Cu*) pada kedalaman yang lain dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Berdasarkan korelasi tersebut, maka dapat diketahui nilai-nilai parameter tanah. Hasil korelasi parameter dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Untuk perhitungan detail dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

Tabel 4. 4 Hasil Korelasi Parameter Tanah pada Titik S-1

Kedalaman (m)	Deskripsi	Konsistensi	qc (kg/cm2)	ɣsat (kN/m3)	ɣd (kN/m3)	Cu (Kpa)	ϕ
0 - 0.2	Lempung Berlanau	Very Soft	7.5	16	9.5	12.5	2
0.4 - 1.4		Soft	17	17	10.9	26.25	5
1.6	Pasir Berlanau	Very Loose	18	14	6.3	0	21
1.8 - 2.2		Loose	23	15	8	0	28
2.4 - 4.2	Lempung Berlanau	Medium	26.3	16.22	9.9	35.417	7
4.4 - 5.8		Stiff	57.5	18	12.7	75	15
6		Very Stiff	80	18.67	13.8	133.33	22
6.2 - 7.6	Pasir Berlanau	Medium	98.75	17.5	11.9	0	36
7.8		Dense	150	20	15.6	0	38.5

4.3. Stabilitas Lereng

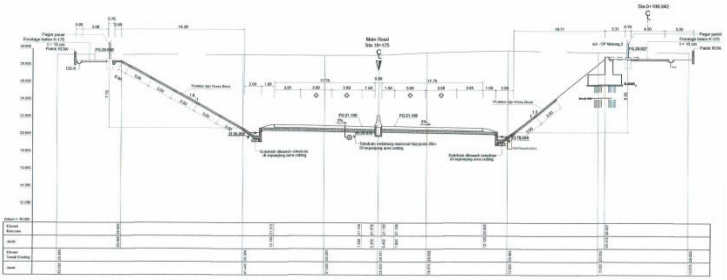
Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan program bantu *Geoslope*. Beban *surcharge* 10 kPa ditambahkan pada analisa stabilitas lereng sesuai acuan SNI 8460:2017 pasal 7.5.1.

Berdasarkan hasil korelasi parameter tanah pada subbab sebelumnya memungkinkan bahwa lereng seharusnya dalam kondisi aman, oleh karena itu kelongsoran tersebut diduga terjadi akibat adanya sumber mata air yang terus mengalir di dekat lokasi tersebut.

Analisa stabilitas lereng juga akan dilakukan dengan menggunakan 2 kondisi, yaitu dengan data tanah asli dan data tanah *behaving like sand*. Analisa kestabilan talud dilakukan dengan dua kondisi agar dapat dibandingkan kestabilan talud dengan angka keamanan dari data tersebut.

4.3.1. Permodelan Geometri Lereng

Pemodelan dari lereng dalam program *Geoslope* didapat dari data perencanaan seperti yang terlihat pada **Gambar 4.3.**

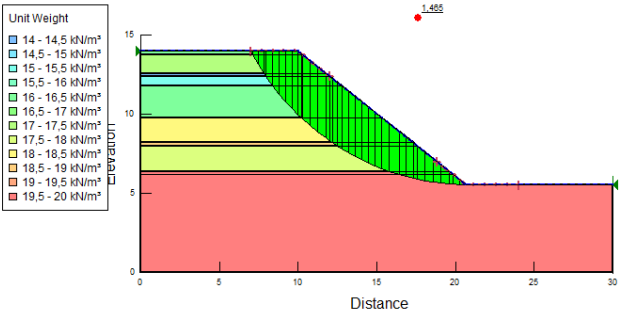


Gambar 4. 2 Geometri lereng

4.3.2. Analisa Kondisi Eksisting

Analisa kondisi eksisting berikut ini merupakan analisa pada saat setelah terjadi longsor. Analisa ini menggunakan program bantu *Geoslope* dengan memperhatikan 2 kondisi, yaitu kondisi pertama menggunakan data tanah asli yang dominan lempung dan kondisi kedua menggunakan data tanah asumsi *behaving like sand*.

1. Titik Sondir 1



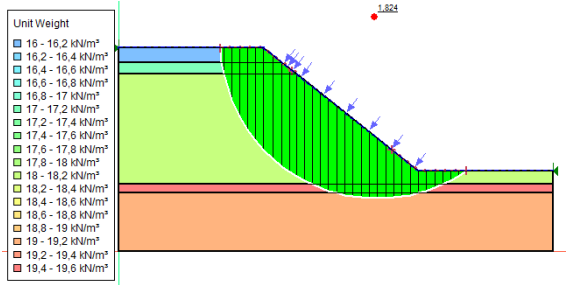
Gambar 4. 3 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah asli

Current Slip Surface

Slip Surface: 23
Factor of Safety: 1,465
Volume: 36,747234 m³
Weight: 629,65962 kN
Resisting Moment: 7.115,9017 kN·m
Activating Moment: 4.855,9339 kN·m
Resisting Force: 348,18607 kN
Activating Force: 237,66767 kN
Slip Rank: 1 of 405 slip surfaces
Exit: (20,668625; 5,5310918) m
Entry: (7; 14) m
Radius: 15,715261 m
Center: (20,946158; 21,243902) m

Gambar 4. 4 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah asli

2. Titik Sondir 2



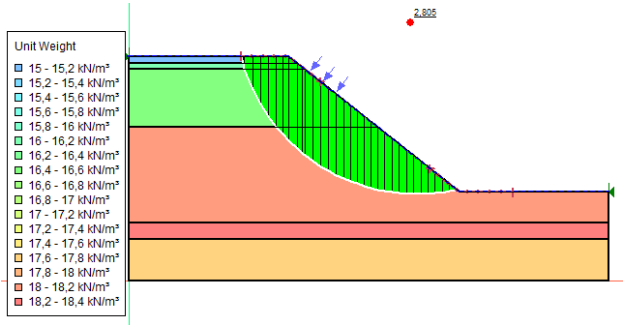
Gambar 4. 5 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah asli

Current Slip Surface

Slip Surface: 45
Factor of Safety: 1,824
Volume: 73,84342 m³
Weight: 1.326,8839 kN
Resisting Moment: 10.066,29 kN·m
Activating Moment: 5.519,269 kN·m
Resisting Force: 693,92437 kN
Activating Force: 380,29206 kN
Slip Rank: 1 of 405 slip surfaces
Exit: (24; 5,53) m
Entry: (7; 14) m
Radius: 10,86679 m
Center: (17,855605; 14,492897) m

Gambar 4. 6 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah asli

3. Titik Sondir 3



Gambar 4. 7 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah asli

Current Slip Surface

Slip Surface: 19
Factor of Safety: 2,805
Volume: 47,402962 m³
Weight: 817,45056 kN
Resisting Moment: 11.520,702 kN·m
Activating Moment: 4.107,3393 kN·m
Resisting Force: 911,59332 kN
Activating Force: 325,03967 kN
Slip Rank: 1 of 405 slip surfaces
Exit: (20,490668; 5,6723562) m
Entry: (7; 14) m
Radius: 11,402322 m
Center: (18,050518; 16,810516) m

Gambar 4. 8 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah asli

Berdasarkan hasil *running* software *Geoslope* terhadap 3 titik sondir yang ada di lapangan, didapatkan nilai *safety factor* terkecil yaitu pada titik sondir 1 sebesar 1,465. Dengan menggunakan data tanah asli, diperoleh nilai SF>1, ini berarti kondisi lereng tidak mengalami longsor, berbeda dengan kondisi yang ada di lapangan. Nilai SF<1 diperoleh dengan menganggap tanah dalam kondisi *cracked soil*, seolah-olah seperti pasir (*behaving like sand*). Maka pada perencanaan ini lereng

direncanakan dalam kondisi terburuk, jadi tanah yang digunakan adalah data tanah *behaving like sand*.

4.3.3. Data Tanah Asumsi *Cracked Soil* (*Behaving Like Sand*)

Data tanah ini di analisa dengan asumsi *behaving like sand* yang dimana kondisi ini diambil untuk menyesuaikan dengan kondisi yang terjadi di lapangan. Perbedaan antara data tanah asli dan data tanah *behaving like sand* adalah hilangnya nilai C dan hanya memiliki nilai ϕ. Pada data tanah asli, tanahnya seperti apa adanya sesuai pengeboran lapangan sedangkan pada *behaving like sand* data tanahnya diasumsikan menyerupai pasir (*cracked soil*). Kondisi kelongsorannya tipe *drained.*

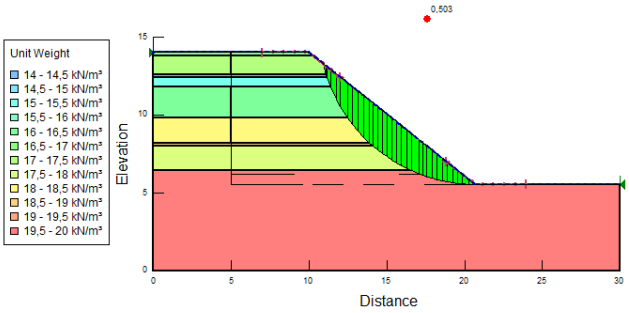
Menurut Mochtar, pada lereng-lereng yang lapuk sudah terjadi retak-retak yang kemungkinan besar terisi lapisan pasir sehingga apabila terjadi kelongsoran sepanjang bidang - bidang yang retak tersebut maka asumsi lapisan tanah seolah-olah dianggap pasir (*behaving like sand*). Kondisi tersebut menyebabkan stabilitas talud menjadi tidak aman untuk kondisi yang akan datang sehingga perlu adanya perkuatan talud.

Dari asumsi tersebut maka diambil keputusan bahwa nilai C dianggap sama dengan nol dan untuk nilai ϕ bervariasi, untuk lempung diasumsikan 15º, lanau diasumsikan 20º -25º, dianggap bersifat seperti pasir seperti yang terlihat pada **Tabel 4.5** berikut ini:

Tabel 4. 5 Data Tanah *Behaving Like Sand*

Kedalaman (m)	ɣsat (kN/m3)	Cu (Kpa)	ϕ
0 - 0.2	16	0	15
0.4 - 1.4	17	0	15
1,6	14	0	21
1.8 - 2.2	15	0	28
2.4 - 4.2	16,22	0	15
4.4 - 5.8	18	0	15
6	18,67	133,33	22
6.2 - 7.6	17,5	0	36
7,8	20	0	38,5

Dari data tanah di atas, kondisi muka air tanah berada di atas permukaan lereng (kondisi terkritis). Lalu data tanah *behaving like sand* tersebut akan dimasukkan ke dalam program bantu *Geoslope* untuk dicek kestabilan lerengnya apakah sesuai dengan kondisi saat ini.



Gambar 4. 9 Bidang kelongsoran dengan menggunakan data tanah *behaving like sand*

Gambar 4. 10 Hasil analisa lereng dengan menggunakan data tanah *behaving like sand*

Berdasarkan hasil *running* software *Geoslope* terhadap bidang longsor yang terjadi, didapatkan nilai *safety factor* sebesar 0,503.

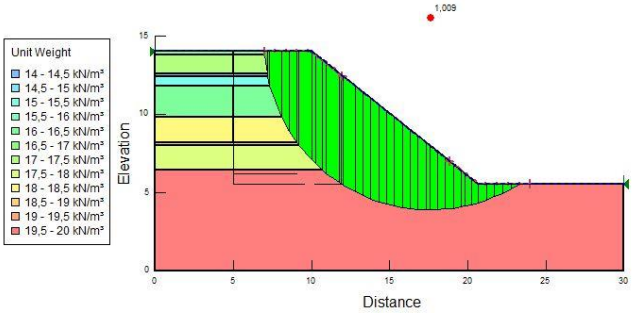
BAB V
PERENCANAAN ALTERNATIF PERKUATAN LERENG

Berdasarkan hasil analisa lereng pada Bab IV, diperlukan adanya perkuatan karena angka keamanan lereng belum memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 Tabel 26 yaitu 1,5 untuk lereng permanen, terutama saat keadaan muka air tinggi. Dalam Tugas Akhir ini, perkuatan yang digunakan adalah *geotextile +subdrain, soil nailing,* dan *gabion + geotextile.*

5.1. Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan *Geotextile + Subdrain*

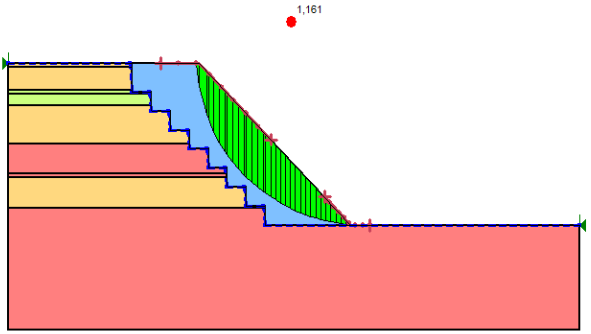
Alternatif I adalah sistem *geotextile + subdrain*, konstruksi ini akan dipasang pada lereng yang saat ini masih belum diperbaiki yaitu pada elevasi -8,5 dari permukaan jalan.

Perencaanan subdrain dilakukan untuk menyalurkan air tanah yang terus mengalir dan diteruskan secepat mungkin ke luar dari lereng. Subdrain yang direncanakan terbuat dari susunan batu pecah dan kerikil dan dipasang dari bagian atas lereng hingga kaki lereng, sehingga lereng tetap dalam kondisi kering.



Gambar 5. 1 Bidang longsor lereng SF=1,009

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 *Geoslope*, didapatkan jarak yang tepat untuk pemasangan subdrain pada dasar lereng adalah 4,5 meter dari bibir lereng. Untuk dimensi subdrain perncanaan menggunakan 30 cm x 30 cm.



Gambar 5. 2 Bidang longsor tanah urugan

Untuk mencapai SF rencana untuk lereng kondisi permanen, maka diperlukan perencanaan geotextile. Adapun perhitungan kebutuhan *geotextile wall* adalah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai Sv

   Kekuatan geotextile dihitung berdasarkan kuat tarik ultimate (T_{ult}) dan dipengaruhi oleh nilai Faktor Reduksi, antara lain:

   Faktor reduksi akibat instalasi (RF_{id}) = 1,35
   Faktor reduksi rangkak (RF_{cr}) = 2
   Faktor reduksi akibat pengaruh kimia (RF_{cd}) = 1,1
   Faktor reduksi akibat pengaruh biologi (RF_{bd}) = 1,1

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

   Dalam perencanaan ini digunakan tipe *geotextile* polyfelt WX 100/50 dengan kekuatan tarik sebesar 50 kN/m', maka Kekuatan Ijin Tarik *geotextile* diperoleh sebesar :

$$T_{allow} = 50\left(\frac{1}{1{,}35 \times 2 \times 1{,}1 \times 1{,}1}\right) = 15{,}304\ kN/m'$$

Data tanah urugan:

γt = 19 kN/m^3 γw = 9,81 kN/m^3

φ = 30º q = 7,5 kN/m^2

c = 0

Data tanah dasar:

γt = 17,5 kN/m^3

φ = 36º

c = 0

Menghitung nilai koefisien tanah, dengan rumus Ka sebagai berikut:

$$K_a = \frac{sin^2(\alpha + \emptyset)}{sin^2\alpha.sin(\alpha - \delta)[1 + \sqrt{\frac{sin(\alpha + \delta).\sin(\alpha - \beta)}{sin(\alpha - \delta).\sin(\alpha + \beta)}}]^2} + r_u$$

Bila : α = 180-β

δ = 0

β = 0

maka akan diperoleh

$$K_a = \frac{sin^2(\beta + \emptyset)}{sin^2\beta(1 + \frac{sin\emptyset}{sin\beta})^2} + r_u$$

$$K_a = \frac{sin^2(45 + 30)}{sin^245(1 + \frac{sin30}{sin45})^2} + 0$$

$K_a = 0{,}046$

Mencari nilai Pa

Pa = (q.Ka + H. γt.Ka) x 1 m x 1 m

Pa_1 = (7,5x0,046 + 8,5x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1

= 15,12 kN/m'

Pa_2 = (7,5x0,046 + (8,5-1)x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1

= 13,5 kN/m'

Pa_3 = (7,5x0,046 + (8,5-2)x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1

= 11,88 kN/m'

Pa_4 = (7,5x0,046 + (8,5-3)x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1
= 10,26 kN/m'

Pa_5 = (7,5x0,046 + (8,5-4)x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1
= 8,64 kN/m'

Pa_6 = (7,5x0,046 + (8,5-5)x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1
= 7,02 kN/m'

Pa_7 = (7,5x0,046 + (8,5-6)x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1
= 5,4 kN/m'

Pa_8 = (7,5x0,046 + (8,5-7)x(19-9,81)x0,046) x 1 x 1
= 3,78 kN/m'

Jumlah lembar geotextile

$$n_1 = \frac{Pa_1}{P_{all}} = \frac{15{,}12}{15{,}304} = 0{,}988 \approx 1$$

$$n_2 = \frac{Pa_2}{P_{all}} = \frac{13{,}5}{15{,}304} = 0{,}882 \approx 1$$

$$n_3 = \frac{Pa_3}{P_{all}} = \frac{11{,}88}{15{,}304} = 0{,}776 \approx 1$$

$$n_4 = \frac{Pa_4}{P_{all}} = \frac{10{,}26}{15{,}304} = 0{,}67 \approx 1$$

$$n_5 = \frac{Pa_5}{P_{all}} = \frac{8{,}64}{15{,}304} = 0{,}565 \approx 1$$

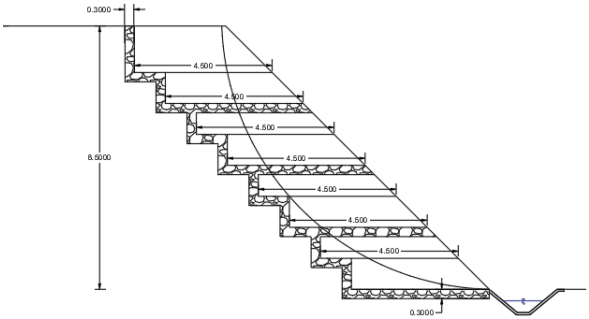
$$n_6 = \frac{Pa_6}{P_{all}} = \frac{7{,}02}{15{,}304} = 0{,}459 \approx 1$$

$$n_7 = \frac{Pa_7}{P_{all}} = \frac{5{,}4}{15{,}304} = 0{,}353 \approx 1$$

$$n_8 = \frac{Pa_8}{P_{all}} = \frac{3{,}78}{15{,}304} = 0{,}247 \approx 1$$

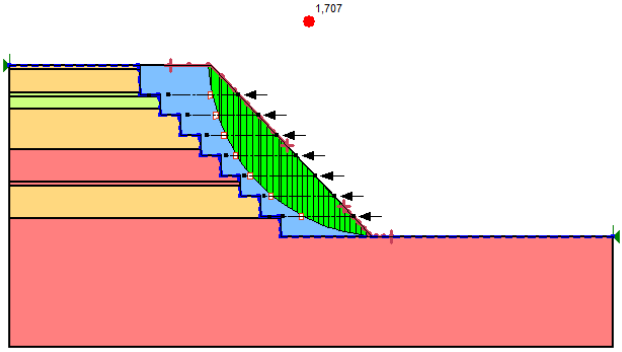
Maka nilai sv yang direncanakan adalah 1 m

Berikut merupakan sketsa perencanaan perkuatan dengan menggunakan *geotextile* (Gambar 5.3)



Gambar 5. 3 Sketsa pemasangan *geotextile*

Dengan menggunakan program *geoslope* diperoleh angka keamanan SF = 1,707 (Gambar 5.4)



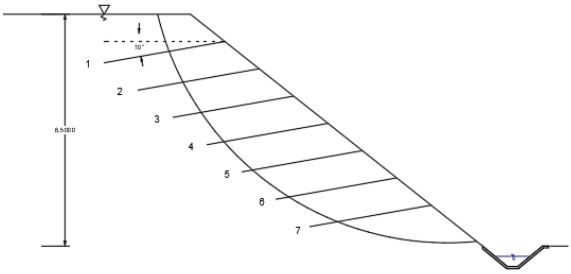
Gambar 5. 4 Arah kelongsoran hasil *geoslope* dari lereng yang diperkuat dengan *geotextile*

5.2. Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan *Soil Nailing*

Alternatif perkuatan lereng selanjutnya yaitu menggunakan *soil nailing*. Direncanakan perkuataan *soil*

nailing dengan desain seperti pada gambar 5.5 spesifikasi sebagai berikut:

Panjang tulangan	= 4,5 m
Diameter tulangan	= 25 mm
fy	= 420 MPa
Kemiringan *soil nailing* (λ)	= 10˚
Jarak vertikal (Sv)	= 1 m
Jarak horizontal (Sh)	= 1,25 m



Gambar 5. 5 Perencanaan awal perkuatan *soil nailing*

1. Stabilitas Internal
   a) Menghitung FS_T

   T_{max} akan terjadi pada tulangan baja yang memikul tegangan *overburden* paling besar yaitu pada tulangan paling dasar pada lereng

   Dengan rumus Ka sebagai berikut:

$$K_a = \frac{cos^2(\emptyset - \beta)}{cos^2\beta . cos(\delta + \beta)[1 + \sqrt{\frac{sin(\emptyset + \delta).\sin(\emptyset - \alpha)}{cos(\delta + \beta).\cos(\alpha - \beta)}}]^2}$$

   maka akan diperoleh

$$K_a = \frac{cos^2(36 - 0)}{cos^2 0 . cos(24 + 0)[1 + \sqrt{\frac{sin(36 + 24).\sin(36 - 0)}{sin(24 + 0).\sin(24 - 0}}]^2}$$

$$K_a = 0{,}46$$

Perhitungan tegangan *overburden*

Tabel 5. 1 Tegangan Vertikal

Titik	Rumus	σv (kN/m2)
1	q + (ɣt x h)	10
2		32.4
3		43.6
4		105.236
5		148.986

Perhitungan T_0 akibat tekanan tanah:

$$T_0 = Ka(q + \sigma'_o)S_h S_v$$
$$= 0{,}46(0 + 148{,}986)1{,}25.1$$
$$= 86{,}335\ kN$$

$$R_{T\ max} = \frac{\pi d^2 f_y}{4} = \frac{\pi \times 25^2 \times 420}{4} = 206{,}17\ kN$$

$$FS_T = \frac{R_{T\ max}}{T_0} = \frac{206{,}17}{86{,}335} = 2{,}338 > 1{,}5 \qquad \text{(OK)}$$

b) Kuat tarik *soil nailing*

Menggunakan rumus berikut:

$$R_T = \frac{\pi d^2 f_y}{4\ FOS_{RT}} = \frac{\pi \times 25^2 \times 415}{4\ \times 1{,}8} = 113{,}17\ kN$$

c) Kuat cabut *soil nailing*

$$T_{n,max} = T_p \times L$$

$$T_p = \frac{(c + \sigma_v \tan\varphi)\pi d}{1{,}5}$$

Tegangan *overburden* dihitung di tengah-tengah tulangan baja. Contoh perhitungan:

$$\sigma_{v1} = (16 \times 1) + (16 \times \frac{4{,}5}{2} \sin 10)$$
$$= 22{,}251\ kN/m^2$$
$$\sigma_{v2} = \sigma_{v1} + (14 \times 4{,}5 \sin 10) = 33{,}191\ kN/m^2$$
$$\sigma_{v3} = \sigma_{v2} + (16{,}22 \times 4{,}5 \sin 10) = 45{,}866\ kN/m^2$$
$$\sigma_{v4} = \sigma_{v3} + (16{,}22 \times 4{,}5 \sin 10) = 58{,}54\ kN/m^2$$
$$\sigma_{v5} = \sigma_{v4} + (16{,}22 \times 4{,}5 \sin 10) = 71{,}215\ kN/m^2$$
$$\sigma_{v6} = \sigma_{v5} + (17{,}5 \times 4{,}5 \sin 10) = 84{,}89\ kN/m^2$$

$\sigma_{v7} = \sigma_{v6} + (17{,}5 \times 4{,}5 \sin 10) = 91{,}727\ kN/m^2$

Setelah tegangan *overburden* ditemukan, dapat dihitung Tp, berikut contoh perhitungan Tp_1:

$$T_{p1} = \frac{[0 + (22{,}251 \times \tan(\frac{2}{3} \times 15))] \times \pi \times 0{,}025}{1{,}5}$$

$$= 0{,}205\ kN/m$$

Dengan diketahuinya T_p maka $T_{n,\,max}$ bisa dihitung,

$T_{n,max1} = 0{,}205 \times 4{,}5 = 0{,}924\ kN$

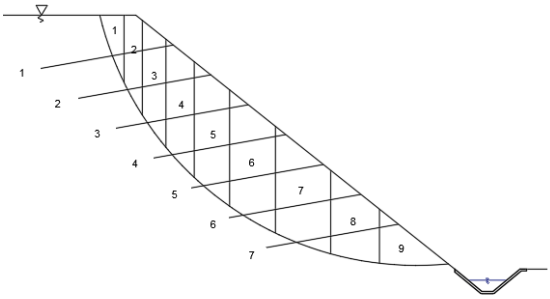
Hasil perhitungan untuk seluruh tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Gaya Cabut yang Terjadi

Nail	Tp (kN/m)	Tn, max
TP1	0,205	0,924
TP2	0,433	1,950
TP3	0,423	1,906
TP4	0,540	2,432
TP5	0,657	2,959
TP6	1,979	8,905
TP7	2,138	9,623

Dari seluruh nilai $T_{n,\,max}$, tidak ada nilai yang lebih besar dari kekuatan Tarik R_T sehingga sudah memenuhi syarat.

2. Stabilitas Eksternal
   a) Stabilitas lereng (*slope stability*) F_{SG}Perhitungan stabilitas lereng menggunakan *simplified Bishop method.* Tanah di dalam bidang longsor dibagi menjadi banyak lapisan (Gambar 5.6) untuk didapatkan angka keamanan seperti pada rumus dibawah:



Gambar 5. 6 Pembagian lapisan pada bidang longsor

$$F_{SG} = \frac{Gaya\ penahan}{Gaya\ pendorong} = \frac{\sum[C + N \tan \varphi]}{\sum[W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)}$$

$$C = c \times L$$

$$N = \frac{-S_F \sin \alpha + W + Q \cos \delta}{\cos \alpha}$$

$$S_F = [(W + Q \cos \delta) \sin \alpha] - [(Q \sin \delta)(R \cos \alpha - \frac{h}{R})]$$

Contoh perhitungan untuk *slice* tanah pertama dari gambar 5.6 sebagai berikut:

i. Berat tanah (W) dapat dihitung dengan cara:
$W_1 = A_1 \times \gamma_1 = 0{,}86 \times 16 = 13{,}755\ kN/m$
$W_2 = A_2 \times \gamma_2 = 0{,}17 \times 14 = 2{,}386\ kN/m$
$W_{total} = 16{,}141\ kN/m$

ii. Langkah kedua dilakukan perhitungan *sliding force* (S_F). Karena tidak ada beban luar yang bekeja pada sisi miring lereng, Q = 0 sehingga,
$S_F = W \sin \alpha = 16{,}141 \sin 61 = 14{,}117\ kN/m$

iii. Setelah ditemukan nilai *sliding force*, nilai gaya normal (N) dapat dihitung. Karena Q = 0 maka,

$$N = \frac{-S_F \sin \alpha + W}{\cos \alpha}$$

$$= \frac{-14{,}117 \sin\ 61 + 16{,}141}{\cos 61} = 7{,}825\ kN/m$$

iv. Mencari nilai F_{SG}

$$F_{SG} = \frac{\sum[N \tan \varphi]}{\sum[W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)}$$

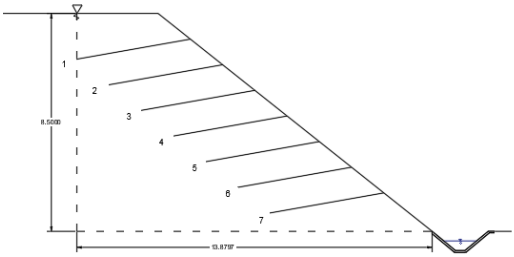
Nilai Tn yang memotong *slice* 1 didapatkan dari perhitungan sebelumnya yaitu Tn tulangan-1 = 0,498 kN, sehingga stabilitas geser lereng adalah:

$$F_{SG} = \frac{200{,}403}{179{,}993} = 1{,}113 > 1{,}1 \qquad \text{(OK)}$$

Perhitungan detail dapat dilihat pada lampiran

b) Stabilitas geser

Stabilitas geser dapat dihitung dengan membandingkan besarnya gaya penahan pada tanah yang terpasang *soil nailing* dengan besarnya gaya dorong horizontal yang bekerja.



Gambar 5. 7 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan bidang gesernya

i. Gaya penahan (∑R)

Gaya penahan didapat dari berat tanah yang terpasang *soil nailing* dan besarnya tahanan geser pada dasar tanah sepanjang 13,88 m

Menghitung berat tanah:

$W_1 = A_1 \times \gamma_1 = 9{,}098 \times 16 = 145{,}57\ kN$
$W_2 = A_2 \times \gamma_2 = 6{,}386 \times 14 = 89{,}404\ kN$
$W_3 = A_3 \times \gamma_3 = 41{,}036 \times 16{,}22 = 665{,}6\ kN$
$W_4 = A_4 \times \gamma_4 = 36{,}918 \times 17{,}5 = 646{,}07\ kN$
$W_{total} = 1546{,}6 kN$

$$\Sigma R = W \tan \varphi + c\, L$$
$$= 1546{,}6 \tan 38{,}5 + (0 \times 16{,}342)$$
$$= 1230{,}3\ kN$$

ii. Gaya dorong (∑D)

Besarnya gaya dorong didapat dari besarnya gaya dorong aktif pada tanah yang berasal dari tekanan tanah horizontal aktif.

Menghitung Ka:

Tabel 5. 3 Nilai Ka

Lapisan	Rumus	Ka
1	$\frac{cos^2(\emptyset - \beta)}{cos^2\beta\, cos(\delta + \beta)\,[1 + \sqrt{\frac{sin(\emptyset + \delta).sin(\emptyset - \alpha)}{cos(\delta + \beta).cos(\alpha - \beta)}}]^2}$	0,853
2		0,741
3		0,853
4		0,460

Menghitung tegangan *overburden* tanah:

Tabel 5. 4 Nilai Tegangan Vertikal

Titik	Rumus	σv (kN/m2)
1	q + (ɣt x h)	10
2		32.4
3		43.6
4		105.236
5		148.986

Menghitung tegangan horizontal tanah

Tabel 5. 5 Nilai Tegangan Horisontal

Titik	Posisi	Rumus	σh (kN/m2)
1	Atas	(σv x Ka) - (2 x c x Ka^0.5)	10
2	Atas		27,627
	Bawah		24,016
3	Atas		32,318
	Bawah		37,178
4	Atas		89,734
	Bawah		48,417
5	Atas		68,546

Menghitung gaya

Tabel 5. 6 Nilai Gaya

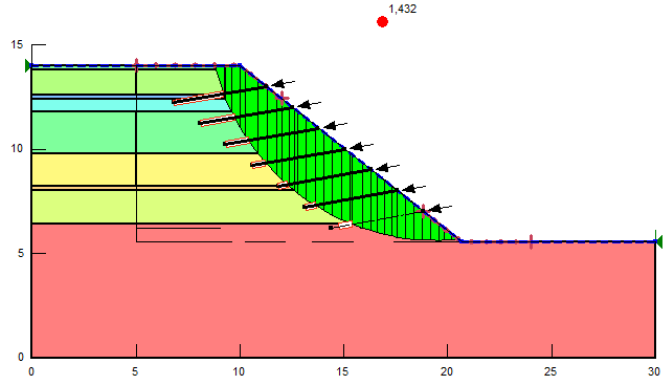
Luasan	Rumus	P (kN)
Pa 1	σh x h	14
Pa 2	½ x A x σh	12,339
Pa 3	σh x h	19,213
Pa 4	½ x A x σh	3,321
Pa 5	σh x h	141,275
Pa 6	½ x A x σh	99,858
Pa 7	σh x h	121,044
Pa 8	½ x A x σh	25,161
		436,210

$\Sigma D = P = 436{,}21\ kN$

iii. Angka keamanan geser

$$FS = \frac{\sum R}{\sum D} = \frac{1230{,}3}{436{,}21} = 2{,}82 > 1{,}5 \qquad \text{(OK)}$$

Dengan menggunakan program *geoslope* diperoleh angka keamanan SF = 1,432 (Gambar 5.8)

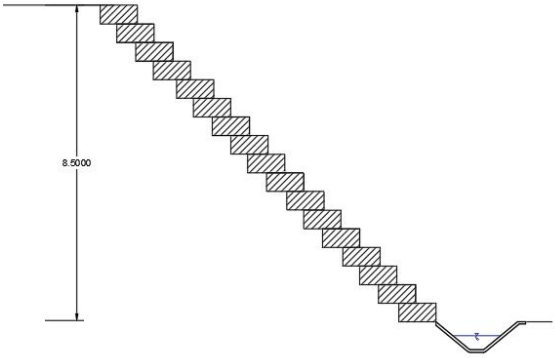


Gambar 5. 8 Arah kelongsoran hasil *geoslope* dari lereng yang diperkuat dengan *soil nailing*

Catatan: untuk perkuatan *soil nailing* sebenarnya tidak cocok untuk tanah lunak, namun pada kasus ini diasumsi tanahnya sudah kaku

5.3. Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan *Gabion* + *Geotextile*

Alternatif perkuatan lereng selanjutnya adalah *gabion.*+ *geotextile* Pada perencanaan ini digunakan *gabion* dengan ukuran 50 x 100 cm dan panjang 200 cm. Adapun perhitungan *gabion* adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 9 Sketsa perencanaan *gabion*

1. Perhitungan koefisien tekanan tanah
   Data tanah:

Tabel 5. 7 Data Tanah

	ɣt (kN/m³)	ϕ (˚)	δ (˚)	h (m)
Tanah 1	16	15	10	1,4
Tanah 2	14	21	14	0,8
Tanah 3	16,22	15	10	3,8
Tanah 4	17,5	36	24	2,5

Nilai Ka:

Tabel 5. 8 Nilai Ka

Lapisan	Rumus	Ka
1	$\frac{cos^2(\emptyset-\beta)}{cos^2\beta\cos(\delta+\beta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\emptyset+\delta).\sin(\emptyset-\alpha)}{\cos(\delta+\beta).\cos(\alpha-\beta)}}\right]^2}$	0,589
2		0,472
3		0,589
4		0,260

2. Perhitungan tegangan
   Nilai tegangan vertikal tanah

Tabel 5. 9 Nilai Tegangan Vertikal

Titik	Rumus	σv (kN/m2)
1	q + (ɣt x h)	10
2		32.4
3		43.6
4		105.236
5		148.986

Tekanan tanah horisontal

Tabel 5. 10 Nilai Tegangan Horisontal

Titik	Posisi	Rumus	σh (kN/m2)
1	Atas	(σv x Ka) - (2 x c x Ka^0.5)	10
2	Atas		19,077
	Bawah		15,304
3	Atas		20,595
	Bawah		25,671
4	Atas		61,962
	Bawah		27,321
5	Atas		38,679

3. Perhitungan momen di titik 0

Tabel 5. 11 Nilai Gaya

Luasan	Rumus	P (kN)	Jarak (m)	Rumus	M (kNm)
Pa 1	σh x h	14	7,8	Gaya x Jarak	109,2
Pa 2	½ x A x σh	6,354	7,567		48,07688
Pa 3	σh x h	12,243	6,7		82,031
Pa 4	½ x A x σh	2,116	6,567		13,896
Pa 5	σh x h	97,551	4,4		429,2237
Pa 6	½ x A x σh	68,952	3,767		259,7205
Pa 7	σh x h	68,302	1,25		85,37803
Pa 8	½ x A x σh	14,198	0,833		11,831
					1039,358

4. Perhitungan berat *Gabion* (Wg)
   ɣt = 27 kN/m^3

Luasan gabion:

A = 17 x 1 x 0,5 = 8,5 m^2

Wg = A x ɣt = 8,5 x 27 = 114,75 kN/m'

5. Perhitungan jarak horizontal

Jarak horisontal Wg terhadap titik 0 dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$dg = \frac{\sum Ax}{\sum A}$$

Dimana ∑A adalah luasan total *gabion* dan tanah sedangkan adalah jarak titik berat tiap elemen *gabion* terhadap titik 0. Sehingga diperoleh perhitungan seperti dibawah ini :

$A_1.x_1$	= 0,5 x 0,5	= 0,25 m^2
$A_2.x_2$	= 0,5 x 1,5	= 0,75 m^2
$A_3.x_3$	= 0,5 x 2,5	= 1,25 m^2
$A_4.x_4$	= 0,5 x 3,5	= 1,75 m^2
$A_5.x_5$	= 0,5 x 4,5	= 2,25 m^2
$A_6.x_6$	= 0,5 x 5,5	= 2,75 m^2
$A_7.x_7$	= 0,5 x 6,5	= 3,25 m^2
$A_8.x_8$	= 0,5 x 7,5	= 3,75 m^2
$A_9.x_9$	= 0,5 x 8,5	= 4,25 m^2
$A_{10}.x_{10}$	= 0,5 x 9,5	= 4,75 m^2
$A_{11}.x_{11}$	= 0,5 x 10,5	= 5,25 m^2
$A_{12}.x_{12}$	= 0,5 x 11,5	= 5,75 m^2
$A_{13}.x_{13}$	= 0,5 x 12,5	= 6,25 m^2
$A_{14}.x_{14}$	= 0,5 x 13,5	= 6,75 m^2
$A_{15}.x_{15}$	= 0,5 x 14,5	= 7,25 m^2
$A_{16}.x_{16}$	= 0,5 x 15,5	= 7,75 m^2
$A_{17}.x_{17}$	= 0,5 x 16,5	= 8,25 m^2 +
∑A.x		= 72,25 m^2

Sehingga:

$$dg = \frac{\sum Ax}{\sum A} = \frac{72{,}25}{8{,}5} = 8{,}5\ m$$

6. Perhitungan momen penahan
   Mr = dg x Wg = 8,5 x 114,75 = 975,38 kNm
7. Perhitungan faktor keamanan
   - Faktor keamanan terhadap geser

$$SFo = \frac{\mu\, Wg}{Ph} = \frac{tan\phi\, Wg}{Ph}$$
$$= \frac{\tan 38{,}5 \times 114{,}75}{283{,}72} = 0{,}643 > 1{,}5 \quad \text{(NOT OK)}$$

Karena nilai faktor keamanan yang sangat kecil maka perlu adanya perkuatan tambahan yaitu berupa *geotextile*. Adapun perhitungan kebutuhan *geotextile* adalah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai Sv
   Kekuatan geotextile dihitung berdasarkan kuat tarik ultimate (T_{ult}) dan dipengaruhi oleh nilai Faktor Reduksi, antara lain:
   Faktor reduksi akibat instalasi (RF_{id}) = 1,35
   Faktor reduksi rangkak (RF_{cr}) = 2
   Faktor reduksi akibat pengaruh kimia (RF_{cd}) = 1,1
   Faktor reduksi akibat pengaruh biologi (RF_{bd}) = 1,1

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

   Dalam perencanaan ini digunakan tipe *geotextile* polyfelt WX 200/50 dengan kekuatan tarik sebesar 50 kN/m', maka Kekuatan Ijin Tarik *geotextile* diperoleh sebesar :

$$T_{allow} = 200\left(\frac{1}{1{,}35 \times 2 \times 1{,}1 \times 1{,}1}\right) = 61{,}218\ kN/m'$$

   Data tanah urugan:
   $\gamma t = 19$ kN/m^3 $\gamma w = 9{,}81$ kN/m^3
   $\varphi = 30^o$ $q = 7{,}5$ kN/m^2
   $c = 0$
   Data tanah dasar:
   $\gamma t = 17{,}5$ kN/m^3
   $\varphi = 36^o$
   $c = 0$

Menghitung nilai koefisien tanah, dengan rumus Ka sebagai berikut:

$$K_a = \frac{sin^2(\alpha + \emptyset)}{sin^2\alpha . sin(\alpha - \delta)[1 + \sqrt{\frac{sin(\alpha + \delta).\sin(\alpha - \beta)}{sin(\alpha - \delta).\sin(\alpha + \beta)}}]^2} + r_u$$

Bila : $\alpha = 180-\beta$

$\delta = 0$

$\beta = 0$

maka akan diperoleh

$$K_a = \frac{sin^2(\beta + \emptyset)}{sin^2\beta(1 + \frac{sin\emptyset}{sin\beta})^2} + r_u$$

$$K_a = \frac{sin^2(45 + 30)}{sin^2 45(1 + \frac{sin30}{sin45})^2} + 0$$

$K_a = 0{,}046$

Mencari nilai Pa

Pa = (q.Ka + H. γt.Ka + H. γw) x 1 m x 1 m

Pa_1 = (7,5x0,046 + 8,5x(19-9,81)x0,046 + 9,81x8,5)x1x1
= 87,249 kN/m'

Pa_2 = (7,5x0,046 + (8,5-1)x(19-9,81)x0,046 + 9,81x(8,5-1)) x 1 x 1
= 77,025 kN/m'

Pa_3 = (7,5x0,046 + (8,5-2)x(19-9,81)x0,046 + 9,81x(8,5-2)) x 1 x 1
= 66,801 kN/m'

Pa_4 = (7,5x0,046 + (8,5-3)x(19-9,81)x0,046 + 9,81x(8,5-3)) x 1 x 1
= 56,577 kN/m'

Pa_5 = (7,5x0,046 + (8,5-4)x(19-9,81)x0,046 + 9,81x(8,5-4)) x 1 x 1
= 46,353 kN/m'

Pa_6 = (7,5x0,046 + (8,5-5)x(19-9,81)x0,046 + 9,81x(8,5-5)) x 1 x 1
= 36,129 kN/m'

Pa_7 = (7,5x0,046 + (8,5-6)x(19-9,81)x0,046 + 9,81x(8,5-6)) x 1 x 1
= 25,905 kN/m'

Pa_8 = (7,5x0,046 + (8,5-7)x(19-9,81)x0,046 + 9,81x(8,5-7)) x 1 x 1
= 15,681 kN/m'

Jumlah lembar geotextile

$$n_1 = \frac{Pa_1}{P_{all}} = \frac{87,249}{61,218} = 1,425 \approx 2$$

$$n_2 = \frac{Pa_2}{P_{all}} = \frac{77,025}{61,218} = 1,258 \approx 2$$

$$n_3 = \frac{Pa_3}{P_{all}} = \frac{66,801}{61,218} = 1,091 \approx 2$$

$$n_4 = \frac{Pa_4}{P_{all}} = \frac{56,577}{61,218} = 0,924 \approx 1$$

$$n_5 = \frac{Pa_5}{P_{all}} = \frac{46,353}{61,218} = 0,757 \approx 1$$

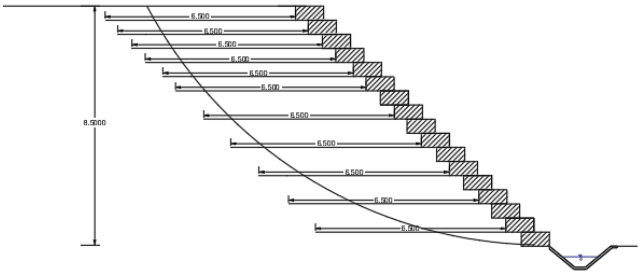
$$n_6 = \frac{Pa_6}{P_{all}} = \frac{36,129}{61,218} = 0,59 \approx 1$$

$$n_7 = \frac{Pa_7}{P_{all}} = \frac{25,905}{61,218} = 0,423 \approx 1$$

$$n_8 = \frac{Pa_8}{P_{all}} = \frac{15,681}{61,218} = 0,256 \approx 1$$

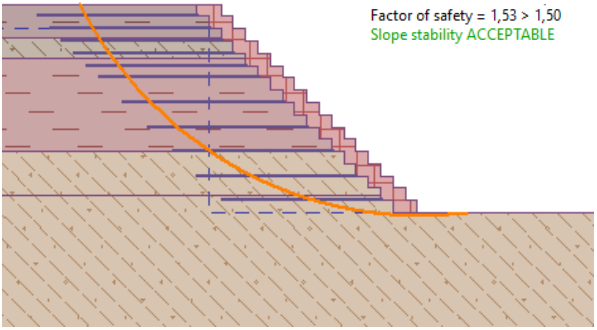
Maka nilai sv yang direncanakan adalah 0,5 m untuk lapisan 1 sampai 3 sedangkan nilai sv 1 m untuk lapisan 4 sampai 8

Sketsa perencanaan perkuatan dengan menggunakan *geotextile* (Gambar 5.10)



Gambar 5. 10 Sketsa pemasangan *geotextile*

Dengan menggunakan program *geo5* diperoleh angka keamanan SF = 1,58 (Gambar 5.11)



Gambar 5. 11 Arah kelongsoran hasil *geo5* dari lereng yang diperkuat dengan *geotextile*

5.4. Analisa Kebutuhan Material dan Biaya

Pada sub bab ini akan dibahas berapa besar volume dan harga bahan yang dibutuhkan sebagai alternatif perkuatan. Perhitungan ini hasil perhitungan volume dan harga bahan dari ketiga alternatif perkuatan. Hasil perbandingan akan menentukan metode manakah yang lebih efektif dan efisien untuk digunakan dari segi material.

Tabel 5. 12 Harga Perkuatan *Geotextile + Subdrain*

	Panjang (m)	Lebar (m)	Harga per m2	Harga total
Geotextile	36	50	Rp 303.807,00	Rp 546.852.600,00
	Luas penampang (m2)	Panjang	Harga per m3	
Subdrain	0,09	29,5	Rp 262.300,00	Rp 34.820.325,00
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Harga per m2	
Pengerukan tanah	8,5	4,5	Rp 196.250,00	Rp 375.328.125,00
				Rp 957.001.050,00

Tabel 5. 13 Harga Perkuatan *Soil Nailing*

	Panjang tulangan (m)	Jumlah (buah)	Harga per m	Harga total
Soil Nailing	4,5	125	Rp 1.059.373,92	Rp 1.042.821.202,50

Tabel 5. 14 Harga Perkuatan *Gabion + Geotextile*

	Luas (m2)	Lebar (m)	Harga per m3	Harga total
Bronjong	8,50	50	Rp 585.000,00	Rp 248.625.000,00
	Panjang (m)	Lebar (m)	Harga per m2	
Geotextile	71,5	50	Rp 303.807,00	Rp 1.086.110.025,00
				Rp 1.334.735.025,00

Untuk detail harga satuan dapat dilihat pada lampiran. Dari ketiga alternatif tersebut maka dapat diketahui bahawa perencanaan paling ekonomis menurut biaya material adalah alternatif *geotextile + subdrain* dengan biaya material sebesar Rp 957.001.050.

BAB VI
KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Perencanaan alternatif perkuatan lereng pada ruas Jalan Tol Surabaya-Mojokerto KM 737+400 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa stabilitas lereng menggunakan program *geoslope* diperoleh data faktor keamanan lereng yaitu pada kondisi asli diperoleh SF = 1,465, sedangkan pada kondisi *behaving like sand* diperoleh SF = 0,503.
2. Berdasarkan hasil korelasi parameter tanah pada subbab sebelumnya memungkinkan bahwa lereng seharusnya dalam kondisi aman, oleh karena itu kelongsoran tersebut diduga terjadi akibat adanya sumber mata air di dekat lokasi tersebut, serta lereng tersebut merupakan daerah galian sehingga muka air akan terus mengalir.
3. Perencanaan geotextile + subdrain, terdiri atas 8 lembar geotextile dengan kekuatan bahan (T_{ult}) sebesar 50 kN/m. Total panjang geotextile adalah 36 m. Subdrain dipasang secara terasering, dibuat untuk mengalirkan air tanah yang terus mengalir dari balik lereng yang nantinya diteruskan ke parit/drainase jalan tol. Untuk dimensi yang digunakan 30 cm x 30 cm.
4. Perencanaan soil nailing, hasil perhitungan soil nailing didapatkan panjang tulangan 4,5 m dengan diameter 25 mm berjumlah 175 buah yang dipasang dengan sudut kemiringan 10˚.
5. Perencanaan gabion + geotextile, dimensi bronjong yang digunakan yaitu 100 cm x 200 cm x 50 cm yang diisi dengan batu kali pecah. Geotextile terdiri atas 11 lembar geotextile dengan kekuatan bahan (T_{ult}) sebesar 200 kN/m. Total panjang geotextile adalah 71,5 m dengan nilai sv yang bervariasi.

6. Total biaya material yang dibutuhkan untuk alternatif menggunakan *geotextile* + *subdrain* adalah Rp 957.001.050, *soil nailing* Rp 1.042.821.202,5, dan *gabion* + *geotextile* adalah Rp 1.334.735.025. Maka dengan perbandingan harga tersebut alternatif yang digunakan adalah perkuatan tanah dengan menggunakan *geotextile* + *subdrain*.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, B. W. (2017). *Alternatif Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar dan Timbunan pada Proyek Jalan Tol Pemalang-Batang Seksi IV STA. 362+550 - STA. 362+625*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dharmawansyah, D. (2010). *Alternatif Perkuatan Lereng pada Jalan Trenggalek - Ponorogo KM 23+650.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Kumalasari, V. (2012). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Lestari, E. (2017). Sistem Drainase Aliran Bawah Tanah untuk Daerah Rawan Longsor (Studi Kasus SUB DAS Sungai Cikapundung, Bandung). *Vol.6 No.1*, 3-5.

Mochtar, N. E. (2012). *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah.* Surabaya: ITS Press.

Prashant, A., & Mukherjee, M. (2010). *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks.* Lucknow: Research Designs and Standards Organization.

Rahmanta, L. M., & Artati, H. K. (n.d.). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Metode Perhitungan Fellenius dan Taylor serta Program Geoslope. 4.

Sianipar, B. R. (2016). *Perencanaan Soldier Pile untuk Perkuatan Lereng Jalan Tol Gempol - Pandaan STA. 6+518 s/d 6+575.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

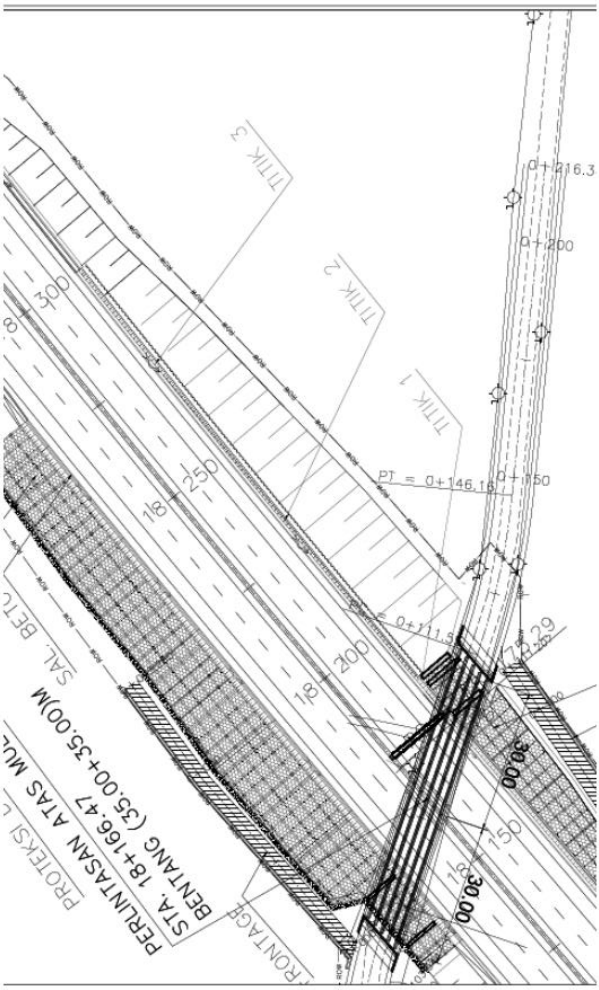
Sinarta, I. N. (2014). Metode Penanganan Tanah Longsor dengan Pemakuan Tanah (Soil Nailing). *PADURAKSA, Volume 3 Nomor 2*, 7-11.

Uyun, N. N. (2017). *Analisa Stabilitas Timbunan Jalan Berdsarkan Instrumen Geoteknik pada Proyek Pembangunan Relokasi Jalan Tol Surabaya–Gempol, Paket 3A STA 40+950 – 42+200: Ruas Porong – Gempol.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

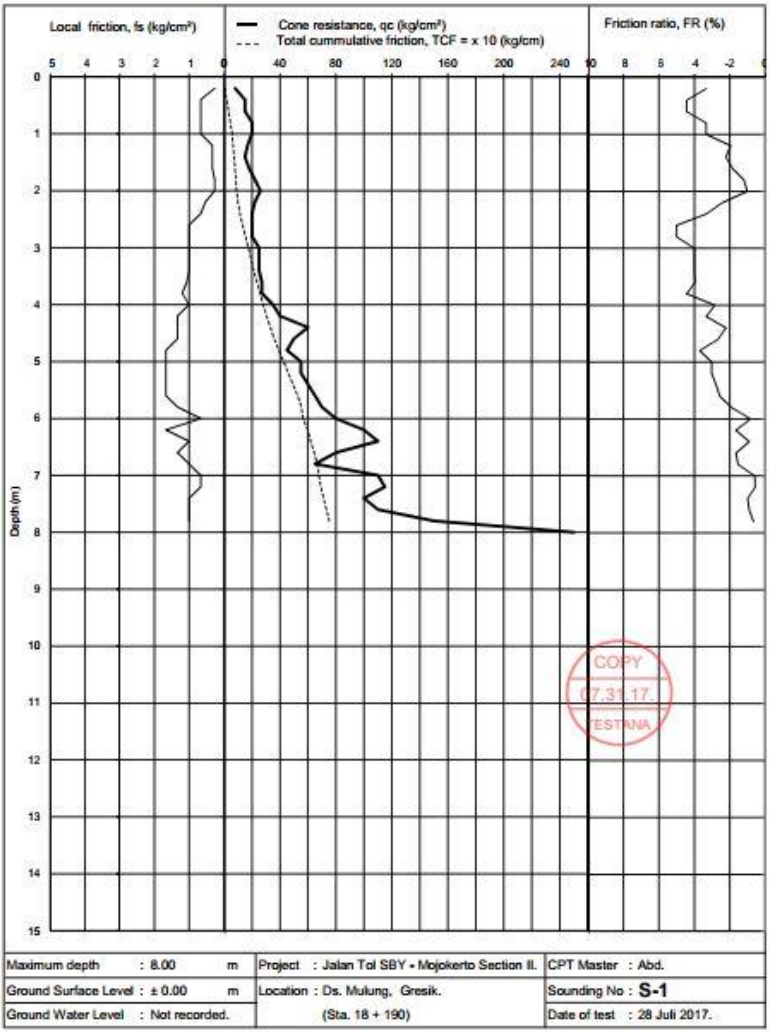
Widyawati, M. O. (2017). *Perencanaan Perkuatan Talud pada Kasus Tanah Longsor di RSUD Balikpapan Menggunakan Ground Anchor dan Soldier Pile.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN 1
DATA PERENCANAAN

Data yang diperoleh pada proyek pembangunan jalan tol Surabaya – Mojokerto Km.737+400.

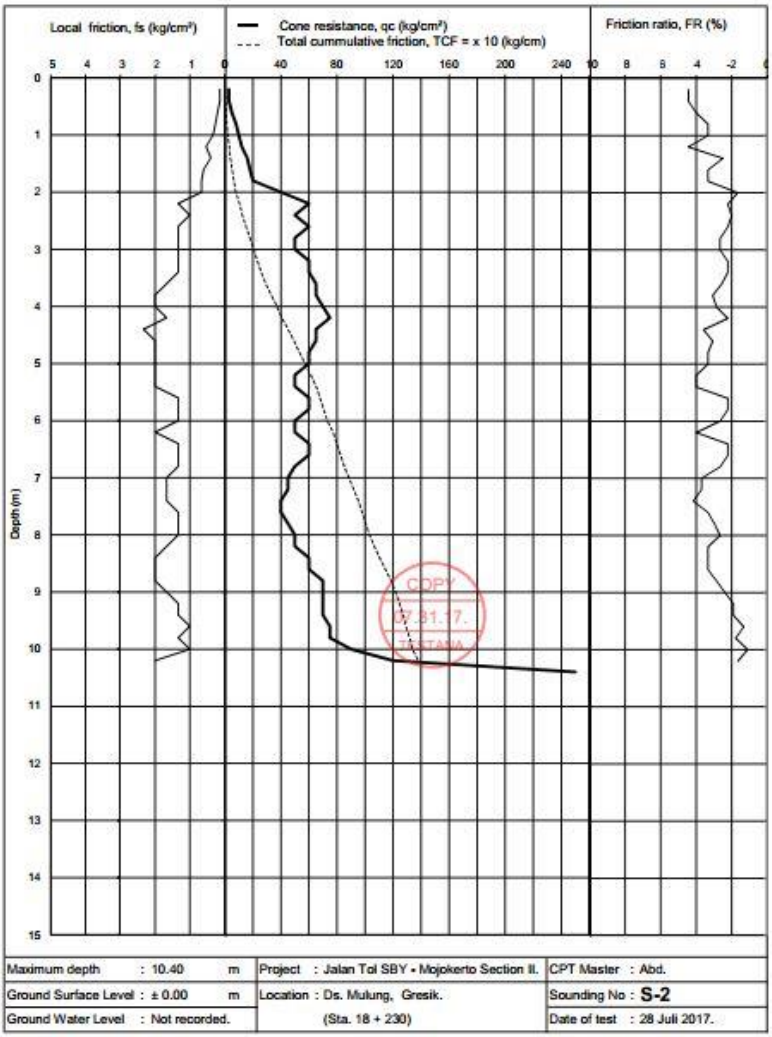


S-1



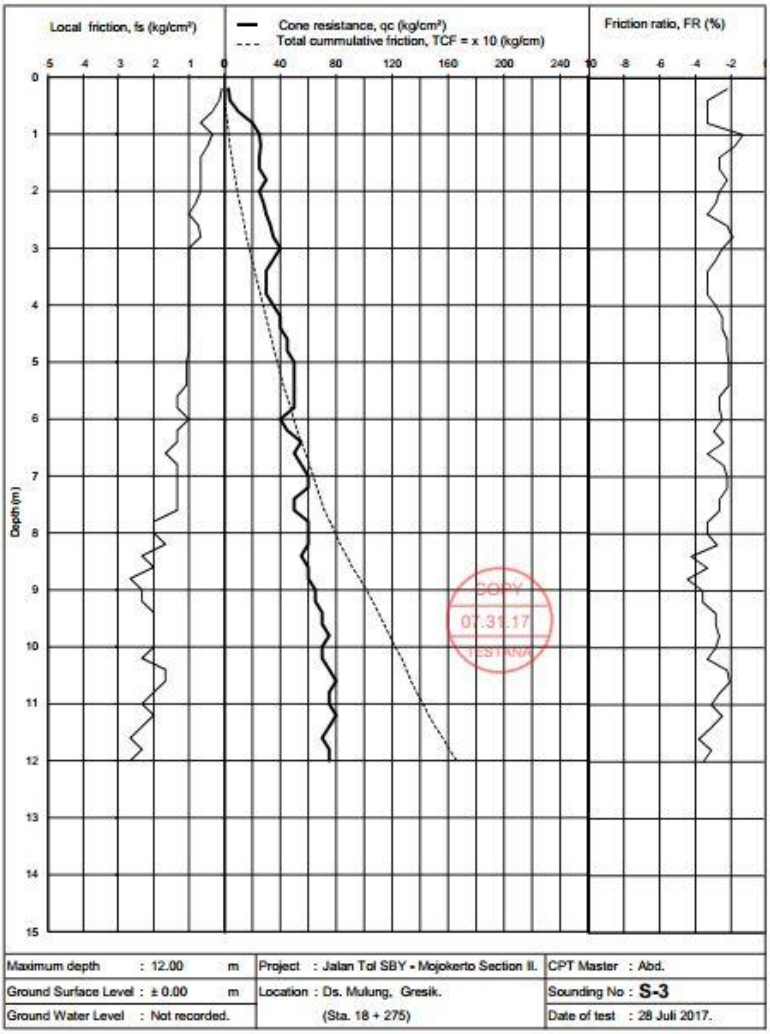
Maximum depth : 8.00 m	Project : Jalan Tol SBY - Mojokerto Section II.	CPT Master : Abd.
Ground Surface Level : ± 0.00 m	Location : Ds. Mulung, Gresik.	Sounding No : **S-1**
Ground Water Level : Not recorded.	(Sta. 18 + 190)	Date of test : 28 Juli 2017.

S-2



Maximum depth : 10.40 m	Project : Jalan Tol SBY - Mojokerto Section II.	CPT Master : Abd.
Ground Surface Level : ± 0.00 m	Location : Ds. Mulung, Gresik.	Sounding No : **S-2**
Ground Water Level : Not recorded.	(Sta. 18 + 230)	Date of test : 28 Juli 2017.

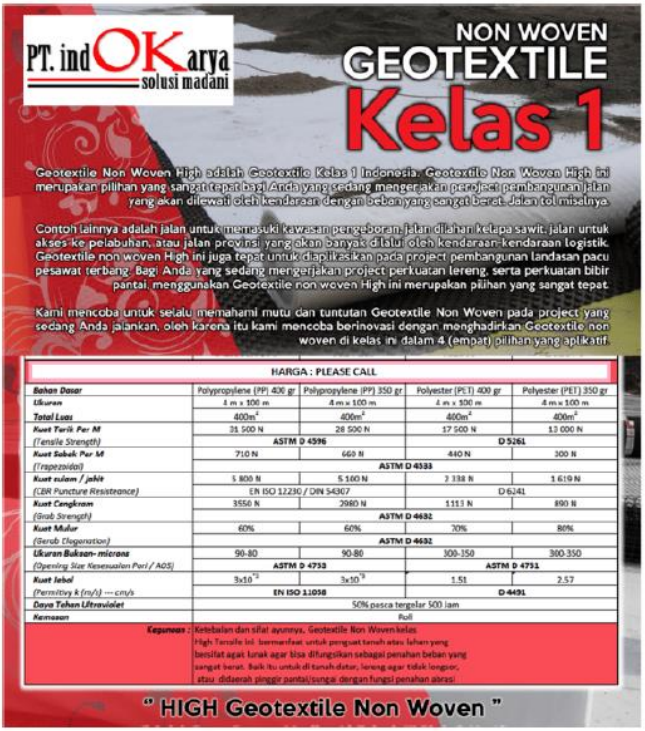
S-3

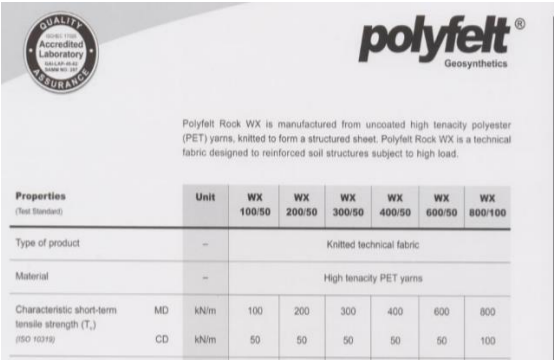


Maximum depth : 12.00 m	Project : Jalan Tol SBY - Mojokerto Section II.	CPT Master : Abd.
Ground Surface Level : ± 0.00 m	Location : Ds. Mulung, Gresik.	Sounding No : **S-3**
Ground Water Level : Not recorded.	(Sta. 18 + 275)	Date of test : 28 Juli 2017.

LAMPIRAN 2

Brosur *geotextile*

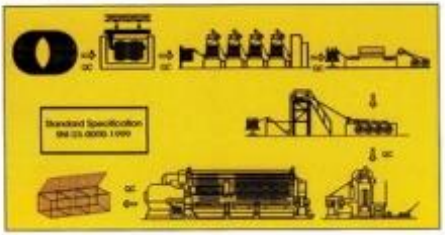




Brosur *gabion*

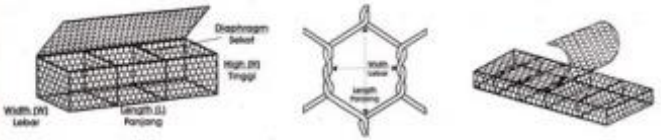
SNI 03-0090-1999 Bronjong Kawat

FLOW OF PROCESS — ALIRAN PROSES



DESCRIPTIONS AND SPECIFICATIONS

GABIONS (BRONJONG KAWAT) | MESH (LUBANG ANYAMAN) | MATTRESS (MATRAS)



GABION (BRONJONG KAWAT) SNI 03-0090-1999					HEAVY ZINC COATED STEEL WIRE (KAWAT BRONJONG) SNI 03-6154-1999			
DIMENSION (m)			DIAPHRAGMS	MESH	WIRE DIA.	ZINC COATING	TENSILE STRENGTH	ELONGATION
L	W	H	(unit)	(mm)	(mm)	min. (g/m²)	min. (kg/mm²)	min. (%)
2	1	1	1	80 x 100 & 100 x 120	2.70 / 3.40 & 3.00 / 4.00	260 / 275 & 275 / 290	41	12
3	1	1	2					
4	1	1	3					
2	1	0.5	1					
3	1	0.5	2					
4	1	0.5	3					

MATTRESS (MATRAS)					HEAVY ZINC COATED STEEL WIRE (KAWAT BRONJONG) SNI 03-6154-1999			
DIMENSION (m)			DIAPHRAGMS	MESH	WIRE DIA.	ZINC COATING	TENSILE STRENGTH	ELONGATION
L	W	H	(unit)	(mm)	(mm)	min. (g/m²)	min. (kg/mm²)	min. (%)
3	2	0.3	2	60 x 80	2.00 / 2.20	240	41	12
4	2	0.3	3					
5	2	0.3	5					

PVC GABIONS & MATTRESS / BRONJONG KAWAT & MATRAS BERLAPIS PVC

HEAVY ZINC COATED STEEL WIRE with PVC COATED			
WIRE DIA. (mm)	TENSILE STRENGTH min. (kg/cm²)	ELONGATION (%)	SPECIFIC GRAVITY (kg/dm³)
INCREASE AROUND 1.00	210	200 - 280	1.30 – 1.35

We also produce the other dimension gabions (Non SNI) with heavy zinc coated steel wire SNI 03-6154-1999 / Kami juga memproduksi bronjong kawat ukuran lain (Non SNI), dengan tetap menggunakan kawat bronjong sesuai SNI 03-6154-1999.

Harga Satuan *Geotextile*

P.09 Pasangan geotekstil

a) Pemasangan geotekstil (1 m^2), Tipe-A

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	0,100		
2	Tukang tembok/gali	L.02	OH	0,020		
3	Mandor	L.04	OH	0,010		
				Jumlah Harga Tenaga Kerja		
B	Bahan					
1	Geotekstil	M.122.a	m^2	1,050		
				Jumlah Harga Bahan		
C	Peralatan					
				Jumlah Harga Peralatan		
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead + Profit (Contoh 15%)			15% x D		
F	**Harga Satuan Pekerjaan per - m^2 (D+E)**					

b) Pemasangan geotekstil (1 m^2), Tipe-B

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	0,160		
2	Tukang tembok/gali	L.02	OH	0,032		
3	Mandor	L.04	OH	0,016		
				Jumlah Harga Tenaga Kerja		
B	Bahan					
1	Geotekstil	M.122.b	m^2	1,080		
				Jumlah Harga Bahan		
C	Peralatan					
				Jumlah Harga Peralatan		
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead + Profit (Contoh 15%)			15% x D		
F	**Harga Satuan Pekerjaan per - m^2 (D+E)**					

c) Pemasangan geotekstil (1 m^2), Tipe-C

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	2	3	4	5	6	7
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	0,240		
2	Tukang tembok/gali	L.02	OH	0,048		
3	Mandor	L.04	OH	0,024		
				Jumlah Harga Tenaga Kerja		
B	Bahan					
1	Geotekstil	M.122.c	m^2	1,100		
				Jumlah Harga Bahan		
C	Peralatan					
				Jumlah Harga Peralatan		
D	Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					
E	Overhead + Profit (Contoh 15%)			15% x D		
F	**Harga Satuan Pekerjaan per - m^2 (D+E)**					

2.9	**Pasangan Geotekstil**			
2.9.1	Pemasangan Geotekstil (1 m2) Tipe-A	m2	P.09a	80,442.50
2.9.2	Pemasangan Geotekstil (1 m2), Tipe-B	m2	P.09b	162,449.00
2.9.3	Pemasangan Geotekstil (1 m2), Tipe-C	m2	P.09c	303,807.00

Harga Satuan *Soil Nailing*

Analisa EI-SS7103

FORMULIR STANDAR UNTUK
PEREKAMAN ANALISA MASING-MASING HARGA SATUAN

PAKET	:		
No. PAKET KONTRAK	:		
NAMA PAKET	:		
PROP / KAB / KODYA	:		
ITEM PEMBAYARAN NO.	: SS. 7(10)3	PERKIRAAN VOL. PEK.	: 0.00
JENIS PEKERJAAN	: Soil Nailing	TOTAL HARGA (Rp.)	: 0.00
SATUAN PEMBAYARAN	: M'	% THD. BIAYA PROYEK	: -

NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A.	**TENAGA**				
1.	Pekerja (L01)	jam	0.9825	4,657.31	4,575.68
2.	Tukang (L02)	jam	0.2456	6,088.57	1,495.46
3.	Mandor (L03)	jam	0.1228	7,281.29	894.21
				JUMLAH HARGA TENAGA	6,965.34
B.	**BAHAN**				
1	Beton K-250	M3	0.2189	823,265.80	180,212.88
2	Baja Tulangan	Kg	15.2160	8,500.00	129,336.00
3	Additive	Ltr	0.6000	50,000.00	30,000.00
				JUMLAH HARGA BAHAN	339,548.88
C.	**PERALATAN**				
1	Concrete Mixer	jam	0.0000		0.00
2	Water Tank Truck	jam	3.9375	131,467.37	517,647.99
3	Drilling Machine	jam	0.0417	200,000.00	8,333.33
4	Compressor	jam	0.0614	82,035.29	5,037.33
5	Generatorset (Genset)	jam	0.0614	230,331.53	14,143.38
6	Grouting Pump/Shot Machine	jam	0.1228	177,941.83	21,852.84
7	Casing	jam	0.0614	64,816.10	3,980.00
8	Tremy Pipe	jam	0.0614	60,021.99	3,685.62
9	Alat Bantu	Ls	1.0000	0.00	0.00
				JUMLAH HARGA PERALATAN	574,680.49
D.	JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)				921,194.72
E.	OVERHEAD & PROFIT 15.0 % x D				138,179.21
F.	HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)				**1,059,373.92**

Harga Satuan *Gabion*

1 M3 Pekerjaan Bronjong

a. Membuat Bronjong Kawat

Kawat Bronjong	1,000	bh	x	Rp.	300.000,00	=	Rp.	300.000,00
Pekerja	0,500	Hr	x	Rp.	70.000,00	=	Rp.	35.000,00
Mandor	0,050	Hr	x	Rp.	100.000,00	=	Rp.	5.000,00
Batu Gunung / Kali	1,400	M3	x	Rp.	175.000,00	=	Rp.	245.000,00
				Jumlah		=	**Rp.**	**585.000,00**

LAMPIRAN 3
ANALISA DATA TANAH

Tabel Biarez Favre

SIFAT TANAH		γd g/cm³	γd lb.cb.ft	e	n	Wsat %	γ sat g/cm³	Cv cm²/s	Cv ft²/year
silt clay	lumak	0,5	31,25	4,4	0,8	163	1,31	10^{-5}	
		0,6	37,5	3,5	0,78	129,6	1,38		
		0,7	43,75	2,86	0,74	105,8	1,44	1×10^{-4}	3,4
		0,8	50	2,38	0,7	88	1,5	2×10^{-4}	6,8
		0,9	56,25	2	0,67	74,1	1,57	3×10^{-4}	10,1
								4×10^{-4}	11,1
	rata - rata	1	62,5	1,7	0,63	63	1,63	5×10^{-4}	16,9
		1,1	58,85	1,45	0,59	53,9	1,69	6×10^{-4}	20,3
		1,2	75	1,25	0,56	46,3	1,76	7×10^{-4}	23,6
		1,3	81,25	1,08	0,52	39,9	1,82	8×10^{-4}	27
		1,4	87,5	0,93	0,48	34,4	1,88	9×10^{-4}	30,4
		1,5	93,75	0,8	0,44	29,6	1,94	10^{-3}	338
	sand	1,6	100	0,69	0,41	25,5	2,04		
		1,7	106,25	0,59	0,37	21,8	2,07		
		1,8	112,5	0,5	0,33	18,5	2,13	10^{-2}	338
		1,9	118,75	0,42	0,3	15,6	2,2		
Gravel, Sand								10^{-1}	338
		2	125	0,35	0,26	13	2,26		
		2,1	131,25	0,29	0,22	10,6	2,32		
		2,2	137,5	0,23	0,19	8,4	2,39		
	Gravel	2,3	143,75	0,17	0,15	6,4	2,45		
		2,4	150	0,13	0,11	4,63	2,51		
		2,5	156,25	0,08	0,074	2,96	2,57		
		2,6	162,5	0,038	0,037	1,42	2,64		
		2,7	168,75	0	0	0	2,7		

Hasil Korelasi Parameter Tanah pada Titik S-1

Kedalaman (m)	Deskripsi	Konsistensi	qc (kg/cm2)	N-SPT	ɣsat (kN/m3)	ɣd (kN/m3)	Ws (%)	e	n	Gs	Cu (Kpa)	ϕ
0 - 0.2	Lempung Berlanau	Very Soft	7.5	2	16	9.5	68.55	1.85	0.64912	2.71	12.5	2
0.4 - 1.4		Soft	17	5	17	10.9	52.81	1.475	0.59596	2.7325	26.25	5
1.6	Pasir Berlanau	Very Loose	18	3	14	6.3	121.67	3.31	0.76798	2.724	0	21
1.8 - 2.2		Loose	23	4	15	8	88	2.38	0.70414	2.69	0	28
2.4 - 4.2	Lempung Berlanau	Medium	26.3	7	16.22	9.9	64.48	1.73	0.63	2.70	35.42	7
4.4 - 5.8		Stiff	57.5	15	18	12.7	42.03	1.13	0.53052	2.704	75	15
6		Very Stiff	80	22	18.67	13.8	35.59	0.96	0.4898	2.69932	133.33	22
6.2 - 7.6	Pasir Berlanau	Medium	98.75	30	17.5	11.9	47.39	1.27	0.55947	2.7025	0	36
7.8		Dense	150	40	20	15.6	27.14	0.73	0.42197	2.73	0	38.5

Hasil Korelasi Parameter Tanah pada Titik S-2

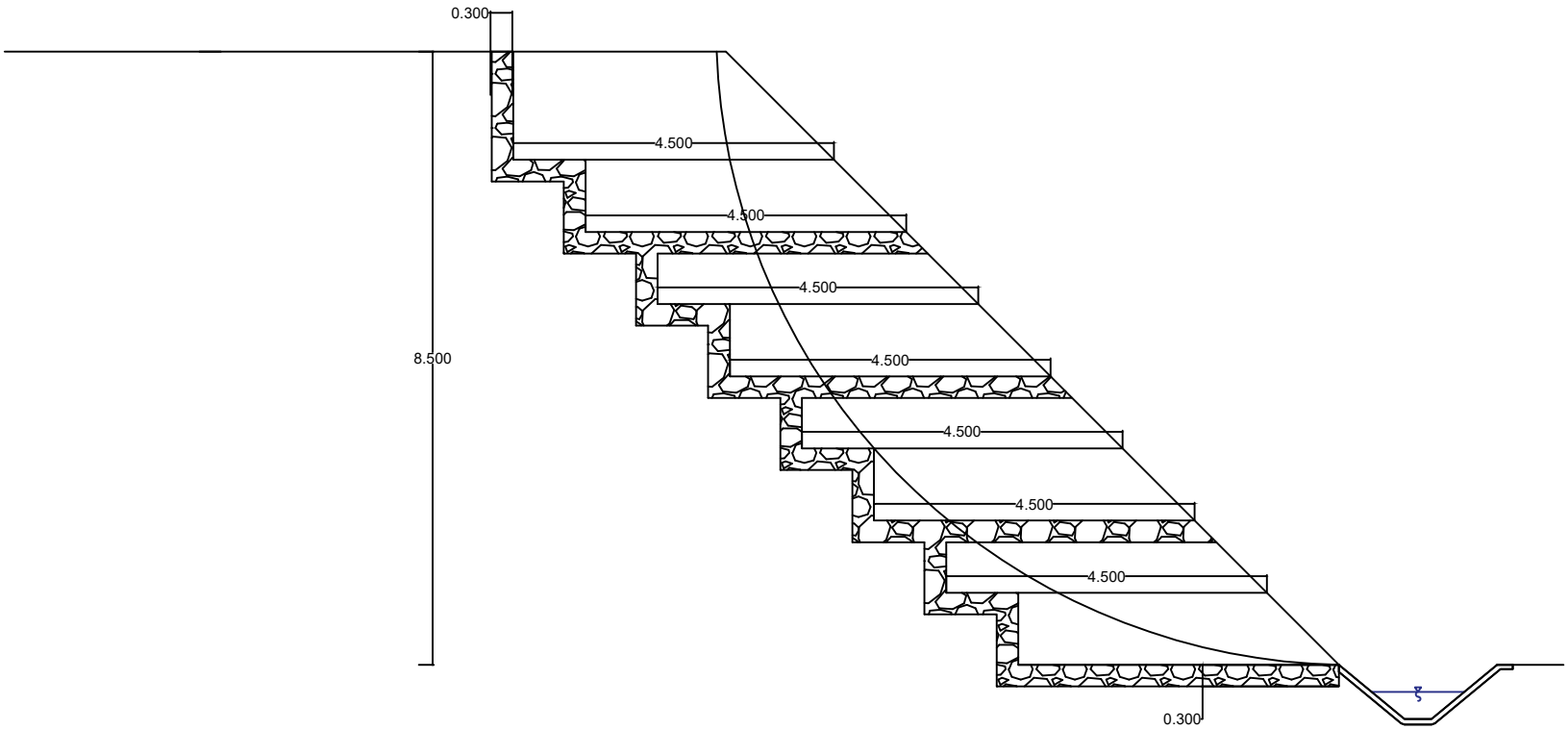
Kedalaman (m)	Deskripsi	Konsistensi	qc (kg/cm2)	N-SPT	ɣsat (kN/m3)	ɣd (kN/m3)	Ws (%)	e	n	Gs	Cu (Kpa)	ϕ
0 - 1	Lempung Berlanau	Very Soft	5.6	2	16	9.5	68.55	1.85	0.64912	2.71	12.5	2
1.2 - 1.8		Soft	16.75	5	17	10.9	52.81	1.475	0.59596	2.7325	26.25	5
2 - 9.4		Stiff	56.842	15	18	12.7	42.03	1.13	0.53052	2.704	75	15
9.6 - 10	Pasir Berlanau	Medium	80	22	19.6	15.2	28.78	0.78	0.4382	2.7088	0	33.6
10.2		Dense	130	36	19	14.3	32.8	0.89	0.4709	2.701	0	37.5

Hasil Korelasi Parameter Tanah pada Titik S-3

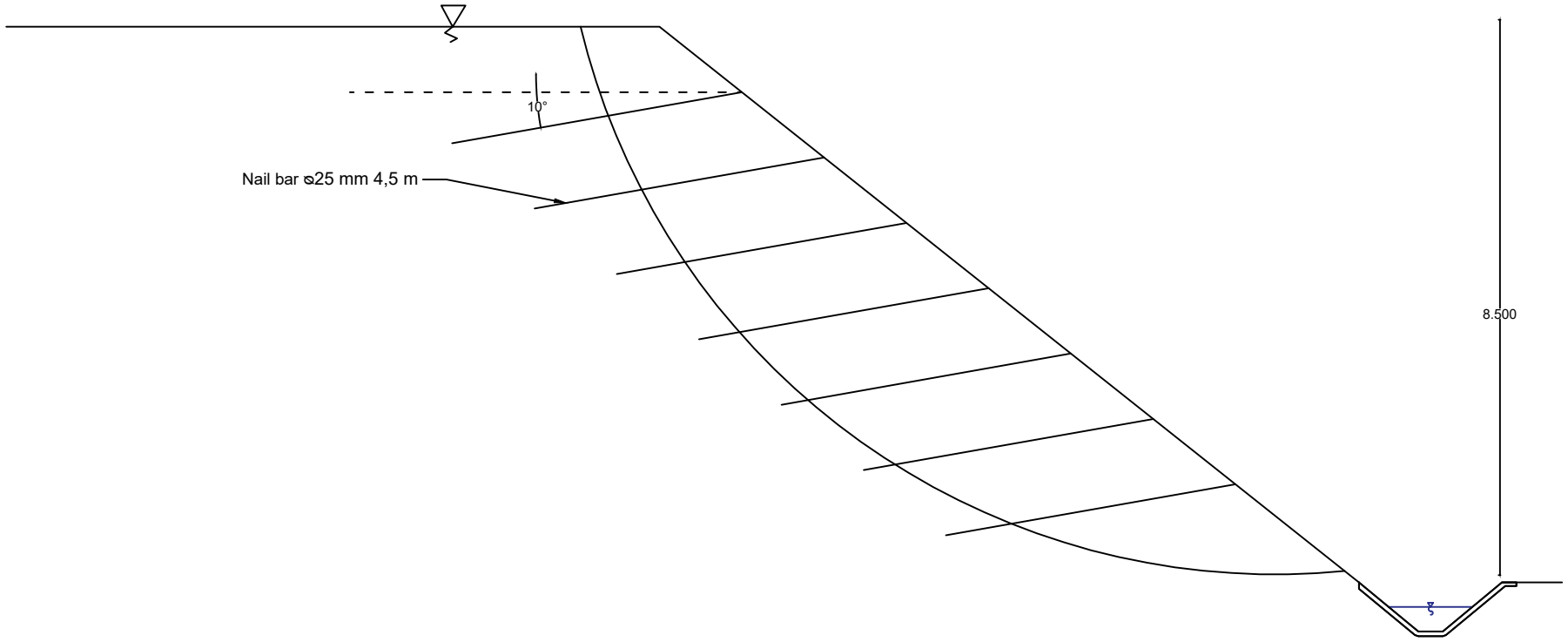
Kedalaman (m)	Deskripsi	Konsistensi	qc (kg/cm2)	N-SPT	ɣsat (kN/m3)	ɣd (kN/m3)	Ws (%)	e	n	Gs	Cu (Kpa)	ϕ
0 - 0.4	Lempung Berlanau	Very Soft	3.75	1	15	8	88	2.38	0.70414	2.69	6.25	1
0.6 - 0.8		Soft	15	4	16	9.5	68.55	1.85	0.64912	2.71	21.67	4
1 - 4.4		Medium	31.17	8	16.44	10.2	60.88	1.65	0.62264	2.7066	40	8
4.6 - 10.4		Stiff	57.33	15	18	12.7	42.03	1.13	0.53052	2.704	75	15
10.6 - 11.4		Very Stiff	77	21	18.22	13.5	39.72	1.005	0.50125	2.64811	125	21
11.6 - 12		Stiff	73.33	20	17.78	13.1	44.38	1.065	0.51574	2.60657	116.67	20

Perhitungan F_{SG}

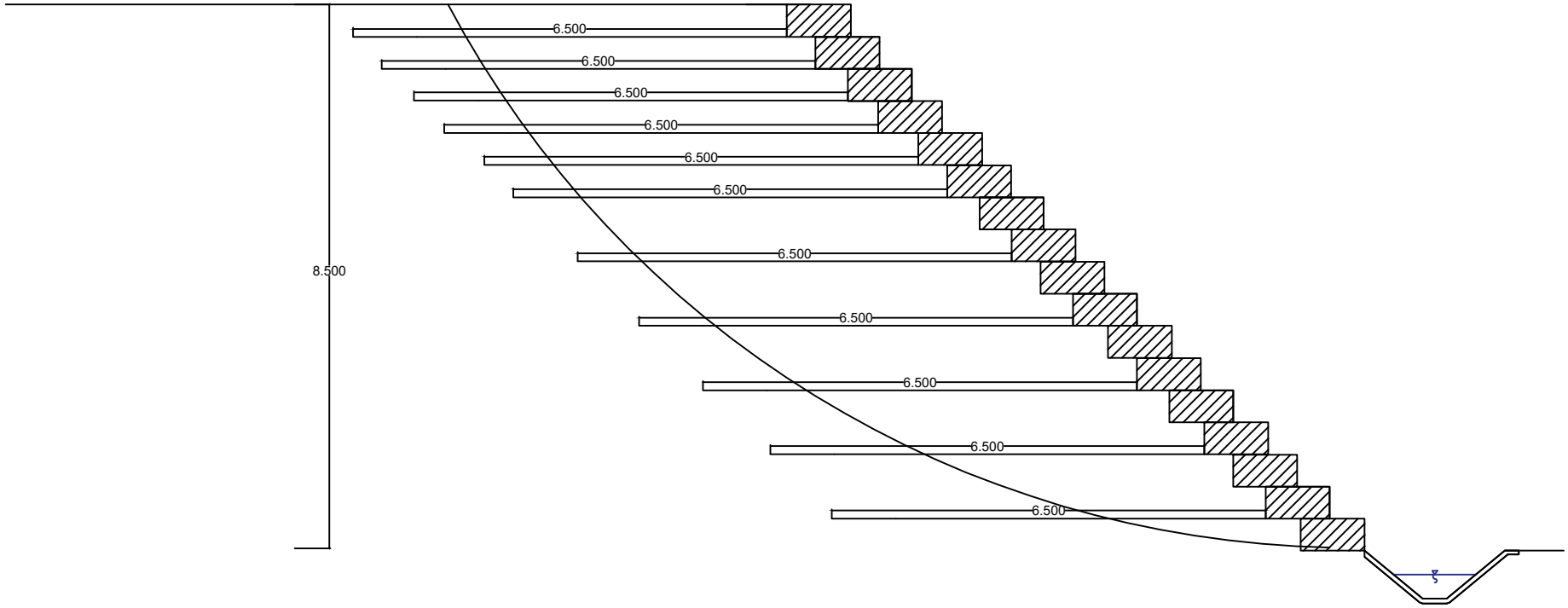
Slice	Tanah	A (m2)	ɣ (kN/m3)	ϕ	W (kN/m)	Wtotal	α	SF (Wsinα)	N	Tn (kN)	C+N tan ϕ	W sin α - Tn
1	1	0,860	16	15	13,755	16,141	61	14,117	7,825	0,498	2,543	13,955
	2	0,170	14	21	2,386							
2	1	0,838	16	15	13,414	26,530	58	22,499	14,059	0,720	4,298	22,229
	2	0,490	14	21	6,861							
	3	0,386	16,22	15	6,254							
3	1	0,724	16	15	11,576	42,734	49	32,252	28,036	0,448	8,571	32,021
	2	0,637	14	21	8,912							
	3	1,372	16,22	15	22,246							
4	1	0,222	16	15	3,549	56,264	43	38,372	41,149	0,338	12,580	38,168
	2	0,742	14	21	10,381							
	3	2,610	16,22	15	42,334							
5	2	0,260	14	21	3,634	74,780	35	42,892	61,257	0,270	27,273	42,702
	3	4,273	16,22	15	69,302							
	4	0,105	17,5	36	1,845							
6	3	4,438	16,22	15	71,991	95,453	26	41,844	85,793	0,965	40,921	41,063
	4	1,341	17,5	36	23,462							
7	3	2,863	16,22	15	46,443	100,946	16	27,825	97,036	2,170	46,284	25,874
	4	3,115	17,5	36	54,504							
8	3	0,408	16,22	15	6,618	66,086	8	9,197	65,443	0,000	31,215	9,197
	4	3,398	17,5	36	59,469							
9	4	2,109	17,5	36	36,915	36,915	-5	-3,217	36,774	0,000	26,718	-3,217



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER 2020	NAMA TUGAS	JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA GAMBAR	NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR	SATUAN GAMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP
	TUGAS AKHIR (RC18 - 4803)	PERENCANAAN ALTERNATIF PERKUATAN LERENG PADA JALAN TOL SURABAYA-MOJOKERTO KM 737+400.	PERENCANAAN GEOTEXTILE + SUBDRAIN	1 : 100	1	3	m	Prof. Ir. Indrasurya B.M, M.Sc, Ph.D Musta'in Arif, S.T., M.T.	FAIZAL LUTHFI DWI KUSUMA 03111640000076



	NAMA TUGAS	JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA GAMBAR	NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR	SATUAN GAMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER 2020	TUGAS AKHIR (RC18 - 4803)	PERENCANAAN ALTERNATIF PERKUATAN LERENG PADA JALAN TOL SURABAYA-MOJOKERTO KM 737+400.	PERENCANAAN SOIL NAILING	1 : 100	2	3	m	Prof. Ir. Indrasurya B.M, M.Sc, Ph.D Musta'in Arif, S.T., M.T.	FAIZAL LUTHFI DWI KUSUMA 03111640000076



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER 2020	NAMA TUGAS	JUDUL TUGAS AKHIR	NAMA GAMBAR	SKALA GAMBAR	NOMOR GAMBAR	JUMLAH GAMBAR	SATUAN GAMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP
	TUGAS AKHIR (RC18 - 4803)	PERENCANAAN ALTERNATIF PERKUATAN LERENG PADA JALAN TOL SURABAYA-MOJOKERTO KM 737+400.	PERENCANAAN GABION + GEOTEXTILE	1 : 100	3	3	m	Prof. Ir. Indrasurya B.M, M.Sc, Ph.D Musta'in Arif, S.T., M.T.	FAIZAL LUTHFI DWI KUSUMA 03111640000076

BIODATA PENULIS

Faizal Luthfi Dwi Kusuma di Semarang, 2 Mei 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDIT BIAS Klaten dan lulus pada tahun 2010, SMPN 2 Klaten dan lulus pada tahun 2013, dan SMAN 1 Yogyakarta dan lulus pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis mengikuti Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan Jurusan Teknik Sipil FTSPK, terdaftar dengan NRP 03111640000076.

Di jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian ITS, pada semester tujuh penulis mengambil bidang peminatan Geoteknik. Penulis sempat aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Sipil ITS bidang Media, Data, dan Informasi selama 2 periode dan juga aktif pada beberapa kegiatan seminar maupun kemahasiswaan yang diselenggarakan oleh jurusan maupun Himpunan Mahasiswa Sipil ITS.

e-mail : luthfidkusuma@gmail.com