



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**PERENCANAAN PERKUATAN LERENG
MENGUNAKAN *SOIL NAILING* UNTUK
MENGATASI KELONGSORAN PADA JALAN TOL
GEMPOL-PANDAAN STA. 6+400 s/d 6+525**

ROSITA EKA APRILYANTI
NRP. 0311154000071

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Dosen Pembimbing II
Putu Tantri Kumala Sari, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR (RC18-4803)
PERENCANAAN PERKUATAN LERENG
MENGGUNAKAN *SOIL NAILING* UNTUK
MENGATASI KELONGSORAN PADA JALAN TOL
GEMPOL-PANDAAN STA. 6+400 s/d 6+525

ROSITA EKA APRILYANTI
NRP. 0311154000071

Dosen Pembimbing I
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Dosen Pembimbing II
Putu Tantri Kumala Sari, ST., MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



FINAL PROJECT (RC18-4803)
DESIGN OF SLOPE REINFORCEMENT USING SOIL
NAILING TO RESOLVE LANDSLIDE AT GEMPOL-
PANDAAN HIGHWAYS STA. 6+400 TO STA.6+525

ROSITA EKA APRILYANTI
NRP. 0311154000071

Academic Supervisor I
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi

Academic Supervisor II
Putu Tantri Kumala Sari, ST., MT

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering, Environment, and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya
2019

**PERENCANAAN PERKUATAN LERENG
MENGUNAKAN *SOIL NAILING* UNTUK
MENGATASI KELONGSORAN PADA JALAN TOL
GEMPOL-PANDAAN STA. 6+400 s/d 6+525**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ROSITA EKA APRILYANTI
NRP. 031 115 4000 0071

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi (.....)
2. Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T. (.....)

**SURABAYA
JULI, 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERENCANAAN PERKUATAN LERENG MENGUNAKAN *SOIL NAILING* UNTUK MENGATASI KELONGSORAN PADA JALAN TOL GEMPOL-PANDAAN STA. 6+400 s/d 6+525

Nama Mahasiswa : Rosita Eka Aprilyanti
NRP : 03111540000071
Departemen : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi
2. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

Abstrak

Jalan Tol Gempol-Pandaan merupakan bagian dari Jalan Tol Surabaya-Malang. Sebelum diresmikan, terjadi beberapa kali kelongsoran pada lereng jalan tol yang menyebabkan jalur transportasi terganggu. Kelongsoran yang terjadi baru-baru ini adalah di STA. 6+400 s/d STA. 6+525. Perbaikan yang dilakukan adalah dengan menggunakan bored pile, namun bored pile memiliki kekurangan yang salah satunya adalah ketidakseragaman mutu beton karena pengaruh air tanah pada saat pengecoran. Oleh karena itu, akan dilakukan perencanaan perkuatan ulang dengan menggunakan metode alternatif yaitu soil nailing.

Soil nailing adalah metode perkuatan yang bekerja menahan dorongan tanah yang longsor dengan memasukkan batang tulangan kedalam tanah. Soil nailing digunakan karena cocok dengan kondisi lereng di Jalan Tol Gempol-Pandaan yang merupakan hasil cut and fill. Selain sebagai perkuatan lereng, soil nailing juga berfungsi sebagai perlindungan terhadap erosi karena permukaan lereng tersebut akan menggunakan finishing berupa beton. Permukaan lereng yang akan tertutup beton mengakibatkan air sulit untuk keluar dari tanah sehingga perlu direncanakan subdrain untuk mengalirkan air. Hasil perencanaan ini akan dibandingkan dengan metode yang telah digunakan yaitu bored pile dari segi material.

Dari hasil perencanaan perkuatan lereng tersebut didapatkan hasil bahwa soil nailing hanya dapat mengatasi kelongsoran internal, sedangkan menurut hasil analisa lereng menggunakan software, masih ada overall stability yang harus dipertimbangkan karena memiliki angka safety factor yang belum memenuhi standar. Oleh karena itu dipilih metode perkuatan alternatif lain yaitu ground anchor. Hasil perencanaan ground anchor menunjukkan bahwa dibutuhkan 4 ankur per meter panjang lereng dengan panjang ankur antara 20 sampai 30 meter.

Hasil perencanaan ground anchor kemudia dibandingkan dengan perkuatan yang sudah ada di lapangan yaitu bored pile. Menurut kebutuhan material dan harga, bored pile (Rp 3.457.494.800) masih lebih murah dibandingkan dengan ground anchor (Rp 4.774.950).

Kata kunci: *Perkuatan lereng, soil nailing, ground anchor, bored pile.*

DESIGN OF SLOPE REINFORCEMENT USING SOIL NAILING TO RESOLVE LANDSLIDE AT GEMPOL-PANDAAN HIGHWAYS STA. 6+400 TO STA.6+525

Student Name : Rosita Eka Aprilyanti
Student Number : 0311154000071
Department : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Supervisors : 1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi
2. Putu Tantri Kumala S., S.T. M.T.

Abstract

Gempol-Pandaan Toll Road is part of the Surabaya-Malang Toll Road. Before it was inaugurated, there were several landslides on the slopes of the toll road which caused transportation activity to be disrupted. The recent landslide is at STA. 6 + 400 to STA. 6 + 525. Improvements are made using bored pile, but bored pile has disadvantages, one of which is the lack of uniform quality of concrete due to the influence of ground water while in casting process. Therefore, re-reinforcement planning will be carried out using alternative methods, namely soil nailing.

Soil nailing is a reinforcing method that works by resisting the soil mass by inserting reinforcement rods into the ground. Soil nailing is used because it matches the slope conditions on the Gempol-Pandaan Toll Road which is the result of cut and fill. Aside from being a slope reinforcement, soil nailing also functions as a protection against erosion because the surface of the slope will use finishing in the form of concrete. The surface of the slope which will be covered with concrete will make it difficult for water to get out of the ground so a subdrain system is needed to drain the water. The

results of this plan will be compared with the method that has been used, which is bored pile, in terms of material.

From the results of the slope reinforcement calculation, the results show that soil nailing can only overcome internal landslides, whereas according to the results of slope analysis using software, there is still overall stability that must be considered because it has a safety factor value that does not meet the standard. Therefore another alternative method is chosen, which is ground anchor. The results of the ground anchor calculation show that it takes 4 anchors per meter long slope with a length of anchor between 20 to 30 meters to strengthen the slope.

The results of the ground anchor designs and calculations are then compared to the existing reinforcement in the field which is bored pile. According to material requirements and prices, bored pile (Rp. 3,457,494,800) is still cheaper compared to ground anchor (Rp. 4,774,950).

Keywords: Slope reinforcement, soil mailing, ground anchor, bored pile.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul “Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Soil Nailing untuk Mengatasi Kelongsoran pada Jalan Tol Gempol-Pandaan STA. 6+400 s/d STA. 6+525”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan di Departemen Teknik Sipil, FTSLK-ITS.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam membimbing dan memberikan dukungan moral. Ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada:

1. Orang tua dan keluarga Penulis yang selalu memberikan dukungan moral dan materi serta motivasi
2. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi dan Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing
3. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka sebagai dosen wali Penulis.
4. Seluruh dosen pengajar dan staff karyawan di Departemen Teknik Sipil
5. Teman-teman dari ANTO yang memberikan semangat dan bantuan kepada penulis
6. Hinata Shoyo, Nishinoya Yuu, Wei Wuxian dan anggota dari *Hypnosis Mic* yang memberikan motivasi kepada Penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, baik dari tata bahasa, susunan kalimat maupun isi. Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati, penulis selaku penyusun menerima segala kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat menjadi manfaat yang nyata untuk bangsa dan negara.

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I LATAR BELAKANG	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penyelidikan Tanah di Lapangan	5
2.2 Tekanan Tanah Lateral	6
2.2.1 Tekanan Tanah Aktif	7
2.2.2 Tekanan Tanah Pasif	10
2.3 Analisa Stabilitas Lereng	12
2.4 Subdrain untuk Mengalirkan Air Keluar dari Lereng .	14
2.5 Soil Nailing	14
2.5.1 Stabilitas Eksternal dari Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	15
2.5.2 Stabilitas Internal dari Lereng dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	21
2.6 Desain Struktur Permukaan Lereng	24
2.7 <i>Bore Pile</i>	30
BAB III METODOLOGI	33
3.1 Bagan Alir Tahapan Perencanaan	33
3.2 Uraian Tahapan Perencanaan	34
BAB IV ANALISA DATA	37
4.1 Analisa Data Tanah dan Lereng	37
4.1.1 Kondisi Tanah	37
4.1.2 Korelasi Data Tanah	40

4.1.3	Analisa Kondisi Lereng	47
4.2	Analisa Stabilitas Lereng.....	50
4.2.1	Analisa Stabilitas Lereng dengan Data Tanah Hasil Koreksi	50
4.2.2	Analisa Stabilitas Lereng dengan Data Tanah Tanpa Koreksi	62
BAB V PERENCANAAN SUBDRAIN DAN PERKUATAN LERENG		65
5.1	Perencanaan Subdrain.....	65
5.2	Perkuatan Lereng Menggunakan <i>Soil Nailing</i>	76
5.2.1	Perkuatan Lereng STA 6+520	76
5.2.2	Perkuatan Lereng STA 6+500	87
5.2.3	Perkuatan Lereng STA 6+475	95
5.3	Perkuatan Lereng Menggunakan <i>Ground Anchor</i>	105
5.4	Analisa Kebutuhan Material dan Biaya.....	109
5.4.1	Analisa Kebutuhan dan Biaya Material <i>Ground Anchor</i>	109
5.4.2	Analisa Kebutuhan dan Biaya Material <i>Bored Pile</i>	110
BAB VI KESIMPULAN		113
DAFTAR PUSTAKA		115
LAMPIRAN		117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi longsor kedua.....	2
Gambar 2.1 Jenis tekanan tanah berdasarkan arah gerakan struktur penahan tanah (Sumber: Das, 2010).....	6
Gambar 2.2 Lingkaran Mohr tekanan tanah aktif	8
Gambar 2.3 Resultan tanah aktif (Sumber: Das, 2010).....	9
Gambar 2.4 Tanah dengan permukaan miring di belakang struktur penahan tanah (Sumber: Das, 2010).....	10
Gambar 2.5 Lingkaran Mohr tekanan tanah pasif	11
Gambar 2.6 Resultan tekanan tanah pasif (Sumber: Das, 2010).....	12
Gambar 2.7 Kelongsoran lereng (Sumber: Das, 1995)	13
Gambar 2.8 Drainase lereng (Sumber: igs-uk.org)	14
Gambar 2.9 Kestabilan lereng dengan metode Bishop	16
Gambar 2.10 Stabilitas geser untuk lereng yang diperkuat dengan soil nailing (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)	17
Gambar 2.11 Lapisan keras tebal di bawah tanah lunak (Sumber: Prashant dan Mukherjee).....	19
Gambar 2.12 Lapisan keras tipis di bawah tanah lunak (Sumber: Prashant dan Mukherjee).....	20
Gambar 2.13 Faktor NC untuk analisa pada tanah kohesif ($\phi = 0$, $c = Su$) (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)	20
Gambar 2.14 Kegagalan cabut pada soil nailing (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010).....	22
Gambar 2.15 Skema lokasi dari gaya tarik maksimum soil nail (Sumber: Prashant dan Mukherjee).....	23
Gambar 2.16 Ilustrasi penulangan (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)	26
Gambar 2.17 Kegagalan punching shear (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)	28
Gambar 2.18 Sambungan head-stud struktur penahan permanen (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)	29
Gambar 3.1 Diagram alir tahapan perencanaan	34
Gambar 4.1 Lokasi kelongsoran (Sumber: PT Jasa Marga).....	37

Gambar 4.2 Keretakan pada shotcrete (Sumber: PT Jasa Marga)	38
Gambar 4.3 Potongan melintang lereng STA 6+450 (Sumber: PT Jasa Marga)	48
Gambar 4.4 Potongan melintang lereng STA 6+475 (Sumber: PT Jasa Marga)	48
Gambar 4.5 Potongan melintang lereng STA 6+500 (Sumber: PT Jasa Marga)	49
Gambar 4.6 Potongan melintang lereng STA 6+520 (Sumber: PT Jasa Marga)	49
Gambar 4.7 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+450 dengan MAT rendah	52
Gambar 4.8 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+450 dengan MAT tinggi	52
Gambar 4.9 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+450 dengan MAT sedang	53
Gambar 4.10 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+475 dengan MAT rendah	55
Gambar 4.11 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+475 dengan MAT tinggi	55
Gambar 4.12 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+475 dengan MAT sedang	56
Gambar 4.13 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+500 dengan MAT rendah	58
Gambar 4.14 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+500 dengan MAT tinggi	58
Gambar 4.15 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+500 dengan MAT sedang	59
Gambar 4.16 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT rendah	60
Gambar 4.17 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT tinggi	61
Gambar 4.18 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT sedang	61

Gambar 4.19 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT rendah	63
Gambar 4.20 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT tinggi.....	64
Gambar 4.21 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT sedang.....	64
Gambar 5.1 Rencana subdrain.....	66
Gambar 5.2 Luasan yang menjadi daerah pengaliran	68
Gambar 5.3 Ilustrasi perhitungan gradien hidrolis (Sumber: Modul Ajar Timbunan dan Konstruksi Penahan Tanah)	72
Gambar 5.4 Gradien hidrolis yang mungkin terjadi di lapangan	73
Gambar 5.5 Ilustrasi perencanaan saluran subdrain	75
Gambar 5.6 Perencanaan awal perkuatan soil nailing.....	76
Gambar 5.7 Pembagian lapisan pada bidang longsor.....	82
Gambar 5.8 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan gesernya	84
Gambar 5.9 Ilustrasi tekanan dan gaya horizontal pada tanah	87
Gambar 5.10 Perencanaan awal perkuatan soil nailing.....	88
Gambar 5.11 Pembagian lapisan pada bidang longsor.....	93
Gambar 5.12 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan gesernya ...	94
Gambar 5.13 Ilustrasi tekanan dan gaya horizontal pada tanah ..	95
Gambar 5.14 Perencanaan awal perkuatan soil nailing.....	96
Gambar 5.15 Lokasi perhitungan Tp_1 dan Tp_2	97
Gambar 5.16 Pembagian lapisan pada bidang longsor.....	102
Gambar 5.17 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan gesernya .	103
Gambar 5.18 Ilustrasi tekanan dan gaya horizontal pada tanah	104
Gambar 5.19 Perencanaan awal pemasangan ground anchor pada STA 6+450	107
Gambar 5.20 Ilustrasi penulangan bore pile.....	111

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kerapatan relatif tanah	6
Tabel 4.1 Rangkuman data N-SPT hasil pengeboran di lapangan (Sumber: PT Jasa Marga)	38
Tabel 4.2 Hasil Korelasi Data Tanah	40
Tabel 4.3 Hasil koreksi terhadap muka air tanah N1	41
Tabel 4.4 Koreksi terhadap overburden pressure (N_2).....	43
Tabel 4.5 γ_{sat} hasil dari korelasi menggunakan rumus Bowles ..	44
Tabel 4.6 Hasil perhitungan ϕ dan C_u tiap lapisan tanah.....	45
Tabel 4.7 Rangkuman hasil korelasi data tanah dengan koreksi terhadap MAT dan overburden pressure	46
Tabel 4.8 Hasil analisa lereng pada STA 6+450	51
Tabel 4.9 Hasil analisa lereng pada STA 6+475	53
Tabel 4.10 Hasil analisa lereng pada STA 6+500	56
Tabel 4.11 Hasil analisa lereng pada STA 6+520	59
Tabel 4.12 Rangkuman nilai SF terkecil lereng	62
Tabel 4.13 Hasil analisa kestabilan lereng STA 6+520 dengan data korelasi tanpa koreksi	62
Tabel 5.1 Data tinggi hujan maksimal.....	66
Tabel 5.2 Nilai C untuk berbagai permukaan.....	69
Tabel 5.3 Korelasi angka pori dengan soil properties yang lain .	71
Tabel 5.4 Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah Pada Umumnya	71
Tabel 5.5 Kemungkinan nilai i yang terjadi di lapangan.....	73
Tabel 5.6 Nilai Kekasaran Manning untuk Saluran Drainase (Sumber: Bahan Ajar Perencanaan Drainase)	74
Tabel 5.7 Perbandingan nilai SF saat MAT tinggi dan MAT setelah dipasang subdrain (3 m lebih rendah)	75
Tabel 5.8 Hasil perhitungan gaya cabut yang terjadi	78
Tabel 5.9 Rangkuman perhitungan finishing	81
Tabel 5.10 Hasil perhitungan gaya cabut yang terjadi	89
Tabel 5.11 Rangkuman perhitungan finishing	92
Tabel 5.12 Hasil perhitungan gaya cabut yang terjadi	98
Tabel 5.13 Rangkuman perhitungan finishing	101
Tabel 5.14 Hasil output analisa lereng menggunakan Dxstabl .	105

Tabel 5.15 Hasil perhitungan ground anchor	108
Tabel 5.16 Dimensi pondasi tiap angkur	108
Tabel 5.17 Perhitungan biaya metode ground anchor	110
Tabel 5.18 Total biaya material bore pile.....	112

BAB I

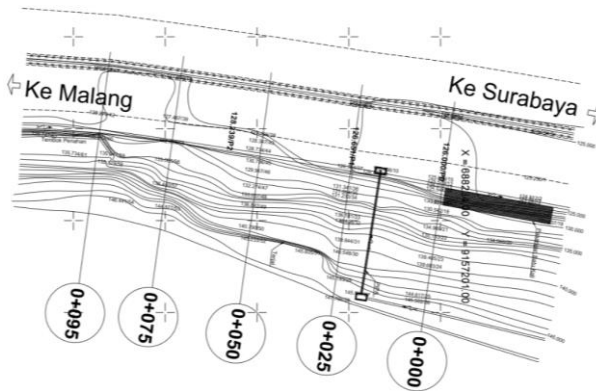
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan jalan tol di Indonesia akhir-akhir ini semakin pesat dan masuk ke dalam salah satu Proyek Strategis Nasional. Selain di pulau Jawa, pembangunan jalan tol juga dilakukan di Pulau Kalimantan, Sumatera, Sulawesi, dan Papua. Panjang jalan tol yang telah dibangun sejak 2014 sampai November 2017 telah mencapai 568 kilometer. Pemerataan pembangunan infrastruktur jalan tol ini merupakan salah satu bagian dari Sembilan program pemerintahan Presiden Joko Widodo yang dikenal dengan sebutan Nawa Cita.

Panjang jalan tol yang akan dibangun di Pulau Jawa sampai akhir tahun 2018 ini ditargetkan mencapai lebih dari 700 kilometer, dimana 350 kilometer adalah jalan tol Surabaya-Jakarta yang merupakan tol trans Jawa. Selain tol trans Jawa, proyek prioritas pemerintah adalah jalan tol penghubung antar kota besar, sebagai contoh jalan tol Surabaya-Malang. Jalan tol tersebut terbagi menjadi beberapa segmen yaitu Surabaya-Gempol, Gempol-Pandaan, dan Pandaan-Malang.

Jalan Tol Gempol-Pandaan adalah jalan tol sepanjang 13,61 km yang menghubungkan antara Gempol dan Pandaan. Kawasan Pandaan merupakan kawasan yang berbukit dan memiliki kontur tanah yang tidak rata, sehingga dalam pembangunan jalan tol ini diperlukan penyesuaian elevasi untuk pembangunan geometrik jalan yang sesuai dengan perencanaan. Penyesuaian elevasi ini dapat dilakukan dengan menerapkan metode *cut and fill* yang berarti akan banyak dijumpai lereng akibat adanya timbunan jalan maupun akibat galian yang dilakukan pada tanah asli yang berbukit. Karena adanya lereng dengan berbagai kemiringan ini, diperlukan perencanaan yang tepat agar tidak terjadi kerusakan atau kelongsoran pada lereng.



Gambar 1.1 Lokasi longsor kedua (Sumber: PT Jasa Marga Pandaan)

Pembangunan jalan tol Gempol-Pandaan sebenarnya telah selesai pada bulan Januari 2015, namun karena terjadi longsor pada STA 6+250 sampai STA 6+450 maka peresmian jalan tol baru dilaksanakan pada 12 Juni 2015. Kelongsoran juga kembali terjadi pada musim hujan 2016-2017 yang lokasinya berdekatan dengan lokasi kelongsoran pertama yaitu pada STA 6+400 sampai STA 6+525 seperti yang ada pada gambar 1.1. Kelongsoran tersebut diduga terjadi akibat tingginya curah hujan yang terjadi pada saat itu. Kelongsoran ini juga diduga dipengaruhi oleh rembesan air buangan dari pabrik kaca yang terletak tepat diatas tebing yang longsor. Mengingat pentingnya jalan tol ini, maka kelongsoran tersebut perlu ditangani secepatnya agar tidak menjadi semakin parah dan tidak menyebar ke titik lainnya.

Usaha peningkatan stabilitas lereng yang telah dilakukan adalah mencegah kelongsoran dengan menggunakan *bore pile*. Keuntungan yang dimiliki oleh *bore pile* adalah dapat menembus lapisan batuan; ujung *bore pile* dapat diperbesar untuk menambah daya dukung *pile*. Akan tetapi, *bore pile* juga memiliki beberapa kekurangan antara lain keseragaman mutu beton yang digunakan sulit dijaga karena adanya pengaruh air tanah saat pelaksanaan

pegecoran yang berakibat pada pengurangan kekuatan daya dukungnya.

Akibat adanya kekurangan dari *bore pile* tersebut, perlu diadopsi alternatif perkuatan lereng yang cocok digunakan untuk lereng alami hasil metode *cut and fill* yaitu *soil nailing*. Selain sebagai perkuatan lereng, *soil nailing* juga berfungsi sebagai perlindungan terhadap erosi karena permukaan lereng tersebut akan menggunakan finishing berupa *shotcrete*. Dalam rangka mengurangi rembesan air buangan dari pabrik, diperlukan juga adanya perencanaan *subdrain* di belakang lereng untuk mengalirkan air sehingga lereng terbebas dari pengaruh air.

Dalam Tugas Akhir ini akan direncanakan *soil nailing* sebagai perkuatan tebing jalan tol Gempol-Pandaan STA 6+400 sampai STA 6+525, dan akan direncanakan subdrain di belakang tebingnya. Hasil dari perencanaan ini akan dibandingkan dengan metode yang sudah ada, yaitu *bore pile*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, terdapat beberapa masalah yang akan dibahas:

1. Bagaimana hasil analisa data tanah pada lokasi kelongsoran di STA 6+400 sampai 6+525?
2. Bagaimana hasil analisa kestabilan lereng dan bidang longsor yang terjadi pada tebing samping jalan tol?
3. Bagaimana perencanaan subdrain di belakang tebing jalan tol sehingga perencanaan perkuatan tidak perlu mempertimbangkan pengaruh air?
4. Bagaimana perencanaan perkuatan *soil nailing* di jalan tol Gempol-Pandaan STA 6+400 sampai STA 6+525?
5. Bagaimana efisiensi dari metode alternatif dibandingkan dengan metode *bore pile* jika dilihat dari segi material?

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini, permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut:

1. Data yang dipakai adalah data sekunder.

2. Perkuatan dan subdrain yang direncanakan hanya pada STA 6+400 sampai STA 6+525.
3. Tidak membahas perhitungan bangunan jalan.
4. Tidak membahas metode dan waktu pelaksanaan.
5. Tidak membahas perhitungan rencana anggaran biaya (RAB).

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan dari tugas akhir ini adalah merencanakan perkuatan lereng menggunakan *soil nailing* dan *subdrain* di belakang lereng pada jalan tol Gempol-Pandaan STA 6+400 sampai 6+525, serta membandingkannya dengan metode perbaikan yang sudah dilakukan di lapangan dari segi material.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk memberikan alternatif tentang perkuatan lereng menggunakan *soil nailing* pada kasus kelongsoran yang sejenis sehingga tidak ada lagi gangguan pada aktifitas transportasi di jalan tol.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyelidikan Tanah di Lapangan

Beberapa jenis tanah sangat mudah terganggu karakteristik dan strukturnya karena proses pengambilan dan pengangkutan ke laboratorium untuk pengetesan, maka dari itu sering dilakukan pengujian secara langsung di lapangan. Ada beberapa macam metode pengujian tanah yang dilakukan dilapangan, dua diantaranya yaitu menggunakan metode Sondir dan *Standard Penetration Test* atau SPT. Metode yang digunakan kali ini adalah SPT.

Uji penetrasi standar (SPT) adalah tes penetrasi dinamis insitu yang dirancang untuk memberikan informasi tentang sifat-sifat geoteknik tanah. Standart Penetration Test (SPT) dilakukan untuk mengestimasi nilai kerapatan relatif dari lapisan tanah yang diuji. Untuk melakukan pengujian SPT dibutuhkan sebuah alat utama yang disebut *Standard Split Barrel Sampler* atau tabung belah standar. Alat ini dimasukkan ke dalam *Bore Hole* setelah dibor terlebih dahulu dengan alat bor. Alat ini diturunkan bersama-sama pipa bor dan diturunkan hingga ujungnya menumpu ke tanah dasar. Setelah menumpu alat ini kemudian dipukul (dengan alat pemukul yang beratnya 63,5 kg) dari atas. Pada pemukulan pertama alat ini dipukul hingga sedalam 15,24 cm. Kemudian dilanjutkan dengan pemukulan tahap kedua sedalam 30,48 cm. Pada pukulan kedua inilah muncul nilai "N" yang merupakan manifestasi jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk membuat tabung belah standar mencapai kedalaman 30,48 cm. (Prayogo, 2016)

Menurut teori Terzaghi dan Peck, hubungan nilai N dengan kerapatan relatif adalah sebagai berikut:

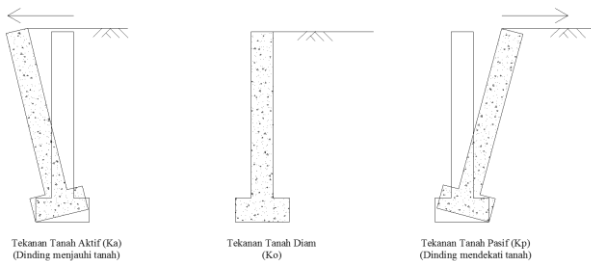
Tabel 2.1 Kerapatan relatif tanah

Nilai N	Kerapatan Relatif (D_r)
< 4	Sangat Tidak Padat
4 – 10	Tidak Padat
10 – 30	Kepadatan Sedang
30 – 50	Padat
>50	Sangat Padat

(Sumber: Terzaghi dan Peck)

2.2 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan akibat dorongan tanah dibelakang struktur penahan tanah. Besar tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (displacement) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanah asli. (Gunanta, 2014) Tegangan tanah lateral berbanding lurus dengan kedalaman dan merupakan perkalian dari tegangan tanah vertikal dengan sebuah koefisien. Berdasarkan arah gerakan struktur penahan tanah, koefisien K menunjukkan koefisien tanah aktif (K_a), pasif (K_p), dan tanah diam (K_0). (Shamsabadi, 2011) Tekanan tanah lateral memiliki perhitungan yang berbeda tergantung pada jenis butiran tanah.



Gambar 2.1 Jenis tekanan tanah berdasarkan arah gerakan struktur penahan tanah (Sumber: Das, 2010)

Beberapa teori tentang tekanan tanah aktif dan pasif, serta tekanan tanah diam adalah teori Rankine dan Coulomb. Pada bab ini hanya akan dibahas teori Rankine. Teori Rankine (1857) berasumsi bahwa (Shamsabadi, 2011):

1. Tembok penahan tanah halus dan dalam posisi vertikal
2. Tidak ada adhesi atau friksi antara dinding dengan tanah (friksi sangat kecil sehingga diabaikan).
3. Tekanan lateral terbatas hanya untuk dinding vertikal 90° .
4. Kelongsoran (pada urugan) terjadi sebagai akibat dari pergeseran tanah yang ditentukan oleh sudut geser tanah (ϕ').
5. Tekanan lateral bervariasi linier terhadap kedalaman dan resultan tekanan yang berada pada sepertiga tinggi dinding, diukur dari dasar dinding.
6. Resultan gaya bersifat paralel terhadap permukaan urugan.

2.2.1 Tekanan Tanah Aktif

Pada suatu saat, gerakan dinding selanjutnya mengakibatkan terjadi keruntuhan geser tanah dan tekanan tanah pada dinding menjadi konstan pada tekanan minimum. Tekanan tanah lateral minimum, yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah oleh akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya disebut tekanan tanah aktif (*active earth pressure*). (Gunanta, 2014)

Keruntuhan tanah mengikuti prinsip lingkaran Mohr (Mohr-Coulomb). Jika pergerakan dinding membuat Δx semakin besar, maka pada akhirnya, lingkaran Mohr akan menyentuh garis keruntuhan (Menurut Rankine, sudut keruntuhan adalah sebesar $45 + \frac{\phi'}{2}$), sehingga keruntuhan akan terjadi. (Das, 1995) Tahanan geser tanah mengikuti persamaan:

$$\tau_f = c' + \sigma'_v \tan \phi' \quad (2.1)$$

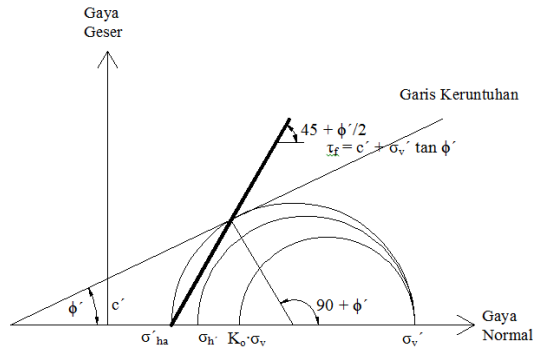
dimana :

τ_f : tahanan geser tanah

σ'_v : tekanan efektif tanah vertical

c' : kohesi tanah

ϕ' : sudut geser tanah



Gambar 2.2 Lingkaran Mohr tekanan tanah aktif
(Sumber: Das, 2010)

Besar gaya-gaya yang bekerja mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$\sigma'_v = \sigma'_1 \quad (2.2)$$

$$\sigma'_h = \sigma'_3 \quad (2.3)$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.4)$$

$$\sigma'_3 = \sigma'_1 \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) - 2c' \tan \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.5)$$

dimana:

σ'_h : tekanan tanah lateral

σ'_v : tekanan tanah vertikal

c' : kohesi

ϕ' : sudut geser tanah

K_a : koefisien tekanan tanah aktif

K_a : $\tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$

Karena $K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$, maka besar tekanan saat terjadi keruntuhan menggunakan persamaan yang dikenal dengan nama *Bell's Equation*, yaitu:

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) - 2c' \tan \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.6)$$

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v K_a - 2c' \sqrt{K_a} \quad (2.7)$$

dimana:

σ'_h : tekanan tanah lateral

σ'_v : tekanan tanah vertikal

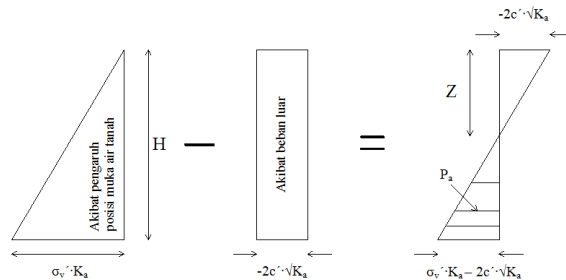
c' : kohesi

φ' : sudut geser tanah

K_a : koefisien tekanan tanah aktif

K_a : $\tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right)$

Resultan tekanan aktif akibat beban luar dan pengaruh air dapat dideskripsikan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Resultan tanah aktif (Sumber: Das, 2010)

Total tekanan tanah yang bekerja dihitung menggunakan rumus:

$$P_a = 0,5 \gamma H K_a - 2c' \sqrt{K_a} \quad (2.8)$$

dimana:

P_a : total tekanan tanah aktif

σ'_v : tekanan tanah vertikal

c' : kohesi tanah

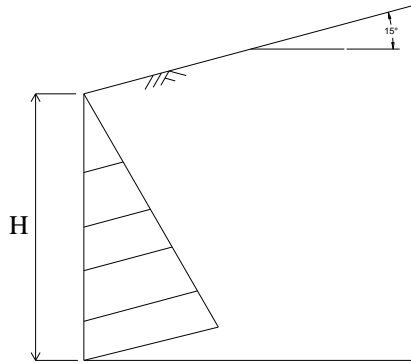
H : tinggi tanah yang ditahan

K_a : koefisien tekanan tanah aktif

K_a : $\tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right)$

Jika permukaan tanah yang ditahan memiliki kemiringan seperti Gambar 2.4, maka rumus K_a adalah sebagai berikut :

$$K_a = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi'}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \varphi'}} \quad (2.9)$$



Gambar 2.4 Tanah dengan permukaan miring di belakang struktur penahan tanah (Sumber: Das, 2010)

dimana:

φ' : sudut geser tanah

α : sudut kemiringan tanah di permukaan

K_a : koefisien tekanan tanah aktif

K_a : $\tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right)$

Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan sebagai berikut:

$$P_a = 0,5 \gamma H^2 K_a \quad (2.10)$$

dimana:

P_a : total tekanan tanah aktif

H : koefisien tekanan tanah aktif

K_a : koefisien tekanan tanah aktif

K_a : $\tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right)$

2.2.2 Tekanan Tanah Pasif

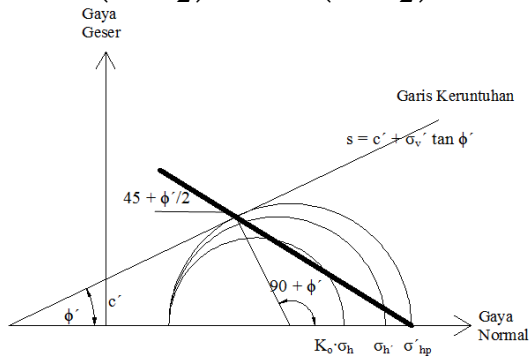
Tekanan tanah pasif terjadi jika tekanan yang bekerja mengakibatkan struktur penahan tanah terdorong mendekati tanah yang ditahan. Keruntuhan tanah mengikuti

prinsip lingkaran Mohr (Mohr-Coulomb) (Gambar 2.5). Jika pergerakan dinding membuat Δx semakin besar, maka pada akhirnya, lingkaran Mohr akan menyentuh garis keruntuhan. Tahanan geser tanah mengikuti persamaan 2.1.

$$\sigma'_v = \sigma'_1 \quad (2.11)$$

$$\sigma'_h = \sigma'_3 \quad (2.12)$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.13)$$



Gambar 2.5 Lingkaran Mohr tekanan tanah pasif (Sumber: Das, 2010)

dimana:

σ'_h : tekanan tanah lateral

σ'_v : tekanan tanah vertikal

c' : kohesi

ϕ' : sudut geser tanah

K_p : koefisien tekanan tanah pasif

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

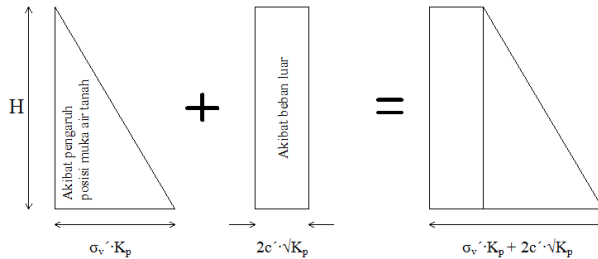
Resultan tekanan pasif akibat beban luar dan pengaruh air dapat dideskripsikan seperti Gambar 2.6. Total tekanan tanah yang bekerja dirumuskan sebagai berikut:

$$P_p = 0,5 \gamma H K_p + 2c' \sqrt{K_p} \quad (2.14)$$

dimana:

P_p : total tekanan tanah aktif

- σ'_v : tekanan tanah vertikal
 c' : kohesi tanah
 H : tinggi tanah yang menahan
 K_p : koefisien tekanan tanah pasif
 K_p : $\tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$

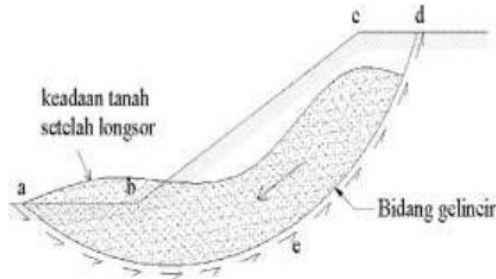


Gambar 2.6 Resultan tekanan tanah pasif (Sumber: Das, 2010)

2.3 Analisa Stabilitas Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.7 (Turangan, 2014).

Pada Konstruksi lereng dengan sistem perkuatan lereng, gaya yang meruntuhkan akan dilawan oleh kemampuan geser dan tarik dari bahan perkuatan tersebut (Suryolelono, 1993 dari Chasanah 2016). Dalam praktik, analisa stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas. Adapun



Gambar 2.7 Kelongsoran lereng (Sumber: Das, 1995)

maksud analisa stabilitas adalah untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor. Faktor keamanan didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan kelongsoran. Faktor keamanan atau safety factor (SF) merupakan nilai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (Hardiyatmo, 2007).

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (2.15)$$

dimana:

τ : tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN)

τ_d : tegangan geser yang terjadi akibat berat tanah yang akan longsor (kN/m)

Menurut teori *Mohr-Coulomb*, tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang longsonya dinyatakan dengan:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (2.16)$$

dimana:

c : kohesi (kN/m²)

σ : tegangan normal (kN)

φ : sudut geser dalam tanah (°)

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

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \quad (2.17)$$

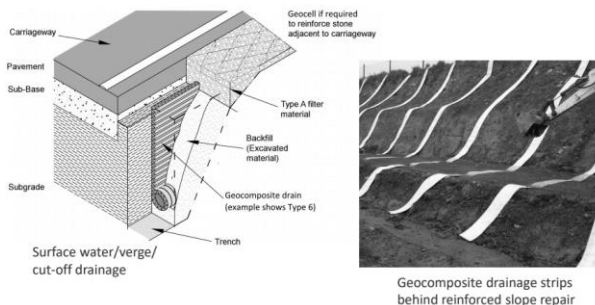
dimana:

c_d : kohesi (kN/m^2)

ϕ_d : sudut geser yang bekerja sepanjang bidang longsor ($^\circ$)

2.4 Subdrain untuk Mengalirkan Air Keluar dari Lereng

Saluran bawah permukaan (subdrain) berfungsi untuk mengeringkan lahan agar tidak terjadi genangan air apabila terjadi hujan. Subdrain yang terbuat dari pasangan batu memiliki kemampuan untuk mengalirkan air tergantung dari dimensinya. Banyak air yang perlu dialirkan bisa diperkirakan dari besarnya intensitas hujan di daerah tersebut. Gambar 2.8 merupakan contoh subdrain.



Gambar 2.8 Drainase lereng (Sumber: igs-uk.org)

2.5 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:

1. *Grouted nail*: Setelah penggalian, dilakukan pengeboran untuk membuat lubang pada lereng kemudian *nail* dimasukkan ke dalam lubang. Setelah itu lubang diisi dengan pasta semen.
2. *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.
3. *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*.
4. *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.

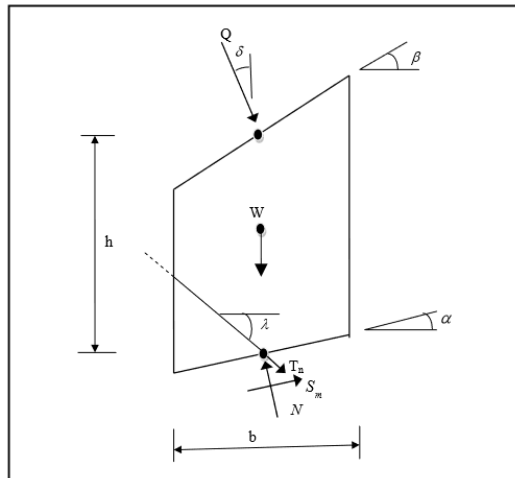
2.5.1 Stabilitas Eksternal dari Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

2.5.1.1 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 (T_j) 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 2.9.



Gambar 2.9 Kestabilan lereng dengan metode *Bishop*
(Sumber: Prashand dan Mukerjee, 2010)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$FS_G = \frac{\sum_{i=1}^n C + N \tan \phi}{\sum_{i=1}^n A_1 - \sum_{i=1}^n A_2 - \sum_{i=1}^n A_3} \quad (2.18)$$

dimana:

$$A_1 = [W + Q \cos \delta] \sin \alpha$$

$$A_2 = (Q \sin \delta) \left(R \cos \alpha - \frac{h}{R} \right)$$

$$A_3 = T_n \cos (\alpha + \lambda)$$

- B_L : lebar tanah terpasang perkuatan (Gambar 2.10)
 W : berat tanah (kN)
 ϕ : sudut geser tanah dasar

2.5.1.3 Daya Dukung

Daya dukung adalah faktor yang penting saat penggalian dilakukan pada 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:

$$F_{SH} = \frac{S_u N_c}{H_{eq}\gamma} \quad (2.20)$$

Untuk tanah $c - \phi$ besarnya daya dukung adalah $cN_c + 0,5\gamma B N_\gamma$ (jika tidak ada surcharge) dan faktor keamanan adalah:

$$F_{SH} = \frac{cN_c + 0,5\gamma B_e N_\gamma}{H_{eq}\gamma} \quad (2.21)$$

Dimana:

- ϕ : sudut geser internal
 c : kohesi
 S_u : *undrained shear strength*
 N_c, N_γ : Faktor daya dukung
 γ : berat jenis tanah dibelakang dinding
 H : tinggi dinding/dalam galian
 H_{eq} : $H + \Delta H$
 ΔH : ekuivalen *overburden*
 B : lebar pengaruh = $B_e / \sqrt{2}$
 B_e : Lebar galian
 L_c : Panjang galian

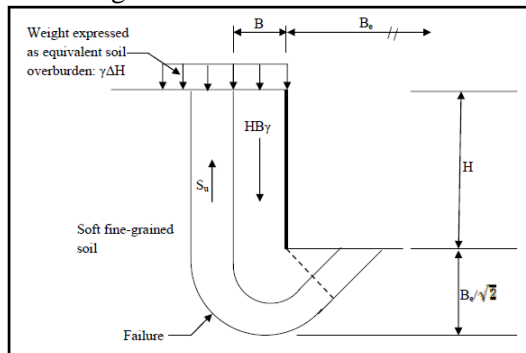
Rumus diatas dapat digunakan ketika lebar penggalian (B_e) sangat besar atau kontribusi tahanan geser $S_u H$ diluar daerah kegagalan dengan lebar B diabaikan. Rumus ini dianggap aman karena mengabaikan kontribusi kekuatan geser dari tulangan baja yang berpotongan dengan bidang longsor seperti pada Gambar 2.12.

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:

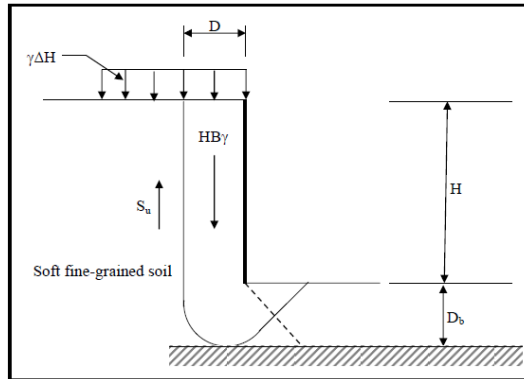
$$FS_H = \frac{S_u N_c}{H_{eq} \left(\gamma - \frac{S_u}{B} \right)} \quad (2.22)$$

$$FS_H = \frac{cN_c + 0,5\gamma B_e N_\gamma}{H_{eq} \left(\gamma - \frac{S_u}{B} \right)} \quad (2.23)$$

Jika lapisan yang keras yang mendasari lapisan lunak dan terletak pada kedalaman $D_B = B_e / \sqrt{2}$ dibawah dasar penggalian (Gambar 2.12), B pada rumus 3.46 digantikan dengan D_B .

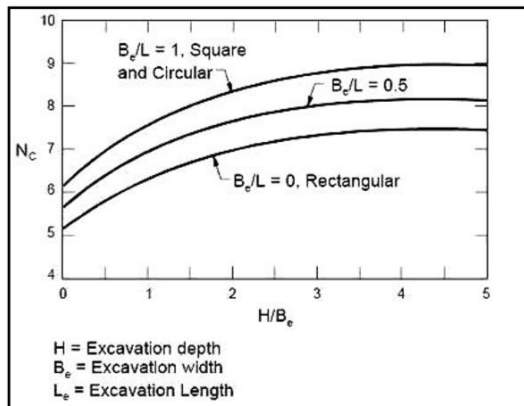


Gambar 2.11 Lapisan keras tebal di bawah tanah lunak
(Sumber: Prashant dan Mukherjee)



Gambar 2.12 Lapisan keras tipis di bawah tanah lunak
(Sumber: Prashant dan Mukherjee)

Faktor daya dukung (N_c , N_γ) dihitung berdasarkan $c - \phi$ (Terzaghi et al., 1996). Faktor-faktor ini diambil berdasarkan kondisi geometric yang ada, dan untuk tanah kohesif ($\phi = 0$, $c = S_u$) nilai N_c dapat dilihat pada gambar 2.13. Pada umumnya, angka kemanan FS_H yang digunakan adalah 2,5 untuk perkuatan semetara dan 3 untuk perkuata permanen.



Gambar 2.13 Faktor N_c untuk analisa pada tanah kohesif ($\phi = 0$, $c = S_u$) (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)

2.5.2 Stabilitas Internal dari Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

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.

2.5.2.1 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, L_p , dapat dihitung dengan rumus:

$$T_0 = Q L_p \quad (2.24)$$

L_p adalah panjang tulangan bada di belakang bidang longsor seperti yang ada pada Gambar 2.14. Kekuatan cabut, R_p , akan bergerak dan berubah nilainya saat kekuatan ikatan ultimit tercapai dan dirumuskan dengan:

$$R_p = T_{\max} = Q_u L_p \quad (2.25)$$

$$Q_u = \pi q_u d \quad (2.26)$$

dimana:

Q_u = 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)

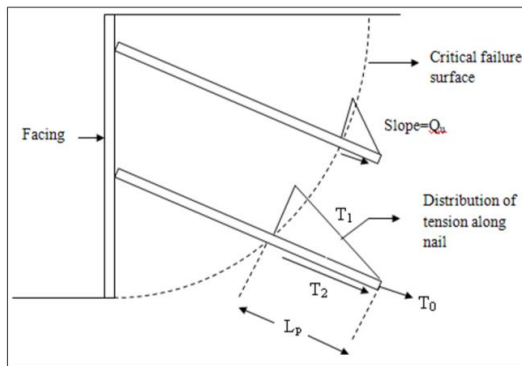
d = diameter lubang bor rata rata

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

$$Q_u \text{ allowable} = \frac{Q_u}{FS_p} \quad (2.27)$$

sehingga,

$$R_p \text{ allowable} = \frac{R_p}{FS_p} \quad (2.28)$$



Gambar 2.14 Kegagalan cabut pada soil nailing (Sumber: Prashant dan Mukherjee, 2010)

FS_p adalah faktor keamanan terhadap cabut minimum menggunakan 2. FS_p untuk tulangan baja yang

ditanam pada kedalaman z dari permukaan tanah dapat dihitung dengan rumus

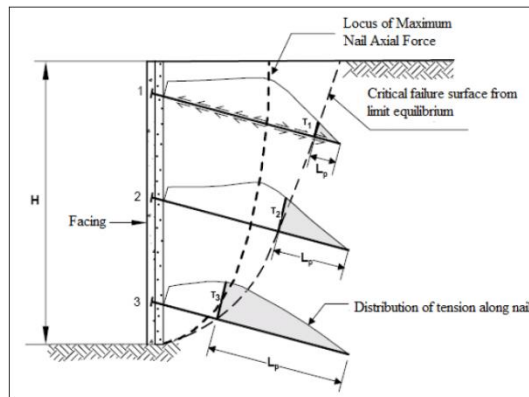
$$FS_p = \frac{R_p}{T} \quad (2.29)$$

R_p didapatkan dari rumus 2.29 dan gaya aksial maksimum T pada kedalaman z dapat didapat dengan:

$$T = K (q_s + \gamma z) S_h S_v \quad (2.30)$$

2.5.2.2 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 2.15 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 2.15 Skema lokasi dari gaya tarik maksimum soil nail (Sumber: Prashant dan Mukherjee)

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

$$(FS_T)_z = \left(\frac{R_T}{T} \right)_z \quad (2.31)$$

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

2.6 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. *Finishing* sementara berfungsi untuk menahan sebagian besar beban yang disalurkan dari tulangan baja menuju *nail head* pada permukaan dinding dan *finishing* permanen digunakan sebagai penambah estetik.

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

1. 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
2. Menentukan tebal beton
 Untuk perkuatan sementara h_2 : 100, 150, atau 200 mm
 Untuk perkuatan permanen h_1 : 200 mm
3. Menentukan jenis material yang sesuai
 - a) Gunakan tulangan baja grade Fe 415 atau Fe 500 dengan kekuatan $f_y = 420$ MPa atau $f_y = 500$ Mpa
 - b) Gunakan *welded wire mesh* dan tulangan yang cocok (lihat tabel 4.4 pada *Soil Nailing for*

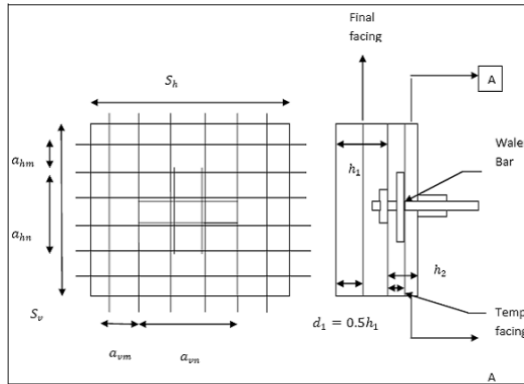
Stabilization of Steep Slopes Near Railway Station
oleh Prashant dan Mukherjee)

- 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
4. Hitung kebutuhan minimum dan maksimum tulangan
- a) Rasio kebutuhan tulangan dapat dilihat pada rumus 2.32 dan 2.33. Pada tiap segmen, rasio tulangan adalah perbandingan antara luas efektif tulangan dan luas efektif beton. Gambar 2.16 menunjukkan penulangan pada beton di permukaan lereng.

$$\rho_{\min}(\%) = 20 \frac{\sqrt{f_{ck}} \text{ (Mpa)}}{f_y \text{ (Mpa)}} \quad (2.32)$$

$$\rho_{\max}(\%) = 50 \frac{\sqrt{f_{ck}} \text{ (Mpa)}}{f_y \text{ (Mpa)}} \left(\frac{600}{600 + f_y \text{ (Mpa)}} \right) \quad (2.33)$$

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



Gambar 2.16 Ilustrasi penulangan (Sumber: Prashant 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 2.34 dan 2.35.

$$a_{vn} = a_{vm} + \frac{A_{vw}}{S_h} \quad (2.34)$$

$$a_{hn} = a_{hm} + \frac{A_{hw}}{S_v} \quad (2.35)$$

a_{vn} , a_{hn} = luas tulangan per satuan lebar arah vertikal dan horizontal pada kepala *soil nail*

a_{vm} , a_{hm} = luas tulangan per satuan lebar arah vertikal dan horizontal pada bagian tengah

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

$$\rho_n(\%) = \frac{a_n}{0,5h} 100 \quad (2.36)$$

$$\rho_m(\%) = \frac{a_m}{0,5h} 100 \quad (2.37)$$

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

5. Periksa kekuatan lentur struktur R_{FF}

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

$$R_{FF}(\text{kN}) = \frac{C_F}{265} \times (a_{hn} + a_{hm})(\text{mm}^2/\text{m}) \times \left(\frac{S_h}{S_v} h \right) \times f_y(\text{Mpa}) \quad (2.38)$$

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 2.43.

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_0} \quad (2.39)$$

6. Memeriksa kekuatan *punching shear* R_{FP} (Gambar 2.17)

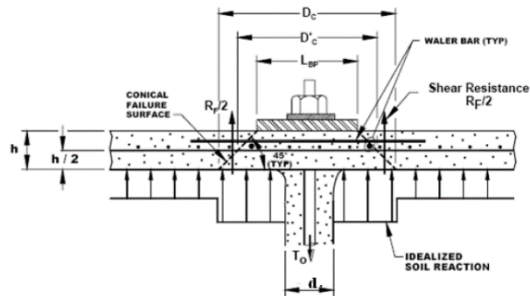
- a) Demi kemudahan, R_{FP} dianggap seperti pelat beton yang menerima beban terpusat dan dihitung dengan cara:

$$R_{FP} = 330 \sqrt{f_{ck}} (\text{MPa}) \pi D'_c h_c \quad (2.40)$$

Dimana:

D'_c : diameter efektif kegagalan (m)

h_c : kedalaman efektif kegagalan (m)



Gambar 2.17 Kegagalan punching shear (Sumber: Prashant 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 2.18)

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

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 Railway Station* oleh Prashant dan Mukherjee)

$$FS_{HT} = \frac{R_{HT}}{T_0} \quad (2.43)$$

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

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

8. Hal-hal lainnya yang perlu diperhatikan
 Untuk meminimalisir kemungkinan kegagalan pada sambungan antara tulangan dengan beton:
- a) *Bearing plate* harus merupakan baja ringan dengan kuat leleh minimal $f_y = 250$ MPa
 - b) Mur harus bertipe segidelapan yang kuat dan dilapisi anti korosi
 - c) *Beveled washer* (jika digunakan) harus berbahan baja atau baja galvanis

2.7 *Bore Pile*

Pondasi bored pile adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, 2010). Pemasangan pondasi bored pile ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan temporary casing untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton.

Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi bored pile jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada pelat penutup tiang (pile cap). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak bored pile.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.

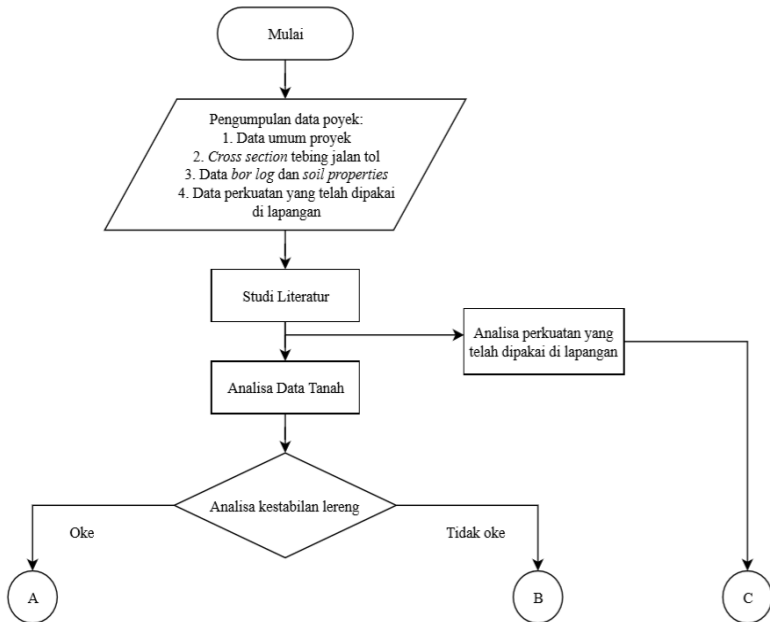
5. Bored pile dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.
Kerugian menggunakan pondasi bored pile yaitu:
 1. Pengecoran bored pile dipengaruhi kondisi cuaca.
 2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
 3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan bored pile mengurangi kapasitas dukung bored pile, terutama bila bored pile cukup dalam.
 4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
 5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.
 6. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang temporary casing untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

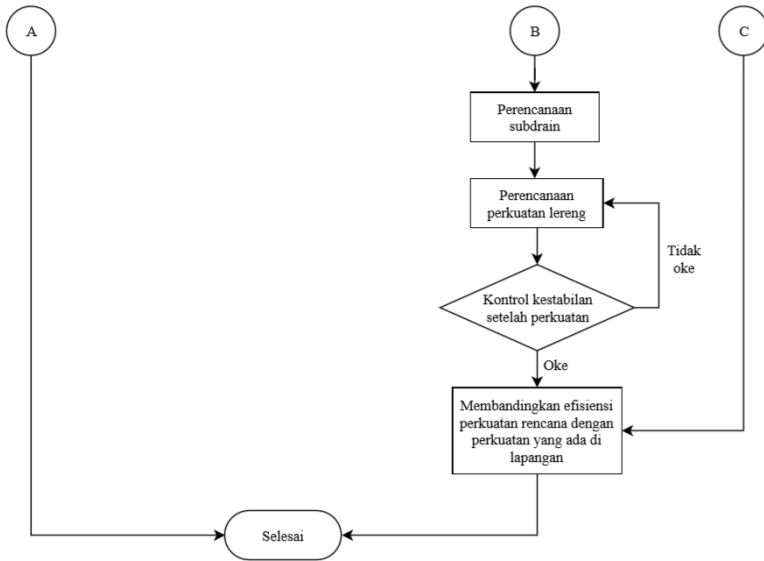
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Bagan Alir Tahapan Perencanaan

Berikut ini adalah diagram alir dalam perencanaan ini:





Gambar 3.1 Diagram alir tahapan perencanaan

3.2 Uraian Tahapan Perencanaan

1. Pengumpulan Data Proyek

Data proyek yang digunakan merupakan data sekunder yang terdiri dari data-data sebagai berikut:

- Data umum proyek: merupakan data *site plan*, lokasi kelongsoran, dan keadaan lingkungan di sekitarnya.
- Cross section* lereng jalan tol: data ini digunakan untuk melakukan analisa kestabilan lereng dan mengetahui besarnya angka keamanan sebelum ada perkuatan.
- Data bor log dan *soil properties*: data yang dibutuhkan adalah data N-SPT dan soil properties yang didapat dari hasil tes laboratorium yang akan

digunakan untuk melakukan perhitungan tegangan tanah yang terjadi.

- d. Data perkuatan yang digunakan di lapangan: data yang dibutuhkan berupa diameter *bore pile*, kedalaman *bore pile*, mutu beton dan mutu tulangan.

2. Studi Literatur

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

- a. Analisa Data Tanah
- b. Analisa Stabilitas Lereng
- c. Metode Perkuatan Lereng

3. Analisa Perkuatan Lereng yang Telah Dipakai di Lapangan

Setelah mendapatkan data perkuatan yang dipakai, dilakukan analisa material berupa macam-macam material yang digunakan dalam perancangan *bore pile* serta efisiensi penggunaan material tersebut.

4. Analisa Data Tanah

Analisa data tanah dilakukan dengan penggambaran *cross section* lapisan tanah berdasarkan data tanah yang telah diperoleh. Jika terdapat beberapa parameter yang belum lengkap dapat dilengkapi dengan melakukan korelasi. Analisa data tanah ini nantinya digunakan untuk perhitungan tegangan tanah dan analisa stabilitas lereng.

5. Analisa Kestabilan Lereng

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

6. Perencanaan Subdrain

Air tanah sangat berpengaruh besar terhadap tekanan lateral yang terjadi pada lereng, sehingga untuk menjaga muka air tanah tetap rendah direncanakan *subdrain* di lereng agar perencanaan perkuatan dapat mengabaikan pengaruh air.

7. Perencanaan Perkuatan Lereng

Perencanaan perkuatan lereng terdiri dari perencanaan *soil nailing* beserta *finishing* pada permukaan lereng. Perencanaan *soil nailing* terdiri dari perencanaan panjang *nail* yang terbuat dari tulangan baja dan jarak antar tulangan. Perencanaan *finishing* pada permukaan lereng terdiri dari perencanaan kekuatan beton yang dipakai, ketebalan, dan penulangan.

8. Kontrol Kestabilan Setelah Ada Perkuatan

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

9. Perbandingan Efisiensi Metode Rencana dan Metode di Lapangan

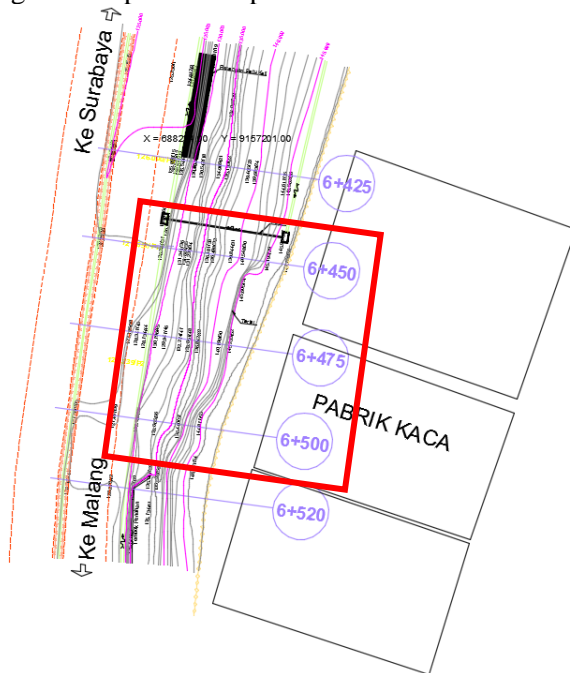
Perbandingan ini digunakan untuk mengevaluasi metode yang telah dilakukan di lapangan dari segi efisiensi material yang digunakan dan nantinya menentukan metode mana yang paling tepat digunakan untuk perbaikan tebing jalan tol Gempol-Pandaan STA 6+400 sampai STA 6+525.

BAB IV ANALISA DATA

4.1 Analisa Data Tanah dan Lereng

4.1.1 Kondisi Tanah

Data pengeboran tanah yang digunakan diambil pada satu titik yaitu STA. 6+550 karena titik tersebut merupakan titik terdekat dengan lokasi kelongsoran. Lokasi kelongsoran dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi kelongsoran (Sumber: PT Jasa Marga)

Kelongsoran terbesar terjadi pada lokasi yang berada di dalam kotak merah yaitu STA 6+450 s/d STA 6+500. Kelongsoran yang terjadi menyebabkan shotcrete pada lereng retak dan keretakan tersebut menjalar ke lokasi sekitar (Gambar 4.2) seperti STA 6+450 dan STA 6+520

sehingga risiko terjadinya longsor di masa depan juga harus diperhatikan.



Gambar 4.2 Keretakan pada shotcrete (Sumber: PT Jasa Marga)

Pengeboran lapisan tanah dilakukan hingga kedalaman 20 meter dari puncak lereng. Pembacaan N-SPT dilakukan setiap interval 2 meter dan dimulai dari kedalaman 1 meter dari puncak lereng. Hasil *bor log* dari lapangan seperti pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai N-SPT tanah sudah cukup besar dan memiliki risiko kelongsoran yang kecil. Pada kedalaman 0 sampai 10 meter dari puncak lereng, jenis tanah adalah pasir dengan kondisi *very dense*. Selanjutnya dari kedalaman 10 meter kebawah, jenis tanah adalah lanau atau lempung dengan sedikit pasir dengan kondisi *medium* hingga *very stiff*.

Tabel 4.1 Rangkuman data N-SPT hasil pengeboran di lapangan (Sumber: PT Jasa Marga)

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis tanah
1	32	Pasir kelanauan, coklat, sedikit kerikil dengan
2	38	

3	44	diameter maksimal 9 cm, sedikit lempung, padat hingga sangat padat
4	47	
5	50	
6	50	
7	50	
8	50	
9	50	Pasir dengan kerikil diameter maksimal 9 cm, abu-abu, sangat padat
10	31.5	
11	13	Lanau dan pasir, abu-abu kecokelatan, sedikit lempung, sedikit kerikil diameter maksimal 6 cm, medium
12	31.5	
13	50	
14	34.5	Lanau berkerikil, abu-abu kecokelatan, sedikit pasir, sangat padat
14.5	30.25	
15	19	Lanau dan lempung, coklat, anorganik, sedikit pasir, sangat kaku
16	26	
17	33	Lempung dan lanau, abu-abu, anorganik, sedikit pasir, mengandung kerikil $d = 2$ cm, keras
18	41.5	
19	50	Lanau berpasir, abu-abu kecokelatan, sedikit lempung, mengandung kerikil $d = 4$ cm, sangat padat
20	50	

Data yang didapatkan dari PT Jasa Marga hanya berupa data N-SPT tanpa ada data pegetesan laboratorium terhadap konsistensi tanah sehingga perlu dilakukan korelasi data tanah. Terdapat dua pendapat tentang proses korelasi

data tanah, yaitu korelasi dengan mempertimbangkan koreksi nilai N-SPT dan korelasi tanpa koreksi nilai N-SPT. Oleh karena itu, kedua metode tersebut akan dibandingkan dan hasil paling kritis akan digunakan sebagai dasar perencanaan.

4.1.2 Korelasi Data Tanah

4.1.2.1 Korelasi data tanah tanpa koreksi nilai NSPT

Data tanah yang diperlukan untuk perhitungan adalah γ , ϕ , dan c . Korelasi N dengan γ menggunakan dua persamaan dari Bowles berikut:

Untuk tanah kohesif,

$$\gamma_{\text{sat}} = 16,8 + 0,15N \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Untuk tanah non-kohesif,

$$\gamma = 16 + 0,1N \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Nilai ϕ dan C didapatkan dari rumus berikut:

$$\phi = 27 + 0.3N_2 \text{ (Peck et. al.)}$$

$$C = 4.1N_2 \text{ (Hettiarachchi & Brown)}$$

Hasil dari korelasi ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Korelasi Data Tanah

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{sat} pakai	ϕ	ϕ pakai	Cu (kN/m ²)	Cu pakai
1	32	Pasir kelanauan, cokelat, sedikit kerikil dengan diameter maksimal 9 cm, sedikit lempung, padat hingga sangat padat	19.2	19.5	36.6	37.5	0	0
2	38		19.8		38.4		0	0
3	44		20.4	20.6	40.2	40.7	0	0
4	47		20.7		41.1		0	0
5	50		21.0	21.0	42.0	42.0	0	0
6	50		21.0		42.0		0	0
7	50		21.0	21.0	42.0	42.0	0	0
8	50		21.0		42.0		0	0
9	50	Pasir dengan kerikil diameter maksimal 9 cm, abu-abu, sangat padat	21.0	20.1	42.0	39.2	0	0
10	31.5		19.2		36.5		0	0
11	13	Lanau dan pasir, abu-abu kecokelatan, sedikit lempung, sedikit kerikil diameter maksimal 6 cm, medium	18.8	20.1	0	0	53.3	91.2
12	31.5		21.5		0	0	129.2	
13	50		24.3	24.3	0	0	205.0	205.0
14	34.5	Lanau berkerikil, abu-abu kecokelatan, sedikit pasir, sangat padat	22.0	21.7	0	0	141.5	132.7
14.5	30.25		21.3		0	0	124.0	
15	19	Lanau dan lempung, cokelat, anorganik, sedikit pasir, sangat kaku	19.7	20.2	0	0	77.9	92.3
16	26		20.7		0	0	106.6	

17	33	Lempung dan lanau, abu-abu, anorganik, sedikit pasir, mengandung kerikil d = 2 cm, keras	21.8	22.4	0	0	135.3	152.7
18	41.5		23.0		0	0	170.2	
19	50	Lanau berpasir, abu-abu kecokelatan, sedikit lempung, mengandung kerikil d = 4 cm, sangat padat	24.3	24.3	0	0	205.0	205.0
20	50		24.3		0	0	205.0	

4.1.2.2 Korelasi data tanah dengan koreksi nilai NSPT

Koreksi yang akan dilakukan adalah koreksi terhadap muka air tanah dan *overburden* pressure. Koreksi terhadap muka air tanah dilakukan untuk tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$. Hasil N-SPT koreksi disebut dengan N1. Pilih nilai N1 yang terkecil dari hasil persamaan berikut:

$$N1 = 15 + \frac{1}{2} (N-15) \text{ (Terzaghi \& Peck, 1960)}$$

$$N1 = 0,6N \text{ (Bazaraa, 1967)}$$

Jenis tanah lempung, lanau, pasir kasar, dan nilai $N \leq 15$ tidak perlu dikoreksi, sehingga nilai $N1 = N$ (Mochtar, 2002). Hasil koreksi N1 dari data yang ada dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil koreksi terhadap muka air tanah N1

Kedalaman (m)	N-SPT	γ (kN/m ³) Bowles	σ_v	N1
1	32	19.20	9.20	19.2
2	38	19.80	19.00	22.8
3	44	20.40	29.40	26.4
4	47	20.70	40.10	28.2
5	50	21.00	51.10	30.0
6	50	21.00	62.10	30.0
7	50	21.00	73.10	30.0
8	50	21.00	84.10	30.0

9	50	21.00	95.10	30.0
10	31.5	19.15	104.25	18.9
11	13	18.75	113.00	13.0
12	31.5	21.53	124.53	18.9
13	50	24.30	138.83	30.0
14	34.5	21.98	150.80	34.5
14.5	30.25	21.34	162.14	30.3
15	19	19.65	171.79	19.0
16	26	20.70	182.49	26.0
17	33	21.75	194.24	33.0
18	41.5	23.03	207.26	41.5
19	50	24.30	221.56	30.0
20	50	24.30	235.86	30.0

Hasil dari koreksi 1 (N_1) perlu dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan. Hasil koreksi ini disebut dengan N_2 . Rumus koreksi terhadap tekanan efektif tanah ada pada persamaan berikut:

$$N_2 = \frac{4N_1}{1 + 0,04 P'_o} ; \text{ bila } P'_o \leq 75 \text{ kPa}$$

$$N_2 = \frac{4N_1}{3,25 + 0,01 P'_o} ; \text{ bila } P'_o > 75 \text{ kPa}$$

Dari persamaan diatas diketahui bahwa untuk mendapatkan N_2 diperlukan nilai tekanan *overburden* yang untuk mendapatkannya diperlukan nilai berat volume tanah (γ), sedangkan data asli yang ada hanya berupa nilai N-SPT. Karena itu dilakukan korelasi nilai N-SPT asli (N) terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai γ , yang nantinya nilai tersebut digunakan untuk menghitung N_2 . N_2 kemudian digunakan untuk menghitung γ baru dan *soil properties* lain

yang dibutuhkan dalam perencanaan. Korelasi N asli dengan γ menggunakan dua persamaan dari Bowles berikut:

Untuk tanah kohesif,

$$\gamma_{\text{sat}} = 16,8 + 0,15N \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Untuk tanah non-kohesif,

$$\gamma = 16 + 0,1N \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Perlu diperhatikan bahwa nilai N_2 harus $\leq 2N_1$. Bila hasil dari koreksi didapat $N_2 > 2N_1$ maka digunakan $N_2 = 2N_1$. Dari persamaan di atas didapatkan hasil koreksi seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Koreksi terhadap overbuden pressure (N_2)

Kedalaman (m)	N-SPT	N_1	N_2	$2N_1$	N_2 pakai
1	32	19.2	56.1	38.4	38.4
2	38	22.8	51.8	45.6	45.6
3	44	26.4	48.5	52.8	48.5
4	47	28.2	43.3	56.4	43.3
5	50	30.0	39.4	60	39.4
6	50	30.0	34.4	60	34.4
7	50	30.0	30.6	60	30.6
8	50	30.0	29.3	60	29.3
9	50	30.0	28.6	60	28.6
10	31.5	18.9	17.6	37.8	17.6
11	13	13.0	11.9	26	11.9
12	31.5	18.9	16.8	37.8	16.8
13	50	30.0	25.9	60	25.9
14	34.5	34.5	29.0	69	29.0
14.5	30.25	30.3	24.8	60.5	24.8
15	19	19.0	15.3	38	15.3
16	26	26.0	20.5	52	20.5

17	33	33.0	25.4	66	25.4
18	41.5	41.5	31.2	83	31.2
19	50	30.0	22.0	60	22.0
20	50	30.0	21.4	60	21.4

Hasil koreksi N_2 dari Tabel 4.4 digunakan untuk perhitungan korelasi N-SPT dengan γ , ϕ , dan c . Korelasi N_2 dengan γ menggunakan dua persamaan dari Bowles menghasilkan nilai seperti yang ada pada Tabel 4.5. Nilai γ_{sat} pakai merupakan hasil rata-rata dari nilai yang besarnya mendekati satu sama lain.

Tabel 4.5 γ_{sat} hasil dari korelasi menggunakan rumus Bowles

Kedalaman (m)	N-SPT	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{sat} pakai (kN/m ³)
1	32	19.8	20.2
2	38	20.6	
3	44	20.9	20.6
4	47	20.3	
5	50	19.9	19.7
6	50	19.4	
7	50	19.1	19.0
8	50	18.9	
9	50	18.9	18.3
10	31.5	17.8	
11	13	18.6	19.0
12	31.5	19.3	
13	50	20.7	20.7
14	34.5	21.2	20.8
14.5	30.25	20.5	

15	19	19.1	19.5
16	26	19.9	
17	33	20.6	21.0
18	41.5	21.5	
19	50	20.1	20.1
20	50	20.0	

Selain γ , diperlukan nilai ϕ dan c untuk analisa stabilitas lereng dan perhitungan perkuatan. Rumus korelasi ϕ dan c yang digunakan sama seperti pada subbab 4.1.2.1. Dari dua rumus di tersebut, nilai ϕ dan C_u untuk tiap lapis tanah dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan ϕ dan C_u tiap lapisan tanah

Kedalaman (m)	N-SPT	ϕ	ϕ pakai	C_u (kN/m ²)	C_u pakai (kN/m ²)
1	32	38.5	39.6	0	0
2	38	40.7		0	0
3	44	41.6	40.8	0	0
4	47	40.0		0	0
5	50	38.8	38.1	0	0
6	50	37.3		0	0
7	50	36.2	36.0	0	0
8	50	35.8		0	0
9	50	35.6	33.9	0	0
10	31.5	32.3		0	0
11	13	0	0	48.7	58.8
12	31.5	0	0	69.0	
13	50	0	0	106.1	106.1
14	34.5	0	0	118.9	110.4

14.5	30.25	0	0	101.8	
15	19	0	0	62.7	73.4
16	26	0	0	84.0	
17	33	0	0	104.2	116.0
18	41.5	0	0	127.9	
19	50	0	0	90.0	88.9
20	50	0	0	87.7	

Rangkuman hasil korelasi data tanah dengan koreksi muka air tanah dan *overburden pressure* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Rangkuman hasil korelasi data tanah dengan koreksi terhadap MAT dan *overburden pressure*

Depth (m)	N-SPT	Jenis tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ	C_u (kN/m ²)
1	32	Pasir kelanauan, coklat, sedikit kerikil dengan diameter maksimal 9 cm, sedikit lempung, padat hingga sangat padat	20.2	39.6	0
2	38				0
3	44		20.6	40.8	0
4	47				0
5	50		19.7	38.1	0
6	50				0
7	50		19.0	36.0	0
8	50				0
9	50	Pasir dengan kerikil diameter maksimal 9 cm, abu-abu, sangat padat	18.3	33.9	0
10	31.5				0
11	13	Lanau dan pasir, abu-abu kecokelatan, sedikit lempung, sedikit kerikil diameter maksimal 6 cm, medium	19.0	0	58.8
12	31.5			0	
13	50		20.7	0	106.1
14	34.5	Lanau berkerikil, abu-abu kecokelatan, sedikit pasir, sangat padat	20.8	0	110.4
14.5	30.25			0	
15	19	Lanau dan lempung, coklat, anorganik, sedikit pasir, sangat kaku	19.5	0	73.4
16	26			0	

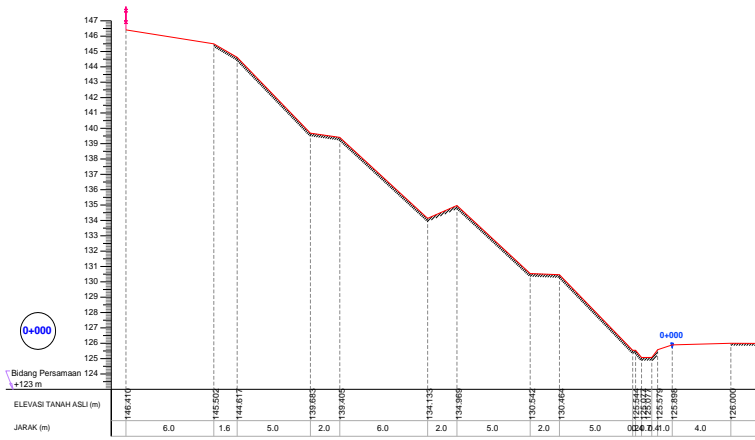
17	33	Lempung dan lanau, abu-abu, anorganik, sedikit pasir, mengandung kerikil d = 2 cm, keras	21.0	0	116.0
18	41.5			0	
19	50	Lanau berpasir, abu-abu kecokelatan, sedikit lempung, mengandung kerikil d = 4 cm, sangat padat	20.1	0	88.9
20	50			0	

Setelah didapat nilai γ , ϕ , dan C_u untuk tiap lapisan tanah, kini perlu di analisa bentuk dan kondisi lereng di lapangan. Kondisi lereng seperti kemiringan lereng dan letak muka air tanah perlu dianalisa karena data tersebut nantinya juga akan digunakan untuk analisa stabilitas lereng.

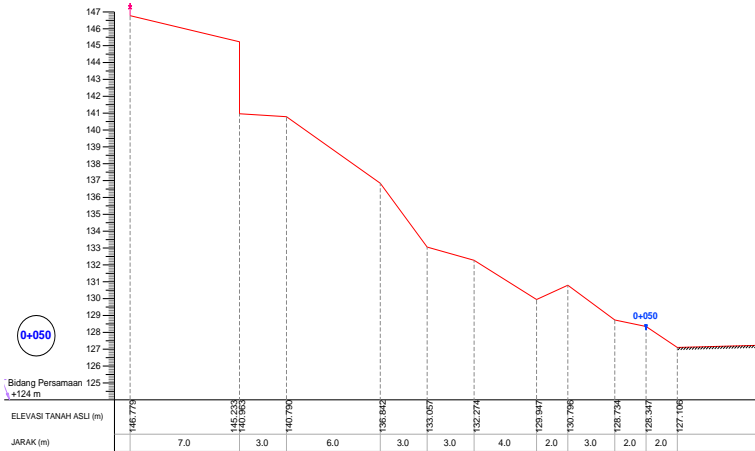
4.1.3 Analisa Kondisi Lereng

Menurut Gambar 4.1, terdapat 5 potongan melintang lereng yang perlu dianalisa, namun STA 6+425 dan STA 6+450 memiliki *cross section* yang mirip sehingga diputuskan untuk 2 potongan tersebut digabungkan menjadi satu. Dengan demikian, terdapat 4 potongan yang perlu di analisa. Keempat potongan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.6.

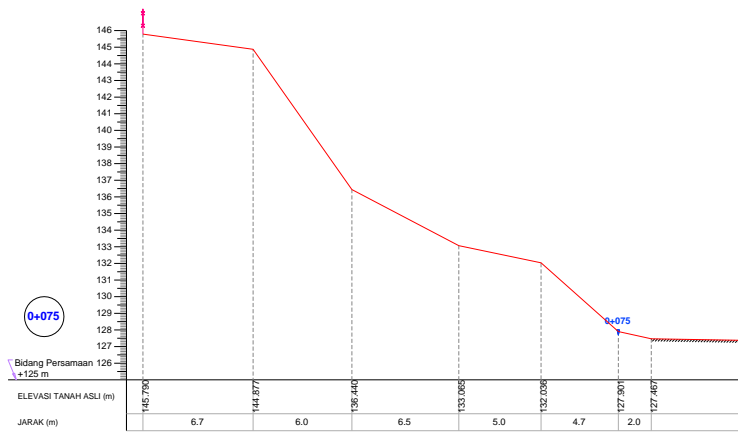
STA 6+450 memiliki tinggi 21,6 m dengan kemiringan lereng rata-rata 1:1. STA 6+475 memiliki tinggi 19,5 m dan kemiringan mulai 1:1,5 hingga 1:3. Meskipun terbilang landai, STA 6+475 memiliki lereng vertical pada bagian atas sehingga risiko terjadi longsor semakin besar. STA 6+500 juga memiliki risiko longsor cukup tinggi karena dengan tinggi 18,3 m, bagian teratas lereng memiliki kemiringan cukup curam yaitu 1:0,7. STA 6+520 juga memiliki dinding vertikal, sehingga risiko longsor tetap harus diperhitungkan.



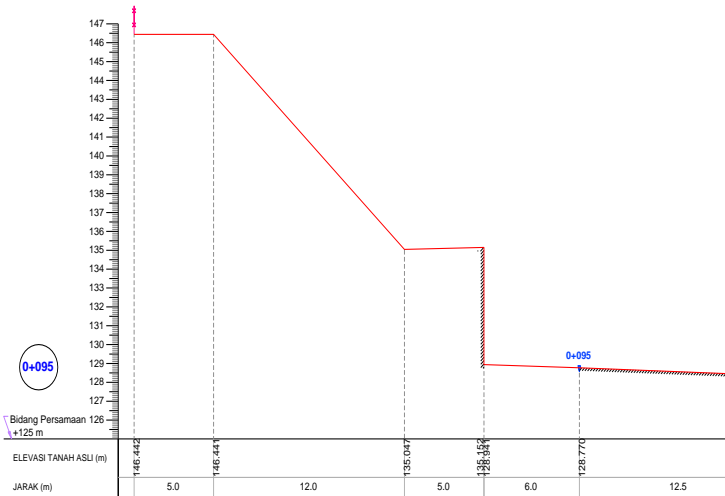
Gambar 4.3 Potongan melintang lereng STA 6+450 (Sumber: PT Jasa Marga)



Gambar 4.4 Potongan melintang lereng STA 6+475 (Sumber: PT Jasa Marga)



Gambar 4.5 Potongan melintang lereng STA 6+500 (Sumber: PT Jasa Marga)



Gambar 4.6 Potongan melintang lereng STA 6+520 (Sumber: PT Jasa Marga)

Kelongsoran di lapangan terjadi ketika musim hujan, sehingga besar kemungkinan penyebab utama kelongSORAN adalah tingginya muka air tanah. Oleh sebab itu, analisa kestabilan lereng yang akan dilakukan mempertimbangkan tiga ketinggian muka air tanah untuk menemukan angka keamanan terkecil. Muka air tanah rendah berarti ketinggian air setara dengan dasar lereng, muka air tinggi setara dengan ketinggian lereng, dan muka air sedang seta dengan setengah ketinggian lereng. Hasil angka keamanan terkecil pada setiap lereng akan digunakan sebagai dasar perhitungan untuk perkuatan lereng.

4.2 Analisa Stabilitas Lereng

Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan program bantu Dxstabl. Permodelan geometri lereng sesuai dengan 4 potongan melintang seperti pada gambar 4.3 sampai 4.6 yang sedikit disederhanakan. Beban *surchage* 10 kPa ditambahkan pada analisa stabilitas lereng sesuai acuan SNI 8460:2017 pasal 7.5.1. Analisa dilakukan menggunakan metode irisan *Bishop* dengan memperhatikan 3 ketinggian muka air tanah yang berbeda yaitu MAT tinggi (di puncak lereng), MAT rendah (di dasar lereng), dan MAT sedang (di setengah ketinggian lereng). Analisa stabilitas lereng juga akan dilakukan dengan menggunakan 2 data hasil korelasi yang telah dihitung, yaitu tanpa koreksi dan dengan koreksi. Angka keamanan terkecil ditandai dengan warna kuning pada tabel.

4.2.1 Analisa Stabilitas Lereng dengan Data Tanah Hasil Koreksi

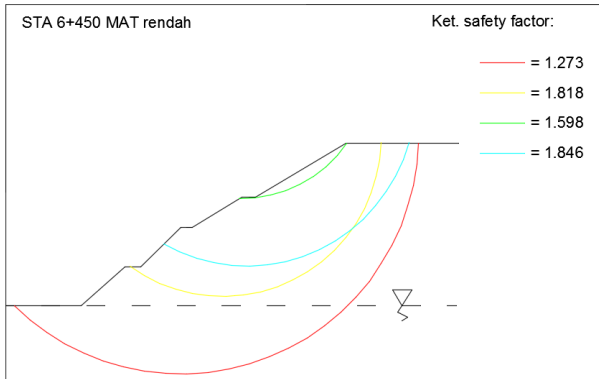
1. STA 6+450

Hasil analisa stabilitas lereng pada STA 6+450 setelah dilakukan beberapa kali percobaan adalah sebagai berikut:

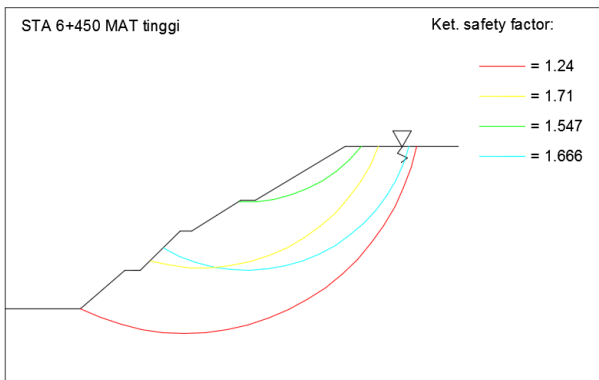
Tabel 4.8 Hasil analisa lereng pada STA 6+450

No	SF	Δ MR (kN-m)	R (m)
MAT rendah			
1	1.273	97300	31.67
2	1.818	40445	21.18
3	1.598	3071	16.91
4	1.846	34295	22.42
MAT tinggi			
1	1.24	71550	31.49
2	1.71	31825	25.26
3	1.547	3840	19.2
4	1.666	30955	22.42
MAT sedang			
1	1.266	93600	31.49
2	1.803	40105	21.18
3	1.598	3071	16.91
4	1.835	34095	22.42

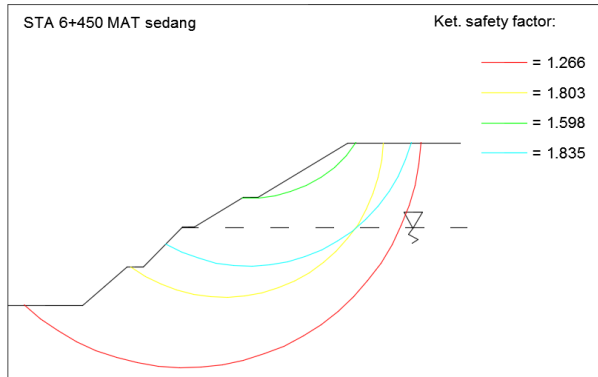
Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa angka keamanan terkecil 1,24 terjadi saat muka air tinggi di puncak lereng. Beberapa angka kemaan diatas kemudian dibuat ilustrasi berbentuk lereng untuk mengetahui bentuk dan posisi bidang longsor pada lereng seperti pada Gambar 4.7 sampai 4.9. Posisi bidang longsor perlu diketahui untuk menentukan panjang perkuatan yang diperlukan.



Gambar 4.7 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+450 dengan MAT rendah



Gambar 4.8 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+450 dengan MAT tinggi



Gambar 4.9 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+450 dengan MAT sedang

2. STA 6+475

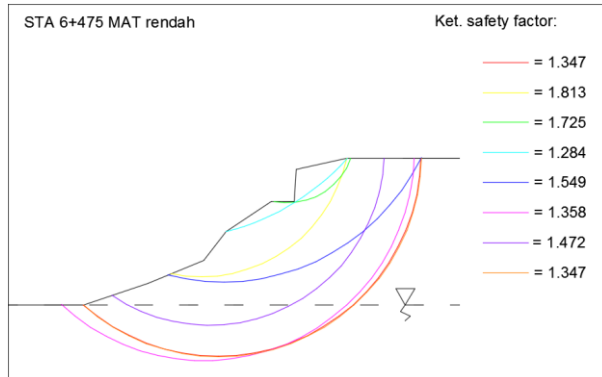
Hasil analisa stabilitas lereng pada STA 6+475 setelah dilakukan beberapa kali percobaan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil analisa lereng pada STA 6+475

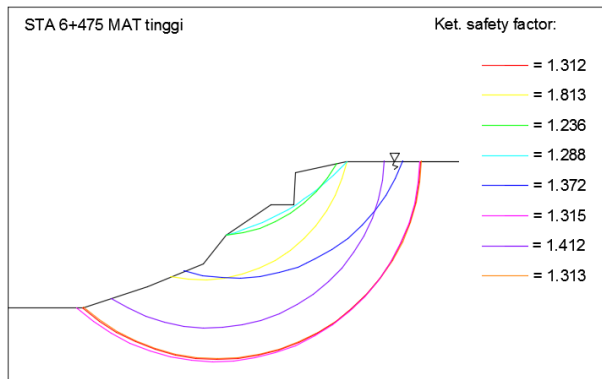
No	SF	ΔMR (kN-m)	R (m)
MAT rendah			
1	1.347	68000	26.97
2	1.813	20950	19.75
3	1.725	1867	8.93
4	1.284	5900	32.86
5	1.549	45045	29.35
6	1.358	73800	27.97
7	1.472	45635	23.21
8	1.347	68100	26.96
MAT tinggi			

1	1.312	66200	26.97
2	1.813	20950	19.75
3	1.702	1843	8.93
4	1.283	5900	32.86
5	1.372	27725	23.79
6	1.315	68050	27.2
7	1.412	43785	23.21
8	1.313	66350	26.96
MAT sedang			
1	1.341	76250	28.99
2	1.745	19575	17.92
3	1.706	1880	9.08
4	1.305	5575	19.56
5	1.499	35675	25.36
6	1.336	68600	27.65
7	1.43	55400	25.5
8	1.34	67700	26.96

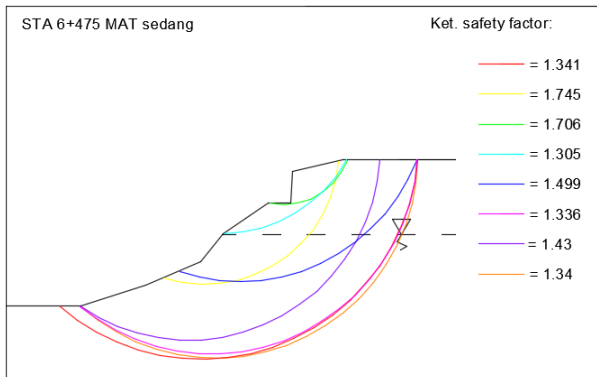
Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa angka keamanan terkecil 1,283 terjadi saat muka air tinggi di puncak lereng. Beberapa angka kemaan diatas kemudian dibuat ilustrasi berbentuk lereng untuk mengetahui bentuk dan posisi bidang longsor pada lereng seperti pada gambar 4.10 sampai 4.12. Posisi bidang longsor perlu diketahui untuk menentukan panjang perkuatan yang diperlukan.



Gambar 4.10 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+475 dengan MAT rendah



Gambar 4.11 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+475 dengan MAT tinggi



Gambar 4.12 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+475 dengan MAT sedang

3. STA 6+500

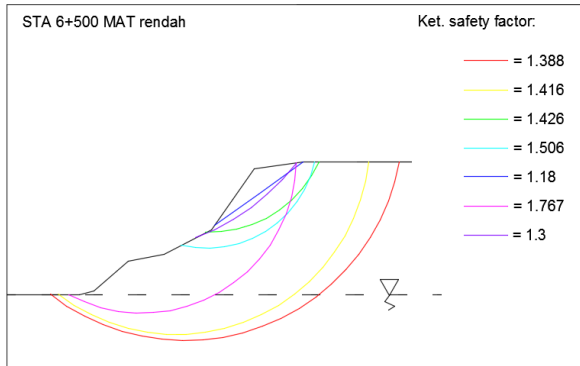
Hasil analisa stabilitas lereng pada STA 6+500 setelah dilakukan beberapa kali percobaan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil analisa lereng pada STA 6+500

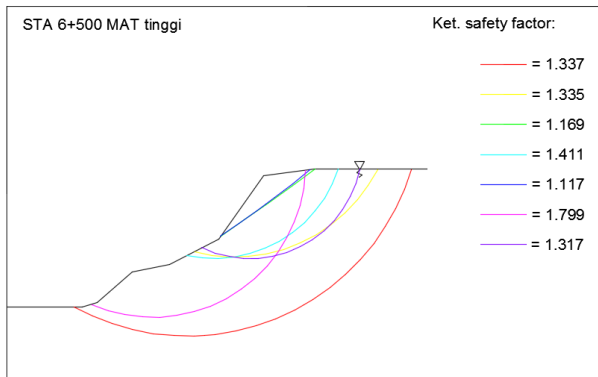
No	SF	ΔMR (kN-m)	R (m)
MAT rendah			
1	1.388	77800	30.08
2	1.416	61800	26.6
3	1.426	7715	16.5
4	1.506	10295	15.29
5	1.18	148850	919.62
6	1.767	36210	21.27
7	1.3	7780	30.9
MAT tinggi			
1	1.337	68450	31.1
2	1.335	15700	21.34

3	1.169	61650	353.31
4	1.411	11865	17.35
5	1.117	29575	187.23
6	1.799	31300	20.29
7	1.317	9780	14.93
MAT sedang			
1	1.38	81250	29.62
2	1.411	61600	26.6
3	1.414	7650	16.5
4	1.499	10250	15.29
5	1.18	148850	919.01
6	1.763	36130	21.27
7	1.299	7770	30.9

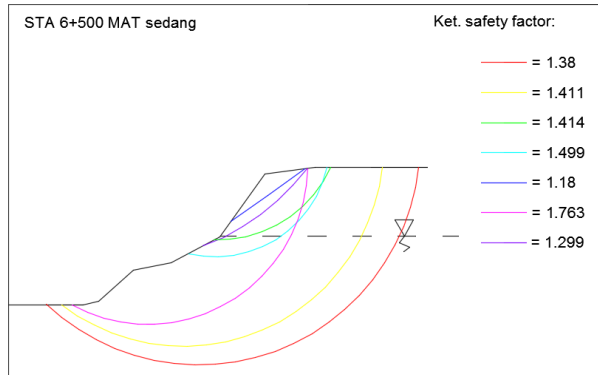
Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa angka keamanan terkecil 1,117 terjadi saat muka air tinggi di puncak lereng. Beberapa angka kemaan diatas kemudian dibuat ilustrasi berbentuk lereng untuk mengetahui bentuk dan posisi bidang longsor pada lereng seperti pada gambar 4.13 sampai 4.15. Posisi bidang longsor perlu diketahui untuk menentukan panjang perkuatan yang diperlukan.



Gambar 4.13 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+500 dengan MAT rendah



Gambar 4.14 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+500 dengan MAT tinggi



Gambar 4.15 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+500 dengan MAT sedang

4. STA 6+520

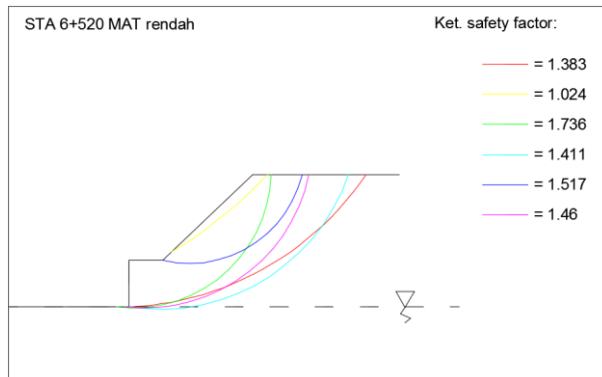
Hasil analisa stabilitas lereng pada STA 6+520 setelah dilakukan beberapa kali percobaan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil analisa lereng pada STA 6+520

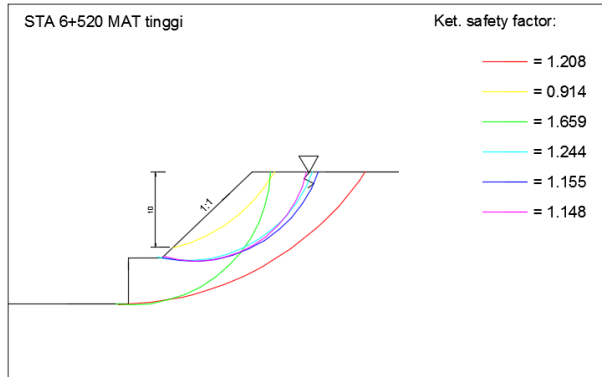
SF	ΔMR (kN-m)	R (m)
MAT rendah		
1.383	61450	40.08
1.024	4890	61.63
1.736	22010	18.38
1.411	42090	26.51
1.517	10795	15.47
1.46	30515	22.33
MAT tinggi		
1.208	53700	40.08
0.914	3651	21.3
1.659	21035	18.38

1.244	10975	17.93
1.155	10350	17.66
1.148	8370	15.19
MAT sedang		
1.368	60800	40.08
0.994	3972	21.3
1.722	21830	18.38
1.397	41660	26.51
1.487	10580	15.47
1.447	30230	22.33

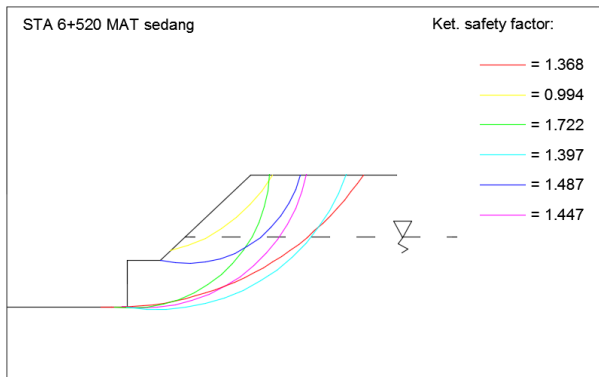
Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa angka keamanan terkecil 0,914 terjadi saat muka air tinggi di puncak lereng. Beberapa angka kemaan diatas kemudian dibuat ilustrasi berbentuk lereng untuk mengetahui bentuk dan posisi bidang longsor pada lereng seperti pada gambar 4.16 sampai 4.18. Posisi bidang longsor perlu diketahui untuk menentukan panjang perkuatan yang diperlukan.



Gambar 4.16 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT rendah



Gambar 4.17 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT tinggi



Gambar 4.18 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT sedang

Setelah dilakukan analisa stabilitas terhadap keempat potongan lereng, di dapatkan empat angka keamanan terkecil yang nantinya digunakan dalam perencanaan perkuatan lereng seperti pada Tabel 4.12. Keempat angka keamanan terkecil tersebut semua terjadi

pada saat muka air tanah tinggi. Namun karena ada perencanaan subdrain, maka akan dilakukan perbandingan banyaknya perkuatan yang diperlukan untuk SF kecil dengan muka air tinggi dan saat ada subdrain yang berfungsi menurunkan air.

Tabel 4.12 Rangkuman nilai SF terkecil lereng

Lereng	SF
STA 6+450	1.24
STA 6+475	1.283
STA 6+500	1.117
STA 6+520	0.914

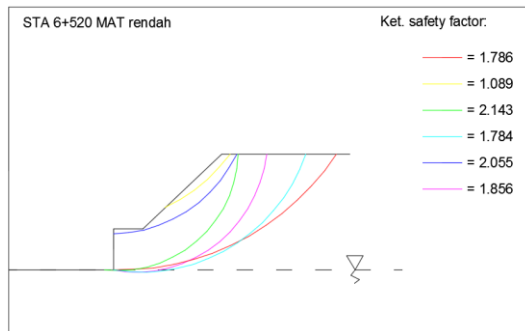
4.2.2 Analisa Stabilitas Lereng dengan Data Tanah Tanpa Koreksi

Analisa stabilitas lereng dengan data tanah tanpa koreksi dilakukan pada salah satu lereng untuk membandingkan besarnya nilai angka keamanan. Tabel 4.13 menunjukkan besarnya angka keamanan yang terjadi pada lereng STA 6+520. Bentuk bidang longsor yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.19 sampai Gambar 4.21.

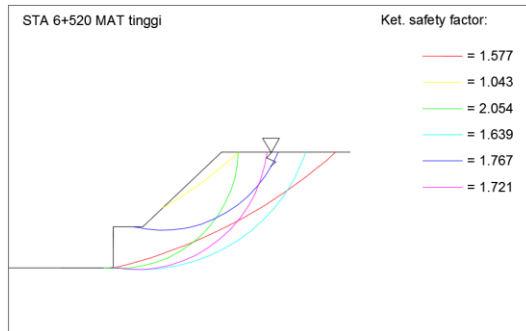
Tabel 4.13 Hasil analisa kestabilan lereng STA 6+520 dengan data korelasi tanpa koreksi

SF	ΔMR (kN-m)	R (m)
MAT rendah		
1.786	88050	39.49
1.089	1649.5	25.57
2.143	28640	18.25
1.784	55750	26.51
2.055	9805	21.27
1.856	36590	20.24
MAT tinggi		

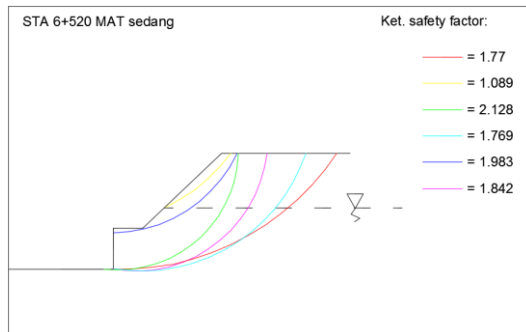
1.577	130400	76.33
1.043	4950	67.95
2.054	27445	18.25
1.639	51200	26.51
1.767	17690	19
1.721	33925	20.24
MAT sedang		
1.77	87250	39.49
1.089	1649.5	25.57
2.128	28440	18.25
1.769	55250	26.51
1.983	9460	21.27
1.842	36310	20.24



Gambar 4.19 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT rendah



Gambar 4.20 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT tinggi



Gambar 4.21 Bentuk bidang longsor lereng STA 6+520 dengan MAT sedang

Setelah dilakukan analisa, dapat dilihat bahwa nilai angka keamanan pada Tabel 4.13 nilainya lebih besar daripada nilai angka keamanan pada Tabel 4.11. Hal ini menunjukkan bahwa hasil kestabilan lereng paling kritis dihasilkan ketika data tanah dengan koreksi digunakan, sehingga disimpulkan bahwa dasar perencanaan akan menggunakan data tanah hasil korelasi dengan koreksi muka air tanah dan *overburden pressure* (Tabel 4.11).

BAB V

PERENCANAAN SUBDRAIN DAN PERKUATAN LERENG

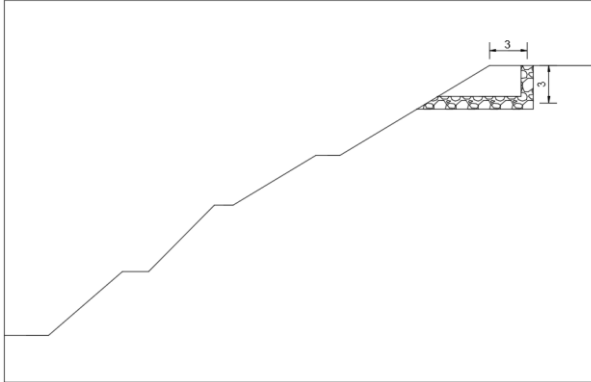
Berdasarkan hasil analisa lereng pada Bab IV, diperlukan adanya perkuatan karena angka keamanan lereng belum memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 Tabel 26 yaitu 1,5 untuk lereng permanen, terutama saat keadaan muka air tinggi. Dalam Tugas Akhir ini, perkuatan yang digunakan adalah *soil nailing*. Soil nailing khusus digunakan untuk memperkuat lereng yang mengalami longsor lokal sehingga bab ini akan membahas perencanaan perkuatan terhadap longsor lokal yang terjadi pada 4 *cross section* lereng. Namun sebelumnya, perlu dilakukan perencanaan subdrain untuk menurunkan muka air tanah. Hasil perencanaan perkuatan tanpa subdrain akan dibandingkan dengan hasil perencanaan dengan subdrain yang nantinya akan dipilih mana yang lebih efektif dan efisien.

5.1 Perencanaan Subdrain

Perencanaan subdrain dilakukan untuk menurunkan muka air tanah yang tinggi. Muka air tanah tertinggi terjadi ketika hujan dan setelah hujan saat air genangan mulai merembes ke dalam tanah. Subdrain yang direncanakan terbuat dari susunan batu pecah dan kerikil yang disusun menyerupai bronjong dan dibungkus dengan geotextile woven agar butiran tanah tidak ikut terbawa keluar bersamaan dengan air. Kondisi tanah di lapangan seperti pada Tabel 4.1 yang berupa pasir dengan kondisi *very dense* memungkinkan perencanaan subdrain hanya dapat dilakukan untuk kedalaman 3 m. Contoh rencana perencanaan subdrain pada STA 6+450 dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Perencanaan dimensi subdrain memerlukan data besarnya debit air yang akan melewatinya, sehingga diperlukan data hujan yang terjadi di daerah kelongsoran. Debit yang melewati subdrain berasal dari aliran permukaan dan aliran dari dalam tanah/rembesan air. Stasiun hujan yang terdekat dari lokasi kelongsoran di Jalan Tol Gempol Pandaan adalah Stasiun Tanggul.

Data yang didapat adalah data tinggi hujan harian dari tahun 2006 hingga tahun 2015. Tabel 5.1 berisi tinggi hujan maksimum tiap tahunnya. Data hujan yang lengkap akan disertakan di lampiran.



Gambar 5.1 Rencana subdrain

Tabel 5.1 Data tinggi hujan maksimal (Sumber: Stasiun Tanggul)

Tahun	Tinggi hujan max harian (mm)
2006	98
2007	65
2008	94
2009	103
2010	139
2011	80
2012	91
2013	103
2014	103
2015	135

Tabel 5.1 menunjukkan bahwa tinggi hujan maksimum yang terjadi pada tahun 2006 hingga 2015 adalah 139 mm, maka data

tersebut yang akan digunakan untuk menghitung debit air yang melewati subdrain.

Pehitungan debit air dari aliran permukaan yang akan melewati saluran menggunakan rumus rasional seperti berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

- Q = debit aliran maksimum (m³/detik)
 C = koefien aliran
 I = intensitas hujan maksimum (mm/jam)
 A = luas daerah pengaliran (km²)

Data yang didapatkan hanya berupa tinggi hujan sehingga perlu dihitung intensitas hujan yang terjadi. Intensitas hujan dapat dihitung menggunakan rumus Mononobe seperti berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

- I = intensitas hujan rata-rata selama t jam (mm/jam)
 T_c = waktu konsentrasi atau waktu tiba banjir (jam)
 R₂₄ = curah/tinggi hujan harian (mm)

Waktu konsentrasi T_c dapat dicari dengan menggunakan persamaan McDermot:

$$T_c = 0,76 \times A^{0,38}$$

- T_c = waktu konsentrasi atau waktu tiba banjir (jam)
 A = luas daerah pengaliran (km²)

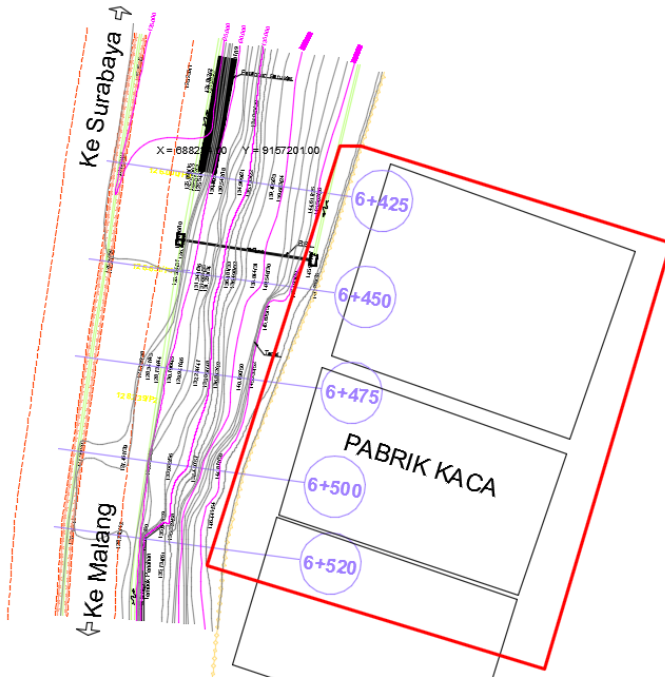
Luas daerah pengaliran adalah luas daerah di sekitar subdrain yang debit alirannya akan ditampung oleh subdrain. Tidak ada ketentuan untuk menentukan luas daerah pengaliran, oleh karena itu luas diasumsikan seperti pada Gambar 5.2. Luas daerah di dalam kotak merah adalah luas daerah pengaliran yang ditampung subdrain, luasnya adalah 0,0103 km².

Perhitungan T_c adalah sebagai berikut:

$$T_c = 0,76 \times A^{0,38}$$

$$T_c = 0,76 \times 0,0103^{0,38}$$

$$T_c = 0,1334 \text{ jam} = 8 \text{ menit}$$



Gambar 5.2 Luasan yang menjadi daerah pengaliran

Setelah diketahui nilai T_c , maka nilai intensitas hujan (I) dapat dicari. Besarnya I dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^2$$

$$I = \frac{139}{24} \left(\frac{24}{0,1334} \right)^2$$

$$I = 184,6 \text{ mm/jam}$$

Setelah nilai intensitas hujan diketahui, maka dapat dihitung besarnya debit yang akan mengalir melewati subdrain. Namun sebelum itu perlu dihitung nilai C gabungan. C adalah nilai koefisien pengaliran, besarnya tergantung jenis permukaan yang dilewati oleh air. Pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa ada dua

permukaan yang dilewati oleh air yaitu atap pabrik dan lahan kosong berumput disekitarnya. Karena ada dua nilai C maka perlu dihitung C gabungan. Nilai C untuk tiap permukaan dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Nilai C untuk berbagai permukaan (Sumber: Buku Ajar Hidrologi)

Koefisien pengaliran C.

<i>Komponen lahan</i>	<i>Koefisien C (%)</i>
Jalan : - aspal	70 - 95
- beton	80 - 95
- bata/paving	70 - 85
Atap	75 - 95
Lahan berumput:	
- tanah berpasir, * landai (2%)	5 - 10
* curam (7%)	15 - 20
- tanah berat, * landai (2%)	13 - 17
* curam (7%)	25 - 35
	<i>Koe. n total</i>
<i>Lahan</i>	<i>C (%)</i>
Daerah perdagangan	70 - 95
* penting, padat	
* kurang padat	50 - 70
Area permukiman :	
* perumahan tunggal	
* perumahan kopel berjauhan	40 - 60
* perumahan kopel berdekatan	60 - 75
* perumahan pinggir kota	25 - 40
* apartemen	50 - 70
Area industri :	
* ringan	50 - 80
* berat	60 - 90
Taman dan makam	10 - 25
Taman bermain	20 - 35
Lahan kosong/terlantar	10 - 30

Menurut tabel 5.2, nilai C untuk atap berada pada angka 0,75 - 0,95 dan untuk lahan rumput antara 0,13 - 0,17, digunakan C_{atap}

= 0,85 dan $C_{\text{lahan}} = 0,15$. Luas daerah beratap = 6971 m² dan luas lahan berumput = 3289 m².

$$C_{\text{gabungan}} = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i}$$

$$C_{\text{gabungan}} = \frac{(0,85 \times 6971) + (0,15 \times 3289)}{(6971 + 3289)} = 0,625$$

Besarnya debit yang akan mengalir melewati subdrain:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

$$Q = 0,278 \times 0,625 \times 184,6 \times 0,0103$$

$$Q = 0,33 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Selain aliran permukaan, rembesan air dari dalam tanah juga perlu dipertimbangkan. Kecepatan rembesan dan debit air dipengaruhi oleh koefisien rembesan. Nilai koefisien rembesan dapat ditentukan dengan tes di laboratorium, tes langsung di lapangan, atau dengan cara empiris. Pada perhitungan kali ini digunakan cara empiris karena tidak dilakukan tes terhadap koefisien rembesan saat pengambilan data tanah. Perhitungan koefisien rembesan cara empiris dengan menggunakan persamaan Kozeny – Carman:

$$k = \frac{e^3}{1+e}$$

e = angka pori

Besarnya angka pori masih belum diketahui sehingga perlu dilakukan korelasi. Menurut Tabel 4.1, jenis tanah pada kedalaman 1 hingga 3 m adalah pasir dengan sedikit lanau dan memiliki sudut geser antara 39° hingga 40° (Tabel 4.5). Menurut Tabel 5.3, tanah dengan deskripsi tersebut memiliki angka pori antara 0,41 – 0,5. Besar angka pori yang diambil adalah 0,41.

$$k = \frac{e^3}{1+e} = \frac{0,41^3}{1+0,41} = 0,048$$

Tabel 5.3 Korelasi angka pori dengan soil properties yang lain
(Sumber: Foundation of Theoretical Soil Mechanics; M.E. Harr:
1996)

Type of Soil	Properties of soil *	Void ratio <i>e</i>		
		0.41 to 0.5	0.51 to 0.6	0.61 to 0.70
Sand (course) $v = 0.15$	ϕ	43	40	38
	E (lb/in ²)	6.550	5.700	4.700
	E (kN/m ²)	45.200	39.300	32.400
Sand (medium course) $v = 0.2$	ϕ	40	38	35
	E (lb/in ²)	6.550	5.700	4.700
	E (kN/m ²)	45.200	39.300	32.400
Sand (fine grained) $v = 0.25$	ϕ	38	36	32
	E (lb/in ²)	5.300	4.000	3.400
	E (kN/m ²)	36.600	27.600	23.500
Sandy silt $v = 0.3$ to 0.35	ϕ	36	34	30
	E (lb/in ²)	2.000	1.700	1.450
	E (kN/m ²)	13.800	11.700	10.000

Selain dengan cara empiris, Braja M. Das dalam bukunya juga mencantumkan besarnya koefisien permeabilitas untuk tanah pada umumnya. Harga k tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4. Nilai k yang sesuai dengan kondisi tanah di lapangan ditandai dengan kotak merah. Akibat beragamnya nilai k yang ada, maka akan dihitung berbagai kemungkinan besar rembesan yang terjadi. Dengan demikian, perencanaan di lapangan memiliki lebih banyak hal yang akan menjadi pertimbangan. Nilai k yang akan digunakan yaitu 0,048, 0,01, dan 0,001.

Tabel 5.4 Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah Pada Umumnya

Jenis Tanah	K	
	Cm/dt	Ft/menit
Kerikil bersih	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	< 0,000001	< 0,000002

Sumber : Das, 1988

Setelah diketahui besarnya nilai k , maka dapat diketahui kecepatan aliran rembesan dan debit yang akan melewati subdrain. Kecepatan air yang mengalir di dalam tanah jenuh dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$V = k \times i$$

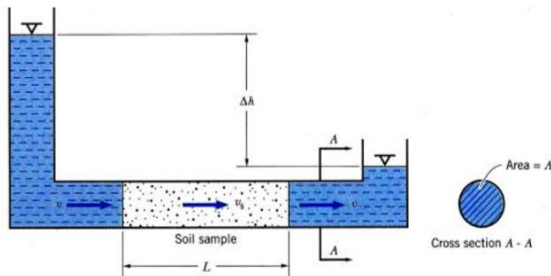
$$i = \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

i = gradien hidrolis

Δh = selisih total head antara 2 titik yang ditinjau

ΔL = panjang aliran rembesan

Ilustrasi untuk perhitungan gradient hidrolis (i) dapat dilihat pada Gambar 5.3.



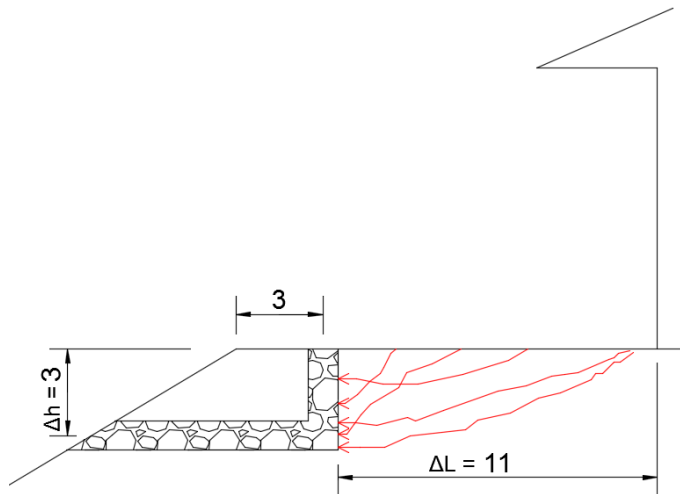
Gambar 5.3 Ilustrasi perhitungan gradien hidrolis (Sumber: Modul Ajar Timbunan dan Konstruksi Penahan Tanah)

Setelah kecepatan rembesan ditemukan, maka perhitungan debit air dilakukan dengan rumus berikut:

$$Q = V \times A$$

A = luas penampang aliran

Gradien hidrolis aliran air di lapangan tidak dapat di prediksi dengan tepat karena terjadi di bawah tanah, sehingga diputuskan untuk dilakukan perhitungan dengan banyak nilai i . Ilustrasi macam-macam gradient hidrolis (i) yang dapat terjadi di lapangan dapat dilihat pada Gambar 5.4. Berbagai nilai i yang sudah disederhanakan dapat dilihat pada Tabel 5.5.



Gambar 5.4 Gradien hidrolis yang mungkin terjadi di lapangan

Tabel 5.5 Kemungkinan nilai i yang terjadi di lapangan

gradien hidrolis (i)		ΔL										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Δh	1	1	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	0.13	0.11	0.1	0.09
	1.5	1.5	0.75	0.5	0.38	0.3	0.25	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14
	2	2	1	0.67	0.5	0.4	0.33	0.29	0.25	0.22	0.2	0.18
	2.5	2.5	1.25	0.83	0.63	0.5	0.42	0.36	0.31	0.28	0.25	0.23
	3	3	1.5	1	0.75	0.6	0.5	0.43	0.38	0.33	0.3	0.27

Setelah diketahui nilai i , perlu diketahui luas penampang dimana rembesan air akan lewat. Pada Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa A adalah luas penampang sample tanah, namun dengan keadaan di lapangan maka diasumsikan $A = 3 \text{ m}^2$ yang berasal dari 3 m kedalaman subdrain dan 1 m panjang tegak lurus gambar. Setelah dilakukan perhitungan dengan berbagai nilai i , debit rembesan maksimum yang mengalir di subdrain adalah seperti perhitungan dibawah ini. Hasil perhitungan lengkap terdapat pada lampiran.

$$Q = k \times i \times A = \frac{0,048 \times 3 \times 30000}{10^6} = 0,00432 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dengan mempertimbangkan besar debit rembesan, maka debit air maksimum yang akan melewati saluran subrain adalah:

$$Q = 0,33 + 0,00432 = 0,33432 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Perencanaan dimensi subdrain menggunakan rumus hidrolika. Direncanakan saluran berukuran 50 cm x 50 cm serta nilai n Manning sebesar 0,02 diambil dari nilai n untuk pasangan batu kosong (Tabel 5.6) karena saluran subdrain akan diisi dengan batu belah dan kerikil.

Tabel 5.6 Nilai Kekasaran Manning untuk Saluran Drainase
(Sumber: Bahan Ajar Perencanaan Drainase)

Saluran	Keterangan	n Manning
Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0,016 - 0,033
	Berkelok, landai dan berumput	0,023 - 0,040
	Tidak terawat dan kotor	0,050 - 0,140
	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0,035 - 0,045
Pasangan	Batu kosong	0,023 - 0,035
	Pasangan batu belah	0,017 - 0,030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0,014 - 0,018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0,018 - 0,030

$$h = b = 0,5 \text{ m}$$

$$A = b \times h = 0,5 \times 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

$$P = b + (2h) = 0,5 + (2 \times 0,5) = 1,5 \text{ m}$$

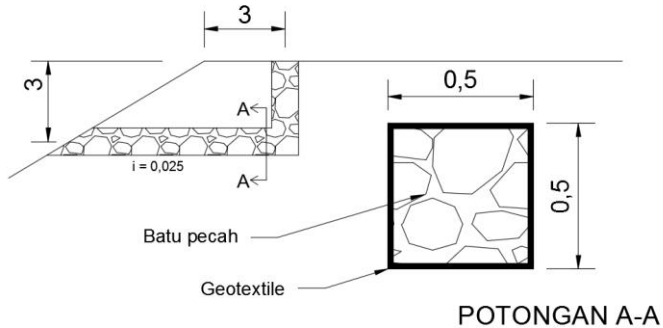
$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,25}{1,5} = 0,167 \text{ m}$$

i menggunakan i rencana yaitu 0,025

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} = \frac{1}{0,02} (0,167)^{2/3} (0,025)^{1/2} = 2,4 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q = v \times A = 2,4 \times 0,25 = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Karena nilai Q rencana ($0,6 \text{ m}^3/\text{detik}$) lebih besar daripada Q yang terjadi ($0,33432 \text{ m}^3/\text{detik}$) maka dimensi subdrain rencana ($50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$) dapat digunakan. Ilustrasi perencanaan subdrain dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Ilustrasi perencanaan saluran subdrain

Setelah dilakukan pemasangan subdrain sedalam 3 m, maka muka air tanah akan menurun sedalam 3 m pula. Hal ini dapat mempengaruhi kestabilan dan angka keamanan (SF) dari lereng sehingga dilakukan analisa stabilitas ulang dengan ketinggian muka air tanah 3 meter dibawah muka air tertinggi. Analisa akan dilakukan pada keempat lereng dan dengan memperhatikan nilai SF terkecil seperti pada Tabel 4.9. Hasil analisa stabilitas lereng menghasilkan SF seperti pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Perbandingan nilai SF saat MAT tinggi dan MAT setelah dipasang subdrain (3 m lebih rendah)

Lereng	SF MAT tinggi	SF setelah subdrain
STA 0+025	1.24	1.292
STA 0+050	1.283	1.331
STA 0+075	1.117	1.234
STA 0+095	0.914	0.980

Dari Tabel 5.7 dapat disimpulkan bahwa ada atau tidaknya subdrain tidak berpengaruh banyak pada kestabilan lereng. Selain itu, penggalian subdrain di lapangan dengan kondisi tanah *very dense* juga dapat mempersulit pelaksanaan. Oleh sebab itu, pada perencanaan perkuatan kali ini digunakan kondisi tanpa subdrain atau muka air tanah tertinggi di puncak lereng. Perencanaan perkuatan yang dilakukan adalah menggunakan metode *soil nailing*.

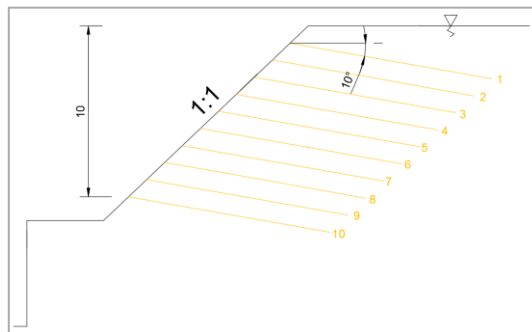
5.2 Perkuatan Lereng Menggunakan *Soil Nailing*

Perkuatan *soil nailing* hanya akan dihitung untuk 3 potongan lereng yaitu STA 6+475, STA 6+500, dan STA 6+520. STA 6+450 masih memiliki nilai SF 1,24 namun menurut Gambar 4.8, jari-jari bidang longsor berwarna merah terlalu besar untuk dihitung menggunakan *soil nailing*. Alternatif terhadap masalah ini akan dibahas pada sub bab berikutnya.

5.2.1 Perkuatan Lereng STA 6+520

Direncanakan perkuataan *soil nailing* dengan desain seperti pada gambar 5.1 spesifikasi sebagai berikut:

Panjang tulangan	: 12 m
Diameter tulangan	: 25 mm
f_y	: 420 MPa
Kemiringan <i>soil nailing</i> (λ)	: 10°
Jarak vertikal (S_v)	: 1 m
Jarak horizontal (S_h)	: 1 m



Gambar 5.6 Perencanaan awal perkuatan soil nailing

5.2.1.1 Stabilitas Internal

a) Menghitung FS_T

Besarnya T yang terjadi pada tulangan baja pada kedalaman z dapat dihitung menggunakan rumus 2.30. T_{max} akan terjadi pada tulangan baja yang memikul tegangan *overburden* paling besar yaitu pada tulangan paling dasar pada lereng (tulangan 10 pada lapisan tanah ke-5).

Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{33.9}{2} \right) = 0.284$$

Perhitungan tegangan *overburden*:

$$\begin{aligned} \sigma'_o &= [(20.2-9,8) \times 2] + [(20.6-9,8) \times 2] + [(19.7-9,8) \times 2] \\ &\quad + [(19-9,8) \times 2] + [(18.3-9,8) \times 2] \\ &= 97.6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan T₀ akibat tekanan tanah efektif:

$$T_0 = K_a (q + \sigma'_o) S_h S_v = 0.284 (10 + 97.6) \times 1 \times 1 = 30,51 \text{ kN}$$

Perhitungan T₀ akibat tekanan air:

$$T_0 = \gamma_w \times z \times K_w = 9.8 \times 10 \times 1 = 98 \text{ kN}$$

$$T_0 \text{ total} = T_{\max} = 30,56 + 98 = 128,51 \text{ kN}$$

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

$$FS_T = \frac{R_{T \max}}{T_0} = \frac{206,17}{128,51} = 1,6 > 1,5 \text{ (OK)}$$

b) Kuat Tarik *Soil Nailing*

Menggunakan rumus berikut:

$$R_T = \frac{\pi d^2 f_y}{4 FOS_{RT}} = \frac{\pi \times 25^2 \times 415}{4 \times 1.8} = 113,17 \text{ kN}$$

c) Kuat cabut *soil nailing*

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

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

Tegangan *overburden* dihitung di tengah-tengah tulangan baja. Contoh perhitungan 3 tulangan teratas:

$$\sigma_{v1} = 20,2 \times \left(1 + \frac{12}{2} \sin 10\right) = 41,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v2} = (20,2 \times 2) + \left(\frac{12}{2} \sin 10\right) \times 20,6 = 61,85 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v3} = (20,2 \times 2) + \left(1 + \frac{12}{2} \sin 10\right) \times 20,6 = 82,45 \text{ kN/m}^2$$

Setelah tegangan *overburden* ditemukan, dapat dihitung T_p ,

$$T_{p1} = \frac{\left[0 + \left(41,2 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 39,6\right)\right)\right] \times \pi \times 0,025}{1,5} = 1,07 \text{ kN/m}$$

$$T_{p2} = \frac{\left[0 + \left(61,8 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 40,8\right)\right)\right] \times \pi \times 0,025}{1,5} = 1,61 \text{ kN/m}$$

$$T_{p3} = \frac{\left[0 + \left(82,4 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 38,1\right)\right)\right] \times \pi \times 0,025}{1,5} = 2,22 \text{ kN/m}$$

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

$$T_{n, \max 1} = 1,07 \times 12 = 12,86 \text{ kN}$$

$$T_{n, \max 2} = 1,6 \times 12 = 19,3 \text{ kN}$$

$$T_{n, \max 3} = 2,2 \times 12 = 26,6 \text{ kN}$$

Hasil perhitungan untuk seluruh tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil perhitungan gaya cabut yang terjadi

Nail	T_p (kN/m)	T_n max
TP1	1.07	12.86
TP2	1.61	19.29
TP3	2.22	26.61
TP4	2.75	32.95
TP5	3.03	36.32
TP6	3.50	41.97
TP7	3.72	44.67

TP8	4.15	49.79
TP9	3.08	36.95
TP10	3.08	36.95

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

5.2.1.2 Desain Struktur Permukaan Lereng

a) Perencanaan tebal dan perkuatan *finishing*

Tebal beton untuk *permanent finishing* $h = 200$ mm

Tulangan beton $f_y = 400$ MPa

Grade beton $f_c' = 20$ MPa

Tulangan beton D12 @ 300 mm c/c untuk vertikal dan horizontal

Pelat penahan (*bearing plate*): $f_y = 250$ MPa, ukuran 250 mm x 250 mm, tebal 20 mm.

Baut penahan: 4 buah, ukuran $\frac{1}{2} \times 5 \frac{5}{16}$ sesuai tabel 4.7 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee.

b) Cek rasio tulangan

$$\rho_{\min} = 20 \frac{\sqrt{20}}{415} = 0,22$$

$$\rho_{\max} = 50 \frac{20}{415} \left(\frac{600}{600+415} \right) = 1,5$$

Tulangan D12 dengan jarak 300 mm sama dengan 377 mm²/m (Tabel 4.6 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee) sehingga $a_{vn} = a_{hn} = a_{vm} = a_{hm} = 377$ mm²/m.

Rasio tulangan ρ :

$$\rho_n = \rho_m = \frac{a_{vn}}{0,5h} \times 100 = \frac{377}{0,5 \times 200 \times 1000} \times 100 = 0,377$$

$$0,22 < 0,377 < 1,5 \text{ (OK)}$$

c) Cek tahanan lentur *finishing* beton (R_{FF})

Untuk *permanent facing* dengan tebal 200 mm digunakan nilai $CF = 1$ (Tabel 4.5 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee)

$$a_{vn} + a_{vm} = 377 + 377 = 754 \text{ mm}$$

$$\frac{S_h}{S_v} = 1$$

$$R_{FF} = \frac{1}{265} \times 754 \times (1 \times 0,2) \times 400 = 227,62 \text{ kN}$$

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_0} = \frac{227,62}{128,51} = 1,77 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- d) Cek tahanan *punching shear* (R_{FP})

Cek ketahanan sambungan baut (ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.17 dan 2.18)

Diketahui:

$$f_c' = 20 \text{ MPa}$$

$$L_s = 135 \text{ mm}$$

$$D_H = 25,4 \text{ mm}$$

$$D_S = 12,7 \text{ mm}$$

$$t_H = 7,9 \text{ mm}$$

$$S_{HS} = 150 \text{ mm}$$

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$h_c = L_s - t_H + t_p = 135 - 7,9 + 20 = 147,1 \text{ mm} = 0,147 \text{ m}$$

$$2h_c = 0,294 \text{ m}$$

$$D'_c = 0,294 \text{ m (terkecil dari } 2h_c \text{ atau } S_{HS} + h_c)$$

$$\begin{aligned} R_{FP} &= 330\sqrt{f_c'} \times \pi \times D'_c \times h_c \\ &= 330\sqrt{20} \times \pi \times 0,294 \times 0,147 \\ &= 200,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_0} = \frac{200,04}{128,51} = 1,56 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- e) Cek ketahan baut pada plat penahan (R_{HT})

Kuat tarik baut

$$N_H = 4 \text{ (jumlah baut)}$$

$$A_{SH} = \frac{\pi D^2}{4} = 126,6 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 0,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$R_{HT} = N_H A_{SH} f_y = 202,6 \text{ kN}$$

$$FS_{HT} = \frac{R_{HT}}{T_0} = \frac{202,6}{128,51} = 1,56 > 1,5 \text{ (OK)}$$

Cek batas wajar gaya tekan yang terjadi pada beton di belakang pelat berbaut

$$A_{SH} = \frac{\pi D_s^2}{4} = 126,6 \text{ mm}^2$$

$$A_H = \frac{\pi D_H^2}{4} = 506,7 \text{ mm}^2$$

Untuk menjamin tekanan pada beton di belakang pelat berbaut masih berada dalam batas wajar, 2 kondisi berikut perlu dipenuhi:

$$A_H \geq 2,5 A_{SH}; 490,8 \geq 2,5(126,6) = 316,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$t_H \geq 0,5(D_H - D_s); 7,9 \geq 0,5(25 - 12,7) = 6,15 \text{ mm (OK)}$$

Rangkuman hasil dapat dilihat pada Tabel 5.9.

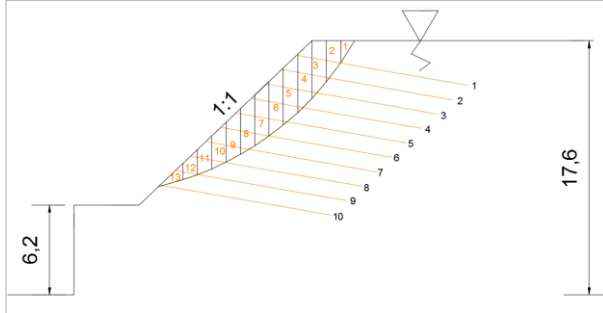
Tabel 5.9 Rangkuman perhitungan finishing

Elemen	Deskripsi	Keterangan
finishing	Tebal beton	200 mm
	Kekuatan beton	$f_c' = 20 \text{ Mpa}$
Tulangan	Tipe	Baja tulangan
	Grade	$f_y = 400 \text{ Mpa}$
	Pola	D12 @ 300 mm c/c
Bearing plate	Tipe	4H-studs 1/2 x 5 5/16
Baut (headed studs)	Dimensi	$L_s = 135 \text{ mm}$
		$D_H = 25,4 \text{ mm}$
		$D_s = 12,7 \text{ mm}$
		$t_H = 7,9 \text{ mm}$
		Jarak $S_{HS} = 150 \text{ mm}$

5.2.1.3 Stabilitas Eksternal

1) Stabilitas lereng (*slope stability*) F_{SG}

Perhitungan stabilitas lereng menggunakan *simplified Bishop method*. Tanah di dalam bidang longsor dibagi menjadi banyak lapisan (Gambar 5.7) untuk didapatkan angka keamanan seperti pada rumus dibawah:



Gambar 5.7 Pembagian lapisan pada bidang longsor

$$F_{SG} = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya pendorong}} = \frac{\sum_{i=1}^{n=10} [C + N \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{n=10} [W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)]}$$

$$C = c \times L$$

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

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

Contoh perhitungan untuk *slice* tanah ke-4 dari gambar 5.2 sebagai berikut:

- a) *Slice* tanah keempat memiliki elemen dari 3 lapis tanah yaitu tanah lapisan ke-1, 2, dan 3 sehingga berat tanah (W) dapat dihitung dengan cara:

$$W_1 = A_1 \times \gamma_1 = 1,52 \times 20,2 = 30,7 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = A_2 \times \gamma_2 = 2 \times 20,6 = 41,2 \text{ kN/m}$$

$$W_3 = A_3 \times \gamma_3 = 0,48 \times 19,7 = 9,5 \text{ kN/m}$$

$$W_{\text{total}} = 81,34 \text{ kN/m}$$

- b) Langkah kedua dilakukan perhitungan *sliding force* (S_F). Karena tidak ada beban luar yang bekerja pada sisi miring lereng, $Q = 0$ sehingga,

$$S_F = W \sin \alpha = 81,4 \sin 45 = 57,52 \text{ kN/m}$$

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

$$N = \frac{-S_F \sin \alpha + W}{\cos \alpha} = \frac{-57,52 \sin 45 + 81,4}{\cos 45} = 57,5 \text{ kN/m}$$

- d) Lima lapis tanah teratas adalah pasir dan tidak memiliki nilai kohesi sehingga,

$$F_{SG} = \frac{\sum_{i=1}^{n=10} [N \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{n=10} [W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)]}$$

Nilai T_n yang memotong *slice* 4 didapatkan dari perhitungan sebelumnya yaitu T_n tulangan-4 = 23,04 kN, sehingga stabilitas geser lereng STA 6+420 adalah:

$$F_{SG} = \frac{\sum_{i=1}^{n=10} [N \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{n=10} [W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)]} = \frac{333,5}{216,3} = 1,54 > 1,5 \text{ (OK)}$$

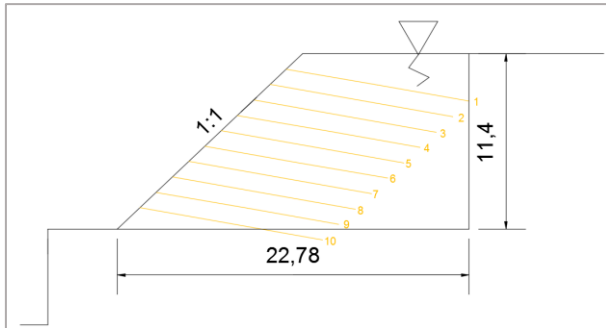
Perhitungan detail dapat dilihat pada lampiran

- 2) Stabilitas geser

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

- a) Gaya penahan (ΣR)

Gaya penahan didapat dari berat tanah yang terpasang *soil nailing* dan besarnya tahanan geser pada dasar tanah sepanjang 22,78 m pada gambar 5.8



Gambar 5.8 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan gesernya

Menghitung berat tanah:

$$W_1 = A_1 \times \gamma_1 = 23,64 \times (20,2-9,8) = 245,86 \text{ kN}$$

$$W_2 = A_2 \times \gamma_2 = 27,85 \times (20,6-9,8) = 300,56 \text{ kN}$$

$$W_3 = A_3 \times \gamma_3 = 32,06 \times (19,7-9,8) = 317,18 \text{ kN}$$

$$W_4 = A_4 \times \gamma_4 = 36,27 \times (19-9,8) = 333,52 \text{ kN}$$

$$W_5 = A_5 \times \gamma_5 = 40,48 \times (18,3-9,8) = 344,44 \text{ kN}$$

$$W_6 = A_6 \times \gamma_6 = 30,84 \times (19-9,8) = 282,24 \text{ kN}$$

$$W_{\text{total}} = 1833,8 \text{ kN}$$

$$\Sigma R = W \tan \phi + c L$$

$$= 1823,8 \tan 0 + (58,8 \times 22,78)$$

$$= 1339,8 \text{ kN}$$

b) Gaya dorong (ΣD)

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

Menghitung K_a tanah lapisan 1 sampai 6:

$$K_{a1} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{39,6}{2} \right) = 0,221$$

$$K_{a2} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{40,8}{2} \right) = 0,21$$

$$K_{a3} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{38,1}{2} \right) = 0,237$$

$$Ka_4 = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{36}{2} \right) = 0,26$$

$$Ka_5 = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{33,9}{2} \right) = 0,284$$

$$Ka_6 = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{0}{2} \right) = 1$$

Menghitung tegangan *overburden* efektif tanah:

$$\sigma'_{v1} = q + (\gamma'_1 \times h) = 10 + (20,2 - 9,8) \times 2 = 30,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{v2} = \sigma'_{v1} + (\gamma'_2 \times h) = 30,8 + (20,6 - 9,8) \times 2 = 52,38 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{v3} = \sigma'_{v2} + (\gamma'_3 \times h) = 52,38 + (19,7 - 9,8) \times 2 = 72,17 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{v4} = \sigma'_{v3} + (\gamma'_4 \times h) = 72,17 + (19 - 9,8) \times 2 = 90,56 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{v5} = \sigma'_{v4} + (\gamma'_5 \times h) = 90,56 + (18,3 - 9,8) \times 2 = 107,58 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{v6} = \sigma'_{v5} + (\gamma'_6 \times h) = 107,58 + (19 - 9,8) \times 1,4 = 120,39 \text{ kN/m}^2$$

Menghitung tegangan horizontal aktif tanah:

$$\begin{aligned} \sigma'_{h1 \text{ atas}} &= q \times Ka_1 - 2c\sqrt{Ka_1} \\ &= 10 \times 0,221 - 2(0)\sqrt{0,221} \\ &= 2,21 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{h1 \text{ bawah}} &= \sigma'_{v1} \times Ka_1 - 2c\sqrt{Ka_1} \\ &= 30,8 \times 0,221 - 2(0)\sqrt{0,221} \\ &= 6,82 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{h2 \text{ atas}} &= \sigma'_{v1} \times Ka_2 - 2c\sqrt{Ka_2} \\ &= 30,8 \times 0,21 - 2(0)\sqrt{0,21} \\ &= 6,46 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{h2 \text{ bawah}} &= \sigma'_{v2} \times Ka_2 - 2c\sqrt{Ka_2} \\ &= 52,38 \times 0,21 - 2(0)\sqrt{0,21} \\ &= 11 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{h3 \text{ atas}} &= \sigma'_{v2} \times Ka_3 - 2c\sqrt{Ka_3} \\ &= 52,38 \times 0,237 - 2(0)\sqrt{0,237} \\ &= 12,42 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{h3 \text{ bawah}} &= \sigma'_{v3} \times Ka_3 - 2c\sqrt{Ka_3} \\ &= 72,17 \times 0,237 - 2(0)\sqrt{0,237} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 17,1 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{h4 \text{ atas}} &= \sigma'_{v3} \times Ka_4 - 2c\sqrt{Ka_4} \\
 &= 72,17 \times 0,26 - 2(0)\sqrt{0,26} \\
 &= 18,75 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{h4 \text{ bawah}} &= \sigma'_{v4} \times Ka_4 - 2c\sqrt{Ka_4} \\
 &= 90,56 \times 0,26 - 2(0)\sqrt{0,26} \\
 &= 23,52 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{h5 \text{ atas}} &= \sigma'_{v4} \times Ka_5 - 2c\sqrt{Ka_5} \\
 &= 90,56 \times 0,284 - 2(0)\sqrt{0,284} \\
 &= 25,68 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{h5 \text{ bawah}} &= \sigma'_{v5} \times Ka_5 - 2c\sqrt{Ka_5} \\
 &= 107,58 \times 0,284 - 2(0)\sqrt{0,284} \\
 &= 30,51 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{h6 \text{ atas}} &= \sigma'_{v5} \times Ka_6 - 2c\sqrt{Ka_6} \\
 &= 107,58 \times 1 - 2(58,81)\sqrt{1} \\
 &= -10 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{h6 \text{ bawah}} &= \sigma'_{v6} \times Ka_6 - 2c\sqrt{Ka_6} \\
 &= 120,39 \times 1 - 2(58,81)\sqrt{1} \\
 &= 2,76 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Selain tekanan tanah, tekanan dari air juga abekerja sebagai gaya pendorong.

$$\sigma'_{h \text{ air}} = \gamma_w \times h \times K_w = 9,8 \times 11,4 \times 1 = 111,72 \text{ kN/m}^2$$

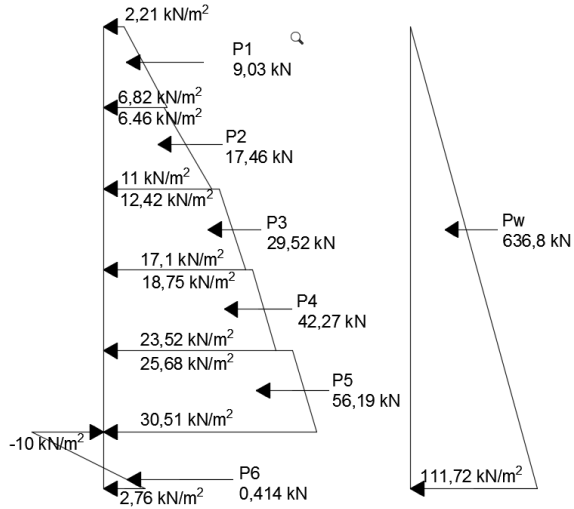
Hasil dari perhitungan tekanan horizontal digunakan untuk menghitung besarnya gaya horizontal yang mendorong tanah. Perhitungan dilakukan dengan cara mencari luasa dari bangun-bangun trapezium yang terbentuk akibat tekanan tanah horizontal. Ilustrasi besarnya gaya horizontal yang mendorong tanah dapat dilihat pada Gambar 5.9.

Dari ilustrasi diatas didapatkan:

$$\Sigma D = P = P_{\text{total}} + P_w = 791,7 \text{ kN}$$

c) Angka keamanan geser

$$FS = \frac{\Sigma R}{\Sigma D} = \frac{1339,8}{791,7} = 1,69 > 1,5 \text{ (OK)}$$

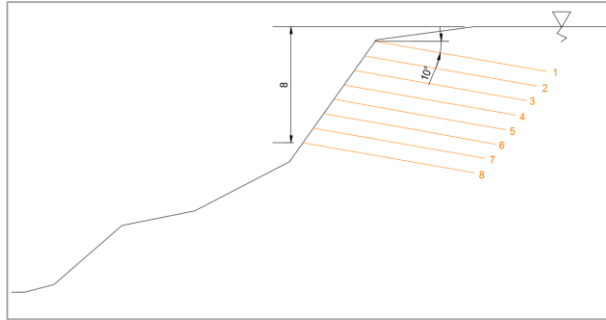


Gambar 5.9 Ilustrasi tekanan dan gaya horizontal pada tanah

5.2.2 Perkuatan Lereng STA 6+500

Direncanakan perkuatan *soil nailing* dengan desain seperti Gambar 5.10 dan spesifikasi sebagai berikut:

Panjang tulangan	: 12 m
Diameter tulangan	: 25 mm
f_y	: 420 MPa
Kemiringan (λ)	: 10^0
Jarak vertikal (S_v)	: 1 m
Jarak horizontal (S_h)	: 1 m



Gambar 5.10 Perencanaan awal perkuatan soil nailing

5.2.2.1 Stabilitas Internal

a) Menghitung T_{\max}

T_{\max} terjadi pada tulangan ke 8 pada lapisan tanah ke-5.
Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif:

$$K_{a5} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{33.9}{2} \right) = 0.284$$

Perhitungan tegangan overburden:

$$\begin{aligned} \sigma'_o &= [(20.2-9.8) \times 2] + [(20.6-9.8) \times 2] + [(19.7-9.8) \times 2] \\ &\quad + [(19-9.8) \times 2] \\ &= 80,6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan T_0 akibat tekanan tanah efektif:

$$T_0 = K_a(q + \sigma'_o)S_h S_v = 0.284 (10 + 80.6) \times 1 \times 1 = 25,7 \text{ kN}$$

Perhitungan T_0 akibat tekanan air:

$$T_0 = \gamma_w \times z \times K_w = 9.8 \times 8 \times 1 = 78,4 \text{ kN}$$

$$T_0 \text{ total} = T_{\max} = 25,73 + 78,4 = 104,08 \text{ kN}$$

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

$$FS_T = \frac{R_{T \max}}{T_0} = \frac{206,17}{104,08} = 1,98 > 1,5 \text{ (OK)}$$

b) Kuat Tarik *Soil Nailing*

Menggunakan rumus berikut:

$$R_T = \frac{\pi d^2 f_y}{4 FOS_{RT}} = \frac{\pi \times 25^2 \times 420}{4 \times 1.8} = 114,53 \text{ kN}$$

c) Kuat cabut *soil nailing*

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

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

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

$$\sigma_{v1} = 20,2 \times \left(1 + \frac{8}{2} \sin 10\right) = 41,2 \text{ kN/m}^2$$

Setelah tegangan *overburden* ditemukan, dapat dihitung T_p ,

$$T_{p1} = \frac{\left[0 + \left(41,2 \times \tan \left(\frac{2}{3} \times 39,6\right)\right)\right] \times \pi \times 0,025}{1,5} = 1,07 \text{ kN/m}$$

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

$$T_{n, \max 1} = 1,07 \times 12 = 12,86 \text{ kN}$$

Hasil perhitungan untuk seluruh tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil perhitungan gaya cabut yang terjadi

Nail	T_p (kN/m)	T_n max
TP1	1.07	12.86
TP2	1.61	19.29
TP3	2.22	26.61
TP4	2.75	32.95
TP5	3.03	36.32
TP6	3.50	41.97
TP7	3.72	44.67
TP8	4.15	49.79

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

5.2.2.2 Desain Struktur Permukaan Lereng

a) Perencanaan tebal dan perkuatan *finishing*

Tebal beton untuk *permanent finishing* $h = 200$ mm

Tulangan beton $f_y = 400$ MPa

Grade beton $f_c' = 20$ MPa

Tulangan beton D12 @ 400 mm c/c untuk vertikal dan horizontal

Pelat penahan (*bearing plate*): $f_y = 250$ MPa, ukuran 200 mm x 200 mm, tebal 20 mm.

Baut penahan: 4 buah, ukuran $\frac{1}{2} \times 5 \frac{5}{16}$ sesuai tabel 4.7

Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks oleh Prashant dan Mukherjee.

b) Cek rasio tulangan

$$\rho_{\min} = 20 \frac{\sqrt{20}}{415} = 0,22$$

$$\rho_{\max} = 50 \frac{20}{415} \left(\frac{600}{600+415} \right) = 1,5$$

Tulangan D12 dengan jarak 400 mm sama dengan 283 mm²/m (Tabel 4.6 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee) sehingga $a_{vn} = a_{hn} = a_{vm} = a_{hm} = 283$ mm²/m.

Rasio tulangan ρ :

$$\rho_n = \rho_m = \frac{a_{vn}}{0,5h} \times 100 = \frac{283}{0,5 \times 200 \times 1000} \times 100 = 0,283$$

$0,22 < 0,283 < 1,5$ (OK)

c) Cek tahanan lentur *finishing* beton (R_{FF})

Untuk *permanent facing* dengan tebal 200 mm digunakan nilai CF = 1 (Tabel 4.5 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee)

$$a_{vn} + a_{vm} = 283 + 283 = 566 \text{ mm}$$

$$\frac{S_h}{S_v} = 1$$

$$R_{FF} = \frac{1}{265} \times 566 \times (1 \times 0,2) \times 400 = 170,86 \text{ kN}$$

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_0} = \frac{170,86}{104,13} = 1,64 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- d) Cek tahanan *punching shear* (R_{FP})

Cek ketahanan sambungan baut (ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.16 dan 2.17)

Diketahui:

$$f_c' = 20 \text{ MPa}$$

$$L_S = 135 \text{ mm}$$

$$D_H = 25,4 \text{ mm}$$

$$D_S = 12,7 \text{ mm}$$

$$t_H = 7,9 \text{ mm}$$

$$S_{HS} = 100 \text{ mm}$$

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$h_c = L_S - t_H + t_p = 135 - 7,9 + 20 = 147,1 \text{ mm} = 0,147 \text{ m}$$

$$2h_c = 0,294 \text{ m}$$

$$D'_c = 0,247 \text{ m (terkecil dari } 2h_c \text{ atau } S_{HS} + h_c)$$

$$\begin{aligned} R_{FP} &= 330\sqrt{f_c'} \times \pi \times D'_c \times h_c \\ &= 330\sqrt{20} \times \pi \times 0,247 \times 0,147 \\ &= 168,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_0} = \frac{168,52}{104,13} = 1,61 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- e) Cek ketahanan baut pada plat penahan (R_{HT})

Kuat tarik baut

$$N_H = 4 \text{ (jumlah baut)}$$

$$A_{SH} = \frac{\pi D^2}{4} = 126,6 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 0,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$R_{HT} = N_H A_{SH} f_y = 202,7 \text{ kN}$$

$$FS_{HT} = \frac{R_{HT}}{T_0} = \frac{202,7}{104,13} = 1,94 > 1,5 \text{ (OK)}$$

Cek batas wajar gaya tekan yang terjadi pada beton di belakang pelat berbaut

$$A_{SH} = \frac{\pi D_s^2}{4} = 126,6 \text{ mm}^2$$

$$A_H = \frac{\pi D_H^2}{4} = 490,8 \text{ mm}^2$$

Untuk menjamin tekanan pada beton di belakang pelat berbaut masih berada dalam batas wajar, 2 kondisi berikut perlu dipenuhi:

$$A_H \geq 2,5 A_{SH}; 490,8 \geq 2,5(126,6) = 316,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$t_H \geq 0,5(D_H - D_s); 7,9 \geq 0,5(25 - 12,7) = 6,15 \text{ mm (OK)}$$

Rangkuman hasil dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rangkuman perhitungan finishing

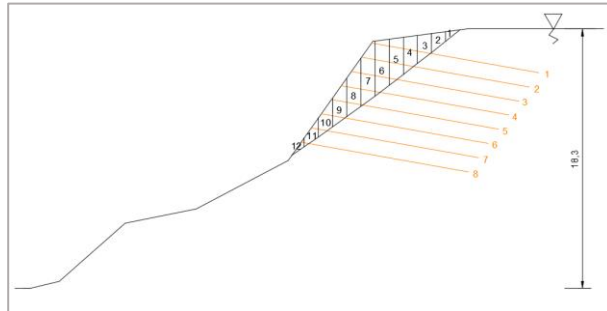
Elemen	Deskripsi	Keterangan
finishing	Tebal beton	200 mm
	Kekuatan beton	$f_c' = 20 \text{ Mpa}$
Tulangan	Tipe	Baja tulangan
	Grade	$f_y = 400 \text{ Mpa}$
	Pola	D12 @ 400 mm c/c
Bearing plate	Tipe	4H-studs 1/2 x 5 5/16
Baut (headed studs)	Dimensi	$L_s = 135 \text{ mm}$
		$D_H = 25,4 \text{ mm}$
		$D_s = 12,7 \text{ mm}$
		$t_H = 7,9 \text{ mm}$
		Jarak $S_{HS} = 100 \text{ mm}$

5.2.2.3 Stabilitas Eksternal

1) Stabilitas lereng (*slope stability*) F_{SG}

Perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode yang sama seperti lereng sebelumnya yaitu *simplified*

Bishop method. Pembagian lapisan (*slice*) tanah dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Pembagian lapisan pada bidang longsor

Hasil dari perhitungan stabilitas lereng adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 F_{SG} &= \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya pendorong}} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^{n=8} [C + N \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{n=8} [W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)]} \\
 &= \frac{303,43}{131,35} = 2,3 > 1,5 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

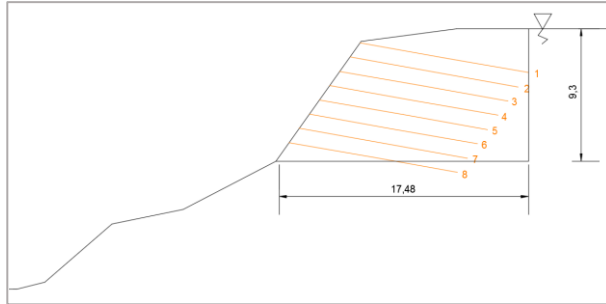
Perhitungan detail dapat dilihat pada lampiran.

2) Stabilitas geser

Stabilitas geser dapat dihitung dengan membandingkan besarnya gaya penahan pada tanah yang terpasang *soil nailing* dengan besarnya gaya dorong horizontal yang bekerja, seperti pada *cross section* lereng STA 6+520.

a) Gaya penahan (ΣR)

Gaya penahan didapat dari berat tanah yang terpasang *soil nailing* dan besarnya tahanan geser pada dasar tanah sepanjang 17,48 m pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan gesernya

Menghitung berat tanah:

$$W_1 = A_1 \times \gamma_1 = 20,91 \times (20,2-9,8) = 217,46 \text{ kN}$$

$$W_2 = A_2 \times \gamma_2 = 26,49 \times (20,6-9,8) = 285,89 \text{ kN}$$

$$W_3 = A_3 \times \gamma_3 = 29,35 \times (19,7-9,8) = 290,36 \text{ kN}$$

$$W_4 = A_4 \times \gamma_4 = 32,21 \times (19-9,8) = 296,19 \text{ kN}$$

$$W_5 = A_5 \times \gamma_5 = 22,47 \times (18,3-9,8) = 191,19 \text{ kN}$$

$$W_{\text{total}} = 1291,11 \text{ kN}$$

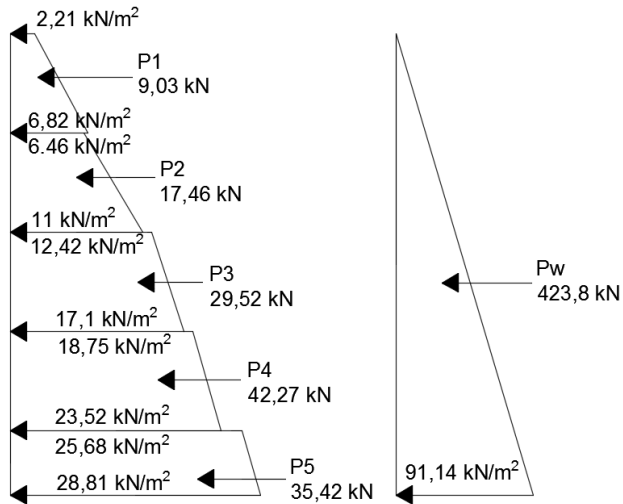
$$\Sigma R = W \tan \phi + c L$$

$$= 1291,11 \tan 33,9 + (0 \times 17,48)$$

$$= 868,45 \text{ kN}$$

b) Gaya dorong (ΣD)

Besarnya gaya dorong didapat dari besarnya gaya dorong aktif pada tanah yang berasal dari tekanan tanah horizontal dan tekanan air. Hasil dari perhitungan tekanan horizontal digunakan untuk menghitung besarnya gaya horizontal yang mendorong tanah. Perhitungan dilakukan dengan cara mencari luasan dari bangun-bangun trapezium yang terbentuk akibat tekanan tanah horizontal. Ilustrasi besarnya gaya horizontal yang mendorong tanah dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Ilustrasi tekanan dan gaya horizontal pada tanah

Dari ilustrasi diatas didapatkan:

$$\Sigma D = P = P_{\text{total}} + P_w = 557,51 \text{ kN}$$

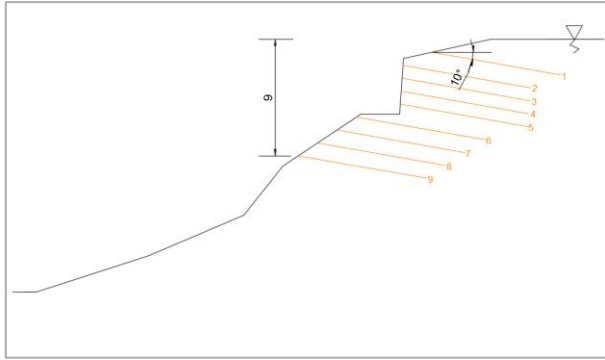
c) Angka keamanan geser

$$FS = \frac{\Sigma R}{\Sigma D} = \frac{868,45}{557,51} = 1,55 > 1,5 \text{ (OK)}$$

5.2.3 Perkuatan Lereng STA 6+475

Direncanakan perkuatan *soil nailing* dengan desain seperti gambar 5.9 dan spesifikasi sebagai berikut:

Panjang tulangan	: 10 m
Diameter tulangan	: 25 mm
f_y	: 415 MPa
Kemiringan (λ)	: 10 ⁰
Jarak vertikal (S_v)	: 1 m
Jarak horizontal (S_h)	: 1 m



Gambar 5.14 Perencanaan awal perkuatan soil nailing

5.2.3.1 Stabilitas Internal

a) Menghitung T_{\max}

T_{\max} terjadi pada tulangan ke-9 pada lapisan tanah ke-5.

Perhitungan koefisien tekanan tanah aktif:

$$K_{a5} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{33,9}{2} \right) = 0,284$$

Perhitungan tegangan overburden:

$$\begin{aligned} \sigma'_o &= [(20,2-9,8) \times 2] + [(20,6-9,8) \times 2] + [(19,7-9,8) \times 2] \\ &\quad + [(19-9,8) \times 2] + [(18,3-9,8) \times 1] \\ &= 89,1 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan T_0 akibat tekanan tanah efektif:

$$T_0 = K_a(q + \sigma'_o)S_h S_v = 0,284 (10 + 89,1) \times 1 \times 1 = 28,1 \text{ kN}$$

Perhitungan T_0 akibat tekanan air:

$$T_0 = \gamma_w \times z \times K_w = 9,8 \times 9 \times 1 = 88,2 \text{ kN}$$

$$T_0 \text{ total} = T_{\max} = 28,1 + 88,2 = 116,3 \text{ kN}$$

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

$$FS_T = \frac{R_{T \max}}{T_0} = \frac{206,17}{116,3} = 1,77 > 1,5 \text{ (OK)}$$

b) Kuat Tarik *Soil Nailing*

Menggunakan rumus berikut:

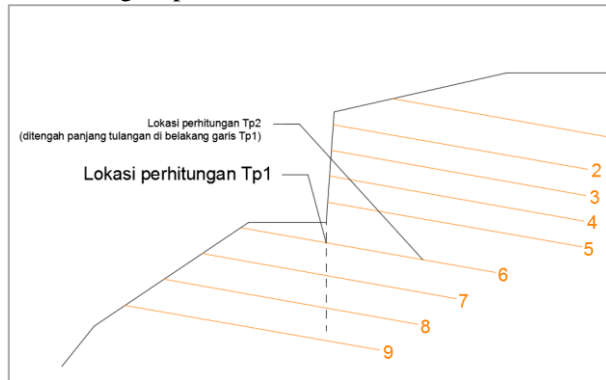
$$R_T = \frac{\pi d^2 f_y}{4 FOS_{RT}} = \frac{\pi \times 25^2 \times 415}{4 \times 1,8} = 114,53 \text{ kN}$$

c) Kuat cabut *soil nailing*

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

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

Tegangan *overburden* dihitung di tengah-tengah tulangan baja. Untuk *soil nailing* nomor 6 sampai 9, ada dua nilai T_p dikarenakan ada dua nilai tegangan *overburden*. T_{p1} dihitung di bawah trap 1 (Gambar 5.15) dan T_{p2} dihitung pada setengah panjang tulangan dibelakang trap 1.



Gambar 5.15 Lokasi perhitungan T_{p1} dan T_{p2}

Contoh perhitungan untuk tulangan teratas dan nomor 6 sebagai berikut:

$$\sigma_{v1} = 20,2 \times \left(1 + \frac{10}{2} \sin 10\right) = 37,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v6, 1} = 0,2 \times \gamma_3 + 0,58 \times \gamma_4 = 14,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{v6, 2} = 2 \times (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3) + 1,16 \times \gamma_4 = 143 \text{ kN/m}^2$$

Setelah tegangan *overburden* ditemukan, dapat dihitung T_p ,

$$T_{p1} = \frac{\left[0 + \left(37,7 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 39,6\right)\right)\right] \times \pi \times 0,025}{1,5} = 0,98 \text{ kN/m}$$

$$T_{p6,1} = \frac{\left[0 + \left(14,96 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 36\right)\right)\right] \times \pi \times 0,025}{1,5} = 0,35 \text{ kN/m}$$

$$T_{p6,2} = \frac{\left[0 + \left(143 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 36\right)\right)\right] \times \pi \times 0,025}{1,5} = 3,33 \text{ kN/m}$$

$$T_{p6} = \frac{0,35 + 3,33}{2} = 1,84 \text{ kN/m}$$

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

$$T_{n, \max 1} = 0,98 \times 10 = 9,8 \text{ kN}$$

$$T_{n, \max 6} = 1,84 \times 10 = 18,4 \text{ kN}$$

Hasil perhitungan untuk seluruh tulangan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.12 Hasil perhitungan gaya cabut yang terjadi

Nail	Tp 1 & 2	Tp (kN/m)	Tn max
TP1	0.98	0.98	9.81
TP2	1.57	1.57	15.67
TP3	2.12	2.12	21.21
TP4	2.45	2.45	24.52
TP5	2.94	2.94	29.41
TP6 1	0.35	1.84	18.40
TP6 2	3.33		
TP7 1	0.91	2.03	20.29
TP7 2	3.15		
TP8 1	1.35	2.43	24.30
TP8 2	3.51		
TP9 1	3.08	3.08	30.80
TP9 2	3.08		

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

5.2.3.2 Desain Struktur Permukaan Lereng

a) Perencanaan tebal dan perkuatan *finishing*

Tebal beton untuk *permanent finishing* $h = 200$ mm

Tulangan beton $f_y = 400$ MPa

Grade beton $f_c' = 20$ MPa

Tulangan beton D12 @ 400 mm c/c untuk vertikal dan horizontal

Pelat penahan (*bearing plate*): $f_y = 250$ MPa, ukuran 250 mm x 250 mm, tebal 20 mm.

Baut penahan: 4 buah, ukuran $\frac{1}{2} \times 5 \frac{5}{16}$ sesuai tabel 4.7 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee.

b) Cek rasio tulangan

$$\rho_{\min} = 20 \frac{\sqrt{20}}{415} = 0,22$$

$$\rho_{\max} = 50 \frac{20}{415} \left(\frac{600}{600+415} \right) = 1,5$$

Tulangan D12 dengan jarak 400 mm sama dengan 283 mm²/m (Tabel 4.6 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee) sehingga $a_{vn} = a_{hn} = a_{vm} = a_{hm} = 283$ mm²/m.

Rasio tulangan ρ :

$$\rho_n = \rho_m = \frac{a_{vn}}{0,5h} \times 100 = \frac{283}{0,5 \times 200 \times 1000} \times 100 = 0,283$$

$$0,22 < 0,283 < 1,5 \text{ (OK)}$$

c) Cek tahanan lentur *finishing* beton (R_{FF})

Untuk *permanent facing* dengan tebal 200 mm digunakan nilai CF = 1 (Tabel 4.5 *Final Reports: Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* oleh Prashant dan Mukherjee)

$$a_{vn} + a_{vm} = 283 + 283 = 566 \text{ mm}$$

$$\frac{S_h}{S_v} = 1$$

$$R_{FF} = \frac{1}{265} \times 566 \times (1 \times 0,2) \times 400 = 170,86 \text{ kN}$$

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_0} = \frac{170,86}{116,3} = 1,7 > 1,52 \text{ (OK)}$$

- d) Cek tahanan *punching shear* (R_{FP})

Cek ketahanan sambungan baut (ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.17 dan 2.18)

Diketahui:

$$f_c' = 20 \text{ MPa}$$

$$L_s = 135 \text{ mm}$$

$$D_H = 25,4 \text{ mm}$$

$$D_S = 12,7 \text{ mm}$$

$$t_H = 7,9 \text{ mm}$$

$$S_{HS} = 150 \text{ mm}$$

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$h_c = L_s - t_H + t_p = 135 - 7,9 + 20 = 147,1 \text{ mm} = 0,147 \text{ m}$$

$$2h_c = 0,294 \text{ m}$$

$$D'_c = 0,294 \text{ m (terkecil dari } 2h_c \text{ atau } S_{HS} + h_c)$$

$$\begin{aligned} R_{FP} &= 330 \sqrt{f_c'} \times \pi \times D'_c \times h_c \\ &= 330 \sqrt{20} \times \pi \times 0,294 \times 0,147 \\ &= 200,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_0} = \frac{200,64}{116,3} = 1,72 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- e) Cek ketahanan baut pada plat penahan (R_{HT})

Kuat tarik baut

$$N_H = 4 \text{ (jumlah baut)}$$

$$A_{SH} = \frac{\pi D^2}{4} = 126,6 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 0,4 \text{ kN/mm}^2$$

$$R_{HT} = N_H A_{SH} f_y = 202,7 \text{ kN}$$

$$FS_{HT} = \frac{R_{HT}}{T_0} = \frac{202,7}{116,3} = 1,74 > 1,5 \text{ (OK)}$$

Cek batas wajar gaya tekan yang terjadi pada beton di belakang pelat berbaut

$$A_{SH} = \frac{\pi D_s^2}{4} = 126,6 \text{ mm}^2$$

$$A_H = \frac{\pi D_H^2}{4} = 506,7 \text{ mm}^2$$

Untuk menjamin tekanan pada beton di belakang pelat berbaut masih berada dalam batas wajar, 2 kondisi berikut perlu dipenuhi:

$$A_H \geq 2,5 A_{SH}; 490,8 \geq 2,5(126,6) = 316,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$t_H \geq 0,5(D_H - D_s); 7,9 \geq 0,5(25 - 12,7) = 6,15 \text{ mm (OK)}$$

Rangkuman hasil dapat dilihat pada tabel 5.13.

Tabel 5.13 Rangkuman perhitungan finishing

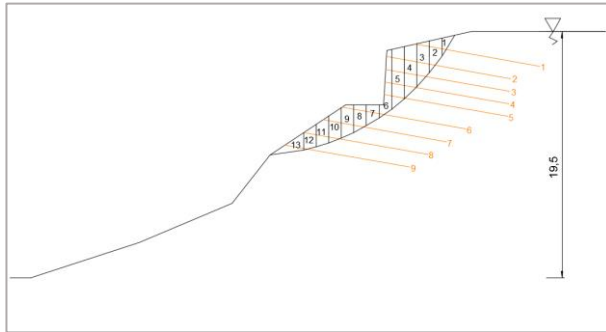
Elemen	Deskripsi	Keterangan
finishing	Tebal beton	200 mm
	Kekuatan beton	$f_c' = 20 \text{ Mpa}$
Tulangan	Tipe	Baja tulangan
	Grade	$f_y = 415 \text{ Mpa}$
	Pola	D12 @ 400 mm c/c
Bearing plate	Tipe	4H-studs 1/2 x 5 5/16
Baut (headed studs)	Dimensi	$L_S = 135 \text{ mm}$
		$D_H = 25,4 \text{ mm}$
		$D_S = 12,7 \text{ mm}$
		$t_H = 7,9 \text{ mm}$
		Jarak $S_{HS} = 150 \text{ mm}$

5.2.3.3 Stabilitas Eksternal

1) Stabilitas lereng (*slope stability*) F_{SG}

Perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode yang sama seperti lereng sebelumnya yaitu *simplified*

Bishop method. Pembagian lapisan (*slice*) tanah dapat dilihat pada gambar 5.16.



Gambar 5.16 Pembagian lapisan pada bidang longsor

Hasil dari perhitungan stabilitas lereng adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 F_{SG} &= \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya pendorong}} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^{n=9} [C + N \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{n=9} [W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)]} \\
 &= \frac{355,28}{221,07} = 1,6 > 1,5 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

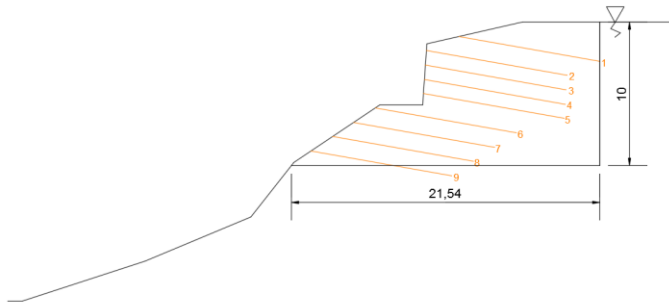
Perhitungan detail dapat dilihat pada lampiran.

2) Stabilitas geser

Stabilitas geser dapat dihitung dengan membandingkan besarnya gaya penahan pada tanah yang terpasang *soil nailing* dengan besarnya gaya dorong horizontal yang bekerja, seperti pada *cross section* lereng STA 6+520.

a) Gaya penahan (ΣR)

Gaya penahan didapat dari berat tanah yang terpasang *soil nailing* dan besarnya tahanan geser pada dasar tanah sepanjang 21,54 m pada gambar 5.17.



Gambar 5.17 Bagian tanah yang dikontrol kekuatan gesernya

Menghitung berat tanah:

$$W_1 = A_1 \times \gamma_1 = 19,15 \times (20,2 - 9,8) = 164,76 \text{ kN}$$

$$W_2 = A_2 \times \gamma_2 = 24,37 \times (20,6 - 9,8) = 226,84 \text{ kN}$$

$$W_3 = A_3 \times \gamma_3 = 25,28 \times (19,7 - 9,8) = 195,96 \text{ kN}$$

$$W_4 = A_4 \times \gamma_4 = 34,36 \times (19 - 9,8) = 229,45 \text{ kN}$$

$$W_5 = A_5 \times \gamma_5 = 40,35 \times (18,3 - 9,8) = 230,94 \text{ kN}$$

$$W_{\text{total}} = 1381,56 \text{ kN}$$

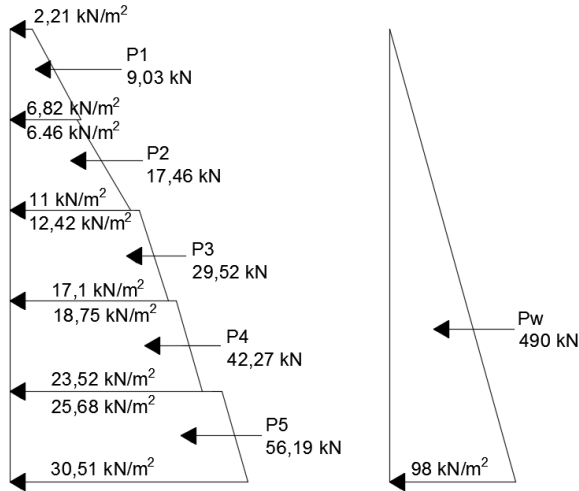
$$\Sigma R = W \tan \phi + c L$$

$$= 1381,56 \tan 33,9 + (58,8 \times 21,54)$$

$$= 2196,16 \text{ kN}$$

b) Gaya dorong (ΣD)

Besarnya gaya dorong didapat dari besarnya gaya dorong aktif pada tanah yang berasal dari tekanan tanah horizontal dan tekanan air. Hasil dari perhitungan tekanan horizontal digunakan untuk menghitung besarnya gaya horizontal yang mendorong tanah. Perhitungan dilakukan dengan cara mencari luasan dari bangun-bangun trapezium yang terbentuk akibat tekanan tanah horizontal. Ilustrasi besarnya gaya horizontal yang mendorong tanah dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Ilustrasi tekanan dan gaya horizontal pada tanah

Dari ilustrasi diatas didapatkan:

$$\Sigma D = P = P_{\text{total}} + P_w = 644,48 \text{ kN}$$

c) Angka keamanan geser

$$FS = \frac{\Sigma R}{\Sigma D} = \frac{2196,16}{644,48} = 3,4 > 1,5 \text{ (OK)}$$

Dari perhitungan kebutuhan *soil nailing* dapat disimpulkan bahwa metode tersebut hanya dapat digunakan untuk mengatasi longsor lokal, sedangkan menurut analisa kestabilan lereng, masih ada kemungkinan terjadi longsor global karena angka keamanannya belum mencapai 1,5. Selain itu STA 6+450 memiliki bidang longsor dengan jari-jari cukup besar yang masih memiliki $SF < 1,5$. Oleh karena itu dibutuhkan metode alternatif yang dapat digunakan untuk mencegah kelongsoran global. Metode yang dipilih yaitu *ground anchor* karena cocok digunakan untuk lereng asli hasil *cut and fill*.

5.3 Perkuatan Lereng Menggunakan *Ground Anchor*

Semua *cross section* lereng mengalami kelongsoran global yang membahayakan bangunan pabrik di atasnya. *Ground anchor* akan digunakan sebagai alternatif perkuatan lereng agar angka keamanan lereng mencapai 1,5. Hasil output dari analisa keempat lereng dapat dilihat pada tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil output analisa lereng menggunakan Dxstabil

STA	SF awal	MR (kN-m)	R (m)
6+450	1.24	71550	31.49
6+475	1.312	66350	26.97
6+500	1.337	68450	31.1
6+520	1.208	53700	40.08

Direncanakan 4 buah angkur dengan diameter grouting sebesar 0,2 m, jarak pemasangan memanjang 4 m, dan nilai C rata-rata tanah = 92,2 kN/m². Contoh perhitungan *ground anchor* untuk STA 6+450 adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil output berupa MR (momen resisten) dan SF didapatkan nilai MD (momen dorong) yang terjadi

$$M_{\text{dorong}} = \frac{M_{\text{resisten 1}}}{\text{SF awal}} = \frac{71550 \times 2}{1,24} = \frac{143100}{1,24} = 115403,2 \text{ kN-m}$$

2. Direncanakan SF rencana sebesar 1,5 sehingga MR rencana dapat diketahui

$$M_{R2} = M_D \times \text{SF}_{\text{rencana}} = 115403,2 \times 1,5 = 173104,8 \text{ kN-m}$$

3. Besarnya momen yang harus ditahan oleh angkur adalah selisih dari MR rencana dengan MR asli

$$\Delta M_R = M_{R2} - M_{R1} = 173104,8 - 143100 = 30004,8 \text{ kN-m}$$

4. Setelah diketahui besar momen yang harus ditahan oleh angkur, maka dapat dihitung besar gaya prategang angkur yang tegak lurus bidang longsor (N)

$$N_{\text{anchor}} = \frac{\Delta M_R}{R \times \tan \phi} = \frac{30004,8}{31,49 \times \tan 18} = 2932,53 \text{ kN}$$

Perencanaan akan menggunakan 4 ankur sehingga gaya yang diterima masing-masing ankur adalah:

$$N_{1 \text{ anchor}} = \frac{2932,53}{4} = 733,13 \text{ kN}$$

5. Setelah itu dilakukan perhitungan panjang *grouting* dibelakang bidang longsor. Direncanakan diameter *grouting* adalah 0,2 m.

$$L = \frac{N_{1 \text{ anchor}}}{C \times \pi \times D} = \frac{733,13}{92,2 \times \pi \times 0,2} = 12,64 \approx 13 \text{ m}$$

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

$$q_{\text{ult}} = 1,3 C N_c + q N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma$$

$$q_{\text{ijin}} = q_{\text{ult}} / \text{SF}$$

$$q = \gamma' h$$

Diasumsikan:

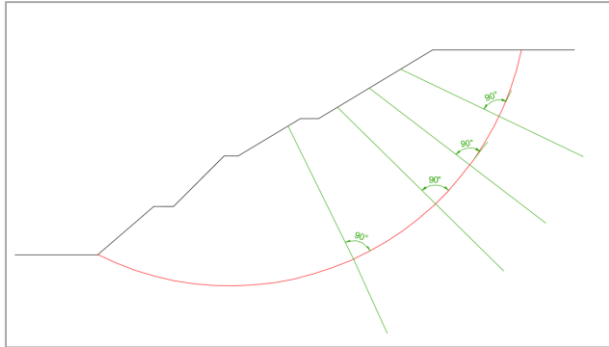
$$\text{SF} = 3$$

Lebar pondasi $B = 1 \text{ m}$

Tinggi pondasi $H = 0,5 \text{ m}$

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung yang dipengaruhi oleh nilai sudut geser dalam tanah. Besarnya dapat dilihat di tabel *Terzaghi's Bearing Capacity Factor table* di *Principles of Foundation Engineering* oleh Braja M. Das

Ancur dipasang dengan jarak vertikal 2 m dan tegak lurus bidang longsor (Gambar 5.19)



Gambar 5.19 Perencanaan awal pemasangan ground anchor pada STA 6+450

Karena ada 4 ankur, maka ada 4 pondasi beton yang perlu di hitung pada tiap *cross section* lereng. Pondasi 1 sampai 4 diurutkan dari atas ke bawah.

$$q_{ult1} = 1,3 C N_c + q N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma$$

$$\begin{aligned} q_{ult1} &= (1,3 \times 0 \times 85,97) + ((20,2 - 9,8) \times 0,5 \times 70,61) \\ &\quad + (0,4 \times (20,2 - 9,8) \times 1 \times 95,03) \\ &= 762,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{ijin1} = \frac{762,5}{3} = 254,17 \text{ kN/m}^2$$

Tegangan yang terjadi pada beton:

$$\sigma = \frac{N}{A}, \text{ dimana } A = \frac{N}{\sigma}$$

$$A = \frac{733,13}{254,17} = 2,88 \text{ m}^2$$

$$s = \sqrt{2,88} = 1,69 \approx 1,7 \text{ m}$$

Cek syarat:

$$N = N \times B \times s$$

$$= 733,13 \times 1 \times 1,7 = 1246,3 \text{ kN} > 733,13 \text{ (OK)}$$

Perhitungan untuk balok beton pada *cross section* lain selengkapnya dapat dilihat di lampiran, dan rangkuman perhitungan ground anchor dapat dilihat pada tabel 5.15 dan 5.16.

Tabel 5.15 Hasil perhitungan ground anchor

STA	Jumlah anchor	D grout (m)	L grout (m)	L pakai (m)
6+450	4	0.2	12.65	13
6+475	4	0.2	9.34	10
6+500	4	0.2	7.12	8
6+520	4	0.2	8.6	9

Tabel 5.16 Dimensi pondasi tiap angkur

STA		s pakai (m)
STA +025	pondasi 1	1.7
	pondasi 2	1.9
	pondasi 3	2.3
	pondasi 4	2.8
STA +050	pondasi 1	1.7
	pondasi 2	2
	pondasi 3	2.4
	pondasi 4	2
STA +075	pondasi 1	1.3
	pondasi 2	1.5
	pondasi 3	1.8
	pondasi 4	2.1
STA +090	pondasi 1	1.5
	pondasi 2	1.6
	pondasi 3	1.9
	pondasi 4	2.3

5.4 Analisa Kebutuhan Material dan Biaya

Pada subbab ini akan dibahas mengenai analisa kebutuhan dan biaya material pada perencanaan perkuatan yang diajukan pada Tugas Akhir ini dan akan dibandingkan dengan metode perkuatan lereng yang telah digunakan di lapangan yaitu *bore pile*. Hasil perbandingan akan menentukan metode manakah yang lebih efektif dan efisien untuk digunakan dari segi material.

5.4.1 Analisa Kebutuhan dan Biaya Material *Ground Anchor*

Material yang dibutuhkan dalam alternatif perkuatan ini adalah *ground anchor* dan beton. Diasumsikan tulangan D25 pembentuk *ground anchor* berkekuatan $f_y = 290$ MPa.

$$A \text{ tulangan D25} = \pi r^2 = \pi (12.5)^2 = 490,87 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 290 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kapasitas tarik} = f_y \times A = 142.353,4 \text{ N} = 14,5 \text{ ton}$$

$$\text{Kapasitas/SF} = \frac{14,5}{1,5} = 9,67 \text{ ton}$$

$$\text{Harga tulangan D25} = \text{Rp. } 489.854 / 12 \text{ meter}$$

Contoh perhitungan untuk *anchor A* pada STA 6+450:

$$L = L \text{ anchor} = L \text{ grouted} = (11,6 + 13) 1,1 = 27,06 \text{ m}$$

Tambahan panjang 10% untuk overlap sambungan.

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan 1 anchor} &= \frac{N}{\text{Kapasitas 1 tulangan}} \\ &= \frac{75}{9,67} = 7,75 \approx 8 \end{aligned}$$

$$L \text{ tulangan} = L \text{ total} \times n = 27,06 \times 8 = 216,5 \text{ m}$$

$$\text{Harga 1 anchor} = 216,5 \times \frac{489854}{12} = \text{Rp. } 8.837.000$$

Vol. beton yang dibutuhkan:

$$\text{Vol. pondasi} = (s) (t) (B) = (1,7)(1)(0,5) = 0,85 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. grout} = \pi r^2 L = \pi (0,1)^2 13 = 0,408 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol total} = 0,85 + 0,408 = 1,258 \text{ m}^3$$

$$\text{Harga ready mix} = \text{Rp. } 926.000$$

$$\text{Harga} = 1,258 \times 926000 = \text{Rp. } 1.165.300$$

Lapisan anti karat dan pengikat tulangan = Rp 500.000/m

Harga = Rp 500.000 x 27.06 = Rp 13.530.000

Harga total untuk 1 titik anchor:

Harga 1 titik = tulangan + ready mix + pengikat tulangan

= Rp. 8.837.000 + Rp. 1.165.300 + Rp 13.530.000

= Rp 23.532.300

Total harga yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan detail perhitungan pada lampiran. Penambahan 10% dialokasikan untuk material yang berpotensi terbuang dalam pelaksanaan.

Tabel 5.17 Perhitungan biaya metode ground anchor

Total harga tulangan	Rp	1,244,014,032.45
Total harga ready mix	Rp	222,158,458.19
Total harga lapisan anti karat dan pengikat tulangan	Rp	2,407,515,000.00
Total harga + 10%	Rp	4,261,056,239.70

5.4.2 Analisa Kebutuhan dan Biaya Material *Bored Pile*

Bored pile yang dipasang di lapangan memiliki diameter 1,2 meter dan jarak pemasangan 2 meter antar tiang. Panjang total setiap *bored pile* adalah 15 meter dengan kedalaman 10 meter berada di bawah elevasi permukaan jalan tol. Perhitungan biaya material bored pile adalah sebagai berikut:

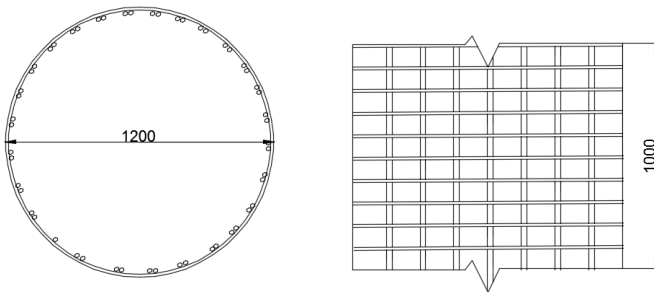
Panjang kelongsoran STA 6+425 s/d STA 6+520 = 95 m

Jumlah titik bore pile = 95 m / 2 = 49 titik

Volume beton/pile = $\pi^2L = \pi (0,6)^2 (15) = 16,96 \text{ m}^3$

Penulangan beton seperti pada Gambar 5.20. Pada gambar ditunjukkan bahwa untuk tulangan utama adalah

sebanyak 54 buah D25 dan tulangan geser sebanyak 10 buah D13.



Gambar 5.20 Ilustrasi penulangan bore pile

$$\begin{aligned} L \text{ tulangan utama} &= (54) (15) = 810 \text{ m/pile} \\ L \text{ tulangan geser} &= \text{keliling lingkaran} \times 10 \times 15 \\ &= \pi (1,2) \times 10 \times 15 \\ &= 565,5 \text{ m/pile} \end{aligned}$$

Setelah diketahui panjang tulangan yang dibutuhkan tiap pile, dapat dihitung biaya yang dibutuhkan. Harga tulangan didapatkan dari website supplier histeel.co.id yaitu untuk tulangan D25 Rp. 489.854/12 meter dan D13 Rp. 157.125/12 meter.

Harga tulangan untuk 1 bore pile:

$$\begin{aligned} \text{Harga} &= \frac{810 \times \text{Rp } 489.854}{12} + \frac{565,5 \times \text{Rp } 157.125}{12} \\ &= \text{Rp. } 40.469.500 \end{aligned}$$

Harga ready mix K-350 didapatkan dari website supplier alitmix.com yaitu Rp. 926.000. Maka harga ready mix K-350 untuk 1 bore pile adalah sebagai berikut:

$$\text{Harga} = 16,96 \times \text{Rp. } 926.000 = \text{Rp. } 15.709.300$$

Harga material yang dibutuhkan untuk pengecoran dan penulangan 49 titik bore pile berdasarkan harga yang telah dihitung adalah seperti Tabel 5.18. Penambahan 10%

sebagai antisipasi terhadap kehilangan material saat pelaksanaan.

Tabel 5.18 Total biaya material bore pile

Harga tulangan/pile	Rp 40,469,486.19
Harga ready mix beton/pile	Rp 15,709,219.91
Total	Rp 56,178,706.09
Total 49 titik + 10%	Rp 3,028,032,258.27

BAB VI

KESIMPULAN

Dari analisa kondisi tanah, hasil perhitungan perkuatan lereng jalan tol beserta biayanya, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengeboran lapisan tanah dilakukan hingga kedalaman 20 meter dari puncak lereng. Data tanah yang didapatkan menunjukkan pada kedalaman 0 sampai 10 meter dari puncak lereng, jenis tanah adalah pasir dengan kondisi *very dense*. Selanjutnya dari kedalaman 10 meter kebawah, jenis tanah adalah lanau atau lempung dengan sedikit pasir dengan kondisi *medium* hingga *very stiff*.
2. Hasil analisa kestabilan lereng menunjukkan bahwa terjadi longsor lokal dan longsor global pada saat muka air tanah dalam kondisi kritis yaitu setinggi lereng, dengan angka keamanan 1,1 hingga 1,3. Perlu dilakukan perkuatan lereng untuk mencapai angka keamanan 1,5 sesuai persyaratan SNI 8460:2017 Tabel 26 untuk lereng permanen.
3. Hasil perencanaan subdrain menunjukkan bahwa dengan data hujan yang didapatkan, subdrain dengan dimensi 50 cm x 50 cm dan kedalaman 3 m sudah bisa mengalirkan debit air yang terjadi saat hujan dan hasil rembesan. Namun karena adanya subdrain tidak berpengaruh banyak pada peningkatan stabilitas lereng, perencanaan perkuatan tetap menggunakan keadaan muka air tanah tinggi, yaitu dengan kondisi tanpa subdrain.
4. Hasil perhitungan perencanaan menggunakan *soil nailing* menunjukkan bahwa *soil nailing* tidak dapat mengatasi kelongsoran global karena metode *soil nailing* hanya bisa digunakan untuk kelongsoran lokal, serta panjang tulangan yang ditanamkan kedalam tanah tidak bisa melebihi panjang tulangan standar yaitu 12 m sehingga diperlukan metode alternatif lain. Metode alternatif yang dipilih yaitu *ground anchor* yang dapat mengatasi kelongsoran global yang terjadi

pada lereng. Panjang angkur yang ditanamkan ke tanah beragam dalam kisaran 20 sampai 30 meter. Block beton pondasi angkur berukuran sekitar 1,1 m hingga 2,8 m.

5. Dalam proyek ini, total biaya material untuk ground anchor (Rp 4.261.056.300) lebih mahal jika dibandingkan dengan bored pile (Rp 3.028.032.300) sehingga disimpulkan bahwa metode bored pile masih lebih efisien untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, Aries S.E. Mochtar, Indrasurya B. Perencanaan Perbaikan Lereng Longsor Pada Jalan Lintas Gunung Gunitir Ruas Jalan Banyuwangi-Jember. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Mochtar. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M. 2010. *Principal of Foundation Engineering (Seventh Edition)*. Stanford: Cengage Learning.
- Fahmi. 2015. Peresmian Jalan Tol Gempol-Pandaan Oleh Presiden. <URL: <https://ptjpt.co.id/peresmian-pengoperasian-jalan-tol-gempol-pandaan-oleh-presiden/>>
- Gunanta, Rifzon. September 2014. Uji Model Dinding Penahan Tanah dengan Timbunan Gambut Menggunakan Perkuatan Fleksibel Polypropilene. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Sriwijaya* Vol. 2 No. 3.
- Hardiyatmo, H. C. 2007. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Analisis dan Perancangan Pondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Nurdian, Syahreza. Setyanto. Afriani, Lusmeilia. Maret 2015. Korelasi Paameter Kekuatan Geser Tanah dengan Menggunakan Uji Triaksial dan Uji Geser Langsung Pada Tanah Lempung Substitusi Pasir. *JRSDD*, Edisi Maret 2015, Vol. 3, No. 1, Hal:13- 26.
- Prashant, Amit. Mukherjee, Mousumi. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*. Lucknow: Research Designs and Standards Organization.
- Prayogo, Kukuh, Saptowati, Hasriyati. 2016. Penyelidikan Struktur dan Karakteristik Tanah untuk Desain Pondasi Iradiator Gamma Kapasitas 2 MCi. *Jurnal Perangkat Nuklir PRFN-BATAN* Volume 10 No. 1.

- Rahardjo, P. P. 2008. Penyelidikan Geoteknik dengan Uji In-situ. Bandung: GEC UK-Parahyangan.
- Shamsabadi, A et al. Validated Simulation Models for Lateral Response of Bridge Abutments with Typical Backfills. *Journal of Bridge Engineering (ASCE)*, 15(3): 302-311.
- Suara Pasuruan. 2015. Maret, Tol Gempol-Pandaan Akan Dioperasikan. <URL: <http://pasuruankab.go.id/berita-2105-maret-tol-gempolpandaan-akan-dioperasionalkan.html>>
- Suryolelono, Kabul B. 1993. Teknik Pondasi Bagian II. Jogjakarta: Naffiri.
- Turangan, Violetta. Januari 2014. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Fellenius. *Jurnal Sipil Statik Universitas Sam Ratulangi*.

LAMPIRAN

Lampiran 2 – Koreksi N-SPT

depth	N-SPT	Jenis tanah	γ_{sat} (kN/m ³) Bowles	σ_v	N1	N2	2N1	N2 Pakai
1	32	sand, brown, some silt, trace little gravel max diameter 9 cm, trace clay dense to very dense	19.20	9.2	19.2	56.1	38.4	38.4
2	38		19.80	19	22.8	51.8	45.6	45.6
3	44		20.40	29.4	26.4	48.5	52.8	48.5
4	47		20.70	40.1	28.2	43.3	56.4	43.3
5	50		21.00	51.1	30	39.4	60	39.4
6	50		21.00	62.1	30	34.4	60	34.4
7	50		21.00	73.1	30	30.6	60	30.6
8	50		21.00	84.1	30	29.3	60	29.3
9	50	sand and gravel max d = 9 cm, grey, very dense	21.00	95.1	30	28.6	60	28.6
10	31.5		19.15	104.25	18.9	17.6	37.8	17.6
11	13	silt and sand, brownish grey, little clay, contain gravel max d = 6 cm, medium	18.75	113	13	11.9	26	11.9
12	31.5		21.53	124.525	18.9	16.8	37.8	16.8
13	50		24.30	138.825	30	25.9	60	25.9
14	34.5	silt gravel, brownish grey, some sand, very dense	21.98	150.8	34.5	29.0	69	29.0
14.5	30.25		21.34	162.1375	30.25	24.8	60.5	24.8
15	19		19.65	171.7875	19	15.3	38	15.3

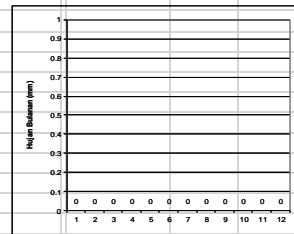
16	26	silt and clay, brown, inorganic, trace sand, very stiff	20.70	182.4875	26	20.5	52	20.5
17	33	clay and silt, grey, inorganic, trace sand, contain gravel d = 2 cm, hard	21.75	194.2375	33	25.4	66	25.4
18	41.5		23.03	207.2625	41.5	31.2	83	31.2
19	50	sand silt, brownish grey, little clay, contains gravel max d = 4 cm, very dense	24.30	221.5625	30	22.0	60	22.0
20	50		24.30	235.8625	30	21.4	60	21.4

Lampiran 3 – Data Hujan dari Stasiun Tanggul

DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN													Tahun	2006	
TANGGAL	TAHUN 2006												NAMA STASIUN	Tanggul	
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES			
1	25	8	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Kode stasiun	16
2	28	51	15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Kode Database	
3	88	16	62	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Lintang Selatan	-7° 37' 45
4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bujur Timur	112°44' 35
5	6	54	27	16	0	0	0	0	0	0	0	0	50	Kabupaten	Pasuruan
6	0	98	1	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	Kecamatan	Beji
7	44	8	5	7	21	0	0	0	0	0	0	0	0	Desa	Baujeng
8	1	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	DP. Sungai	Kedunglarangan
9	38	3	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S.H.V.P.	+ 89 M
10	4	10	21	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	Type	Manual
11	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	Kondisi	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
13	14	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Pengelola	DFU Air Dat.II
14	1	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21		
15	12	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16	12	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17	46	71	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28		
18	10	26	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		
19	0	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20	3	5	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
21	0	1	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22	5	3	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	81		
23	2	50	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24	12	19	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0		
25	39	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
26	0	7	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	2		
27	13	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8		
28	6	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	3		
29	1		7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	56		
30	0		0	34	3	0	0	0	0	0	0	0	0		
31	26		0		0	0	0		0	0		0	0		
TOTAL	457	549	315	144	141	0	0	0	0	0	2	253	1861	Total Tahunan	
Periode 1	254	248	136	76	89	0	0	0	0	0	0	50	853	Total Periode 1	
Periode 2	99	155	75	29	2	0	0	0	0	0	0	53	413	Total Periode 2	
Periode 3	104	146	104	39	50	0	0	0	0	2	150	595	Total Periode 3		
Maksimum	88	98	76	44	39	0	0	0	0	0	2	81	98	Harian Maks	
Hari Hujan	25	21	19	7	12	0	0	0	0	0	1	9	94	Total Hr.Hujan	

Catatan:

- Curah Hujan dalam " mm "
 - " - " = Tidak ada data



DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

TAHUN 2007

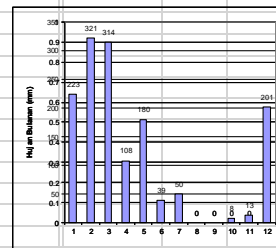
Tahun 2007

TANGGAL	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	0	0	2	2	0	15	48	0	0	0	0	0
2	3	2	14	0	0	0	0	0	0	0	2	0
3	4	56	12	0	0	0	0	0	0	0	2	0
4	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	1	17
5	0	1	0	31	0	2	0	0	0	0	0	0
6	0	52	4	2	0	2	0	0	0	0	0	0
7	0	2	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	6	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	10	0	4	0	0	0	0	0	8	0	0
12	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	8	0	0	2	0	0	0	0	3
14	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	28	28	0	0	0	0	0	0	8	0
16	0	0	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	4	65	0	0	0	0	0	0	0
18	3	0	0	0	57	0	0	0	0	0	0	28
19	12	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	20
20	6	56	50	0	0	20	0	0	0	0	0	12
21	4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	15	2	3	19	0	0	0	0	0	0	0
23	59	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	10	2	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	17
26	2	22	21	2	0	0	0	0	0	0	0	17
27	9	19	8	3	0	0	0	0	0	0	0	15
28	34	4	19	0	0	0	0	0	0	0	0	17
29	50		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
30	0		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
31	27		0		37		0	0	0	0		49

NAMA STASIUN	Tanggal
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112°44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
Pengelola	DPU. Air Dati.II

Catatan:

- Curah Hujan dalam " mm "
 - " - " = Tidak ada data



TOTAL	223	321	314	108	180	39	50	0	0	8	13	201	1457	Total Tahunan
Periode 1	7	170	101	37	0	19	48	0	0	0	5	17	404	Total Periode 1
Periode 2	21	69	143	54	122	20	2	0	0	8	8	63	510	Total Periode 2
Periode 3	195	82	70	17	58	0	0	0	0	0	0	121	543	Total Periode 3
Maksimum	59	56	63	31	65	20	48	0	0	8	8	49	65	Harian Maks
Hari Hujan	13	17	19	14	5	4	2	0	0	1	4	11	90	Total Hr.Hujan

DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

TAHUN 2008

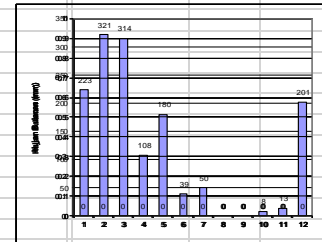
Tahun 2008

TANGGAL	B U L A N												
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
1	5	0	0	10	6	0	0	0	0	0	0	30	
2	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
4	14	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	
5	5	17	66	61	9	0	0	0	0	0	25	18	
6	4	20	65	0	1	0	0	0	0	0	15	0	
7	15	3	0	0	16	3	0	0	0	0	0	14	
8	8	12	4	5	0	0	0	0	0	0	0	2	
9	0	94	56	0	0	0	0	0	0	0	35	4	
10	4	6	59	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
11	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	10	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20	
13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	79	
14	0	26	15	0	0	0	0	0	0	0	14	24	
15	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	
18	5	12	0	0	0	0	0	0	0	0	80	2	
19	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	12	4	
20	0	0	25	0	1	0	0	0	0	0	15	0	
21	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	33	0	0	0	0	0	0	15	2	4	
23	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
24	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	7	
25	0	44	0	1	0	0	0	0	0	0	53	0	
26	0	81	0	0	0	0	0	0	0	0	18	25	
27	4	0	14	0	0	0	0	0	0	4	0	0	
28	0	7	0	0	0	0	0	0	0	2	0	16	
29	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	5		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	71		0		0		0		0			17	
TOTAL	192	368	362	96	25	0	0	0	0	21	281	322	1667
Periode 1	70	184	250	92	22	0	0	0	0	0	75	73	766
Periode 2	41	51	42	2	1	0	0	0	0	0	128	180	445
Periode 3	81	133	70	2	2	0	0	0	0	21	78	69	456
Maksimum	71	94	66	61	9	0	0	0	0	15	80	79	94
Hari Hujan	17	19	14	8	7	0	0	0	0	3	13	19	100

NAMA STASIUN	Tanggul
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112°44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
Pengelola	DPU. Air Dati. II

Catatan:

- Curah Hujan dalam " mm "
 - " - " = Tidak ada data



DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

TAHUN 2009

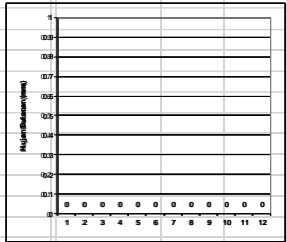
Tahun 2009

TANGGAL	B U L A N												
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
1	11	7	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	13	28	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	11	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	4	3	41	12	0	2	0	0	0	0	0	0	
6	0	10	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	2	3	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	14	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	3	10	0	0	20	2	0	0	0	0	0	0	
11	0	3	20	0	35	12	0	0	0	0	0	0	
12	7	14	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	
13	9	0	81	0	6	0	0	0	0	0	0	0	
14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	3	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	32	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	
17	7	0	0	2	42	2	0	0	0	0	0	0	
18	13	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
19	3	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	
20	38	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	
21	0	0	12	26	0	0	0	0	0	0	0	7	
22	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	14	
23	7	0	11	0	21	0	0	0	0	0	2	0	
24	70	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	
25	34	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	83	38	0	0	27	0	0	0	0	0	11	0	
27	5	6	0	0	8	0	0	0	0	0	5	2	
28	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	
30	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	18	
31	44	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	23	
TOTAL	450	325	406	95	177	18	4	0	0	0	21	160	1656
Periode 1	56	81	265	64	20	4	0	0	0	0	0	0	490
Periode 2	122	60	108	4	99	14	0	0	0	0	0	29	436
Periode 3	272	184	33	27	58	0	4	0	0	0	21	131	730
Maksimum	83	94	103	30	42	12	4	0	0	0	11	67	103
Hari Hujan	24	18	12	8	11	4	1	0	0	0	4	8	90

NAMA STASIUN	Tanggung
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112°44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
Pengelola	DFU. Air Dati.II

Catatan :

- Curah Hujan dalam " mm "
 - " - " = Tidak ada data



Total Tahunan	
Total Periode 1	
Total Periode 2	
Total Periode 3	
Harian Maks	
Total Hr.Hujan	

DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

TAHUN 2010

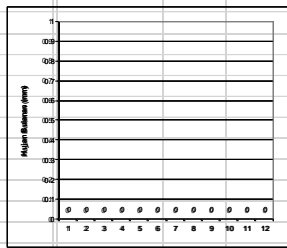
Tahun 2010

TANGGAL	B U L A N												
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
1	2	0	4	50	0	0	0	0	0	0	8	0	
2	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	43		
3	0	62	37	4	36	0	0	0	0	0	12		
4	0	11	3	58	0	0	0	0	0	34	11		
5	10	40	10	0	0	0	25	0	0	0	5		
6	17	69	15	14	0	0	0	32	0	80	26		
7	0	73	0	8	5	0	0	4	16	0	89		
8	65	0	5	0	6	0	3	0	0	18	2	28	
9	19	40	0	7	0	4	5	0	0	17	7		
10	138	0	15	10	8	8	0	0	42	13	30		
11	12	0	0	51	0	13	0	0	0	0	0		
12	34	0	5	65	139	0	0	15	0	0	15		
13	24	0	0	0	3	8	0	0	4	0	7		
14	70	0	0	0	4	2	0	0	0	28	0	0	
15	2	0	3	0	18	0	0	0	36	0	17		
16	7	0	36	2	22	12	0	0	3	4	0	6	
17	12	0	11	18	18	2	0	0	2	2	3		
18	5	0	0	32	0	6	0	0	7	0	8		
19	5	50	0	17	0	0	0	0	8	0	58		
20	21	3	0	2	38	0	0	0	0	0	15		
21	22	0	0	58	0	0	0	0	0	0	77		
22	5	0	0	0	18	0	0	0	36	35	0		
23	35	13	17	49	0	0	0	5	0	8	13		
24	53	0	2	4	2	0	0	16	5	0	3		
25	9	0	0	100	17	0	0	15	4	0	3	0	
26	4	0	0	0	0	0	8	8	0	0	7		
27	51	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0		
28	0	36	0	12	0	0	17	0	0	0	0		
29	0		2	4	0	0	0	0	0	0	0		
30	0		4	0	0	0	13	0	0	0	0		
31	2		5		0		0		0		6		
TOTAL	629	397	178	567	334	55	71	27	110	171	202	486	3227
Periode 1	256	295	91	151	55	12	33	4	48	60	154	251	1410
Periode 2	192	53	55	187	242	43	0	0	37	70	2	129	1010
Periode 3	181	49	32	229	37	0	38	23	25	41	46	106	807
Maksimum	138	73	37	100	139	13	25	15	32	42	80	89	139
Hari Hujan	25	10	18	21	14	8	6	3	10	8	10	22	155

NAMA STASIUN	Tanggung
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112° 44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
Pengelola	DPU. Air Dati.II

Catatan :

- Curah Hujan dalam " mm "
 - " - " = Tidak ada data



Total Tahunan	
Total Periode 1	
Total Periode 2	
Total Periode 3	
Harian Maks	
Total Hr.Hujan	

DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

TAHUN 2011

Tahun 2011

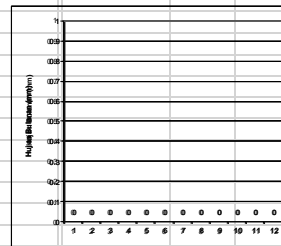
TANGGAL	B U L A N												
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
1	3	0	50	4	11	0	0	0	0	0	0	0	
2	6	4	7	0	25	2	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	2	0	8	0	0	0	0	0	0	0	
4	50	12	0	37	0	0	0	0	0	0	13	0	
5	0	12	35	31	4	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	21	0	9	0	0	0	0	0	4	2	
7	3	3	24	15	8	0	0	0	0	0	45	51	
8	5	2	20	10	0	0	0	0	0	0	12	2	
9	7	0	23	6	80	0	0	0	0	0	60	0	
10	2	9	0	43	0	0	0	0	0	0	2	0	
11	6	5	0	5	0	0	15	0	0	0	0	3	
12	0	4	37	6	0	0	0	0	0	0	0	10	
13	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
14	2	13	0	10	0	0	0	0	0	0	15	3	
15	0	11	16	2	0	0	0	0	0	0	0	16	
16	7	5	0	16	2	0	2	0	0	0	3	33	
17	37	20	14	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	6	5	4	37	4	0	0	0	0	0	3	8	
19	76	6	2	0	0	0	0	0	0	0	2	9	
20	22	0	0	48	25	0	0	0	0	0	7	0	
21	10	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	22	27	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
23	22	7	4	5	0	0	0	0	0	0	39	37	
24	3	9	15	6	0	0	0	0	0	0	0	9	
25	61	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	19	
26	0	3	29	15	0	0	0	0	0	0	0	42	
27	0	13	6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
28	6	22	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0		19	0	0	30	0	0	0	0	0	0	
30	28		4	0	0	0	0	0	0	0	7	0	
31	16		18		0		0	0	0			3	
TOTAL	378	196	402	303	176	32	17	0	0	0	212	275	1991
Periode 1	76	42	182	146	145	2	0	0	0	0	136	55	784
Periode 2	156	74	75	131	31	0	17	0	0	0	30	95	609
Periode 3	146	80	145	26	0	30	0	0	0	0	46	125	598
Maksimum	76	22	50	48	80	30	15	0	0	0	60	51	80
Hari Hujan	21	23	25	18	10	2	2	0	0	0	13	18	132

NAMA STASIUN	Tanggung
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112°44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dnas Pengairan
Pengelola	DFU. Air Dati.II

Catatan:

- Curah Hujan dalam " mm "

- " ." = Tidak ada data



DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

TAHUN 2012

Tahun 2012

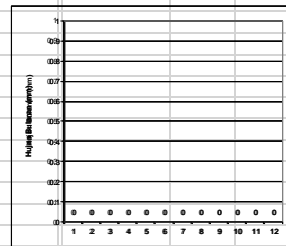
TANGGAL	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	51	27	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
2	55	7	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	8	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	8	0	10	21	0	0	0	0	0	0	42
5	17	34	9	34	0	0	0	0	0	0	0	7
6	0	91	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	16	7	4	0	3	2	0	0	0	0	26	0
8	84	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	30
9	0	11	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
10	32	0	7	0	0	2	0	0	0	0	0	33
11	0	0	5	0	0	38	0	0	0	0	0	2
12	3	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	12
13	42	50	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	2
15	18	0	11	0	3	0	0	0	0	0	0	0
16	3	0	8	0	6	0	0	0	0	0	0	0
17	27	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	44
18	0	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0	6
19	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	8
20	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	11
21	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
22	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
23	9	52	5	0	0	0	0	0	0	0	0	28
24	12	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	2	38	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	3	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	7	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	9
28	3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
29	3	3	0	30	0	0	0	0	0	0	0	30
30	55		0	40	0	0	0	0	0	0	0	0
31	7		10		0		0		0			12
TOTAL	519	367	163	156	59	47	0	0	0	0	26	308
Periode 1	255	206	34	86	24	9	0	0	0	0	26	112
Periode 2	103	53	52	0	35	38	0	0	0	0	85	366
Periode 3	161	108	77	70	0	0	0	0	0	0	111	527
Maksimum	84	91	35	40	21	38	0	0	0	0	26	44
Hari Hujan	24	16	20	7	7	4	0	0	0	0	1	18

NAMA STASIUN	Tanggung
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112°44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dnas Pengairan
Pengelola	DFU. Air Dati.II

Catatan:

- Curah Hujan dalam " mm "

- " ." = Tidak ada data



DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

2013

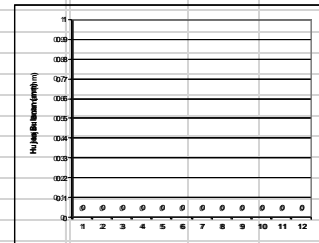
Tahun 2013

TANGGAL	B U L A N												
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
1	0	37	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
2	9	25	15	6	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	25	2	0	0	0	14	5	0	0	0	0	0	
4	0	0	6	0	15	7	18	0	0	0	0	0	
5	0	0	23	0	0	11	0	0	0	0	0	4	
6	3	0	22	0	0	71	0	0	0	0	0	2	
7	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	12	8	0	0	0	0	0	0	0	38	
9	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
10	0	0	3	16	0	16	0	0	0	0	0	6	
11	0	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	
12	2	25	44	10	17	4	6	0	0	0	0	68	
13	0	0	14	20	3	5	7	0	0	0	27	12	
14	12	0	4	0	13	20	0	0	0	0	0	0	
15	43	22	32	0	0	2	13	0	0	0	0	17	
16	2	45	0	0	0	3	0	0	0	0	2	6	
17	8	13	0	57	2	75	0	0	0	0	0	3	
18	0	65	0	25	0	16	0	0	0	0	65	73	
19	0	8	0	77	6	6	0	0	0	0	1	25	
20	10	0	0	0	0	14	0	0	0	0	4	3	
21	10	0	0	37	5	18	0	0	0	0	16	0	
22	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
23	2	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
24	2	5	0	23	9	4	0	0	0	0	27	0	
25	4	42	0	12	0	0	0	0	0	0	2	0	
26	4	17	0	0	6	0	0	0	0	0	103	0	
27	3	3	8	0	4	0	0	0	0	0	13	0	
28	6	4	0	0	24	0	0	0	0	0	3	0	
29	4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	50		22	0	0	0	0	0	0	0	10	0	
31	18		60		10		0	0		0		31	
TOTAL	266	353	313	294	114	290	49	0	0	0	273	315	2267
Periode 1	81	64	129	30	15	121	23	0	0	0	0	60	523
Periode 2	77	180	94	192	41	147	26	0	0	0	99	207	1063
Periode 3	108	109	90	72	58	22	0	0	0	0	174	48	681
Maksimum	50	65	60	77	24	75	18	0	0	0	103	73	103
Hari Hujan	21	16	15	12	12	18	5	0	0	0	12	16	127

NAMA STASIUN	Tanggul
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112°44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
Pengelola	DPU. Air Dati. II

Catatan :

- Curah Hujan dalam " mm "
 - " - " = Tidak ada data



Total Tahunan	
Total Periode 1	
Total Periode 2	
Total Periode 3	
Harian Maks	
Total Hr.Hujan	

DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

2014

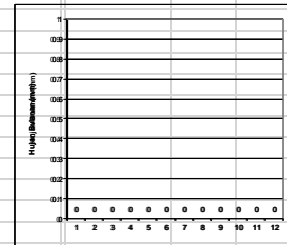
Tahun 2014

TANGGAL	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	0	37	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0
2	9	25	15	6	0	0	0	0	0	0	0	0
3	25	2	0	0	0	14	5	0	0	0	0	0
4	0	0	6	0	15	7	18	0	0	0	0	0
5	0	0	23	0	0	11	0	0	0	0	0	4
6	3	0	22	0	0	71	0	0	0	0	0	2
7	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	12	8	0	0	0	0	0	0	0	38
9	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	10
10	0	0	3	16	0	16	0	0	0	0	0	6
11	0	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0
12	2	25	44	10	17	4	6	0	0	0	0	68
13	0	0	14	20	3	5	7	0	0	0	27	12
14	12	0	4	0	13	20	0	0	0	0	0	0
15	43	22	32	0	0	2	13	0	0	0	0	17
16	2	45	0	0	0	3	0	0	0	0	2	6
17	8	13	0	57	2	75	0	0	0	0	0	3
18	0	65	0	25	0	16	0	0	0	0	65	73
19	0	8	0	77	6	6	0	0	0	0	1	25
20	10	0	0	0	0	14	0	0	0	0	4	3
21	10	0	0	37	5	18	0	0	0	0	16	0
22	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
23	2	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
24	2	5	0	23	9	4	0	0	0	0	27	0
25	4	42	0	12	0	0	0	0	0	0	2	0
26	4	17	0	0	6	0	0	0	0	0	103	0
27	3	3	8	0	4	0	0	0	0	0	13	0
28	6	4	0	0	24	0	0	0	0	0	3	0
29	4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	50		22	0	0	0	0	0	0	0	10	0
31	18		60		10		0		0		0	31

NAMA STASIUN	Tanggul
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45
Bujur Timur	112°44' 35
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
Pengelola	DPU. Air Dati. II

Catatan:

- Curah Hujan dalam " mm "
 - " - " = Tidak ada data



TOTAL	266	353	313	294	114	290	49	0	0	0	273	315	2267	Total Tahunan
Periode 1	81	64	129	30	15	121	23	0	0	0	0	60	523	Total Periode 1
Periode 2	77	180	94	192	41	147	26	0	0	0	99	207	1063	Total Periode 2
Periode 3	108	109	90	72	58	22	0	0	0	0	174	48	681	Total Periode 3
Maksimum	50	65	60	77	24	75	18	0	0	0	103	73	103	Harian Maks
Hari Hujan	21	16	15	12	12	18	5	0	0	0	12	16	127	Total Hr.Hujan

DATA CURAH HUJAN PADA POS PENAKAR HUJAN

2015

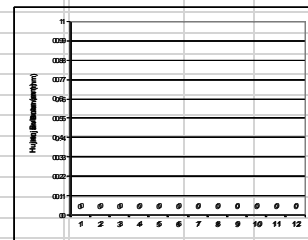
Tahun 2015

TANGGAL	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	O KT	NOP	DES
1	5	8	35	0	135	0	0	0	0	0	0	0
2	13	51	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	17	27	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4	10	12	0	55	0	0	0	0	0	0	0
5	0	35	50	0	2	0	0	0	0	0	0	15
6	0	7	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
8	0	0	3	25	0	0	0	0	0	0	0	6
9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	10	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	6	7	30	11	0	0	0	0	0	0	0	0
14	5	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	31
15	30	8	51	0	5	0	0	0	0	0	0	25
16	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	16
17	10	40	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
18	9	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	29	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	4
20	15	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
21	0	3	32	0	0	0	0	0	0	0	0	19
22	0	3	4	38	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	31	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	29	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0
26	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	9
27	6	6	0	39	0	0	0	0	0	0	0	12
28	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	8
29	18	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
31	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
TOTAL	307	247	332	143	210	0	0	0	0	0	34	243
Periode 1	43	153	140	33	192	0	0	0	0	0	34	45
Periode 2	104	78	152	19	5	0	0	0	0	0	0	106
Periode 3	160	16	40	91	13	0	0	0	0	0	34	92
Maksimum	40	51	51	39	135	0	0	0	0	0	34	41
Hari Hujan	19	17	17	8	5	0	0	0	0	0	1	14

NAMA STASIUN	Tanggal
Kode stasiun	16
Kode Database	
Lintang Selatan	-7° 37' 45"
Bujur Timur	112° 44' 35"
Kabupaten	Pasuruan
Kecamatan	Beji
Desa	Baujeng
DP. Sungai	Kedunglarangan
S.H.V.P.	+ 89 M
Type	Manual
Kondisi	
Pemilik	BMG/Dinas Pengairan
Pengelola	DPJ. Air Dati.II

Catatan :

- Curah Hujan dalam " mm "
- " - " = Tidak ada data



1516	Total Tahunan
606	Total Periode 1
464	Total Periode 2
446	Total Periode 3
135	Harian Maks
81	Total Hr.Hujan

Lampiran 4 – Perhitungan Debit Rembesan

i	V			Q (cm ³ /dt)			Q (m ³ /dt)		
	k1	k2	k3	A (cm ²) =		30000			
	0.048	0.01	0.001	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3
0.090909	0.004364	0.000909	9.09E-05	130.9091	27.27273	2.727273	0.000131	2.73E-05	2.73E-06
0.1	0.0048	0.001	0.0001	144	30	3	0.000144	0.00003	0.000003
0.111111	0.005333	0.001111	0.000111	160	33.33333	3.333333	0.00016	3.33E-05	3.33E-06
0.125	0.006	0.00125	0.000125	180	37.5	3.75	0.00018	3.75E-05	3.75E-06
0.136364	0.006545	0.001364	0.000136	196.3636	40.90909	4.090909	0.000196	4.09E-05	4.09E-06
0.142857	0.006857	0.001429	0.000143	205.7143	42.85714	4.285714	0.000206	4.29E-05	4.29E-06
0.15	0.0072	0.0015	0.00015	216	45	4.5	0.000216	0.000045	4.5E-06
0.166667	0.008	0.001667	0.000167	240	50	5	0.00024	0.00005	0.000005
0.181818	0.008727	0.001818	0.000182	261.8182	54.54545	5.454545	0.000262	5.45E-05	5.45E-06
0.1875	0.009	0.001875	0.000188	270	56.25	5.625	0.00027	5.63E-05	5.63E-06
0.2	0.0096	0.002	0.0002	288	60	6	0.000288	0.00006	0.000006
0.214286	0.010286	0.002143	0.000214	308.5714	64.28571	6.428571	0.000309	6.43E-05	6.43E-06
0.222222	0.010667	0.002222	0.000222	320	66.66667	6.666667	0.00032	6.67E-05	6.67E-06
0.25	0.012	0.0025	0.00025	360	75	7.5	0.00036	0.000075	7.5E-06
0.272727	0.013091	0.002727	0.000273	392.7273	81.81818	8.181818	0.000393	8.18E-05	8.18E-06
0.277778	0.013333	0.002778	0.000278	400	83.33333	8.333333	0.0004	8.33E-05	8.33E-06
0.285714	0.013714	0.002857	0.000286	411.4286	85.71429	8.571429	0.000411	8.57E-05	8.57E-06
0.3	0.0144	0.003	0.0003	432	90	9	0.000432	0.00009	0.000009
0.3125	0.015	0.003125	0.000313	450	93.75	9.375	0.00045	9.38E-05	9.38E-06
0.333333	0.016	0.003333	0.000333	480	100	10	0.00048	0.0001	0.00001
0.357143	0.017143	0.003571	0.000357	514.2857	107.1429	10.71429	0.000514	0.000107	1.07E-05
0.375	0.018	0.00375	0.000375	540	112.5	11.25	0.00054	0.000113	1.13E-05
0.4	0.0192	0.004	0.0004	576	120	12	0.000576	0.00012	0.000012
0.416667	0.02	0.004167	0.000417	600	125	12.5	0.0006	0.000125	1.25E-05
0.428571	0.020571	0.004286	0.000429	617.1429	128.5714	12.85714	0.000617	0.000129	1.29E-05
0.5	0.024	0.005	0.0005	720	150	15	0.00072	0.00015	0.000015
0.6	0.0288	0.006	0.0006	864	180	18	0.000864	0.00018	0.000018
0.625	0.03	0.00625	0.000625	900	187.5	18.75	0.0009	0.000188	1.88E-05
0.666667	0.032	0.006667	0.000667	960	200	20	0.00096	0.0002	0.00002
0.75	0.036	0.0075	0.00075	1080	225	22.5	0.00108	0.000225	2.25E-05
0.833333	0.04	0.008333	0.000833	1200	250	25	0.0012	0.00025	0.000025
1	0.048	0.01	0.001	1440	300	30	0.00144	0.0003	0.00003
1.25	0.06	0.0125	0.00125	1800	375	37.5	0.0018	0.000375	3.75E-05
1.5	0.072	0.015	0.0015	2160	450	45	0.00216	0.00045	0.000045
2	0.096	0.02	0.002	2880	600	60	0.00288	0.0006	0.00006
2.5	0.12	0.025	0.0025	3600	750	75	0.0036	0.00075	0.000075
3	0.144	0.03	0.003	4320	900	90	0.00432	0.0009	0.00009

Lampiran 5 – Perhitungan F_{SG}
STA 6+475

slice	tanah	A (m2)	γ (kN/m3)	ϕ	W (kN)	W total	α	SF ($W \sin \alpha$)	N	Tn (kN)	$C + N \tan \phi$	$W \sin \alpha - Tn \cos(\alpha + \lambda)$
1	1	0.71	20.2	39.60	14.34	14.34	59.00	12.29	7.39	0.00	6.111	12.293
2	1	1.37	20.2	39.60	27.67	40.03	53.00	31.97	24.09	0.00	20.777	31.969
	2	0.6	20.59237	40.78	12.36							
3	1	1.15	20.2	39.60	23.23	60.85	48.00	45.22	40.72	0.00	35.118	45.221
	2	1.76	20.59237	40.78	36.24							
	3	0.07	19.69325	38.08	1.38							
4	1	0.92	20.2	39.60	18.58	76.51	43.00	52.18	55.95	0.00	43.842	52.178
	2	2	20.59237	40.78	41.18							
	3	0.85	19.69325	38.08	16.74							
5	1	0.69	20.2	39.60	13.94	89.39	39.00	56.25	69.47	0.00	54.430	56.254
	2	2	20.59237	40.78	41.18							
	3	1.74	19.69325	38.08	34.27							
6	1	0.21	20.2	39.60	4.24	58.10	35.00	33.32	47.59	0.00	34.561	33.324
	2	0.93	20.59237	40.78	19.15							
	3	1.28	19.69325	38.08	25.21							
	4	0.5	18.99569	35.99	9.50							
7	3	0.2	19.69325	38.08	3.94	25.97	32.00	13.76	22.03	0	15.996	13.764
	4	1.16	18.99569	35.99	22.03							
8	3	0.2	19.69325	38.08	3.94	36.99	28.00	17.37	32.66	0.00	23.719	17.366
	4	1.74	18.99569	35.99	33.05							
9	3	0.19	19.69325	38.08	3.74	45.76	24.00	18.61	41.80	0	28.120	18.613
	4	2	18.99569	35.99	37.99							
	5	0.22	18.3	33.93	4.03							
10	4	1.65	18.99569	35.99	31.34	43.06	21.00	15.43	40.20	0.00	27.041	15.432
	5	0.64	18.3	33.93	11.72							
11	4	1	18.99569	35.99	19.00	37.30	18.00	11.53	35.48	0	23.865	11.528
	5	1	18.3	33.93	18.31							
12	4	0.31	18.99569	35.99	5.89	29.32	14.00	7.09	28.45	0.00	19.139	7.094
	5	1.28	18.3	33.93	23.44							

STA 6+500

slice	tanah	A (m2)	γ (kN/m3)	ϕ	W (kN)	W total	α	SF ($W \sin \alpha$)	N	Tn (kN)	$C + N \tan \phi$	$\frac{W \sin \alpha - Tn}{\cos(\alpha + \lambda)}$
1	1	0.33	20.2	39.60	6.67	6.666	39	4.20	5.18	0.00	4.286	4.195
2	1	1	20.2	39.60	20.20	20.20	38	12.44	15.92	0.00	13.168	12.436
3	1	1.52	20.2	39.60	30.70	33.38	38	20.55	26.30	8.35	22.220	14.963
	2	0.13	20.592369	40.78	2.68							
4	1	1.46	20.2	39.60	29.49	46.583666	38	28.68	36.71	13.30	31.660	19.783
	2	0.83	20.592369	40.78	17.09							
5	1	1.32	20.2	39.60	26.66	59.611791	37	35.88	47.61	19.40	41.061	22.644
	2	1.6	20.592369	40.78	32.95							
6	1	1.19	20.2	39.60	24.04	72.12	37	43.40	57.59	25.43	45.127	26.060
	2	2	20.592369	40.78	41.18							
	3	0.35	19.693249	38.08	6.89							
7	1	0.6	20.2	39.60	12.12	74.97	36	44.06	60.65	29.60	47.521	23.505
	2	2	20.592369	40.78	41.18							
	3	1.1	19.693249	38.08	21.66							
8	2	1.21	20.592369	40.78	24.92	60.93	36	35.82	49.30	0.00	38.626	35.816
	3	1.8	19.693249	38.08	35.45							
	4	0.03	18.995686	35.99	0.57							
9	2	0.09	20.592369	40.78	1.85	46.17	36	27.14	37.36	36.09	27.127	2.066
	3	1.72	19.693249	38.08	33.87							
	4	0.55	19.0	35.99	10.45							
10	3	0.44	19.693249	38.08	8.67	32.22	35	18.48	26.39	40.47	19.166	-10.134
	4	1.24	19.0	35.99	23.55							
11	4	0.91	19.0	35.99	17.29	18.57	35	10.65	15.21	47.50	10.633	-22.940
	5	0.07	18.3	33.93	1.28							
12	4	0.03	19.0	35.99	0.57	5.15	35	2.95	4.22	0.00	2.836	2.952
	5	0.25	18.3	33.93	4.58							

STA 6+520

slice	tanah	A (m2)	γ (kN/m3)	ϕ	W (kN)	W total	α	SF ($W \sin \alpha$)	N	Tn (kN)	C + N tan ϕ	$W \sin \alpha - Tn$
1	1	0.72	20.2	39.60	14.54	14.544	58	12.33	7.71	9.56	6.376	8.752
	1	1.9	20.2	39.60	38.38							
2	2	0.27	20.5923692	40.78	5.56	43.94	53	35.09	26.44	13.91	21.876	28.778
	1	2	20.2	39.60	40.40							
3	2	1.41	20.5923692	40.78	29.04	69.4352	49	52.40	45.55	18.78	39.289	42.731
	1	1.52	20.2	39.60	30.70							
4	2	2	20.5923692	40.78	41.18	81.3415	45	57.52	57.52	23.04	45.066	44.304
	3	0.48	19.6932491	38.08	9.45							
	1	0.58	20.2	39.60	11.72							
5	2	2	20.5923692	40.78	41.18	80.6682	41	52.92	60.88	25.51	47.702	36.868
	3	1.41	19.6932491	38.08	27.77							
	2	1.6	20.5923692	40.78	32.95							
6	3	1.95	19.6932491	38.08	38.40	75.9086	38	46.73	59.82	30.08	20.592	26.607
	4	0.24	18.9956861	19.00	4.56							
	2	0.69	20.5923692	40.78	14.21							
7	3	2	19.6932491	38.08	39.39	71.4512	34	39.95	59.24	0	20.392	39.955
	4	0.94	18.9956861	19.00	17.86							
	2	0.03	20.5923692	40.78	0.62							
8	3	1.71	19.6932491	38.08	33.68	64.3064	31	33.12	55.12	33.36	18.975	7.946
	4	1.58	18.9956861	19.00	30.01							
	3	0.8	19.6932491	38.08	15.75							
9	4	1.98	18.9956861	19.00	37.61	56.2955	28	26.43	49.71	0	33.434	26.429
	5	0.16	18.3	33.93	2.93							
	3	0.06	19.6932491	38.08	1.18							
10	4	1.79	18.9956861	19.00	34.00	47.0846	25	19.90	42.67	39.54	28.704	-12.489
	5	0.65	18.3	33.93	11.90							
	4	0.91	18.9956861	19.00	17.29							
11	5	1.08	18.3	33.93	19.77	37.0596	22	13.88	34.36	0	23.113	13.883
	4	0.1	18.9956861	19.00	1.90							
12	5	1.32	18.3	33.93	24.17	26.0672	19	8.49	24.65	32.09	16.579	-19.579
	13	5	0.96	18.3	33.93							

Lampiran 6 – Perhitungan Sliding Stability

STA 6+475

no tanah	A	γ (kN/m ³)	ϕ	c (kN/m ³)	W (kN/m)	W tan ϕ	tebal (m)	γ_v (kN/m ²)	Ka	σ_h (kN/m ²)		Pa
q		10			10	10		10	0.221431			
1	19.15	20.2	39.6	0	199.16	164.7595	2	30.8	0.221431	atas	2.214307	9.034374
										bawah	6.820067	
2	24.37	20.6	40.77711	0	263.01	226.8409	2	52.38474	0.209835	atas	6.462916	17.45506
										bawah	10.99215	
3	25.28	19.7	38.07975	0	250.1013	195.9618	2	72.17124	0.237044	atas	12.41748	29.52522
										bawah	17.10774	
4	34.36	19	35.98706	0	315.9638	229.4521	2	90.56261	0.259761	atas	18.74729	42.27194
										bawah	23.52465	
5	40.35	18.3	33.92651	0	343.3316	230.9399	2	107.5803	0.283591	atas	25.68271	56.19148
										bawah	30.50877	

STA 6+500

no tanah	A	γ (kN/m ³)	ϕ	c (kN/m ³)	W (kN/m)	W tan ϕ	tebal (m)	γ_v (kN/m ²)	Ka	σ_h (kN/m ²)		Pa
q		10			10	10		10	0.221431			
1	20.91	20.2	39.6	0	217.46	179.9	2	30.8	0.22	atas	2.21	9.03
										bawah	6.82	
2	26.49	20.6	40.78	0	285.89	246.57	2	52.38	0.21	atas	6.46	17.46
										bawah	10.99	
3	29.35	19.7	38.08	0	290.37	227.51	2	72.17	0.24	atas	12.42	29.53
										bawah	17.11	
4	32.21	19	35.99	0	296.19	215.09	2	90.56	0.26	atas	18.75	42.27
										bawah	23.52	
5	22.47	18.3	33.93	0	191.19	128.61	1.3	101.62	0.28	atas	25.68	35.43
										bawah	28.82	

STA 6+520

no tanah	A	γ (kN/m ³)	ϕ	c (kN/m ³)	W (kN/m)	W tan ϕ	tebal (m)	σ_v (kN/m ²)	Ka	σ_h (kN/m ²)		Pa
q		10			10			10				
1	23.64	20.2	39.6	0	245.856	203.39	2	30.8	0.221431	atas	2.214307	9.034374
										bawah	6.820067	
2	27.85	20.6	40.77711	0	300.5675	259.233	2	52.38474	0.209835	atas	6.462916	17.45506
										bawah	10.99215	
3	32.06	19.7	38.07975	0	317.1776	248.518	2	72.17124	0.237044	atas	12.41748	29.52522
										bawah	17.10774	
4	36.27	19	35.98706	0	333.5275	242.207	2	90.56261	0.259761	atas	18.74729	42.27194
										bawah	23.52465	
5	40.48	18.3	33.92651	0	344.4377	231.684	2	107.5803	0.283591	atas	25.68271	56.19148
										bawah	30.50877	
6	30.84	19	0	58.81429	282.2397	0	1.4	120.3927	1	atas	-10.0483	0.414
										bawah	2.76414	

Lampiran 7 – Perhitungan panjang Ground Anchor

STA	SF awal	MR	MR x 2	MD	MR design	ΔMR	φ	R (m)	N (kN)	Jumlah anchor	N/anchor (kN)	C (kN/m ²)	D grout (m)	L grout (m)	L pakai (m)
		kN-m													
6+450	1.24	71550	143100	115403.23	173104.84	30004.84	18	31.49	2932.531	4	733.1327	92.25965	0.2	12.6471	13
6+475	1.312	66200	132400	100914.63	151371.95	18971.95	18	26.97	2164.986	4	541.2464	92.25965	0.2	9.336913	10
6+500	1.337	68450	136900	102393.42	153590.13	16690.13	18	31.1	1651.67	4	412.9174	92.25965	0.2	7.123141	8
6+520	1.208	53700	107400	88907.285	133360.93	25960.93	18	40.08	1993.501	4	498.3752	92.25965	0.2	8.597353	9

Lampiran 8 – Perhitungan dimensi pondasi

		C	φ	Nc	γ	h	Nq	B	Nγ	q ult	q ijin	A	s	s pakai
STA +025	pondasi 1	0	39.6	85.97	20.2	0.5	70.61	1	95.03	762.4968	254.1656	2.884469	1.69837238	1.7
	pondasi 2	0	38.1	77.5	19.693249	0.5	61.55	1	78.61	615.5481	205.1827	3.573073	1.89025739	1.9
	pondasi 3	0	36.0	63.53	18.995686	0.5	47.16	1	54.36	416.7853	138.9284	5.277053	2.29718381	2.3
	pondasi 4	0	33.9	52.64	18.308837	0.5	36.5	1	38.04	284.7567	94.91891	7.723779	2.77916878	2.8
STA +050	pondasi 1	0	38.1	77.5	19.693249	0.5	61.55	1	78.61	615.5481	205.1827	2.637876	1.6241538	1.7
	pondasi 2	0	36.0	63.53	18.995686	0.5	47.16	1	54.36	416.7853	138.9284	3.895865	1.97379459	2
	pondasi 3	0	33.9	52.64	18.308837	0.5	36.5	1	38.04	284.7567	94.91891	5.702198	2.38792747	2.4
	pondasi 4	58.81429	0.0	5.7	18.951742	0.5	1	1	0	440.3898	146.7966	3.68705	1.92016933	2
STA +075	pondasi 1	0	39.6	85.97	20.2	0.5	70.61	1	95.03	762.4968	254.1656	1.6246	1.27459799	1.3
	pondasi 2	0	38.1	77.5	19.693249	0.5	61.55	1	78.61	615.5481	205.1827	2.012438	1.41860424	1.5
	pondasi 3	0	36.0	63.53	18.995686	0.5	47.16	1	54.36	416.7853	138.9284	2.97216	1.72399522	1.8
	pondasi 4	0	33.9	52.64	18.308837	0.5	36.5	1	38.04	284.7567	94.91891	4.350212	2.08571629	2.1
STA +090	pondasi 1	0	39.6	85.97	20.2	0.5	70.61	1	95.03	762.4968	254.1656	1.960829	1.40029598	1.5
	pondasi 2	0	38.1	77.5	19.693249	0.5	61.55	1	78.61	615.5481	205.1827	2.428934	1.55850381	1.6
	pondasi 3	0	36.0	63.53	18.995686	0.5	47.16	1	54.36	416.7853	138.9284	3.587281	1.89401176	1.9
	pondasi 4	0	33.9	52.64	18.308837	0.5	36.5	1	38.04	284.7567	94.91891	5.250537	2.29140495	2.3

Lampiran 8 – Perhitungan Harga Ground Anchor

STA	Anchor	L anchor (m)	L grouted (m)	L total (m)	N (ton)	n tulangan	L tulangan (m)	Jumlah anchor	Harga/anchor	Total	S pondasi (m)	Volume (m ³)	Vol grout (m ³)	Vol total	Harga	Anti karat + pembungkus
6+450	A	11.6	13	27.06	75	8	216.48	12	Rp 8,836,966.16	Rp 106,043,593.92	1.7	0.85	0.408407	1.258407	Rp 13,983,419.08	Rp 162,360,000.00
	B	13.5	13	29.15			233.2	12	Rp 9,519,496.07	Rp 114,233,952.80	1.9	0.95	0.408407	16.30088	Rp 15,094,619.08	Rp 174,900,000.00
	C	14.6	13	30.36			242.88	12	Rp 9,914,644.96	Rp 118,975,739.52	2.3	1.15	0.408407	18.70088	Rp 17,317,019.08	Rp 182,160,000.00
	D	15.5	13	31.35			250.8	12	Rp 10,237,948.60	Rp 122,855,383.20	2.8	1.4	0.408407	21.70088	Rp 20,095,019.08	Rp 188,100,000.00
6+475	A	16	10	28.6	55	6	171.6	12	Rp 7,004,912.20	Rp 84,058,946.40	1.7	0.85	0.314159	13.96991	Rp 12,936,137.76	Rp 171,600,000.00
	B	17.6	10	30.36			182.16	12	Rp 7,435,983.72	Rp 89,231,804.64	2	1	0.314159	15.76991	Rp 14,602,937.76	Rp 182,160,000.00
	C	17	10	29.7			178.2	12	Rp 7,274,331.90	Rp 87,291,982.80	2.4	1.2	0.314159	18.16991	Rp 16,825,337.76	Rp 178,200,000.00
	D	14.2	10	26.62			159.72	12	Rp 6,519,956.74	Rp 78,239,480.88	2	1	0.314159	15.76991	Rp 14,602,937.76	Rp 159,720,000.00
6+500	A	16.6	8	27.06	45	5	135.3	13	Rp 5,523,103.85	Rp 71,800,350.05	1.3	0.65	0.251327	11.71726	Rp 10,850,179.39	Rp 175,890,000.00
	B	14.9	8	25.19			125.95	13	Rp 5,141,425.94	Rp 66,838,537.24	1.5	0.75	0.251327	13.01726	Rp 12,053,979.39	Rp 163,735,000.00
	C	12.6	8	22.66			113.3	13	Rp 4,625,038.18	Rp 60,125,496.38	1.8	0.9	0.251327	14.96726	Rp 13,859,679.39	Rp 147,290,000.00
	D	11	8	20.9			104.5	13	Rp 4,265,811.92	Rp 55,455,554.92	2.1	1.05	0.251327	16.91726	Rp 15,665,379.39	Rp 135,850,000.00
6+520	A	10.6	9	21.56	50	6	129.36	10	Rp 5,280,626.12	Rp 52,806,261.20	1.5	0.75	0.282743	10.32743	Rp 9,563,203.32	Rp 107,800,000.00
	B	9.5	9	20.35			122.1	10	Rp 4,984,264.45	Rp 49,842,644.50	1.6	0.8	0.282743	10.82743	Rp 10,026,203.32	Rp 101,750,000.00
	C	8	9	18.7			112.2	10	Rp 4,580,134.90	Rp 45,801,349.00	1.9	0.95	0.282743	12.32743	Rp 11,415,203.32	Rp 93,500,000.00
	D	6	9	16.5			99	10	Rp 4,041,295.50	Rp 40,412,955.00	2.3	1.15	0.282743	14.32743	Rp 13,267,203.32	Rp 82,500,000.00
Harga										Rp 1,244,014,032.45				Rp 222,158,458.19	Rp 2,407,515,000.00	
Harga Total															Rp 4,261,056,239.70	



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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 0311154000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

LAYOUT PEMASANGAN
 GROUND ANCHOR STA 6+425 S/D
 STA 6+520

SKALA

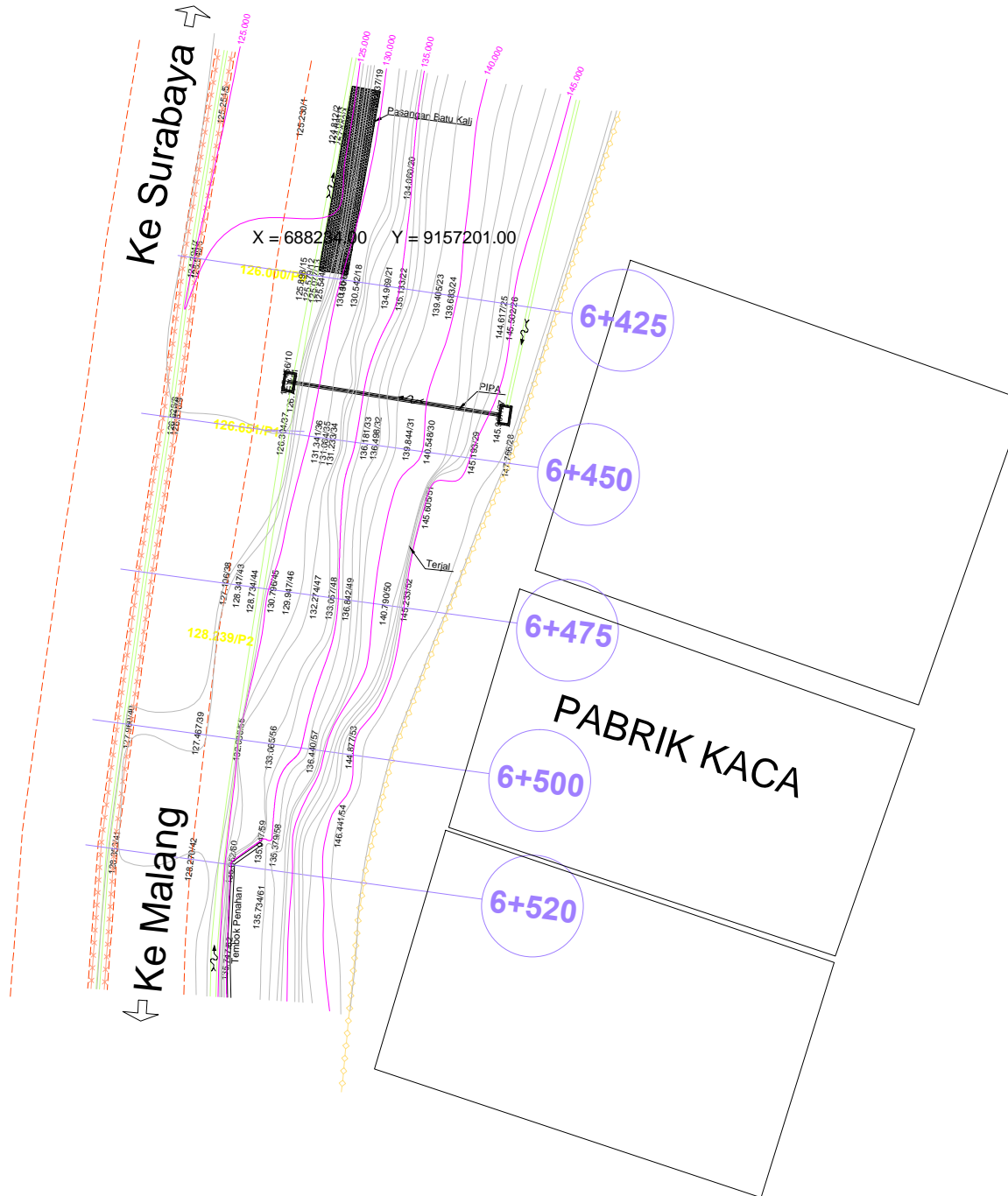
1 : 1000

NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

1

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN PEMASANGAN
 GROUND ANCHOR PADA STA
 6+425 S/D STA 6+450

SKALA

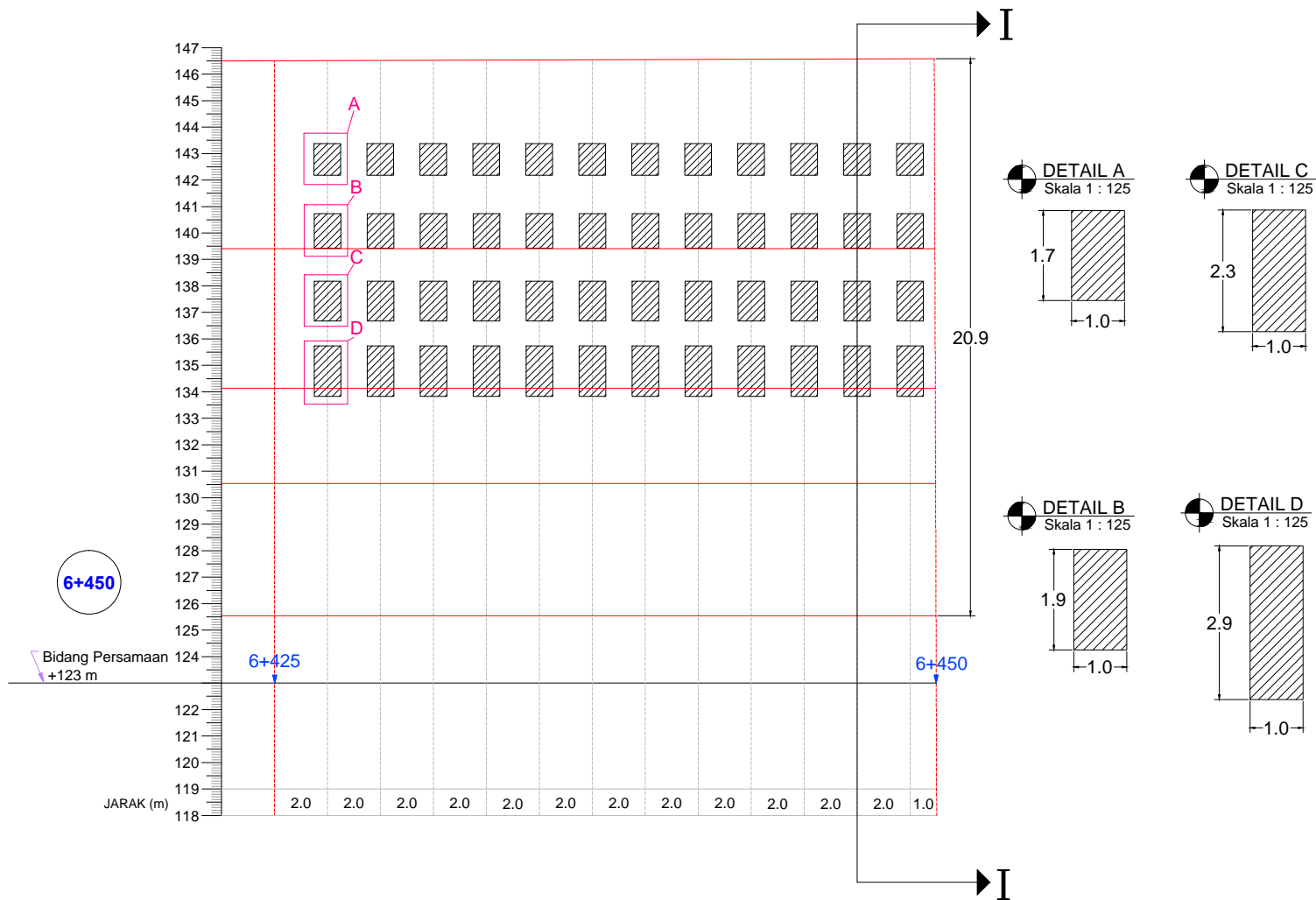
1 : 250

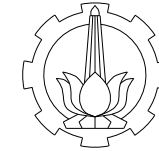
NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

2

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN PEMASANGAN
 GROUND ANCHOR PADA STA
 6+450 S/D STA 6+475

SKALA

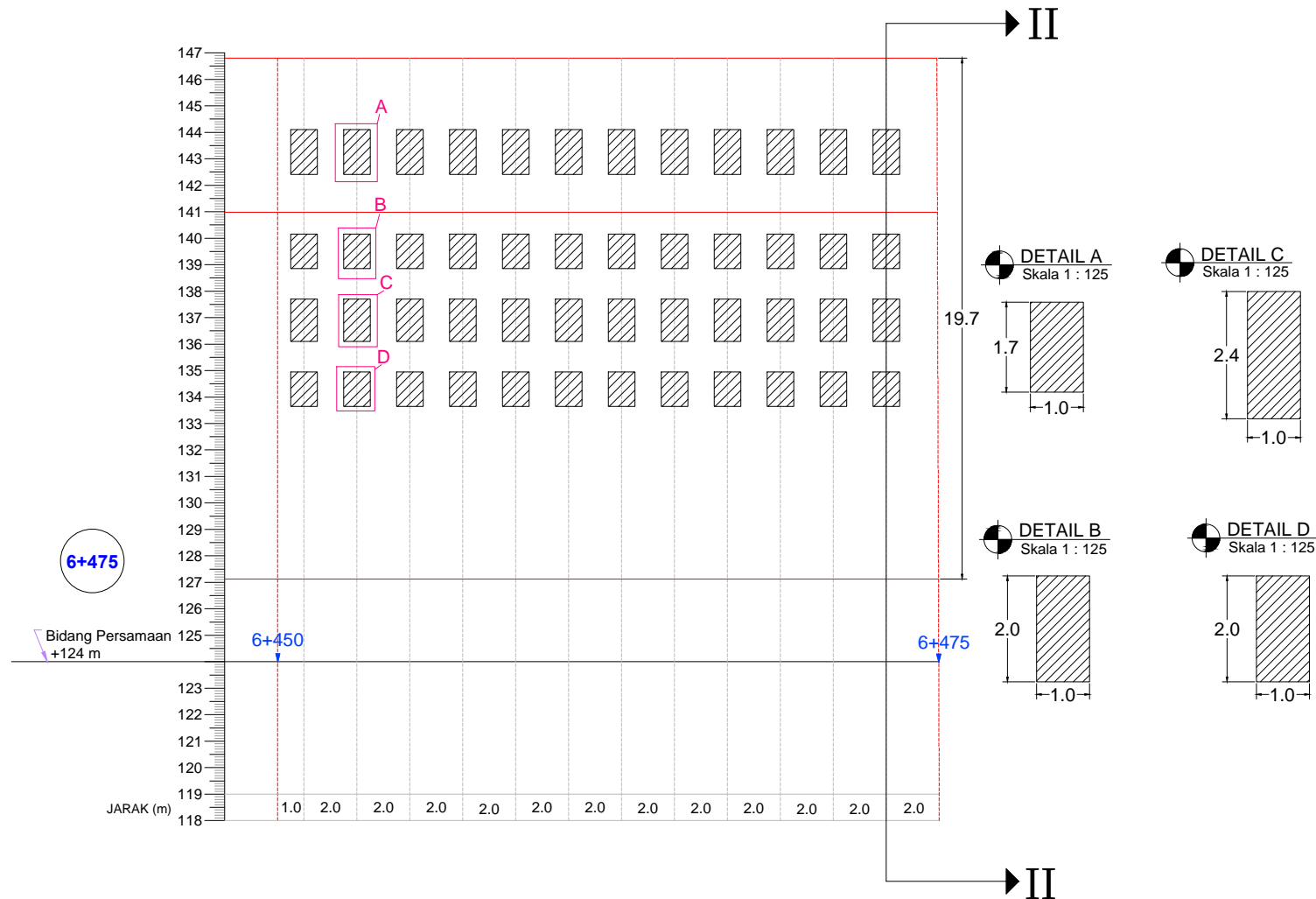
1 : 250

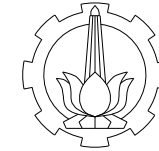
NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

3

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN PEMASANGAN
 GROUND ANCHOR PADA STA
 6+475 S/D STA 6+500

SKALA

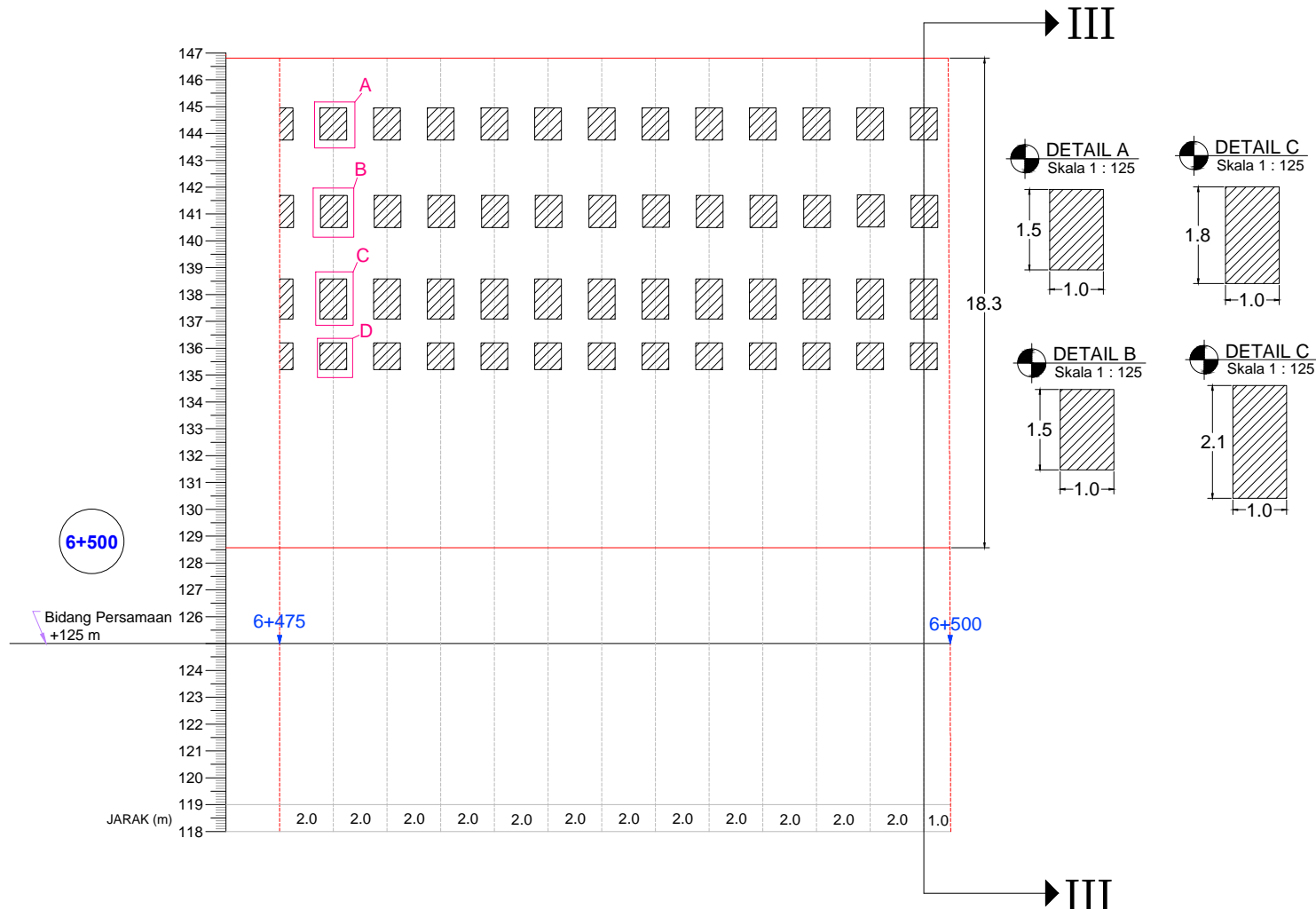
1 : 250

NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

4

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

PERENCANAAN PEMASANGAN
 GROUND ANCHOR PADA STA
 6+500 S/D STA 6+520

SKALA

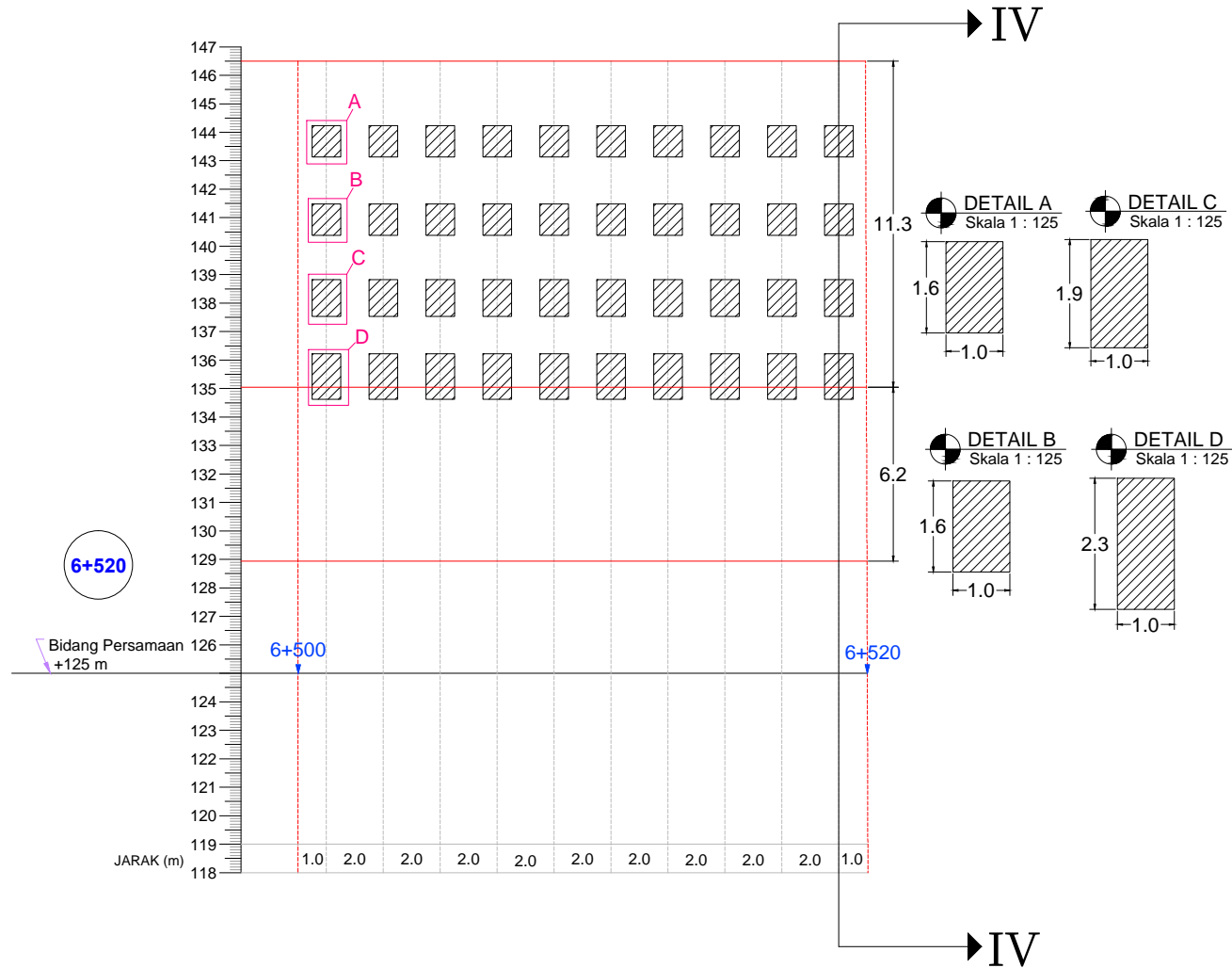
1 : 250

NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

5

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

POTONGAN I-I STA 6+450

SKALA

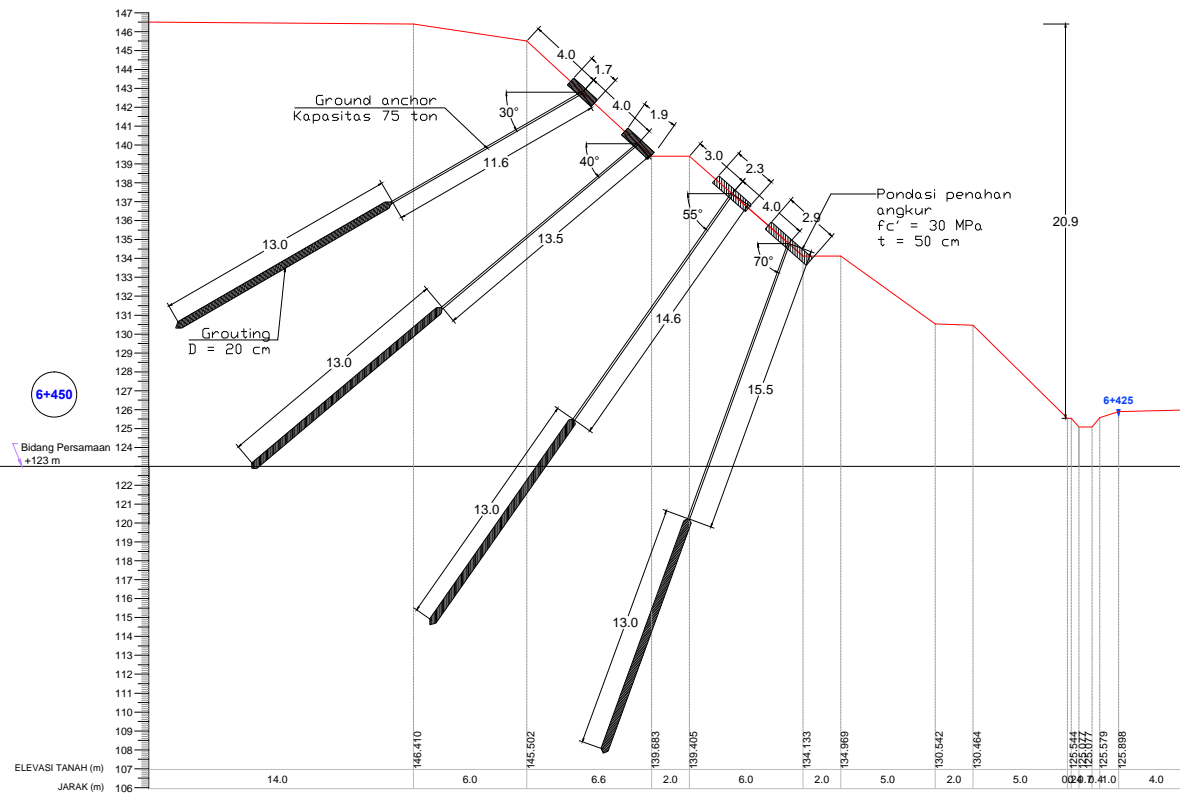
1 : 400

NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

6

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

POTONGAN II-II STA 6+475

SKALA

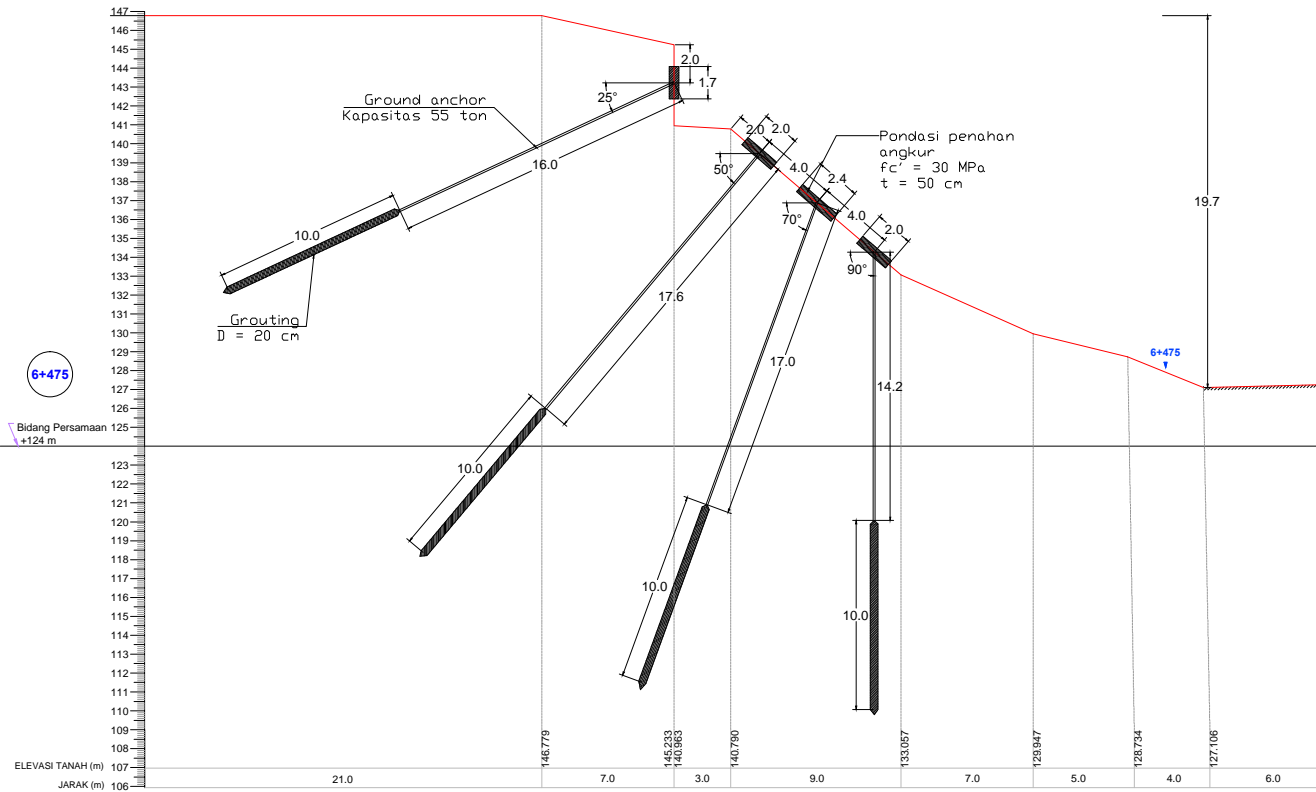
1 : 400

NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

7

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

POTONGAN III-III STA 6+500

SKALA

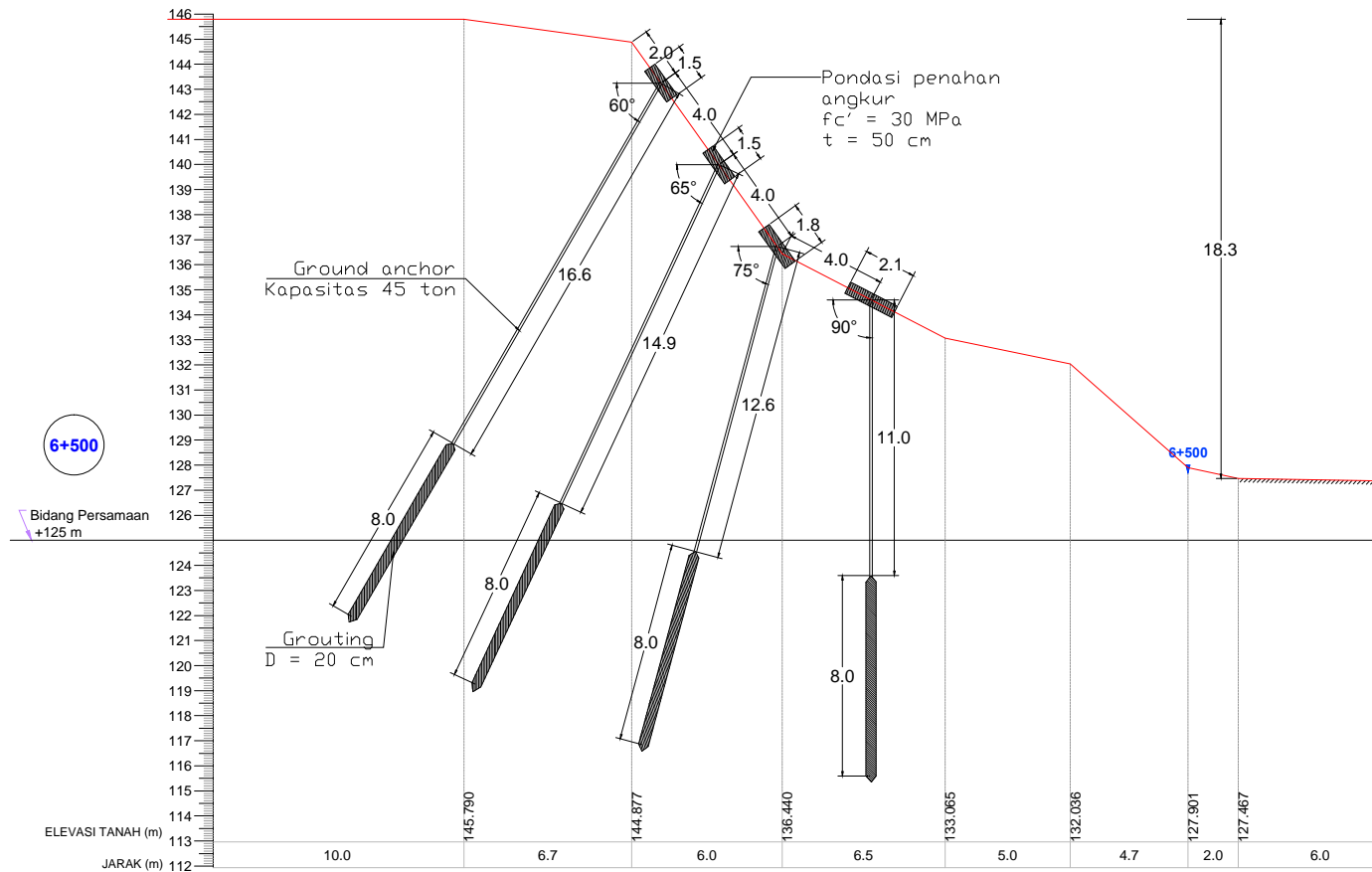
1 : 300

NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

8

9





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

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PERKUATAN
 LERENG MENGGUNAKAN *SOIL*
NAILING UNTUK MENGATASI
 KELONGSORAN PADA JALAN
 TOL GEMPOL-PANDAAN STA.
 6+400 s/d 6+525

MAHASISWA

ROSITA EKA APRILYANTI
 03111540000071

DOSEN PEMBIMBING

PROF. DR. IR. HERMAN
 WAHYUDI
 PUTU TANTRI KUMALA
 SARI. ST., MT.,

JUDUL GAMBAR

POTONGAN IV-IV STA 6+520

SKALA

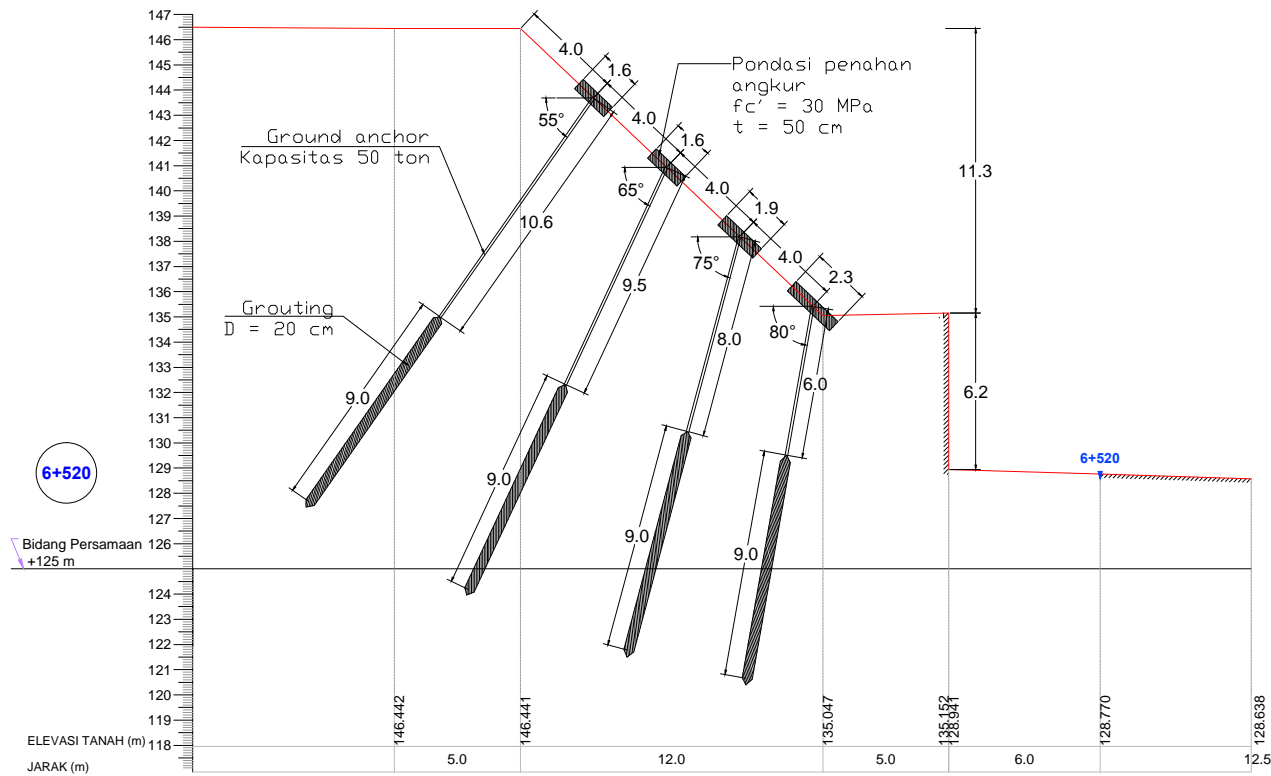
1 : 300

NO. GAMBAR

JUMLAH
 GAMBAR

9

9



BIODATA PENULIS



Rosita Eka Aprilyanti.

Lahir di Sidoarjo, pada tanggal 12 April 1997.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di

SDN Dharma Wanita Jabaran, SMP Negeri 1

Krian dan SMA Negeri 15 Surabaya,

kemudian penulis melanjutkan pendidikan

sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember Departemen Teknik Sipil (FTSLK)

Surabaya melalui Program Sarjana dan

terdaftar dengan NRP 03111540000071. Penulis adalah salah satu

Mahasiswi Program Sarjana (S1) dengan bidang Studi Geoteknik

yang mengambil judul tugas akhir “Perencanaan Perkuatan Lereng

Menggunakan *Soil Nailing* untuk Mengatasi Kelongsoran pada

Jalan Tol Gempol-Pandaan STA 6+400 s/d 6+525”. Penulis aktif

dalam kegiatan kepanitiaan tingkat Departemen seperti Civil Expo.

Selain itu, penulis mengembangkan diri dalam bidang keilmiahan

dengan mengikuti lomba keteknik sipilan. Penulis juga pernah

mengikuti *Study Excursion* ke Singapura yang dilaksanakan oleh

ITS *International Office*.

Narahubung

Email : rositaprilyanti@yahoo.com