TUGAS AKHIR

PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SOIL NAILING* DENGAN MATERIAL *GEOBRUGG*

(Studi Kasus : Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung

Disusun Oleh :

Nabilla Ardhia Pramesti
NIM : 30201900158

Yuni Millati Azka
NIM : 30201900215

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023

LEMBAR PENGESAHAN

PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SOIL NAILING*
DENGAN MATERIAL *GEOBRUGG*
(Studi Kasus: Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)

Nabilla Ardhia Pramesti
NIM : 30201900158

Yuni Millati Azka
NIM : 30201900215

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2023 :

Tim Penguji	Tanda Tangan
1. **Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si** NIDN: 0620065301	.....
2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.** NIDN: 0608067601	.....
3. **Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D.** NIDN: 0627115501	.....

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

Dipindai dengan CamScanner

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 36/A.2/SA-T/I/2023

Pada hari ini tanggal 27-01-2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

2. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Nabilla Ardhia Pramesti	Yuni Millati Azka
NIM : 30201900158	NIM : 30201900215

Judul : PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SOIL NAILING* DENGAN MATERIAL *GEOBRUGG*
(Studi Kasus: Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	19/09/2022	
2	Seminar Proposal	27/10/2022	ACC
3	Pengumpulan data	30/10/2022	
4	Analisis data	10/11/2022	
5	Penyusunan laporan	17/12/2022	
6	Selesai laporan	27/01/2023	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama	Dosen Pembimbing Pendamping
Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si	Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :
NAMA : Nabilla Ardhia Pramesti
NIM : 30201900158

NAMA : Yuni Millati Azka
NIM : 30201900215

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
"PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SOIL NAILING* DENGAN MATERIAL *GEOBRUGG* (Studi Kasus: Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)"
benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Januari 2023

Yang membuat pernyataan, Yang membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL
L802BAKX294743414

Nabilla Ardhia Pramesti
NIM : 30201900158

Yuni Millati Azka
NIM : 30201900215

UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA	: Nabilla Ardhia Pramesti
NIM	: 30201900158
NAMA	: Yuni Millati Azka
NIM	: 30201900215
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SOIL NAILING* DENGAN MATERIAL *GEOBRUGG* (Studi Kasus: Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian surat pernyataan ini saya buat.

Semarang, Januari 2023

Yang membuat pernyat[illegible] membuat pernyataan,

METERAI TEMPEL
40DF5AKX294743415

Nabilla Ardhia Pramesti	Yuni Millati Azka
NIM : 30201900158	NIM : 30201900215

Dipindai dengan CamScanner

MOTTO

Nabilla Ardhia Pramesti

سَتُبْدِيْ لَكَ الْأَيَّامُ مَا كُنْتَ جَاهِلًا # وَيَأْتِيْكَ بِالْأَخْبَارِ مَا لَمْ تُزَوِّدْ

عَنِ الْمَرْءِ لَا تَسْأَلْ وَأَبْصِرْ قَرِيْنَهُ # فَإِنَّ الْقَرِيْنَ بِالْمُقَارِنِ مُقْتَدِ

إِذَا الْمَرْءُ لَمْ يَدْنَسْ مِنَ اللُّؤْمِ عِرْضُهُ # فَكُلُّ رِدَاءٍ يَرْتَدِيْهِ جَمِيْلٌ

مَنْ يَفْعَلِ الْخَيْرَ لَا يَعْدَمْ جَوَازِيَهُ # لَا يَذْهَبُ الْعُرْفُ بَيْنَ اللهِ وَالنَّاسِ

مَنْ يَزْرَعِ الْخَيْرَ يَحْصُدْ مَا يُسَرُّ بِهِ # وَزَارِعُ الشَرِّ مَنْكُوْسٌ عَلَى الرَّأْسِ

(المحفوظات)

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

MOTTO

Yuni Millati Azka

أُطْلُبْ فِي الحَيَاةِ العِلْمَ وَالمَالَ تَحُزِّ الرِّيَاسَةَ عَلَى النَّاسِ، لِأَنَّهُمْ بَيْنَ خَاصٍ وَ عَامٍ، فَالخَاصَّةُ تُفَضِّلُكَ بِالعِلْمِ والعَامَّةُ تُفَضِّلُكَ بِالمَالِ

(المحفوظات)

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Terimakasih untuk diri saya sendiri Nabilla Ardhia Pramesti yang sudah berjuang dan tidak menyerah.
2. Orang tua saya, khususnya Mamah Sri Priyatun dan Ayah Zaenuri, serta kakak saya Reza yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat, serta dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si., Dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
4. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., Dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
5. Dosen – dosen Fakultas Teknik terutama dosen Teknik Sipil, yang telah memberikan ilmunya serta mendidik saya dengan penuh kesabaran, sehingga saya dapat mengetahui beberapa hal yang sebelumnya saya belum mengetahuinya.
6. Yuni Millati Azka (Partner TA), terimakasih atas semua waktu dan supportnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan telah berjuang bersama.
7. Mas Koko dan Raditya yang telah membantu menuangkan ide-ide dan supportnya untuk tugas akhir ini.
8. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, yang telah membantu, mendukung, dan memberikan semangat khususnya teman-teman kelas C selama masa perkuliahan.

Nabilla Ardhia Pramesti

NIM : 30201900158

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Diri saya sendiri yang sudah berjuang dan tidak menyerah.
2. Orang tua saya, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat, serta dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si., Dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
4. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., Dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
5. Dosen – dosen Fakultas Teknik terutama dosen Teknik Sipil, yang telah memberikan ilmunya serta mendidik saya dengan penuh kesabaran, sehingga saya dapat mengetahui beberapa hal yang sebelumnya saya belum mengetahuinya.
6. Nabilla Ardhia Pramesti (Partner TA), terimakasih atas semua waktu dan supportnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan telah berjuang bersama.
7. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, yang telah membantu, mendukung, dan memberikan semangat.

Yuni Millati Azka

NIM : 30201900215

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SOIL NAILING* DENGAN MATERIAL *GEOBRUGG* (Studi Kasus: Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)". Penyelesaian Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Pendidikan Setara Satu (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang.

Laporan Tugas Akhir ini telah didukung dan dibimbing oleh berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya dari segi kualitas dan kuantitas maupun dari ilmu pengetahuan yang penyusun kuasai. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis tetapi juga bagi berbagai pihak dan para pembaca secara umum dan khususnya mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
PERNYATAAN KEASLIAN v
MOTTO vi
PERSEMBAHAN viii
KATA PENGANTAR x
DAFTAR ISI xii
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR GAMBAR xvii
ABSTRAK xix
ABSTRACT xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Maksud dan Tujuan 2
1.4. Batasan Masalah 3
1.5. Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1. Tanah 5
2.1.1. Klasifikasi Tanah 5
2.1.2. Stabilitas Tanah 5
2.1.3. Daya Dukung Tanah 6
2.2. Parameter Tanah 6
2.2.1. Berat Jenis Butiran/*Spesific Gravity* (Gs) 6
2.2.2. Korelasi Berat Jenis Tanah 7
2.3. Lereng 8
2.3.1. Sudut atau Kemiringan Lereng 8
2.3.2. Stabilitas Lereng 9
2.3.3. Faktor Keamanan Stabilitas Lereng 10
2.3.4. Analisis Stabilitas Lereng 12

2.4. Tanah Longsor 14
2.4.1. Jenis Longsor 14
2.4.2. Faktor – faktor Penyebab Kelongsoran Lereng 16
2.5. Erosi 16
2.6. *Soil Nailing* 17
2.6.1. Komponen *Soil Nailing* 17
2.6.2. Syarat Komponen Dinding *Soil Nailing* 19
2.6.3. Prosedur Pemasangan Konstruksi *Soil Nailing* 20
2.6.4. Macam-macam *Soil Nailing* 21
2.6.5. Kelebihan *Soil Nailing* 24
2.7. Geobrugg 25
2.8. Sistem Stabilisasi Lereng TECCO dan Metode Pengukuran Dimensi Ruvolum 26
2.8.1. *Sliding Off Paralel To The Slope* 27
2.8.2. *Local Wedge-shaped bodies liable to break out* 28
2.8.3. *Proof of The Terrain's Resistance Against Sliding (Deep Sliding Surfaces)* 30
2.9. *High-tensile Steel Wire Mesh* 30
2.9.1. Proteksi Korosi Jaring Kawat 33
2.9.2. Perbandingan Jaring Kawat Tarik Tinggi Dengan Jaring Kawat Tradisional 34
2.10. Klip Koneksi Sambungan Jaring 36
2.11. *Nail* / Paku Tanah 38
2.11.1. *Pretensioning Nails* 39
2.12. *Spike Plate* 41
2.13. Penghijauan dan Revegetasi 43
2.13.1. Vegetasi (Tanaman) 45
2.14. Metode Perancangan Untuk Sistem Stabilisasi Lereng Fleksibel 46
2.14.1. Investigasi Ketidakstabilan Superfisial Yang Sejajar Dengan Kemiringan Lereng 47
2.14.2. Investigasi Ketidakstabilan Lokal diantara Masing-masing Paku 52
2.15. Plaxis 61
2.16. RUVOLUM *Online Tool* 62

2.17. Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan 62

BAB III METODOLOGI 65
3.1. Pendahuluan 65
3.2. Lokasi Penelitian 65
3.3. Pengumpulan Data 66
3.4. Tahapan Penelitian 67
3.5. Metode Analisis 68
3.5.1. Perencanaan Pemodelan Lereng 68
3.5.2. Perencanaan Soil Nailing Menggunakan Program *Plaxis* 8.6 68
3.5.3. Perencanaan Soil Nailing Menggunakan Metode Bishop 70
3.5.4. Perencanaan Soil Nailing Menggunakan Software RUVOLUM *Online Tool* 72

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 73
4.1. Pendahuluan 73
4.2. Permodelan Lereng 73
4.3. Data Tanah 74
4.4. Analisis Stabilitas Lereng Awal Dengan *Plaxis* 75
4.4.1. Permodelan Awal Lereng 75
4.4.2. Pembuatan Jaring Elemen 76
4.4.3. Perhitungan Grafik Freatik 77
4.4.4. Perhitungan Tegangan Awal 77
4.4.5. Tahap Perhitungan 78
4.5. Analisis Stabilitas Lereng Awal Manual Dengan Metode Bishop 80
4.6. Data Perkuatan Geogrugg 83
4.6.1. *Nail Types* 83
4.6.2. *Spike Plate* 84
4.6.3. *Mesh Types* 85
4.6.4. TECMAT 86
4.7. Analisis Manual Perkuatan Lereng Dengan Geobrugg 87
4.8. Analisis Perkuatan Lereng Dengan Geobrugg Menggunakan Software Ruvolum *Online Tool* Kondisi Kering 113

4.8.1. Percobaan ke-1 114
4.8.2. Percobaan ke-2 119
4.8.3. Percobaan ke-3 124
4.8.4. Perbandingan Antara Percobaan ke-1,2, dan 3..... 130
4.9. Analisis Perkuatan Lereng Dengan Geobrugg Menggunakan Software *Ruvolum Online Tool* Kondisi Basah..... 131
4.10. Perbandingan Antara Perhitungan Perkuatan Lereng Kondisi Kering dan Kondisi Basah 138
4.11. Detail Gambar Desain Perkuatan Lereng dengan Material Geobrugg ... 140

BAB V PENUTUP..... 141
5.1. Kesimpulan 141
5.2. Saran 142

DAFTAR PUSTAKA xx
LAMPIRAN xxii

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi jenis tanah dengan Gs 7
Tabel 2.2 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif 7
Tabel 2.3 Korelasi jenis tanah dengan γ_{sat} dan γ_{dry} 8
Tabel 2.4 Klasifikasi Lereng Menurut Van Zuidam, 1985 9
Tabel 2.5 Klasifikasi Kemiringan Lereng Menurut SNI 03-1997-1995 10
Tabel 2.6 Nilai Faktor Kemananan Untuk Lereng Tanah 12
Tabel 2.7 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Batuan 12
Tabel 2.8 Jaring Kawat Baja Tarik Tinggi Tecco 33
Tabel 2.9 Parameter dan Geometri dari Berbagai Jenis Jala 34
Tabel 2.10 Data Utama Mengenai Klip Sambungan dan Cakar Tekan 37
Tabel 2.11 Bukti paku terhadap geseran sejajar dengan lereng 50
Tabel 2.12 Bukti terhadap tusukan jaring akibat gaya pretensioning 51
Tabel 2.13 Bukti Keamanan Bantalan Paku (Regangan Gabungan)..... 51
Tabel 2.14 Kuantitas Untuk Bukti Terhadap Pemotongan Jaring di Tepi Lereng Atas Pelat Paku di Paku Bawah 59
Tabel 2.15 Kuantitas bukti transmisi selektif dari gaya paralel lereng Z dari jaring ke paku atas 61
Tabel 2.16 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang 62
Tabel 3.1 Tingkat nilai SF Teoritis 71
Tabel 3.2 Tingkat nilai Fk dalam praktek 71
Tabel 4.1 Parameter Tanah..... 74
Tabel 4.2 Perhitungan Stabilitas Lereng Metode Bishop 82
Tabel 4.3 Karakteristik *Nail* GEWI D = 28 mm 83
Tabel 4.4 Karakteristik *Spike Plate* P33..... 84
Tabel 4.5 Karakteristik *High-tensile Steel Wire Mesh TECCO G65/3* 85
Tabel 4.6 Karakteristik TECMAT..... 86
Tabel 4.7 Parameter untuk perhitungan RUVOLUM 114
Tabel 4.8 Perhitungan dengan RUVOLUM Percobaan ke-1 115
Tabel 4.9 Perhitungan dengan RUVOLUM Percobaan ke-2 120
Tabel 4.10 Perhitungan dengan RUVOLUM Percobaan ke-3 125
Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Percobaan ke-1,2, dan 3 Kondisi Lereng Kering 130
Tabel 4.12 Perhitungan dengan RUVOLUM Kondisi Lereng Basah 133
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Perhitungan Lereng Kondisi Kering dan Lereng Kondisi Basah 139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Analisa Stabilitas Lereng 11
Gambar 2.2 *Rotational slide* 14
Gambar 2.3 *Translation slide* 15
Gambar 2.4 *Surface slide* 15
Gambar 2.5 *Deep slide* 15
Gambar 2.6 Komponen *Soil Nailing* 18
Gambar 2.7 *Grouted Nails* 22
Gambar 2.8 Semua Gaya Aktif Pada Benda dengan Lebar a, Panjang b, dan Tebal T untuk menentukan Gaya Geser S yang diperlukan Untuk Tingkat Keamanan Tertentu 27
Gambar 2.9 Sistem stabilisasi permukaan dalam kombinasi dengan paku tanah, badan berbentuk baji lokal 28
Gambar 2.10 Jaring kawat dengan gaya total Z aktif pada paku 29
Gambar 2.11 (a) Permukaan Geser Melengkung 30
Gambar 2.12 Profil Umum dan Susunan Paku 31
Gambar 2.13 Skema Presentasi Tiga Dimensi Dari TECCO Tipe Jaring Tarik Tinggi 32
Gambar 2.14 Penampang Melintang Yang Berbeda Dari Jaring Kawat Baja Tarik Tinggi (TECCO, Atas) Dan Jaring Kawat Baja Tradisional (Mata Rantai, Bawah) 36
Gambar 2.15 Klip T3 Jepitan Untuk Sambungan Panel Jaring Individu 37
Gambar 2.16 Bagian kepala paku dengan pelat paku 38
Gambar 2.17 Distribusi Beban Sepanjang Panjang Paku 39
Gambar 2.18 Pelat Paku Dengan Kawat Baja Bertegangan Tinggi 40
Gambar 2.19 Bagian Kepala Paku: Dell Untuk Prategang Jaring Yang Optimal Dalam Aplikasi Tanah 40
Gambar 2.20 Pelat Paku Perlu Diorientasikan Secara Horizontal; Sisi Panjang Harus Horizontal. (Pemasangan Horizontal Mencakup 16 Kabel Baja, Pemasangan Vertikal Hanya Mencakup 8 Kabel Baja) 41
Gambar 2.21 Pengujian Material *Spike Plate* Sistem 42
Gambar 2.22 Pentingnya Kekakuan Sistem Spike Plate yang Benar 42
Gambar 2.23 Tikar pengontrol erosi *Tecmat* dipasang di bawah Jaring TECCO 44
Gambar 2.24 Ketidakstabilan Superfisial Sejajar dengan Lereng 48
Gambar 2.25 Ketidakstabilan Lokal Antara Masing-Masing Paku 53
Gambar 2.26 Penampang Horizontal Dari Benda Maksimum Yang Mungkin (Dapat Pecah) Dengan Ketebalan *t* 54
Gambar 2.27 Mekanisme Keruntuhan A = Mekanisme Geser Satu Bodi 56
Gambar 2.28 Mekanisme Keruntuhan B = Mekanisme Geser Dua Benda (Kemungkinan Gaya Gesek Sepanjang Permukaan Kontak Dari Dua Benda I Dan II Diabaikan) 58

Gambar 2.29 Tegangan Geser Pada *Mesh* di Tepi Lereng Atas Pelat Paku di Paku Bawah 59
Gambar 2.30 Gaya Paralel-Lereng Diperhitungkan Dalam Pertimbangan Kesetimbangan..... 60
Gambar 3.1 Peta Lokasi Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah 66
Gambar 3.2 Alur Diagram Penelitian 67
Gambar 3.3 Geometri Permodelan Lereng..... 68
Gambar 3.4 Lereng dengan busur lingkaran bidang longsor Bishop 70
Gambar 4.1 Permodelan Lereng Bendungan Cacaban..... 73
Gambar 4.2 Pemodelan Lereng Asli Input Plaxis 75
Gambar 4.3 Input Data Material..... 76
Gambar 4.4 Jaring-Jaring Elemen 76
Gambar 4.5 Perhitungan Grafik Freatik 77
Gambar 4.6 Perhitungan Tegangan Awal..... 78
Gambar 4.7 Tahapan Perhitungan Plaxis 2D..... 78
Gambar 4.8 Tahapan Perhitungan Safety Factor Asli Lereng..... 79
Gambar 4.9 Perpindahan Total sebesar 310,66 x 10^{-3} diskalakan 20 kali..... 79
Gambar 4.10 Pembagian Pias Pada Lereng (Metode Bishop)..... 80
Gambar 4.11 *Spike Plate* P33 84
Gambar 4.12 *High-tensile Steel Wire Mesh TECCO G65/3* 85
Gambar 4.13 Tikar Pengontrol Erosi *Tecmat* Dipasang di Bawah Jaring TECCO 86
Gambar 4.14 Ketahanan Bantalan Jaring 89
Gambar 4.15 Bagian Lereng yang akan diselidiki 89
Gambar 4.16 Ketahanan Bantalan Jaring 102
Gambar 4.17 Bagian Lereng yang akan diselidiki 102
Gambar 4.18 RUVOLUM ONLINE TOOL Percobaan ke-1..... 115
Gambar 4.19 RUVOLUM ONLINE TOOL Percobaan ke-2..... 120
Gambar 4.20 RUVOLUM ONLINE TOOL Percobaan ke-3..... 125
Gambar 4.21 Letak *Load Cases* Pada Halaman *Ruvolum Online Tool*..... 132
Gambar 4.22 Tampilan *Streaming Pressure* 132
Gambar 4.23 RUVOLUM ONLINE TOOL Kondisi Lereng Basah..... 133
Gambar 4.24 Permodelan *Soil Nailing* ke dalam Lereng 140
Gambar 4.25 Perkuatan Lereng dengan kombinasi *Wire Mesh* dan *Spike Plate* 140

PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SOIL NAILING* DENGAN MATERIAL *GEOBRUGG*
(Studi Kasus: Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah)

ABSTRAK

Nabilla Ardhia Pramesti[1)], Yuni Millati Azka[1)], Soedarsono[2)], Abdul Rochim[2)]

Longsoran dapat tejadi pada lokasi dengan keadaan geologi, morpologi, hidrologi, dan iklim yang kurang menguntungkan. Longsor pada lereng Bendungan Cacaban yang terletak di Desa Penujah, Kecamatan Kedung Banteng, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah dipicu oleh adanya struktur geologi yang berkembang dan kondisi tanah yang berupa lapukan dari proses pelapukan batuan yang mengalami degradasi baik oleh perubahan cuaca maupun akibat proses teroksidasi dan mengalami penjenuhan oleh kondisi ke-air-an yang fluktuatif.

Salah satu cara untuk menanggulangi longor pada lereng adalah perkuatan lereng menggunakan metode *soil nailing* dengan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*. *Soil nailing* adalah perkuatan tanah dengan cara memberi paku-paku pada tanah dengan panjang tertentu dan jarak tertentu. Analisis menggunakan dua aplikasi yang berbeda yaitu Program Plaxis V8.6 untuk analisis kondisi eksisting lereng dan Software RUVOLUM Online Tool untuk analisis perkuatan lereng. Analisis perhitungan perkuatan lereng menghasilkan pembuktian keamanan antara *soil nailing* dengan *wire mesh* maupun dengan sistem *spike plate* serta kekuatan kombinasi dari keseluruhan perkuatan yang digunakan.

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai faktor keamanan pada kondisi awal lereng dengan program Plaxis V8.6 sebesar 1,1028 tidak memenuhi syarat lereng aman 1,5 yang berarti lereng dalam keadaan bahaya dan harus diberi perkuatan. Setelah diberi perkuatan dengan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* didapatkan pembuktian untuk kekuatan kombinasi sebesar 0,956 dan 0,927 yang berarti sudah memenuhi persyaratan dari konsep dimensi RUVOLUM kurang dari 1 untuk keamanan perkuatan lereng.

Kata Kunci: *lereng; stabilitas lereng; longsor; soil nailing; geobrugg; plaxis; ruvolum*

[1)]Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

[2)]Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

SLOPE REINFORCEMENT USING SOIL NAILING METHOD WITH GEOBRUGG MATERIAL
(Case Study: Cacaban Dam, Tegal Regency, Central Java)

ABSTRACT

Nabilla Ardhia Pramesti[1)], Yuni Millati Azka[1)], Soedarsono[2)], Abdul Rochim[2)]

Landslides can occur in locations with unfavorable geological, morphological, hydrological and climatic conditions. Landslides on the slopes of the Cacaban Dam located in Penujah Village, Kedung Banteng District, Tegal Regency, Central Java were triggered by the presence of a developing geological structure and soil conditions in the form of weathering from the weathering process of rocks that have been degraded both by weather changes and due to oxidized processes and experiencing saturation by fluctuating water conditions.

One way to overcome landslides on slopes is slope reinforcement using the soil nailing method with a combination of high tension wire mesh, spike plate system. Soil nailing is strengthening the soil by giving nails to the soil with a certain length and a certain distance. The analysis uses two different applications, namely the Plaxis V8.6 program for analysis of existing slope conditions and the RUVOLUM Online Tool Software for slope reinforcement analysis. Calculation analysis of slope reinforcement yields evidence of safety between soil nailing and wire mesh and spike plate systems as well as the combined strength of all the reinforcement used.

From the calculation results, it is obtained that the value of the factor of safety at the initial condition of the slope with the Plaxis V8.6 program is 1.1028, it does not meet the requirements for a safe slope of 1.5, which means that the slope is in a state of danger and must be strengthened. After being reinforced with a combination of high-tensile wire mesh, spike plate system, and soil nailing, the combination strength of 0.956 and 0.927 was obtained, which means that it meets the requirements of the RUVOLUM dimension concept of less than 1 for the safety of slope reinforcement.

Keywords: *slope; slope stability; landslides; soil nailing; geobrugg; plaxis; ruvolum*

[1)]Student of the Engineering Faculty of the UNISSULA Civil Engineering Study Program

[2)]Lecturer of the Faculty of Engineering UNISSULA Civil Engineering Study Program

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Longsoran dapat tejadi pada lokasi dengan keadaan geologi, morpologi, hidrologi, dan iklim yang kurang menguntungkan. Longsoran secara alami terjadi antara lain karena menurunnya kemantapan suatu lereng akibat degradasi tanah/batuan bersamaan waktu dan usia lapisan tanah batuan penyusun lereng. Secara teknis dapat dijelaskan bahwa longsoran terjadi karena perubahan keseimbangan antara gaya yang diakibatkan oleh adanya momen pendorong tidak mampu diimbangi oleh gaya yang dibentuk oleh momen penahannya.

Studi kasus yang kami pakai merupakan lereng Bendungan Cacaban yang terletak di Desa Penujah, Kecamatan Kedung Banteng, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah. Kondisi longsoran pada lereng-lereng tebing di area Bendungan Cacaban dipicu oleh adanya struktur geologi yang berkembang dan kondisi tanah yang berupa lapukan dari proses pelapukan batuan yang mengalami degradasi baik oleh perubahan cuaca maupun akibat proses teroksidasi dan mengalami penjenuhan oleh kondisi ke-air-an yang fluktuatif (Tegal, 2020).

Hal lain yang juga sebagai pemicu tejadinya kelongsoran di area lereng tebing tersebut adalah adanya curah hujan yang tinggi dan pengaruh perubahan cuaca akibat pemanasan global.

Untuk menanggulangi terjadinya kelongsoran pada lereng adalah dengan menggunakan perkuatan yang mampu menahan kelongsoran, salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan perkuatan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* dengan material Geobrugg. *Soil nailing* merupakan metode perbaikan tanah asli dengan cara dilakukannya pemakuan batang-batang dengan menggrouting tanah tersebut. Material Geobrugg memiliki kuat tarik kawat $\geq$ 1770 N/mm^2 dan kuat tarik jaring kawat $\geq$ 150 kN/m (Geobrugg, 2021)

Upaya perkuatan lereng lainnya yang digunakan untuk menghindari kelongsoran menggunakan metode *Erotion Control* dengan menghampar matras sintetis Geomat dan kawat jaring / *wiremesh* (bentuk hexagon) serta menanaminya dengan vegetasi

yang memiliki akar serabut yang banyak sehingga dapat meningkatkan daya cengkeram tanah dan mampu mengurangi kemungkinan terjadinya pergerakan tanah atau kelongsoran. Dengan metode *erosion control* tidak diperlukan lagi alat-alat berat yang sangat riskan jika melewati tubuh dan puncak bendungan.

Erosion Control mengunakan tanaman. Tanaman yang dimanfatkan adalah Mucuna dan Vetiver. Metode vegetasi dipilih dibandingkan dengan metode shotcrete karena dengan berat jenis beton (W) sebesar 2400 kg/m^3 yang terlalu berat dapat membebani lereng itu sendiri karena terjal dan cukup tinggi.

Pada analisa stabilitas perkuatan lereng menggunakan bantuan Program *Plaxis V8.6* dan *Software Ruvolum Online Tool* untuk mempermudah analisa stabilitas lereng kami dalam melakukan penelitian di lereng daerah Bendungan Cacaban.

1.2. Rumusan Masalah

Dari pembahasan yang ada dapat dirumuskan permasalahan Sebagai berikut:

1. Berapa Nilai Aman *(safety factor)* lereng asli Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah?
2. Bagaimana pembuktian perkuatan lereng dengan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate,* dan *soil nailing* dengan material Geobrugg?
3. Apakah perkuatan menggunakan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* dengan material Geobrugg aman digunakan untuk perkuatan lereng?

1.3. Maksud dan Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahahui Nilai Aman *(safety factor)* lereng asli Bendungan Cacaban di Kabupaten Tegal, Jawa Tengah.
2. Mengetahui jenis *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* yang harus digunakan dalam perkuatan Lereng Cacaban.

3. Membuktikan nilai kemanan perkuatan dengan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* dengan material Geobrugg yang dapat digunakan.

1.4. Batasan Masalah

Ruang lingkup permasalahan penelitian aga lebih flexsibel dan terarah perlu dilakukan pembatasan masalah sebaga berikut:

1. Menggunakan data tanah dari Proyek Bendungan Cacaban di Kabupaten Tegal, Jawa Tengah yang didapat dari Laboratorium Mekanika Tanah Unissula 2020.
2. Menganalisis menggunakan *Software Plaxis* 8.6.
3. Menganalisis untuk mengetahui Nilai Aman (*Safety factor*) menggunakan metode Bishop yang digunakan sebelum dan sesudah perkuatan.
4. Analisis perkuatan lereng dengan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* menggunakan konsep dimensi ruvolum.
5. Analisis perkuatan lereng menggunakan *Software Ruvolum Online Tool*
6. Penggunaan tikar pengontrol erosi dengan vegetasi tidak diperhitungkan lebih lanjut.

1.5. Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang pengertian perkuatan lereng dengan kombinasi *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* dengan material Geobrugg serta matras sintetis geomat untuk vegetasi.

BAB III : METODOLOGI PENULISAN

Pada bab ini menguraikan tentang pengumpulan data serta analisis perhitungan data.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan tentang pengolahan data, pemodelan lereng menggunakan program Plaxis V8.6, perhitungan perkuatan lereng dengan *Soil Nailing* dengan *Software Ruvolum Online Tool*.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini, berisi kesimpulan dari hasil analisis dan saran yang disampaikan mengenai analisis ini.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Tanah merupakan dasar dalam pengerjaan konstruksi sehingga tanah memiliki peranan yang sangat penting dalam bidang konstruksi. Sebelum melakukan pekerjaan konstruksi harus dilakukan identifikasi dahulu tipe tanah yang berada di lapangan sehingga dapat dilakukan perencanaan selanjutnya.

Tanah diartikan sebagai material yang terdapat butiran (agregat) mineral-mineral padat yang tidak terikat satu sama lain secara kimia serta dari bahan-bahan organik yang telah melapuk dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga-rongga kosong diantara pratikel-pratikel padat tersebut (Pratikso, 2017). Tanah ialah bahan yang diperoleh dari butiran padat yang mengikat dan terurai dengan cairan dan gas yang mengisi rongga antar partikel. (Das, 1995)

2.1.1. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem untuk mengklasifikasikan beberapa jenis tanah yang berbeda dengan sifat yang sama ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan kegunaannya. Kebanyakan sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat indeks tanah sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas (Bowles, 2005).

Tujuan dari klasifikasi tanah ini adalah untuk mengidentifikasi kesesuaian untuk aplikasi tertentu dan untuk mentransfer informasi tentang kondisi tanah dari satu wilayah ke wilayah lain dalam bentuk fakta mendasar seperti karakteristik kompresi, kekebalan tanah, kerapatan curah, dll (Das, 1995).

2.1.2. Stabilitas Tanah

Stabilitas tanah adalah proses peningkatan sifat fisik tanah. Stabilitas tanah sering dicapai melalui dua metode, yaitu: stabilitas mekanik dan stabilitas kimia. Stabilitas mekanik meningkatkan daya dukung tanah dengan meningkatkan struktur dan kualitas mekanisnya. Sedangkan stabilitas kimia meningkatkan kekebalan dan daya

dukung tanah dengan mengurangi kualitas teknisnya. Namun, menggabungkan tanah dengan bahan kimia kurang menguntungkan.

2.1.3. Daya Dukung Tanah

Kemampuan tanah untuk menahan beban tekan atau konstruksi tanah tanpa mengalami keruntuhan geser atau penurunan tanah yang signifikan disebut sebagai daya dukung tanah.

Penting untuk menghitung daya dukung tanah untuk menentukan daya dukung tanah. Hal ini diperlukan untuk memperkirakan daya dukung tanah. Nilai maksimum dari batas ditentukan oleh titik di mana hal tersebut menjadi mungkin untuk gagal. Perlu ditentukan kekuatan yang diijinkan (qa). Itu berasal dari hasil bagi kekuatan margial (qult) dan faktor keamanan.

$$qa = \frac{qult}{FK}$$

Dengan:

qa = Daya dukung ijin (ton)

qult = Daya dukung ultimate (t/m^2)

FK = Safety Factor

2.2. Parameter Tanah

2.2.1. Berat Jenis Butiran/Spesific Gravity (Gs)

Berat jenis butir (*spesific gravity*) adalah perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air suling pada volume yang sama dan suhu tertentu. Percobaan ini dimaksudkan untuk mendapatkan harga berat jenis butir (Gs) sampel tanah booring. *Spesific Gravity* dapat dicari dengan rumus berikut:

$$Gs = \frac{c - a}{H_P - (d - c)t_2}$$

Dimana:

c = sampel

d = aquadest

a = berat pickno

Hp = harga air picknometer

Menurut Hardiyatmo (1992), hubungan jenis tanah dengan GS adalah:

Tabel 2.1 Korelasi jenis tanah dengan Gs

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

2.2.2. Korelasi Berat Jenis Tanah

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) pada tanah kohesif dan non kohesif dapat dilihat pada Tabel 2.2, Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Korelasi Berat Jenis Tanah (γ) Untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif

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

(Sumber: *Soil Mechanics*, William T., Whitman Robert V., 1962)

Berikut adalah nilai tipikal berat volume tanah:

Tabel 2.3 Korelasi jenis tanah dengan γ_{sat} dan γ_{dry}

Jenis Tanah	γ_{sat} **(kN/m^3)**	γ_{dry} **(kN/m^3)**
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
Lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

(Sumber: *Soil Mechanics and Foundation*, John Wiley & Sons, 2000)

2.3. Lereng

Lereng (*slope*) merupakan permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami karena proses geologi, seperti lereng yang membentuk perbukitan atau lereng-lereng yang terdapat di tebing sungai. Lereng juga dapat terbentuk karena aktivitas manusia, seperti lereng galian dan lereng yang diperlukan untuk membangun konstruksi.

Kemiringan adalah suatu kemiringan tertentu antara tanah/permukaan tanah dengan bidang horizontal. Kemiringan lereng biasanya terdiri dari bagian puncak (*crest*), cembung (*convex*), cekung (*voncave*), dan kaki lereng (*lower slope*). Daerah puncak merupakan daerah gerusan erosi yang paling tinggi dibanding daerah bawahnya, demikian pula lereng tengah yang kadang cekung atau cembung mendapat gerusan aliran permukaan relief lebih besar dari puncaknya sendiri, sedangkan kaki lereng merupakan daerah endapan. (C & Agustina, 2021)

Pada studi kasus ini lereng merupakan lereng sandaran bendungan yang berada pada jalan akses puncak bendungan.

2.3.1. Sudut atau Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan keadaan dimana ukuran kemiringan lahan terhadap bidang datar. Disebabkan oleh tenaga dari dalam bumi (endogen) dan tenaga dari luar bumi (eksogen) sehingga terdapat perbedaan titik ketinggian di bumi dan dapat dinyatakan dalam satuan persen atau derajat. Menurut (Van Zuidam, 1985), lereng

diklasifikasikan sebagai berikut tergantung pada ciri dan kondisi lapangan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Klasifikasi Lereng Menurut Van Zuidam, 1985

Kelas Lereng (%)	**Ciri – ciri dan Kondisi Lapangan**	**Warna yang disarankan**
0 – 2	Datar (*flat*) atau hamir datar. Proses denudasional tidak cukup besar dan pengikisan permukaan tidak intensif di bawah kondisi kering.	Hijau Gelap
2 – 7	Sedikit miring (*gently sloope*) proses pergerakan massa berkecepatan rendah dari berbagai proses periglacial, slifluction dan fluvia.	Hijau Cerah
7 – 15	Miring (*slooping*) memiliki kondisi yang hampir sama dengan *gently soft*, namun lebih mudah mengalami pengikisan permukaan, dengan erosi permukaan yang intensif.	Kuning Cerah
15 – 30	Agak curam (*moderately steep*) semua jenis pergerakan terjadi terutama *periglacial solifluction*, rayapan, pengikisan dan ada kalanya *landslide*.	Kuning Oranye
30 – 70	Curam (*steep*) proses denudasional dari semua jenis terjadi secara intensif (erosi, rayapan, pergerakan lereng).	Merah Cerah
70 – 140	Sangat curam (*very steep*) proses denudasional terjadi secara intensif.	Merah Gelap
>140	Curam ekstrem (*extreme steep*) proses denudasional sangat kuat, terutama *wall denudational*.	Ungu Gelap

(Sumber: Van Zuidam, 1985)

2.3.2. Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng dipengaruhi oleh nilai kuat geser yang seharusnya lebih besar daripada tegangan geser. Stabilitas lereng sangat penting untuk penggalian tanah

serta penyimpanan tanah, batuan, dan mineral. Suatu lereng dikatakan stabil jika lereng tersebut tidak mengalami pergerakan dan tidak berpotensi mengalami pergerakan, yaitu apabila besarnya komponen gaya penahan pada lereng lebih besar dibanding komponen gaya penggerak lereng.

Kelongsoran pada lereng umumnya terjadi dalam suatu bidang lengkung. Dalam perhitungan stabilitas, lengkungan yang riil ini dianggap sebagai lingkaran spiral logarotmis. Bidang ini disebut bidang gelincir (Riogilang et al., 2014).

Kemantapan lereng (*slope stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan.

Sudut yang telah ditentukan sebelumnya dapat dihasilkan oleh permukaan tanah yang miring dalam kaitannya dengan bidang dimana lereng itu terletak secara horizontal. Klasifikasi kemiringan lereng menurut SNI 03-1997-1995 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Klasifikasi Kemiringan Lereng Menurut SNI 03-1997-1995

Sudut Kemiringan Lereng (˚)	Kondisi Menurut SNI 03-1997-1995
45	Sedang
60	Curam
90	Curam

2.3.3. Faktor Keamanan Stabilitas Lereng

Faktor keamanan adalah hal penting dalam analisis stabilitas lereng. Dengan mengetahui faktor keamanan, dapat diketahui terjadi atau tidaknya keruntuhan pada lereng.

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah mencari angka keamanan (η) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja.

$$Fk = \frac{Momen\ Penahan}{Momen\ Penggerak} = \frac{W_x}{Cu\ L\ R}$$

dimana,

Fk = Faktor keamanan

W = Berat tanah yang akan longsor (kN)

L_{AC} = Panjang Lengkungan

C = Kohesi (kN/m²)

R = Jari – jari lingkaran bidang longsor yang ditinjau (m)

Y = Jarak pusat berat W terhadap O (m)

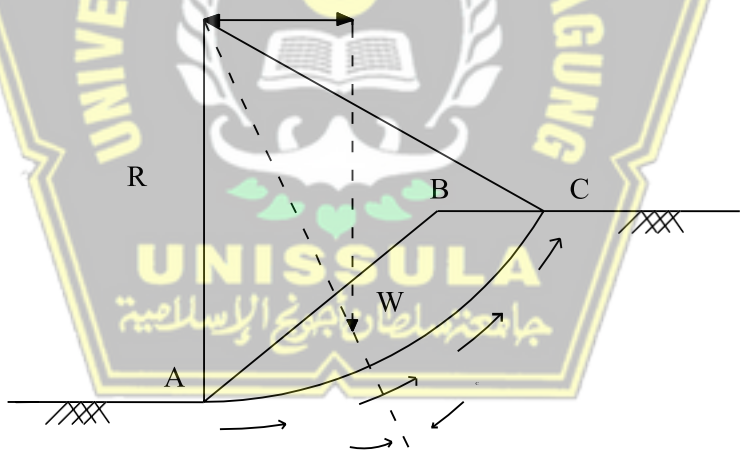
Jika:

Fk < 1 , lereng tidak stabil

Fk = 1 , lereng dalam keadaan kritis artinya dengan sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil.

Fk > 1 , lereng tidak stabil

Untuk memperoleh nilai angka keamanan (Fk) suatu lereng, maka perlu dilakukan 'trial and errors' terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai Fk minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Analisa Stabilitas Lereng

(Sumber : Das, 1995)

Ketentuan untuk faktor keamanan berdasarkan pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap ketidakpastian kondisi analisis lereng dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Nilai Faktor Kemananan Untuk Lereng Tanah

Biaya dan Konsekuensi Kegagalan Lereng	Tingkat Ketidakpastian Kondisi Analisis	
	Rendah[a]	Tinggi[b]
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih
a Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap, dan logis terhadap kondisi di lapangan. b Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi jika kondisi geologis sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

(Sumber: SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

Ketentuan untuk lereng batuan berdasarkan konsisi permanen maupun sementara dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Batuan

Kondisi Lereng Batuan	Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan
Kondisi permanen	1,5
Kondisi sementara	1,3

(Sumber: SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

2.3.4. Analisis Stabilitas Lereng

Dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (limit plastic equilibrium). Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, terdapat 2 prosedur yang bisa digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Prosedur massa (*mass procedure*)

   Prosedur ini digunakan untuk lereng yang tanahnya homogen. Pada prosedur massa, analisis menggunakan metode perhitungan stabilitas lereng dengan kondisi Ø = 0.

2. Metode irisan (*method of slices*)

   Pada metode irisan, bidang gelincir terbagi menjadi beberapa irisan vertikal dan akan dianalisis stabilitas dari masing-masing irisan. Dengan menggunakan metode ini, perhitungan stabilitas teliti karena tanahnya tidak homogen dan perbedaan tekanan pori dapat dimasukkan ke dalam perhitungan. Berikut metode yang bisa digunakan, yaitu metode Fellenius dan metode Bishop. Faktor keamanan dihitung berdasarkan keseimbangan momen. Diasumsikan kelongsoran terjadi melalui rotasi dari suatu irisan tanah pada permukaan bidang longsor. Metode ini efektif jika kondisi lereng adalah isotropis, non-isotropis, dan berlapis-lapis. Pada metode ini, terdapat beberapa massa tanah yang bergerak menjadi irisan vertikal. Antar irisan belum tentu sama lebarnya sehingga bisa membentuk dasar lengkung busur yang dianggap garis lurus. Pada metode Bishop, semua gaya yang bekerja pada setiap sisi dari masing-masing irisan diperhitungkan. (Simorangkir & Suhendra, 2020)

Dalam menganalisis stabilitas lereng digunakan beberapa anggapan yaitu:

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.
3. Tahanan geser tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata – rata sepanjang bidang longsor potensial dan kuat geser tanah sepanjang permukaan longsoran. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik – titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1.
5. Hukum Coulomb berlaku untuk kondisi runtuh $\tau_r' = C_r' + \sigma_r' \tan \varphi_r'$
6. Bentuk tegangan adalah lurus

7. Semua gaya yang bekerja telah diketahui
8. Berlaku hukum tegangan total dan tegangan efektif $\sigma' = \sigma + u$

2.4. Tanah Longsor

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau ke luar lereng.

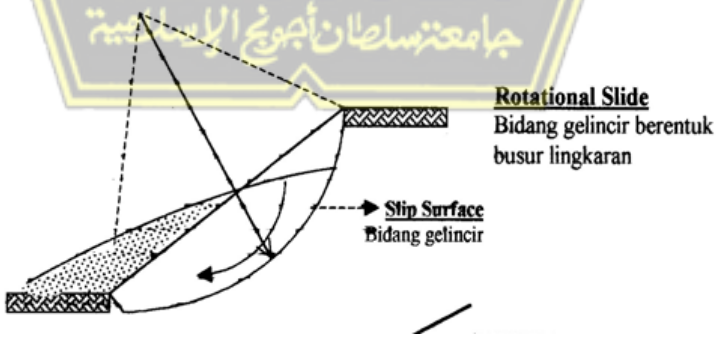
Tanah longsor maupun erosi dapat terjadi di lereng curam yang disebabkan oleh penyusupan air hujan pada sudut lebih besar daripada sudur geser tanah efektif (Simorangkir & Suhendra, 2020).

Gerakan tanah ini terjadi akibat regangan geser dan perpindahan dari sepanjang bidang longsoran dimana massa berpindah dari tempat semula dan berpisah dari massa yang mantap, material yanga bergerak kadang terlihat sangat cepat dan tiba-tiba atau dapat juga bergerak lambat.

2.4.1. Jenis Longsor

Jenis gerakan tanah ini dapat dibedakan menjadi:

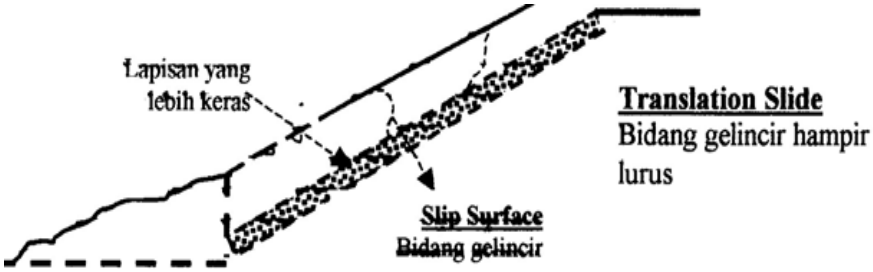
1. *Rotational slide*; jika bidang longsoran mempunyai bentuk seperti busur derajat, *log spiral*, dan bentuk lengkung yang tidak teratur. Pada umumnya kelongsoran ini berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen seperti terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Rotational slide*

2. *Translation slide*; jika bidang longsor cenderung datar atau sedikit bergelombang. Kelongsoran ini terjadi bila bentuk permukaan runtuh

dipengaruhi adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan seperti terlihat pada Gambar 2.3 dibawah ini

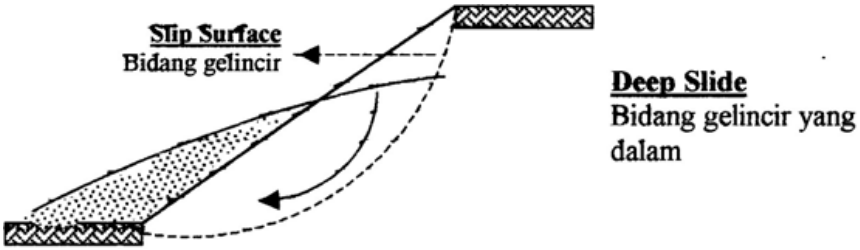


Gambar 2.3 *Translation slide*

3. *Surface slide*; terjadi jika bidang gelincirnya terletak dekat dengan permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.

Gambar 2.4 *Surface slide*

4. *Deep slide*; terjadi jika bidang gelincirnya terletak jauh dibawah permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 *Deep slide*

2.4.2. Faktor – faktor Penyebab Kelongsoran Lereng

Longsoran dapat terjadi pada lokasi dengan keadaan geologi, morpologi, hidrologi dan iklim yang kurang menguntungkan. Longsoran secara alami terjadi antara lain karena menurunnya kemantapan suatu lereng akibat degradasi tanah/batuan bersamaan waktu dan usia lapisan tanah/batuan penyusun lereng. Secara teknis dapat dijelaskan bahwa longsoran terjadi karena perubahan keseimbangan antara gaya yang diakibatkan oleh adanya momen pendorong tidak mampu diimbangi oleh gaya yang dibentuk oleh momen penahannya.

Hal lain yang juga sebagai pemicu terjadinya longsoran di area lereng adalah adanya curah hujan yang tinggi dan pengaruh perubahan cuaca akibat pemanasan global (Salam Munir et al., 2021).

2.5. Erosi

Terdapat beberapa faktor erosi, faktor utama yang berpotensi menyebabkan terjadinya erosi diantaranya adalah tanaman penutup, topografi, dan iklim. Tanaman penutup merupakan faktor terbesar dalam menjaga keseimbangan alam. Tanaman dapat berfungsi sebagai penahan air hujan menuju permukaan tanah sehingga aliran air permukaan yang timbul menjadi lebih lambat dan selanjutnya proses erosi lapis permukaan tanah menjadi berkurang pula. Di samping itu, akar tumbuhan yang menjalar dalam tanah dapat berfungsi sebagai tempat mencengkram tanah (Marga, 2019).

Kekuatan dispersi dan kemampuan pengangkutan tanah oleh air ditentukan oleh (1) kekuatan dispersi dari pukulan butir-butir hujan, jumlah dan kecepatan aliran permukaan, dan (2) ketahanan tanah terhadap dispersi jumlah dan kecepatan aliran permukaan tergantung pada (i) sifat-sifat hujan, (ii) lereng dan luas areal, serta (iii) kemampuan tanah menyerap air kedalam profil tanah. Secara umum faktor-faktor yang menetukan erosi dapat diringkas dalam rumus diskriptif sebagai berikut:

E = f (C, T, V, S, H)

Dimana C adalah faktor iklim, T= faktor topografi, V = faktor vegetasi, S = faktor tanah , dan H = faktor manusia. (*PENANGANAN EROSI LERENG GALIAN DAN TIMBUNAN JALAN DENGAN RUMPUT VETIVER*, n.d.)

2.6. Soil Nailing

Salah satu metode perkuatan lereng adalah penggunaan *soil nailing*. *Soil nailing* merupakan perkuatan lereng dengan menancapkan potongan-potongan baja (*nails*) yang kemudian di grout dan dipasang dengan jarak dekat ke dalam lereng untuk memindahkan beban ke tanah sekitar *soil nailing*.

Fungsi dari *soil nailing* adalah untuk memperkuat atau menstabilisasi lereng curam yang ada dan galian dimana proses konstruksi berjalan dari atas ke bawah. *Soil nailing* memperoleh aksi perkuatan melalui interaksi dengan deformasi tanah, yang menghasilkan pertambahan kuat tarik pada *soil nailing*. *Soil nailing* dapat meningkatkan gaya normal dan gaya perlawanan geser tanah selama terjadi potensial bidang geser tanah dan juga mengurangi daya dorong yang terjadi antara gesekan pada tanah kohesif bidang gelincir (*BAB II PENJELASAN UMUM SOIL NAILING*, 2019).

Pada *soil nailing*, perkuatan dipasang secara horizontal atau miring sejajar dengan arah dari regangan tarik sehingga menimbulkan kuat tarik maksimum. *Soil nailing* adalah perlakuan pasif, sehingga meningkatkan tahanan geser pada tanah. Sistem *soil nailing* dapat dibagi menjadi daerah aktif dan daerah pasif. Pada saat kegagalan lereng, daerah aktif cenderung terdeformasi yang merupakan hasil dari pergerakan aksial sepanjang *soil nailing*, yang mana diletakkan menyilang dengan bidang gelincir. Hal ini menimbulkan gaya tarik pada *soil nailing* yang berada pada daerah pasif yang menahan deformasi pada daerah aktif. Tegangan ini menimbulkan perubahan bertahap gaya normal pada bidang gelincir, dan mengurangi gaya geser. *Soil nailing* ditanam pada daerah pasif yang mana harus berada pada zona penahan (*resistive zone*).

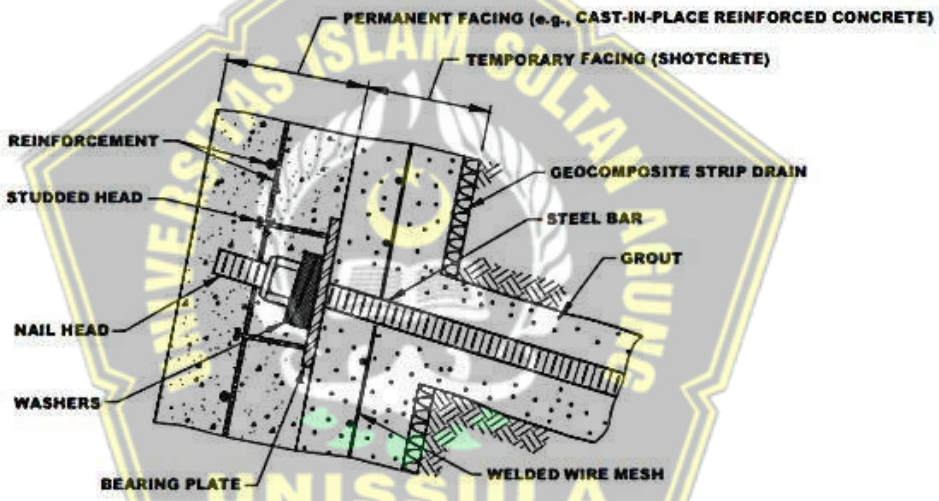
2.6.1. Komponen Soil Nailing

Elemen struktur adalah bagian struktur yang langsung berhubungan dengan beban yang ditahan, dimana struktur beruoa inklusi. Sedangkan bagian elemen non-struktur atau bagian pelengkap yaitu berupa *facing* , drainase dan pengunci.

Inklusi yang umum digunakan yaitu beruoa baja tulangan atau jenis baja lainnya yang dapat menahan gaya tarik, geser dan momen lentur. Inklusi tersebut ditempatkan dalam lubang-lubang bor dan diisi adukan beton cair (*grouting*)

sepanjang total panjang lubang, atau dipancang kedalam tanah. Pemancangan inklusi tersebut diberi jarak yang sama rata antar spasi horizontan dan spasi vertikalnya. *Facing* sebagai elemen non-struktur memiliki fungsi menjamin kestabilan lokal tanah antar lapis perkuatan dan menceah erosi permukaan tanah dan pengaruh cuaca. Inklusi dan *facing* harus segera dikerjakan setelah penggalian tiap lapis telah selesai hal ini bertujuan agar mengatasi dekompresi tanah juga mencegah perubahan karaktersitik mekanik tanah tersebut (*BABII ELEMEN-ELEMEN "SOIL NAILING" SEBAGAI STRUKTUR PERKUATAN DINDING GALIAN 2.1 Tinjauan Umum*, 2019).

Soil nailing seringnya digunakan untuk *temporary retainingwall* bertujuan untuk keawetan inklusi baja dalam tanah dan facing.



Gambar 2.6 Komponen *Soil Nailing*

(Sumber: Geoengineer.org/news/new)

Bagian-bagian pada *soil nailig* yaitu sebagai berikut:

1. Batang perkuatan baja (*nail bars*)

   Batang baja bisa batang padat atau batang kopong. Batang baja yang digunakan sebaiknya mempunyai kekuatan min 420 MPa atau 520 MPa.

2. *Centralizers*

   Centralizer adalah sebuah alat yang terbuat dari PVC yang akan dipasang pada berbagai tempat sepanjang masing-masing batang baja untuk memastikan

ketebalan minimal dari *grout* (beton) menyelimuti batang seluruhnya sesuai dengan rencana dengan jarak ≤ 2,5 m dan 0,5 m.

3. *Grout*

   Grout berupa beton atau campuran mortar disemprotkan dengan kecepatan tinggi, tegak lurus dengan permukaan tanah. Grout disuntikkan pada lubang setelah soil nail dimasukkan. Untuk grout, berdasarkan ASTM C 150, tipe semen yang dgunakan adalah tipe I, II, III, dan V. Rasio air semen yang digunakan sekitar 0,4 – 0,5. Kuat tekan *grout* harus mencapai 21 MPa dalam 28 hari.

4. *Nail head*

   Nail head merupakan bagian ujung dari soil nail, terdiri dari *bearing plate, hex nut, washers*, dan *headed stut*. Bearing plate berfungsi untuk mendistribusikan gaya pada ujung batang baja ke *shotcrete*. *Bearing plate* yang digunakan adalah baja dengan Fy 250 Mpa berbentuk persegi ukuran 200-250 mm dengan tebal 19 mm. *Washers* dan *hex nut* dipasang untuk mengikat *nail bars* yang keluar.

5. Proteksi Korosi

   Proteksi korosi berupa *corrugated sheath* dari material sintetik dengan tebal minimal 1 mm.

6. *Temporary and permanent facing*

   Soil nail terhubung dengan permukaan galian atau lereng oleh *facing elements*. *Temporary facing* digunakan pada galian yang belum berpenahan sementara penggalian berlannjut. *Permanent facing* diletakkan di atas *temporary facing* setelah *soil nail* terpasang.

7. Sistem drainase

   Sistem drainse berfungsi untuk mencegah peningkatan tekanan air di belakang dinding galian. Saluran drainse dibuat dari geokomposit dan dipasang di antara tampilan dinding sementara. Geokomposit vertical dengan saluran air merupakan media system drainase. Ini dipasang sebelum dacing element untuk menyalurkan air rembesan keluar.

2.6.2. Syarat Komponen Dinding Soil Nailing

Berikut syarat penting dalam membentuk dinding *soil nailing* menurut SNI Persyaratan Perencanaan Geoteknik (2017:217). (Simorangkir & Suhendra, 2020)

1. Kemiringan dinding

   Kemiringan dinding mampu mengurangi kebutuhan panjang *nail bar*. Kemirngan 10% dari vertikal bisa mengurangi kebutuhan panjang *nail bar* 10% - 15% dibanding dinding tegak. Pada umumnya, kemiringan dinding *soil nailing* sekitar 80° - 90° terhadap bidang horizontal.
2. Kemiringan *nail*

   Syarat kemiringannya adalah 10° - 20° di bawah bidang horizontal.
3. Panjang *nail bar*

   Syarat panjangnya adalah 0,6H – 1,2 H, di mana H adalah kedalaman dari galian.
4. Jarak antar *nail*

   Syarat jarak untuk metode pemasangan untuk metode *drilled and grouting soil nailing* adalah 1,5 m. Syarat jarak untuk metode *driven soil dan nailing* adalah 1 m – 1,2 m. Pada baris pertama, nail bar harus dipasang ≤ 1,1 m di bawah puncak dinding agar terhindar dari longsor pada awal tahap galian.
5. Diameter lubang bor

   Syarat diamternya adalah sekitar 100 mm – 200 mm.

2.6.3. Prosedur Pemasangan Konstruksi Soil Nailing

1. Galian, sebelum melakukan galian, control air permukaan harus dilakukan untuk mencegah aliran yang tidak terkontrol, yang mana ini bisa mengakibatkan tidak stabilnya lokasi konstruksi. Setiap tahapan galian, didiamkan tanpa penahan selama 24 sampai 48 jam, baru bisa dilakukan penggalian lagi.
2. Pengeboran lubang soil nail, lubang untuk instalasi soil nail dapat dibor terlebih dahulu, atupun soil nail itu sendiri langsun didorong pada permukaan. Untuk proses pengeboran, peralatan yang bisa digunakan adalah: Drill bit machine, Rope core drill, Air leg rock drill, Horizontal drill machine.
3. Pemasangan temporary shotcrete facing, terdiri dari 3-4 inci campuran mortar, diperkuat dengan satu lapis jarring-jaring kawat. Biasa digunakan campuran kering ataupun basah.
4. Tahap sebelumnya dilakukan terus menerus secara bertahap sampai kedalaman yang ingin dicapai

5. Setelah prosedur telah selesai hingga kedalaman yang ingin dicapai, maka dilakukan pemasangan *permanent facing* (Prabowo & Jatmika, n.d.).

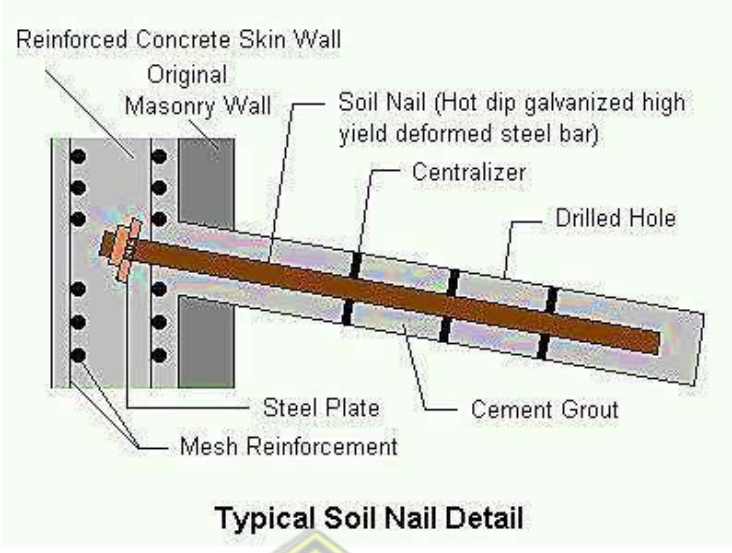
2.6.4. Macam-macam Soil Nailing

1. ***Grouted nail***, setelah memasukkan *soil nail* kedalam lubang pada lereng, maka disuntikkan campuran semen.

   Inklusi jenis ini pada umumnya menggunakkan baja tulangan dengan kuat leleh rata-rata 1050 Mpa. Diklasifikasikan sebagai *grouted nail* karena inklusi ini dimasukkan ke dalam tanah yang sudah dibor terlebih dahulu (diameter lubang 10- 15 cm) kemudian lubang bor tersebur diisi dengan adukan beton cair (*grouting*). Penempatan antar inklusi yaitu tergolong sedang (1-3 meter) dibuat seragam pada arah horizontal maupun vertikal.

   Berikut bebrapa metode dalam melakukan pengeboran lubang, diantaranya :

   - *Rotary wash boring*, pengeboran lubang dilakukan dengan cara menekan tanah secara berputar diikuti tekanan air untuk masuknya alat bor kedalam tanah sekaligus untuk memadatkan tanah disekeliling lubang. Akan efektif pada tanah granular seperti *medium dense sand* karena karakteristik butiran tanah ang berongga menjadi mungkin dipadatkan dengan alat ini.
   - *Rotary percussive boring*, dengan cara hampir sama pada metode *rotary wash boring* tetapi cara ini menggunakan tekanan udara sebagai pendorongnya. Cara ini sangat tidak cocok pada kawasan padat penghuni, dikarenakan kebisingan suara mesin sangat mengganggu.
   - *Dry auger boring* yaitu cara pengeboran yang cocok pada daerah yang memiliki tanah lempung dan berbatu *soft rock*. Karena denggan dengan pengeboran ini tanah akan tetap kering, sehingga ketika akan diisi adukan beton cair maka lubang bor akan tetap bersih dan dapat mempertahankan kualitas adukan beton cair.



Gambar 2.7 *Grouted Nails*

(Sumber : google.com/grouted nails)

Komponen *grouted nails* yang lain yaitu material adukan beton cair yang terdiri atas campuran air dan semen dengan perbandingan berat 1:2. Tujuan pengisian adukan beton cair yaitu guna menurunkan permeabilitas dan kompresibilitas tanah serta kuat geser tanah (Robert, 1984).

Untuk mempercepat pengerasan campuran tersebut dapat dilakukan penambahan zat additive tertentu seperti Conbex 100, Interplast Z dan lain-lain. Pengisisan adukan beton cair ke dalam lubang bor dilakukan dengan tekanan rendah (> 150 psi) yang disalurkan dari tempat pencampuran bahan menuju ke lubang bor melalui pipa tremie.

Lekatkan antara *nail* dan tanah akan bertambah kuat dengan adanya adukan beton cair yang menyelubungi baja. Hal ini disebabkan luas permukaan gesek tanah dengan *nail* bertambah diakibatkan pembesaran diamter oleh adukan beton cair. Sedangkan pada tulangan baja terdapat kekuata lekat yang dihasilkan oleh adhesi kimiawi dan gesekan mekanis antara adukan beton cair dan tulangan baja. Karenanya penggunaan baja tulangan ulir lebih efektif dibanding baja tulangan polos. Hal ini dikarenakan ulir pada permukaan tulangan akan meekan beton cair disekitarnya dan memberikan kekuatan lekat yang besar. Berdasarkan percobaan yang dilakukan di Universitas Texas dan Biro Standarisasi Ameriks, Winter G. & Nilson Arthur (1993) besarnya gaya lekat batas dapat dicari dengan rumus:

$Un = 35\ (f'c)^{1/2}$

Dimana : f'c merupakan kuat tekan beton karakteristik.

Supaya tidak terjadi kegagalan lekat antara tulangan baja dan beton maka gaa tarik yang terjadi sehubungan dengan kekuatan baja tidak boleh melebihi gaya lekat batas, yaitu :

$U = (As\ .\ Fy) / L$

$Un > U$

Dimana : fy merupakan tegangan luluh baja, As yaitu luas baja tulangan dan L yaotu panjang baja tulangan.

Untuk memeriksa apakah kuat tekan adukan beton cair tersebut mencapai kuat tekan rencana maka perlu diadakan pengujian dengan mengambil sampel benda uji kubus untuk adukan beton cair setiap 20 buah *nail*.

2. ***Driven nail***, *Soil nail* langsung dipasang ke dinding lereng tanpa dilakukan pengeboran terlebih dahulu.

   Inklusi jenis ini tanpa tanah dibor lebih dulu langsung dipancangkan kedalam tanah. Alat yang digunakan yaitu *vibropercussion pneumatic* dan *hydraulic hammer*. Pemancangan dengan *vibropercussion pneumatic* memanfaatkan detaran yang dihasilkan mesin memudahkan *nail* terpancang ke dalam tanah akibat bergetarnya struktur tanah. Alat ini memiliki kelebihan yaitu tidak menimbulkan polusi suara maupun getaran, karena getaran yang dihasilkan sangat lembut sehingga tidak mengganggu bangunan disekitarnya. Dibandingkan dengan *hydraulic hammer* pada dasarnya *nail* dipukul ke dalam tanah dengan hammer yang bergerak dengan tenaga hidrolik.

   Inklusi yang digunakan biasanya baja mutu sedang dengan kuat leleh 350 Mpa dipasang dengan jarak rapat (2-4 *nail* per-m^2) dan dapat berupa :

   - Pipa baja ataupun baja tulangan ulir diameter (15- 46 mm)
   - Baja profil siku ukuran 5x50x50 dan 6x60x60 mm

   Inklusi seperti ini cocok digunakan pada kondisi tanah granular sebab dengan metode *driven nails* berarti tanah ini menjadi lebih padat sehingga dapat mengikat sepanjang inklusi dan cukup meningkatkan kuat geser tanah pada areal yang diperkuat. Keuntungan menggunakan *driven nails* yaitu teknik

pemasangan yang cepat dan ekonomis mencapai 4-6 *nail* per-jam. Sedsngksn kekurangannya yaitu panjang inklusi terbatas pada panjang baja yang tersedia dipasaran yang umumnya 12 meter dan ketukan yang dilakukan terhadap inklusi dapat menghilangkan lapisan proteksi dan mengurangi batas waktu korosi.

Driven nail memiliki sifat yang mirip dengan tiang pancang, yaitu pertahanan sepanjang inklusi baja dilakukan oleh gesekan atau lekatan tanah dengan baja. Untuk tanah dengan nilai sudut gesek dalam tinggi (seperti jenis tanah pasir) maka beban akan ditanah oleh gesekkan antar *nail* dengan tanah disekelilingnya (sifat *friction pile*). Apabila kondisi tanah yang nilai kohesinya tinggi, beban akan ditahan oleh pelekatan antara tanah dengan *nail* (sifat *adhesive pile*). Dengan sifat-sifat tersebut, maka penggunaan baja tulangan ulir akan lebih efektif dibanding baja dengan tulangan polos dikarenakan pertahanan gesekan atau lekatan akan lebih luas pada baja dengan tulangan ulir, selain itu daerah antar tulangan ulir akan memberikan tahanan pasif cukup tinggi.

Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu adanya bahaya tekuk (*buckling*) pada pemancangan *nail* khususnya pada penampang baja yang kecil, jika jarak antara alat pemancangan dengan muka dinding galian terlalu jauh. Apabila dibiarkan dan pada suatu batas tertentu maka baja dapat patah akibat tekuk yang terjadi.

3. ***Self-Drilling Soil Nail***, Batang yang kosong ditengahnya dimasukkan, lalu dilakukan grouting pada lubang baja tersebut

4. ***Soil nailing*** sangat menarik pada pekerjaan pemotongan lereng untuk jalan karena galian yang terbatas. Faktor ini mengurangi dampak lingkungan. Dampak pada lalu lintas juga cenderung kecil karena area kerja yang tidak terlalu besar (Budania, 2016).

2.6.5. Kelebihan Soil Nailing

1. Penggunaan metode *soil nailing* lebih hemat, ini dikarenakan penggunaan material dan volume baja yang lebih sedikit apabila dibandingkan dengan metode lain seperti *grand anchors.* Pengerjaan *soil nailing* yang lebih cepat

menjadi faktor yang dapat lebih menghemat biaya dalam pekerjaan perkuatan lereng.

2. Dinding *soil nailing* lebih fleksibel terhadap penurunan karena memiliki bentuk kontruksi yang lebih tipis apabila dibandingkan dengan dinding gravitasi
3. Tahan gempa
4. Penggunaan peralatan yang relatif kecil
5. Pekerjaan kontruksi *soil nailing* tidak mengganggu lingkungan dikarenakan bebas dari getaran dan memiliki tingkat suara pekerjaan yang kecil
6. Luas area yang diperlukan dalam pekerjaan tidak terlalu besar, sehingga dapat digunakan pada pekerjaan yang memilki area pekerjaan yang kecil.
7. Dapat digunakan sebagai kontruksi sementara maupun permanen.

2.7. Geobrugg

Geobrugg merupakan perusahaan asal Swiss yang mengadakan material untuk perkuatan lereng. Material Jaring Kawat Mutu Tinggi yang diproduksi oleh Geobrugg memiliki kuat tarik kawat $\geq$ 1770 N/mm^2 dan kuat tarik jaring kawat $\geq$ 150 kN/m. (Lereng, 2021)

Geobrugg sebagai perkuatan dan proteksi lereng terdapat beberapa sistem, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Tecco System*; Keamanan, efektivitas biaya, dan keberlanjutan. TECCO mesh, dengan kawat 2 mm, 3 mm, atau 4 mm yang terbuat dari baja tarik tinggi, dapat digunakan untuk menstabilkan hampir semua jenis kemiringan, baik yang terdiri dari batuan atau tanah gembur. Digabungkan dengan salah satu dari tiga pelat paku berukuran berbeda.
2. *Tecmat*; dengan struktur lingkaran tidak beraturannya, terbuat dari polipropilena ramah lingkungan, secara khusus disesuaikan untuk penggunaan dengan Sistem TECCO. Tikar pengontrol erosi tiga dimensi yang fleksibel dipasang bersama dengan jaring TECCO dan berfungsi sebagai lapisan bawah. Jaring TECCO diletakkan di atas TECMAT dan ditambatkan ke lereng dengan paku tanah atau batu. Dengan cara ini anyaman ditekan ke profil lereng. Struktur tiga dimensi terbuka yang tidak beraturan sangat fleksibel dan oleh karena itu pas dengan lereng. TECMAT bekerja dengan baik dengan aplikasi penyemaian yang

disemprotkan. Lereng yang distabilkan dengan Sistem TECCO dan dilindungi dengan TECMAT cocok secara harmonis dengan lanskap setelah pemulihan vegetasi dan dengan demikian memperbaiki lingkungan.

3. *Deltax*; *wire mesh* baja tarik tinggi adalah solusi hemat biaya untuk melindungi orang dan infrastruktur dari kejatuhan batu dan ketidakstabilan lereng. Ini juga memiliki berbagai aplikasi lain, termasuk digunakan dalam perlindungan situs dan bangunan bersejarah, pemasangan pagar dan anti-tikus.
4. *Greenax*; menggabungkan tikar pengontrol erosi polipropilen tiga dimensi ke dalam wire mesh baja tarik tinggi. Komposit yang diperkuat dan terintegrasi cocok untuk pengendalian erosi sementara dan permanen.

2.8. Sistem Stabilisasi Lereng TECCO dan Metode Pengukuran Dimensi Ruvolum

Sistem stabilisasi lereng fleksibel yang terbuat dari jaring kawat konvensional yang dikombinasikan dengan paku atau paku banyak digunakan dalam praktiknya untuk menstabilkan lereng tanah dan batuan. Mereka adalah solusi tradisional dan memberikan alternatif untuk tindakan berdasarkan dinding liner beton yang kaku, aplikasi shotcrete atau struktur pendukung yang massif. (Gröner, 2018).

Uji coba juga menegaskan bahwa wire mesh bertegangan tinggi, dalam kombinasi dengan pelat yang sesuai, memungkinkan pretensioning substansial dari sistem. Kepura-puraan seperti itu meningkatkan efisiensi sistem proteksi. Ini membatasi deformasi di bagian permukaan lereng kritis yang mungkin menyebabkan slide dan gerakan sebagai akibat dari dilatasi.

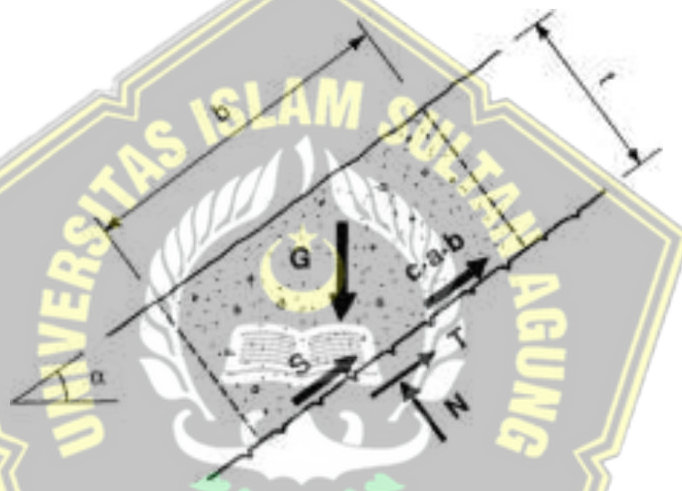
Keduanya, wire mesh baja tarik tinggi baru dan metode dimensi baru untuk sistem stabilisasi lereng yang fleksibel memungkinkan konsep yang sederhana dan aman termasuk proses pemasangan yang hemat biaya. Ini memberikan solusi baru yang menarik untuk masalah geoteknik tradisional yang, sementara itu, dijalankan dan diterapkan secara global di semua benua.

Di satu sisi, pemasangan alat pelindung harus memastikan bahwa lapisan tanah atau juga lapisan batuan yang lapuk dan tidak terkonsolidasi dengan ketebalan *t* dapat dipertahankan dengan keamanan tertentu terhadap kelongsoran sejajar dengan lereng pada lapisan yang stabil stabil.

2.8.1. Sliding Off Paralel To The Slope

Lapisan penutup yang dapat meluncur dari lapisan tanah yang kokoh harus ditahan dengan pemakuan. Setiap paku harus mampu menahan benda dengan lebar a, panjang b, dan tebal t dengan keamanan tertentu dengan memperhitungkan kondisi keruntuhan Mohr – Coulomb, gaya geser *S* dengan efek stabilisasi menghasilkan sejauh yang bersangkutan meluncur sejajar dengan lereng (Method, 2020).

Karena kepala paku dipasang satu sama lain, bukti ketahanan geser bagian dalam yang dapat diterima dari paku $S_{zul\ (adm)}$ yang dirawat daripada tahanan geser paku S per individu yang diperlukan untuk keamanan tertentu, umumnya cukup.



Gambar 2.8 Semua Gaya Aktif Pada Benda dengan Lebar a, Panjang b, dan Tebal T untuk menentukan Gaya Geser S yang diperlukan Untuk Tingkat Keamanan Tertentu

(Sumber: Method, 2020)

Keterangan :

G : Bobot mati benda kubik

γ : Satuan berat tanah

S : Menahan gaya geser yang dibutuhkan untuk diserap oleh paku

t : Ketebalan lapisan permukaan yang akan distabilkan

c . a . b : Kohesi lapisan penutup x permukaan dasar benda yang dapat pecah

T, N : Kekuatan reaksi dari lapisan tanah

α : Kemiringan lereng depan

Berikut menjelaskan perhitungan gaya geser yang sesuai S. Persamaan semua gaya aktif pada benda dengan lebar a, panjang b, dan tebal t untuk menentukan gaya geser S yang diperlukan untuk tingkat keamanan tertentu, F menjadi faktor keamanan:

$$S[kN] = \frac{a\,.\,b\,.\,t\,.\,\gamma\,.\,(F\sin\alpha - \cos\alpha\ .\tan\varphi)}{F} - \frac{c\,.\,a\,.\,b}{F}$$

2.8.2. Local Wedge-shaped bodies liable to break out

Sebagai hasil dari penyelidikan "meluncur sejajar dengan lereng", paku sekarang diukur sehingga lapisan penutup secara keseluruhan dapat dipertahankan dengan keamanan tertentu. Investigasi lebih lanjut diperlukan di area antara kuku individu.

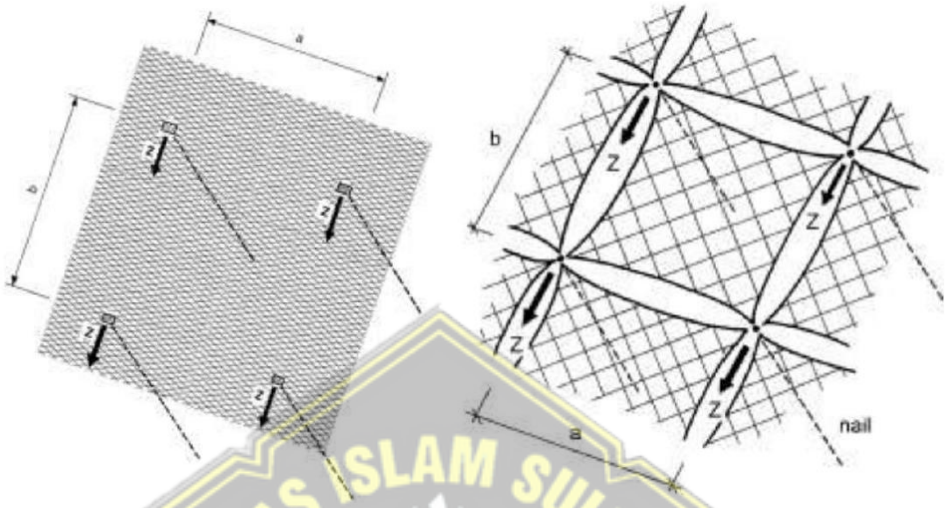
Bergantung pada geometri lereng, ada kemungkinan benda pecah berbentuk baji lepas kecuali jika ditutupi oleh jaring atau jaring tali kawat. Badan seperti itu harus dipertahankan dan diamankan dengan menggunakan jala atau jaring tali kawat sebagai tindakan perlindungan permukaan.

Tubuh yang cenderung pecah ingin bergerak ke bawah dengan kemiringan. Jaring dipegang di bagian atas dengan paku dan jika sesuai dengan tali pembatas, dengan demikian mengalami ketegangan. Ini diterapkan di satu sisi melalui gesekan dan di sisi lain atas gerakan luar tubuh yang bersangkutan.

Gambar 2.9 Sistem stabilisasi permukaan dalam kombinasi dengan paku tanah, badan berbentuk baji lokal

(Sumber: Method, 2020)

Secara teoretis gaya yang ditransmisikan melalui jaring atau jaring di garis lereng ke paku, dengan asumsi bahwa seluruh gaya yang diberikan oleh jaring atau jaring ke tanah atau baji batu ditransmisikan ke paku.



Gambar 2.10 Jaring kawat dengan gaya total Z aktif pada paku
(Sumber: Method, 2020)

Kondisi kesetimbangan dirumuskan berdasarkan benda berbentuk baji pada Gambar 2.9 untuk menentukan gaya netto Z. Kondisi keruntuhan Mohr – Coulomb kembali diperhitungkan.

Persamaan berikut menghasilkan gaya total Z per titik dengan menyelesaikan sistem persamaan dan setelah konversi aljabar yang sesuai.

Dengan ini sudut divariasikan sedemikian rupa sehingga Z adalah maksimum, dimana $\rho \leq arc\ tan\ (t/b)$ adalah kasusnya.

$$Z\ [kN] = \frac{a\ .b\ .b\ .tan\ \rho\ .\gamma\ .(F\ .sin(\alpha-\rho)-cos(\alpha-\rho).tan\ \varphi)}{2\ .(F\ .cos\ \rho-sin\ \rho\ .tan\ \varphi)} - \frac{c\ .a\ .b}{cos\ \rho\ .(F\ .cos\ \rho-sin\ \rho\ .tan\ \varphi)}$$

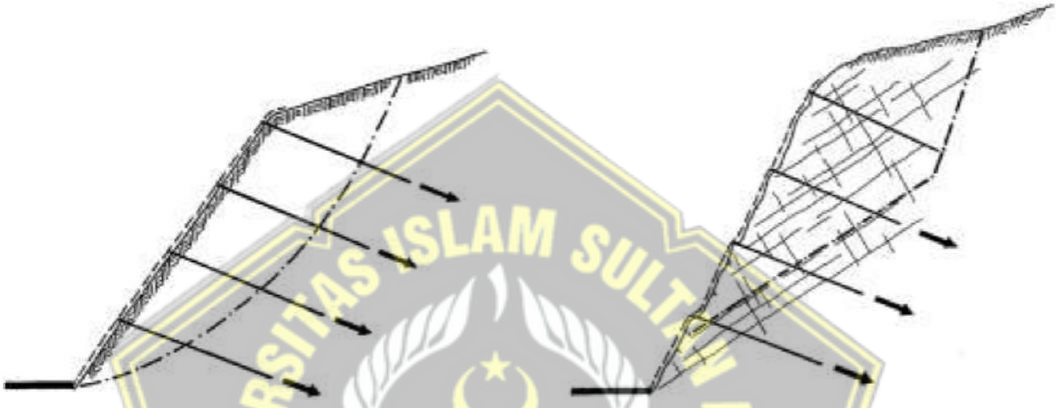
Mempertimbangkan tingkat keamanan tertentu F, masing-masing jaring kawat ditambah tali penguat yang mungkin dipasang atau jaring tali kawat, harus dapat meneruskan gaya Z ke paku.

Jika ini tidak memungkinkan dengan jarak antar paku yang dipilih karena sistem, jarak antar paku harus disesuaikan.

2.8.3. Proof of The Terrain's Resistance Against Sliding (Deep Sliding Surfaces)

Investigasi ini menyangkut bukti keamanan terhadap keruntuhan medan, di mana paku dimasukkan dalam perhitungan stabilitas dengan permukaan geser yang disesuaikan secara topografi dan geologis, biasanya sebagai elemen tegangan dengan efek stabilisasi dan dalam kasus yang lebih jarang sebagai elemen geser.

Bukti-bukti ini harus ditetapkan secara terpisah dan tidak terkait langsung dengan bukti-bukti untuk perlindungan permukaan, kecuali bahwa pola paku harus sesuai sejauh mungkin dengan sistem yang terkait, jarak paku biasa.



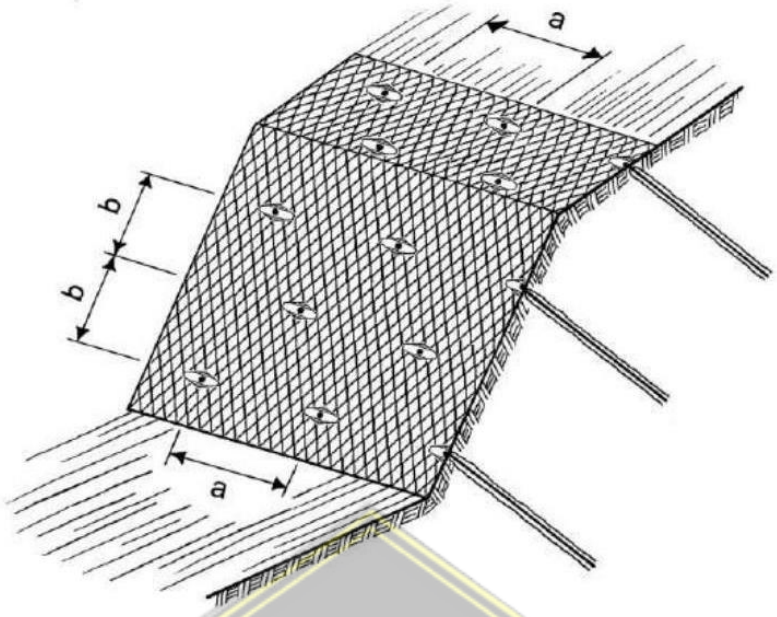
(a) (b)

Gambar 2.11 (a) Permukaan Geser Melengkung
(b) Permukaan Geser Bergaris Lurus
(Sumber: Method, 2020)

2.9. High-tensile Steel Wire Mesh

Jaring kawat baja tarik tinggi dikembangkan pada akhir abad terakhir untuk pertama kalinya dan tersedia secara komersial sejak tahap awal milenium baru. Saat ini, kawat baja tarik tinggi ini banyak digunakan untuk aplikasi yang berbeda seperti sistem perlindungan bahaya alam, arsitektur, intrusi, perlindungan dari ledakan, pagar keamanan.

Jika jaring kawat tarik tinggi digunakan sebagai sistem stabilisasi permukaan, kemiringan tanah atau batuan yang akan dilindungi dipotong sesuai dan diratakan mungkin dengan profil dan kemudian ditutup dengan *wire mesh* baja tarik tinggi yang diamankan ke paku tanah atau batu. Biasanya, tali pembatas dijalin ke tepi atas, samping dan bawah, dan dipasang pada jangkar tali di sudut-sudutnya. (Geobrugg, 2021)

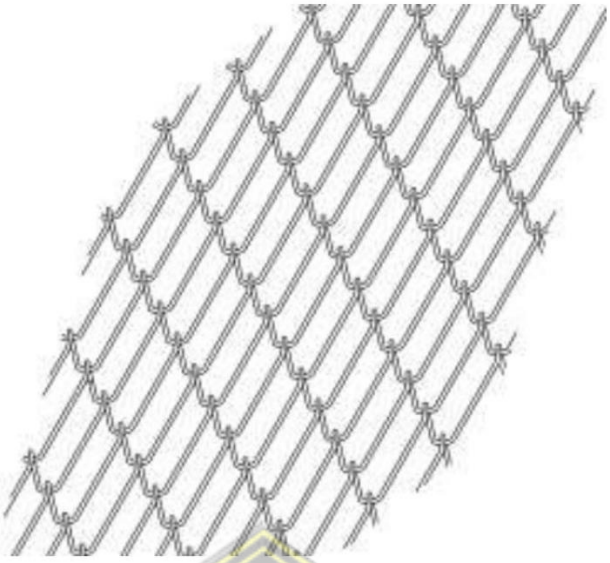


Gambar 2.12 Profil Umum dan Susunan Paku
(Sumber: Method, 2020)

Keterangan:
Jarak antar paku a = jarak mendatar dari kepala paku ke kepala paku
Jarak antar paku b = jarak antar barisan paku diukur pada garis kemiringan

TECCO *system* merupakan *mesh* yang paling umum digunakan untuk solusi rekayasa geoteknik dan geologi. Ini biasanya dipasang untuk perlindungan jatuhan batu, sistem atenuasi dan *drape*, sistem pencegahan longsor serta untuk aliran puing-puing, aliran lumpur dan aplikasi perlindungan tanah longsor.

Dibandingkan dengan jaring tali kawat, penggunaan *wire mesh* dengan tegangan tinggi untuk perlindungan permukaan lereng tanah dan batu lebih ekonomis dan, berkat lebih banyak kebebasan dalam pemilihan jarak antar paku, sangat fleksibel. Perkembangan dalam teknologi material memungkinkan produk bermutu tinggi dan tahan lama yang secara ideal disesuaikan dengan area aplikasi.



Gambar 2.13 Skema Presentasi Tiga Dimensi Dari TECCO Tipe Jaring Tarik Tinggi
(Sumber: Method, 2020)

Jenis wire mesh bertegangan tinggi TECCO G65/3 memiliki kekuatan tarik sekitar 150 kN/m dalam arah memanjang. Kekuatan yang jauh lebih tinggi dapat diserap oleh jaring ini dibandingkan dengan jaring kawat yang tersedia secara tradisional di pasaran, menawarkan kekuatan tarik dalam arah memanjang sekitar 50 kN/m pada ukuran jaring yang sebanding dan diameter kawat yang serupa.

TECCO G65/3 jenis jaring baru dari kawat tarik tinggi menampilkan jaring individu berbentuk intan berukuran 83 mm x 143 mm. Diproduksi dengan memutar kawat tunggal seperti untuk jaring diagonal. Menghasilkan diameter kaliber 65 mm, yang biasanya cukup kecil sehingga tidak diperlukan mata jaring tambahan dengan ukuran mata jaring yang lebih kecil. Kawat yang digunakan untuk produksi jaring memiliki diameter 3 mm. Defleksi kawat yang lembut untuk membentuk mata jaring individu menghasilkan tiga dimensi mata jaring yang meningkatkan sambungan ke lapisan tanah dan kemungkinan menerapkan pembibitan hidro secara masif.

Berkat kawat baja karbon tinggi dari jaring, bobotnya agak kecil. Berat satu meter persegi TECCO G65/3 mm hanya 1,65 kg/m^2. Jaring dalam bentuk gulungan dengan lebar 3,9 m dan panjang 30 m. Akibatnya, satu rol berbobot 193 kg.

Tabel 2.8 Jaring Kawat Baja Tarik Tinggi Tecco

Data teknis	TECCO® G45/2	TECCO® G65/3	TECCO® G65/4
Diameter kawat:	2 mm	3 mm	4 mm
Kekuatan tarik kawat baja	1'770 N/mm2	1'770 N/mm2	1'770 N/mm2
Kekuatan tarik wire mesh baja	85 kN/m	150 kN/m	250 kN/m
Diagonal	62 x 95 mm	83 x 143 mm	83 x 138 mm
Lebar jala	48 mm	65 mm	63 mm
Jumlah mata jaring melintang	16.1 pcs./m	12 buah/m	12 buah/m
Jumlah mata jaring memanjang	10.5 pcs./m	7 buah./m	7.2 pcs./m
Berat per m2	1,15 kg/m2	1,65 kg/m2	3,3 kg/m2
Proteksi karat	GEOBRUGG SUPERCOATING®		
Senyawa perlindungan korosi	95% Zn / 5% Al		
Resistansi bantalan	Piring paku P25 / P33	Piring paku P33 / P66	Piring paku P33 / P66
Ketahanan bantalan mesh terhadap tusukan DR	80 / 110 kN	180 / 240 kN	280 / 370 kN
Ketahanan bantalan mata jaring terhadap geseran di tepi lereng atas pelat paku PR	40 / 55 kN	90/120 kN	140 / 185 kN
Ketahanan bantalan mesh terhadap tegangan tarik paralel-lereng ZR	10/10 kN	30/45 kN	50 / 75 kN

(Sumber: Geobrugg, 2017)

2.9.1. Proteksi Korosi Jaring Kawat

Proses anti korosi paduan aluminium-seng yang dikenal digunakan untuk melindungi permukaan kawat. Lapisan pelindung membentuk semacam paduan eutektik. Seng bertindak sebagai katoda menuju kawat baja. Aluminium yang dicampur memperlambat proses penguraian lapisan seng dengan faktor paling sedikit 3. Efek perlindungan katoda adalah kerusakan lokal pada lapisan pelindung tidak menyebabkan korosi pada titik tertentu.

Paduan seng atau Al/Zn maksimum yang mungkin tergantung pada diameter kawat. Ketebalan lapisan atau massa per meter persegi juga ditentukan oleh Standar Eropa EN 10244-2 [44]. Meskipun diketahui bahwa penguraian lapisan seng pada umumnya sangat bergantung pada kondisi yang berlaku secara lokal, masa hidup yang cukup dicapai dengan teknologi canggih lapisan pelindung Al/Zn juga dalam lingkungan yang sangat korosif.

Hal penting tentang perlindungan korosi dan ketebalan lapisan:

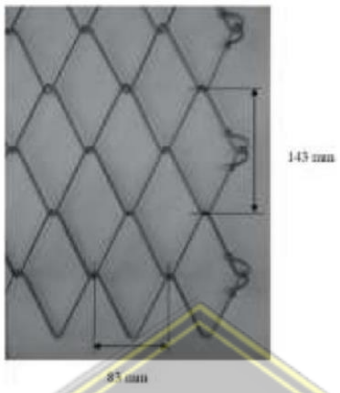
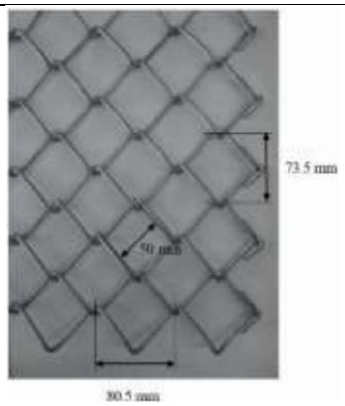
– Ketebalan sebenarnya dari lapisan pelindung korosi (misalnya lapisan seng atau lapisan aluminium seng) penting untuk masa pakai dan tingkat perlindungan korosi.
– Namun, kualitas dan terutama tingkat kemurnian dari lapisan tersebut bahkan mungkin lebih penting karena partikel polusi dan/atau kotoran dapat memiliki pengaruh negatif terhadap proses perlindungan korosi. Kotoran tersebut dapat menyebabkan percepatan proses kimia elektro dan akan mempengaruhi fungsi yang sesuai dari perlindungan korosi anoda korban dari lapisan.
– Konsekuensinya, tingkat perlindungan korosi tidak hanya dapat diukur dari ketebalan dan jenis lapisan. Kualitas dan kemurniannya seringkali bahkan lebih penting. Oleh karena itu, uji pelapukan yang dipercepat merupakan alat penting untuk mengukur dan membandingkan perlindungan korosi dari jenis kawat dan lapisan yang berbeda.

2.9.2. Perbandingan Jaring Kawat Tarik Tinggi Dengan Jaring Kawat Tradisional

Untuk menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan jaring baja tradisional, beberapa uji perbandingan dilakukan. Beberapa *wire mesh* terkuat yang tersedia secara komersial dipilih untuk memberikan perbandingan yang adil dan menunjukkan kinerja unik dan kapasitas transformasi beban dari *wire mesh* baja tarik tinggi. Pada Tabel 2.9 berikut ini menunjukkan parameter material mengenai uji perbandingan antara *wire mesh* baja tarik tinggi dan jaring rantai berat yang terbuat dari kawat baja tradisional.

Tabel 2.9 Parameter dan Geometri dari Berbagai Jenis Jala

Jenis Kawat	Jaring dengan jaring kawat tarik tinggi	Jaring dengan jaring tarik tradisional
Diameter Kawat	3.0 mm	4.6 mm
Kekuatan Tekanan	Min. 1770 N/mm^2	550 – 650 N/mm^2 (menurut pabrikan)
Jenis Jaring	TECCO G65/3 mm	Rantai 50 x 50 mm
Berat	1,65 kg/m^2	5,60 kg/m^2

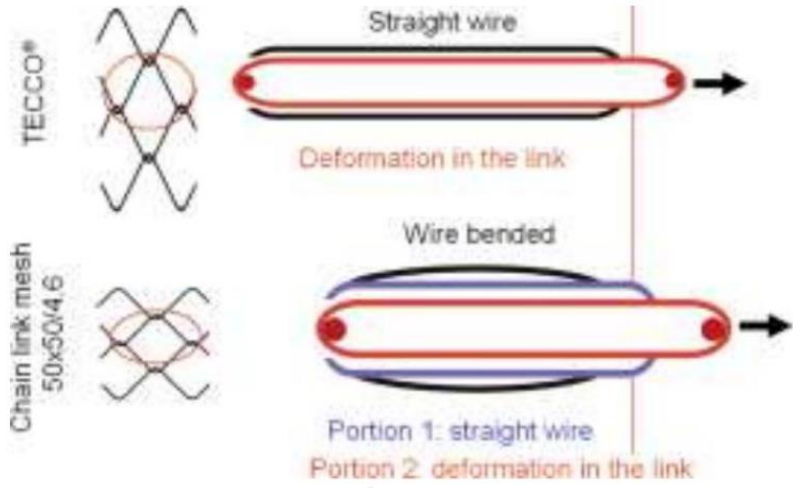
Lebar Satuan Jaring	83 mm	80,5 mm
Panjang Satuan Jaring	143 mm	73,5 mm
Gambar Sampel Jaring		

(Sumber: Method, 2020)

Uji tarik pada mata jaring TECCO G65/3 mm dan mata jaring rantai 50 x 50/4,6 mm menunjukkan mata jaring TECCO memiliki beban pemutusan yang jauh lebih tinggi daripada mata rantai mata rantai.

Selain itu perbedaan nyata dalam perilaku kegagalan dan deformasi ditampilkan. Jaring TECCO gagal dalam lebih atau kurang jenis semburan tiba-tiba yang menunjukkan deformasi rendah dan gradien curam gaya tarik lebih dari 150 kN/m. Sebaliknya jaring mata rantai menunjukkan dua perilaku kegagalan dengan deformasi yang jelas lebih besar dari TECCO mulai dari kira-kira. 74 kN/m hingga maksimal 79 kN/m.

Dalam hal berat per meter persegi, ada perbedaan besar dari kedua jenis jaring yang dibandingkan. Jaring tarik tinggi memiliki berat 1,65 kg/m^2 sedangkan jaring kawat baja tradisional dengan kawat 4,6 mm memiliki berat 5,60 kg/m^2.



Gambar 2.14 Penampang Melintang Yang Berbeda Dari Jaring Kawat Baja Tarik Tinggi (TECCO, Atas) Dan Jaring Kawat Baja Tradisional (Mata Rantai, Bawah) (Sumber: Method, 2020)

Deformasi besar dari jaring kawat baja tradisional ini dapat mengakibatkan masalah deformasi dan transfer beban yang serius bila diterapkan untuk tujuan stabilisasi lereng.

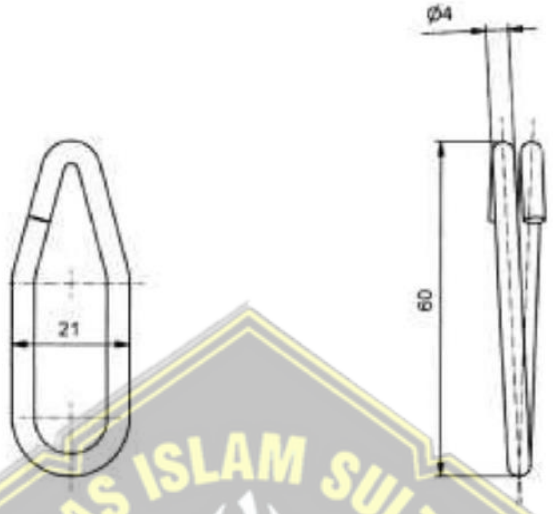
2.10. Klip Koneksi Sambungan Jaring

Satu gulungan jaring atau panel jaring tidak terlalu membantu menstabilkan seluruh lereng. Oleh karena itu sangat penting bahwa panel jaring individu dapat digabungkan bersama dengan cara sederhana untuk memastikan berfungsinya struktur membran yang seragam di seluruh area jaring. Secara teknis sangat penting bahwa koneksi ini mentransfer 100% beban, dapat dilakukan dengan aman dan dari sudut pandang pemasangan, dapat diterapkan dengan cepat dan sedikit memakan waktu, bila memungkinkan tanpa memerlukan alat tambahan dan/atau mesin tangan.

Klip sambungan yang dikembangkan T328 terbuat dari kawat baja tarik tinggi dengan kekuatan tarik minimum 1770 N/mm^2 seperti jaring kawat baja tarik tinggi itu sendiri.

Untuk klip koneksi T3, diameter kawat 4,0 mm digunakan. Klip hanya 60 x 21 mm dan memiliki dua kait ujung terbalik di satu sisi penjepit.

Klip koneksi baru ini dapat diperbaiki tanpa alat apa pun yang memberikan keuntungan penting, terutama di medan yang curam, di mana alat tambahan dapat menyebabkan upaya ekstra dan langkah kerja yang memakan waktu selama proses sambungan jala.



Gambar 2.15 Klip T3 Jepitan Untuk Sambungan Panel Jaring Individu (Sumber: Method, 2020)

Tabel 2.10 Data Utama Mengenai Klip Sambungan dan Cakar Tekan

Data Teknis Klip Koneksi		
	Klip Koneksi T3	**Tekan Cakar Tipe 2**
Gambar		
Tujuan Aplikasi	elemen koneksi untuk menghubungkan lembaran jaring individu	elemen sambungan untuk mengencangkan jaring TECCO pada tali pembatas
Eksekusi	buka lubang untuk pemasangan di lokasi dengan tangan	buka lubang untuk kompresi setelah pemasangan di lokasi

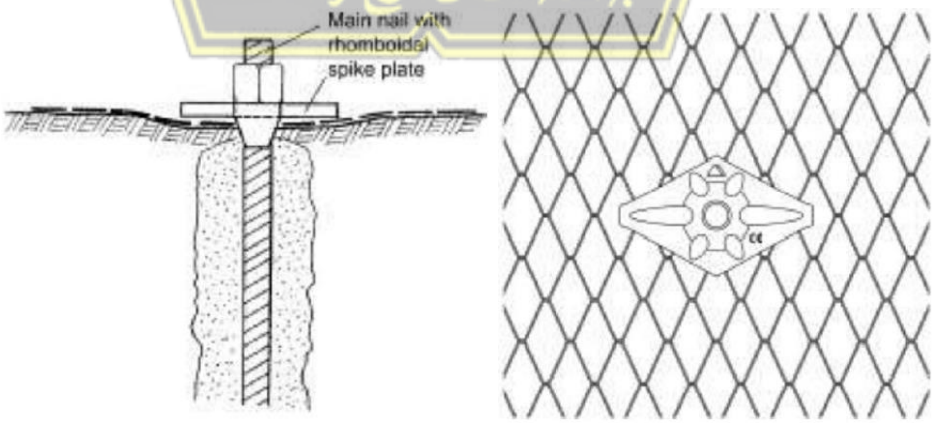
Kualitas Bahan	Kawat baja tarik tinggi 4 mm, kekuatan tarik ≥ 1770 N/mm^2	Baja S235 JRG, diameter bahan 6 mm
Proteksi Karat	Lapisan Zn/Al dengan ketebalan minimal 150 g/m^2	hot-dip galvanis, ketebalan lapisan 55 µm

(Sumber: Method, 2020)

2.11. Nail / Paku Tanah

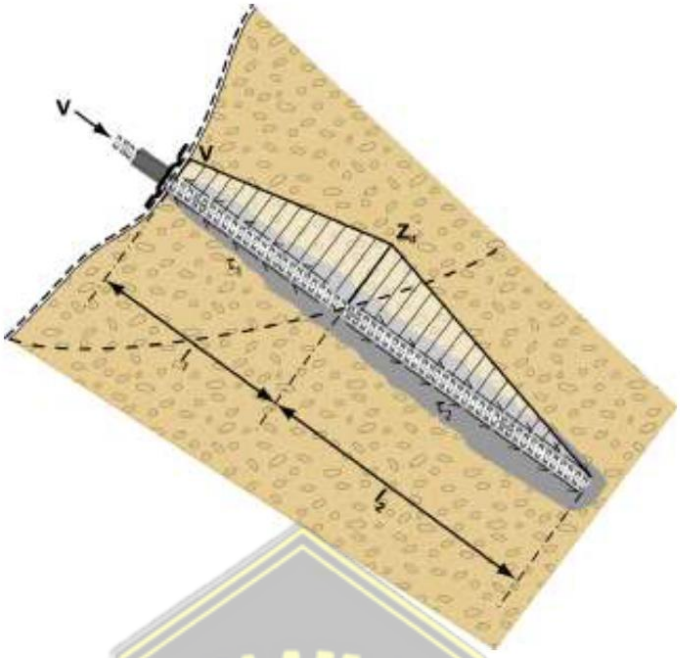
Sejauh ini, sistem sering kali mendiktekan susunan paku-paku berbentuk matriks – horizontal dalam barisan dan di bawah satu sama lain dalam garis kemiringan. Hal ini terutama terjadi pada sistem jaring tali kawat, karena alasan geometris. Ini berarti bahwa badan-badan teoretis bertanggung jawab untuk keluar bisa terbentuk di antara kuku. Mereka memanjang sepanjang ketinggian penuh lereng dan berada dalam jarak maksimum selebar jarak horizontal antara paku. Di masa mendatang, pola paku harus dipilih dengan sengaja di mana paku-paku dalam barisan diimbangi setengah jarak horizontal antara paku. Ini berarti bahwa badan maksimum yang mungkin dapat ditembus terbatas pada lebar a dan panjang 2 · b.

Pola kuku ini merupakan pola dasar. Dalam pemilihan posisi paku, struktur jaring sekarang memungkinkan untuk menyimpang dari pola dasar ini dalam batas yang wajar. Diskontinuitas lokal pada lereng dapat dinetralkan secara optimal. Jika ada titik rendah, disarankan untuk memposisikan kuku di titik tersebut sehingga jaring dikencangkan secara optimal dengan mengencangkan kuku.



Gambar 2.16 Bagian kepala paku dengan pelat paku

(Sumber: Method, 2020)



Gambar 2.17 Distribusi Beban Sepanjang Panjang Paku
(Sumber: Method, 2020)

2.11.1. Pretensioning Nails

Metode perancangan sistem stabilisasi lereng yang fleksibel dengan wire mesh baja tarik tinggi memberikan konsep baru transfer beban di sekitar area kepala paku. Hal ini memungkinkan transfer gaya yang ditingkatkan dan dioptimalkan secara substansial dari mesh ke *pelat spike* dan akhirnya ke paku utama.

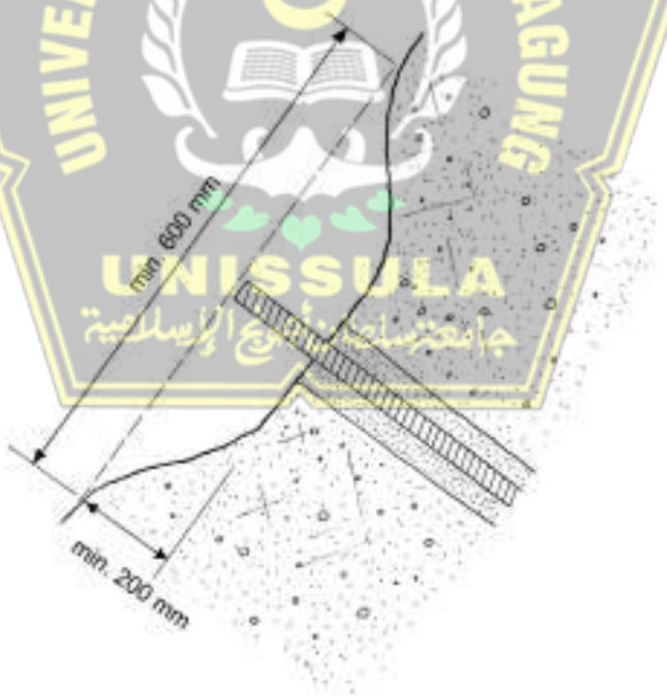
Area kepala paku didesain sedemikian rupa sehingga dapat diregang dengan gaya *V*. Ini meningkatkan keefektifan statis sistem dan membatasi deformasi di area lereng.

Pretensioning diaktifkan oleh pelat kepala khusus dan efektivitas statis yang tinggi dari jaring tarik tinggi itu sendiri. Bergantung pada persyaratan statis, gaya pratarik yang diterapkan dengan pengencangan mur yang terkontrol di bagian kepala paku mencapai maksimum 50 kN (misalnya untuk jaring tarik tinggi dengan yang disebut sistem TECCO).

Hanya mata jaring yang terbuat dari kawat baja bertegangan tinggi yang dapat digunakan. Jaring kawat baja normal cenderung mengalami deformasi plastis, dan jaring tersebut tidak dapat mendistribusikan gaya pratarik dan karena itu tidak akan dapat mentransfer beban yang diperlukan.

Gambar 2.18 Pelat Paku Dengan Kawat Baja Bertegangan Tinggi
(Sumber: Method, 2020)

Di dalam tanah, kepala paku harus dimasukkan ke dalam lembah (sekitar 20–30 cm). Benang paku harus dibuka dan dibersihkan.



Gambar 2.19 Bagian Kepala Paku: Dell Untuk Prategang Jaring Yang Optimal Dalam Aplikasi Tanah
(Sumber: Method, 2020)

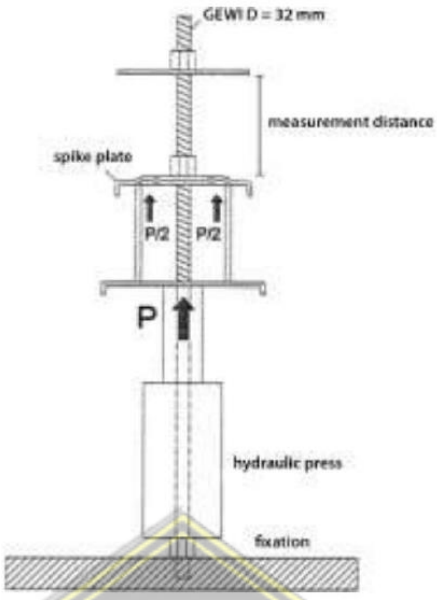
2.12. Spike Plate

Selain jaring kawat baja bertegangan tinggi, *spike plate* TECCO adalah salah satu elemen sistem yang paling penting. Pelat khusus ini telah dirancang dengan hati-hati untuk memenuhi kemungkinan transmisi beban dan gaya terbaik antara tanah, jaring, pelat, dan paku.

Pelat paku harus dipasang secara horizontal. Hal ini memungkinkan cakupan 16 kabel individu dari mesh. Jika pelat dipasang secara vertikal, hanya 8 kabel individu dari jaring yang dihubungi dan transmisi gaya yang lebih sedikit dapat terjadi.

Gambar 2.20 Pelat Paku Perlu Diorientasikan Secara Horizontal; Sisi Panjang Harus Horizontal. (Pemasangan Horizontal Mencakup 16 Kabel Baja, Pemasangan Vertikal Hanya Mencakup 8 Kabel Baja)
(Sumber: Method, 2020)

Sebagai hasil dari berbagai evaluasi, uji material dan desain, bentuk dan bentuk akhir pelat spike sistem TECCO® ditemukan. Berikut menunjukkan bagian dari pengujian komponen material yang sesuai.



Gambar 2.21 Pengujian Material *Spike Plate* Sistem
(Sumber: Geobrugg)

Hal ini sangat menentukan bahwa ketahanan tekuk pelat spike sistem cukup tinggi sesuai dengan wire mesh TECCO.

Gambar 2.22 Pentingnya Kekakuan Sistem Spike Plate yang Benar
(Sumber: Method, 2020)

Sistem stabilisasi lereng TECCO® harus terdiri dari pelat spike sistem resmi. Jika tidak, transmisi beban dan kinerja sistem tidak akan mungkin sesuai dengan desain sistem.

Penggunaan pelat lain (walaupun terlihat serupa) dapat menimbulkan konsekuensi serius terkait keselamatan dan keamanan seluruh sistem stabilisasi lereng. Akibatnya, hanya pelat spike sistem asli yang boleh digunakan untuk sistem TECCO.

2.13. Penghijauan dan Revegetasi

Di lereng curam yang memiliki batuan lepas berbutir halus, tidak kohesif, atau batuan yang lapuk parah, ada bahaya erosi. Bahan halus seperti itu dapat dicuci melalui jaring kawat baja bertegangan tinggi dan dibuang di bawahnya. Dengan ini saluran dan cekungan dapat terbentuk di bawah jaring (Lereng, 2021).

Air lereng bukit, lapisan atau celah yang muncul umumnya harus ditangkap dan dikeringkan. Aliran air yang keluar secara permanen akan selalu menimbulkan masalah dan harus diatasi sebelum tindakan stabilisasi lereng dimulai, karena tindakan perbaikan hampir tidak mungkin dilakukan setelahnya. Perhatian khusus juga harus diberikan agar tidak ada air permukaan dalam jumlah yang lebih besar dari atas yang mengalir melewati lereng. Jika perlu, saluran pembuangan harus disediakan di atas tepi lereng agar air dialirkan ke samping secara terkendali.

Yang tersisa hanyalah air hujan yang jatuh langsung ke lereng yang dilindungi. Intensitas hujan yang tinggi dan durasi yang lama juga dapat menyebabkan masalah erosi. Dampak dari tetes hujan dan air yang mengalir dapat menyebabkan pergerakan tanah, penggelontoran dan erosi umum. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan vegetasi permukaan penuh. Akar menstabilkan lapisan permukaan dan sejumlah besar air disimpan di lapisan vegetasi sebelum mulai mengalir.

Namun, dibutuhkan waktu untuk pembentukan vegetasi yang efektif dan untuk kondisi lapisan bawah tanah yang stabil untuk menghasilkan juga bola kecil. Tidak ada vegetasi yang dapat berkembang di lereng yang mengalami pergerakan dan erosi. Penyemprotan segera bahan vegetasi tahan erosi dan penyemaian tidak selalu dapat dilakukan secara langsung setelah memasang jaring (periode vegetasi). Oleh karena itu, sering kali diperlukan untuk memberikan perlindungan erosi bersama dengan jaring sehingga erosi dan pencucian dapat dicegah untuk saat ini dan prasyarat optimal tercapai untuk keberhasilan penghijauan di kemudian hari.

Sayangnya biasanya tidak mungkin untuk mencapai tujuan dengan tikar perlindungan erosi yang dikenal dari serat alami (misalnya rami, paduan suara) karena permukaan yang sering tidak beraturan mencegah kontak tanah yang tidak terputus dari tikar. Tikar yang dimaksud biasanya terlalu rapat untuk disemprot bahan dan benih tanaman. Hasilnya tidak diinginkan dan dalam jangka panjang

tambalan kosong kritis yang membuat permukaan bebas tererosi lagi segera setelah tikar membusuk.

Oleh karena itu, apa yang dicari adalah alas fleksibel dari struktur terbuka tiga dimensi yang memberikan perlindungan yang relatif baik terhadap erosi meskipun bukaan relatif besar.

Tikar juga harus cocok sebagai lapisan adhesi dan stabilisasi untuk vegetasi selama vegetasi tidak dapat melakukan fungsi ini. Yang juga penting adalah bahwa matras tidak mencolok secara optik, yaitu menyesuaikan warnanya dengan substrat.

Setelah berbagai uji kesesuaian dengan produk yang berbeda, dengan penghijauan kering dan basah juga di lokasi ekstrem yang terpapar ke selatan, tikar 3 dimensi dari struktur lingkaran, yang disebut kain bukan tenunan polipropilena yang diletakkan secara acak akhirnya ditemukan, yang memenuhi sebagian menentang persyaratan perlindungan erosi dan vegetasi menghadapi secara optimal. Data teknis yang dikumpulkan pada halaman berikut ini berlaku untuk matras pelindung erosi ini, yang dikembangkan khusus untuk digunakan dalam kombinasi dengan sistem stabilisasi TECCO yang disebut dengan TECMAT.

Gambar 2.23 Tikar pengontrol erosi *Tecmat* dipasang di bawah Jaring TECCO (Sumber: Method, 2020)

Data Teknis TECMAT

Bahan Baku : Polypropylene

Jenis Tikar : Tidak beraturan, struktur lingkaran tiga dimensi dengan ikatan punctiform

Ketebalan : ± 18 mm

Berat Areal : 600 g/m^2

Lebar bukaan : ± 5 – 15 mm

Warna : Kari-hijau

2.13.1. Vegetasi (Tanaman)

Untuk penutup selimut pengendali erosi atau matras perkuatan, vegetasi yang digunakan dapat berupa vegetasi yang sudah tumbuh atau dalam bentuk biji. Vegetasi yang berupa akar serabut (rumput, akar wangi, mucuna, dan lain sebagainya) berfungsi meminimalisir erosi permukaan dan melindungi dari terpaan dan hempasan air hujan.

Vetiver atau yang dikenal di Indonesia sebagai akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) atau usar (*Vetiver nigritana*), adalah sejenis rumput-rumputan berukuran besar yang memiliki banyak keistimewaan. Di Indonesia rumput ajaib ini baru dimanfaatkan sebagai penghasil minyak atsiri melalui ekstraksi akar wangi, tetapi di mancanegara vetiver banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan ekologis dan fitoremediasi (memperbaiki lingkungan dengan menggunakan tanaman) lahan dan air seperti rehabilitasi lahan bekas pertambangan, pencegah erosi lereng, penahan aberasi pantai, stabilisasi tebing, dan sebagainya melalui teknologi yang disebut *Vetiver Grass Technology* (VGT) atau *Vetiver System* (VS), sebuah teknologi yang sudah dikembangkan selama lebih dari 200 tahun di India.

Akar vetiver diketahui mampu menembus lapisan setebal 5 m yang sangat keras. Di lereng-lereng yang keras dan berbatu, ujung-ujung akar vetiver mampu masuk menembus dan menjadi semacam jangkar yang kuat. Cara kerja akar ini seperti besi kolom yang masuk ke dalam menembus lapisan tekstur tanah, dan pada saat yang sama menahan partikel-partikel tanah dengan akar serabutnya. Kondisi ini bisa mencegah erosi yang disebabkan oleh angin dan air sehingga vetiver dijuluki sebagai ‘kolom hidup’.

Menurut Sitorus (2006), vegetasi berpengaruh terhadap aliran permukaan, erosi, dan longsor melalui:

1. Intersepsi hujan oleh tajuk vegetasi atau tanaman,
2. Batang mengurangi kecepatan aliran permukaan dan kanopi mengurangi kekuatan merusak butir hujan,
3. Akar meningkatkan stabilitas struktur tanah dan pergerakan tanah,
4. Transpirasi mengakibatkan kandungan air tanah berkurang.

2.14. Metode Perancangan Untuk Sistem Stabilisasi Lereng Fleksibel

Metode perancangan untuk sistem stabilisasi lereng fleksibel RUVOLUM didasarkan pada konsep yang digunakan selama ini. Pada prinsipnya, ini berlaku untuk semua sistem perlindungan permukaan umum di pasaran, yang menyediakan pemakuan dalam kombinasi dengan jaring atau jaring tali kawat (atau campuran keduanya), sebagai sistem perlindungan permukaan yang memungkinkan adanya jarak antar paku. baik dalam arah horizontal maupun vertikal. Ditunjukkan secara khusus bahwa metode dimensi baru RUVOLUM tidak terbatas pada dimensi sistem perlindungan yang menggunakan *wire mesh* baja tarik tinggi secara eksklusif.

Bertentangan dengan konsep tradisional dan sebagai kebaruan utama, tidak hanya mekanisme geser satu bodi berbentuk baji tetapi juga mekanisme geser dua bodi diselidiki ketika mempertimbangkan ketidakstabilan lokal. Dengan ini geometri dipilih dengan penyederhanaan sehingga benda runtuh yang kurang lebih berbentuk cangkang disimulasikan sejauh menyangkut massa geser.

Selain itu, demi penyederhanaan diasumsikan bahwa, sebagai reaksi, gaya tarik yang sejajar dengan kemiringan aktif pada paku tepat di atas mekanisme keruntuhan lokal yang akan diselidiki, dan gaya tarik dalam arah paku aktif pada paku di bawahnya. mekanisme.

Gaya tarik aksial pada kuku dapat diaktifkan dengan pretensioning. Penerapan gaya pratarik menghasilkan keuntungan sebagai berikut:

– Penerapan gaya pratarik secara aktif pada paku berarti pelat paku dan dengan demikian jaring ditekan ke lapisan tanah. Gaya tekanan luar yang bekerja pada permukaan medan yang curam memungkinkan untuk memobilisasi gaya gesek tambahan di sepanjang permukaan geser yang diperiksa. Ini memiliki efek positif terutama pada stabilitas.

– Jika tidak ada gaya *pretensioning* aktif yang diterapkan pada paku dan jika badan kegagalan lokal ingin pecah, jaring harus dideformasi terlebih dahulu untuk dapat memobilisasi gaya yang diperlukan untuk mempertahankan bentuk yang dapat pecah. Penekanan kecil pelat *spike* menerapkan gaya *pretensioning* ke *mesh*, yaitu gaya yang diperlukan untuk mencegah ketidakstabilan lokal sudah dimobilisasi. Akibatnya, badan kegagalan hampir tidak dapat terlepas lagi dari lapisan yang akan dilindungi.

Metode dimensi terdiri dari dua penyelidikan yaitu investigasi ketidakstabilan superfisial yang sejajar dengan kemiringan lereng dan investigasi ketidakstabilan lokal.

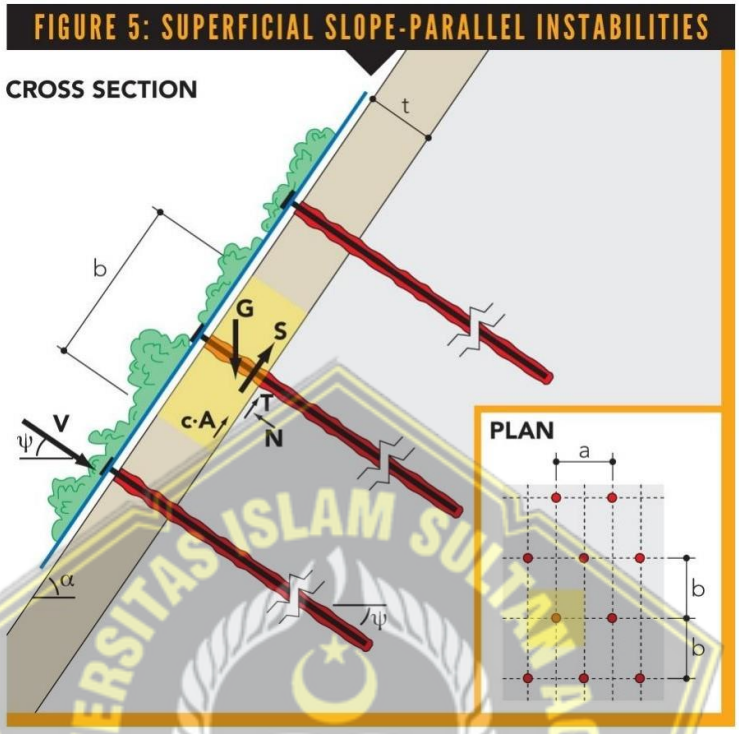
2.14.1. Investigasi Ketidakstabilan Superfisial Yang Sejajar Dengan Kemiringan Lereng

Investigasi ketidakstabilan superfisial yang sejajar dengan lereng memeriksa badan kubik dengan lebar *a*, panjang *b*, dan ketebalan lapisan *t* yang mengancam untuk meluncur dari lapisan tanah yang kokoh. Semua gaya yang dipertimbangkan dan bekerja pada benda geser ditandai pada Gambar 2.24.

Dengan ini diasumsikan bahwa tidak ada tekanan berlebih hidrostatik dan tidak ada tekanan aliran yang efektif pada benda geser. Gaya *G* mewakili bobot mati benda kubik. Istilah $c \cdot A$ menggambarkan pengaruh penahan kohesi sepanjang permukaan geser yang diselidiki, kemiringan dengan sudut α terhadap bidang horizontal. Melalui $c \cdot A$ juga memungkinkan untuk mempertimbangkan a.o. efek dentikulasi (*interlocking*) yang ada antara lapisan tanah yang akan dilinsungi dan substrat yang stabil, atau di dalam lapisan batuan lepas itu sendiri. Gaya *V* adalah gaya dengan efek stabilisasi ke arah paku yang memberi tekanan pada jaring ke kepala paku.

Dengan mengencangkan mur, pelat paku dan dengan demikian jaring masing-masing ditekan dengan kuat ke atau sedikit ke tanah. *V* dimiringkan dalam kaitannya dengan bidang horizontal dengan sudut ψ. Variabel *S* mewakili gaya geser yang akan diserap oleh paku dan dipindahkan ke lapisan tanah yang stabil.

Ditandai demi kelengkapan adalah gaya reaksi *N* dan *T* dari lapisan tanah bawah yang bekerja dalam arah vertikal dan tangensial ke permukaan gelincir.



Gambar 2.24 Ketidakstabilan Superfisial Sejajar dengan Lereng

(Sumber: Method, 2020)

Keterangan :

G : bobot mati benda geser

S : menahan gaya geser yang dibutuhkan untuk diserap oleh paku

V : gaya pretensioning

c . A : kohesi lapisan penutup dari permukaan tanah dari benda yang dapat pecah, dimana A = a . b

T,N : gaya reaksi dari lapisan bawah tanah

α : kemiringan muka lereng dan permukaan geser

ψ : kemiringan paku relatif terhadap horizontal

φ : sudut gesek efektif lapisan penutup

γ_{mod} : nilai koreksi ketidakpastian model

Dari pertimbangan kesetimbangan mengenai benda kubik yang ditunjukkan pada Gambar 2.24 dan dengan mempertimbangkan kondisi keruntuhan Mohr-Coulomb, persamaan umum di bawah ini dapat dirumuskan untuk gaya geser penstabil *S* dalam fungsi parameter geometri dan geoteknik serta parameter gaya pretensioning *V* dan faktor koreksi ketidakpastian model γ_{mod}, sebagai berikut :

$$S\,[kN] = \frac{1}{\gamma_{mod}}\{\gamma_{mod} \times G \times \sin\alpha - V \times \gamma_{mod} \times \cos(\psi + \alpha) - c \times A - [G \times \cos\alpha + V \times \sin(\psi + \alpha)] \times \tan\varphi\}$$

Nilai karakteristik sudut gesekan φ_k, kohesi c_k dan berat volume γ_k masing-masing harus dikurangi atau dikalikan, dengan nilai koreksi keamanan parsial yang sesuai γ_φ, γ_c, dan γ_γ (dimana sudut gesekan φ_k dikurangi melalui garis singgung).

Hasil dari ini adalah nilai dimensi dari parameter geoteknik φ_d, c_d, dan γ_d.Selain itu, gaya stabilisasi V sebagai pengaruh eksternal harus dikalikan dengan apa yang disebut faktor beban. Dari hasil tersebut nilai dimensi gaya $V_{dI/II}$. Faktor koreksi ketidakpastian model γ_{mod} memperhitungkan ketidakpastian geometris dan model.

2.14.1.1. Bukti Paku Terhadap Geseran Lapisan Superfisial Yang Sejajar Dengan Lereng

Dalam pembuktian paku terhadap gelincir dari lapisan superfisial yang sejajar dengan kemiringan, harus dijamin bahwa benda kubik dengan lebar *a*, panjang *b*, dan tebal *t* tidak meluncur dari permukaan gelincir yang diselidiki dengan kemiringan sudut α dalam kaitannya dengan bidang horizontal.

Gaya geser yang diperlukan secara matematis S_d pada tingkat dimensi, ditentukan menurut persamaan di bawah ini, harus dibandingkan dengan tahanan bantalan S_R paku sehubungan dengan regangan geser murni, dimana nilai koreksi tahanan γ_{SR} untuk memotong paku harus dipertimbangkan.

Bukti keamanan bantalan harus ditetapkan sebagai berikut:

$$S_d \leq {}^{S_R}/_{\gamma_{SR}}$$

Tabel 2.11 berikut menunjukkan kompilasi besaran-besaran untuk pembuktian terhadap kelongsoran sejajar dengan kemiringan:

Tabel 2.11 Bukti paku terhadap geseran sejajar dengan lereng

S_d	[kN]	Nilai dimensi dari regangan geser dengan pertimbangan nilai dimensi dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{dI} pada tingkat dimensi, dimana hal berikut berlaku: $V_{dI} = V \cdot \gamma_{dI}$ (V_{dI} bertindak baik pada force Sd , akibatnya γ_{dI} = 0,80 umumnya digunakan)
S_R	[kN]	Ketahanan bantalan paku terhadap regangan geser, dimana hal berikut berlaku: $S_R = \tau_y \cdot A$ dengan $\tau_y = {f_y}/{\sqrt{3}}$ = titik luluh di bawah regangan geser f_y = titik luluh di bawah regangan titik A = penampang paku yang efektif secara statis
γ_{SR}	[–]	Nilai koreksi resistensi (γ_{SR} = 1,50 umumnya digunakan)

(Sumber: Method, 2020)

2.14.1.2. Bukti Jaring Terhadap Tusukan

Dalam pembuktian *mesh* terhadap tusukan, harus diselidiki apakah *mesh* mampu menyerap gaya *V* yang diterapkan dalam arah paku dan mentransfernya ke lapisan tanah yang stabil atau tidak.

Dengan ini nilai dimensi dari gaya *V* yang diterapkan secara eksternal dibandingkan dengan resistansi bantalan *mesh* terhadap regangan tekanan dalam arah paku, dimana nilai koreksi resistansi untuk penusukan diperhitungkan.

Bukti keamanan bantalan harus ditetapkan sebagai berikut:

$$V_{dII} \leq {D_R}/{\gamma_{DR}}$$

Tabel 2.12 berikut menunjukkan kompilasi besaran-besaran untuk bukti terhadap tusukan jaring akibat gaya pretensioning:

Tabel 2.12 Bukti terhadap tusukan jaring akibat gaya pretensioning

V_{dII}	[kN]	Nilai dimensi dari gaya eksternal V dengan mana sistem stabilisasi permukaan diberi pratekan terhadap paku. Hal berikut ini berlaku: $V_{dII} = V \cdot \gamma_{VII}$ dengan γ_{VII} = 1,50 (sebagai pengaruh utama)
D_R	[kN]	Ketahanan bantalan jala terhadap regangan tekanan dalam arah paku; ditentukan oleh tes yang dikembangkan secara khusus untuk tujuan tersebut.
γ_{DR}	[–]	Nilai koreksi resistensi (γ_{DR} = 1,50 umumnya digunakan)

(Sumber: Method, 2020)

2.14.1.3. Pembuktian Paku Terhadap Regangan Gabungan

Paku dikenai regangan tarik oleh gaya pretensioning yang diterapkan secara efektif. Selain itu, harus mencegah global *sliding-off*, sejajar dengan kemiringan, dari lapisan yang akan dilindungi.

Dengan bukti keamanan bantalan paku, harus diselidiki apakah paku yang diaplikasikan dapat menahan tekanan gabungan ini atau tidak.

Bukti keamanan bantalan berikut ditetapkan sebagai berikut:

$$\left(\left[\frac{V_{dII}}{\left(T_R/\gamma_{VR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_R/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right)^{0.5} \leq 1.0$$

Variabel-variabel yang disebutkan sebelumnya dijelaskan pada Tabel 2.13 sebagai berikut:

Tabel 2.13 Bukti Keamanan Bantalan Paku (Regangan Gabungan)

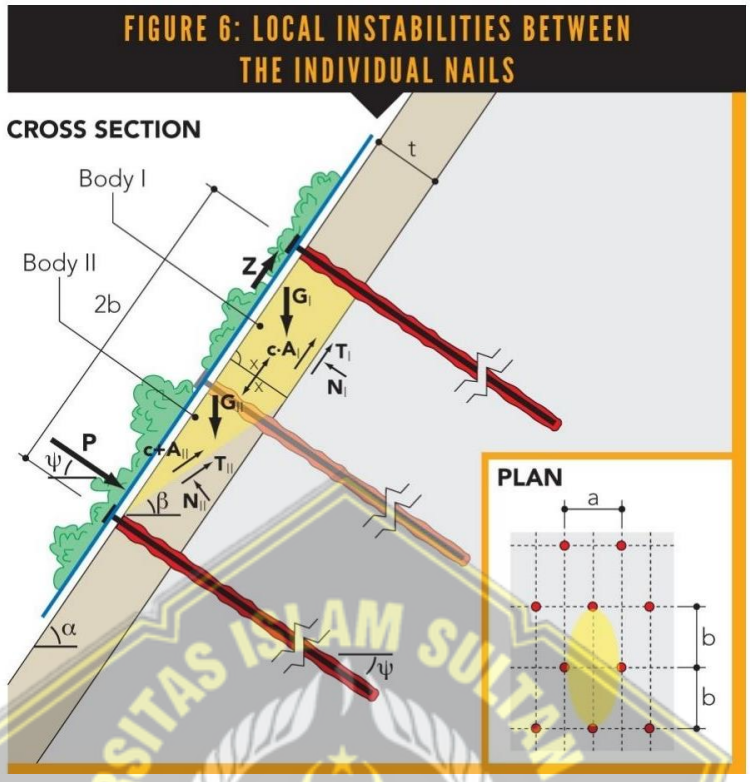
V_{dII}	[kN]	Nilai dimensi dari gaya eksternal V dengan mana sistem stabilisasi permukaan diberi pratekan terhadap paku. Hal berikut ini berlaku: $V_{dII} = V \cdot \gamma_{VII}$ γ_{VII} = 1,50

T_R	[kN]	Ketahanan bantalan paku terhadap regangan tarik murni, yang berlaku sebagai berikut: $T_R = f_y \cdot A$ f_y = titik luluh di bawah regangan titik A = penampang paku yang efektif secara statis
γ_{VR}	[–]	Nilai koreksi resistensi (γ_{VR} = 1,50 umumnya digunakan)
S_d	[kN]	Nilai dimensi dari regangan geser dengan pertimbangan nilai dimensi dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{dI} pada tingkat dimensi, dimana hal berikut berlaku: $V_{dI} = V \cdot \gamma_{dI}$ (V_{dI} bertindak baik pada force Sd , akibatnya γ_{dI} = 0,80 umumnya digunakan)
S_R	[kN]	Ketahanan bantalan paku terhadap regangan geser, dimana hal berikut berlaku: $S_R = \tau_y \cdot A$ $\tau_y = f_y / \sqrt{3}$ τ_y = titik luluh di bawah regangan geser f_y = titik luluh di bawah regangan titik A = penampang paku yang efektif secara statis
γ_{SR}	[–]	Nilai koreksi resistensi (γ_{SR} = 1,50 umumnya)

(Sumber: Method, 2020)

2.14.2. Investigasi Ketidakstabilan Lokal diantara Masing-masing Paku

Investigasi kedua mengamati tubuh yang dapat pecah secara lokal, di antara kuku-kuku individu. Sistem stabilisasi permukaan (dipaku dalam kombinasi dengan jaring penutup) harus diukur sedemikian rupa sehingga semua benda lokal yang mungkin dapat pecah dipertahankan, gaya maksimum yang terjadi diserap dan diteruskan ke lapisan tanah yang stabil.



Gambar 2.25 Ketidakstabilan Lokal Antara Masing-Masing Paku

(Sumber: (Method, 2020)

Dalam penyelidikan badan-badan lokal yang dapat pecah di antara paku, seseorang harus mencerminkan badan mana yang mungkin, dengan mempertimbangkan susunan paku yang dipilih.

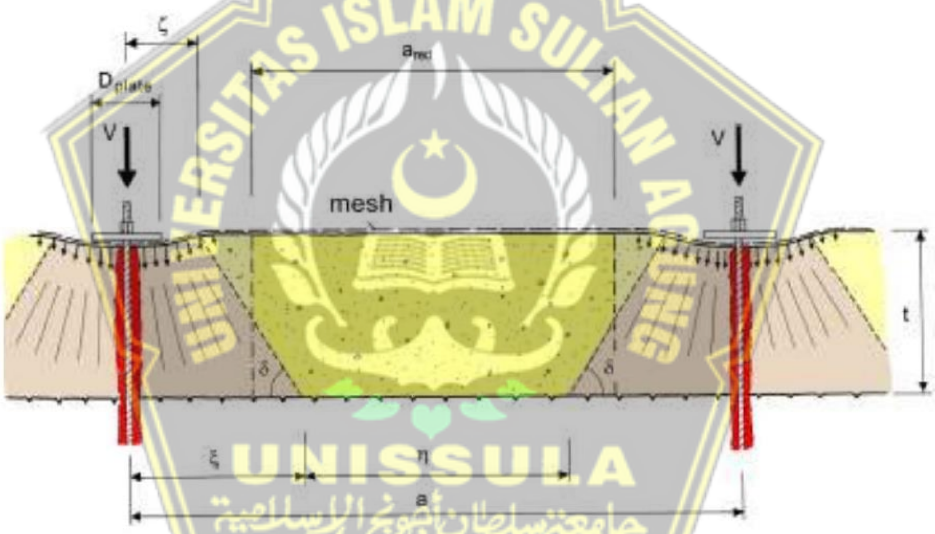
Di atas setiap paku ada bidang dengan lebar *a* dan panjang *2·b* yang harus diamankan dari ketidakstabilan lokal. Mulai dari bidang ini, badan yang dapat keluar dari panjang maksimum *2·b* dapat muncul. Penampang baji maksimum yang memungkinkan untuk pecah sangat dipengaruhi oleh konsep perlindungan yang sebenarnya. Jala diberi tekanan awal pada kepala paku dengan gaya *V* di mana pengencangan mur menyebabkan pelat paku ditekan dengan kuat ke atau bahkan sedikit ke tanah.

Mulai dari kepala paku, kerucut tekanan yang terpotong muncul di lapisan penutup di bawah pelat paku dan jaring yang bersebelahan. Kerucut ini dapat dijelaskan dengan parameter geometri ζ, ξ, dan t. Sudut δ mewakili kemiringan kerucut terpotong relatif terhadap bidang horizontal.

Variabel ζ tergantung pada pelat lonjakan yang diterapkan, jaring dan tanah, dan harus ditentukan melalui pengujian. Sebagai penyederhanaan asumsi, ζ_{min}= 0,5 · D_{Plate} dapat dimasukkan.

Model dimensi mengasumsikan bahwa kerucut tekanan benar-benar berada di luar tubuh untuk diselidiki. Ini berarti bahwa penampang tubuh maksimum yang mungkin dapat ditembus adalah trapesium dan fitur di bagian atas lebar $a - 2 \cdot \zeta$ dan di bagian dengan lebar $a - 2 \,.\, \xi = \eta$. Untuk penyederhanaan penampang trapesium dapat diubah menjadi persegi panjang dengan luas area $a_{red} = a - \frac{t}{\tan\delta} - 2 \,.\, \zeta$ dan ketebalan t.

Tubuh yang bertanggung jawab untuk keluar dan subjek penyelidikan memiliki lebar a_{red} dan panjang maksimal $2 \cdot b$. Ketebalan benda t.



Gambar 2.26 Penampang Horizontal Dari Benda Maksimum Yang Mungkin (Dapat Pecah) Dengan Ketebalan *t*

(Sumber: Method, 2020)

Untuk bukti keselamatan bantalan dalam penyelidikan ketidakstabilan lokal sesuai dengan metode pengukuran dimensi yang dijelaskan dalam bab ini, adalah wajib untuk memvariasikan ketebalan benda yang akan diselidiki selama seluruh interval [0; t] dan dengan cara ini untuk menentukan mekanisme kesalahan yang menentukan.

Dengan ini harus dicatat bahwa variabel a_{red} tergantung langsung pada ketebalan benda yang diselidiki yang dapat pecah dan karenanya juga bervariasi pada variasi ketebalan lapisan dari 0 hingga *t*. Jika ketebalan lapisan tidak bervariasi antara 0 dan *t*, hal ini dapat menyebabkan perkiraan yang terlalu rendah dari gaya yang terjadi secara efektif, khususnya jika *t* dipilih lebih besar dari 1/2 .... 1/3 jarak antara paku di garis lereng. Untuk penyederhanaan, hanya kasus ketebalan lapisan sama dengan *t* yang dibahas dalam penjelasan selanjutnya.

Harus ditunjukkan bahwa geometri benda yang akan diselidiki dan dipilih dalam model harus kira-kira mensimulasikan kontur patahan berbentuk cawan yang terjadi dalam kenyataan. Dengan penampang trapesium, penampang yang benar-benar melengkung digambarkan sebagai perkiraan.

Untuk bukti keselamatan bantalan dalam penyelidikan ketidakstabilan lokal, seseorang harus membedakan antara dua mekanisme kegagalan A dan B. Mekanisme A mewakili mekanisme geser tubuh tunggal yang permukaan gesernya, mulai dari paku bawah, berjalan dalam garis lurus ke atas paku di bawah sudut β dalam kaitannya dengan bidang horizontal. Mekanisme keruntuhan B adalah mekanisme geser dua benda. Dengan ini bagian atas I dari penampang trapesium menekan bagian bawah yang berbentuk baji II.

Kasus yang menentukan dapat ditemukan dengan membandingkan gaya maksimum *P* dari mekanisme kegagalan A dengan mekanisme B.

2.14.2.1. Mekanisme Keruntuhan A

Dalam penyelidikan ketidakstabilan lokal dengan bantuan mekanisme keruntuhan A, dapat melihat sebuah benda berbentuk baji dengan lebar a_{red} yang mengancam untuk meluncur dari bidang miring terhadap bidang horizontal dengan sudut β. Semua gaya dianggap aktif pada benda geser ditandai pada Gambar 2.1. Dengan ini diasumsikan dalam analogi dengan investigasi ketidakstabilan lereng-paralel superfisial, bahwa tidak ada tekanan hidrostatik berlebih dan tidak ada tekanan aliran yang bekerja pada badan geser (ini berlaku juga untuk mekanisme kesalahan B). Gaya *G* mewakili bobot mati tubuh yang pecah. Kohesi sepanjang permukaan gelincir diperhitungkan dengan istilah $c \cdot A$, dimana $A = L \cdot a_{red}$ berlaku. Dengan $c \cdot$

A pada gilirannya dimungkinkan untuk menggambarkan efek interlocking yang ada.

Juga aktif pada benda yang dapat pecah, lebih jauh lagi, adalah gaya eksternal *P* dan *Z* dengan efek stabilisasi. Diasumsikan bahwa benda yang diselidiki dapat pecah dan ingin bergerak relatif ke bawah, sebagian dipertahankan melalui gesekan oleh jaring yang ditekan ke permukaan. Jika gaya gesek ini diintegrasikan pada permukaan $2b \cdot a_{red}$, reaksi yang dihasilkan adalah gaya *Z* yang diarahkan ke atas secara paralel-lereng pada jaring, yang akan diteruskan secara selektif oleh jaring ke paku atas. Gaya *P* diasumsikan miring dalam kaitannya dengan bidang horizontal dengan sudut ψ dan diperkenalkan sebagai gaya umum yang diperlukan dari pertimbangan kesetimbangan dan memiliki efek stabilisasi. Demi kelengkapan, gaya reaksi *N* dan *T* dari lapisan tanah bawah, yang bekerja dalam arah vertikal atau tangensial dalam hubungannya dengan permukaan gelincir, juga ditandai.

Gambar 2.27 Mekanisme Keruntuhan A = Mekanisme Geser Satu Bodi
(Sumber: Method, 2020)

Hubungan yang disajikan dalam persamaan di bawah ini dihasilkan dari pertimbangan kesetimbangan dan memperhitungkan kondisi kegagalan Mohr-Coulomb serta faktor koreksi γ_{mod}.

Gaya maksimum P harus ditentukan dengan variasi kemiringan bidang gelincir β.

$$P\ [kN] = \frac{G.[\gamma_{mod}.\sin\beta - \cos\beta\,.\tan\varphi] - Z.[\gamma_{mod}.\cos(\alpha-\beta) - \sin(\alpha-\beta)\,.\tan\varphi]}{\gamma_{mod}.\cos(\beta+\psi) + \sin(\beta+\psi)\,.\tan\varphi}$$

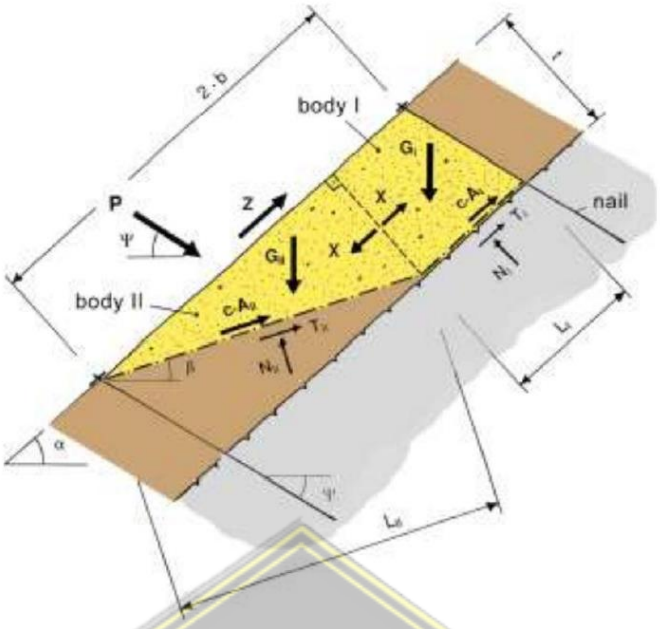
2.14.2.2. Mekanisme Keruntuhan B

Mekanisme keruntuhan B dicirikan oleh dua benda yang dapat pecah: Benda trapesium atas I menekan gaya kontak X ke benda II berbentuk baji yang lebih rendah.

Lebar kedua benda tersebut sama dengan a_{red}. Gaya G_I dan G_{II} masing-masing mewakili bobot masing-masing benda geser dan $c \cdot A_I$ dan $c \cdot A_{II}$, gaya akibat kohesi sepanjang permukaan luncur yang diselidiki dari benda geser individu, di mana $A_I = L_I \cdot a_{red}$ dan $A_{II} = L_{II} \cdot a_{red}$ berlaku. N_I dan T_I, N_{II} dan T_{II}, masing-masing, pada gilirannya mewakili gaya reaksi dari lapisan bawah tanah.

Secara analogi dengan paragraf sebelumnya, variabel Z menunjukkan gaya paralel-slope di *mesh*, untuk ditransmisikan secara selektif pada paku atas. Gaya P diasumsikan miring dalam kaitannya dengan bidang horizontal dengan sudut ψ dan sekali lagi diperkenalkan sebagai gaya penahan umum yang diperlukan dari pertimbangan kesetimbangan.

Untuk persamaan kesetimbangan, gaya Z dan P bekerja pada benda II berbentuk baji bawah. Secara umum mekanisme kegagalan ini ditunjukkan pada Gambar 2.28 berikut ini.



Gambar 2.28 Mekanisme Keruntuhan B = Mekanisme Geser Dua Benda (Kemungkinan Gaya Gesek Sepanjang Permukaan Kontak Dari Dua Benda I Dan II Diabaikan)
(Sumber: Geobrugg, 2021)

Gaya kontak *X* dihasilkan dari persamaan kesetimbangan pada tubuh bagian atas I, dimana kondisi Mohr-Coulomb dan faktor koreksi ketidakpastian model γ_{mod} diperhitungkan. Untuk menentukan gaya *P*, kondisi kesetimbangan dirumuskan pada benda II. Dengan ini gaya kontak *X* dari persamaan di bawah ini dan gaya paralel lereng *Z* dimasukkan.

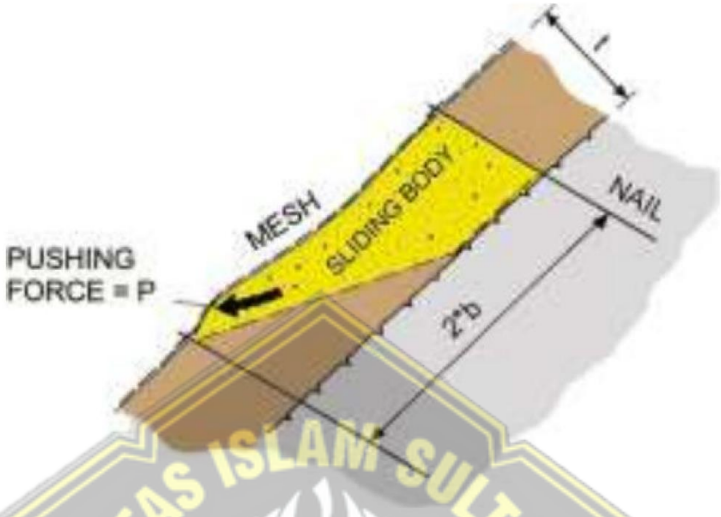
$$X\ [kN] = \frac{1}{\gamma_{mod}} \times \{G_1 \times (\gamma_{mod} \times \sin\alpha - \cos\alpha \times \tan\varphi) - c_d \times A_1\}$$

$$P[kN] = \frac{\{G_2 \times [\gamma_{mod} \times \sin\alpha - \cos\alpha \times \tan\varphi_d] + (X - Z_d) \times [\gamma_{mod} \times \cos(\alpha-\beta) - \sin(\alpha-\beta) \times \tan\varphi_d] - c_d \times A_2\}}{\{\gamma_{mod} \times \cos(\beta+\psi) + \sin(\beta+\psi) \times \tan\varphi_d\}}$$

2.14.2.3. Memotong Jaring di Tepi Lereng Atas Pelat Paku Di Paku Bawah

Dalam penyelidikan ketidakstabilan lokal, harus dipastikan bahwa benda lokal dengan panjang maksimal *2 . b* tidak dapat keluar dari lapisan superfisial pengaman.

Untuk tujuan ini, gaya penahan yang diperlukan P_d dari kondisi kesetimbangan telah ditentukan. Jika benda akan meluncur, gaya P_d ini harus dapat diambil di area paku bawah oleh jaring dan juga oleh pelat paku dan paku.



Gambar 2.29 Tegangan Geser Pada *Mesh* di Tepi Lereng Atas Pelat Paku di Paku Bawah

(Sumber: Geobrugg, 2021)

Dalam bukti tentang pemotongan jaring di tepi lereng atas pelat paku di paku bawah, harus diselidiki apakah jaring yang diterapkan mampu mengambil komponen gaya kerja luar P_d atau dipotong di tepi lereng atas dari piring paku. Bukti keamanan bantalan harus ditetapkan sebagai berikut:

$$Pd \leq {}^{P_R}/_{\gamma_{PR}}$$

Tabel 2.14 berikut ini menunjukkan kompilasi besaran-besaran untuk bukti terhadap pemotongan jaring di tepi lereng atas pelat paku di paku bawah:

Tabel 2.14 Kuantitas Untuk Bukti Terhadap Pemotongan Jaring di Tepi Lereng Atas Pelat Paku di Paku Bawah

P_d	[kN]	Nilai dimensi dari tegangan geser maksimum pada mesh di tepi lereng atas pelat paku di paku bawah

P_R	[kN]	Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan dalam arah paku, akan ditentukan melalui pengujian yang dikembangkan secara khusus untuk tujuan tersebut
γ_{PR}	[–]	Nilai koreksi resistensi (γ_{PR} = 1,50 umumnya)

(Sumber: Method, 2020)

2.14.2.4. Pemindahan Selektif Dari Gaya Paralel Lereng Z Dari Jaring ke Paku Atas

Gaya *Z* dalam jaring ini harus ditransmisikan secara selektif melalui pelat paku ke paku atas. Bukti keamanan bantalan mengenai transmisi selektif dari gaya paralel lereng *Z* dari jaring ke paku atas harus ditetapkan sebagai berikut:

$Z_d \leq {}^{Z_R}/_{\gamma_{ZR}}$

Gambar 2.30 Gaya Paralel-Lereng Diperhitungkan Dalam Pertimbangan Kesetimbangan

(Sumber: Geobrugg, 2021)

Tabel 2.15 berikut menunjukkan kompilasi besaran untuk bukti transmisi selektif dari gaya paralel lereng *Z* dari jaring ke paku atas:

Tabel 2.15 Kuantitas bukti transmisi selektif dari gaya paralel lereng Z dari jaring ke paku atas

Z_d	[kN]	Gaya lereng-sejajar diperhitungkan dalam persamaan kesetimbangan = nilai dimensi tegangan pada arah lereng-sejajar
Z_R	[kN]	Ketahanan bantalan mesh terhadap tegangan tarik selektif, lereng-paralel; ditentukan oleh tes yang dikembangkan secara khusus untuk tujuan tersebut
γ_{ZR}	[–]	Nilai koreksi resistensi (γ_{ZR} = 1,50 umumnya)

(Sumber: Method, 2020)

2.15. Plaxis

Plaxis adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model – model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Pendekatan elemen hingga digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai macam aplikasi geoteknik. Dengan program ini kita dapat mengetahui faktor keamanan dari suatu lereng. *Plaxis* mulai dikembangkan sekitar tahun 1987 di *Technical University of Delfy* atas inisiatif dari *Dutch Departement of Public Works and Water Management*.

Analisis diperlukan untuk analisis program komputer menggunakan metode elemen hingga. Metode untuk geometri elemen hingga sering dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. *Axisymmetry*

   Pemodelan *axisymetry* digunakan untuk struktur yang simetris, eperti tiang pancang, verifikasi PVD.

2. *Plane strain*

   Pemodelan *plane strain* biasanya digunakan untuk struktur pemodelan struktur memanjang, mosalnya dinding penahan tanah, badan jalan, dan verifikasi PVD.

3. *Plane stress*

   Pemodelan *plane stress* biasanya digunakan untuk pemodelan portal.

2.16. RUVOLUM Online Tool

Perangkat lunak dimensi RUVOLUM awalnya dikembangkan oleh Ms. Ana Maria Brisbe York di Spanyol dan Mr. Daniel Flum di Swiss. Perangkat lunak Ruvolum berfungsi untuk mengukur sistem stabilisasi lereng yang terdiri dari jaring penutup kawat baja bertegangan tinggi yang dikombinasikan dengan soil nailing. Perangkat lunak Ruvolum menggunakan penyelidikan ketidakstabilan lereng-paralel dangkal (yaitu kegagalan baji dan planar), sudut gesekan material dan daya dukung jala untuk menghitung jarak jangkar maksimum.

Konsep Ruvolum menyelidiki mekanisme berbentuk baji dan komposit sederhana yang dapat keluar dari area yang dekat dengan permukaan di antara masing-masing paku. Konsep ini dapat diterapkan pada lereng tanah serta lereng batuan yang sangat terdisintegrasi, longgar atau lapuk.

2.17. Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Perbandingan penelitian yang akan dilakukan degan beberapa penelitian terdahulu lebih jelasnya akan disajikan dalam tabel, dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut ini.

Tabel 2.16 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
Vitriana Kumalasari (2012)	Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope	Menggunakan Program Geoslope dan Perhitungan Manual dengan Metode Baji (Wedge)	Setiap bertambahnya sudut pemasangan nail menyebabkan penurunan angka keamanan yaitu dengan perhitungan manual 14%, dengan program Geoslope 16%.
Hendra Riogilang (2014)	Soil Nailing dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah	Menggunakan Finite Element Method (FEM)	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa solusi ini dianggap tepat

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
	Untuk Potensi Longsor di STA 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon	pada Program Plaxis	dan mampu menahan tanah dari kemungkinan longsor meski pada kondisi tanah jenuh air sepenuhnya.
Intan Mekar, Rananta A. (2021)	Perencanaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Perkuatan Lereng Menggunakan Metode *Soil Nailing* di Perumahan BSB City Victoria Hills Semarang	Menggunakan program Plaxis dan Geoslope	Nilai faktor keamanan dari DPT kantilever yaitu 0,65 perhitungan manual dan 1,2 dengan Plaxis. Setelah dengan perkuatan soil nailing nilai SF 0,58 dengan manual dan 2,32 dengan aplikasi Geostudio.
Rafa Amatullah (2020)	Analisis Perkuatan Lereng Menggunakan Geo-Root dengan Tanaman Vetiver untuk Mengantisipasi Kelongsoran pada Tanah Lempung Lanau	Aplikasi *Roscience Slide* dan Metode Fellenius	Hasil analisis menggunakan aplikasi Roscience Slide terdapat peningkatan nilai faktor aman sebesar 5.31% pada desain variasi ketinggian dan sebesar 4.30% pada variasi sudut selama dua bulan penanaman.
Jillian Jackson, Andi Buechi	Flexible Slope Stabilization In Cowichan Bay, BC – Using A	Konsep Desain RUVOLUM	Sistem stabilisasi lereng jala berlabuh dapat disesuaikan

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
(2017)	High-Tensile Steel Mesh To Stabilize a Steep Eroding Soil Slope		dengan kondisi spesifik lokasi dan statis. Kebebasan penempatan jangkar dan berbagai mata jaring dan pelat memungkinkan aplikasi untuk berbagai kondisi kemiringan. Sistem ini menyediakan transfer beban statis yang efektif
Tony Gilman, Andhi Buechi, dkk (2019)	Alternative to Soldier Pile Walls – Using Anchored High-Tensile Steel Mesh for Temporary Excavation Support in an Urban Environment	Teknologi jaring baja tarik tinggi	Memperkirakan pengurangan biaya sekitar 40% dengan penggunaan sistem wire mesh berlabuh berkekuatan tarik tinggi dibandingkan dengan tiang pancang dan lagging tradisional.

BAB III
METODOLOGI

3.1. Pendahuluan

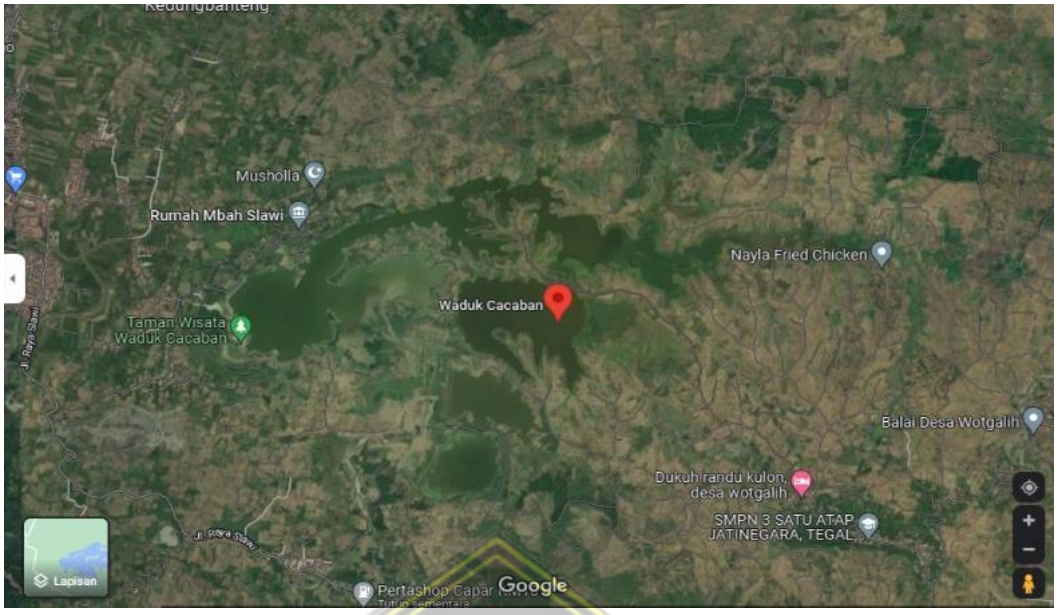
Pada bab ini, penulis akan membahas tentang perkuatan lereng menggunakan metode *soil nailing* dengan material Geobrugg. Perkuatan lereng dengan *high tensile wire mesh* yang dikombinasikan dengan *soil nailing* dan *spike plate* serta vegetasi atau penghijauan untuk mengendalikan erosi. Secara umum penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder proyek konstruksi Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah. Data tanah proyek konstruksi Bendungan Cacaban didapatkan dari Laboratorium Mekanika Tanah UNISSULA.

Perhitungan perkuatan pada lereng Bendungan Cacaban dilakukan validasi data untuk menentukan hasil perbandingan sebelum atau kondisi eksisting lereng dan setelah diberikan perkuatan soil nailing. Permodelan kondisi eksisting menggunakan Software Plaxis V8.6 dan perhitungan manual dengan Metode Bishop. Untuk perkuatan lereng perhitungan dengan Dimensi RUVOLUM dan permodelan menggunakan Software RUVOLUM *Online Tool*.

Metode penentuan dimensi melalui bukti stabilitas lereng bertujuan untuk menentukan jenis *nail* yang digunakan (diameter, sifat, dan lain-lain), jarak antar *nail*, serta panjang *nail*. Penentuan dimensi perkuatan juga dibutuhkan untuk pembuktian stabilitas lereng diantaranya, pembuktian *nail* terhadap geseran lapisan lereng, bukti jaring terhadap tusukan *nail*, serta pembuktian *nail* terhadap *combined stress*.

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang digunakan untuk tugas akhir perkuatan lereng berada di Bendungan Cacaban yang terletak di Desa Penujah, Kecamatan Kedung Banteng, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah (Sumber: Google Maps, 2022)

3.3. Pengumpulan Data

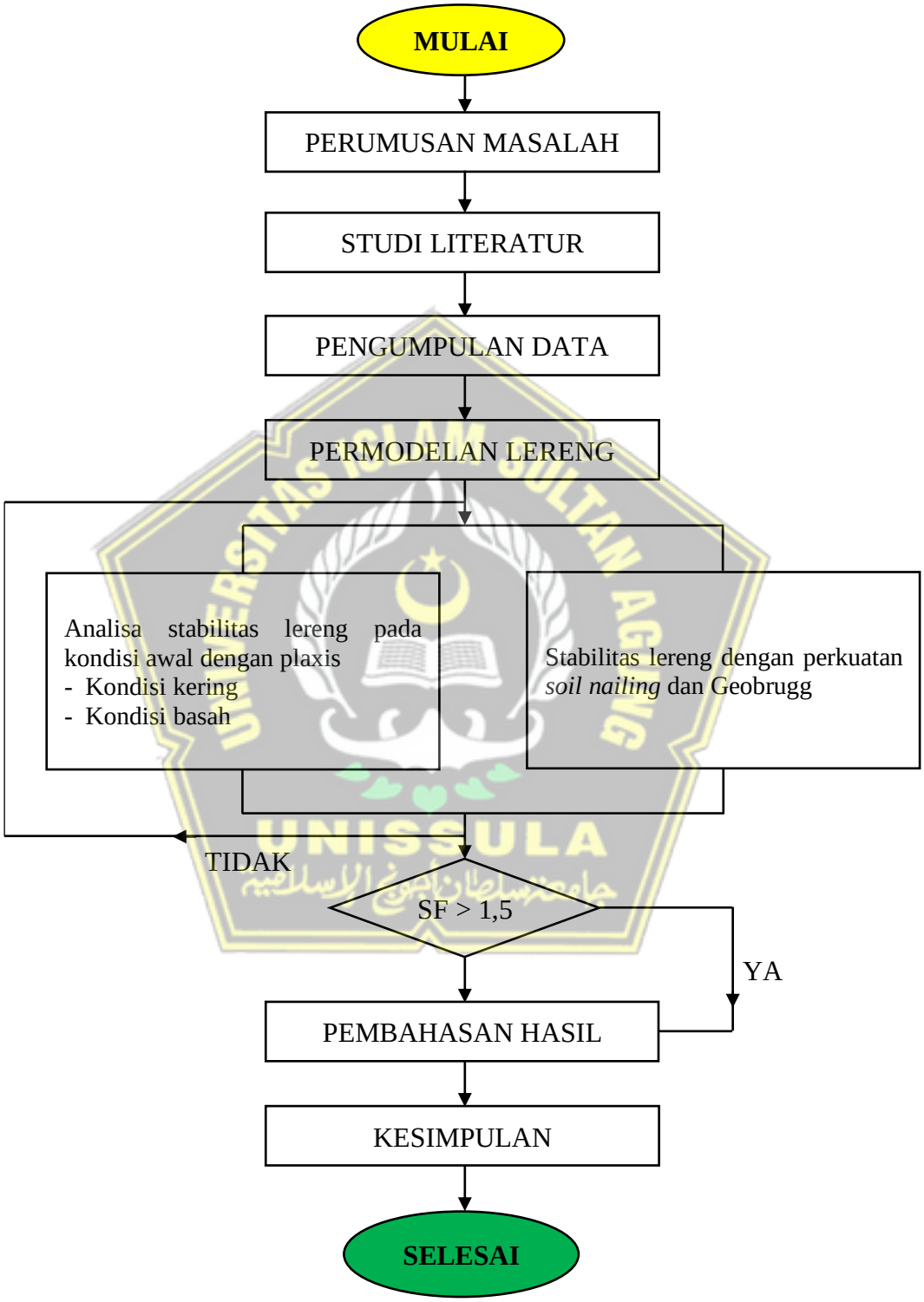
Data yang digunakan sebagai bahan acuan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah data sekunder.

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan dari studi pustaka berupa jurnal atau *literature* yang telah ada sebelumnya, kemudian mencari sumber dari teori seputaran topik permasalahan agar dapat membantu dalam menganalisa masalah. Data sekunder yang didapat untuk penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Data tanah Proyek Konstruksi Bendungan Cacaban yang didapatkan dari Laboratorium Mekanika Tanah UNISSULA
2. Data Proyek Konstruksi Bendungan Cacaban
3. Data Spesifikasi Teknis Material Geobrugg untuk Perkuatan Lereng yang didapatkan dari web www.geobrugg.com
4. Studi Pustaka
5. Buku-buku dan jurnal penunjang

3.4. Tahapan Penelitian

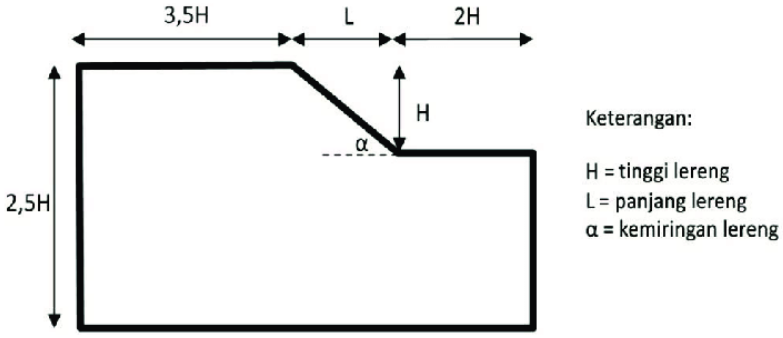
Tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Alur Diagram Penelitian

3.5. Metode Analisis

3.5.1. Perencanaan Pemodelan Lereng



Gambar 3.3 Geometri Permodelan Lereng

(Sumber: Syahbana, 2013)

3.5.2. Perencanaan Soil Nailing Menggunakan Program Plaxis 8.6

Dalam analisis kestabilan lereng akan dilakukan perhitungan yang cukup panjang dan berulang- ulang, sehingga apabila dilakukan perhitungan secara manual akan membutuhkan waktu yang cukup lama; maka untuk memudahkan perhitungan tersebut digunakan alat bantu berupa software. Program komputer yang digunakan yaitu Plaxis 8.6 . PLAXIS adalah suatu program metode elemen hingga untuk analisis deformasi atau perubahan bentuk dan stabilitas dalam permasalahan geoteknik. Dengan program ini PLAXIS juga dapat memberikan analisa teknik tentang displacement, deformasi, tegangan-tegangan pada tanah yang berada di Bendungan Cacaban, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah.

Dari penelitian di atas maka program PLAXIS dapat digunakan sebagai metode perhitungan dan perencanaan konstruksi perkuatan lereng untuk mengetahui angka keamanan yang dihasilkan dari simulasi perhitungan komputer atau PLAXIS . Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perhitungan *factor of safety* atau angka keamanan berdasarkan analisis perhitungan metode manual (metode bhisop) dengan analisis perhitungan metode elemen hingga menggunakan program PLAXIS.

Berikut adalah langkah – langkah dalam perhitungan kestabilan lereng menggunakan Plaxis:

1. Mendesain lereng sesuai perhitungan yang direncanakan dengan pembatasan daerah

   Langkah Pertama dalam merencanakan Permodelan dalam PlAXIS Dengan Mendesain lereng sesuai perhitungan dan stratigrafi yang direncanakan, Lereng yang direncanakan perlu dibatasi, karena analisis hanya dilakukan pada daerah yang dibatasi.

2. Input Parameter Tanah

   Peggunaan parameter tanah untuk permodelan meliputi jenis tanah, berat isi tanah, koefisien permeabilitas, angka pori, modulus elastisitas, angka Poisson, kohesi dan sudut geser tanah. Setiap lapisan tanah mempunyai nilai parameter tanah yang berbeda.

   Input data yang digunakan pada pengaturan umum menggunakan data identifikasi tanah, model material, tipe material, berat isi tanah dan permeabilitas.

3. Finite Element Model (FEM) atau Pembuata jaring elemen

   Fungsi FEM untuk mengetahui nilai yang dihasilkan akibat pembebanan yang diberikan. Reaksi tersebut terjadi otomatis oleh Plaxis. Output yang dihasilkan dari jaringan elemen pemodelan lereng Waduk cacaban, Tegal Jawa Tengah.

4. Pembuatan kondisi awal lereng

   Pembuatan kondisi awal lereng bertujuan untuk tekanan air pori, tekanan tanah baik, normal maupun efektif. Kondisi awal lereng diperoleh hasil nilai dari tekakan air poriinitial yang terjadi akibat muka air tanah.

5. Pengaturan kalkulasi pada soil nailing dan *back analysis* untuk jangka pendek.

   Mendesain soil nailing yang sudah direncanakan untuk kalkulasi dan mengaktifkannya. Menganalisis lereng dengan mengurangi kuat geser tanah seingga kelongsoran lereg dapat dimodelkan, Mendesain titik soil nailing yang akan dipasang pada lereng. Back analysis mengatur bidang gelincir lereng. Pengaktifan tersebut bertujuan untuk mengetahui analisis terjadi pada bidang longsor yang berada diatasnya.

6. Pengaturan kalkulasi menggunakan faktor keamanan

   Kalkulasi faktor keamanan menggunakan metode SSR untuk menentukan nilai faktor keamanan. Tipe tersebut didapat dri tipe kalkulasi phi/c reduction.

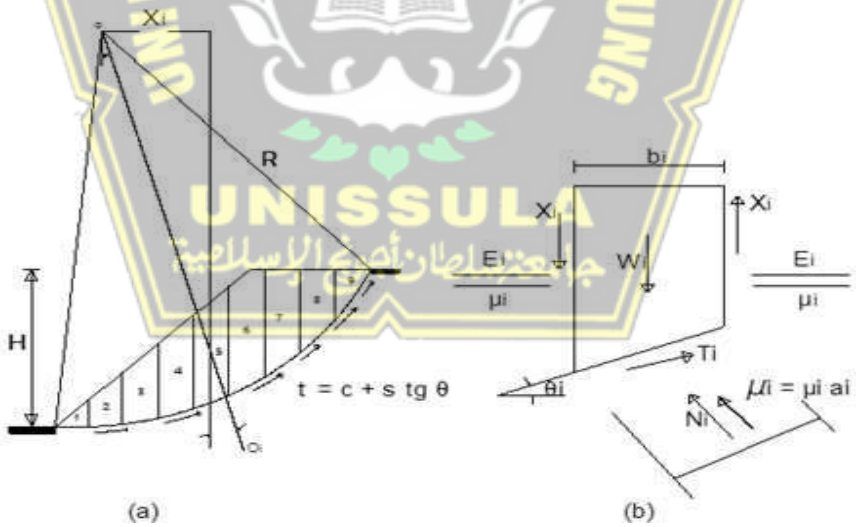
7. Penentuan titik tinjau

   Untuk melihat hasil analisis dilakukan dengan titik tinjau. Titik tersebut berjumlah 10. Yang terletak dibidang gelincir lereng, terletak didalam dan luar serta permukaan dibawah lereng.

3.5.3. Perencanaan Soil Nailing Menggunakan Metode Bishop

Metode Bishop adalah Metode yang diperkenalkan oleh A. W. Bishop menggunakan cara potongan dimana gaya- gaya yang bekerja pada tiap potongan ditunjukan seperti pada Gambar 3.4.

Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya- gaya normal total berada/bekerja dipusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya- gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan- potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode Bishop menganggap bahwa gaya- gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Bishop, 1955).



Gambar 3.4 Lereng dengan busur lingkaran bidang longsor Bishop

Dengan memperhitungkan seluruh keseimbangan gaya maka rumus untuk faktor keamanan Fk metode Bishop diperoleh sebagai berikut (Anderson dan Richards, 1987).

$$FK = \frac{1}{\Sigma\,(Wi\ \times \sin\theta)}\left[\Sigma\frac{(c\ \times bi + Wi\tan\emptyset)\sec\theta}{1+\frac{\tan\theta\ \times\tan\emptyset}{FK}}\right]$$

Keterangan:

FK = Faktor Keamanan

W*i* = Berat total pada irisan

c = Kohesi tanah

b = Lebar dari irisan

l = Panjang dari irisan

θ, α = Sudut kemiringan pada dasar irisan

Ø = Sudut geser dalam tanah

Secara teoritis tingkat nilai faktor keamanan :

Tabel 3.1 Tingkat nilai SF Teoritis

SF	Keterangan
> 1	Stabil
= 1	Kritis
< 1	Labil

(Sumber: Bowles, 1984)

Dalam praktek (Bowles, 1984) tingkat nilai faktor keamanan :

Tabel 3.2 Tingkat nilai Fk dalam praktek

SF	Keterangan
>1,5	Stabil
1,07 < Fk < 1,5	Kritis
<1,07	Labil

(Sumber: Bowles, 1984)

3.5.4. Perencanaan Soil Nailing Menggunakan Software RUVOLUM Online Tool

Perangkat lunak dimensi RUVOLUM awalnya dikembangkan oleh Ms. Ana Maria Brisbe York di Spanyol dan Mr. Daniel Flum di Swiss. Perangkat lunak Ruvolum berfungsi untuk mengukur sistem stabilisasi lereng yang terdiri dari jaring penutup kawat baja bertegangan tinggi yang dikombinasikan dengan soil nailing. Perangkat lunak Ruvolum menggunakan penyelidikan ketidakstabilan lereng-paralel dangkal (yaitu kegagalan baji dan planar), sudut gesekan material dan daya dukung jala untuk menghitung jarak jangkar maksimum.

Konsep Ruvolum menyelidiki mekanisme berbentuk baji dan komposit sederhana yang dapat keluar dari area yang dekat dengan permukaan di antara masing-masing paku. Konsep ini dapat diterapkan pada lereng tanah serta lereng batuan yang sangat terdisintegrasi, longgar atau lapuk. Software RUVOLUM Online Tool dapat diakses di www.geobrugg.com

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

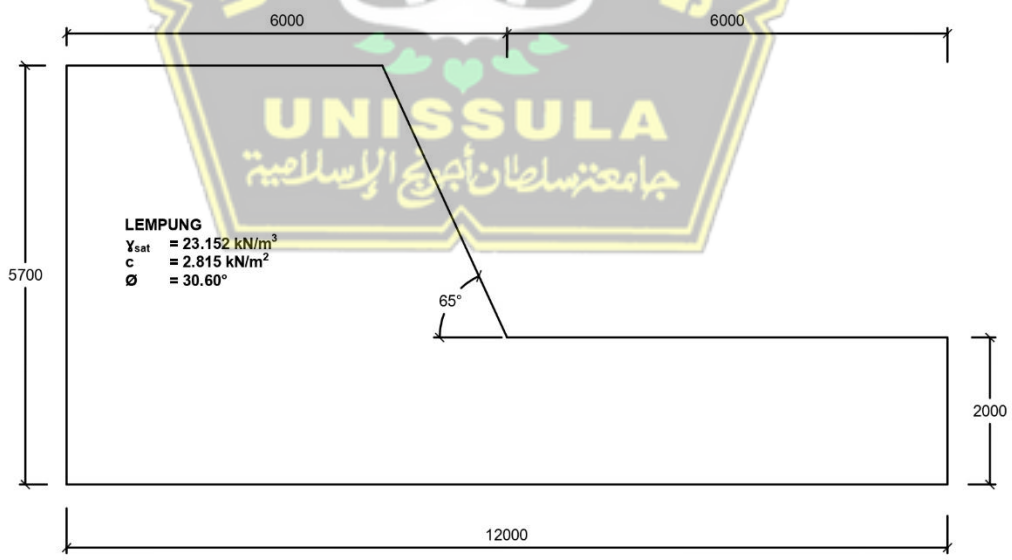
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Pada bab ini dilakukan Analisis Stabilitas Lereng Metode *Soil Nailing* dengan Program Plaxis dan perhitungan manual dengan Metode Bishop. Data yang digunakan merupakan Data Lereng Bendungan Cacaban yang terletak di Desa Penujah, Kecamatan Kedung Banteng, Kabupaten Tegal. Perkuatan lereng yang digunakan dengan konsep RUVOLUM yang terdiri dari *wire mesh* baja tarik tinggi dalam kombinasi dengan *soil nailing*. Pengembangan *wire mesh* yang terbuat dari kawat baja tarik tinggi dengan kekuatan tarik kawat individu minimal 1770 N/mm^2 memberikan kemungkinan baru untuk stabilisasi lereng yang efisien dan ekonomis.

4.2. Permodelan Lereng

Permodelan lereng dibuat menggunakan Program *Autocad* dengan Standar Geometri Permodelan Lereng.



Gambar 4.1 Permodelan Lereng Bendungan Cacaban

4.3. Data Tanah

Data yang diperoleh yaitu dengan mengajukan permohonan data kepada pihak-pihak terkait yang digunakan untuk dasar perhitungan perencanaan. Data yang digunakan yaitu data tanah, dan data lainnya yang diperlukan.

Data tanah yang diperoleh merupakan hasil penyelidikan tanah serta pengambilan sampel di lapangan yang berlokasi di Bendungan Cacaban yang terletak di Desa Penujah, Kecamatan Kedung Banteng, Kabupaten Tegal. Penyelidikan tanah dimaksud untuk mendapatkan besaran parameter, sifat fisis, dan sifat teknis dari tanah. Data hasil pengujian tanah diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah UNISSULA pada tahun 2021.

Tabel 4.1 Parameter Tanah

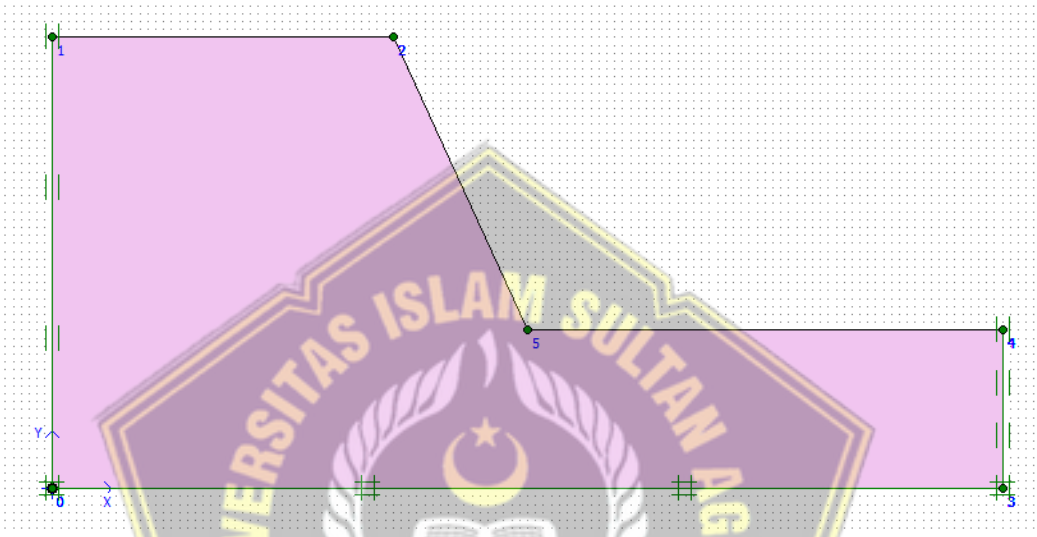
Parameter	Symbol	Lapisan 1 (Stiff Clay)	Units
General			
Material model	Model	Mohr-Coulomb	
Type of behaviour	Type	Undrained A	
Dry weight	γunsat	13.381	kN/m^3
Wet weight	γsat	23.152	kN/m^3
Cohesion	c'	2.815	kN/m^2
Friction angle	Φ'	30.60	^{o}
Parameters			
Young's modulus	E'	12000	kN/m^2
Poisson's ratio	v'	0.4	-
Dilatancy angle		0	^{o}
Tension cut-off			
Groundwater			
Permeabilities	k	0.001	m/day

(Sumber: Lab Mekanika Tanah UNISSULA, 2020)

4.4. Analisis Stabilitas Lereng Awal Dengan Plaxis

4.4.1. Permodelan Awal Lereng

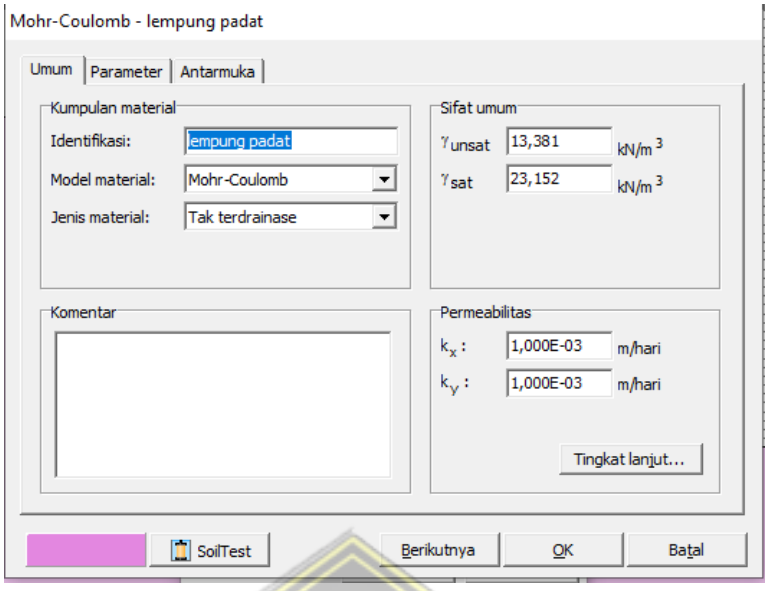
permodelan kondisi awal lereng tanpa menggunakan perkuatan dan tanpa muka air. Dalam tahap permodelan, seluruh data parameter tanah geoteknik pada Tabel 4.1 dimasukkan ke program plaxis untuk mengetahui keruntuhan yang terjadi pada lereng tersebut. Input permodelan lereng dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Pemodelan Lereng Asli Input Plaxis

Kondisi Lereng Asli

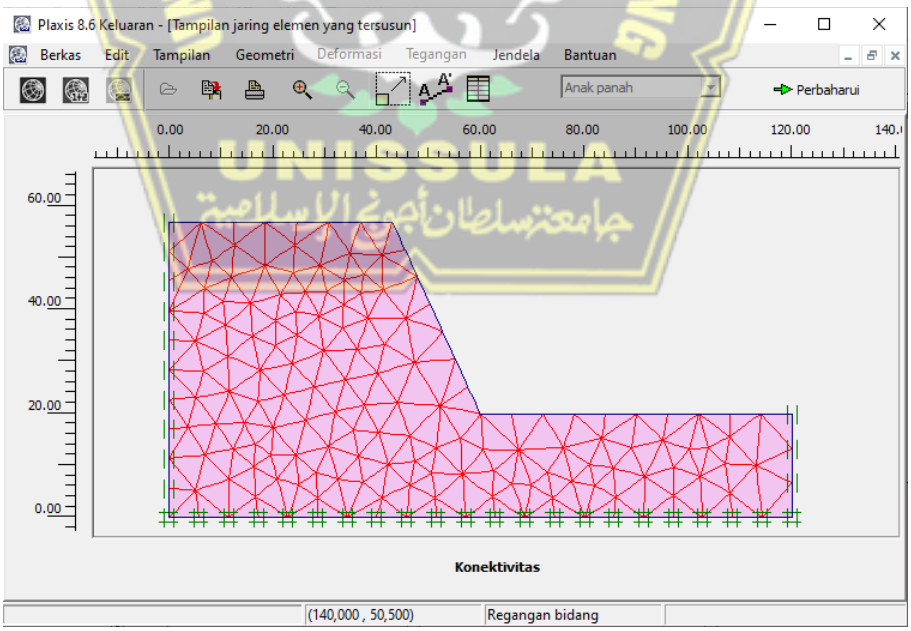
- Tinggi lereng : 37 m
- Panjang lereng : 60 m
- Sudut kemiringan lereng : 65˚



Gambar 4.3 Input Data Material

4.4.2. Pembuatan Jaring Elemen

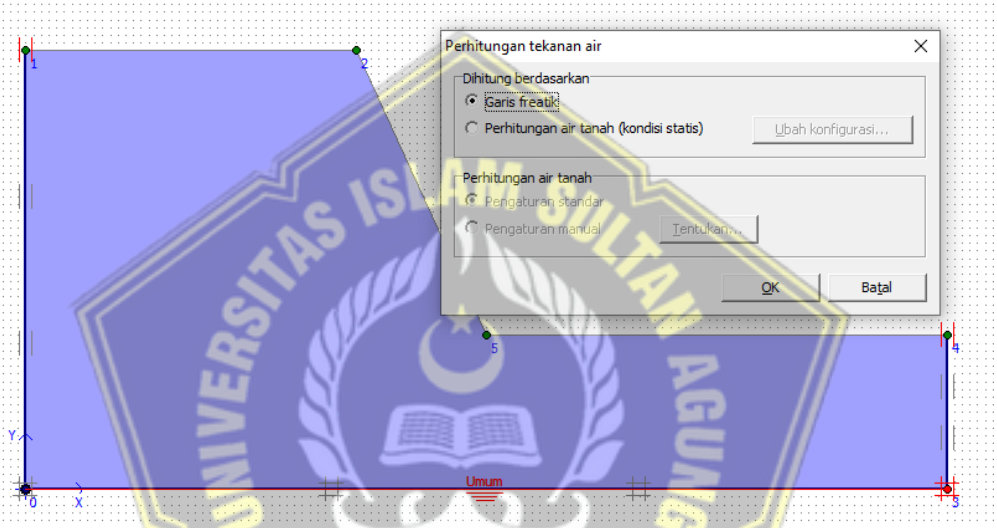
Langkah selanjutnya adalah model geometri dibagi menjadi elemen-elemen imajiner (*meshing*). Penyusunan jaring-jaring elemen pada program Plaxis ini digunakan jenis *fine*.



Gambar 4.4 Jaring-Jaring Elemen

4.4.3. Perhitungan Grafik Freatik

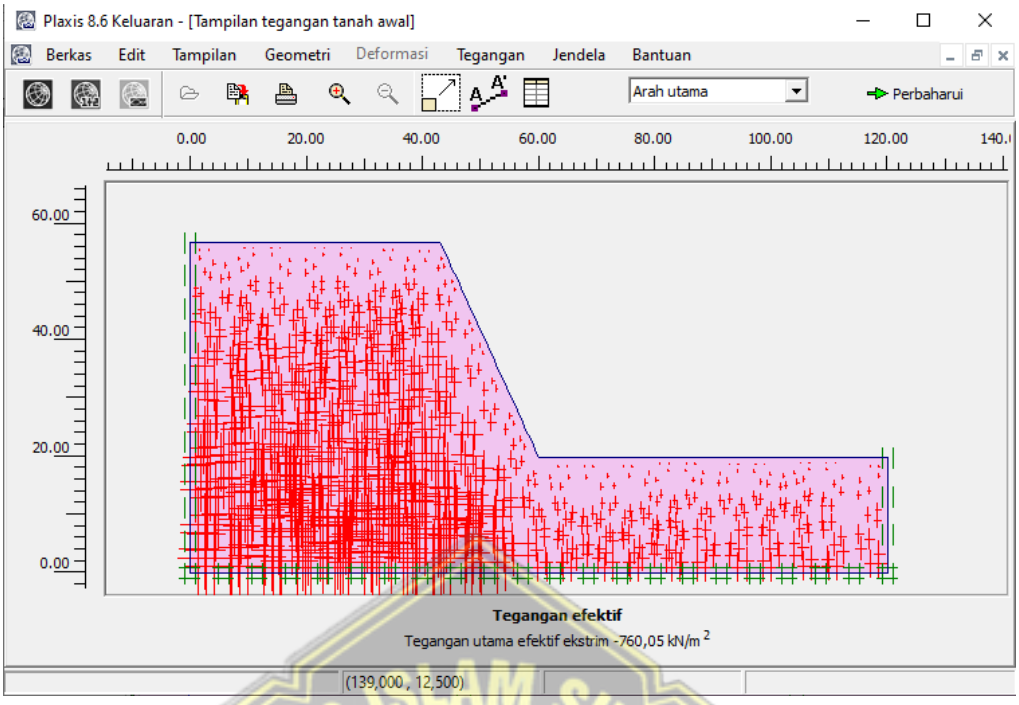
Setelah mengklik tombol kondisi awal pada toolbar, klik <OK> untuk menerima nilai prapilih dari berat isi air sebesar 10 kN/m^3. Modus kondisi air sekarang akan menjadi aktif, dimana tombol garis freatik telah terpilih. Secara prapilih, garis freatik global akan terbentuk di dasar geometri, lalu klik tombol hitung tekanan air (tanda positif berwarna biru) pada toolbar. Jendela perhitungan tekanan air akan muncul, pada jendela perhitungan tekanan air, pilih garis freatik dari kotak dihitung berdasarkan dan klik tombol <OK>.



Gambar 4.5 Perhitungan Grafik Freatik

4.4.4. Perhitungan Tegangan Awal

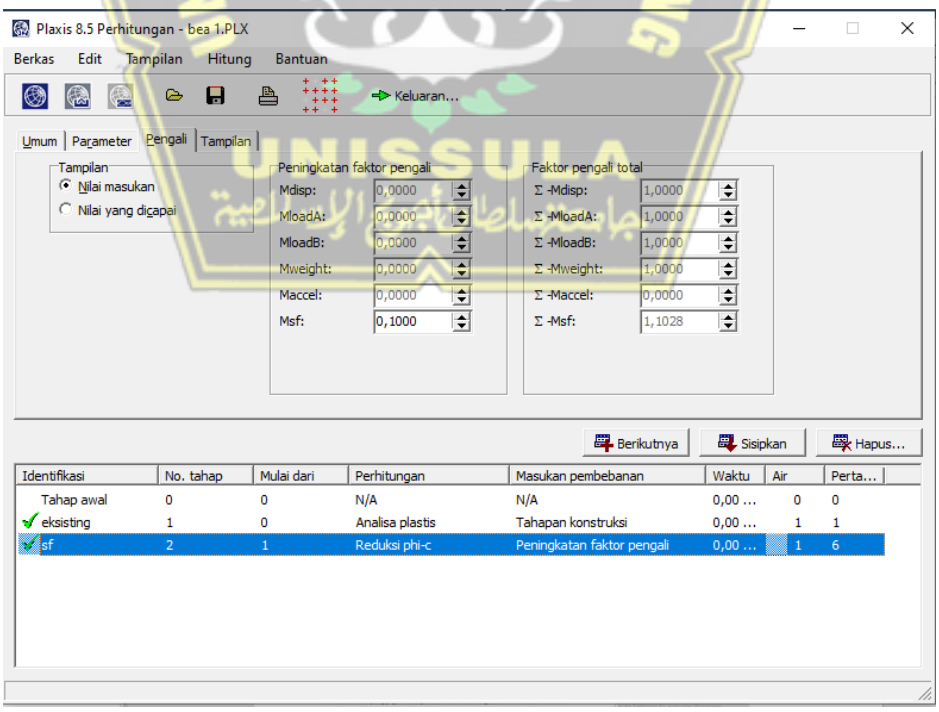
Tegangan awal dihitung dengan plastik dimana faktor pengali tanah adalah 1. Perhitungan ini disebut sebagai beban gravitasi (*gravity load*) dan dalam fase perhitungan hanya melibatkan struktur tanah dan batuan pembentuk lereng. Gambar tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



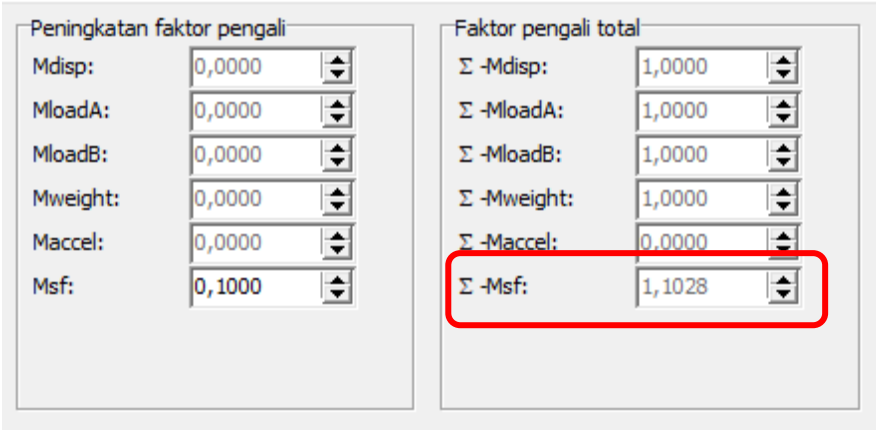
Gambar 4.6 Perhitungan Tegangan Awal

4.4.5. Tahap Perhitungan

Hasil *running* dari Program Plaxis V 8.6 dapat dilihat sebagai berikut:



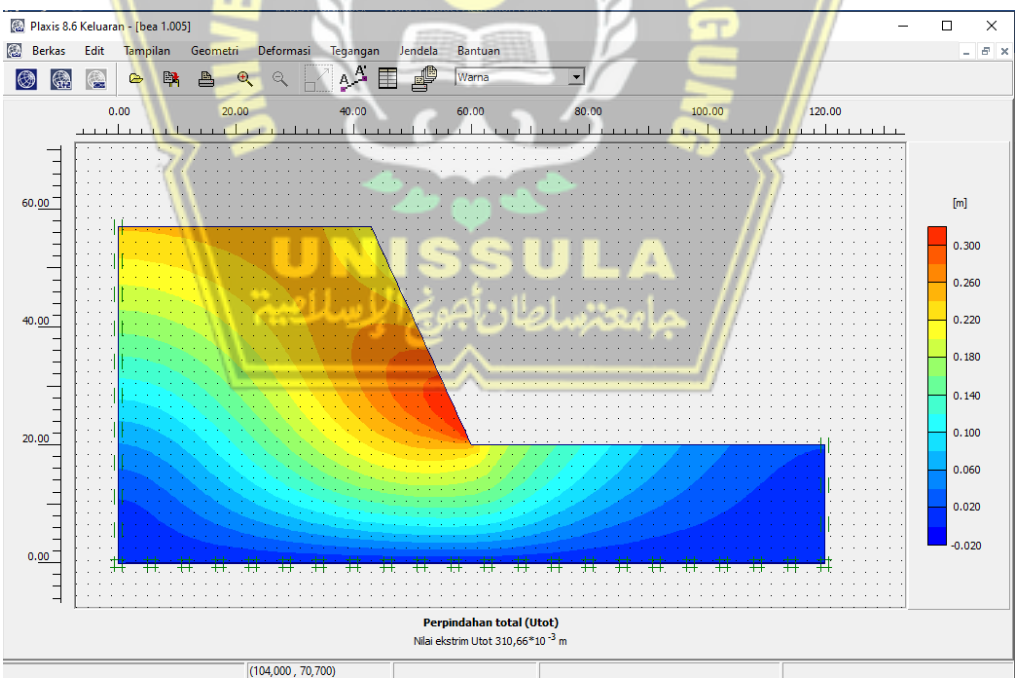
Gambar 4.7 Tahapan Perhitungan Plaxis 2D



Gambar 4.8 Tahapan Perhitungan Safety Factor Asli Lereng

Pada kondisi awal ini, faktor keamanan lereng asli yaitu 1,1028. Dengan nilai keamanan 1,1028 < 1,5 maka kondisi lereng diragukan keamanannya. Maka dari itu dilakkan perkuatan lereng dengan desain yang telah direncanakan.

Selain itu, keluaran dari Plaxis adalah nilai deformasi. Berikut adalah gambaran keluaran Plaxis yang juga menunjukkan letak titik nilai deformasi.



Gambar 4.9 Perpindahan Total sebesar 310,66 x 10^{-3} diskalakan 20 kali

4.5. Analisis Stabilitas Lereng Awal Manual Dengan Metode Bishop

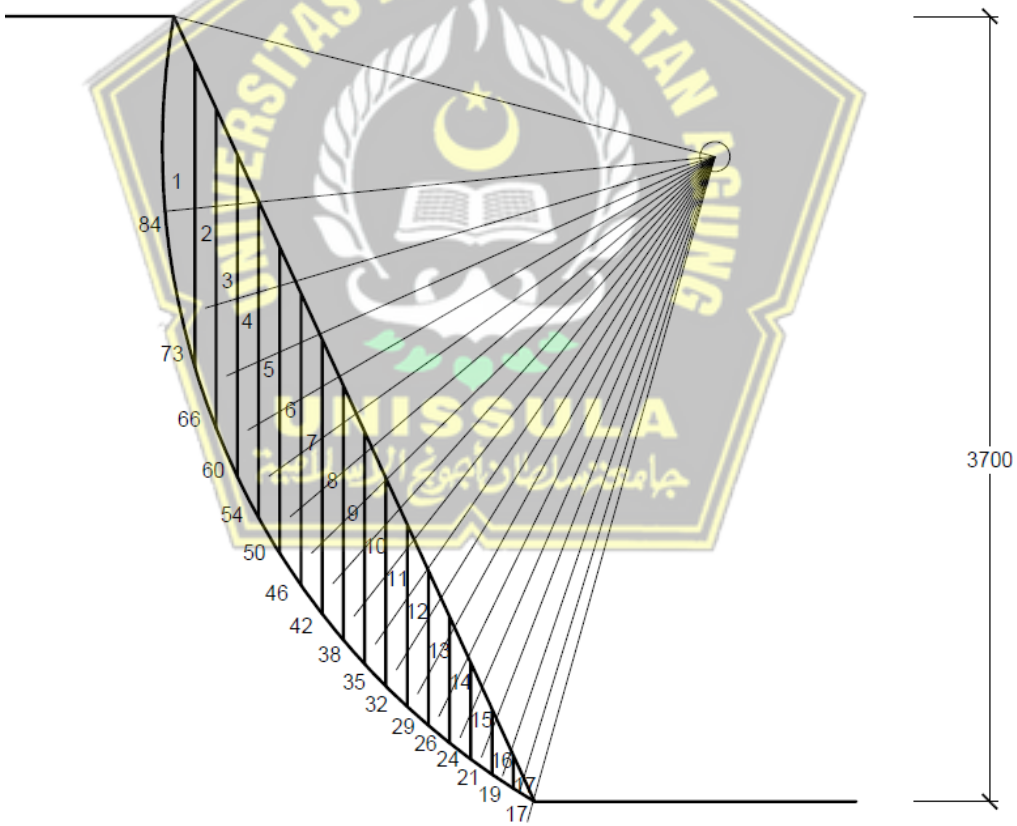
Analisis kestabilan lereng tanpa perkuatan lereng dilakukan pada stabilitas terhadap kelongsoran lereng. Dengan bantuan program didapatkan bentuk bidang gelincir yang mungkin terjadi, kemudian hasil perhitungan program dibandingkan dengan perhitungan manual dengan menggunakan metode bishop. Tinjauan perhitungan dilakukan selebar 1 m pada bidang gambar. Contoh perhitungan yang digunakan dalam analisis ini yaitu 1 variasi yang terlihat pada Gambar 4.10.

Data yang digunakan adalah data indeks properties. Data yang digunakan adalah sebagai berikut :

γ = 23,152 kN/m^3

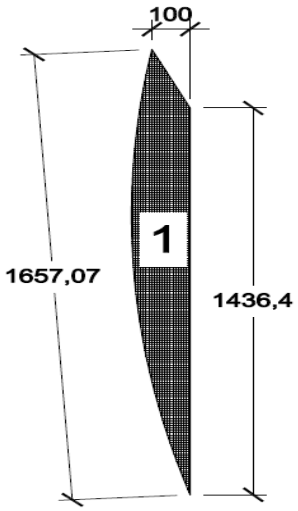
c = 2,815 kN/m^2

ϕ = 30,60˚



Gambar 4.10 Pembagian Pias Pada Lereng (Metode Bishop)

Perhitungan berat irisan tanah



W1	= γ x A1	= 23,152 x 7,712	= 178,548 kN
W2	= γ x A2	= 23,152 x 10,429	= 241,452 kN
W3	= γ x A3	= 23,152 x 11,470	= 265,553 kN
W4	= γ x A4	= 23,152 x 11,861	= 274,606 kN
W5	= γ x A5	= 23,152 x 11,864	= 274,675 kN
W6	= γ x A6	= 23,152 x 11,599	= 268,540 kN
W7	= γ x A7	= 23,152 x 11,134	= 257,774 kN
W8	= γ x A8	= 23,152 x 10,509	= 243,304 kN
W9	= γ x A9	= 23,152 x 9,755	= 225,848 kN
W10	= γ x A10	= 23,152 x 8,890	= 205,821 kN
W11	= γ x A11	= 23,152 x 7,930	= 183,595 kN
W12	= γ x A12	= 23,152 x 6,887	= 159,448 kN
W13	= γ x A13	= 23,152 x 5,770	= 133,587 kN
W14	= γ x A14	= 23,152 x 4,586	= 106,175 kN
W15	= γ x A15	= 23,152 x 3,342	= 77,374 kN
W16	= γ x A16	= 23,152 x 2,043	= 47,300 kN
W17	= γ x A17	= 23,152 x 0,691	= 15,998 kN

Tabel 4.2 Perhitungan Stabilitas Lereng Metode Bishop

No Irisan	A	b	α (˚)	W (kN)	W x sin α (kN)	W x tan ϕ (kN)	c' x b (kN)	σ (kN)	M1	F1
1	7,712	1	84	178,548	177,570	105,593	28,15	133,743	0,693	193,079
2	10,429	1	73	241,452	230,902	142,794	28,15	170,944	0,858	199,252
3	11,470	1	66	265,553	242,595	157,048	28,15	185,198	0,947	195,561
4	11,861	1	60	274,606	237,816	162,401	28,15	190,551	1,012	188,261
5	11,864	1	54	274,675	222,217	162,443	28,15	190,593	1,066	178,753
6	11,599	1	50	268,540	205,714	158,814	28,15	186,964	1,096	170,615
7	11,134	1	46	257,774	185,427	152,447	28,15	180,597	1,120	161,237
8	10,509	1	42	243,304	162,802	143,890	28,15	172,040	1,139	151,062
9	9,755	1	38	225,848	139,046	133,566	28,15	161,716	1,152	140,365
10	8,890	1	35	205,821	118,054	121,722	28,15	149,872	1,158	129,383
11	7,930	1	32	183,595	97,291	108,578	28,15	136,728	1,161	117,723
12	6,887	1	29	159,448	77,302	94,297	28,15	122,447	1,161	105,437
13	5,770	1	26	133,587	58,561	79,003	28,15	107,153	1,158	92,529
14	4,586	1	24	106,175	43,185	62,792	28,15	90,942	1,154	78,800
15	3,342	1	21	77,374	27,728	45,759	28,15	73,909	1,146	64,520
16	2,043	1	19	47,300	15,399	27,973	28,15	56,123	1,138	49,315
17	0,691	1	17	15,998	4,677	9,461	28,15	37,611	1,129	33,307
∑				3159,60	2246,287					2249,198

Hasil perhitungan pada tabel di atas menunjukkan jumlah perhitungan percobaan atau *trial and error* bahwa SF :

$$SF = \frac{\sum F1}{\sum Wtot \times \sin \alpha}$$

$$= \frac{2249,198}{2246,287}$$

= 1,0012 < 1,5 (Tidak Aman)

Nilai faktor keamanan (SF) yang didapatkan adalah 1,0012 < 1,5 yang berarti lereng dalam keadaan bahaya terhadap longsor.

4.6. Data Perkuatan Geogrugg

4.6.1. Nail Types

Pada perencanaan ini menggunakan *Nail* jenis GEWI D = 28 mm dengan karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.3 Karakteristik *Nail* GEWI D = 28 mm

Karakteristik *Nail*						
Nail Type	D_E (mm)	D_I (mm)	Δ (mm)	Fy (N/mm^2)	ft (N/mm^2)	G (kg/m)
GEWI D = 28 mm	28	0	4	500	550	4,83

Luas Penampang dan Tahanan Bantalan							
Nail Type	A (mm^2)	A_{red} (mm^2)	T_R (kN)	T_{Rred} (kN)	τy (N/mm^2)	S_R (kN)	S_{Rred} (kN)
GEWI D = 28 mm	616	452	308	226	289	178	131

(Sumber: www.geobrugg.com)

Keterangan:

D_E : Diameter luar untuk perhitungan statis

D_I : Diameter dalam lebih besar atau sama dengan diameter luar

Δ : Pengurangan diameter luar terkait karat

fy : Titik hasil oleh tegangan tarik Kekuatan tekanan

ft : Kekuatan tekanan

G : Berat batang baja per meter

A : Area penampang tanpa berkarat

A_{red} : Area penampang dengan karat pergi

$T_R = fy \cdot A$: Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik tanpa berkarat

$T_{Rred} = fy \cdot A_{red}$: Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik dengan karat

$\tau y = fy / 3^{0.5}$: Titik hasil oleh tegangan geser

$S_R = \tau y \cdot A$: Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser tanpa berkarat

$S_{Rred} = \tau y \cdot A_{red}$: Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser dengan karat

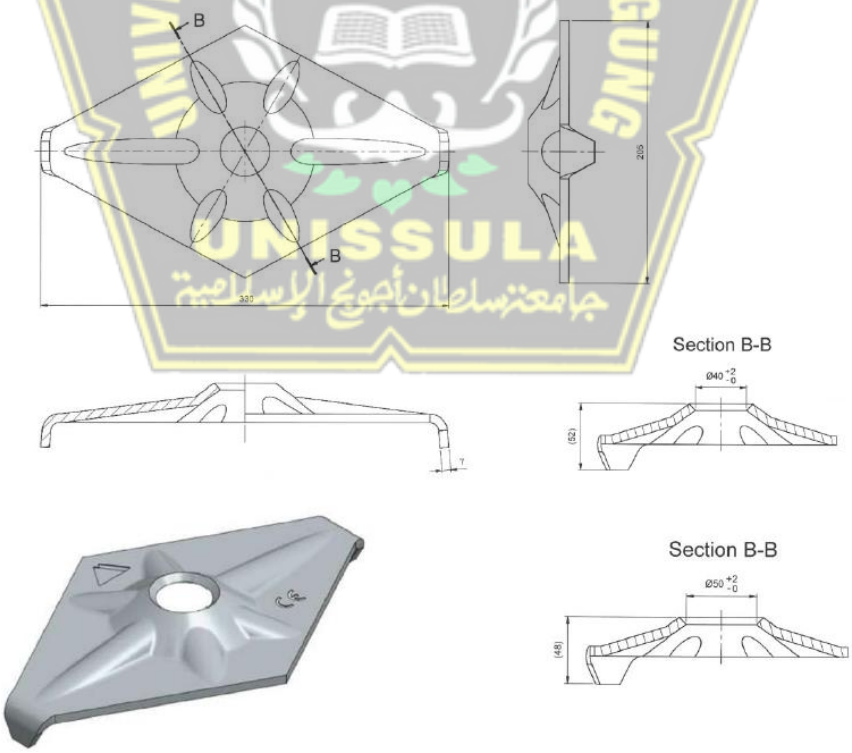
4.6.2. Spike Plate

Pada perencanaan ini menggunakan *Spike Plate* jenis P33 dengan karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.4 Karakteristik *Spike Plate* P33

Spike Plate P33	
Bentuk dasar	Berbentuk Berlian
Panjang	330 mm
Lebar	205 mm
Ketebalan	7 mm
Diameter lubang	40 mm / 50 mm
Berat	2,2 kg
Longitudinal bending resistance	≥ 2,5 kNm

(Sumber: www.geobrugg.com)



Gambar 4.11 *Spike Plate* P33

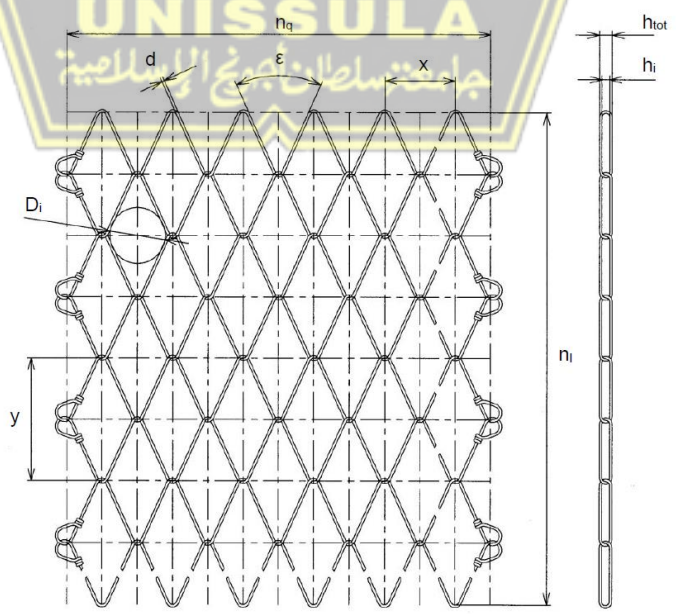
4.6.3. Mesh Types

Pada perencanaan ini menggunakan Jaring Kawat jenis TECCO G65/3 dengan karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.5 Karakteristik *High-tensile Steel Wire Mesh TECCO G65/3*

TECCO G65/3	
Bentuk jaring	Rhomboid
Material	*High-tensile steel wire*
Diagonal	x . y = 83 mm . 143 mm
Lebar jala	D_i = 65 mm
Diameter kawat	d = 3 mm
Sudut jala	ε = 49˚
Kuat tarik kawat baja	$F_t \geq 1770$ N/mm^2
Kekuatan tarik jaring	$Z_k \geq 150$ kN/m
Ketahanan bantalan jaring terhadap tusukan	$D_R \geq 180$ kN / 240 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan di tepi lereng atas pelat paku	$P_R \geq 90$ kN / 120 kN
Daya dukung *mesh* terhadap tegangan tarik *parelel-slope*	$Z_R \geq 30$ kN / 45 kN

(Sumber: www.geobrugg.com)



Gambar 4.12 *High-tensile Steel Wire Mesh TECCO G65/3*

4.6.4. TECMAT

Pada perencanaan ini menggunakan tikar pengontrol erosi TECMAT yang dipasang di bawah Jaring TECCO dengan karakteristik sebagai berikut:

Gambar 4.13 Tikar Pengontrol Erosi *Tecmat* Dipasang di Bawah Jaring TECCO (Sumber: Geobrugg, 2021)

Tabel 4.6 Karakteristik TECMAT

TECMAT	
Bahan	Polypropylene
Serat	Monofilamen yang diekstrusi
Struktur	Struktur melingkar yang tidak beraturan
Ketebalan	± 18 mm
Berat Areal	600 g/m^2
Lebar bukaan	± 5 – 15 mm
Void space	> 95%
Warna	Kari-hijau

(Sumber: www.geobrugg.com)

4.7. Analisis Manual Perkuatan Lereng Dengan Geobrugg

Analisis perhitungan manual perkuatan lereng dengan kombinasi antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, dan *soil nailing* menggunakan konsep dimensi RUVOLUM. Analisis perhitungan dilakukan pada lereng kondisi kering dan juga pada lereng kondisi basah. Analisis perhitungan dilakukan untuk menentukan jenis dan dimensi perkuatan yang menghasilkan lereng menjadi stabil.

4.7.1. Analisis Perkuatan Lereng Kondisi Kering

Analisis penentuan dimensi perkuatan sistem stabilisasi lereng terhadap ketidakstabilan secara rinci pada lereng kondisi kering, perhitungan yang dilakukan adalah :

Data Lereng

Kemiringan lereng	: α	= 65˚
Ketebalan lapisan	: t	= 1,00 m
Sudut gesekan tanah	: Φ_k	= 30,60˚
Berat volume tanah	: γ_k	= 23,2 kN/m^3
Kohesi	: c_k	= 2,8 kN/m^2
Radius kerucut tekanan, atas	: ζ	= 0,15 m
Kemiringan kerucut tekanan ke horizontal	: δ	= 45˚
Kekuatan lereng-paralel	: Z_d	= 15 kN
Kekuatan *pretensioning* dari sistem	: V	= 30 kN
Kemiringan *nail*	: ψ	= 25˚
Jarak *nail* horizontal	: a	= 1,80 m
Jarak *nail* di garis lereng	: b	= 1,80 m

Nilai Koreksi Keamanan Parsial

Nilai koreksi keamanan parsial untuk sudut gesekan	: γ_Φ	= 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk kohesi	: γ_C	= 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk berat volume	: γ_γ	= 1,5
Model nilai koreksi pasti	: γ_{mod}	= 1,5

Maka, nilai dimensi yang dihasilkan dari parameter geoteknik adalah:

Nilai dimensi dari sudut gesekan

Φ_d = arctan (tan Φ_k / γ_Φ)

Φ_d = arctan (tan $\frac{30,60}{1,5}$)

Φ_d = 21,5˚

Dimensi nilai kohesi

c_d = c_k / γ_c

c_d = $2,8 / 1,5$

c_d = 1,9 kN/m^2

Nilai dimensi berat volume tanah

γ_d = $\gamma_k \cdot \gamma_\gamma$

γ_d = 23,2 . 1,5

γ_d = 34,8 kN/m^3

Perkuatan yang digunakan

- Jaring baja tarik tinggi TECCO G65/3
- *Spike plate* sistem P33 disambungkan ke jaring TECCO
- *Soil nailing* GEWI D = 28 mm

Resistensi bantalan yang telah diperhitungkan

Jaring TECCO ditentukan dalam pengujian yang dilakukan di bawah pengawasan lembaga teknis independen LGA (Landesgewerbe Anstalt) di Nurnberg, Jerman.

Ketahanan bantalan elemen sistem jaring baja tarik tinggi TECCO G65/3 dan *System Spike Plate* P33.

- Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel selektif dan lereng

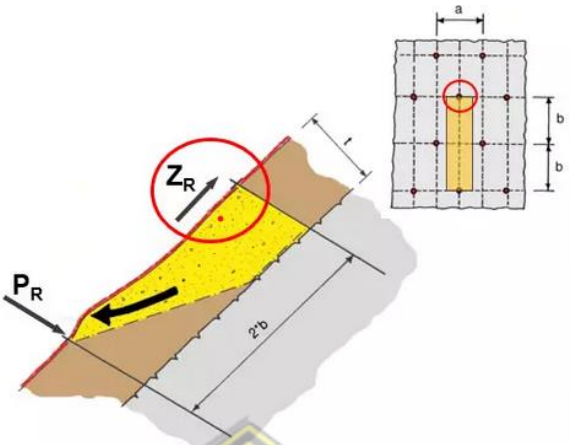
  Z_R = 30 kN

- Ketahanan bantalan jaring terhadap tekanan dalam arah *nail*

  D_R = 180 kN

- Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan pada *spike plate* ke arah *nail*

  P_R = 90 kN



Gambar 4.14 Ketahanan Bantalan Jaring

Untuk jenis *nail* yang diterapkan, resistensi bantalan berikut telah dipertimbangkan dimana karat umumnya diperhitungkan dengan mengurangi diameter paku sebesar 4 mm.

Jenis *nail* yang diterapkan adalah GEWI D = 28 mm

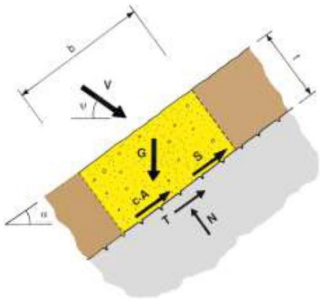
- Daya dukung paku terhadap tegangan tarik : T_{Rred} = 226 kN
- Daya dukung paku terhadap tegangan geser : S_{Rred} = 131 kN
- Permukaan penampang *nail* yang diaplikasikan dengan atau tanpa berkarat

  A_{red} = 452 mm^2

<u>Investigasi Ketidakstabilan Superfisial Lereng-Paralel</u>

Pertimbangan Keseimbangan

Cara menentukan regangan geser maksimum serta semua bukti keamanan bantalan yang sesuai disajikan berikut ini secara terperinci



Gambar 4.15 Bagian Lereng yang akan diselidiki

Berat benda geser

G = a . b . t . γ_d

G = 1,8 . 1,8 . 1,0 . 34,8

G = 112,75 kN

Luas permukaan geser

A = a . b

A = 1,8 . 1,8

A = 3,24 m^2

Kekuatan *pretensioning* efektif diterapkan pada nail

V = 30 kN

Load factor untuk pengaruh positif pretensi

γ_{VI} = 0,8

Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V

V_{dI} = V . γ_{d1}

V_{dI} = 30 . 0,8

V_{dI} = 24 kN

Gaya geser yang ditinjau dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{d1} pada tingkat dimensi

$$S_d = \frac{1}{\gamma_{mod}} \times \{\gamma_{mod} \times G \times \sin\alpha - V_{dI} \times \gamma_{mod} \times \cos\ (\psi + \alpha) - c_d \times A - [G \times \cos\alpha + V_{dI} \times \sin(\psi + \alpha)] \times \tan\Phi_d\}$$

$$S_d = \frac{1}{1,5} \times \{1,5 \times 112,75 \times \sin 65 - 24 \times 1,5 \times \cos(25 + 65) - 1,9 \times 3,24 - [112,75 \times \cos 65 + 24 \times \sin(25 + 65)] \times \tan 21,5\}$$

S_d = 79,26 kN

Proof of bearing safety (investigasi ketidakstabilan superfisial lereng-paralel)

a) Bukti *nail* terhadap longsor lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng

Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser

S_R = τ_y . A, dimana $\tau_y = f_y / \sqrt{3}$

Keterangan:

fy = tegangan leleh

A = penampang *nail* yang efektif secara statis

S_R = τ_y . A

S_{Rred} = $500/\sqrt{3} \times 452$

S_{Rred} = 131 kN

Nilai koreksi resistensi untuk pemotongan *nail*

γ_{SR} = 1,5

Nilai dimensi ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser

S_{Rred}/γ_{SR} = $131/1{,}5$

= 87,3 kN

Bukti *nail* terhadap luncuran superfisial yang sejajar dengan lereng

S_d ≤ S_{Rred}/γ_{SR}

79,26 ≤ 87,3 (OK)

b) Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*

Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada *nail*

V = 30 kN

Faktor pengaruh utama

γ_{VII} = 1,5

Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*

V_{dII} = V . γ_{VII}

V_{dII} = 30 . 1,5

V_{dII} = 45 kN

Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekanan ke arah *nail*

D_R = 180 kN

Nilai koreksi resistensi untuk menusuk

γ_{DR} = 1,5

Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap tegangan tekan

D_R/γ_{DR} = $180/1{,}5$

= 120 kN

Bukti keamanan bantalan

V_{dII} $\leq {D_R}/{\gamma_{DR}}$

45 $\leq$ 120 (OK)

c) Bukti *nail* untuk *combined stress*

Faktor beban untuk pengaruh negatif pretensi V

γ_{VII} = 1,5

Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*

V_{dII} = 45 kN

Gaya geser yang dibutuhkan secara kalkulator pada tingkat dimensi dalam fungsi V_{dII}

S_d = 79,26 kN

Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser

S_{Rred} = 131 kN

Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik

T_{Rred} = f_y . A

T_{Rred} = 500 . 452

T_{Rred} = 226000 N

T_{Rred} = 226 kN

Nilai koreksi tahanan untuk tegangan tarik

γ_{VR} = 1,5

Nilai koreksi resistansi untuk tegangan geser

γ_{SR} = 1,5

Bukti keamanan bantalan

$$\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

$$\left\{\left[\frac{45}{\left({226}/{1,5}\right)}\right]^2 + \left[\frac{79,26}{\left({131}/{1,5}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

0,956 $\leq$ 1 (OK)

Nilai dimensi gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang *nail*

Syarat : $T_{d,\,min} \geq V_d$

$T_{d,\,min} \geq P_d$

$T_{d,\,max} \leq T_{R,d}$ masing-masing $T_{R,red,d}$

$T_d = {S_d}/{tan_{\Phi d}}$

$T_d = {79{,}26}/{\tan 21{,}5}$

$T_d = 150{,}7$ kN

Panjang *nail* ke lapisan bawah tanah yang stabil

$I_b = {T_d}/{skin\ friction}$

$I_b = 6$ m

<u>Investigasi Ketidakstabilan Lokal Antara Paku Tunggal</u>

a) Mekanisme Kegagalan A

Perhitungan menyelidiki mekanisme geser 1 tubuh

Kemiringan lereng : $\alpha = 65^\circ$

Ketebalan lapisan : $t = 1{,}0$ m

Ketebalan mekanisme geser : $t_i = 0{,}6$ m

Kemiringan *nail* : $\psi = 25^\circ$

Jarak *nail* horizontal : $a = 1{,}80$ m

Jarak *nail* di garis lereng : $b = 1{,}80$ m

$$\beta = \alpha - \arctan\left\{\frac{t_i}{\left[2b + {ti}/{\tan(\alpha+\psi)}\right]}\right\}$$

$$= 65 - \arctan\left\{\frac{0{,}6}{\left[2 \times 1{,}8 + {0{,}6}/{\tan(65+25)}\right]}\right\}$$

$= 65 - 9{,}46$

$= 55{,}54^\circ$

$$\beta_2 = \alpha - \arctan\left\{\frac{t}{\left[2b + {t}/{\tan(\alpha+\psi)}\right]}\right\}$$

$$= 65 - \arctan\left\{\frac{1{,}0}{\left[2 \times 1{,}8 + {1{,}0}/{\tan(65+25)}\right]}\right\}$$

$= 65 - 15.52 \quad = 49{,}48^\circ$

ρ = $\alpha - \beta$

= 65 – 55,54

= 9,46˚

h = 2b x sin ρ

= 2 (1,80) x sin 9,46

= 0,59 m

L_1 = $\frac{h}{tan(\psi+\beta)} = \frac{(2b \times \sin\rho)}{tan(\psi+\beta)}$

= $\frac{(2\ (1{,}80) \times \sin 9{,}46)}{tan(25+55{,}54)}$

= 0,09 m

L_2 = 2b x cos ρ

= 2 (1,80) x cos 9,46

= 3,55 m

F_1 = h x $L_1/2$

= 0,59 x $0{,}09/2$

= 0,026 m^2

F_2 = h x $L_2/2$

= 0,59 x $3{,}55/2$

= 1,047 m^2

F = $F_1 + F_2$

= 0,026 + 1,047

= 1,073 m^2

a_{red} = $\frac{a - t_i}{tan\,\delta} - 2\zeta$

= $\frac{1{,}8 - 0{,}6}{tan\,45} - 2\ (0{,}15)$

= 0,9 m

Berat dari mekanisme geser yang diselidiki

G = F . a_{red} . γ_d

G = 1,073 . 0,9 . 34,8

G = 33,61 kN

Luas permukaan geser dari mekanisme yang diselidiki

A = $(L_1 + L_2)$ x a_{red}

A = (0,09 + 3,55) x 0,9

A = 3,27 m^2

Kekuatan maksimum P

$$P_d = \frac{\{G \times [\gamma_{mod} \times \sin\beta - \cos\beta \times \tan\varphi_d] - Z_d \times [\gamma_{mod} \times \cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \times \tan\varphi_d] - c_d \times A\}}{\{\gamma_{mod} \times \cos(\beta + \psi) + \sin(\beta + \psi) \times \tan\varphi_d\}}$$

$$P_d = \{33{,}61 \times [\,1{,}5 \times \sin 55{,}54 - \cos 55{,}54 \times \tan 21{,}5\,] - 15 \times [1{,}5 \times \cos(65 - 55{,}54) - \sin(65 - 55{,}54) \times \tan 21{,}5] - 1{,}9 \times 3{,}27\}/ \{1{,}5 \times \cos(55{,}54 + 25) + \sin(55{,}54 + 25) \times \tan 21{,}5\}$$

$$P_d = {}^{6{,}67}/_{0{,}64}$$

P_d = 10,49 kN

b) Mekanisme Kegagalan B

Perhitungan menyelidiki mekanisme geser 2 tubuh. Dalam penyelidikan sebelumnya, kemiringan permukaan geser terlah bervariasi antara 0 ..... β_1 di satu sisi. Di sisi lain, ketebalan t_i telah diubah antara 0 .....t dengan bertujuan untuk menemukan kasus yang paling kritis.

Ketebalan mekanisme geser : t_i = 0,6 m

Kemiringan lereng : α = 65˚

Kemiringan permukaan geser : β = 45˚

Kemiringan nail : ψ = 25˚

Jarak nail horizontal : a = 1,80 m

Jarak nail di garis lereng : b = 1,80 m

$$\rho_1 = \arctan\left({}^{t_i}/_{2b}\right)$$

$$= \arctan\left({}^{0{,}6}/_{2\,.\,1{,}8}\right)$$

= 9,46˚

$$L_1 = 2b - {}^{t_i}/_{\tan(\alpha - \beta)} + {}^{t_i}/_{\tan(\alpha + \psi)}$$

$$= 2\,(1{,}8) - {}^{0{,}6}/_{\tan(65 - 45)} + {}^{0{,}6}/_{\tan(65 + 25)}$$

= 1,95 m

L_2 $= {t_i}/{sin\ (\alpha - \beta)}$

$= {0,6}/{sin\ (65 - 45)}$

= 1,75 m

F_1 $= t_i \cdot \left[2b - {t_i}/{tan(\alpha - \beta)}\right] + {t_i^2}/{[2\ x\ tan(\alpha + \psi)]}$

$= 0,6 \cdot \left[2\ (1,8) - {0,6}/{tan(65 - 45)}\right] + {0,6^2}/{[2\ x\ tan(65 + 25)]}$

= 1,17 m^2

F_2 $= {t_i^2}/{[2\ x\ tan(\alpha - \beta)]}$

$= {0,6^2}/{[2\ x\ tan(65 - 45)]}$

= 0,49 m^2

F $= F_1 + F_2$

= 1,17 + 0,49

= 1,66 m^2

a_{red} $= \frac{a - t_i}{tan\ \delta} - 2\zeta$

$= \frac{1,8 - 0,6}{tan\ 45} - 2\ (0,15)$

= 0,9 m

Berat lereng I

G_1 $= F_1 \cdot a_{red} \cdot \gamma_k \cdot \gamma_\gamma$

= 1,17 . 0,9 . 23,2 . 1,5

= 36,64 kN

Berat lereng II

G_2 $= F_2 \cdot a_{red} \cdot \gamma_k \cdot \gamma_\gamma$

= 0,49 . 0,9 . 23,2 . 1,5

= 15,35 kN

Luas permukaan luncur yang diselidiki I

A_1 $= L_1$ x a_{red}

= 1,95 x 0,9

= 1,755 m^2

Luas permukaan luncur yang diselidiki II

$A_2 = L_2 \times a_{red}$

$= 1{,}75 \times 0{,}9$

$= 1{,}575\ m^2$

Contact force X

$$X = \frac{1}{\gamma_{mod}} \times \{G_1 \times (\gamma_{mod} \times \sin\alpha - \cos\alpha \times \tan\varphi_d) - c_d \times A_1\}$$

$$X = \frac{1}{1{,}5} \times \{36{,}64 \times (1{,}5 \times \sin 65 - \cos 65 \times \tan 21{,}5) - 1{,}9 \times 1{,}755\}$$

$X = 26{,}92$ kN

Kekuatan maksimum P

$$P = \frac{\{G_2 \times [\gamma_{mod} \times \sin\beta - \cos\beta \times \tan\varphi_d] + (X - Z_d) \times [\gamma_{mod} \times \cos(\alpha-\beta) - \sin(\alpha-\beta) \times \tan\varphi_d] - c_d \times A_2\}}{\{\gamma_{mod} \times \cos(\beta+\psi) + \sin(\beta+\psi) \times \tan\varphi_d\}}$$

$$P = \{15{,}35 \times [1{,}5 \times \sin 45 - \cos 45 \times \tan 21{,}5] + (26{,}92 - 15) \times [1{,}5 \times \cos(65-45) - \sin(65-45) \times \tan 21{,}5] - 1{,}9 \times 1{,}575\} / \{1{,}5 \times \cos(45+25) + \sin(45+25) \times \tan 21{,}5\}$$

$$P = {}^{24{,}37}/_{0{,}88}$$

$P = 27{,}7$ kN

Proof of bearing safety (investigasi ketidakstabilan lokal antara paku tunggal)

Membandingkan hasil penyelidikan kasus A dengan hasil kasus B, maka gaya maksimum P_d = 27,7 kN harus diperhitungkan.

a) Bukti mesh terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*

Tegangan geser maksimum pada jaring di tepi lereng atas *spike plate* (tingkat dimensi)

$P_d = 27{,}7$ kN

Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan dalam arah paku

$P_R = 90$ kN

Nilai koreksi resistansi

$\gamma_{PR} = 1{,}5$

Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap *shearing-off*

$${}^{P_R}/_{\gamma_{PR}} = {}^{90}/_{1{,}5}$$

$= 60$ kN

Bukti keamanan bantalan

$P_d \leq {}^{P_R}/_{\gamma_{PR}}$

27,7 ≤ 60 (OK)

b) Bukti mesh untuk transmisis selektif dari gaya paralel-slope Z

Tegangan dalam arah paralel lereng

Z_d = 15 kN

Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel-selektif

Z_R = 30 kN

Nilai koreksi resistansi untuk transmisi selektif, kemiringan-paralel gaya Z

γ_{ZR} = 1,5

Nilai dimensi ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik

${}^{Z_R}/_{\gamma_{ZR}} = {}^{30}/_{1,5}$

= 20 kN

Bukti keamanan bantalan

$Z_d \leq {}^{Z_R}/_{\gamma_{ZR}}$

15 ≤ 20 (OK)

c) Bukti *nail* untuk *combined stress*

Bukti keamanan bantalan

$$\left\{\left[\frac{P_d}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

$$\left\{\left[\frac{27,7}{\left({}^{226}/_{1,5}\right)}\right]^2 + \left[\frac{79,26}{\left({}^{131}/_{1,5}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

0,927 ≤ 1 (OK)

<u>Pembuktian Keseluruhan</u>

- Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*

$P_d \leq {}^{P_R}/_{\gamma_{PR}}$

27,7 ≤ 60 (OK)

- Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail*

  $Z_d \leq {Z_R}/{\gamma_{ZR}}$

  15 ≤ 20 (OK)

- Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng

  $S_d \leq {S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}$

  79,26 ≤ 87,3 (OK)

- Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*

  $V_{dII} \leq {D_R}/{\gamma_{DR}}$

  45 ≤ 120 (OK)

- Bukti *nail* untuk *combined stress*

  $$\left\{\left[\frac{V_{d2}}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

  0,956 ≤ 1 (OK)

  $$\left\{\left[\frac{P_d}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

  0,927 ≤ 1 (OK)

Berdasarkan perhitungan manual sistem stabilisasi perkuatan lereng kondisi kering menggunakan jaring kawat tipe TECCO G65/3 dan *spike plate* tipe P33 dan *soil nailing* tipe GEWI D = 28 mm dengan jarak 1,80 m didapatkan gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku T_d = 150,7 kN. Sehingga panjang paku yang digunakan sepanjang I_b = 6 m.

Bukti keamanan keseluruhan antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* sudah terpenuhi yang berarti lereng sudah dalam keadaan aman dengan perkuatan tersebut.

4.7.2. Analisis Perkuatan Lereng Kondisi Basah

Analisis penentuan dimensi perkuatan sistem stabilisasi lereng terhadap ketidakstabilan secara rinci pada lereng kondisi basah dengan memasukkan *streaming pressure*, perhitungan yang dilakukan adalah :

Data Lereng

Kemiringan lereng	: α	= 65˚
Ketebalan lapisan	: t	= 1,00 m
Sudut gesekan tanah	: Φ_k	= 30,60˚
Berat volume tanah	: γ_k	= 23,2 kN/m^3
Kohesi	: c_k	= 2,8 kN/m^2
Radius kerucut tekanan, atas	: ζ	= 0,15 m
Kemiringan kerucut tekanan ke horizontal	: δ	= 45˚
Kekuatan lereng-paralel	: Z_d	= 15 kN
Kekuatan *pretensioning* dari sistem	: V	= 30 kN
Kemiringan *nail*	: ψ	= 25˚
Jarak *nail* horizontal	: a	= 1,80 m
Jarak *nail* di garis lereng	: b	= 1,80 m

Nilai Koreksi Keamanan Parsial

Nilai koreksi keamanan parsial untuk sudut gesekan	: γ_Φ	= 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk kohesi	: γ_C	= 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk berat volume	: γ_γ	= 1,5
Model nilai koreksi pasti	: γ_{mod}	= 1,5

Maka, nilai dimensi yang dihasilkan dari parameter geoteknik adalah:

Nilai dimensi dari sudut gesekan

Φ_d = arctan (tan Φ_k / γ_Φ)

Φ_d = arctan (tan $\frac{30,60}{1,5}$)

Φ_d = 21,5˚

Dimensi nilai kohesi

$c_d = {}^{c_k}/_{\gamma_c}$

$c_d = {}^{2,8}/_{1,5}$

$c_d = 1,9\ kN/m^2$

Nilai dimensi berat volume tanah

$\gamma_d = \gamma_k \cdot \gamma_\gamma$

$\gamma_d = 23,2 \cdot 1,5$

$\gamma_d = 34,8\ kN/m^3$

Perkuatan yang digunakan

- Jaring baja tarik tinggi TECCO G65/3
- *Spike plate* sistem P33 disambungkan ke jaring TECCO
- *Soil nailing* GEWI D = 28 mm

Resistensi bantalan yang telah diperhitungkan

Jaring TECCO ditentukan dalam pengujian yang dilakukan di bawah pengawasan lembaga teknis independen LGA (Landesgewerbe Anstalt) di Nurnberg, Jerman.

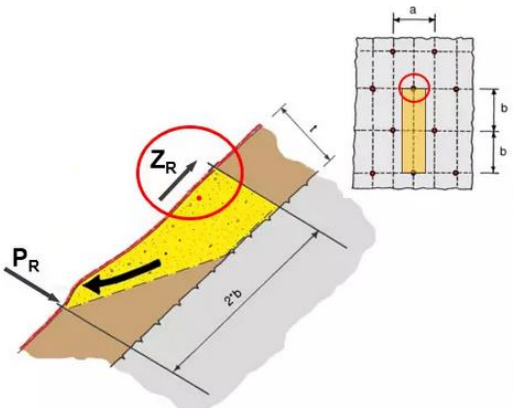
Ketahanan bantalan elemen sistem jaring baja tarik tinggi TECCO G65/3 dan *System Spike Plate* P33.

- Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel selektif dan lereng

  $Z_R = 30\ kN$
- Ketahanan bantalan jaring terhadap tekanan dalam arah *nail*

  $D_R = 180\ kN$
- Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan pada *spike plate* ke arah *nail*

  $P_R = 90\ kN$



Gambar 4.16 Ketahanan Bantalan Jaring

Untuk jenis *nail* yang diterapkan, resistensi bantalan berikut telah dipertimbangkan dimana karat umumnya diperhitungan dengan mengurangi diameter paku sebesar 4 mm.

Jenis *nail* yang diterapkan adalah GEWI D = 28 mm

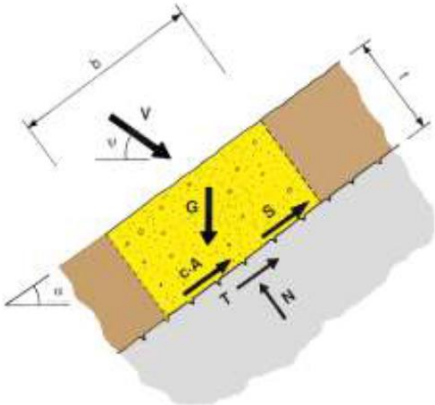
- Daya dukung paku terhadap tegangan tarik : T_{Rred} = 226 kN
- Daya dukung paku terhadap tegangan geser : S_{Rred} = 131 kN
- Permukaan penampang *nail* yang diaplikasikan dengan atau tanpa berkarat

  A_{red} = 452 mm^2

<u>Investigasi Ketidakstabilan Superfisial Lereng-Paralel</u>

Pertimbangan Keseimbangan

Cara menentukan regangan geser maksimum serta semua bukti keamanan bantalan yang sesuai disajikan berikut ini secara terperinci



Gambar 4.17 Bagian Lereng yang akan diselidiki

Berat benda geser

G = a . b . t . γ_d

G = 1,8 . 1,8 . 1,0 . 34,8

G = 112,75 kN

Luas permukaan geser

A = a . b

A = 1,8 . 1,8

A = 3,24 m^2

Kekuatan *pretensioning* efektif diterapkan pada nail

V = 30 kN

Load factor untuk pengaruh positif pretensi

γ_{VI} = 0,8

Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V

V_{dI} = V . γ_{d1}

V_{dI} = 30 . 0,8

V_{dI} = 24 kN

Gaya aliran yang dihasilkan sejajar dengan lereng

F_s = γ_w . i . a . b . t

F_s = γ_w . sin α . a . b . t

F_s = 10 . sin 65 . 1,8 . 1,8 . 1,0

F_s = 29,36 kN

Gaya geser yang ditinjau dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{dI} pada tingkat dimensi

S_d = $G \times \sin \alpha - V_{dI} \times \cos (\psi + \alpha) + F_s - ([V_{dI} \times \sin (\psi + \alpha) + G \times \cos \alpha] \times \tan \varphi + cd \times A) / \gamma_{mod}$

S_d = $112{,}75 \times \sin 65 - 24 \times \cos (25 + 65) + 29{,}36 - ([24 \times \sin (25 + 65) + 112{,}75 \times \cos 65] \times \tan 21{,}5 + 1{,}9 \times 3{,}24)/1{,}5$

S_d = 82,9 kN

Proof of bearing safety (investigasi ketidakstabilan superfisial lereng-paralel)

a) Bukti *nail* terhadap longsor lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng

Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser

S_R = τ_y . A, dimana $\tau_y = f_y / \sqrt{3}$

Keterangan :

f_y = tegangan leleh

A = penampang *nail* yang efektif secara statis

S_R = τ_y . A

S_{Rred} = $500 / \sqrt{3} \times 452$

S_{Rred} = 131 Kn

Nilai koreksi resistensi untuk pemotongan *nail*

γ_{SR} = 1,5

Nilai dimensi ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser

S_{Rred} / γ_{SR} = $131 / 1{,}5$

= 87,3 kN

Bukti *nail* terhadap luncuran superfisial yang sejajar dengan lereng

S_d ≤ S_{Rred} / γ_{SR}

82,9 ≤ 87,3 (OK)

b) Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*

Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada *nail*

V = 30 kN

Faktor pengaruh utama

γ_{VII} = 1,5

Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*

V_{dII} = V . γ_{VII}

V_{dII} = 30 . 1,5

V_{dII} = 45 kN

Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekanan ke arah *nail*

D_R = 180 kN

Nilai koreksi resistensi untuk menusuk

γ_{DR} = 1,5

Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap tegangan tekan

$D_R/\gamma_{DR} = 180/1{,}5$

= 120 kN

Bukti keamanan bantalan

$V_{dII} \leq D_R/\gamma_{DR}$

45 ≤ 120 (OK)

c) Bukti *nail* untuk *combined stress*

Faktor beban untuk pengaruh negatif pretensi V

γ_{VII} = 1,5

Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*

V_{dII} = 45 kN

Gaya geser yang dibutuhkan secara kalkulator pada tingkat dimensi dalam fungsi V_{dII}

S_d = 82,9 kN

Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser

S_{Rred} = 131 kN

Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik

$T_{Rred} = f_y \cdot A$

T_{Rred} = 500 . 452

T_{Rred} = 226000 N

T_{Rred} = 226 kN

Nilai koreksi tahanan untuk tegangan tarik

γ_{VR} = 1,5

Nilai koreksi resistansi untuk tegangan geser

γ_{SR} = 1,5

Bukti keamanan bantalan

$$\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left(T_{Rred}/\gamma_{VR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

$$\left\{\left[\frac{45}{\left(226/1,5\right)}\right]^2 + \left[\frac{82,9}{\left(131/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

0,995 ≤ 1 (OK)

Nilai dimensi gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang *nail*

Syarat : $T_{d,\,min} \geq V_d$

$T_{d,\,min} \geq P_d$

$T_{d,\,max} \leq T_{R,d}$ masing-masing $T_{R,red,d}$

$T_d = S_d / tan_{\Phi d}$

$T_d = 82,9 / \tan 21,5$

T_d = 150,7 kN

Panjang *nail* ke lapisan bawah tanah yang stabil

$I_b = T_d / skin\ friction$

I_b = 6 m

<u>Investigasi Ketidakstabilan Lokal Antara Paku Tunggal</u>

a) Mekanisme Kegagalan A

Perhitungan menyelidiki mekanisme geser 1 tubuh

Kemiringan lereng : α = 65˚

Ketebalan lapisan : t = 1,0 m

Ketebalan mekanisme geser : t_i = 0,6 m

Kemiringan *nail* : ψ = 25˚

Jarak *nail* horizontal : a = 1,80 m

Jarak *nail* di garis lereng : b = 1,80 m

$$\beta = \alpha - \arctan\left\{\frac{t_i}{\left[2b + {}^{ti}/_{\tan(\alpha+\psi)}\right]}\right\}$$

$$= 65 - \arctan\left\{\frac{0,6}{\left[2 \times 1,8 + {}^{0,6}/_{\tan(65+25)}\right]}\right\}$$

= 65 – 9,46

= 55,54˚

β_2 $= \alpha - \arctan\left\{\frac{t}{\left[2b + {}^{t}/_{\tan(\alpha+\psi)}\right]}\right\}$

$= 65 - \arctan\left\{\frac{1{,}0}{\left[2 \times 1{,}8 + {}^{1{,}0}/_{\tan(65+25)}\right]}\right\}$

= 65 – 15.52

= 49,48˚

ρ $= \alpha - \beta$

= 65 – 55,54

= 9,46˚

h = 2b x sin ρ

= 2 (1,80) x sin 9,46

= 0,59 m

L_1 $= \frac{h}{tan(\psi+\beta)} = \frac{(2b \times \sin\rho)}{tan(\psi+\beta)}$

$= \frac{(2\ (1{,}80) \times \sin 9{,}46)}{tan(25+55{,}54)}$

= 0,09 m

L_2 = 2b x cos ρ

= 2 (1,80) x cos 9,46

= 3,55 m

F_1 $= h \times {}^{L_1}/_{2}$

$= 0{,}59 \times {}^{0{,}09}/_{2}$

= 0,026 m^2

F_2 $= h \times {}^{L_2}/_{2}$

$= 0{,}59 \times {}^{3{,}55}/_{2}$

= 1,047 m^2

F $= F_1 + F_2$

= 0,026 + 1,047

= 1,073 m^2

a_{red} $= \frac{a - t_i}{tan\,\delta} - 2\zeta$

$= \frac{1{,}8 - 0{,}6}{tan\,45} - 2\,(0{,}15)$

= 0,9 m

Berat dari mekanisme geser yang diselidiki

G = F . a_{red} . γ_d

G = 1,073 . 0,9 . 34,8

G = 33,61 kN

Luas permukaan geser dari mekanisme yang diselidiki

A = (L_1 + L_2) x a_{red}

A = (0,09 + 3,55) x 0,9

A = 3,27 m^2

Gaya aliran yang dihasilkan sejajar dengan lereng

F_s = γ_w . i . a . b . t

F_s = γ_w . sin α . a . b . t

F_s = 10 . sin 65 . 1,8 . 1,8 . 1,0

F_s = 29,36 kN

Kekuatan maksimum P

$$P_d = \frac{F_s \times cos\,(\alpha - \beta) + G \times sin\,\beta - Z_d \times cos\,(\alpha - \beta) - \frac{[G \times cos\,\beta - Z_d \times \sin(\alpha - \beta)] + F_s \times \sin(\alpha - \beta)] \times tan\,\varphi_d + c_d \times A}{\gamma_{mod}}}{cos\,(\beta + \psi) + sin\,(\beta + \psi) \times \frac{tan\,\varphi_d}{\gamma_{mod}}}$$

P_d = $(29{,}36 \times cos\,(65 - 55{,}54) + 33{,}61 \times sin\,55{,}54 - 15 \times cos\,(65 - 55{,}54) - ([33{,}61 \times cos\,55{,}54 - 15 \times \sin\,(65 - 55{,}54)\,] + 29{,}36 \times \sin\,(65 - 55{,}54)] \times tan\,21{,}5 + 1{,}9 \times 3{,}27)/1{,}5)/(\,cos\,(55{,}54 + 25) + sin\,(55{,}54 + 25) \times (tan\,21{,}5)/1{,}5)$

P_d = $^{32,11}/_{1,25}$

P_d = 25,78 kN

b) Mekanisme Kegagalan B

Perhitungan menyelidiki mekanisme geser 2 tubuh. Dalam penyelidikan sebelumnya, kemiringan permukaan geser terlah bervariasi antara 0 ..... β_1 di satu sisi. Di sisi lain, ketebalan t_i telah diubah antara 0 .....t dengan bertujuan untuk menemukan kasus yang paling kritis.

Ketebalan mekanisme geser : t_i = 0,6 m

Kemiringan lereng : α = 65˚

Kemiringan permukaan geser : β = 45˚

Kemiringan nail : ψ = 25˚

Jarak nail horizontal : a = 1,80 m

Jarak nail di garis lereng : b = 1,80 m

ρ_1 = arctan $\left({}^{t_i}/_{2b}\right)$

= arctan $\left({}^{0,6}/_{2\,.\,1,8}\right)$

= 9,46˚

L_1 $= 2b - {}^{t_i}/_{tan(\alpha-\beta)} + {}^{t_i}/_{tan(\alpha+\psi)}$

$= 2\ (1,8) - {}^{0,6}/_{tan(65-45)} + {}^{0,6}/_{tan(65+25)}$

= 1,95 m

L_2 $= {}^{t_i}/_{sin\ (\alpha-\beta)}$

$= {}^{0,6}/_{sin\ (65-45)}$

= 1,75 m

F_1 $= t_i\,.\left[2b - {}^{t_i}/_{tan(\alpha-\beta)}\right] + {}^{t_i^2}/_{[2\ x\ tan(\alpha+\psi)]}$

$= 0,6\,.\left[2\ (1,8) - {}^{0,6}/_{tan(65-45)}\right] + {}^{0,6^2}/_{[2\ x\ tan(65+25)]}$

= 1,17 m^2

F_2 $= {}^{t_i^2}/_{[2\ x\ tan(\alpha-\beta)]}$

$= {}^{0,6^2}/_{[2\ x\ tan(65-45)]}$

= 0,49 m^2

F = $F_1 + F_2$

= 1,17 + 0,49

= 1,66 m^2

a_{red} $= \frac{a - t_i}{tan\ \delta} - 2\zeta$

$= \frac{1,8 - 0,6}{tan\ 45} - 2\ (0,15)$

= 0,9 m

Berat lereng I

G_1 = F_1 . a_{red} . γ_k . γ_γ

= 1,17 . 0,9 . 23,2 . 1,5

= 36,64 kN

Berat lereng II

G_2 = F_2 . a_{red} . γ_k . γ_γ

= 0,49 . 0,9 . 23,2 . 1,5

= 15,35 kN

Luas permukaan luncur yang diselidiki I

A_1 = L_1 x a_{red}

= 1,95 x 0,9

= 1,755 m^2

Luas permukaan luncur yang diselidiki II

A_2 = L_2 x a_{red}

= 1,75 x 0,9

= 1,575 m^2

Gaya aliran yang dihasilkan sejajar dengan lereng

F_s = γ_w . i . a . b . t

F_s = γ_w . sin α . a . b . t_i

F_s = 10 . sin 65 . 1,8 . 1,8 . 0,6

F_s = 17,62 kN

Contact force X

$$X = F_{s,I} + G_1 \times \sin\alpha - \frac{G_1 \times \cos\alpha \times \tan\varphi_d + c_d \times A_1}{\gamma_{mod}}$$

$$X = 17{,}62 + 36{,}64 \times \sin 65 - \frac{36{,}64 \times \cos 65 \times \tan 21{,}5 + 1{,}9 \times 1{,}755}{1{,}5}$$

X = 44,54 kN

Kekuatan maksimum P

$$P = (G_2 \times \sin\beta + X \times \cos(\alpha-\beta) + F_{s,II} \times \cos(\alpha-\beta) - Z \times \cos(\alpha-\beta) - ([G_2 \times \cos\beta - Z \times \sin(\alpha-\beta) + X \times \sin(\alpha-\beta) + F_{s,II} \times \sin(\alpha-\beta)] \times \tan\varphi_d + c_d \times A_2)/\gamma_{mod}) / (\cos(\beta+\psi) + \sin(\beta+\psi) \times \tan\varphi_d/\gamma_{mod})$$

$$P = (15{,}35 \times \sin 45 + 44{,}54 \times \cos(65-45) + 17{,}62 \times \cos(65-45) - 15 \times \cos(65-45) - ([15{,}35 \times \cos 45 - 15 \times \sin(65-45) + 44{,}54 \times$$

$\sin(65-45) + 17{,}62 \times \sin(65-45)\,] \times \tan\ 21{,}5 + 1{,}9\ \times\ 1{,}575)/1{,}5)\ /$

$(\cos\ (45+25) + \sin(45+25) \times \tan\ 21{,}5/1{,}5)$

P = $^{18,48}/_{0,59}$

P = 31,40 kN

Proof of bearing safety (investigasi ketidakstabilan lokal antara paku tunggal)

Membandingkan hasil penyelidikan kasus A dengan hasil kasus B, maka gaya maksimum P_d = 31,40 kN harus diperhitungkan.

a) Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*

Tegangan geser maksimum pada jaring di tepi lereng atas *spike plate* (tingkat dimensi)

P_d = 31,40 kN

Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan dalam arah paku

P_R = 90 kN

Nilai koreksi resistansi

γ_{PR} = 1,5

Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap *shearing-off*

P_R/γ_{PR} = $^{90}/_{1,5}$

= 60 kN

Bukti keamanan bantalan

P_d ≤ P_R/γ_{PR}

31,4 ≤ 60 (OK)

b) Bukti *mesh* untuk transmisi selektif dari gaya paralel-slope Z

Tegangan dalam arah paralel lereng

Z_d = 15 kN

Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel-selektif

Z_R = 30 kN

Nilai koreksi resistansi untuk transmisi selektif, kemiringan-paralel gaya Z

γ_{ZR} = 1,5

Nilai dimensi ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik

Z_R/γ_{ZR} $= 30/1{,}5$

$= 20$ kN

Bukti keamanan bantalan

$Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$

$15 \leq 20$ (OK)

c) Bukti *nail* untuk *combined stress*

Bukti keamanan bantalan

$$\left\{\left[\frac{P_d}{\left(T_{Rred}/\gamma_{TR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

$$\left\{\left[\frac{27{,}7}{\left(226/1{,}5\right)}\right]^2 + \left[\frac{79{,}26}{\left(131/1{,}5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

$0{,}972 \leq 1$ (OK)

Pembuktian Keseluruhan

- Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*

  $P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$

  $31{,}4 \leq 60$ (OK)

- Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail*

  $Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$

  $15 \leq 20$ (OK)

- Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng

  $S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$

  $82{,}9 \leq 87{,}3$ (OK)

- Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*

  $V_{dII} \leq D_R/\gamma_{DR}$

  $45 \leq 120$ (OK)

- Bukti *nail* untuk *combined stress*

$$\left\{\left[\frac{V_{d2}}{\left(T_{Rred}/\gamma_{VR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

$$0,995 \leq 1 \quad \text{(OK)}$$

$$\left\{\left[\frac{P_d}{\left(T_{Rred}/\gamma_{TR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$$

$$0,972 \leq 1 \quad \text{(OK)}$$

Berdasarkan perhitungan manual sistem stabilisasi perkuatan lereng kondisi basah menggunakan jaring kawat tipe TECCO G65/3 dan *spike plate* tipe P33 dan *soil nailing* tipe GEWI D = 28 mm dengan jarak 1,80 m didapatkan gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku T_d = 150,7 kN. Sehingga panjang paku yang digunakan sepanjang l_b = 6 m.

Bukti keamanan keseluruhan antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* sudah terpenuhi yang berarti lereng sudah dalam keadaan aman dengan perkuatan tersebut.

4.8. Analisis Perkuatan Lereng Dengan Geobrugg Menggunakan Software Ruvolum Online Tool Kondisi Kering

Analisis perkuatan lereng menggunakan *software Ruvolum Online Tool* dilakukan dengan melakukan *trial and errors* hingga menghasilkan perkuatan lereng yang aman. Software *Ruvolum Online Tool* dapat diakses melalui web geobrugg di https://www.geobrugg.com/portal/app/ruvolum/. Pada laporan ini ditunjukan percobaan tiga kali *trial and errors* pemilihan dimensi perkuatan lereng dengan kombinasi antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* hingga mendapatkan hasil perkuatan lereng yang aman.

Input parameter tanah serta data lereng yang dimasukkan ke dalam *Software Ruvolum Online Tool* (sama semua setiap *trial and error*). Data tanah dan data lereng yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Parameter untuk perhitungan RUVOLUM

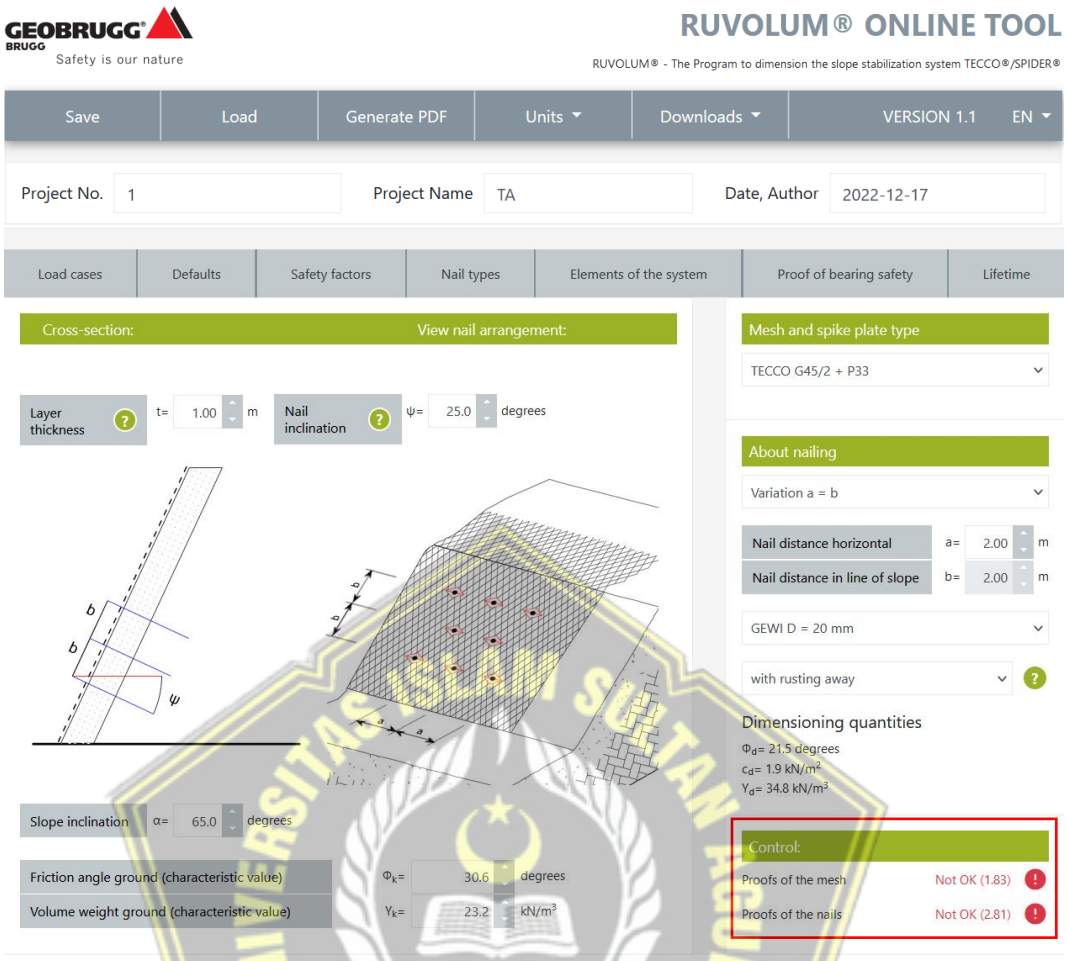
Data Lereng		
Kemiringan lereng	α	= 65˚
Ketebalan lapisan	t	= 1,00 m
Sudut gesekan tanah	Φ_k	= 30,60˚
Berat volume tanah	γ_k	= 23,2 kN/m^3
Kohesi	c_k	= 2,8 kN/m^2
Radius kerucut tekanan, atas	ζ	= 0,15 m
Kemiringan kerucut tekanan ke horizontal	δ	= 45˚
Kekuatan lereng-paralel	Z_d	= 15 kN
Kekuatan *pretensioning* dari sistem	V	= 30 kN
Kemiringan *nail*	ψ	= 25˚
Jarak *nail* horizontal	a	= 1,80 m
Jarak *nail* di garis lereng	b	= 1,80 m

Faktor Koreksi Keamanan Parsial		
Nilai koreksi keamanan parsial untuk sudut gesekan	γ_Φ	= 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk kohesi	γ_C	= 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk berat volume	γ_γ	= 1,5
Model nilai koreksi pasti	γ_{mod}	= 1,5

Maka, nilai dimensi yang dihasilkan dari parameter geoteknik		
Nilai dimensi dari sudut gesekan	Φ_d	= 21,5˚
Dimensi nilai kohesi	c_d	= 1,9 kN/m^2
Nilai dimensi berat volume	γ_d	= 34,8 kN/m^3

4.8.1. Percobaan ke-1

Menggunakan perkuatan jaring kawat tipe TECCO G45/2 dan *spike plate* tipe P33 dengan *soil nailing* tipe GEWI D = 20 mm dengan jarak 2,00 m.



Gambar 4.18 RUVOLUM ONLINE TOOL Percobaan ke-1

Tabel 4.8 Perhitungan dengan RUVOLUM Percobaan ke-1

Perkuatan yang digunakan
• Jaring baja tarik tinggi TECCO G45/3
• *Spike plate* sistem P33 disambungkan ke jaring TECCO
• *Soil nailing* GEWI D = 20 mm

Elemen Sistem	
Jenis Jaring	TECCO G45/3
Jenis *Spike Plate*	*System Spike Plate* P33
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel selektif dan lereng	Z_R = 10 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tekanan dalam arah *nail*	D_R = 110 kN

Ketahanan bantalan *mesh* terhadap pemotongan pada *spike plate* ke arah *nail*	P_R = 55 kN
Elongasi pada uji kuat tarik memanjang	δ < 6 %
Jenis *nail* yang diterapkan	GEWI D = 20 mm
Daya dukung paku terhadap tegangan tarik	T_R = 101 kN
Daya dukung paku terhadap tegangan geser	S_R = 58 kN
Permukaan penampang *nail* yang diaplikasikan dengan atau tanpa berkarat	A_{red} = 201 mm^2

Investigasi ketidakstabilan lokal antara paku tunggal	
Bukti jaring terhadap pemotongan di tepi lereng atas pelat paku	
Tegangan geser maksimum pada jaring di tepi lereng atas *spike plate* (tingkat dimensi)	P_d = 67,2 kN
Ketebalan mekanisme geser yang menentukan	t_{rel} = 0,60 m
Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan dalam arah paku	P_R = 55 kN
Nilai koreksi resistansi	γ_{PR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap *shearing-off*	P_R/γ_{PR} = 36,7 kN
Bukti keamanan bantalan	$P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 67,2 ≤ 36,7 (TIDAK OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke paku	
Tegangan dalam arah paralel lereng	Z_d = 5 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel-selektif	Z_R = 10 kN
Nilai koreksi resistansi untuk transmisi selektif, kemiringan-paralel dari gaya Z	γ_{ZR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik	Z_R/γ_{ZR} = 6,7 kN
Bukti keamanan bantalan	$Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 5 ≤ 6,7 (OK)

Investigasi ketidakstabilan slop-paralel	
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	
Kekuatan *pretensioning* efektif diterapkan pada *nail*	V = 20 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{VI} = 0,8
Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 16 kN
Gaya geser yang ditinjau dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{d1} pada tingkat dimensi	S_d = 101,5 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 58 kN
Nilai koreksi resistensi untuk pemotongan *nail*	γ_{SR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred}/γ_{SR} = 38,7 kN
Bukti keamanan bantalan	$S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$ 101,5 ≤ 38,7 (TIDAK OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada *nail*	V = 20 kN
Faktor pengaruh utama	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 30 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekanan ke arah *nail*	D_R = 110 kN
Nilai koreksi resistensi untuk menusuk	γ_{DR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekan	D_R/γ_{DR} = 73,3 kN
Bukti keamanan bantalan	$V_{dII} \leq D_R/\gamma_{DR}$ 30 ≤ 73,3 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada kuku	V = 20 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{Vl} = 0,8

Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 16 kN
Faktor beban untuk pengaruh negatif pretensi V	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 30 kN
Gaya geser yang dibutuhkan secara kalkulator pada tingkat dimensi dalam fungsi V_{dII}	S_d = 101,5 kN
Tegangan maksimum pada jaring untuk pemotongan	P_d = 67,2 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik	T_{Rred} = 101 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 58 kN
Nilai koreksi tahanan untuk tegangan tarik	γ_{VR} = 1,5
Nilai koreksi resistansi untuk tegangan geser	γ_{SR} = 1,5
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left(T_{Rred}/\gamma_{VR}\right)}\right]^2+\left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{30}{\left(101/1,5\right)}\right]^2+\left[\frac{101,5}{\left(58/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 2,663 ≤ 1 (TIDAK OK)	
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{P_d}{\left(T_{Rred}/\gamma_{TR}\right)}\right]^2+\left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{67,2}{\left(101/1,5\right)}\right]^2+\left[\frac{101,5}{\left(58/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 2,809 ≤ 1 (TIDAK OK)	
Nilai dimensi gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku	T_d = 67,3 kN

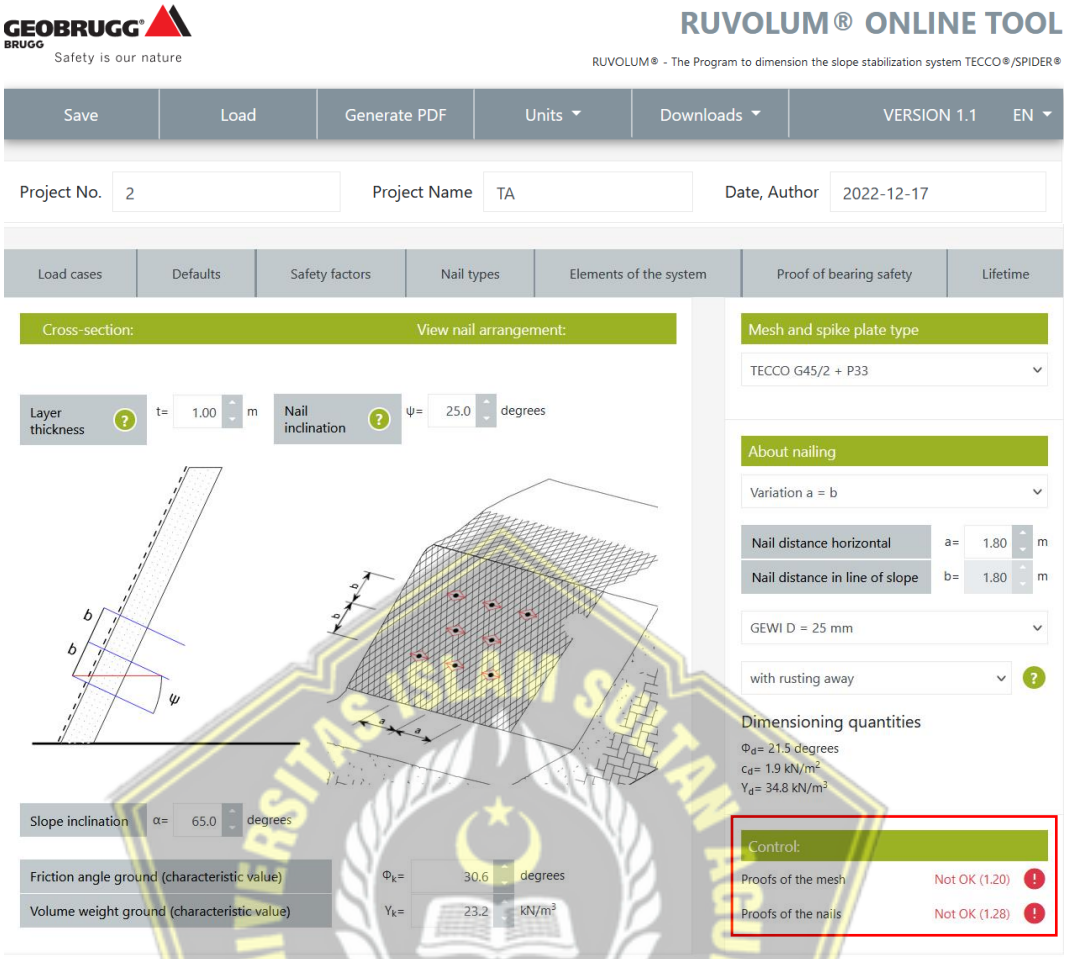
Pembuktian Keseluruhan	
Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*	$P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 67,2 $\leq$ 36,7 (TIDAK OK)

Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail*	$Z_d \leq {Z_R}/{\gamma_{ZR}}$ 5 ≤ 6,7 (OK)
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	$S_d \leq {S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}$ 101,5 ≤ 38,7 (TIDAK OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	$V_{dII} \leq {D_R}/{\gamma_{DR}}$ 30 ≤ 73,3 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress* $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 2,663 ≤ 1 (TIDAK OK) $\left\{\left[\frac{P_d}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 2,809 ≤ 1 (TIDAK OK)	

Pada percobaan ke-1 perhitungan sistem stabilisasi perkuatan lereng berdasarkan *Ruvolum Online Tool* menggunakan jaring kawat tipe TECCO G45/2 dan *spike plate* tipe P33 dan *soil nailing* tipe GEWI D = 20 mm dengan jarak 2,00 m didapatkan beberapa untuk pembuktian keamanan bantalan keseluruhan antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* tidak memenuhi persyaratan yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman atau perkuatan lereng belum cukup kuat. Sehingga, harus diperhitungkan lagi dengan cara membesarkan dimensi jenis perkuatan lereng yang digunakan.

4.8.2. Percobaan ke-2

Menggunakan perkuatan jaring kawat tipe TECCO G45/2 dan *spike plate* tipe P33 dengan *soil nailing* tipe GEWI D = 25 mm dengan jarak 1,80 m.



Gambar 4.19 RUVOLUM ONLINE TOOL Percobaan ke-2

Tabel 4.9 Perhitungan dengan RUVOLUM Percobaan ke-2

Perkuatan yang digunakan
• Jaring baja tarik tinggi TECCO G45/2
• *Spike plate* sistem P33 disambungkan ke jaring TECCO
• *Soil nailing* GEWI D = 25 mm

Elemen Sistem	
Jenis Jaring	TECCO G45/2
Jenis *Spike Plate*	*System Spike Plate* P33
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel selektif dan lereng	Z_R = 10 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tekanan dalam arah *nail*	D_R = 110 kN

Ketahanan bantalan *mesh* terhadap pemotongan pada *spike plate* ke arah *nail*	P_R = 55 kN
Elongasi pada uji kuat tarik memanjang	δ < 6 %
Jenis *nail* yang diterapkan	GEWI D = 25 mm
Daya dukung paku terhadap tegangan tarik	T_R = 173 kN
Daya dukung paku terhadap tegangan geser	S_R = 100 kN
Permukaan penampang *nail* yang diaplikasikan dengan atau tanpa berkarat	A_{red} = 346 mm^2

Investigasi ketidakstabilan lokal antara paku tunggal	
Bukti jaring terhadap pemotongan di tepi lereng atas pelat paku	
Tegangan geser maksimum pada jaring di tepi lereng atas *spike plate* (tingkat dimensi)	P_d = 44 kN
Ketebalan mekanisme geser yang menentukan	t_{rel} = 0,56 m
Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan dalam arah paku	P_R = 55 kN
Nilai koreksi resistansi	γ_{PR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap *shearing-off*	P_R/γ_{PR} = 36,7 kN
Bukti keamanan bantalan	$P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 44 ≤ 36,7 (TIDAK OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke paku	
Tegangan dalam arah paralel lereng	Z_d = 5 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel-selektif	Z_R = 10 kN
Nilai koreksi resistansi untuk transmisi selektif, kemiringan-paralel dari gaya Z	γ_{ZR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik	Z_R/γ_{ZR} = 6,7 kN
Bukti keamanan bantalan	$Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 5 ≤ 6,7 (OK)

Investigasi ketidakstabilan slop-paralel	
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	
Kekuatan *pretensioning* efektif diterapkan pada *nail*	V = 20 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{VI} = 0,8
Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 16 kN
Gaya geser yang ditinjau dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{d1} pada tingkat dimensi	S_d = 81,4 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 100 kN
Nilai koreksi resistensi untuk pemotongan *nail*	γ_{SR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred}/γ_{SR} = 66,7 kN
Bukti keamanan bantalan	$S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$ 81,4 ≤ 66,7 (TIDAK OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada *nail*	V = 20 kN
Faktor pengaruh utama	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 30 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekanan ke arah *nail*	D_R = 110 kN
Nilai koreksi resistensi untuk menusuk	γ_{DR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekan	D_R/γ_{DR} = 73,3 kN
Bukti keamanan bantalan	$V_{dII} \leq D_R/\gamma_{DR}$ 30 ≤ 73,3 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada kuku	V = 20 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{Vl} = 0,8

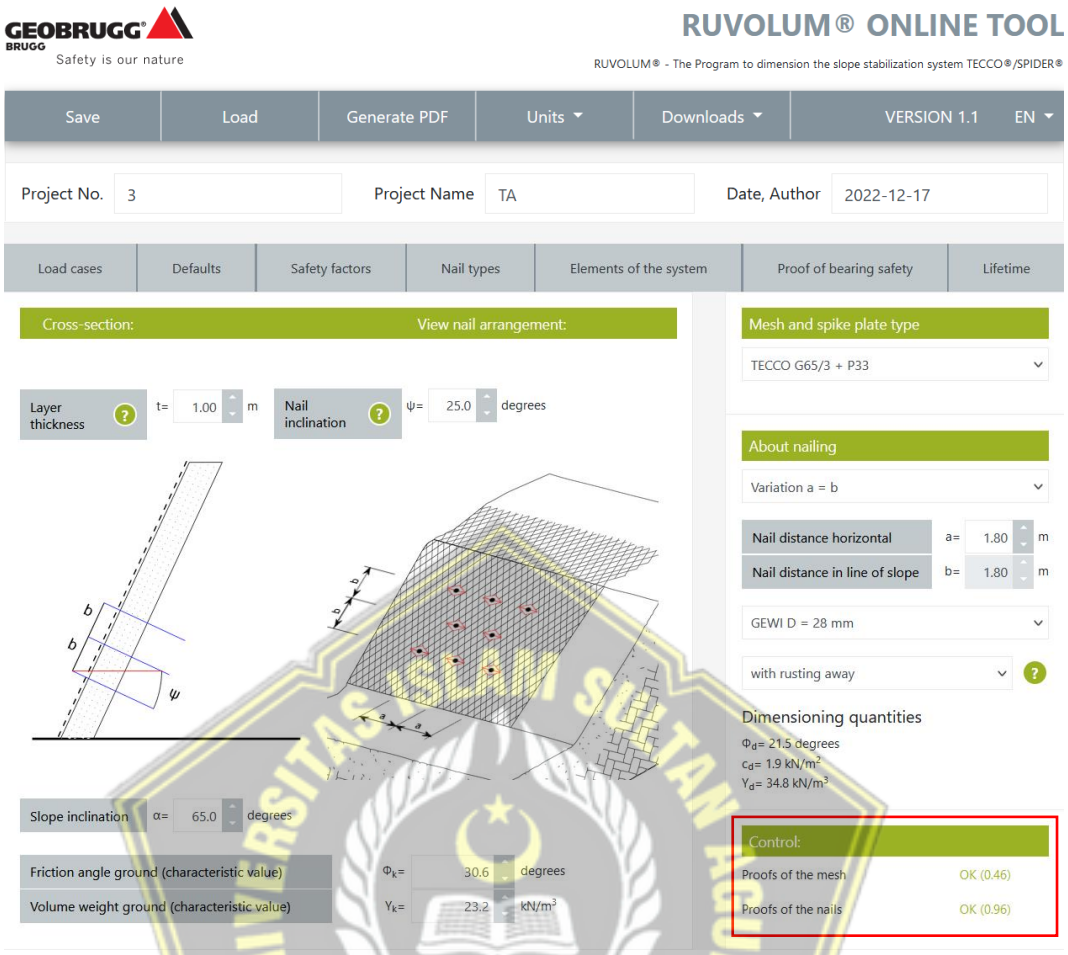
Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 16 kN
Faktor beban untuk pengaruh negatif pretensi V	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 30 kN
Gaya geser yang dibutuhkan secara kalkulator pada tingkat dimensi dalam fungsi V_{dII}	S_d = 81,4 kN
Tegangan maksimum pada jaring untuk pemotongan	P_d = 44 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik	T_{Rred} = 173 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 100 kN
Nilai koreksi tahanan untuk tegangan tarik	γ_{VR} = 1,5
Nilai koreksi resistansi untuk tegangan geser	γ_{SR} = 1,5
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left(T_{Rred}/\gamma_{VR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{30}{\left(173/1,5\right)}\right]^2 + \left[\frac{81,4}{\left(100/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 1,249 ≤ 1 (TIDAK OK)	
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{P_d}{\left(T_{Rred}/\gamma_{TR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{44}{\left(173/1,5\right)}\right]^2 + \left[\frac{81,4}{\left(100/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 1,280 ≤ 1 (TIDAK OK)	
Nilai dimensi gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku Syarat : $T_{d,\,min} \geq V_d$ $T_{d,\,min} \geq V_d$ $T_{d,\,max} \leq T_{R,d}$ masing-masing $T_{R,red,d}$	T_d = 115,3 kN

Pembuktian Keseluruhan			
Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*	P_d	$\leq {P_R}/{\gamma_{PR}}$	
	44	$\leq$ 36,7	(TIDAK OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail*	Z_d	$\leq {Z_R}/{\gamma_{ZR}}$	
	5	$\leq$ 6,7	(OK)
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	S_d	$\leq {S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}$	
	81,4	$\leq$ 66,7	(TIDAK OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	V_{dII}	$\leq {D_R}/{\gamma_{DR}}$	
	30	$\leq$ 73,3	(OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress*			
$\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5}$		≤ 1	
1,249		≤ 1	(TIDAK OK)
$\left\{\left[\frac{P_d}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5}$		≤ 1	
1,280		≤ 1	(TIDAK OK)

Pada percobaan ke-2 perhitungan sistem stabilisasi perkuatan lereng berdasarkan *Ruvolum Online Tool* menggunakan jaring kawat tipe TECCO G45/2 dan *spike plate* tipe P33 dan *soil nailing* tipe GEWI D = 25 mm dengan jarak 1,80 m didapatkan beberapa untuk pembuktian keamanan bantalan keseluruhan antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* tidak memenuhi persyaratan yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman atau perkuatan lereng belum cukup kuat. Sehingga, harus diperhitungkan lagi dengan cara membesarkan dimensi jenis perkuatan lereng yang digunakan.

4.8.3. Percobaan ke-3

Menggunakan perkuatan jaring kawat tipe TECCO G65/3 dan *spike plate* tipe P33 dengan *soil nailing* tipe GEWI D = 28 mm dengan jarak 1,80 m.



Gambar 4.20 RUVOLUM ONLINE TOOL Percobaan ke-3

Tabel 4.10 Perhitungan dengan RUVOLUM Percobaan ke-3

Perkuatan yang digunakan
• Jaring baja tarik tinggi TECCO G65/3
• *Spike plate* sistem P33 disambungkan ke jaring TECCO
• *Soil nailing* GEWI D = 28 mm

Elemen Sistem	
Jenis Jaring	TECCO G65/3
Jenis *Spike Plate*	*System Spike Plate* P33
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel selektif dan lereng	Z_R = 30 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tekanan dalam arah *nail*	D_R = 180 kN

Ketahanan bantalan *mesh* terhadap pemotongan pada *spike plate* ke arah *nail*	P_R = 90 kN
Elongasi pada uji kuat tarik memanjang	δ < 6 %
Jenis *nail* yang diterapkan	GEWI D = 28 mm
Daya dukung paku terhadap tegangan tarik	T_R = 226 kN
Daya dukung paku terhadap tegangan geser	S_R = 131 kN
Permukaan penampang *nail* yang diaplikasikan dengan atau tanpa berkarat	A_{red} = 452 mm^2

Investigasi ketidakstabilan lokal antara paku tunggal	
Bukti jaring terhadap pemotongan di tepi lereng atas pelat paku	
Tegangan geser maksimum pada jaring di tepi lereng atas *spike plate* (tingkat dimensi)	P_d = 27,7 kN
Ketebalan mekanisme geser yang menentukan	t_{rel} = 0,60 m
Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan dalam arah paku	P_R = 90 kN
Nilai koreksi resistansi	γ_{PR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap *shearing-off*	P_R/γ_{PR} = 60 kN
Bukti keamanan bantalan	$P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 27,7 ≤ 60 (OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke paku	
Tegangan dalam arah paralel lereng	Z_d = 15 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel-selektif	Z_R = 30 kN
Nilai koreksi resistansi untuk transmisi selektif, kemiringan-paralel dari gaya Z	γ_{ZR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik	Z_R/γ_{ZR} = 20 kN
Bukti keamanan bantalan	$Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 15 ≤ 20 (OK)

Investigasi ketidakstabilan slop-paralel	
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	
Kekuatan *pretensioning* efektif diterapkan pada *nail*	V = 30 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{VI} = 0,8
Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 24 kN
Gaya geser yang ditinjau dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{d1} pada tingkat dimensi	S_d = 79,3 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 131 kN
Nilai koreksi resistensi untuk pemotongan *nail*	γ_{SR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred}/γ_{SR} = 87,3 kN
Bukti keamanan bantalan	$S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$ 79,3 ≤ 87,3 (OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada *nail*	V = 30 kN
Faktor pengaruh utama	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 45 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekanan ke arah *nail*	D_R = 180 kN
Nilai koreksi resistensi untuk menusuk	γ_{DR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekan	D_R/γ_{DR} = 120 kN
Bukti keamanan bantalan	$V_{dII} \leq D_R/\gamma_{DR}$ 45 ≤ 120 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada kuku	V = 30 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{Vl} = 0,8

Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 24 kN
Faktor beban untuk pengaruh negatif pretensi V	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 45 kN
Gaya geser yang dibutuhkan secara kalkulator pada tingkat dimensi dalam fungsi V_{dII}	S_d = 79,3 kN
Tegangan maksimum pada jaring untuk pemotongan	P_d = 27,7 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik	T_{Rred} = 226 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 131 kN
Nilai koreksi tahanan untuk tegangan tarik	γ_{VR} = 1,5
Nilai koreksi resistansi untuk tegangan geser	γ_{SR} = 1,5
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left(T_{Rred}/\gamma_{VR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{45}{\left(226/1,5\right)}\right]^2 + \left[\frac{79,3}{\left(131/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,956 ≤ 1 (OK)	
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{P_d}{\left(T_{Rred}/\gamma_{TR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{27,7}{\left(226/1,5\right)}\right]^2 + \left[\frac{79,3}{\left(131/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,927 ≤ 1 (OK)	
Nilai dimensi gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku Syarat : $T_{d,\,min} \geq V_d$ $T_{d,\,min} \geq V_d$ $T_{d,\,max} \leq T_{R,d}$ masing-masing $T_{R,red,d}$	T_d = 150,7 kN
Panjang *nail* ke lapisan bawah tanah yang stabil	I_b = 6 m

Pembuktian Keseluruhan			
Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*	P_d	$\leq {P_R}/{\gamma_{PR}}$	
	27,7	≤ 60	(OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail*	Z_d	$\leq {Z_R}/{\gamma_{ZR}}$	
	15	≤ 20	(OK)
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	S_d	$\leq {S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}$	
	79,3	≤ 87,3	(OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	V_{dII}	$\leq {D_R}/{\gamma_{DR}}$	
	45	≤ 120	(OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress*			
$\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5}$		≤ 1	
0,956		≤ 1	(OK)
$\left\{\left[\frac{P_d}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5}$		≤ 1	
0,927		≤ 1	(OK)

Pada percobaan ke-3 perhitungan sistem stabilisasi perkuatan lereng berdasarkan *Ruvolum Online Tool* menggunakan jaring kawat tipe TECCO G65/3 dan *spike plate* tipe P33 dan *soil nailing* tipe GEWI D = 28 mm dengan jarak 1,80 m didapatkan didapatkan gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku T_d = 150,7 kN. Sehingga panjang paku yang digunakan sepanjang I_b = 6 m.

Bukti keamanan keseluruhan antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* sudah terpenuhi dan memenuhi syarat yang berarti lereng sudah dalam keadaan aman dengan perkuatan tersebut.

4.8.4. Perbandingan Antara Percobaan ke-1,2, dan 3

Berdasarkan perhitungan *trial and error* yang dilakukan pada percobaan satu, dua, dan tiga dengan membedakan jenis dan besar dimensi perkuatan kombinasi antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Percobaan ke-1,2, dan 3 Kondisi Lereng Kering

Percobaan ke-1 (TIDAK AMAN)	**Percobaan ke-2 (TIDAK AMAN)**	**Percobaan ke-3 (AMAN)**
Jenis perkuatan yang diaplikasikan: • Jaring Kawat TECCO G45/2 • *Spike Plate* P33 • *Soil nailing* GEWI D = 20 mm • Jarak *soil nailing* vertikal = horizontal = 2,00 m	Jenis perkuatan yang diaplikasikan: • Jaring Kawat TECCO G45/2 • *Spike Plate* P33 • *Soil nailing* GEWI D = 25 mm • Jarak *soil nailing* vertikal = horizontal = 1,80 m	Jenis perkuatan yang diaplikasikan: • Jaring Kawat TECCO G65/3 • *Spike Plate* P33 • *Soil nailing* GEWI D = 28 mm • Jarak *soil nailing* vertikal = horizontal = 1,80 m
Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate* $P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 67,2 ≤ 36,7 (TIDAK OK)	Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate* $P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 44 ≤ 36,7 (TIDAK OK)	Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate* $P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 27,7 ≤ 60 (OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail* $Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 5 ≤ 6,7 (OK)	Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail* $Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 5 ≤ 6,7 (OK)	Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail* $Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 15 ≤ 20 (OK)
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng $S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$ 101,5 ≤ 38,7 (TIDAK OK)	Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng $S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$ 81,4 ≤ 66,7 (TIDAK OK)	Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng $S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$ 79,3 ≤ 87,3 (OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*

Percobaan ke-1 (TIDAK AMAN)	Percobaan ke-2 (TIDAK AMAN)	Percobaan ke-3 (AMAN)
$V_{dII} \leq {}^{D_R}/_{\gamma_{DR}}$ 30 ≤ 73,3 (OK)	$V_{dII} \leq {}^{D_R}/_{\gamma_{DR}}$ 30 ≤ 73,3 (OK)	$V_{dII} \leq {}^{D_R}/_{\gamma_{DR}}$ 45 ≤ 120 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress* $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 2,663 ≤ 1 (TIDAK OK) $\left\{\left[\frac{P_d}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 2,809 ≤ 1(TIDAK OK)	Bukti *nail* untuk *combined stress* $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 1,249 ≤ 1 (TIDAK OK) $\left\{\left[\frac{P_d}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 1,280 ≤ 1 (TIDAK OK)	Bukti *nail* untuk *combined stress* $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,956 ≤ 1 (OK) $\left\{\left[\frac{P_d}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,927 ≤ 1 (OK)

Setelah dilakukan tiga kali percobaan *trial and error* untuk mendapatkan perkuatan lereng yang aman, pada percobaan ke-3 didapatkan hasil yang aman dengan menggunakan jenis perkuatan *wiremesh* TECCO G65/3, sistem *spike plate* P33, dan *soil nailing* jenis GEWI D = 28 mm dengan jarak 1,80 m.

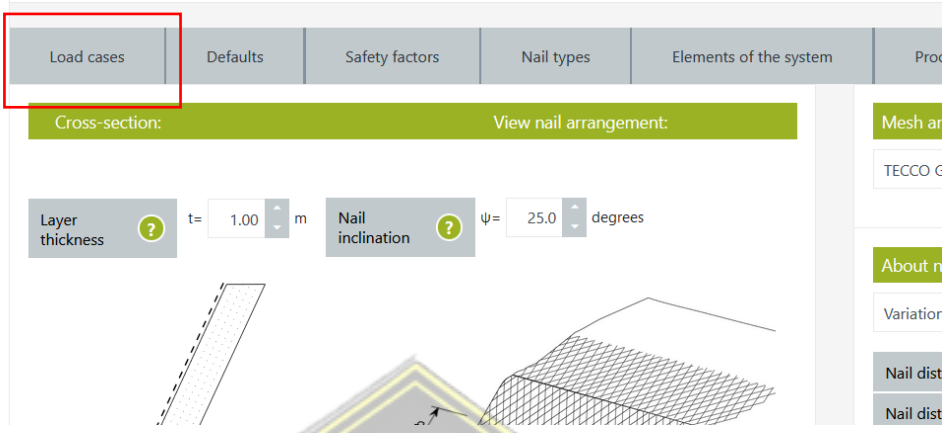
4.9. Analisis Perkuatan Lereng Dengan Geobrugg Menggunakan Software *Ruvolum Online Tool* Kondisi Basah

Analisis perkuatan lereng menggunakan *software Ruvolum Online Tool* dilakukan dengan melakukan *trial and errors* hingga menghasilkan perkuatan lereng yang aman. Software *Ruvolum Online Tool* dapat diakses melalui web geobrugg di https://www.geobrugg.com/portal/app/ruvolum/.

Pada sub bab ini dilakukan perkuatan dengan kondisi lereng basah. Melalui Software *Ruvolum Online Tool*, untuk kondisi lereng basah dapat diaktifkan melalui pilihan *streaming pressure*. Pemilihan dimensi perkuatan lereng dengan kombinasi antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* disamakan dengan perkuatan lereng kondisi kering.

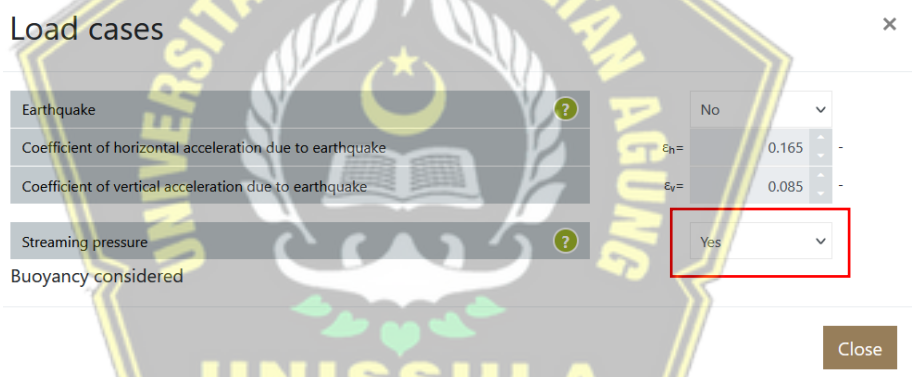
Langkah-langkah untuk mengaktifkan *streaming pressure* pada Software *Ruvolum Online Tool*.

- Klik *Load Cases* pada menu di halaman awal *Ruvolum Online Tool*.

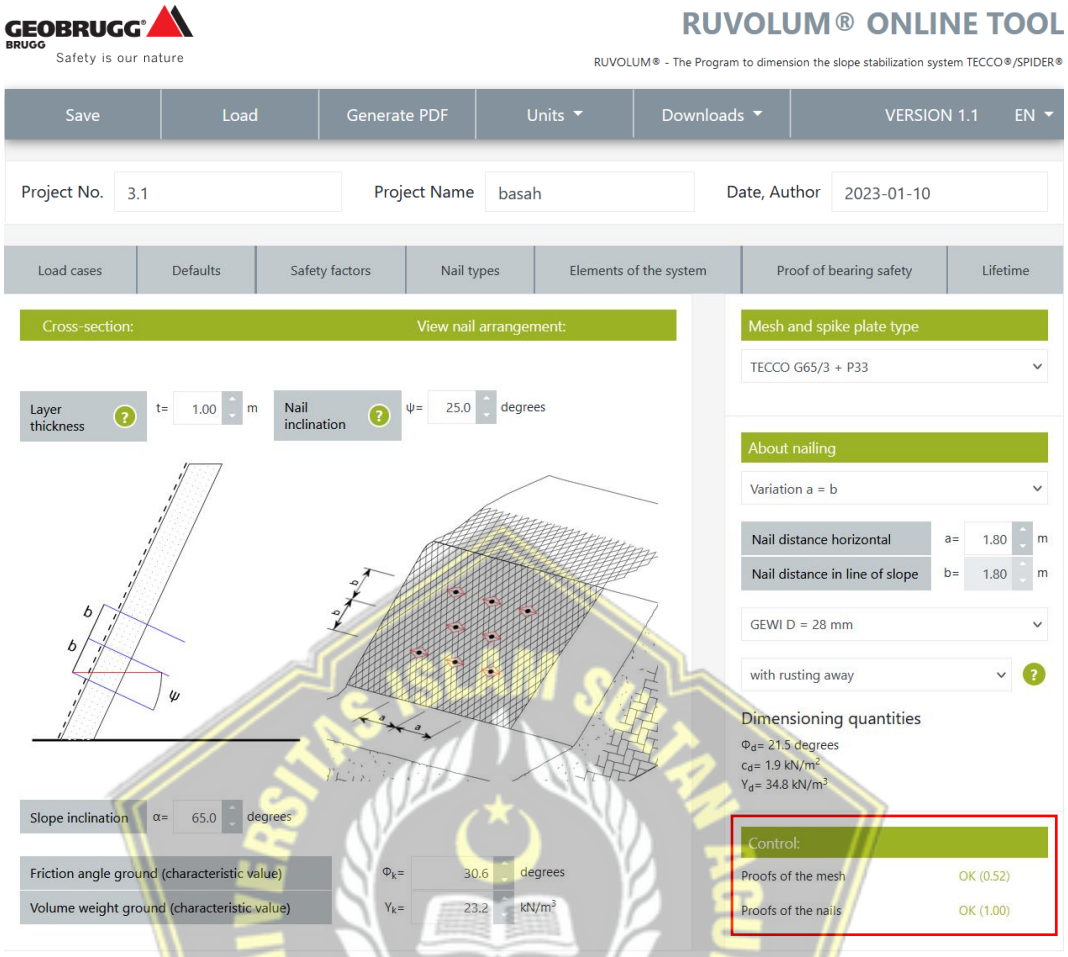


Gambar 4.21 Letak *Load Cases* Pada Halaman *Ruvolum Online Tool*

- Ubah pilihan di *streaming pressure* menjadi "Yes"



Gambar 4.22 Tampilan *Streaming Pressure*



Gambar 4.23 RUVOLUM ONLINE TOOL Kondisi Lereng Basah

Tabel 4.12 Perhitungan dengan RUVOLUM Kondisi Lereng Basah

Data Lereng		
Kemiringan lereng	α	= 65˚
Ketebalan lapisan	t	= 1,00 m
Sudut gesekan tanah	Φ_k	= 30,60˚
Berat volume tanah	γ_k	= 23,2 kN/m^3
Kohesi	c_k	= 2,8 kN/m^2
Radius kerucut tekanan, atas	ζ	= 0,15 m
Kemiringan kerucut tekanan ke horizontal	δ	= 45˚
Kekuatan lereng-paralel	Z_d	= 15 kN
Kekuatan *pretensioning* dari sistem	V	= 30 kN
Kemiringan *nail*	ψ	= 25˚
Jarak *nail* horizontal	a	= 1,80 m

Jarak *nail* di garis lereng	b = 1,80 m

Load Cases	
Streaming Pressure	Aktif

Faktor Koreksi Keamanan Parsial	
Nilai koreksi keamanan parsial untuk sudut gesekan	γ_{Φ} = 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk kohesi	γ_C = 1,5
Nilai koreksi keamanan parsial untuk berat volume	γ_{γ} = 1,5
Model nilai koreksi pasti	γ_{mod} = 1,5

Maka, nilai dimensi yang dihasilkan dari parameter geoteknik	
Nilai dimensi dari sudut gesekan	Φ_d = 21,5°
Dimensi nilai kohesi	c_d = 1,9 kN/m^2
Nilai dimensi berat volume	γ_d = 34,8 kN/m^3

Perkuatan yang digunakan
• Jaring baja tarik tinggi TECCO G65/3
• *Spike plate* sistem P33 disambungkan ke jaring TECCO
• *Soil nailing* GEWI D = 28 mm

Elemen Sistem	
Jenis Jaring	TECCO G65/3
Jenis *Spike Plate*	*System Spike Plate* P33
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel selektif dan lereng	Z_R = 30 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tekanan dalam arah *nail*	D_R = 180 kN
Ketahanan bantalan *mesh* terhadap pemotongan pada *spike plate* ke arah *nail*	P_R = 90 kN
Elongasi pada uji kuat tarik memanjang	δ < 6 %
Jenis *nail* yang diterapkan	GEWI D = 28 mm
Daya dukung paku terhadap tegangan tarik	T_R = 226 kN

Daya dukung paku terhadap tegangan geser	S_R = 131 kN
Permukaan penampang *nail* yang diaplikasikan dengan atau tanpa berkarat	A_{red} = 452 mm^2

Investigasi ketidakstabilan lokal antara paku tunggal	
Bukti jaring terhadap pemotongan di tepi lereng atas pelat paku	
Tegangan geser maksimum pada jaring di tepi lereng atas *spike plate* (tingkat dimensi)	P_d = 31,4 kN
Ketebalan mekanisme geser yang menentukan	t_{rel} = 0,60 m
Ketahanan bantalan jaring terhadap pemotongan dalam arah paku	P_R = 90 kN
Nilai koreksi resistansi	γ_{PR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan *mesh* terhadap *shearing-off*	P_R/γ_{PR} = 60 kN
Bukti keamanan bantalan	$P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 31,4 ≤ 60 (OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke paku	
Tegangan dalam arah paralel lereng	Z_d = 15 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik paralel-selektif	Z_R = 30 kN
Nilai koreksi resistansi untuk transmisi selektif, kemiringan-paralel dari gaya Z	γ_{ZR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tarik	Z_R/γ_{ZR} = 20 kN
Bukti keamanan bantalan	$Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 15 ≤ 20 (OK)

Investigasi ketidakstabilan slop-paralel	
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	
Kekuatan *pretensioning* efektif diterapkan pada *nail*	V = 30 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{VI} = 0,8
Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 24 kN

Gaya geser yang ditinjau dari parameter geoteknik dan gaya stabilisasi eksternal V_{d1} pada tingkat dimensi	S_d = 82,9 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 131 kN
Nilai koreksi resistensi untuk pemotongan *nail*	γ_{SR} = 1,5
Nilai dimensi ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred}/γ_{SR} = 87,3 kN
Bukti keamanan bantalan	$S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$ 82,9 ≤ 87,3 (OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada *nail*	V = 30 kN
Faktor pengaruh utama	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 45 kN
Ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekanan ke arah *nail*	D_R = 180 kN
Nilai koreksi resistensi untuk menusuk	γ_{DR} = 1,5
Nilai dimensi dari ketahanan bantalan jaring terhadap tegangan tekan	D_R/γ_{DR} = 120 kN
Bukti keamanan bantalan	$V_{dII} \leq D_R/\gamma_{DR}$ 45 ≤ 120 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress*	
Kekuatan pretensioning efektif diterapkan pada kuku	V = 30 kN
Load factor untuk pengaruh positif pretensi V	γ_{VI} = 0,8
Nilai dimensi gaya pretensioning yang diterapkan oleh pengaruh positif V	V_{dI} = 24 kN
Faktor beban untuk pengaruh negatif pretensi V	γ_{VII} = 1,5
Nilai dimensi gaya luar V dengan kemiringan sistem stabilisasi dipretensikan terhadap *nail*	V_{dII} = 45 kN
Gaya geser yang dibutuhkan secara kalkulator pada tingkat dimensi dalam fungsi V_{dII}	S_d = 82,9 kN

Tegangan maksimum pada jaring untuk pemotongan	P_d = 31,4 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan tarik	T_{Rred} = 226 kN
Ketahanan bantalan paku terhadap tegangan geser	S_{Rred} = 131 kN
Nilai koreksi tahanan untuk tegangan tarik	γ_{VR} = 1,5
Nilai koreksi resistansi untuk tegangan geser	γ_{SR} = 1,5
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left(T_{Rred}/\gamma_{VR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{45}{\left(226/1,5\right)}\right]^2 + \left[\frac{82,9}{\left(131/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,995 ≤ 1 (OK)	
Bukti keamanan bantalan $\left\{\left[\frac{P_d}{\left(T_{Rred}/\gamma_{TR}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left(S_{Rred}/\gamma_{SR}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ $\left\{\left[\frac{31,4}{\left(226/1,5\right)}\right]^2 + \left[\frac{82,9}{\left(131/1,5\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,972 ≤ 1 (OK)	
Nilai dimensi gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku Syarat : $T_{d,\,min} \geq V_d$ $T_{d,\,min} \geq V_d$ $T_{d,\,max} \leq T_{R,d}$ masing-masing $T_{R,red,d}$	T_d = 150,7 kN
Panjang *nail* ke lapisan bawah tanah yang stabil	I_b = 6 m

Pembuktian Keseluruhan	
Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate*	$P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$ 31,4 ≤ 60 (OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail*	$Z_d \leq Z_R/\gamma_{ZR}$ 15 ≤ 20 (OK)

Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng	$S_d \leq {S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}$ 82,9 ≤ 87,3 (OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail*	$V_{dII} \leq {D_R}/{\gamma_{DR}}$ 45 ≤ 120 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress* $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,995 ≤ 1 (OK) $\left\{\left[\frac{P_d}{\left({T_{Rred}}/{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({S_{Rred}}/{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,972 ≤ 1 (OK)	

Pada perhitungan sistem stabilisasi perkuatan lereng kondisi basah berdasarkan Software *Ruvolum Online Tool* menggunakan jaring kawat tipe TECCO G65/3 dan *spike plate* tipe P33 dan *soil nailing* tipe GEWI D = 28 mm dengan jarak 1,80 m didapatkan didapatkan gaya tarik ekuivalen statis pada paku untuk penentuan panjang paku T_d = 150,7 kN. Sehingga panjang paku yang digunakan sepanjang I_b = 6 m.

Bukti keamanan keseluruhan antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* sudah terpenuhi dan memenuhi syarat yang berarti lereng sudah dalam keadaan aman dengan perkuatan tersebut.

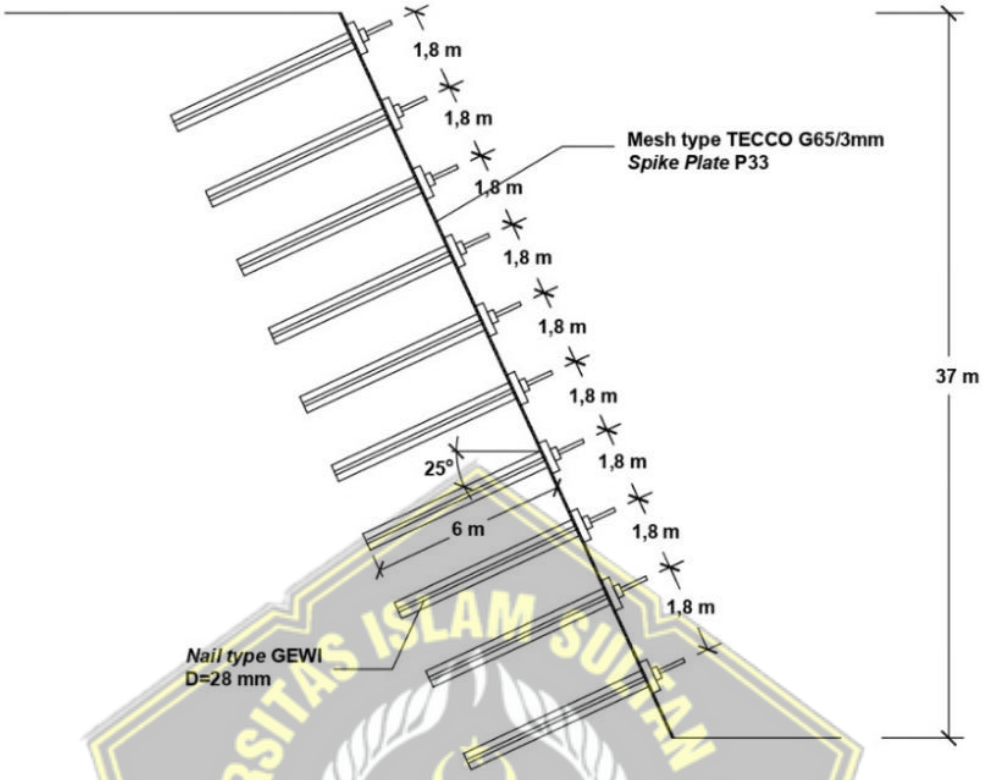
4.10. Perbandingan Antara Perhitungan Perkuatan Lereng Kondisi Kering dan Kondisi Basah

Berdasarkan perhitungan perkuatan lereng menggunakan *software Ruvolum Online Tool* pada lereng kondisi kering dan lereng kondisi basah dengan perkuatan kombinasi antara *high-tensile wire mesh*, sistem *spike plate*, serta *soil nailing* didapatkan hasil sebagai berikut:

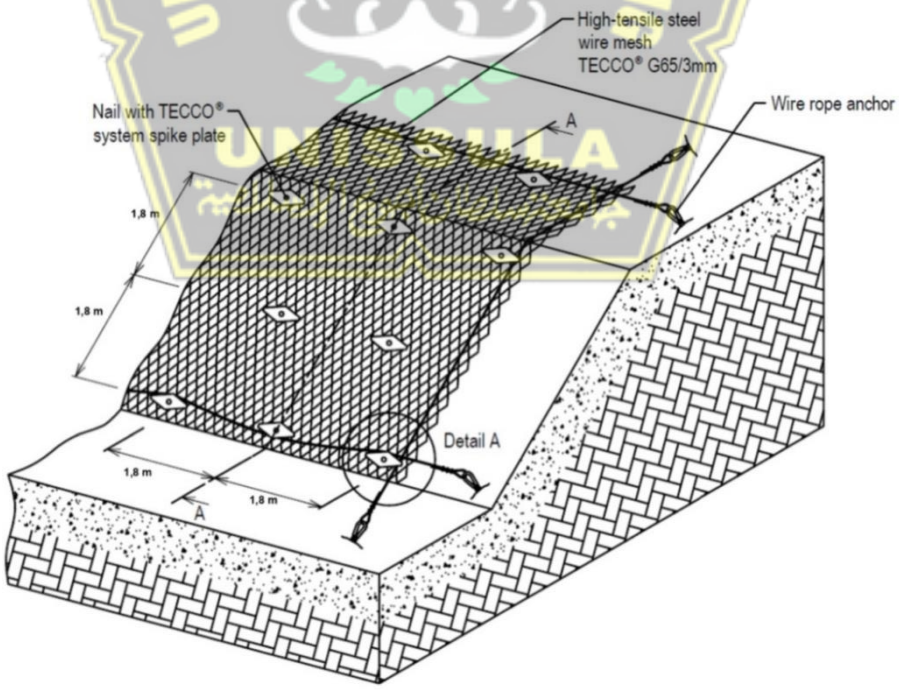
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Perhitungan Lereng Kondisi Kering dan Lereng Kondisi Basah

Lereng Kondisi Kering	Lereng Kondisi Basah
Jenis perkuatan yang diaplikasikan: • Jaring Kawat TECCO G65/3 • *Spike Plate* P33 • *Soil nailing* GEWI D = 28 mm • Jarak *soil nailing* vertikal = horizontal = 1,80 m	Jenis perkuatan yang diaplikasikan: • Jaring Kawat TECCO G65/3 • *Spike Plate* P33 • *Soil nailing* GEWI D = 28 mm • Jarak *soil nailing* vertikal = horizontal = 1,80 m
Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate* $P_d \leq {}^{P_R}/_{\gamma_{PR}}$ 27,7 ≤ 60 (OK)	Bukti *mesh* terhadap pemotongan di tepi lereng atas *spike plate* $P_d \leq {}^{P_R}/_{\gamma_{PR}}$ 31,4 ≤ 60 (OK)
Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail* $Z_d \leq {}^{Z_R}/_{\gamma_{ZR}}$ 15 ≤ 20 (OK)	Bukti jaring untuk transmisi selektif gaya Z ke *nail* $Z_d \leq {}^{Z_R}/_{\gamma_{ZR}}$ 15 ≤ 20 (OK)
Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng $S_d \leq {}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}$ 79,3 ≤ 87,3 (OK)	Bukti *nail* terhadap luncuran lapisan superfisial yang sejajar dengan lereng $S_d \leq {}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}$ 82,9 ≤ 87,3 (OK)
Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail* $V_{dII} \leq {}^{D_R}/_{\gamma_{DR}}$ 45 ≤ 120 (OK)	Bukti *mesh* terhadap tusukan *nail* $V_{dII} \leq {}^{D_R}/_{\gamma_{DR}}$ 45 ≤ 120 (OK)
Bukti *nail* untuk *combined stress* $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,956 ≤ 1 (OK) $\left\{\left[\frac{P_d}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,927 ≤ 1 (OK)	Bukti *nail* untuk *combined stress* $\left\{\left[\frac{V_{dII}}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{VR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,995 ≤ 1 (OK) $\left\{\left[\frac{P_d}{\left({}^{T_{Rred}}/_{\gamma_{TR}}\right)}\right]^2 + \left[\frac{S_d}{\left({}^{S_{Rred}}/_{\gamma_{SR}}\right)}\right]^2\right\}^{0,5} \leq 1$ 0,972 ≤ 1 (OK)
Hasil perkuatan lereng : **AMAN**	Hasil perkuatan lereng : **AMAN**

4.11. Detail Gambar Desain Perkuatan Lereng dengan Material Geobrugg



Gambar 4.24 Permodelan *Soil Nailing* ke dalam Lereng



Gambar 4.25 Perkuatan Lereng dengan kombinasi *Wire Mesh* dan *Spike Plate*

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penyusunan Laporan Tugas Akhir mendapat kesimpulan sebagai berikut:

a. Dari data tanah serta data lereng Cacaban didapatkan SF kondisi eksisting lereng dengan program plaxis V8.6 SF = 1,1028 dan dengan perhitungan manual Metode Bishop SF = 1,0012 yang berarti SF < 1,5 lereng dalam kondisi tidak aman atau dapat terjadi kelongsoran.

b. Jenis perkuatan lereng yang digunakan adalah kombinasi *high-tensile wire mesh* jenis TECCO G65/3, sistem *spike plate* P33, dan *soil nailing* jenis GEWI D = 28 mm dengan jarak *soil nailing* 1,80 m.

c. Hasil perhitungan dari analisis perkuatan lereng kondisi kering dengan konsep dimensi RUVOLUM dan menggunakan software RUVOLUM Online Tool.
   - Bukti keamanan *mesh* terhadap *spike plate* P_d = 27,7 kN dan P_R/γ_{PR} = 60 kN. Telah memenuhi persyaratan keamanan $P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$.
   - Bukti *nail* terhadap luncuran superfisial yang sejajar dengan lereng didapatkan S_d = 79,3 kN dan S_{Rred}/γ_{SR} = 87,3 kN. Telah memenuhi persyaratan keamanan $S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$.

d. Hasil perhitungan dari analisis perkuatan lereng kondisi basah dengan konsep dimensi RUVOLUM dan menggunakan software RUVOLUM Online Tool.
   - Bukti keamanan *mesh* terhadap *spike plate* P_d = 31,4 kN dan P_R/γ_{PR} = 60 kN. Telah memenuhi persyaratan keamanan $P_d \leq P_R/\gamma_{PR}$.
   - Bukti *nail* terhadap luncuran superfisial yang sejajar dengan lereng didapatkan S_d = 82,9 kN dan S_{Rred}/γ_{SR} = 87,3 kN. Telah memenuhi persyaratan keamanan $S_d \leq S_{Rred}/\gamma_{SR}$.

5.2. Saran

Berdasarkan Tugas Akhir ini penulis memberikan saran dan masukan antara lain sebagai berikut:

a. Ditambahkan perhitungan stabilitas lereng sesuai keseluruhan (global).
b. Dilakukan perhitungan lereng kondisi basah akibat hujan maupun karena kadar air dari tanah lereng itu sendiri yang lebih rinci untuk *erosion control* dengan vegetasi.
c. Dilakukan perhitungan tikar pengontrol erosi untuk kekuatan lereng.

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

DAFTAR PUSTAKA

Bab II Penjelasan Umum Soil Nailing. (2019).

Bab II Elemen-Elemen "Soil Nailing" Sebagai Struktur Perkuatan Dinding Galian 2.1 Tinjauan Umum. (2019).

Bowles, J. E. (2005). *Analisis Dan Desain Pondasi II*. Erlangga, Jakarta, 2, 474.

Bowles, J. E. (1997). *Analisis Dan Desain Pondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.

Bowles, J. E. (1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah) Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.

Bowles, J. E. (2005). Analisis Dan Desain Pondasi II. *Erlangga, Jakarta*, *2*, 474.

C, I. M. B., & Agustina, R. (2021). *MENGGUNAKAN METODE SOIL NAILING DI PERUMAHAN*.

Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. *Penerbit Erlangga*, 1–300.

Geobrugg. (2017). *Software Manual RUVOLUM Slope stabilization*.

Geobrugg. (2021). *Tecco system*.

Gröner, E. (2018). *Translated by Google Makalah Teknis : Stabilisasi lereng dan perlindungan erosi dalam satu operasi Translated by Google*. *April*.

Lereng, S. S. (2021). *Sistem tecco*.

Marga, B. (2019). *SNI SKh-1.3.17 TENTANG PENGENDALI EROSI LERENG*. *17*, 1–21.

Method, R. D. (2020). *TECCO ® Slope Stabilization System New Edition 2020*.

PENANGANAN EROSI LERENG GALIAN DAN TIMBUNAN JALAN DENGAN RUMPUT VETIVER. (n.d.).

Prabowo, I., & Jatmika, B. (n.d.). *ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN*

METODE SOIL NAILING PADA TANAH LERENG (Analysis of Soil Strength Using Soil Nailing Methods on Slope Soil).

Riogilang, H., Pontororing, C., & Mekel, A. (2014). SOIL NAILING DAN ANCHOR SEBAGAI SOLUSI APLIKATIF PENAHAN TANAH UNTUK POTENSI LONGSOR DI STA 7+250 RUAS JALAN MANADO-TOMOHON. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, *4*(2), 119–126.

Salam Munir, A., Jafar, N., Anwar, H., Ajwad, M., Yusuf, F. N., Asmiani, N., & Martireni, A. P. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop pada Jalan Poros Maros-Bone Kilometer 84,1 Tompo Ladang Kabupaten Maros*.

Simorangkir, M. E., & Suhendra, A. (2020). Studi Pengaruh Kemiringan, Jarak, Dan Panjang Soil Nailing Terhadap Stabilitas Lereng. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, *3*(3), 722. https://doi.org/10.24912/jmts.v3i3.8754

Tegal, K. (2020). *Justifikasi teknis pekerjaan tambah*.

SNI 03-1997-1995: Klasifikasi Kemiringan Lereng.

Tegal, K. (2020). *Justifikasi teknis pekerjaan tambah*.

Van Zuidam, R. A. 1985. *Aerial Photo – Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. Smith Publisher*, The Hague, ITC.

https://geobrugg.com