



TUGAS AKHIR – RC18 – 4803

**ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN
TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA
GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN
BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI
MUKA AIR DAN GEMPA**

FIKRY FAKHRUDIN
NRP. 0311154000094

Dosen Pembimbing I
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST, MT

Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng

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



TUGAS AKHIR – RC18 – 4803

**ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN
TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA
GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN
BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI
MUKA AIR DAN GEMPA**

FIKRY FAKHRUDIN
NRP. 0311154000094

Dosen Pembimbing I
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST, MT

Dosen Pembimbing II
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng

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

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT – RC18 – 4803

**ALTERNATIVE DESIGN EMBANKMENTS
STRENGTHENING OF BENGAWAN SOLO RIVER IN
GEDONGARUM VILLAGE, KANOR SUB-DISTRICT,
BOJONEGORO DISTRICT DUE TO WATER LEVEL
FLUCTUATION AND EARTHQUAKE**

FIKRY FAKHRUDIN
NRP. 0311154000094

First Advisor
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST, MT

Second Advisor
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN
TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA
GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR,
KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH
FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

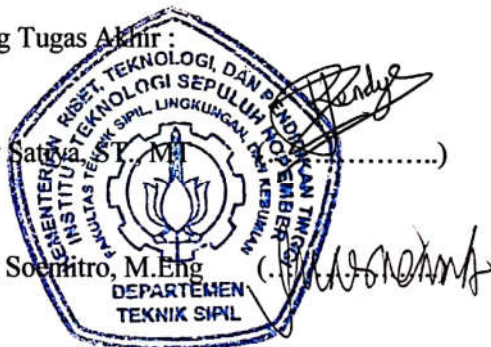
FIKRY FAKHRUDIN

NRP. 0311154000094

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Trihanyndio Rendy Satono, M.Eng (.....)

2. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemtro, M.Eng



**SURABAYA
JULI, 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN
TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA
GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR,
KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH
FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA**

Nama Mahasiswa : FIKRY FAKHRUDIN
NRP : 0311154000094
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK – ITS
**Dosen Pembimbing I : Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST,
MT**
**Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro,
M.Eng**

Abstrak

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa dengan dua hulu sungai yaitu dari daerah Pegunungan Sewu, Wonogiri dan Ponorogo kemudian bermuara di daerah Gresik. Sungai Bengawan Solo menjadi ancaman bagi sebagian warga Bojonegoro terutama yang tinggal di kecamatan Kanor dikarenakan ketika curah hujan dan air sungai tinggi akan mengakibatkan tanggul longsor hingga jebol. Berdasarkan data tanah yang diambil di lokasi diketahui pada Tanggul 1 memiliki nilai NSPT 10 pada kedalaman 25 m dan 20 m pada Tanggul 2 sehingga hingga pada kedalaman tersebut panjang cerucuk yang akan dipasang.

Tugas akhir ini membahas alternatif perencanaan perkuatan tanggul sungai Bengawan Solo di desa Gedongarum, Kec. Kanor, Kab. Bojonegoro. Alternatif perkuatan tanggul yang akan direncanakan adalah kombinasi bronjong, geotextile, dan cerucuk (micropile), kombinasi bronjong, geotextile dan sheetpile, kombinasi riprap, geotextile dan cerucuk (micropile), dan kombinasi riprap, geotextile dan sheetpile. Diharapkan penggunaan perkuatan tersebut dapat menjadi solusi yang efektif

dalam mencegah terjadinya longsor yang mungkin saja terjadi di masa mendatang.

Hasil analisa menunjukkan bahwa SF eksisting pada tanggul tanpa perkuatan sebesar 0.906 dengan nilai $M_r = 54057.198$ kNm pada Tanggul 1 dan 0.908 $M_r = 87,013.26$ kNm pada Tanggul 2. Alternatif terpilih adalah no 3 dengan kombinasi riprap, geotextile dan cerucuk (micropile) karena kombinasi yang paling murah dengan total nilai untuk Rp103.291.530,90 ,- Tanggul 1 dan Rp111.366.365,70 ,- untuk Tanggul 2.

Kata kunci: Sungai Bengawan Solo, Gedongarum, Tanggul, Alternatif, Gempa, Longsor, Geotextile, Cerucuk, Bronjong, Riprap

**ALTERNATIVE DESIGN EMBANKMENTS
STRENGTHENING OF BENGAWAN SOLO RIVER
IN GEDONGARUM VILLAGE, KANOR SUB-
DISTRICT, BOJONEGORO DISTRICT DUE TO
WATER LEVEL FLUCTUATION AND
EARTHQUAKE**

Name : FIKRY FAKHRUDIN
Regs. Number : 0311154000094
Department : Civil Engineering, FTSLK ITS
Supervisor I : Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST,
MT
Supervisor II : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro,
M.Eng

Abstract

The Bengawan Solo River is the longest river on Java Island with two upstream rivers, namely from the Sewu Mountains, Wonogiri and Ponorogo, then empties into the Gresik area. The Bengawan Solo River is a threat to some Bojonegoro residents, especially those who live in Kanor sub-district, because when rainfall and high river water will cause the embankment to collapse, it will break down. The embankment 1 has NSPT value of 10 in the depth of 25 m and 20m for the embankment 2 so in that depth the pile can be set.

This final project discuss alternative planning for strengthening the Bengawan Solo river embankment in Gedongarum village, Kanor sub-district, Bojonegoro district. It will be planned to use combination of gabions, geotextile and micropile, combination of gabions, geotextile and sheetpile, combination of riprap, geotextile and micropile, and combination of riprap, geotextile and sheetpile. The results of this plan are expected to be a new alternative for planning on the Bengawan

Solo river embankment in Gedongarum Village, Kanor District, Bojonegoro Regency.

The results of the analysis that have been done concluded that the existing SF on the unreinforced embankment is 0.906 with a M_r value of 54057.198 kNm at Embankment 1 and 0.908 $M_r = 87,013.26$ kNm at Embankment 2. The chosen alternative is number 3 with a combination of riprap, geotextile and micropile because of the cheapest combination with a total value of Rp. 103.291.530,90,- for Embankment 1 and Rp 111.366.365,70,- for Embankments 2.

Keywords: Bengawan Solo river, Gedongarum, Embankment, Alternative, Earthquake, Collapse, Geotextile, Pile, Gabion, Riprap

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah, Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul “ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA” dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Keluarga yang telah memberikan doa, motivasi, dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS.
3. Bapak Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST, MT dan Ibu Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan ilmu selama Penulis menyusun Tugas Akhir ini.
4. Prof. Dr. Ir. Triwulan DEA selaku dosen wali yang telah memberikan masukan dan arahan selama mengikuti proses perkuliahan.
5. Seluruh dosen pengajar dan staff Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS yang telah banyak memberi ilmu selama penulis menempuh kuliah.
6. Rekan-rekan seperjuangan di Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS yang telah memberikan semangat, kesan serta kenangan yang baik selama masa studi kuliah.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penulisan Proposal Tugas Akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan pada masa mendatang.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan.....	6
1.4. Lingkup Pekerjaan.....	7
1.5. Batasan Masalah.....	7
1.6. Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Tanah.....	9
2.1.1. Klasifikasi Tanah.....	9
2.1.2. Data Tanah dan Korelasinya	9
2.2. Tekanan Lateral Akibat Tanah dan Akibat Beban Luar 11	
2.2.1. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif.....	11
2.2.2. Tekanan Lateral Akibat Beban Luar	14
2.3. Tanggul Tanah.....	14
2.3.1. Pengertian Tanggul Tanah.....	14
2.3.2. Stabilitas Tanggul Tanah.....	15

2.4.	Pengaruh Fluktuasi Muka Air Sungai Terhadap Stabilitas Tanggul.....	16
2.4.1.	Mekanisme terjadinya kelongsoran pada musim hujan	16
2.4.2.	Mekanisme terjadinya kelongsoran pada musim kemarau	18
2.5.	Pengaruh Gempa Terhadap Stabilitas Tanggul	21
2.6.	Analisis Stabilitas Tanggul dengan Geostudio.....	23
2.7.	Perencanaan Perkuatan Tanggul.....	24
2.7.1.	Bronjong.....	24
2.7.2.	<i>Geotextile</i>	27
2.7.3.	<i>Riprap</i>	30
2.8.	Perkuatan Dasar Tanggul.....	35
2.8.1.	Cerucuk.....	35
2.8.2.	<i>Sheetpile</i>	38
BAB III METODOLOGI		43
3.1.	Alur Metodologi	43
3.2.	Output.....	49
BAB IV ANALISIS DATA		51
4.1.	Tanggul Sungai Bengawan Solo.....	51
4.2.	Analisis Data	54
4.2.1.	Analisis Data Tanah.....	54
4.2.2.	Analisis Gempa.....	60
4.2.3.	Stabilitas Tanggul.....	61
BAB V PERENCANAAN PERKUATAN.....		67

5.1.	Rencana Perkuatan	67
5.2.	Tanpa Kombinasi	67
5.2.1.	Bronjong.....	67
5.2.2.	<i>Riprap</i>	80
5.2.3.	<i>Geotextile</i>	91
5.2.4.	Cerucuk (<i>micropile</i>)	100
5.2.5.	<i>Sheetpile</i>	104
5.3.	Pertimbangan.....	108
5.4.	Kombinasi Perkuatan	109
5.4.1.	Alternatif 1	109
5.4.2.	Alternatif 2	128
5.4.3.	Alternatif 3	131
5.4.4.	Alternatif 4	151
5.5.	Kesimpulan Perencanaan	152
5.6.	Analisis Harga Barang.....	153
5.7.	Metode Pelaksanaan	154
BAB VI KESIMPULAN.....		157
6.1.	Kesimpulan.....	157
DAFTAR PUSTAKA.....		159
LAMPIRAN.....		161

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi tanggul sungai Bengawan Solo di Desa Gedongarum Kecamatan Kanor yang longsor (Sumber: google.com).....	1
Gambar 1. 2 Cross section I Gedongarum, Kanor, Kabupaten Bojonegoro	2
Gambar 1. 3 Cross section II Gedongarum, Kanor, Kabupaten Bojonegoro	2
Gambar 1. 4 Potongan melintang sungai di lokasi 1	3
Gambar 1. 5 Potongan melintang sungai di lokasi 2	3
Gambar 1. 6 Tencana tanggul dengan tinggi 3 m yang dibangun tanpa perkuatan	4
Gambar 1. 7 Tampak depan kondisi tanggul yang mengalami kelongsoran (Sumber: Dokumentasi Pribadi)	5
Gambar 1. 8 Tampak samping kondisi tanggul yang mengalami kelongsoran (Sumber: Dokumentasi Pribadi)	5
Gambar 2. 1 Batasan-batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa sistem (Sumber: Braja M. Das).....	10
Gambar 2. 2 Ilustrasi tegangan aktif dan pasif terpengaruh gempa (Okabe, 1926; Mononobe, 1929).....	13
Gambar 2. 3 Gambaran kondisi tanggul dan bagian yang rawan longsor saat musim hujan (Nugroho, 2007)	17
Gambar 2. 4 Gambaran penyebab rawannya tanggul terhadap longsor saat musim hujan (Nugroho, 2007)	17
Gambar 2. 5 Gambaran peristiwa kelongsoran saat musim hujan (Nugroho, 2007)	18
Gambar 2. 6 Gambaran kondisi tanggul dan bagian yang rawan erosi saat musim kemarau (Nugroho, 2007).....	19
Gambar 2. 7 Gambaran kondisi tanggul setelah terjadi erosi saat musim kemarau (Nugroho, 2007)	20
Gambar 2. 8 Gambaran kondisi tanggul saat musim kemarau setelah terjadi longsor (Nugroho, 2007).....	20

Gambar 2. 9 Peta wilayah gempa Indonesia berdasarkan parameter PGA (Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional)	22
Gambar 2. 10 Ilustrasi gaya-gaya pada bronjong (Sumber: Modular Gabion System)	25
Gambar 2. 11 Ukuran anyaman kawat bronjong 80 mm x 100 mm.....	26
Gambar 2. 12 Ilustrasi ukuran bronjong	27
Gambar 2. 13 Ilustrasi pemasangan geotextile	29
Gambar 2. 14 Desain bagian kaki riprap (Sumber: Design Of Riprap Revetment).....	33
Gambar 2. 15 Desain kaki <i>riprap</i> model 2 (Sumber: <i>Design Of Riprap Revetment</i>)	34
Gambar 2. 16 Pemasangan riprap (Sumber: <i>Design Of Riprap Revetment</i>)	34
Gambar 2. 17 Grafik harga <i>f</i> untuk berbagai jenis tanah (NAVFAC DM-7,1971)	36
Gambar 2. 18 Grafik nilai FM (NAVFAC DM-7,1971).....	37
Gambar 2. 19 Ilustrasi pemasangan cerucuk	38
Gambar 2. 20 Denah pemasangan cerucuk.....	38
Gambar 2. 21 Grafik harga <i>f</i> untuk berbagai jenis tanah (NAVFAC DM-7,1971)	39
Gambar 2. 22 Grafik nilai FM (NAVFAC DM-7,1971).....	40
Gambar 2. 23 Ilustrasi pemasangan <i>sheetpile</i>	41
Gambar 2. 24 Denah pemasangan <i>sheetpile</i>	41
Gambar 3. 1 Diagram alir Alternatif Perencanaan Perkuatan Tanggul Sungai Bengawan Solo di Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro Akibat Pengaruh Fluktuasi Muka Air dan Gempa...48	
Gambar 4. 1 Korelasi kedalaman dan lebar sungai menurut Maryono (2005), dimodifikasi.....	51
Gambar 4. 2 Pengukuran sempadan pada Tanggul 1	53
Gambar 4. 3 Pengukuran sempadan pada Tanggul 2.....	53
Gambar 4. 4 Lokasi pengambilan data tanah dan crosssection..56	

Gambar 4. 5 Grafik antara kedalaman dan nilai N-SPT (a) Tanggul 1 dan (b) Tanggul 2.....	58
Gambar 4. 6 Potongan melintang dan data tanah Tanggul 1	60
Gambar 4. 7 Potongan melintang dan data tanah Tanggul 2	60
Gambar 4. 8 Gambar garis kelongsoran pada SF 0.906 Tanggul 1 akibat gempa hasil analisis Geoslope.....	64
Gambar 4. 9 Gambar garis kelongsoran pada SF 0.908 Tanggul 2 akibat gempa hasil analisis Geoslope.....	64
Gambar 4. 10 Visualisasi garis kelongsoran pada Tanggul 1	65
Gambar 4. 11 Visualisasi garis kelongsoran pada Tanggul 2....	65
Gambar 5. 1 Ilustrasi perencanaan bronjong Tanggul 1	67
Gambar 5. 2 Diagram tegangan horizontal bronjong Tanggul 1	69
Gambar 5. 3 Perencanaan perkuatan bronjong pada Tanggul 2	75
Gambar 5. 4 Diagram tegangan horizontal bronjong Tanggul 2	76
Gambar 5. 5 Ilustrasi pemasangan riprap Tanggul 1	81
Gambar 5. 6 Diagram tegangan horizontal riprap Tanggul 1	83
Gambar 5. 7 Ilustrasi perencanaan riprap Tanggul 2.....	87
Gambar 5. 8 Diagram tegangan horizontal riprap Tanggul 1	89
Gambar 5. 9 Ilustrasi perencanaan geotextile Tanggul 1.....	92
Gambar 5. 10 Ilustrasi gaya pada geotextile.....	94
Gambar 5. 11 Ilustrasi perencanaan perkuatan geotextile pada tanggul 2.....	96
Gambar 5. 12 Ilustrasi gaya pada geotextile.....	98
Gambar 5. 13 Ilustrasi pemasangan cerucuk Tanggul 1	100
Gambar 5. 14 Ilustrasi perencanaan cerucuk Tanggul 2.....	104
Gambar 5. 15 Ilustrasi perencanaan sheetpile Tanggul 1	105
Gambar 5. 16 Ilustrasi perencanaan sheetpile Tanggul 2	107
Gambar 5. 17 Diagram tegangan horizontal bronjong Alternatif 1 Tanggul 1.....	111
Gambar 5. 18 Diagram tegangan horizontal bronjong Alternatif 1 Tanggul 2.....	121
Gambar 5. 19 Diagram tegangan horizontal riprap Alternatif 3 Tanggul 1.....	133

Gambar 5. 20 Diagram tegangan horizontal riprap Alternatif 3 Tanggul 2.....	144
Gambar 5. 21 Pekerjaan galian	155

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah (Sumber: Pratito, Safitri, & Safitri, 2014).....	4
Tabel 2. 1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah (Sumber: Braja M. Das, 1990).....	10
Tabel 2. 2 Hubungan NSPT dengan D_r , v , γ , \emptyset , q_u , dan Jenis Tanah (J.E.Bowles, 1984)	10
Tabel 2. 3 Hubungan Jenis Tanah dan Poisson Ratio (J.E.Bowles, 1984).....	11
Tabel 2. 4 Hubungan Jenis Tanah dan Modulus Young (J.E.Bowles, 1984)	11
Tabel 2. 5 Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah (SNI 8460:2017)	16
Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs (AASHTO, 2012).....	23
Tabel 2. 7 Tabel Nilai Koefisien FPGA (SNI 1726:2012)	23
Tabel 2. 8 Tabel Ukuran Bentuk Bronjong.....	26
Tabel 2. 9 Faktor Stabilitas untuk Berbagai Kondisi Saluran (Sumber: Design Of Riprap Revetment)	30
Tabel 2. 10 Tabel Kelas Riprap Berdasarkan Median Diameter Partikel (Sumber: Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control).....	31
Tabel 2. 11 Tabel Kelas Riprap Berdasarkan Berat Median Partikel (Sumber: Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control).....	32
Tabel 4. 1 Lebar Sempadan Sungai Terkait Pemberian Ruang Meandering dan Perlindungan Banjir.....	52
Tabel 4. 2 Tabel Koreksi Borlog Tanggul 1	56
Tabel 4. 3 Tabel Koreksi Borlog Tanggul 2	57
Tabel 4. 4 Tabel Korelasi Data Tanah Tanggul 1	58
Tabel 4. 5 Tabel Korelasi Data Tanah Tanggul 2.....	59
Tabel 4. 6 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 1 Akibat Gempa	62

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 1 Tanpa Gempa	62
Tabel 4. 8 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 2 Akibat Gempa	62
Tabel 4. 9 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 2 Tanpa Gempa	63
Tabel 5. 1 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong	69
Tabel 5. 2 Tabel Tekanan Tanah Bronjong	69
Tabel 5. 3 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong.....	70
Tabel 5. 4 Harga-harga N_c , N_γ , N_q dari Caquot & Kerisel.....	71
Tabel 5. 5 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong	76
Tabel 5. 6 Tabel Tekanan Tanah Bronjong	76
Tabel 5. 7 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong.....	77
Tabel 5. 8 Harga-harga N_c , N_γ , N_q dari Caquot & Kerisel.....	79
Tabel 5. 9 Tabel Tegangan Horizontal Riprap.....	82
Tabel 5. 10 Tabel Tekanan Tanah Riprap.....	82
Tabel 5. 11 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap.....	84
Tabel 5. 12 Tabel Tegangan Horizontal Riprap.....	88
Tabel 5. 13 Tabel Tekanan Tanah Riprap.....	89
Tabel 5. 14 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap.....	90
Tabel 5. 15 Tabel Perhitungan M_p dan M_d Geotextile	95
Tabel 5. 16 Tabel Perhitungan M_p dan M_d Geotextile	99
Tabel 5. 17 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong Alternatif 1 Tanggul 1.....	110
Tabel 5. 18 Tabel Tekanan Tanah Bronjong Alternatif 1 Tanggul 1	111
Tabel 5. 19 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong Alternatif 1 Tanggul 1.....	112
Tabel 5. 20 Tabel Perhitungan M_p dan M_d	117
Tabel 5. 21 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong Alternatif 1 Tanggul 2.....	121
Tabel 5. 22 Tabel Tekanan Tanah Bronjong Alternatif 1 Tanggul 2.....	121

Tabel 5. 23 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong Alternatif 1 Tanggul 2.....	122
Tabel 5. 24 Tabel Perhitungan M_p dan M_d	126
Tabel 5. 25 Tabel Tegangan Horizontal Riprap Alternatif 3 Tanggul 1.....	133
Tabel 5. 26 Tabel Tekanan Tanah Riprap.....	134
Tabel 5. 27 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap.....	135
Tabel 5. 28 Tabel Perhitungan M_p dan M_d	140
Tabel 5. 29 Tabel Tegangan Horizontal Riprap Alternatif 3 Tanggul 2.....	144
Tabel 5. 30 Tabel Tekanan Tanah Riprap.....	145
Tabel 5. 31 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap.....	146
Tabel 5. 32 Tabel Perhitungan M_p dan M_d	149
Tabel 5. 33 Tabel Resume Alternatif Tanggul 1	152
Tabel 5. 34 Tabel Resume Alternatif Tanggul 2	153

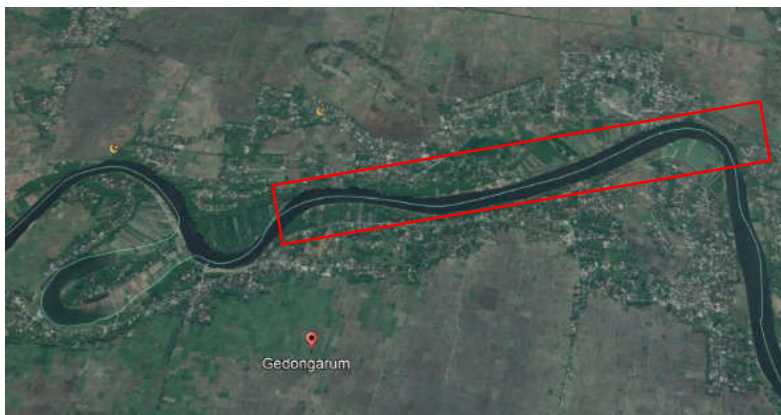
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

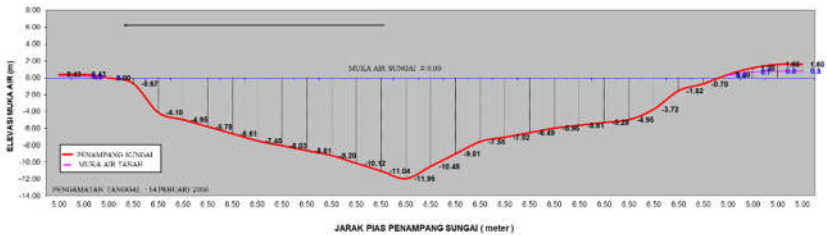
1.1. Latar Belakang

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa dengan dua hulu sungai yaitu dari daerah Pegunungan Sewu, Wonogiri dan Ponorogo kemudian bermuara di daerah Gresik. Selain mempunyai peran positif terhadap kelangsungan hidup masyarakat, di sisi lain, Sungai Bengawan Solo dapat mendatangkan bencana terhadap masyarakat yang tinggal di sekitar sungai. Salah satu daerah yang menerima dampak besar adanya sungai Bengawan Solo adalah Kabupaten Bojonegoro yang masuk dalam wilayah administratif hilir sungai. Sungai Bengawan Solo menjadi ancaman bagi sebagian warga Bojonegoro terutama yang tinggal di kecamatan Kanor dikarenakan ketika curah hujan dan air sungai tinggi akan mengakibatkan tanggul longsor hingga jebol. Lokasi tanggul dan *cross section* sungai Bengawan Solo di Desa Gedongarum, Kecamatan Kanor yang longsor ditunjukkan pada Gambar 1.1, Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.



Gambar 1. 1 Lokasi tanggul sungai Bengawan Solo di Desa Gedongarum Kecamatan Kanor yang longsor (Sumber: google.com)

CROSS SECTION GEDONGAROM, KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO



Des. doc. Jan 2006

Gambar 1. 2 *Cross section I* Gedongarom, Kanor, Kabupaten Bojonegoro

CROSS SECTION GEDONGAROM, KANOR, KAB. BOJONEGORO

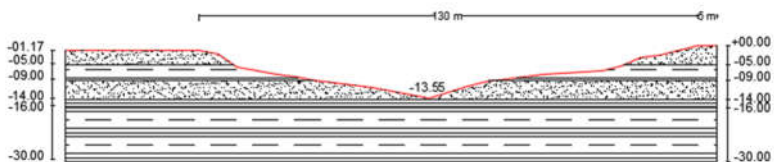


Gambar 1. 3 *Cross section II* Gedongarom, Kanor, Kabupaten Bojonegoro

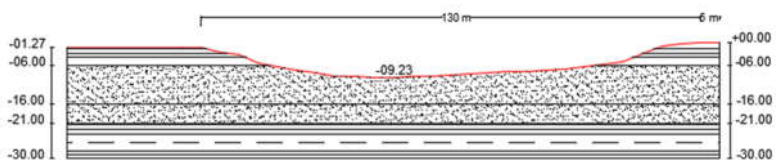
Potongan melintang sungai yang berada di dekat pemukiman warga dan di beberapa lokasi terjadi longsor yang telah terjadi saat musim kemarau dan hujan dapat dilihat pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5. Diketahui data tanah berupa borlog yang dapat dilihat pada Gambar 1 di Lampiran menunjukkan kedalaman yang memiliki N-SPT 10 di data tanah Tanggul 1 pada kedalaman 25 m dan 20 m pada Tanggul 2 serta penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan membuktikan bahwa tanah dasar pada lokasi tersebut berupa tanah lempung dengan persentase dari analisa saringan dan hidrometer yang menunjukkan sebesar 36.2% dan dapat dilihat dari Tabel 1.1. Alternatif yang digunakan sementara ini untuk

menanggulangi banjir ini adalah dengan membangun tanggul setinggi 3 m menggunakan timbunan tanah dapat dilihat pada Gambar 1.6. Tanggul dengan tinggi 3 m berfungsi sebagai penghalang air sungai ketika air sedang meluap. Material penyusunnya berupa tanah galian dari sungai yang ditumpuk dan dipadatkan. Tanggul ini dibangun disepanjang garis sungai dengan jarak dari sungai mencapai 25 m. Tahun 2015 terbit PERMEN PUPR No. 28 tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai dan Garis Sempadan Danau.

Adanya tanggul tersebut ternyata belum cukup efektif dikarenakan di beberapa lokasi sekitar Desa Gedongarum terdapat timbunan tanah yang longsor. Longsor yang terjadi tidak hanya ketika muka air sungai tinggi saja, tetapi juga terjadi ketika air sungai rendah. Kondisi tanggul yang telah dibangun juga tidak memperitungkan faktor gempa dan dikhawatirkan mengalami kegagalan ketika terjadi gempa di daerah tersebut. Kondisi tanggul yang mengalami kelongsoran dapat dilihat pada Gambar 1.7 dan Gambar 1.8.



Gambar 1. 4 Potongan melintang sungai di lokasi 1



Gambar 1. 5 Potongan melintang sungai di lokasi 2



Gambar 1. 6 Tencana tanggul dengan tinggi 3 m yang dibangun tanpa perkuatan

Tabel 1. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah (Sumber: Pratito, Safitri, & Safitri, 2014)

Pengujian	Tanah Natural
Analisa Saringan dan Hidrometer	
- Fraksi Kerikil (Gravel)	0%
- Fraksi Pasir (Sand)	7.31%
- Fraksi Lanau (Silt)	56.49%
- Fraksi Lempung (Clay)	36.20%
Indeks Konsistensi	
- Batas Cair (LL)	57%
- Batas Plastis (PL)	28.54%
- Indeks Plastisitas (PI)	28.96%
Specific Gravity (Gs)	2.625
Klasifikasi Tanah	
- USCS	CH
- AASHTO	A - 7 - 6 (31)
Triaksial	
- ϕ (°)	4.3
- c (kN/m ²)	55.6
- E1 (kN/m ²)	3970.8
- E2 (kN/m ²)	3810.86



Gambar 1. 7 Tampak depan kondisi tanggul yang mengalami kelongsoran (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 1. 8 Tampak samping kondisi tanggul yang mengalami kelongsoran (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Untuk menanggulangi adanya kelongsoran, maka diperlukan adanya perencanaan perkuatan tanggul menggunakan beberapa alternatif perkuatan yang dapat dipilih. Alternatif perkuatan tanggul yang akan direncanakan adalah kombinasi

bronjong, *geotextile*, dan cerucuk (*micropile*), kombinasi bronjong, *geotextile* dan *sheetpile*, kombinasi *riprap*, *geotextile* dan cerucuk (*micropile*), dan kombinasi *riprap*, *geotextile* dan *sheetpile*. Alternatif perkuatan tersebut memperhitungkan fluktuasi muka air sungai dan pengaruh gempa sehingga tanggul dapat menahan kelongsoran yang disebabkan oleh fluktuasi muka air sungai dan gempa yang mungkin terjadi pada daerah tersebut. Diharapkan penggunaan perkuatan tersebut dapat menjadi solusi yang efektif dalam mencegah terjadinya longsor yang mungkin saja terjadi di masa mendatang. Alternatif perkuatan yang dipilih pada tanggul sungai Bengawan Solo direncanakan menggunakan metode pelaksanaan yang mudah sehingga kelongsoran tidak terjadi dan membuat masyarakat sekitar merasa aman dan nyaman.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun masalah yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimanakah stabilitas tanggul eksisting terhadap fluktuasi muka air dan gempa.
2. Bagaimanakah perencanaan bronjong pada tanggul?
3. Bagaimanakah perencanaan *riprap* pada tanggul?
4. Bagaimanakah perencanaan *geotextile* pada tanggul?
5. Bagaimanakah perencanaan cerucuk pada tanggul?
6. Bagaimanakah perencanaan kombinasi bronjong, *geotextile*, dan cerucuk (*micropile*) pada tanggul?
7. Bagaimanakah perencanaan kombinasi kombinasi bronjong, *geotextile* dan *sheetpile* pada tanggul?
8. Bagaimanakah perencanaan kombinasi kombinasi *riprap*, *geotextile* dan cerucuk (*micropile*) pada tanggul?
9. Bagaimanakah perencanaan kombinasi kombinasi kombinasi *riprap*, *geotextile* dan *sheetpile* pada tanggul?
10. Alternatif manakah yang akan digunakan?

1.3. Tujuan

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah mendapatkan alternatif perkuatan tanggul yang aman dengan metode pelaksanaan yang mudah

1.4. Lingkup Pekerjaan

Lingkup pekerjaan yang akan dikerjakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung beban-beban apa saja yang mempengaruhi stabilitas tanggul.
2. Menghitung stabilitas tanggul sebelum dipasang perkuatan.
3. Merencanakan alternatif perkuatan tanggul berupa kombinasi bronjong, *geotextile*, dan cerucuk (*micropile*), kombinasi bronjong, *geotextile* dan *sheetpile*, kombinasi *riprap*, *geotextile* dan cerucuk (*micropile*), dan kombinasi *riprap*, *geotextile* dan *sheetpile*.
4. Menghitung stabilitas tanggul setelah dipasang perkuatan.
5. Merencanakan metode pelaksanaan yang mudah dilaksanakan.

1.5. Batasan Masalah

Berikut ini adalah batasan-batasan dari permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini:

1. Alternatif terpilih berdasarkan biaya material.
2. Tidak membahas aspek hidrologi sungai Bengawan Solo, data fluktuasi muka air sungai didapatkan dari penelitian yang pernah dilakukan.
3. Pengerjaan tidak mempertimbangkan arus sungai.
4. Data yang dipakai adalah data sekunder.

1.6. Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini diharapkan bisa menjadi alternatif bagi perencanaan yang baru pada tanggul sungai Bengawan Solo, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1985). Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah, merupakan hasil pelapukan dari batuan. Ukuran setiap butiran padat tersebut sangat bervariasi dan sifat-sifat fisik dari tanah banyak tergantung dari faktor-faktor ukuran, bentuk, dan komposisi kimia dari butiran.

2.1.1. Klasifikasi Tanah

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah. Organisasi-organisasi tersebut adalah Massachusetts Institute of Technology (MIT), U.S. Department of Agriculture (USDA), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) dan oleh U. S. Army Corps of Engineers dan U. S. Bureau of Reclamation. Hasil yang kemudian dapat disebut Unified Soil Classification System (USCS). Berikut ini adalah batasan-batasan ukuran golongan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

2.1.2. Data Tanah dan Korelasinya

Korelasi N-SPT dapat digunakan untuk mendapatkan nilai parameter tanah yang digunakan dalam desain seperti D_r , v , γ , ϕ . Korelasi nilai N-SPT dengan parameter tanah pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah
(Sumber: Braja M. Das, 1990)

Nama Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0.06	0.06 - 0.002	<0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 - 0.05	0.05 - 0.002	<0.002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76.2 - 2	2 - 0.075	0.075 - 0.002	<0.002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76.2 - 4.75	4.75 - 0.075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0.0075	



Gambar 2. 1 Batasan-batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa sistem
(Sumber: Braja M. Das)

Tabel 2. 2 Hubungan NSPT dengan D_r , v , γ , ϕ , q_u , dan Jenis Tanah (J.E.Bowles, 1984)

Cohesionless Soil					
N (blows)	0-3	4-10	11-30	31-50	>50
γ (kN/m ³)	-	12-16	14-18	16-20	18-23
ϕ (°)	-	25-32	28-36	30-40	>35
State	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
D_r (%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
Cohesive Soil					
N (blows)	<4	4-6	6-15	16-25	>25
γ (kN/m ³)	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
q_u (kPa)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Tabel 2. 3 Hubungan Jenis Tanah dan Poisson Ratio
(J.E.Bowles, 1984)

Material	Poisson rasio (ν)
Sand	-
Dense	0.3-0.4
Loose	0.2-0.25
Fine ($e = 0.4-0.7$)	0.25
Coarse ($e = 0.4-0.7$)	0.15

Tabel 2. 4 Hubungan Jenis Tanah dan Modulus Young
(J.E.Bowles, 1984)

Jenis Tanah	Es (ksi)	Es (kg/cm ²)
Clay		
Very Soft	0.05-0.4	3-30
Soft	0.2-0.6	20-40
Medium	0.6-1.2	45-90
Hard	1-3	70-200
Sandy	4-6	300-425
Glacial Fill	1.5-22	100-1600
Loose	2-8	150-600
Sand		
Jenis Tanah	Es (ksi)	Es (kg/cm ²)
Silty	1-3	50-200
Loose	1.5-3.5	100-250
Dense	7-12	500-1000
Sand and Gravel		
Dense	14-28	800-2000
Loose	7-20	500-1400
Shales	20-2000	1400-14000
Silt	0.3-3	20-200

2.2. Tekanan Lateral Akibat Tanah dan Akibat Beban Luar

2.2.1. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Salah satu yang berpengaruh terhadap kestabilan perkuatan tanggul adalah sanggup menahan gaya lateral. Gaya ini

selalu bekerja pada sebuah konstruksi penahan tanah yang direncanakan. Untuk mendapatkan nilai tekanan tanah terlebih dahulu mencari nilai koefisien tekanan tanah dengan rumus di bawah ini:

$$K_a = \frac{1 - \sin\theta}{1 + \sin\theta} = \text{tg}^2\left(45 - \frac{\theta}{2}\right) \quad (2.1)$$

Dimana:

K_a : koefisien tekanan tanah aktif

θ : sudut geser dalam

Gaya gempa arah lateral dihitung menggunakan pendekatan Mononobe-Okabe. Pengaruh gempa diasumsikan sebagai gaya horizontal statis yang sama dengan koefisien gempa rencana dikalikan dengan berat irisan. Koefisien tekanan tanah aktif akibat gempa dihitung menggunakan rumus berikut:

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \psi)}{\cos\psi \cdot \cos^2\alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \psi) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \psi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha + \psi) \cdot \cos(\beta - \alpha)}}\right]^2} \quad (2.1)$$

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right) \quad (2.2)$$

Dimana:

ϕ : sudut geser tanah

α : sudut kemiringan dinding belakang terhadap vertikal

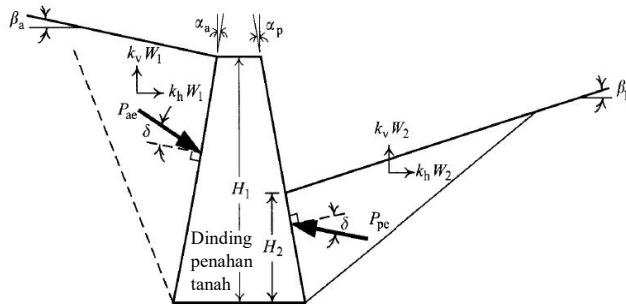
δ : sudut geser antara tanah dengan dinding

β : sudut kemiringan tanah timbunan

k_h : koefisien percepatan horizontal gempa

k_v : koefisien percepatan vertikal

Ilustrasi tegangan aktif dan pasif terpengaruh gempa dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Ilustrasi tegangan aktif dan pasif terpengaruh gempa (Okabe, 1926; Mononobe, 1929)

Sementara itu tekanan tanah aktif adalah perluasan dari diagram tekanan tanah yang terjadi dikalikan koefisien tekanan tanahnya. Pada umumnya untuk mendapatkan nilai tekanan tanah akan digunakan rumus berikut:

$$P_a = K_a \gamma H^2 \quad (2.3)$$

Dimana:

- γ : berat volume tanah
- H : kedalaman dari permukaan tanah
- K_a : koefisien tekanan tanah aktif

Kohesi juga memberikan pengaruh untuk mengurangi tekanan tanah sebesar $2c\sqrt{K_a}$. Persamaannya dapat dituliskan seperti berikut ini:

$$P_a = K_a \gamma H^2 - 2c\sqrt{K_a} \quad (2.4)$$

Terdapat juga tekanan tanah pasif untuk melawan tekanan tanah aktif. Untuk mendapatkan nilai tekanan tanah pasif harus dicari nilai koefisien tekanan tanah pasif dengan rumus di bawah ini:

$$K_p = \frac{1 - \sin\theta}{1 + \sin\theta} = \text{tg}^2\left(45 + \frac{\theta}{2}\right) \quad (2.5)$$

Maka untuk mendapatkan nilai tekanan tanah pasif menggunakan rumus berikut:

$$P_p = K_p \gamma H^2 \quad (2.6)$$

Tekanan tanah pasif dengan kohesi

$$P_p = K_p \gamma H^2 - 2c\sqrt{K_p} \quad (2.7)$$

2.2.2. Tekanan Lateral Akibat Beban Luar

Tekanan tanah akibat beban luar adalah adanya tekanan yang dipengaruhi oleh beban selain tanah itu sendiri. Beban yang dimaksud dapat diasumsikan seperti beban terpusat, lingkaran, merata dan lain sebagainya. Dengan menghitung beban tersebut akan didapatkan nilai Q , dimana untuk mendapatkan tekanan tanah lateral oleh beban luar adalah sebagai berikut:

- Mencari nilai Q
- Mencari nilai K_a
- Mencari nilai P_a (tekanan lateral) dapat menggunakan rumus

$$P_a = (Q + K_a \gamma H^2) - 2c\sqrt{K_a} \quad (2.8)$$

2.3. Tanggul Tanah

2.3.1. Pengertian Tanggul Tanah

Tanggul merupakan suatu konstruksi yang dibuat untuk mencegah banjir di dataran yang dilindungi. Pembuatan tanggul merupakan suatu rancangan rekayasa untuk memenuhi kebutuhan

manusia. Rancangan rekayasa bukanlah jawaban atas segalanya, melainkan suatu proses terencana untuk endapatkan solusi yang bersifat terbatas pada beberapa kondisi yang telah diketahui dan diterima sebelumnya. Pada umumnya, tanggul dapat ditemukan di sepanjang sungai untuk melindungi dari banjir.

2.3.2. Stabilitas Tanggul Tanah

Analisis stabilitas tanggul harus mempertimbangkan beban hidup (live load), beban mati (dead load), dan gempa sesuai peruntukan. Beban tambahan (surcharge load) 10 kN/m² harus diterapkan untuk memperhitungkan beban yang bekerja pada permukaan tanggul. Stabilitas tanggul dilakukan untuk mendapatkan nilai angka keamanan tertentu. Faktor yang perlu dilakukan pemeriksaan adalah menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan retak yang paling kritis dengan kekuatan geser tanah yang bersangkutan, hasil perbandingan dari kedua parameter tersebut dinamakan angka keamanan. Umumnya angka keamanan didefinisikan sebagai berikut (Das 1985):

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.9)$$

Dimana:

FS : angka keamanan

τ_f : kekuatan tanah menahan longsor

τ_d : gaya dorong yang bekerja sepanjang bidang longsor

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

$$\tau_f = c + \sigma \tan \emptyset \quad (2.10)$$

Dimana:

c : kohesi

σ : tegangan normal rata-rata

\emptyset : sudut geser tanah

Berdasarkan SNI 8460-2017 faktor keamanan lereng disyaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah dengan didasarkan pada pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis (Tabel 2.5).

Tabel 2. 5 Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Tanah (SNI 8460:2017)

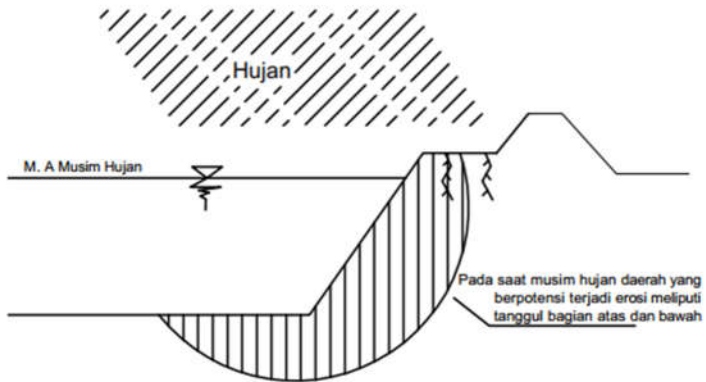
Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	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 geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.		

2.4. Pengaruh Fluktuasi Muka Air Sungai Terhadap Stabilitas Tanggul

Tinggi rendahnya muka air mempunyai peran besar terhadap kelongsoran yang terjadi terhadap tanggul. Berikut adalah mekanisme terjadinya kelongsoran pada tanggul sungai Bengawan Solo pada Tugas Akhir ini akan dianalisa pada dua kondisi yaitu pada saat musim kemarau dan musim hujan.

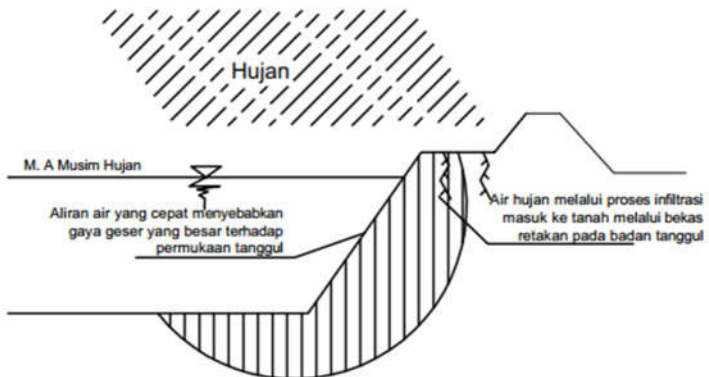
2.4.1. Mekanisme terjadinya kelongsoran pada musim hujan

1. Pada saat musim hujan muka air sungai tinggi, bagian tanggul yang terendam aliran air meliputi bagian atas dan bawah, sehingga terjadi longsor pada tanggul bagian atas dan bawah.



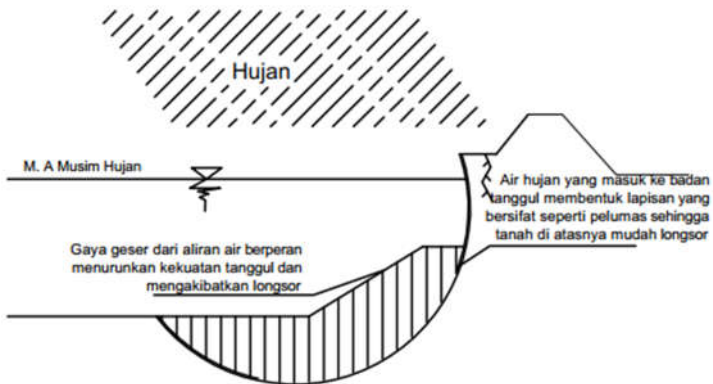
Gambar 2. 3 Gambaran kondisi tanggul dan bagian yang rawan longsor saat musim hujan (Nugroho, 2007)

2. Pada musim hujan air cepat masuk ke dalam badan tanggul melalui berkas retakan yang muncul saat musim kemarau melalui proses infiltrasi. Kecepatan air yang besar juga mempengaruhi besarnya gaya geser yang terjadi terhadap permukaan tanggul.



Gambar 2. 4 Gambaran penyebab rawannya tanggul terhadap longsor saat musim hujan (Nugroho, 2007)

3. Air yang masuk ke dalam badan tanggul bersifat seperti pelumas yang mengakibatkan tanggul mudah longsor ditambah gaya geser akibat air yang bekerja pada permukaan tanggul akan semakin mempercepat longornya badan tanggul.

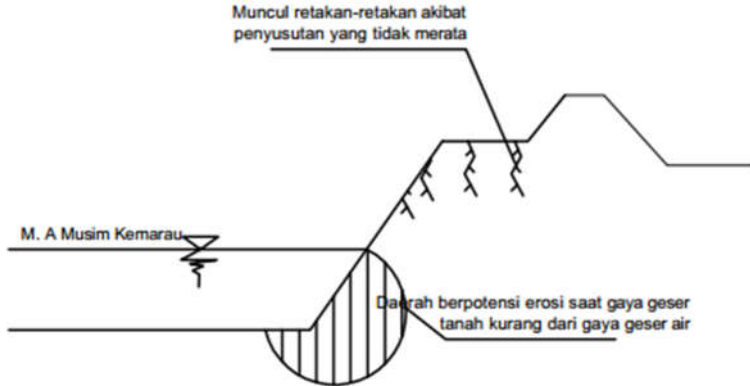


Gambar 2. 5 Gambaran peristiwa kelongsoran saat musim hujan (Nugroho, 2007)

2.4.2. Mekanisme terjadinya kelongsoran pada musim kemarau

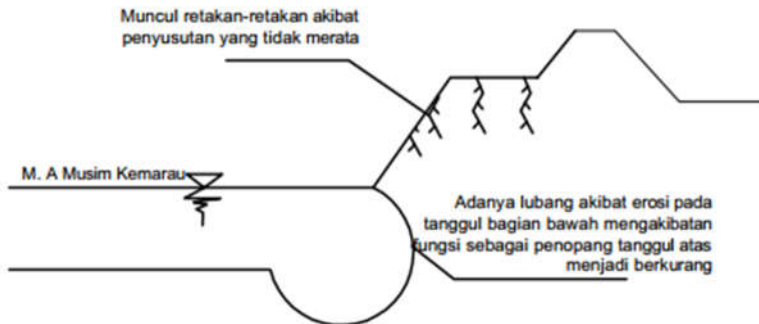
1. Pada saat musim kemarau muka air sungai rendah bagian tanggul yang terendam aliran air sungai hanya pada bagian bawahnya saja, bagian atas yang tidak terendam aliran air sungai terkena terik matahari. Tanggul bagian bawah yang terendam air berpotensi terjadi erosi.

2. Bagian tanggul yang terendam aliran air hanya pada bagian bawah, sedangkan pada bagian atas menjadi kering dan mengalami keretakan. Kretakan terjadi akibat penyusutan tanah yang tidak merata karena kadar air yang berkurang akibat penguapan.



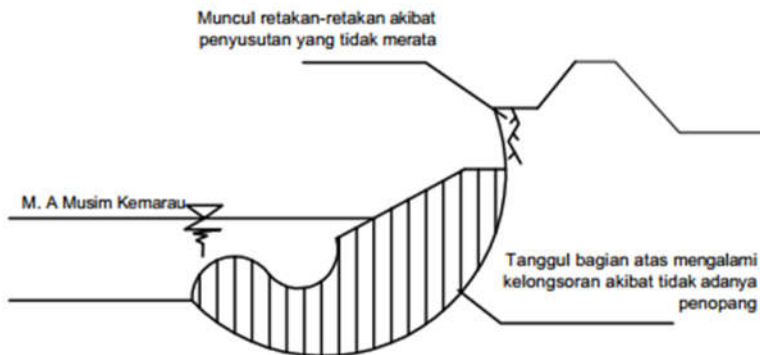
Gambar 2. 6 Gambaran kondisi tanggul dan bagian yang rawan erosi saat musim kemarau (Nugroho, 2007)

3. Pada tanggul bagian bawah yang terendam aliran air sungai akan menerima gaya geser akibat aliran air sungai. Jika tanggul bagian bawah tidak mampu menahan gaya geser tersebut maka akan terjadi erosi pada tanggul bagian bawah. Ketika erosi terjadi secara terus menerus maka dapat membentuk lubang pada bagian bawah tanggul.



Gambar 2. 7 Gambaran kondisi tanggul setelah terjadi erosi saat musim kemarau (Nugroho, 2007)

4. Lubang pada bagian bawah tanggul menyebabkan fungsi tanggul bagian bawah yang berperan menopang tanggul bagian atas menurun. Hal ini mengakibatkan tanggul bagian atas akan longsor Karena tanggul bagian bawah tidak mampu menahan tanggul bagian atas.



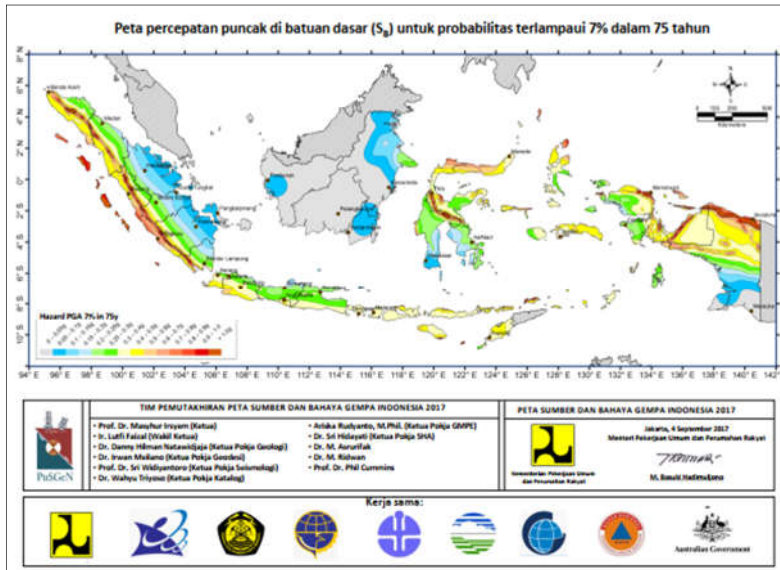
Gambar 2. 8 Gambaran kondisi tanggul saat musim kemarau setelah terjadi longsor (Nugroho, 2007)

2.5. Pengaruh Gempa Terhadap Stabilitas Tanggul

Analisis kestabilan tanggul terhadap beban gempa perlu dilakukan pada Tugas Akhir ini karena setiap daerah memiliki peningkatan potensi gempa. Efek beban dinamik yang ditimbulkan gempa digambarkan dengan percepatan pseudostatik yang menghasikan gaya inersia, F_h dan F_v yang bekerja pada pusat massa keruntuhan. Percepatan puncak di permukaan tanah dapat mengakibatkan gaya-gaya inersia signifikan pada lereng atau timbunan dan gaya tersebut dapat mengakibatkan ketidakstabilan atau deformasi permanen. Analisis performa lereng dan timbunan terhadap beban seismik dapat dilakukan menggunakan pendekatan metode keseimbangan batas.

Metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium methods*) menggunakan gaya seismik yang direpresentasikan dalam model pseudostatik. Koefisien seismik yang digunakan adalah percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan faktor keamanan minimum terhadap gempa ($FK > 1,0$). Koefisien seismik horizontal (k_h), ditentukan sebesar 0,5 dari percepatan puncak horizontal dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi.

Berdasarkan SNI 8460-2017, pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Gempa rencana untuk dinding penahan, abutmen dan jembatan ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 75 tahun adalah 7% atau setara dengan periode ulang 1000 tahun dengan mengacu pada peta gempa yang terdapat pada surat edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2010 (Gambar 2.8).



Gambar 2. 9 Peta wilayah gempa Indonesia berdasarkan parameter PGA (Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional)

Percepatan yang didapat dari peta merupakan percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Percepatan yang terjadi di permukaan tanah dapat diketahui dengan mengamplifikasi nilai percepatan di batuan dasar dengan koefisien situs, FPGA. Nilai koefisien FPGA didapat dari Tabel 2.7 yang nilainya juga bergantung terhadap klasifikasi situs tanah berdasarkan lokasi daerah. Jenis profil tanah tersebut harus ditentukan dari hasil analisis perambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar ke permukaan tanah. Jenis profil tanah di lokasi bangunan yang direncanakan dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs (AASHTO, 2012)

Klasifikasi Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N}_{SP} atau $\bar{N}_{SP_{FH}}$	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1.500	N/A	N/A
SB (batuan dasar)	750 sampai 1.500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $(w) \geq 40\%$, dan 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas tinggi (ketebalan, $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 2. 7 Tabel Nilai Koefisien FPGA (SNI 1726:2012)

Kelas situs	$PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	$PGA = 0,2$ $S_s = 0,5$	$PGA = 0,3$ $S_s = 0,75$	$PGA = 0,4$ $S_s = 1,0$	$PGA > 0,5$ $S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

2.6. Analisis Stabilitas Tanggul dengan Geostudio

Program bantu untuk menganalisis stabilitas tanggul adalah menggunakan GEOSLOPE. Analisis menggunakan software tersebut akan menghasilkan nilai momen penahan (M_r), angka keamanan (SF), koordinat dan jari-jari kelongsoran. Geostudio merupakan salah satu program computer yang digunakan untuk memodelkan analisis dalam bidang geoteknik. Menu utama pada software ini adalah SLOPE/W, SEEP/W, Sigma/ W, QUAKE/W, TEMP/W, dan CTRAN/W. Masing-masing mempunyai analisis yang berbeda dan dapat terintegrasi

satu sama lain sehingga dapat menggunakan hasil dari satu menu ke menu lain.

Pada tugas akhir ini menu yang akan digunakan dalam analisis stabilitas lereng adalah SLOPE/ W. SLOPE/W merupakan menu perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan tanah. Hasil yang didapatkan dari SLOPE/W yang akan digunakan sebagai analisis stabilitas adalah faktor keamanan, momen resisting, jari-jari serta koordinat kelongsoran. Metode yang akan digunakan adalah metode Bishop. *Input* yang dimasukkan pada program untuk dianalisis antara lain:

- Input geometri tanggul dan sungai
- Input lapisan tanah dibawah tanggul dan sungai
- Input parameter tanah berupa berat jenis, sudut geser, kohesifitas, dan parameter lain yang dibutuhkan
- Input muka air. Pada analisis ini akan digunakan lima ketinggian muka air untuk kemudian diambil 5 nilai SF yang terkecil.
- Input koefisien gempa (k_h dan k_v)
- Input data pendukung lainnya

Hasil yang akan diambil pada analisis menggunakan software ini adalah SF, koordinat dan jari-jari kelongsoran, dan Mr. Kemudian data tersebut digunakan untuk mendesain perkuatan yang direncanakan.

2.7. Perencanaan Perkuatan Tanggul

2.7.1. Bronjong

Bronjong kawat adalah kotak yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang penggunaannya adalah dengan cara diisi batu-batu untuk mencegah longsor pada tebing, tepi sungai dan proses penganyamannya menggunakan mesin dengan acuan SNI 03-0090-1987 tentang Mutu dan Cara Uji Bronjong dan Kawat Bronjong, dan syarat bahan baku megacu pada SNI 03-6154-1999 tentang Kawat Bronjong. Bronjong pada dasarnya menggunakan berat sendiri untuk menahan tekanan tanah. Gaya yang bekerja pada bronjong adalah gaya vertical dari bronjong sendiri. Perencanaan bronjong perlu dikontrol terhadap guling, geser dan

daya dukung. Berdasarkan MGS (*Modular Gabion System*), langkah-langkah perencanaan bronjong adalah sebagai berikut:

- Hitung tekanan tanah
- Hitung momen dorong bronjong
- Hitung titik berat vertikal

$$d_a = \frac{M_d}{P_a} \quad (2.11)$$

- Hitung berat bronjong

$$W_g = A_{bronjong} \times \gamma_{bronjong} \quad (2.12)$$

- Hitung berat tanah yang terbebani bronjong

$$W_s = A_{tanah} \times \gamma_{tanah} \quad (2.13)$$

- Hitung berat total

$$W_{total} = W_{bronjong} \times W_s \quad (2.14)$$

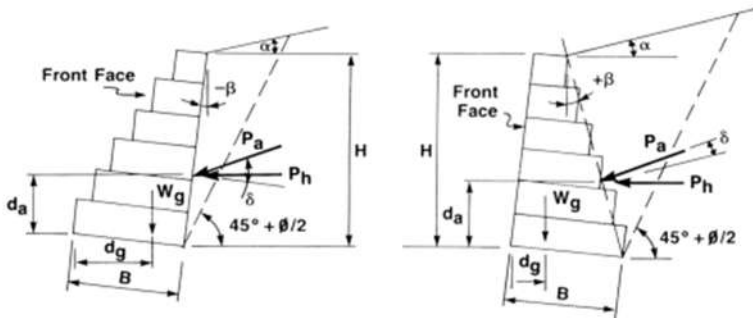
- Hitung titik berat horizontal bronjong

$$g = \frac{\sum Ax}{\sum A} \quad (2.15)$$

- Hitung momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{total} \quad (2.16)$$

Struktur bronjong dikatakan aman terhadap geser apabila momen penahan (M_p) > momen dorong (M_d) dan aman terhadap guling jika $\frac{\tan \phi \times W_g}{P_a} = SF_{rencana}$ (Gambar 2.9)

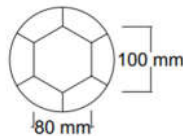


Gambar 2. 10 Ilustrasi gaya-gaya pada bronjong (Sumber: *Modular Gabion System*)

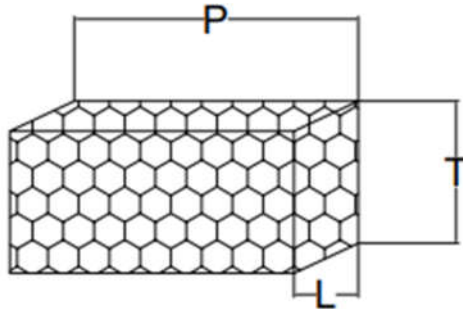
Bentuk dan ukuran bronjong kawat ada dua, yaitu Bentuk I dan Bentuk II. Bentuk I memiliki ukuran anyaman 80 mm x 100 mm seperti pada Gambar 2.10 atau 100 mm x 120 mm dengan diameter kawat anyaman 2.7 mm atau 3 mm, kawat sisi 3.4 mm atau 4 mm, kawat pengikat 2 mm dan toleransi ukuran kotak (panjang, lebar, tinggi) sebesar 5%. Bentuk II ukuran anyamannya 60 mm x 80 mm, diameter kawat anyaman 2 mm, kawat sisi 2.7 mm, kawat pengikat 2 mm. Untuk ukuran kawat anyaman 80 mm x 100 mm diameter kawat anyaman 2.7 mm, kawat sisi 3.4 mm, kawat ikat 2 mm dan toleransi ukuran kotak (panjang, lebar, tinggi) sebesar 5%. Daftar ukuran bentuk bronjong dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Tabel Ukuran Bentuk Bronjong

Bentuk I (ukuran dalam m)					
Kode	Panjang (P)	Lebar (L)	Tinggi (T)	Jumlah Sekat	Kapasitas (m ³)
A	2	1	1	1	2
B	3	1	1	2	3
C	4	1	1	3	4
D	2	1	0.5	1	1
E	3	1	0.5	2	1.5
F	4	1	0.5	3	2
Bentuk II (ukuran dalam m)					
G	6	2	0.17	5	2.04
H	6	2	0.23	5	2.76
I	6	2	0.30	5	3.60



Gambar 2. 11 Ukuran anyaman kawat bronjong 80 mm x 100 mm



Gambar 2. 12 Ilustrasi ukuran bronjong

2.7.2. Geotextile

Geotextile digunakan untuk menahan longsor dengan cara meningkatkan kekuatan tanah. Untuk merencanakan kebutuhan *geotextile*, harus ditentukan nilai T_{allow} terlebih dahulu. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- Untuk mendapatkan nilai T_{allow} dibutuhkan nilai T_{ult} dari spek *geotextile* yang akan digunakan.

$$T_{allow} = T_{ult} \left(\frac{1}{FS_{ID} \times FS_{CR} \times FS_{CD} \times FS_{BD}} \right) \quad (2.17)$$

Dimana:

T_{allow} : kekuatan *geotextile* yang tersedia

T_{ult} : kekuatan ultimate *geotextile*

FS_{ID} : faktor keamanan akibat kesalahan pemasangan

FS_{CR} : faktor keamanan akibat rangkai

FS_{CD} : faktor keamanan akibat pengaruh kimia

FS_{BD} : faktor keamanan akibat pengaruh biologi

- Mencari nilai S_v sebagai jarak vertikal antar *geotextile*

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_h(FS)} \quad (2.18)$$

Dimana:

S_v : jarak vertikal antar *geotextile*

σ_h : tegangan tanah horizontal

FS : faktor keamanan rencana

Atau dapat diasumsi sehingga s_v memiliki nilai yang seragam.

- Mencari panjang *geotextile* yang berada dalam anchorage zone (L_e)

$$L_e = \frac{T_{allow} (FS)}{(\tau_1 + \tau_2) \times E} \quad (2.19)$$

Dimana:

L_e : panjang *geotextile* yang berada dalam anchorage zone

E : efisiensi diambil $E = 0.8$

τ_1 : tegangan geser antar tanah timbunan dengan *geotextile*

τ_2 : tegangan geser antar tanah dasar dengan *geotextile*

- Mencari panjang *geotextile* yang berada di depan bidang longsor (L_r)

$$L_r = (H - z) \tan(45 - \frac{\emptyset}{2}) \quad (2.20)$$

Dimana:

L_r : panjang *geotextile* yang berada di depan bidang longsor

H : Tinggi timbunan

\emptyset : Sudut geser tanah

Atau bisa juga dengan mengukur panjang *geotextile* dari lereng hingga batas akhir garis kelongsoran.

- Mencari panjang lipatan *geotextile* (L_o)

$$L_o = \frac{L_e}{2} \quad (2.21)$$

- Total panjang *geotextile*

$$L_{total} = L_e + L_r + L_o + S_v \quad (2.22)$$

- Menghitung tekanan aktif tanah (P_a)

$$P_a = 0.5 \gamma H^2 K_a \quad (2.23)$$

- Menghitung faktor keamanan stabilitas eksternal
Faktor keamanan tanah dasar atau pondasi (bearing capacity)

$$SF = \frac{q_{ult}}{q_{max}} > 3 \quad (2.24)$$

Dimana:

q_{ult} : daya dukung tanah ($q_{ult} = cN_c + qN_q + 0.5\gamma BN_\gamma$)

q : berat tanah

c : kohesi

γ : berat jenis tanah

B : lebar dasar pondasi yang kontak dengan tanah

N_c : koefisien daya dukung untuk kohesi

N_q : koefisien daya dukung untuk berat tanah (beban)

N_γ : koefisien daya dukung untuk berat jenis tanah

- Faktor keamanan terhadap geser

$$SF = \frac{cL_e + Qtan\delta}{P_a} > 1.5 \quad (2.25)$$

- Faktor keamanan terhadap guling

$$SF = \frac{Q \cdot a_r}{P_a \cdot a_d} > 2 \quad (2.26)$$

Dimana:

Q : gaya karena beban tanah sendiri ($Q = L_e \times H \times \gamma$)

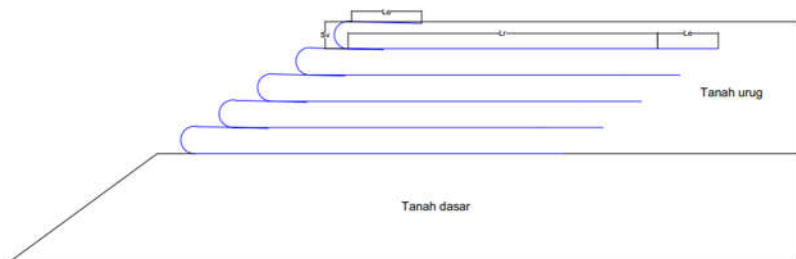
H : tinggi dinding penahan tanah

γ : berat jenis tanah

a_r : 0,5 L

P_a : tekanan yang menyebabkan gaya geser

a_d : $\frac{1}{3}H$



Gambar 2. 13 Ilustrasi pemasangan *geotextile*

2.7.3. Riprap

Riprap adalah bangunan pengaman yang melindungi tanggul dari erosi menggunakan lapisan batuan. Kemiringan hamper sama dengan kemiringan tanggul sungai. *Riprap* yang akan digunakan akan dikombinasikan dengan *geotextile* sebagai *reinforcement*. Untuk mendesain *riprap* digunakan kecepatan aliran agar didapatkan ukuran batuan.

$$D_{50} = 0.00594V_a^3 / (d_{avg}^{0.5} \cdot K_1^{1.5}) \quad (2.27)$$

Dimana:

D_{50} : ukuran tengah batuan *riprap*

C : faktor koreksi

V_a : kecepatan rata-rata di saluran utama

d_{avg} : kedalaman rata-rata di saluran utama

$$K_1 = [1 - \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}\right)]^{0.5} \quad (2.28)$$

Dimana:

θ : sudut bantaran dengan bidang horizontal

ϕ : sudut batuan *riprap*

$$C = C_{sg} \times C_{sf} \quad (2.29)$$

$$C_{sg} = 2.12 / (SG - 1)^{1.5} \quad (2.30)$$

$$C_{sf} = \left(\frac{FS}{1.2}\right)^{1.5} \quad (2.31)$$

Dimana:

SG : *specivic gravity* batuan *riprap*

FS : faktor stabilitas (Tabel 2.9)

Tabel 2. 9 Faktor Stabilitas untuk Berbagai Kondisi Saluran
(Sumber: *Design Of Riprap Revetment*)

Kondisi	Faktor Stabilitas
Aliran seragam; saluran relatif lurus atau berbelok dengan jari jari/lebar saluran yang berbelok > 30 m; benturan akibat gelombang hampir tidak ada; sedikit parameter ketidakpastian	1.0-1.2

Tabel 2. 9 Faktor Stabilitas untuk Berbagai Kondisi Saluran
(Sumber: Design Of Riprap Revetment) (Lanjutan)

Kondisi	Faktor Stabilitas
Aliran berubah lambat laun; berbelok dengan jari-jari $10 < R < 30$; benturan akibat gelombang mulai diperhitungkan	1.3-1.6
Aliran mendekati berubah tiba-tiba; belokan yang tajam ($R < 10$ m); benturan akibat gelombang yang kuat; tinggi gelombang akibat angin atau kapal sebesar 0.30 sampai 0.61 m; adanya turbulensi aliran; terjadi turbulensi di pilar jembatan; banyak parameter ketidakpastian	1.6-2.0

Gradasi batuan riprap mempengaruhi ketahanan riprap terhadap penggerusan. Batuan harus mempunyai gradasi yang baik sehingga tidak membuat biaya yang mahal. Tabel 2.10 menunjukkan batas dan kelas gradasi sedangkan Tabel 2.11 menunjukkan batas berat gradasi.

Tabel 2. 10 Tabel Kelas Riprap Berdasarkan Median Diameter Partikel (Sumber: *Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control*)

Nominal Riprap Class by Median Particle Diameter		d15		d50		d85		d100
Class	Size (in)	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max
I	6	3.7	5.2	5.7	6.9	7.8	9.2	12
II	9	5.5	7.8	8.5	10.5	11.5	14	18
III	12	7.3	10.5	11.5	14	15.5	18.5	24
IV	15	9.2	13	14.5	17.5	19.5	23	30
V	18	11	15.5	17	20.5	23.5	27.5	36
VI	21	13	18.5	20	24	27.5	32.5	42
VII	24	14.5	21	23	27.5	31	37	48
VIII	30	18.5	26	28.5	34.5	39	46	60
IX	36	22	31.5	34	41.5	47	55.5	72
X	42	25.5	36.5	40	48.5	54.5	64.5	84

Tabel 2. 11 Tabel Kelas *Riprap* Berdasarkan Berat Median Partikel (Sumber: *Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control*)

Nominal Riprap Class by Median Particle Weight		W15		W50		W85		W100
Class	Weight (lb)	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max
I	20 lb	4	12	15	27	39	64	140
II	60 lb	13	39	51	90	130	220	470
III	150 lb	32	93	120	210	310	510	1100
IV	300 lb	62	180	240	420	600	1000	2200
V	1/4 ton	110	310	410	720	1050	1750	3800
VI	3/8 ton	170	500	650	1150	1650	2800	6000
VII	1/2 ton	260	740	950	1700	2500	4100	9000
VIII	1 ton	500	1450	1900	3300	4800	8000	17600
IX	2 ton	860	2500	3300	5800	8300	13900	30400
X	3 ton	1350	4000	5200	9200	13200	22000	48200

Untuk riprap batuan, perbandingan antara filter ketebalan riprap sebesar 5 persen atau kurang dapat menghasilkan keadaan yang stabil. Rasio perbandingan filter adalah perbandingan antara 15 persen ukuran batuan kasar (riprap) (D_{85}) dengan 85 persen ukuran pasir halus (D_{85}). Persyaratan tambahan untuk stabilitas adalah perbandingan 15 persen ukuran batuan kasar dengan 15 persen ukuran pasir halus sebaiknya melebihi 5 tetapi kurang dari 40. Persyaratan ini dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\frac{D_{15}(\text{coarser layer})}{D_{85}(\text{finer layer})} < 5 < \frac{D_{15}(\text{coarser layer})}{D_{15}(\text{finer layer})} < 40 \quad (2.32)$$

Pertidaksamaan sebelah kiri bertujuan untuk mencegah piping melalui filter, bagian tengah agar permeabilitas dapat tercapai untuk struktur tanah dasar dan bagian kanan untuk kriteria keseragaman. Ketebalan dari lapisan filter sebaiknya diantara 150 mm sampai 380 mm untuk lapisan tunggal atau dari 100 mm sampai 200 mm untuk satu lapisan dengan banyak lapisan filter (*blanket*).

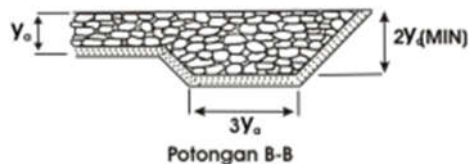
Atau digunakan filter buatan semisal geotekstil dengan beberapa keuntungan yaitu:

1. Pemasangan yang cepat dan hemat tenaga kerja
2. Filter buatan lebih ekonomis disbanding filter kerikil
3. Konsistensi dan bahan berkualitas baik
4. Kekuatan merata

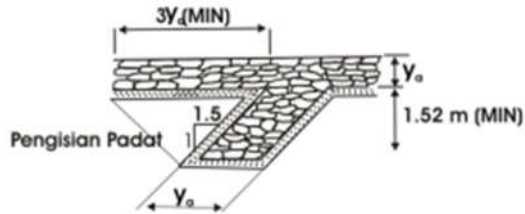
Namun juga memiliki kerugian yaitu:

1. Pemasangan agak sulit di bawah permukaan air
2. Pemasangan filter buatan harus hati-hati agar tidak terkena sinar ultraviolet
3. Ketahanan filter buatan di bawah tanah belum teruji sepanjang waktu proyek rekayasa
4. Aktivitas bakteri didalam tanah atau diatas filter dapat mempengaruhi sistem hidraulik dari filter buatan

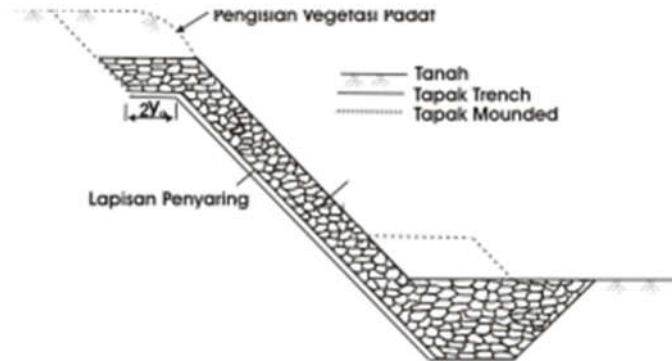
Desain kaki riprap dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14, desain dinding *riprap* seperti Gambar 2.15.



Gambar 2. 14 Desain bagian kaki *riprap*
(Sumber: *Design Of Riprap Revetment*)



Gambar 2. 15 Desain kaki *riprap* model 2
(Sumber: *Design Of Riprap Revetment*)



Gambar 2. 16 Pemasangan riprap
(Sumber: *Design Of Riprap Revetment*)

Karena riprap didesain sebagai *counterweight*, maka berat riprap digunakan untuk menahan momen pendorong dari tanah sama halnya seperti bronjong. Kontrol guling, geser dan daya dukung dilakukan untuk mengetahui kestabilan *riprap* yang dipasang dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- Menghitung tekanan tanah
- Menghitung momen dorong riprap
- Menghitung titik berat jarak vertikal

$$d_a = \frac{M_d}{P_a} \quad (2.33)$$

- Menghitung berat riprap total

$$W_{riprap} = A_{riprap} \times \gamma_{riprap} \quad (2.34)$$

- Menghitung berat tanah terbebani riprap

$$W_s = A_{tanah} \times \gamma_{tanah} \quad (2.35)$$

- Menghitung berat total

$$W_{tot} = W_{riprap} + W_s \quad (2.36)$$

- Perhitungan titik berat jarak horizontal riprap

$$d_r = \frac{\sum A_x}{\sum A} \quad (2.37)$$

- Perhitungan momen penahan

$$M_p = d_r \times W_{tot} \quad (2.38)$$

Riprap dikatakan aman terhadap geser jika momen penahan $M_p > M_d$, aman terhadap guling jika $\tan\Phi \times W_{riprap} > SF_{rencana} \times P_a$.

2.8. Perkuatan Dasar Tanggul

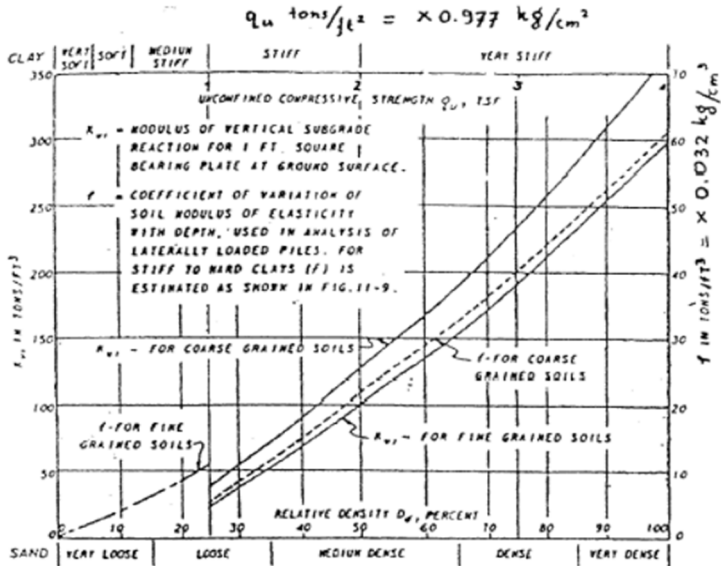
2.8.1. Cerucuk

Cerucuk digunakan untuk menaikkan tahanan geser tanah, sehingga dengan memasang cerucuk pada tanah akan meningkatkan daya dukung tanah. Perencanaan cerucuk didesain dengan dua jenis material yaitu *micropile* dan *sheet pile*. Untuk menghitung kebutuhan cerucuk per-meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1 (satu) tiang/cerucuk untuk menahan gaya horizontal. Langkah-langkah untuk perencanaan cerucuk adalah sebagai berikut:

- Menghitung faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.39)$$

Harga f didapatkan dengan bantuan Gambar 2.16 (Design Manual, NAVFAC DM-7,1971) yaitu grafik hubungan antara f dengan kerapatan relative (Dr).

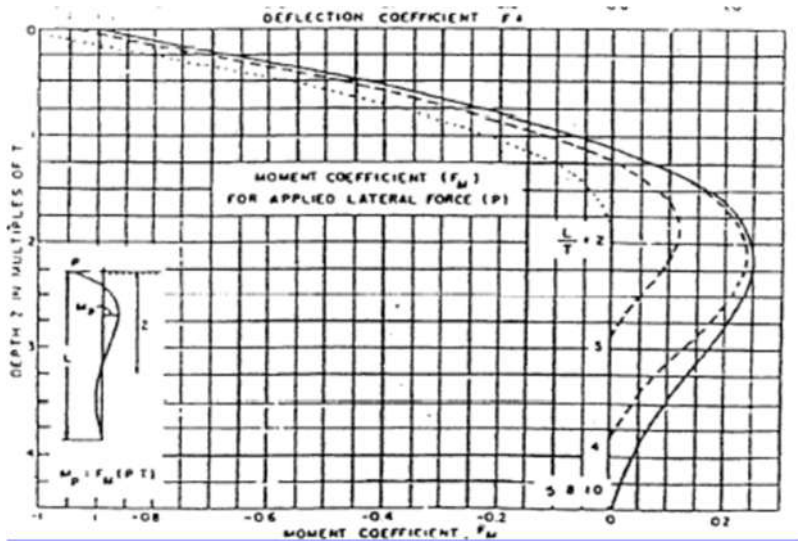


Gambar 2. 17 Grafik harga f untuk berbagai jenis tanah (NAVFAC DM-7,1971)

- Menghitung gaya maksimal yang dapat ditahan 1 tiang. Gaya maksimum (P_{max}) yang dapat ditahan 1 tiang/cerucuk adalah sebagai berikut:

$$P_{max \text{ 1 cerucuk}} : \frac{MP_{max \text{ 1 cerucuk}}}{FM \times T} \quad (2.40)$$

Nilai FM tergantung oleh nilai L/T dan Z. Dimana L adalah panjang cerucuk yang tertahan di bawah bidang longsor dan Z adalah kedalaman. FM diperoleh berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 18 Grafik nilai FM (NAVFAC DM-7,1971)

- Menghitung momen penahan tambahan

$$\Delta M_p = (SF_{rencana} - SF_{min}) \times M_d \quad (2.41)$$
- Menghitung gaya yang harus dipikul cerucuk (P_t)

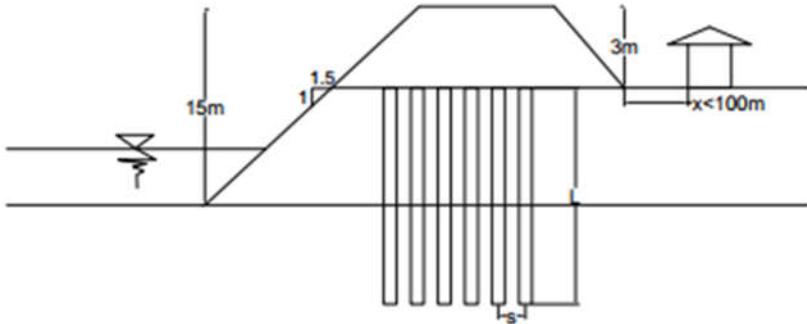
$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} \quad (2.42)$$

Dimana:

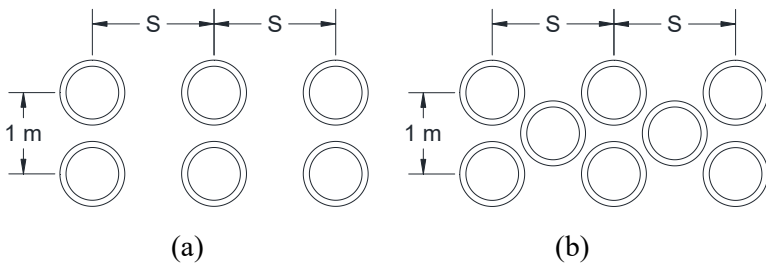
- M_p : Momen penahan
 M_d : Momen dorong
 R : Jari-jari kelongsoran

- Menghitung jumlah cerucuk yang dibutuhkan (n)

$$n = \frac{P_t}{P_{max \ 1 \ cerucuk}} \quad (2.43)$$



Gambar 2. 19 Ilustrasi pemasangan cerucuk



Gambar 2. 20 Denah pemasangan cerucuk

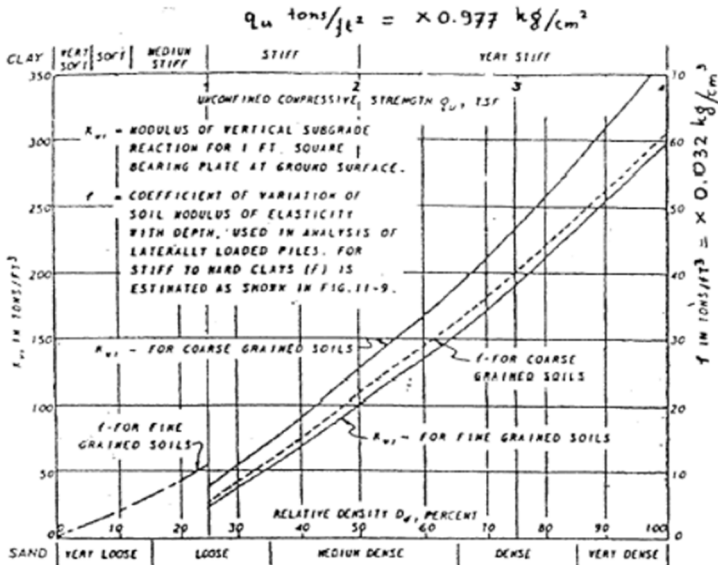
2.8.2. *Sheetpile*

Sheetpile yang digunakan berprinsip sama dengan cerucuk sehingga untuk menghitung kebutuhan cerucuk per-meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1 (satu) tiang untuk menahan gaya horizontal. Langkah-langkah untuk perencanaan *sheetpile* adalah sebagai berikut:

- Menghitung faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.44)$$

Nilai inersia *sheetpile* digunakan adalah inersia perbatang *sheetpile*. Harga f didapatkan dengan bantuan Gambar 2.20 (Design Manual, NAVFAC DM-7,1971) yaitu grafik hubungan antara f dengan kerapatan relative (D_r).

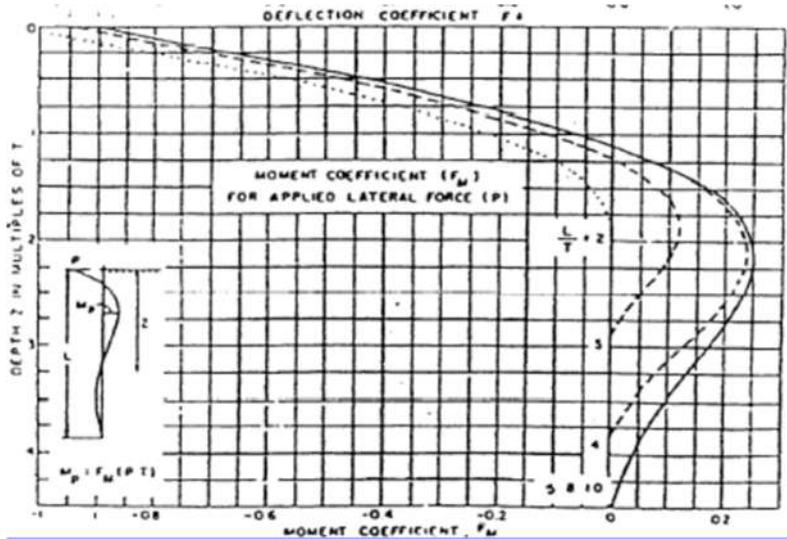


Gambar 2. 21 Grafik harga f untuk berbagai jenis tanah (NAVFAC DM-7,1971)

- Menghitung gaya maksimal yang dapat ditahan 1 tiang. Gaya maksimum (P_{max}) yang dapat ditahan 1 tiang adalah sebagai berikut:

$$P_{max \text{ 1 sheetpile}} : \frac{MP_{max \text{ 1 sheetpile}}}{FM \times T} \quad (2.45)$$

Nilai FM tergantung oleh nilai L/T dan Z. Dimana L adalah panjang *sheetpile* yang tertahan di bawah bidang longsor dan Z adalah kedalaman. FM diperoleh berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2. 22 Grafik nilai FM (NAVFAC DM-7,1971)

- Menghitung momen penahan tambahan

$$\Delta M_p = (SF_{rencana} - SF_{min}) \times M_d \quad (2.46)$$
- Menghitung gaya yang harus dipikul *sheetpile* (P_t)

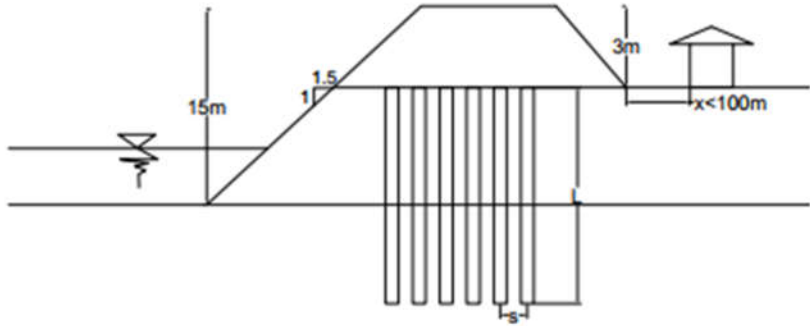
$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} \quad (2.47)$$

Dimana:

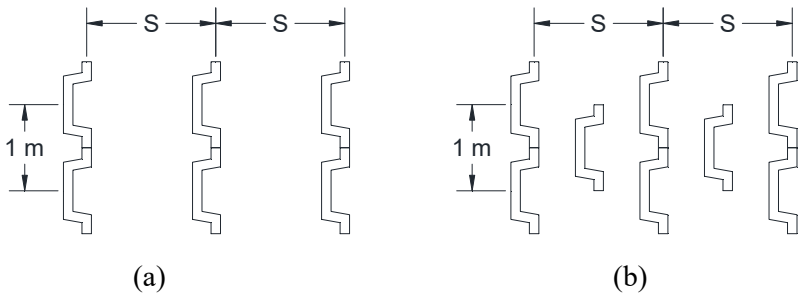
- M_p : Momen penahan
- M_d : Momen dorong
- R : Jari-jari kelongsoran

- Menghitung jumlah *sheetpile* yang dibutuhkan (n)

$$n = \frac{P_t}{P_{max \ 1 \ sheetpile}} \quad (2.48)$$



Gambar 2. 23 Ilustrasi pemasangan *sheetpile*



Gambar 2. 24 Denah pemasangan *sheetpile*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI

3.1. Alur Metodologi

Penyelesaian Tugas Akhir berjudul “Alternatif Perencanaan Perkuatan Tanggul Sungai Bengawan Solo di Desa Gedongarum, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro Akibat Pengaruh Fluktuasi Muka Air dan Gempa” akan dilakukan dengan tahapan seperti pada Gambar 3.1.

Langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pemahaman terhadap masalah sehingga tujuan yang diinginkan dapat tercapai dengan tepat. Studi literatur mengacu pada teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir. Studi literatur yang dilakukan meliputi studi tentang perhitungan stabilitas tanggul, pengoperasian program bantu Geoslope, perhitungan gaya gempa, dan perhitungan alternatif perkuatan tanggul.

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penyelesaian tugas akhir ini diantaranya adalah data kondisi tanah pada tanggul sungai Bengawan Solo, data elevasi muka air tertinggi hingga terendah sungai, zona gempa, dan spesifikasi alternatif perkuatan tanggul yang diinginkan.

3. Analisis Stabilitas Tanggul

Analisis stabilitas tanggul tanpa perkuatan dilakukan untuk mendapatkan SF awal, dan garis kelongsoran yang terjadi apabila tanggul tidak stabil. Analisis dilakukan untuk menentukan dimensi perkuatan yang akan digunakan.

4. Perencanaan Alternatif Perkuatan Tanggul

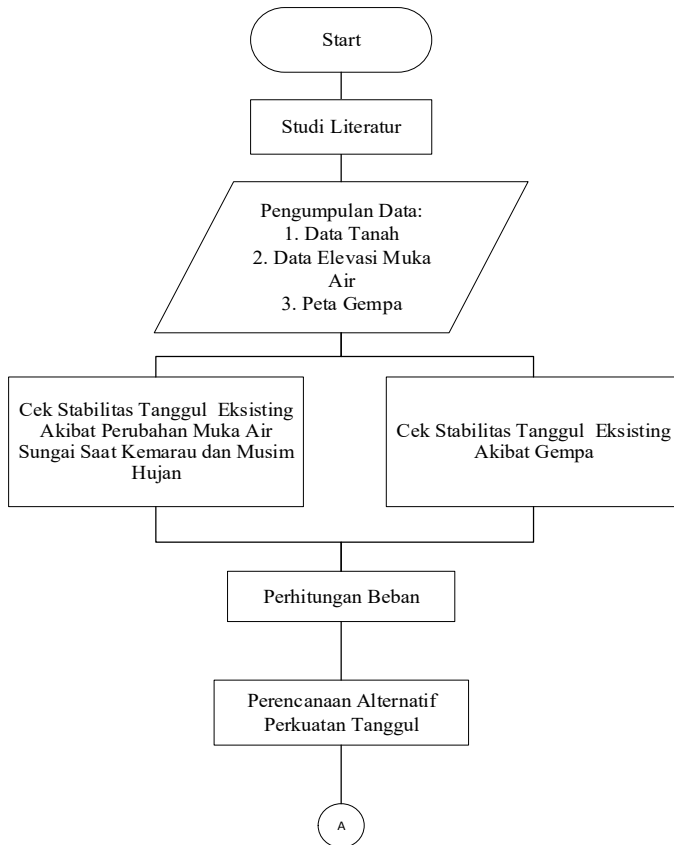
Perkuatan tanggul yang digunakan adalah kombinasi bronjong, *geotextile* dan cerucuk (*micropile*), kombinasi

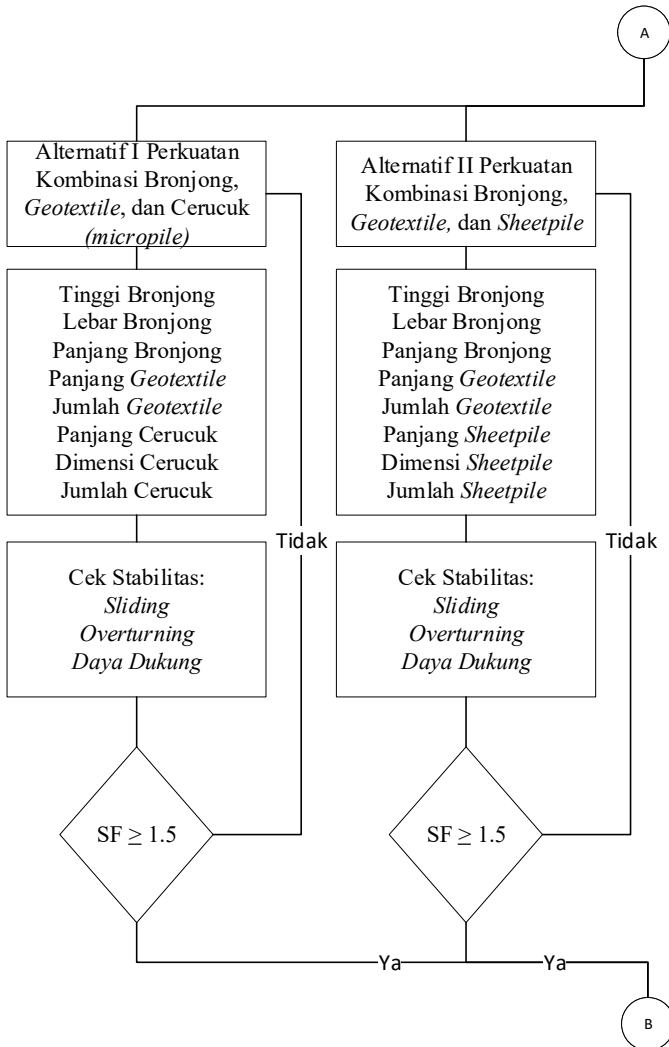
bronjong, *geotextile* dan *sheetpile*, kombinasi *riprap*, *geotextile* dan cerucuk (*micropile*) dan kombinasi *riprap*, *geotextile* dan *sheetpile*. Perencanaan dengan alternatif tersebut tentu membutuhkan data spesifikasi material yang digunakan dan rumus-rumus dalam perencanaan dimensi perkuatan. Beberapa hal yang direncanakan pada perkuatan bronjong adalah tinggi, lebar dan panjang bronjong. Perencanaan untuk *geotextile* adalah panjang dan jumlah *geotextile*. Perencanaan pada *riprap* meliputi ukuran batuan, gradasi batuan, dan ketebalan lapisan. Perkuatan cerucuk (*micropile*) menggunakan spun pile dan perhitungan *sheetpile* spertihalnya pada cerucuk. Perencanaan alternatif tersebut juga membutuhkan spesifikasi material yang digunakan dan rumus-rumus dalam perencanaan dimensi perkuatan. Beberapa hal yang direncanakan pada perkuatan cerucuk adalah panjang cerucuk, dimensi cerucuk, dan jumlah cerucuk begitu juga pada *sheetpile*.

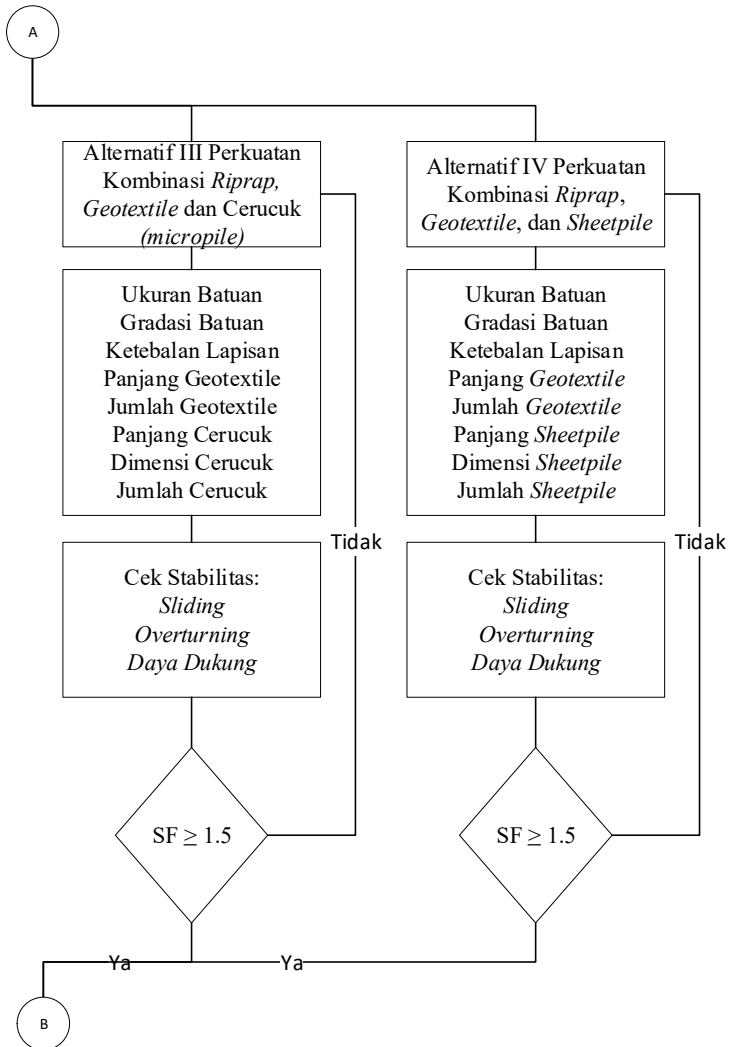
5. Analisis Stabilitas Tanggul dengan Perkuatan
Analisis stabilitas tanggul dengan perkuatan dilakukan untuk mendapatkan SF lebih besar dari SF rencana, apabila tidak mendapatkan SF yang diinginkan maka perkuatan harus direncanakan ulang. Analisis stabilitas menggunakan metode numerik dengan program bantu Geoslope untuk mendapatkan nilai SF yang memenuhi persyaratan yang diinginkan.
6. Pemilihan Alternatif Perkuatan
Pemilihan alternatif perkuatan didasarkan pada harga material dan angka keamanan yang dihasilkan dari perhitungan perkuatan yang dilakukan sebelumnya.
7. Metode Pelaksanaan
Merencanakan metode pelaksanaan yang akan digunakan dalam perencanaan perkuatan tanggul. Pemilihan metode pelaksanaan dipertimbangkan pada kemudahan dalam pelaksanaannya dan pertimbangan lokasi yang pekerjaan.

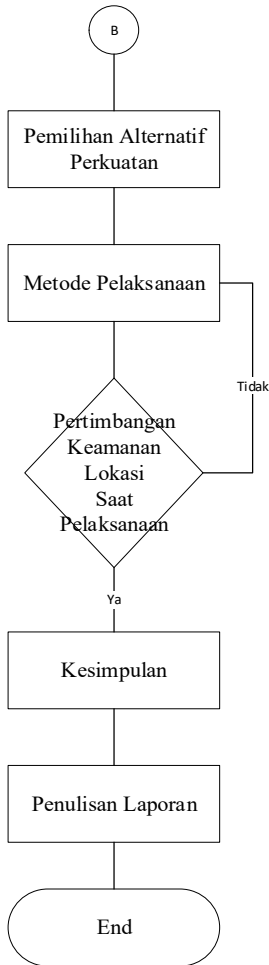
8. Kesimpulan

Penyimpulan hasil perencanaan yang telah dikerjakan dalam Tugas Akhir.









Gambar 3. 1 Diagram alir Alternatif Perencanaan Perkuatan Tanggul Sungai Bengawan Solo di Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro Akibat Pengaruh Fluktuasi Muka Air dan Gempa

3.2. Output

Output yang diharapkan dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan metode perbaikan yang tepat dan kebutuhan material perkuatan pada tanggul sungai Bengawan Solo.
2. Angka keamanan stabilitas tanggul tanpa perkuatan.
3. Perencanaan alternatif perkuatan tanggul yang digunakan.
4. Angka keamanan stabilitas tanggul setelah dipasang perkuatan.

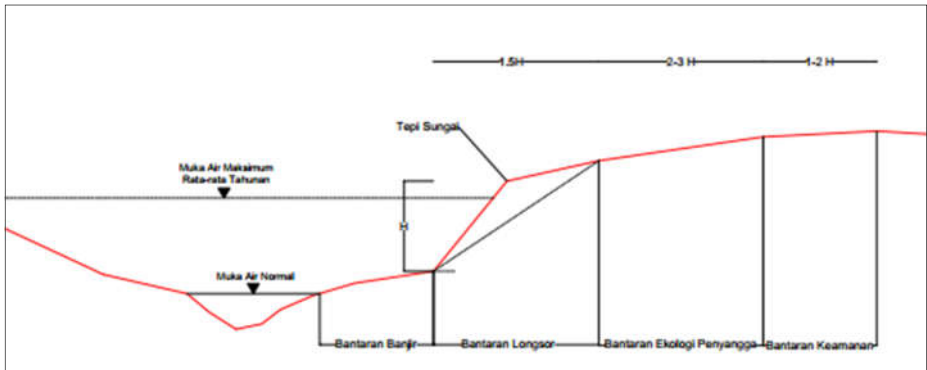
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA

4.1. Tanggul Sungai Bengawan Solo

Tanggul sungai Bengawan Solo yang dibangun di Kecamatan Kanor bertujuan untuk mencegah terjadinya banjir sebagaimana yang terjadi pada akhir tahun 2007. Saat ini kondisi tanggul yang telah dibangun tersebut telah terjadi kelongsoran akibat adanya fluktuasi muka air ataupun gempa yang mungkin akan terjadi. Terdapat dua lokasi yang dijadikan acuan dengan 2 data tanah yang masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda. *Crosssection* yang akan digunakan adalah *crosssection I* karena memiliki kedalaman yang lebih besar dari *crosssection II*.

Tanggul sebagaimana disebutkan pada Pasal 4 ayat 3 PERMEN PUPR No. 28 Tahun 2015 merupakan bangunan penahan banjir yang terbuat dari timbunan tanah. Pembangunan timbunan tanah atau bisa disebut tanggul tersebut berada di dalam sempadan sungai. Penetapan lebar sempadan sungai menurut Maryono (2005) adalah didasarkan proses perubahan fisik morfologi, hidraulik, ekologi dan sosial/keamanan masyarakat. Sempadan sungai selanjutnya dibagi menjadi bantaran banjir (*flood plain*), bantaran longsor (*sliding plain*), bantaran ekologi penyangga dan bantaran keamanan (Gambar 4.1).



Gambar 4. 1 Korelasi kedalaman dan lebar sungai menurut Maryono (2005), dimodifikasi.

Dalam hal ini dibangun tanggul tanah dengan tinggi 3 m di dalam sempadan sungai dengan jarak antara titik terluar garis sepadan dengan tepi luar kaki tanggul berjarak paling sedikit 5 m karena lokasi di luar perkotaan berdasarkan Pasal 8 PERMEN PUPR No.28 Tahun 2015. Lebar sempadan sungai terkait pemberian ruang meandering dan perlindungan banjir dapat dilihat pada Tabel 4.1.

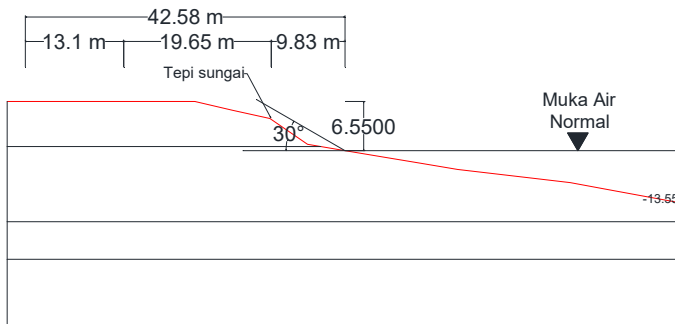
Tabel 4. 1 Lebar Sempadan Sungai Terkait Pemberian Ruang Meandering dan Perlindungan Banjir

Author	Lebar Dasar	Keterangan
Sardon & Felleman, 1996	2 kali lebar kanopi pohon sisi sungai	Memberikan ruang untuk meandering
Veryy, 1992 dalam Divelbiss, 1994	45 m	Perlindungan banjir
Bertulli, 1981 dan Castelle et al, 1994	(50 - 90) m	Perlindungan banjir 100 tahunan
Lynch & Corbett, 1990	30 m	Daerah hutan dapat mengurangi peningkatan fluktuasi muka air dan suhu sungai karena penebangan hutan
Lewis, 1998	36 m (2 kali lebar kanopi pohon = 2 x 18 = 36 m)	Menjaga stabilitas sistem akuatik sungai di hutan, lebar sempadan setara dengan dua kali lebar kanopi pohon (2x18 m) di sempadan
Resume	(5-90)	Perlindungan gerakan meander dan banjir

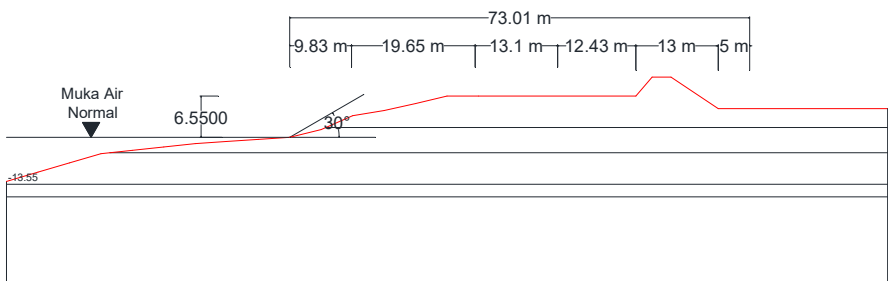
Jarak sempadan dihitung dari tepi sungai ke arah luar. Tepi sungai pada sungai dengan tepi yang tidak jelas seperti sungai-sungai dengan tebing landai, menurut Permen tersebut tepi sungai ditetapkan berdasarkan kondisi erosi yang ada dan hitungan banjir rencana. Tepi sungai menurut Maryono (2005) ditetapkan berdasarkan survei tampang melintang sungai. Tepi sungai dapat ditentukan di lapangan berdasarkan alur morfologi sungai dan berdasarkan analisis tampang geometri sungai saat dilakukan pemeriksaan. Tepi sungai dapat ditetapkan pada titik awal bantaran

banjir, yaitu garis batas air dengan tebing sungai pada saat muka air normal atau ditetapkan pada titik atas tebing sungai.

Dalam menghitung lebar sempadan perlu melihat dimana tepi sungai yang ditetapkan. Untuk menghitung bantaran, jika sisi tebing sungai berkemiringan $\leq 30^\circ$ maka bantaran dibagi menjadi tiga daerah yaitu bantaran banjir, bantaran ekologi penyangga dan bantaran keamanan. Jika kemiringan $\geq 30^\circ$ maka bantaran dibagi menjadi bantaran longsor, bantaran ekologi penyangga dan bantaran keamanan. Pengukuran sempadan pada Tanggul 1 (sisi kiri) dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tanggul 2 (sisi kanan) pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Pengukuran sempadan pada Tanggul 1



Gambar 4. 3 Pengukuran sempadan pada Tanggul 2

Pada kedua Tanggul memiliki kemiringan tebing $\leq 30^\circ$, sehingga bantaran dibagi menjadi tiga daerah yaitu bantaran banjir,

bantaran ekologi penyangga dan bantaran keamanan dengan total panjang masing-masing 42.58 m untuk Tanggul 1 dan 73.01 m untuk Tanggul 2 sehingga masih memenuhi syarat berdasarkan Tabel 4.1 yaitu perlindungan banjir 100 tahunan.

Mengacu pada PERMEN PUPR No. 28 Tahun 2015 Pasal 15 ayat 2 terdapat beberapa bangunan yang diperbolehkan didirikan di sempadan sungai yaitu bangunan prasaranan sumber daya air, fasilitas jembatan dan dermaga, jalur pipa gas dan air minum, rentangan kabel listrik dan telekomunikasi, dan bangunan ketenagalistrikan dimana terdapat salah satu dari bangunan tersebut terdapat pada sempadan sungai Bengawan Solo. Berdasarkan pasal tersebut diasumsikan beban sebesar 1 t/m^2 di sepanjang bantaran sungai.

4.2. Analisis Data

4.2.1. Analisis Data Tanah

Data tanah yang didapatkan adalah berupa borlog di dua titik yaitu titik A dan B seperti dapat dilihat pada Gambar 4.4 adalah lokasi *cross section* dan data tanah yang diambil. Hasil koreksi borlog dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dan grafik koreksi borlog antara kedalaman dan N-SPT pada Gambar 4.5.

Analisis data tanah dilakukan dengan cara korelasi terhadap nilai N-SPT yang didapatkan dari borlog yang telah dikoreksi. Parameter yang dibutuhkan untuk proses selanjutnya adalah berat jenis (γ), sudut geser (Φ), *poisson ratio* (ν), modulus elastisitas (E) dengan menggunakan tabel korelasi J. E. Bowles yang kemudian diolah untuk dapat dilakukan perhitungan dan desain perkuatan.

Digunakan data borlog Tanggul 2 untuk contoh perhitungan korelasi data tanah untuk mendapatkan nilai parameter tanah seperti γ_{sat} , γ_{unsat} , γ_{dry} , Φ , C_u , ν , E.

1. Menentukan nilai γ_{sat} menggunakan tabel korelasi J. E. Bowles pada Tabel 2.5 dengan cara sebagai berikut:
Tanah 1 berupa pasir lanau berlempung memiliki nilai N-SPT sebesar 7, berdasarkan tabel J. E. Bowles tanah

tersebut termasuk *cohesionless soil* dengan nilai tersebut berada diantara angka 4 – 10 dengan konsistensi tanah Loose. Harga γ_{sat} ditentukan dengan cara interpolasi sebagai berikut:

$$\gamma_{sat} = \frac{7 - 4}{10 - 4} x(16 - 12) + 12 = 14 \text{ kN/m}^3$$

2. γ_{dry} diperoleh berdasarkan tabel Biarez dengan cara menghubungkan nilai γ_{sat} . Nilai $\gamma_{sat} = 14 \text{ kN/m}^3$ maka diperoleh nilai $\gamma_{dry} = 6.3 \text{ kN/m}^3$ kemudian dapat digunakan untuk mencari nilai γ_{unsat} dengan cara interpolasi sebagai berikut:

$$\gamma_{unsat} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_{dry}}{2} = \frac{14 + 6.3}{2} = 10.15 \text{ kN/m}^3$$

3. Nilai q_u didapatkan nilai 0 karena tanah tersebut termasuk *cohesionless soil* sehingga nilai $c_u = q_u/2$ adalah 0 dan nilai $c' = 2/3 c_u$ adalah 0.
4. Nilai ϕ didapatkan dengan cara interpolasi sebagai berikut:

$$\phi = \frac{7 - 4}{10 - 4} x(32 - 25) + 25 = 28.5^\circ$$

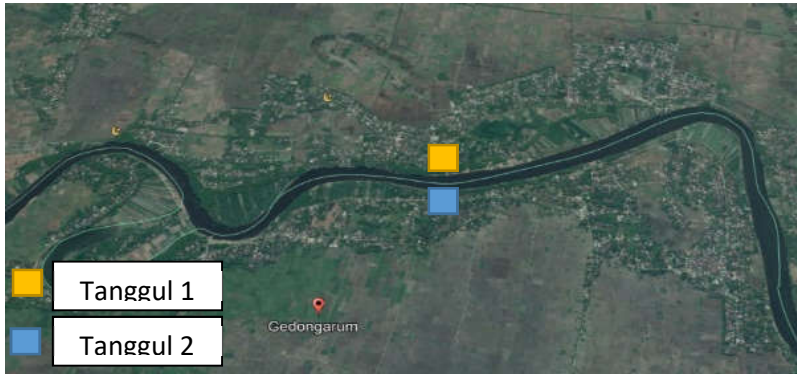
Kemudian dicari nilai ϕ' dengan cara interpolasi sebagai berikut:

$$\phi = \arctan\left(\frac{2}{3} x \tan\phi\right) = 19.89^\circ$$

5. Nilai v mnegacu pada Tabel 2.6 diambil nilai 0.25
6. Nilai E_s berdasarkan Tabel 2.7 diperoleh dengan cara interpolasi sebagai berikut:

$$E_s = \frac{7 - 4}{10 - 4} x(250 - 100) + 100 = 175 \text{ kg/cm}^2$$

Hasil korelasi akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Tabel data tanah yang telah dikorelasi dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.



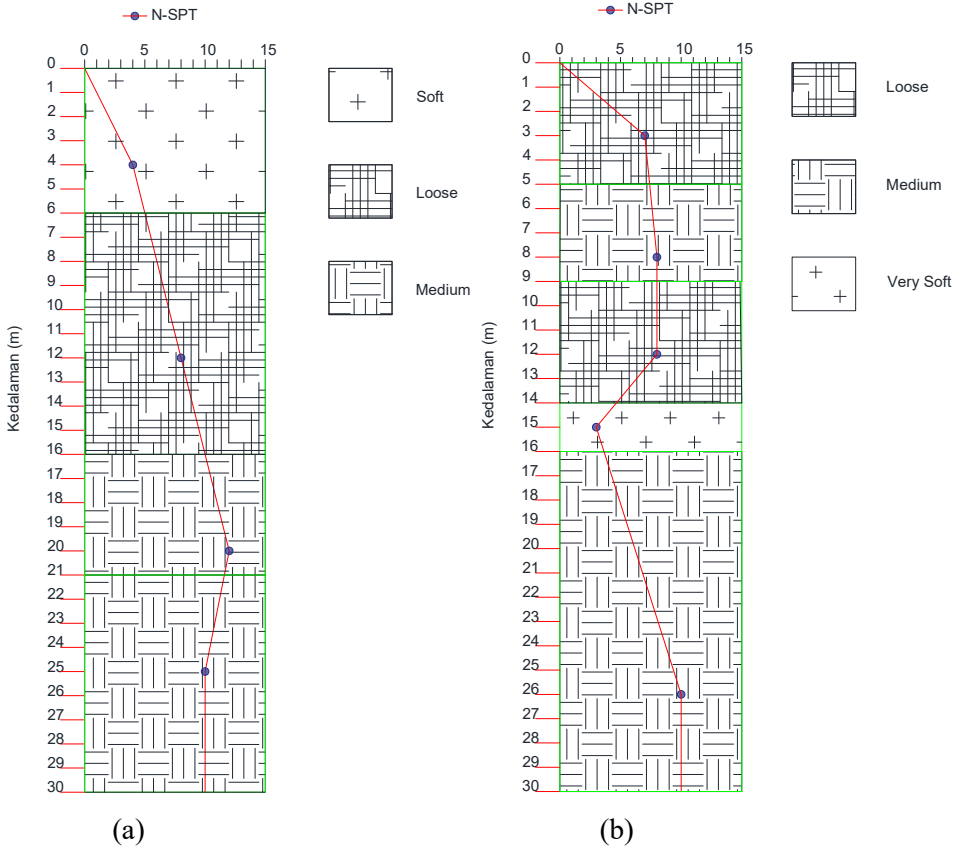
Gambar 4. 4 Lokasi pengambilan data tanah dan *crosssection*

Tabel 4. 2 Tabel Koreksi Borlog Tanggul 1

Depth	Tipe tanah	Konsistensi	NSPT
0			0
-1	Lanau Berlempung	Soft	
-2			
-3			
-4			4
-5			
-6	Pasir Berlanau	Loose	
-7			
-8			
-9			
-10			
-11			8
-12			
-13	Pasir Berlanau Berlempung	Medium	
-14			
-15			
-16			
-17			
-18	Lempung Berpasir	Medium	
-19			
-20			12
-21	Lempung Berpasir	Medium	
-22			
-23			
-24			
-25			10
-26	Lempung Berpasir	Medium	
-27			
-28			
-29			
-30			10

Tabel 4. 3 Tabel Koreksi Borlog Tanggul 2

Depth	Tipe tanah	Konsistensi	NSPT
0			0
-1	Pasir Lanau Berlempung	Loose	
-2			
-3			7
-4			
-5			
-6	Lempung Berpasir	Medium	
-7			
-8			8
-9			
-10	Pasir Lempung Berlanau	Loose	
-11			
-12			8
-13			
-14			
-15	Lempung	Very Soft	3
-16	Lempung	Medium	
-17			
-18			
-19			
-20			
-21			
-22			
-23			
-24			
-25			
-26			10
-27			
-28			
-29			
-30			10



Gambar 4. 5 Grafik antara kedalaman dan nilai N-SPT (a) Tanggul 1 dan (b) Tanggul 2

Tabel 4. 4 Tabel Korelasi Data Tanah Tanggul 1

Elevasi	Ketebalan (m)	Tipe tanah	Konsistensi	NSPT
0 - -6	6	Lanau Berlempung	Soft	4
-6 - -16	10	Pasir Berlanau	Loose	8
-16 - -21	5	Pasir Berlanau Berlempung	Medium	12
-21 - -30	9	Lempung Berpasir	Medium	10

Tabel 4. 4 Tabel Korelasi Data Tanah Tanggul 1 (Lanjutan)

γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	q_u (kPa)	c_u (kPa)
16	9.5	12.75	80	40
14.7	7.5	11.1	0	0
14.2	6.7	10.45	0	0
16.9	10.7	13.8	43.3	21.65

c' (kPa)	ϕ (°)	ϕ' (°)	ν (poisson ratio)	E_s (kg/cm ²)
26.67	0	0.000	0.210	20
0.00	29.7	20.820	0.220	200
0.00	28.4	19.822	0.250	107.9
14.43	0	0.000	0.210	65

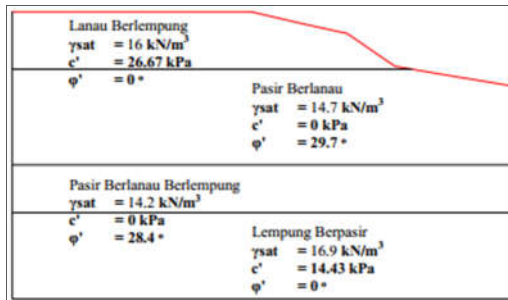
Tabel 4. 5 Tabel Korelasi Data Tanah Tanggul 2

Elevasi	Ketebalan (m)	Tipe tanah	Konsistensi	NSPT
0 - -5	5	Pasir Lanau Berlempung	Loose	7
-5 - -9	4	Lempung Berpasir	Medium	8
-9 - -14	5	Pasir Lempung Berlanau	Loose	8
-14 - -16	2	Lempung	Very Soft	3
-16 - -30	14	Lempung	Medium	10

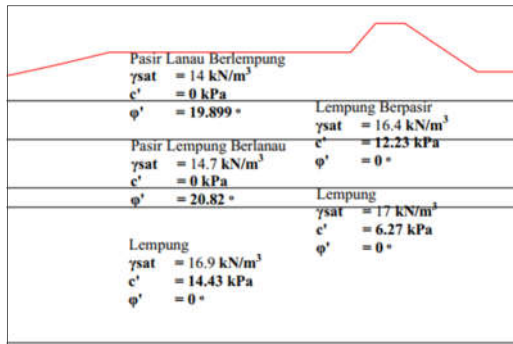
γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	q_u (kPa)	c_u (kPa)
14	6.3	10.15	0	0
16.4	10.2	13.3	36.7	18.35
14.7	7.5	11.1	0	0
17	11.1	14.05	18.8	9.4
16.9	9.8	13.35	43.3	21.65

c' (kPa)	ϕ (°)	ϕ' (°)	ν (poisson ratio)	E_s (kg/cm ²)
0.00	28.5	19.899	0.250	175
12.23	0	0.000	0.210	55
0.00	29.7	20.820	0.250	200
6.27	0	0.000	0.210	23.3
14.43	0	0.000	0.210	65

Berdasarkan data yang telah dikorelasi sebelumnya maka dapat divisualisasikan data tanah terhadap geometri tanah sehingga dapat dilihat potongan melintang tanggul dengan data tanahnya yang telah dikorelasi hingga kedalaman 30 m seperti pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4. 6 Potongan melintang dan data tanah Tanggul 1



Gambar 4. 7 Potongan melintang dan data tanah Tanggul 2

4.2.2. Analisis Gempa

Analisis gempa dilakukan dikarenakan kenaikan potensi gempa di Indonesia sehingga diperlukan adanya perencanaan dapat tahan gempa. Berdasarkan peta gempa terbaru Indonesia tahun 2017 yang terdapat pada surat edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2010 (Gambar 2.8) diambil nilai PGA terbesar yaitu 0.25g dengan gempa rencana untuk dinding penahan ditetapkan

dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur rencana 75 tahun adalah 7% atau setara dengan periode ulang 1000 tahun.

Mencari nilai k_h dan k_v :

$$k_h = 0.5 \times PG_A \times F_{PGA} = 0.5 \times 0.25 \times 1.45 = 0.18 \approx 0.2$$

k_v diabaikan karena pada umumnya percepatan vertikal lebih kecil dari horizontal sehingga tidak terlalu menentukan.

Nilai k_h dan k_v dapat dilakukan perhitungan nilai k_a akibat gempa serta dapat dimasukkan dalam software Geoslope untuk mencari angka keamanan pada variasi ketinggian muka air. Contoh perhitungan k_a akibat gempa Tanggul 1 tanah lapis 1 (teratas) seperti berikut.

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \psi)}{\cos\psi \cdot \cos^2\alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \psi) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \psi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha + \psi) \cdot \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2}$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right)$$

ϕ : 0
 α : 0
 δ : 0
 β : 0
 k_h : 0.2
 k_v : 0

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{0.2}{1 - 0} \right) = 11.3$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(0 - 0 - 11.3)}{\cos 11.3 \cdot \cos^2 0 \cdot \cos(0 + 0 + 11.3) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(0 + 0) \cdot \sin(0 - 11.3 - 0)}{\cos(0 + 0 + 11.3) \cdot \cos(0 - 0)}} \right]^2} = 1$$

Jadi nilai K_{ae} (k_a akibat gempa) tanah lapis 1 Tanggul 1 adalah 1.

4.2.3. Stabilitas Tanggul

Stabilitas tanggul akan dianalisis menggunakan metode Bishop dimana dasar perhitungan tersebut digunakan pada *software* Geoslope yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini. Data tanah yang telah dikorelasi, perhitungan nilai k_h dan k_v dari analisis gempa dan variasi ketinggian muka air menjadi faktor

utama dari analisis tersebut. Variasi ketinggian muka air sungai (MAS) mulai dari yang paling rendah adalah 2 m dari dasar sungai, 4 m, 6 m, 9 m, dan 12 m. Nilai SF, jari-jari kelongsoran, titik pusat kelongsoran, dan momen penahan akan dicari dengan masing-masing ketinggian terdapat lima nilai yang berbeda. Nilai yang diambil untuk kemudian dilakukan perhitungan perkuatan dari seluruh hasil yang didapatkan berdasarkan nilai SF yang terkecil, garis kelongsoran yang besar dan momen penahan yang besar. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan SF paling kritis dari Tanggul 1 dan Tanggul 2 hasil analisis *software* Geoslope dengan gempa dan tanpa gempa.

Tabel 4. 6 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 1 Akibat Gempa

No	Tinggi MAS (m)	SF	Radius (m)	x_o (m)	y_o (m)	M_r (kNm)
1	2	0.948	32.873	156.093	20.052	45,704.032
2	4	0.984	26.994	145.853	16.599	28,130.675
3	6	0.924	26.994	147.853	16.599	25,371.062
4	9	0.904	31.901	150.010	19.585	38,171.639
5	12	0.906	36.847	154.127	22.582	54,057.198

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 1 Tanpa Gempa

No	Tinggi MAS (m)	SF	Radius (m)	x_o (m)	y_o (m)	M_r (kNm)
1	2	1.826	33.717	132.306	20.480	38,422.825
2	4	1.753	27.992	136.910	17.072	22,971.217
3	6	1.960	27.992	136.910	17.072	21,240.860
4	9	2.364	32.873	141.093	20.052	34,662.208
5	12	2.925	38.633	136.454	23.469	47,906.925

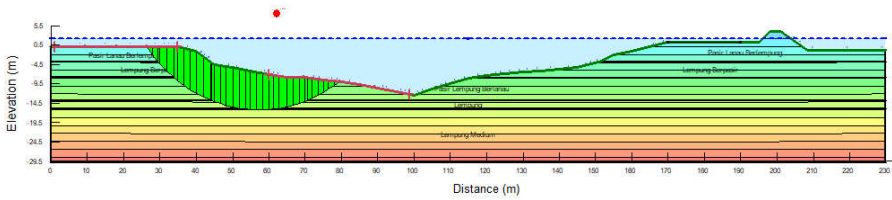
Tabel 4. 8 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 2 Akibat Gempa

No	Tinggi MAS (m)	SF	Radius (m)	x_o (m)	y_o (m)	M_r (kNm)
1	2	0.908	43.020	155.632	28.662	87,013.259
2	4	0.929	26.517	148.126	16.040	21,518.687
3	6	1.053	28.865	162.442	17.619	38,500.899
4	9	0.928	25.107	165.575	15.542	22,136.793
5	12	0.916	35.073	159.529	21.369	55,714.061

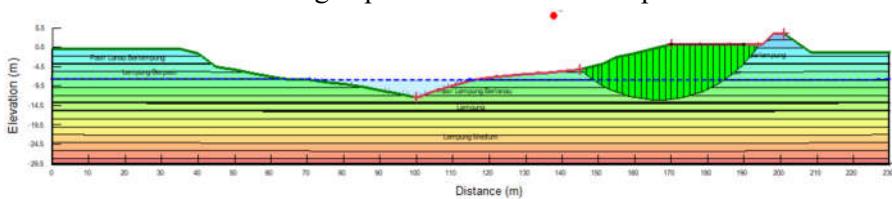
Tabel 4.9 Tabel Hasil Analisis Stabilitas Tanggul 2 Tanpa Gempa

No	Tinggi MAS (m)	SF	Radius (m)	x_o (m)	y_o (m)	M_r (kNm)
1	2	0.961	52.272	151.580	31.431	63,083.383
2	4	0.964	47.328	147.479	28.439	49,581.418
3	6	0.951	47.328	147.479	28.439	46,254.817
4	9	0.999	64.087	148.413	40.800	72,216.776
5	12	1.321	64.087	148.413	40.800	67,374.033

Berdasarkan Tabel 4.6 bahwa Tanggul 1 pada ketinggian 12 m SF paling kritis tanggul akibat gempa didapatkan dengan nilai SF 0.906, Radius 36.847 m, x_o 154.127 m, y_o 22.582 m dan M_r 54057.198 kNm sedangkan analisis Tanggul 1 tanpa gempa dapat dilihat pada Tabel 4.7 didapatkan nilai paling kritis dengan SF 1.753, Radius 27.992 m, x_o 136.910 m, y_o 17.072 m dan M_r 22971.217 kNm. Hasil analisis menggunakan software Geoslope pada Tanggul 2 yang ditampilkan Tabel 4.8 menunjukkan SF kritis akibat gempa berada pada saat ketinggian muka air 2 m dengan nilai SF 0.908, Radius 43.020 m, x_o 155.632 m, y_o 28.662 m dan M_r 87013.259 kNm sedangkan pada Tabel 4.9 menunjukkan SF kritis tanpa gempa pada ketinggian muka air 6 m dengan nilai SF 0.951, Radius 47.328 m, x_o 147.479, y_o 28.439 m dan M_r 46254.817 kNm. Hal ini menunjukkan bahwa gempa sangat berpengaruh terhadap nilai SF kedua tanggul. Gambar garis kelongsoran pada Tanggul 1 akibat gempa dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Tanggul 2 akibat gempa pada Gambar 4.9. Rekapitulasi lengkap hasil analisis software Geoslope dapat dilihat pada Lampiran 2.

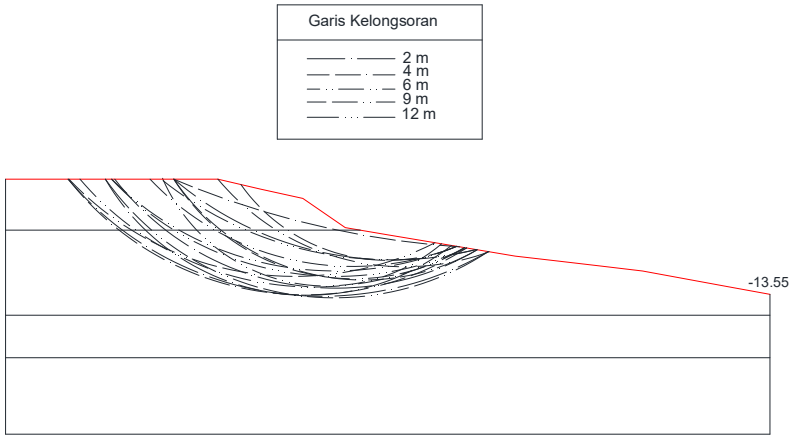


Gambar 4. 8 Gambar garis kelongsoran pada SF 0.906 Tanggul 1 akibat gempa hasil analisis Geoslope

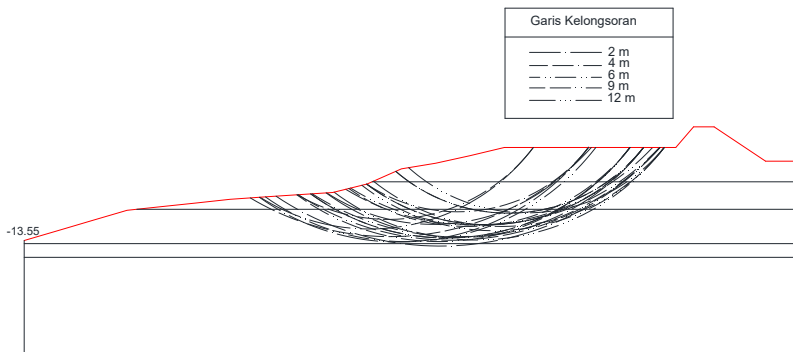


Gambar 4. 9 Gambar garis kelongsoran pada SF 0.908 Tanggul 2 akibat gempa hasil analisis Geoslope

Koordinat dan jari-jari garis kelongsoran kemudian divisualisasikan untuk mengetahui daerah yang terkena kelongsoran, sehingga pada saat mendesain perkuatan dapat menjadi acuan ukuran perkuatan yang digunakan. Berikut ini ditampilkan garis kelongsoran berdasarkan pada data dalam Tabel 4.6 untuk Tanggul 1 dan Tabel 4.8 untuk Tanggul 2 pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.



Gambar 4. 10 Visualisasi garis kelongsoran pada Tanggul 1



Gambar 4. 11 Visualisasi garis kelongsoran pada Tanggul 2

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PERENCANAAN PERKUATAN

5.1. Rencana Perkuatan

Bab ini akan menjelaskan tentang proses perencanaan perkuatan pada Tanggul 1 dan Tanggul 2. Perkuatan yang akan direncanakan terbagi menjadi dua yaitu tanpa kombinasi dan kombinasi. Perkuatan tanpa kombinasi meliputi bronjong, *riprap*, *geotextile*, cerucuk (*micropile*) dan *sheetpile*. Sedangkan untuk perkuatan kombinasi meliputi Alternatif 1 (bronjong, *geotextile*, cerucuk (*micropile*)), Alternatif 2 (bronjong, *geotextile*, *sheetpile*), Alternatif 3 (*riprap*, *geotextile*, cerucuk (*micropile*)) dan Alternatif 4 (*riprap*, *geotextile*, *sheetpile*).

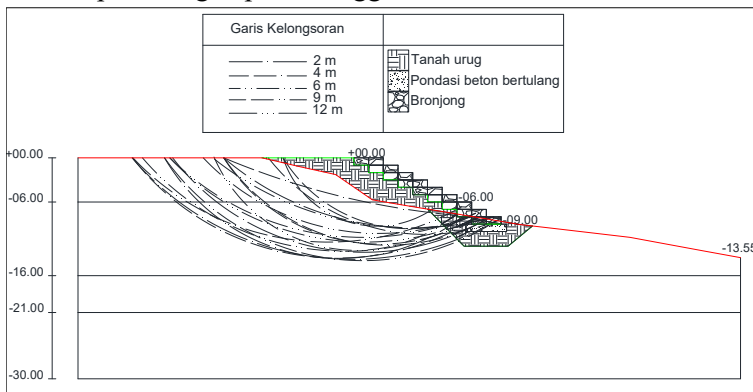
5.2. Tanpa Kombinasi

5.2.1. Bronjong

Bronjong berfungsi sebagai penahan tanah agar tidak longsor. Perhitungan bronjong juga dikontrol terhadap geser, guling dan daya dukung sehingga faktor utama yang mempengaruhi ketahanan bronjong adalah berat sendirinya.

5.2.1.1 Tanggul 1

Ilustrasi perencanaan bronjong Tanggul 1 dapat dilihat pada Gambar 5.1. Berikut adalah perencanaan bronjong beserta contoh perhitungan pada Tanggul 1:



Gambar 5. 1 Ilustrasi perencanaan bronjong Tanggul 1

Tipe bronjong yang digunakan berdasarkan Tabel 2.8 adalah tipe A. Peletakan bronjong Tanggul 1 seperti Gambar 5.1 dengan jumlah 18 buah dipasang mulai dari permukaan tanah paling bawah melewati garis kelongsoran hingga ke permukaan tanah tanggul paling atas.

- Dimensi bronjong rencana

Panjang	: 2 m
Lebar	: 1 m
Tebal	: 1 m
γ_{bronjong}	: 2.3 t/m ³

- Data tanah asli

Tanah 1

$\gamma_{\text{tanah 1}}$: 1.6 t/m ³
ϕ	: 0
K_a	: 1
h_{tanah}	: 6 m
c	: 2.67 t/m ²

Tanah 2

$\gamma_{\text{tanah 2}}$: 1.47 t/m ³
ϕ	: 20.82
K_a	: 0.494
h_{tanah}	: 3 m
c	: 0 t/m ²

- Perhitungan tekanan tanah

Diasumsikan beban diatas tanggul sebesar 1 t/m². Kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mencari tegangan vertikal tanah dan tegangan horizontal tanah.

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

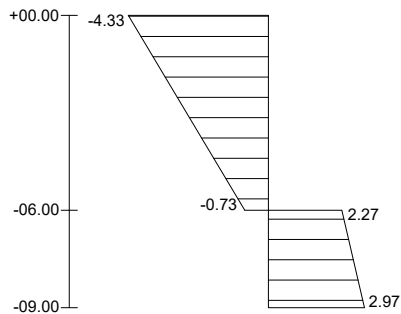
$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.6 \times 6 = 4.6 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 4.6 + 0.47 \times 3 = 6.01 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 1 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong

	k_a	σ_h (t/m ²)
0b (+00.00)	1	-4.33
1a (-06.00)	1	-0.73
1b (-06.00)	0.494	2.27
2a (-09.00)	0.494	2.97



Gambar 5. 2 Diagram tegangan horizontal bronjong Tanggul 1

Tekanan tanah

Tabel 5. 2 Tabel Tekanan Tanah Bronjong

	P_{Δ} (t)	P_{\square} (t)
1	0	0
2	1.04	6.82

$$P_{a \text{ total}} = 1.04 + 6.82 = 7.86 \text{ t}$$

- Momen dorong bronjong

$$M_d = 1.04x\left(\frac{3}{3}\right) + 6.82x\left(\frac{3}{2}\right) = 11.27 \text{ tm}$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_a} = \frac{11.27}{7.86} = 1.43 \text{ m}$$

- Berat bronjong

$$W_g = A_{bronjong} \times \gamma_{bronjong}$$

$$W_g = 2 \times 1 \times 18 \times 2.3 = 82.8 \text{ t}$$

- Berat tanah terbebani bronjong

$$W_s = A_{tanah} \times \gamma_{tanah}$$

$$W_s = 39.44 \times 0.97 + 3.21 \times 0.6 + 29.35 \times 0.47 = 39.26 \text{ t}$$

- Berat total

$$W_{tot} = W_g + W_s$$

$$W_{tot} = 82.8 + 39.26 = 122.06 \text{ t}$$

- Jarak total horizontal (dg)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat bronjong dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong

	A(m ²)	x (m)	Ax
G.1.1	4	18	72
G.1.2	4	16	64
G.1.3	4	14	56
G.1.4	4	12	48
G.1.5	4	10	40
G.1.6	4	8	32
G.1.7	4	6	24
G.1.8	4	4	16
G.1.9	4	2	8
Total	36		360

$$d_g = \Sigma Ax / \Sigma A$$

$$d_g = \frac{360}{36} = 10 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{tot}$$

$$M_p = 10 \times 122.06 = 1220.6 \text{ tm}$$

Perhitungan faktor keamanan untuk bronjong menggunakan kontrol guling, geser dan daya dukung.

- Kontrol guling

Bronjong akan dirasa aman terhadap guling jika $M_p/M_d > 2$. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan $M_p = 1220.6$ tm dan $M_d = 11.27$ tm, $M_p/M_d = 108.32$. Maka, $M_p/M_d > 2$ sehingga bronjong aman terhadap guling.

- Kontrol geser

Bronjong akan aman terhadap geser jika $\frac{\tan\phi x W_g}{P_a} > SF_{rencana}$

$$\frac{\tan\phi x W_g}{P_a} = \frac{\tan 20.82 \times 82.8}{7.86} = 4.01$$

Oleh karena hasil yang didapatkan adalah $4.01 > 1.5$, maka bronjong aman terhadap geser.

- Kontrol daya dukung

Bronjong dapat dikatakan aman terhadap daya dukung apabila $q_{ult} > q_{max} \times SF$. Berdasarkan data Tanah 3 sebagai tanah paling dasar diletakkannya bronjong, maka digunakan data Tanah 3 untuk mendapatkan nilai harga N_c , N_q , dan N_γ berdasarkan Tabel 5.4 berikut ini. Harga-harga tersebut diperoleh dengan cara interpolasi nilai ϕ .

Tabel 5. 4 Harga-harga N_c , N_γ , N_q dari Caquot & Kerisel

ϕ°	N_c	N_γ	N_q
0	5.14	0.00	1.00
5	6.50	0.10	1.60
10	8.40	0.50	2.50
15	11.00	1.40	4.00
20	14.80	3.50	6.40
25	20.70	8.10	10.70
30	30.00	18.10	18.40
35	46.00	41.10	33.30
40	75.30	100.00	64.20
45	134.00	254.00	135.00

Tanah 3 mempunyai nilai $\phi = 20.82^\circ$ sehingga dapat diinterpolasi untuk mendapatkan nilai N_c , N_q dan N_γ sebagai berikut.

$$N_c = \frac{20.82 - 20}{25 - 20} x (20.70 - 14.80) + 14.80 = 15.8$$

$$N_q = \frac{20.82 - 20}{25 - 20} x (10.70 - 6.40) + 6.40 = 7.1$$

$$N_\gamma = \frac{20.82 - 20}{25 - 20} x (8.10 - 3.50) + 3.50 = 4.3$$

$$q_{ult} = cxN_c + q'xN_q + \frac{1}{2}\gamma x B x N_\gamma$$

$$q_{ult} = 0x15.8 + 0.47x0x7.1 + 0.5x0.47x4x4.3 = 3.99t/m^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12xB} = \frac{82.8}{4} + \frac{1}{12x4} = 20.72t/m^2$$

Nilai $q_{ult} = 3.99$ t dan $q_{max} = 20.72$ t, dengan nilai $q_{ult}/q_{max}=0.193$ maka $SF < 3$ dan tidak lolos pengecekan daya dukung sehingga perlu dilakukan sesuatu untuk mencegah terjadinya kegagalan. Pada kondisi ini direncanakan penggantian tanah di bawah bronjong dengan tanah urug dan pondasi dangkal ukuran $B = 5$ m, $D = 1$ m, dan $D_f = 1$ m diharapkan untuk menaikkan daya dukung tanah dasar.

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³	N_c : 30
ϕ : 30	N_q : 18.1
K_a : 0.492	N_γ : 18.4
c : 0 t/m ²	

$$q_{ult} = cxN_c + q'xN_q + \frac{1}{2}\gamma x B x N_\gamma$$

$$q_{ult} = 0x30 + 0.97x1x18.1 + 0.5x0.97x5x18.4 = 62.177 t/m^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12xB} = \frac{82.8}{5} + \frac{1}{12x5} = 16.58 t/m^2$$

Cek daya dukung dengan cara $q_{ult}/q_{max}=62.177/16.58 = 3.75$, maka dengan penambahan pondasi dangkal beton bertulang mampu

memenuhi pengecekan daya dukung tanah. Perhitungan kebutuhan tulangan pondasi dangkal sebagai berikut.

- Penulangan pondasi beton

$$f'_c = 40 \text{ mpa}$$

$$f_y = 360 \text{ mpa}$$

$$cc = 100 \text{ mm}$$

$$D \text{ lentur} = 22 \text{ mm}$$

$$D \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$b = 5000 \text{ mm}$$

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

$$d' = h - (cc + D) \times 2 = 756 \text{ mm}$$

$$M_u = W_g \times d_g \times 1.3 = 82.8 \times 10 \times 1.3 \times 10000 = 10764000 \text{ N.mm/m}$$

$$V_u = 1076400 \text{ N/m}$$

- Tulangan utama

Mencari ρ

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d'^2} = \frac{10764000}{0.9 \times 5000 \times 756^2} = 0.004185$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0.85 \cdot f'_c}} \right) = 1.16 \times 10^{-5}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0039$$

$$\rho_{max} = 0.025$$

$$\rho \text{ pakai} = 0.0039$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756 = 14700 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2 / 4 = \pi \cdot 22^2 / 4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$n \text{ butuh} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 14700 / 380.13 = 38.67 \approx 39 \text{ buah/m}$$

$$\text{Jarak tulangan} = (5000 - 2 \times 100) / (39 - 1) = 126.32 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Digunakan, D22-100 mm/m.

- Tulangan susut

Tulangan susut diambil 50% dari tulangan pokok pakai.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756 / 2 = 7350 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2 / 4 = \pi \cdot 22^2 / 4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

n butuh = $A_s \cdot \rho / A_s \text{ tulangan} = 7350 / 380.13 = 19.34 \approx 19$ buah/m
 Jarak tulangan = $(1000 - 2 \times 100) / (19 - 1) = 44.4 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$
 Digunakan, D22-50 mm/m.

- Tulangan geser

$$V_u = 1076400 \text{ N/m}$$

$$V_c = 0.17 \lambda x \lambda x \sqrt{f'_c x b x d'} = 0.17 \times 1 \times \sqrt{40 \times 5000 \times 756}$$

$$= 4064159 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 4064159 = 3048119 \text{ N}$$

$$V_s = 0.5 \times V_c = 1524060 \text{ N}$$

Nilai $V_u < \phi V_c$ maka seharusnya tidak memerlukan tulangan geser, tetapi akan tetap digunakan tulangan geser.

Digunakan tulangan D13 dengan $S = 500 \text{ mm}$ maka nilai Luas tulangan geser (A_v) = 1327.323 mm^2

Jarak tulangan diperlukan (arah X):

$$S_x = A_v \times f_y \times d^2 / V_s = 1327.323 \times 360 \times 756 / 1524060 = 237.03 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan geser D13-250 arah X dan D13-500 arah Y.

5.2.1.2 Tanggul 2

Perencanaan pada Tanggul 2 seperti halnya dilakukan pada Tanggul 1 dengan bronjong berjumlah 18 buah. Gambar perencanaan dapat dilihat pada Gambar 5.3.

- Dimensi bronjong rencana

Panjang : 2 m

Lebar : 1 m

Tebal : 1 m

γ_{bronjong} : 2.3 t/m³

- Data tanah

Tanah 1

$\gamma_{\text{tanah 1}}$: 1.4 t/m³

ϕ : 19.9

K_a : 0.51

h_{tanah} : 5 m

c : 2.67 t/m²

Tanah 2

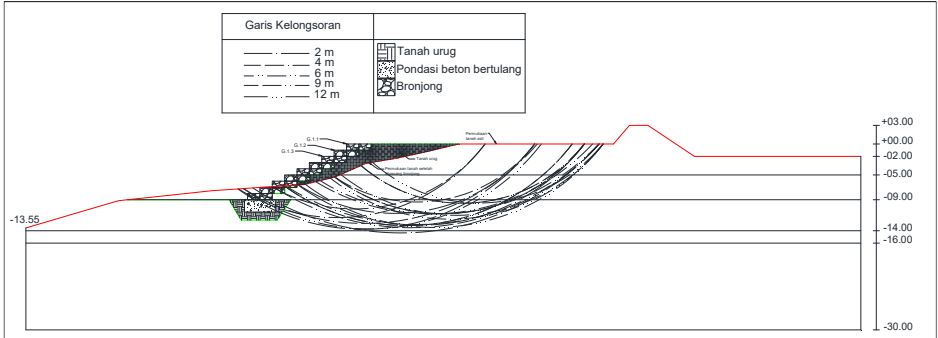
$\gamma_{\text{tanah 2}}$: 1.64 t/m ³
ϕ	: 0
K_a	: 1
h_{tanah}	: 4 m
c	: 0 t/m ²

Tanah 3

$\gamma_{\text{tanah 3}}$: 1.47 t/m ³
ϕ	: 20.82
K_a	: 0.49
h_{tanah}	: 0 m
c	: 0 t/m ²

Tanah urug

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³	N_c	: 30
ϕ	: 30	N_q	: 18.1
K_a	: 0.492	N_γ	: 18.4
c	: 0 t/m ²		



Gambar 5. 3 Perencanaan perkuatan bronjong pada Tanggul 2

- Perhitungan tekanan tanah
Diasumsikan beban diatas tanggul sebesar 1 t/m². Kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mencari tegangan vertikal tanah dan tegangan horizontal tanah.

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

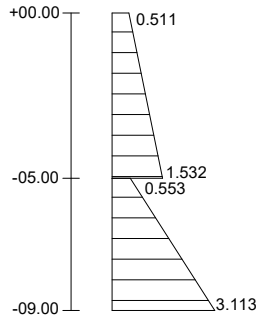
$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.4 \times 5 = 3 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 3 + 0.64 \times 4 = 5.56 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 5 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong

	k_a	$\sigma_h \text{ (t/m}^2\text{)}$
0b (+00.00)	0.511	0.511
1a (-05.00)	0.511	1.532
1b (-05.00)	1	0.553
2a (-09.00)	1	3.113



Gambar 5. 4 Diagram tegangan horizontal bronjong Tanggul 2

Tekanan tanah

Tabel 5. 6 Tabel Tekanan Tanah Bronjong

	$P_{\Delta} \text{ (t)}$	$P_{\square} \text{ (t)}$
1	2.554	2.554
2	5.120	2.213

$$P_{a \text{ total}} = 2.554 + 2.554 + 5.12 + 2.213 = 12.442 \text{ t}$$

- Momen dorong bronjong

$$M_d = 2.554x \left(\frac{5}{3} + 4 \right) + 2.554x \left(\frac{5}{2} + 4 \right) + 5.12x \left(\frac{4}{3} \right) + 2.213x \left(\frac{4}{2} \right) = 42.328tm$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_a} = \frac{42.328}{12.442} = 3.402 m$$

- Berat bronjong

$$W_g = A_{bronjong} \times \gamma_{bronjong}$$

$$W_g = 2 \times 1 \times 18 \times 2.3 = 82.8 t$$

- Berat tanah terbebani bronjong

$$W_s = A_{tanah} \times \gamma_{tanah}$$

$$W_s = (14.346 + 4.629) \times 0.97 + 5.65 \times 0.4 + 47.37 \times 0.64 = 50.985 t$$

- Berat total

$$W_{tot} = W_g + W_s$$

$$W_{tot} = 82.8 + 50.985 = 133.78 t$$

- Jarak total horizontal (d_g)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat bronjong dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong

	A(m ²)	x (m)	Ax
G.1.1	4	18	72
G.1.2	4	16	64
G.1.3	4	14	56
G.1.4	4	12	48
G.1.5	4	10	40
G.1.6	4	8	32
G.1.7	4	6	24
G.1.8	4	4	16
G.1.9	4	2	8
Total	36		360

$$d_g = \Sigma Ax / \Sigma A$$

$$d_g = \frac{360}{36} = 10 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{tot}$$

$$M_p = 10 \times 133.78 = 1337.8 \text{ tm}$$

Perhitungan faktor keamanan untuk bronjong menggunakan kontrol guling, geser dan daya dukung.

- Kontrol guling

Bronjong akan dirasa aman terhadap guling jika $M_p/M_d > 2$. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan $M_p = 1337.8$ tm dan $M_d = 42.328$ tm, $M_p/M_d = 31.607$. Maka, $M_p/M_d > 2$ sehingga bronjong aman terhadap guling.

- Kontrol geser

Bronjong akan aman terhadap geser jika $\frac{\tan\phi \times W_g}{P_a} > SF_{rencana}$

$$\frac{\tan\phi \times W_g}{P_a} = \frac{\tan 20.82 \times 82.8}{12.422} = 2.53$$

Oleh karena hasil yang didapatkan adalah $2.53 > 1.5$, maka bronjong aman terhadap geser.

- Kontrol daya dukung

Bronjong dapat dikatakan aman terhadap daya dukung apabila $q_{ult} > q_{max} \times SF$. Berdasarkan data Tanah 3 sebagai tanah paling dasar diletakkannya bronjong, maka digunakan data Tanah 3 untuk mendapatkan nilai harga N_c , N_q , dan N_γ berdasarkan Tabel 5.8 berikut ini. Harga-harga tersebut diperoleh dengan cara interpolasi nilai ϕ .

Tanah 3 mempunyai nilai $\phi = 20.82^\circ$ sehingga dapat diinterpolasi untuk mendapatkan nilai N_c , N_q dan N_γ sebagai berikut.

$$N_c = \frac{20.82 - 20}{25 - 20} \times (20.70 - 14.80) + 14.80 = 15.8$$

$$N_q = \frac{20.82 - 20}{25 - 20} \times (10.70 - 6.40) + 6.40 = 7.1$$

$$N_\gamma = \frac{20.82 - 20}{25 - 20} x(8.10 - 3.50) + 3.50 = 4.3$$

Tabel 5. 8 Harga-harga N_c , N_γ , N_q dari Caquot & Kerisel

ϕ^0	N_c	N_γ	N_q
0	5.14	0.00	1.00
5	6.50	0.10	1.60
10	8.40	0.50	2.50
15	11.00	1.40	4.00
20	14.80	3.50	6.40
25	20.70	8.10	10.70
30	30.00	18.10	18.40
35	46.00	41.10	33.30
40	75.30	100.00	64.20
45	134.00	254.00	135.00

$$q_{ult} = cxN_c + q'xN_q + \frac{1}{2}\gamma xBxN_\gamma$$

$$q_{ult} = 0x15.8 + 0.47x0x7.1 + 0.5x0.47x4x4.3 = 3.99t/m^2$$

$$q_{max} = \frac{SV}{B} + \frac{1}{12xB} = \frac{82.8}{4} + \frac{1}{12x4} = 20.72t/m^2$$

Nilai $q_{ult} = 3.99$ t dan $q_{max} = 20.72$ t, dengan nilai $q_{ult}/q_{max}=0.193$ maka $SF < 3$ dan tidak lolos pengecekan daya dukung sehingga perlu dilakukan sesuatu untuk mencegah terjadinya kegagalan. Pada kondisi ini direncanakan penggantian tanah di bawah bronjong dengan tanah urug dan pondasi dangkal beton bertulang ukuran $B = 5$ m, $D = 1$ m, dan $D_f = 1$ m diharapkan untuk menaikkan daya dukung tanah dasar.

$$\begin{array}{ll} \gamma_{\text{tanah urug}} : 1.97 \text{ t/m}^3 & N_c : 30 \\ \phi : 30 & N_q : 18.1 \\ K_a : 0.492 & N_\gamma : 18.4 \\ c : 0 \text{ t/m}^2 & \end{array}$$

$$q_{ult} = cxN_c + q'xN_q + \frac{1}{2}\gamma xBxN_\gamma$$

$$q_{ult} = 0 \times 30 + 0.97 \times 1 \times 18.1 + 0.5 \times 0.97 \times 5 \times 18.4$$

$$= 62.177 \text{ t/m}^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12 \times B} = \frac{82.8}{5} + \frac{1}{12 \times 5} = 16.58 \text{ t/m}^2$$

Cek daya dukung dengan cara $q_{ult}/q_{max} = 62.177/16.58 = 3.75$, maka dengan penambahan pondasi dangkal beton bertulang mampu memenuhi pengecekan daya dukung tanah. Perhitungan jumlah kebutuhan tulangan dilakukan sama dengan Tanggul 1.

5.2.2. Riprap

Riprap digunakan untuk mencegah terjadinya erosi pada lereng dengan cara menempelkan batu pada lereng dengan ketebalan dan gradasi tertentu sehingga pasangan batu tersebut rapat dan tidak ambles. Pada bagian bawah *rip rap* juga dipasang lapisan lapisan filter yang berguna membantu mencegah erosi akibat air sungai.

5.2.2.1 Tanggul 1

Berikut ini adalah perhitungan *rip rap* pada Tanggul 1:

Diketahui:

$$D_{avg} = 7 \text{ m}$$

$$V_a = 6 \text{ m/s}$$

$$\Phi = 37$$

$$\theta = 27$$

$$S_s = 2.6$$

- Nilai K_1 pada persamaan

$$K_1 = \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}\right)^{0.5}$$

$$K_1 = \left(1 - \frac{\sin^2 27}{\sin^2 37}\right)^{0.5} = 0.975$$

- Mencari ukuran median *rip rap* (m) pada persamaan

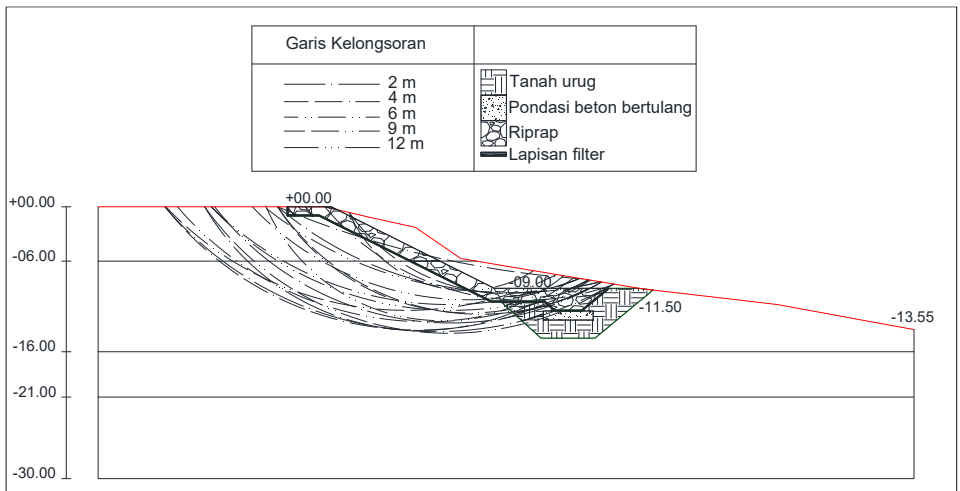
$$D_{50} = \frac{0.00594 \times V_a^3}{d_{avg}^{\frac{1}{2}} \times K_1^{\frac{3}{2}}}$$

$$D_{50} = \frac{0.00594x6^3}{\frac{1}{7^2x0.975^2}}$$

$$D_{50} = 0.5 \text{ m}$$

- Ketebalan riprap minimal yang dibutuhkan adalah $1.5 \times D_{50}$ (Brown dan Clyde, 1989), dimana 1.5×0.5 adalah $0.75 \approx 1$ m. Desain menggunakan kemiringan 1V:2H agar menjaga batu *riprap* tidak runtuh.

Bagian bawah riprap didesain sebagaimana terdapat pada Gambar 2.12. Filter yang akan digunakan adalah *geotextile non-woven* dengan pertimbangan seperti pada sub-bab 2.7.3. dan didesain kaki riprap, kemudian cek stabilitas riprap terhadap guling, geser dan daya dukung seperti berikut. Ilustrasi pemasangan *riprap* Tanggul 1 dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Ilustrasi pemasangan *riprap* Tanggul 1

- Data tanah asli
Tanah 1
 $\gamma_{\text{tanah 1}}$: 1.6 t/m³
 Φ : 0
 K_a : 1

h_{tanah}	: 6 m
c	: 2.67 t/m ²
Tanah 2	
$\gamma_{\text{tanah 2}}$: 1.47 t/m ³
Φ	: 20.82
K_a	: 0.49
h_{tanah}	: 5.5 m
c	: 0 t/m ²

- Perhitungan tekanan tanah

Diasumsikan beban diatas tanggul sebesar 1 t/m². Kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mencari tegangan vertikal tanah dan tegangan horizontal tanah.

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.6 \times 6 = 4.6 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 4.6 + 0.47 \times 5.5 = 7.19 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 9 Tabel Tegangan Horizontal Riprap

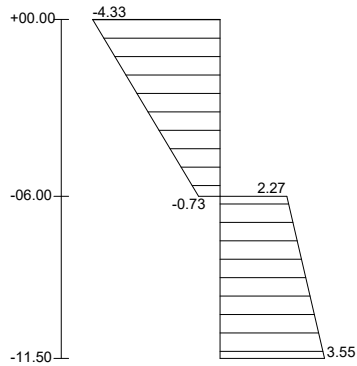
	k_a	σ_h (t/m ²)
0b (+00.00)	1	-4.33
1a (-06.00)	1	-0.73
1b (-06.00)	0.49	2.27
2a (-11.50)	0.49	3.55

Tekanan tanah

Tabel 5. 10 Tabel Tekanan Tanah Riprap

	P_{Δ} (t)	P_{\square} (t)
1	0	0
2	3.51	12.50

$$P_{a \text{ total}} = 3.51 + 12.5 = 16.01 \text{ t}$$



Gambar 5. 6 Diagram tegangan horizontal *riprap* Tanggul 1

- Momen dorong riprap

$$M_d = 3.51x \left(\frac{5.5}{3} \right) + 12.5x \left(\frac{5.5}{2} \right) = 40.8 \text{ tm}$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_a \text{ total}} = \frac{40.8}{16.01} = 2.55 \text{ m}$$

- Berat riprap

$$W_g = A_{riprap} \times \gamma_{riprap}$$

$$W_g = 49.28x 2.3 = 113.35 \text{ t}$$

- Berat tanah terbebani riprap

$$W_s = A_{tanah} \times \gamma_{tanah}$$

$$W_s = 42.5 \times 0.6 + 109.94x 0.47 = 77.17 \text{ t}$$

- Berat total

$$W_{total} = W_g + W_s$$

$$W_{total} = 113.35 + 77.17 = 190.52 \text{ t}$$

- Jarak total horizontal (d_g)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat riprap dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap

Kode	A (m ²)	x (m)	Ax
1	18.08	5.61	101.3698
2	27.03	22.47	607.4439
3	4.17	36.04	150.4572
Total	49.28		859.2708

$$d_g = \frac{\Sigma Ax}{\Sigma A}$$

$$d_g = \frac{859.27}{49.28} = 17.436 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{total}$$

$$M_p = 17.436 \times 190.52 = 3321.8 \text{ tm}$$

Perhitungan faktor keamanan untuk riprap menggunakan kontrol guling, geser dan daya dukung.

- Kontrol guling

Riprap dapat dikatakan aman terhadap guling jika $M_p > M_d$. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan $M_p = 3321.8$ tm dan $M_d = 40.8$ tm. Maka, $M_p/M_d = 81.4 > 2$ sehingga riprap aman terhadap guling.

- Kontrol geser

Riprap akan aman terhadap geser jika $\frac{\tan\phi x W_g}{P_a} > SF_{rencana}$

$$\frac{\tan\phi x W_g}{P_a} = \frac{\tan 30 \times 113.35}{16.01} = 4.08$$

Oleh karena hasil yang didapatkan adalah $4.08 > 1.5$, maka riprap aman terhadap geser.

- Kontrol daya dukung

Riprap dapat dikatakan aman terhadap daya dukung apabila $q_{ult} > q_{max} \times SF$. Didesain pondasi dangkal batu belah di bawah riprap dan tanah dasar diganti dengan tanah urug dengan $B = 5$ m, $D = 1$ m dan $D_f = 2.5$ m sebagai berikut.

$$\gamma_{tanah \text{ urug}} : 1.97 \text{ t/m}^3 \quad N_c : 30$$

$$\begin{array}{ll} \Phi & : 30 \\ K_a & : 0.492 \\ c & : 0 \text{ t/m}^2 \end{array} \quad \begin{array}{ll} N_q & : 18.1 \\ N_\gamma & : 18.4 \end{array}$$

$$\begin{aligned} q_{ult} &= 0 \times 30 + 0.97 \times 2.5 \times 18.1 + 0.5 \times 0.97 \times 5 \times 18.4 \\ &= 88.513 \text{ t/m}^2 \\ q_{max} &= \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12 \times B} = \frac{113.35}{5} + \frac{1}{12 \times 5} = 22.687 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai $q_{ult}/q_{max}=88.513/22.687=3.9 > 3$, jadi setelah dipasang pondasi beton bertulang dan diganti tanah dasarnya dapat memenuhi stabilitas terhadap daya dukung. Perhitungan kebutuhan tulangan pondasi sebagai berikut.

- Penulangan pondasi beton

$$f'_c = 40 \text{ mpa}$$

$$f_y = 360 \text{ mpa}$$

$$cc = 100 \text{ mm}$$

$$D \text{ lentur} = 22 \text{ mm}$$

$$D \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$b = 5000 \text{ mm}$$

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

$$d' = h - (cc + D) \times 2 = 756 \text{ mm}$$

$$M_u = W_g \times d_g \times 1.3 = 113.35 \times 17.44 \times 1.3 \times 10000 = 25692198 \text{ N.mm/m}$$

$$V_u = 113.35 \times 1.3 \times 10000 = 1473547 \text{ N/m}$$

- Tulangan utama

Mencari ρ

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d'^2} = \frac{25692198}{0.9 \times 5000 \times 756^2} = 0.0099$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0.85 \cdot f'_c}} \right) = 2.78 \times 10^{-5}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0039$$

$$\rho_{max} = 0.025$$

$$\rho \text{ pakai} = 0.0039$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756 = 14700 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2/4 = \pi \cdot 22^2/4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$n \text{ butuh} = A_s \cdot \rho / A_s \text{ tulangan} = 14700/380.13 = 38.67 \approx 39 \text{ buah/m}$$

$$\text{Jarak tulangan} = (5000 - 2 \times 100) / (39 - 1) = 126.32 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Digunakan, D22-100 mm/m.

- Tulangan susut

Tulangan susut diambil 50% dari tulangan pokok pakai.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756/2 = 7350 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2/4 = \pi \cdot 22^2/4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$n \text{ butuh} = A_s \cdot \rho / A_s \text{ tulangan} = 7350/380.13 = 19.34 \approx 19 \text{ buah/m}$$

$$\text{Jarak tulangan} = (1000 - 2 \times 100) / (19 - 1) = 44.4 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Digunakan, D22-50 mm/m.

- Tulangan geser

$$V_u = 1473547 \text{ N/m}$$

$$V_c = 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c \times b \times d'} = 0.17 \times 1 \times \sqrt{40 \times 5000 \times 756} = 4064159 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 4064159 = 3048119 \text{ N}$$

$$V_s = 0.5 \times V_c = 1524060 \text{ N}$$

Nilai $V_u < \phi V_c$ maka seharusnya tidak memerlukan tulangan geser, tetapi akan tetap digunakan tulangan geser.

Digunakan tulangan D13 dengan $S = 500 \text{ mm}$ maka nilai Luas tulangan geser (A_v) = 1327.323 mm²

Jarak tulangan diperlukan (arah X):

$$S_x = A_v \times f_y \times d' / V_s = 1327.323 \times 360 \times 756 / 1524060 = 237.03 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan geser D13-250 arah X dan D13-500 arah Y.

5.2.2.2 Tanggul 2

Perhitungan pada Tanggul 2 sebagaimana dilakukan pada Tanggul 1 dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Diketahui:

$$D_{\text{avg}} = 7 \text{ m}$$

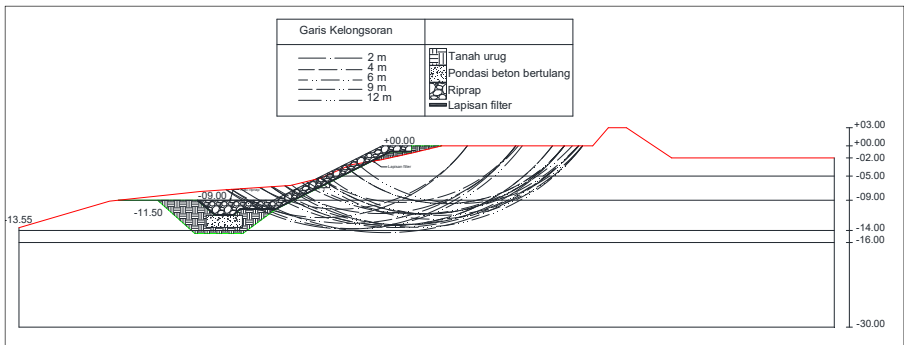
$$V_a = 6 \text{ m/s}$$

$$\Phi = 37$$

$$\theta = 27$$

$$S_s = 2.6$$

Didapatkan nilai $D_{50} = 0.5 \text{ m}$ untuk mencari ketebalan riprap dengan cara $1.5 \times D_{50} = 0.75 \approx 1 \text{ m}$. Kemiringan riprap direncanakan 1V:2H agar riprap tidak runtuh. Kontrol daya dukung telah disertai dengan penggantian tanah dasar dengan tanah urug dan diperkuat dengan pondasi dangkal. Ilustrasi perencanaan dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5. 7 Ilustrasi perencanaan riprap Tanggul 2

- Data tanah asli

Tanah 1

$$\gamma_{\text{tanah 1}} : 1.4 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi : 19.89$$

$$K_a : 0.51$$

$$h_{\text{tanah}} : 5 \text{ m}$$

$$c : 0 \text{ t/m}^2$$

Tanah 2

$$\gamma_{\text{tanah 2}} : 1.64 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi : 0$$

$$K_a : 1$$

$$h_{\text{tanah}} : 4 \text{ m}$$

$$c : 1.223 \text{ t/m}^2$$

Tanah 3

$\gamma_{\text{tanah 3}}$: 1.47 t/m ³
Φ	: 20.82
K_a	: 0.49
h_{tanah}	: 2.5 m
c	: 0 t/m ²

- Perhitungan tekanan tanah

Diasumsikan beban diatas tanggul sebesar 1 t/m². Kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mencari tegangan vertikal tanah dan tegangan horizontal tanah.

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.4 \times 5 = 3 \text{ t/m}^2$$

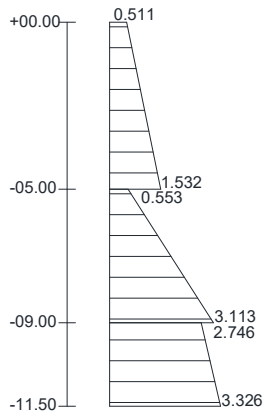
$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 3 + 0.64 \times 4 = 5.56 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_4 = \sigma v_3 + \gamma' h = 5.56 + 0.47 \times 2.5 = 6.74 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 12 Tabel Tegangan Horizontal Riprap

Titik	k_a	$\sigma_h \text{ (t/m}^2\text{)}$
0b (00.00)	0.511	0.511
1a (-05.00)	0.511	1.532
1b (-05.00)	1.000	0.553
2a (-09.00)	1.000	3.113
2b (-09.00)	0.494	2.746
3a (-11.00)	0.494	3.326



Gambar 5. 8 Diagram tegangan horizontal *riprap* Tanggul 1
Tekanan tanah

Tabel 5. 13 Tabel Tekanan Tanah Riprap

	P_{Δ}	P_{\square}
1	2.554	2.554
2	5.120	2.213
3	0.725	6.865

$$P_{a \text{ total}} = 2.554 + 2.554 + 5.12 + 2.213 + 0.725 + 6.865 \\ = 20.032 \text{ t}$$

- Momen dorong riprap

$$M_d = 2.554x \left(\frac{5}{3} + 6.5 \right) + 2.554x \left(\frac{5}{2} + 6.5 \right) + 5.12x \left(\frac{4}{3} + 2.5 \right) + 2.213x \left(\frac{4}{2} + 2.5 \right) + 0.725x \left(\frac{2.5}{3} \right) + 6.865x \left(\frac{2.5}{2} \right) = 82.618 \text{ tm}$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_{a \text{ total}}} = \frac{82.618}{20.032} = 4.12 \text{ m}$$

- Berat riprap

$$W_g = A_{riprap} \times \gamma_{riprap}$$

$$W_g = 49.28 \times 2.3 = 113.35 \text{ t}$$

- Berat tanah terbebani riprap

$$W_s = A_{tanah} \times \gamma_{tanah}$$

$$W_s = 30 \times 0.4 + 62 \times 0.64 + 60.44 \times 0.47 = 80.085 \text{ t}$$

- Berat total

$$W_{total} = W_g + W_s$$

$$W_{total} = 113.35 + 80.085 = 193.43 \text{ t}$$

- Jarak total horizontal (d_g)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat riprap dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap

Kode	A (m ²)	x (m)	Ax
1	18.08	5.61	101.3698
2	27.03	22.47	607.4439
3	4.17	36.04	150.4572
Total	49.28		859.2708

$$d_g = \frac{\Sigma Ax}{\Sigma A}$$

$$d_g = \frac{859.27}{49.28} = 17.436 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{total}$$

$$M_p = 17.436 \times 193.43 = 3372.7 \text{ tm}$$

Perhitungan faktor keamanan untuk riprap menggunakan kontrol guling, geser dan daya dukung.

- Kontrol guling

Riprap dapat dikatakan aman terhadap guling jika $M_p > M_d$. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan $M_p = 3372.7$ tm dan $M_d = 82.618$ tm. Maka, $M_p/M_d = 40.82 > 2$ sehingga riprap aman terhadap guling.

- Kontrol geser

Riprap akan aman terhadap geser jika $\frac{\tan\phi x W_g}{P_a} > SF_{rencana}$

$$\frac{\tan\phi x W_g}{P_a} = \frac{\tan 30 \times 113.35}{20.032} = 3.267$$

Oleh karena hasil yang didapatkan adalah $3.267 > 1.5$, maka *riprap* aman terhadap geser.

- Kontrol daya dukung

Riprap dapat dikatakan aman terhadap daya dukung apabila $q_{ult} > q_{max} \times SF$. Didesain pondasi dangkal batu belah di bawah *riprap* dan tanah dasar diganti dengan tanah urug dengan $B = 5$ m, $D = 1$ m dan $D_f = 2.5$ m sebagai berikut.

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³	N_c	: 30
Φ	: 30	N_q	: 18.1
K_a	: 0.492	N_γ	: 18.4
c	: 0 t/m ²		

$$q_{ult} = 0 \times 30 + 0.97 \times 2.5 \times 18.1 + 0.5 \times 0.97 \times 5 \times 18.4$$

$$= 88.513 \text{ t/m}^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12 \times B} = \frac{113.35}{5} + \frac{1}{12 \times 5} = 22.687 \text{ t/m}^2$$

Didapatkan nilai $q_{ult}/q_{max} = 88.513/22.687 = 3.9 > 3$, jadi setelah dipasang pondasi beton bertulang dan diganti tanah dasarnya dapat memenuhi stabilitas terhadap daya dukung. Perhitungan tulangan sama dengan Tanggul 1.

5.2.3. Geotextile

Perhitungan yang dilakukan adalah untuk mendapatkan panjang *geotextile* total ($L_r + L_o + sv + L_c$) dengan SF rencana 1.5. Perhitungan yang dilakukan tanpa tambahan perkuatan selain *geotextile*.

5.2.3.1. Tanggul 1

Ilustrasi perencanaan *geotextile* Tanggul 1 dapat dilihat pada Gambar 5.9. Nilai SF, koordinat dan jari-jari kelongsoran, dan

M_r setelah analisis menggunakan Geoslope pada Tanggul 1 didapatkan:

SF : 0.906

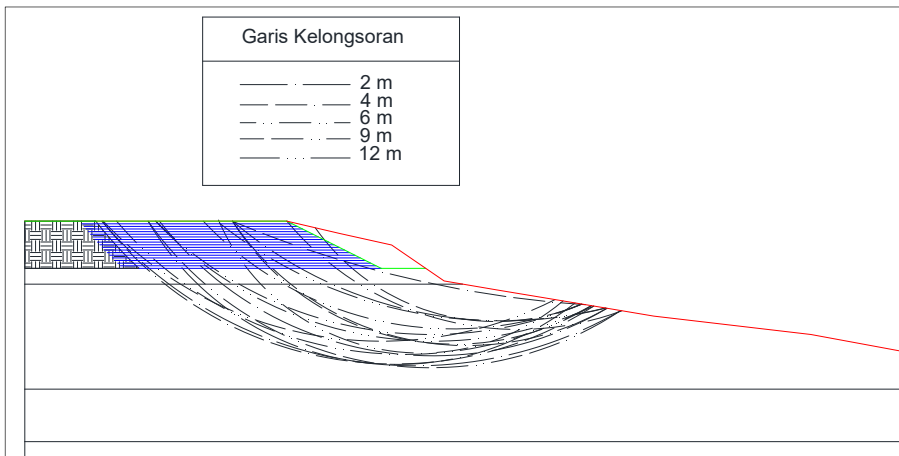
R : 31.90 m

x_o : 150.01 m

y_o : 19.59 m

M_r : 54057.20 kNm

M_d : $M_r/SF = 59665.78$ kNm



Gambar 5. 9 Ilustrasi perencanaan *geotextile* Tanggul 1

Data tanah :

Tanah urug

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 19.7 kN/m³

Φ' : 30

K_a : 0.35

h_{tanah} : 4.5 m

c' : 0 kN/m²

Tanah 1

$\gamma_{\text{tanah 1}}$: 16 kN/m³

Φ' : 0

K_a : 1

$$c' : 26.67 \text{ kN/m}^2$$

Berikut ini contoh perhitungan perkuatan tanggul apabila menggunakan geotextile saja:

- Mencari nilai T_{allow} seperti pada persamaan 2.17. Pada perencanaan ini menggunakan *geotextile* Mirafi® PET 200 dengan Tensile Strength (T_{ult}) sebesar 200 kN/m untuk lebih lengkapnya dapat dilihat di brosur di Lampiran 4.

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

$$FS_{ID} = 1.1$$

$$FS_{CR} = 2$$

$$FS_{CD} = 1$$

$$FS_{BD} = 1$$

$$T_{allow} = 200 \left(\frac{1}{1.1 \times 2 \times 1 \times 1} \right) = 90.909 \text{ kN/m}$$

- Sv *geotextile* dapat direncanakan menggunakan persamaan 2.18 atau juga dapat diasumsi dengan $sv = 25 \text{ cm}$
- Mencari panjang geotextile di belakang bidang longsor (L_e) seperti pada persamaan 2.19

$$L_e = \frac{T_{allow} (FS)}{(\tau_1 + \tau_2) \times E}$$

$$M_{geotex} = T_{allow} \times T_i$$

$$T_i = y_o + y_z = 19.59 + 4.5 = 24.09 \text{ m}$$

Dimana 4.5 m adalah tinggi tanggul dari geotextile yang dipasang paling dasar.

$$M_{geotex} = 90.909 \times 24.09 = 2189.56 \text{ kNm}$$

Dengan bantuan Tabel didapatkan jumlah *geotextile* = 18 lapis, untuk dapat menghasilkan $\Sigma M_{geotex} > \Delta M_r$, $\Sigma M_{geotex} = M_{geotex1} + M_{geotex2} + M_{geotex3} + \dots + M_{geotex-n}$ dan nilai $\Delta M_r = M_d \times SF_{rencana} - M_d = 35441.47 \text{ kNm}$.

$$\sigma_v = \gamma_{tanah} \times h_{tanah} = 19.7 \times 4.5 = 88.65 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_1 = 0 + 88.65 \times \tan 30 = 51.18 \text{ kN/m}^2$$

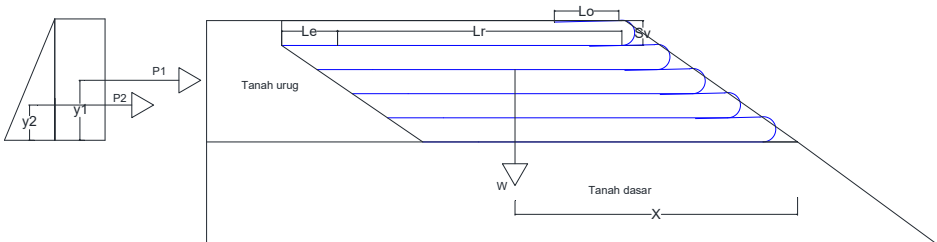
$$\tau_2 = 26.67 + 88.65 \times \tan 0 = 26.67 \text{ kN/m}^2$$

Apabila terdapat di tanah yang sama maka nilai τ_1 dan τ_2 bisa disamakan.

$$L_e = \frac{90.909 (1.5)}{((51.18 + 26.67) \times 0.8)} = 2.19 \approx 2.2 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{2.2}{2} = 1.1 \text{ m}$$

Nilai L_r didapatkan dengan cara mengukur panjang geotextile dari bagian kiri tanggul ke garis kelongsoran paling kanan menggunakan bantuan *software* Autocad didapatkan nilai 23.1 m sehingga $L_{\text{total}} = 2.2 + 1.1 + 23.1 + 0.25 = 26.66$ m untuk geotextile yang terletak paling dasar pada tanggul. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel pada Lampiran 3. Didapatkan 18 lapis *geotextile* dengan total panjang 427.84 m. Kontrol guling, geser dan daya dukung dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas yang diinginkan.



Gambar 5. 10 Ilustrasi gaya pada geotextile

Asumsi beban di atas tanah 1 t/m^2 digunakan untuk mencari nilai P . Hitung jumlah gaya yang mempengaruhi *geotextile* akibat tanah.

$$P_1 = qxk_a xh = 1 \times 0.35 \times 4.5 = 1.57 \text{ t}$$

$$P_2 = \frac{h^2 xy xk_a}{2} = \frac{4.5^2 \times 1.97 \times 0.35}{2} = 6.95 \text{ t}$$

Cari gaya proyeksi P_1 dan P_2 serta titik berat kedua gaya.

$$P_1 \sin(\delta x \phi) = 1.57 \times \sin(0.8 \times 30) = 0.64 \text{ t}$$

$$P_2 \sin(\delta x \phi) = 2.83 \text{ t}$$

$$P_1 \cos(\delta x \phi) = 1.57 \times \cos(0.8 \times 30) = 1.43 \text{ t}$$

$$P_2 \cos(\delta x \phi) = 6.35 \text{ t}$$

$$y_1 = 4.5/2 = 2.25 \text{ m dan } y_2 = 4.5/3 = 1.5 \text{ m}$$

$W = 96.18 \text{ t}$ dan $x = 10.56 \text{ m}$

- Kontrol guling

Tabel 5. 15 Tabel Perhitungan M_p dan M_d Geotextile

M_p		
$P_1 \sin(\delta x \Phi) x X$	6.74	tm
$P_2 \sin(\delta x \Phi) x X$	29.87	tm
$W x X$	1015.61	tm
Total	1052.21	tm
M_d		
$P_1 \cos(\delta x \Phi) x y$	3.22	tm
$P_2 \cos(\delta x \Phi) x y$	9.53	tm
Total	12.75	tm

$M_p/M_d = 82.5 > 2$, maka aman terhadap guling.

- Kontrol geser
 $P_p = 99.64 \text{ t}$
 $P_d = 7.79 \text{ t}$
 $P_p/P_d = 12.8 > 1.5$, aman terhadap geser.
- Kontrol daya dukung
 $N_c = 5.14$
 $N_q = 0$
 $N_\gamma = 1$

$$q_{ult} = cxN_c + q'xN_q + \frac{1}{2}\gamma x B x N_\gamma$$

$$q_{ult} = 26.67x5.14 + 0 + \frac{1}{2}x9.7x26.66x1$$

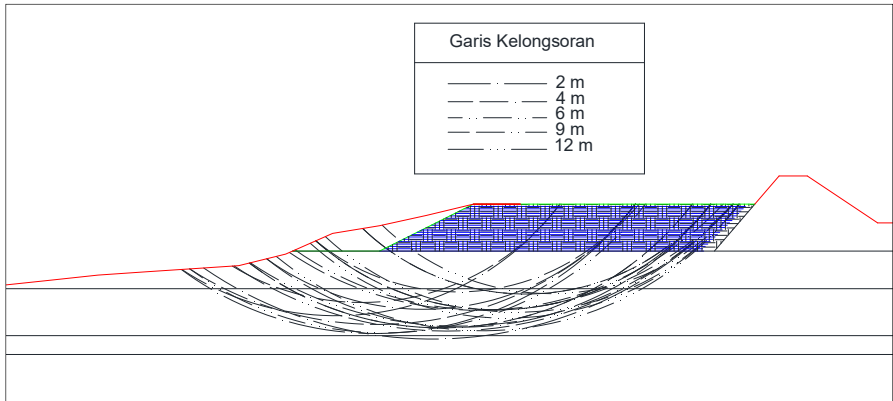
$$= 266.379 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max} = 9.7x4.5 + 0 = 43.65 \text{ kN/m}^2$$

$q_{ult}/q_{max} = 6.1 > 3$, maka kekuatan aman pada kontrol daya dukung.

5.2.3.2. Tanggul 2

Perhitungan Tanggul 2 juga dilakukan seperti halnya pada Tanggul 1. *Geotextile* yang digunakan adalah Mirafi® PET 200 dengan *tensile strength* 200 kN/m dengan $sv = 0.25$ m dengan data sebagai berikut. Ilustrasi perencanaan geotextile pada Tanggul 2 dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Ilustrasi perencanaan perkuatan geotextile pada tanggul 2

SF : 0.908
 R : 43.02 m
 x_o : 155.63 m
 y_o : 28.66 m
 M_r : 87013.26 kNm
 M_d : $M_r/SF = 95882.38$ kNm
 Tanah urug
 $\gamma_{\text{tanah urug}}$: 19.7 kN/m³
 Φ' : 30
 K_a : 0.35
 h_{tanah} : 5 m
 c' : 0 kN/m²
 Tanah 2

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{tanah 2}} &: 16.4 \text{ kN/m}^3 \\ \Phi' &: 0 \\ K_a &: 1 \\ c' &: 12.23 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Berikut ini contoh perhitungan perkuatan tanggul apabila menggunakan geotextile saja:

- Mencari nilai T_{allow} seperti pada persamaan 2.17. Pada perencanaan ini menggunakan *geotextile* Mirafi® PET 200 dengan Tensile Strength (T_{ult}) sebesar 200 kN/m untuk lebih lengkapnya dapat dilihat di brosur di Lampiran 4.

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

$$\begin{aligned}FS_{ID} &= 1.1 \\ FS_{CR} &= 2 \\ FS_{CD} &= 1 \\ FS_{BD} &= 1\end{aligned}$$

$$T_{\text{allow}} = 200 \left(\frac{1}{1.1 \times 2 \times 1 \times 1} \right) = 90.909 \text{ kN/m}$$

- Sv *geotextile* dapat direncanakan menggunakan persamaan 2.18 atau juga dapat diasumsi dengan $sv = 25 \text{ cm}$
- Mencari panjang *geotextile* di belakang bidang longsor (L_c) seperti pada persamaan 2.19

$$L_e = \frac{T_{\text{allow}} (FS)}{(\tau_1 + \tau_2) \times E}$$

$$M_{\text{geotex}} = T_{\text{allow}} \times T_i$$

$$T_i = y_o + y_z = 28.66 + 5 = 33.66 \text{ m}$$

Dimana 5 m adalah tinggi tanggul dari *geotextile* yang dipasang paling dasar.

$$M_{\text{geotex}} = 90.909 \times 24.09 = 2189.56 \text{ kNm}$$

Dengan bantuan Tabel didapatkan jumlah *geotextile* = 20 lapis, untuk dapat menghasilkan $\Sigma M_{\text{geotex}} > \Delta M_r$, $\Sigma M_{\text{geotex}} = M_{\text{geotex}1} + M_{\text{geotex}2} + M_{\text{geotex}3} + \dots + M_{\text{geotex-n}}$ dan nilai $\Delta M_r = M_d \times SF_{\text{rencana}} - M_d = 56885.33 \text{ kNm}$.

$$\sigma_v = \gamma_{\text{tanah}} \times h_{\text{tanah}} = 19.7 \times 5 = 98.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_1 = 0 + 98.5 \times \tan 30 = 56.87 \text{ kN/m}^2$$

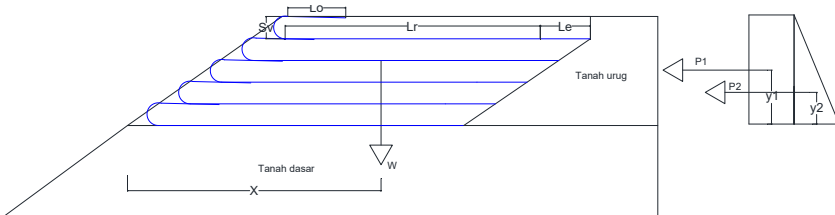
$$\tau_2 = 12.23 + 98.5 \times \tan 0 = 12.23 \text{ kN/m}^2$$

Apabila terdapat di tanah yang sama maka nilai τ_1 dan τ_2 bisa disamakan.

$$L_e = \frac{90.909 (1.5)}{((56.87 + 12.23) \times 0.8)} = 2.47 \approx 2.5 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{2.5}{2} = 1.25 \text{ m}$$

Nilai L_r didapatkan dengan cara mengukur panjang geotextile dari bagian kiri tanggul ke garis kelongsoran paling kanan menggunakan bantuan *software* Autocad didapatkan nilai 27.2 m sehingga $L_{\text{total}} = 2.5 + 1.25 + 27.2 + 0.25 = 31.2$ m untuk geotextile yang terletak paling dasar pada tanggul. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel pada Lampiran 3. Didapatkan 20 lapis *geotextile* dengan total panjang 554.51 m. Kontrol guling, geser dan daya dukung dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas yang diinginkan.



Gambar 5. 12 Ilustrasi gaya pada geotextile

Asumsi beban di atas tanah 1 t/m^2 digunakan untuk mencari nilai P. Hitung jumlah gaya yang mempengaruhi *geotextile* akibat tanah.

$$P_1 = qxk_a xh = 1 \times 0.35 \times 5 = 1.74 \text{ t}$$

$$P_2 = \frac{h^2 x \gamma x k_a}{2} = \frac{5^2 \times 1.97 \times 0.35}{2} = 8.59 \text{ t}$$

Cari gaya proyeksi P_1 dan P_2 serta titik berat kedua gaya.

$$P_1 \sin(\delta x \phi) = 1.74 \times \sin(0.8 \times 30) = 0.71 \text{ t}$$

$$P_2 \sin(\delta x \phi) = 3.49 \text{ t}$$

$$P_1 \cos(\delta x \phi) = 1.74 \times \cos(0.8 \times 30) = 1.59 \text{ t}$$

$$P_2 \cos(\delta x \phi) = 7.84 \text{ t}$$

$$y_1 = 5/2 = 2.5 \text{ m dan } y_2 = 5/3 = 1.67 \text{ m}$$

$$W = 123.41 \text{ t dan } x = 15.6 \text{ m}$$

- Kontrol guling

Tabel 5. 16 Tabel Perhitungan M_p dan M_d Geotextile

M_p		
$P_1 \sin(\delta x \Phi) x X$	11.08	tm
$P_2 \sin(\delta x \Phi) x X$	54.57	tm
$W x X$	1928.57	tm
Total	1994.22	tm
M_d		
$P_1 \cos(\delta x \Phi) x y$	3.98	tm
$P_2 \cos(\delta x \Phi) x y$	13.07	tm
Total	17.05	tm

$M_p/M_d = 116.95 > 2$, maka aman terhadap guling.

- Kontrol geser
 - $P_p = 127.61 \text{ t}$
 - $P_d = 9.44 \text{ t}$
 - $P_p/P_d = 13.5 > 1.5$, aman terhadap geser.
- Kontrol daya dukung
 - $N_c = 5.14$
 - $N_q = 0$
 - $N_\gamma = 1$

$$q_{ult} = cxN_c + q'xN_q + \frac{1}{2}\gamma xBxN_\gamma$$

$$q_{ult} = 12.23x5.14 + 0 + \frac{1}{2}x9.7x31.2x1$$

$$= 151.304 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max} = 9.7x5 + 0 = 48.5 \text{ kN/m}^2$$

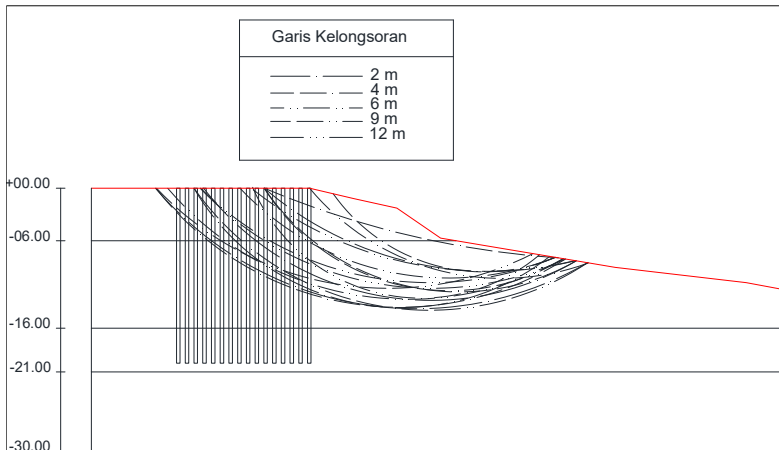
$q_{ult}/q_{max} = 3.11 > 3$, maka perkuatan aman pada kontrol daya dukung.

5.2.4. Cerucuk (*micropile*)

Perhitungan ini adalah menunjukkan perkuatan tanggul hanya menggunakan cerucuk dengan SF rencana 1.5. Perhitungan cerucuk menggunakan ΔM_p dari analisis yang dilakukan menggunakan Geoslope. Tujuannya adalah mendapatkan jumlah cerucuk yang dapat menahan longsor dengan memasang ke dalam tanah hingga melewati garis kelongsoran yang didapatkan dari analisis software.

5.2.4.1. Tanggul 1

Ilustrasi pemasangan cerucuk dapat dilihat pada Gambar 5.13 . Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan jumlah cerucuk yang dibutuhkan pada Tanggul 1.



Gambar 5. 13 Ilustrasi pemasangan cerucuk Tanggul 1

- Spesifikasi cerucuk
Cerucuk yang digunakan adalah micropile beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:
Diameter (D) : 400 mm kelas A2
Tebal (t) : 75 mm

Luas (A)	: 765 cm ²
Inersia (I)	: 106488.9463 cm ⁴
Berat (W)	: 191 kg/m
f'c	: 49 mpa
M crack	: 5.5 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{49} = 32911.18 \text{ mpa}$$

Sama dengan 322529.5 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{322529.5 \times 106488.9463}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 160.7 \text{ cm}$$

f diperoleh dari grafik pada Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ cerucuk}}$

Berupa gaya yang dapat ditahan oleh 1 cerucuk. Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $L_b/T = 640/160.7 = 3.98$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai FM = 1

$$P_{\max 1 \text{ cerucuk}} = \frac{M_{\text{crack}}}{FM \times T} = \frac{5.5}{1 \times 160.7} = 3.42 \text{ ton/m}$$

sama dengan 33.57 kN/m.

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (P_t)
Terlebih dahulu dicari nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan)

$$\begin{aligned} \Delta M_p &= (SF_{\text{rencana}} - SF_{\text{min}}) \times M_d \\ \Delta M_p &= (1.5 - 0.906) \times 54057.2 = 32109.98 \text{ kNm} \\ P_t &= \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{32109.98}{31.9} = 3211 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Perhitungan jumlah cerucuk
Contoh perhitungan n berdasarkan perhitungan kekuatan hanya dengan cerucuk

$$n = \frac{P_t}{P_{max1cerucuk}} = \frac{3211}{33.57} = 29.99 \approx 30 \text{ buah/m}$$

- Jarak antar cerucuk

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{18.5}{30 + 2} = 0.5 \text{ m}$$

Jadi ketika tanggul tersebut hanya diperkuat berupa cerucuk (*micropile*) saja akan membutuhkan cerucuk sejumlah 30 buah/m tegak lurus Gambar 5.13 dengan panjang 20 m dan jarak antar cerucuk 0.5 m.

5.2.4.2. Tanggul 2

- Spesifikasi cerucuk

Cerucuk yang digunakan adalah micropile beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Diameter (D)	: 400 mm kelas A2
Tebal (t)	: 75 mm
Luas (A)	: 765 cm ²
Inersia (I)	: 106488.9463 cm ⁴
Berat (W)	: 191 kg/m
f'c	: 49 mpa
M crack	: 5.5 tm

Ilustrasi perencanaan cerucuk Tanggul 2 dapat dilihat pada Gambar 5.14.

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{49} = 32911.18 \text{ mpa}$$

Sama dengan 322529.5 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{322529.5 \times 106488.9463}{0.32} \right)^{\frac{1}{5}} = 160.7 \text{ cm}$$

f diperoleh dari grafik pada Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ cerucuk}}$

Berupa gaya yang dapat ditahan oleh 1 cerucuk. Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $L_b/T = 640/160.7 = 3.98$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai $FM = 1$

$$P_{\max 1 \text{ cerucuk}} = \frac{M_{\text{crack}}}{FM \times T} = \frac{5.5}{1 \times 160.7} = 3.42 \text{ ton/m}$$

sama dengan 33.57 kN/m.

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (P_t)
Terlebih dahulu dicari nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan)

$$\begin{aligned} \Delta M_p &= (SF_{\text{rencana}} - SF_{\text{min}}) \times M_d \\ \Delta M_p &= (1.5 - 0.906) \times 87013.26 = 51555.36 \text{ kNm} \\ P_t &= \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{51555.36}{43.02} = 1198.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

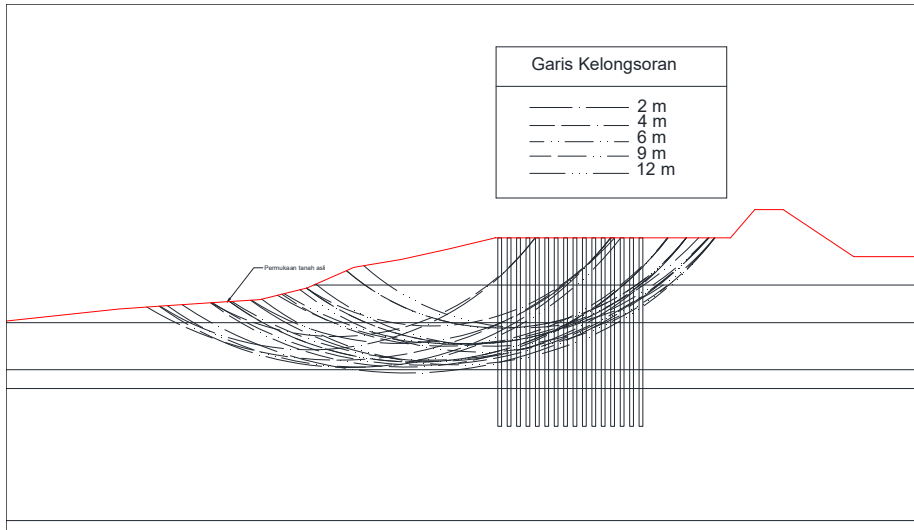
- Perhitungan jumlah cerucuk
Contoh perhitungan n berdasarkan perhitungan perkuatan hanya dengan cerucuk

$$n = \frac{P_t}{P_{\max 1 \text{ cerucuk}}} = \frac{1198.4}{33.57} = 35.7 \approx 36 \text{ buah/m}$$

- Jarak antar cerucuk

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{32.25}{36 + 2} = 0.8 \text{ m} \\ \approx 0.5 \text{ m}$$

Jadi ketika tanggul tersebut hanya diperkuat berupa cerucuk (*micropile*) saja akan membutuhkan cerucuk sejumlah 36 buah/m tegak lurus Gambar 5.14 dengan panjang 20 m dan jarak antar cerucuk 0.5 m.



Gambar 5. 14 Ilustrasi perencanaan cerucuk Tanggul 2

5.2.5. *Sheetpile*

Perhitungan ini adalah menunjukkan perkuatan tanggul hanya menggunakan *sheetpile* beton saja tanpa kombinasi dengan perkuatan lainnya. Perhitungan *sheetpile* menggunakan ΔM_p dari analisis yang dilakukan menggunakan Geoslope. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan jumlah *sheetpile* yang dibutuhkan:

5.2.5.1. Tanggul 1

- Spesifikasi *sheetpile*

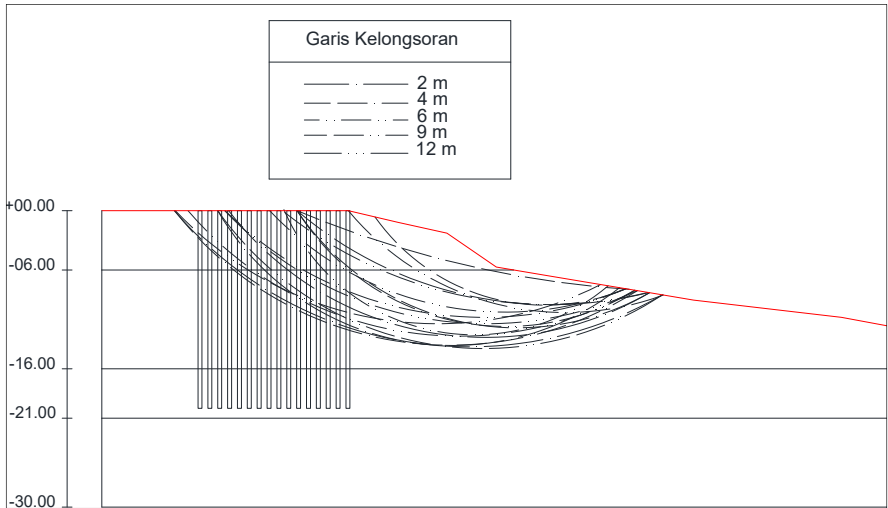
Sheetpile yang digunakan adalah *sheetpile* beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Tipe	: W-325
Tebal (t)	: 110 mm
Tinggi (H)	: 325 mm
Lebar (W)	: 996 mm
Luas (A)	: 1313 cm ²
Inersia (I)/batang	: 134261 cm ⁴
Berat (W)	: 328 kg/m

$f'c$: 57 mpa kelas A

M_{crack} : 11.4 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4. Ilustrasi perencanaan sheetpile pada Tanggul 1 dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 15 Ilustrasi perencanaan sheetpile Tanggul 1

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{57} = 35484.22 \text{ mpa}$$

Sama dengan 347745.4 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{347745.4 \times 134261}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 170.9 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ sheetpile}}$

Berupa gaya yang dapat ditahan oleh 1 sheetpile. Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15.

$$P_{\max 1 \text{ sheetpile}} = \frac{M_{crack}}{FM \times T} = \frac{11.4}{1 \times 1.709} = 6.67 \text{ ton/m}$$

sama dengan 65.43 kN/m.

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 *sheetpile* (P_t)
Terlebih dahulu dicari nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan)

$$\Delta M_p = (SF_{rencana} - SF_{min}) \times M_d$$

$$\Delta M_p = (1.5 - 0.906) \times 54057.2 = 32109.98 \text{ kNm}$$

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{32109.98}{31.90} = 1006.55 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah *sheetpile*
Contoh perhitungan n berdasarkan perhitungan perkuatan hanya dengan *sheetpile*

$$n = \frac{P_t}{P_{max1sheetpile}} = \frac{1006.55}{65.43} = 15.38 \approx 16 \text{ buah/m}$$

- Jarak antar *sheetpile*

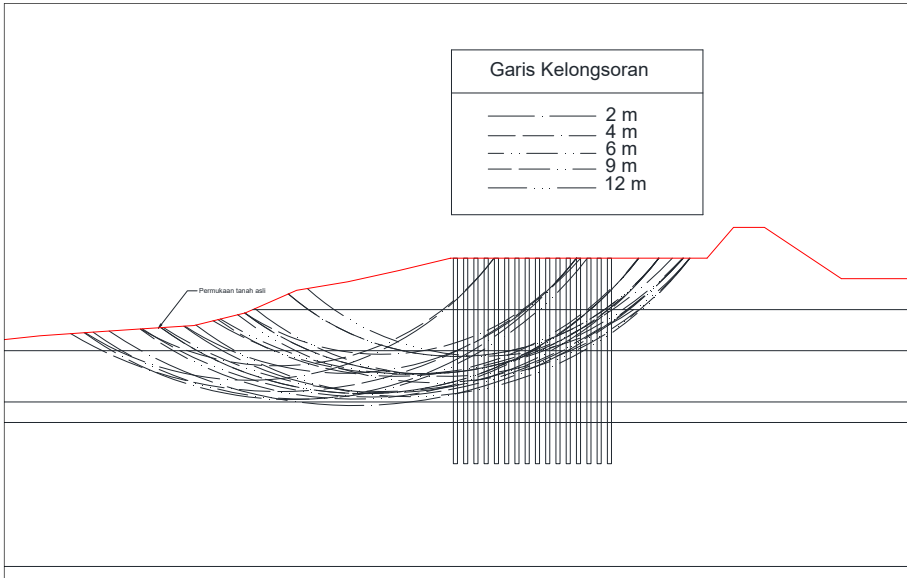
$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{18.5}{16 + 2} = 1 \text{ m}$$

Jadi ketika Tanggul 1 diperkuat menggunakan *sheetpile* saja membutuhkan 16 buah/m tegak lurus Gambar 5.15, panjang 20 m tiap tiang, dan jarak antar cerucuk 1 m.

5.2.5.2. Tanggul 2

- Spesifikasi *sheetpile*
Sheetpile yang digunakan adalah *sheetpile* beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:
- | | |
|--------------------|--------------------------|
| Tipe | : W-325 |
| Tebal (t) | : 110 mm |
| Tinggi (H) | : 325 mm |
| Lebar (W) | : 996 mm |
| Luas (A) | : 1313 cm ² |
| Inersia (I)/batang | : 134261 cm ⁴ |
| Berat (W) | : 328 kg/m |
| f'c | : 57 mpa kelas A |
| M crack | : 11.4 tm |

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4. Ilustrasi perencanaan sheetpile dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5. 16 Ilustrasi perencanaan sheetpile Tangul 2

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{57} = 35484.22 \text{ mpa}$$

Sama dengan 347745.4 kg/cm^2

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{347745.4 \times 134261}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 170.9 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ sheetpile}}$

Berupa gaya yang dapat ditahan oleh 1 sheetpile. Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15.

$$P_{\max 1 \text{ sheetpile}} = \frac{M_{\text{crack}}}{FM \times T} = \frac{11.4}{1 \times 1.709} = 6.67 \text{ ton/m}$$

sama dengan 65.43 kN/m.

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 *sheetpile* (P_t)
Terlebih dahulu dicari nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan)

$$\Delta M_p = (SF_{rencana} - SF_{min}) \times M_d$$

$$\Delta M_p = (1.5 - 0.908) \times 87013.26 = 51555.36 \text{ kNm}$$

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{51555.36}{43.02} = 1198.4 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah *sheetpile*
Contoh perhitungan n berdasarkan perhitungan perkuatan hanya dengan *sheetpile*

$$n = \frac{P_t}{P_{max1sheetpile}} = \frac{1198.4}{65.43} = 18.32 \approx 19 \text{ buah/m}$$

- Jarak antar *sheetpile*

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{32.25}{19 + 2} = 1.5 \text{ m}$$

Jadi ketika Tanggul 1 diperkuat menggunakan cerucuk *sheetpile* saja membutuhkan 19 buah/m tegak lurus Gambar 5.16, panjang 20 m tiap tiang, dan jarak antar cerucuk 1.5 m.

5.3. Pertimbangan

Bahwasanya terdapat beberapa pertimbangan dalam merencanakan perkuatan bronjong, riprap dan geotextile sebagai berikut.

1. Bronjong

Perkuatan bronjong pernah digunakan pada lokasi yg berbeda namun tetap di Sungai Bengawan Solo dan terjadi ambles pada perkuatan dikarenakan berat dari bronjong itu sendiri.

2. Riprap

Riprap dikhawatirkan akan mengalami kejadian yang sama seperti bronjong karena berat riprap sendiri.

3. Geotextile

Tinggi galian dan urugan pada tanah atas setinggi 5 m diperkirakan membutuhkan biaya yang besar.

4. Cerucuk

Tidak melidungi permukaan tanggul yang bersinggungan dengan air.

Berdasarkan pertimbangan tersebut maka diusulkan perencanaan kombinasi perkuatan berupa Alternatif 1, Alternatif 2, Alternatif 3 dan Alternatif 4.

5.4. Kombinasi Perkuatan

Alternatif yang akan disajikan di bawah ini adalah kombinasi antara beberapa perkuatan yang telah ditentukan sebelumnya dengan mengganti tanah tanggul menggunakan tanah urug dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis tanah	: Tanah urug
γ_{tanah}	: 1.97 t/m ³
ϕ	: 30
c	: 0 t/m ²

5.4.1. Alternatif 1

Alternatif 1 terdiri dari perkuatan bronjong, *geotextile*, dan cerucuk (*micropile*). Perhitungan perkuatan ketiganya adalah sebagai berikut:

5.4.1.1. Tanggul 1

➤ Bronjong

- Dimensi bronjong rencana

Panjang	: 2 m
Lebar	: 1 m
Tebal	: 1 m
γ_{bronjong}	: 2.3 t/m ³

- Data tanah

Tanah urug

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³
Φ	: 30
Ka	: 0.333
h_{tanah}	: 2.5 m
c	: 0 t/m ²

Tanah 1

$\gamma_{\text{tanah 1}}$: 1.6 t/m ³
Φ	: 0
K_a	: 1
h_{tanah}	: 3.5 m
c	: 2.67 t/m ²

Tanah 2

$\gamma_{\text{tanah 2}}$: 1.47 t/m ³
Φ	: 20.82
K_a	: 0.49
h_{tanah}	: 3 m
c	: 0 t/m ²

- Perhitungan tekanan tanah

Diasumsikan beban diatas sebesar 1 t/m².

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.97 \times 2.5 = 3.425 \text{ t/m}^2$$

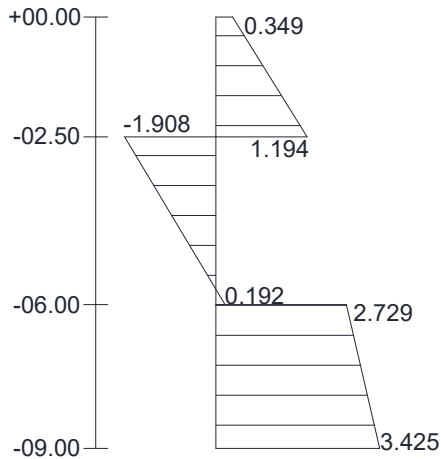
$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 3.425 + 0.6 \times 3.5 = 5.525 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_4 = \sigma v_3 + \gamma' h = 5.525 + 0.47 \times 3 = 6.935 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 17 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong Alternatif 1
Tanggul 1

	k_a	σ_h (t/m ²)
0b (00.00)	0.35	0.349
1a (-02.50)	0.35	1.194
1b (-02.50)	1.00	-1.908
2a (-06.00)	1.00	0.192
2b (-06.00)	0.49	2.729
3a (-09.00)	0.49	3.425



Gambar 5. 17 Diagram tegangan horizontal bronjong Alternatif 1 Tanggul 1

Tekanan tanah

Tabel 5. 18 Tabel Tekanan Tanah Bronjong Alternatif 1 Tanggul 1

	P_{Δ}	P_{\square}
1	1.057	0.872
2	0.19	0
3	1.04	8.19

$$P_{a \text{ total}} = 1.057 + 0.872 + 0.19 + 1.04 + 8.19 = 11.35 \text{ t}$$

- Momen dorong bronjong

$$M_d = 1.057x \left(\frac{2.5}{3} + 6.5 \right) + 0.872x \left(\frac{2.5}{2} + 6.5 \right) + 0.19x \left(\frac{1.98}{3} + 3 \right) + 1.04x \left(\frac{3}{3} \right) + 8.19x \left(\frac{3}{2} \right) = 28.53 \text{ tm}$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_a}$$

$$d_a = \frac{28.53}{11.35} = 2.51 \text{ m}$$

- Berat bronjong

$$W_g = A_{bronjong} \times \gamma_{bronjong}$$

$$W_g = 2 \times 2 \times 1 \times 1 \times 9 \times 2.3 = 82.8 \text{ t}$$

- Berat tanah terbebani bronjong

$$W_s = A_{tanah} \times \gamma_{tanah}$$

$$W_s = 0.97 \times 16.275 + 0.6 \times 13.725 + 0.47 \times 42 = 43.762 \text{ t}$$

- Berat total

$$W_{total} = W_g + W_s$$

$$W_{total} = 82.8 + 43.762 = 126.56 \text{ t}$$

- Jarak total horizontal (d_g)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat bronjong dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.19.

Tabel 5. 19 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong Alternatif 1
Tanggul 1

	A(m ²)	x (m)	Ax
G.1.1	4	18	72
G.1.2	4	16	64
G.1.3	4	14	56
G.1.4	4	12	48
G.1.5	4	10	40
G.1.6	4	8	32
G.1.7	4	6	24
G.1.8	4	4	16
G.1.9	4	2	8
Total	36		360

$$d_g = \Sigma Ax / \Sigma A$$

$$d_g = \frac{360}{36} = 10 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{total}$$

$$M_p = 10 \times 125.56 = 1265.6 \text{ tm}$$

- Kontrol guling

$$M_p > M_d$$

$$1265.6 > 28.53, \quad \frac{M_p}{M_d} = 44.37 > 2, \quad Ok$$

- Kontrol geser

$$\frac{\tan \phi \times W_g}{P_a} > SF_{rencana}$$

$$\frac{\tan \phi \times W_g}{P_a} = \frac{\tan 30 \times 82.8}{11.35} = 4.2 > 1.5, \quad Ok$$

- Kontrol daya dukung

Tanah dasar diganti dengan tanah urug dan ditambah pondasi dangkal beton bertulang B=5 m, D= 1 m, dan Df = 1 m di bawah Bronjong.

$$N_c = 30$$

$$N_q = 18.1$$

$$N_\gamma = 18.4$$

$$q_{ult} = 0 \times 30 + 0.97 \times 1 \times 18.1 + 0.5 \times 0.97 \times 5 \times 18.4$$

$$= 62.177 \text{ t/m}^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12 \times B} = \frac{82.8}{5} + \frac{1}{12 \times 5} = 16.58 \text{ t/m}^2$$

Didapatkan $q_{ult}/q_{max} = 3.75 > 3$ maka bronjong memenuhi kontrol daya dukung. Perhitungan kebutuhan tulangan pondasi dangkal sebagai berikut.

- Penulangan pondasi beton

$$f'_c = 40 \text{ mpa}$$

$$f_y = 360 \text{ mpa}$$

$$cc = 100 \text{ mm}$$

$$D \text{ lentur} = 22 \text{ mm}$$

$$D \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$b = 5000 \text{ mm}$$

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

$$d' = h - (cc + D) \times 2 = 756 \text{ mm}$$

$$M_u = W_g \times d_g \times 1.3 = 82.8 \times 10 \times 1.3 \times 10000 = 10764000 \text{ N.mm/m}$$

$$V_u = 1076400 \text{ N/m}$$

- Tulangan utama

Mencari ρ

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b x d'^2} = \frac{10764000}{0.9 \times 5000 \times 756^2} = 0.004185$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85 x f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0.85 \cdot f'_c}} \right) = 1.16 \times 10^{-5}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0039$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.025$$

$$\rho \text{ pakai} = 0.0039$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756 = 14700 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2 / 4 = \pi \cdot 22^2 / 4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$n \text{ butuh} = A_s \cdot \rho / A_s \text{ tulangan} = 14700 / 380.13 = 38.67 \approx 39 \text{ buah/m}$$

$$\text{Jarak tulangan} = (5000 - 2 \times 100) / (39 - 1) = 126.32 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Digunakan, D22-100 mm/m.

- Tulangan susut

Tulangan susut diambil 50% dari tulangan pokok pakai.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756 / 2 = 7350 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2 / 4 = \pi \cdot 22^2 / 4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$n \text{ butuh} = A_s \cdot \rho / A_s \text{ tulangan} = 7350 / 380.13 = 19.34 \approx 19 \text{ buah/m}$$

$$\text{Jarak tulangan} = (1000 - 2 \times 100) / (19 - 1) = 44.4 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Digunakan, D22-50 mm/m.

- Tulangan geser

$$V_u = 1076400 \text{ N/m}$$

$$V_c = 0.17x\lambda x\sqrt{f'_cxbxd'} = 0.17x1x\sqrt{40x5000x756}$$

$$= 4064159 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.75x4064159 = 3048119 \text{ N}$$

$$V_s = 0.5xV_c = 1524060 \text{ N}$$

Nilai $V_u < \phi V_c$ maka seharusnya tidak memerlukan tulangan geser, tetapi akan tetap digunakan tulangan geser.

Digunakan tulangan D13 dengan $S = 500 \text{ mm}$ maka nilai Luas tulangan geser (A_v) = 1327.323 mm^2

Jarak tulangan diperlukan (arah X):

$$S_x = A_v x f_y x d' / V_s = 1327.323 x 360 x 756 / 1524060 = 237.03 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan geser D13-250 arah X dan D13-500 arah Y.

➤ *Geotextile*

Nilai SF, koordinat dan jari-jari kelongsoran, dan M_r setelah analisis menggunakan Geoslope pada Tanggul 1 didapatkan:

$$\text{SF} : 0.906$$

$$R : 31.90 \text{ m}$$

$$x_o : 150.01 \text{ m}$$

$$y_o : 19.59 \text{ m}$$

$$M_r : 54057.20 \text{ kNm}$$

$$M_d : M_r / \text{SF} = 59665.78 \text{ kNm}$$

- Mencari nilai T_{allow} seperti pada persamaan 2.17. Pada perencanaan ini menggunakan *geotextile* dengan Tensile Strength (T_{ult}) sebesar 200 kN/m untuk lebih lengkapnya dapat dilihat di brosur di Lampiran 4.

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

$$F_{S_{ID}} = 1.1$$

$$F_{S_{CR}} = 2$$

$$F_{S_{CD}} = 1$$

$$F_{S_{BD}} = 1$$

$$T_{allow} = 200 \left(\frac{1}{1.1 \times 2 \times 1 \times 1} \right) = 90.909 \text{ kN/m}$$

- Sv *geotextile* dapat direncanakan menggunakan persamaan 2.19 atau juga dapat diasumsi dengan $sv = 25 \text{ cm}$
- Mencari panjang *geotextile* di belakang bidang longsor (L_e) seperti pada persamaan 2.19

$$L_e = \frac{T_{allow} (FS)}{(\tau_1 + \tau_2)x E}$$

Data tanah :

Tanah urug

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 19.7 kN/m ³
Φ	: 30
K_a	: 0.333
h_{tanah}	: 2.5 m
c	: 0 kN/m ²

Tanah 1

$\gamma_{\text{tanah 1}}$: 16 kN/m ³
Φ	: 0
K_a	: 1
c	: 26.67 kN/m ²

$$M_{\text{geotex}} = T_{allow} \times T_i$$

$$T_i = y_o + y_z = 19.59 + 2.5 = 22.09 \text{ m}$$

$$M_{\text{geotex}} = 90.909 \times 22.09 = 2878.36 \text{ kMm}$$

$$\Delta M_r = M_d \times SF_{\text{rencana}} - M_r = 35441.47 \text{ kNm}$$

$$\sigma_v = \gamma_{\text{tanah}} \times h_{\text{tanah}} = 19.7 \times 2.5 = 49.25 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_1 = 0 + 49.25 \times \tan 30 = 28.43 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_2 = 26.67 + 49.25 \times \tan 0 = 26.67 \text{ kN/m}^2$$

Apabila terdapat di tanah yang sama maka nilai τ_1 dan τ_2 bisa disamakan.

$$L_e = \frac{90.909 \times (1.5)}{(28.43 + 26.67) \times 0.8} = 3.09 \approx 3.1 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{3.1}{2} = 1.55 \text{ m}$$

Nilai L_r diambil dengan cara mengukur panjang geotextile dari koordinat kiri tanggul hingga ke ujung geotextile yang memotong garis kelongsoran paling kanan menggunakan bantuan *software* Autocad didapatkan nilai 32.6 m sehingga $L_{total} = 3.1 + 1.55 + 32.6 + 0.25 = 37.49$ m untuk geotextile yang terletak paling dasar pada tanggul. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel pada Lampiran 3. Dikarenakan perkuatan akan dikombinasikan dengan cerucuk maka ΔM_r sisa akan digunakan untuk mencari jumlah cerucuk yang dibutuhkan.

Asumsi beban di atas tanah 1 t/m^2 digunakan untuk mencari nilai P. Hitung jumlah gaya yang mempengaruhi *geotextile* akibat tanah.

$$P_1 = q x k_a x h = 1 x 0.35 x 2.5 = 0.87 \text{ t}$$

$$P_2 = \frac{h^2 x \gamma x k_a}{2} = \frac{2.5^2 x 1.97 x 0.35}{2} = 2.15 \text{ t}$$

Cari gaya proyeksi P_1 dan P_2 serta titik berat kedua gaya.

$$P_1 \sin(\delta x \phi) = 0.87 x \sin(0.8 x 30) = 0.35 \text{ t}$$

$$P_2 \sin(\delta x \phi) = 0.87 \text{ t}$$

$$P_1 \cos(\delta x \phi) = 0.87 x \cos(0.8 x 30) = 0.8 \text{ t}$$

$$P_2 \cos(\delta x \phi) = 1.96 \text{ t}$$

$$y_1 = 2.5/2 = 1.25 \text{ m dan } y_2 = 2.5/3 = 0.83 \text{ m}$$

$$W = 92.35 \text{ t dan } x = 20.84 \text{ m}$$

- Kontrol guling

Tabel 5. 20 Tabel Perhitungan M_p dan M_d

M_p		
$P_1 \sin(\delta x \Phi) x X$	7.39	tm
$P_2 \sin(\delta x \Phi) x X$	19.2	tm
$W x X$	1924.89	tm
Total	1950.47	tm
M_d		
$P_1 \cos(\delta x \Phi) x y$	1	tm
$P_2 \cos(\delta x \Phi) x y$	1.63	tm
Total	2.63	tm

$M_p/M_d = 741.8 > 2$, maka aman terhadap guling.

- Kontrol geser

$$P_p = 93.58 \text{ t}$$

$$P_d = 2.76 \text{ t}$$

$$P_p/P_d = 33.94 > 1.5, \text{ aman terhadap geser.}$$

- Kontrol daya dukung

$$N_c = 5.14$$

$$N_q = 0$$

$$N_\gamma = 1$$

$$q_{ult} = c \times N_c + q' \times N_q + \frac{1}{2} \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$q_{ult} = 0 \times 5.14 + 9.7 \times 2.5 \times 0 + \frac{1}{2} \times 9.7 \times 37.49 \times 1$$

$$= 295.144 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max} = 9.7 \times 2.5 + 0 = 24.25 \text{ kN/m}^2$$

$q_{ult}/q_{max} = 12.17 > 3$, maka perkuatan aman pada kontrol daya dukung.

➤ Cerucuk

- Spesifikasi cerucuk

Cerucuk yang digunakan adalah micropile beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Diameter (D) : 400 mm

Tebal (t) : 75 mm

Luas (A) : 765.8 cm²

Inersia (I) : 106488.95 cm⁴

Berat (W) : 191 kg/m

f'c : 49 mpa kelas A2

M crack : 5.5 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{49} = 32911.18 \text{ mpa}$$

Sama dengan 322529.5 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{322529.5 \times 106488.95}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 160.7 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ cerucuk}}$

Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $Lb/T = 1047/101.8 = 10.3$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai $FM = 1$

$$P_{\max 1 \text{ cerucuk}} = \frac{M_{\text{crack}}}{FM \times T} = \frac{5.5}{1 \times 1.607} = 3.42 \text{ ton/m}$$

Atau sama dengan 33.57 kN/m

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (P_t)
Terlebih dahulu dicari nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan)

$$\Delta M_p = (SF_{\text{rencana}} - SF_{\text{min}}) \times M_d$$

Atau sisa ΔM_p dari perhitungan *geotextile*

$$\Delta M_p = 16386.75 \text{ kNm}$$

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{16386.75}{31.9} = 513.68 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah cerucuk
Contoh perhitungan n berdasarkan perhitungan perkuatan hanya dengan cerucuk

$$n = \frac{P_t}{P_{\max 1 \text{ cerucuk}}} = \frac{513.68}{33.57} = 15.3 \approx 16 \text{ tiang/m}$$

- Jarak antar cerucuk

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{18.5}{16 + 2} = 1.02 \approx 1.5 \text{ m}$$

5.4.1.2. Tanggul 2

➤ Bronjong

- Dimensi bronjong rencana

Panjang : 2 m

Lebar : 1 m

Tebal : 1 m

$$\gamma_{\text{bronjong}} : 2.3 \text{ t/m}^3$$

- Data tanah

Tanah urug

$$\gamma_{\text{tanah urug}} : 1.97 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi : 30$$

$$K_a : 0.35$$

$$h_{\text{tanah}} : 3 \text{ m}$$

$$c : 0 \text{ t/m}^2$$

Tanah 1

$$\gamma_{\text{tanah 1}} : 1.4 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi : 19.89$$

$$K_a : 0.51$$

$$h_{\text{tanah}} : 2 \text{ m}$$

$$c : 0 \text{ t/m}^2$$

Tanah 2

$$\gamma_{\text{tanah 2}} : 1.64 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi : 0$$

$$K_a : 1$$

$$h_{\text{tanah}} : 4 \text{ m}$$

$$c : 1.23 \text{ t/m}^2$$

Tanah 3

$$\gamma_{\text{tanah 3}} : 1.47 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi : 20.82$$

$$K_a : 0.49$$

$$h_{\text{tanah}} : 0 \text{ m}$$

$$c : 0 \text{ t/m}^2$$

- Perhitungan tekanan tanah

Diasumsikan beban diatas tanggul sebesar 1 t/m^2 .

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.97 \times 3 = 3.91 \text{ t/m}^2$$

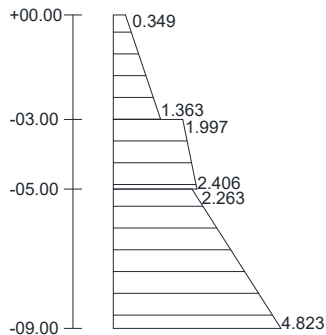
$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 3.91 + 0.4 \times 2 = 4.71 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_4 = \sigma v_3 + \gamma' h = 4.71 + 0.64 \times 4 = 7.27 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 21 Tabel Tegangan Horizontal Bronjong Alternatif 1
Tanggul 2

Titik	k_a	σ_h (t/m ²)
0b (00.00)	0.349	0.349
1a (-03.00)	0.349	1.363
1b (-03.00)	0.511	1.997
2a (-05.00)	0.511	2.406
2b (-05.00)	1.000	2.263
3a (-09.00)	1.000	4.823



Gambar 5. 18 Diagram tegangan horizontal bronjong Alternatif 1
Tanggul 2

Tekanan tanah

Tabel 5. 22 Tabel Tekanan Tanah Bronjong Alternatif 1 Tanggul
2

	P_{Δ}	P_{\square}
1	1.522	1.046
2	0.204	1.997
3	2.56	2.263

$$P_{a \text{ total}} = 1.522 + 1.046 + 0.204 + 1.997 + 2.56 + 2.263 \\ = 9.593 \text{ t}$$

- Momen dorong bronjong

$$M_d = 1.522x \left(\frac{3}{3} + 6 \right) + 1.046x \left(\frac{3}{2} + 6 \right) + 0.204x \left(\frac{2}{3} + 4 \right) + \\ 1.997x \left(\frac{2}{2} + 4 \right) + 2.56x \left(\frac{4}{3} \right) + 2.263x \left(\frac{4}{2} \right) = 37.377 \text{ tm}$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_a} \\ d_a = \frac{37.377}{9.593} = 3.896 \text{ m}$$

- Berat bronjong

$$W_g = A_{\text{bronjong}} \times \gamma_{\text{bronjong}} \\ W_g = 2 \times 2 \times 1 \times 1 \times 9 \times 2.3 = 82.8 \text{ t}$$

- Berat tanah terbebani bronjong

$$W_s = A_{\text{tanah}} \times \gamma_{\text{tanah}} \\ W_s = 0.97 \times 18.979 + 0.4 \times 5.65 + 0.64 \times 47.37 = 50.986 \text{ t}$$

- Berat total

$$W_{\text{total}} = W_g + W_s \\ W_{\text{total}} = 82.8 + 50.986 = 144.79 \text{ t}$$

- Jarak total horizontal (d_g)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat bronjong dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.23.

Tabel 5. 23 Perhitungan Jarak Horizontal Bronjong Alternatif 1
Tanggul 2

	A(m ²)	x (m)	Ax
G.1.1	4	18	72
G.1.2	4	16	64
G.1.3	4	14	56
G.1.4	4	12	48

	A(m ²)	x (m)	Ax
G.1.5	4	10	40
G.1.6	4	8	32
G.1.7	4	6	24
G.1.8	4	4	16
G.1.9	4	2	8
Total	36		360

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

$$d_g = \frac{360}{36} = 10 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{total}$$

$$M_p = 10 \times 133.79 = 1337.9 \text{ tm}$$

- Kontrol guling

$$M_p > M_d$$

$$1337.9 > 37.377, \quad \frac{M_p}{M_d} = 35.794 > 2, \quad Ok$$

- Kontrol geser

$$\frac{\tan\phi \times W_g}{P_a} > SF_{rencana}$$

$$\frac{\tan\phi \times W_g}{P_a} = \frac{\tan 30 \times 82.8}{9.593} = 4.98 > 1.5, \quad Ok$$

- Kontrol daya dukung

Tanah dasar diganti dengan tanah urug dan ditambah pondasi dangkal beton bertulang B=5 m, D= 1 m, dan Df = 1 m di bawah Bronjong.

$$N_c = 30$$

$$N_q = 18.1$$

$$N_\gamma = 18.4$$

$$q_{ult} = 0 \times 30 + 0.97 \times 1 \times 18.1 + 0.5 \times 0.97 \times 5 \times 18.4$$

$$= 62.177 \text{ t/m}^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12xB} = \frac{82.8}{5} + \frac{1}{12 \times 5} = 16.58 \text{ t/m}^2$$

Didapatkan $q_{ult}/q_{max}=3.75 > 3$ maka bronjong memenuhi kontrol daya dukung. Perhitungan jumlah tulangan sama dengan Tanggul 1 karena desain sama.

➤ **Geotextile**

Nilai SF, koordinat dan jari-jari kelongsoran, dan Mr setelah analisis menggunakan Geoslope pada Tanggul 2 didapatkan:

SF	: 0.908
R	: 43.02 m
x_o	: 155.63 m
y_o	: 28.66 m
M_r	: 87013.26 kNm
M_d	: $M_r/SF = 95882.38$ kNm

- Mencari nilai T_{allow} seperti pada persamaan 2.17. Pada perencanaan ini menggunakan *geotextile* dengan Tensile Strength (T_{ult}) sebesar 200 kN/m untuk lebih lengkapnya dapat dilihat di brosur di Lampiran 4.

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

FS_{ID}	= 1.1
FS_{CR}	= 2
FS_{CD}	= 1
FS_{BD}	= 1

$$T_{allow} = 200 \left(\frac{1}{1.1 \times 2 \times 1 \times 1} \right) = 90.909 \text{ kN/m}$$

- Sv *geotextile* dapat direncanakan menggunakan persamaan 2.19 atau juga dapat diasumsi dengan $sv = 25$ cm
- Mencari panjang geotextile di belakang bidang longsor (L_e) seperti pada persamaan 2.19

$$L_e = \frac{T_{allow} (FS)}{(\tau_1 + \tau_2) \times E}$$

Data tanah :

Tanah urug

$$\gamma_{\text{tanah urug}} : 19.7 \text{ kN/m}^3$$

$$\Phi : 30$$

$$K_a : 0.35$$

$$h_{\text{tanah}} : 3 \text{ m}$$

$$c : 0 \text{ kN/m}^2$$

Tanah 1

$$\gamma_{\text{tanah 1}} : 14 \text{ kN/m}^3$$

$$\Phi : 19.90$$

$$K_a : 0.51$$

$$c : 0 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{\text{geotex}} = T_{\text{allow}} \times T_i$$

$$T_i = y_o + y_z = 28.66 + 3 = 31.66 \text{ m}$$

$$M_{\text{geotex}} = 90.909 \times 31.66 = 2878.36 \text{ kMm}$$

$$\Delta M_r = M_d \times SF_{\text{rencana}} - M_r = 56810.31 \text{ kNm}$$

$$\sigma_v = \gamma_{\text{tanah}} \times h_{\text{tanah}} = 19.7 \times 3 = 59.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_1 = 0 + 59.1 \times \tan 30 = 34.12 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_2 = 0 + 59.1 \times \tan 19.9 = 21.39 \text{ kN/m}^2$$

Apabila terdapat di tanah yang sama maka nilai τ_1 dan τ_2 bisa disamakan.

$$L_e = \frac{90.909 \times (1.5)}{(34.12 + 21.39) \times 0.8} = 3.07 \approx 3.1 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{3.1}{2} = 1.55 \text{ m}$$

Nilai L_r diambil dengan cara mengukur panjang geotextile dari koordinat kiri tanggul hingga ke ujung geotextile yang memotong garis kelongsoran paling kanan menggunakan bantuan *software* Autocad didapatkan nilai 37.9 m sehingga $L_{\text{total}} = 3.1 + 1.55 + 37.9 + 0.25 = 42.82 \text{ m}$ untuk geotextile yang terletak paling dasar pada tanggul. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel pada Lampiran 3. Dikarenakan perkuatan akan dikombinasikan dengan cerucuk maka ΔM_r sisa akan digunakan untuk mencari jumlah cerucuk yang dibutuhkan.

Asumsi beban di atas tanah 1 t/m^2 digunakan untuk mencari nilai P. Hitung jumlah gaya yang mempengaruhi *geotextile* akibat tanah.

$$P_1 = qxk_a xh = 1 \times 0.35 \times 3 = 1.05 \text{ t}$$

$$P_2 = \frac{h^2 x \gamma x k_a}{2} = \frac{3^2 \times 1.97 \times 0.35}{2} = 3.09 \text{ t}$$

Cari gaya proyeksi P_1 dan P_2 serta titik berat kedua gaya.

$$P_1 \sin(\delta x \Phi) = 1.05 x \sin(0.8 \times 30) = 0.43 \text{ t}$$

$$P_2 \sin(\delta x \Phi) = 1.26 \text{ t}$$

$$P_1 \cos(\delta x \Phi) = 3.09 x \cos(0.8 \times 30) = 0.96 \text{ t}$$

$$P_2 \cos(\delta x \Phi) = 2.82 \text{ t}$$

$$y_1 = 3/2 = 1.5 \text{ m dan } y_2 = 3/3 = 1 \text{ m}$$

$$W = 116.83 \text{ t dan } x = 21.4 \text{ m}$$

- Kontrol guling

Tabel 5. 24 Tabel Perhitungan M_p dan M_d

M_p		
$P_1 \sin(\delta x \Phi) x X$	9.12	tm
$P_2 \sin(\delta x \Phi) x X$	26.95	tm
$W x X$	2504.85	tm
Total	2540.93	tm
M_d		
$P_1 \cos(\delta x \Phi) x y$	1.43	tm
$P_2 \cos(\delta x \Phi) x y$	2.82	tm
Total	4.26	tm

$M_p/M_d = 596.9 > 2$, maka aman terhadap guling.

- Kontrol geser

$$P_p = 118.51 \text{ t}$$

$$P_d = 3.78 \text{ t}$$

$$P_p/P_d = 31.36 > 1.5, \text{ aman terhadap geser.}$$

- Kontrol daya dukung

$$N_c = 14.72$$

$$N_q = 6.35$$

$$N_\gamma = 3.46$$

$$q_{ult} = cxN_c + q'xN_q + \frac{1}{2}\gamma xBxN_\gamma$$

$$q_{ult} = 0x14.72 + 9.7x3x6.35 + \frac{1}{2}x9.7x42.84x3.46$$

$$= 658.541 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max} = 9.7x3 + 0 = 29.1 \text{ kN/m}^2$$

$q_{ult}/q_{max} = 2.63 > 3$, maka perkuatan aman pada kontrol daya dukung.

➤ Cerucuk

- Spesifikasi cerucuk

Cerucuk yang digunakan adalah micropile beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Diameter (D) : 400 mm

Tebal (t) : 75 mm

Luas (A) : 765.8 cm²

Inersia (I) : 106488.95 cm⁴

Berat (W) : 191 kg/m

f'c : 49 mpa kelas A2

M crack : 5.5 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{49} = 32911.18 \text{ mpa}$$

Sama dengan 322529.5 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{322529.5 \times 106488.95}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 160.7 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan P_{max} 1 cerucuk

Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $Lb/T = 1047/101.8 = 10.3$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai FM = 1

$$P_{max1cerucuk} = \frac{M_{crack}}{FM \times T} = \frac{5.5}{1 \times 1.607} = 3.42 \text{ ton/m}$$

Atau sama dengan 33.57 kN/m

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (Pt)
Nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan) sisa ΔM_p dari perhitungan *geotextile*

$$\Delta M_p = 23770.02 \text{ kNm}$$

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{23770.02}{43.02} = 552.53 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah cerucuk

$$n = \frac{P_t}{P_{max1cerucuk}} = \frac{552.53}{33.57} = 16.46 \approx 17 \text{ tiang/m}$$

- Jarak antar cerucuk

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{32.25}{17 + 2} = 1.6 \approx 2 \text{ m}$$

5.4.2. Alternatif 2

Alternatif 2 terdiri dari perkuatan bronjong, *geotextile*, dan *sheetpile*.

5.4.2.1. Tanggul 1

➤ Bronjong

Perhitungan sama dengan Alternatif 1 Tanggul 1

➤ Geotextile

Perhitungan sama dengan Alternatif 1 Tanggul 1

➤ Sheetpile

- Spesifikasi *sheetpile*

Sheetpile yang digunakan adalah *sheetpile* beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Type	: W-325 A
Tinggi (H)	: 325 mm
Lebar (W)	: 996 mm
Tebal (t)	: 110 mm
Luas (A)	: 765.8 cm ²
Inersia (I)/batang	: 134261 cm ⁴

Berat (W) : 328 kg/m
 $f'c$: 57 mpa
 M crack : 11.4 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{57} = 35484.22 \text{ mpa}$$

Sama dengan 347745.4 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{3447745.4 \times 134261}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 170.9 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ sheetpile}}$

Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $Lb/T = 1047/108.3 = 9.7$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai FM = 1

$$P_{\max 1 \text{ sheetpile}} = \frac{M_{\text{crack}}}{FM \times T} = \frac{11.4}{1 \times 1.709} = 6.67 \text{ ton/m}$$

Atau sama dengan 65.43 kN/m

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (Pt)

Nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan) sisa dari perhitungan geotextile

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{16386.75}{31.9} = 513.68 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah *sheetpile*

$$n = \frac{P_t}{P_{\max 1 \text{ sheetpile}}} = \frac{513.68}{65.43} = 7.85 \approx 8 \text{ buah/m}$$

- Jarak antar *sheetpile*

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{18.5}{8 + 2} = 1.8 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

5.4.2.2. Tanggul 2

➤ **Bronjong**

Perhitungan sama dengan Alternatif 1 Tanggul 2

➤ **Geotextile**

Perhitungan sama dengan Alternatif 1 Tanggul 2

➤ **Sheetpile**

- Spesifikasi *sheetpile*

Sheetpile yang digunakan adalah *sheetpile* beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Type	: W-325 A
Tinggi (H)	: 325 mm
Lebar (W)	: 996 mm
Tebal (t)	: 110 mm
Luas (A)	: 765.8 cm ²
Inersia (I)/batang	: 134261 cm ⁴
Berat (W)	: 328 kg/m
f'c	: 57 mpa
M crack	: 11.4 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{57} = 35484.22 \text{ mpa}$$

Sama dengan 347745.4 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{347745.4 \times 134261}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 170.9 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ sheetpile}}$

Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $Lb/T = 640/108.3 = 5.9$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai $FM = 1$

$$P_{max1sheetpile} = \frac{M_{crack}}{FMxT} = \frac{11.4}{1 \times 1.709} = 6.67 \text{ ton/m}$$

Atau sama dengan 65.43 kN/m

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (P_t)
Nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan) sisa dari perhitungan *geotextile*

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{23770.02}{43.02} = 552.53 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah *sheetpile*

$$n = \frac{P_t}{P_{max1sheetpile}} = \frac{552.53}{65.43} = 8.44 \approx 9 \text{ buah/m}$$

- Jarak antar *sheetpile*

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{32.25}{9 + 2} = 2.9 \approx 2.5 \text{ m}$$

5.4.3. Alternatif 3

Alternatif 3 terdiri dari perkuatan riprap, *geotextile*, dan cerucuk (*micropile*).

5.4.3.1. Tanggul 1

➤ Riprap

Diketahui:

$$D_{avg} = 7 \text{ m}$$

$$V_a = 6 \text{ m/s}$$

$$\Phi = 37$$

$$\theta = 27$$

$$S_s = 2.6$$

- Nilai K_1 pada persamaan

$$K_1 = \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}\right)^{0.5}$$

$$K_1 = \left(1 - \frac{\sin^2 27}{\sin^2 37}\right)^{0.5} = 0.975$$

- Mencari ukuran median *riprap* (m) pada persamaan

$$D_{50} = \frac{0.00594xV_a^3}{d_{avg}^{\frac{1}{2}}xK_1^{\frac{3}{2}}}$$

$$D_{50} = \frac{0.00594x6^3}{7^{\frac{1}{2}}x0.975^{\frac{3}{2}}}$$

$$D_{50} = 0.5 \text{ m}$$

- Ketebalan riprap minimal yang dibutuhkan adalah $1.5 \times D_{50}$ (Brown dan Clyde, 1989), dimana 1.5×0.5 adalah $0.75 \approx 1$ m. Desain menggunakan kemiringan 1V:2H agar menjaga batu *riprap* tidak runtuh.

Bagian bawah riprap didesain sebagaimana terdapat pada Gambar 2.12. Filter yang akan digunakan adalah *geotextile non-woven* dengan pertimbangan seperti pada sub-bab 2.7.3.

Data tanah

Tanah urug

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³
Φ	: 30
K_a	: 0.35
h_{tanah}	: 2.5 m
c	: 0 t/m ²

Tanah 1

$\gamma_{\text{tanah 1}}$: 1.6 t/m ³
Φ	: 0
K_a	: 1
h_{tanah}	: 3.5 m
c	: 2.67 t/m ²

Tanah 2

$\gamma_{\text{tanah 2}}$: 1.47 t/m ³
Φ	: 20.82
K_a	: 0.49
h_{tanah}	: 5.5 m
c	: 0 t/m ²

- Perhitungan tekanan tanah

Diasumsikan beban diatas tanggul sebesar 1 t/m^2 . Kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mencari tegangan vertikal tanah dan tegangan horizontal tanah.

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.97 \times 2.5 = 3.4 \text{ t/m}^2$$

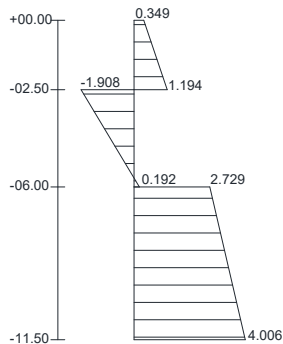
$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 3.4 + 0.6 \times 3.5 = 5.525 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_4 = \sigma v_3 + \gamma' h = 5.525 + 0.47 \times 5.5 = 8.11 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 25 Tabel Tegangan Horizontal Riprap Alternatif 3
Tanggul 1

Titik	k_a	$\sigma_h \text{ (t/m}^2\text{)}$
0b (00.00)	0.349	0.349
1a (-02.50)	0.349	1.194
1b (-02.50)	1.000	-1.908
2a (-06.00)	1.000	0.192
2b (-06.00)	0.494	2.729
3a (-11.50)	0.494	4.006



Gambar 5. 19 Diagram tegangan horizontal *riprap* Alternatif 3
Tanggul 1

Tekanan tanah

Tabel 5. 26 Tabel Tekanan Tanah Riprap

	P_{Δ}	P_{\square}
1	1.057	0.872
2	1.180	0.000
3	3.511	15.008

$$P_{a \text{ total}} = 1.057 + 0.872 + 1.18 + 3.511 + 15.008 = 21.628 \text{ t}$$

- Momen dorong riprap

$$\begin{aligned} M_d &= 1.057x \left(\frac{2.5}{3} + 9 \right) + 0.872x \left(\frac{2.5}{2} + 9 \right) \\ &\quad + 1.18x \left(\frac{1.98}{3} + 5.5 \right) + 3.511x \left(\frac{5.5}{3} \right) \\ &\quad + 15.008x \left(\frac{5.5}{2} \right) = 74.3 \text{ tm} \end{aligned}$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_{a \text{ total}}} = \frac{74.3}{21.628} = 3.44 \text{ m}$$

- Berat riprap

$$\begin{aligned} W_g &= A_{\text{riprap}} \times \gamma_{\text{riprap}} \\ W_g &= 49.28 \times 2.3 = 113.35 \text{ t} \end{aligned}$$

- Berat tanah terbebani riprap

$$\begin{aligned} W_s &= A_{\text{tanah}} \times \gamma_{\text{tanah}} \\ W_s &= 7.5 \times 0.97 + 35 \times 0.6 + 72.54 \times 0.47 = 62.37 \text{ t} \end{aligned}$$

- Berat total

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_g + W_s \\ W_{\text{total}} &= 113.35 + 62.37 = 175.72 \text{ t} \end{aligned}$$

- Jarak total horizontal (d_g)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat riprap dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.27.

Tabel 5. 27 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap

Kode	A (m ²)	x (m)	Ax
1	18.08	5.61	101.3698
2	27.03	22.47	607.4439
3	4.17	36.04	150.4572
Total	49.28		859.2708

$$d_g = \frac{\Sigma Ax}{\Sigma A}$$

$$d_g = \frac{859.27}{49.28} = 17.436 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{total}$$

$$M_p = 17.436 \times 175.72 = 3063.8 \text{ tm}$$

Perhitungan faktor keamanan untuk riprap menggunakan kontrol guling, geser dan daya dukung.

- Kontrol guling

Didapatkan $M_p = 3063.8 \text{ tm}$ dan $M_d = 74.3 \text{ tm}$. Maka, $M_p/M_d = 41.23 > 2$ sehingga riprap aman terhadap guling.

- Kontrol geser

$$\frac{\tan\phi \times W_g}{P_a} = \frac{\tan 30 \times 113.35}{21.628} = 3.026 > 1.5, \quad \text{Ok}$$

- Kontrol daya dukung

Riprap dapat dikatakan aman terhadap daya dukung apabila $q_{ult} > q_{max} \times SF$. Didesain pondasi dangkal batu belah di bawah riprap dan tanah dasar diganti dengan tanah urug dengan $B = 5 \text{ m}$, $D = 1 \text{ m}$ dan $D_f = 2.5 \text{ m}$ sebagai berikut.

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³	N_c	: 30
Φ	: 30	N_q	: 18.1
K_a	: 0.492	N_γ	: 18.4
c	: 0 t/m ²		

$$q_{ult} = 0 \times 30 + 0.97 \times 2.5 \times 18.1 + 0.5 \times 0.97 \times 5 \times 18.4$$

$$= 88.513 \text{ t/m}^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12xB} = \frac{113.35}{5} + \frac{1}{12x5} = 22.687 \text{ t/m}^2$$

Didapatkan nilai $q_{ult}/q_{max}=88.513/22.687 = 3.9 > 3$, jadi setelah dipasang pondasi beton bertulang dan diganti tanah dasarnya dapat memenuhi stabilitas terhadap daya dukung. Perhitungan kebutuhan tulangan pondasi sebagai berikut.

- Penulangan pondasi beton

$$f'_c = 40 \text{ mpa}$$

$$f_y = 360 \text{ mpa}$$

$$cc = 100 \text{ mm}$$

$$D \text{ lentur} = 22 \text{ mm}$$

$$D \text{ geser} = 13 \text{ mm}$$

$$b = 5000 \text{ mm}$$

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

$$d' = h - (cc + D) \times 2 = 756 \text{ mm}$$

$$M_u = W_g \times d_g \times 1.3 = 113.35 \times 17.44 \times 1.3 \times 10000 = 25692198 \text{ N.mm/m}$$

$$V_u = 113.35 \times 1.3 \times 10000 = 1473547 \text{ N/m}$$

- Tulangan utama

Mencari ρ

$$R_n = \frac{M_u}{\phi x b x d'^2} = \frac{25692198}{0.9 \times 5000 \times 756^2} = 0.0099$$

$$\rho_{pertu} = \frac{0.85 x f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0.85 \cdot f'_c}} \right) = 2.78 \times 10^{-5}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0039$$

$$\rho_{max} = 0.025$$

ρ pakai = 0.0039

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756 = 14700 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2 / 4 = \pi \cdot 22^2 / 4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$n \text{ butuh} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ tulangan} = 14700 / 380.13 = 38.67 \approx 39 \text{ buah/m}$$

$$\text{Jarak tulangan} = (5000 - 2 \times 100) / (39 - 1) = 126.32 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Digunakan, D22-100 mm/m.

- Tulangan susut

Tulangan susut diambil 50% dari tulangan pokok pakai.

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \times b \times d' = 0.0039 \times 5000 \times 756/2 = 7350 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ tulangan} = \pi \cdot D^2/4 = \pi \cdot 22^2/4 = 380.13 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$n \text{ butuh} = A_s \cdot \rho / A_s \text{ tulangan} = 7350/380.13 = 19.34 \approx 19 \text{ buah/m}$$

$$\text{Jarak tulangan} = (1000 - 2 \times 100) / (19 - 1) = 44.4 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Digunakan, D22-50 mm/m.

- Tulangan geser

$$V_u = 1473547 \text{ N/m}$$

$$V_c = 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d' = 0.17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 5000 \times 756 \\ = 4064159 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 4064159 = 3048119 \text{ N}$$

$$V_s = 0.5 \times V_c = 1524060 \text{ N}$$

Nilai $V_u < \phi V_c$ maka seharusnya tidak memerlukan tulangan geser, tetapi akan tetap digunakan tulangan geser.

Digunakan tulangan D13 dengan $S = 500 \text{ mm}$ maka nilai Luas tulangan geser (A_v) = 1327.323 mm²

Jarak tulangan diperlukan (arah X):

$$S_x = A_v \times f_y \times d' / V_s = 1327.323 \times 360 \times 756 / 1524060 = 237.03 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan geser D13-250 arah X dan D13-500 arah Y.

➤ **Geotextile**

Nilai SF, koordinat dan jari-jari kelongsoran, dan M_r setelah analisis menggunakan Geoslope pada Tanggul 1 didapatkan:

SF : 0.906

R : 31.90 m

x_o : 150.01 m

y_o : 19.59 m

M_r : 54057.20 kNm

M_d : $M_r/SF = 59665.78 \text{ kNm}$

- Mencari nilai T_{allow} seperti pada persamaan 2.17. Pada perencanaan ini menggunakan *geotextile* dengan Tensile Strength (T_{ult}) sebesar 200 kN/m untuk lebih lengkapnya dapat dilihat di brosur di Lampiran 4.

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

$$FS_{ID} = 1.1$$

$$FS_{CR} = 2$$

$$FS_{CD} = 1$$

$$FS_{BD} = 1$$

$$T_{allow} = 200 \left(\frac{1}{1.1 \times 2 \times 1 \times 1} \right) = 90.909 \text{ kN/m}$$

- Sv *geotextile* dapat direncanakan menggunakan persamaan 2.19 atau juga dapat diasumsi dengan $sv = 25 \text{ cm}$
- Mencari panjang *geotextile* di belakang bidang longsor (L_e) seperti pada persamaan 2.19

$$L_e = \frac{T_{allow} (FS)}{(\tau_1 + \tau_2) x E}$$

Data tanah :

Tanah urug

$$\gamma_{\text{tanah urug}} : 19.7 \text{ kN/m}^3$$

$$\Phi : 30$$

$$K_a : 0.333$$

$$h_{\text{tanah}} : 2.5 \text{ m}$$

$$c : 0 \text{ kN/m}^2$$

Tanah 1

$$\gamma_{\text{tanah 1}} : 16 \text{ kN/m}^3$$

$$\Phi : 0$$

$$K_a : 1$$

$$c : 26.67 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{\text{geotex}} = T_{allow} \times T_i$$

$$T_i = y_o + y_z = 19.59 + 2.5 = 22.09 \text{ m}$$

$$M_{\text{geotex}} = 90.909 \times 22.09 = 2878.36 \text{ kMm}$$

$$\begin{aligned}\Delta M_r &= M_d \times SF_{rencana} - M_r = 35441.47 \text{ kNm} \\ \sigma_v &= \gamma_{tanah} \times h_{tanah} = 19.7 \times 2.5 = 49.25 \text{ kN/m}^2 \\ \tau_1 &= 0 + 49.25 \times \tan 30 = 28.43 \text{ kN/m}^2 \\ \tau_2 &= 26.67 + 49.25 \times \tan 0 = 26.67 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Apabila terdapat di tanah yang sama maka nilai τ_1 dan τ_2 bisa disamakan.

$$\begin{aligned}L_e &= \frac{90.909 \times (1.5)}{(28.43 + 26.67) \times 0.8} = 3.09 \approx 3.1 \text{ m} \\ L_o &= \frac{3.1}{2} = 1.55 \text{ m}\end{aligned}$$

Nilai L_r diambil dengan cara mengukur panjang geotextile dari koordinat kiri tanggul hingga ke ujung geotextile yang memotong garis kelongsoran paling kanan menggunakan bantuan *software* Autocad didapatkan nilai 18.5 m sehingga $L_{total} = 3.1 + 1.55 + 18.5 + 0.25 = 23.38$ m untuk geotextile yang terletak paling dasar pada tanggul. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel pada Lampiran 3. Dikarenakan perkuatan akan dikombinasikan dengan cerucuk maka ΔM_r sisa akan digunakan untuk mencari jumlah cerucuk yang dibutuhkan.

Asumsi beban di atas tanah 1 t/m^2 digunakan untuk mencari nilai P. Hitung jumlah gaya yang mempengaruhi *geotextile* akibat tanah.

$$\begin{aligned}P_1 &= q \times k_a \times h = 1 \times 0.35 \times 2.5 = 0.87 \text{ t} \\ P_2 &= \frac{h^2 \times \gamma \times k_a}{2} = \frac{2.5^2 \times 1.97 \times 0.35}{2} = 2.15 \text{ t}\end{aligned}$$

Cari gaya proyeksi P_1 dan P_2 serta titik berat kedua gaya.

$$\begin{aligned}P_1 \sin(\delta x \emptyset) &= 0.87 \times \sin(0.8 \times 30) = 0.35 \text{ t} \\ P_2 \sin(\delta x \emptyset) &= 0.87 \text{ t} \\ P_1 \cos(\delta x \emptyset) &= 0.87 \times \cos(0.8 \times 30) = 0.8 \text{ t} \\ P_2 \cos(\delta x \emptyset) &= 1.96 \text{ t}\end{aligned}$$

$$y_1 = 2.5/2 = 1.25 \text{ m dan } y_2 = 2.5/3 = 0.83 \text{ m}$$

$$W = 81.54 \text{ t dan } x = 20.48 \text{ m}$$

- Kontrol guling

Tabel 5. 28 Tabel Perhitungan M_p dan M_d

M_p		
$P_1 \sin(\delta x \Phi) x X$	7.26	tm
$P_2 \sin(\delta x \Phi) x X$	17.88	tm
$W x X$	1669.66	tm
Total	1694.79	tm
M_d		
$P_1 \cos(\delta x \Phi) x y$	0.995	tm
$P_2 \cos(\delta x \Phi) x y$	1.63	tm
Total	2.63	tm

$M_p/M_d = 644 > 2$, maka aman terhadap guling.

- Kontrol geser

$$P_p = 82.77 \text{ t}$$

$$P_d = 2.76 \text{ t}$$

$$P_p/P_d = 30.02 > 1.5, \text{ aman terhadap geser.}$$

- Kontrol daya dukung

$$N_c = 5.14$$

$$N_q = 0$$

$$N_\gamma = 1$$

$$q_{ult} = c x N_c + q' x N_q + \frac{1}{2} \gamma x B x N_\gamma$$

$$q_{ult} = 0 x 5.14 + 9.7 x 2.5 x 0 + \frac{1}{2} x 9.7 x 23.38 x 1$$

$$= 367.35 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max} = 9.7 x 2.5 + 0 = 24.25 \text{ kN/m}^2$$

$q_{ult}/q_{max} = 15.14 > 3$, maka perkuatan aman pada kontrol daya dukung.

➤ Cerucuk

- Spesifikasi cerucuk
Cerucuk yang digunakan adalah micropile beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Diameter (D)	: 400 mm
Tebal (t)	: 75 mm
Luas (A)	: 765.8 cm ²
Inersia (I)	: 106488.95 cm ⁴
Berat (W)	: 191 kg/m
f'c	: 49 mpa kelas A2
M crack	: 5.5 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{49} = 32911.18 \text{ mpa}$$

Sama dengan 322529.5 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{322529.5 \times 106488.95}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 160.7 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ cerucuk}}$

Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $Lb/T = 1047/101.8 = 10.3$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai $FM = 1$

$$P_{\max 1 \text{ cerucuk}} = \frac{M_{\text{crack}}}{FM \times T} = \frac{5.5}{1 \times 1.607} = 3.42 \text{ ton/m}$$

Atau sama dengan 33.57 kN/m

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (Pt)

Terlebih dahulu dicari nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan)

$$\Delta M_p = (SF_{\text{rencana}} - SF_{\text{min}}) \times M_d$$

Atau sisa ΔM_p dari perhitungan *geotextile*

$$\Delta M_p = 16386.75 \text{ kNm}$$

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{16386.75}{31.9} = 513.68 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah cerucuk
Contoh perhitungan n berdasarkan perhitungan kekuatan hanya dengan cerucuk

$$n = \frac{P_t}{P_{max1cerucuk}} = \frac{513.68}{33.57} = 15.3 \approx 16 \text{ tiang/m}$$

- Jarak antar cerucuk

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{18.5}{16 + 2} = 1.02 \approx 1.5 \text{ m}$$

5.4.3.2. Tanggul 2

➤ *Riprap*

Diketahui:

$$D_{avg} = 7 \text{ m}$$

$$V_a = 6 \text{ m/s}$$

$$\Phi = 37$$

$$\theta = 27$$

$$S_s = 2.6$$

- Nilai K_1 pada persamaan

$$K_1 = \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}\right)^{0.5}$$

$$K_1 = \left(1 - \frac{\sin^2 27}{\sin^2 37}\right)^{0.5} = 0.975$$

- Mencari ukuran median *rip rap* (m) pada persamaan

$$D_{50} = \frac{0.00594 \times V_a^3}{d_{avg}^{\frac{1}{2}} \times K_1^{\frac{3}{2}}}$$

$$D_{50} = \frac{0.00594 \times 6^3}{7^{\frac{1}{2}} \times 0.975^{\frac{3}{2}}}$$

$$D_{50} = 0.5 \text{ m}$$

- Ketebalan riprap minimal yang dibutuhkan adalah $1.5 \times D_{50}$ (Brown dan Clyde, 1989), dimana 1.5×0.5 adalah $0.75 \approx 1 \text{ m}$.

Desain menggunakan kemiringan 1V:2H agar menjaga batu *riprap* tidak runtuh.

Bagian bawah riprap didesain sebagaimana terdapat pada Gambar 2.12. Filter yang akan digunakan adalah *geotextile non-woven* dengan pertimbangan seperti pada sub-bab 2.7.3.

Data tanah

Tanah urug

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³
Φ	: 30
K_a	: 0.35
h_{tanah}	: 3 m
c	: 0 t/m ²

Tanah 1

$\gamma_{\text{tanah 1}}$: 1.4 t/m ³
Φ	: 19.899
K_a	: 0.51
h_{tanah}	: 2 m
c	: 0 t/m ²

Tanah 2

$\gamma_{\text{tanah 2}}$: 1.64 t/m ³
Φ	: 0
K_a	: 1
h_{tanah}	: 4 m
c	: 1.22 t/m ²

Tanah 3

$\gamma_{\text{tanah 3}}$: 1.47 t/m ³
Φ	: 20.82
K_a	: 0.49
h_{tanah}	: 2.5 m
c	: 0 t/m ²

- Perhitungan tekanan tanah

Diasumsikan beban diatas tanggul sebesar 1 t/m². Kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mencari tegangan vertikal tanah dan tegangan horizontal tanah.

Tegangan vertikal

$$\sigma v_1 = q = 1 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_2 = \sigma v_1 + \gamma' h = 1 + 0.97 \times 3 = 3.91 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_3 = \sigma v_2 + \gamma' h = 3.91 + 0.4 \times 2 = 4.71 \text{ t/m}^2$$

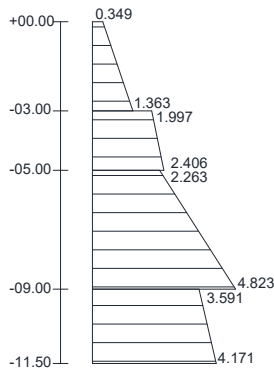
$$\sigma v_4 = \sigma v_3 + \gamma' h = 4.71 + 0.64 \times 4 = 7.27 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma v_5 = \sigma v_4 + \gamma' h = 7.27 + 0.47 \times 2.5 = 8.45 \text{ t/m}^2$$

Tegangan horizontal

Tabel 5. 29 Tabel Tegangan Horizontal Riprap Alternatif 3
Tanggul 2

Titik	k_a	σ_h (t/m ²)
0b (00.00)	0.349	0.349
1a (-03.00)	0.349	1.363
1b (-03.00)	0.511	1.997
2a (-05.00)	0.511	2.406
2b (-05.00)	1.000	2.263
3a (-09.00)	1.000	4.823
3b (-09.00)	0.49	3.591
4a (-11.50)	0.49	4.171



Gambar 5. 20 Diagram tegangan horizontal riprap Alternatif 3
Tanggul 2

Tekanan tanah

Tabel 5. 30 Tabel Tekanan Tanah Riprap

	P_{Δ}	P_{\square}
1	1.522	1.046
2	0.409	3.995
3	5.120	9.053
4	0.725	8.977

$$P_{a \text{ total}} = 1.522 + 1.046 + 0.409 + 3.995 + 5.12 + 9.053 \\ + 0.725 + 8.977 = 21.144 \text{ t}$$

- Momen dorong riprap

$$M_d = 1.522x \left(\frac{3}{3} + 8.5 \right) + 1.046x \left(\frac{3}{2} + 8.5 \right) \\ + 0.409x \left(\frac{2}{3} + 6.5 \right) + 3.995x \left(\frac{2}{2} + 6.5 \right) \\ + 5.12x \left(\frac{4}{3} + 2.5 \right) + 9.053x \left(\frac{4}{2} + 2.5 \right) \\ + 0.725x \left(\frac{2.5}{3} \right) + 8.977x \left(\frac{2.5}{2} \right) = 130 \text{ tm}$$

- Jarak vertikal tekanan tanah (d_a)

$$d_a = \frac{M_d}{P_{a \text{ total}}} = \frac{130}{21.144} = 6.148 \text{ m}$$

- Berat riprap

$$W_g = A_{\text{riprap}} \times \gamma_{\text{riprap}} \\ W_g = 49.28x 2.3 = 113.35 \text{ t}$$

- Berat tanah terbebani riprap

$$W_s = A_{\text{tanah}} \times \gamma_{\text{tanah}} \\ W_s = 11x0.97 + 19x 0.4 + 62x 0.64 + 60.44x0.47 \\ = 86.355 \text{ t}$$

- Berat total

$$W_{total} = W_g + W_s$$

$$W_{total} = 113.35 + 86.355 = 199.7 \text{ t}$$

- Jarak total horizontal (d_g)

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui titik berat riprap dengan perhitungan seperti pada Tabel 5.31.

Tabel 5. 31 Perhitungan Jarak Horizontal Riprap

Kode	A (m ²)	x (m)	Ax
1	18.08	5.61	101.3698
2	27.03	22.47	607.4439
3	4.17	36.04	150.4572
Total	49.28		859.2708

$$d_g = \frac{\Sigma Ax}{\Sigma A}$$

$$d_g = \frac{859.27}{49.28} = 17.436 \text{ m}$$

- Momen penahan

$$M_p = d_g \times W_{total}$$

$$M_p = 17.436 \times 199.7 = 3482 \text{ tm}$$

Perhitungan faktor keamanan untuk riprap menggunakan kontrol guling, geser dan daya dukung.

- Kontrol guling

Didapatkan $M_p = 3482 \text{ tm}$ dan $M_d = 130 \text{ tm}$. Maka, $M_p/M_d = 26.785 > 2$ sehingga riprap aman terhadap guling.

- Kontrol geser

$$\frac{\tan\phi \times W_g}{P_a} = \frac{\tan 30 \times 113.35}{21.144} = 2.04 > 1.5, \quad Ok$$

- Kontrol daya dukung

Riprap dapat dikatakan aman terhadap daya dukung apabila $q_{ult} > q_{max} \times SF$. Didesain pondasi dangkal batu belah di bawah riprap dan tanah dasar diganti dengan tanah urug dengan $B = 5 \text{ m}$, $D = 1 \text{ m}$ dan $D_f = 2.5 \text{ m}$ sebagai berikut.

$\gamma_{\text{tanah urug}}$: 1.97 t/m ³	N_c	: 30
Φ	: 30	N_q	: 18.1
K_a	: 0.492	N_γ	: 18.4
c	: 0 t/m ²		

$$q_{ult} = 0 \times 30 + 0.97 \times 2.5 \times 18.1 + 0.5 \times 0.97 \times 5 \times 18.4$$

$$= 88.513 \text{ t/m}^2$$

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{1}{12 \times B} = \frac{113.35}{5} + \frac{1}{12 \times 5} = 22.687 \text{ t/m}^2$$

Didapatkan nilai $q_{ult}/q_{max} = 88.513/22.687 = 3.9 > 3$, jadi setelah dipasang pondasi beton bertulang dan diganti tanah dasarnya dapat memenuhi stabilitas terhadap daya dukung. Perhitungan jumlah tulangan sama dengan Tanggul 1.

➤ *Geotextile*

Nilai SF, koordinat dan jari-jari kelongsoran, dan M_r setelah analisis menggunakan Geoslope pada Tanggul 2 didapatkan:

SF	: 0.908
R	: 43.02 m
x_o	: 155.63 m
y_o	: 28.66 m
M_r	: 87013.26 kNm
M_d	: $M_r/SF = 95882.38 \text{ kNm}$

- Mencari nilai T_{allow} seperti pada persamaan 2.17. Pada perencanaan ini menggunakan *geotextile* dengan Tensile Strength (T_{ult}) sebesar 200 kN/m untuk lebih lengkapnya dapat dilihat di brosur di Lampiran 4.

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

FS_{ID}	= 1.1
FS_{CR}	= 2
FS_{CD}	= 1

$$FS_{BD} = 1$$

$$T_{allow} = 200 \left(\frac{1}{1.1 \times 2 \times 1 \times 1} \right) = 90.909 \text{ kN/m}$$

- Sv *geotextile* dapat direncanakan menggunakan persamaan 2.19 atau juga dapat diasumsi dengan $sv = 25 \text{ cm}$
- Mencari panjang *geotextile* di belakang bidang longsor (L_e) seperti pada persamaan 2.19

$$L_e = \frac{T_{allow} (FS)}{(\tau_1 + \tau_2)x E}$$

Data tanah :

Tanah urug

$$\gamma_{\text{tanah urug}} : 19.7 \text{ kN/m}^3$$

$$\Phi : 30$$

$$K_a : 0.35$$

$$h_{\text{tanah}} : 3 \text{ m}$$

$$c : 0 \text{ kN/m}^2$$

Tanah 1

$$\gamma_{\text{tanah 1}} : 14 \text{ kN/m}^3$$

$$\Phi : 19.90$$

$$K_a : 0.51$$

$$c : 0 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{\text{geotex}} = T_{allow} \times T_i$$

$$T_i = y_o + y_z = 28.66 + 3 = 31.66 \text{ m}$$

$$M_{\text{geotex}} = 90.909 \times 31.66 = 2878.36 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_r = M_d \times SF_{\text{rencana}} - M_r = 56810.31 \text{ kNm}$$

$$\sigma_v = \gamma_{\text{tanah}} \times h_{\text{tanah}} = 19.7 \times 3 = 59.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_1 = 0 + 59.1 \times \tan 30 = 34.12 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_2 = 0 + 59.1 \times \tan 19.9 = 21.39 \text{ kN/m}^2$$

Apabila terdapat di tanah yang sama maka nilai τ_1 dan τ_2 bisa disamakan.

$$L_e = \frac{90.909 \times (1.5)}{(34.12 + 21.39) \times 0.8} = 3.07 \approx 3.1 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{3.1}{2} = 1.55 \text{ m}$$

Nilai L_r diambil dengan cara mengukur panjang geotextile dari koordinat kiri tanggul hingga ke ujung geotextile yang memotong garis kelongsoran paling kanan menggunakan bantuan *software* Autocad didapatkan nilai 32.3 m sehingga $L_{total} = 3.1 + 1.55 + 32.3 + 0.25 = 37.16$ m untuk geotextile yang terletak paling dasar pada tanggul. Perhitungan lengkap dapat dilihat pada Tabel pada Lampiran 3. Dikarenakan perkuatan akan dikombinasikan dengan cerucuk maka ΔM_r sisa akan digunakan untuk mencari jumlah cerucuk yang dibutuhkan.

Asumsi beban di atas tanah 1 t/m^2 digunakan untuk mencari nilai P. Hitung jumlah gaya yang mempengaruhi *geotextile* akibat tanah.

$$P_1 = q x k_a x h = 1 x 0.35 x 3 = 1.05 \text{ t}$$

$$P_2 = \frac{h^2 x \gamma x k_a}{2} = \frac{3^2 x 1.97 x 0.35}{2} = 3.09 \text{ t}$$

Cari gaya proyeksi P_1 dan P_2 serta titik berat kedua gaya.

$$P_1 \sin(\delta x \emptyset) = 1.05 x \sin(0.8 x 30) = 0.43 \text{ t}$$

$$P_2 \sin(\delta x \emptyset) = 1.26 \text{ t}$$

$$P_1 \cos(\delta x \emptyset) = 1.05 x \cos(0.8 x 30) = 0.96 \text{ t}$$

$$P_2 \cos(\delta x \emptyset) = 2.82 \text{ t}$$

$$y_1 = 3/2 = 1.5 \text{ m dan } y_2 = 3/3 = 1 \text{ m}$$

$$W = 93.721 \text{ t dan } x = 19.3 \text{ m}$$

- Kontrol guling

Tabel 5. 32 Tabel Perhitungan M_p dan M_d

M_p		
$P_1 \sin(\delta x \Phi) x X$	8.23	tm
$P_2 \sin(\delta x \Phi) x X$	24.31	tm
$W x X$	1812.6	tm
Total	1845.15	tm
M_d		
$P_1 \cos(\delta x \Phi) x y$	1.43	tm
$P_2 \cos(\delta x \Phi) x y$	2.82	tm
Total	4.26	tm

$M_p/M_d = 433.5 > 2$, maka aman terhadap guling.

- Kontrol geser

$$P_p = 95.4 \text{ t}$$

$$P_d = 3.78 \text{ t}$$

$$P_p/P_d = 25.35 > 1.5, \text{ aman terhadap geser.}$$

- Kontrol daya dukung

$$N_c = 14.72$$

$$N_q = 6.35$$

$$N_\gamma = 3.46$$

$$q_{ult} = c \times N_c + q' \times N_q + \frac{1}{2} \gamma \times B \times N_\gamma$$

$$q_{ult} = 0 \times 14.72 + 9.7 \times 3 \times 6.35 + \frac{1}{2} \times 9.7 \times 37.16 \times 3.46$$

$$= 623.07 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max} = 9.7 \times 3 + 0 = 29.1 \text{ kN/m}^2$$

$q_{ult}/q_{max} = 21.4 > 3$, maka perkuatan aman pada kontrol daya dukung.

➤ **Cerucuk**

- Spesifikasi cerucuk

Cerucuk yang digunakan adalah micropile beton produk Adhibeton yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Diameter (D) : 400 mm

Tebal (t) : 75 mm

Luas (A) : 765.8 cm²

Inersia (I) : 106488.95 cm⁴

Berat (W) : 191 kg/m

f'c : 49 mpa kelas A2

M crack : 5.5 tm

Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada brosur dalam Lampiran 4

- Perhitungan modulus elastisitas

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{49} = 32911.18 \text{ mpa}$$

Sama dengan 322529.5 kg/cm²

- Perhitungan faktor kekuatan relatif (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{322529.5 \times 106488.95}{0.32}\right)^{\frac{1}{5}} = 160.7 \text{ cm}$$

f diperoleh dari Gambar 2.14 sebesar $10 \times 0.032 = 0.32 \text{ kg/cm}^3$

- Perhitungan $P_{\max 1 \text{ cerucuk}}$

Nilai FM didapatkan dari grafik pada Gambar 2.15 dengan cara mendapatkan nilai $Lb/T = 1047/101.8 = 10.3$ dengan $Z = 0$ sehingga didapatkan nilai FM = 1

$$P_{\max 1 \text{ cerucuk}} = \frac{M_{\text{crack}}}{FM \times T} = \frac{5.5}{1 \times 1.607} = 3.42 \text{ ton/m}$$

Atau sama dengan 33.57 kN/m

- Perhitungan gaya yang dipikul 1 cerucuk (Pt)

Nilai ΔM_p (Momen Penahan Tambahan) sisa ΔM_p dari perhitungan *geotextile*

$$\Delta M_p = 23770.02 \text{ kNm}$$

$$P_t = \frac{\Delta M_p}{R} = \frac{23770.02}{43.02} = 552.53 \text{ kN}$$

- Perhitungan jumlah cerucuk

$$n = \frac{P_t}{P_{\max 1 \text{ cerucuk}}} = \frac{552.53}{33.57} = 16.46 \approx 17 \text{ tiang/m}$$

- Jarak antar cerucuk

$$S = \frac{\text{Panjang bidang longsor}}{n} = \frac{32.25}{17 + 2} = 1.6 \approx 2 \text{ m}$$

5.4.4. Alternatif 4

Alternatif 4 terdiri dari perkuatan riprap, *geotextile*, dan *sheetpile*.

5.4.4.1. Tanggul 1

➤ *Riprap*

Perhitungan sama dengan Alternatif 3 Tanggul 1

➤ *Geotextile*

Perhitungan sama dengan Alternatif 3 Tanggul 1

➤ **Sheetpile**

Perhitungan sama dengan Alternatif 2 Tanggul 1

5.4.4.2. Tanggul 2

➤ **Riprap**

Perhitungan sama dengan Alternatif 3 Tanggul 2

➤ **Geotextile**

Perhitungan sama dengan Alternatif 3 Tanggul 2

➤ **Sheetpile**

Perhitungan sama dengan Alternatif 2 Tanggul 2

5.5. Kesimpulan Perencanaan

Setelah dilakukan perencanaan alternatif perkuatan didapatkan hasil sebagai berikut.

5.5.1. Tanggul 1

Tabel 5. 33 Tabel Resume Alternatif Tanggul 1

Alternatif	Perkuatan	Jumlah	Satuan
1	Bronjong	36	m ³
	Kawat bronjong	36	m ³
	Geotextile	359.46	m
	Cerucuk (micropile)	16	Buah
2	Bronjong	36	m ³
	Kawat bronjong	36	m ³
	Geotextile	359.46	m
	Sheetpile	8	Buah
3	Riprap	49.28	m ³
	Filter riprap	39	m
	Geotextile	208.82	m
	Cerucuk (micropile)	16	Buah
4	Riprap	49.28	m ³
	Filter riprap	39	m

	Geotextile	208.82	m
	Sheetpile	8	Buah

5.5.2. Tanggul 2

Tabel 5. 34 Tabel Resume Alternatif Tanggul 2

Alternatif	Perkuatan	Jumlah	Satuan
1	Bronjong	36	m ³
	Kawat bronjong	36	m ³
	Geotextile	494.71	m
	Cerucuk (micropile)	17	Buah
2	Bronjong	36	m ³
	Kawat bronjong	36	m ³
	Geotextile	494.71	m
	Sheetpile	9	Buah
3	Riprap	49.28	m ³
	Filter riprap	39	m
	Geotextile	406.76	m
	Cerucuk (micropile)	17	Buah
4	Riprap	49.28	m ³
	Filter riprap	39	m
	Geotextile	406.76	m
	Sheetpile	9	Buah

5.6. Analisis Harga Barang

Dilakukan perhitungan harga barang total tiap alternatif sehingga dapat diketahui kombinasi perkuatan mana yang mempunyai harga total material paling murah.

➤ **Bronjong**

Bronjong terdiri dari batu pecah yang tiap m³ seharga Rp 185.000,- dan kawat bronjong per m³ seharga Rp 290.000,-

➤ **Riprap**

Kebutuhan perkuatan riprap menggunakan batu pecah dengan harga Rp 185.000,-/m³ dan filter Rp 12.000,-/m.

➤ **Geotextile**

Harga geotextile woven Rp 12.000,-/m

➤ **Cerucuk**

Cerucuk micropile mempunyai harga Rp 380.000,-/m dan sheetpile seharga Rp 790.500,-/m

Perhitungan total nilai didapatkan Alternatif 3 kombinasi yang paling murah dengan total nilai untuk Rp 103.291.530,90,- Tanggul 1 dan Rp 111.366.365,70,- untuk Tanggul 2. Perhitungan total dapat dilihat pada Lampiran 3.

5.7. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan yang akan digunakan berdasarkan pemilihan alternatif terpilih. Alternatif adalah yang terpilih, berikut ini adalah metode pelaksanaan pemasangan perkuatan Alternatif :

1. Survey lapangan
Mengetahui medan dan kondisi lapangan serta pemasangan patok di lokasi pekerjaan.
2. Pekerjaan dilakukan pada saat musim kemarau sehingga air sungai surut.
3. Pemasangan sheetpile
Mencegah air sungai masuk ke lokasi akibat rembesan air sungai.
4. Pekerjaan galian
5. Galian dilakukan menggunakan *excavator* hingga kedalaman yang telah ditentukan membentuk slope 1:2. Tanah yang digali dapat dipindahkan menggunakan truk untuk dijadikan tanggul timbunan.
6. Pemasangan cerucuk

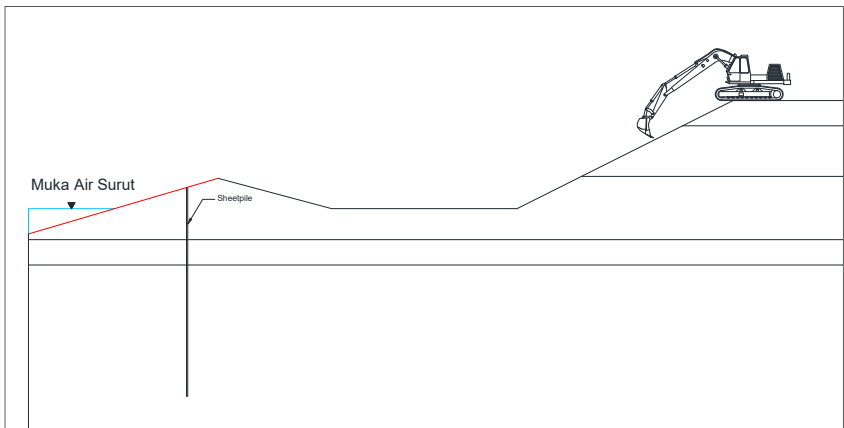
Pemasangan dilakukan dengan memukul tiang pancang hingga kedalaman yang telah ditentukan sebelumnya.

7. Pemasangan perkuatan lereng

Pemasangan riprap dilakukan dengan cara melimpahkan batu dari dasar galian yang telah diurug. Batu disusun dengan kemiringan 1:2. Pematatan dilakukan dengan cara memukul batu dengan pelat baja sehingga batu yang memiliki ukuran yang sangat besar menjadi pecah dan mengisi ruang-ruang yang sempit dan batu menjadi rapat.

8. Pemasangan *geotextile*

Pemasangan geotextile disertai pengurugan menggunakan tanah urug hingga ketinggian tertentu.



Gambar 5. 21 Pekerjaan galian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan Tugas Akhir ini maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Akibat fluktuasi muka air dan gempa pada Tanggul 1 dan pada Tanggul 2 menunjukkan adanya penurunan nilai SF dimana SF Tanggul 1 paling kritis tanpa gempa adalah 1.753 tanpa gempa dan 0.906 dengan gempa. Sedangkan pada Tanggul 2 menunjukkan angka 0.951 dan 0.908 dengan gempa.
2. Perencanaan bronjong dengan ukuran 2x1x1 m pada Tanggul 1 dan Tanggul 2 sama-sama membutuhkan 18 buah.
3. Perencanaan *riprap* pada Tanggul 1 membutuhkan batu dengan ukuran tengah batuan (D_{50}) sebesar 0.5 m dan ukuran 0.5 pada Tanggul 2, ketebalan bagian tubuh *riprap* masing-masing tanggul adalah 1 m dan bagian bawah dilapisi dengan geotextile sebagai filter.
4. Perencanaan geotextile pada Tanggul 1 membutuhkan 18 lapis dengan geotextile yang memiliki *tensile strength* 200 kN/m dan total panjang 427.84 m, sedangkan pada Tanggul 2 membutuhkan 20 lapis dengan geotextile yang memiliki *tensile strength* 200 kN/m dan total panjang 554.51 m.
5. Perencanaan cerucuk (*micropile*) dengan diameter 400 mm pada Tanggul 1 membutuhkan 30 buah dan 36 buah untuk Tanggul 2, sedangkan perkuatan *sheetpile* dengan tipe W-325 A membutuhkan 16 buah untuk Tanggul 1 dan 19 buah untuk Tanggul 2. Kedalaman cerucuk untuk Tanggul 1 adalah 20 m dan 20 m untuk Tanggul 2.
6. Perencanaan Alternatif 1 berupa kombinasi bronjong, geotextile dan cerucuk *micropile* membutuhkan 18 buah bronjong ukuran 2x1x1 m, 359.46 m geotextile *tensile strength* 200 kN/m dan 16 buah *micropile* dengan diameter 400 mm dan panjang 15 m untuk Tanggul 1, sedangkan Tanggul 2 membutuhkan 18 buah bronjong ukuran 2x1x1 m,

- 494.71 m geotextile dengan tensile strength 200kN/m dan 17 buah micropile diameter 400 mm panjang 15 m.
7. Perencanaan Alternatif 2 berupa kombinasi bronjong, geotextile dan cerucuk sheetpile membutuhkan 18 buah bronjong ukuran 2x1x1 m, 359.46 m geotextile tensile strength 200 kN/m dan 8 buah sheetpile Tipe W-325 A dengan panjang 15 m untuk Tanggul 1, sedangkan Tanggul 2 membutuhkan 18 buah bronjong ukuran 2x1x1 m, 494.71 m geotextile dengan tensile strength 200 kN/m dan 9 buah sheetpile Tipe W-325 A panjang 15 m.
 8. Perencanaan Alternatif 3 berupa kombinasi riprap, geotextile dan cerucuk micropile membutuhkan riprap dengan diameter median batu (D_{50}) 0.5 m ketebalan tubuh 1 m dilengkapi lapisan filter geotextile, 208.82 m geotextile tensile strength 200 kN/m dan 16 buah micropile dengan diameter 400 mm dan panjang 15 m untuk Tanggul 1, sedangkan Tanggul 2 membutuhkan riprap dengan diameter median batu (D_{50}) 0.5 m ketebalan tubuh 1 m dan lapisan filter geotextile, 406.76 m geotextile dengan tensile strength 200kN/m dan 17 buah micropile diameter 400 mm panjang 15 m.
 9. Perencanaan Alternatif 4 berupa kombinasi riprap, geotextile dan cerucuk micropile membutuhkan riprap dengan diameter median batu (D_{50}) 0.5 m ketebalan tubuh 1 m dan lapisan filter geotextile, 208.82 m geotextile tensile strength 200 kN/m dan 8 buah sheetpile Tipe W-325 A dan panjang 15 m untuk Tanggul 1, sedangkan Tanggul 2 membutuhkan riprap dengan diameter median batu (D_{50}) 0.5 m ketebalan tubuh 1 m dan lapisan filter geotextile, 406.76 m geotextile dengan tensile strength 200 kN/m dan 9 buah sheetpile Tipe W-325 A panjang 15 m.
 10. Alternatif terpilih adalah no 3 karena kombinasi yang paling murah dengan total nilai Rp 103.291.530,90,- untuk Tanggul 1 dan Alternatif no 3 dengan nilai Rp 111.366.365,70,- untuk Tanggul 2.

DAFTAR PUSTAKA

- A Lagasse, P.F, Clopper, P.E. 2006. **Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control.** Report 568 : National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board.
- Badan Standarisasi Nasional. 1987. **03-0090-1987 Mutu dan Cara Uji Bronjong dan Kawat Bronjong.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 1999. **SNI 03-6154-1999 tentang Kawat Bronjong.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. **SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik.** Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Bowles, J.1984. **Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Edisi Kedua.** Erlangga. Jakarta
- Brown, S.A. and Clyde, E.S. 1989. **Design of riprap revetment. Report FHWA-IP-89-016,** prepared by Sutron Corporation for U.S. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Das, Braja M., 1990. **Principles of Foundation Engineering, 7th ed.** Southern Illinois University of Carbondale, Boston, PWS-KENT Publishing Company.
- Modular Gabion System (MGS). **Gabion Wall Design.**
URL:<http://www.gabion.net>

- Mochtar, Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar (Penterjemah). 1995. **Mekanika Tanah Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Mochtar, Noor Endah.2013. **Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Naval Facilities.1971. **Design Manual:Foundation and Earth Structures (NAVFAC DM-7)**. Alexandria: US Department of Navy.
- Nugroho, A. J. 2007. **Pengaruh Fluktuasi Muka Air Terhadap Kondisi Tanggul di Bengawan Solo**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Pratito, M. J., Safitri, W., & Safitri, C. N. (2014). **Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembasahan terhadap Sifat Fisik, Mekanik dan Dinamik pada Tanah Tanggul Sungai Bengawan Solo Cross Section 0+500 Desa Semambung Bojonegoro yang Distabilisasi dengan Kapur, Fly Ash, dan Mikro Biobakteri**. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1*, 1-6.
- Stability Modelling with SLOPE/W. **An Engineering Methodology July 2012 Edition**. 1400, 633 – 6th Ave SW Calgary, Alberta, Canada, 2012.
- Turner-Fairbank Highway Research Center. 1983. **Design and Construction of Stone Column Vol. I**. Virginia: US Department of Transportation

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 (DATA)	164
LAMPIRAN 2 (TABEL TINGGI MUKA AIR TERHADAP SF)	167
LAMPIRAN 3 (TABEL PERHITUNGAN)	173
LAMPIRAN 4 (BROSUR)	181
LAMPIRAN 5 (PERENCANAAN).....	185

LAMPIRAN 1
(DATA)

Gambar 1 Data borlog untuk Tanggul 1165
Gambar 2 Data borlog untuk Tanggul 2166

LAMPIRAN 2
(TABEL TINGGI MUKA AIR TERHADAP SF)

Tanggul 1 Akibat Gempa	168
Tanggul 1 Tanpa Gempa	169
Tanggul 2 Akibat Gempa	170
Tanggul 2 Tanpa Gempa	171

Tanggul 1 Akibat Gempa

Tinggi 2 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.948	32.873	141.093	20.052	45,704.032
2	0.971	37.801	145.229	23.044	71,890.318
3	0.972	27.992	136.910	17.072	26,383.509
4	0.991	42.757	149.337	26.043	104,395.660
5	1.003	48.578	151.182	32.097	132,832.340

Tinggi 4 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.984	26.994	145.853	16.599	28,130.675
2	1.007	31.901	150.010	19.585	46,491.468
3	1.035	42.690	155.951	28.641	92,836.319
4	1.037	36.847	154.127	22.582	71,024.843
5	1.039	22.160	141.623	13.630	15,464.235

Tinggi 6 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.924	26.994	145.853	16.599	25,371.062
2	0.931	32.901	150.010	19.585	41,802.002
3	0.949	41.690	155.951	28.641	83,914.959
4	0.953	32.847	154.127	22.582	63,957.262
5	1.012	21.160	141.623	13.630	14,211.751

Tinggi 9 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.904	31.901	150.010	19.585	38,171.639
2	0.910	36.847	154.127	22.582	58,178.078
3	0.923	26.994	145.853	16.599	23,458.774
4	1.075	36.551	160.976	25.117	56,938.368
5	1.113	25.711	159.151	19.058	41,458.508

Tinggi 13 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.906	36.847	154.127	22.582	54,057.198
2	0.912	27.992	136.910	17.072	19,851.357
3	0.920	31.901	150.010	19.585	35,826.431
4	1.051	36.551	155.976	25.117	52,229.226
5	1.090	30.711	159.151	19.058	37,962.218

Tanggul 1 Tanpa Gempa

Tinggi 2 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	1.826	33.717	132.306	20.480	38,422.825
2	1.872	44.498	131.708	26.916	85,699.677
3	1.892	38.633	136.454	23.469	63,867.991
4	1.898	39.565	127.577	23.923	55,502.776
5	1.918	27.992	136.910	17.072	26,735.231

Tinggi 4 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	1.753	27.992	136.910	17.072	22,971.217
2	1.789	33.717	132.306	20.480	33,596.078
3	1.838	38.633	136.454	23.469	56,646.030
4	1.854	32.873	141.093	20.052	40,574.834
5	1.916	44.498	131.708	26.916	77,659.114

Tinggi 6 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	1.960	27.992	136.910	17.072	21,240.860
2	2.003	32.873	141.093	20.052	37,170.180
3	2.026	38.633	136.454	23.469	52,588.305
4	2.028	33.717	132.306	20.480	31,427.086

5	2.120	22.160	141.623	13.630	14,305.634
---	-------	--------	---------	--------	------------

Tinggi 9 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	2.364	32.873	141.093	20.052	34,662.208
2	2.386	38.633	136.454	23.469	49,549.421
3	2.403	27.992	136.910	17.072	20,272.455
4	2.450	33.717	132.306	20.480	30,159.948
5	2.508	44.498	131.708	26.916	69,319.086

Tinggi 13 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	2.925	38.633	136.454	23.469	47,906.925
2	2.930	33.717	132.306	20.480	29,893.014
3	2.972	27.992	136.910	17.072	20,092.618
4	2.986	32.873	141.093	20.052	33,323.212
5	3.019	44.498	131.708	26.916	67,322.770

Tanggul 2 Akibat Gempa

Tinggi 2 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.908	43.020	155.632	28.662	87,013.259
2	1.064	34.794	149.550	21.026	61,968.267
3	1.066	29.928	145.370	18.054	33,862.249
4	1.096	28.511	154.625	17.320	36,246.037
5	1.205	33.396	158.786	20.298	65,478.138

Tinggi 4 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.929	26.517	148.126	16.040	21,518.687
2	1.013	24.014	158.247	14.650	20,710.946
3	1.192	28.865	162.442	17.619	42,324.408
4	1.245	39.651	148.349	26.667	92,829.878

5	1.300	33.774	156.578	20.602	72,021.784
---	-------	--------	---------	--------	------------

Tinggi 6 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	1.053	28.865	162.442	17.619	38,500.899
2	1.113	39.651	158.349	26.667	85,234.786
3	1.115	25.107	165.575	15.542	25,272.084
4	1.158	33.774	156.578	20.602	65,953.821
5	1.200	35.885	161.490	24.588	63,491.792

Tinggi 9 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.928	25.107	165.575	15.542	22,136.793
2	0.935	40.941	157.309	27.431	81,165.973
3	0.970	35.073	155.529	21.369	63,173.650
4	1.004	35.885	160.490	24.588	55,793.566
5	1.070	30.036	159.692	18.530	42,231.943

Tinggi 13 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.916	35.073	155.529	21.369	55,714.061
2	0.919	25.830	168.272	16.307	21,274.999
3	0.920	34.506	160.988	21.034	53,358.657
4	0.947	31.437	163.525	19.307	41,185.977
5	0.952	30.036	164.692	18.530	35,892.568

Tanggul 2 Tanpa Gempa

Tinggi 2 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.961	52.272	151.580	31.431	63,083.383
2	0.968	58.082	153.418	37.479	76,226.999
3	1.052	47.328	147.479	28.439	54,111.153
4	1.198	42.405	143.356	25.452	44,391.967

5	1.231	46.171	156.546	27.888	56,553.891
---	-------	--------	---------	--------	------------

Tinggi 4 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.964	47.328	147.479	28.439	49,581.418
2	1.080	42.405	143.356	25.452	40,031.707
3	1.134	46.171	156.546	27.888	52,159.709
4	1.145	51.990	158.375	33.937	64,500.890
5	1.245	41.230	152.442	24.896	44,244.874

Tinggi 6 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.951	47.328	147.479	28.439	46,254.817
2	1.037	46.171	156.546	27.888	47,010.924
3	1.049	51.990	158.375	33.937	58,270.520
4	1.057	42.405	143.356	25.452	36,639.642
5	1.120	41.230	152.442	24.896	39,124.782

Tinggi 9 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	0.999	64.087	148.413	40.800	72,216.776
2	1.023	58.246	146.607	34.744	60,572.337
3	1.107	53.319	142.488	31.756	51,043.220
4	1.205	55.081	155.860	35.734	57,659.614
5	1.238	49.267	154.027	29.685	47,162.851

Tinggi 13 m

No	SF	Radius (m)	xo (m)	yo (m)	Mr (kNm)
1	1.321	64.087	148.413	40.800	67,374.033
2	1.361	58.246	146.607	34.744	56,708.696
3	1.416	53.319	142.488	31.756	47,241.879
4	1.499	216.302	108.913	208.643	2,025.803
5	1.530	52.171	154.375	50.921	64.529

LAMPIRAN 3
(TABEL PERHITUNGAN)

Tabel 1 Perhitungan Panjang Geotextile Tanpa Kombinasi Tanggul 1.....	175
Tabel 2 Perhitungan Panjang Geotextile Tanpa Kombinasi Tanggul 2.....	175
Tabel 3 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 1 Alternatif 1 dan 2.....	176
Tabel 4 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 2 Alternatif 1 dan 2.....	177
Tabel 5 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 1 Alternatif 3 dan 4.....	177
Tabel 6 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 2 Alternatif 3 dan 4.....	178
Tabel 7 Rekap harga material Tanggul 1.....	179
Tabel 8 Rekap harga material Tanggul 2.....	179

Halaman ini sengaja dikosongkan

Tabel 1 Perhitungan Panjang Geotextile Tanpa Kombinasi Tanggul 1

n	H_i (m)	T_i (m)	τ₁ (kN/m²)	τ₂ (kN/m²)	M_{geotex} (kNm)	ΣM_{geotex} (kNm)	L_e (m)	L_e pakai (m)	L_o (m)	L_r (m)	S_v (m)	L_{tot} (m)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	4.5	24.09	51.18	26.67	2189.56	2189.56	2.19	2.2	1.1	23.1	0.25	26.66
2	4.25	23.84	51.18	51.18	2166.84	4356.40	1.67	1.7	0.85	22.9	0.25	25.68
3	4.00	23.59	51.18	51.18	2144.11	6500.51	1.67	1.7	0.85	22.6	0.25	25.44
4	3.75	23.34	51.18	51.18	2121.38	8621.89	1.67	1.7	0.85	22.4	0.25	25.20
5	3.50	23.09	51.18	51.18	2098.65	10720.54	1.67	1.7	0.85	22.2	0.25	24.95
6	3.25	22.84	51.18	51.18	2075.93	12796.47	1.67	1.7	0.85	21.9	0.25	24.70
7	3.00	22.59	51.18	51.18	2053.20	14849.67	1.67	1.7	0.85	21.6	0.25	24.45
8	2.75	22.34	51.18	51.18	2030.47	16880.14	1.67	1.7	0.85	21.4	0.25	24.19
9	2.50	22.09	51.18	51.18	2007.75	18887.89	1.67	1.7	0.85	21.1	0.25	23.92
10	2.25	21.84	51.18	51.18	1985.02	20872.91	1.67	1.7	0.85	20.8	0.25	23.65
11	2.00	21.59	51.18	51.18	1962.29	22835.20	1.67	1.7	0.85	20.6	0.25	23.38
12	1.75	21.34	51.18	51.18	1939.56	24774.76	1.67	1.7	0.85	20.3	0.25	23.10
13	1.50	21.09	51.18	51.18	1916.84	26691.60	1.67	1.7	0.85	20.0	0.25	22.82
14	1.25	20.84	51.18	51.18	1894.11	28585.71	1.67	1.7	0.85	19.7	0.25	22.53
15	1.00	20.59	51.18	51.18	1871.38	30457.09	1.67	1.7	0.85	19.4	0.25	22.24
16	0.75	20.34	51.18	51.18	1848.65	32305.74	1.67	1.7	0.85	19.1	0.25	21.95
17	0.50	20.09	51.18	51.18	1825.93	34131.67	1.67	1.7	0.85	18.8	0.25	21.65
18	0.25	19.84	51.18	51.18	1803.20	35934.87	1.67	1.7	0.85	18.5	0.25	21.35
											Total	427.84

Tabel 2 Perhitungan Panjang Geotextile Tanpa Kombinasi Tanggul 2

n	H_i (m)	T_i (m)	τ₁ (kN/m²)	τ₂ (kN/m²)	M_{geotex} (kNm)	ΣM_{geotex} (kNm)	L_e (m)	L_e pakai (m)	L_o (m)	L_r (m)	S_v (m)	L_{tot} (m)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	5	33.66	56.87	12.23	3060.18	3060.18	2.47	2.5	1.25	27.2	0.25	31.20
2	4.75	33.41	56.87	56.87	3037.45	6097.62	1.50	1.5	0.75	27.0	0.25	29.51
3	4.50	33.16	56.87	56.87	3014.72	9112.34	1.50	1.5	0.75	26.8	0.25	29.31
4	4.25	32.91	56.87	56.87	2991.99	12104.34	1.50	1.5	0.75	26.6	0.25	29.11

5	4.00	32.66	56.87	56.87	2969.27	15073.61	1.50	1.5	0.75	26.4	0.25	28.91
6	3.75	32.41	56.87	56.87	2946.54	18020.14	1.50	1.5	0.75	26.2	0.25	28.70
7	3.50	32.16	56.87	56.87	2923.81	20943.96	1.50	1.5	0.75	26.0	0.25	28.48
8	3.25	31.91	56.87	56.87	2901.08	23845.04	1.50	1.5	0.75	25.8	0.25	28.26
9	3.00	31.66	56.87	56.87	2878.36	26723.40	1.50	1.5	0.75	25.5	0.25	28.03
10	2.75	31.41	56.87	56.87	2855.63	29579.03	1.50	1.5	0.75	25.3	0.25	27.80
11	2.50	31.16	56.87	56.87	2832.90	32411.93	1.50	1.5	0.75	25.1	0.25	27.57
12	2.25	30.91	56.87	56.87	2810.18	35222.11	1.50	1.5	0.75	24.8	0.25	27.33
13	2.00	30.66	56.87	56.87	2787.45	38009.55	1.50	1.5	0.75	24.6	0.25	27.08
14	1.75	30.41	56.87	56.87	2764.72	40774.28	1.50	1.5	0.75	24.3	0.25	26.84
15	1.50	30.16	56.87	56.87	2741.99	43516.27	1.50	1.5	0.75	24.1	0.25	26.58
16	1.25	29.91	56.87	56.87	2719.27	46235.54	1.50	1.5	0.75	23.8	0.25	26.33
17	1.00	29.66	56.87	56.87	2696.54	48932.08	1.50	1.5	0.75	23.6	0.25	26.07
18	0.75	29.41	56.87	56.87	2673.81	51605.89	1.50	1.5	0.75	23.6	0.25	26.07
19	0.50	29.16	56.87	56.87	2651.08	54256.97	1.50	1.5	0.75	23.3	0.25	25.80
20	0.25	28.91	56.87	56.87	2628.36	56885.33	1.50	1.5	0.75	23.0	0.25	25.54
											Total	554.51

Tabel 3 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 1 Alternatif 1 dan 2

n	H _i (m)	T _i (m)	τ_1 (kN/m ²)	τ_2 (kN/m ²)	M _{geotex} (kNm)	ΣM_{geotex} (kNm)	L _e (m)	L _{e pakai} (m)	L _o (m)	L _r (m)	S _v (m)	L _{tot} (m)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	2.5	22.09	28.43	26.67	2007.75	2007.75	3.09	3.1	1.55	32.6	0.25	37.49
2	2.25	21.84	28.43	28.43	1985.02	3992.76	3.00	3	1.5	32.8	0.25	37.57
3	2.00	21.59	28.43	28.43	1962.29	5955.05	3.00	3	1.5	31.0	0.25	35.80
4	1.75	21.34	28.43	28.43	1939.56	7894.62	3.00	3	1.5	31.3	0.25	36.02
5	1.50	21.09	28.43	28.43	1916.84	9811.45	3.00	3	1.5	31.5	0.25	36.24
6	1.25	20.84	28.43	28.43	1894.11	11705.56	3.00	3	1.5	31.7	0.25	36.45
7	1.00	20.59	28.43	28.43	1871.38	13576.94	3.00	3	1.5	29.9	0.25	34.66
8	0.75	20.34	28.43	28.43	1848.65	15425.60	3.00	3	1.5	30.1	0.25	34.87
9	0.50	20.09	28.43	28.43	1825.93	17251.53	3.00	3	1.5	30.3	0.25	35.07

10	0.25	19.84	28.43	28.43	1803.20	19054.73	3.00	3	1.5	30.5	0.25	35.27
											Total	359.46

Tabel 4 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 2 Alternatif 1 dan 2

n	H _i (m)	T _i (m)	τ_1 (kN/m ²)	τ_2 (kN/m ²)	M _{geotex} (kNm)	ΣM_{geotex} (kNm)	L _e (m)	L _{e pakai} (m)	L _o (m)	L _r (m)	S _v (m)	L _{tot} (m)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	3	31.66	34.12	21.39	2878.36	2878.36	3.07	3.1	1.55	37.9	0.25	42.82
2	2.75	31.41	34.12	34.12	2855.63	5733.99	2.50	2.5	1.25	38.2	0.25	42.19
3	2.50	31.16	34.12	34.12	2832.90	8566.89	2.50	2.5	1.25	38.4	0.25	42.39
4	2.25	30.91	34.12	34.12	2810.18	11377.07	2.50	2.5	1.25	38.6	0.25	42.62
5	2.00	30.66	34.12	34.12	2787.45	14164.51	2.50	2.5	1.25	36.8	0.25	40.84
6	1.75	30.41	34.12	34.12	2764.72	16929.24	2.50	2.5	1.25	37.1	0.25	41.06
7	1.50	30.16	34.12	34.12	2741.99	19671.23	2.50	2.5	1.25	37.3	0.25	41.28
8	1.25	29.91	34.12	34.12	2719.27	22390.50	2.50	2.5	1.25	37.5	0.25	41.49
9	1.00	29.66	34.12	34.12	2696.54	25087.03	2.50	2.5	1.25	35.7	0.25	39.70
10	0.75	29.41	34.12	34.12	2673.81	27760.85	2.50	2.5	1.25	35.9	0.25	39.91
11	0.50	29.16	34.12	34.12	2651.08	30411.93	2.50	2.5	1.25	36.1	0.25	40.11
12	0.25	28.91	34.12	34.12	2628.36	33040.29	2.50	2.5	1.25	36.3	0.25	40.31
											Total	494.71

Tabel 5 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 1 Alternatif 3 dan 4

n	H _i (m)	T _i (m)	τ_1 (kN/m ²)	τ_2 (kN/m ²)	M _{geotex} (kNm)	ΣM_{geotex} (kNm)	L _e (m)	L _{e pakai} (m)	L _o (m)	L _r (m)	S _v (m)	L _{tot} (m)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	2.5	22.09	28.43	26.67	2007.75	2007.75	3.09	3.1	1.55	18.5	0.25	23.38
2	2.25	21.84	28.43	28.43	1985.02	3992.76	3.00	3	1.5	18.2	0.25	22.96
3	2.00	21.59	28.43	28.43	1962.29	5955.05	3.00	3	1.5	17.9	0.25	22.69
4	1.75	21.34	28.43	28.43	1939.56	7894.62	3.00	3	1.5	17.7	0.25	22.41
5	1.50	21.09	28.43	28.43	1916.84	9811.45	3.00	3	1.5	17.4	0.25	22.13
6	1.25	20.84	28.43	28.43	1894.11	11705.56	3.00	3	1.5	17.1	0.25	21.84
7	1.00	20.59	28.43	28.43	1871.38	13576.94	3.00	3	1.5	13.3	0.25	18.05

8	0.75	20.34	28.43	28.43	1848.65	15425.60	3.00	3	1.5	13.5	0.25	18.26
9	0.50	20.09	28.43	28.43	1825.93	17251.53	3.00	3	1.5	13.7	0.25	18.46
10	0.25	19.84	28.43	28.43	1803.20	19054.73	3.00	3	1.5	13.9	0.25	18.66
											Total	208.82

Tabel 6 Perhitungan Panjang Geotextile Kombinasi Tanggul 2 Alternatif 3 dan 4

n	H_i (m)	T_i (m)	τ_1 (kN/m²)	τ_2 (kN/m²)	M_{geotex} (kNm)	ΣM_{geotex} (kNm)	L_e (m)	L_e pakai (m)	L_o (m)	L_r (m)	S_v (m)	L_{tot} (m)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	3	31.66	34.12	21.39	2878.36	2878.36	3.07	3.1	1.55	32.3	0.25	37.16
2	2.75	31.41	34.12	34.12	2855.63	5733.99	2.50	2.5	1.25	32.0	0.25	35.99
3	2.50	31.16	34.12	34.12	2832.90	8566.89	2.50	2.5	1.25	31.7	0.25	35.73
4	2.25	30.91	34.12	34.12	2810.18	11377.07	2.50	2.5	1.25	31.5	0.25	35.46
5	2.00	30.66	34.12	34.12	2787.45	14164.51	2.50	2.5	1.25	31.2	0.25	35.18
6	1.75	30.41	34.12	34.12	2764.72	16929.24	2.50	2.5	1.25	30.9	0.25	34.90
7	1.50	30.16	34.12	34.12	2741.99	19671.23	2.50	2.5	1.25	30.6	0.25	34.62
8	1.25	29.91	34.12	34.12	2719.27	22390.50	2.50	2.5	1.25	30.3	0.25	34.33
9	1.00	29.66	34.12	34.12	2696.54	25087.03	2.50	2.5	1.25	26.5	0.25	30.54
10	0.75	29.41	34.12	34.12	2673.81	27760.85	2.50	2.5	1.25	26.7	0.25	30.75
11	0.50	29.16	34.12	34.12	2651.08	30411.93	2.50	2.5	1.25	26.9	0.25	30.95
12	0.25	28.91	34.12	34.12	2628.36	33040.29	2.50	2.5	1.25	27.1	0.25	31.15
											Total	406.76

Tabel 7 Rekap harga material Tanggul 1

Alternatif	Perkuatan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)		Total (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Bronjong	36	m3	185,000.00	/m3	6,660,000.00	112,613,474.40
	Kawat bronjong	36	m3	290,000.00	/m3	10,440,000.00	
	Geotextile	359.46	m	12,000.00	/m	4,313,474.40	
	Cerucuk (micropile)	240	m	380,000.00	/m	91,200,000.00	
2	Bronjong	36	m3	185,000.00	/m3	6,660,000.00	116,273,474.40
	Kawat bronjong	36	m3	290,000.00	/m3	10,440,000.00	
	Geotextile	359.46	m	12,000.00	/m	4,313,474.40	
	Sheetpile	120	m	790,500.00	/m	94,860,000.00	
3	Riprap	49.28	m3	185,000.00	/m3	9,117,262.50	103,291,530.90
	Filter riprap	39	m	12,000.00	/m	468,487.20	
	Geotextile	208.82	m	12,000.00	/m	2,505,781.20	
	Cerucuk (micropile)	240	m	380,000.00	/m	91,200,000.00	
4	Riprap	49.28	m3	185,000.00	/m3	9,117,262.50	106,951,530.90
	Filter riprap	39	m	12,000.00	/m	468,487.20	
	Geotextile	208.82	m	12,000.00	/m	2,505,781.20	
	Sheetpile	120	m	790,500.00	/m	94,860,000.00	

Tabel 8 Rekap harga material Tanggul 2

Alternatif	Perkuatan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)		Total (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Bronjong	36	m3	185,000.00	/m3	6,660,000.00	119,936,517.60
	Kawat bronjong	36	m3	290,000.00	/m3	10,440,000.00	
	Geotextile	494.71	m	12,000.00	/m	5,936,517.60	
	Cerucuk (micropile)	255	m	380,000.00	/m	96,900,000.00	
2	Bronjong	36	m3	185,000.00	/m3	6,660,000.00	129,754,017.60
	Kawat bronjong	36	m3	290,000.00	/m3	10,440,000.00	
	Geotextile	494.71	m	12,000.00	/m	5,936,517.60	
	Sheetpile	135.00	m	790,500.00	/m	106,717,500.00	
3	Riprap	49.28	m3	185,000.00	/m3	9,117,262.50	

	Filter riprap	39	m	12,000.00	/m	468,000.00	
	Geotextile	406.76	m	12,000.00	/m	4,881,103.20	
	Cerucuk (micropile)	255.00	m	380,000.00	/m	96,900,000.00	111,366,365.70
4	Riprap	49.28	m ³	185,000.00	/m ³	9,117,262.50	
	Filter riprap	39	m	12,000.00	/m	468,000.00	
	Geotextile	406.76	m	12,000.00	/m	4,881,103.20	
	Sheetpile	135	m	790,500.00	/m	106,717,500.00	121,183,865.70

LAMPIRAN 4
(BROSUR)

MIRAFI® PET

Mirafi® PET Geotextiles have been engineered for long term reinforced soil applications. They are manufactured using high tenacity polyester filaments for high tensile strength at low working extensions with minimal creep over the entire design life up to 120 years. The inclusion of Mirafi® PET Geotextiles in soil improves the shear resistance of soil thereby improving its structural capability. Mirafi® PET Geotextiles are used as integral components in reinforced soil structures such as embankments, slopes, and walls. The primary function is reinforcement, with separation as a secondary function in many instances. The tensile strength range from 100 kN/m to 1000 kN/m.

Geotekstil Mirafi® PET dirancang untuk aplikasi perkuatan jangka panjang. Produk ini dibuat dari serat polyester berkekuatan tinggi untuk bekerja pada kuat tarik tinggi dengan tingkat kemuluran rendah dan perilaku rangkai yang minimal untuk umur perancangan sampai 120 tahun. Penggunaan Mirafi® PET di dalam tanah akan meningkatkan kekuatan tanah sehingga meningkatkan kemampuan strukturnya. Geotekstil Mirafi® PET diaplikasikan sebagai komponen terintegrasi dalam struktur perkuatan tanah seperti timbunan, lereng, dan dinding. Fungsi utama dari material ini sebagai perkuat, dengan fungsi separasi sebagai fungsi sekunder. Rentang kuat tarik material ini dari 100 kN/m sampai 1000 kN/m.



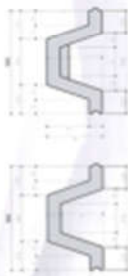
Product Types:

- Mirafi® PET 100
- Mirafi® PET 200
- Mirafi® PET 300
- Mirafi® PET 400
- Mirafi® PET 600
- Mirafi® PET 800
- Mirafi® PET 1000

Applications:

- Road Constructions / Konstruksi Jalan
- Basal Reinforcements / Perkuatan Dasar Timbunan
- Slope and Wall Reinforcements / Perkuatan Lereng dan Dinding Penahan
- Piled Embankments / Timbunan di Atas Tiang
- Embankment Over Voids / Timbunan di Atas Rongga
- Railway and Airfield Constructions / Konstruksi Jalan Rel dan Bandar Udara

Item	Reference	Description	Specification
Aggregate	ASTM C33 - 1999 M 2 PB - 1971	Standard Specification for Concrete Aggregates Institution Concrete Code	Standard Product Type 1 Special Order Type 2 (see 6)
Cement	94 19-2049-2004	Portland Cement	Type 1, Wet Mix Reducing Admixture Compressive strength at 28 days: 700 kgf/cm ² (Inches)
Admixture	ASTM C884 - 1985	Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete	
Concrete	94-03-240-2002 S-G 3335 - 1999	Minimum Concrete Code Uncoated Steel Reinforced Steel Wire and Strand for Prestressed Concrete	60 MPa
PC Bar	S-G 3117 - 1994	Small Size Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	SP-01, SPS-1420
Special Wire	S-G 3132 - 2000	Low Carbon Steel Wire	SEMAU / 30AMP
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 1993	Structural Welding Code - Steel	AWS A 5.1 / E (60F) NONREDUCED R9 28 / RD 28 (ELLON 26 - or equivalent)
Quality Management System	ISO 9001:2008	Quality Management Standard	
Health & Safety	OHSA 18001:2007	Health & Safety Management Standard	
Environment	ISO 14001:2004	Environment Management Standard	



Corrugated Sheet Pile Specification Adhabeton

No	Type	Class	Section (Dimension) [mm]	Concrete Weight (kg/m)	Concrete Area (cm ²)	Length (m)	Cracking Moment (kgm ²)	PC Strand
1	W-320	A	320 x 90 x (30)	133	8.13	11.40	13.7	18
2	W-360	B	360 x 90 x (30)	147	9.15	13.81	12.7	12
3	W-400	A	400 x 90 x (30)	161	9.75	15.7	13.7	12
4	W-400	B	400 x 90 x (30)	168	10.13	16.48	13.7	12
5	W-400	A	400 x 90 x (30)	168	10.13	16.42	13.7	18
6	W-400	B	400 x 90 x (30)	174	11.17	17.06	13.7	18
7	W-400	A	400 x 90 x (30)	184	12.12	18.12	13.7	18
8	W-400	B	400 x 90 x (30)	188	12.19	18.11	13.7	18
9	W-400	A	400 x 90 x (30)	207	13.0	20.11	13.7	18
10	W-400	B	400 x 90 x (30)	207	13.0	20.11	13.7	18

DIMENSION

TOP VIEW SECTION (mm)		FRONT VIEW SECTION (mm)		REAR VIEW SECTION (mm)	
W-320 A	320	90	30	410	90
W-360 A	360	90	30	410	90
W-400 A	400	90	30	410	90
W-400 B	400	90	30	410	90
W-400 A	400	90	30	410	90
W-400 B	400	90	30	410	90
W-400 A	400	90	30	410	90
W-400 B	400	90	30	410	90

Cross Section Characteristic

TYPE	Height		Cross Section		Concrete Area		Moment of Inertia		Section Modulus
	mm	inch	mm	inch	mm ²	inch ²	mm ⁴	inch ⁴	
W-320 - 3300	A	320	12.6	4.9	133	8.13	18432	8267	2062
W-360 - 3300	B	360	14.2	5.6	147	9.15	19432	8267	2062
W-400 - 3300	A	400	15.7	6.2	161	9.75	21432	8267	2062
W-400 - 3300	B	400	15.7	6.2	168	10.13	21432	8267	2062
W-400 - 3300	A	400	15.7	6.2	184	12.12	23432	8267	2062
W-400 - 3300	B	400	15.7	6.2	188	12.19	23432	8267	2062
W-400 - 3300	A	400	15.7	6.2	207	13.0	25432	8267	2062
W-400 - 3300	B	400	15.7	6.2	207	13.0	25432	8267	2062

PC SPUN PILE

PRECAST CONCRETE SPUN PILE

Description

- Type of Pile : Precast Concrete Spun Pile
- System of Splicing : Welded at Steel Joint Pile
- Type of Shore : Percol (Standard Product)
- Hammer : Diesel or Hydraulic Hammer
- Concrete Grade : K600
- Standard Operational Procedure : R.124 (EN 001 (Production Procedure))
- Reference of Code : R.124-B-PC-002 (Spun Pile Production Procedure)

Standard Product / Type 1
 Standard Product / Type 2 or 3
 Type 1 : water Reducing
 Admixture for Concrete
 Increase concrete strength at 28 Days
 Unseasoned Marine Reinforced Steel Wire and Thread for Prestressed Concrete
 PC Bar
 Low Carbon Steel Wire
 Reinforced Steel for Concrete Structure
 ARA 1.5 / 1.6 6003 4880/20255
 R8 20 / R10 28L/2028 28 - 16
 element
 Quality Management Standard
 Health & Safety Management Standard
 Environmental Management Standard

Item	Reference	Specification	Specification
Aggregate	ASTM C33 - 1996 M 2 (B) - 1975	Standard Specification for Concrete Aggregates Indonesian Concrete Code	
Concrete	SP 8 (1994-2004)	Prepacked Concrete	Standard Product / Type 1
Admixture	ADVA Code - 1985	Standard Spun Pile for Chemical Admixture for Concrete	Standard Product / Type 2 or 3
Concrete	SP 20 (1941-2001)	Indonesian Concrete Code	
PC Wire / PC Strand	IS 5 2036 - 1999	Unseasoned Marine Reinforced Steel Wire and Thread for Prestressed Concrete	
PC Bar	IS 5 2037 - 1994	Low Carbon Steel Wire	
Spun Wire	IS 5 2032 - 2006	Reinforced Steel for Concrete Structure	SA-495
Joint Pipe	IS 5 2031 - 2004	Reinforced Steel for Concrete Structure	ARA 1.5 / 1.6 6003 4880/20255 R8 20 / R10 28L/2028 28 - 16 element
Welding	ASME / AWS D14 - 1990	Structural Welding Code - Steel	
Quality Management System	ISO 9001:2008	Quality Management Standard	
Health & Safety	OHAS 18001:2007	Health & Safety Management Standard	
Environment	ISO 14001:2004	Environmental Management Standard	

Reference Table for Pile Driving Selection

Spun Pile Specification	# 200	# 400	# 600	# 800	# 1000
Type of Drive Hammer	D275 - 2040	D240 - 2013	D213 - 2003	D200 - 2003	D200 - 2003
Max. Weight (kg)	25 - 30				
Maximum Weight (ton)	25 - 40	4.0 - 5.3	6.3 - 7.3	7.3 - 8.3	8.3 - 11.3
Hammer Energy (kg-m/kip-ft)	38 - 107	50 - 58	58 - 96	90 - 200	248 - 350
Capacity Driving Penetration (cm/ft)	20 - 40	20 - 40	20 - 30	30 - 40	30 - 40

PT ADAM PERSADA BETON

Head Office : B. Topi Pura Ringas KS - 4231 794-0151 Fax - 4231 794-0227 Email: adam.persada@adambeton.com



adhibeton

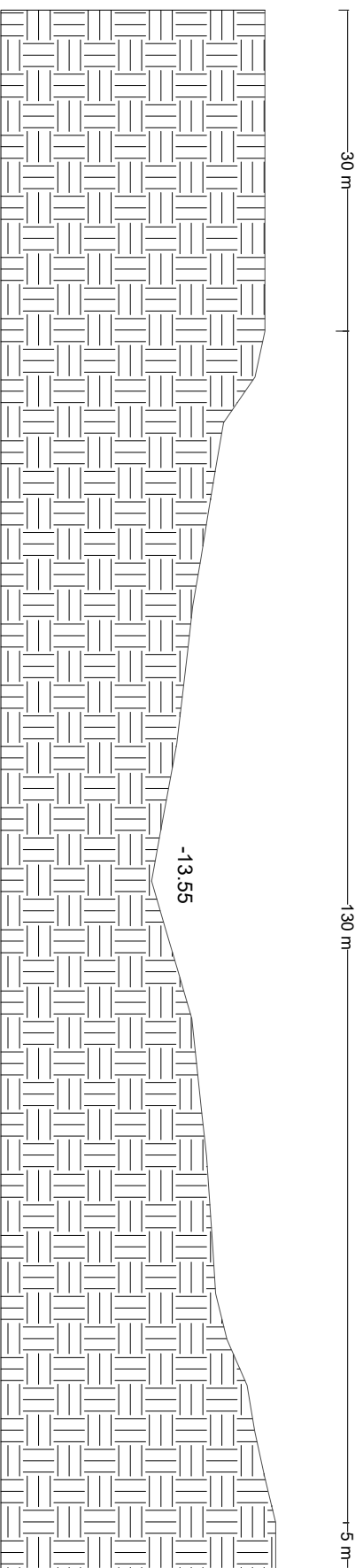
Spun Pile Specification Adhibeton

Product Manufacturer	Steel Reinforcement	Concrete Strength (MPa)	Joint Length (mm)	Length (mm)	Stack Height (mm)	Stack Spacing (mm)	Stack Thickness (mm)	Stack Width (mm)	Effective Area (mm ²)	#	PC Bar	
											Reinforcement	Area
K600	S 42	40	113	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	50	147	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	60	181	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	70	215	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	80	249	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	90	283	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	100	317	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	110	351	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	120	385	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	130	419	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	140	453	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	150	487	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	160	521	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	170	555	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	180	589	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	190	623	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	200	657	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	210	691	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	220	725	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	230	759	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	240	793	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	250	827	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	260	861	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	270	895	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	280	929	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	290	963	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	300	997	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	310	1031	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	320	1065	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	330	1099	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	340	1133	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	350	1167	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	360	1201	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	370	1235	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	380	1269	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	390	1303	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	400	1337	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	410	1371	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	420	1405	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	430	1439	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	440	1473	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	450	1507	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	460	1541	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	470	1575	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	480	1609	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	490	1643	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	500	1677	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	510	1711	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	520	1745	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	530	1779	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	540	1813	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	550	1847	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	560	1881	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	570	1915	913	370	175	15	15	15	15	8	13.8
K600	S 42	580	1949	913	370							


LAMPIRAN 5
(PERENCANAAN)

Cross section I	187
Cross section II.....	188
Potongan melintang Tanggul 1.....	189
Potongan melintang Tanggul 2.....	190
Alternatif 1 Tanggul 1.....	191
Alternatif 1 Tanggul 2.....	192
Alternatif 2 Tanggul 1.....	193
Alternatif 2 Tanggul 2.....	194
Alternatif 3 Tanggul 1.....	195
Alternatif 3 Tanggul 2.....	196
Alternatif 4 Tanggul 1.....	197
Alternatif 4 Tanggul 2.....	198

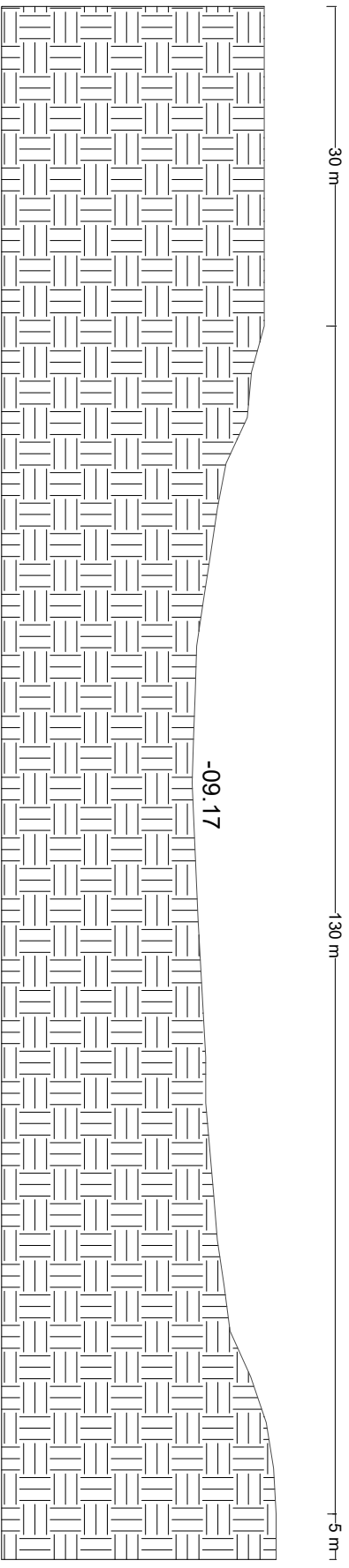
Halaman ini sengaja dikosongkan



Cross Section I
skala 1:1000

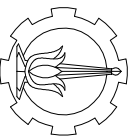


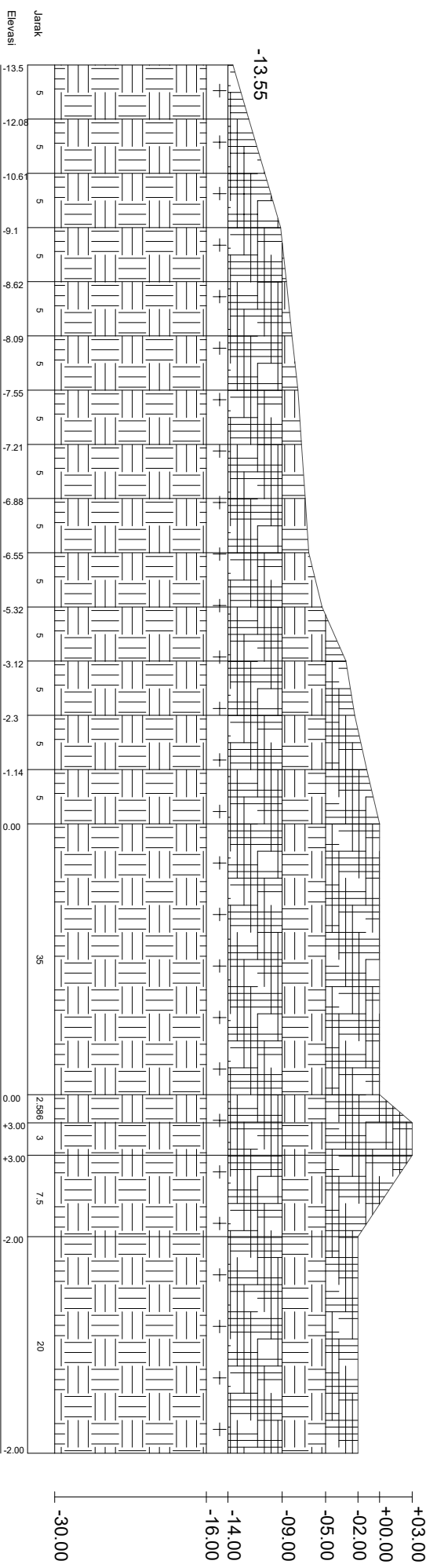
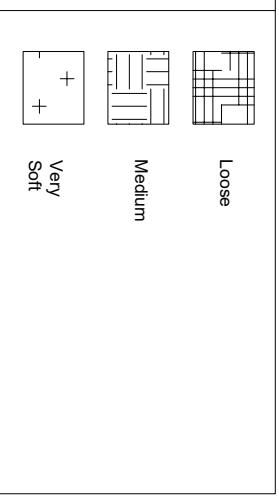
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
	ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA	Cross Section I	1 : 100	1	12



Cross Section II
skala 1:1000

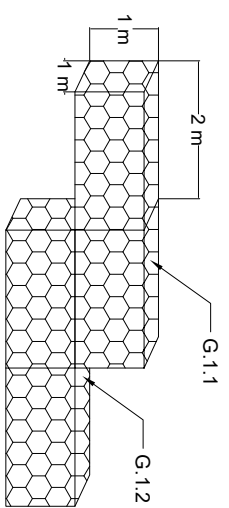
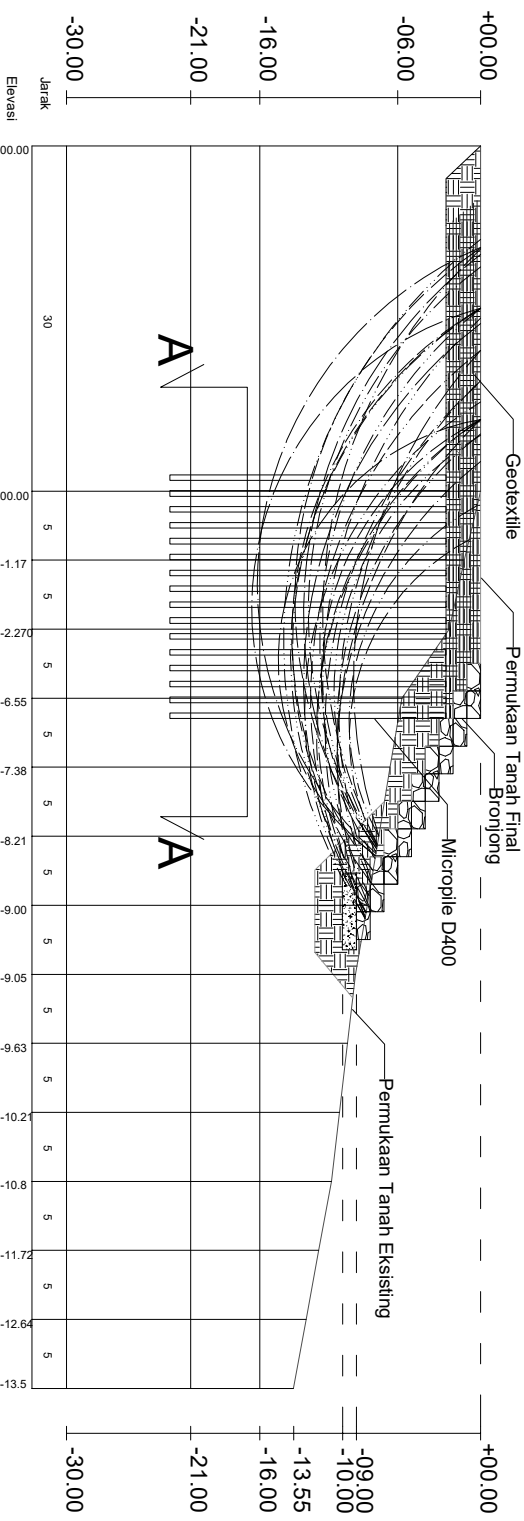


Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Nomor Gambar	Jumlah Gambar	
<p style="text-align: center;">  DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019 </p>	<p style="text-align: center;"> ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA </p>	<p style="text-align: center;"><i>Cross Section II</i></p>	<p style="text-align: center;">1 : 100</p>	<p style="text-align: center;">2</p>	<p style="text-align: center;">12</p>

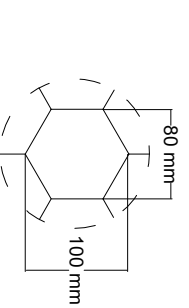


Potongan Melintang Tanguil 2
skala 1:100

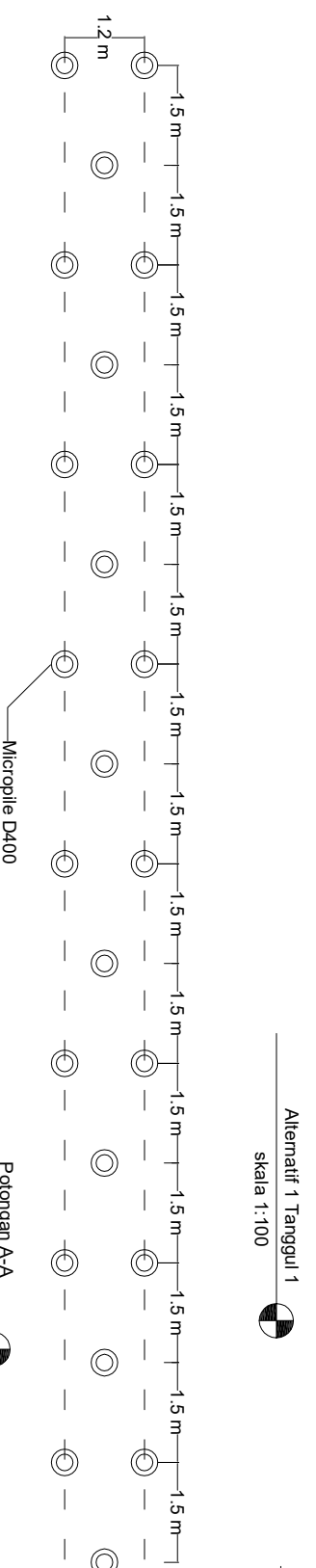
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	<p>Judul Tugas Akhir</p> <p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	<p>Nama Gambar</p> <p>Potongan Melintang Tanguil 2</p>	<p>Skala</p> <p>1 : 100</p>	<p>Nomor Gambar</p> <p>4</p>	<p>Jumlah Gambar</p> <p>12</p>
--	--	--	-----------------------------	------------------------------	--------------------------------



Detail Bronjong
skala 1:50

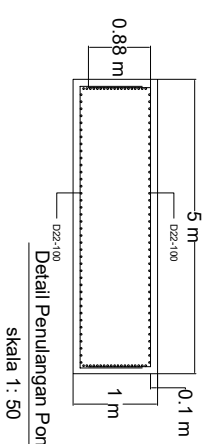


Detail Kawat Bronjong
skala 1:25



Alternatif 1 Tanggul 1
skala 1:100

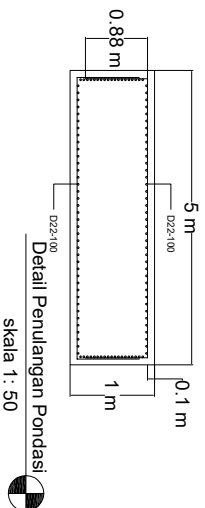
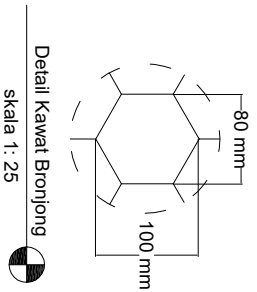
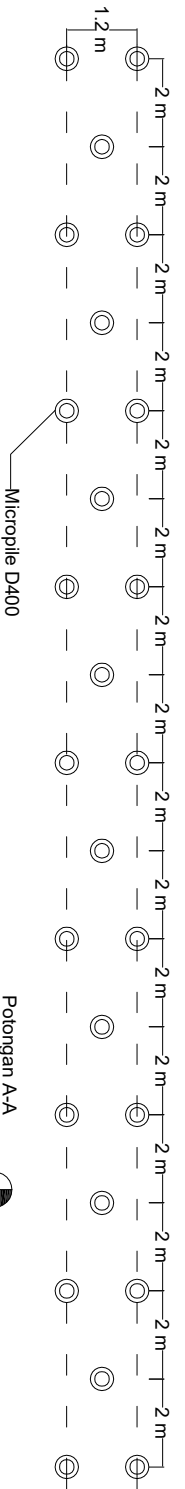
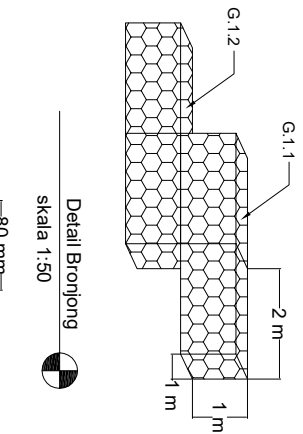
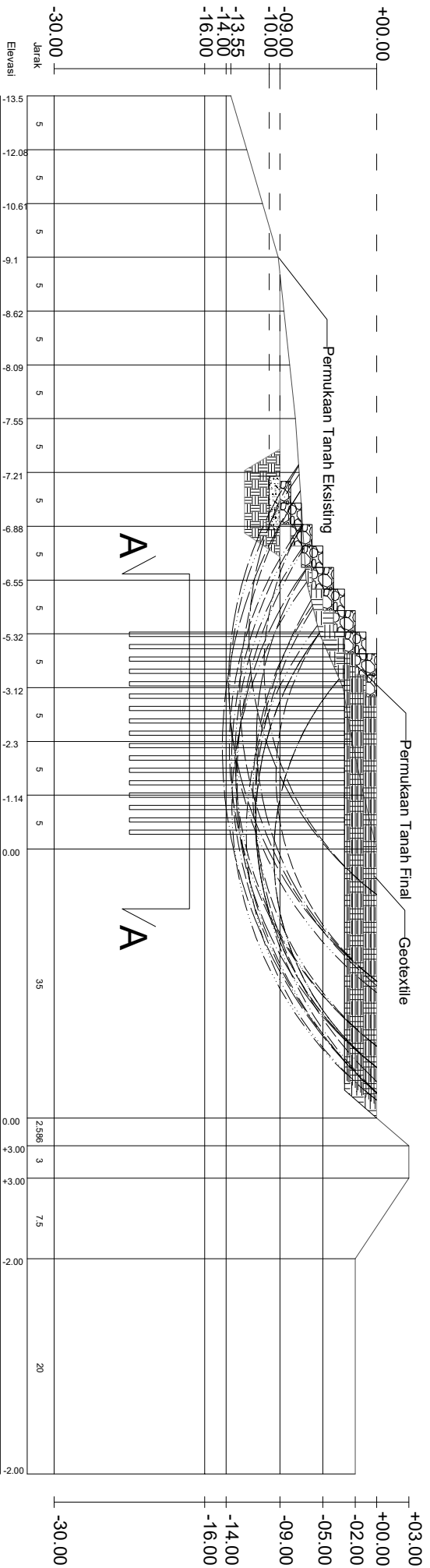
Potongan A-A
skala 1:50



Detail Pondasi
skala 1:50

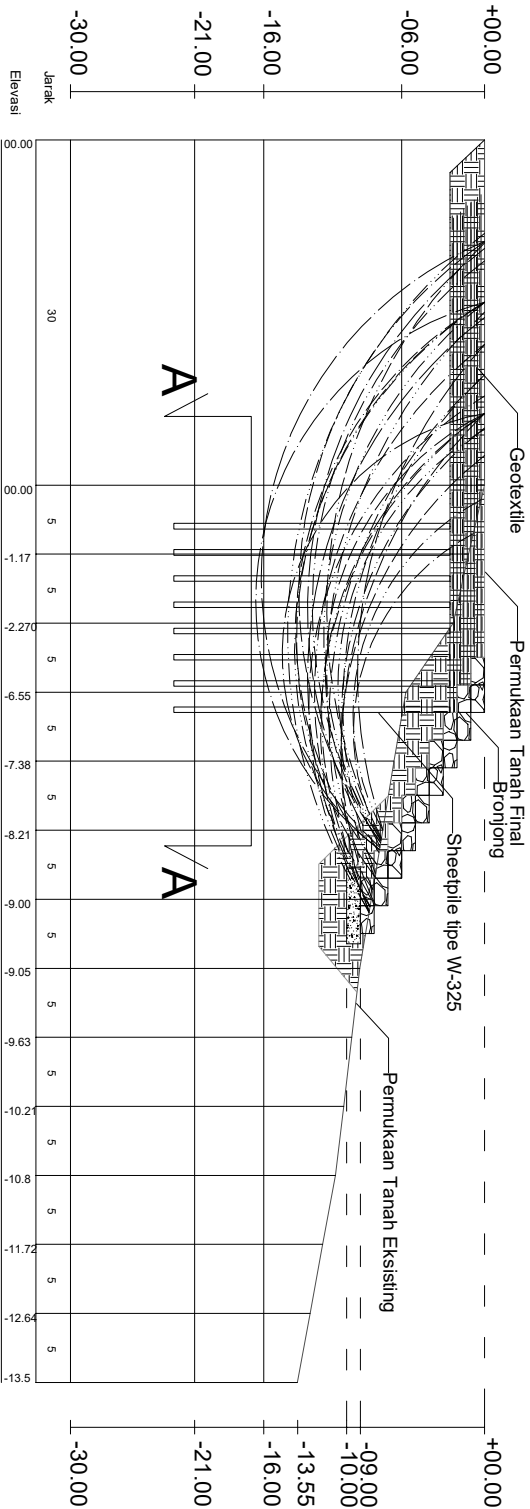
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
	<p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKULATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	Alternatif 1 Tanggul 1	1 : 100	5	12

Garis Kelongsoran	
2 m	Tanah urug
4 m	Pondasi
6 m	Bronjong
9 m	Kawat Bronjong
12 m	

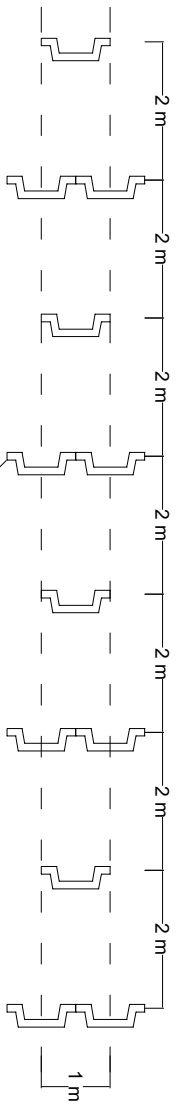


Garis Kelongsoran	
	2 m
	4 m
	6 m
	9 m
	12 m

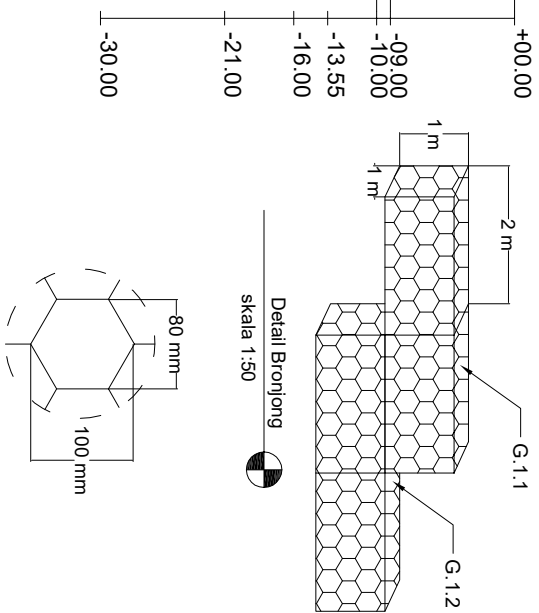
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	<p>Judul Tugas Akhir</p>	<p>Nama Gambar</p>	<p>Skala</p>	<p>Nomor Gambar</p>	<p>Jumlah Gambar</p>
	<p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUTAAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	<p>Alternatif 1 Tanggul 2</p>	<p>1 : 100</p>	<p>6</p>	<p>12</p>



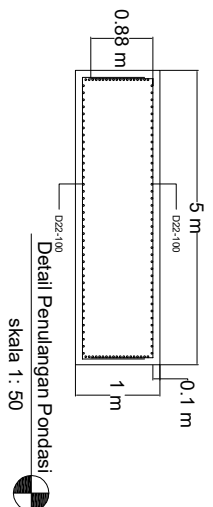
Alternatif 2 Tanggul 1
skala 1:100



Potongan A-A
skala 1:50



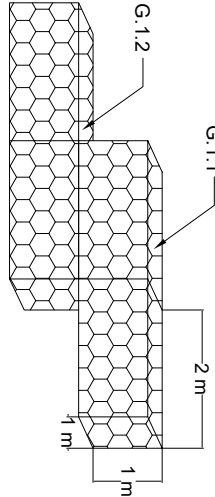
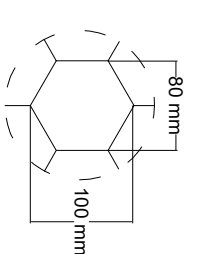
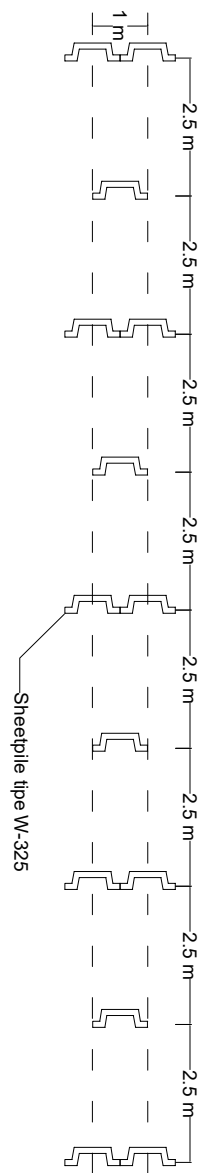
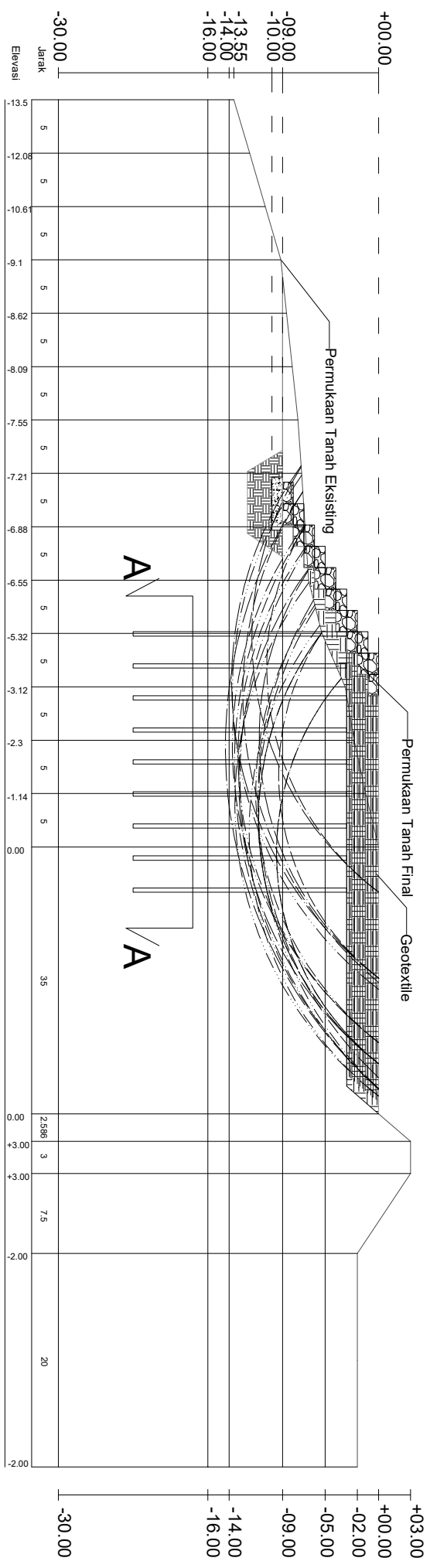
Detail Kawat Bronjong
skala 1:25



Detail Penulangan Pondasi
skala 1:50

Garis Kelongsoran	
	2 m
	4 m
	6 m
	9 m
	12 m

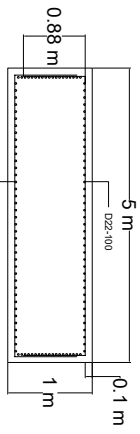
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	Judul Tugas Akhir	<p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	Nama Gambar	Alternatif 2 Tanggul 1	Skala	1 : 100	Nomor Gambar	7	Jumlah Gambar	12
	<p>Alternatif 2 Tanggul 1 skala 1:100</p>									



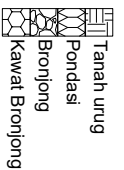
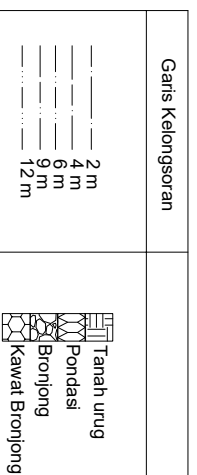
Potongan A-A
skala 1:75

Detail Kawat Bronjong
skala 1:25

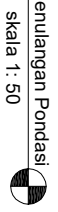
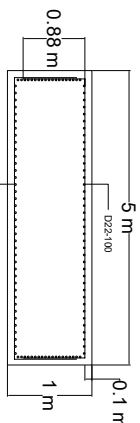
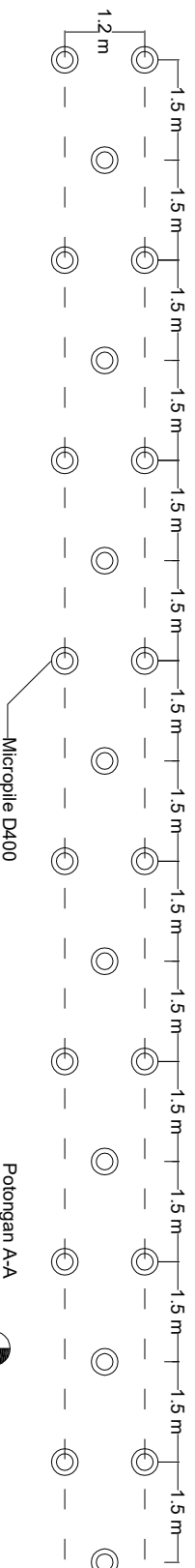
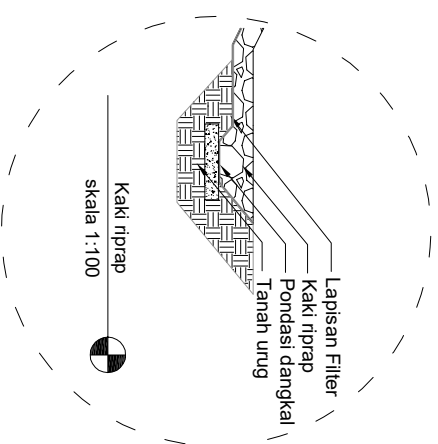
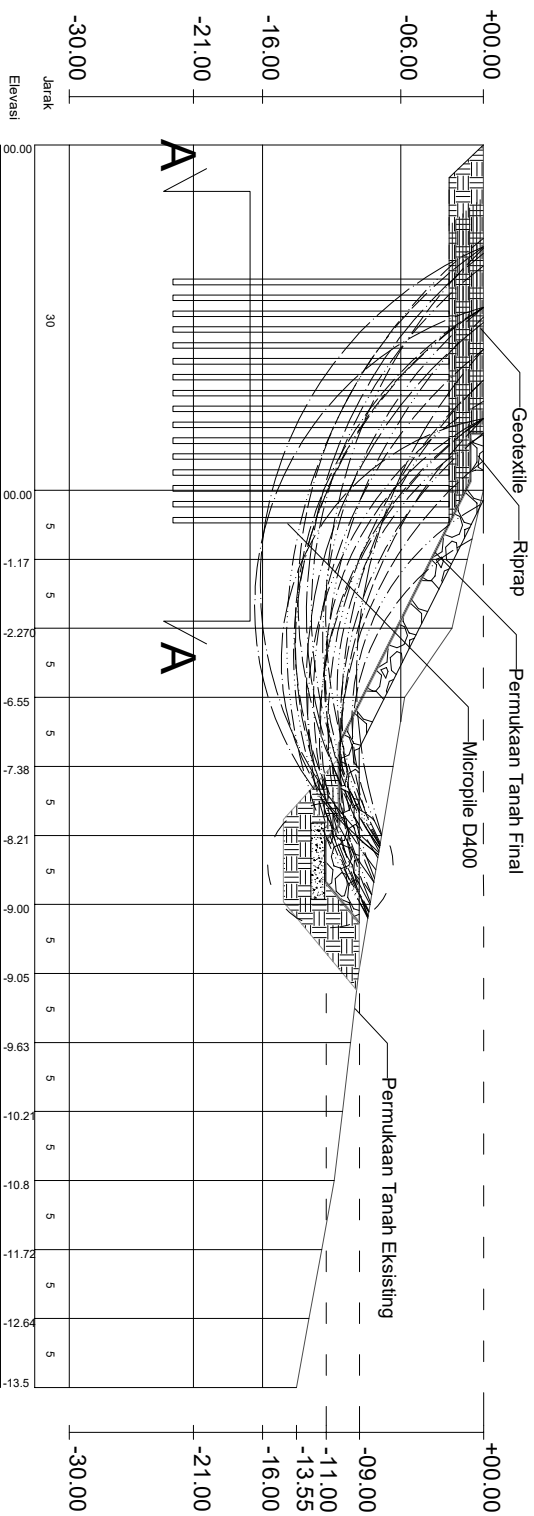
Detail Bronjong
skala 1:50



Detail Penulangan Pondasi
skala 1:50

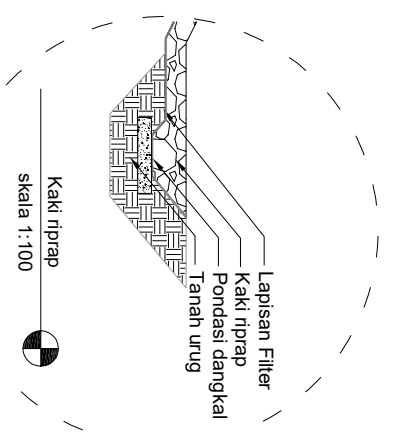
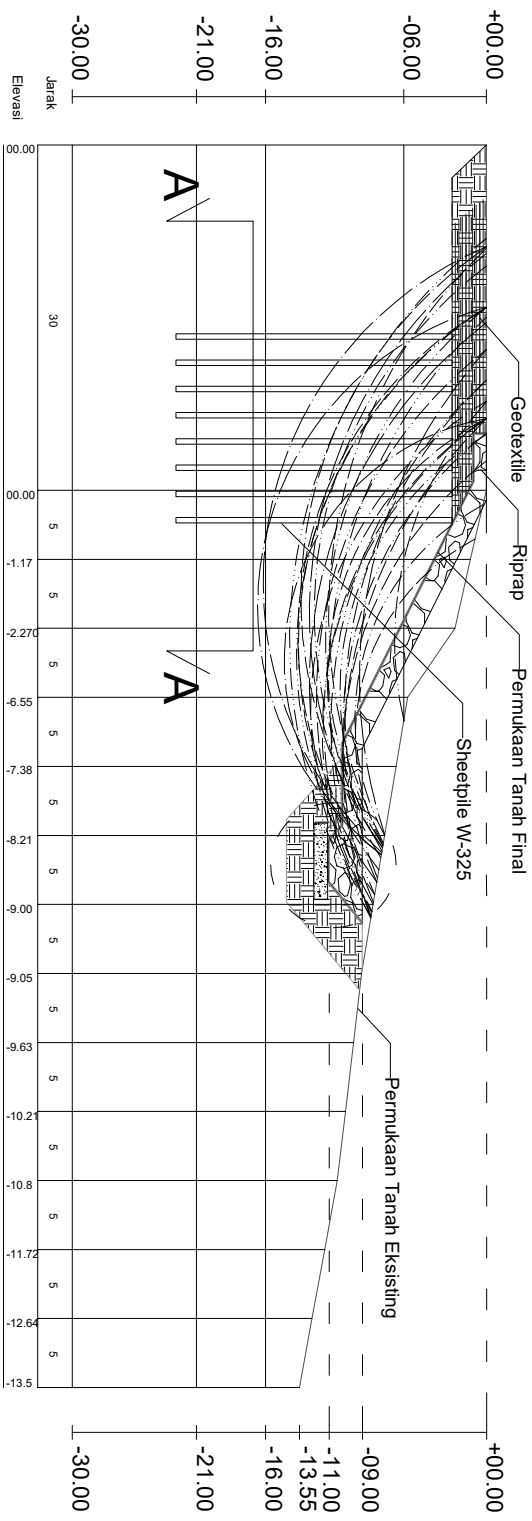


<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
	<p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	Alternatif 2 Tanggul 2	1 : 100	8	12

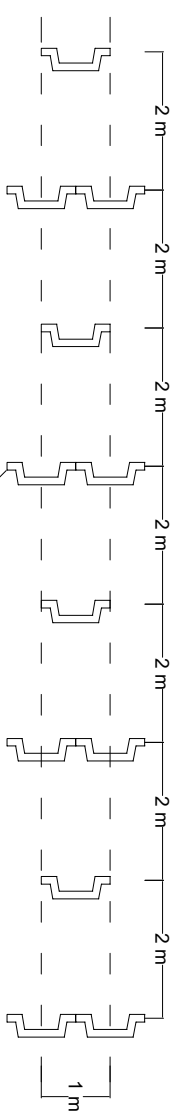


<p>Judul Tugas Akhir</p>	<p>Nama Gambar</p>	<p>Skala</p>	<p>Nomor Gambar</p>	<p>Jumlah Gambar</p>	<p>Garis Kelongsoran</p>

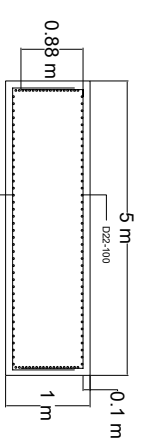
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	<p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKULATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	<p>Alternatif 3 Tanggul 1</p>	<p>1 : 100</p>	<p>9</p>	<p>12</p>
--	--	-------------------------------	----------------	----------	-----------



Alternatif 4 Tangu 1
skala 1:100



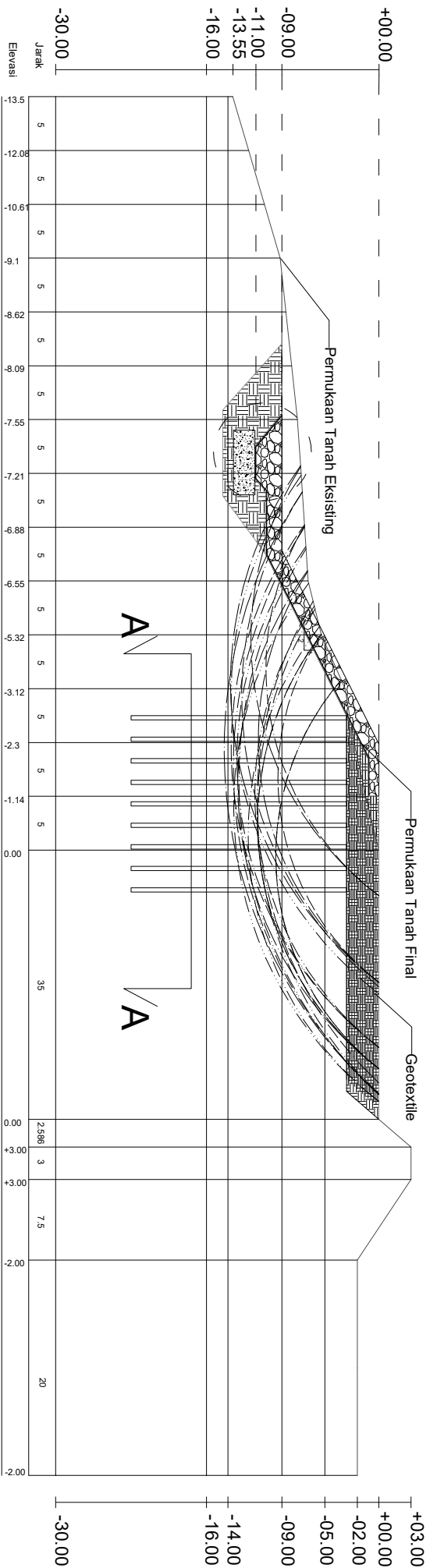
Potongan A-A
skala 1:50



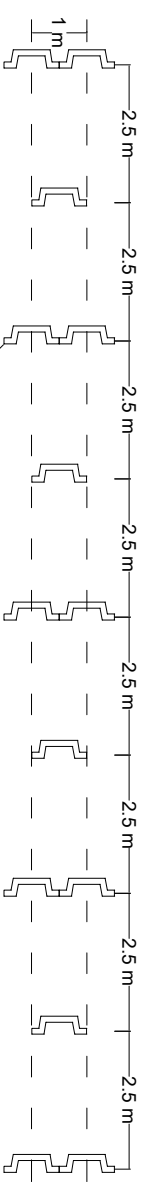
Garis Kelongsoran	
	2 m
	4 m
	6 m
	9 m
	12 m

	Tanah urug
	Pondasi
	Riprap
	Lapisan filter

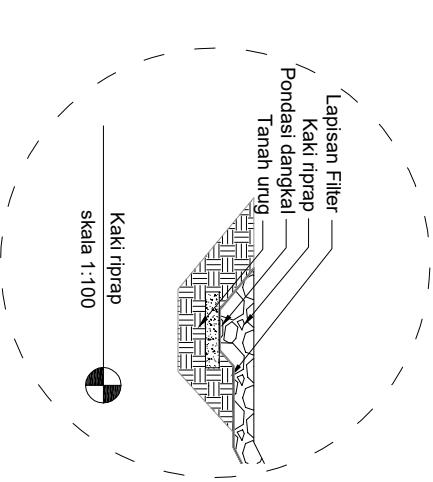
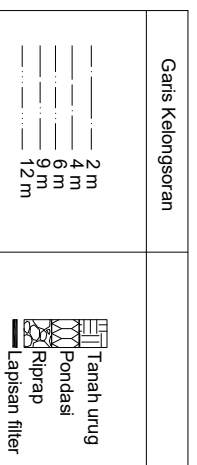
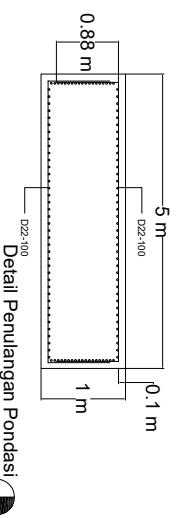
<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
	<p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKULATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	Alternatif 4 Tangu 1	1 : 100	11	12



Alternatif 4 Tanggul 2
skala 1:100



Potongan A-A
skala 1:75



<p>DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2019</p>	Judul Tugas Akhir	Nama Gambar	Skala	Nomor Gambar	Jumlah Gambar
	<p>ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR DAN GEMPA</p>	Alternatif 4 Tanggul 2	1 : 100	12	12



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. TRIHANYNDIO RENDY S., ST. MT
NAMA MAHASISWA	: FIKRY FAKHRUDIN
NRP	: 03111540000094
JUDUL TUGAS AKHIR	: ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SLO DI DESA GEDONGARUM, KECAMATAN KANOR, KAB. BOJONEGARA AKIBAT FUKTUM MUKA AIR DAN GEMPA
TANGGAL PROPOSAL	: 21 JANUARI 2019
NO. SP-MMTA	: 19612/IT2.VI.4.1/PP.OS.02.00/2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	1/2 2019	Klasifikasi tanah	Korelasi data tanah berdasarkan N-SR	
2	8/3 2019	Hand korelasi σ' , c , ϕ	Perkuatan bronjong dan perhitungan dan desain	
3	15/4 2019	Bronjong dengan desain counter weight	Mencari SF, Mr dengan variasi M.A. + kemp. gempa	
4	5/4-2019	Trap betongran M.A didapatkan Susutasi SF, Mr	Perencanaan geotekstil dan cement	
5	12/4 2019	Menghitung perkuatan tanpa kombinasi dan kombinasi	Desain kombinasi perkuatan dengan tinggi galzan 5 m	
6	11/6 2019	Revisi Laporan TA		



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)
Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M.Eng
NAMA MAHASISWA	: FIKRY FAKHRUDIN
NRP	: 03111540000094
JUDUL TUGAS AKHIR	: ALTERNATIF PERENCANAAN PERKUATAN TANGGUL SUNGAI BENGAWAN 800 PI DESA GEDONGARUM, KECAMATANKANOR, KABUPATEN BOJONEGORO AKIBAT PENGARUH FLUKTUASI DEBIT AIR-DAN GEMPA
TANGGAL PROPOSAL	: 21 JANUARI 2019
NO. SP-MMTA	: 1462 / IT2. VI. 1.1 / PP. OS. 02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	1/3 2019	Klasifikasi tanah	Korelasi data tanah berdasarkan N-SPT	
2	8/3 2019	Hasil korelasi di L'ite	Perkuatan kerangong perhitungan dan desain	
3	15/3 2019	Bronjong dengan desain counter weight	mencairi SF, Mr dengan variasi MA + koef-gempa	
4	5/4 2019	Trap betnggan M-A didapatkan 5 variasi SF, Mr	perencanaan geotextile dan concrete	
5	12/4 2019	Menghitung perkuatan kumpu kombinasi dan dengan kombinasi	Desain kombinasi perkuatan dengan tinggi galiran 5m	
6	17/5 2019	Revisi Laporan		

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fikry Fakhruddin yang dilahirkan di Bojonegoro pada 9 Januari 1997 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis memulai jenjang pendidikan di SDN 001 Baureno, SMP Plus Ar-Rahmat Bojonegoro, dan MBI Amanatul Ummah Pacet, Mojokerto hingga lulus pada tahun 2015. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi perguruan tinggi tingkat sarjana di Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Semasa kuliah penulis aktif melakukan pengembangan diri khususnya di bidang manajerial dan kegiatan non akademik. Penulis pernah mengikuti pelatihan LKMM Pra-Tingkat Dasar BEM FTSP ITS, menjadi wakil ketua VSNMC ITS, mengikuti kepanitiaan dan kegiatan lainnya.

Penulis dapat dihubungi melalui : fikryfakhruddin1@gmail.com