

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS PADA TUBUH BENDUNGAN DENGAN IRISAN FELLENIUS DAN DEBIT REMBESAN DENGAN METODE CASAGRANDE MENGGUNAKAN SOFTWARE GEOSTUDIO

***(STABILITY ANALYSIS OF DAM BODY WITH
FELLENIUS SLICES AND SEEPAGE
DISCHARGE WITH CASAGRANDE METHOD
USING GEOSTUDIO SOFTWARE)***

**(Studi Kasus : Bendungan Prijetan di Kabupaten
Lamongan, Provinsi Jawa Timur)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**FEBRY KRISDIANTO
15511246**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS PADA TUBUH
BENDUNGAN DENGAN IRISAN FELLENIUS
DAN DEBIT REMBESAN DENGAN METODE
CASAGRANDE MENGGUNAKAN SOFTWARE
GEOSTUDIO**

***(STABILITY ANALYSIS OF DAM BODY WITH
FELLENIUS SLICES AND SEEPAGE
DISCHARGE WITH CASAGRANDE METHOD
USING GEOSTUDIO SOFTWARE)***

**(Studi Kasus : Bendungan Prijetan di Kabupaten
Lamongan, Provinsi Jawa Timur)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**FEBRY KRISDIANTO
15511246**

**PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS PADA TUBUH BENDUNGAN DENGAN IRISAN FELLENIUS DAN DEBIT REMBESAN DENGAN METODE CASAGRANDE MENGGUNAKAN SOFTWARE GEOSTUDIO (*STABILITY ANALYSIS OF DAM BODY WITH FELLENIUS SLICES AND SEEPAGE DISCHARGE WITH CASAGRANDE METHOD USING GEOSTUDIO SOFTWARE*)

Disusun oleh

FEBRY KRISDIANTO
15511246

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Tanggal
Oleh Dewan Penguji

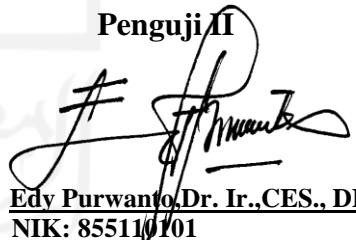
Pembimbing


Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.
NIK: 045110407

Penguji I


Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng.
NIK: 885110107

Penguji II


Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA.
NIK: 855110101

Mengesahkan



Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun merupakan syarat untuk penyelesaian program sarjana di program studi teknik sipil, fakultas teknik sipil dan perencanaan, universitas islam indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan tugas akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta,
Yang membuat pernyataan,



Febry Krisdianto
(15511246)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb.

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua khususnya kepada kami sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas ini dengan baik. Salawat serta salam tak lupa selalu kami haturkan kepada junjungan Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah menjadi zaman yang penuh dengan teknologi seperti apa yang kita rasakan saat sekarang ini spesifiknya dalam pengaplikasian teknologi di bidang teknik tekstil.

Tugas Akhir saya yang berjudul **“ANALISIS STABILITAS PADA TUBUH BENDUNGAN DENGAN IRISAN FELLENIUS DAN DEBIT REMBESAN DENGAN METODE CASAGRANDE MENGGUNAKAN SOFTWARE GEOSTUDIO”** disusun sebagai penerapan teori Teknik Sipil yang saya pelajari selama di bangku perkuliahan dan sebagai salah satu syarat agar saya bisa mendapatkan gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar atas bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T.,M.Eng. dan Bapak Edy Purwanto,Dr.Ir.,CES.,DEA, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

4. Ibu D.A. Wahyu Wulan P.,S.T.,M.T., Dosen Pembimbing Akademik yang selalu membimbing serta memberikan banyak masukan dan motivasi selama masa kuliah.
5. Bapak dan Ibu beserta keluarga yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan ada yang tak henti – hentinya.
6. Seluruh civitas akademik di lingkungan jurusan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
7. Teman – teman seperjuangan Teknik Sipil 2015 yang selalu memberikan dukungan, dorongan dan semangat.
8. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu, dalam membantu penyusunan Tugas Akhir ini dengan tulus dan ikhlas.

Saya menyadari bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Besar harapan saya semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan kami selaku penyusun. Aminnn.

Wasalamualaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 3 September 2021

Yang membuat pernyataan,



Febry Krisdianto

(15511246)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iiiv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	i
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian	5
2.2 Stabilitas Lereng	5
2.2.1 Menganalisa Rembesan pada Bendungan Urugan	5
2.2.2 Menganalisa Rembesan dan Stabilitas Tubuh Bendungan Ladongi dengan Metode Bishop dan <i>Geoslope</i>	6
2.2.3 Menganalisa Stabilitas Tubuh Bendungan dengan Beberapa Kondisi dengan Metode Bishop, Fellenius, dan Janbu dibantu dengan Geostudio 2007	6
2.2.4 Mengetahui Stabilitas Tubuh Bendungan dengan Beberapa	

Kondisi dan Mengetahui Arah Keruntuhan Bila Tanpa Gempa dan Gempa	7
2.2.5 Menganalisa Kondisi Geologi Pondasi, Menganalisis Stabilitas Tubuh Bendungan serta Menghitung RAB	7
2.2.6 Mengetahui Debit Rembesan dan Stabilitas Lereng pada Tubuh Bendungan	8
2.3 Keaslian Penelitian	14
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1. Tanah	15
3.1.1. Umum	15
3.1.2. Tanah Lempung	16
3.1.3. Klasifikasi Tanah	16
3.2. Parameter Tanah	22
3.2.1. Umum	22
3.2.2. Permeabilitas	22
3.2.3. Kohesi	23
3.2.4. Kuat Geser Tanah	23
3.2.5. Sudut Geser Dalam Tanah	24
3.3. Bendungan	24
3.3.1. Umum	24
3.3.2. Bendungan Urugan	25
3.3.3. Klasifikasi Bendungan Urugan	25
3.4. Rembesan	26
3.4.1. Umum	26
3.4.2. Persamaan Darcy	27
3.4.3. Garis Freatik	28
3.4.4. Metode Casagrande	28
3.4.5. Keamanan Rembesan Bendungan	29
3.5. Stabilitas	30
3.5.1. Pengertian Stabilitas	30
3.5.2. Metode Fellenius	31

3.5.3. Kriteria Nilai Faktor Keamanan Stabilitas Lereng	
Bendungan	35
3.6. Gempa	36
3.6.1. Umum	36
3.6.2. Pengaruh Tingkat Risiko Bangunan	37
3.6.3. Koefisien Gempa	39
3.7. Software Geostudio	44
3.7.1. Umum	44
3.7.2. Program SLOPE/W	44
3.7.3. Program SEEP/W	45
BAB IV METODE PENELITIAN	46
4.1. Lokasi Penelitian	46
4.2. Bahan dan Alat	47
4.3. Data Penelitian	47
4.4. Metode Penelitian	47
4.5. Bagan Aliran	48
4.6. Tahapan Geostudio	52
BAB V PEMBAHASAN	58
5.1. Analisis Tingkat Risiko Bendungan	58
5.2. Menghitung Koefisien Gempa	59
5.3. Perhitungan Manual Rembesan dengan Metode Casagrande	59
5.3.1. Rembesan pada Muka Air Banjir	59
5.3.2. Rembesan pada Muka Air Normal	61
5.3.3. Rembesan pada Muka Air Minimum	62
5.4. Perhitungan Stabilitas dengan Garis Freatik Manual	63
5.4.1. Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Banjir dengan	
Garis Freatik Manual	63
5.4.2. Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Normal dengan Garis	
Freatik Manual	67
5.4.3. Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Minimum dengan	
Garis Freatik Manual	71

5.4.4. Stabilitas Lereng Kondisi Surut Cepat (<i>Rapid Drawdown</i>) dengan Garis Freatik Manual	75
5.5. Analisis Rembesan dengan Menggunakan SEEP/W	79
5.5.1. Debit Rembesan	80
5.6. Analisis Stabilitas dengan Garis Freatik <i>SEEP/W</i>	82
5.6.1. Stabilitas Lereng Kondisi Muka air banjir dengan Garis Freatik Hasil <i>SEEP/W</i>	82
5.6.2. Stabilitas Lereng Kondisi Muka air Normal dengan Garis Freatik Hasil <i>SEEP/W</i>	86
5.6.3. Stabilitas Lereng Kondisi Muka air Minimum dengan Garis Freatik Hasil <i>SEEP/W</i>	90
5.6.4. Stabilitas Lereng Kondisi Kondisi Surut Cepat (<i>Rapid Draw Down</i>) dengan Garis Freatik Hasil <i>SEEP/W</i>	94
5.7. Perhitungan Manual Stabilitas Lereng Metode Fellenius	99
5.8. Pembahasan	101
5.8.1. Pembahasan Rembesan	101
5.8.2. Pembahasan Stabilitas	104
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	109
6.1 Kesimpulan	109
6.2 Saran	111
DAFTAR PUSTAKA	112
LAMPIRAN	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	9
Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah AASHTO	18
Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS	20
Tabel 3. 3 Klasifikasi Permeabilitas	22
Tabel 3. 4 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	24
Tabel 3. 5 Kriteria Faktor Keamanan Minimum untuk Stabilitas Bendungan Tipe Urugan	35
Tabel 3. 6 Kriteria Faktor Resiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan	37
Tabel 3. 7 Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air	38
Tabel 3. 8 Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan	38
Tabel 3. 9 Faktor Amplikasi (FPGA)	43
Tabel 5. 1 Tingkat Risiko Bendungan Prijetan	58
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Perhitungan Manual Stabilitas Lereng Dengan Metode Fellenius	100
Tabel 5. 3 Hasil Rekapitulasi Debit Rembesan	101
Tabel 5. 4 Hasil Evaluasi Keamanan Bendungan Prijetan Berdasarkan Debit Rembesan	102
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Hasil Debit Rembesan	103
Tabel 5. 6 Hasil Evaluasi Keamanan Bendungan Prijetan Berdasarkan Gradien Hidrolik Rembesan	104
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dengan Garis Freatik	104
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dengan Garis Freatik Hasil dari <i>SEEP/W</i>	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tampak Atas Bendungan Prijetan	2
Gambar 3. 1 Grafik Mohr dan Coloumb	23
Gambar 3. 2 Garis Rembesan pada Bendungan Homogen	26
Gambar 3. 3 Jaringan Aliran pada Bendungan yang Homogen	28
Gambar 3. 4 Hitungan Rembesan Cara Casagrande	29
Gambar 3. 5 Bentuk Bentuk Bidang Longsor	32
Gambar 3. 6 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan	33
Gambar 3. 7 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 20% Dalam 10 Tahun	40
Gambar 3. 8 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 10 Tahun	40
Gambar 3. 9 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun	41
Gambar 3. 10 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun	41
Gambar 3. 11 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun	42
Gambar 3. 12 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (SB) Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 100 Tahun	42
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian	46
Gambar 4. 2 Bagan Aliran Penelitian	50
Gambar 4. 3 Bagan Aliran Pemodelan Software	51
Gambar 4. 4 Tampilan Create/New a New Project	52
Gambar 4. 5 Setting Keyin Tipe Analisis Yang Akan Digunakan	53
Gambar 4. 6 Setting Keyin Tipe Analisis Yang Akan Digunakan	53
Gambar 4. 7 Setting Unit dan Scale	54
Gambar 4. 8 Setting Set Page	54

Gambar 4. 9 Setting Sketch Axes	55
Gambar 4. 10 Input Modelling Geometri dengan Region	56
Gambar 4. 11 Input Material	56
Gambar 4. 12 Input Draw Material	57
Gambar 4. 13 Analysis/Running	57
Gambar 5. 1 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir	64
Gambar 5. 2 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir	64
Gambar 5. 3 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir	65
Gambar 5. 4 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir	66
Gambar 5. 5 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir	66
Gambar 5. 6 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir	67
Gambar 5. 7 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal	68
Gambar 5. 8 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal	68
Gambar 5. 9 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal	69
Gambar 5. 10 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi	

Muka Air Normal	70
Gambar 5. 11 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal	70
Gambar 5. 12 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal	71
Gambar 5. 13 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum	72
Gambar 5. 14 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum	72
Gambar 5. 15 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum	73
Gambar 5. 16 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum	73
Gambar 5. 17 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum	74
Gambar 5. 18 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum	75
Gambar 5. 19 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Beban Gempa dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i>	76
Gambar 5. 20 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Beban Gempa dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i>	76
Gambar 5. 21 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka	

	<i>Air Rapid Draw Down</i>	77
Gambar 5. 22	Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka <i>Air Rapid Draw Down</i>	78
Gambar 5. 23	Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka <i>Air Rapid Draw Down</i>	78
Gambar 5. 24	Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka <i>Air Rapid Draw Down</i>	79
Gambar 5. 25	Hasil Perhitungan Rembesan Dengan <i>Seep/W</i> Dengan Kondisi Muka Air Banjir	80
Gambar 5. 26	Hasil Perhitungan Rembesan Dengan <i>Seep/W</i> Dengan Kondisi Muka Air Normal	81
Gambar 5. 27	Hasil Perhitungan Rembesan Dengan <i>Seep/W</i> Dengan Kondisi Muka Air Minimum	81
Gambar 5. 28	Hasil Perhitungan Stabilitas Uptream dengan <i>Slope/w</i> pada Kondisi Muka Air Banjir	82
Gambar 5. 29	Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> pada Kondisi Muka Air Banjir	83
Gambar 5. 30	Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Banjir	84
Gambar 5. 31	Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Banjir	84
Gambar 5. 32	Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Banjir	85
Gambar 5. 33	Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Banjir	86
Gambar 5. 34	Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> pada	

Kondisi Muka Air Normal.	87
Gambar 5. 35 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> pada Kondisi Muka Air Normal	87
Gambar 5. 36 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Normal	88
Gambar 5. 37 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Normal	88
Gambar 5. 38 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Normal	89
Gambar 5. 39 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Normal	90
Gambar 5. 40 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> pada Kondisi Muka Air Minimum	91
Gambar 5. 41 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> pada Kondisi Muka Air Minimum	91
Gambar 5. 42 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Minimum	92
Gambar 5. 43 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Minimum	93
Gambar 5. 44 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Minimum.	93
Gambar 5. 45 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Minimum	94
Gambar 5. 46 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i>	95
Gambar 5. 47 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i> .	95

Gambar 5. 48 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i>	96
Gambar 5. 49 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i>	97
Gambar 5. 50 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i>	97
Gambar 5. 51 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan <i>Slope/w</i> dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air <i>Rapid Draw Down</i>	98
Gambar 5. 52 Metode Fellenius	99
Gambar 5. 53 Grafik Hasil Perbandingan Debit Rembesan <i>Software</i> dan Manual	103
Gambar 5. 54 Grafik Angka Keamanan Bendungan dengan Garis Freatik	106
Gambar 5. 55 Grafik Angka Keamanan Bendungan dengan <i>SEEP/W</i>	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Jadwal Pembuatan Tugas Akhir	116
Lampiran 2 : Titik Bor	117
Lampiran 3 : Bor Log	115
Lampiran 4 : Hasil Laboratorium	123
Lampiran 5 : Parameter Tanah Yang Digunakan	125
Lampiran 6 : Data Teknis Bendungan	126
Lampiran 7 : Peta Situasi dan Potongan Geometri	127



DAFTAR NOTASI

A = luas penampang basah (m^2)
 k = koefisien permeabilitas (m/dt)
 i = gradien hidrolis
 h = tinggi muka air (m)
 L = panjang profil melintang tubuh bendungan (m)
 V = kecepatan air rembesan (m/dt)
 N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi
 N_p = angka pembagi dari garis equipotensial
 q = debit rembesan (m^3 /det)
 k = koefisien permeabilitas (m/det)
 α = sudut hilir tanggul
 d = jarak horizontal antara E dan C (m)
 a = panjang zona basah (m)
 H = tinggi muka air (m)
 γ' = Berat Volume Terapung
 γ_w = Berat Volume air
 i_c = Gradien hidrolis dari material
 i_e = Gradien hidrolis debit
 G_s = Berat jenis tanah
 e = Angka pori
 R = Jari-jari lingkaran bidang longsor
 n = Jumlah irisan
 W = Berat massa tanah irisan ke- i
 q = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas.
 F = Faktor aman.
 c = Kohesi tanah (kN/m) .
 φ = dalam tanah ($^\circ$)
 a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i (m)

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN) .

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2)

θ = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas.

FRk = Faktor risiko kapasitas tampung

FRt = Faktor risiko tinggi bendungan

FRe = Faktor risiko kebutuhan evakuasi

FRh = Faktor risiko tingkat kerusakan



ABSTRAK

Bendungan Prijetan dibangun pada tahun 1910 oleh pemerintahan kerajaan Belanda yang berlokasi di Desa Mlati, Kedungpring, Lamongan, Provinsi Jawa Timur. Faktor yang mempengaruhi besar debit rembesan dan keamanan lereng bendungan ialah kondisi terjadinya perubahan ketinggian muka air pada hulu bendungan. Maka dari itu, maka perlu ditinjau keamanan stabilitas tubuh bendungan ketika sedang beroperasi saat ini.

Untuk analisis ini menggunakan metode Casagrande dan dibantu program geostudio *SEEP/W* agar mengetahui besar debit rembesan pada bendungan prijetan. Selanjutnya menganalisis kewanaman lereng bendungan menggunakan metode *Fellenius* yang dibantu dengan program geostudio *SLOPE/W* dengan tanpa gempa dan akibat beban gempa berdasarkan kondisi muka air banjir, muka air normal, muka air minimum, dan surut cepat. Agar mengetahui angka kewanaman lereng bendungan yang diisyaratkan atau ditentukan dalam SNI 8064:2016.

Hasil analisis menunjukkan bahwa angka keamanan bendungan tanpa beban gempa dan dengan beban gempa untuk di beberapa kondisi muka air bendungan. Didapatkan hasil untuk bagian lereng hulu dan hilir dengan metode *Fellenius* dan dengan *Slope/W* memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan.

Kata kunci: Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan, Faktor Keamanan, *Fellenius*, *Geostudio 2012*

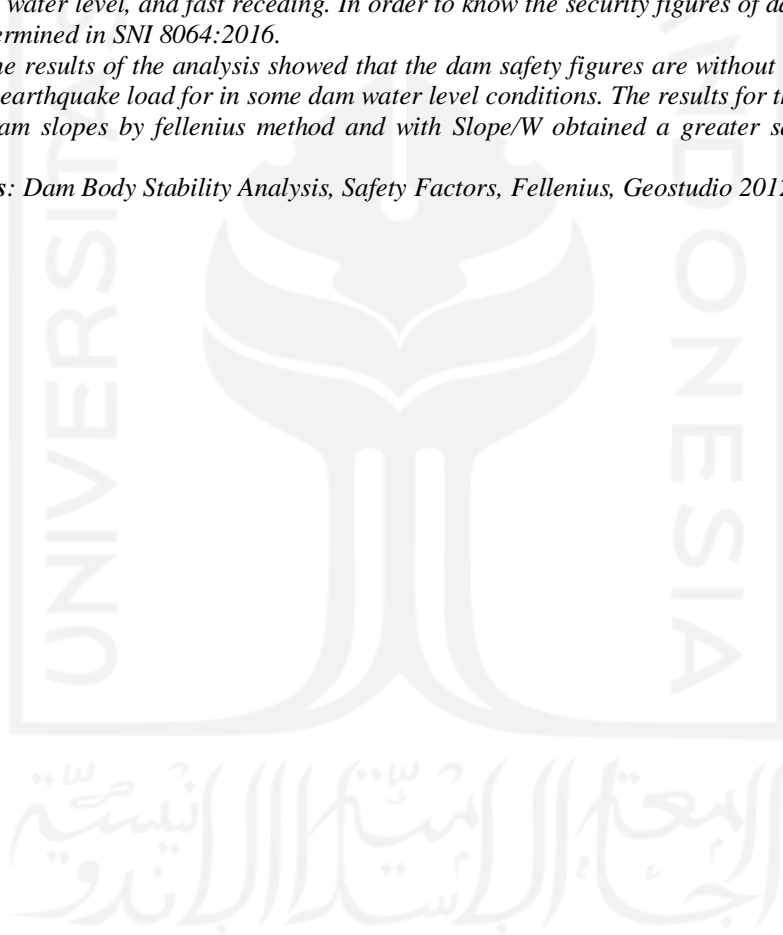
ABSTRACT

Prijetan Dam was built in 1910 by the Dutch government located in Mlati Village, Kedungpring, Lamongan, East Java Province. The factor that influences the large discharge of the breakage and the safety of the dam slope is the condition of changes in the water level at the upstream of the dam. Therefore, it is necessary to review the safety of the stability of the dam body when it is operating at this time.

For this analysis calculation using Casagrande method and assisted by SEEP/W geostudio program to find out the large discharge of seepage in prijetan dam. Furthermore, analyzing the safety of the dam slope using Fellenius method assisted by slope/w geostudio program with no earthquake and due to earthquake load based on flood water level condition, normal water level, minimum water level, and fast receding. In order to know the security figures of dam slopes hinted at or determined in SNI 8064:2016.

The results of the analysis showed that the dam safety figures are without earthquake load and with earthquake load for in some dam water level conditions. The results for the upstream and downstream slopes by fellenius method and with Slope/W obtained a greater safety score than required.

Keywords: *Dam Body Stability Analysis, Safety Factors, Fellenius, Geostudio 2012.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu elemen yang terpenting untuk kebutuhan makhluk hidup khususnya manusia. Namun seiring berjalannya waktu maka semakin bertambahnya jumlah manusia yang tinggal di bumi mengakibatkan kebutuhan air juga ikut meningkat. Sedangkan ketersediaan air dapat dikatakan dalam keadaan konstan atau tetap, tak berkurang atau bertambah mengingat siklus perputaran air. Mengingat jika akan terjadinya musim kemarau yang mengakibatkan persediaan air berkurang, maka berbagai usaha pelestarian air agar kebutuhan setiap manusia dapat tercukupi pun dilakukan dengan membangun sebuah bangunan penahan air dalam jumlah besar. Bangunan yang dimaksud ialah sebuah bendungan.

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 37 Pasal 1 Tahun 2010 bahwa bendungan adalah bangunan air yang tersusun dari urugan tanah, urugan batu, beton dan juga pasangan batu yang dipasang untuk menahan laju air atau lumpur, dan juga berfungsi untuk menangkap dan menyimpannya menjadi waduk.

Bendungan Prijetan dibangun pada tahun 1910 oleh pemerintahan kerajaan Belanda pada saat itu dan menjadi bendungan tertua dari 224 bendungan yang ada di Indonesia saat ini. Bendungan Prijetan berlokasi di Desa Mlati, Kedungpring, Lamongan, Provinsi Jawa Timur. Lokasi bendungan dapat dilihat pada gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1. 1 Tampak Atas Bendungan Prijetan

(Sumber : googlemaps.com, 2020)

Bendungan ini memiliki luas 231 hektare yang mengairi 4.513 hektare sawah di 33 desa yang berada di tiga kecamatan, yaitu Kedungpring, Sugio dan Modo. selain bermanfaat untuk mendukung irigasi juga dijadikan warga sekitar tempat rekreasi. Bendungan memiliki banyak sekali manfaat untuk memenuhi kebutuhan dari pada manusia, maka diperlukan analisa stabilitas tubuh bendungan terhadap berbagai kondisi agar bendungan yang direncanakan aman dan sesuai dengan usia guna yang telah direncanakan.

Pada penelitian ini saya berencana menggunakan perangkat lunak Geo-Studio maupun perhitungan secara manual dengan menggunakan metode bioshop. Untuk menganalisis stabilitas tubuh bendungan dan mengetahui debit rembesan pada Tubuh Bendungan Prijetan maka diperlukan program Geo-Studio dengan fitur *SLOPE/W* dan *SEEP/W* agar mendapat hasil yang lebih akurat dan

memakai data tanah tahun 1997 bendungan Prijetan. Dengan aplikasi ini kita dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana tingkat risiko bangunan bendungan Prijetan?
2. Bagaimana angka keamanan tubuh bendungan Prijetan dengan tanpa beban gempa dan beban gempa di kondisi muka air banjir pada tahun 2020?
3. Bagaimana angka keamanan tubuh bendungan Prijetan dengan tanpa beban gempa dan beban gempa di kondisi muka air normal pada tahun 2020?
4. Bagaimana angka keamanan tubuh bendungan Prijetan dengan tanpa beban gempa dan beban gempa di kondisi muka air minimum pada tahun 2020?
5. Bagaimana angka keamanan tubuh bendungan Prijetan dengan tanpa beban gempa dan beban gempa di kondisi muka air surut cepat pada tahun 2020?
6. Bagaimana pengaruh gradien hidrolis dan debit rembesan?
7. Bagaimana perhitungan manual stabilitas lereng bendungan Prijetan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui tingkat risiko bangunan bendungan Prijetan.
2. Mengetahui angka keamanan pada tubuh bendungan dengan tanpa beban gempa dan beban gempa di kondisi muka air banjir pada tahun 2020.
3. Mengetahui angka keamanan pada tubuh bendungan dengan tanpa beban gempa dan beban gempa di kondisi muka air normal pada tahun 2020.
4. Mengetahui angka keamanan pada tubuh bendungan dengan tanpa beban gempa dan beban gempa di kondisi muka air minimum pada tahun 2020.
5. Mengetahui angka keamanan pada tubuh bendungan dengan tanpa beban

gempa dan beban gempa di kondisi muka air surut cepat pada tahun 2020.

6. Mengetahui keamanan rembesan bendungan
7. Mengetahui angka keamanan Stabilitas lereng bendungan Prijetan pada perhitungan manual.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah diantaranya sebagai berikut.

1. Menambah wawasan penulis dan pembaca mengenai evaluasi keamanan tubuh bendungan urugan.
2. Menjadi referensi bagi mereka yang membutuhkan untuk penelitian.
3. Menjadi data acuan atau perbandingan bagi evaluasi selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

1. Bangunan Bendungan yang ditinjau yaitu Bendungan Prijetan, Desa Mlati, Kedungpring, Lamongan, Provinsi Jawa Timur.
2. Analisis dilakukan stabilitas bendungan dengan program *SLOPE/W* dengan metode *Fellenius* pada tahun 2021.
3. Analisis rembesan dilakukan dengan program *SEEP/W* dengan metode *Cassagrande* pada tahun 2021.
4. Penelitian ini hanya sebatas menganalisis stabilitas dan debit rembesannya.
5. Garis freatik tidak berdasarkan piezometer di lapangan.
6. Potongan yang dipakai yaitu potongan Sta. 4.
7. Beban gempa yang digunakan adalah gempa static dengan menggunakan peta gempa 2017.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian

Pada bab I, telah dijelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan, serta manfaat dari penelitian ini. Selanjutnya pada bab ini akan dijelaskan dari penelitian sejenis yang pernah dilaksanakan sebelumnya sebagai pustaka serta referensi penelitian dan untuk menghindari duplikasi pada penelitian.

2.2 Stabilitas Lereng

Dalam tinjauan pustaka ini penulis menyertakan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan penulis yang bisa digunakan sebagai bahan referensi serta bahan perbandingan penelitian yang dilakukan.

2.2.1 Menganalisa Rembesan pada Bendungan Urugan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh J. Mamizadeh dkk (2013), dari Jurusan Teknik Sipil Fakultas Agroteknologi Payame Noor *University*, Ilam, Iran. Tujuan penelitian ini adalah untuk Menganalisis stabilitas lereng , menganalisis rembesan bendungan urugan tanah, Ilam. Dan menevaluasi jenis dan ukuran pada total laju aliran dengan empat kondisi ukuran jaring yaitu, jaring kasar, sedang, halus dan tidak terstruktur. Metode yang digunakan adalah untuk menganalisis rembesan menggunakan program GeoSutdio dengan fitur SEEP/W sedangkan untuk menganalisis menggunakan Program Geostudio dengan fitur SLOPE/W dan menggunakan metode bishop, janbu, *ordinary method of slide* dan metode Morgenstern.

2.2.2 Menganalisa Rembesan dan Stabilitas Tubuh Bendungan Ladongi dengan Metode Bishop dan *Geoslope*

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nasmiarta dkk (2016) dari Mahasiswa Program Sarjana Teknik Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya, pada penelitian ini dilakukan analisa ketersediaan material tubuh bendungan. Dalam penelitian ini memakai tiga alternatif dimensi pada tubuh bendungan yang akan dianalisa ketersediaan material tubuh bendungannya. Setelah dianalisa, selanjutnya analisa rembesan tubuh bendungan menggunakan rumus Darcy. Dari analisa rembesan didapatkan hasil kapasitas rembesan tiap alternatif dimensi tubuh bendungan. Analisa selanjutnya adalah analisa stabilitas lereng tubuh bendungan. Analisa ini menggunakan metode Bishop yang dihitung secara manual dan program Geo-Studio Slope/W 2007 sebagai bahan perbandingan hasil angka keamanan stabilitas lereng tubuh bendungan.

2.2.3 Menganalisa Stabilitas Tubuh Bendungan dengan Beberapa Kondisi dengan Metode Bishop, Fellenius, dan Janbu dibantu dengan Geostudio 2007

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putra dkk (2016) dari Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Udayana, Penelitian ini membahas tentang kemantapan lereng pada bagian upstream bendungan Titab di Tukad Saba, Kecamatan Seririt di Kabupaten Buleleng. Bendungan ini merupakan jenis bendungan tipe urugan atau timbunan tanah yang mempunyai kapasitas tampungan air besar. Karena bendungan ini berupa urugan atau timbunan tanah maka salah satu hal paling penting dalam perencanaan bendungan Titab adalah perencanaan terkait analisis stabilitas lereng tanah pada bendungan.

Analisis ini menggunakan 3 metode yaitu dengan metode irisan Bishop, metode Fellenius, dan metode Janbu. Dikarenakan penelitian ini menggunakan 3 metode oleh karena itu diperlukan program Geo-Studio 2007 dengan fitur SLOPE/W untuk membantu menghitung dalam menyelesaikan penelitian ini.

2.2.4 Mengetahui Stabilitas Tubuh Bendungan dengan Beberapa Kondisi dan Mengetahui Arah Keruntuhan Bila Tanpa Gempa dan Gempa

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putra dan Susantin (2018) dari Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional melakukan penelitian tentang analisis tubuh bendungan Raknamo. Bendungan Raknamo merupakan bendungan tipe urugan dengan inti tegak pada tubuh bendung. Bendungan urugan berpotensi mengalami keruntuhan akibat berubahnya tegangan dalam tanah akibat aliran air. Untuk menghindari keruntuhan diperlukan analisis stabilitas yang dihitung secara bersamaan dengan menggunakan elemen hingga dan menggunakan program *PLAXIS 2D 2016*. Kondisi yang dianalisis yaitu pada saat selesai konstruksi, muka air normal, muka air maksimum dan muka air minimum yang di kombinasikan dengan beban gempa. Hasil analisis yang didapatkan berupa faktor keamanan (*FK*) sesuai kriteria yang mengacu pada RSNI M-03-2002.

2.2.5 Menganalisa Kondisi Geologi Pondasi, Menganalisis Stabilitas Tubuh Bendungan serta Menghitung RAB

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suhartono dkk (2020), dari Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang, Tujuan dari tugas akhir ini adalah memperbaiki pondasi bendungan, mengetahui debit rembesan, menganalisis kemungkinan pemipaan, mengetahui faktor keamanan stabilitas lereng pada bendungan, dan menentukan RAB Maindam Proyek Bendungan Bendo Ponorogo.

Data yang dibutuhkan meliputi geologi pondasi bendungan, material tanggul, gambar penampang badan bendungan, dan teknis bendungan. Memperbaiki pondasi menggunakan 3 metode: *curtain grouting*, *consolidated grouting* dan *blanket grouting* dan untuk perhitungan rembesan menggunakan rumus Cassagrande. menghitung angka keselamatan menggunakan metode Fellenius dan menggunakan aplikasi Geo-Studio 2012, program Seep / W untuk mengetahui debit rembesan dan program Geo-slope untuk mengetahui stabilitas lereng di maindam.

2.2.6 Mengetahui Debit Rembesan dan Stabilitas Lereng pada Tubuh Bendungan

Febry Krisdianto (2020), dari Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Pada penelitian ini saya menganalisis stabilitas lereng bendung dan mengetahui debit rembesan pada tubuh bendungan Prijetan. Untuk menganalisis debit rembesan menggunakan metode casagrande yang dibantu program GeoStudio dengan fitur SEEP/W. Sedangkan untuk menganalisis stabilitas lereng bendungan menggunakan program Geostudio dengan fitur SLOPE/W dan perhitungan manual memakai metode Fellenius sebagai perbandingan untuk mencari angka keamanan pada tubuh bendungan.



Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian	J. Mamizadeh, dkk (2013)	Zhafarina Malaha Nasmiarta dkk (2016)	Suwarsa Putra dkk (2016)	Dwi Nanda Putra dan Sri Hetty Susantin (2018)	M.Suhartono dkk (2020)	Febry Krisdianto (2020)
Judul	Stability of Slope and Seepage Analysis in Earth Fills Dams Using Numerical Models	Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan pada Perencanaan Bendungan Ladongi Kabupaten Kolaka Timur Sulawesi Tenggara	Analisis Stabilitas Lereng pada Bendungan Titab	Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Raknamo	Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan pada Bendungan Utama Proyek Waduk Bendo Ponorogo	Analisis Stabilitas pada Tubuh Bendungan Dengan Irisan Fellenius Dan Debit Rembesan Dengan Metode Casagrande Menggunakan Software Geostudio
Tujuan Penelitian	Menganalisis stabilitas lereng , menganalisis rembesan bendungan urugan tanah, Ilam. Dan mengevaluasi jenis dan ukuran pada total laju aliran dengan empat kondisi ukuran jaring yaitu, jaring kasar, sedang,	Menganalisa ketersediaan material tubuh bendung dengan memakai tiga alternatif dimensi tubuh bendungan, menganalisa rembesan dan stabilitas pada tubh bendungan	Mengetahui kestabilan lereng pada tubuh bendungan, dan pemanfaatan geotekstil untuk kestabilan maupun aliran lereng bendungan	Untuk mengetahui nilai faktor keamanan tubh bendung (kondisi pasca konstruksi, muka air normal, muka air maksimum, muka	Tujuan dari tugas akhir ini adalah memperbaiki pondasi bendungan, mengetahui debit rembesan, menganalisis kemungkinan pemipaan, mengetahui faktor keamanan stabilitas lereng pada bendungan, dan menentukan	Mengetahui nilai debit rembesan dan nilai faktor keamanan tubuh bendung pada tubuh bendungan (saat kondisi muka air normal, muka air

Penelitian	J. Mamizadeh, dkk (2013)	Zhafarina Malaha Nasmiarta dkk (2016)	Suwarsa Putra dkk (2016)	Dwi Nanda Putra dan Sri Hetty Susantin (2018)	M.Suhartono dkk (2020)	Febry Krisdianto (2020)
	halus dan tidak terstruktur.			air minimum dan kondisi darurat surut cepat) dan jumlah debit rembesan serta arah bidang runtuh yang terjadi pada tubuh bendungan tanpa beban gempa dan dengan beban gempa.	RAB Maindam Proyek Bendungan Bendo Ponorogo.	banjir, kondisi surut cepat dengan perbandingan faktor dipengaruhi beban gempa dan tanpa beban gempa)
Metode	Metode yang digunakan adalah untuk menganalisis rembesan menggunakan program GeoSutdio dengan fitur SEEP/W sedangkan untuk menganalisis	Metode yang digunakan untuk menganalisa kebutuhan material menggunakan metode penampang rata-rata, untuk menganalisa rembesan pada tubuh bendungan menggunakan	Metode yang digunakan ialah metode irisan bishop, metode Fellinius, metode Janbu, dan juga dibantu dengan program komputer yaitu Geo-Studio 2007 dengan fitur SLOPE/W unruk menganalisis	Metode yang digunakan untuk mencari nilai faktor keamanan dan jumlah debit rembesan ialah dengan bantuan	Menganalisa kondisi geologi pondasi, menganalisa kapasitas rembesan bendungan, menganalisa kemungkinan terjadinya piping, menganalisa stabilitas lereng dan	Metode yang digunakan untuk mencari nilai debit rembesan menggunakan metode casagrande dan dibantu dengan

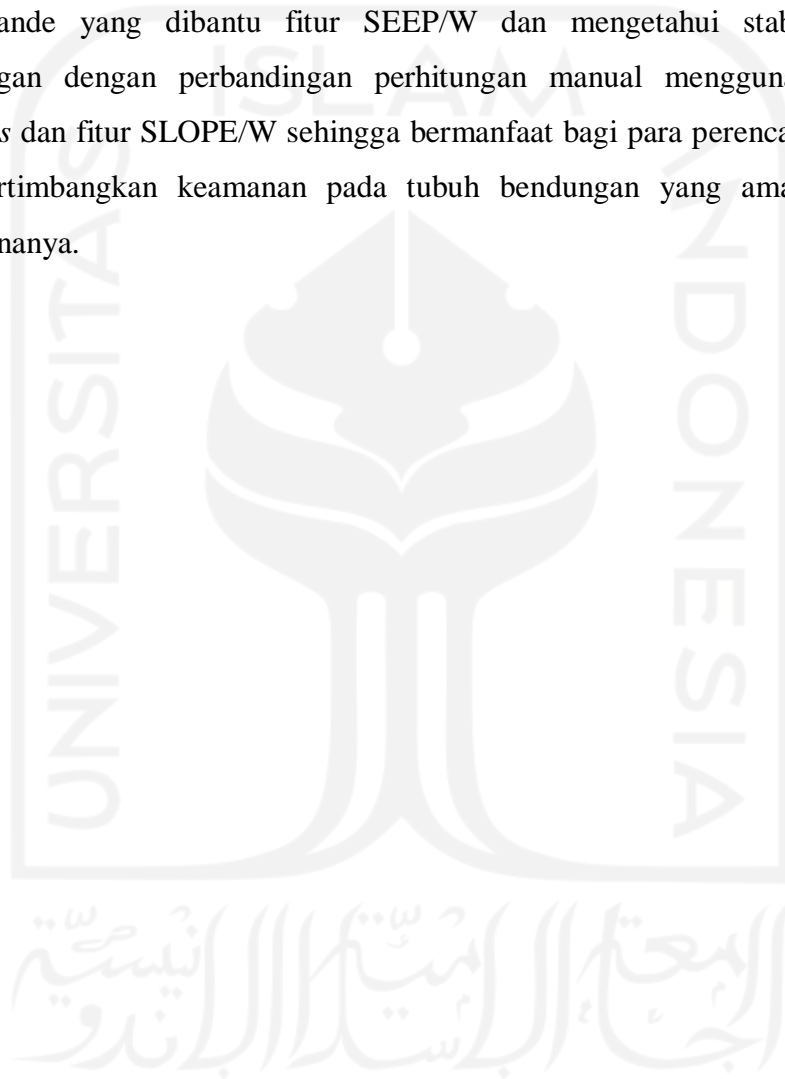
Penelitian	J. Mamizadeh, dkk (2013)	Zhafarina Malaha Nasmiarta dkk (2016)	Suwarsa Putra dkk (2016)	Dwi Nanda Putra dan Sri Hetty Susantin (2018)	M.Suhartono dkk (2020)	Febry Krisdianto (2020)
	menggunakan Program Geostudio dengan fitur SLOPE/W dan menggunakan metode bishop, janbu, ordinary method of slide dan metode morgenstern.	rumus Darcy, dan menganalisa stabilitas lereng menggunakan perhitungan manual (metode <i>Bishop</i>) dan bantuan program Geo-Studio Slope/W 2007.	stabilitas lereng bendungan dengan beberapa kondisi termasuk pemanfaatan pemakaian geotekstil	program PLAXIS 2D 2016.	menghitung RAB (Rencana Anggaran Biaya) pada tubuh bendungan	fitur SEEP/W dan menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode fellenius dan dibantu dengan fitur SLOPE/W untuk mengetahui angka keamanan lereng pada tubuh bendungan.
Hasil Penelitian	Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata laju aliran kebocoran dengan ukuran mata jaring yang berbeda untuk bendungan ilam sebesar 0.836 liter per detik untuk seluruh	Hasil dari penelitian yaitu, pada tubuh bendungan alternatif 1 dan alternatif 2 memiliki kebutuhan material yang tercukupi atau tidak melebihi ketersediaan material yang ada dilapangan akan	Hasil analisis stabilitas lereng bendungan Titab dengan pemasangan geotekstil : Pada saat bendungan baru selesai dibangun (<i>immediately after completion</i>) Fellinius = 1,38 ; Bishop = 1,43 ; Wedge = 1,48.	Hasil faktor keamanan dengan menggunakan analisis tidak ganda (<i>uncoupled analysis</i>) apabila dibandingkan	Analisis menghasilkan 3 metode perbaikan bendungan: grouting tirai dengan kedalaman 39,83m, grouting konsolidasi dengan kedalaman 5m, dan grouting selimut dengan kedalaman	Perhitungan angka keamanan bendungan tanpa beban gempa dan dengan beban gempa untuk kondisi bendungan muka air

Penelitian	J. Mamizadeh, dkk (2013)	Zhafarina Malaha Nasmiarta dkk (2016)	Suwarsa Putra dkk (2016)	Dwi Nanda Putra dan Sri Hetty Susantin (2018)	M.Suhartono dkk (2020)	Febry Krisdianto (2020)
	panjang bendungan.	tetapi tubuh bendungan alternatif 1 dan alternatif 2 memiliki stabilitas yang tidak aman di beberapa kondisi dan tidak sesuai dengan kriteria keamanan minimum yang dianjurkan. Sedangkan pada alternatif 3 memiliki kebutuhan material yang tidak tercukupi untuk timbunan bendungan tetapi memiliki stabilitas tubuh bendungan yang lebih stabil dan aman pada semua kondisi dibandingkan alternatif bendungan 1 dan 2. Berarti pada perencanaan konstruksi bendungan Ladongi sebaiknya	Pada saat air waduk penuh (<i>reservoir full</i>) Fellinius = 1,27 ; Bishop = 1,31 ; Wedge = 1,38. Pada saat air waduk mengalami penurunan secara tiba-tiba (<i>rapid draw down</i>) Fellinius = 1,32 ; Bishop = 1,38 ; Wedge = 1,41. Manfaat dari pemasangan geotekstil tipe/ukuran D17 dan D15 pada bendungan Titab antara lain : Sebagai separator, yaitu sebagai pemisah antara dua jenis lapisan tanah yang berbeda granulasinya, tanpa mencegah sirkulasi air. Pada bendungan Titab memisahkan material inti dan material	dengan nilai faktor keamanan dengan analisis ganda (<i>coupled analysis</i>) tidak berbeda jauh, namun faktor keamanan pada analisis stabilitas dengan analisis tidak ganda (<i>uncoupled analysis</i>) lebih besar dari analisis stabilitas dengan analisis ganda (<i>coupled analysis</i>).	15m; kapasitas debit rembesan <1% rata-rata air lewat yang berarti aman; kecepatan rembesan (7,3816 x 10 ⁻⁷ m / detik) <kecepatan kritis (0,004017m / detik) dan 11,97> 4 berarti aman untuk perpipaan; > 1,5 stabilitas lereng dalam berbagai kondisi tanpa beban gempa yang berarti aman; 1.2 stabilitas lereng dalam berbagai kondisi dengan beban gempa yang berarti aman; perkiraan biaya untuk bendungan utama sebesar Rp290.388.884.070,62	banjir, kondisi bendungan muka air normal, kondisi bendungan muka air minimum, dan kondisi bendungan surut cepat (<i>rapid draw down</i>) untuk bagian lereng hulu dan hilir dengan metode <i>Fellenius</i> dan dengan <i>Slope/W</i> memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan.

Penelitian	J. Mamizadeh, dkk (2013)	Zhafarina Malaha Nasmiarta dkk (2016)	Suwarsa Putra dkk (2016)	Dwi Nanda Putra dan Sri Hetty Susantin (2018)	M.Suhartono dkk (2020)	Febry Krisdianto (2020)
		<p>mnggunakan alterantif bendungan 3 sebagai acuan tetapi diharuskan mencari alternatif lokasi lain untuk mengatasi kekurangan material yang ada.</p>	<p>random, sebagai filter dan drainase, yaitu untuk mencegah migrasi partikel-partikel dari tanah atau lumpur bersama aliran air, dan meningkatkan angka keamanan kestabilan lereng dibandingkan dengan tanpa geotekstil. Manfaat geotekstil terhadap rembesan yaitu memperpendek arah aliran rembesan air pada tubuh bendung dan tidak sampai ke lereng bagian hilir, memperkecil berat volume (γ_{sat}), dan semakin kecil γ_{sat} maka semakin stabil sebuah lereng</p>			

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penyajian mengenai penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya seperti pada Tabel 2.1, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini sudah ada beberapa dilakukan penelitian di lokasi yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai debit rembesan dengan metode cassagrande yang dibantu fitur SEEP/W dan mengetahui stabilitas lereng bendungan dengan perbandingan perhitungan manual menggunakan metode *fellenius* dan fitur SLOPE/W sehingga bermanfaat bagi para perencana agar lebih mempertimbangkan keamanan pada tubuh bendungan yang aman bagi para penggunanya.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Tanah

3.1.1. Umum

Tanah merupakan lapisan teratas lapisan bumi. Tanah memiliki ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda antara tanah di satu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Fauzief & Suhendra (2018), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan.

Menurut Hardiyatmo H. C. (2014) Tanah, di alam terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran dengan mudah dipisah-pisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Tanah berasal dari pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan tersebut.

Istilah-istilah seperti pasir, kerikil, lanau, dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah terdapat dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, pasir berlempung adalah pasir yang mengandung lempung, dengan material utama pasir dan lempung berlanau adalah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah lempung dan seterusnya.

3.1.2. Tanah Lempung

Menurut Bowles (1989), tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif.

Lempung adalah agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis. Dalam keadaan kering sangat keras dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan permeabilitas lempung sangat rendah. Untuk lempung dalam keadaan plastis ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin, serta amat keras. Pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket (Terzaghi, 1987)

Sifat-sifat tanah lempung pada umumnya terdiri dari (Hardiyatmo H. C.2002) :

1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

3.1.3. Klasifikasi Tanah

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Terdapat 2 macam sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Beberapa sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Sistem-sistem tersebut ialah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan USCS (*Unified*

Soil Classification System).

1. Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*)

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (subbase) dan tanah dasar (subgrade). Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Apabila dalam sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasi tanah, maka data dari uji di cocokan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 3.1 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau-lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 batas cair (LL)	---	---	≤ 41	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
Indeks elastisitas (PI)	≤ 6	NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar tanah	Baik sekali sampai baik							sedang sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

sumber : Das, 1995



2. Sistem Klasifikasi Tanah USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik fondasi seperti bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan. Klasifikasi berdasarkan Unified System, tanah dikelompokkan menjadi 2 jenis sebagai berikut.

- a. tanah berbutir kasar adalah tanah yang <50% bahannya tertahan pada saringan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*), dan
- b. tanah berbutir halus adalah tanah yang >50% bahannya lolos pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Adapun simbol-simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah sebagai berikut.

- a. G = *gravel* (kerikil),
- b. S = *sand* (pasir),
- c. C = *clay* (lempung),
- d. M = *silt* (lanau),
- e. O = *organic silt or clay* (lanau atau lempung organik),
- f. Pt = *peat and highly organic soil* (tanah gambut dan tanah organik tinggi),
- g. W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik),
- h. P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk),
- i. L = *low plasticity* (plastisitas rendah, nilai LL < 50), dan
- j. H = *high plasticity* (plastisitas tinggi, nilai LL > 50).

Pengelompokkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% butiran berbahan saringan No. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar bertahan saringan No. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200 (0,075 mm)	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Lanjutan Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

		Kriteria Klasifikasi	
<p>Klasifikasi berdasarkan persentas butir halus</p> <p>Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampel 12% lolos ayakan No.200</p> <p>GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dari simbol</p>	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$		
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
	Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$		

Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti Batasan klasifikasinya Menggunakan simbol.
 Persamaan garis A :
 $PI = 0,78(LL-20)$

The figure is a Plasticity Chart with Plasticity Index (PI) on the vertical axis (0 to 60) and Liquid Limit (LL) on the horizontal axis (0 to 110). A dashed line labeled 'U-LINE' and a solid line labeled 'A-LINE' are plotted. The chart is divided into several regions: CL or OL (top left), CH or OH (top right), ML or OL (bottom left), and MH or OH (bottom right). A shaded region between LL=16 and LL=25, and PI=4 and PI=7, is labeled CL-ML.

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

3.2. Parameter Tanah

3.2.1. Umum

Menurut Hardiyatmo H. C. (2002) segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butiran-butiran tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori.

3.2.2. Permeabilitas

Menurut Wesley (1973) rembesan (permeabilitas) adalah kemampuan tanah untuk dapat dirembes air. Rembesan air dalam tanah hampir selalu berjalan secara linier yaitu jalan atau garis yang ditempuh air merupakan garis dengan bentuk yang teratur (*smooth curve*).

Koefisien permeabilitas tanah tergantung beberapa faktor yaitu kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, ke kasaran permukaan butiran tanah, dan derajat keasaman jenuh (Das, 1988).

Tabel 3. 3 Klasifikasi Permeabilitas

Permeabilitas (cm/jam)	Kelas
< 0.125	Sangat Rendah
0.125 – 0.5	Rendah
0.5 – 0.2	Agak Rendah
2.0 – 6.35	Sedang
6.35 – 12.7	Agak Cepat
12.7 – 25.4	Cepat
> 25.4	Sangat Cepat

(Sumber : Sitorus, 1980 dalam Ishak, 1991)

3.2.3. Kohesi

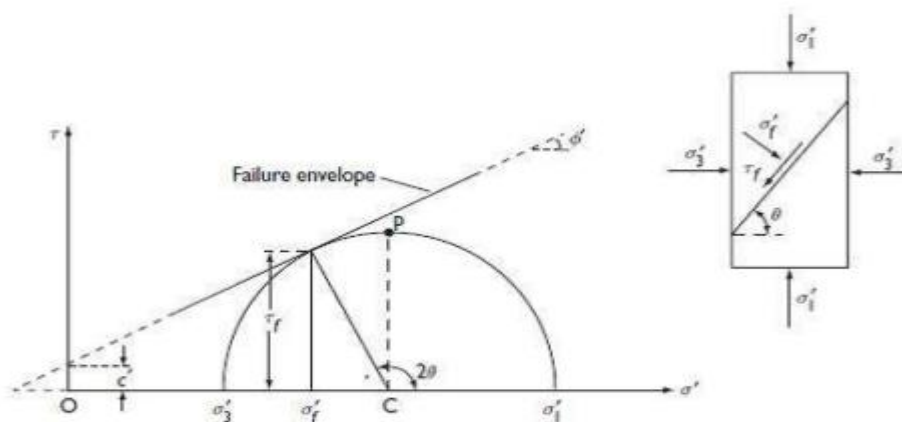
Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Nilai kohesi (c) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (direct shear strength test) dan pengujian triaxial (triaxial test). Salah satu aspek yang memengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan semakin besar maka kohesi yg akan didapatkan semakin besar. Dalam hal ini, benda berbentuk padat memiliki kohesi yang paling besar dan sebaliknya pada cairan.

3.2.4. Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo H. C.(2010) parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian tersebut, Coloumb (1776) mendefinisikan τ sebagai Persamaan 3.1 dan digambarkan dengan grafik seperti pada Gambar 3.1 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}(\varphi) \quad (3.1)$$



Gambar 3. 1 Grafik Mohr dan Coloumb

dengan:

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (°)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

3.2.5. Sudut Geser Dalam Tanah

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. Besaran nilai sudut geser dalam (ϕ) juga berkaitan dengan tingkat kepadatan suatu jenis tanah, yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3. 4 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil kepasiran	35 - 40
Kerikil kerakal	35 - 40
Pasir padat	35 - 40
Pasir lepas	30
Lempung	25 - 30
Lanau	20 - 25

(Sumber : DAS, 1994)

3.3. Bendungan

3.3.1. Umum

Secara umum yang dimaksud bendungan adalah bangunan berupa urugan tanah, urugan batu, beton dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan

menampung limbah tambang (*tailing*) atau menampung lumpur sehingga membentuk waduk (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2010).

Bendungan bermanfaat sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan. Bendungan juga digunakan untuk keperluan irigasi, tempat rekreasi, tempat penampungan limbah, air minum industri, cadangan air minum, pengendali banjir, perikanan, pariwisata dan olahraga air.

3.3.2. Bendungan Urugan

Bendungan urugan adalah bendungan yang terbuat dari bahan urugan dari *borowarea* (*borrow area*) yang dipadatkan dengan menggunakan *vibrator roller* atau alat pemadat lainnya yang sesuai pada seetiap hamparan dengan tebal tertentu (Air, 2008).

Bendungan urugan, umumnya diklasifikasikan lagi menjadi beberapa jenis berdasar pada material yang digunakan, yaitu.

1. Bendungan urugan tanah (*earth fill dam*).
2. Bendungan urugan batu (*rock fill dam*).

Bendungan urugan memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari bendungan urugan yaitu, pembangunannya dapat dilaksanakan pada hampir semua kondisi geologi dan bahan untuk tubuh bendungan dapat digunakan batuan yang terdapat disekitar lokasi pembangunan bendungan. Sedangkan kelemahan dari bendungan urugan, yaitu tidak mampu menahan limpasan diatas mercunya dan dimana limpasan-limpasan yang terjadi dapat menimbulkan kelongsoran pada lereng hilir yang dapat mengakibatkan jebolnya bendungan tersebut.

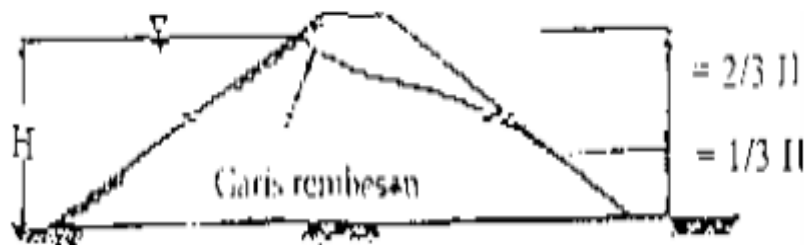
3.3.3. Klasifikasi Bendungan Urugan

Sehubungan dengan fungsinya sebagai pengempang air atau pengangkat permukaan air di dalam suatu waduk, maka secara garis besarnya tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air ke arah hilir serta penyangga

tandonan air tersebut. Ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan untuk dapat memenuhi 'fungsinya dengan baik, maka bendungan urugan dapat digolongkan dalam 3 (tiga) type utama, yaitu.

1. Bendungan urugan homogen (bendungan homogen)

Bedungan urugan homogen adalah suatu bendungan urugan yang bentuk tubuh bendungannya terdiri dari tanah yang hampir sejenis dengan klasifikasi hampir homogen (dari *borrow area*) dan dipadatkan secara mekanik dengan menggunakan *vibrator roller* atau alat lainnya yang sesuai pada setiap hamparan dengan tebal tertentu. Bendungan homogen merupakan yang paling sederhana dibandingkan dengan tipe-tipe lainnya, akan tetapi sering dihadapi masalah yang menyangkut dengan tubuh bendungan. Hal ini disebabkan karena diseluruh tubuh bendungan terletak di bawah garis rembesan (*seepage line*), senantiasa dalam kondisi jenuh, sehingga daya dukung, kekuatan geser serta susut luncur alamiahnya menurun pada tingkat yang rendah Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Garis Rembesan pada Bendungan Homogen

(Sumber : Pelatihan Pelaksana Bendungan)

3.4. Rembesan

3.4.1. Umum

Rembesan pada bendungan dan pondasi merupakan faktor penting dalam stabilitas bendungan. Rembesan merupakan aliran secara terus menerus mengalir dari hulu menuju hilir. Aliran air ini merupakan aliran dari air waduk melalui material yang lulus air (*permeable*), abik melalui tubuh bendungan maupun

pondasi. Maka dari itu pola aliran dan debit rembesan yang keluar melalui tubuh bendungan dan pondasi sangat penting dan perlu diperhatikan.

Semakin cepat muka air turun ke bawah maka FK lereng akan semakin berkurang. Hal ini menunjukkan kecepatan penarikan permukaan air adalah faktor utama yang mempengaruhi stabilitas lereng. Semakin besar kecepatan penarikan level air maka akan semakin mengurangi stabilitas lereng.

3.4.2. Persamaan Darcy

Hukum Darcy dapat digunakan untuk menghitung debit rembesan yang melalui struktur bendungan. Dalam merencanakan sebuah bendungan, perlu diperhatikan stabilitasnya terhadap bahaya longsor. Erosi lereng dan kehilangan air akibat rembesan yang melalui tubuh bendungan. Beberapa cara diberikan untuk menentukan besarnya rembesan yang melewati bendungan yang dibangun dan tanah homogen. Berikut ini disajikan beberapa cara untuk menentukan debit rembesan.

Dasar teori untuk persamaan perhitungan rembesan adalah dengan menggunakan rumus Darcy sebagai berikut (Sosrodarsono & Takeda,1981). Yang dapat dilihat pada Persamaan 3.2, 3.3, 3.4 sebagai berikut.

$$Q = A \cdot k \cdot i \quad (3.2)$$

$$Q = N_f \cdot k \cdot h \cdot L \quad (3.3)$$

$$V = N_p \cdot i \quad (3.4)$$

dengan :

A = luas penampang basah (m²)

k = koefisien permeabilitas (m/dt)

i = gradien hidrolis

h = tinggi muka air (m)

L = panjang profil melintang tubuh bendungan (m)

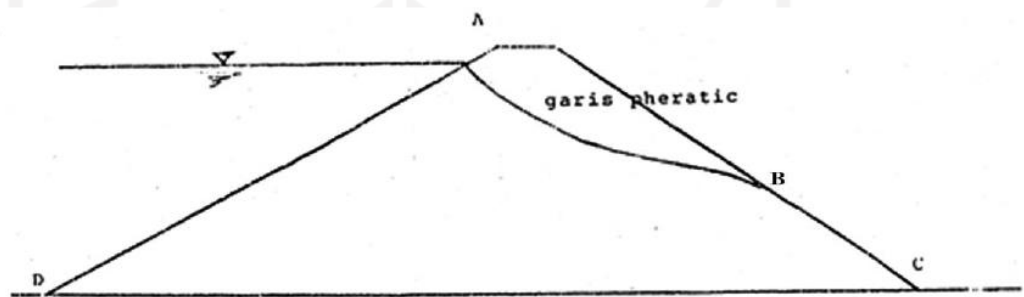
V = kecepatan air rembesan (m/dt)

N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

N_p = angka pembagi dari garis equipotensial

3.4.3. Garis Freatik

Garis freatik adalah garis aliran air yang berhubungan dengan bidang imajiner dalam tubuh dan pondasi bendungan yang tekanan air dan porinya sama dengan tekanan atmosfer. Jaringan aliran untuk bendungan tanah yang fondasinya berupa tanah yang kedap air dapat digambarkan mengikuti prosedur yang telah dibicarakan terdahulu, hanya saja haruslah diperhatikan beberapa hal. Contoh jaringan aliran pada bendungan yang homogen dan potongan melintang garis freatik pada bendungan urugan dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.

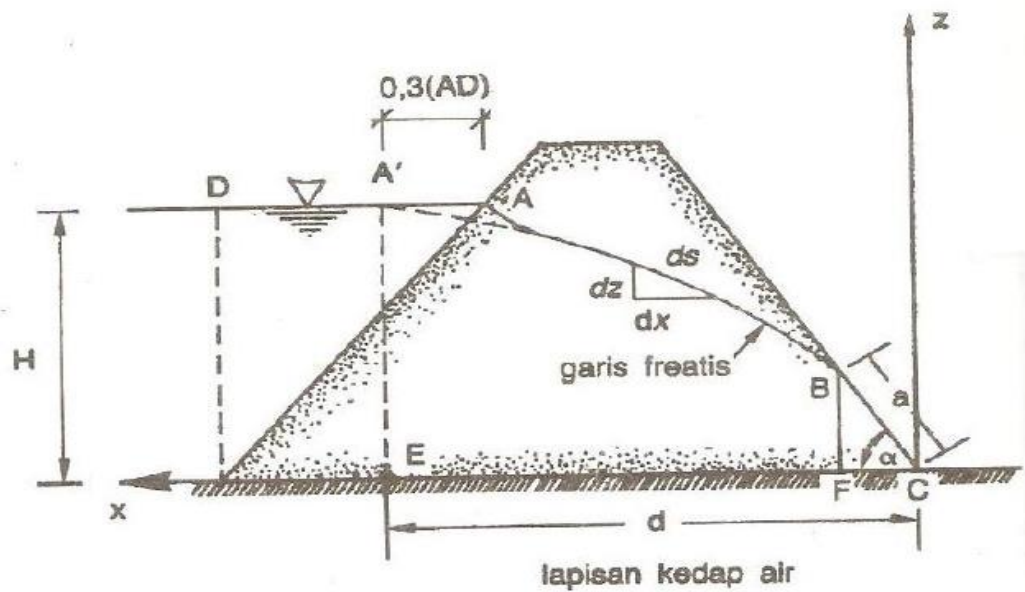


Gambar 3. 3 Jaringan Aliran pada Bendungan yang Homogen

(Sumber : Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi 2017)

3.4.4. Metode Casagrande

A. Casagrande (1937) memberikan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh bendungan yang berasal dari pengujian model. Pemodelan metode Casagrande dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Hitungan Rembesan Cara Casagrande

(Sumber : Hardiyatmo, 2006)

Besarnya debit rembesan dapat ditentukan dengan persamaan 3.5, 3.6 sebagai berikut.

$$q = ka \sin^2 \alpha \quad (3.5)$$

$$\alpha = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{(d^2 - H^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha)} \quad (3.6)$$

Dengan :

q = debit rembesan (m³ /det)

k = koefisien permeabilitas (m/det)

α = sudut hilir tanggul

d = jarak horizontal antara E dan C (m)

a = panjang zona basah (m)

H = tinggi muka air (m)

3.4.5. Keamanan Rembesan Bendungan

Mengikuti Pedoman Grouting Untuk Bendungan Departemen Pekerjaan Umum-SDA yang mengacu pada batasan yang berlaku di Jepang (Japanese Institute of Irrigation and Drainage 1988) nilai angka rembesan yang

diperkenankan pada bendungan yaitu sebanyak total rembesan dari waduk yang melewati pondasi dan badan bendungan tidak boleh lebih dari 1% rata-rata debit sungai yang masuk ke dalam waduk. Batas aman rembesan berdasarkan debitnya mengikuti Pedoman Grouting Untuk Bendungan Departemen Pekerjaan Umum - SDA yang mengacu pada batsan yang berlaku di Jepang (*Japanese Institute of Irrigation and Drainage 1988*) nilai angka rembesan yang diperkenankan pada bendungan yaitu sebanyak totak rembesan dari waduk yang melewati pondasi dan badan bendungan tidak boleh lebih dari 1% rata-rata debit sungai yang masuk ke dalm waduk. Pada bendungan Prijetan berdasarkan laporan hidrologinya diperoleh sebesar 7.9 m³/det

Menurut Hardiyatmo H. C.(2017) menyatakan bahwa nilai faktor keamanan bangunan air berupa perbandingan antara nilai gradie n hidrolik kritis dengan gradien keluar maksimum harus lebih besar dari 3 sampai dengan 4. Syarat keamanan Bendungan berdasarkan gradien hidrolik dirumuskan pada Persamaan 3.7, 3.8, 3.9 sebagai berikut.

$$\text{Syarat Keamanan : } \frac{i_c}{i_e} > 3 \text{ s/d } 4 \quad (3.7)$$

$$\text{Gradien Hidrolik Kritis} = i_c = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (3.8)$$

$$\text{Gradien Keluar Maksimum} = i_e = C \frac{h}{B} \quad (3.9)$$

Dengan :

γ' = Berat Volume Terapung

γ_w = Berat Volume air

i_c = Gradien hidrolik dari material

i_e = Gradien hidrolik debit

G_s = Berat jenis tanah

e = Angka pori

3.5. Stabilitas

3.5.1. Pengertian Stabilitas

Stabilitas bendung merupakan perhitungan kontruksi untuk menentukan

ukuran bendung agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam segala keadaan, dalam hal ini termasuk terjadinya angin kencang dan gempa bumi hebat dan banjir besar. Syarat-syarat stabilitas konstruksi seperti lereng di sebelah hulu dan hilir bendung tidak mudah longsor, harus aman terhadap geseran, harus aman terhadap rembesan, dan harus aman terhadap penurunan bendung.

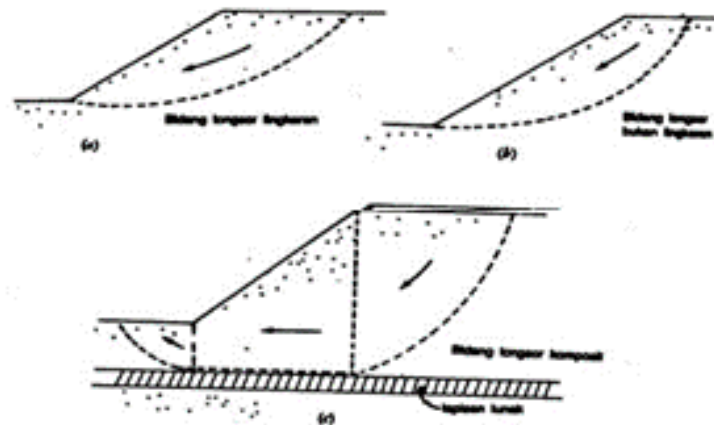
Perhitungan konstruksi yang dilakukan untuk menentukan dimensi/ ukuran bendung (weir) supaya mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja pada bendung dalam keadaan apapun, termasuk banjir besar dan gempa bumi. Penyelidikan geologi teknik, ditujukan untuk mengetahui apakah pondasi bendung cukup kuat, apakah rembesan airnya tidak membahayakan konstruksi, dan apakah bendung akan dapat dioperasikan bagi penggunaan airnya dalam jangka waktu yang lama minimal 30 tahun (Mawardi & Memet, 2010).

Syarat-syarat stabilitas bendung antara lain.

1. Pada konstruksi batu kali dengan selimut beton, tidak boleh terjadi tegangan tarik.
2. Momen tahan lebih besar dari pada momen guling.
3. Konstruksi tidak boleh menggeser.
4. Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tanah yang diijinkan.
5. Setiap titik pada seluruh konstruksi harus tidak boleh terangkat oleh gaya ke atas (balance) antara tekanan ke atas dan tekanan ke bawah.

3.5.2. Metode Fellenius (1936)

Pengamatan longsor lereng oleh Hardiyatmo H. C. (2002) menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa longsor tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Keruntuhan lereng dari jenis tanah kohesif banyak terjadi karena bertambahnya kadar air tanah . Sebab terjadinya longsor adalah karena tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan gerakan tanah longsor ke bawah, pada bidang longsonya.

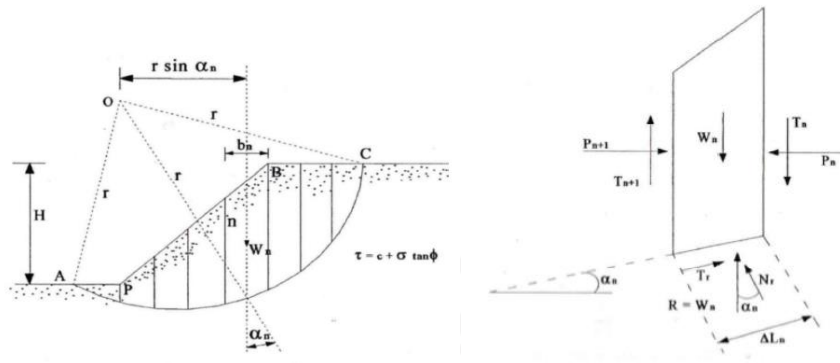


Gambar 3. 5 Bentuk Bentuk Bidang Longsor

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Lengkung bidang longsor dapat berbentuk bidang lingkaran (silinder), spiral logaritmus ataupun kombinasi dari keduanya. Kadang-kadang, dijumpai pula suatu bidang longsor yang tidak berupa kurva menerus akibat perpotongan dari bidang longsor tersebut dengan lapisan tanah keras (seperti: lempung sangat kaku, pasir padat, permukaan batu) atau lapisan yang sangat lunak. Contoh bentuk-bentuk bidang longsor ini diperlihatkan dalam gambar di atas.

Bentuk anggapan bidang longsor berupa lingkaran dimaksudkan untuk mempermudah hitungan analisis stabilitasnya secara matematik, dan dipertimbangkan mendekati bentuk sebenarnya dari bidang longsor yang sering terjadi di alam. Kesalahan analisis stabilitas lereng tidak banyak disebabkan oleh bentuk anggapan bidang longsor, akan tetapi oleh kesalahan dalam penentuan sifat-sifat tanah dan penentuan lokasi bidang longsor kritisnya (Bowle, 1984 dalam Hardiyatmo,2002).



Gambar 3. 6 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

(Sumber : Das, 1995)

Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1927) dalam Hardiyatmo (2002) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori. Faktor aman didefinisikan dengan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$F = \frac{\sum M_t}{\sum M_d} \quad (3.10)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \cdot \sin q$, maka dapat dilihat dengan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin q \quad (3.11)$$

dengan :

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor

n = Jumlah irisan

W = Berat massa tanah irisan ke- i

q = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas.

Dengan cara yang sama , momen yang menahan tanah akan longsor,

dihitung dengan Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$\Sigma M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca + N \cdot \tan \varphi) \quad (3.12)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman menjadi Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca + N \cdot \tan \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin \theta} \quad (3.13)$$

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik-titik pusat lingkaran. Mensubstitusikan persamaan diatas sehingga memperoleh Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca + (W_i \cdot \cos \theta - u_i \cdot a_i) \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin \theta} \quad (3.14)$$

dengan:

F = Faktor aman.

c = Kohesi tanah (kN/m) .

φ = dalam tanah (°)

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i (m)

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN).

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)

θ = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas.

Jika terdapat gaya-gaya selain berat tanahnya sendiri ,seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d . Metode Fellinius menghasilkan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5 sampai 40% tergantung dan faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total,

kesalahan masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkaran (Whitman dan Baily, 1967 dalam Hardiyatmo, 2002). Cara ini telah banyak digunakan dalam praktek, karena cara hitung sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman.

3.5.3. Kriteria Nilai Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Bendungan

Gambaran kondisi kewanaman lereng bendungan diberikan dari hasil analisis stabilitas lereng bendungan berupa nilai Faktor Keamanan (FK). (Standar Nasional Indonesia, SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan), 2016) membahas tentang analisis stabilitas lereng statik bendungan tipe urugan dengan kriteria nilai faktor keamanan untuk berbagai kondisi bendungan, yang terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Kriteria Faktor Keamanan Minimum untuk Stabilitas Bendungan Tipe Urugan

NO	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air pori	FK Tanpa Gempa	FK dengan Gempa *
1	Selesai Kontruksi tergantung : 1. Jadwal kontruksi 2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu Lereng U/S dan D/S Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 50% koefisien gempa desain	1.Efektif	Peningkatan tekanan air pori pada urugan dan fondasi dihitung menggunakan data lab. Dan pengawasan instrument.	1.3	1.2
			Idem hanya tanpa pengawasan instrument	1.4	1.2
			Hanya pada urugan tanpa dan dengan/tanpa pengawasan instrumen	1.3	1.2
		2.Total	Tanpa Pengawasan	1.3	1.2
2	Aliran Langgeng tergantung : 1.Evaluasi muka air normal sebelah udik. 2.Elevasi muka air sebelah hilir. Lereng/U/S dan D/S	1.Efektif	Dari analisis rembesan	1.5	1.2

NO	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air pori	FK Tanpa Gempa	FK dengan Gempa *
	dengan gempa tapa kerusakan digunakan 100% 100f koef gempa desain.				
3	Pengoperasi waduk tergantung : 1.Elevasi muka air maksimum di udik. 2.Elevasi muka air minimum di udik (<i>dead storage</i>) lereng U/S harus dianalisis untuk kondisi surut cepat.	1.Efektif	Surut cepat dari EL muka air normal sampai El. Muka air minimum lereng U/S dan D/S.	1.3	1.1
			Surut cepat dari El.MA maksimum sampai El.MA minimum. Pengaruh gempa diambil 0% dari koefisien gempa desain.	1.3	
4	Kondisi darurat tergantung : 1.Pembuntuan pada system drainase. 2.Surut cepat karena penggunaan air melebihi kebutuhan. 3.Surut cepat keperluan darurat.	1.Efektif	Surut cepat dari El.MA maksimum sampai EL. Terendah bangunan pengeluaran. Pengaruh gempa diabaikan.	1.2	
*Catatan : periksa standar tentang Metode Analisis stabilitas dinamik bendungan tipe urugan. *)untuk OBE ; sedangkan **)untuk MDE, $FK \geq 1$					

(Sumber : SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan))

3.6. Gempa

3.6.1. Umum

Perhitungan nilai beban gempa dilakukan dengan mengikuti pedoman kontruksi dan bangunan analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat beban gempa yang dikeluarkan oleh (WILAYAH, 2004). Ada dua tinjauan dalam menentukan beban gempa diantaranya sebagai berikut.

1. Gempa dasar operasi (*Operating basis earthquake, OBE*)

Gempa dasar operasi (*Operating basis earthquake, OBE*) ialah gempa dengan batasan guncangan di permukaan tanah pada lokasi studi dengan 50%

kemungkinan tidak terlampaui dalam 100 tahun, yang sebaiknya ditentukan secara probabilistik. Bendungan dan bangunan pelengkap serta peralatannya harus tetap berfungsi dengan baik dan mudah perbaikannya jika terjadi gempa dasar operasi, tetapi tanpa memperhitungkan tinjauan keamanan terhadap kehidupan manusia.

2. Gempa desain maksimum (*Maximum design earthquake*, MDE)

Gempa desain maksimum (*Maximum design earthquake*, MDE) ialah gempa yang memberikan guncangan terbesar di lokasi studi yang akan digunakan untuk desain atau analisis. Untuk bendungan yang keruntuhannya akan mengancam kehidupan, gempa desain maksimum sebaiknya diambil pada batas yang sama dengan CMCE, untuk mempertahankan kapasitas pengisian waduk. Jika keruntuhan bendungan tidak mengancam kehidupan, dapat diambil gempa yang lebih kecil dari CMCE sebagai MDE.

3.6.2. Pengaruh Tingkat Risiko Bangunan

Penentuan pengaruh tingkat risiko bangunan dilakukan dengan beberapa tinjauan diantaranya klasifikasi kelas risiko dan kriteria beban gempa.

1. Klasifikasi Kelas Resiko

Penentuan klasifikasi kelas risiko didapatkan dengan Persamaan 3.15 dan Tabel 3.6 di bawah ini. Parameter klasifikasi kelas risiko didapatkan berdasarkan data teknis bendungan dianalisis.

$$FR_{total} = FR_k + FR_t + FR_e + FR_h \quad (3.15)$$

Dengan :

FR_k = Faktor risiko kapasitas tampung

FR_t = Faktor risiko tinggi bendungan

FR_e = Faktor risiko kebutuhan evakuasi

FR_h = Faktor risiko tingkat kerusakan

Tabel 3. 6 Kriteria Faktor Resiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan

Faktor Risiko	Angka bobot dalam kurung			
	Ekstrema	Tinggi	Moderat	Rendah

Kapasitas ($10^6 m^3$) (FR_K)	>100 (6)	100-1,25 (4)	1,00 – 0,125 (2)	<0,125 (0)	
Tinggi (m) (FRt)	>45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	<15 (0)	
Kebutuhan Evakuasi (jumlah orang) (FRe)	>1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	0 (0)	
Tingkat Kerusakan (FRh)	Sangat Tinggi (12)	Tinggi (10)	Agak Tinggi (8)	Moderat (4)	Tidak Ada (0)

(Sumber : Pedoman Kontruksi Dan Bangunan Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan (Pd T-14-2004-A))

2. Kriteria beban gempa

Setelah didapatkan nilai faktor risiko selanjutnya yaitu menentukan kriteria beban gempa dengan menentukan kelas risiko. Parameter penentuan kelas risiko dan kriteria beban gempa dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3. 7 Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air

Faktor Risiko Total	Kelas Risiko
(0-6)	I (rendah)
(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(31-36)	IV (Ekstrem)

(Sumber : Pedoman Kontruksi Dan Bangunan Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan (Pd T-14-2004-A))

Tabel 3. 8 Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

Kelas risiko dengan masa guna	Persyaratan tanpa kerusakan		Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan	
	T (thn)	Metode Analisis	T (thn)	Metode analisis

IV N=50-100	100 – 200 ad ≥ 0,1 g	Koef Gempa	10.000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
III N=50-100	50 – 100 ad ≥ 0,1 g	Koef Gempa	5000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
II N=50-100	50-100 ad ≥ 0,1 g	Koef Gempa	3000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
I N=50-100	50-100 ad ≥ 0,1 g	Koef Gempa	1000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
Catatan : 1) Untuk bendungan besar dengan kondisi geologi setempat yang khusus, Peta Zona Gempa dalam bab V tidak dapat digunakan, dan perlu dilakukan studi gempa tersendiri. 2) Analisis dinamik dapat dilakukan dengan analisis ragam sambutan gempa atau sejarah waktu percepatan gempa. *) Penjelasan lebih terperinci periksa tabel 17.				

(Sumber: Pedoman Kontruksi Dan Bangunan Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan (Pd T-14-2004-A))

3.6.3. Koefisien Gempa

Koefisien gempa ditentukan nilai percepatan gempa maksimum terkoreksi (*peak ground acceleration*, PGA). Perhitungan koefisien beban gempa menggunakan Persamaan 3.15. Peta Gempa yang digunakan yaitu Peta Gempa 2017 dapat dilihat pada gambar Gambar 3.7 s/d Gambar 3.12 sebagai berikut.

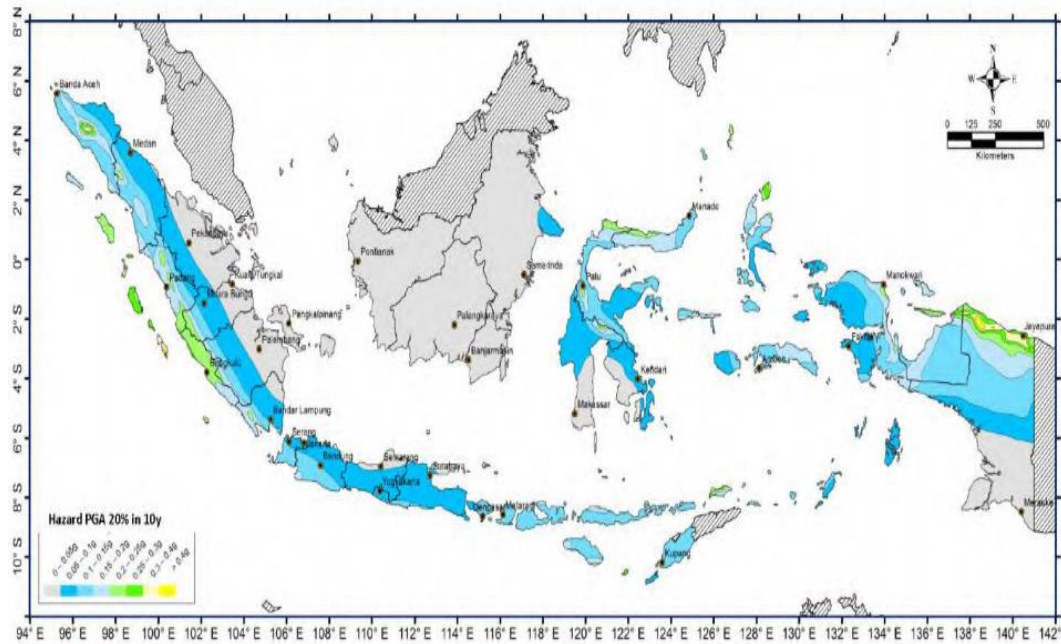
$$PGAM = F_{PGA} \times S_{PGA} \quad (3.16)$$

Dengan :

PGAM = Percepatan puncak di permukaan tanah

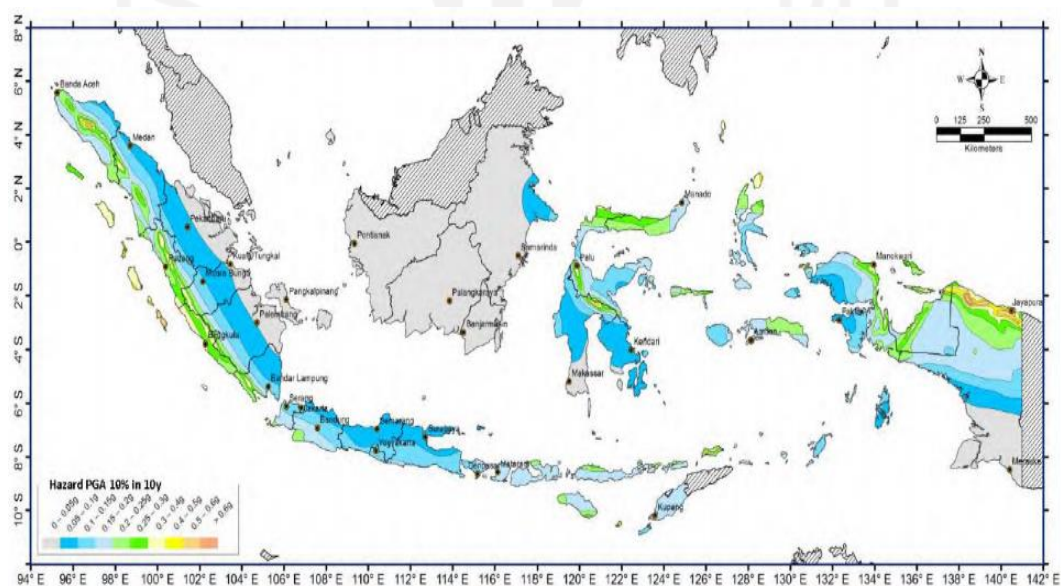
F_{PGA} = Faktor amplikasi untuk PGA (Tabel 3.6)

S_{PGA} = Percepatan tanah di permukaan (Gambar 3.7 s/d Gambar 3.12)



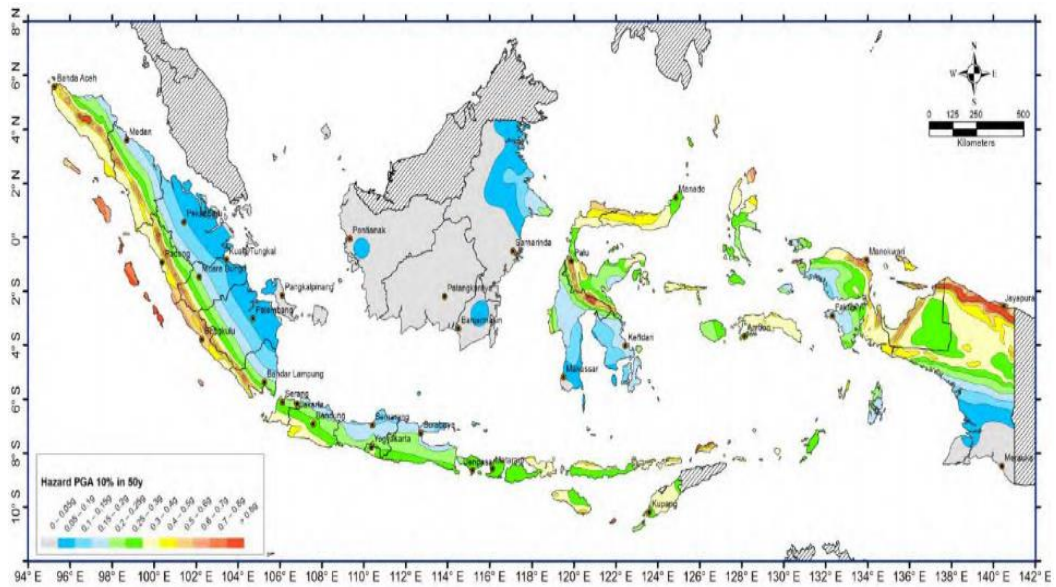
Gambar 3. 7 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 20% Dalam 10 Tahun

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun, 2017)



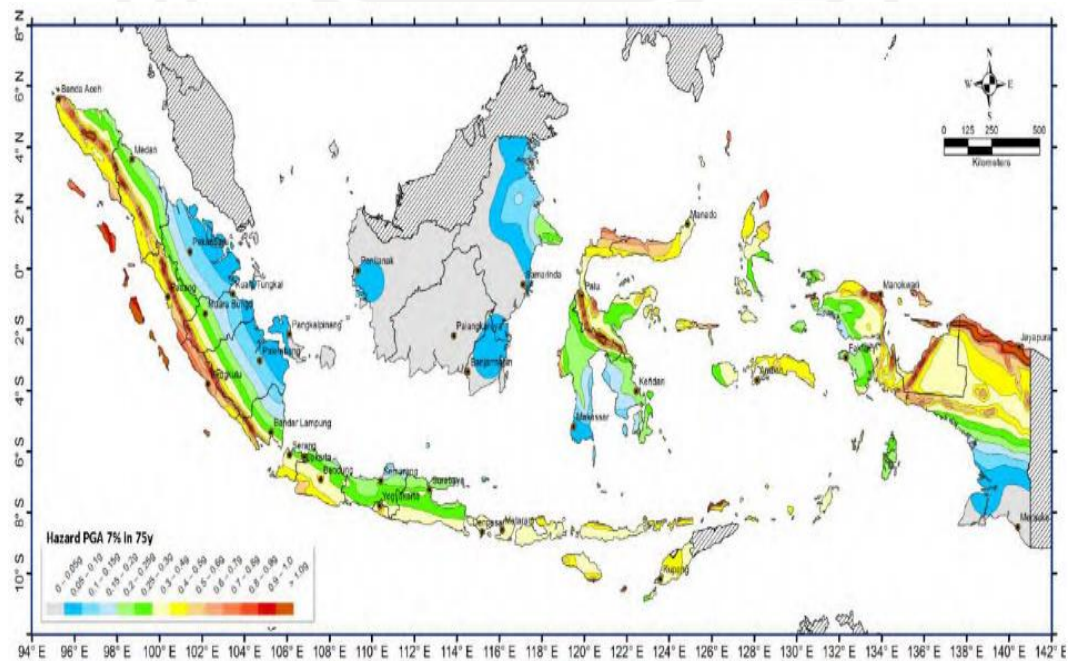
Gambar 3. 8 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 10 Tahun

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun, 2017)



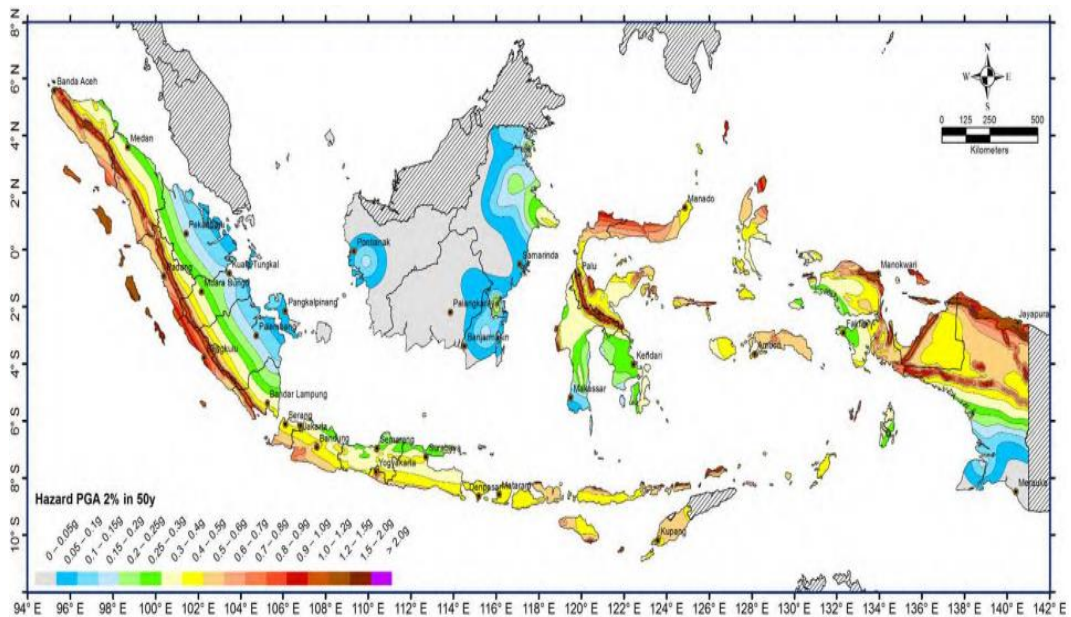
Gambar 3. 9 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun, 2017)



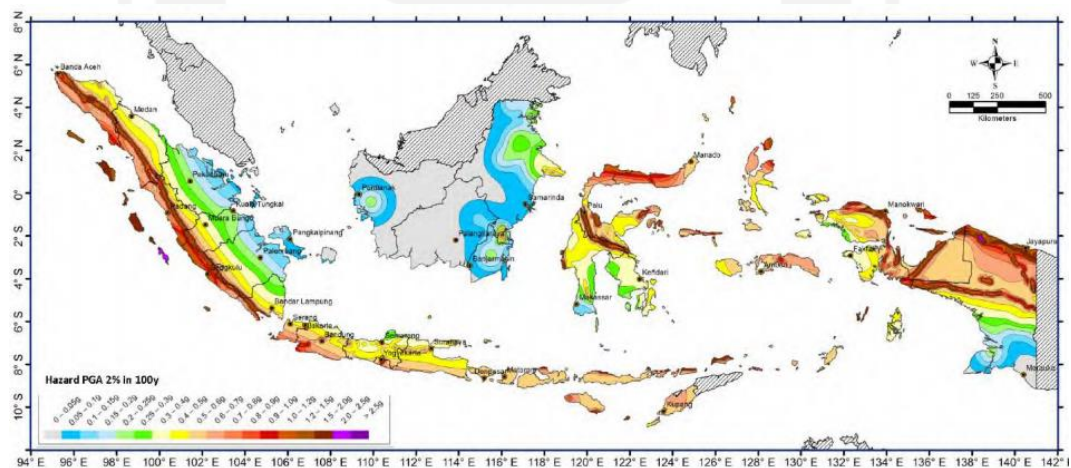
Gambar 3. 10 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun, 2017)



Gambar 3. 11 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun, 2017)



Gambar 3. 12 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (S_B) Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 100 Tahun

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun, 2017)

Tabel 3. 9 Faktor Amplikasi (F_{PGA})

Kelas situs	S_{PGA}				
	PGA 0.1	PGA = 0.2	PGA = 0.3	PGA = 0.4	PGA = 0.5
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

(Sumber : SNI 8460:2017)

1. Cara Koefisien Gempa

Cara ini dilakukan dengan menghitung koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar, seperti Persamaan 3.17 3.18 berikut ini.

$$K_h = \frac{PGAM}{g} \quad (3.17)$$

$$K = \alpha_1 \times K_h \quad (3.18)$$

dengan :

$PGAM$ = Percepatan puncak di permukaan tanah

α_1 = Koreksi Pengaruh Daerah Bebas (*Freefield*) (bendungan tipe urugan : 0,7, namun, untuk Bendungan Beton Dan Pasangan Batu : 1)

K = Koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas.

g = Gravitasi (980 cm/det²)

3.7. Software Geostudio

3.7.1. Umum

GeoStudio adalah perangkat lunak pemodelan untuk insinyur geospasial dan ilmuwan geologi. Kemampuan untuk menganalisis secara akurat dan mengintegrasikan alat-alat khusus dan terapan di bidang rekayasa geofisika dan ilmu bumi telah menjadikan perangkat lunak ini alat yang baik di antara para ahli di bidang ini.

Karena GeoStudio, sebagai seperangkat alat canggih, menggabungkan sejumlah program khusus, memungkinkan Anda untuk menggabungkan berbagai analisis yang Anda dapatkan dari berbagai alat ke dalam proyek pemodelan, dan Gunakan hasil masing-masing untuk membuat survei yang lebih rinci di survei lainnya. GeoStudio mencakup program-program berikut.

1. SLOPE/W adalah suatu *software* untuk menghitung faktor keamanan dan stabilitas lereng.
2. SEEP/W adalah suatu *software* untuk meneliti rembesan bawah tanah.
3. SIGMA/W adalah suatu *software* untuk menganalisa tekanan geoteknik dan masalah deformasi.
4. QUAKE/W adalah suatu *software* untuk menganalisa gempa bumi yang berpengaruh terhadap perilaku tanggul, lahan, dan kemiringan lereng.
5. TEMP/W adalah suatu *software* untuk menganalisa masalah geothermal.
6. CTRAN/W adalah suatu *software* yang dapat digunakan bersama dengan SEEP/W untuk model pengangkutan zat-zat pencemar.
7. AIR/W adalah suatu *software* untuk memodelkan transfer udara dalam limbah tambang dan media berpori lainnya.
8. VADOSE/W adalah suatu *software* memodelkan dan menghitung besarnya energi perputaran aliran air berdasarkan data iklim.

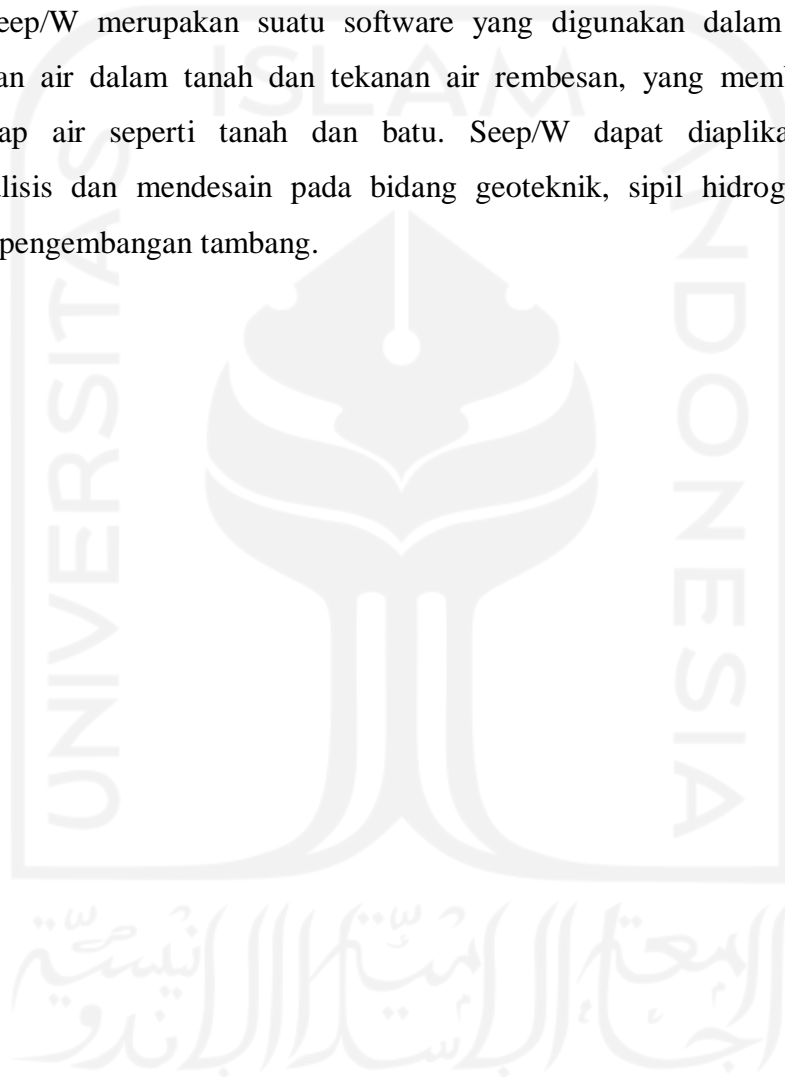
3.7.2. Program SLOPE/W

Program komputer SLOPE/W adalah bagian dari Geostudio yang berfungsi untuk menganalisis SF (*safety faktor*/faktor keamanan) lereng. Geostudio berasal dari Kanada yang dikembangkan oleh perusahaan swasta. SLOPE/W dapat

menganalisis masalah stabilitas baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan (*Limit Equilibrium*) batas untuk berbagai permukaan yang miring.

3.7.3. Program SEEP/W

Seep/W merupakan suatu software yang digunakan dalam menganalisa rembesan air dalam tanah dan tekanan air rembesan, yang membuat material menyerap air seperti tanah dan batu. Seep/W dapat diaplikasikan dalam menganalisis dan mendesain pada bidang geoteknik, sipil hidrogeologika dan proyek pengembangan tambang.



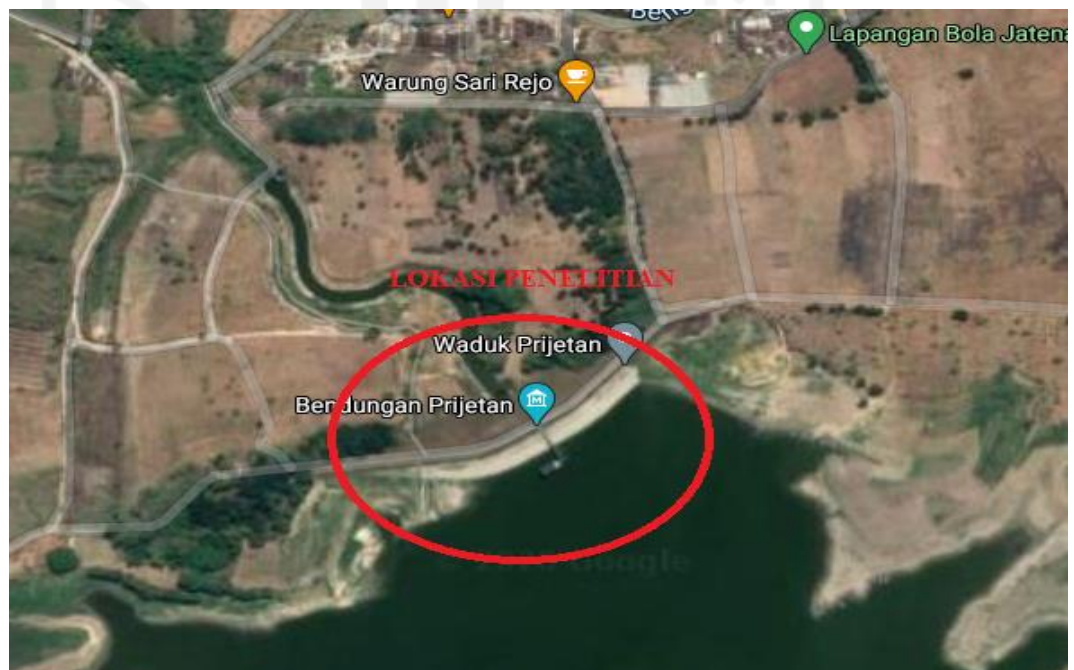
BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada studi kasus Bendungan Prijetan, yang berlokasi di Desa Mlati, Kecamatan Kedungpring, Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur, dengan tinggi bendungan 21 meter dari dasar dan panjang bendungan 360 meter. luas genangan pada elevasi muka air normal adalah adalah 231 Ha, volume tampungan sebesar 8,75 juta m³.

Bendungan ini memiliki luas 231 hektare yang mengairi 4.513 hektare sawah di 33 desa yang berada di tiga kecamatan, yaitu Kedungpring, Sugio dan Modo. selain bermanfaat untuk mendukung irigasi juga dijadikan warga sekitar tempat rekreasi. Bendungan memiliki banyak sekali manfaat untuk memenuhi kebutuhan dari pada manusia. Adapun letak lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian

(Sumber : *Google Maps*)

4.2. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam analisis penelitian ini sebagai berikut ini.

1. Perangkat keras (*Hardware*) berupa Laptop ASUS A455L dengan spesifikasi intelR CoreTM i3-5010U, RAM 2GB DDR3 Memory dan 500GB HDD.
2. Perangkat Lunak (*Software*) berupa aplikasi Microsoft Excel 2010 dan GeoStudio 2017 dengan OS Windows 2010.

4.3. Data Penelitian

Data yang akan dianalisis berupa data sekunder yang di dapat dari pihak konsultan perencana. Setidaknya terdapat beberapa data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut.

1. Data teknis bendungan
2. Data geometri bendungan
3. Data tanah

4.4. Metode Penelitian

1. Metode Casagrande

Metode ini digunakan untuk mencari perhitungan rembesan pada Bendungan Prijetan. Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada sub bab 3.4.4.

2. Metode Fellenius

Metode ini digunakan untuk mencari perhitungan stabilitas lereng Bendungan Prijetan. Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada sub bab 3.5.2.

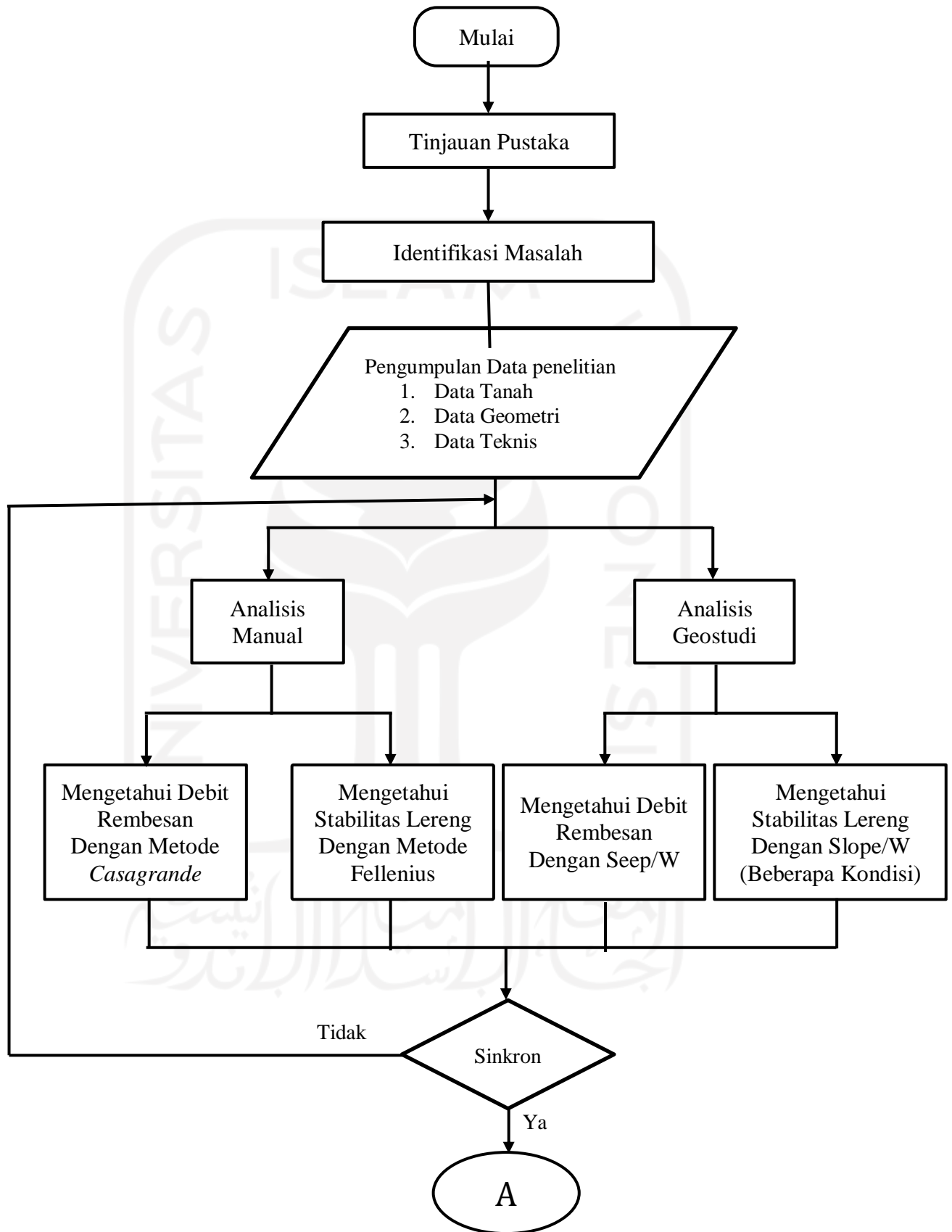
3. Metode Pemodelan Software

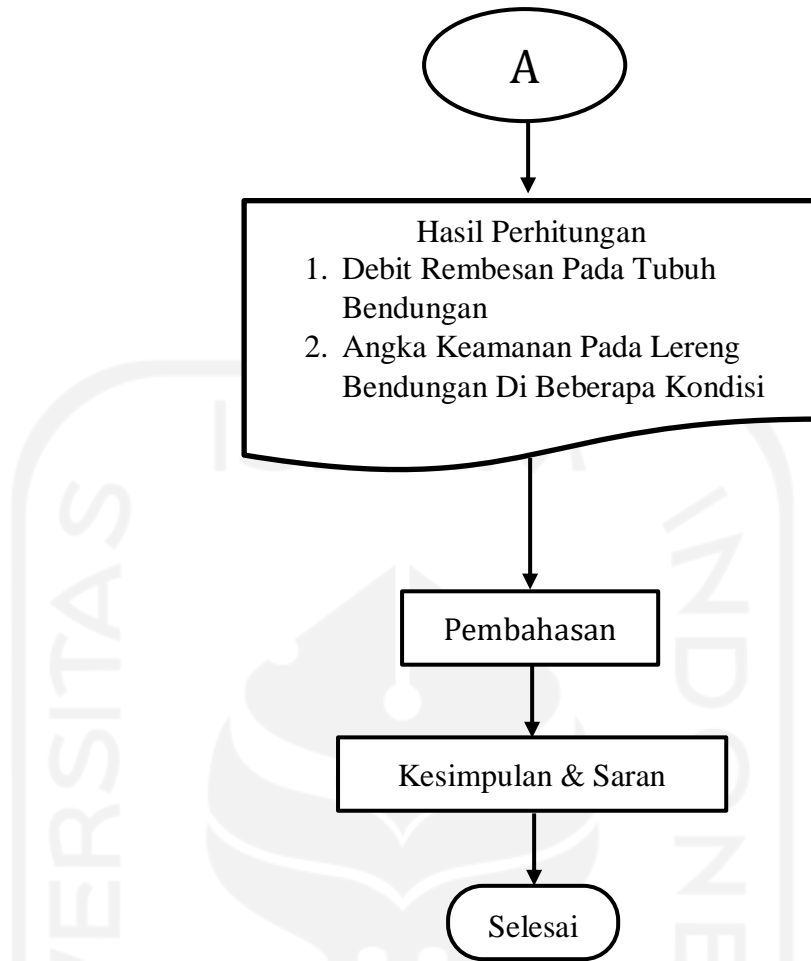
Metode Pemodelan Software pada penelitian ini menggunakan GeoStudio, dimana untuk perhitungan rembesan menggunakan program *SEEP/W* dan perhitungan stabilitas menggunakan program *SLOPE/W*. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada 3.7.

4.5. Bagan Aliran

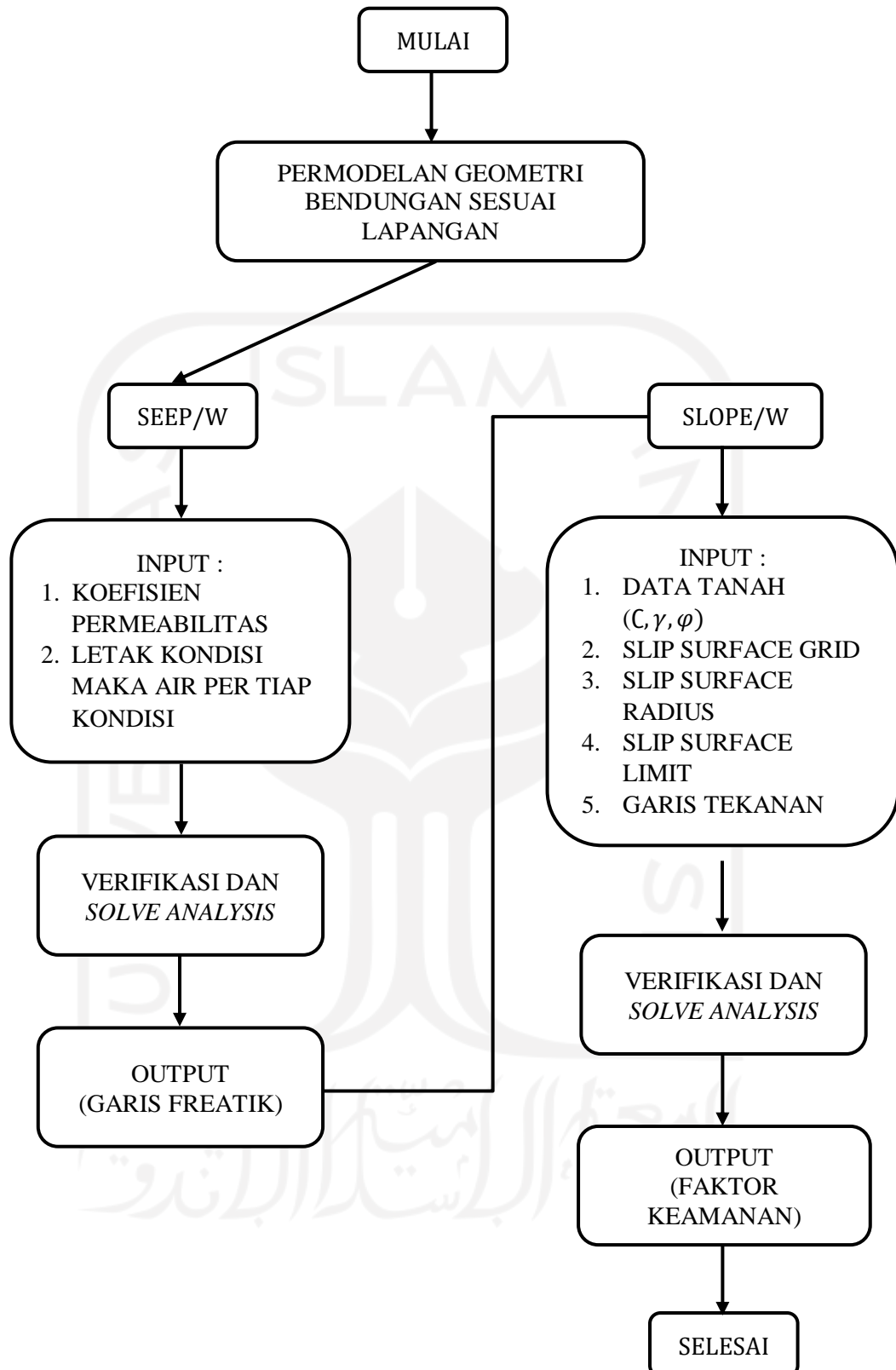
Bagan Alir Penelitian dan bagan alir pemodelan GeoStudio dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 sebagai berikut.







Gambar 4. 2 Bagan Aliran Penelitian



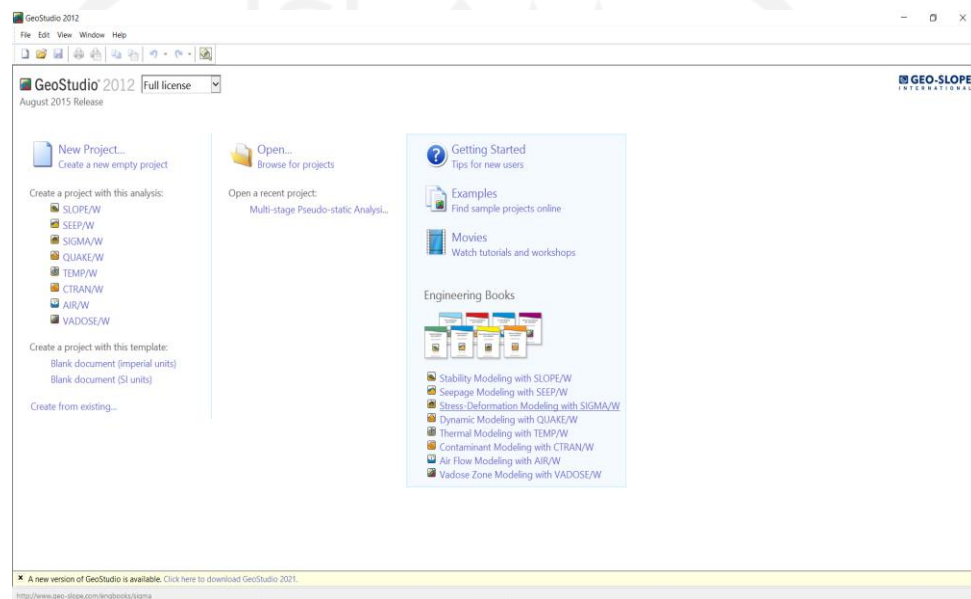
Gambar 4. 3 Bagan Aliran Pemodelan Software

4.6. Tahapan Geostudio

Adapun langkah-langkah menggunakan aplikasi Geostudio, tahapannya seperti gambar 4.4 sampai 4.13 dibawah ini.

1. Open

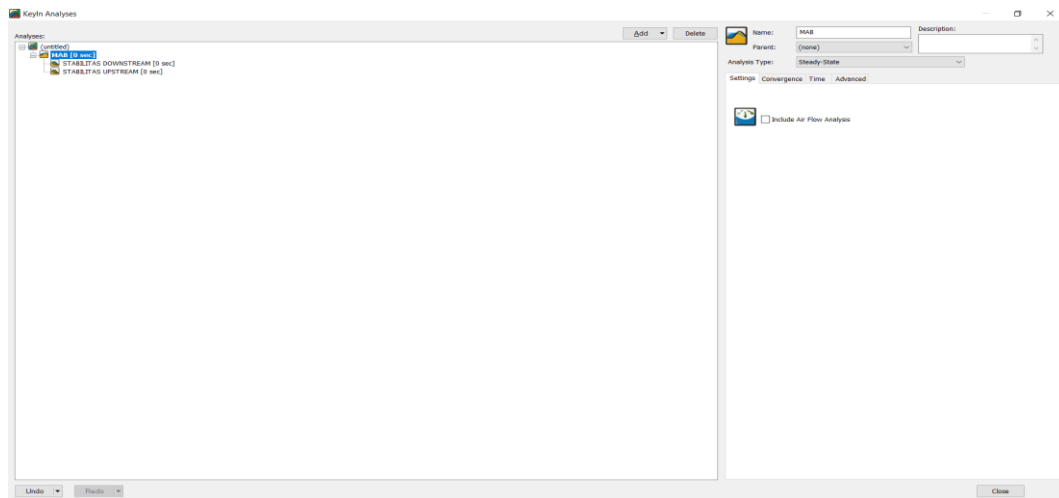
Klik new project



Gambar 4. 4 Tampilan Create/New a New Project

2. KLIK KEYin Analisis Kemudian Pilih SEEP/W

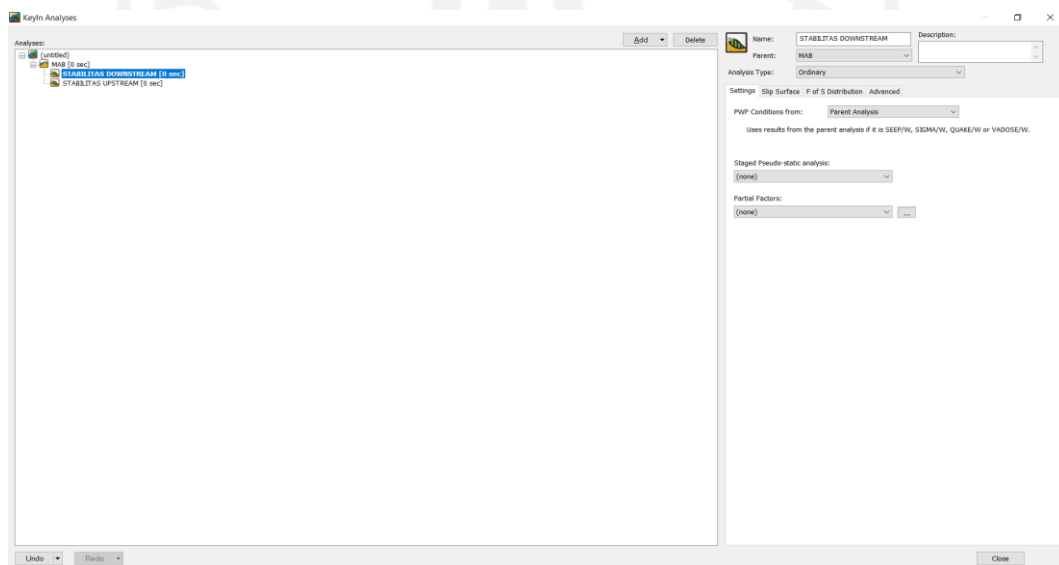
- Sebuah kotak dialog Create/New a new project maka akan muncul di mana kita dapat memilih project yang ada atau membuat yang baru. Tampilan project Create/New a new project dapat dilihat pada gambar berikut ini.
- Pilih Create New baru, lalu klik tombol seep/w.
- Setelah itu akan muncul jendela KeyIn Analyses.
- atur metode yang digunakan.



Gambar 4. 5 Setting Keyin Tipe Analisis Yang Akan Digunakan

3. KLIK KEYin Analisis Kemudian Pilih *SLOPE/W*

- Sebuah kotak dialog *Create/New a new project* maka akan muncul di mana kita dapat memilih project yang ada atau membuat yang baru. Tampilan *project Create/New a new project* dapat dilihat pada gambar berikut ini.
- Pilih *Create New* baru, lalu klik tombol *SEEP/W*.
- Setelah itu akan muncul jendela *KeyIn Analyses*.
- atur metode yang digunakan.

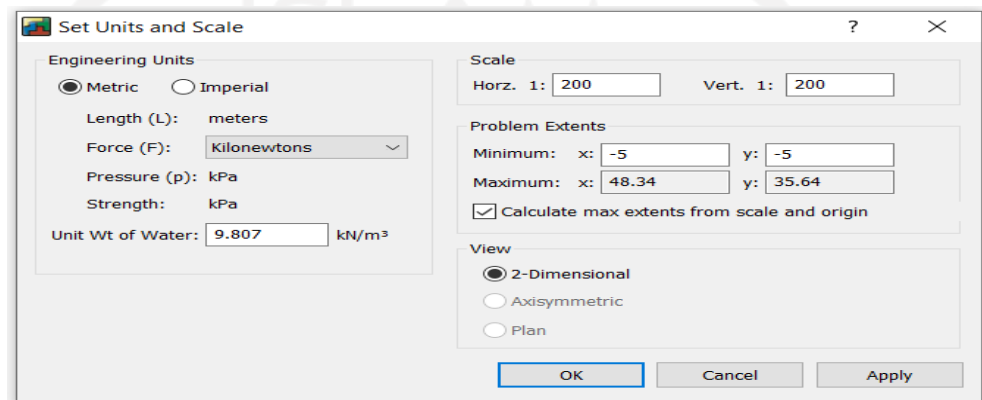


Gambar 4. 6 Setting Keyin Tipe Analisis Yang Akan Digunakan

4. General Setting

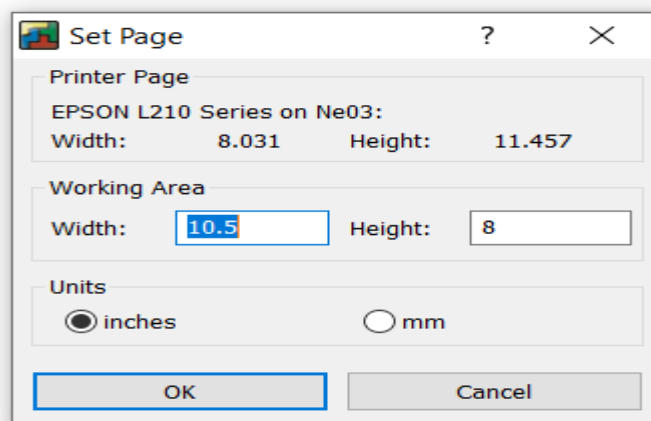
- Selanjutnya atur set page, set unit and scale, dan set axes.

Set units dan skala untuk mengatur satuan dan skala yang dipakai untuk menggambar. Pada komen problem extents pada x dan y adalah untuk menuntukan pada titik sumbu 0.



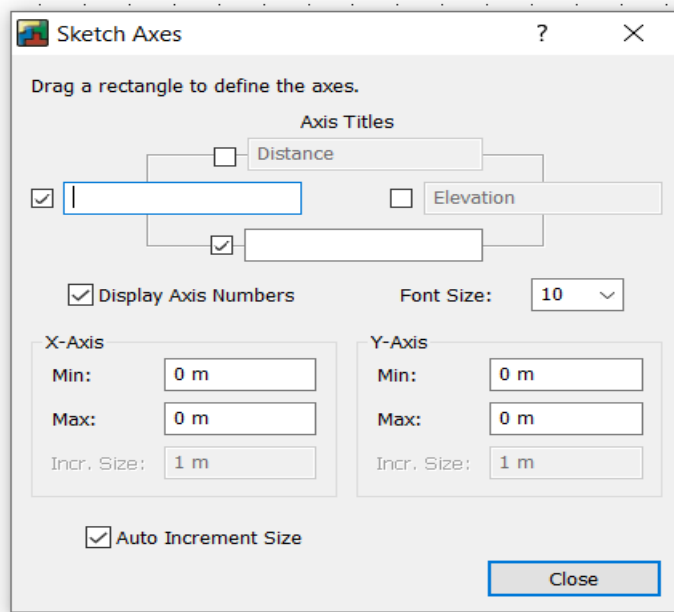
Gambar 4. 7 Setting Unit dan Scale

Set page digunakan untuk menentukan besar tinggi dan lebar area kerja sesuai yang dibutuhkan, Seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. 8 Setting Set Page

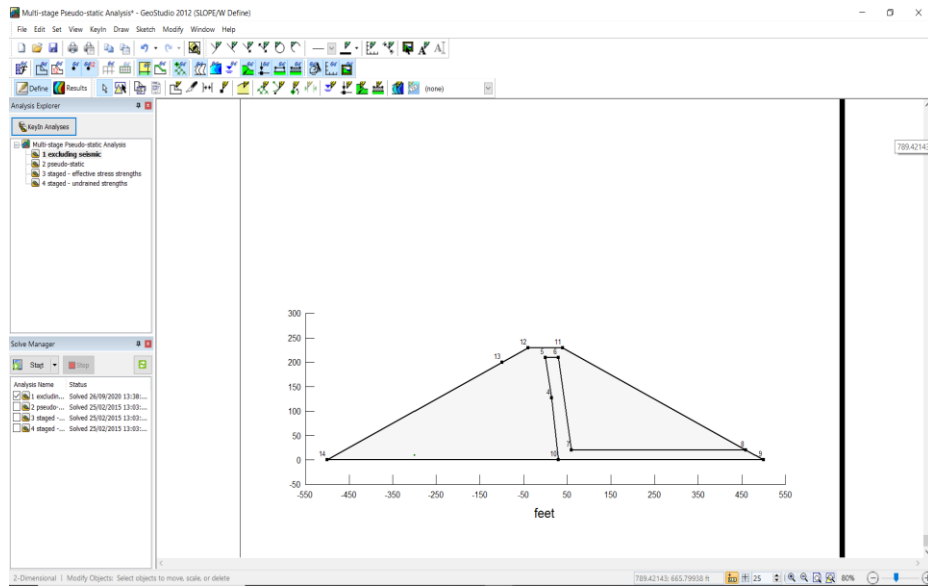
Sketch axes digunakan untuk menggambar axis, sumbu x dan y pada area kerja. Dengan cara pilih menu sketch axes lalu pilih OK. Seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. 9 Setting Sketch Axes

6. Modeling Geometri Dengan Menggunakan Point dan Region

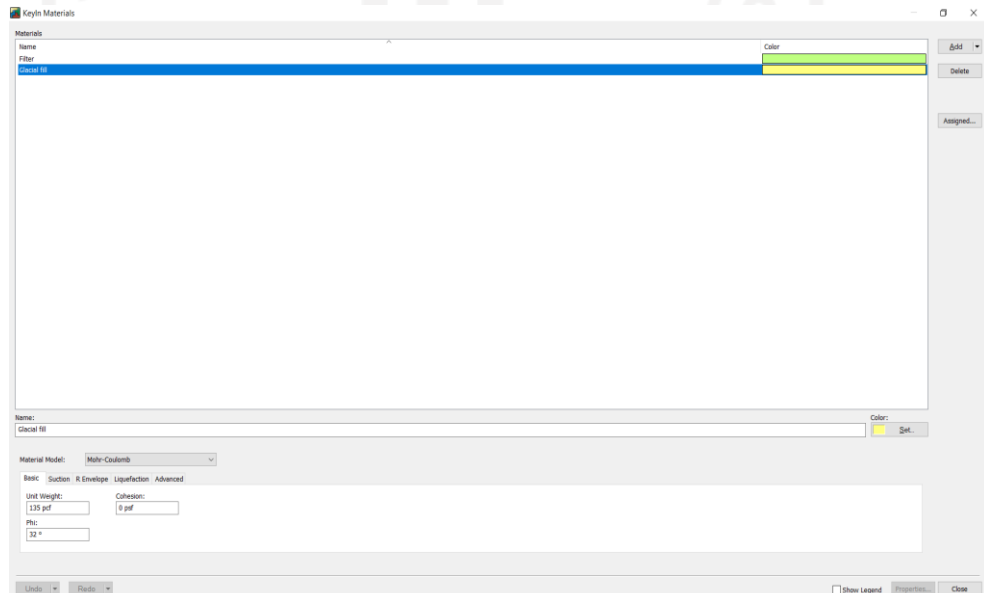
- Untuk menggambar geometri dapat dilakukan dengan memilih menu sketch lalu klik polylines, selanjutnya gambar geometri bendungan.
- Setelah penggambaran geometri dilakukan menggunakan polyline dilanjutkan dengan penggambaran geometri menggunakan region pada menu draw.



Gambar 4. 10 Input Modelling Geometri dengan Region

7. Input Material

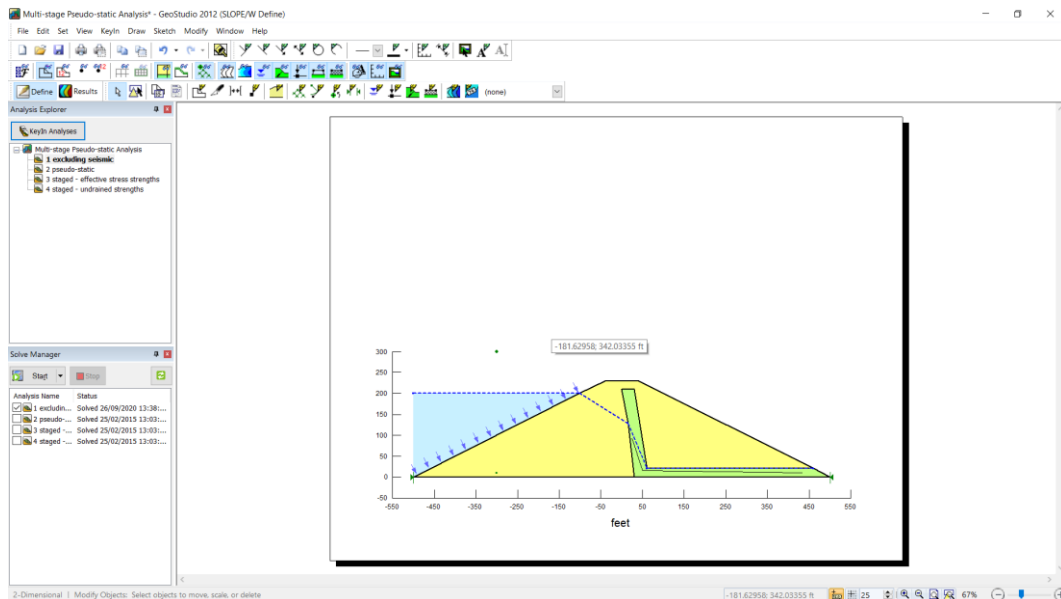
Pada tahap input material yaitu memasukan parameter tanah yang diperlukan dengan cara pilih menu keyin material. Pemodelan tanah pada studi ini digunakan model tanah Mohr-Coloumb.



Gambar 4. 11 Input Material

8. Memasukkan Material Tanah dan Tekanan Air Pori pada Geometri

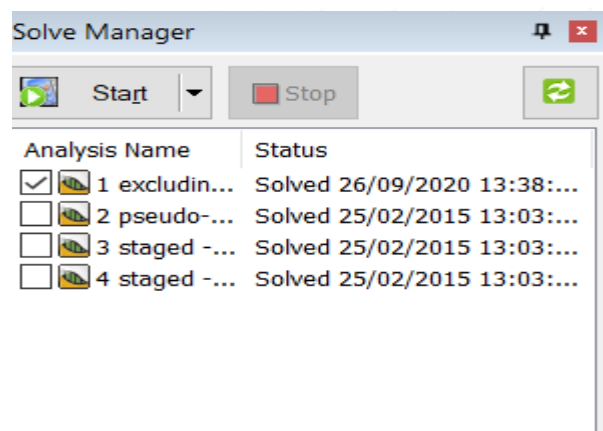
Setelah input material dilanjutkan penggambaran material pada geometri bendungan dengan cara Pilih Draw material. Berikut ini adalah hasil penggambaran material pada bendungan.



Gambar 4. 12 Input Draw Material

9. Analysis (running)

Setelah itu siap untuk dilakukan analisis (running)



Gambar 4. 13 Analysis/Running

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisis Tingkat Risiko Bendungan

Penentuan tingkat resiko bertujuan untuk menentukan klasifikasi kelas resiko, berikut ini hasil analisis resiko Bendungan Prijetan yang dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Tingkat Risiko Bendungan Prijetan

No	Faktor Resiko		Kategori	Nilai
1	Faktor risiko kapasitas tampung (frk)	7,72 juta m ³	(kategori tinggi)	4
2	Faktor risiko tinggi bendungan (FRt)	23,00 m	Moderat	2
3	Faktor risiko kebutuhan evakuasi (Fre)	>1000	ekstereme	12
4	Faktor risiko tingkat kerusakan (FRh)	tinggi	tinggi	10
jumlah				28

Setelah didapatkan nilai faktor risiko selanjutnya yaitu menentukan kriteria beban gempa dengan menentukan kelas risiko. Berdasarkan perhitungan tingkat risiko bendungan Prijetan memiliki nilai 28. Sehingga dengan berdasarkan Tabel 3.7 Bendungan Prijetan termasuk kelas risiko III (Tinggi).

Bendungan Prijetan tergolong bendungan kelas risiko III (Tinggi) sehingga kriteria beban gempa untuk desain bendungan untuk gempa OBE menggunakan tahun kala ulang 100 tahun sedangkan untuk gempa MDE menggunakan kala ulang

gempa 5.000 tahun.

5.2. Menghitung Koefisien Gempa

Pada perhitungan nilai beban gempa gempa dilakukan berdasarkan nilai koefisien pada peta gempa sesuai dengan jenis gempa OBE dan MDE, untuk peta gempa OBE yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan untuk peta gempa MDE yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 3.10.

Pada kondisi gempa (OBE) diambil nilai PGAM sebesar 0.1 dan kondisi gempa (MDE) diambil nilai PGAM sebesar 0,4 dilakukan perhitungan sebagai berikut.

a. Perhitungan gempa OBE :

$$PGAM = 0,1$$

$$g = 0,981 \text{ dm/s}^2$$

$$f = 0,1/0,981$$

$$= 0,1019$$

$$\alpha = 0,7 \text{ (Bendungan Urugan)}$$

$$K = 0,1019 \times 0,7$$

$$= 0,07135 \text{ KN}$$

b. Perhitungan gempa MDE :

$$PGAM = 0,4$$

$$g = 0,981 \text{ dm/s}^2$$

$$f = 0,4/0,981$$

$$= 0,4077$$

$$\alpha = 0,7 \text{ (Bendungan Urugan)}$$

$$K = 0,4077 \times 0,7$$

$$= 0,2854 \text{ KN}$$

5.3. Perhitungan Manual Rembesan dengan Metode Casagrande

5.3.1. Rembesan pada Muka Air Banjir

1. Debit Rembesan

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada

kondisi muka air banjir, dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 H_{hulu} &= 11,61 \text{ m} \\
 H_{hulu}^2 &= 134,7921 \text{ m} \\
 \alpha &= 23,36 \\
 \tan \alpha &= 0,4319 \\
 \cot^2 \alpha &= 5,3606 \\
 \sin \alpha &= 0,3965 \\
 \sin^2 \alpha &= 0,1572 \\
 k &= 5,95, \text{E-}08 \\
 d &= 61,5 \text{ m} \\
 d^2 &= 3782,25 \text{ m} \\
 a &= \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{d^2 - H^2 \times \cot^2 \alpha} \\
 a &= \sqrt{(3782,25 + 134,7921)} - \\
 &\quad \sqrt{3782,25 - 134,7921 \times 5,3606} \\
 &= 7,2719 \text{ m} \\
 q &= k \times a \times \sin^2 \alpha \\
 q &= 5,95, \text{E-}08 \times 7,2719 \times 0,1572 \\
 &= 6,8024, \text{E-}08 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data teknis Bendunga Prijetan memiliki Panjang puncak 360m sehingga total rembesan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{total} &= 6,8024 \times 10^{-8} \times 360 \\
 &= 2,4489 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

2. Gradien Hidrolik

Perhitungan rembesan berdasarkan gradien hidrolik didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 i_{exit} &= \frac{11,61}{52,54} \\
 &= 0,2209
 \end{aligned}$$

$$i_c = \frac{2,67-1}{1+0,981}$$

$$=0,843$$

$$SF = \frac{0,843}{0,2209}$$

$$=3,8162$$

5.3.2. Rembesan pada Muka Air Normal

1. Debit Rembesan

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air normal, dihitung sebagai berikut.

$$H_{hulu} = 10,56 \text{ m}$$

$$H_{hulu}^2 = 111,5136 \text{ m}^2$$

$$\alpha = 23,36$$

$$\tan \alpha = 0,4319$$

$$\cot^2 \alpha = 5,3606$$

$$\sin \alpha = 0,3965$$

$$\sin^2 \alpha = 0,1572$$

$$k = 5,95 \times 10^{-8}$$

$$d = 62,98 \text{ m}$$

$$d^2 = 3966,4804 \text{ m}^2$$

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{d^2 - H^2 \times \cot^2 \alpha}$$

$$a = \sqrt{(3966,4804 + 111,5136)} - \sqrt{3966,4804 - 111,5136 \times 5,3606}$$

$$= 5,8187 \text{ m}$$

$$q = k \times a \times \sin^2 \alpha$$

$$q = 5,95 \times 10^{-8} \times 5,8187 \times 0,1572$$

$$= 5,4430 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{dt}$$

Berdasarkan data teknis Bendunga Prijetan memiliki panjang puncak 360m sehingga total rembesan sebagai berikut.

$$Q_{total} = 5,4430 \times 10^{-8} \times 360$$

$$= 1,9595 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$$

2. Gradien Hidrolik

Perhitungan rembesan berdasarkan gradien hidrolik didapatkan sebagai berikut.

$$i_{exit} = \frac{10,56}{54,41}$$

$$= 0,1941$$

$$i_c = \frac{2,67-1}{1+0,981}$$

$$= 0,843$$

$$SF = \frac{0,843}{0,1941}$$

$$= 4,3431$$

5.3.3. Rembesan pada Muka Air Minimum

1. Debit Rembesan

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode casagrande pada kondisi muka air minimum, dihitung sebagai berikut.

$$H_{hulu} = 7,71 \text{ m}$$

$$H_{hulu}^2 = 59,4441 \text{ m}$$

$$\alpha = 23,36$$

$$\tan \alpha = 0,4319$$

$$\cot^2 \alpha = 5,3606$$

$$\sin \alpha = 0,3965$$

$$\sin^2 \alpha = 0,1572$$

$$k = 5,95 \times 10^{-8}$$

$$d = 67,03 \text{ m}$$

$$d^2 = 4493,0209 \text{ m}$$

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{d^2 - H^2 \times \cot^2 \alpha}$$

$$a = \sqrt{(4493,0209 + 59,444)} -$$

$$\sqrt{4493,0209 - 59,444 \times 5,3606}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,8626 \text{ m} \\
 q &= k \times a \times \sin^2 \alpha \\
 q &= 5,95\text{E-}08 \times 2,8626 \times 0,1572 \\
 &= 2,6778\text{E-}08 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data teknis Bendungan Prijetan memiliki Panjang puncak 360 m sehingga total rembesan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{total}} &= 2,6778 \times 10^{-8} \times 360 \\
 &= 9,6401 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

2. Gradien Hidrolik

Perhitungan rembesan berdasarkan gradien hidrolik didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 i_{\text{exit}} &= \frac{7,71}{60,19} \\
 &= 0,1281 \\
 i_c &= \frac{2,67-1}{1+0,981} \\
 &= 0,843 \\
 \text{SF} &= \frac{0,843}{0,1281} \\
 &= 6,5808
 \end{aligned}$$

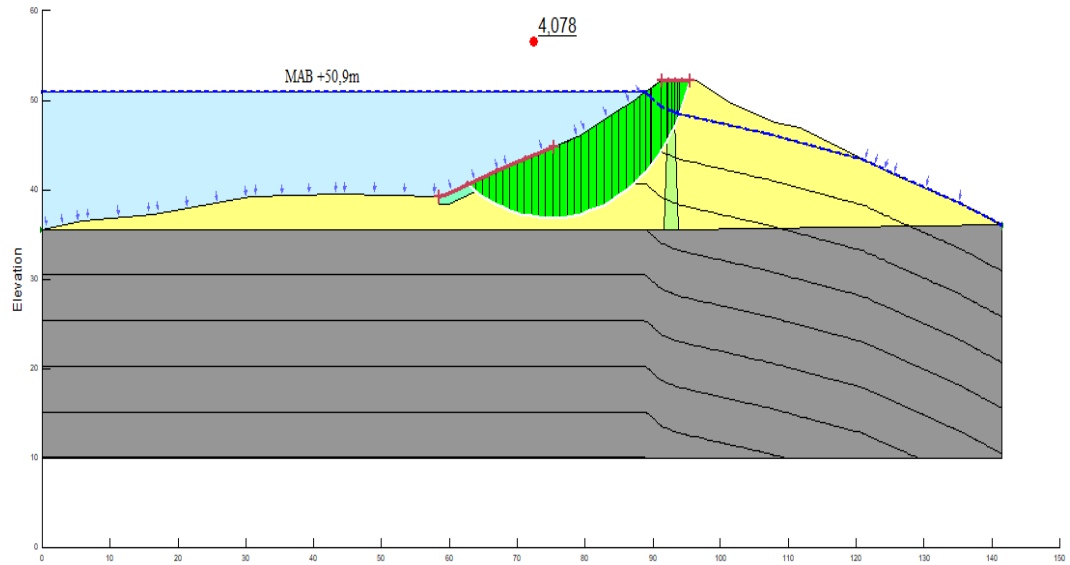
5.4. Perhitungan Stabilitas dengan Garis Freatik Manual

Perhitungan stabilitas pada tubuh Bendungan Prijetan dengan garis freatik manual dilakukan dengan menggunakan program Geostudio berupa slope/w. Percobaan dilakukan pada 4 keadaan muka air yaitu banjir, normal, minimum dan surut cepat (*rapid draw down*). Pada setiap keadaan ditambahkan dengan beban gempa OBE dan MDE.

5.4.1. Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Banjir dengan Garis Freatik Manual

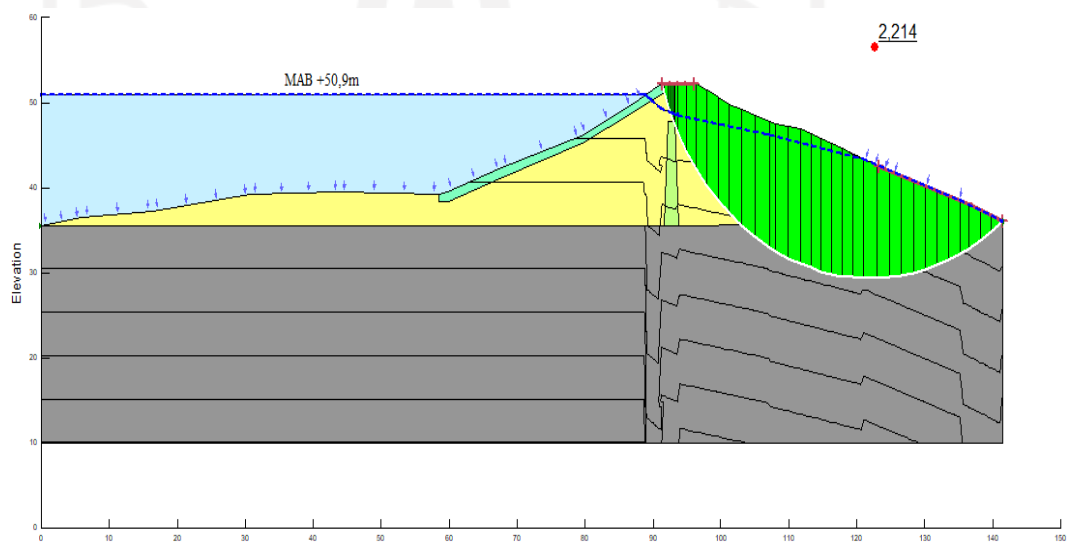
Berikut ini hasil perhitungan stabilitas lereng kondisi muka air banjir

dengan garis freatik yang dibuat secara manual dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.6.



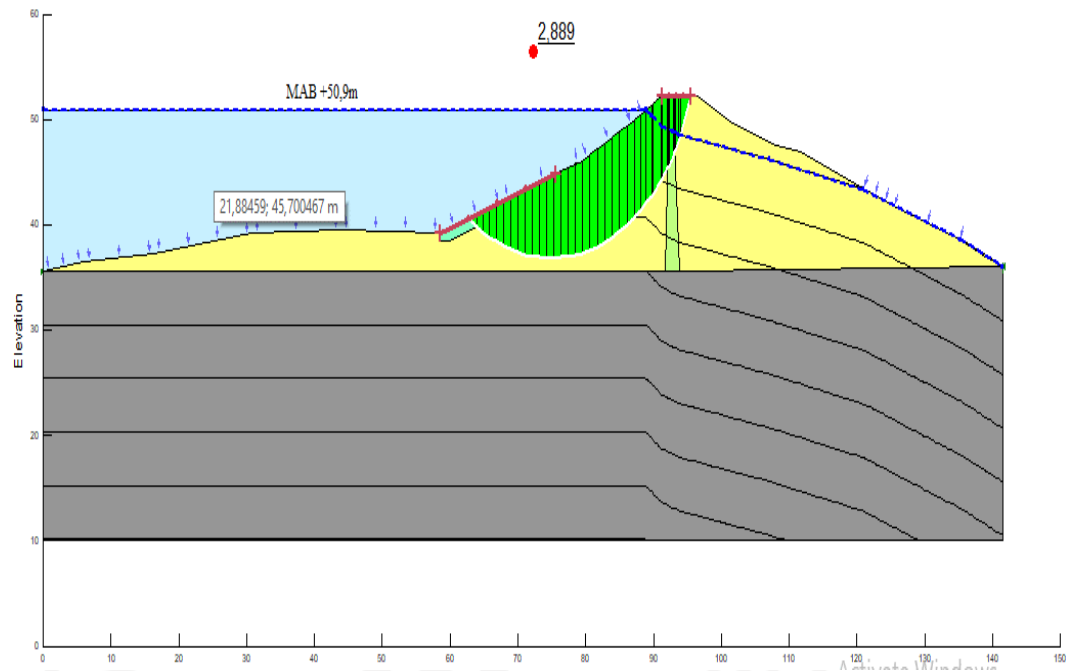
Gambar 5. 1 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.1 didapatkan hasil faktor keamanan 4,078 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



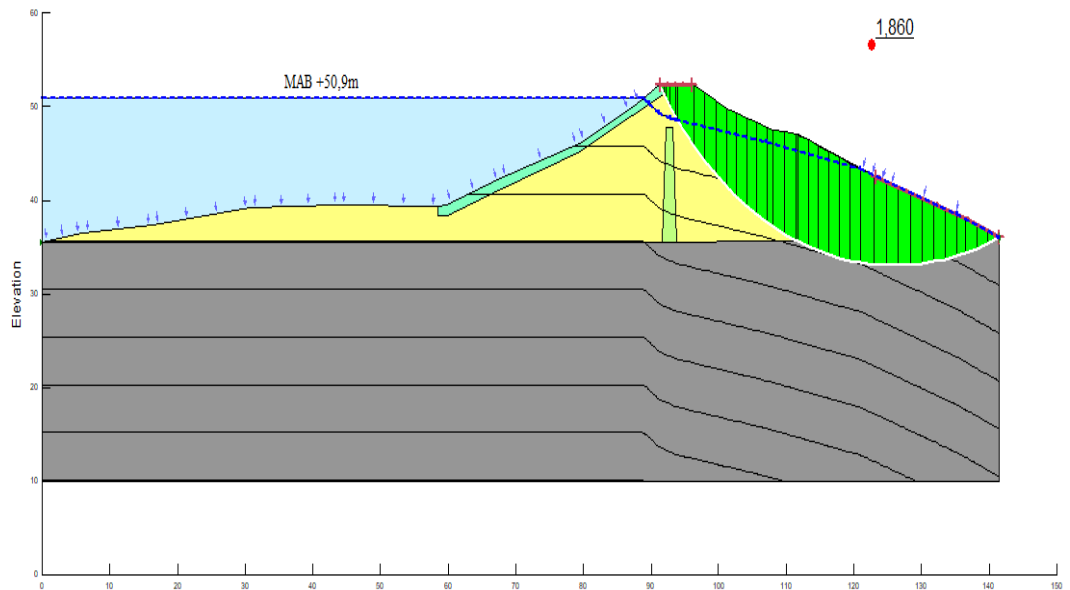
Gambar 5. 2 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.2 didapatkan hasil faktor keamanan 2,214 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



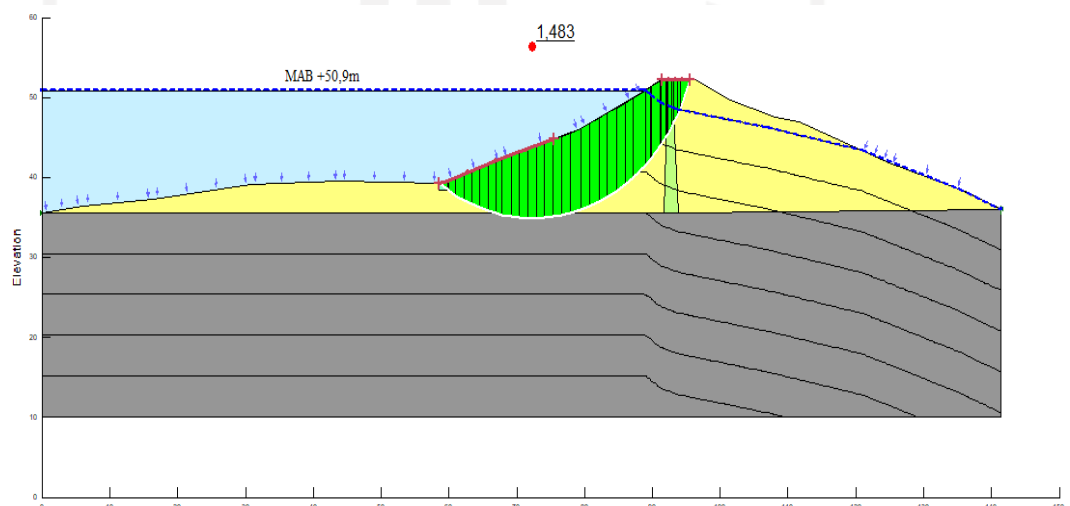
Gambar 5. 3 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.3 didapatkan hasil faktor keamanan 2,889 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



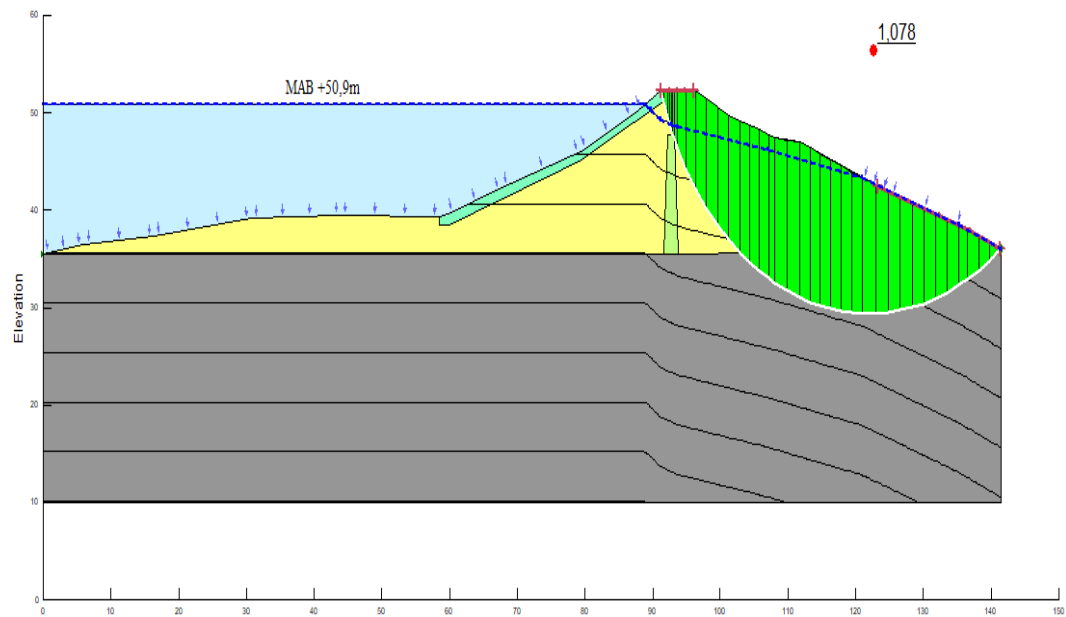
Gambar 5. 4 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.4 didapatkan hasil faktor keamanan 1,860 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 5 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.5 didapatkan hasil faktor keamanan 1,483 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

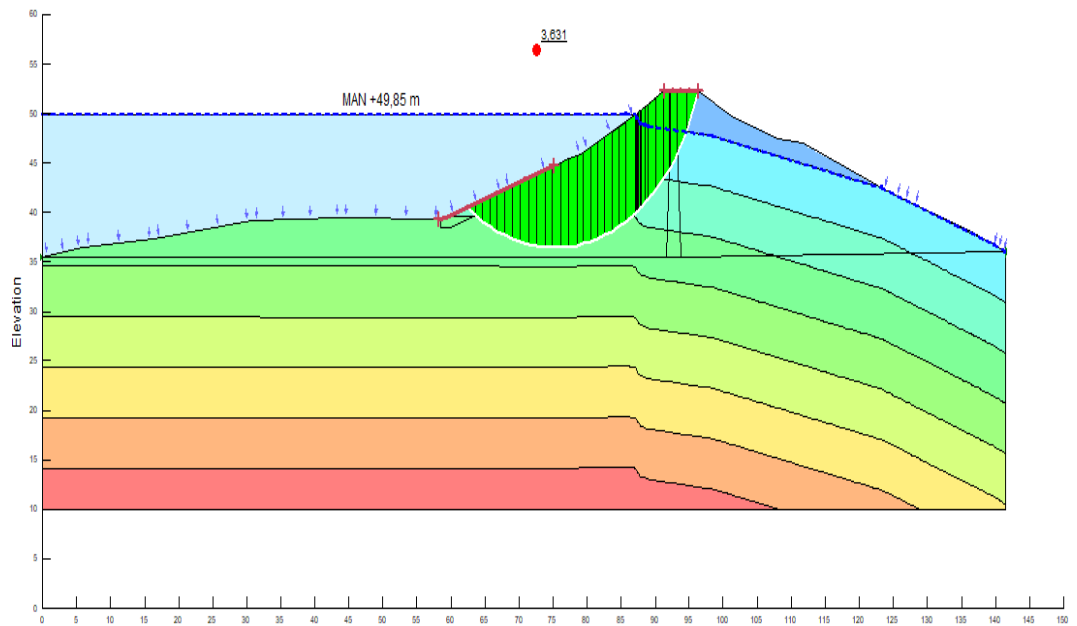


Gambar 5. 6 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.6 didapatkan hasil faktor keamanan 1,078 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

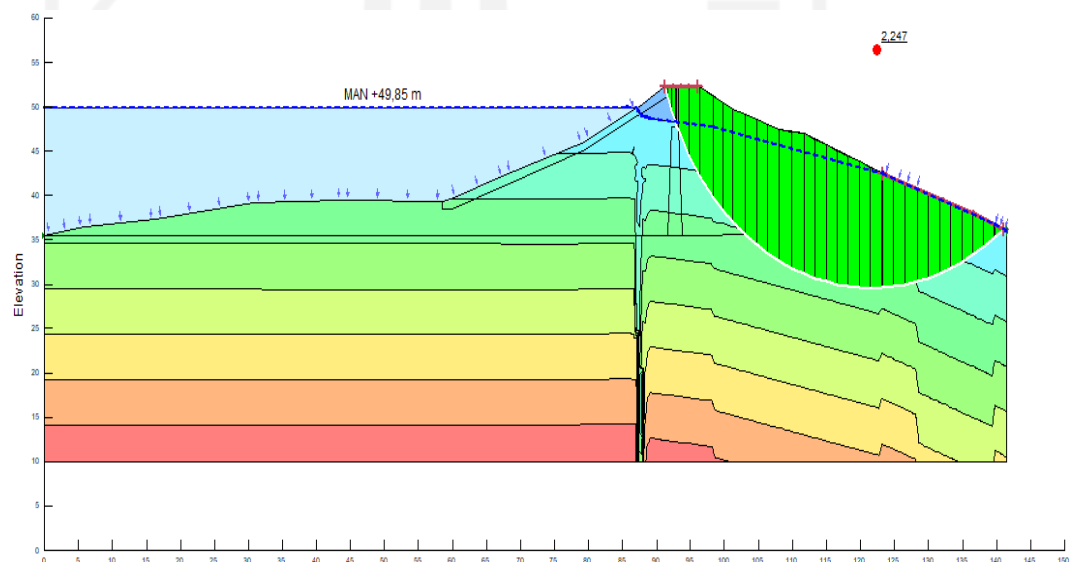
5.4.2. Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Normal dengan Garis Freatik Manual

Berikut ini hasil perhitungan stabilitas lereng kondisi muka air normal dengan garis freatik yang dibuat secara manual dapat dilihat pada Gambar 5.7 sampai dengan Gambar 12.



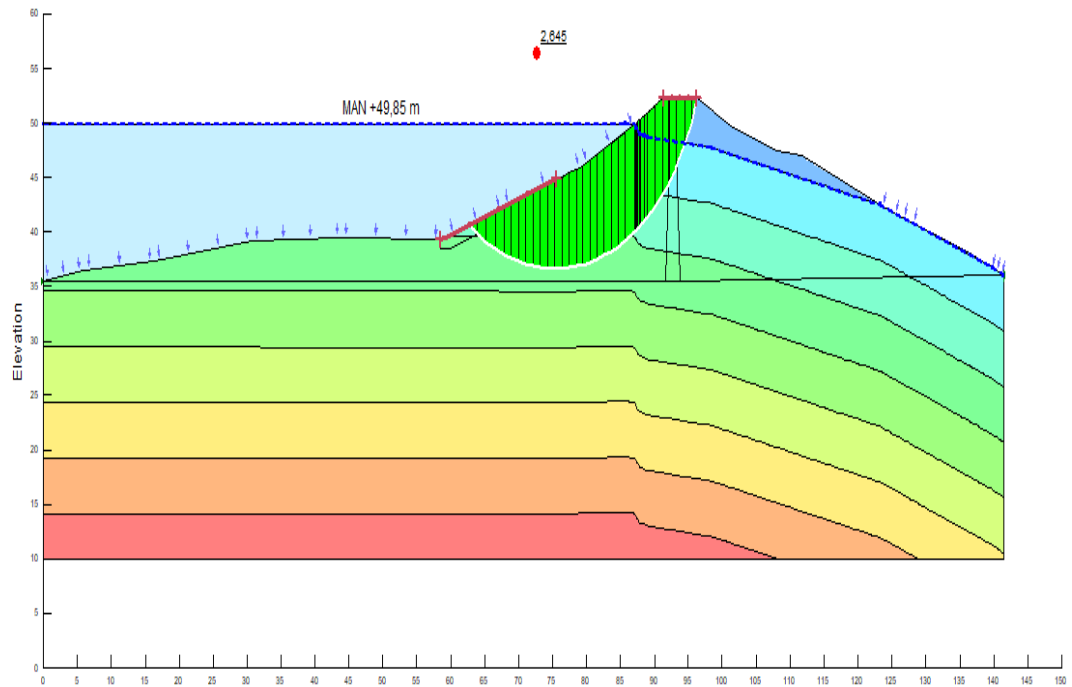
Gambar 5. 7 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.7 didapatkan hasil faktor keamanan 3,631 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



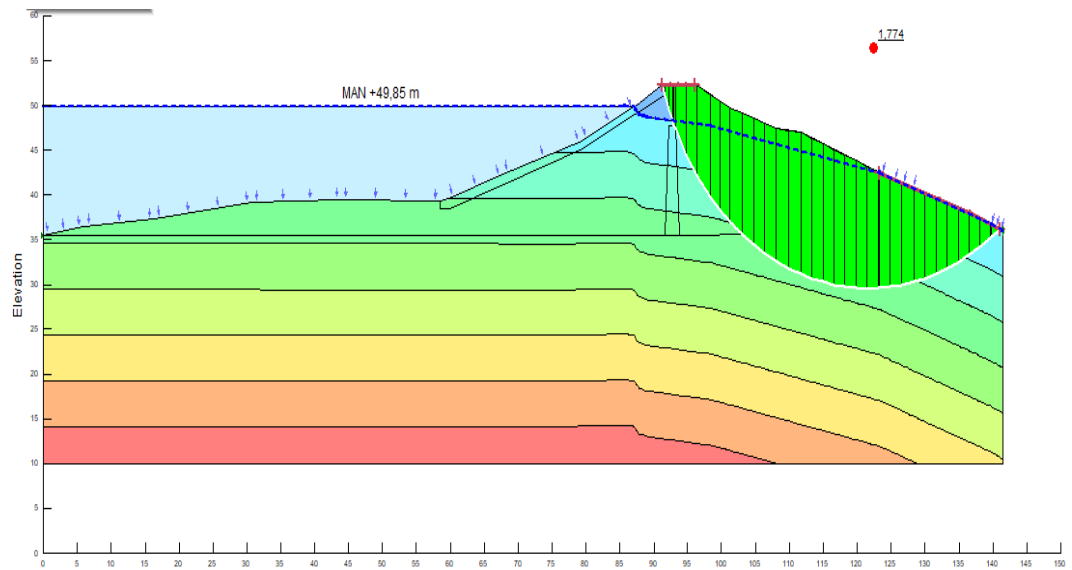
Gambar 5. 8 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.8 didapatkan hasil faktor keamanan 2,247 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



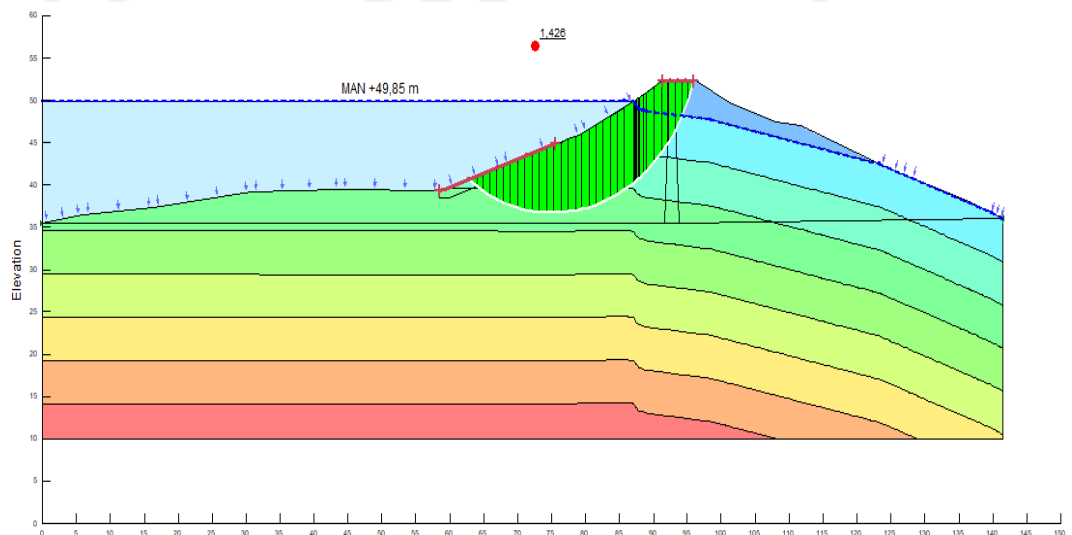
Gambar 5. 9 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.9 didapatkan hasil faktor keamanan 2,645 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



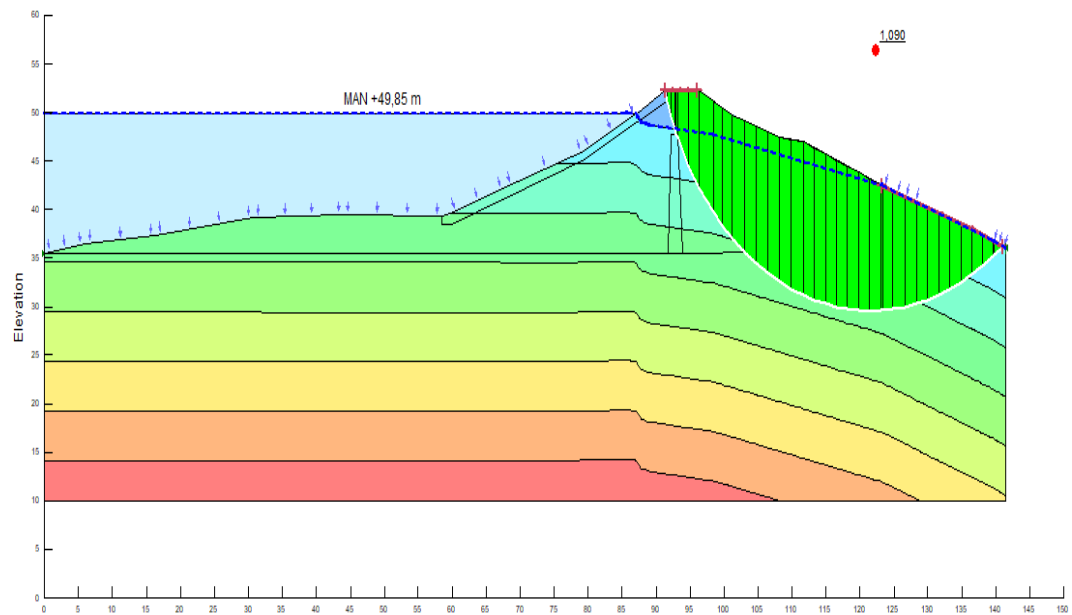
Gambar 5. 10 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.10 didapatkan hasil faktor keamanan 1,774 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 11 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.11 didapatkan hasil faktor keamanan 1,426 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

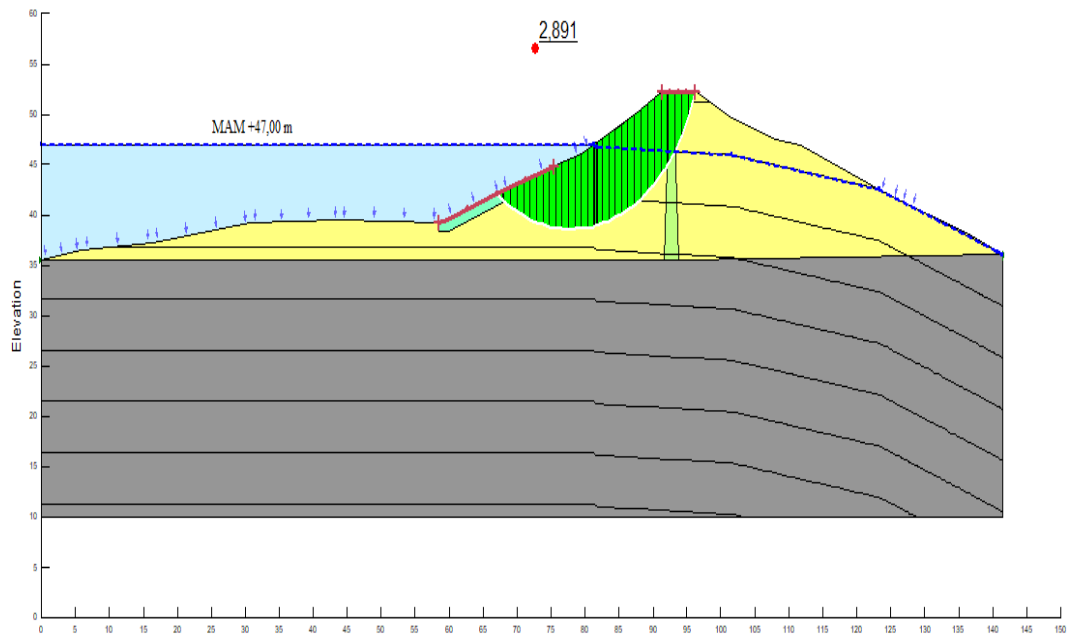


Gambar 5. 12 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.12 didapatkan hasil faktor keamanan 1,090 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

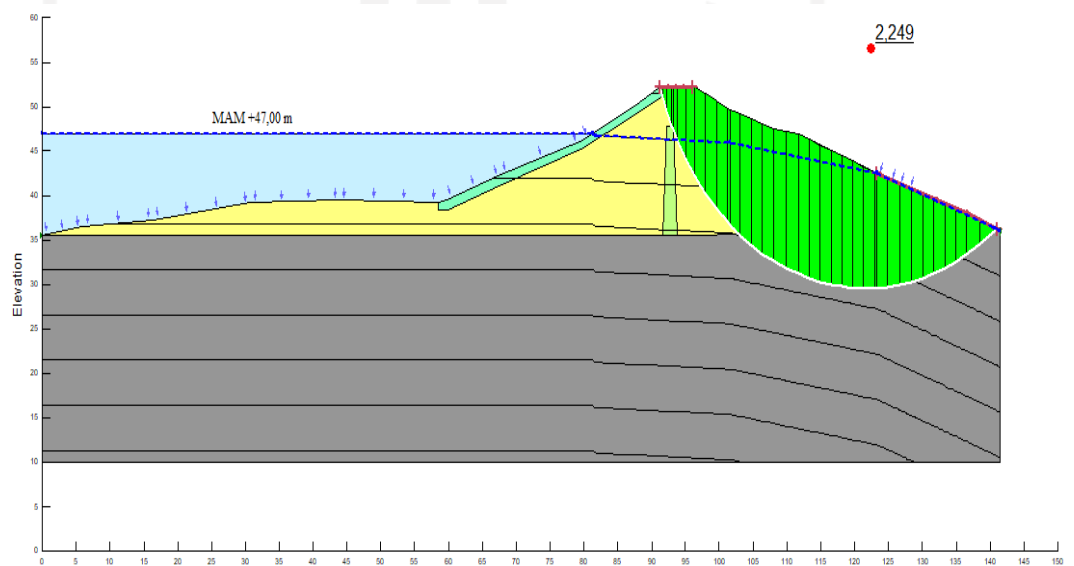
5.4.3. Stabilitas Lereng Kondisi Muka Air Minimum dengan Garis Freatik Manual

Berikut ini hasil perhitungan stabilitas lereng kondisi muka air minimum dengan garis freatik yang dibuat secara manual dapat dilihat pada Gambar 5.13 sampai dengan Gambar 5.18.



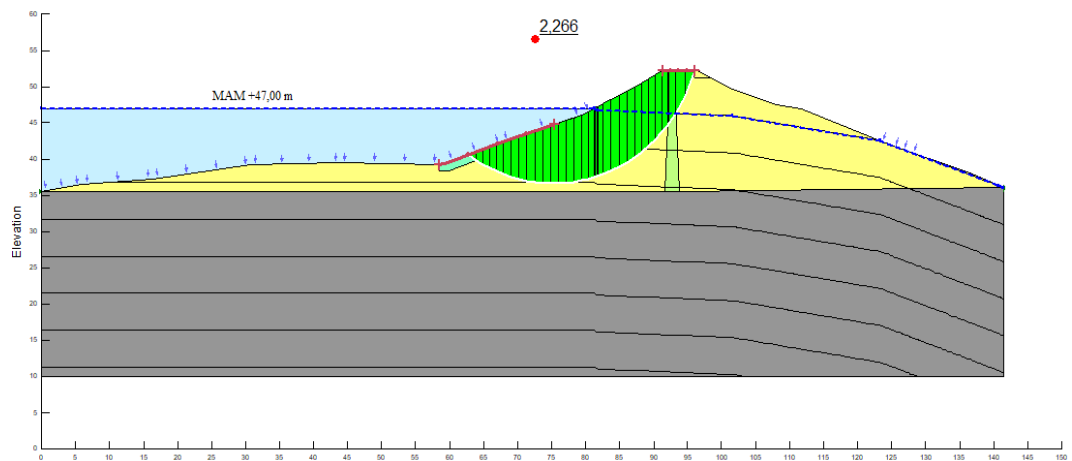
Gambar 5. 13 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.13 didapatkan hasil faktor keamanan 2,891 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



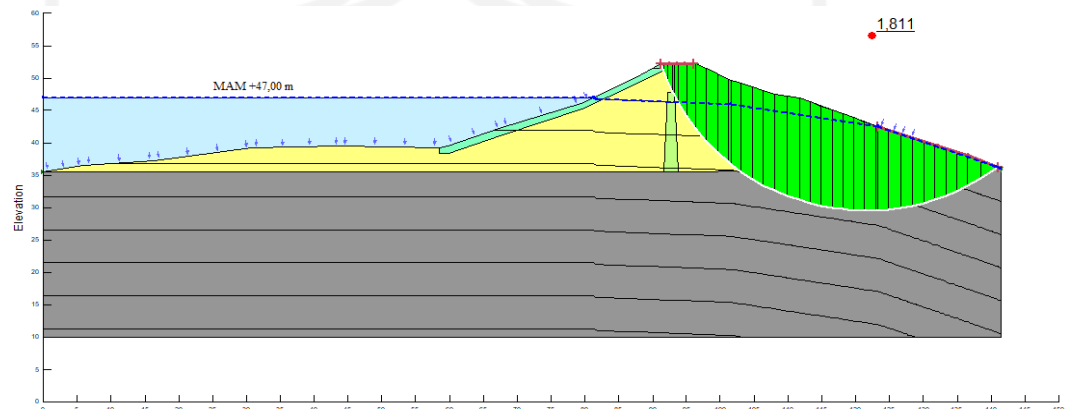
Gambar 5. 14 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Gempa dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.14 didapatkan hasil faktor keamanan 2,249 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



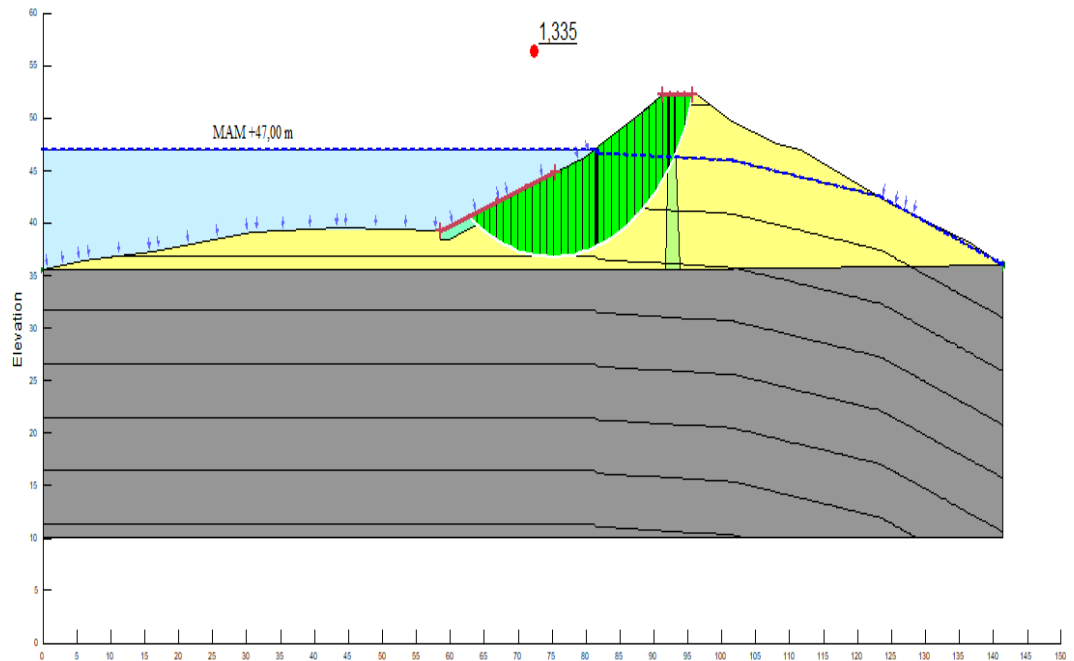
Gambar 5. 15 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.15 didapatkan hasil faktor keamanan 2,266 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



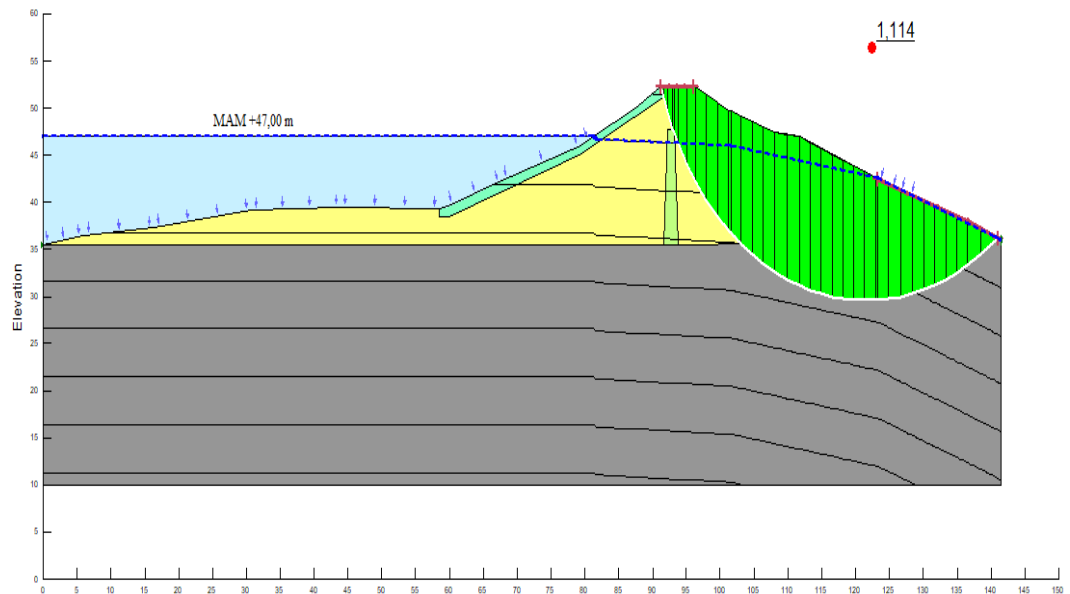
Gambar 5. 16 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.16 didapatkan hasil faktor keamanan 1,811 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 17 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.17 didapatkan hasil faktor keamanan 1,335 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

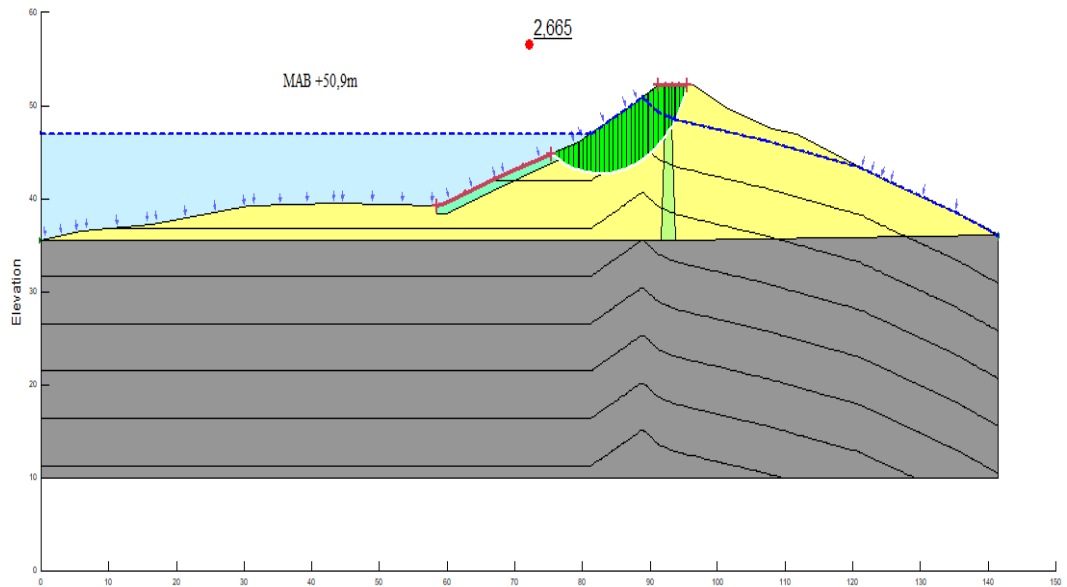


Gambar 5. 18 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.18 didapatkan hasil faktor keamanan 1,114 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

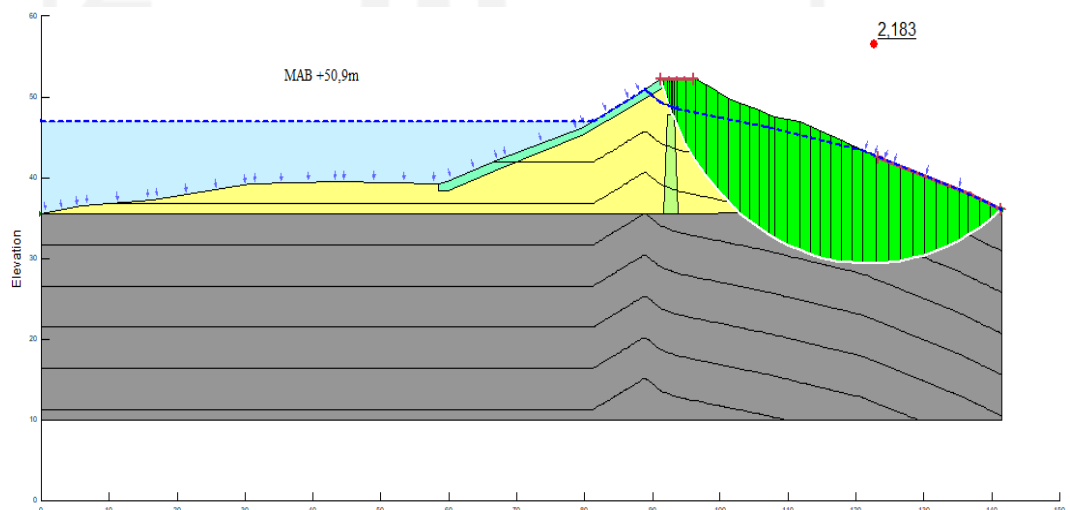
5.4.4. Stabilitas Lereng Kondisi Surut Cepat (Rapid Drawdown) dengan Garis Freatik Manual

Berikut ini hasil perhitungan stabilitas lereng kondisi Surut Cepat (*Rapid Drawdown*) dengan garis freatik yang dibuat secara manual dapat dilihat pada Gambar 5.19 sampai dengan Gambar 5.24.



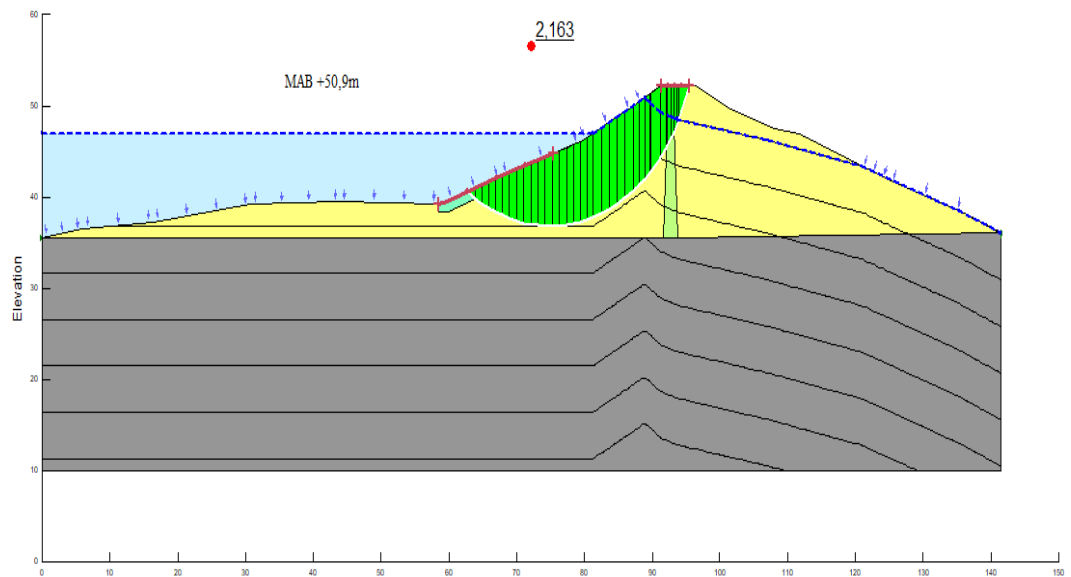
Gambar 5. 19 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream Tanpa Beban Gempa dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.19 didapatkan hasil faktor keamanan 2,665 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



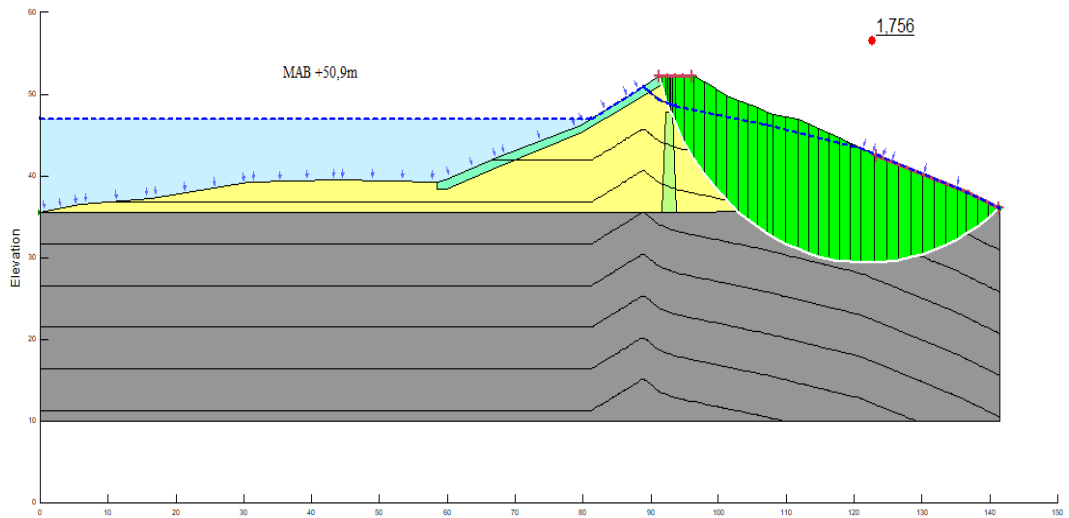
Gambar 5. 20 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream Tanpa Beban Gempa dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.20 didapatkan hasil faktor keamanan 2,183 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



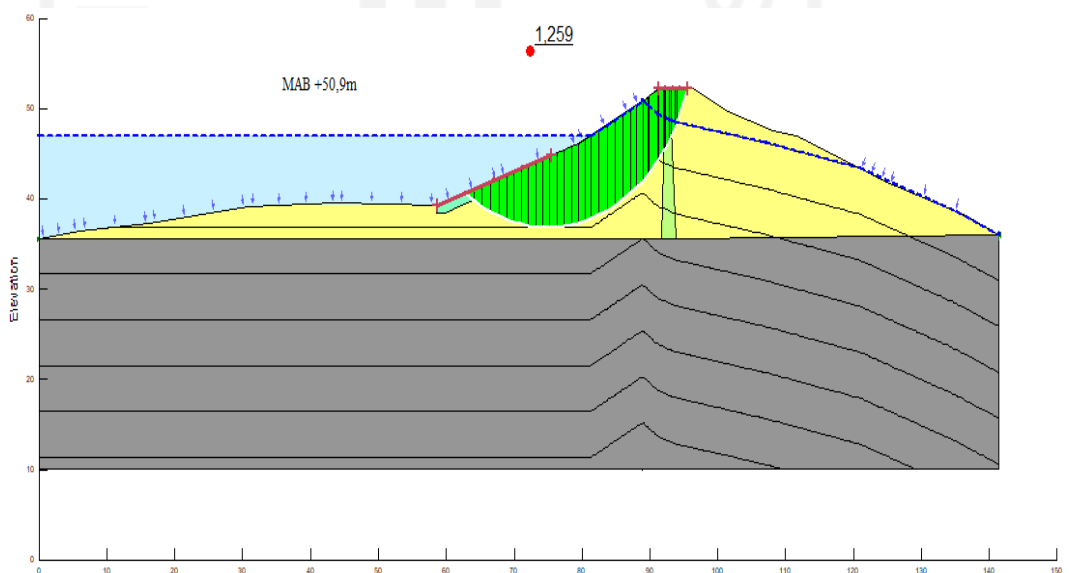
Gambar 5. 21 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka *Air Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.21 didapatkan hasil faktor keamanan 2,163 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



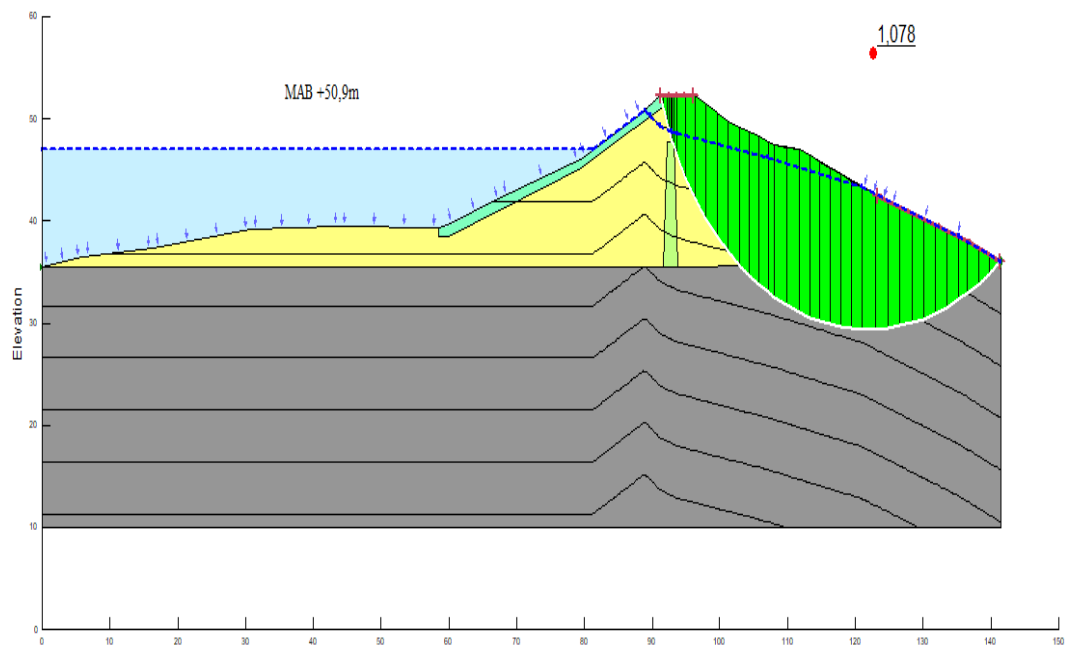
Gambar 5. 22 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa OBE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka *Air Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.22 didapatkan hasil faktor keamanan 1,756 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 23 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka *Air Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.23 didapatkan hasil faktor keamanan 1,259 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 24 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan Beban Gempa MDE dan dengan Garis Freatik Manual pada Kondisi Muka *Air Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.24 didapatkan hasil faktor keamanan 1,078 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

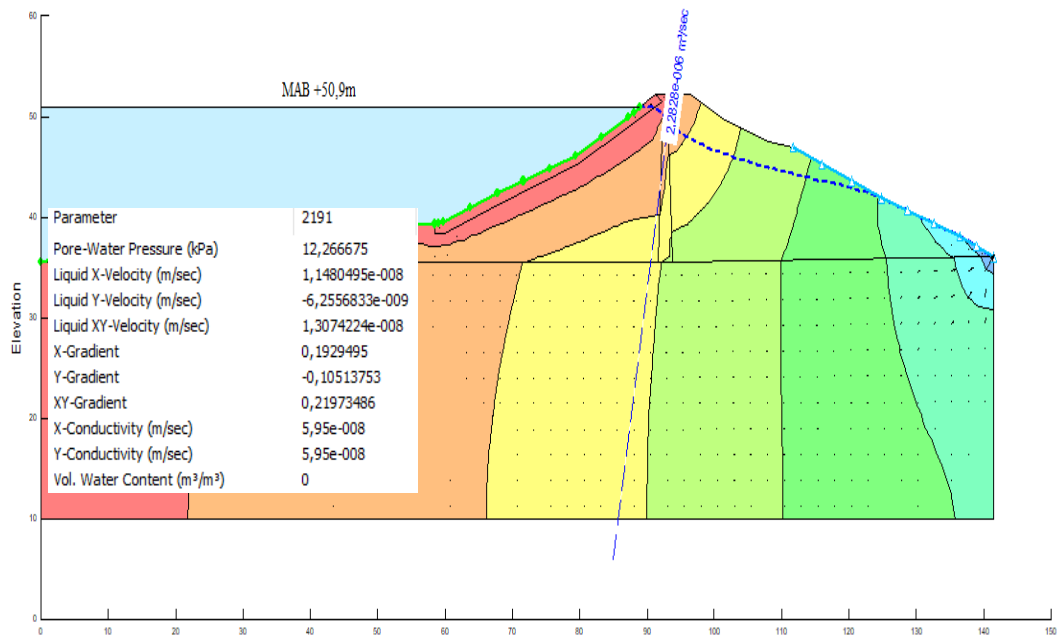
5.5. Analisis Rembesan dengan Menggunakan SEEP/W

Perhitungan rembesan pada tubuh Bendungan Prijetan dilakukan dengan menggunakan program Geostudio dengan fitur *SEEP/W*. Rembesan pada tubuh bendungan dilakukan dengan 3 tinjauan yaitu debit rembesan, gradient hidrolis dan kecepatan rembesan.

5.5.1. Debit Rembesan

1. Muka Air Banjir (MAB)

Analisis rembesan pada tubuh bendungan Prijetan dengan tinjauan debit rembesan pada kondisi muka air banjir dapat dilihat pada Gambar 5.25 dibawah ini.



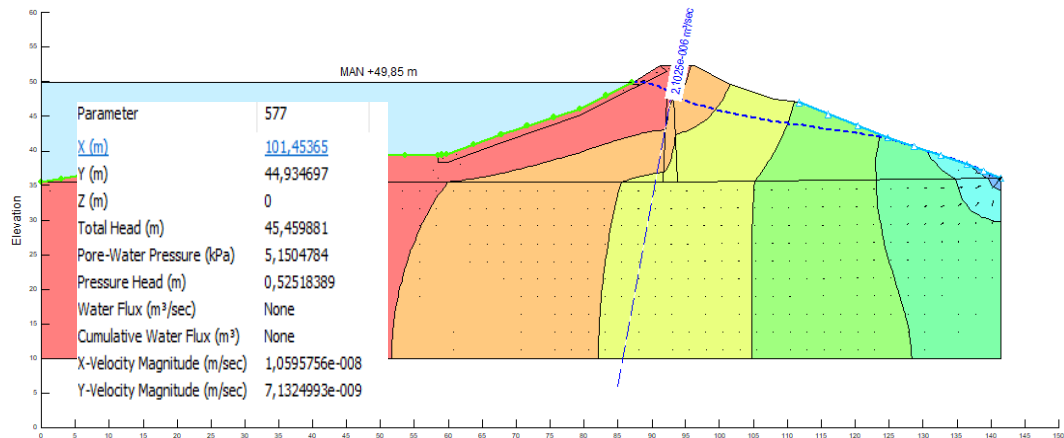
Gambar 5. 25 Hasil Perhitungan Rembesan Dengan *Seep/W* Dengan Kondisi Muka Air Banjir

Berdasarkan data teknis Bendunga Prijetan memiliki Panjang puncak 360 m sehingga total rembesan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{total} &= 2,2828 \times 10^{-6} \times 360 \\ &= 8,2181 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

2. Muka Air Normal

Perhitungan rembesan pada tubuh bendungan Prijetan dengan tinjauan debit rembesan pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.26 dibawah ini.



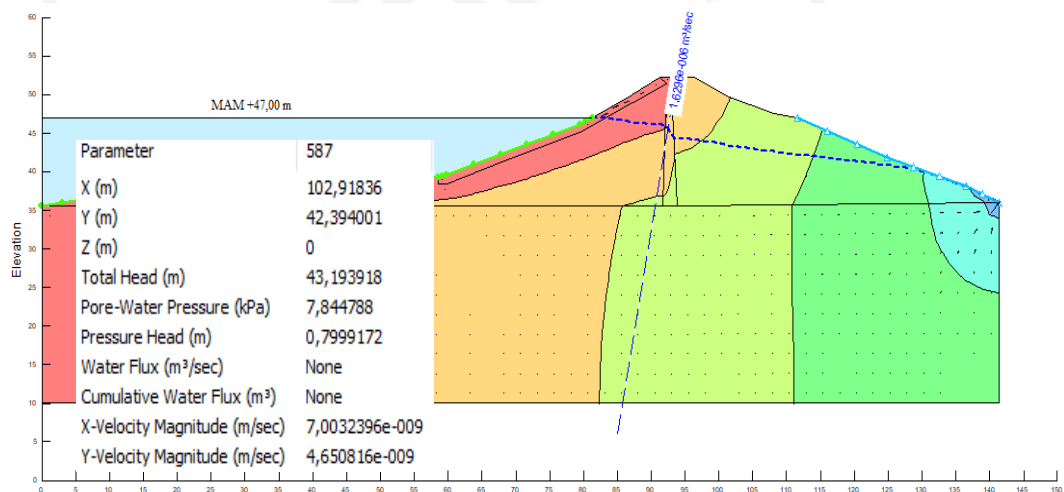
Gambar 5. 26 Hasil Perhitungan Rembesan Dengan *Seep/W* Dengan Kondisi Muka Air Normal

Berdasarkan data teknis Bendungan Prijetan memiliki Panjang puncak 360 msehingga total rembesan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{total}} &= 2,1025 \times 10^{-6} \times 360 \\
 &= 7,569 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

3. Muka Air Minimum

Perhitungan rembesan pada tubuh bendungan Prijetan dengan tinjau debit rembesan pada kondisi muka air minimum dapat dilihat pada Gambar 5.27 dibawah ini.



Gambar 5. 27 Hasil Perhitungan Rembesan Dengan *Seep/W* Dengan Kondisi Muka Air Minimum

Berdasarkan data teknis Bendungan Prijetan memiliki Panjang puncak 360 m sehingga total rembesan sebagai berikut:

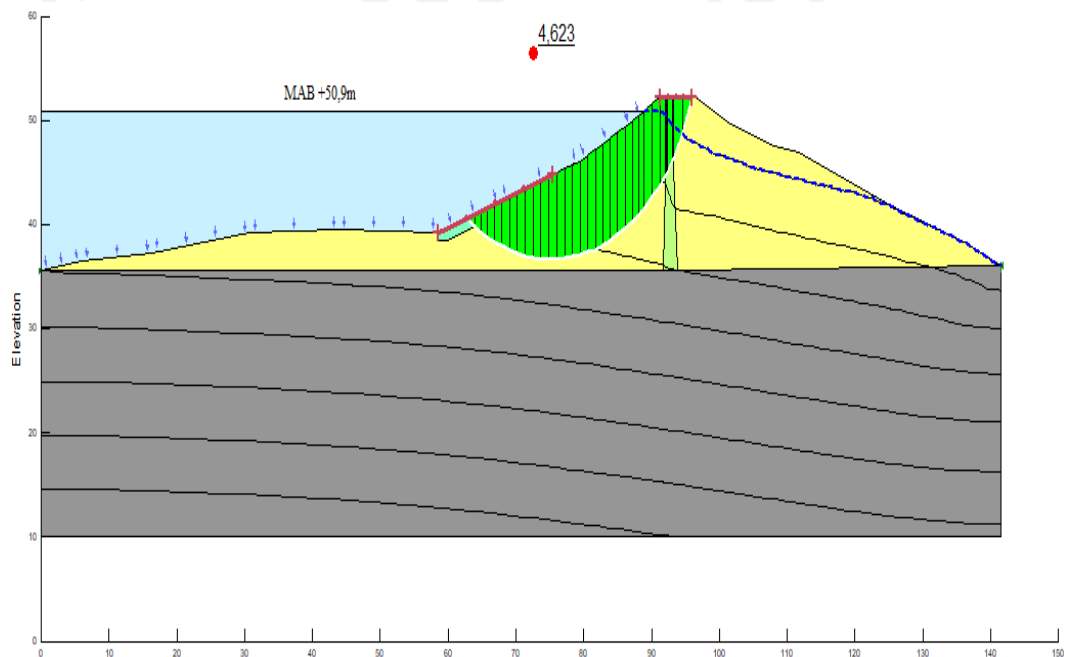
$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= 1,6298 \times 10^{-6} \times 360 \\ &= 5,8673 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

5.6. Analisis Stabilitas dengan Garis Freatik *SEEP/W*

Perhitungan stabilitas pada tubuh Bendungan Prijetan dengan garis freatik hasil *SEEP/W* dilakukan dengan menggunakan program Geostudio berupa *SLOPE/W*. Percobaan dilakukan pada 4 keadaan muka air yaitu banjir, normal, minimum dan surut tiba-tiba (*rapid draw down*). Pada setiap keadaan ditambahkan dengan beban gempa OBE dan MDE.

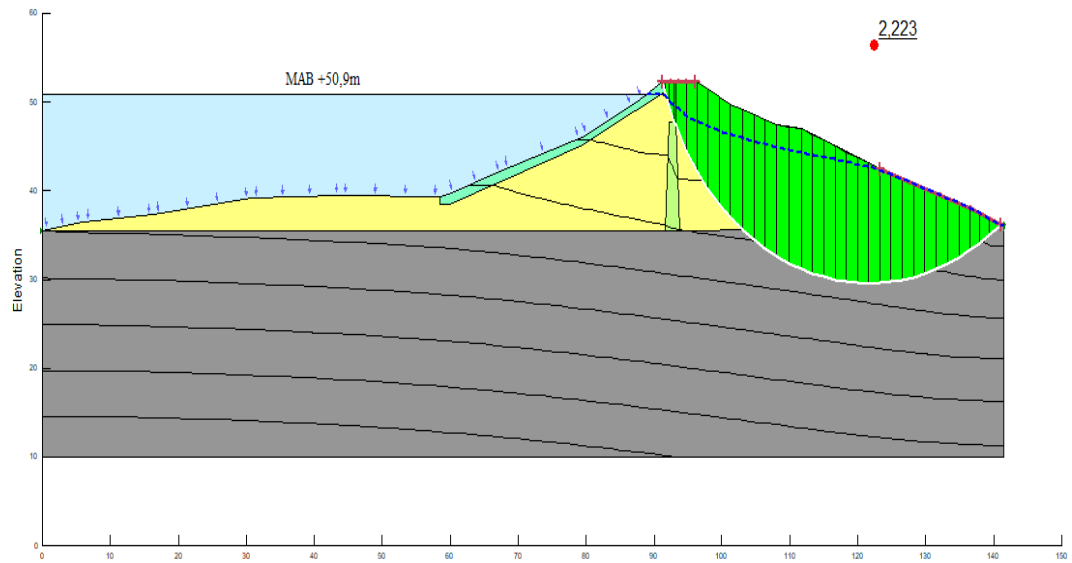
5.6.1. Stabilitas Lereng Kondisi Muka air banjir dengan Garis Freatik Hasil *SEEP/W*

Analisis stabilitas pada tubuh Bendungan Prijetan dengan kondisi muka air banjir dapat dilihat pada Gambar 5.28 sampai Gambar 5.33 berikut.



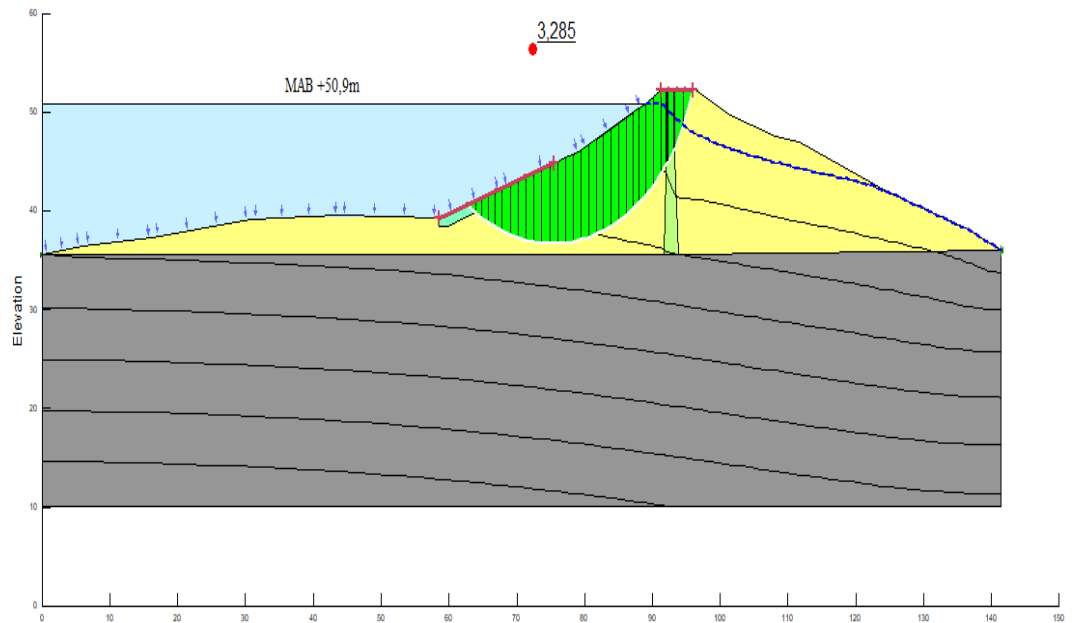
Gambar 5. 28 Hasil Perhitungan Stabilitas Uptream dengan *Slope/w* pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.28 didapatkan hasil faktor keamanan 4,623 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



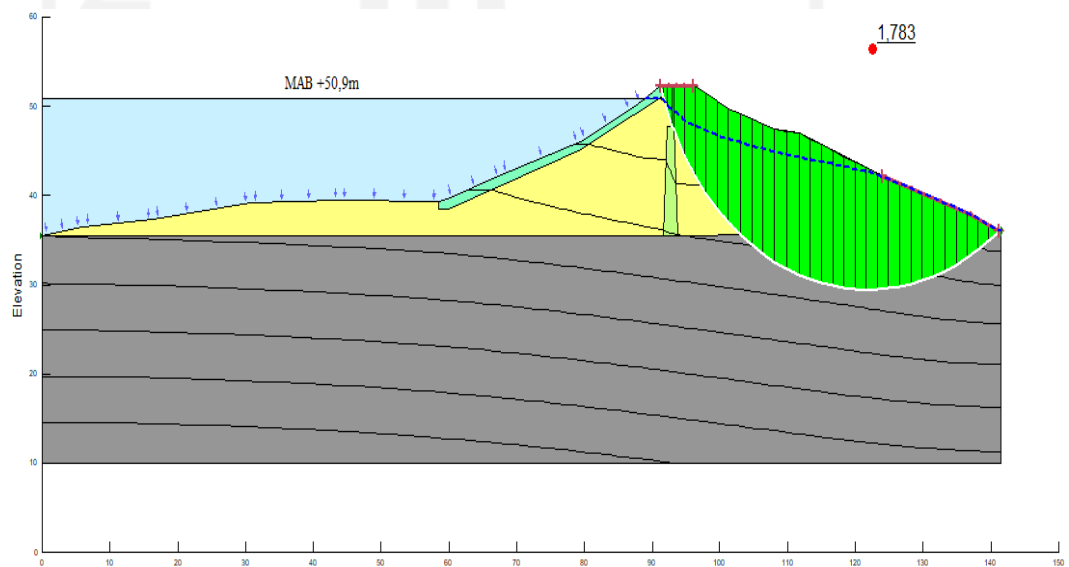
Gambar 5. 29 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.29 didapatkan hasil faktor keamanan 2,223 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



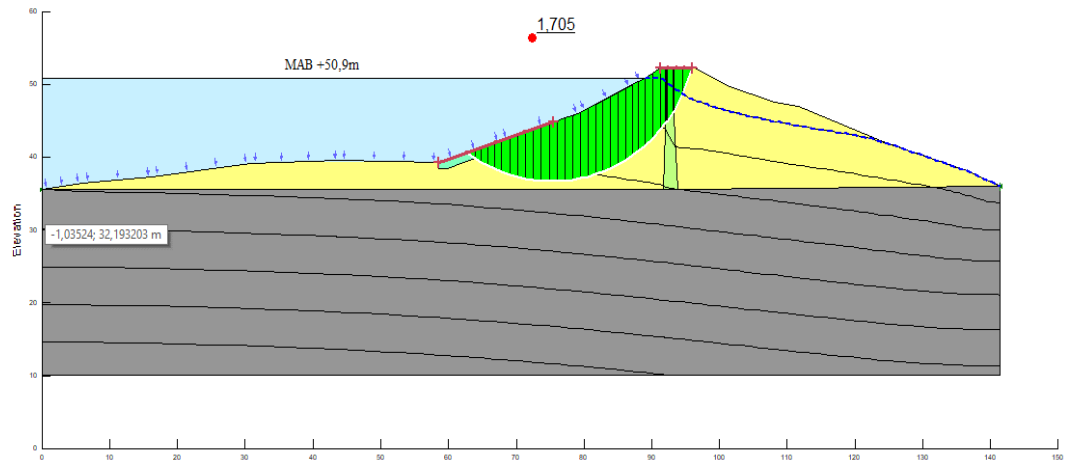
Gambar 5. 30 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.30 didapatkan hasil faktor keamanan 3,285 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



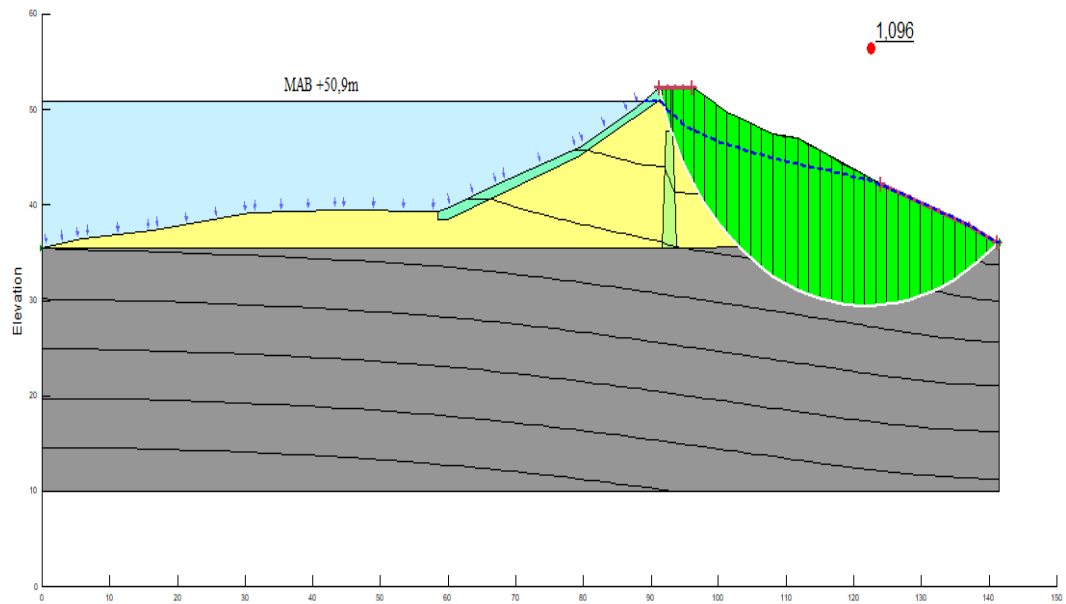
Gambar 5. 31 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.31 didapatkan hasil faktor keamanan 1,783 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 32 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.32 didapatkan hasil faktor keamanan 1,705 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

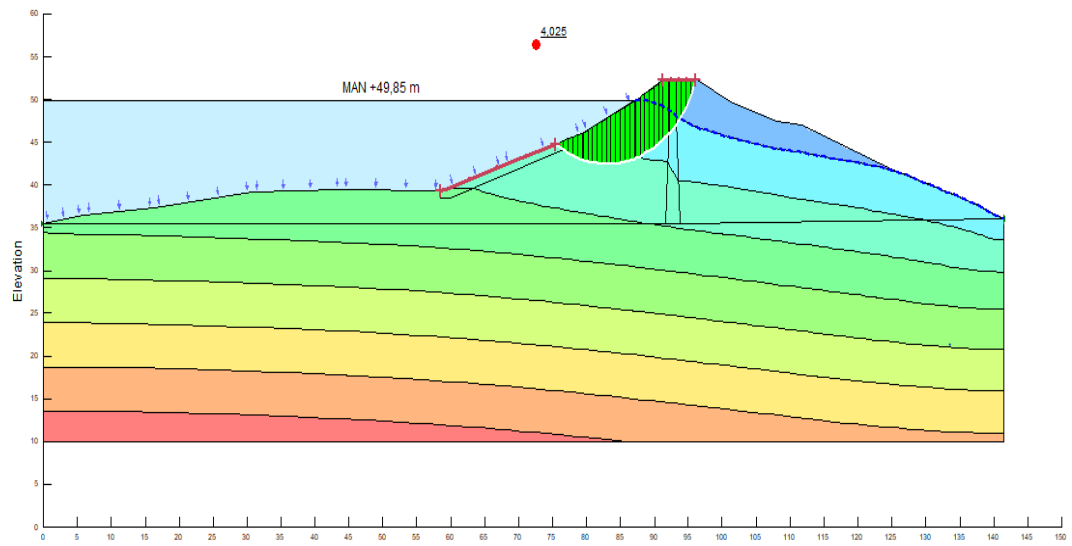


Gambar 5. 33 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.33 didapatkan hasil faktor keamanan 1,096 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

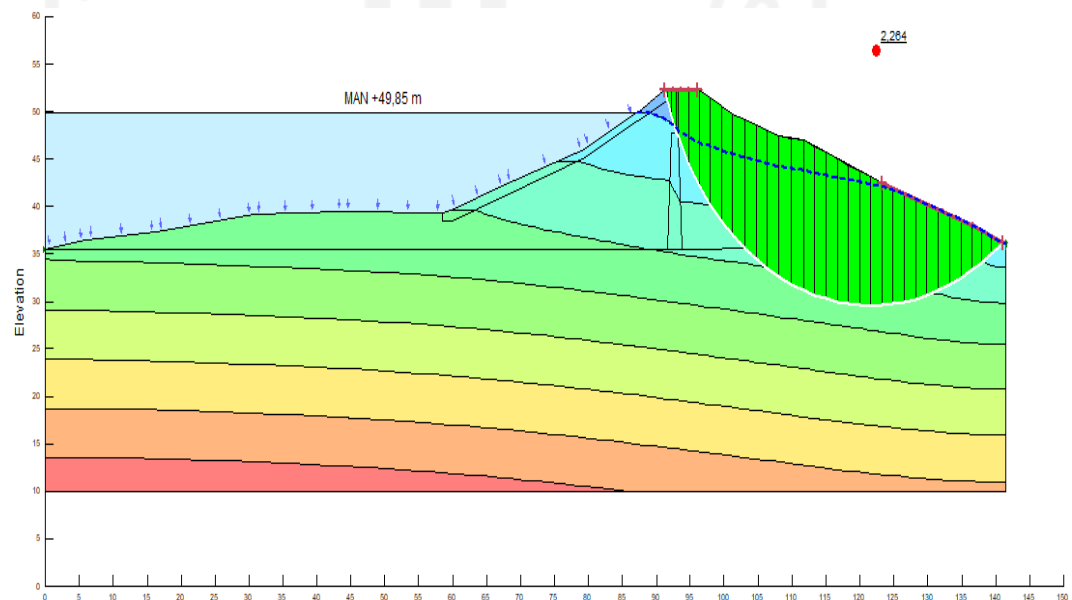
5.6.2. Stabilitas Lereng Kondisi Muka air Normal dengan Garis Freatik Hasil *SEEP/W*

Analisis stabilitas pada tubuh bendungan Prijetan dengan kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.34 sampai Gambar 5.39 berikut.



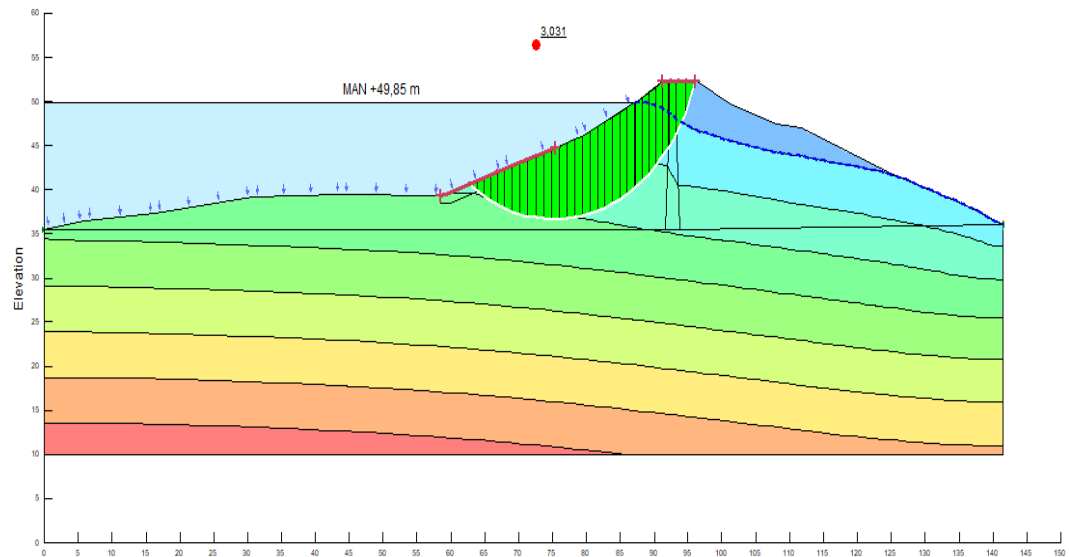
Gambar 5. 34 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan $Slope/w$ pada Kondisi Muka Air Normal.

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.34 didapatkan hasil faktor keamanan 4,025 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



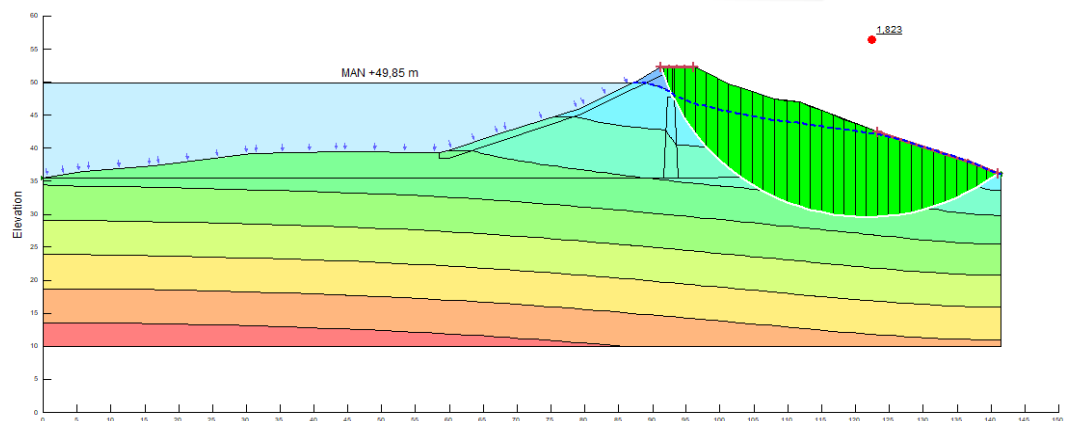
Gambar 5. 35 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan $Slope/w$ pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.35 didapatkan hasil faktor keamanan 2,264 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



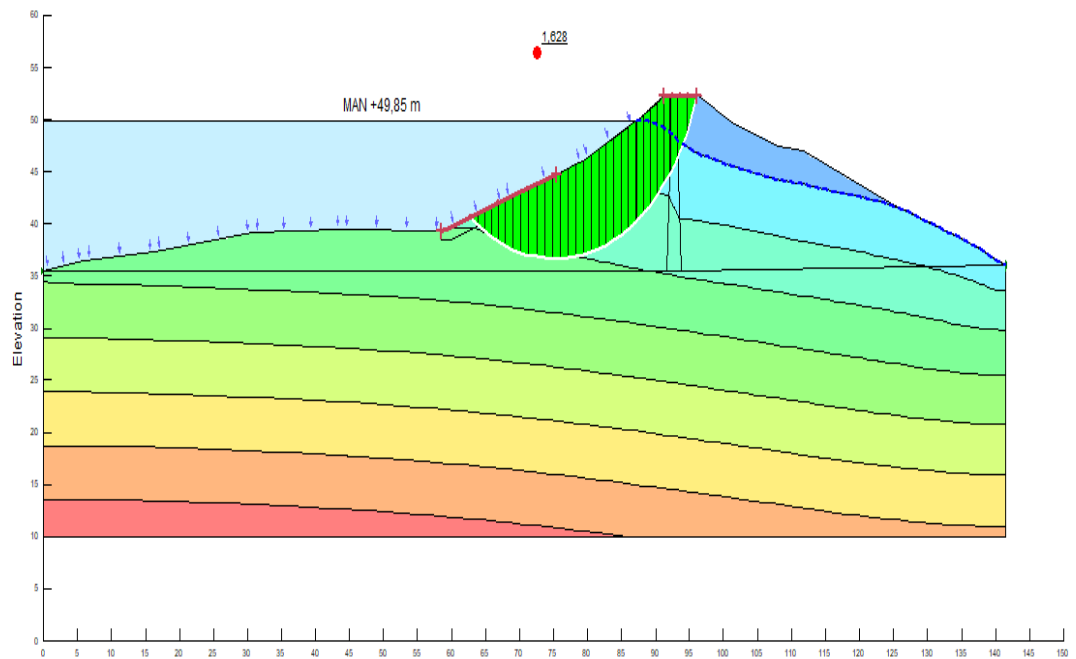
Gambar 5. 36 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.36 didapatkan hasil faktor keamanan 3,031 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



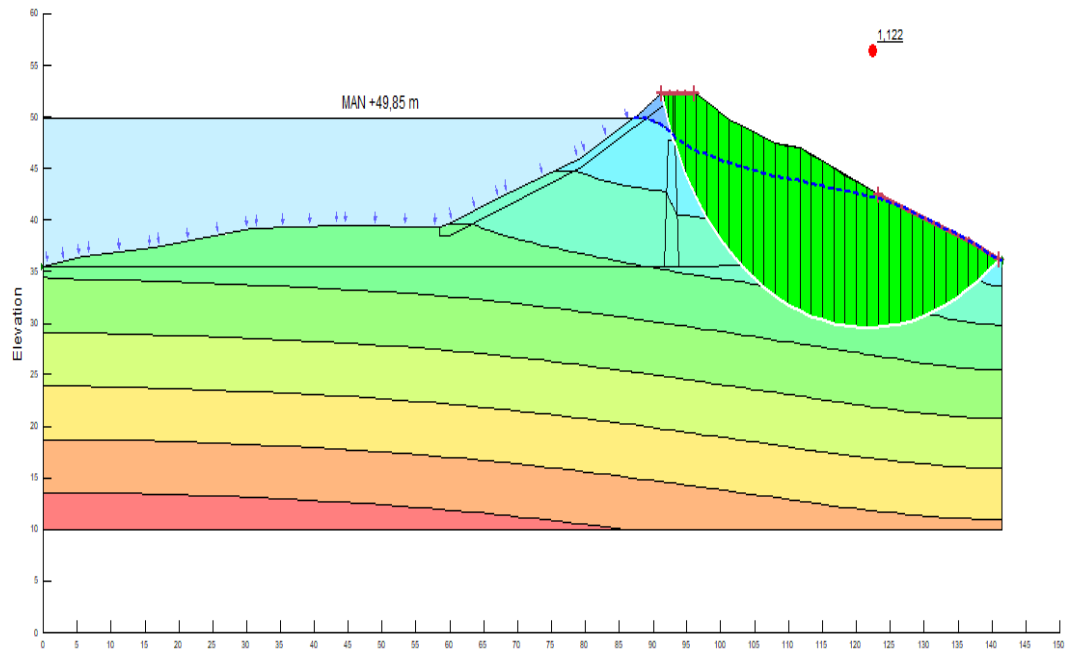
Gambar 5. 37 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.37 didapatkan hasil faktor keamanan 1,823 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 38 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.38 didapatkan hasil faktor keamanan 1,628 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

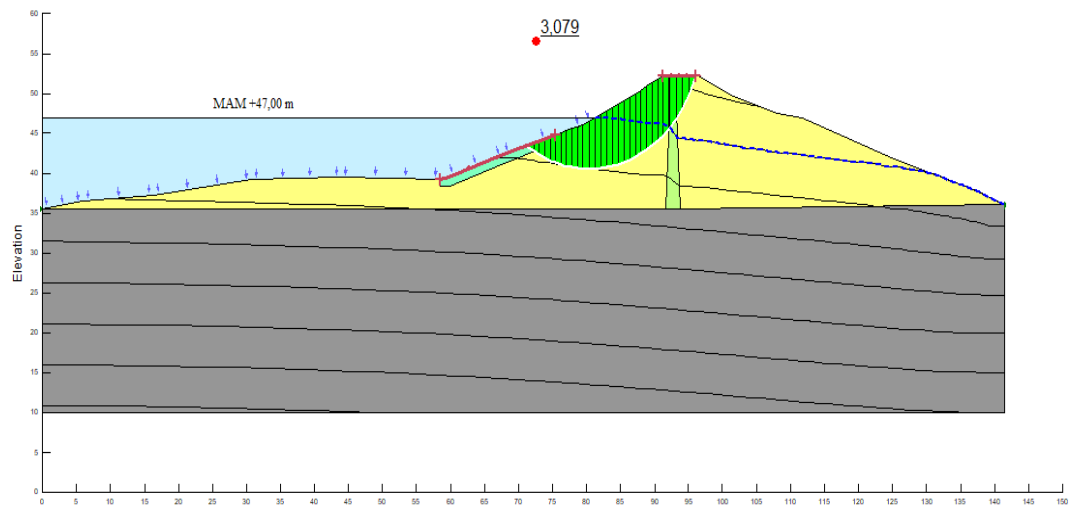


Gambar 5. 39 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.39 didapatkan hasil faktor keamanan 1,122 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

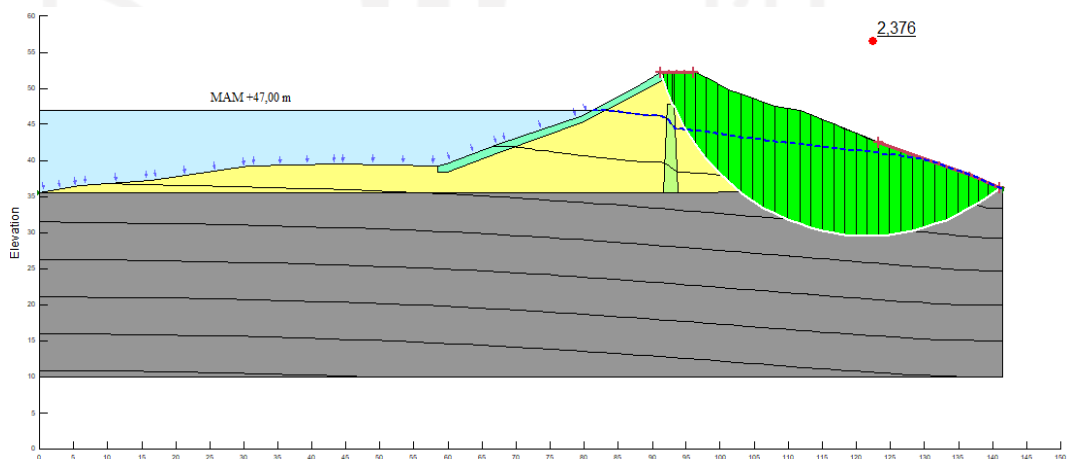
5.6.3. Stabilitas Lereng Kondisi Muka air Minimum dengan Garis Freatik Hasil *SEEP/W*

Analisis stabilitas pada tubuh bendungan Prijetan dengan kondisi muka air minimum dapat dilihat pada Gambar 5.40 sampai Gambar 5.45 berikut.



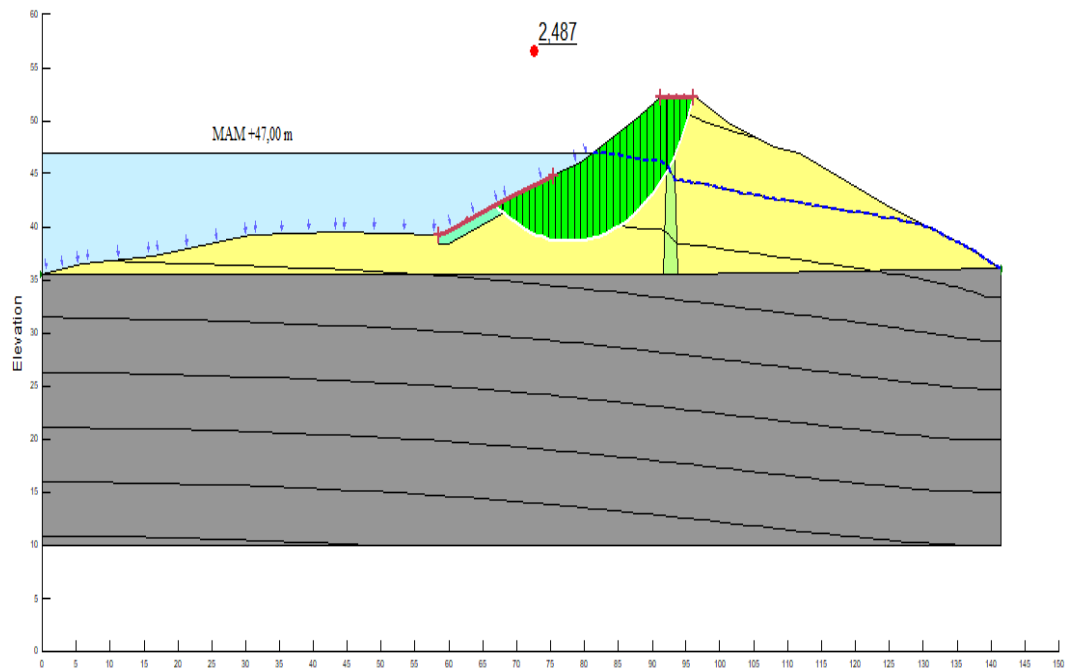
Gambar 5. 40 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.40 didapatkan hasil faktor keamanan 3,079 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 41 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* pada Kondisi Muka Air Minimum

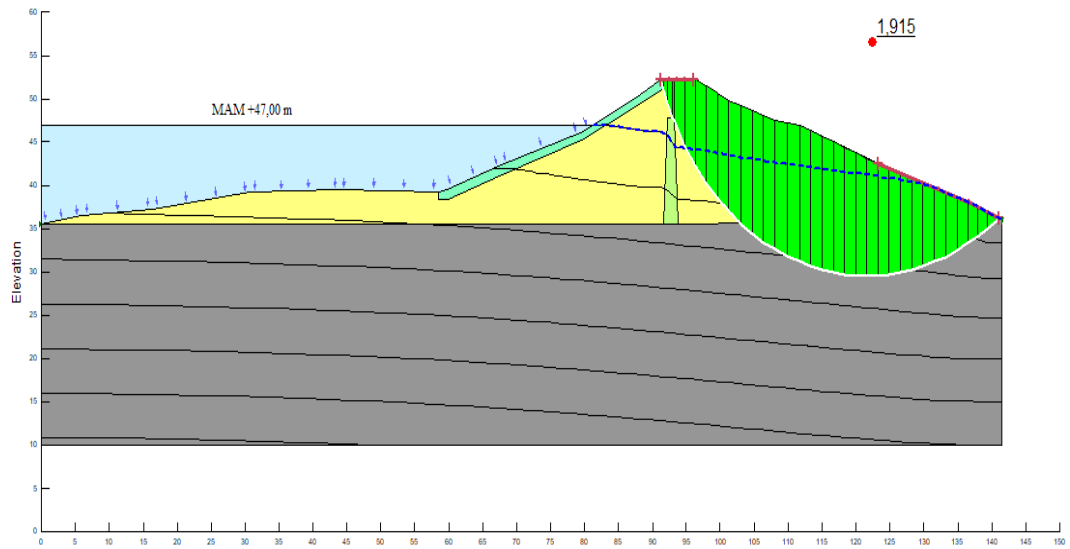
Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.41 didapatkan hasil faktor keamanan 2,376 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 42 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Minimum

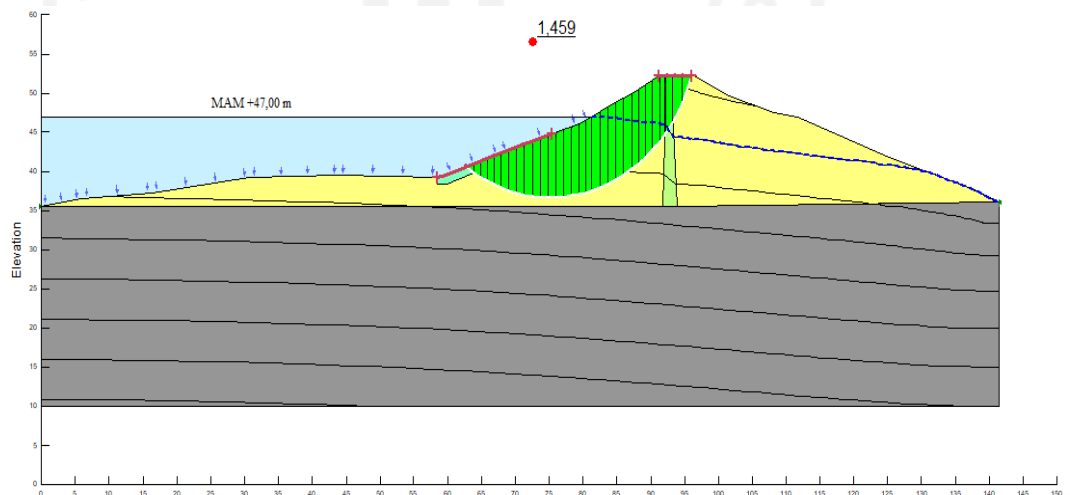
Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.42 didapatkan hasil faktor keamanan 2,487 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

الجمعة، الأستد الأندو
الجمعة، الأستد الأندو



Gambar 5. 43 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air Minimum

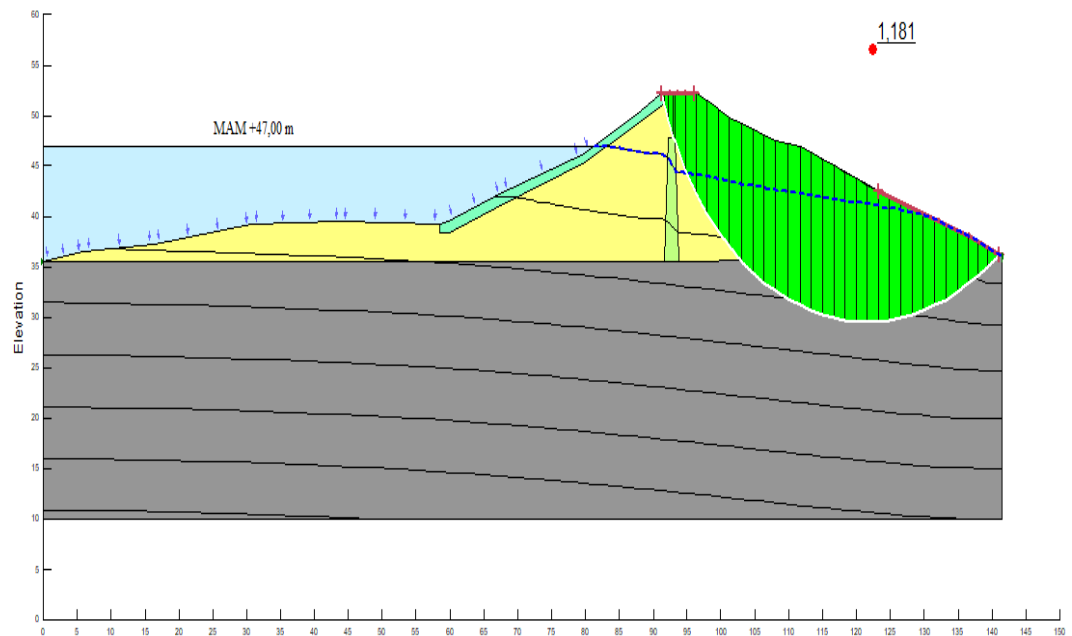
Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.43 didapatkan hasil faktor keamanan 1,915 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 44 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Minimum.

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.44 didapatkan hasil faktor keamanan 1,459 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih

besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

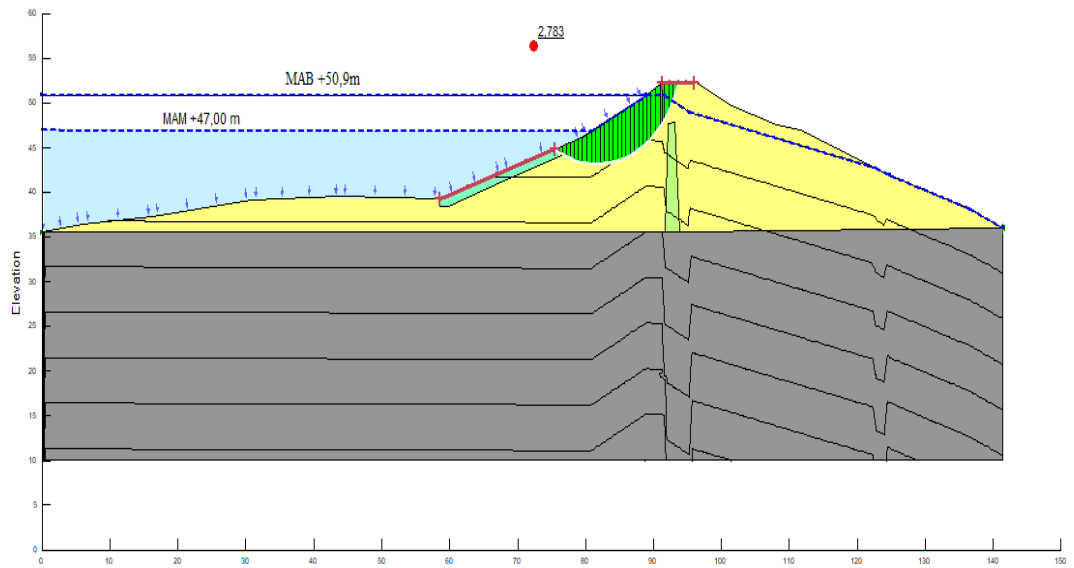


Gambar 5. 45 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air Minimum

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.45 didapatkan hasil faktor keamanan 1,181 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

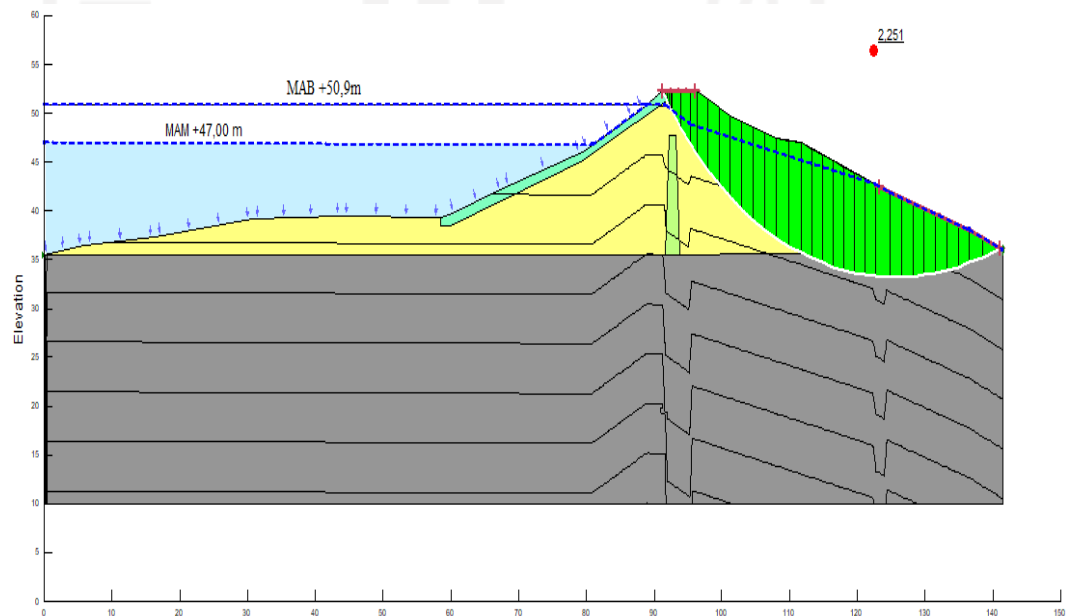
5.6.4. Stabilitas Lereng Kondisi Kondisi Surut Cepat (*Rapid Draw Down*) dengan Garis Freatik Hasil *SEEP/W*

Perhitungan stabilitas pada tubuh bendungan Prijetan dengan kondisi muka air surut tiba-tiba (*rapid draw down*) dapat dilihat pada Gambar 5.46 sampai 5.51 berikut.



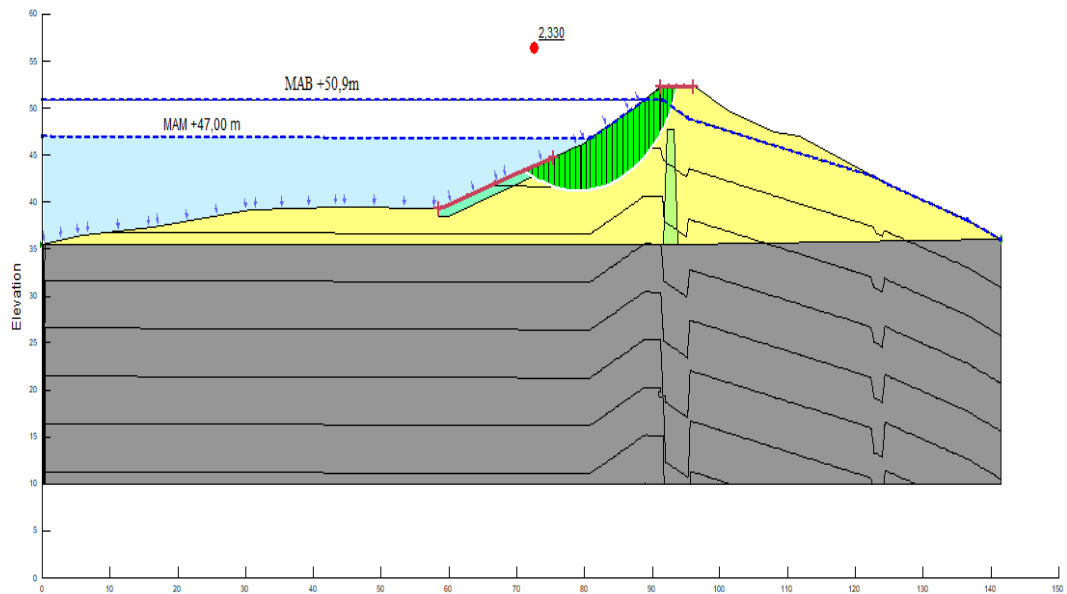
Gambar 5. 46 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.46 didapatkan hasil faktor keamanan 2,783 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



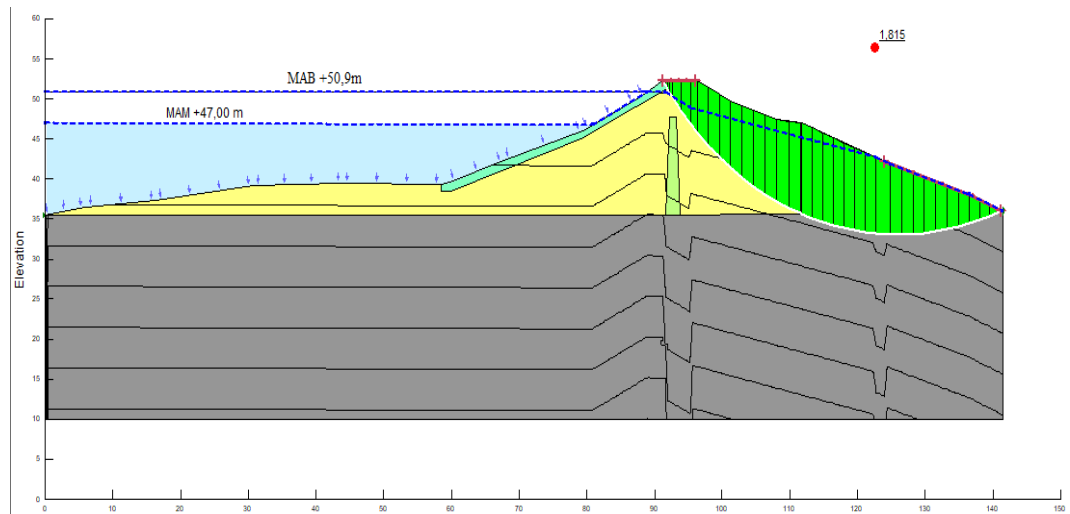
Gambar 5. 47 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*.

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.47 didapatkan hasil faktor keamanan 2,251 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



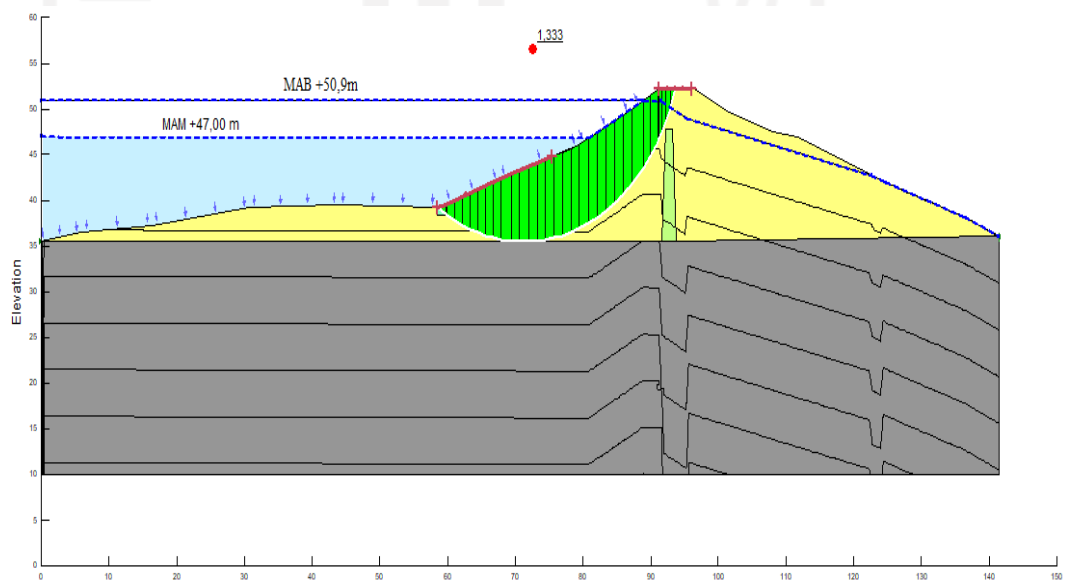
Gambar 5. 48 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.48 didapatkan hasil faktor keamanan 2,330 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



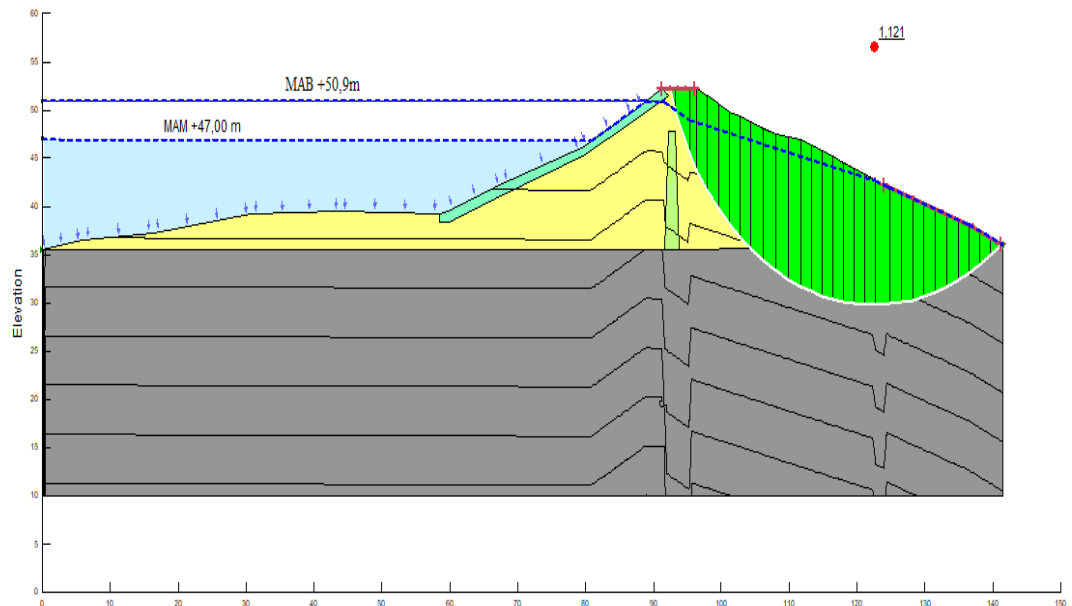
Gambar 5. 49 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa OBE pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.49 didapatkan hasil faktor keamanan 1,815 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.



Gambar 5. 50 Hasil Perhitungan Stabilitas Upstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.50 didapatkan hasil faktor keamanan 1,333 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

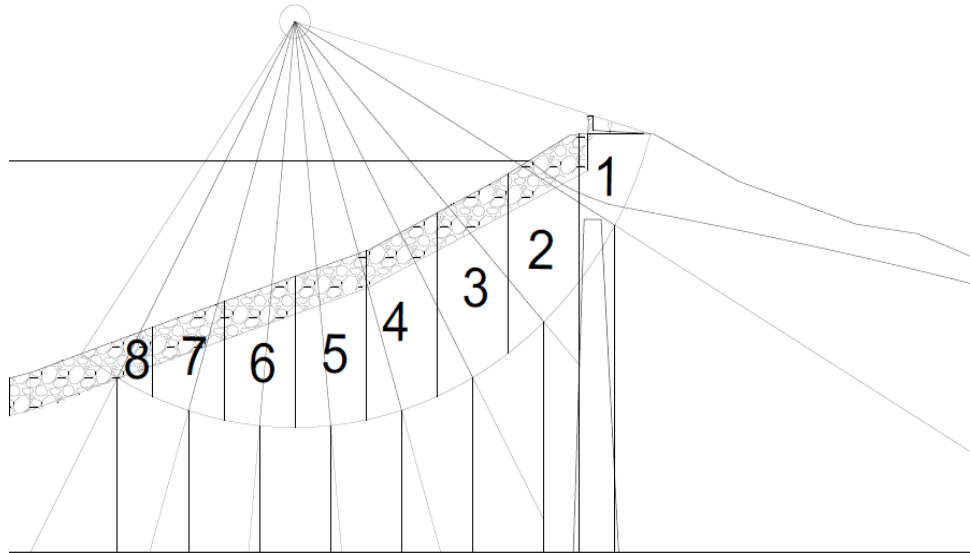


Gambar 5. 51 Hasil Perhitungan Stabilitas Downstream dengan *Slope/w* dengan Diberi Beban Gempa MDE pada Kondisi Muka Air *Rapid Draw Down*

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng pada Gambar 5.51 didapatkan hasil faktor keamanan 1,121 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang disyaratkan dan aman dari bidang kelongsoran.

5.7. Perhitungan Manual Stabilitas Lereng Metode Fellenius

Berdasarkan dari data yang diperoleh melalui uji laboratorium, maka didapatkan ilustrasi gambar seperti pada Gambar 5.52 dibawah ini.



Gambar 5. 52 Irisan Lereng Metode Fellenius

1. Perhitungan Manual Fellenius
Tinjauan pada pada irisan no. 4
 - a. Perhitungan berat irisan tanah
$$W_4 = 8,2621 \times 23 + 30,9689 \times 16,67$$
$$= 706,2799 \text{ KN}$$
 - b. Perhitungan $\sin \alpha$
$$\sin \alpha_4 = \sin (16,78)$$
$$= 0,2887$$
 - c. Perhitungan $\cos \alpha$
$$\cos \alpha = \cos (16,78)$$
$$= 0,9574$$
 - d. Perhitungan $W_t \times \sin \alpha$
$$W_{t4} \sin \alpha = 706,2799 \times 0,2887$$
$$= 203,9013 \text{ KN}$$

e. Perhitungan $Wt \times \cos \alpha$

$$\begin{aligned} Wt \cos \alpha &= 706,2799 \times 0,9574 \\ &= 676,2067 \text{ KN} \end{aligned}$$

f. Perhitungan Tekanan Pori

$$\text{Tekanan air pori pada irisan no.4 } (u_4) = 9,81 \times 9,52 = 93,3912 \text{ KN}$$

$$\text{Panjang garis longsor } a_4 = 4,3544 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} U_4 &= 93,3912 \times 4,3544 \\ &= 93,3912 \text{ KN} \end{aligned}$$

g. Tahanan terhadap longsor

$$\begin{aligned} a_4 c_4 &= 4,3544 \times 33 \\ &= 143,6952 \text{ KN} \end{aligned}$$

Berikut ini hasil dari perhitungan manual stabilitas lereng bendungan Prijetan, dapat dilihat pada Tabel 5.2 dibawah ini:

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Perhitungan Manual Stabilitas Lereng Dengan Metode Fellenius

PIAS	B	θ	Wtot	w cos θ	w sin θ	u_i	$U_i = u_i a_i$	$W_i \cos \theta - u_i a_i$	$c_i a_i$
1	4,1601	59,88	367,4101	184,3710	317,8010	10,3986	93,1351	91,2360	295,5645
2	4,1601	42,29	557,1672	412,1637	374,9086	78,5781	446,4022	-34,2385	187,4730
3	4,1601	28,74	731,4683	641,3593	351,7161	113,5017	458,8205	182,5387	157,1724
4	4,1601	16,78	706,2799	676,2067	203,9013	130,6692	406,6626	269,5441	143,6952
5	4,1601	5,55	649,4908	646,4461	62,8151	138,7134	355,2348	291,2113	138,1479
6	4,1601	-5,48	555,9562	553,4153	-53,0929	138,7134	298,9364	254,4789	138,1314
7	4,1601	-16,71	405,9469	388,8047	-116,7210	130,7673	218,1969	170,6078	143,6391
8	4,1601	-28,66	174,3676	153,0043	-83,6286	113,6979	92,9242	60,0801	157,0800
Σ	33,2808		4148,0871	3655,7711	1057,6997		2370,3128	1285,4583	1360,9035

Nilai faktor keamanan:

$$\begin{aligned} FS &= \frac{1360,8035 + 1285,4583 \times \tan 29^\circ}{1057,6997} \\ &= 1,9603 \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang telah diperoleh, dengan menggunakan metode Fellenius didapatkan nilai faktor keamanan lereng = 1,9603. Hal tersebut

menunjukkan bahwa lereng dikategorikan dalam lereng stabil, yang artinya lereng tersebut masih aman dari kelongsoran.

5.8. Pembahasan

5.8.1. Pembahasan Rembesan

1. Debit Rembesan

Berdasarkan analisis manual dengan metode Cassagrande dan hasil output dari SEEP/W untuk menghitung debit rembesan dapat dilihat pada Tabel 5.3 rekapitulasi dibawah ini.

Tabel 5. 3 Hasil Rekapitulasi Debit Rembesan

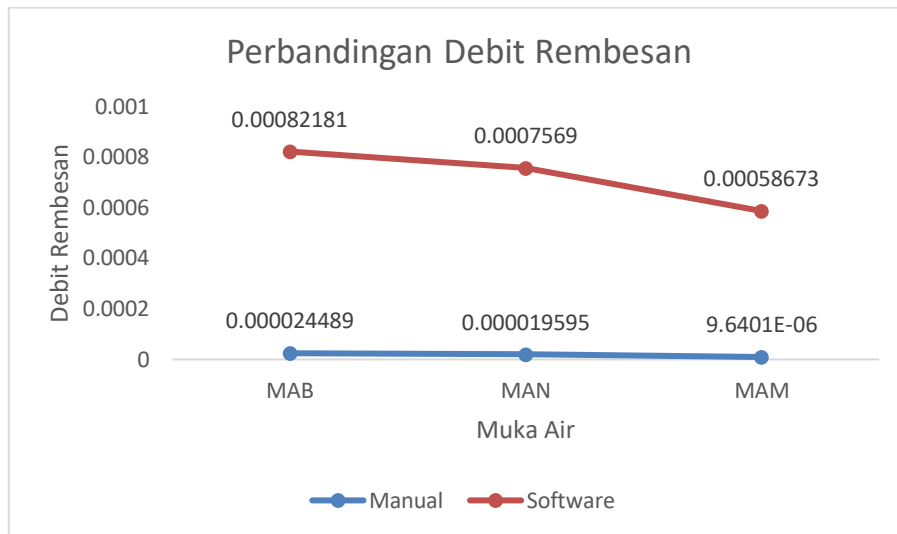
No	Kondisi	Manual	Software
1	Muka Air Banjir	$2,4489 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$	$8,2181 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$
2	Muka Air Normal	$1,9595 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$	$7,569 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$
3	Muka Air Minimum	$9,6401 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}$	$5,8673 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$

Batas aman rembesan berdasarkan debitnya mengikuti Pedoman Grouting Untuk Bendungan Departemen Pekerjaan Umum -SDA yang mengacu pada batasan yang berlaku di Jepang (*Japanese Institute of Irrigation and Drainage 1988*) nilai angka rembesan yang diperkenankan pada bendungan yaitu sebanyak total rembesan dari waduk yang melewati pondasi dan badan bendungan tidak boleh lebih dari 1% rata-rata debit sungai yang masuk ke dalam waduk. Pada bendungan Prijetan berdasarkan laporan hidrologinya diperoleh sebesar $7.9 \text{ m}^3/\text{det}$ (PT Multimera Harapan, 2020), sehingga untuk 1% nya didapatkan sebesar $0.079 \text{ m}^3/\text{dt}$. Berikut ini hasil evaluasi keamanan bendungan berdasarkan debit rembesan yang dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil Evaluasi Keamanan Bendungan Prijetan Berdasarkan Debit Rembesan

No	Kondisi	Hasil manual			Hasil software		
		Hasil	Syarat	Status	Hasil	Syarat	Status
1	Muka air banjir	2,4489 x 10 ⁻⁵ m ³ /dt	7,9 x 10 ⁻² m ³ /dt	Aman	8,2181 x 10 ⁻⁴ m ³ /dt	7,9 x 10 ⁻² m ³ /dt	Aman
2	Muka air normal	1,9595 x 10 ⁻⁵ m ³ /dt	7,9 x 10 ⁻² m ³ /dt	Aman	7,569 x 10 ⁻⁴ m ³ /dt	7,9 x 10 ⁻² m ³ /dt	Aman
3	Muka air minimum	9,6401 x 10 ⁻⁶ m ³ /dt	7,9 x 10 ⁻² m ³ /dt	Aman	5,8673 x 10 ⁻⁴ m ³ /dt	7,9 x 10 ⁻² m ³ /dt	Aman

Berdasarkan hasil perhitungan manual dan permodelan seep/w yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa bendungan Prijetan aman dari debit rembesan. Dan juga dapat dilihat grafik perbandingan hasil perhitungan debit rembesan *software* dan manual pada Gambar 5.53 dibawah ini.



Gambar 5. 53 Grafik Hasil Perbandingan Debit Rembesan *Software* dan Manual

2. Gradien Hidrolik

Berdasarkan hasil analisis manual keamanan debit rembesan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Hasil Debit Rembesan

No	Kondisi	Hasil manual
1	Muka air banjir	3,8162
2	Muka air normal	4,3431
3	Muka air minimum	6,5808

Berdasarkan Harza (1935) dalam Hardiyatmo (2017) dikatakan bahwa nilai faktor keamanan bangunan air berupa perbandingan antara nilai gradien hidrolik kritis dengan gradien keluar maksimum harus lebih besar dari 3 sampai 4 . Syarat kemandungan bendungan berdasarkan gradient hidrolik dirumuskan sebagai berikut. Syarat keamanan: ($\frac{i_c}{i_e} > 3$ s/d 4). Berikut ini hasil evaluasi dari gradien hidrolik dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Hasil Evaluasi Keamanan Bendungan Prijetan Berdasarkan Gradien Hidrolik Rembesan

No	Kondisi	Hasil manual		
		Hasil	Syarat	Status
1	Muka air banjir	3,8162	>3 s/d 4	Aman
2	Muka air normal	4,3431	>3 s/d 4	Aman
3	Muka air minimum	6,5808	>3 s/d 4	Aman

Berdasarkan hasil perhitungan manual yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa bendungan Prijetan memenuhi syarat dari tinjauan gradien hidrolik disetiap kondisi muka air.

5.8.2. Pembahasan Stabilitas

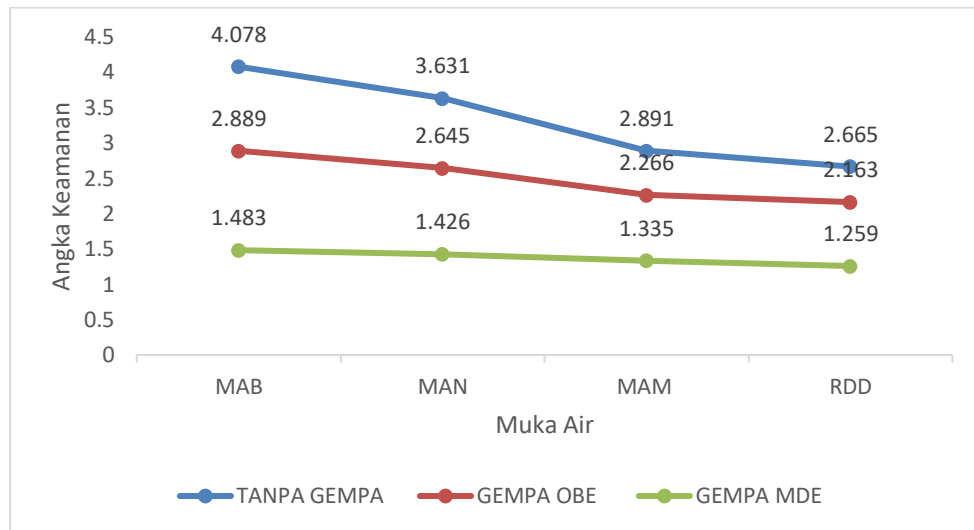
Berikut ini hasil dari perhitungan stabilitas bendungan menggunakan metode Fellenius dengan dengan garis freatik yang dibuat dengan metode Cassagrande yang dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dengan Garis Freatik

STABILITAS LERENG			
KONDISI	MANUAL	SYARAT	STATUS
Muka Air Banjir			
1. Upstream tanpa gempap	4,078	1,5	AMAN
2. Upstream gempap OBE	2,889	1,2	AMAN
3. Upstream gempap MDE	1,483	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempap	2,214	1,5	AMAN
5. Downstream gempap OBE	1,757	1,2	AMAN
6. Downstream gempap MDE	1,078	1	AMAN
Muka Air Normal			
1. Upstream tanpa gempap	3,631	1,5	AMAN
2. Upstream gempap OBE	2,645	1,2	AMAN

3. Upstream gempa MDE	1,426	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempa	2,247	1,5	AMAN
5. Downstream gempa OBE	1,774	1,2	AMAN
6. Downstream gempa MDE	1,090	1	AMAN
Muka Air Minimum			
1. Upstream tanpa gempa	2,891	1,5	AMAN
2. Upstream gempa OBE	2,266	1,2	AMAN
3. Upstream gempa MDE	1,335	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempa	2,249	1,5	AMAN
5. Downstream gempa OBE	1,811	1,2	AMAN
6. Downstream gempa MDE	1,114	1	AMAN
Rapid Draw Down			
1. Upstream tanpa gempa	2,665	1,5	AMAN
2. Upstream gempa OBE	2,163	1,2	AMAN
3. Upstream gempa MDE	1,259	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempa	2,183	1,5	AMAN
5. Downstream gempa OBE	1,756	1,2	AMAN
6. Downstream gempa MDE	1,078	1	AMAN

Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan manual stabilitas lereng pada tabel 5.7, dapat disimpulkan bahwa faktor keamanan lereng disetiap kondisi muka air bendungan Prijetan aman dari bidang kelongsoran. Selain itu didapatkan pula grafik angka keamanan disetiap kondisi muka air yang didapatkan pada Tabel 5.7, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.53.



Gambar 5. 54 Grafik Angka Keamanan Bendungan dengan Garis Freatik

Dapat disimpulkan dari Gambar 5.53 bahwa setiap kondisi muka air dan adanya pengaruh beban gempa maka angka keamanan bendungan mengecil yang akan mengakibatkan pada kestabilan lereng bendungan tersebut.

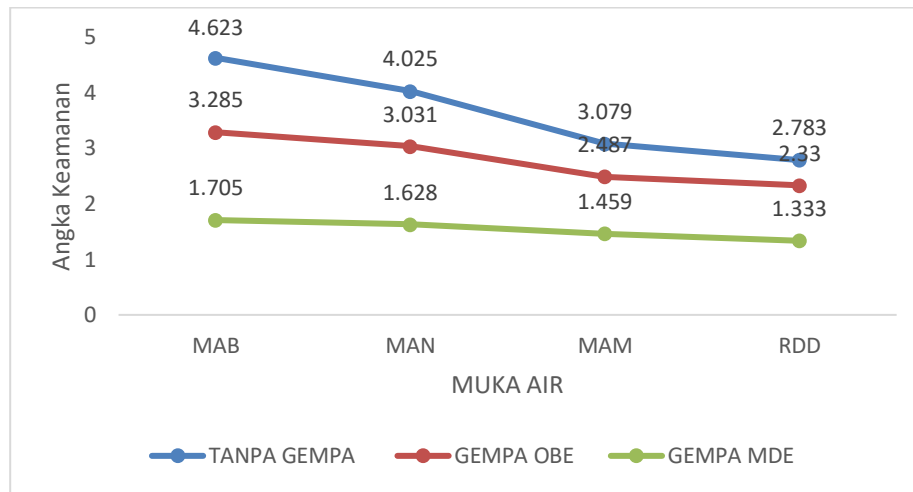
Berikut ini hasil perhitungan stabilitas bendungan menggunakan metode Fellenius dengan garis freatik yang dibuat dengan menggunakan *SEEP/W* yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dengan Garis Freatik Hasil dari *SEEP/W*

STABILITAS LERENG			
KONDISI	SOFTWARE	SYARAT	STATUS
Muka Air Banjir			
1. Upstream tanpa gempa	4,623	1,5	AMAN
2. Upstream gempa OBE	3,285	1,2	AMAN
3. Upstream gempa MDE	1,705	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempa	2,223	1,5	AMAN
5. Downstream gempa OBE	1,783	1,2	AMAN

6. Downstream gempa MDE	1,096	1	AMAN
Muka Air Normal			
1. Upstream tanpa gempa	4,025	1,5	AMAN
2. Upstream gempa OBE	3,031	1,2	AMAN
3. Upstream gempa MDE	1,628	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempa	2,264	1,5	AMAN
5. Downstream gempa OBE	1,823	1,2	AMAN
6. Downstream gempa MDE	1,122	1	AMAN
Muka Air Minimum			
1. Upstream tanpa gempa	3,079	1,5	AMAN
2. Upstream gempa OBE	2,487	1,2	AMAN
3. Upstream gempa MDE	1,459	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempa	2,376	1,5	AMAN
5. Downstream gempa OBE	1,915	1,2	AMAN
6. Downstream gempa MDE	1,181	1	AMAN
Rapid Draw Down			
1. Upstream tanpa gempa	2,783	1,5	AMAN
2. Upstream gempa OBE	2,33	1,2	AMAN
3. Upstream gempa MDE	1,333	1	AMAN
4. Downstream tanpa gempa	2,251	1,5	AMAN
5. Downstream gempa OBE	1,815	1,2	AMAN
6. Downstream gempa MDE	1,121	1	AMAN

Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan software stabilitas lereng pada tabel 5.8, dapat disimpulkan bahwa faktor keamanan lereng disetiap kondisi muka air bendungan Prijetan aman dari bidang kelongsoran. Selain itu didapatkan pula grafik angka keamanan disetiap kondisi muka air yang didapatkan pada Tabel 5.8, grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.54.



Gambar 5. 55 Grafik Angka Keamanan Bendungan dengan *SEEP/W*

Dapat disimpulkan dari Gambar 5.54 bahwa setiap kondisi muka air dan adanya pengaruh beban gempa maka angka keamanan bendungan mengecil yang akan mengakibatkan pada kestabilan lereng bendungan tersebut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan pada bendungan Prijetan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Bendungan Prijetan dikategorikan Bendungan berisiko Tinggi karena memiliki nilai tingkat risiko 28 point. Kala ulang gempa yang digunakan pada Bendungan Prijetan yaitu kala ulang 100 tahun dan 5000 tahun.
2. Bendungan Prijetan pada kondisi muka air banjir dengan perhitungan angka keamanan dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa memiliki nilai angka keamanan sebesar $4,078 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $2,889 > 1,2$ (Aman), dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,483 > 1$ (Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan geoslope didapat angka keamanan tanpa gempa $4,623 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $3,285 > 1,2$ (Aman), dan dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,705 > 1$ (Aman). Sehingga nilai angka keamanan pada kondisi muka air banjir (Aman) lebih besar daripada angka keamanan minimum tanpa gempa dan beban gempa yang diisyaratkan (SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan)).
3. Bendungan Prijetan pada kondisi muka air normal dengan perhitungan angka keamanan dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa memiliki nilai angka keamanan sebesar $3,631 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $2,645 > 1,2$ (Aman), dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,426 > 1$ (Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan geoslope didapat angka keamanan tanpa gempa $4,025 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $3,031 > 1,2$ (Aman), dan dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,628 > 1$ (Aman). Sehingga nilai angka keamanan

pada kondisi muka air normal (Aman) lebih besar daripada angka keamanan minimum tanpa gempa dan beban gempa yang diisyaratkan (SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan)).

4. Bendungan Prijetan pada kondisi muka air minimum dengan perhitungan angka keamanan dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa memiliki nilai angka keamanan sebesar $2,891 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $2,266 > 1,2$ (Aman), dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,335 > 1$ (Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan geoslope didapat angka keamanan tanpa gempa $3,079 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $2,487 > 1,2$ (Aman), dan dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,459 > 1$ (Aman). Sehingga nilai angka keamanan pada kondisi muka air minimum (Aman) lebih besar daripada angka keamanan minimum tanpa gempa dan beban gempa yang diisyaratkan (SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan)).
5. Bendungan Prijetan pada kondisi muka air surut cepat dengan perhitungan angka keamanan dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa memiliki nilai angka keamanan sebesar $2,665 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $2,163 > 1,2$ (Aman), dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,259 > 1$ (Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan geoslope didapat angka keamanan tanpa gempa $2,783 > 1,5$ (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar $2,33 > 1,2$ (Aman), dan dengan beban gempa MDE nilai angka keamanan sebesar $1,333 > 1$ (Aman). Sehingga nilai angka keamanan pada kondisi muka air surut cepat (Aman) lebih besar daripada angka keamanan minimum tanpa gempa dan beban gempa yang diisyaratkan (SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan)).
6. Bendungan Prijetan aman terhadap debit rembesan dengan analisis secara manual casagrande ada kondisi muka air banjir sebesar $2,4489 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$,

kondisi muka air normal $1,9595 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$ dan kondisi muka air minimum $9,6401 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{dt}$. Dan Bendungan Prijetan aman terhadap debit rembesan menggunakan *SEEP/W* dengan metode casagrande ada kondisi muka air banjir sebesar $8,2181 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$, kondisi muka air normal $7,569 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$ dan kondisi muka air minimum $5,8673 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$. Semua kondisi dalam keadaan aman karena syarat yang disyaratkan mengikuti Pedoman Grouting Untuk Bendungan Departemen Pekerjaan Umum-SDA yang mengacu pada batasan yang berlaku di Jepang (*Japanese Institute of Irrigation and Drainage 1988*) dimana 1% dari debit inflownya sebesar $0.079 \text{ m}^3/\text{dt}$ dalam status aman karena debit rembesan yang terjadi lebih kecil dari syarat. Bendungan Prijetan aman terhadap gradien hidrolis rembesan dengan syarat SF 3 s/d 4. Pada saat kondisi Muka Air Banjir dengan nilai SF sebesar 3,8162, pada saat kondisi Muka Air Normal dengan SF 4,3431, dan saat kondisi Air Minimum dalam kondisi aman dengan nilai SF 6,5808.

7. Perhitungan angka keamanan secara manual dengan metode fellenius pada kondisi muka air banjir dengan tanpa beban gempa didapatkan nilai angka keamanan sebesar 1,9603.

6.2 Saran

Berdasarkan Analisa yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat dilakukan antara lain yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan perbandingan antara debit rembesan hasil manual dan software dengan hasil pembacaan V-notch dilapangan.
2. Perlu dilakukan analisis stabilitas dengan menggunakan data pembacaan piezometer di lapangan.
3. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisis dengan menggunakan software GEO/G dan Plaxis sebagai pembanding.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhyaksa, B. M., Suprijanto, H., & Sisinggih, D. (2013). Studi Perencanaan Konstruksi Tubuh Bendungan Pada Waduk. 4.
- Air, D. P. (2008, January 31). *Analisis Dinamik Bendungan Urugan*. Dipetik Desember 7, 2020, dari 22) Pedoman. Konstruksi & Bangunan. Analisis & Dinamis Bendungan Urugan: [http://222.124.202.167/balai_bendungan/file/22\)%20PEDOMAN.%20KONSTRUKSI%20&%20BANGUNAN.%20ANALISIS%20&%20DINAMIS%20BENDUNGAN%20URUGAN.pdf](http://222.124.202.167/balai_bendungan/file/22)%20PEDOMAN.%20KONSTRUKSI%20&%20BANGUNAN.%20ANALISIS%20&%20DINAMIS%20BENDUNGAN%20URUGAN.pdf)
- Bowles, J. E. (1989). *Sifat Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1991). *Sifat Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah Mekanika Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1994). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Fauziek, M., & Suhendra, A. (2018). Efek Dari Dynamic Compaction (DC) Terhadap Peningkatan Kuat. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 206.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

- Ilham, M., Surpjanto, H., & Asmaranto, R. (2014). *Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan pada Bendungan Utama Tugu Kabupaten Trenggalek*. 4.
- Indonesia, S. N. (2016). *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan (SNI 8064:2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional. Diambil kembali dari Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan.
- Konstruksi, P. (2017, November). *Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan*. Diambil kembali dari Modul 12 Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan: https://simantu.pu.go.id/epel/edok/99805_12._Analisa_Stabilitas_Bendungan_-_Perhitungan_Rembesan__bulak_balik_.pdf
- Nasmiarta, Z. M., Hendrawan, A. P., & Wit Saputra, A. W. (2016). Analisa Stabilitas tubuh bendungan pada Perencanaan Bendungan Ladongi Kabupaten Kolaka Timur Sulawesi Tenggara. *Jurnal Teknik Pengairan Tidak Dipublish*, 1.
- Permukiman, D., & Wilayah, P. (2004, Oktober 1). *Analisis stabilitas bendungan tipe urugan*. Dipetik Desember 7, 2020, dari Analisis stabilitas bendungan tipe urugan: <http://sni.litbang.pu.go.id/image/sni/isi/pd-t-14-2004-a.pdf>
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1981). *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1981). *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Standar Nasional Indonesia. (2016). *SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Terzaghi, K. (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Wesley, L. D. (1973). *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- WILAYAH, D. P. (2004, oktober 1). *Analisis stabilitas bendungan tipe urugan*

akibat beban gempa. Dipetik Desember 7, 2020, dari Analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat beban gempa: <http://sni.litbang.pu.go.id/image/sni/isi/pd-t-14-2004-a.pdf>



The image features a large, faint watermark of the Universitas Islam Indonesia logo in the background. The logo consists of a shield-shaped emblem with a stylized minaret or tower in the center. The word "ISLAM" is written at the top of the shield, "UNIVERSITAS" on the left side, and "INDONESIA" on the right side. Below the shield, the university's name is written in Arabic calligraphy: "الجامعة الإسلامية الأندونيسية".

LAMPIRAN

Lampiran 3 : Bor Log

BOR LOG		HOLE NO. B.1				SHEET NO. : 1										
PROJECT : DAM AND STRUCTURES SURVEYS		COORDINATE : X =		DEPTH : 10.00 m		ELEVATION :										
LOCATION : BENDUNG PILLETAN		DATE FROM : 19-01-1997		INCLINATION : VERTICAL		DRILL NO : TONE UD 3										
SITE :		TO : 20-01-1997		G.W.L :		LOGGED BY : EDY										
AVERAGE CORE RECOVERY :				DRILLED BY : GANI												
DATE	DEPTH	BSE VA TION	SAMPL E	ROCK TYPE AND FORMATION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T.	GRAPHIC S.P.T.							PERMEABILITY K = cm/sec	
								0	10	20	30	40	50	60		
19-1-97	0.50															
	1.00					lempung, lempung, kerak, kerak pasir, kerak ring mode keabuan, kerak										
	2.00					Lempung, sedikit lempun, sedikit pasir, abu-abu ke kecoklatan, sedang										
	3.00					lempung lempun sedikit pasir, abu-abu mode coklat kehijauan, kerak										
	3.50					lempung, kerak, sedikit pasir, sedikit kerak, abu-abu kecoklatan, kerak										
	5.00					Lempung lempun, mengandung pasir, abu-abu kecoklatan, kerak										
	6.00					Lempung lempun, mengandung pasir, abu-abu kecoklatan, kerak										
	7.00					Lempung lempun, mengandung pasir, abu-abu kecoklatan, kerak										
	8.00					Lempun pasir sedikit kerak, abu-abu mode kecoklatan, kerak										
	9.00					Lempun pasir sedikit kerak, abu-abu mode kecoklatan, kerak										
20-1-97	10.00					Lempung lempun, kerak, hulu pasir mode, abu-abu kecoklatan, sedang										
	11.00															
	12.00															
	13.00															
	14.00															
	15.00															
	16.00															
	17.00															
	18.00															
	19.00															
	20.00															
	21.00															
	22.00															
	23.00															
	24.00															
	25.00															
	26.00															
	27.00															
	28.00															
	29.00															
	30.00															
	31.00															
	32.00															
	33.00															
	34.00															
	35.00															



BORT LOG		HOLE NO. B.2				SHEET NO. : 1									
PROJECT : DAMANG STRUCTURES SURVEYS		COORDINATE : X =		DEPTH : 8.00 m	ELEVATION :										
LOCATION : BONGKANG PULUTAN		Y =		INCLINATION : VERTICAL	DRILL NO : TBM-UD-5										
SITE :		DATE FROM : 18-01-1987		DRILL :											
AIRBAU / CORE RECOVERY :		TO : 20-01-1987		DRILLED BY : YAFK	LOGGED BY : GOR										
DATE	DEPTH	SLI IN FEET	SHA PIE	ROCKTYPE AND COMPOSITION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T.	GRAPHIC S.P.T.					PERMEABILITY K _v CM/SEC		
19-1-87	0.00														
	1.20					Lempung berpasir, lempungan, sedikit pasir atau silika muda lempungan, lemas									
	2.00					Sedikit lemas, lempungan halus, sedikit pasir, lempung muda berpasir, lemas									
	3.00					Lempung lemas, sedikit pasir, abu-abu									
	3.80					Lempungan, pasir, lempung, lemas									
	4.40					Lemas, lempung, lempungan muda, lempung, lempung muda sedikit abu-abu, lemas									
	5.00					Lempungan lemas, sedikit pasir, lempungan muda, abu-abu lempungan, lemas sedang									
	5.80					Lempung lemas, sedikit pasir, lempung muda lempungan, abu-abu lempungan, lemas									
	6.00					Lempung lemas, sedikit pasir, sedikit lempung, abu-abu lempungan, lemas									
	8.00														
	10.00														
	12.00														
	14.00														
	16.00														
	18.00														
	20.00														
	22.00														
	24.00														
	26.00														
	28.00														
	30.00														
	32.00														
	34.00														
	36.00														
	38.00														
	40.00														



BOR LOG		HOLE NO. B.3				SHEET NO. : 1									
PROJECT : DAM AND STRUCTURES SURVEYS		COORDINATE : X =		DEPTH : 10.00 m		ELEVATION :									
LOCATION : BENDUNG PRIJETAH		Y =		INCLINATION : VERTICAL		DRILL RIG : TONE UD.5									
SITE :		DATE FROM : 19-01-1997		G.W.L. :		LOGGED BY : EDY									
AVERAGE CORE RECOVERY :		TO : 20-01-1997		DRILLED BY : GANI											
DATE	DEPTH	ELE VA TION	SAM PLE	ROCK TYPE AND FORMATION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T.	GRAPHIC S.P.T.						PERMEABILITY K = cm/sec	
								0	10	20	30	40	50		60
19-1-97	1	1.00				Linau lempungan, mengandung pasir - kalkit, tuing muda karuban, lunak, plast sedang.	N = 4/30								
	2	2.00				Lempung lanauan, sedikit pasir, abu-abu tua kecoklatan, lunak, plast sedang.									
	3	3.00				Lempung lanauan sedikit pasir, abu-abu muda coklat, kekuningan, lunak, plast sedang.									
	4	3.50				Lempung lanau, sedikit pasir, sedikit kerakal abu-abu kecoklatan, lunak, plast sedang.									
	5	5.00				Lempung lanauan, mengandung pasir, abu - abu, kecoklatan, lunak, plast sedang.									
	6	7.00				Lempung lanauan, mengandung pasir, abu-abu kecoklatan, lunak, plast sedang.									
	7	8.00				Lanau pasir, sedikit kerakal, abu-abu muda kecoklatan, lunak-teguh plast sedang.									
	8	10.00				Lempung lanauan, kerakal, batu kapur, abu- abu kecoklatan, teguh, plast sedang.									
20-1-97	9														
	10														
	11														
	12														
	13														
	14														
	15														
	16														
	17														
	18														
	19														
	20														
	21														
	22														
	23														
	24														
	25														
	26														
	27														
	28														
	29														
	30														
	31														
	32														
33															
34															
35															

BOR LOG		HOLE NO. B.5				SHEET NO. : 1												
PROJECT : DAM AND STRUCTURES SURVEYS		COORDINATE : X =		DEPTH : 15.00 m	ELEVATION :													
LOCATION : BENDUNG PRUJETAH		Y =		INCLINATION : VERTICAL	DRILL RIG : TONE UD.5													
SITE :		DATE FROM : 21-01-1997		G.W.L. :														
AVERAGE CORE RECOVERY :		TO : 22-01-1997		DRILLED BY : GAN	LOGGED BY : EDY													
DATE	DEPTH	ELE VA TION	SAM PLE	ROCK TYPE AND FORMATION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T.	GRAPHIC S.P.T.							PERMEABILITY K _v cm/sec			
								0	10	20	30	40	50	60				
21-1-97	1	1.50			Lempung lanauan, sedikit pasir, kuning muda kecoklatan, abu-abu, sangat lunak, plast sedang	N = 1/30												
	2																	
	3																	
	4																	
	5	4.50				Lempung lanauan, sedikit pasir, kuning muda kecoklatan, sangat lunak - lunak, plast sedang	N = 5/15											
	6																	
	7	6.00				Lempung lanauan, sedikit pasir, abu - abu muda, lunak, plast sedang	N = 8/15											
	8																	
	9																	
	10																	
	11	7.50																
	12																	
	13																	
	14																	
22-1-97	15	15.00																
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		
28																		
29																		
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		
35																		

BOR LOG			HOLE NO. B.6				SHEET NO. : 1										
PROJECT : DAM AND STRUCTURES SURVEYS		COORDINATE : X =		DEPTH : 5.00 m		ELEVATION :											
LOCATION : BENDUNG PRIJETAH		Y =		INCLINATION : VERTICAL		DRILL RIG : TONE UD.5											
SITE :		DATE FROM : 22-01-1997		G.W.L. :													
AVERAGE CORE RECOVERY :		TO : 22-01-1997		DRILLED BY : MAMAN		LOGGED BY : EDY											
DATE	DEPTH	ELE VA TION	SAM PLE	ROCK TYPE AND FORMATION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T.	GRAPHIC S.P.T.							PERMEABILITY K = cm/sec		
								0	10	20	30	40	50	60			
22-1-97	1					lempung, lanauan, sedikit pasir, kuning kecoklatan, lunak, plastisitas sedang	N = 12/30										
	2																
	3	3.00															
	4																
	5	5.00															
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
	11																
	12																
	13																
	14																
	15																
	16																
	17																
	18																
	19																
	20																
	21																
	22																
	23																
	24																
	25																
	26																
	27																
	28																
	29																
	30																
	31																
	32																
	33																
	34																
	35																

اجتازت با این سند

BOR LOG				HOLE NO. B.7				SHEET NO. : 1								
PROJECT : DAM AND STRUCTURES SURVEYS				COORDINATE : X =				DEPTH : 10.00 m				ELEVATION :				
LOCATION : BENDUNG PRIETAN				Y =				INCLINATION : VERTICAL				DRILL RIG : TONE UD.5				
SITE :				DATE FROM : 23-01-1997				G.W.L. :								
AVERAGE CORE RECOVERY :				TO : 24-01-1997				DRILLED BY : TATA				LOGGED BY : EDY				
DATE	DEPTH	ELEVATION	SAMPLE	ROCK TYPE AND FORMATION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T.	GRAPHIC S.P.T.							PERMEABILITY K = cm/sec	
								0	10	20	30	40	50	60		
23-1-97	1	1.00				Lempung, lempung, batukapur muda, pasiran kuning muda kecoklatan, lunak-lembas										
	2	2.00				Lempung, lempung, sedikit pasiran, sedikit kapur muda, abu-abu tua kecoklatan, lunak										
	3	3.50				Lempung, lanau, sedikit pasiran, batukapur tua, kuning muda kecoklatan, lunak-lembas										
	4					Lempung, sedikit lanau, sedikit pasiran, abu-abu muda, sedang										
	5	5.40				Lempung, sedikit pasiran sedikit batukapur muda, kuning muda kecoklatan, lunak										
	6	6.00														
	7															
	8															
	9						Lempung, sedikit lanau, sedikit pasiran, abu-abu muda, sedang									
24-1-97	10	10.00														
	11															
	12															
	13															
	14															
	15															
	16															
	17															
	18															
	19															
	20															
	21															
	22															
	23															
	24															
	25															
	26															
	27															
	28															
	29															
	30															
	31															
	32															
	33															
	34															
	35															

الجامعة الإسلامية الهندسية
الاستاذ الدكتور

BOR LOG **HOLE NO. B.8** **SHEET NO. : 1**

PROJECT : DAM AND STRUCTURES SURVEYS	COORDINATE : X #	DEPTH : 8.00 m	ELEVATION :
LOCATION : BENDUNG PRIJETAN	Y #	INCLINATION : VERTICAL	DRILL RIG : TONE UD 5
SITE :	DATE FROM : 23-01-1997	G.W.L. :	
AVERAGE CORE RECOVERY :	TO : 24-01-1997	DRILLED BY : GA#	LOGGED BY : EDY

DATE	DEPTH	ELE VA TION	SAM PLE	ROCK TYPE AND FORMATION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T	GRAPHIC S.P.T.						PERMEABILITY K = cm/sec
								0	10	20	30	40	50	
23-1-97	1	1.00				Lanau, lempung, batukapur muda, pasiran luning muda kecoklatan, lunak-keras								
	2					Lanau, lempung, batukapur tua, kuning muda kecoklatan, keras								
	3	3.00												
	4													
	5					lempung, sedikit lanau, sedikit pasiran, abu- abu muda, sedang								
	6	6.00												
	7	7.50				Lanau, lempung, batukapur muda, kuning muda kecoklatan, lunak-keras	N = 0/15							
24-1-97	8	8.00			Lempung, sedikit lanau, sedikit pasiran, abu- abu muda, sedang									
	9													
	10													
	11													
	12													
	13													
	14													
	15													
	16													
	17													
	18													
	19													
	20													
	21													
	22													
	23													
	24													
	25													
	26													
	27													
	28													
	29													
	30													
	31													
	32													
	33													
	34													
	35													

BOR LOG **HOLE NO. B.9** **SHEET NO. : 1**

PROJECT : DAM AND STRUCTURES SURVEYS	COORDINATE : X =	DEPTH : 8.00 m	ELEVATION :
LOCATION : BENDUNG PRIJETAH	Y =	INCLINATION : VERTICAL	DRILL RIG : TOHE UD.5
SITE :	DATE FROM : 23-01-1997	G.W.L. :	
AVERAGE CORE RECOVERY :	TO : 24-01-1997	DRILLED BY : GANI	LOGGED BY : EDY

DATE	DEPTH	ELEVATION	SAMPLE	ROCK TYPE AND FORMATION	COLUMN SECTION	DESCRIPTION	N S.P.T.	GRAPHIC S.P.T.							PERMEABILITY K = cm/sec	
								0	10	20	30	40	50	60		70
19-1-97	1															
	2															
	3	3.00				Lanau lempungan, sedikit pasir-kerikil, kuning kecoklatan, lunak, plast sedang.										
	4															
	5					Lempung lanauan, sedikit pasir, abu-abu muda, lunak, plast sedang.										
	6	6.00														
	7	7.50					Lanau lempungan, sedikit kerikil, kuning kecoklatan, lunak, plast sedang.									
	8	8.00					Lempung lanauan, sedikit pasir, abu-abu muda, lunak, plast sedang.									
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																



Lampiran 4 : Hasil Laboratorium



SOIL MECHANIC LABORATORY LABORATORY TEST RESULT														
PROJECT :		10 BENDUNG BENGAWAN SOLO												
LOCATION :		PRJAJATAN												
BOR No	DEPTH (m)	G _s	γ _d (t/m ³)	f _m (t/m ³)	W _n %	ATTERBERG			UNCONFINED		TRIAXIAL - UU		CONSOLIDATION C _c	
						W _L %	W _p %	I _p %	q _u kg/cm ²	φ _i degree	C kg/cm ²	β degree		
B 1	5.00 - 5.55	2.609	1.347	1.886	42.01	74.74	23.52	48.22						
	9.00 - 9.55	2.679	1.379	1.789	29.74	72.85	29.32	44.33						
B 2	5.00 - 5.55	2.573	1.485	1.973	23.69	NP	NP	NP						
B 4	5.00 - 5.55	2.679	1.220	1.771	43.09	79.56	23.45	48.11						
	10.00 - 10.55	2.679	1.158	1.723	49.47	81.18	28.65	52.89						
	15.00 - 15.55	2.679	1.371	1.849	24.82	79.85	30.20	48.65						
	19.00 - 19.55	2.679	1.171	1.719	48.45	79.85	31.25	48.70						
		2.654	1.059	1.587	36.73	86.73	25.21	41.51	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	
	Maximum	2.679	1.495	1.873	49.47	81.18	31.25	52.53	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	
	Minimum	2.669	1.171	1.718	23.69	5.00	0.00	0.00	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	
	STD	0.003	0.108	0.285	8.11	27.29	10.34	17.15	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	
BOR No	DEPTH (m)	e	n	S _r %	GRADATION				WF ₂₀₀	UNIFIED CLASS	REMARK			
					Gravel %	Sand %	S ₂₀ %	Clay %						
B 1	5.00 - 5.55	0.881	0.495	100.00	0.00	1.85	51.00	47.15	99.15	CH				
	9.00 - 9.55	0.941	0.485	84.62	6.70	12.03	39.06	42.25	91.25	CH				
B 2	5.00 - 5.55	0.790	0.441	80.25	0.00	79.93	0.00	0.00	21.15	CH				
B 4	5.00 - 5.55	1.178	0.541	99.97	0.00	8.35	84.00	47.45	91.45	CH				
	10.00 - 10.55	1.226	0.553	100.00	0.00	3.79	84.10	50.15	94.25	CH				
	15.00 - 15.55	0.934	0.488	97.79	0.00	4.48	83.30	52.25	95.55	CH				
	19.00 - 19.55	1.289	0.563	100.00	0.00	1.85	85.90	52.25	96.15	CH				
	Average	1.053	0.509	94.55	0.00	16.19	35.19	41.84	82.93					
	Maximum	1.288	0.563	100.00	6.70	79.85	51.00	92.25	90.15					
	Minimum	0.790	0.441	80.25	0.00	1.85	0.00	0.00	21.15					
	STD	0.149	0.041	7.86	2.34	23.80	15.93	17.30	26.75					

SOIL MECHANIC LABORATORY
LABORATORY TEST RESULT

PROJECT : 10 BENDUNG SEMAWAN SOLO
LOCATION : PRUJATAN

BCR No	DEPTH (m)	Gs	d (mm)	m (1/m)	Wn %	ATTERBERG			UNCOMPENED		TRIAxIAL - U/U		CONSOLIDATION Cc
						Wl %	Wp %	Ip %	qu (kg/cm ²)	st (degree)	C (kg/cm ²)	φ (degree)	
B 5	5.00 - 5.55	2.667	1.273	1.843	44.71	36.25	26.15	10.10					
	10.00 - 10.55	2.671	1.196	1.733	46.07	77.73	20.23	47.80					
	14.00 - 14.55	2.656	1.371	1.241	37.95	76.67	20.23	44.42					
B 6	5.00 - 5.55	2.677	1.449	1.843	27.04	81.15	31.35	49.80					

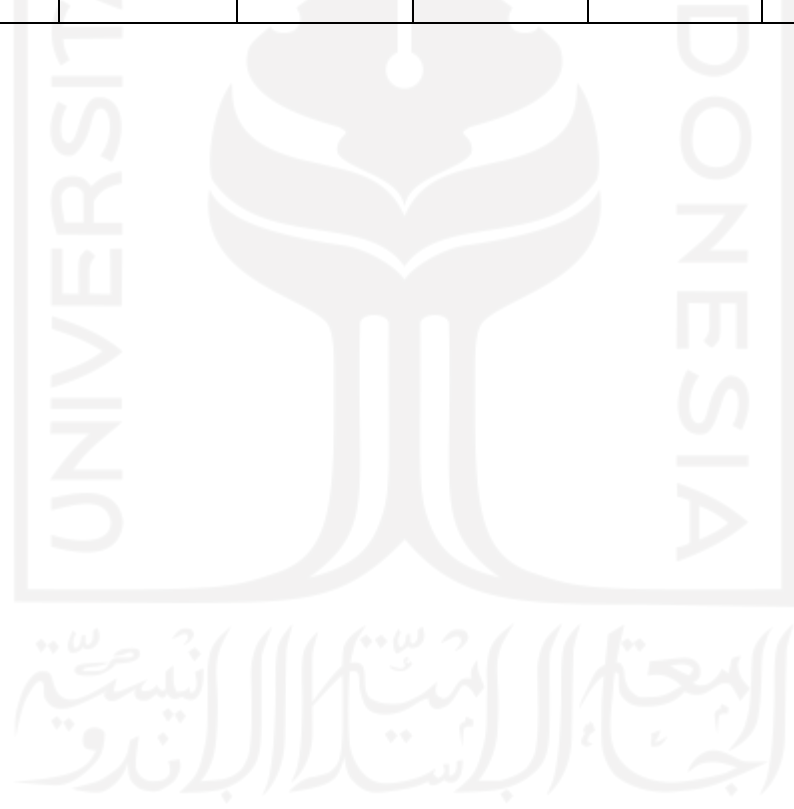
	2.654	1.229	1.667	38.94	67.98	29.93	30.03	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR
Maximum	2.677	1.449	1.843	46.07	81.15	32.25	49.80	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR
Minimum	2.656	1.196	1.241	27.04	36.25	26.15	10.10	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR
STD	0.008	0.095	0.206	7.53	18.30	2.35	16.24	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR

BCR No	DEPTH (m)	e	s	Sr %	GRADATION				%Finer #200	UNIFIED CLASS	REMARK
					Gravel %	Sand %	Gr %	Clay %			
B 5	5.00 - 5.55	1.095	0.523	100.00	0.00	47.45	29.10	23.45	92.56	ML	
	10.00 - 10.55	1.230	0.551	100.00	0.00	5.65	42.10	52.25	94.36	CH	
	14.00 - 14.55	0.937	0.484	100.00	0.00	4.65	41.10	52.25	93.35	CH	
B 6	5.00 - 5.55	0.647	0.499	85.41	0.00	2.44	45.31	52.25	97.56	CH	

Average	1.027	0.504	98.35	0.00	15.55	39.40	45.05	94.45
Maximum	1.230	0.551	100.00	0.00	47.45	45.31	52.25	97.56
Minimum	0.647	0.459	85.41	0.00	2.44	29.10	23.45	92.56
STD	0.147	0.039	6.32	0.00	19.48	6.15	12.47	16.48

Lampiran 5 : Parameter Tanah Yang Digunakan

No	Jenis Tanah	Berat Jenis (g) KN/m^3	Kohesi (c) KN/m^2	Sudut Geser ($^\circ$)	Koefisien Permeabilitas (K) m/s
1	Lempung	16.67	33	29	5.95×10^{-6}
2	Beton	24	0	0	10^{-12}
3	Pondasi	19.02	49.02	25	6.56×10^4
4	Riprap	23	0	40	Free drain

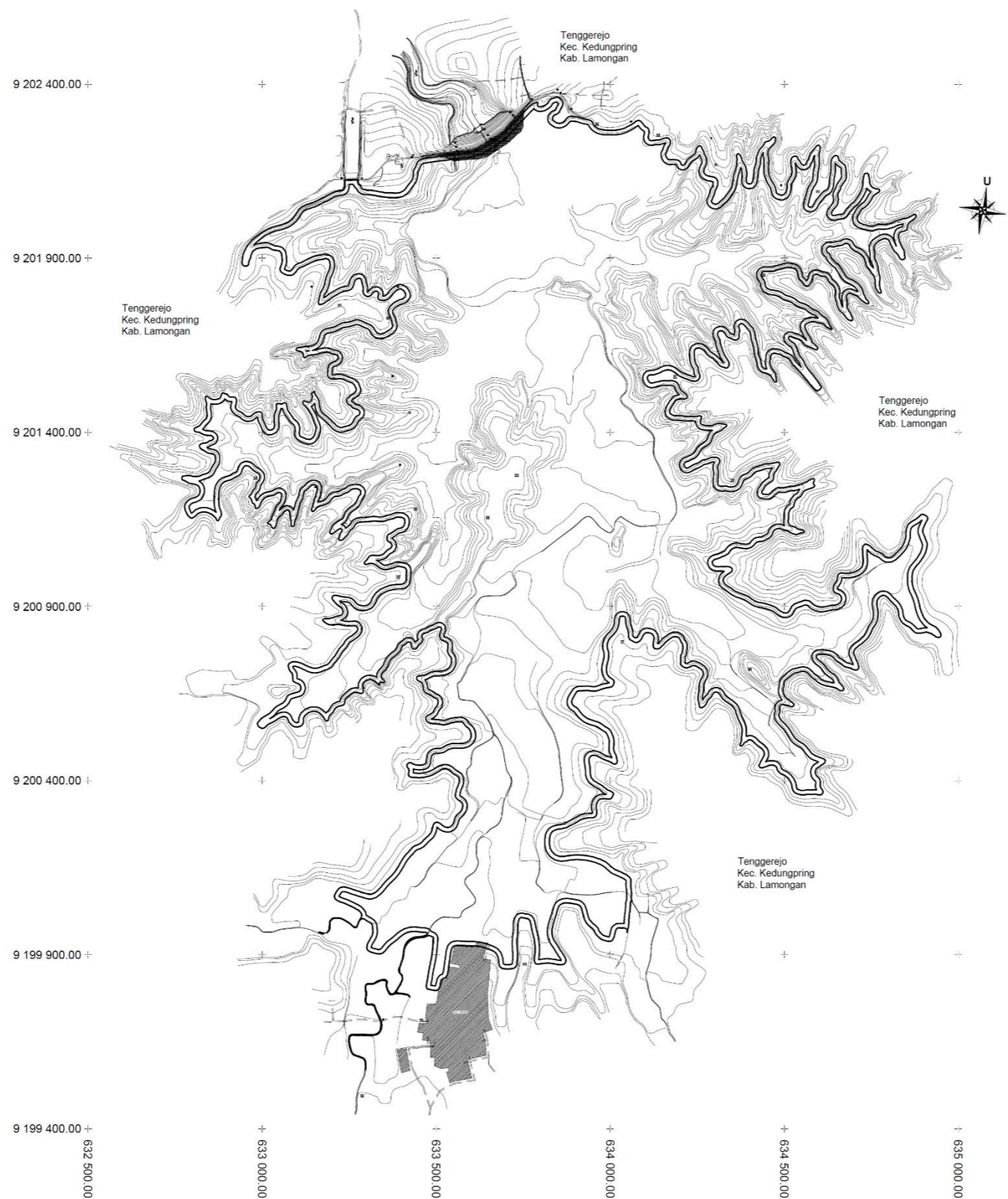


Lampiran 6 : Data Teknis Bendungan


A. Data Umum	
Lokasi	Desa Sumbergempol dan Desa Tenggerejo Kec. Kedungpring Kab. Lamongan, Jawa Timur
Manfaat	Irigasi : 4.513 Ha
Tahun konstruksi	1910 - 1917
Pengelola	BBWS Bengawan Solo
B. Data Hidrologi	
Sungai	K. Prijetan
Luas daerah aliran sungai	24,91 km ²
C. Data Waduk	
Elevasi dan luas MA Banjir	El. +50,9 m
Elevasi dan luas MA Normal	El. +49,85 m
Elevasi dan luas MA Minimum	El. +47,00 m
D. Bendungan	
Tipe	Urugan tanah inti beton
Tinggi dari dasar sungai	23,00 m
Panjang puncak	360 m
Lebar puncak	3,75 m
Elevasi puncak	El. +52,00 m
Elevasi puncak parapet	El. +52,90 m
E. Data Bangunan Pelimpah Utama	
Tipe	overflow
Elevasi mercu	El. +49,85 m
Panjang Mercu Bersih	25,69 m
kapasitas	10,8 m ³ /dt
F. Data Bangunan Pelimpah Tambahan	

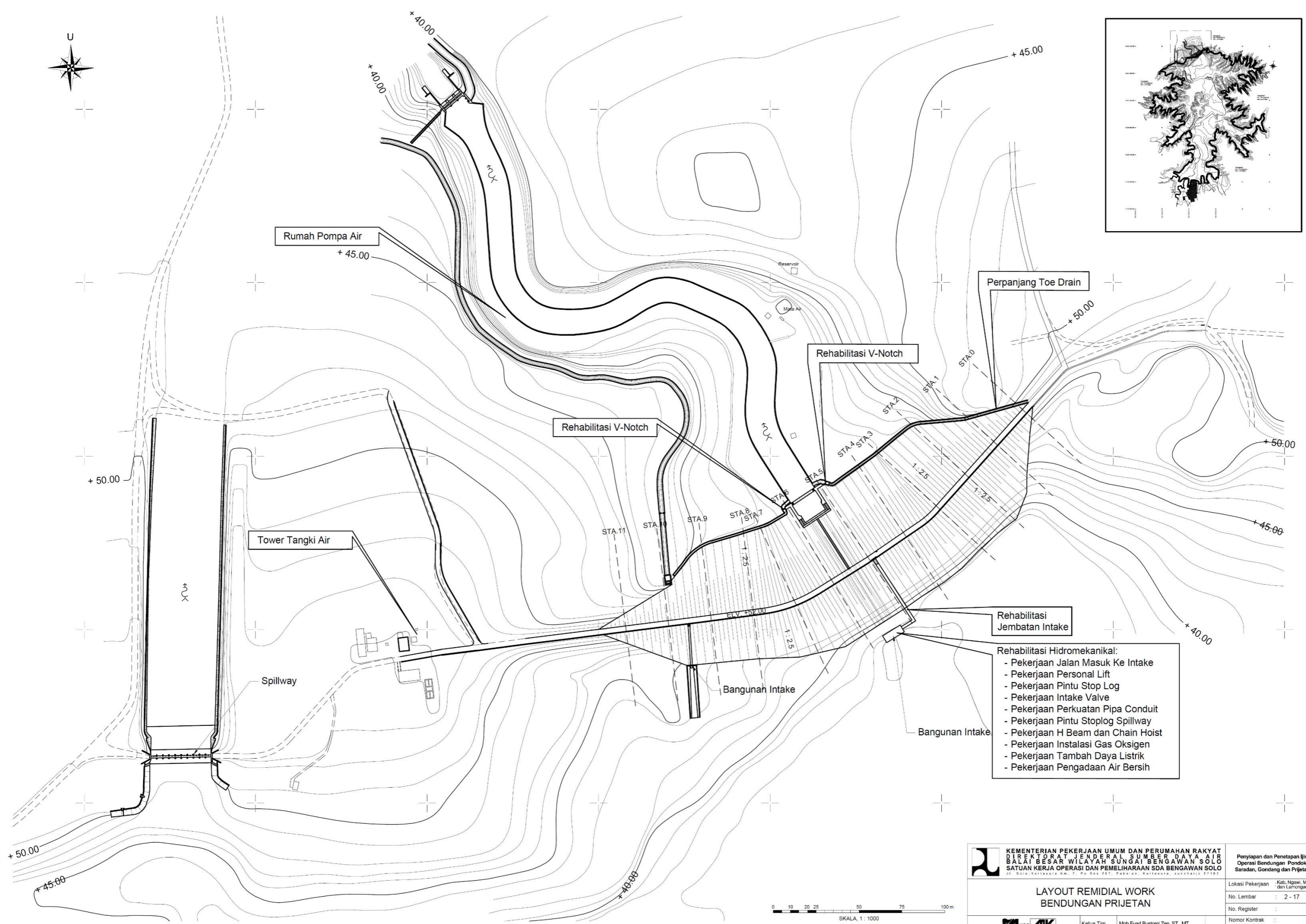
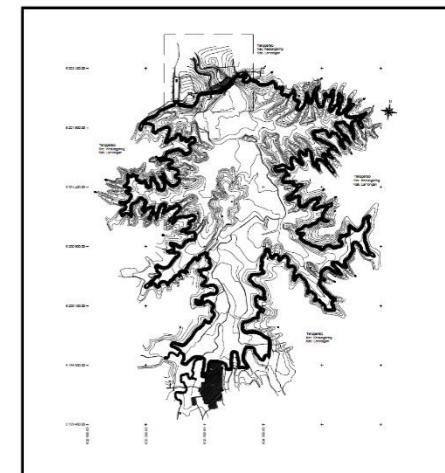
Tipe	Ambang tajam (morning glory)
Elevasi Mercu	El. +47,00 m
Panjang Mercu	8 m (4 m x 2 m)
G. Bangunan Pengambilan	
Tipe	Menara
Tinggi Menara	20,00 m
Tipe Alat Operasi	pintu sorong
H. Data Bangunan Pengeluaran	
Tipe	Konduit
Bentuk	Persegi + ½ lingkaran
Ukuran	2 x 1,5 m ² (LxT) + D = 2,00 m
Jumlah	2 buah
Panjang	80 m
Tipe alat operasi	Pintu sorong
G. Instrumentasi	
Pisometer elektrik	9 buah
Penakar hujan	1 buah
Papan duga muka air	5 buah
Alat ukur rembesan	2 buah (cipoletti)
Patok geser	9 buah

Lampiran 7 : Peta Situasi dan Potongan Geometri

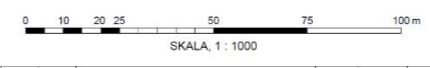


No rev.	Tgl	Yang Direvisi	Oleh	Direnc.	Disetujui

	Ketua Tim	Moh Fuad Bustam Zen, ST., MT	Penyalpan dan Penetapan Ijin Operasi Bendungan Pondok, Saradan, Gondang dan Prijetan Lokasi Pekerjaan : Kab. Ngawi, Madun dan Lamongan No. Lembar : 1 - 17 No. Register : Nomor Kontrak : No. HK.02.03/OPSDA/IDOSP-II/2019-2 Tanggal 9 Oktober 2019
	Direksi Pekerjaan	Kartika Setyanri, SE, MM	
	Diperiksa	Sri Wahyu Kusumastuti, ST., M.Si	
	Menyetujui	Ratih Niam Sari, ST., MPSDA	
PPK OP SDA 1			

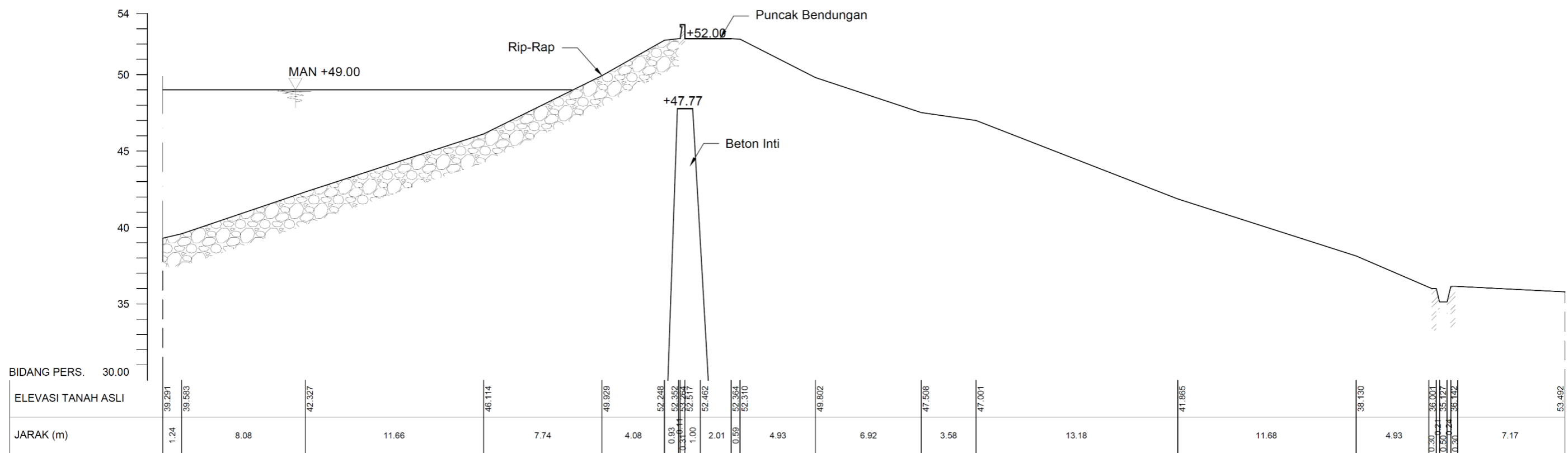


- Rehabilitasi Hidromekanikal:**
- Pekerjaan Jalan Masuk Ke Intake
 - Pekerjaan Personal Lift
 - Pekerjaan Pintu Stop Log
 - Pekerjaan Intake Valve
 - Pekerjaan Perkuatan Pipa Conduit
 - Pekerjaan Pintu Stoplog Spillway
 - Pekerjaan H Beam dan Chain Hoist
 - Pekerjaan Instalasi Gas Oksigen
 - Pekerjaan Tambah Daya Listrik
 - Pekerjaan Pengadaan Air Bersih



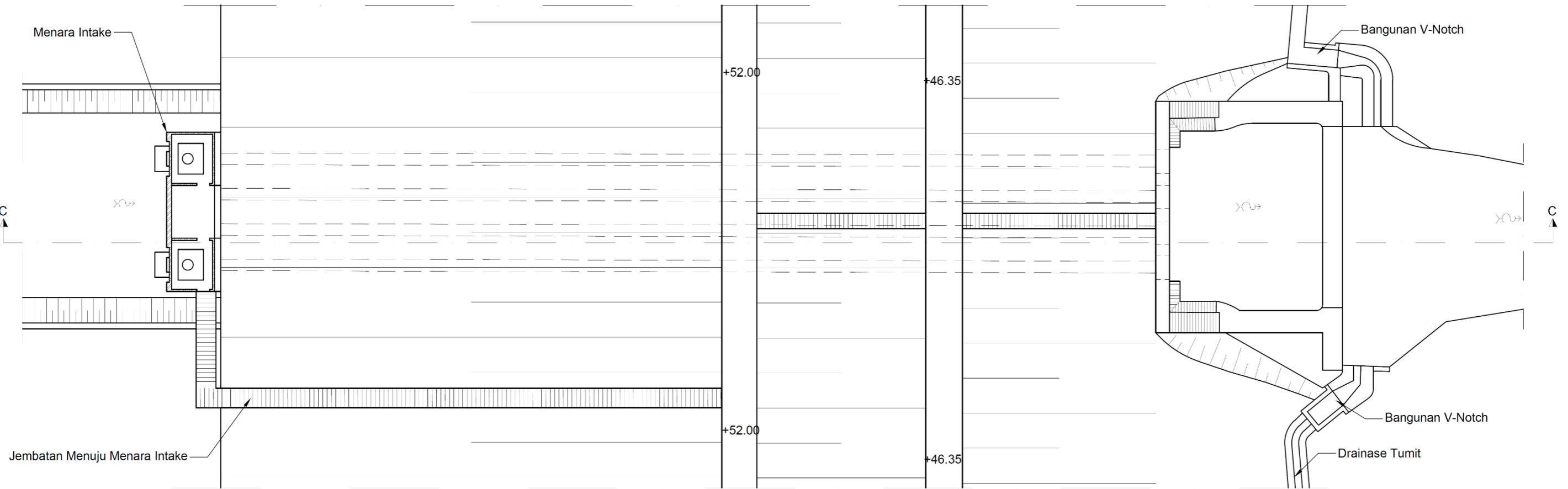
	KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI BENGAWAN SOLO SATUAN KERJA OPERASI DAN PEMELIHARAAN SDA BENGAWAN SOLO <small>Jl. Solo Kartasura Km. 7, PO Box 267, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57167</small>		Penyusunan dan Penetapan Ijin Operasi Bendungan Pondok, Saradan, Gondang dan Prijetan
	LAYOUT REMEDIAL WORK BENDUNGAN PRIJETAN		Lokasi Pekerjaan : Kib, Nawi, Madun dan Lamongan No. Lembar : 2 - 17 No. Register : Nomor Kontrak :
Diperiksa : Direksi Pekerjaan Menyetujui : PPK OP SDA 1	Ketua Tim : Moh Fuad Bustoni Zen, ST., MT Direktur : Karika Setyaning, SE, MM Sri Wahyu Kusumastuti, ST., M.Si Rath Nilam Sari, ST., MPSDA	No. HK.02.03.OPSDA/DOISP-IJ/2019-2 Tanggal 9 Oktober 2019	

No. rev.	Tgl.	Yang Direvisi	Oleh	Direnc.	Disetujui

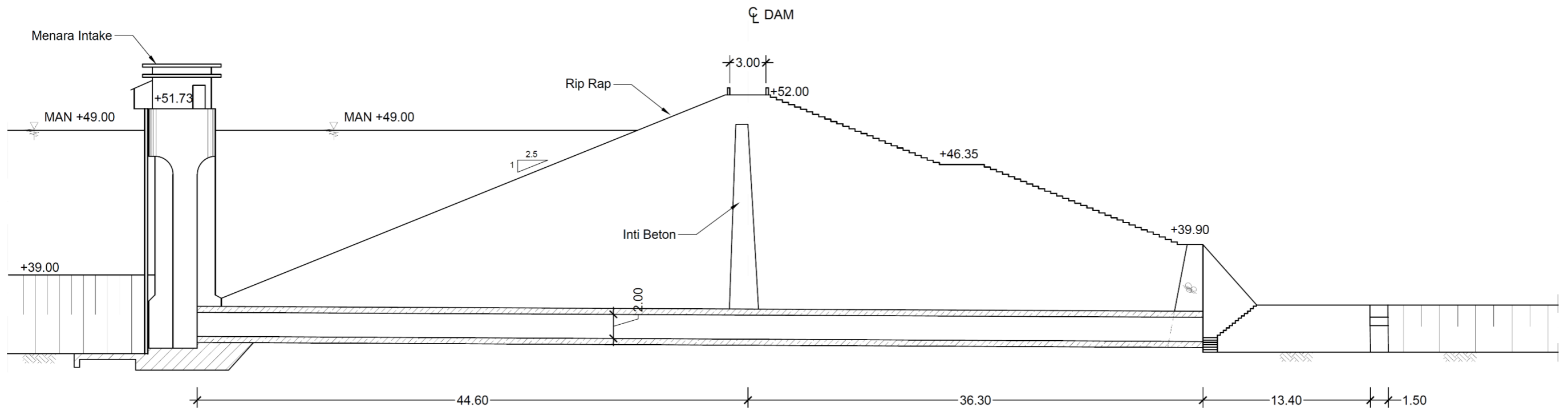


	KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI BENGAWAN SOLO SATUAN KERJA OPERASI DAN PEMELIHARAAN SDA BENGAWAN SOLO		Periapan dan Penetapan Ijin Operasi Bendungan Pondok, Saradan, Gondang dan Prijetan
	POTONGAN TUBUH BENDUNGAN PRIJETAN		Lokasi Pekerjaan : Kab. Ngawi, Madun dan Larangan No. Lembar : No. Register : Nomor Kontrak :
PT. MULTIMERA HARAPAN PT. MITRA UTAMA KENZO Diperiksa : Direksi Pekerjaan Menyetujui : PPK OP SDA 1	Ketua Tim : Moh Fuad Bustomi Zen, ST., MT Direktur : Kartika Selyarini, SE, MM Sii Wahyu Kusumastuti, ST., M.Si Rath Niam Sari, ST., MPSDA	No. HK.62.03/OPSDA/DOISP-II/2019-2 Tanggal 9 Oktober 2019	

No rev.	Tgl	Yang Direvisi	Oleh	Direnc.	Disetujui




DENAH BANGUNAN INTAKE
Skala 1 : 500



POTONGAN MEMANJANG BANGUNAN INTAKE
Skala 1 : 500



	KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI BENGAWAN SOLO SATUAN KERJA OPERASI DAN PEMELIHARAAN SDA BENGAWAN SOLO		Penyiapan dan Penetapan Ijin Operasi Bendungan Pondok, Saradan, Gondang dan Prijetan
	DENAH & POTONGAN INTAKE BENDUNGAN PRIJETAN		Lokasi Pekerjaan : Kab. Ngawi, Madiun dan Lamongan No. Lembar : No. Register : Nomor Kontrak :
Ketua Tim : Moh. Fuad Bustomi Zen, ST., MT Direktur : Kartika Setyaning, SE, MM	Dikerjakan : PPK OP SDA 1	Sni Wahyu Kusumastuti, ST., M.Si Rath Nilam Sari, ST., MPSDA	No. HK.02.03/OPS/DA/0/0/SP-II/2019-2 Tanggal 9 Oktober 2019

No. rev.	Tgl.	Yang Direvisi	Oleh	Direnc.	Disetujui