



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

# PREDIKSI DAN ANALISIS REMBESAN PADA TUBUH BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK

Muhammad Zaka Dharfan

NRP 3114 030 018

Wildan Aidi Rahman

NRP 3114 030 033

Dosen Pembimbing:

Dr. Ir. Kuntjoro, MT

NIP 19580629 198703 1 002

M. Khoiri, ST. MT. Ph.D.

NIP 19740626 200312 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

## **PREDIKSI DAN ANALISIS REMBESAN PADA TUBUH BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK**

Muhammad Zaka Dharfan

NRP 3114 030 018

Wildan Aidi Rahman

NRP 3114 030 033

Dosen Pembimbing:

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.

NIP 19580629 198703 1 002

M. Khoiri, ST. MT. Ph.D.

NIP 19740626 200312 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

# **PREDICTION AND ANALYSIS SEAPAGE OF TRENGGALEK'S DISTRICT TUGU MAIN DAM**

Muhammad Zaka Dharfan

NRP 3114 030 018

Wildan Aidi Rahman

NRP 3114 030 033

CONSULTAN LECTURER:

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.

NIP 19580629 198703 1 002

M. Khoiri, ST. MT. Ph.D.

NIP 19740626 200312 1 001

DIPLOMA THREE CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
INFRASTRUCTURE CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF VOCATION  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017

## **PREDIKSI DAN ANALISIS REMBESAN PADA TUBUH BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK**

**Nama Mahasiswa 1 : Muhammad Zaka Dharfan**  
**NRP : 3114030018**  
**Nama Mahasiswa 2 : Wildan Aidi Rahman**  
**NRP : 3114030033**  
**Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Kuntjoro, MT.**  
**NIP : 19580629 198703 1 002**  
**Dosen Pembimbing 2 : M. Khoiri, ST. MT. Ph.D.**  
**NIP : 19740626 200312 1 001**

### **ABSTRAK**

Bendungan merupakan konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, bendungan umumnya bertujuan untuk pemanfaatan air baku, irigasi, pembangkit listrik maupun untuk pengembangan wisata daerah.

Dalam perencanaan bendungan harus direncanakan semaksimal mungkin dan dari segi keamanan harus direncanakan seaman mungkin saat pembangunan maupun saat beroperasi. Begitu pula dengan pembangunan Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek.

Dalam tugas akhir ini “Prediksi dan Analisis Rembesan pada Tubuh Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek” tubuh bendungan yang dimaksud adalah bendungan potongan besar (STA 07) dan bendungan potongan kecil (STA 17).

Perencanaan harus memperhatikan parameter rembesan apalagi Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek merupakan bendungan dengan tipe urugan, dimana material tanah sebagai timbunannya, ini mengakibatkan adanya pori yang dapat mengakibatkan terjadinya rembesan. Rembesan melalui pori inilah yang membahayakan, karena aliran air yang merembes dapat membawa material yang lama kelamaan dapat mengakibatkan keruntuhan bendungan. Ini dapat diatasi salah satunya dengan cara menganalisis menggunakan aplikasi

Geo Studio, aplikasi ini dapat mengidentifikasi alur garis depresi maupun kecepatan dan debit rembesan yang melalui tubuh bendungan.

Analisis meliputi kondisi Muka Air Banjir (MAB), Muka Air Normal (MAN), Surut Cepat dan Dead Storage. Debit rembesan yang diijinkan **harus lebih kecil dari 1% dari debit banjir rata-rata tahunan**, sedangkan untuk longsor akibat adanya rembesan yang diijinkan berdasarkan SNI 2002 (MAB= 1,3, MAN= 1,5, Surut Cepat= 1,2, Dead Storage setinggi MAN= 1,5)

Perhitungan menunjukkan hasil (a) debit air yang merembes pada permodelan sudah lebih kecil dari debit rembesan yang diijinkan untuk merembes (b) angka keamanan terhadap longsor banyak yang belum melebihi angka keamanan yang diijinkan dari SNI 2002, (c) dimensi butiran yang terbawa rembesan sudah lebih kecil dari material agregat timbunan tubuh bendungan (d) angka keamanan terhadap sufosi dan boiling lebih dari 4,00

Kata kunci: Waduk, Bendungan Tugu Trenggalek, Garis Depresi, MAB, MAN, Surut Cepat, Dead Storage

## **PREDICTION AND ANALYSIS SEAPAGE OF TRENGGALEK'S DISTRICT TUGU MAIN DAM.**

**Student 1 : Muhammad Zaka Dharfan**  
**NRP : 3114030018**  
**Student 2 : Wildan Aidi Rahman**  
**NRP : 3114030033**  
**Lecturer 1 : Dr. Ir. Kuntjoro, MT.**  
**NIP : 19580629 198703 1 002**  
**Lecturer 2 : M. Khoiri, ST. MT. Ph.D.**  
**NIP : 19740626 200312 1 001**

### **ABSTRACT**

Dam is a construction that built for holding water to become a reservoir, dams generally aiming for the utilization of raw water, irrigation, power generation and for the development of regional tourism.

In planning the dam should be planned as much as possible and in terms of security should be planned as safe as possible during construction and while operating. Similarly, the construction of Trenggalek's District Tugu Dam.

In this final project "Prediction and Analysis Seepage of Trenggalek's Distric Tugu Main Dam" the main dam that in question is big cut dam (STA 07) and small cut dam (STA 17).

The planning must considering the seep parameter, moreover Trenggalek's District Tugu Dam is a soil pile dam, which is make the dam have pores that can lead to seeping. This seepage is very dangerous, because the water flow that seeping repeatedly will cause the dam to collapse. It can be solved by analyse using software GeoStudio, this software could identify the flownet of the seepage and also the speed and debit of the seepage that through the body dam.

The analysis includes the condition of Flood Water Front (MAB), Normal Water Front (MAN), Rapid Surge and Dead Storage. The permissible seepage permit must be less

than 1% of the average annual flood discharge, whereas for avalanches due to permissible seepage based on SNI 2002 (MAB = 1,3, MAN = 1.5, Fast Surge = 1.2, Dead Storage as MAN = 1.5)

The calculation shows the result (a) the water debit seeping on the model is more than the permitted seepage permeability (b) the security number against the landslide has not exceeded the allowable security level of SNI 2002 yet (c) the permeable granular dimensions are smaller than the dam aggregate material (d) the security number of the sufosi and boiling is more than 4.00.

Keywords: Reservoir, Tugu Trenggalek Dam, Depression Line, MAB, MAN, Receded Fast, Dead Storage

## LEMBAR PENGESAHAN

### DETEKSI DAN ANALISIS REMBESAN PADA TUBUH BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK

#### TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Ahli Madya Pada Program Studi Diploma III Teknik  
Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut  
Teknologi Sepuluh Nopember

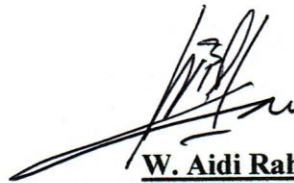
Oleh:

Mahasiswa I



M. Zaka Dharfan  
3114030018

Mahasiswa II



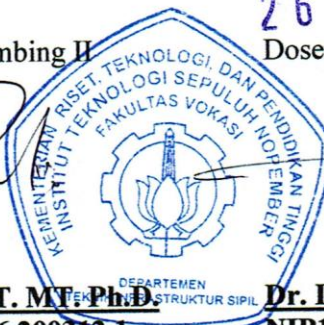
W. Aidi Rahman  
3114030033

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Terapan  
Terapan

26 JUL 2017

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I



M. Khoiri, ST. MT. Ph.D.  
NIP 19740626 200312 1  
001

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.  
NIP 19580629 198703 1  
002



## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, Kami panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan proposal Tugas Akhir tentang “Deteksi dan Analisis Rembesan pada Tubuh Bendungan Tugu Trenggalek”.

Tidak lupa juga saya mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang bersedia membantu dan membimbing kami dalam rangka menyelesaikan proposal Tugas Akhir ini, Saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Machsus, ST., MT. selaku kepala program studi Diploma III Teknik Sipil-ITS
2. Didik Harijanto, Ir., CES Selaku koordinator magang kerja program studi Diploma III Teknik Sipil-ITS, serta sebagai dosen pembimbing magang kami
3. Kuntjoro, Dr. Ir, MT selaku dosen mata pelajaran KP/TA serta dosen pembimbing kami.
4. M. Khoiri, ST., MT. juga selaku dosen pembimbing kami
5. Srie Subekti, Ir., MT. dan Ir. Edy Sumirman. selaku dosen wali kami
6. Ir. Siswo, Sp 1 selaku kepala bagian Bendungan Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Tulungagung,
7. Hendri, ST., MT. selaku kepala operasional proyek,
8. Seluruh karyawan dan staff Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Tulungagung,
9. Serta teman-teman magang.

Terlepas dari semua itu, Kami menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan baik dari segi susunan kalimat dan tata bahasa maupun materi pembahasannya. Oleh karena itu dengan tangan terbuka kami menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar kami dapat memperbaiki Proposal Tugas Akhir kami ini.

Akhir kata kami berharap semoga proposal Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat maupun inspirasi terhadap pembaca.

Surabaya, 11 November 2016

Penyusun

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	vi
LEMBAR PENGESAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Dasar Teori.....	5
2.1.1. Rembesan Air pada Pondasi Tubuh Bendungan.....	5
2.1.2. Perhitungan Rembesan .....	8
2.2. Karya Terdahulu.....	36
2.2.1. Kajian Kestabilan Tubuh Waduk Rukoh Kecamatan Titieu Keumala Kabupaten Pidie.....	36
2.2.2. Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk Terhadap Debit Rembesan Menggunakan Model SEEP/W (Studi Kasus di Bendungan Benel, Kabupaten Jembrana, Bali).....	37
BAB III METODOLOGI .....	41

3.1.	Skenario Permodelan.....	41
3.1.1.	Elevasi MAB (Muka Air Banjir).....	41
3.1.2.	Elevasi Mercu Spillway (MAN).....	41
3.1.3.	Surut Cepat .....	42
3.1.4.	Dead Storage .....	42
3.2.	Data Sungai .....	45
3.2.1.	Data Debit.....	45
3.3.	Data Tanah .....	47
3.3.1.	Tubuh Bendungan .....	48
3.3.2.	Bentuk Pondasi.....	48
3.3.3.	Pondasi .....	49
3.3.4.	Operasi Waduk dan Elevasi Muka Air .....	49
<b>BAB IV PERHITUNGAN .....</b>		<b>53</b>
4.1.	Langkah Pengerjaan .....	53
4.1.1.	Pengumpulan Data .....	53
4.1.2.	Pembuatan Gambar Tanah Pondasi.....	53
4.1.3.	Waktu Pengosongan Waduk untuk Kondisi Surut Cepat .....	55
4.1.4.	Perbandingan Perhitungan manual dan menggunakan GeoStudio SEEP/W.....	57
4.1.5.	Perhitungan Rembesan .....	6060
4.1.6.	Analisis Rembesan .....	866
4.2.	Hasil Perhitungan GeoStudio <i>SEEP/W</i> (Rembesan) 87	
4.2.1.	Elevasi MAB (Muka Air Banjir).....	87
4.2.2.	Elevasi Mercu Spillway.....	88
4.2.3.	Surut Cepat .....	89

4.2.4.	Dead Storage .....	91
4.2.5.	MAB Bendungan Kecil.....	89
4.3.	Hasil Perhitungan GeoStudio <i>SLOPE/W</i> (Longsor).....	93
4.3.1.	Elevasi MAB (Muka Air Banjir).....	93
4.3.2.	Elevasi Mercu Spillway/MAN (Muka Air Normal) .....	96
4.3.3.	Surut Cepat .....	100
4.3.4.	Dead Storage .....	103
4.3.5.	MAB Bendungan Kecil.....	100
4.4.	Perhitungan Batas Kritis Diameter Butir setiap Permodelan.....	111
<b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>		<b>115</b>
5.1.	Rembesan dan Longsoran setiap Permodelan .....	115
5.1.1.	MAB (Muka Air Banjir).....	115
5.1.2.	Mercu Spillway .....	121
5.1.3.	Surut Cepat .....	123
5.1.4.	Dead Storage .....	125
5.2.	Material dan Batas Diameter Kritis Butirnya.....	128
5.3.	Rembesan dan Batas Kecepatan Kritis.....	130
<b>BAB VI KESIMPULAN.....</b>		<b>132</b>
6.1.	Kesimpulan.....	133
6.2.	Saran.....	134
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>135</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>136</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Nilai k (koefisien permeability) .....	6
Tabel 3.1 Pedoman Perhitungan .....	42
Tabel 3.2 Data Debit Probabilias Tahunan K. Keser .....	45
Tabel 3.3 Daftar Koefisien Tanah Penyusun Bendungan.....	48
Tabel 3.4 Daftar Koefisien Tanah Pondasi Bendungan. ....	49
Tabel 3.5 Perhitungan Hubungan Elevasi Muka Air dan Debit	49
Tabel 4.1. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan MAB.....	88
Tabel 4.2. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan Mercu Spillway .....	89
Tabel 4.3. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan Surut Cepat.....	91
Tabel 4.4. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan Dead Storage .....	92
Tabel 4.5. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan MAB Bendungan Kecil.....	93
Tabel 4.5 <i>safety of factor</i> pada bagian hulu.....	94
Tabel 4.6 <i>safety of factor</i> pada bagian hilir .....	95
Tabel 4.7 <i>safety of factor</i> pada bagian hulu.....	97
Tabel 4.8 <i>safety of factor</i> pada bagian hilir .....	99
Tabel 4.9 <i>safety of factor</i> pada bagian hulu.....	100
Tabel 4.10 <i>safety of factor</i> pada bagian hilir .....	102
Tabel 4.11 <i>safety of factor</i> pada bagian hulu.....	103
Tabel 4.12 <i>safety of factor</i> pada bagian hilir .....	105
Tabel 4.13 <i>safety of factor</i> pada bagian hulu.....	107
Tabel 4.14 <i>safety of factor</i> pada bagian hilir .....	109

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Diameter Kritis. ....	112
Tabel 5.1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Rembesan.....	111
Tabel 5.2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Longsor.....	112

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Halaman Awal GeoStudio 2012.....	11
Gambar 2.2 Letak New Project .....	12
Gambar 2.3 New Project .....	12
Gambar 2.4 Tampilan New Project.....	13
Gambar 2.5 Pilihan Analysis.....	13
Gambar 2.6 Tampilan Save As.....	13
Gambar 2.8 Tampilan Lembar Kerja GeoStudio .....	14
Gambar 2.9 Tampilan Set Page.....	14
Gambar 2.10 Letak Axes.....	15
Gambar 2.11 Tampilan Sketch Axes.....	15
Gambar 2.12 Desain pada AutoCad.....	16
Gambar 2.13 Letak Koordinat.....	16
Gambar 2.14 cara memasukkan koordinat .....	17
Gambar 2.15 Pemasukkan Koordinat.....	17
Gambar 2.16 Letak Object .....	18
Gambar 2.17 Setelah dihapus.....	18
Gambar 2.18 Setelah Titik Koordinat Tersambung .....	19
Gambar 2.19 Letak Materials.....	19
Gambar 2.20 KeyIn Materials.....	19
Gambar 2.21 Add Materials .....	20
Gambar 2.22 Nama Material .....	20
Gambar 2.23 Pemasukan variabel material .....	21
Gambar 2.24 Pemasukan konduktivitas .....	21
Gambar 2.25 Pilih tipe data material.....	22



Gambar 2.26 Penggantian Titik.....	22
Gambar 2.27 Metode Estimasi .....	23
Gambar 2.28 Add Vol. Water Content.....	23
Gambar 2.29 Penambahan Nama Material.....	24
Gambar 2.30 Penggantian Titik.....	24
Gambar 2.31 Pemlihan metode estimasi .....	25
Gambar 2.32 Pengisian Variabel.....	25
Gambar 2.33 Pengisian Variabel 2.....	26
Gambar 2.34 Penginputan Material sebelumnya.....	26
Gambar 2.35 Penginputan Sudut Geser .....	27
Gambar 2.36 Penginputan Jenis Vol. Water Content yang di- input sebelumnya.....	27
Gambar 2.37 Penambahan Material Baru. ....	28
Gambar 2.38 Pemilihan Jenis Material .....	28
Gambar 2.39 Penginputan Data.....	29
Gambar 2.40 Peng- <i>input</i> -an Material pada gambar. ....	29
Gambar 2.41 Letak Boundary Conditions option.....	30
Gambar 2.42 pemasukan jenis <i>Boundary</i> . ....	30
Gambar 2.43 Peng- <i>clone</i> -an jenis <i>Boundary</i> . ....	30
Gambar 2.44 Pemilihan Tipe <i>Boundary</i> . ....	31
Gambar 2.45 Pencarian koordinat-y.....	31
Gambar 2.46 Peng- <i>input</i> -an sumbu y.....	32
Gambar 2.47 jenis <i>Zero Pressure</i> . ....	32
Gambar 2.48 Jenis Potential Seepage Face. ....	33
Gambar 2.49 Jenis MAB. ....	33
Gambar 2.50 Letak Flux Section option .....	33
Gambar 2.51 urutan Section.....	34

Gambar 2.52 Flux Section.....	34
Gambar 2.53 Solve Manager.....	34
Gambar 2.54 Solve Manager 2.....	35
Gambar 2.56 Hasil Perhitungan dengan Geo(SEEP/W) .....	37
Gambar 2.57 Hubungan Elevasi MAW dengan Debit Rembesan .....	38
Gambar 2.58 Hubungan Elevasi MAW dengan Panjang Lintasan Rembesan.....	38
Gambar 2.59 Hubungan Elevasi MAW dengan Durasi Rembesan .....	39
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan .....	43
Gambar 3.2 Tubuh Bendungan Tugu .....	47
Gambar 3.3 Desain Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek 47	
Gambar 3.5 Kurva Kapasitas Tampungan dan Luas Bendungan Tugu .....	52
Gambar 4.1 Lokasi titik bor As Bendungan Tugu .....	53
Gambar 4.2 Permukaan Tanah .....	54
Gambar 4.3 Diplot titik boring.....	54
Gambar 4.4 Plot tanah pondasi berdasar hasil boring .....	54
Gambar 4.5 Gambar tanah pondasi .....	55
Gambar 4.6 Tampilan awal Geo Studio .....	60
Gambar 4.7 Pilihan menu New .....	60
Gambar 4.8 Tampilan project di kolom title .....	61
Gambar 4.9 Tampilan set page.....	61
Gambar 4.10 Tampilan Set axis size .....	62
Gambar 4.11 Tampilan tubuh bendungan pada aplikasi Auto Cad .....	62

Gambar 4.12 Tampilan koordinat yang digunakan .....	63
Gambar 4.13 Tampilan menu Draw .....	63
Gambar 4.14 Tampilan menu point.....	64
Gambar 4.15 Masukkan koordinat .....	64
Gambar 4.16 Koordinat yang tergambar .....	65
Gambar 4.17 Gambar region dari titik koordinat .....	65
Gambar 4.18 Tubuh bendungan yang tergambar .....	66
Gambar 4.19 Tampilan Keyin Material .....	66
Gambar 4.20 Masukkan Material .....	67
Gambar 4.21 Masukkan angka ratio tiap material.....	67
Gambar 4.22 Tampilan Keyin Hydraulic Conductivity function.....	68
Gambar 4.23 Tampilan Estimate Hydraulic Conductivity Function.....	68
Gambar 4.24 Tampilan Estimate Hydraulic Conductivity Function.....	69
Gambar 4.25 Plot material sesuai desain.....	70
Gambar 4.26 Material telah tergambar.....	70
Gambar 4.27 Tampilan KeyIn Boundary Conditions.....	71
Gambar 4.28 Gambar Boundary Conditions .....	71
Gambar 4.29 Tampilan Zero Pressure.....	72
Gambar 4.30 Tampilan Potential Seepage .....	72
Gambar 4.31 Tampilan MAB.....	72
Gambar 4.32 Gambar Flux Sections .....	73
Gambar 4.33 Tampilan Flux Sections.....	73
Gambar 4.34 Tampilan Solve Analysis.....	74
Gambar 4.35 Tampilan Solve Analysis.....	74

Gambar 4.36 Tampilan Contour.....	75
Gambar 4.37 Tampilan garis depresi.....	75
Gambar 4.38 Tampilan KeyIn Analysis.....	76
Gambar 4.39 Tampilan pilihan SEEP/W.....	76
Gambar 4.40 Tampilan pilihan SEEP/W-Transient .....	77
Gambar 4.41 Garis depresi kondisi MAN.....	77
Gambar 4.42 Garis depresi kondisi setinggi sedimen .....	78
Gambar 4.43 Garis depresi kondisi surut cepat.....	78
Gambar 4.44 Pilihan SLOPE/W.....	79
Gambar 4.45 Tampilan KeyIn Analysis.....	79
Gambar 4.46 Tampilan Slip Surface .....	80
Gambar 4.47 Tampilan KeyIn Materials.....	81
Gambar 4.48 Material yang tergambar.....	81
Gambar 4.49 Pilih Entry and Exit .....	81
Gambar 4.50 Gambar Entry and Exit.....	82
Gambar 4.51 Solve Analysis.....	82
Gambar 4.52 Tampilan Contour.....	83
Gambar 4.53 Bentuk longsoran MAB.....	83
Gambar 4.54 Tampilan Slip Surface .....	84
Gambar 4.55 Bentuk longsoran kondisi MAN.....	85
Gambar 4.56 Bentuk longsoran kondisi MAN.....	85
Gambar 4.57 Bentuk longsoran kondisi Surut Cepat .....	86
Gambar 4.58 Pola rembesan saat turun melewati material inti	87
Gambar 4.59 Pola rembesan permodelan Elevasi MAB .....	87
Gambar 4.60 Pola rembesan permodelan Elevasi Mercu Spillway.....	88

Gambar 4.61 Pola rembesan permodelan Mercu Spillway saat melewati material inti.....	89
Gambar 4.62 Pola rembesan permodelan Surut Cepat.....	90
Gambar 4.63 Pola rembesan permodelan Surut Cepat saat melewati material inti.....	90
Gambar 4.64 Pola rembesan permodelan <i>Dead Storage</i> .....	91
Gambar 4.65. Pola Rembesan Permodelan MAB Potongan Kecil. ....	92
Gambar 4.65 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hulu.....	94
Gambar 4.77 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hulu	97
Gambar 4.83 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hilir	98
Gambar 4.89 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hulu...	100
Gambar 4.95 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hilir ...	102
Gambar 4.101 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hulu	103
Gambar 4.107 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hilir	109
Gambar 4.113 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hulu	106
Gambar 5.1 Pola rembesan permodelan MAB saat melewati material inti .....	115
Gambar 5.2 <i>Input range Entry</i> dan <i>Exit</i> Longsoran pada GeoSlope permodelan MAB Hulu .....	119
Gambar 5.3 <i>Input range Entry</i> dan <i>Exit</i> Longsoran pada GeoSlope permodelan MAB Hilir.....	119
Gambar 5.4 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB bagian Hulu ...	120
Gambar 5.5 perbesaran gambar <i>Critical Slip</i> permodelan MAB bagian Hulu .....	120
Gambar 5.6 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB bagian Hilir. ..	121
Gambar 5.7 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway bagian Hilir. ....	121

Gambar 5.8 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat bagian Hilir. ....	121
Gambar 5.9 Pola rembesan permodelan Mercu Spillway saat melewati material inti.....	122
Gambar 5.10 Pola rembesan permodelan MAB saat melewati material inti (perbandingan).....	122
Gambar 5.11 <i>Critical Slip</i> hilir permodelan MAB.....	123
Gambar 5.12 <i>Critical Slip</i> hulu permodelan Mercu Spillway.....	123
Gambar 5.12 Pola rembesan permodelan Surut Cepat.....	124
Gambar 5.13 Pola rembesan permodelan Surut Cepat saat melewati material inti.....	124
Gambar 5.14 <i>Critical Slip</i> Permodelan Surut Cepat bagian Hulu.....	125
Gambar 5.15 Penurunan garis rembesan pada material inti permodelan Dead Storage.....	120
Gambar 5.16 Penurunan garis rembesan pada material inti permodelan Mercu Spillway.....	121
Gambar 5.17 Longsor Kritis permodelan Dead Storage Sebelah Hulu.....	121
Gambar 5.18 Longsor Kritis permodelan Dead Storage Sebelah Hilir 1.....	122
Gambar 5.19 Longsor Kritis permodelan Dead Storage Sebelah Hilir 2.....	122
Gambar 5.20 Longsor Paling Kritis Permodelan MAB Potongan Kecil Bendungan Hulu.....	123
Gambar 5.21 Longsor Paling Kritis Permodelan MAB Potongan Kecil Bendungan Hilir.....	123

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Merembesnya air (*seepage*) pada suatu partikel dapat menyebabkan peningkatan massa jenis partikel tersebut atau bahkan dapat menyebabkan reaksi kimia yang dapat merugikan. Jika hal ini terjadi pada partikel dengan skala besar seperti bendungan yang sebelumnya diperhitungkan dengan seksama dapat menimbulkan perbedaan perhitungan yang signifikan.

Bendungan Tugu Trenggalek merupakan bendungan tipe urugan zonal dengan inti tegak, bendungan tipe urugan ini merupakan timbunan beberapa material campuran maupun material seragam, tentunya bendungan tipe urugan berbeda dengan bendungan tipe beton, yang mana bendungan tipe beton materialnya sudah bisa dipastikan tidak tembus air meskipun tembus air pasti sedikit, berbeda dengan bendungan tipe urugan yang materialnya memiliki pori atau *void* lebih besar dibandingkan beton, maka perlu dilakukan perhitungan yang terperinci mengenai hal tersebut, agar tidak terjadi hal-hal yang merugikan. Rembesan air (*seepage*) yang berbahaya terhadap tubuh bendungan adalah rembesan yang mengikis material pembentuk tubuh bendungan (*erosi*).

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan suatu analisis secara menyeluruh terhadap rembesan (*seepage*) yang terjadi. Pada kajian ini ditinjau *seepage* pada Tubuh Bendungan Tugu, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Adapun tujuan dari kajian ini adalah untuk meninjau dan menganalisis *seepage* yang terjadi. Berdasarkan

tujuan tersebut maka manfaat dari analisis ini adalah mengetahui pengaruh tinggi muka air terhadap rembesan yang terjadi. Perhitungan dilakukan menggunakan software GEO (SEEP/W) yang dapat mengetahui rembesan yang terjadi di bendungan.

GeoStudio adalah rangkaian produk perangkat lunak dari Geo-Slope International Ltd. yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja bendungan atau tanggul dengan berbagai tingkat kompleksitas. SEEP/W adalah salah satu elemen dari produk GeoStudio dengan basic CAD terbatas untuk menganalisis rembesan air dan masalah disipasi tekanan air pori berlebih dalam bahan berpori seperti tanah dan batuan. Formulasi yang komprehensif memungkinkan dapat mempertimbangkan analisis mulai dari yang sederhana, masalah kondisi jenuh steady-state sampai dengan masalah kondisi jenuh atau tidak jenuh yang tergantung pada waktu. SEEP/W dapat diterapkan pada analisis dan desain untuk geoteknik, sipil, hidrogeologi, dan kegiatan rekayasa pertambangan. (Anonim, 2007)

Sehingga parameter rembesan suatu bendungan tidak bisa dianggap “sebelah mata” saat pendesainan. Bendungan Tugu kabupaten Trenggalek yang mana mendapat rekor MURI sebagai bendungan dengan letak tertinggi di Indonesia ini dapat mengakibatkan jangkauan jebolnya bendungan semakin jauh sehingga secara otomatis semakin luas dampak dan banyaknya korban yang akan disebabkan.



## 1.2. Rumusan Masalah

1.2.1. Berapa rembesan yang terjadi pada bendungan Tugu kabupaten Trenggalek dengan permodelan :

- a. Muka Air Banjir,
- b. Tinggi Elevasi Mercu,
- c. Surut cepat,
- d. Dead Storage.

1.2.2. Bagaimana rembesan yang terjadi untuk masing-masing permodelan sebagaimana point nomer 1.2.1. pada bendungan Tugu kabupaten Trenggalek?

1.2.3. Berapa batas kritis diameter butir sebelum terbawa rembesan?

## 1.3. Tujuan

1.3.1. Mengetahui jumlah rembesan yang terjadi pada bendungan Tugu kabupaten Trenggalek untuk masing-masing permodelan sebagaimana point subbab 1.2.1.

1.3.2. Menganalisis rembesan yang terjadi pada bendungan Tugu kabupaten Trenggalek untuk masing-masing permodelan sebagaimana point subbab 1.2.1.

1.3.3. Mengetahui batas kritis diameter butir sebelum terbawa rembesan.

## 1.4. Manfaat

1.4.1. Mengetahui tata cara penggunaan software GeoStudio SEEP/W dan SLOPE/W.

1.4.2. Mengetahui *Safety of factor* dari terjadinya longsor.

1.4.3. Mengetahui batas kecepatan kritis rembesan yang diijinkan.

1.4.4. Menjadi bahan penelitian serupa selanjutnya.

## 1.5. Ruang Lingkup Penelitian

### 1.5.1. Ruang Lingkup Wilayah

Ruang lingkup wilayah pada daerah penelitian adalah software analisis rembesan air dan kestabilan lereng untuk menganalisis rembesan yang terjadi serta akibatnya pada kestabilan lereng, sedangkan untuk mengetahui batas kritis kecepatan rembesan menggunakan perhitungan manual. Software penelitian ini menggunakan *GEO STUDIO SLOPE/W* dan *SEEP/W*.

### 1.5.2. Ruang Lingkup Penulisan

Untuk menjaga agar pembahasan materi dalam tugas akhir ini lebih terarah, penulis menetapkan ruang lingkup penulisan sebagai berikut:

- I. Penelitian pemodelan menggunakan software *GEO STUDIO SEEP/W* mengenai perubahan kecepatan rembesan serta pola rembesan.
- II. *GEO STUDIO SLOPE/W* hanya digunakan untuk mengetahui pengaruh rembesan terhadap kestabilan bendungan.
- III. Menentukan batas kritis menggunakan perhitungan manual.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Dasar Teori

#### 2.1.1. Rembesan Air pada Pondasi Tubuh Bendungan

##### 2.1.1.1. Rembesan Air.

Rembesan Air atau Permeabilitas adalah sifat bahwa zat cair dapat mengalir lewat bahan berpori. Tanah termasuk bahan permeabel sehingga air dapat mengalir melalui pori-pori tanah. Derajat permeabilitas tanah ditentukan oleh Ukuran pori, jenis tanah dan kepadatan tanah yang dinyatakan dalam  $k$  (satuan kecepatan cm/s atau m/s).

Air tanah adalah air yang berada pada lapisan di bawah permukaan tanah. Kedalaman air tanah di tiap tempat tidak sama karena dipengaruhi oleh tebal atau tipisnya lapisan permukaan di atasnya dan kedudukan lapisan air tanah tersebut. Air juga merupakan faktor yang sangat penting dalam masalah-masalah seperti: penurunan, stabilitas pondasi, stabilitas lereng, dll. Kedalaman air dapat dilihat dari sumur-sumur yang digali oleh penduduk. Permukaan bagian atas air itu lebih preatik. (Sukirman, 2014)

##### 2.1.1.2. Hubungan Rembesan Air dan Jenis Tanahnya.

Aliran air dalam tanah pada umumnya berupa aliran laminar, maka berlaku hukum Darcy bahwa kecepatan berbanding langsung dengan gradien hidraulik.

$$V = k i$$

Dengan,  $V$  = kecepatan aliran (m/s)  
 $i$  = kemiringan lintasan  
 $k$  = koefisien permeability (m/s)  
atau (cm/s)

Nilai  $k$  untuk jenis-jenis tanah

Tabel 2.1 Tabel Nilai  $k$  (koefisien permeability)

Jenis Tanah	$K$ (mm/s)
Butiran Kasar	$10^{-1} - 10^3$
Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	$10^{-2} - 10$
Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
Lanau padat, Lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

(Mekanika Tanah I, Hardiyatmo Hary C.,2002)

#### 2.1.1.3. Perhitungan Batas Kritis

“.. bila tekanan rembesan ke atas yang terjadi dalam tanah sama dengan  $i_c$  maka tanah akan pada kondisi mengapung. Keadaan semacam ini juga dapat berakibat terangkutnya butir-butir tanah halus, sehingga terjadi pipa-pipa di dalam tanah yang disebut *piping*..”,(Hardiyatmo, 2002) piping dapat menyebabkan rongga udara dalam bendungan yang secara signifikan dapat menurunkan tahanan tanah, yang mana sangat berbahaya bagi kestabilan bendungan. Berikut perhitungan kecepatan kritis yang diijinkan agar tidak terjadi gejala sufosi (*piping*) serta sembulan (*boiling*).

#### **Kecepatan Kritis yang diijinkan**

Kecepatan kritis aliran dihitung dengan rumus :

$$V_c > V_s$$

$$V_c = \sqrt{\frac{W_1 g}{F \gamma w}}$$

dimana,

- $V_c$  = Kecepatan rembesan kritis yang diijinkan.  
 $V_s$  = Kecepatan rembesan  
 $d$  = Diameter butiran terkecil  
 $W_1$  =  $(G_s - 1) \times \frac{1}{6} \times \pi \times d^3$   
 $G_s$  = *Gravity specific* (berat jenis)  
 $g$  = Gravitasi  
 $F$  = luas penampang butiran terkecil  
 $\gamma$  = Berat volume (gram/cm<sup>3</sup>)

### Gradien Hidrolik Kritis

$$i = \frac{h}{l}$$

$$i_{cr} = \frac{(G_s - 1)}{(1 + e)}$$

### Keamanan terhadap piping

$$FK = \frac{i_{cr}}{i}$$

Dimana,

- $i_{cr}$  = Gradien keluar maksimum.  
 $h$  = beda tinggi air di hulu dan hilir  
 $l$  = panjang penampang basah arah memanjang.

Keamanan terhadap kelongsoran lereng waduk dan rembesan (*seepage*) merupakan persyaratan utama untuk kestabilan waduk. Oleh sebab itu pembangunan waduk diupayakan tidak terjadi rembesan yang melewati batas rembesan yang diizinkan. Bila rembesan yang berlebihan ini

tidak diantisipasi dapat menyebabkan perubahan tegangan efektif pada massa tanah itu, sehingga akan terjadi tekanan rembesan (*seepage force*) yang menyebabkan lepasnya ikatan antar partikel tanah dan terbentuknya deformasi yang permanen pada tubuh waduk, maka dikhawatirkan dapat terjadi kelongsoran dan/atau keruntuhan waduk yang akan menimbulkan kerugian.(Sundary, 2013)

Dikarenakan data yang masih belum ditentukan dari pihak PU Dinas Pengairan BBWS, serta desain timbunan Bendungan Tugu yang masih mengalami perubahan, sehingga data timbunan tidak lengkap, penyusun Tugas Akhir kali ini memutuskan untuk parameter  $G_s$  (*Spesific Gravity*) diambil paling maksimal untuk setiap jenis material, sebagaimana tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel Nilai *Spesific Gravity* ( $G_s$ )

Macam Tanah	Berat Jenis ( $G_s$ )
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Mekanika Tanah I, Hardiyatmo Hary C.,2002)

## 2.1.2. Perhitungan Rembesan

### 2.1.2.1. Persamaan Darcy

Henri Darcy (Anonim, 2010), seorang ahli hidrolika dari Perancis mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah. Darcy berpendapat bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun keluar dari lapisan tanah sebanding dengan

gradien hidrauliknya. Hukum Darcy dinyatakan dalam persamaan, sebagai berikut:

$$Q = k.i.A \dots\dots\dots [1]$$

$$V = k.i \dots\dots\dots$$

[2]

$$Q = \frac{N_f}{N_p} \cdot k \cdot h \cdot L \dots\dots\dots [3]$$

dengan :

Q = volume aliran air persatuan waktu yang masuk ataupun keluar (m<sup>3</sup>/s),

k = konstanta yang dikenal sebagai koefisien permeabilitas (cm/s),

V = kecepatan rembesan (cm/s),

i = gradien hidrolik,

A = luas penampang tanah yang dilewati (m<sup>2</sup>),

N<sub>f</sub> = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

N<sub>p</sub> = angka pembagi dari garis equipotensial.

Semua jenis tanah dapat dilalui air melalui pori – pori tanah. Menurut Wesley (Azmeri dkk, 2013) permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air mengalir lewat rongga pori. Semakin tinggi tingkat kepadatan tanah, maka semakin kecil nilai koefisien permeabilitas dan debit rembesan yang dihasilkan. Garis freatik sebagai garis batas kejenuhan pada struktur tubuh bendungan. Garis freatik akan memisahkan daerah yang mengalami rembesan dengan daerah yang tidak mengalami rembesan.

#### 2.1.2.2. Waktu Pengosongan Tangki

Pengosongan tangki, tangki disini diibaratkan dengan suatu waduk yang pada saat kondisi tertentu waduk tidak dapat suplai air

(inflow) sedangkan air di waduk terus dimanfaatkan (outflow) ini seperti diibaratkan dalam keadaan surut cepat. Untuk mengetahui durasi berapa lama waktu pengosongan dari kondisi air normal (MAN) sampai muka air rendah setinggi bibir intake dengan rumus (Hidraulika I, 2012):

$$t = \frac{2AH1^{1/2}}{Cd\alpha\sqrt{2g}}$$

Dimana,

t = waktu pengosongan (det)

A = luas tampungan (m<sup>2</sup>)

H = beda tinggi (m)

Cd = koefisien debit

$\alpha$  = luas lubang/intake (m<sup>2</sup>)

g = percepatan gravitasi (9,8m/det<sup>2</sup>)

### 2.1.2.3. Pengaplikasian Software GeoStudio GEO SEEP

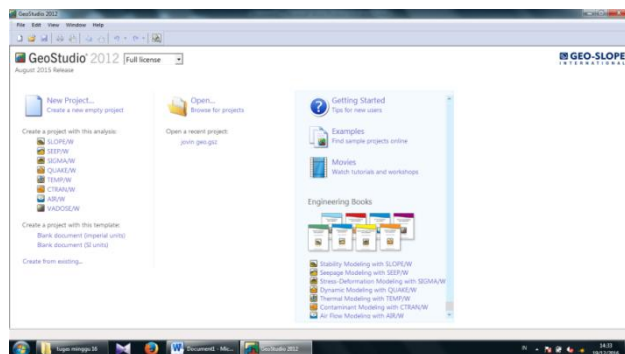
GeoStudio adalah rangkaian produk perangkat lunak dari Geo-Slope International Ltd. yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja bendungan atau tanggul dengan berbagai tingkat kompleksitas. SEEP/W adalah salah satu elemen dari produk GeoStudio dengan basic CAD terbatas untuk menganalisis rembesan air dan masalah disipasi tekanan air pori berlebih dalam bahan berpori seperti tanah dan batuan. Formulasi yang komprehensif memungkinkan dapat mempertimbangkan analisis mulai dari yang sederhana, masalah kondisi jenuh steady-statesampai dengan masalah kondisi jenuh atau tidak jenuh yang tergantung pada waktu. SEEP/W dapat diterapkan pada analisis dan desain untuk



geoteknik, sipil, hidrogeologi, dan kegiatan rekayasa pertambangan.(Anonim, 2007)

Software perhitungan stabilitas bendungan sangatlah penting karena tanpa adanya software tersebut, diperlukan perhitungan banyak yang tidak dapat dihitung sekaligus menggunakan software perhitungan biasa seperti Microsoft Excel. Dengan adanya software ini dapat menghemat waktu dan mengefisiensikannya. Berikut contoh tata cara mengaplikasikan perhitungan kedalam software GeoStudio (SEEP/W) :

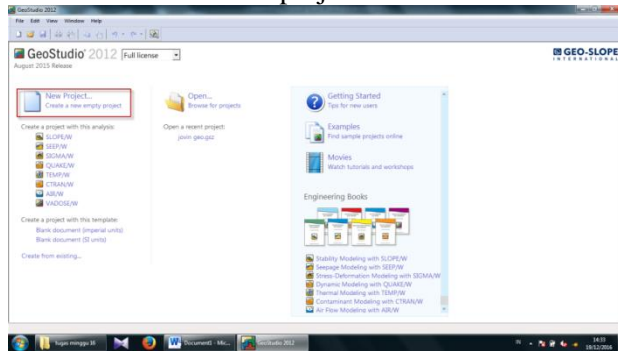
## I. Buka aplikasi GeoStudio 2012



Gambar 2.1 Halaman Awal GeoStudio 2012

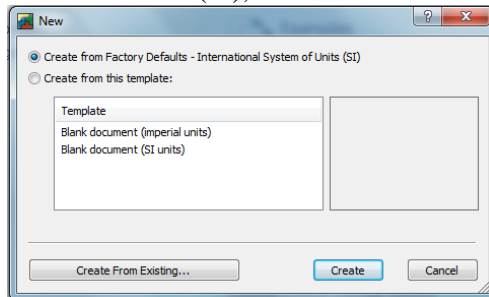
## II. Membuat New Project

### a. Klik New Project untuk membuat new project



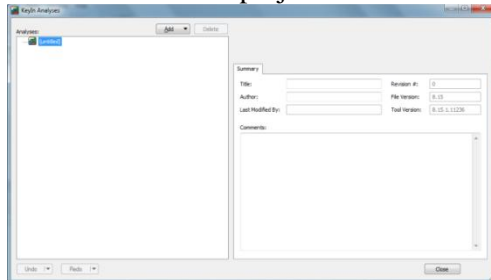
Gambar 2.2 Letak New Project

### b. Pilih Create from Factory Defaults – International System of Units (SI), lalu klik create.



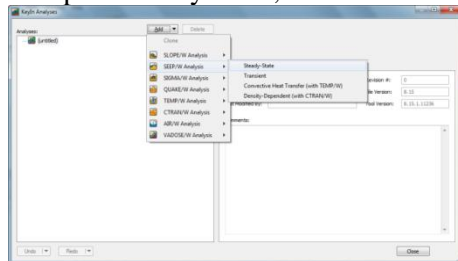
Gambar 2.3 New Project

c. Ketik nama project di kolom Title



Gambar 2.4 Tampilan New Project

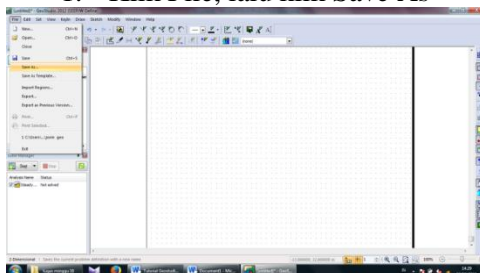
d. Klik add, pilih SEEP/W Analysis, pilih Steady-State, lalu klik close



Gambar 2.5 Pilihan Analysis

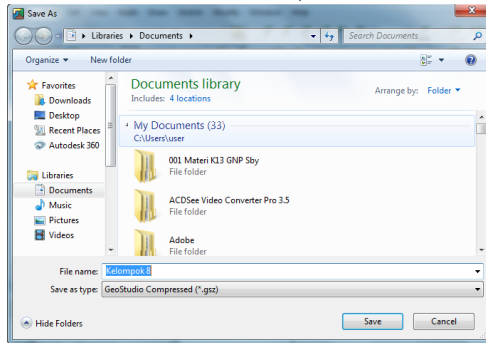
e. Menyimpan file

1. Klik File, lalu klik Save As



Gambar 2.6 Tampilan Save As

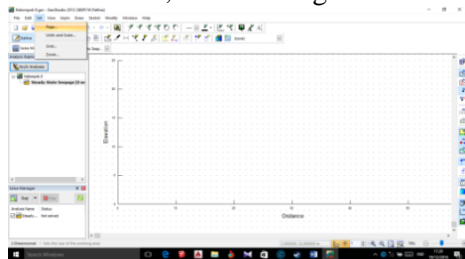
## 2. Ketik nama file, lalu klik Save



Gambar 2.7 Tampilan Window Save

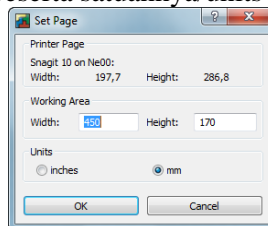
## III. Atur ukuran lembar kerja

### a. Klik Set, lalu klik Page



Gambar 2.8 Tampilan Lembar Kerja GeoStudio

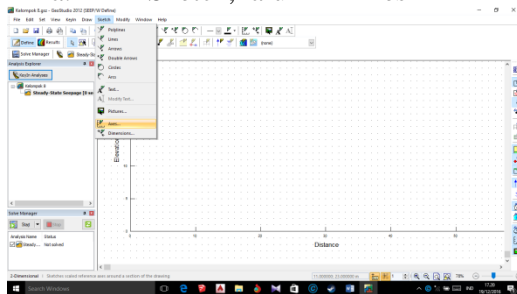
### b. Atur lebar dan panjang lembar kerja beserta satuannya/units



Gambar 2.9 Tampilan Set Page

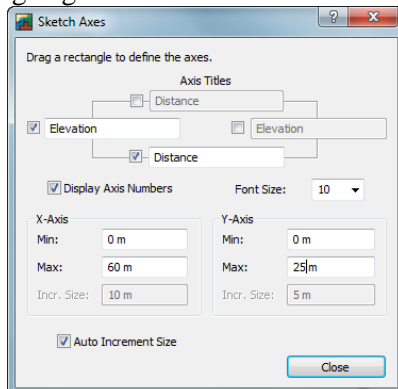
#### IV. Membuat garis ukur, sumbu x dan y

##### a. Klik Sketch, lalu klik Axes



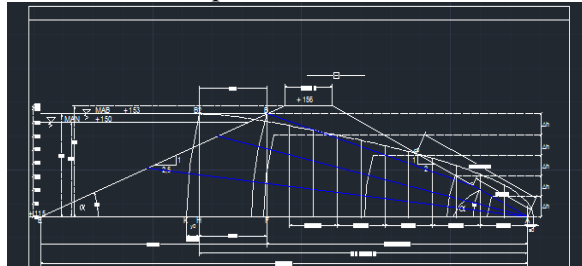
Gambar 2.10 Letak Axes

- b. Beri keterangan sumbu x dan y serta isi batasan minimal dan maksimal nilai di tiap-tiap sumbu, sesuaikan dengan gambar.



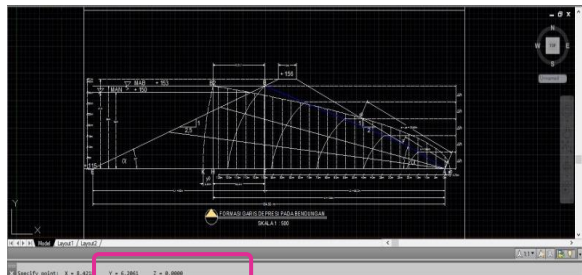
Gambar 2.11 Tampilan Sketch Axes

## V. Buka aplikasi Autocad



Gambar 2.12 Desain pada AutoCad

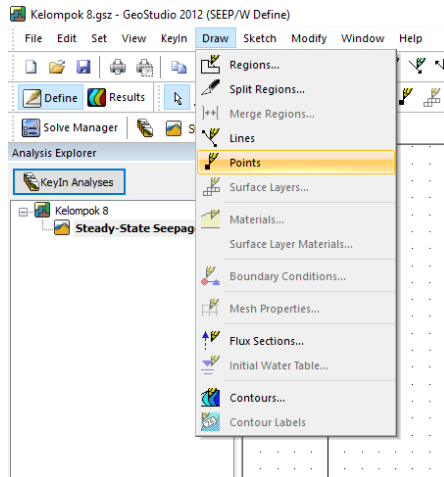
- a. Ketik ID untuk mencari koordinat disetiap garis perpotongan
- b. Pilih satu titik yang saling berpotongan, lalu tekan enter, setelah itu masuk ke koordinat tersebut ke dalam GeoStudio



Gambar 2.13 Letak Koordinat

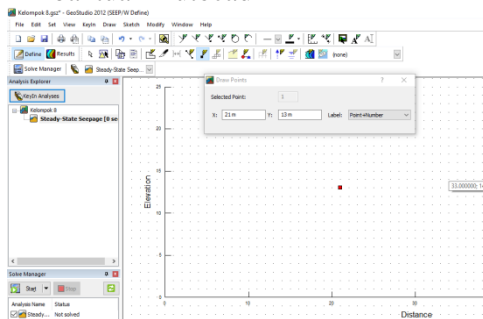
## VI. Membuat sketch gambar

- a. Klik Draw, lalu klik Point, atau masukkan melalui KeyIn lalu points lalu masukkan satu persatu koordinat titik yang berpotongan.



Gambar 2.14 cara memasukkan koordinat

- b. Klik satu titik pada lembar kerja, lalu input data koordinat x dan y dari bantuan Autocad



Gambar 2.15 Pemasukkan Koordinat

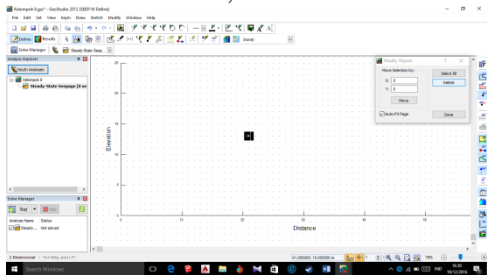
## VII. Untuk menghapus titik yang diinginkan

### a. Klik Modify, lalu klik Objects



Gambar 2.16 Letak Object

### b. Klik titik yang ingin di hapus, lalu klik delete, dan klik done



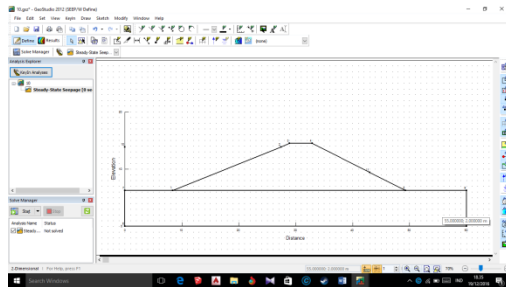
Gambar 2.17 Setelah dihapus

## VIII. Menyambungkan antar titik dengan garis

### a. Klik Draw, lalu klik Regions

### b. Klik Polygon pada Domain Region, lalu tarik garis antar titik dengan sistem polygon tertutup

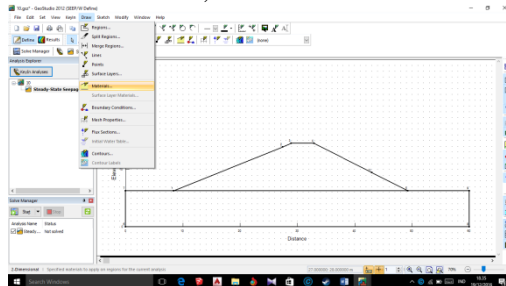




Gambar 2.18 Setelah Titik Koordinat Tersambung

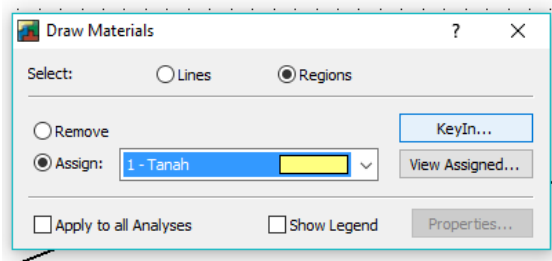
## IX. Menginput material

### a. Klik Draw, lalu klik Materials

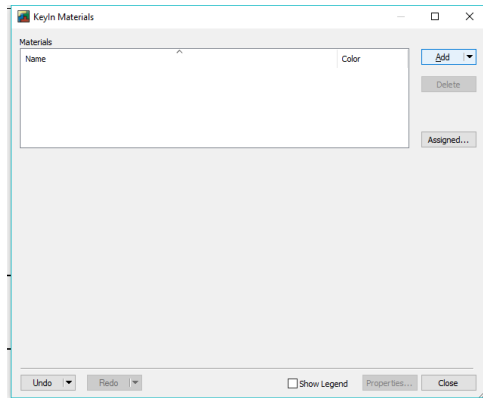


Gambar 2.19 Letak Materials

### b. Klik KeyIn

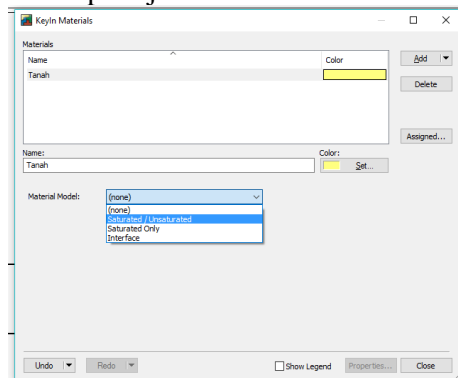


### c. Klik Add untuk membuat material



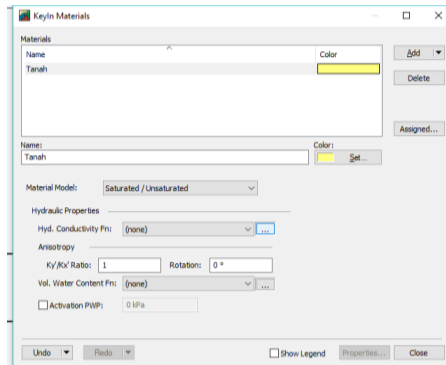
Gambar 2.21 Add Materials

- d. Ketik nama material di kolom nama dan pilih jenis model material



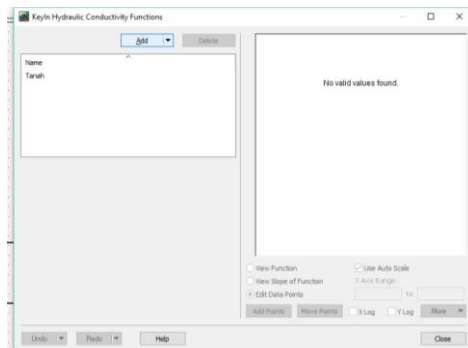
Gambar 2.22 Nama Material

- e. Klik [...] pada Hyd. Conductivity Fn



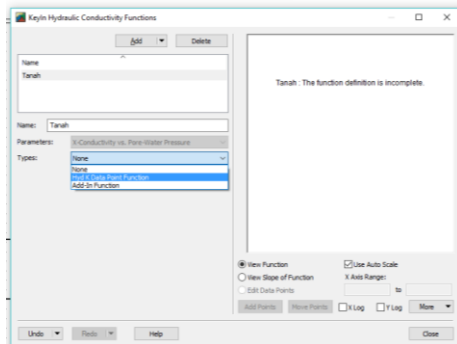
Gambar 2.23 Pemasukan variabel material

f. Klik Add



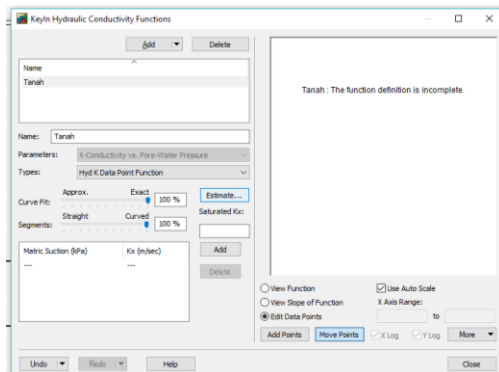
Gambar 2.24 Pemasukan konduktivitas

g. Ketik nama material di kolom material dan pilih tipe data material yang akan diinput



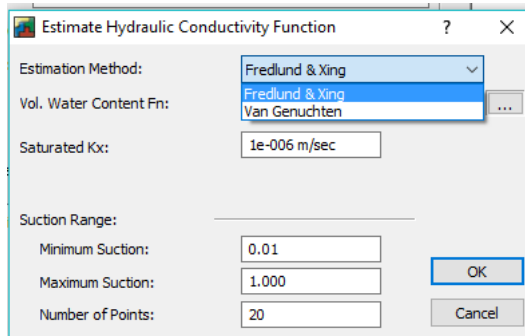
Gambar 2.25 Pilih tipe data material

- h. Klik Data Edit Points, lalu klik Estimate...



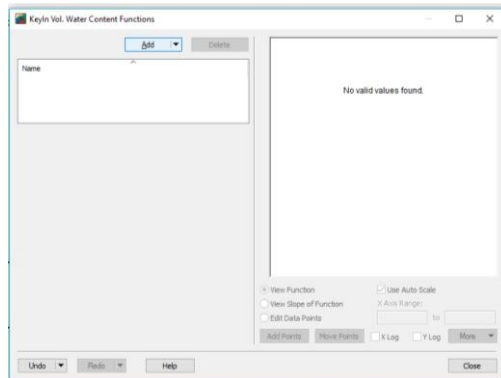
Gambar 2.26 Penggantian Titik

- i. Pilih Metode estimasi yang akan digunakan dan isi data saturated Kx sesuai hasil laboratorium mekanika tanah, lalu klik [...]



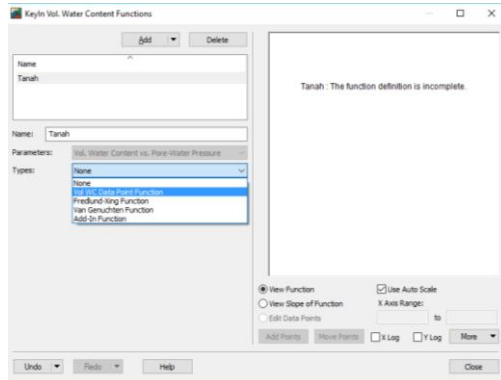
Gambar 2.27 Metode Estimasi

- j. Untuk penambahan variabel Vol. Water Content sama dengan penambahan Hyd. Conductivity, Klik Add



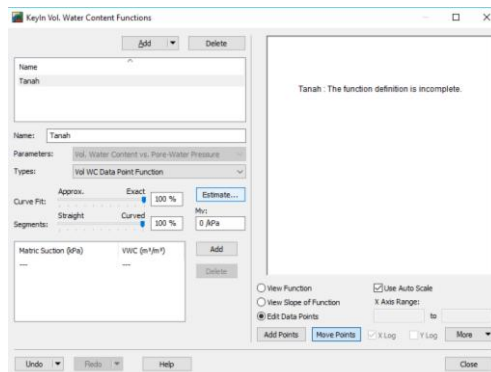
Gambar 2.28 Add Vol. Water Content

- k. Ketik nama material di kolom material dan pilih tipe data material yang akan diinput



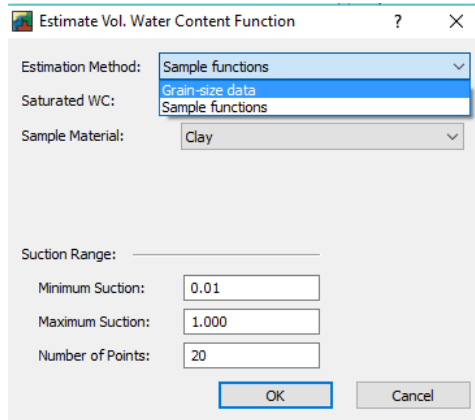
Gambar 2.29 Penambahan Nama Material

1. Klik Data Edit Points, lalu klik Estimate...



Gambar 2.30 Penggantian Titik

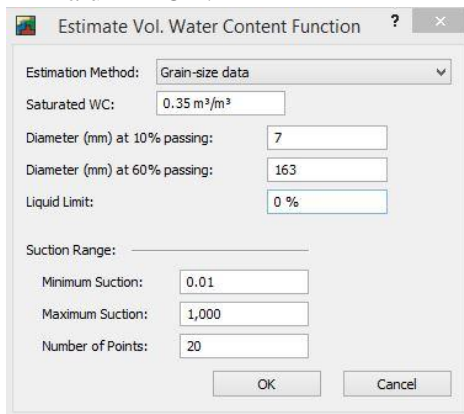
m. Pilih Metode estimasi yang akan digunakan



The screenshot shows a dialog box titled "Estimate Vol. Water Content Function". The "Estimation Method" dropdown menu is open, showing three options: "Sample functions" (highlighted in blue), "Grain-size data", and "Sample functions". The "Saturated WC" field is empty. The "Sample Material" dropdown is set to "Clay". The "Suction Range" section includes input fields for "Minimum Suction" (0.01), "Maximum Suction" (1.000), and "Number of Points" (20). "OK" and "Cancel" buttons are at the bottom.

Gambar 2.31 Pemilihan metode estimasi

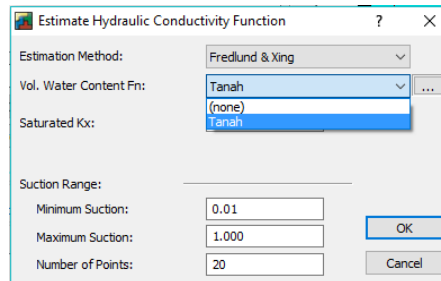
n. Isi data saturated WC, Diameter saringan, dan liquid limit sesuai hasil laboratorium mekanika tanah, lalu klik OK.



The screenshot shows the same dialog box with the following values entered: "Estimation Method" is "Grain-size data", "Saturated WC" is "0.35 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>", "Diameter (mm) at 10% passing" is "7", "Diameter (mm) at 60% passing" is "163", and "Liquid Limit" is "0 %". The "Suction Range" section remains the same as in the previous image. "OK" and "Cancel" buttons are at the bottom.

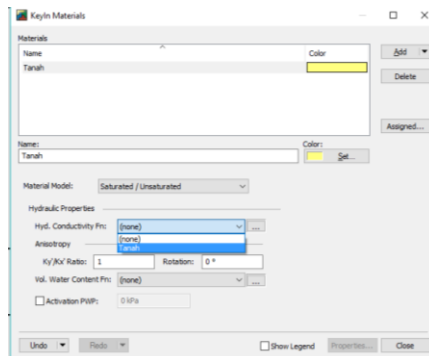
Gambar 2.32 Pengisian Variabel

- o. Kembali pada Estimate Hydraulic Conductivity Function, Klik Vol. Water Content Fn., lalu input dengan material yang telah diisi sebelumnya, lalu klik OK



Gambar 2.33 Pengisian Variabel 2

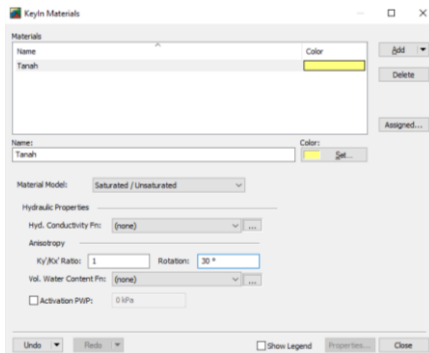
- p. Kembali pada KeyIn Materials, Klik Hyd. Conductivity Fn., lalu input dengan material yang telah diisi sebelumnya



Gambar 2.34 Penginputan Material sebelumnya.

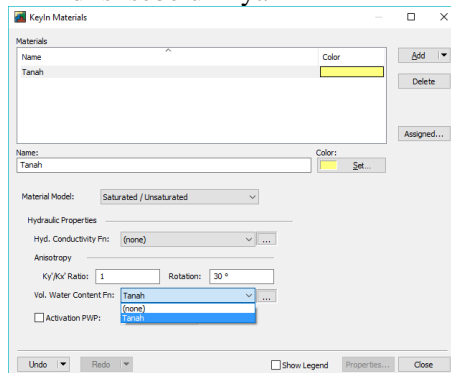


- q. Input rotation (sudut geser) dari hasil laboratorium mekanika tanah



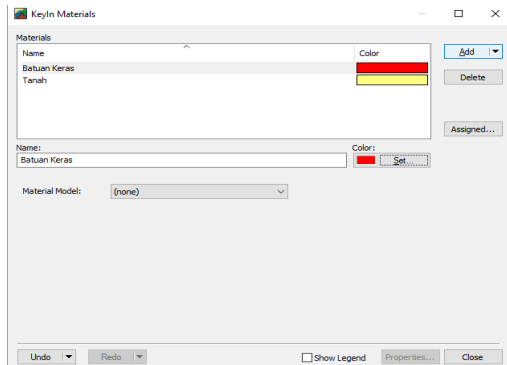
Gambar 2.35 Penginputan Sudut Geser

- r. Klik Vol. Water Content Fn., lalu input dengan material yang telah diisi sebelumnya



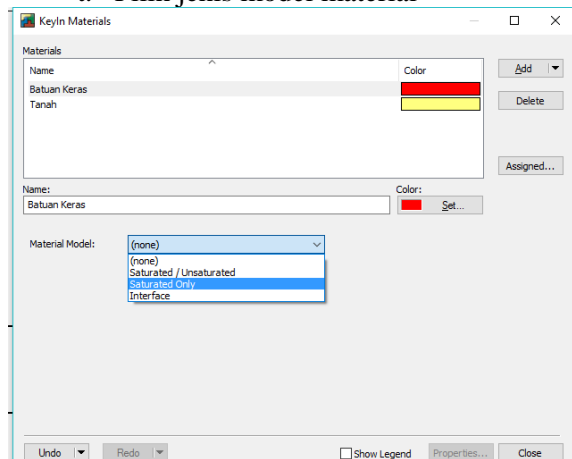
Gambar 2.36 Penginputan Jenis Vol. Water Content yang di-input sebelumnya.

- s. Klik Add untuk menginput material baru, lalu ketik nama material di kolom nama



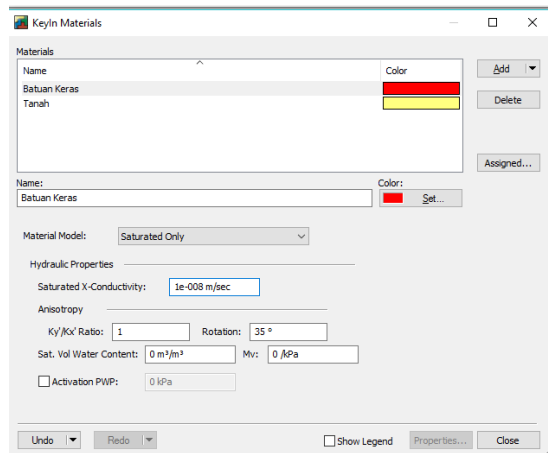
Gambar 2.37 Penambahan Material Baru.

- t. Pilih jenis model material



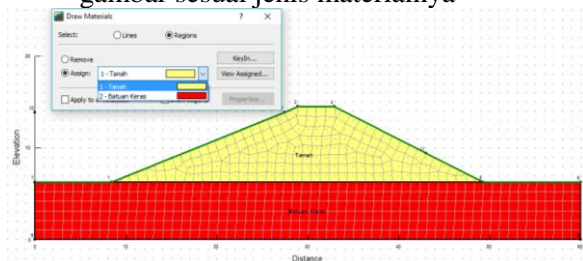
Gambar 2.38 Pemilihan Jenis Material

- u. Input data Saturated X-Conductivity dan rotation, lalu klik Close



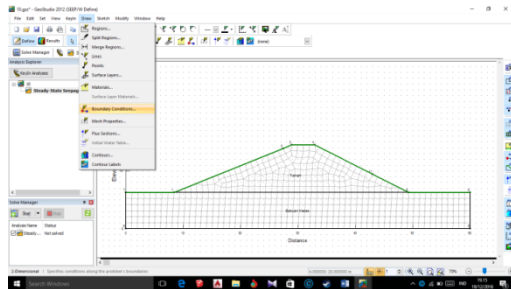
Gambar 2.39 Penginputan Data.

- v. Pilih jenis material lalu klik pada gambar sesuai jenis materialnya



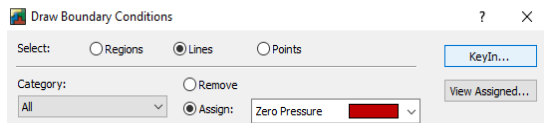
Gambar 2.40 Peng-input-an Material pada gambar.

- X. Membuat Boundary Conditions atau pengelokasian titik yang terkena air.
- a. Klik Draw, lalu klik Boundary Conditions



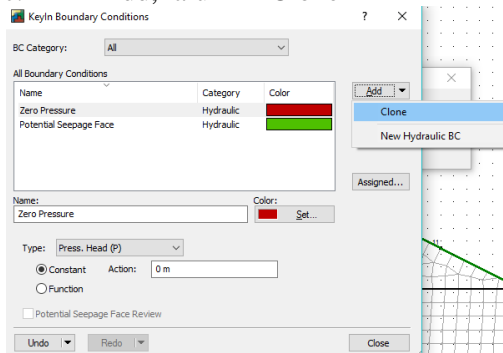
Gambar 2.41 Letak Boundary Conditions option.

- b. Klik KeyIn



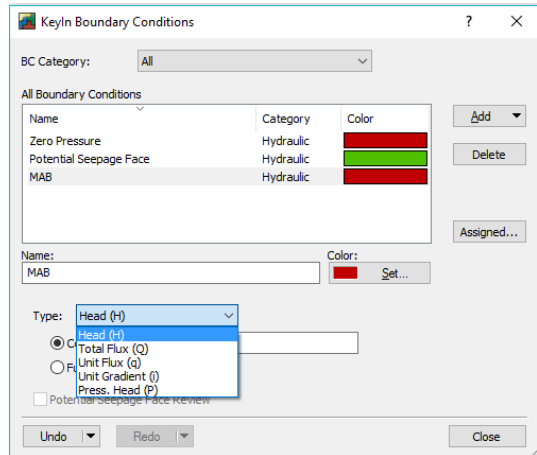
Gambar 2.42 pemasukan jenis *Boundary*.

- c. Klik Add, lalu klik Clone



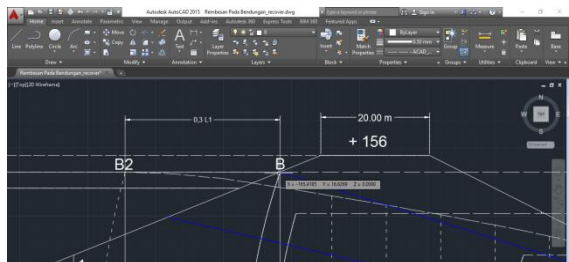
Gambar 2.43 Peng-clone-an jenis *Boundary*.

- d. Ketik kondisi pada kolom nama dan tentukan jenis typenya



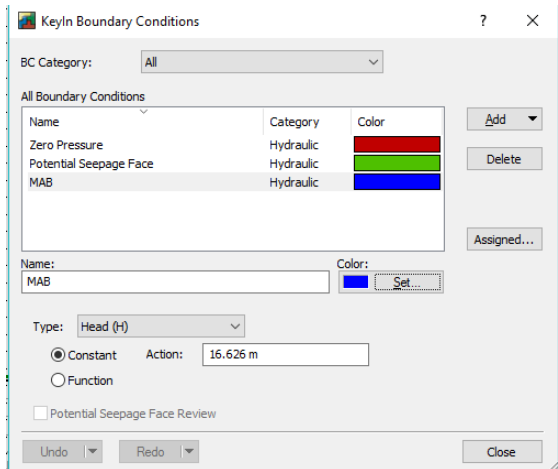
Gambar 2.44 Pemilihan Tipe *Boundary*.

- e. Buka aplikasi Autocad, cari koordinat sumbu y pada kondisi yang dibuat



Gambar 2.45 Pencarian koordinat-y.

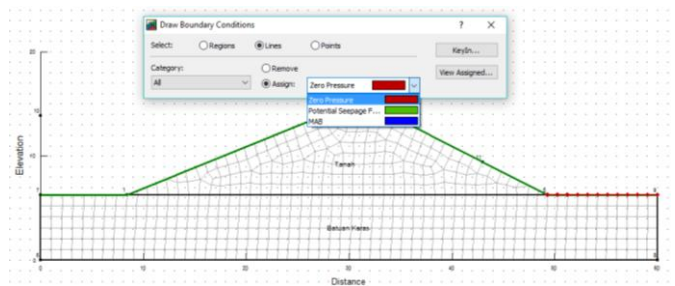
- f. Input koordinat sumbu y pada kolom action, lalu close.



Gambar 2.46 Peng-input-an sumbu y.

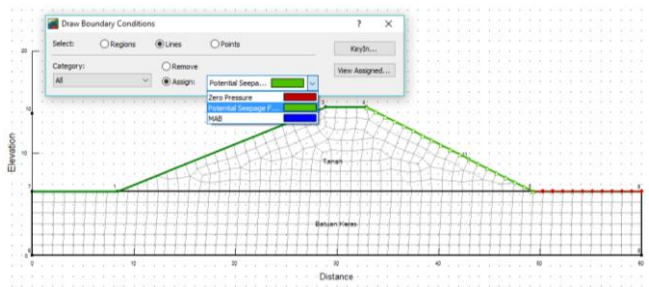
- g. Klik salah satu kondisi, lalu klik garis pada gambar sesuai dengan masing-masing kondisi.

- *Zero Pressure*



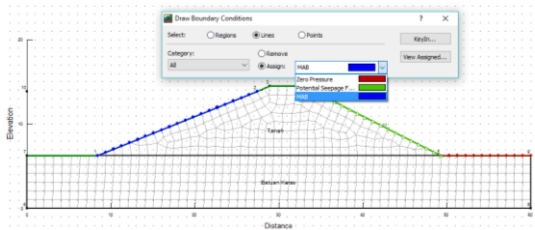
Gambar 2.47 jenis *Zero Pressure*.

- *Potential Seepage Face*



Gambar 2.48 Jenis Potential Seepage Face.

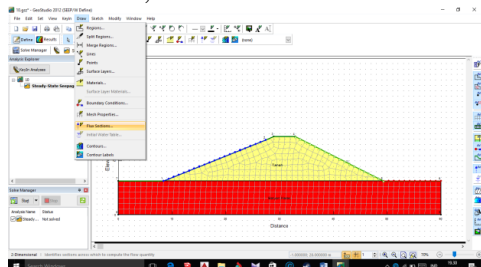
- Muka Air Banjir (MAB)



Gambar 2.49 Jenis MAB.

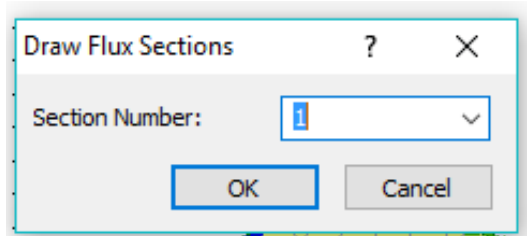
XI. Membuat Flux atau garis yang ingin diketahui jumlah rembesan nya.

a. Klik Draw, lalu klik Flux Sections



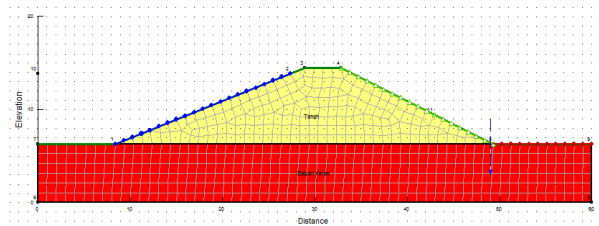
Gambar 2.50 Letak Flux Section option

- b. Ketik Section number pada kolom Section Number



Gambar 2.51 urutan Section.

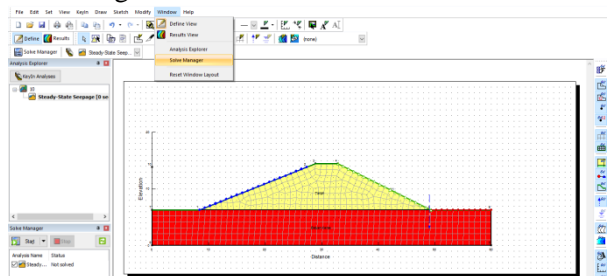
- c. Tarik garis lurus vertikal pada titik perpotongan lereng hilir bendungan



Gambar 2.52 Flux Section.

## XII. Running

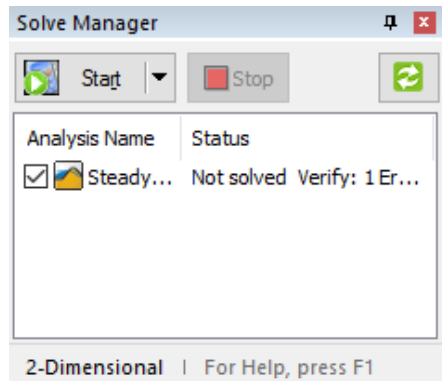
- a. Klik Window, lalu klik Solve Manager



Gambar 2.53 Solve Manager

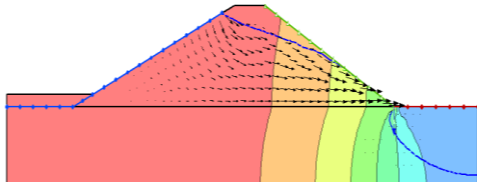


b. Klik Start



Gambar 2.54 Solve Manager 2

XIII. Hasil Running yang telah dibuat



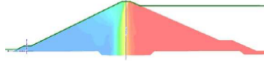
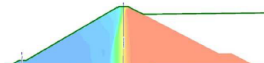
Gambar 2.55 Hasil Perhitungan.

## 2.2. Karya Terdahulu

### 2.2.1. Kajian Kestabilan Tubuh Waduk Rukoh Kecamatan Titieu Keumala Kabupaten Pidie

Keamanan terhadap kelongsoran lereng waduk dan rembesan (*seepage*) merupakan persyaratan utama untuk kestabilan waduk. Oleh sebab itu pembangunan waduk diupayakan tidak terjadi rembesan yang melewati batas rembesan yang diizinkan. Bila rembesan yang berlebihan ini tidak diantisipasi dapat menyebabkan perubahan tegangan efektif pada massa tanah itu, sehingga akan terjadi tekanan rembesan (*seepage force*) yang menyebabkan lepasnya ikatan antar partikel tanah dan terbentuknya deformasi yang permanen pada tubuh waduk, maka dikhawatirkan dapat terjadi kelongsoran dan/atau keruntuhan waduk yang akan menimbulkan kerugian. Kajian kestabilan waduk bertujuan untuk mendapatkan suatu kondisi kestabilan tubuh waduk yang memenuhi persyaratan aman pada waduk tersebut, baik aman terhadap kegagalan struktur maupun terhadap aliran rembesan. Hasil kajian kestabilan lereng waduk dan *seepage* masih di bawah faktor keamanan yang diizinkan pada sebuah waduk, maka waduk tersebut aman terhadap longsor dan *seepage* yang terjadi. Faktor keamanan yang diperoleh 1,2, dengan demikian waduk aman kestabilannya pada kondisi selesai konstruksi, kondisi muka air banjir, dan kondisi *rapid drawdown*. Sedangkan hasil debit rembesan yang terjadi pada kondisi muka air banjir  $8,464 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/sec/m'lebar waduk dan kondisi muka air normal  $7,327 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/sec/m'lebar waduk. Hasil ini dapat dijadikan

bagian informasi keamanan kestabilan Waduk Rukoh.

Kondisi	Debit Rembesan ( $\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}^2$ lebar waduk)	Gambar
Muka Air Banjir	$8,464 \times 10^{-8}$	
Muka Air Normal	$7,327 \times 10^{-8}$	

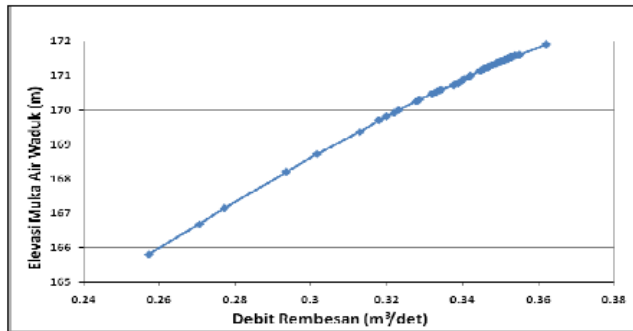
Gambar 2.56 Hasil Perhitungan dengan Geo(SEEP/W)

Hasil perhitungan program *GEO-SLOOPE (SEEP/W)* untuk menganalisis *seepage* yang terjadi menunjukkan bahwa sebagian besar perubahan garis gradien hidrolik terjadi pada daerah disekitar zona inti (kedap air), karena zona inti mempunyai koefisien rembesan lebih kecil dari zona lain. Perubahan-perubahan pada tinggi energi antara garis-garis eipotensial menunjukkan juga bahwa air mengalir pada dua zona yaitu zona jenuh (*saturated zone*) dan zona tidak jenuh (*unsaturated zone*). Batas antara zona jenuh dan tidak jenuh adalah pada garis freatik (*phreatic line*) yang ditunjukkan oleh garis berwarna biru pada gambar.

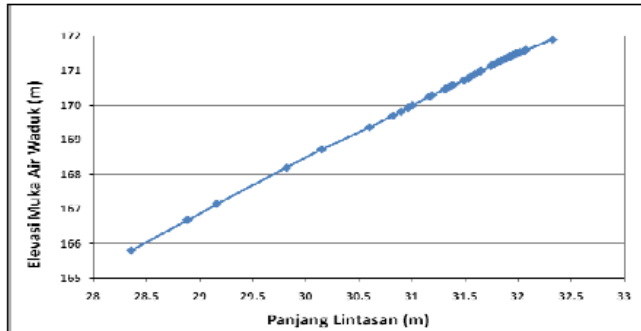
#### 2.2.2. Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk Terhadap Debit Rembesan Menggunakan Model SEEP/W (Studi Kasus di Bendungan Benel, Kabupaten Jembrana, Bali)

Metode yang digunakan untuk mengetahui pengaruh fluktuasi muka air waduk terhadap debit rembesan dilakukan pendekatan dengan menghitung lama durasi rembesan yang terjadi. Hasil dari model menunjukkan pola aliransesuai dengan prinsip metode

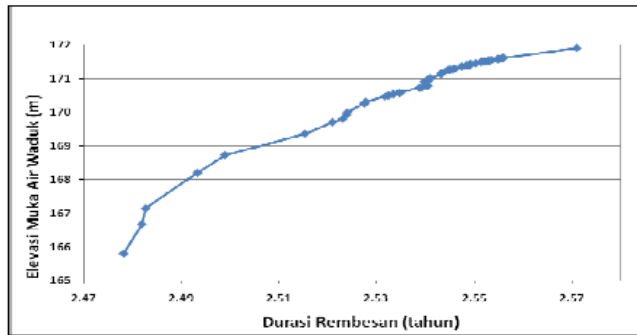
Cassagrande. Hasil perhitungan menunjukkan pengaruh fluktuasi muka air waduk sangat kecil terhadap debit rembesan dengan durasi rembesan mencapai rata-rata 2,5 tahun. Akan tetapi, rembesan yang terjadi setelah pengisian awal waduk hanya sekitar 5 bulan. Perbedaan durasi rembesan dari hasil perhitungan dan penelitian menunjukkan pemodelan belum sempurna.



Gambar 2.57 Hubungan Elevasi MAW dengan Debit Rembesan



Gambar 2.58 Hubungan Elevasi MAW dengan Panjang Lintasan Rembesan



Gambar 2.59 Hubungan Elevasi MAW dengan Durasi Rembesan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

### BAB III METODOLOGI

Penelitian ini akan menggunakan 4 permodelan (situasi) bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek untuk 2 jenis potongan bendungan yaitu potongan terbesar dan terkecil, permodelan yang menjadi acuan pada penelitian ini yaitu :

1. Elevasi Muka Air Banjir,
2. Elevasi setinggi Mercu Bendungan,
3. Terjadi penurunan elevasi secara tiba-tiba, (Mercu sampai setinggi *intake*)
4. Dead Storage, sedimen menutup saluran *Intake*.

Yang akan diamati dari masing-masing permodelan diatas adalah

1. Debit rembesan,
2. Pola rembesan,
3. Kecepatan rembesan,
4. Batas kritis diameter butir yang diijinkan,
5. *Safety of factor* kestabilan bendungan.

Masing-masing permodelan akan diterapkan pada potongan melintang dari bendungan terbesar dan terkecil, dan hasil dari penelitian akan berupa desain akhir software.

#### 3.1. Skenario Permodelan

##### 3.1.1. Elevasi MAB (Muka Air Banjir)

Elevasi MAB adalah elevasi tambahan yang terjadi akibat debit banjir yang melebihi kapasitas Spillway. Elevasi berdasarkan data yang didapatkan menunjukkan elevasi mencapai +256,65.

##### 3.1.2. Elevasi Mercu Spillway (MAN)

Elevasi yang terjadi saat debit sungai tidak melebihi elevasi mercu spillway, elevasi

air tergolong tinggi akan tetapi spillway kosong, yaitu pada elevasi +252,2.

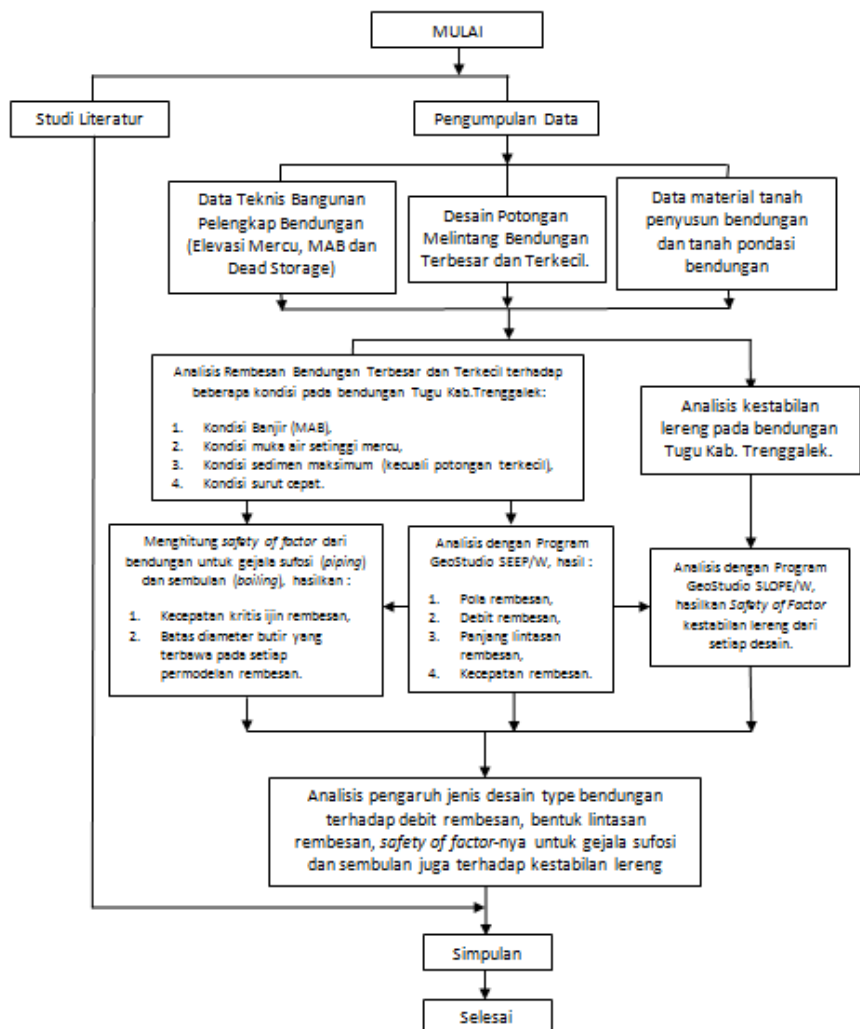
### 3.1.3. Surut Cepat

Pada saat rembesan yang terjadi belum sempat turun dikarenakan perubahan debit sungai yang secara tiba-tiba, dimana rembesan berada pada elevasi yang jauh melebihi elevasi muka air sungai. Elevasi rembesan berada pada elevasi mercu spillway, sedangkan muka air asli berada pada elevasi mercu intake yaitu +215,50. Untuk potongan terkecil bendungan juga dihitung dengan perlakuan sama yaitu kosong.

### 3.1.4. Dead Storage

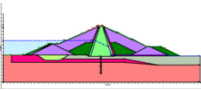

Sedimen akan sangat mempengaruhi kestabilan bendungan, pada permodelan kali ini sedimen akan dianggap mencapai elevasi Intake yaitu +215,50. Untuk potongan bendungan terkecil tidak dihitung dikarenakan elevasi sedimen tidak mencapai elevasi dasar potongan terkecil bendungan.





Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan

Tabel 3.1 Pedoman Perhitungan

Model Desain Bendungan	Debit Rembesan	Pola Rembesan	Kecepatan Rembesan dan Durasi Rembesan.	<i>Safety of Factor</i> Kestabilan Lereng	Batas Kritis Diameter Butir dan Kecepatan Kritis
 <p>Potongan Melintang Terbesar Bendungan (St. 7) Tugu Kab. Trenggalek.</p>	<p>Didapat langsung dari GeoStudio SEEP/W dengan tiga flux, yaitu :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Peralihan material tanah (inti tegak dan filter),</li> <li>2. Paling kritis pada setiap material tanah.</li> </ol>	<p>Pola rembesan didapat dari GeoStudio SEEP/W.</p>	<p>Dihitung secara manual menggunakan hukum persamaan Darcy sama dengan debit akan dihitung kecepatan pada setiap material.</p>	<p>Didapat dari GeoStudio SLOPE/W dengan rembesan diaplikasikan langsung dari SEEP/W</p>	<p>Dihitung dengan menggunakan rumus Kecepatan rembesan kritis (<math>V_c</math>) (<math>V_c &gt; V_s</math>)</p> $V_c = \sqrt{\frac{W_l g}{F \gamma_w}}$ <p><math>V_s</math> = kecepatan rembesan</p>
 <p>Potongan Melintang Terkecil Bendungan (St. 17) Tugu Kabupaten Trenggalek.</p>					

Keterangan :

1. Elevasi Muka Air Banjir (+256,65)
2. Elevasi Mercu Spillway (+250,60)
3. Elevasi Intake (+215,50)
4. Elevasi Dasar Bendungan (+179,00)

### 3.2. Data Sungai

#### 3.2.1. Data Debit

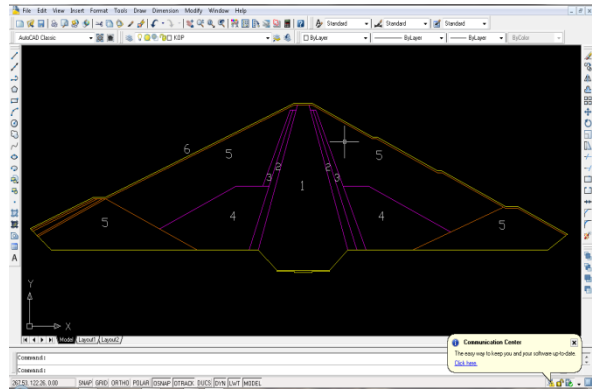
Tabel 3.2 Data Debit Probabilias Tahunan K. Keser

No	Debit		Q Diurutkan		
	Tahun	m <sup>3</sup> /det	Tahun	P%	m <sup>3</sup> /det
1	1976	71.68	1998	2.86	252.38
2	1977	53.2	2003	5.71	135.18
3	1978	49.83	1996	8.57	115.27
4	1979	41.38	1995	11.43	114.1
5	1980	18.9	1976	14.29	71.68
6	1981	28.08	2002	17.14	68.91
7	1982	25.23	2008	20	59.56
8	1983	29.19	1997	22.86	53.56
9	1984	21.81	1977	25.71	53.2
10	1985	13.83	1978	28.57	49.83
11	1986	15.61	1979	31.43	41.38
12	1987	14.87	1999	34.29	38.73
13	1988	19.96	1992	37.14	38.34
14	1989	29.76	1994	40	38
15	1990	25.23	2000	42.86	30.82
16	1991	28.85	1989	45.71	29.76
17	1992	38.34	2004	48.57	29.73
18	1993	23.46	1983	51.43	29.19
19	1994	38	2001	54.29	29.07
20	1995	114.1	1991	57.14	28.85
21	1996	115.27	1981	60	28.08
22	1997	53.56	2007	62.86	26.84

No	Debit		Q Diurutkan		
	Tahun	m <sup>3</sup> /det	Tahun	P%	m <sup>3</sup> /det
23	1998	252.38	2005	65.71	26.11
24	1999	38.73	1982	68.57	25.23
25	2000	30.82	1990	71.43	25.23
26	2001	29.07	2006	74.29	24.32
27	2002	68.91	1993	77.14	23.46
28	2003	135.18	1984	80	21.81
29	2004	29.73	2009	82.86	20.08
30	2005	26.11	1988	85.71	19.96
31	2006	24.32	1980	88.57	18.9
32	2007	26.84	1986	91.43	15.61
33	2008	59.56	1987	94.29	14.87
34	2009	20.08	1985	97.14	13.83

*(Sumber: Data Teknis Bendungan Tugu Kab.Trenggalek)*

### 3.3. Data Tanah



Gambar 3.2 Tubuh Bendungan Tugu

Bendungan urugan tipe inti tegak, dengan 6 jenis material berbeda yang masing-masing memiliki sifat berbeda :

1. Inti Kedap
2. Filter Halus
3. Filter Kasar
4. Random Tanah
5. Batu
6. Rip-Rap

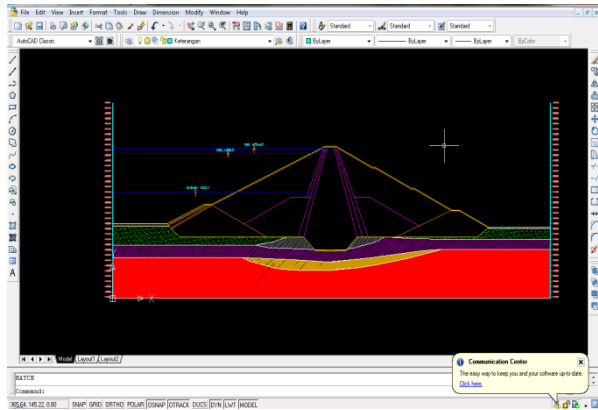
### 3.3.1. Tubuh Bendungan

Tabel 3.3 Daftar Koefisien Tanah Penyusun Bendungan.

Material	K
	cm/dtk
Inti Kedap	$< 2,1 \times 10^{-7}$
Filter Halus	$< 2.5 \times 10^{-3}$
Filter Kasar	$< 5.5 \times 10^{-2}$
Random Tanah	$< 7.21 \times 10^{-4}$
Batu	Free Drain
Rip-rap	Free Drain

(Sumber: Data Teknis Bendungan Tugu Kab.Trenggalek)

### 3.3.2. Bentuk Pondasi



Gambar 3.3 Desain Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek

## 3.3.3. Pondasi

Tabel 3.4 Daftar Koefisien Tanah  
Pondasi Bendungan.

Material	K
	cm/dtk
Pondasi Batuan	$1,0 \times 10^{-4}$
Pondasi Batuan yang digrouting	$1 \times 10^{-5}$
Pondasi Alluvial	$5 \times 10^{-4}$
Pondasi Kollovial	$1 \times 10^{-4}$

(Sumber: Data Teknis Bendungan Tugu Kab.Trenggalek)

## 3.3.4. Operasi Waduk dan Elevasi Muka Air

Dengan data operasi waduk dan elevasi muka air yang terjadi, nantinya dapat diolah untuk mengetahui perubahan elevasi muka air sehingga dapat diketahui pengaruh perubahannya terhadap rembesan yang terjadi. Tabel 3.5. menunjukkan perhitungan hubungan elevasi muka air dan debit Bendungan Tugu dengan metode perhitungan pengosongan tangki nantinya akan didapat durasi terjadinya permodelan surut cepat.

Tabel 3.5 Perhitungan Hubungan Elevasi Muka  
Air dan Debit

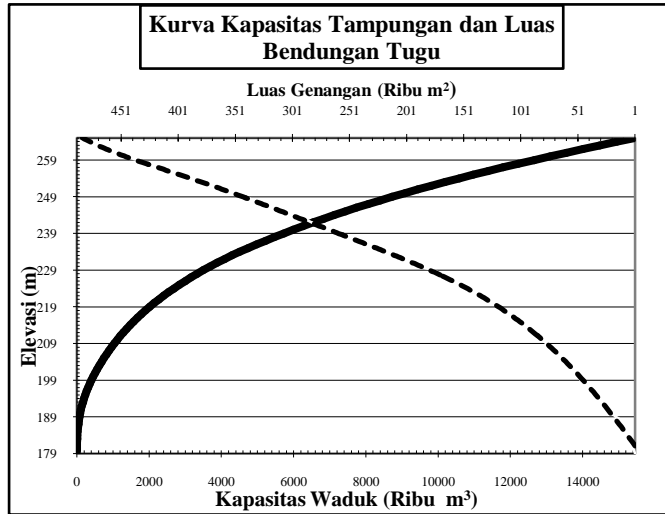
No.	Elevasi (m)	Tinggi (m)	Luas Genangan ( $\times 10^3 \text{ m}^2$ )	Volume Tampungan ( $\times 10^3 \text{ m}^3$ )	Volume Tampungan Kumulatif ( $\times 10^3 \text{ m}^3$ )
0	179,00	-	1,08	-	-
1	180,00	1,00	2,09	1,59	1,59
2	181,00	2,00	2,88	2,49	4,08
3	182,00	3,00	4,25	3,57	7,65

No.	Elevasi (m)	Tinggi (m)	Luas Genangan ( $\times 10^3 \text{ m}^2$ )	Volume Tampungan ( $\times 10^3 \text{ m}^3$ )	Volume Tampungan Kumulatif ( $\times 10^3 \text{ m}^3$ )
4	183,00	4,00	5,35	4,80	12,45
5	184,00	5,00	6,13	5,74	18,19
6	185,00	6,00	9,03	7,58	25,77
7	186,00	7,00	10,44	9,74	35,51
8	187,00	8,00	11,44	10,94	46,45
9	188,00	9,00	12,97	12,20	58,65
10	189,00	10,00	17,74	15,35	74,00
11	190,00	11,00	21,13	19,44	93,44
12	191,00	12,00	24,38	22,76	116,20
13	192,00	13,00	27,73	26,05	142,25
14	193,00	14,00	30,88	29,30	171,55
15	194,00	15,00	33,10	31,98	203,53
16	195,00	16,00	35,81	34,45	237,98
17	196,00	17,00	38,76	37,29	275,27
18	197,00	18,00	42,61	40,69	315,96
19	198,00	19,00	45,71	44,16	360,12
20	199,00	20,00	48,49	47,10	407,22
21	200,00	21,00	51,36	49,93	457,15
22	201,00	22,00	55,00	53,18	510,33
23	202,00	23,00	57,69	56,34	566,67
24	203,00	24,00	60,52	59,10	625,77
25	204,00	25,00	63,01	61,77	687,54
26	205,00	26,00	65,34	64,18	751,72
27	206,00	27,00	68,57	66,95	818,67
28	207,00	28,00	71,72	70,15	888,82
29	208,00	29,00	74,66	73,19	962,01
30	209,00	30,00	78,57	76,61	1.038,62
31	210,00	31,00	82,69	80,62	1.119,24
32	211,00	32,00	86,55	84,62	1.203,86
33	212,00	33,00	89,15	87,85	1.291,71
34	213,00	34,00	92,79	90,97	1.382,68
35	214,00	35,00	96,06	94,42	1.477,10
36	215,00	36,00	100,75	98,40	1.575,50
37	216,00	37,00	106,11	103,43	1.678,93
38	217,00	38,00	110,30	108,21	1.787,14
39	218,00	39,00	114,79	112,54	1.899,68
40	219,00	40,00	120,11	117,45	2.017,13
41	220,00	41,00	126,03	123,07	2.140,20
42	221,00	42,00	131,61	128,82	2.269,02
43	222,00	43,00	136,28	133,95	2.402,97
44	223,00	44,00	140,96	138,62	2.541,59
45	224,00	45,00	146,77	143,86	2.685,45



No.	Elevasi (m)	Tinggi (m)	Luas Genangan ( $\times 10^3$ m <sup>2</sup> )	Volume Tampungan ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> )	Volume Tampungan Kumulatif ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> )
46	225,00	46,00	155,69	151,23	2.836,68
47	226,00	47,00	162,29	158,99	2.995,67
48	227,00	48,00	167,11	164,70	3.160,37
49	228,00	49,00	172,14	169,62	3.329,99
50	229,00	50,00	177,19	174,67	3.504,66
51	230,00	51,00	191,01	184,10	3.688,76
52	231,00	52,00	198,76	194,89	3.883,65
53	232,00	53,00	204,92	201,84	4.085,49
54	233,00	54,00	211,72	208,32	4.293,81
55	234,00	55,00	218,46	215,09	4.508,90
56	235,00	56,00	237,43	227,94	4.736,84
57	236,00	57,00	243,19	240,31	4.977,15
58	237,00	58,00	248,18	245,69	5.222,84
59	238,00	59,00	253,03	250,61	5.473,45
60	239,00	60,00	257,80	255,42	5.728,87
61	240,00	61,00	267,86	262,83	5.991,70
62	241,00	62,00	277,10	272,48	6.264,18
63	242,00	63,00	284,13	280,62	6.544,80
64	243,00	64,00	290,86	287,50	6.832,30
65	244,00	65,00	297,87	294,37	7.126,67
66	245,00	66,00	308,88	303,38	7.430,05
67	246,00	67,00	318,46	313,67	7.743,72
68	247,00	68,00	326,84	322,64	8.066,36
69	248,00	69,00	334,82	330,83	8.397,19
70	249,00	70,00	342,85	338,84	8.736,03
71	250,00	71,00	354,68	348,76	9.084,79
72	251,00	72,00	365,37	360,02	9.444,81
73	252,00	73,00	373,89	369,63	9.814,44
74	253,00	74,00	382,35	378,12	10.192,56
75	254,00	75,00	390,60	386,48	10.579,04
76	255,00	76,00	401,15	395,88	10.974,92
77	256,00	77,00	412,52	406,84	11.381,76
78	257,00	78,00	420,85	416,69	11.798,45
79	258,00	79,00	428,83	424,84	12.223,29
80	259,00	80,00	436,55	432,69	12.655,98
81	260,00	81,00	447,45	442,00	13.097,98
82	261,00	82,00	456,03	451,74	13.549,72
83	262,00	83,00	463,14	459,59	14.009,31

(Sumber: Data Teknis Bendungan Tugu Trenggalek)



Gambar 3.5 Kurva Kapasitas Tampungan dan Luas Bendungan Tugu

## BAB IV PERHITUNGAN

### 4.1. Langkah Pengerjaan

#### 4.1.1. Pengumpulan Data

##### 4.1.1.1. Data Gambar Bendungan

- Gambar Potongan Bendungan per stasiun
- Gambar Peta Situasi
- Gambar Peta Lokasi Titik Bor

##### 4.1.1.2. Data Tanah

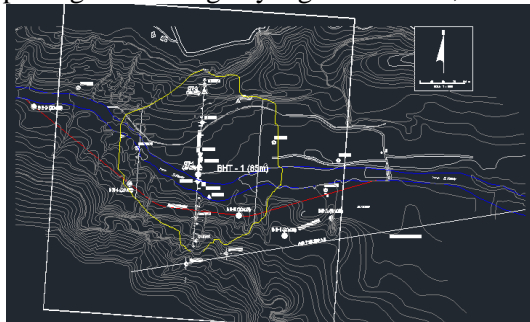
- Borlog Tanah Pondasi
- Borlog Tanah Penyusun Bendungan

##### 4.1.1.3. Data Air

#### 4.1.2. Pembuatan Gambar Tanah Pondasi

Untuk membentuk perkiraan susunan tanah pondasi, diperlukan borlog dan peta lokasi titik bor bidang yang diperlukan.

- Bentuk garis dengan menyambungkan lokasi-lokasi bor (titik bor) yang ada sesuai dengan potongan bendungan yang dibutuhkan pada peta lokasi titik bor potongan bendungan yang dibutuhkan,



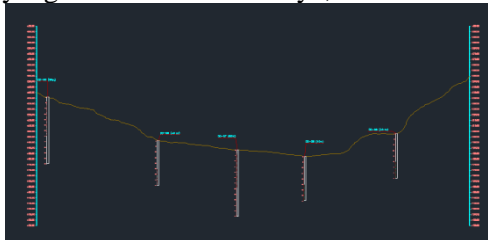
Gambar 4.1 Lokasi titik bor As  
Bendungan Tugu

- Dari garis yang terbentuk, gambar permukaan tanah sesuai peta kontur dari tanah yang dilewati garis tersebut,



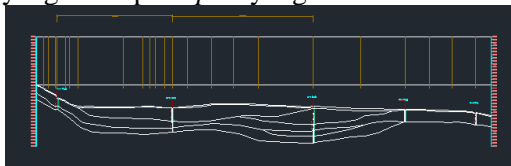
Gambar 4.2 Permukaan Tanah

- Kemudian plot borlog sesuai dengan peta kontur serta jarak yang terjadi pada garis yang terbentuk sebelumnya,



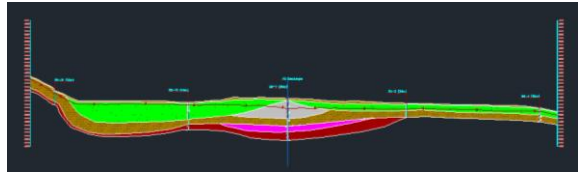
Gambar 4.3 Diplot titik boring

- Dari *plot*-an borlog yang terjadi perkiraan bentuk tanah pondasi dengan menyambungkan jenis tanah yang sama pada *plot* yang berdekatan.



Gambar 4.4 Plot tanah pondasi berdasar hasil boring

- Dan terbentuklah gambar perkiraan tanah pondasi.



Gambar 4.5 Gambar tanah pondasi

#### 4.1.3. Waktu Pengosongan Waduk untuk Kondisi Surut Cepat

Kondisi Surut Cepat pengaplikasiannya pada saat dilapangan adalah pada saat dimana aliran yang masuk (inflow) kewaduk tidak ada, sedangkan penggunaan atau pemanfaatan air di waduk terus dilakukan (outflow). Keadaan ini sangat membahayakan karena air yang asalnya tinggi turun tiba-tiba dapat mengakibatkan air yang semula merembes kemudian turun dengan cepat dapat mempengaruhi ketahanan tubuh bendungan terhadap bahaya longsoran khususnya pada bagian hulu bendungan.

Karena berdasarkan bahaya itulah waktu surut cepat harus diperhitungkan, waktu yang diperlukan untuk pengosongan waduk dari kondisi MAN menuju kondisi muka air rendah setinggi bibir intake dapat dihitung dari tabel kapasitas tampungan waduk seperti pada tabel 3.4, untuk perhitungan durasi surut cepat dihitung dari elevasi bibir intake sampai elevasi mercu spillway (+215,5 sampai +252,2). Dapat dihitung dengan rumus:

$$t = \frac{2AH1^{1/2}}{Cd\alpha\sqrt{2g}}$$

Misal perhitungan tiap 1m pada elevasi (+215 sampai +216)

Dimana,

$$A = 100,75(x10^3 \text{ m}^2) = 100.750 \text{ m}^2 \text{ (pada elevasi +215)}$$

$$= 106,11(x10^3 \text{ m}^2) = 106.110 \text{ m}^2 \text{ (pada elevasi +216)}$$

$$H = 216-215 = 1\text{m}$$

$$Cd = 0,62 \text{ (Hidraulika I, 2012)}$$

$$\alpha = 1,5\text{m} * 1,5\text{m}$$

$$= 2,25\text{m}^2 \text{ (luas lubang intake)}$$

$$g = 9,8\text{m/det}^2$$

Sehingga,

$$t = \frac{2AH1^{1/2}}{Cd\alpha\sqrt{2g}}$$

$$t = \frac{2 * \frac{100,75 \text{ m}^2 + 106,11 \text{ m}^2}{2} * 1\text{m}^{1/2}}{0,62 * 2,25\text{m}^2 * \sqrt{2} * 9,8\text{m/det}^2}$$

$$t = 2.770,68\text{det}$$

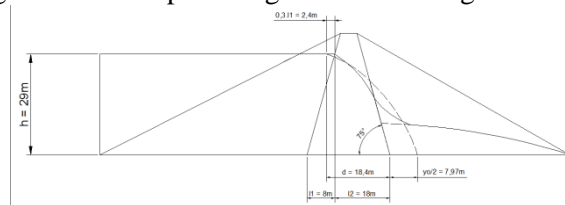
Kemudian setelah dihitung tiap elevasi sampai elevasi mercu spillway, lamanya durasi surut cepat adalah sebesar 1,95hari atau sebesar 46,77 jam.

Untuk menginputkan waktu tersebut ke dalam permodelan pada GeoStudio hampir sama dengan membuat analisis rembesan seperti biasa sebagaimana pada gambar 4.6 dan 4.7 akan tetapi pada pilihan *Analisis type* pilih *transient* kemudian pada pilihan *parent* masukkan keadaan awal rembesan atau pada kali ini keadaan MAN yang sudah dihitung sebelumnya, lalu pada bar *Time* dimasukkan waktu perubahan yang juga sudah dihitung sebelumnya.

#### 4.1.4. Perbandingan Perhitungan manual dan menggunakan GeoStudio SEEP/W

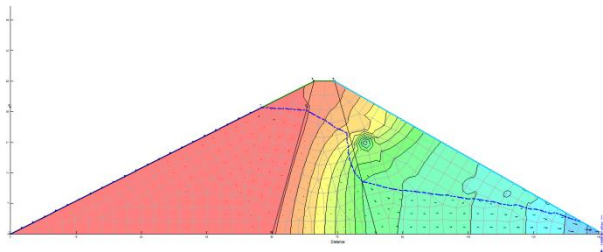
Penentuan garis depresi menggunakan perhitungan manual, dihitung menggunakan referensi 2 perhitungan formasi garis depresi ada pada buku Bendungan Type Urugan editor Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda.

Penulis mencoba membandingkan perhitungan yang ada pada contoh pada referensi tersebut dengan perhitungan menggunakan software GeoStudio SEEP/W. Dengan desain bendungan inti tegak serta hasil perhitungan manual sebagai berikut.



Gambar 4.5. Desain Bendungan Manual

Serta berikut adalah hasil perhitungan menggunakan GeoStudio SEEP/W dengan desain dan parameter perhitungan yang sama.



Gambar 4.6. Hasil Perhitungan Software (Perbandingan)

Terlihat formasi rembesan tidak jauh berbeda dengan perhitungan manual. Serta perhitungan debit

yang dihasilkan juga tidak terlalu berbeda. Berikut perhitungan debit manual :

Memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi bendungan yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi,

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot K \cdot H \cdot L$$

Dimana

$Q_f$  = kapasitas aliran filtrasi (kapasitas rembesan).

$N_f$  = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

$N_p$  = angka pembagi dari garis equipotensial

$K$  = koefisien filtrasi

$H$  = tinggi tekanan air total

$L$  = panjang profil melintang tubuh bendungan

Dengan menyesuaikan perhitungan yang ada pada GeoStudio SEEP/W yang membagi garis equipotensial sebanyak 15 maka perhitungan manual juga menggunakan angka tersebut. Serta jumlah pembagi garis trayektori yang tidak dibagi pada GeoStudio sehingga digunakan angka 1. Sedangkan untuk menentukan nilai  $k$  yang berbeda antara material  $k_1$  dan  $k_2$ , diperlukan  $k$  ekuivalensi dengan rumus sebagai berikut :

$$k_z = \frac{L}{\frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + dst..}$$

Dimana

$k_z$  = koefisien ekuivalensi

$l_1$  = panjang profil memanjang material 1

$l_2$  = panjang profil memanjang material 1

$K_1$  = koefisien material 1



- $K_2$  = koefisien material 2  
 $L$  = panjang profil memanjang tubuh bendungan

Sehingga didapat :

$$k_z = \frac{(60 + 24 + 52)}{\frac{60}{1,8E-6} + \frac{24}{0,9E-7} + \frac{52}{1,8E-6}}$$

$$k_z = \frac{136}{3288888888,9}$$

$$k_z = 4,13514E - 7$$

$$k_z = 4,1351 \times 10^{-7} \text{ m/detik}$$

Selanjutnya perhitungan debit :

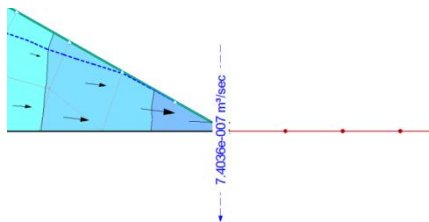
$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} K.H.L$$

$$Q_f = \frac{1}{15} (4,13514E - 7)(29)(136)$$

$$Q_f = 7,9945E - 7$$

$$Q_f = 7,994 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$$

Perhitungan debit secara manual menghasilkan debit yang tidak terlalu berbeda dengan menggunakan software GeoStudio yang menghasilkan  $7,4306 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$ , memiliki perbedaan hasil hanya sebesar 7,048 % dibandingkan dengan hasil perhitungan manual.

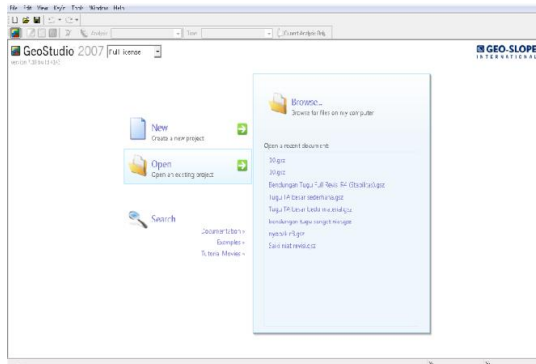


Gambar 4.7. Hasil Perhitungan Debit menggunakan Software GeoStudio

#### 4.1.5. Perhitungan Rembesan

Perhitungan rembesan menggunakan aplikasi GeoStudio 2007

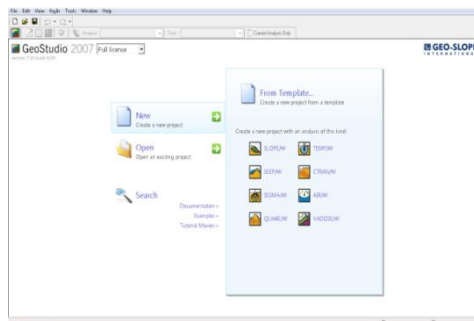
- Tata cara penggunaan aplikasi Geo Studio SEEP/W 2007
  1. Menggunakan aplikasi Geo Studio
    - a. Buka aplikasi GeoStudio



Gambar 4.6 Tampilan awal Geo Studio

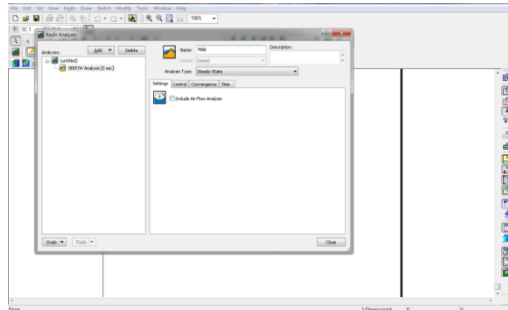
#### 2. Membuat project baru

- a. Klik New, kemudian klik SEEP/W untuk memodelkan rembesan



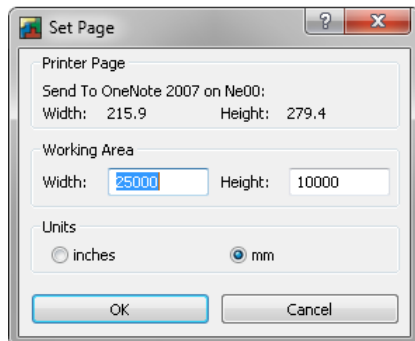
Gambar 4.7 Pilihan menu New

- b. Ketik nama project di kolom title, kemudian pilih Steady-State, lalu tutup untuk memulai.



Gambar 4.8 Tampilan project di kolom title

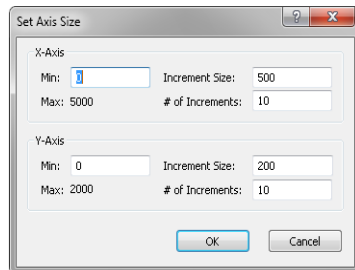
3. Mengatur lembar kerja
  - a. Atur panjang dan lebar lembar kerja klik Set> Page



Gambar 4.9 Tampilan set page

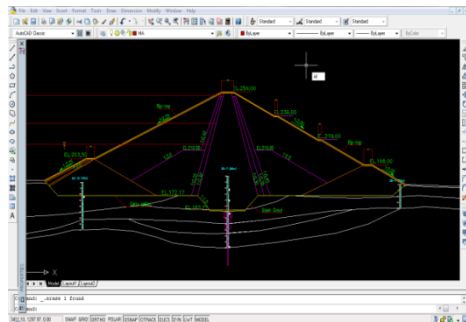
- b. Atur sumbu x dan y isi batasan maksimal dan minimal berdasarkan koordinat yang

didapat dari gambar teknik klik Set> Axes..



Gambar 4.10 Tampilan Set axis size

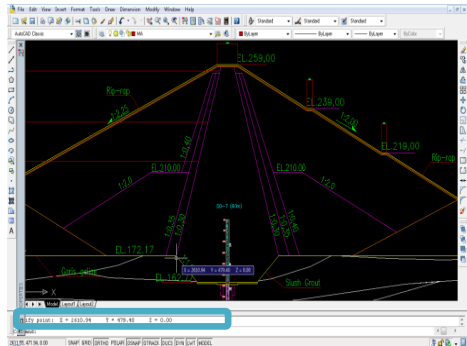
4. Mencari koordinat gambar teknis dari aplikasi Auto Cad
  - a. Klik “id”> enter > klik pada sumbu pertemuan yang diinginkan



Gambar 4.11 Tampilan tubuh bendungan pada aplikasi Auto Cad

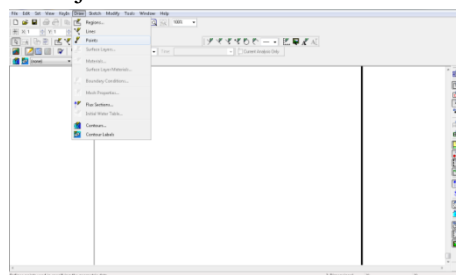
- b. Maka didapat koordinat dari perpotongan sumbu yang diinginkan

- c. Kemudian koordinat tersebut digunakan untuk menggambar pada aplikasi GeoStudio
- d. Jangan lupa tinggi muka air yang ditinjau juga dicari koordinatnya



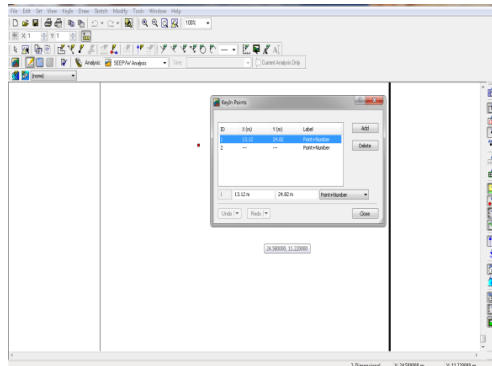
Gambar 4.12 Tampilan koordinat yang digunakan

5. Masukkan koordinat pada aplikasi GeoStudio
  - a. Klik Draw > Points, kemudian klik sembarang pada lembar kerja



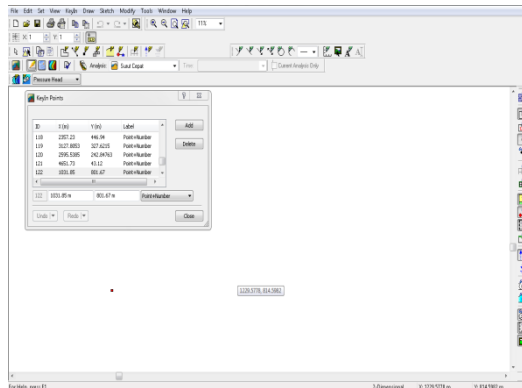
Gambar 4.13 Tampilan menu Draw

- b. Untuk menyesuaikan koordinat, klik KeyIn> Points, kemudian ganti koordinat dengan koordinat yang sudah didapat dari AutoCad



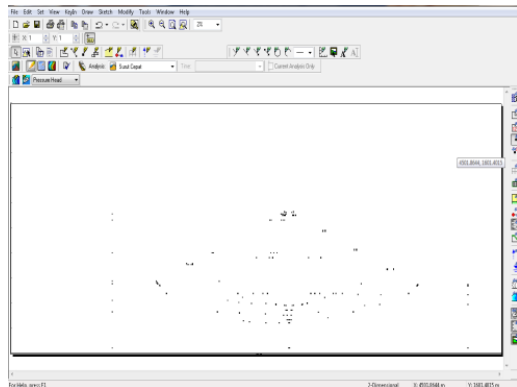
Gambar 4.14 Tampilan menu point

- c. Kemudian, masukkan semua koordinat yang telah kita dapat



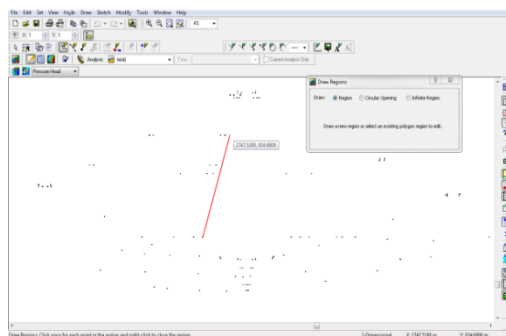
Gambar 4.15 Masukkan koordinat

- d. Setelah itu semua titik sumbu koordinat sudah tergambar



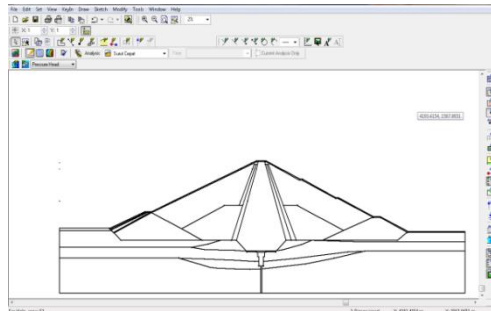
Gambar 4.16 Koordinat yang tergambar

6. Gambar tubuh bendungan
- Hubungkan antar titik sumbu koordinat, klik Draw> Regions, kemudian hubungkan titik sumbu koordinat sesuai dengan gambar teknik
  - gambar teknik pada aplikasi AutoCad



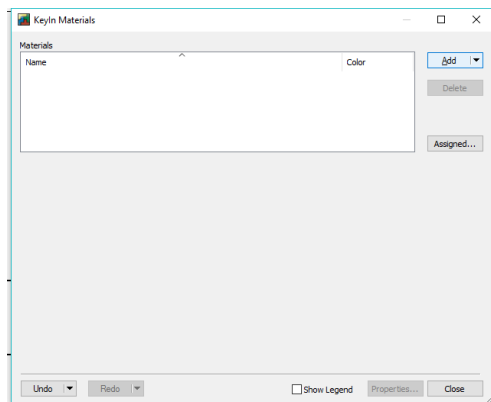
Gambar 4.17 Gambar region dari titik koordinat

- c. Setelah semua sudah tergambar bentuk tubuh bendungan sudah terlihat



Gambar 4.18 Tubuh bendungan yang tergambar

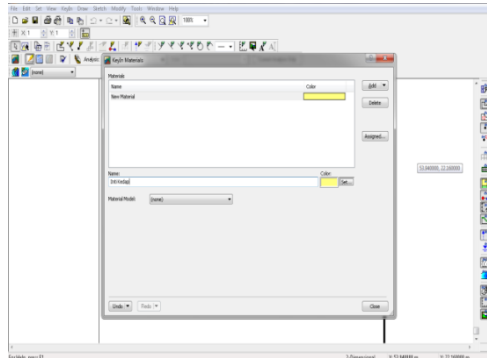
7. Masukkan data material  
a. Klik KeyIn> Materials> add new material



Gambar 4.19 Tampilan Keyin Material

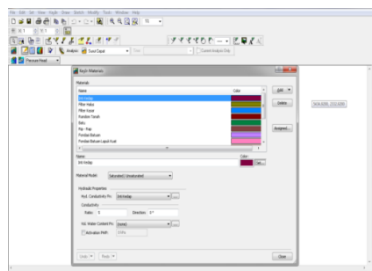


- b. Ketik nama material “Inti Kedap”



Gambar 4.20 Masukkan Material

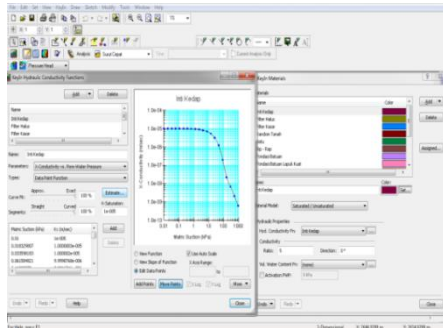
- c. Untuk jenis material timbunan menggunakan Saturated / Unsaturated, untuk tanah pondasi jenis materialnya menggunakan Saturated Only
- d. Masukkan data material yang tersedia
- e. Ratio, didapat dari data material (kh/kv)



Gambar 4.21 Masukkan angka ratio tiap material

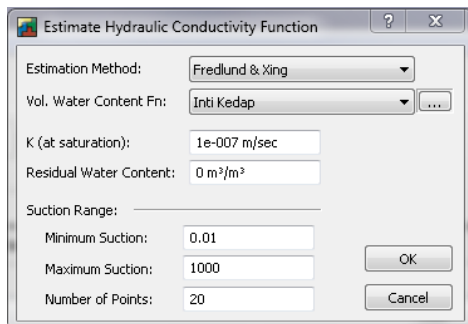
- f. Klik [...] pada Hyd. Conductivity Fn, lalu ganti

material (Inti Kedap), kemudian pilih Types: Data Point Function, setelah itu klik estimate



Gambar 4.22 Tampilan Keyin Hydraulic Conductivity function

g. Masukkan nilai koef. permeability dari inti kedap, untuk Estimation Method pilih Fredlund&Xing

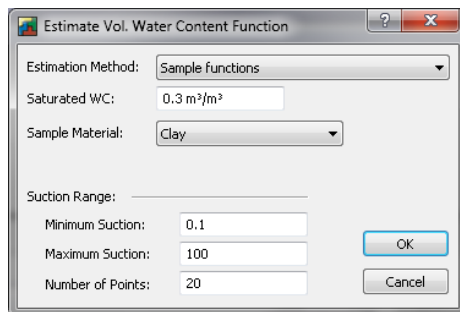


Gambar 4.23 Tampilan Estimate Hydraulic Conductivity Function

h. Klik [...] pada Hyd. Coductivity Fn, lalu ganti material (Inti Kedap), kemudian pilih Types: Data

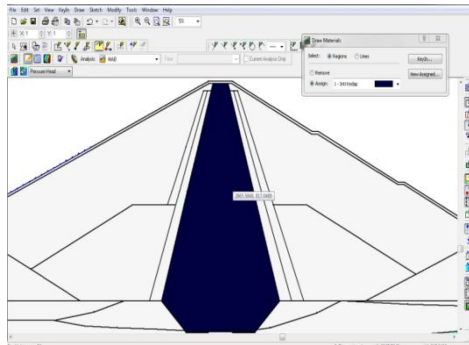
Point Function, setelah itu klik estimate

- i. Estimation Method pilih Sample Functions, kemudian Saturated WC diisi data berat jenis kering permukaan  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , Sample Material dipilih Clay



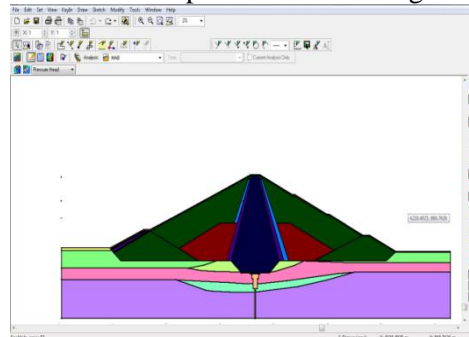
Gambar 4.24 Tampilan Estimate Hydraulic Conductivity Function

- j. Setelah itu klik “Ok”
  - k. Untuk data timbunan yang lain langkah-langkahnya sama seperti langkah-langkah “b-j”
  - l. Untuk langkah “i”, Estimation Method pilih Grain-size data
  - m. Jangan lupa data material tiap-tiap timbunan berbeda, untuk itu berbeda juga entry materialnya, tergantung data yang tersedia.
8. Menggambar material
    - a. Klik Draw> Materials> pilih material yang ingin digambar



Gambar 4.25 Plot material sesuai desain

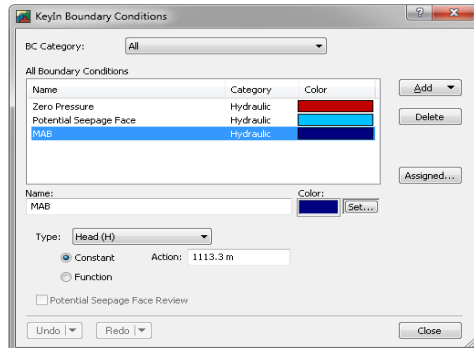
- b. Sampai tergambar semua material pada tubuh bendungan



Gambar 4.26 Material telah tergambar

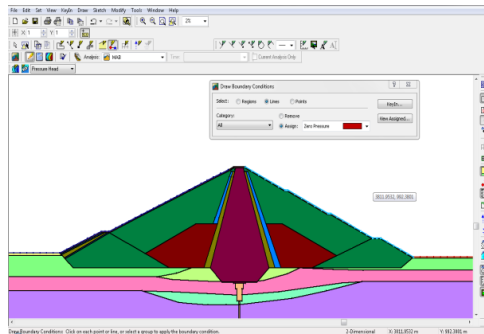
9. Membuat boundary condition
- a. Klik KeyIn>Boundary Conditions> Add New Hydraulic BC (MAB), kemudian pilih type Head, lalu

isi pilihan Action dengan elevasi MAB pada koordinat yang telah diisi pada tahapan awal sebelumnya (1113.3 m)



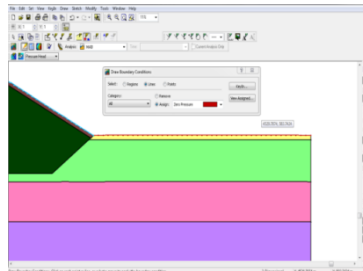
Gambar 4.27 Tampilan KeyIn Boundary Conditions

b. Klik Draw, lalu klik Boundary Conditions



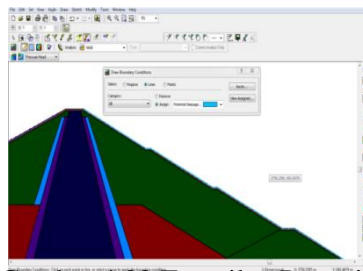
Gambar 4.28 Gambar Boundary Conditions

- Zero Pressure



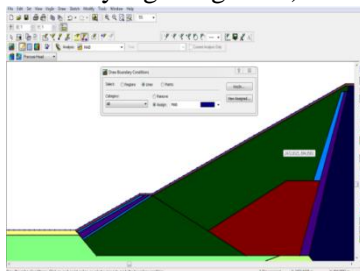
Gambar 4.29 Tampilan Zero Pressure

- Potential Seepage Face



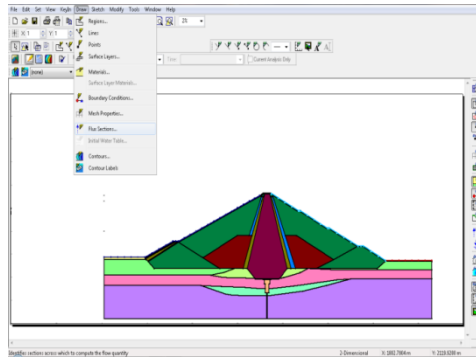
Gambar 4.30 Tampilan Potential Seepage

- MAB (Tinggi Muka Air yang diinginkan)



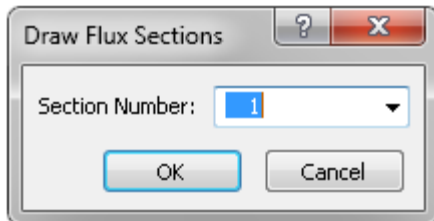
Gambar 4.31 Tampilan MAB

10. Membuat garis Flux Sections  
 a. Klik Draw> Flux Sections



Gambar 4.32 Gambar Flux Sections

b. Isi section number

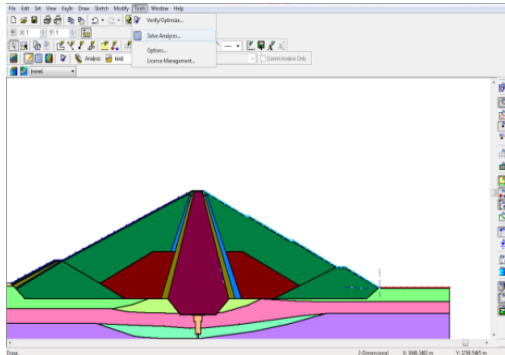


Gambar 4.33 Tampilan Flux Sections

c. Jika Flux section lebih dari satu, maka section number diisi dengan nomer yang berbeda, agar membedakan dengan yang awal

## 11. Running

### a. Klik Tools> Solve Analysis

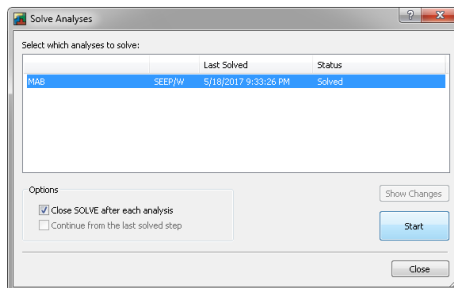


Gambar 4.34 Tampilan Solve Analysis

### b. Atau klik pada menu Toolbar icon



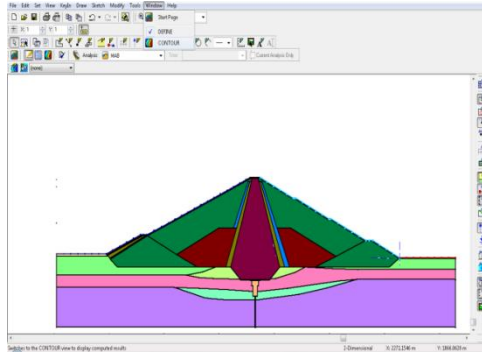
### c. Kemudian klik Start



Gambar 4.35 Tampilan Solve Analysis



12. Running telah dilakukan, garis depresi dapat dilihat
- a. Klik Window> Contour

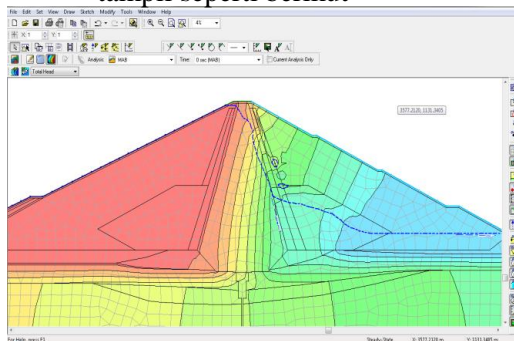


Gambar 4.36 Tampilan Contour

- b. Atau klik pada menu Toolbar icon

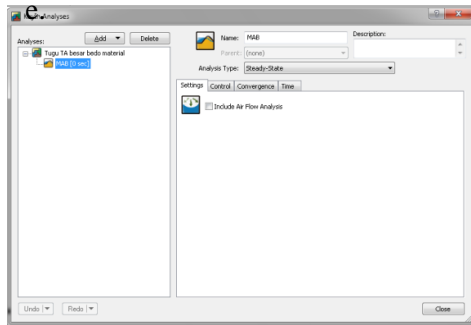


- c. Kemudian garis depresi akan tampil seperti berikut



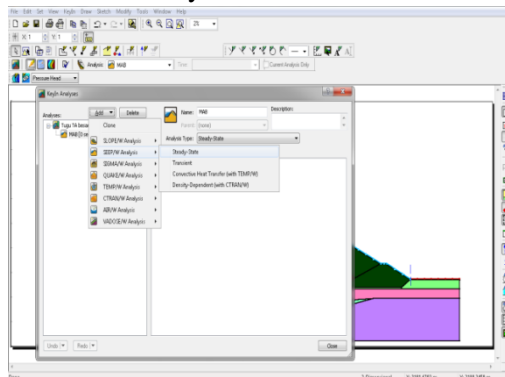
Gambar 4.37 Tampilan garis depresi

- d. Untuk SEEP/W kondisi yang lainnya, klik KeyIn> Analyses



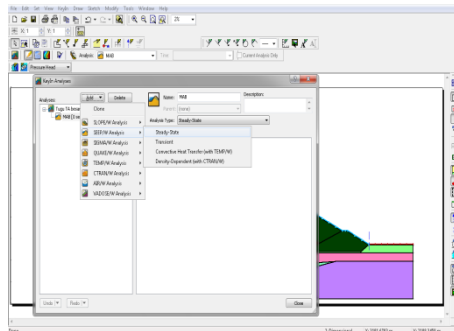
Gambar 4.38 Tampilan KeyIn Analysis

- f. Kemudian klik Add> SEEP/W> Steady-State



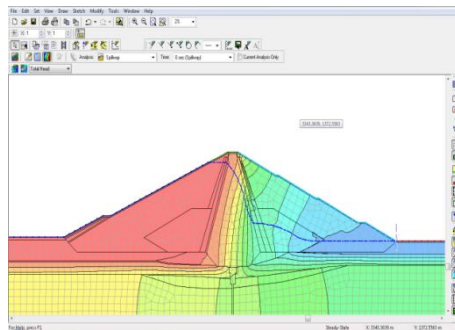
Gambar 4.39 Tampilan pilihan SEEP/W

- g. Untuk kondisi surut cepat Analysis Type diisi dengan Transient



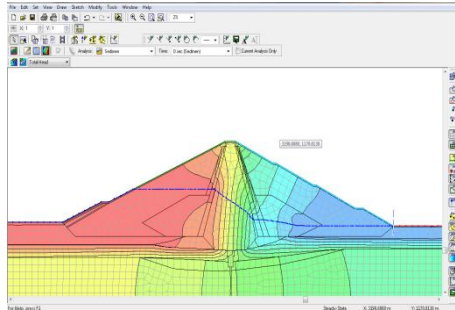
Gambar 4.40 Tampilan pilihan SEEP/W-Transient

- h. Untuk langkah selanjutnya sama dengan langkah-langkah diatas.
- Kondisi Muka Air Setinggi mercu Spillway(MAN)



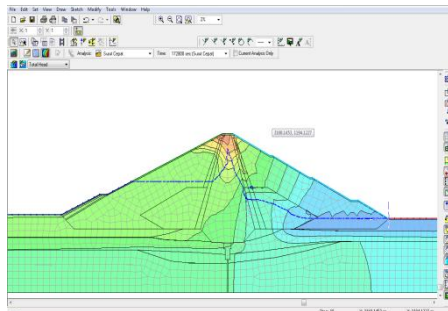
Gambar 4.41 Garis depresi kondisi MAN

- Kondisi Muka Air Setinggi Sedimen



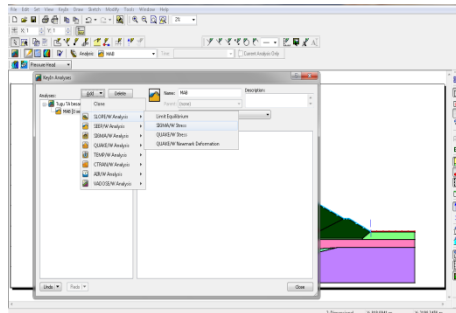
Gambar 4.42 Garis depresi kondisi setinggi sedimen

○ Kondisi Surut Cepat



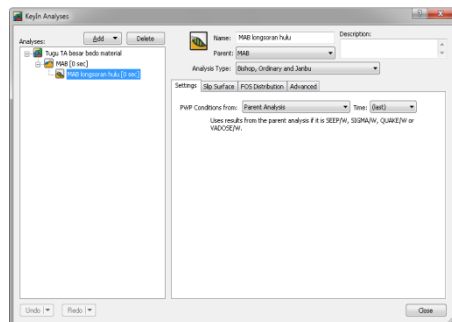
Gambar 4.43 Garis depresi kondisi surut cepat

- Tata cara penggunaan aplikasi Geo Studio SLOPE/W 2007
  1. Membuat aplikasi longsor (SLOPE/W) dari aplikasi SEEP/W yang telah dibuat
    - a. Dari SEEP/W yang kita buat tadi, klik KeyIn> Analyses> Add> SLOPE/W pilih SIGMA/W Stress



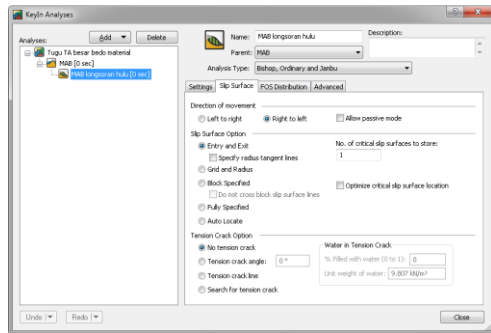
Gambar 4.44 Pilihan SLOPE/W

- b. Isi Analysis Type dengan Bishop, Ordinary and Janbu
- c. Isi PWP Conditions from dengan Parent Analysis



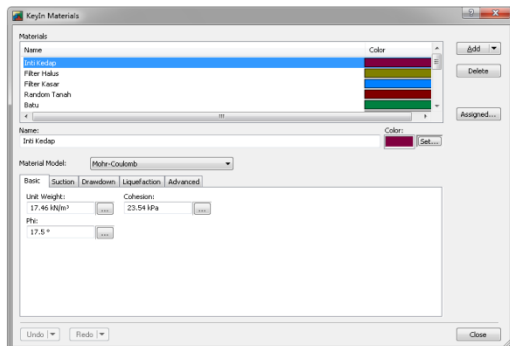
Gambar 4.45 Tampilan KeyIn Analysis

- d. Kemudian pilih menu Slip Surface, untuk Direction of movement pilih right to left (kelongsoran pada bagian hulu tubuh bendungan), lalu untuk Slip Surface Option pilih Entry and Exit, kemudian close.



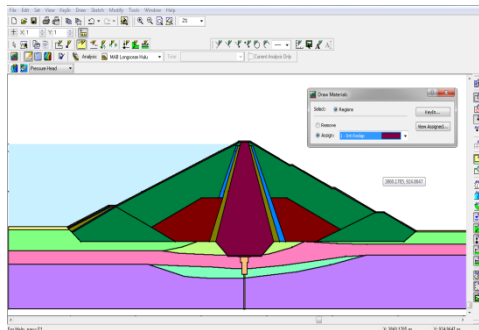
Gambar 4.46 Tampilan Slip Surface

2. Masukkan data material yang tersedia kemudian gambar
  - a. Isi material klik KeyIn> Materials, kemudian isi dengan data material yang tersedia



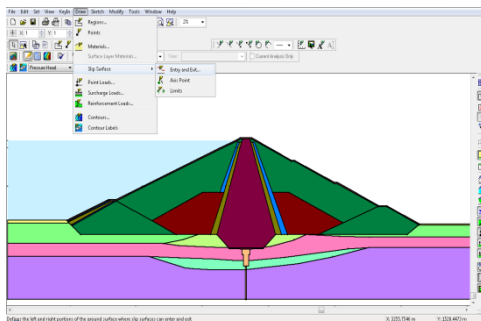
### Gambar 4.47 Tampilan KeyIn Materials

- b. Setelah semua material diisi, plot material/gambar material, klik Draw> Materials



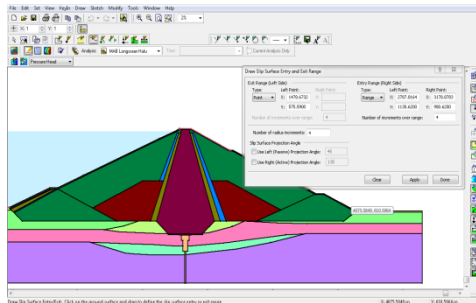
Gambar 4.48 Material yang tergambar

3. Atur Slip Surface untuk mengatur kelongsoran
  - a. Klik Draw> Slip Surface> Entry and Exit



Gambar 4.49 Pilih Entry and Exit

- b. Yang bagian kiri Type Point dan yang bagian kanan berupa Range

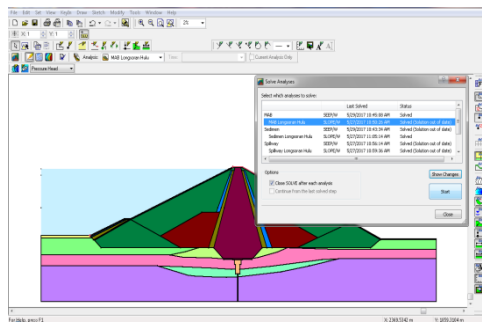


Gambar 4.50 Gambar Entry and Exit

- c. Kemudian klik Apply > Done

#### 4. Running

- a. Klik Tools > Solve Analysis



Gambar 4.51 Solve Analysis

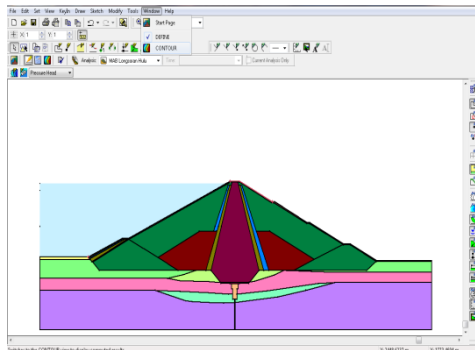
- b. Atau klik pada menu Toolbar icon



- c. Kemudian klik Start



5. Running telah dilakukan, bentuk longsor dapat dilihat
  - a. Klik Window > Contour

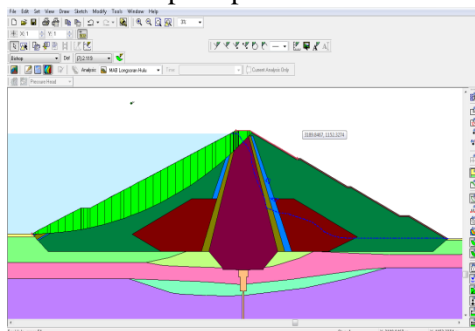


Gambar 4.52 Tampilan Contour

- b. Atau klik pada menu Toolbar icon



- c. Kemudian bentuk longsor akan tampil seperti berikut



Gambar 4.53 Bentuk longsor MAB

- d. Untuk melihat angka Safety Factor dapat dilihat dengan cara klik icon

Slip #	F of S	Center X	Center Y	Radius
7	2.119 ***	1485.03	2658.86	2083.
8	2.203	1833.02	1760.1	1236.
12	2.365	1629.08	2650.3	2080.
3	2.402	1760.11	1733.23	1191.
9	2.502	1978.11	1385.37	951.4
13	2.505	1932.47	1734.09	1244.
4	2.520	1910.84	1377.69	911.1
17	2.630	1761.74	2644.74	2088.
18	2.905	2025.27	1709.41	1258.
5	2.983	1999.97	1167.47	788.7
14	3.018	2060.16	1348.5	967.2

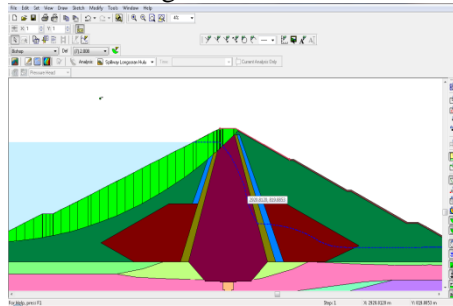
\*\*\* Denotes slip surface with force data

Select Critical Slip      View Slice Info...  
 Draw Graph...  
 Slip Surface Graphs  
 Graph  
 Close

Gambar 4.54 Tampilan Slip Surface

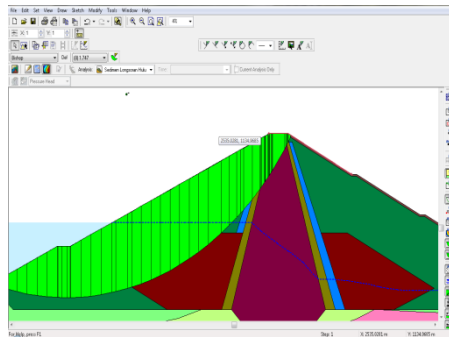
- e. Untuk SLOPE/W kondisi yang lainnya, sama dengan langkah 1a-1d
- f. Untuk hasil bentuk longsoran sebagai berikut

- Kondisi Tinggi Muka Air setinggi Spillway Longsoran Hulu



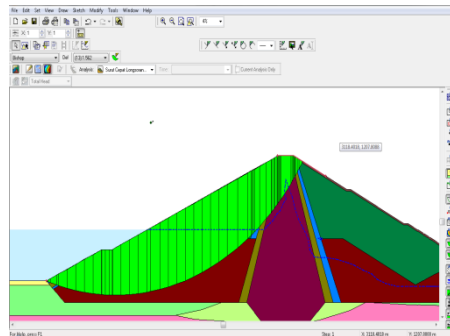
Gambar 4.55 Bentuk longsoran kondisi MAN

- Kondisi Muka Air Setinggi Sedimen Longsoran Hulu



Gambar 4.56 Bentuk longsoran kondisi MAN

○ Kondisi Surut Cepat  
Longsoran Hulu



Gambar 4.57 Bentuk longsoran kondisi Surut Cepat

#### 4.1.6. Analisis Rembesan

Yang dianalisis dari penelitian kali ini adalah dampak rembesan terhadap longsor, gejala piping dan sembulan (*sufosi* dan *boiling*), panjang lintasan rembesan, pola rembesan, kecepatan rembesan dan debit rembesan. Semua permodelan akan dianalisis.

- Panjang lintasan rembesan yang terjadi dari masing-masing permodelan,
- Pola rembesan yang terjadi dari masing-masing permodelan,
- Kecepatan rembesan yang terjadi dari masing-masing permodelan,
- Debit rembesan yang terjadi dari masing-masing permodelan,
- Perhitungan batas kritis diameter material yang terbawa menggunakan rumus batas kecepatan sebelum terjadi sembulan dan piping,
- Pengecekan dampak rembesan terhadap longsoran masing-masing permodelan.

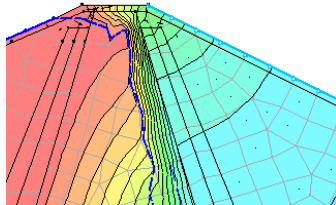
#### 4.2. Hasil Perhitungan GeoStudio *SEEP/W* (Rembesan)

Perhitungan didapat menggunakan software analisis rembesan air untuk menganalisis rembesan yang terjadi. Software yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan *GEO STUDIO SEEP/W*.

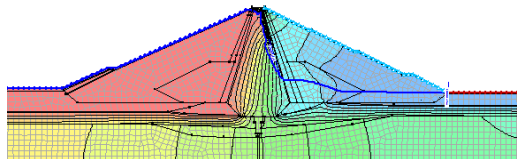
Perhitungan dibedakan pada setiap permodelan dan yang akan diamati pada penelitian kali ini adalah pola, debit, panjang lintasan dan kecepatan rembesan yang terjadi.

##### 4.2.1. Elevasi MAB (Muka Air Banjir)

Rembesan yang terjadi pada permodelan kali ini mengalami naik-turun sementara pada bagian awal garis rembesan, yang selanjutnya langsung turun sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.58.



Gambar 4.58 Pola rembesan saat turun melewati material inti



Gambar 4.59 Pola rembesan permodelan Elevasi MAB

Garis rembesan seakan jatuh bebas pada saat melewati material inti, dengan kecepatan rembesan berkisar  $5,2993 \times 10^{-12}$  sampai  $3,25 \times 10^{-9}$  m/detik. Serta memiliki rembesan sebesar  $2,5183 \times 10^{-18}$

$\text{m}^3/\text{detik}$ . Sedangkan rembesan yang terjadi pada ujung hilir bendungan sebesar  $8,595 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$  dengan kecepatan berkisar  $3,25551 \times 10^{-6}$  sampai  $1,63481 \times 10^{-5} \text{ m/detik}$ .

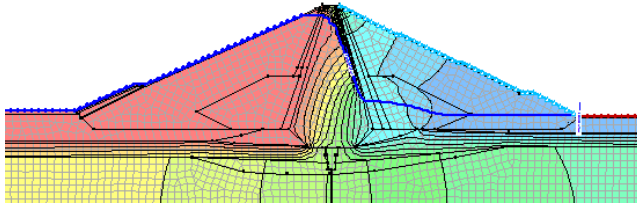
Tabel 4.1. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan MAB

Inti	Filter Halus	Filter Kasar	Batu	Random Tanah	Rip-rap
$8,01 \times 10^{-9}$	$6,82 \times 10^{-6}$	$6,54 \times 10^{-6}$	$1,09 \times 10^{-3}$	$5,63 \times 10^{-7}$	$1,97 \times 10^{-4}$

(Sumber: Perhitungan)

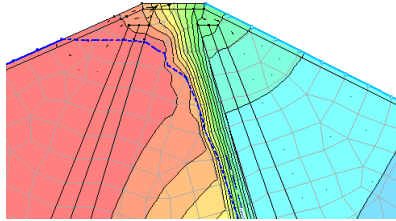
#### 4.2.2. Elevasi Mercuri Spillway

Pola rembesan menunjukkan penurunan batas rembesan sebagaimana mestinya sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.60. Terjadinya penurunan drastis pada saat melewati material inti.



Gambar 4.60 Pola rembesan permodelan Elevasi Mercuri Spillway

Seperti halnya pola rembesan pada permodelan MAB terjadi momen naik-turun pada awal garis rembesan, meskipun tidak sedrastis MAB, akan dikhawatirkan dapat mempengaruhi kestabilan lereng juga.



Gambar 4.61 Pola rembesan permodelan Mercu Spillway saat melewati material inti

Debit yang terjadi pada permodelan kali ini menunjukkan angka sebesar  $0,0041736 \text{ m}^3/\text{detik}$  pada ujung hilir bendungan, sedangkan pada peralihan inti tegak menuju filter halus memiliki angka rembesan sebesar  $1,5584 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$ .

Sedangkan kecepatan rata-rata rembesan yang sejajar dengan *flux section* pada ujung hilir bendungan sumbu-xy berkisar antara  $9,86606 \times 10^{-6}$  sampai  $3,76741 \times 10^{-5} \text{ m}/\text{detik}$ .

Tabel 4.2. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan Mercu Spillway

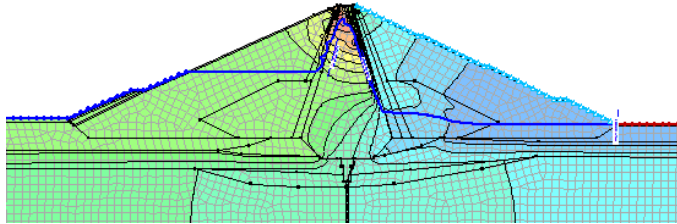
Inti	Filter Halus	Filter Kasar	Batu	Random Tanah	Rip-rap
$2,20 \times 10^{-9}$	$1,38 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-5}$	$1,73 \times 10^{-3}$	$6,28 \times 10^{-7}$	$7,98 \times 10^{-4}$

(Sumber: Perhitungan)

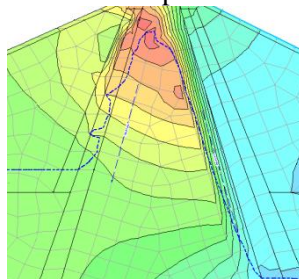
#### 4.2.3. Surut Cepat

Permodelan ini dimodelkan seakan-akan debit sungai tiba-tiba berhenti seketika setelah terjadi elevasi air setinggi mercu spillway yaitu setinggi  $+256,65$ , dan disaat yang sama intake sedang berfungsi sehingga terjadi penurunan elevasi air sampai elevasi lubang intake ( $+215,50$ ) atau turun sebanyak  $35,10 \text{ m}$  dalam durasi  $168.354 \text{ detik}$  (hasil perhitungan waktu pengosongan) atau  $46,77 \text{ jam}$  (kurang dari 2 hari).

Rembesan yang terjadi menunjukkan bahwa banyak air yang tertahan di material bagian inti. Sedangkan material lainnya tidak ada yang menahan air sebagaimana material inti kecuali sebagian kecil bagian material filter kasar dan halus. Sebagaimana terlihat di gambar 4.63.



Gambar 4.62 Pola rembesan permodelan Surut Cepat



Gambar 4.63 Pola rembesan permodelan Surut Cepat saat melewati material inti

Kecepatan rembesan saat terjadinya turunan karena melewati material inti terjadi kisaran  $3,8472 \times 10^{-10}$  sampai  $2,8849 \times 10^{-9}$  m/detik dengan debit sebesar  $6,8289 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/detik. Sedangkan kecepatan turunnya rembesan di hulu akibat turunnya elevasi air secara tiba-tiba berkisar  $2,69975 \times 10^{-9}$  sampai  $1,698332 \times 10^{-5}$  m/detik dengan debit sebesar  $1,9363 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/detik. Sedangkan kecepatan yang terjadi pada ujung hilir bendungan menghasilkan kecepatan antara



$1,85674 \times 10^{-6}$  sampai  $1,823034 \times 10^{-5}$  m/detik dengan debit rembesan sebesar  $1,6762 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/detik.

Tabel 4.3. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan Surut Cepat

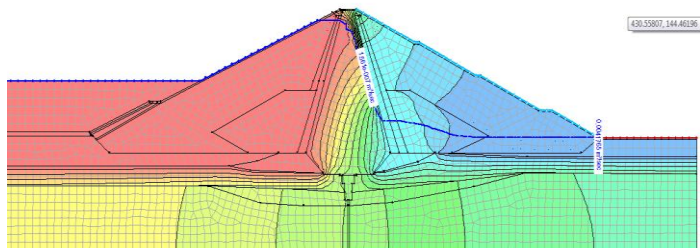
Inti	Filter Halus	Filter Kasar	Batu	Random Tanah	Rip-rap
$4,85 \times 10^{-9}$	$6,82 \times 10^{-6}$	$6,54 \times 10^{-6}$	$1,59 \times 10^{-9}$	$2,52 \times 10^{-7}$	$1,97 \times 10^{-4}$

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.2.4. Dead Storage

Permodelan ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh rembesan pada tubuh bendungan saat sedimen sungai mencapai elevasi mercu intake atau setinggi +215,50.

Permodelan ini memiliki rembesan yang sangat mirip dengan permodelan Spillway. Hal ini dikarenakan permodelan ini juga dimodelkan dengan elevasi yang sama dengan permodelan tersebut, sebagaimana terlihat pada gambar 4.64.



Gambar 4.64 Pola rembesan permodelan *Dead Storage*

Kecepatan rembesan pada penurunan saat melewati material inti juga berkisar  $1,493557 \times 10^{-11}$  sampai  $6,003989 \times 10^{-9}$  m/detik dengan debit sekitar  $1,561 \times 10^{-7}$  m<sup>3</sup>/detik. Sedangkan debit rembesan pada ujung hilir bendungan sebesar  $0,0041765$  m<sup>3</sup>/detik,

dengan kecepatan berkisar  $9,87287 \times 10^{-6}$  sampai  $3,76996 \times 10^{-5}$  m/detik.

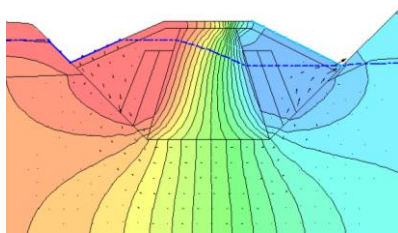
Tabel 4.4. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan Dead Storage

Inti	Filter Halus	Filter Kasar	Batu	Random Tanah	Rip-rap
$3,19 \times 10^{-9}$	$3,88 \times 10^{-7}$	$3,81 \times 10^{-7}$	$3,17 \times 10^{-3}$	$1,91 \times 10^{-7}$	$8,94 \times 10^{-5}$

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.2.5. MAB Bendungan Potongan Kecil

Pola rembesan yang ada permodelan ini, hampir tidak terjadi penurunan yang signifikan, berbeda dengan permodelan yang lainnya. Dikarenakan kecilnya potongan yang berisi material inti –yang memiliki nilai k tinggi– sehingga rembesan banyak yang melewati bendungan melalui tanah pondasi yang memiliki nilai k lebih besar, sebagaimana terlihat pada gambar 4.65.



Gambar 4.65. Pola Rembesan Permodelan MAB Potongan Kecil.

Pada gambar 4.65. terlihat hanya mengalami penurunan sekitar 3 m dari elevasi awal mulanya, sedangkan permodelan lain mengalami penurunan sekitar 80-90 m. Hal ini disebabkan karena permodelan ini hanya memiliki material inti yang paling berpengaruh hanya setinggi 14 m. Serta arah panah rembesan tidak ada yang terlihat melewati inti tegak dan lebih banyak terlihat pada tanah pondasi,

serta material batu dan pada sebagian filter kasar dan halus.

Tabel 4.5. Kecepatan Rembesan Tercepat Setiap Material Permodelan MAB Bendungan Kecil.

Inti	Filter Halus	Filter Kasar	Batu	Rip-rap
$6,96 \times 10^{-10}$	$6,46 \times 10^{-6}$	$3,31 \times 10^{-5}$	$8,1 \times 10^{-5}$	$1,77 \times 10^{-5}$

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3. Hasil Perhitungan GeoStudio SLOPE/W (Longsoran)

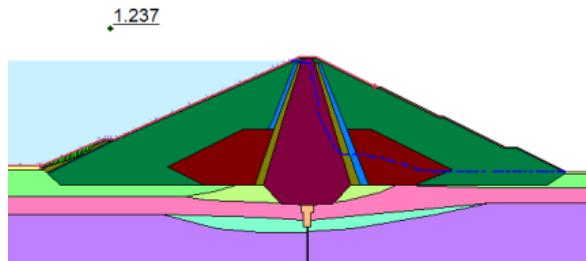
Salah satu dampak dari rembesan di bendungan adalah pengaruhnya pada kestabilan lereng oleh karena itu penggunaan software kestabilan lereng atau pada analisis kali ini menggunakan GeoStudio SLOPE/W yang merupakan pasangan dari SEEP/W yang digunakan untuk menghitung rembesan sebelumnya menjadi semakin mudah pengaplikasiannya.

Kestabilan lereng akan diperhitungkan keduanya baik hulu maupun hilir dan akan dihadirkan 5 *safety of factor* dari kestabilan lereng paling kritis dari setiap permodelan.

#### 4.3.1. Elevasi MAB (Muka Air Banjir)

##### 4.3.1.1. Hulu

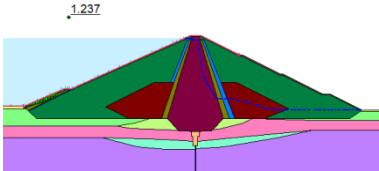
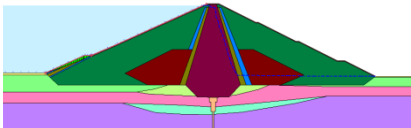
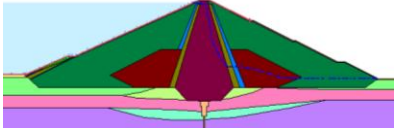
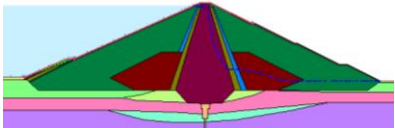
Longsoran pada hulu untuk permodelan elevasi MAB memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,237 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

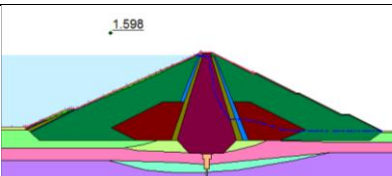


Gambar 4.65 *Critical Slip* permodelan MAB Hulu

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.

Tabel 4.5 *safety of factor* pada bagian hulu

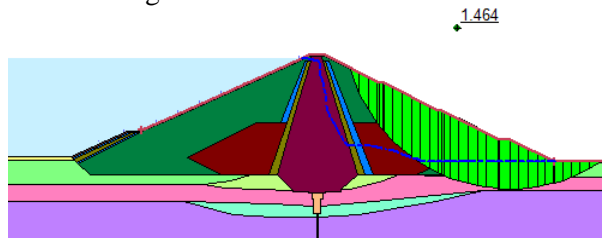
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,237	 <p>Gambar 4.66 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hulu 1</p>
1,413	 <p>Gambar 4.67 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hulu 2</p>
1,431	 <p>Gambar 4.68 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hulu 3</p>
1,560	 <p>Gambar 4.69 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hulu 4</p>

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,598	 <p>Gambar 4.70 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hulu 5</p>

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.1.2. Hilir

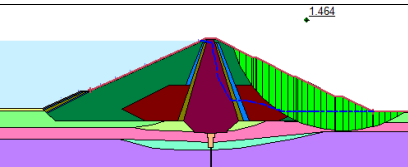
Longsor pada hilir untuk permodelan elevasi MAB memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,464 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

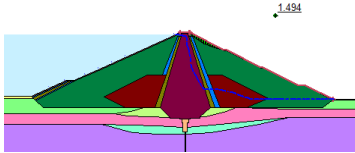
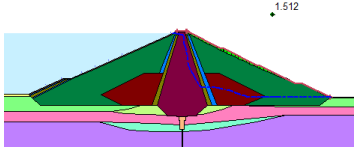
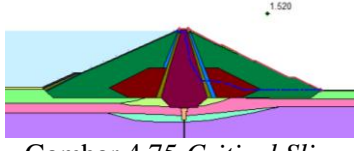
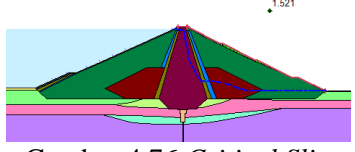


Gambar 4.71 *Critical Slip* permodelan MAB Hilir

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hilir.

Tabel 4.6 *safety of factor* pada bagian hilir

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,464	 <p>Gambar 4.72 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hilir 1</p>

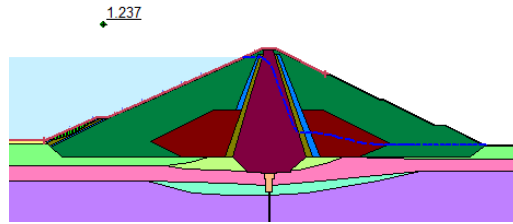
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,494	 <p data-bbox="636 370 946 432">Gambar 4.73 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hilir 2</p>
1,512	 <p data-bbox="636 598 946 655">Gambar 4.74 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hilir 3</p>
1,520	 <p data-bbox="636 821 946 874">Gambar 4.75 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hilir 4</p>
1,521	 <p data-bbox="636 1040 946 1094">Gambar 4.76 <i>Critical Slip</i> permodelan MAB Hilir 5</p>

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.2. Elevasi Mercu Spillway/MAN (Muka Air Normal)

##### 4.3.2.1. Hulu

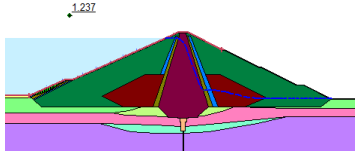
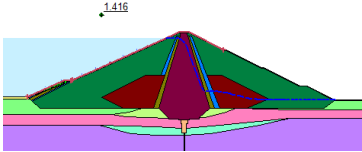
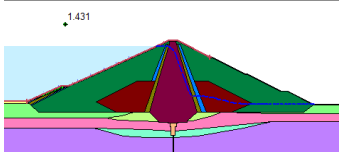
Longsoran pada hulu untuk permodelan elevasi Mercu Spillway memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,237 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

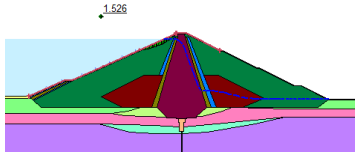
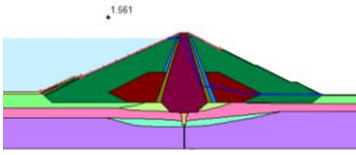


Gambar 4.77 *Critical Slip* permodelan Mercu Spillway Hulu

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.

Tabel 4.7 *safety of factor* pada bagian hulu

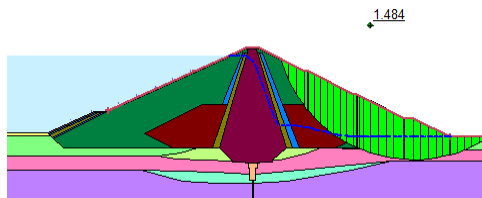
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,237	 <p>Gambar 4.78 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hulu 1</p>
1,416	 <p>Gambar 4.79 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hulu 2</p>
1,431	 <p>Gambar 4.80 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hulu</p>

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
	3
1,526	 <p>Gambar 4.81 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hulu</p> <p>4</p>
1,561	 <p>Gambar 4.82 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hulu</p> <p>5</p>

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.2.2. Hilir

Longsor pada hilir untuk permodelan elevasi Mercu Spillway memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,484 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

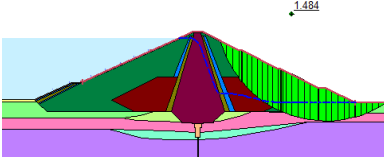
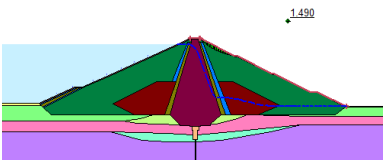
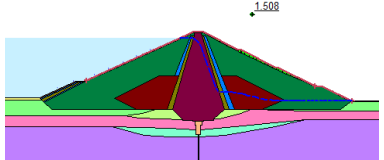
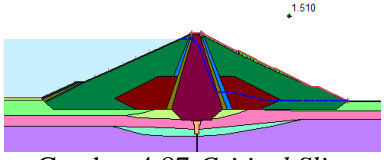


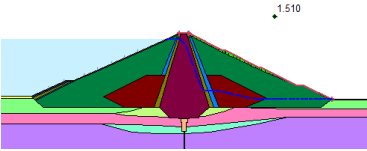
Gambar 4.83 *Critical Slip* permodelan Mercu Spillway Hilir

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.



Tabel 4.8 *safety of factor* pada bagian hilir

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,484	 <p data-bbox="591 403 997 499">Gambar 4.84 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hilir 1</p>
1,490	 <p data-bbox="591 667 997 767">Gambar 4.85 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hilir 2</p>
1,508	 <p data-bbox="591 935 997 1035">Gambar 4.86 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hilir 3</p>
1,510	 <p data-bbox="591 1203 997 1292">Gambar 4.87 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hilir 4</p>

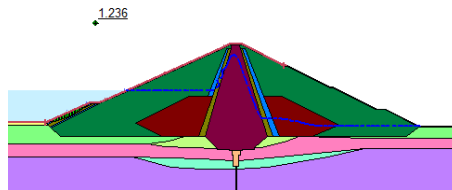
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,520	 <p>Gambar 4.88 <i>Critical Slip</i> permodelan Mercu Spillway Hilir 5</p>

(Sumber: Perhitungan)

### 4.3.3. Surut Cepat

#### 4.3.3.1. Hulu

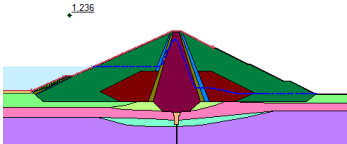
Longsoran pada hulu untuk permodelan Surut Cepat memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,236 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

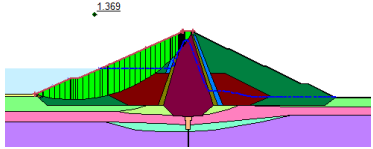
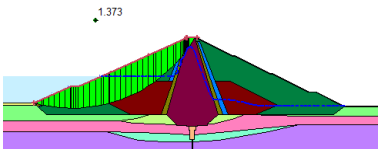
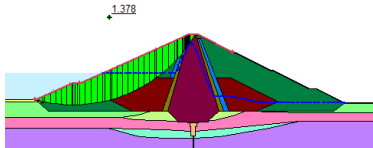
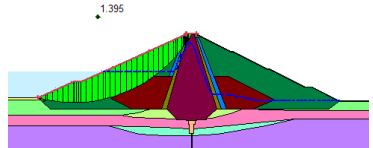


Gambar 4.89 *Critical Slip* permodelan Surut Cepat Hulu

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.

Tabel 4.9 *safety of factor* pada bagian hulu

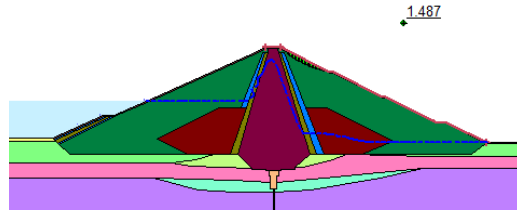
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,236	 <p>Gambar 4.90 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hulu 1</p>

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,369	 <p data-bbox="602 363 982 424">Gambar 4.91 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hulu 2</p>
1,373	 <p data-bbox="602 592 982 655">Gambar 4.92 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hulu 3</p>
1,378	 <p data-bbox="602 823 982 887">Gambar 4.93 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hulu 4</p>
1,395	 <p data-bbox="602 1050 982 1114">Gambar 4.94 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hulu 5</p>

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.3.2. Hilir

Longoran pada hilir untuk permodelan elevasi Surut Cepat memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,487 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

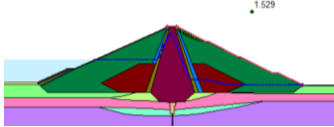


Gambar 4.95 *Critical Slip* permodelan Surut Cepat Hilir

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.

Tabel 4.10 *safety of factor* pada bagian hilir

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,487	<p>Gambar 4.96 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hilir 1</p>
1,510	<p>Gambar 4.97 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hilir 2</p>
1,512	<p>Gambar 4.98 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hilir 3</p>
1,517	<p>Gambar 4.99 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hilir 4</p>

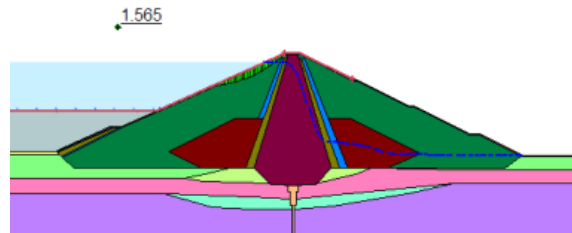
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,529	 <p>Gambar 4.100 <i>Critical Slip</i> permodelan Surut Cepat Hilir 5</p>

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.4. Dead Storage

##### 4.3.4.1. Hulu

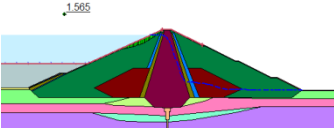
Longoran pada hulu untuk permodelan Dead Storage memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,565 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

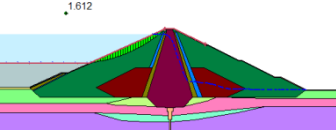
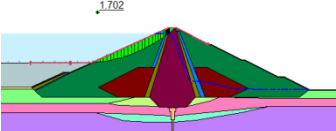
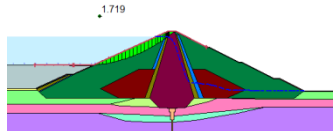
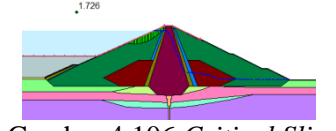


Gambar 4.101 *Critical Slip* permodelan Dead Storage Hulu

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.

Tabel 4.11 *safety of factor* pada bagian hulu

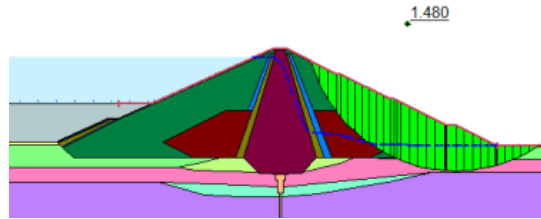
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,565	 <p>Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hulu 1</p>

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,612	 <p data-bbox="591 344 994 403">Gambar 4.103 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hulu 2</p>
1,702	 <p data-bbox="591 552 994 611">Gambar 4.104 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hulu 3</p>
1,719	 <p data-bbox="591 762 994 821">Gambar 4.105 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hulu 4</p>
1,726	 <p data-bbox="591 973 994 1023">Gambar 4.106 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hulu 5</p>

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.4.2. Hilir

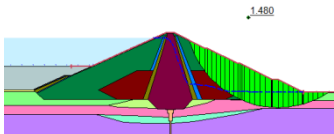
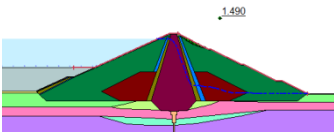
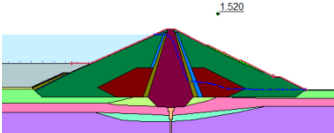
Longsor pada hilir untuk permodelan Dead Storage memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,480 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

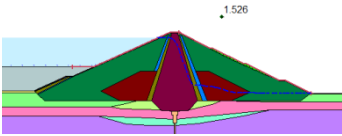
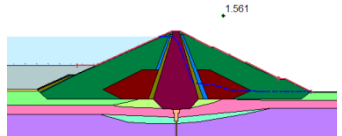


Gambar 4.107 *Critical Slip* permodelan Dead Storage Hilir

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.

Tabel 4.12 *safety of factor* pada bagian hilir

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,480	 <p>Gambar 4.108 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hilir 1</p>
1,490	 <p>Gambar 4.109 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hilir 2</p>
1,520	 <p>Gambar 4.110 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hilir 3</p>

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,526	 <p>Gambar 4.111 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hilir 4</p>
1,561	 <p>Gambar 4.112 <i>Critical Slip</i> permodelan Dead Storage Hilir 5</p>

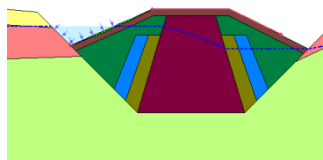
(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.5. Potongan Bendungan Kecil

##### 4.3.5.1. Hulu

Longsor pada hulu untuk permodelan Potongan Bendungan Kecil memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,860 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

1.860

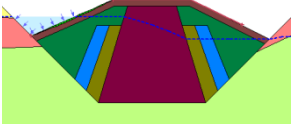
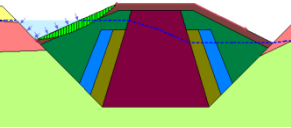
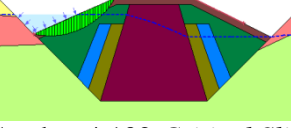


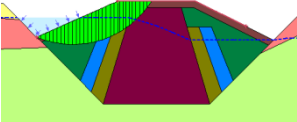
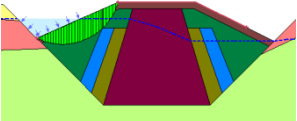
Gambar 4.113 *Critical Slip* permodelan Dead Storage Hulu

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.



Tabel 4.13 *safety of factor* pada bagian hulu

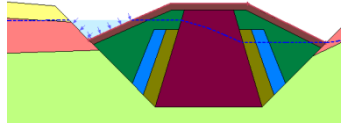
<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,860	<p data-bbox="759 245 807 268"><u>1.860</u></p>  <p data-bbox="591 501 994 587">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hulu 1</p>
2,230	<p data-bbox="759 601 807 624"><u>2.230</u></p>  <p data-bbox="591 857 994 943">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hulu 2</p>
2,416	<p data-bbox="759 963 807 986"><u>2.416</u></p>  <p data-bbox="591 1219 994 1305">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hulu 3</p>

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
2,556	<p data-bbox="756 209 812 233">2.556</p>  <p data-bbox="591 459 994 555">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hulu 4</p>
2,682	<p data-bbox="756 560 812 584">2.682</p>  <p data-bbox="591 810 994 906">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hulu 4</p>

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.3.5.2. Hilir

Longsor pada hilir untuk permodelan Potongan Bendungan Kecil memiliki critical slip paling kecil sebesar 1,683 (*safety of factor*) dengan gambar critical sebagaimana berikut.

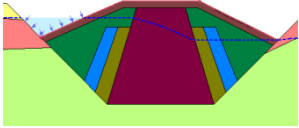
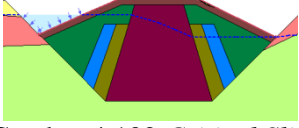
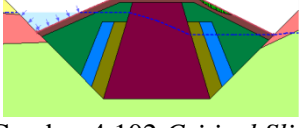
1.683

Gambar 4.107 *Critical Slip* permodelan Dead Storage Hilir

Berikut tabel 5 *safety of factor* paling kritis dari permodelan kali ini pada bagian hulu.

Tabel 4.14 *safety of factor* pada bagian hilir

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,683	<p><u>1.683</u></p> <p>Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hilir 1</p>
1,683	<p><u>1.683</u></p> <p>Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hilir 2</p>

<i>Safety of Factor</i>	Gambar
1,683	<p data-bbox="826 212 882 236">1.683</p>  <p data-bbox="591 459 994 555">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hilir 3</p>
1,777	<p data-bbox="826 568 882 592">1.777</p>  <p data-bbox="591 823 994 919">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hilir 4</p>
1,777	<p data-bbox="826 924 882 948">1.777</p>  <p data-bbox="591 1179 994 1275">Gambar 4.102 <i>Critical Slip</i> permodelan Potongan Bendungan Kecil Hilir 5</p>

(Sumber: Perhitungan)

4.4. Perhitungan Batas Kritis Diameter Butir setiap Permodelan

Untuk perhitungan batas kritis diameter butir dilakukan secara manual menggunakan rumus kecepatan yang diijinkan:

$$V_c > V_s$$

$$V_c = \sqrt{\frac{W_1 g}{F \gamma w}} \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana,

- $V_c$  = Kecepatan rembesan kritis yang diijinkan.
- $V_s$  = Kecepatan rembesan
- $d$  = Diameter butiran terkecil
- $W_1$  =  $(G_s - 1) \times \frac{1}{6} \times \pi \times d^3$
- $G_s$  = *Gravity specific* (berat jenis)
- $g$  = *Gravitasi*
- $F$  = luas penampang butiran terkecil
- $\gamma$  = Berat volume(gram/cm<sup>3</sup>)
- $w$  = *water content* (%)

$$V_c = \sqrt{\frac{W_1 \cdot g}{F \cdot \gamma \cdot w}} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$V_c = \sqrt{\frac{(G_s - 1) \cdot \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3 \cdot g}{F \cdot \gamma \cdot w}} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$V_c^2 = \frac{(G_s - 1) \cdot \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3 \cdot g}{F \cdot \gamma \cdot w} \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\frac{V_c^2 \cdot 6 \cdot F \cdot \gamma \cdot w}{(G_s - 1) \cdot \pi \cdot g} = d^3 \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\sqrt[3]{\frac{V_c^2 \cdot 6 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \gamma \cdot w}{(G_s - 1) \cdot \pi \cdot g}} = d \dots \dots \dots (4.6)$$

Dari rumus (4.1) akan dikonversikan menjadi rumus (4.6), batas kritis butiran akan dihitung pada tiap material dengan menggunakan kecepatan tertinggi (paling kritis) yang terdapat pada jenis material tersebut. Berikut hasil perhitungan pada setiap jenis material dan setiap permodelan. Berikut hasil perhitungan menggunakan software excel menggunakan rumus (4.6) sebagaimana pada tabel.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Diameter Kritis.

Permodelan	Material	Vc	Gs	Gs-1	v(gr/cm)	w	d (m)	d (cm)
MAB	Batu	1,09E-03	2,680000	1,680000	22,40	0,041%	3,86E-07	3,86E-05
MAB	Rip-Rap	1,97E-04	2,680000	1,680000	23,20	0,000%	5,77E-11	5,77E-09
MAB	Filter Halus	6,82E-06	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	1,08E-08	1,08E-06
MAB	Filter Kasar	6,54E-06	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	8,31E-09	8,31E-07
MAB	Random Tanah	5,63E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,005%	1,06E-14	1,06E-12
MAB	Inti	1,49E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,700%	4,32E-16	4,32E-14
MAB kecil	Rip-Rap	1,77E-05	2,680000	1,680000	23,20	0,018%	1,44E-05	0,001441
MAB kecil	Batu	8,06E-05	2,680000	1,680000	22,40	0,410%	1,81E-07	1,81E-05
MAB kecil	Filter Kasar	3,31E-05	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	1,37E-07	1,37E-05
MAB kecil	Filter Halus	6,37E-06	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	1,16E-08	1,16E-06
MAB kecil	Inti	6,96E-10	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	6,57E-11	6,57E-09
MAN	Batu	1,73E-03	2,680000	1,680000	22,40	0,041%	9,58E-07	9,58E-05
MAN	Rip-Rap	7,98E-04	2,680000	1,680000	23,20	0,000%	9,51E-10	9,51E-08
MAN	Filter Kasar	1,26E-05	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	3,08E-08	3,08E-06
MAN	Filter Halus	1,38E-06	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	4,41E-10	4,41E-08
MAN	Random Tanah	6,28E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,005%	1,32E-14	1,32E-12
MAN	Inti	2,20E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	9,51E-16	9,51E-14
Sedimen	Batu	3,17E-03	2,680000	1,680000	22,40	0,041%	3,23E-06	0,000323
Sedimen	Rip-Rap	8,94E-05	2,680000	1,680000	23,20	0,018%	1,19E-09	1,19E-07
Sedimen	Filter Halus	3,88E-07	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	3,47E-11	3,47E-09
Sedimen	Filter Kasar	3,81E-07	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	2,82E-11	2,82E-09
Sedimen	Random Tanah	1,91E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,510%	1,22E-13	1,22E-11
Sedimen	Inti	3,19E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	2E-15	2E-13
Surut cepat	Batu	4,34E-05	2,680000	1,680000	22,40	0,007%	1,06E-10	1,06E-08
Surut cepat	Filter Halus	2,01E-05	2,680000	1,680000	18,88	1,250%	3,32E-09	3,32E-07
Surut cepat	Filter Kasar	6,74E-06	2,680000	1,680000	19,87	0,490%	1,55E-10	1,55E-08
Surut cepat	Rip-Rap	1,07E-06	2,680000	1,680000	23,20	0,003%	2,82E-14	2,82E-12
Surut cepat	Random Tanah	2,52E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,510%	2,13E-13	2,13E-11
Surut cepat	Inti	4,85E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	4,62E-15	4,62E-13

(Sumber: Perhitungan)

4.4.1. Perhitungan Faktor Keamanan Bendungan terhadap Gejala *Piping* dan *Boiling*.

Gradien Hidrolik Kritis

$$i = \frac{h}{l} = \frac{74,67}{355,46} = 0,210066$$

$$i_{cr} = \frac{(Gs-1)}{(1+e)}$$

$$i_{cr} = \frac{(2,68-1)}{(1+0,472)} = 1,141304$$

Keamanan terhadap Gejala *Piping*

$$FK = \frac{i_{cr}}{i} = \frac{1,141304}{0,210066}$$

$$= 5,433079 \geq 4,00$$

Jadi, aman dari gejala *piping* ataupun *boiling*.

4.4.2. Perhitungan Debit Rembesan yang Diijinkan

Syarat,

$Q < 1\%$  dari debit banjir rata-rata tahunan

Debit banjir rata-rata =  $1,33 \text{ m}^3/\text{detik}$

$$Q' = 0,000236 \text{ m}^3/\text{detik/m}$$

$$L = 117,46 \text{ m}$$

$$Q = 0,000236 \text{ m}^3/\text{detik/m} \times 117,46 \text{ m}$$

$$= 0,02772056 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{ijin} = 1,33 \text{ m}^3/\text{detik} \times 1\%$$

$$= 0,0133 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$0,0133 \text{ m}^3/\text{detik} < 0,027720 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{ijin} < Q$$

Jadi debit rembesan masih belum aman karena debit yang dihitung melewati bendungan keseluruhan masih  $0,01442$

$\text{m}^3/\text{detik}$  lebih banyak daripada yang  
dijinkan.



## BAB V PEMBAHASAN

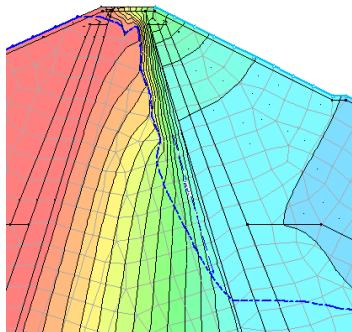
Dari semua hasil setiap permodelan akan dianalisis hubungan dari masing-masing hasil perhitungan, yaitu pola, kecepatan, debit rembesan, stabilitas lereng akibat rembesan dan batas kritis butiran material. Berikut hasil dari setiap permodelan dan perhitungan.

### 5.1. Rembesan dan Longsoran setiap Permodelan

Perhitungan rembesan akan diinput kan pada perhitungan stabilitas longsoran secara langsung, dengan begitu diharapkan perhitungan stabilitas lereng yang didapat akan lebih akurat.

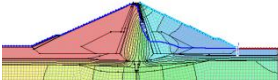
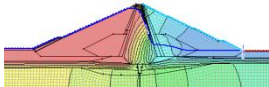
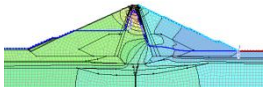
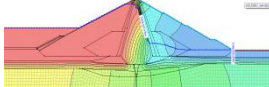
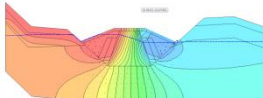
#### 5.1.1. MAB (Muka Air Banjir)

Garis rembesan yang terjadi pada permodelan ini sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.1, mengalami naik-turun pada awal rembesannya.



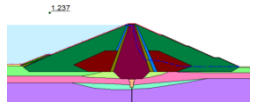
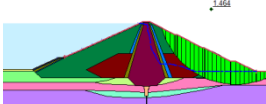
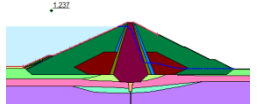
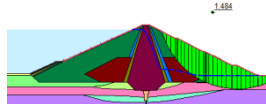
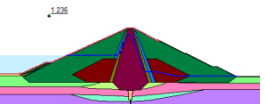
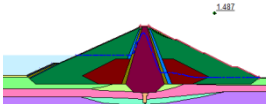
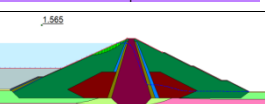
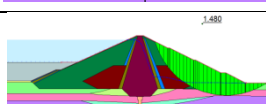
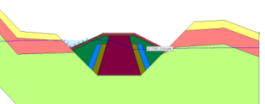
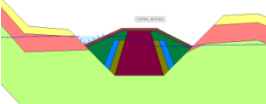
Gambar 5.1 Pola rembesan permodelan MAB saat melewati material inti

Tabel 5.1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter Rembesan

No.	Potongan	Kondisi Muka Air	Keterangan			
			PolaRembesan	Kecepatan max	Debit	Diameter
1	Bendungan Besar	MAB		$1,09 \times 10^{-3}$ m/detik (Batu)	$8,5956 \times 10^{-4}$ m <sup>3</sup> /detik	0,000334 cm
2		MAN		$1,73 \times 10^{-3}$ m/detik (Batu)	0,0041736 m <sup>3</sup> /detik	0,00097 cm
3		Surut Cepat (dari MAN ke Intake)		$5,99 \times 10^{-6}$ m/detik (Batu)	0,00015704 m <sup>3</sup> /detik	$2,03 \times 10^{-9}$ cm
4		Dead Storage (MAN terdapat sedimen)		$3,17 \times 10^{-3}$ m/detik (Batu)	0,0041766 m <sup>3</sup> /detik	0,00326 cm
5	Bendungan Kecil	MAB		$2,61 \times 10^{-3}$ m/detik (Batu)	0,0001064 m <sup>3</sup> /detik	0,001441 cm

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 5.2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Longsoran

No.	Potongan	Kondisi Muka Air	Kelongsoran				SNI 2002	
			SF Hulu	Bentuk	SF Hilir	Bentuk	SF	Keterangan
1	Bendungan Besar	MAB	1,237		1,464		1,3	Bagian hulu tidak aman
2		MAN	1,237		1,484		1,5	Hulu dan hilir tidak aman
3		Surut Cepat (dari MAN ke Intake)	1,236		1,487		1,2	Aman
4		Dead Storage (MAN terdapat sedimen)	1,565		1,480		1,5	Bagian hilir tidak aman
5	Bendungan Kecil	MAB	1,860		1,689		1,3	aman

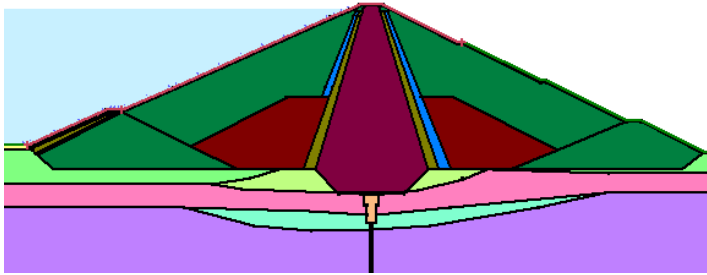
(Sumber : Perhitungan)

Hal ini diakibatkan karena pada awal rembesan paling atas tidak melewati material filter kasar dan filter halus yang didesain hanya sebatas elevasi +255,01 sedangkan elevasi banjir yang diperkirakan sampai elevasi +256,65 ada perbedaan sekitar 1,64 m H air yang tidak melewati material tersebut.

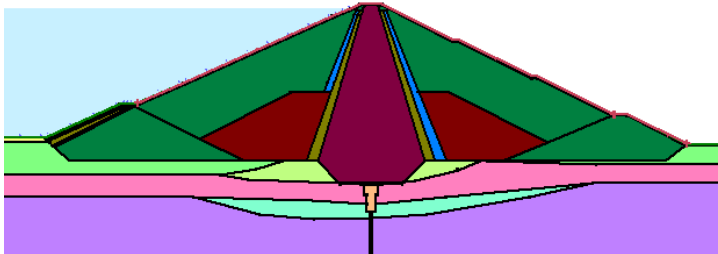
Meskipun demikian hal ini tidak terlalu menggentingkan dikarenakan kondisi dimana terjadi nya banjir yang juga berlangsung lama sangat kecil. Selain itu, desain juga sudah mengikuti buku panduan perencanaan bendungan urugan Departemen PU tahun 1999 untuk menentukan tinggi jagaan desain dimana debit banjir yang digunakan adalah debit PMF (*Probable Maximum Flood*) sehingga kemungkinan terjadinya rembesan semacam itu sangat kecil dan tidak berlangsung lama.

Dari kecepatan rembesan yang telah dihitung menggunakan software diketahui bahwa kecepatan rembesan di bagian tengah penurunan lebih cepat dibandingkan pada awal dan akhir penurunan. Hal ini diakibatkan kecepatan pada awal dan akhir penurunan baru saja tertahan material yang baru saja dilewati sedangkan pada pertengahan terdapat percepatan akibat perbedaan elevasi yang mengakibatkan rembesan di atasnya menambahkan energi jatuh, sedangkan diakhir penurunan terjadi penumpukan rembesan yang perlahan-lahan menahan kecepatan yang naik sebelumnya. Sedangkan pada kecepatan akhir disebelah hilir bendungan bisa lebih tinggi dibandingkan penurunan-penurunan sebelumnya disebabkan karena perbedaan elevasi yang tinggi dibandingkan sebelumnya.

Rembesan juga mempengaruhi kestabilan lereng dari bendungan, dengan mengaplikasikan rembesan yang sebelumnya dihitung didapatkan *safety of factor* dari setiap keadaan dengan menggunakan *slip surface option* seperti digambar 5.2 untuk hulu sedangkan gambar 5.3 untuk hilir.

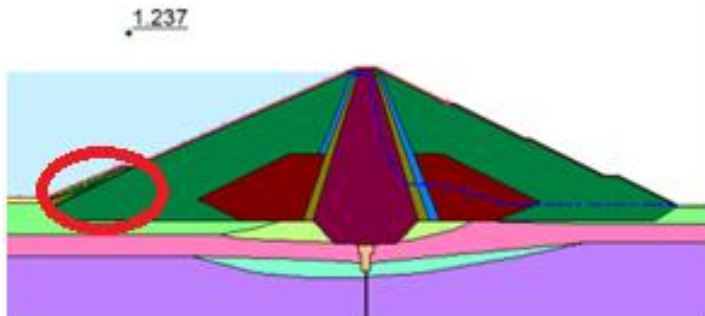


Gambar 5.2 *Input range Entry dan Exit Longsoran* pada GeoSlope permodelan MAB Hulu

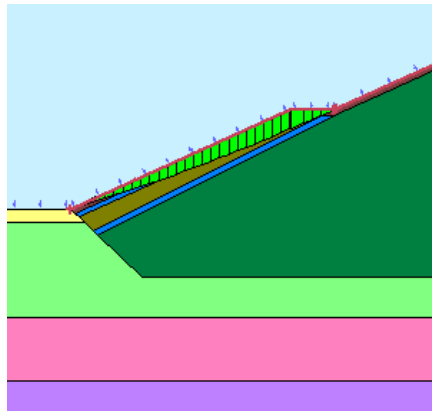


Gambar 5.3 *Input range Entry dan Exit Longsoran* pada GeoSlope permodelan MAB Hilir

Dari perhitungan didapatkan bahwa *slip* paling kritis untuk permodelan Muka Air Banjir bagian hulu terdapat pada bekas bendungan pengelak dimana *safety of factor*-nya adalah 1,237 sebagaimana terlihat di gambar 5.4.



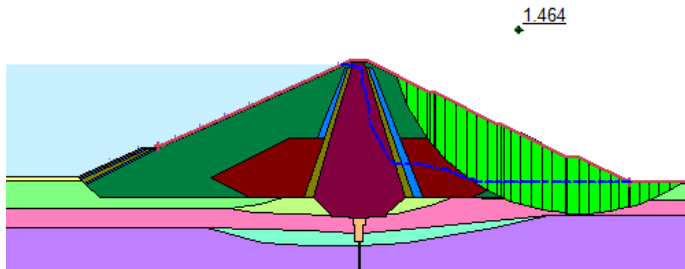
Gambar 5.4 *Critical Slip* permodelan MAB bagian Hulu



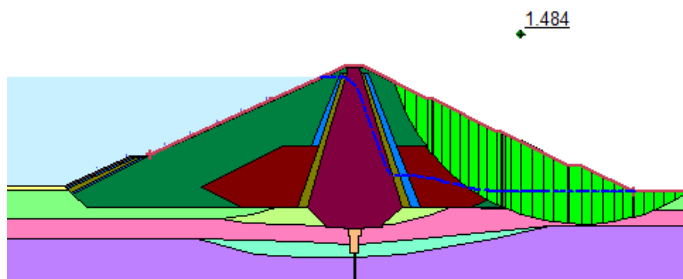
Gambar 5.5 perbesar gambar *Critical Slip* permodelan MAB bagian Hulu

Berdasarkan gambar diatas gaya tekan air saat mencapai elevasi setinggi +256,65 atau dengan beda H sebesar 53,14 m mengakibatkan kestabilan lereng pada bagian tersebut tidak stabil. Keruntuhan terjadi pada semacam jalan setapak yang akan membuat gaya tekan potensial air lebih banyak tersalurkan daripada di lereng yang memiliki kemiringan tertentu.

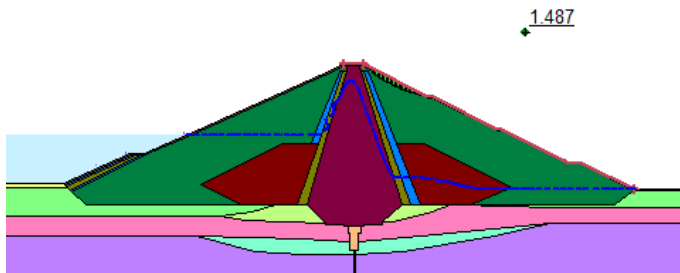
Sedangkan pada lereng bagian hilir memiliki *safety of factor* paling kritis sebesar 1,464 sedikit lebih kecil dari permodelan lainnya. Dengan begitu bisa disimpulkan bahwa semakin besar kekuatan yang menekan lereng bagian hulu (sedimen dan air elevasi MAB) mengakibatkan kestabilan di lereng hilir semakin labil. Sebagaimana terlihat di gambar 5.6, 5.7 dan 5.8.



Gambar 5.6 *Critical Slip* permodelan MAB bagian Hilir.



Gambar 5.7 *Critical Slip* permodelan Mercu Spillway bagian Hilir.

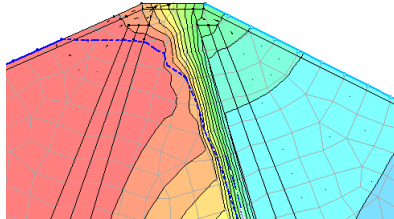


Gambar 5.8 *Critical Slip* permodelan Surut Cepat bagian Hilir.

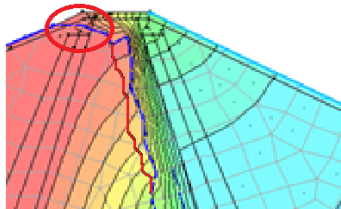
### 5.1.2. Mercu Spillway

Rembesan yang terjadi pada permodelan mercu spillway lebih rapi daripada permodelan sebelumnya (MAB), dikarenakan pada awal rembesan masih

melewati material jenis filter kasar dan halus, sebagaimana tampak pada gambar 5.9.



Gambar 5.9 Pola rembesan permodelan Mercu Spillway saat melewati material inti



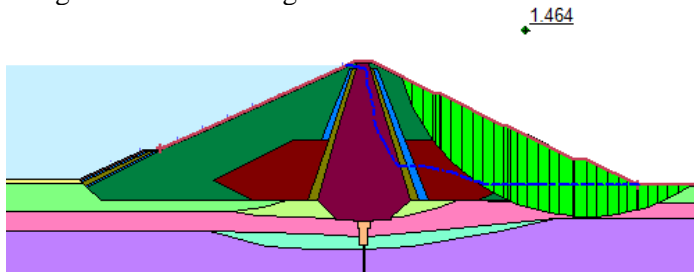
Gambar 5.10 Pola rembesan permodelan MAB saat melewati material inti (perbandingan)

Terlihat pada lingkaran merah pada gambar 5.10, terdapat sebagian rembesan yang tidak melewati material filter kasar dan halus, sedangkan pada permodelan mercu spillway terlewat semua sebagaimana gambar. Hal ini membuat penurunan garis rembesan berbeda.

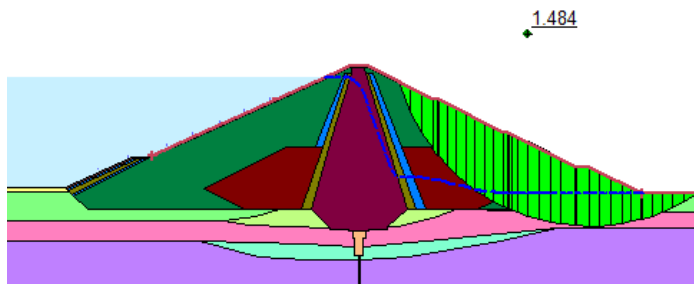
Sedangkan untuk kestabilan lereng bagian hulu bendungan tidak jauh berbeda juga dengan permodelan sebelumnya (MAB) *critical slip* permodelan ini juga terdapat pada bekas bendungan pengelak yang memiliki material filter kasar dan halus sebagai penyusunnya, dengan *safety of factor* sebesar 1,237. Tidak berbeda dengan permodelan sebelumnya (MAB).



Sedangkan untuk bagian hilir terdapat perbedaan sekitar 0,02 dalam *safety of factor* paling kritis jika dibandingkan dengan permodelan MAB. *Critical slip* kedua permodelan juga berada ditempat yang sama sebagaimana terlihat di gambar 5.11.



Gambar 5.11 *Critical Slip* hilir permodelan MAB



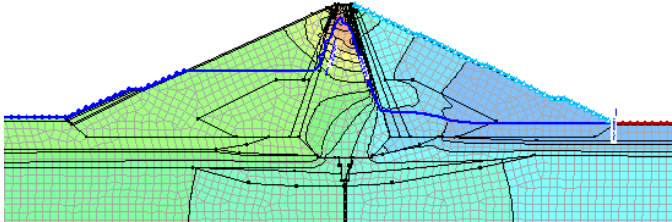
Gambar 5.12 *Critical Slip* hulu permodelan Mercu Spillway

Meskipun berada pada tempat yang sama keduanya memiliki *safety of factor* yang berbeda karena pada permodelan MAB memiliki tekanan lebih besar pada hulu dibandingkan permodelan mercu spillway, sebagaimana dijelaskan sebelumnya.

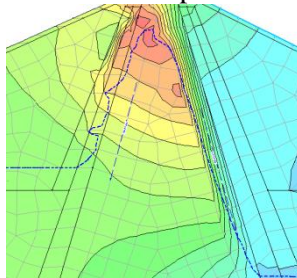
### 5.1.3. Surut Cepat

Ketika rembesan sudah memenuhi material akibat air mencapai elevasi mercu spillway dan kemudian mengalami penurunan secara cepat akibat debit inflow sungai berhenti dan intake sedang beroperasi rembesan akan mengalami penurunan secara drastis diawal tetapi

ada sebagian rembesan yang tertahan, sebagaimana di gambar 5.12.



Gambar 5.12 Pola rembesan permodelan Surut Cepat

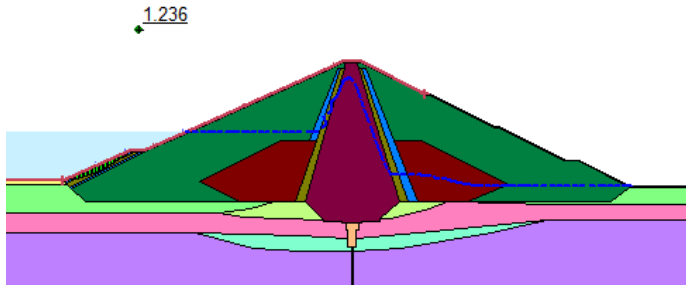


Gambar 5.13 Pola rembesan permodelan Surut Cepat saat melewati material inti

Terlihat sebagian besar rembesan yang tertahan terdapat pada material inti yang memiliki nilai  $k$  terkecil yaitu  $2,1 \times 10^{-9}$  m/detik sedangkan pada material batu memiliki nilai  $k$  sebesar 0,1 m/detik. Hal ini menyebabkan air yang ada di material inti tertahan sedangkan pada material batu lebih cepat turun. Hal ini sangat menguntungkan karena bila tanah inti yang berada di samping maka safety of factor pada hulu bendungan akan bertambah kritis karena terdapat air yang tertahan pada sebagian besar lereng yang mana akan menambahkan berat jenis air pori sebagai kuat stabil lereng yang harus ditahan.

Kestabilan lereng pada permodelan ini bagian hulu memiliki *safety of factor* paling kritis dibandingkan yang lainnya yaitu sebesar 1,236 dan sekali lagi berada

pada slip yang terdapat pada bekas bendungan pengelak, sebagaimana terlihat pada gambar 5.14.

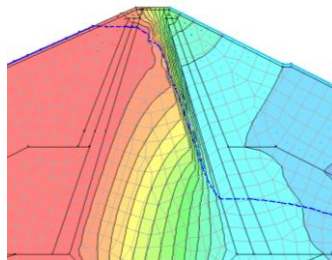


Gambar 5.14 *Critical Slip* Permodelan Surut Cepat bagian Hulu

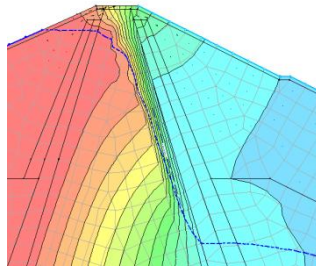
Tidak berbeda dengan permodelan - permodelan sebelumnya yang *critical slip*-nya berada pada bagian bekas bendungan pengelak. Akan tetapi, dengan nilai *safety of factor* sedikit lebih kritis dibandingkan permodelan -permodelan sebelumnya.

#### 5.1.4. Dead Storage

Pada rembesan di permodelan dead storage terjadi pola yang sama dengan permodelan mercu spillway. Meskipun memiliki pola rembesan yang sama permodelan ini memiliki sedikit perbedaan pada kecepatan dan debit rembesan yang terjadi. Sebagaimana terlihat di gambar 5.15 dan 5.16.



Gambar 5.15 Penurunan garis rembesan pada material inti permodelan Dead Storage

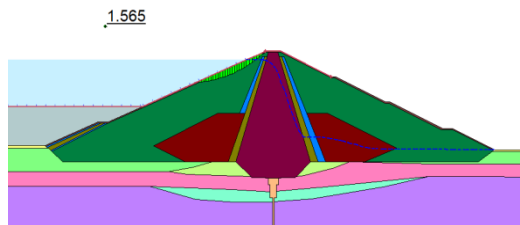


Gambar 5.16 Penurunan garis rembesan pada material inti permodelan Mercu Spillway

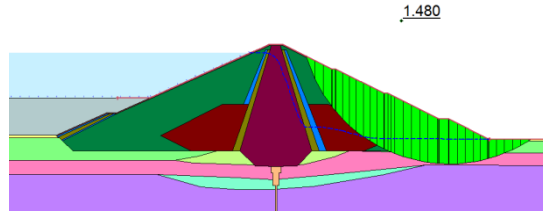
Kecepatan memiliki perbedaan sekitar  $7 \times 10^{-10}$  m/detik meskipun memiliki tinggi permodelan elevasi air yang sama, dengan permodelan sedimen yang lebih tinggi. Selain itu, posisi rembesan yang merupakan tercepat pada material inti dari masing-masing permodelan berada pada tempat yang berbeda.

Debit yang terjadi juga memiliki perbedaan sekitar  $2,6 \times 10^{-10}$  m<sup>3</sup>/detik dan juga permodelan sedimen lagi yang lebih cepat.

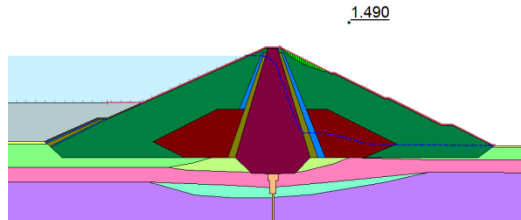
Kestabilan pada lereng hulu memiliki *Safety of factor* yang lebih baik dibandingkan lereng hilirnya. Pada lereng hulu *safety of factor* paling kritis senilai 1,565 (Gambar 5.17). Sedangkan pada lereng hilir memiliki *safety of factor* longsoran sebesar 1,480 (Gambar 5.18) serta 1,490 (Gambar 5.19) di perhitungan kritis setelahnya dimana kedua SF tersebut tidak memenuhi SNI 2002.



Gambar 5.17 Longsoran Kritis permodelan Dead Storage Sebelah Hulu



Gambar 5.18 Longsoran Kritis permodelan Dead Storage  
Sebelah Hilir 1



Gambar 5.19 Longsoran Kritis permodelan Dead Storage  
Sebelah Hilir 2

#### 5.1.5. MAB Bendungan Potongan Kecil

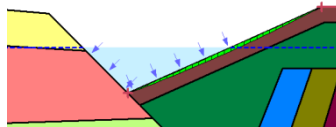
Debit rembesan yang melewati material inti mengalami perbedaan jumlah yang cukup besar, hal ini dikarenakan perbedaan panjang lintasan serta beda elevasi rembesan yang terjadi. Panjang lintasan yang pada permodelan MAB, Mercu Spillway dan Dead Storage sepanjang 32,25 m, sedangkan pada permodelan ini hanya sepanjang 8,51 m. Hal ini dikarenakan bentuk dari rembesan yang berbeda dari permodelan lainnya.

Permodelan lain memiliki penurunan rembesan yang sangat curam dibandingkan permodelan ini. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, sehingga penyusun memutuskan panjang lintasan hanya sepanjang 8,51 m, menyejajarkan dengan garis batas rembesan.

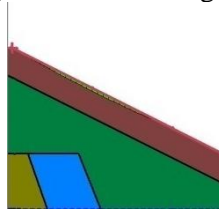
Terjadi perbedaan kecepatan yang cukup jauh pada peralihan tubuh bendungan dan dengan tanah pondasi bendungan, berbeda dengan potongan besar yang diberi grouting sehingga perbedaan kecepatan tidak

terlalu besar. Akan tetapi pada potongan kecil masih terdapat perbedaan tersebut karena tidak adanya grouting.

Longsoran pada permodelan ini tergolong aman karena selain memiliki nilai *safety of factor* aman ukuran longsornya juga kecil baik yang hilir maupun hulu. Pada bagian hulu memiliki *safety of factor* paling kritis sebesar 1,860 dengan ukuran longsornya seperti pada gambar 5.20. Sedangkan pada hilir sebesar 1,683 sebagaimana terlihat pada gambar 5.21.



Gambar 5.20 Longsoran Paling Kritis Permodelan MAB Potongan Kecil Bendungan Hulu



Gambar 5.21 Longsoran Paling Kritis Permodelan MAB Potongan Kecil Bendungan Hilir

## 5.2. Material dan Batas Diameter Kritis Butirnya

Dengan 6 jenis material penyusun bendungan yang terdiri dari material inti, filter halus, filter kasar, batu, random tanah, dan rip-rap. Dari perhitungan yang didapat sebelumnya yang dihitung menggunakan rumus batas kecepatan kritis yang dikonversikan untuk mendapatkan diameter kritis dari kecepatan rembesan yang terjadi. Sebagaimana ditunjukkan dalam **tabel 5.1**

Tabel 5.1. Perhitungan Batas Kritis Diameter

Permodelan	Material	Vc	Gs	Gs-1	$\gamma$ (gr/cm)	w	d (m)	d (cm)
MAB	Batu	1,09E-03	2,680000	1,680000	22,40	0,041%	3,86E-07	3,86E-05
Sedimen	Batu	3,17E-03	2,680000	1,680000	22,40	0,041%	3,23E-06	0,000323
MAN	Batu	1,73E-03	2,680000	1,680000	22,40	0,041%	9,58E-07	9,58E-05
MAN	Rip-Rap	7,98E-04	2,680000	1,680000	23,20	0,000%	9,51E-10	9,51E-08
MAB	Rip-Rap	1,97E-04	2,680000	1,680000	23,20	0,000%	5,77E-11	5,77E-09
Sedimen	Rip-Rap	8,94E-05	2,680000	1,680000	23,20	0,018%	1,19E-09	1,19E-07
MAB kecil	Batu	8,06E-05	2,680000	1,680000	22,40	0,410%	1,81E-07	1,81E-05
Surut cepat	Batu	4,34E-05	2,680000	1,680000	22,40	0,007%	1,06E-10	1,06E-08
MAB kecil	Filter Kasar	3,31E-05	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	1,37E-07	1,37E-05
Surut cepat	Filter Halus	2,01E-05	2,680000	1,680000	18,88	1,250%	3,32E-09	3,32E-07
MAB kecil	Rip-Rap	1,77E-05	2,680000	1,680000	23,20	0,018%	1,44E-05	0,001441
MAN	Filter Kasar	1,26E-05	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	3,08E-08	3,08E-06
MAB	Filter Halus	6,82E-06	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	1,08E-08	1,08E-06
Surut cepat	Filter Kasar	6,74E-06	2,680000	1,680000	19,87	0,490%	1,55E-10	1,55E-08
MAB	Filter Kasar	6,54E-06	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	8,31E-09	8,31E-07
MAB kecil	Filter Halus	6,37E-06	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	1,16E-08	1,16E-06
MAN	Filter Halus	1,38E-06	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	4,41E-10	4,41E-08
Surut cepat	Rip-Rap	1,07E-06	2,680000	1,680000	23,20	0,003%	2,82E-14	2,82E-12
MAN	Random Tanah	6,28E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,005%	1,32E-14	1,32E-12
MAB	Random Tanah	5,63E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,005%	1,06E-14	1,06E-12
Sedimen	Filter Halus	3,88E-07	2,680000	1,680000	18,88	34,970%	3,47E-11	3,47E-09
Sedimen	Filter Kasar	3,81E-07	2,680000	1,680000	19,87	27,900%	2,82E-11	2,82E-09
Surut cepat	Random Tanah	2,52E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,510%	2,13E-13	2,13E-11
Sedimen	Random Tanah	1,91E-07	2,750000	1,750000	19,50	0,510%	1,22E-13	1,22E-11
Surut cepat	Inti	4,85E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	4,62E-15	4,62E-13
Sedimen	Inti	3,19E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	2E-15	2E-13
MAN	Inti	2,20E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	9,51E-16	9,51E-14
MAB	Inti	1,49E-09	2,650000	1,650000	18,39	29,700%	4,32E-16	4,32E-14
MAB kecil	Inti	6,96E-10	2,650000	1,650000	18,39	29,999%	6,57E-11	6,57E-09

(Sumber: Perhitungan)

Dari hasil perhitungan pada tabel 5.1. terlihat bahwa kecepatan rembesan paling tinggi terdapat pada permodelan MAB dengan material yang terlewati saat kecepatan terjadi adalah di material batu dan selanjutnya permodelan Sedimen yang juga saat melewati material batu, serta 7 urutan selanjutnya juga merupakan material batu dan rip-rap. Kedua material tersebut merupakan material dengan nilai k paling tinggi, sehingga wajar jika memiliki kecepatan rembesan yang tinggi.

Material batu (kerikil) yang memiliki diameter butir relatif besar yaitu antara 50-5 mm. Karena besarnya butiran tersebut kecil kemungkinan akan terbawa rembesan, serta berdasarkan perhitungan pada tabel butiran yang terbesar yang akan terbawa dengan kecepatan rembesan yang didapat sebelumnya adalah

$3,8615 \times 10^{-4}$  mm, jauh lebih kecil dari diameter terkecil butiran batu.

Selain itu, material inti yang memiliki butiran paling kecil diantara material yang lainnya, didapati permodelan yang memiliki kecepatan paling tinggi adalah saat dimodelkan surut cepat yang mana permodelan ini jarang terjadi di lapangan. Dengan kecepatan rembesan sebesar  $4,85 \times 10^{-9}$  m/detik dan dari kecepatan tersebut didapat diameter butir paling besar yang akan terbawa akibat kecepatan tersebut sebesar  $4,624 \times 10^{-11}$  mm. Sedangkan menurut tabel klasifikasi butiran tanah menurut *Unified Soil Classification System, ASTM, MIT dan Internasional Nomenclature* diameter butir lempung halus memiliki ukuran 0,0002 mm, sehingga dipastikan aman dari gejala *sufosi* maupun *boiling*.

### 5.3. Rembesan dan Batas Kecepatan Kritis

Kecepatan rembesan didapat dari perhitungan menggunakan *software* GeoStudio SEEP/W. Dari keseluruhan didapat rembesan dengan kecepatan paling cepat dominan terjadi pada material batu dan rip-rap dari setiap permodelan hal ini tentu saja sudah menjadi kewajaran dikarenakan nilai  $k$  dari material tersebut yang paling tinggi dari keseluruhan material. Dan permodelan yang memiliki kecepatan rembesan paling rendah adalah permodelan surut cepat. Hal ini dikarenakan permodelan tersebut sempat mengalami penurunan elevasi yang otomatis menyebabkan penurunan energi potensial dari rembesan kecuali pada bagian material inti. Sebagian masih memiliki energi potensial yang cukup tinggi pada bagian yang tertahan oleh material inti, yang pada akhirnya memiliki kecepatan tertinggi untuk yang melewati material inti dibandingkan dengan permodelan yang lain.

Berdasarkan buku Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Vol. 3 Desain Pondasi & Tubuh



Bendungan, koefisien filtrasi (K) dari bahan untuk zona kedap air tidak melebihi nilai  $1 \times 10^{-5}$  cm/detik dan untuk amannya dianjurkan agar menggunakan bahan dengan nilai K yang tidak melebihi  $1 \times 10^{-5}$  cm/detik.

Sesuai dengan panduan, urugan Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek menggunakan tanah lempung dengan nilai K kurang dari  $2,1 \times 10^{-7}$  cm/detik. Sedangkan diameter dari butiran tidak bisa ditentukan dikarenakan desain bendungan yang masih belum resmi dan masih mengalami perubahan beberapa kali. Akan tetapi desain yang digunakan untuk permodelan tidak terlalu diperlukan karena pada perhitungan rembesan hanya memerlukan nilai K material tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB VI KESIMPULAN

### 6.1. Kesimpulan

1. Debit rembesan yang terjadi dengan merata-rata rembesan yang terjadi pada bendungan potongan besar (STA 7) dan bendungan potongan kecil (STA 17) sebesar  $0,027765 \text{ m}^3/\text{detik}$  yang terjadi pada kaki hilir bendungan. Diketahui tidak aman karena melebihi 1% dari debit banjir tahunan yaitu  $0,0133 \text{ m}^3/\text{detik}$  (1% dari  $1,33 \text{ m}^3/\text{detik}$ ).
2. Dari perhitungan batas kritis diameter butir diketahui bahwa kecepatan rembesan paling tinggi terdapat di permodelan MAB dengan butir paling besar yang akan terbawa akibat kecepatan tersebut sebesar  $3,85 \times 10^{-4} \text{ mm}$  pada material batu. Sedangkan diameter paling kritis yang akan terbawa (paling besar) ada pada permodelan MAB potongan kecil (STA 17) sebesar  $0,0144 \text{ mm}$ .
3. *Safety of factor* longSORan paling kritis terdapat pada permodelan surut cepat sebesar 1,236, akan tetapi masih memenuhi SNI 2002 yang harus lebih besar dari 1,200.
4. Terdapat 3 permodelan yang tidak memenuhi angka yang ditentukan SNI 2002 untuk kategori masing-masing yaitu :
  - MAB Hulu ( $1,237 < 1,3$ )
  - MAN Hulu dan Hilir ( $1,237; 1,484 < 1,5$ )
  - Dead Storage Hilir ( $1,480 < 1,5$ )
5. *Safety of Factor* gejala *sufosi* dan *boiling* menunjukkan angka sebesar 5,433079 yang mana lebih besar dari angka batas aman dari gejala tersebut yaitu 4,00 sehingga dinyatakan aman.

## 6.2. Saran

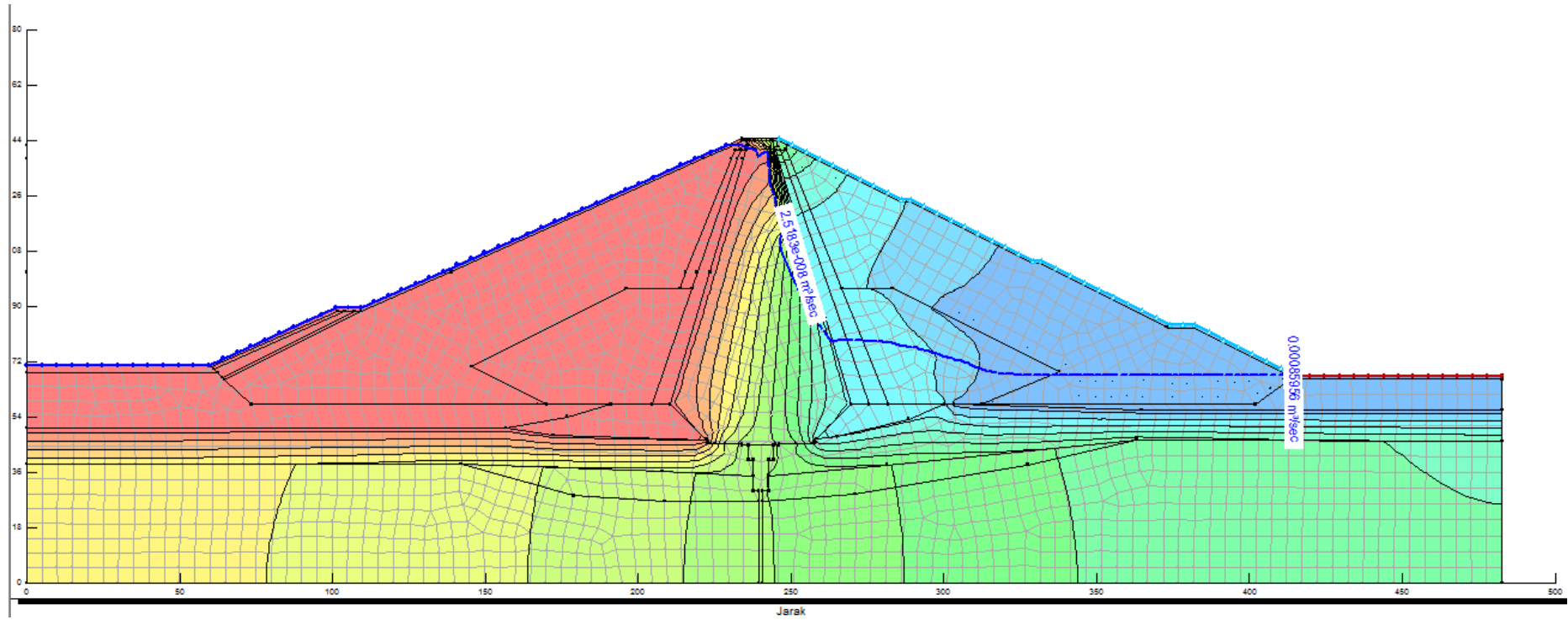
1. Untuk penelitian selanjutnya supaya mengumpulkan data tanah yang lebih lengkap agar menghasilkan analisa yang lebih akurat.
2. Analisa dengan program masih memiliki kelemahan sehingga untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat terlebih dahulu harus dibandingkan dengan metode yang lain, terutama secara manual ataupun dengan program lain, seperti rheo staub, Plaxis, dll.
3. Geostudio dan program analisa yang lain hanyalah sebuah instrumen, sehingga hasil dari analisisnya sangat tergantung pada pengetahuan, keahlian dan pengalaman dalam menganalisa dan menterjemahkan data-data yang ada menjadi input yang benar sesuai dengan kondisi nyatanya.

## DAFTAR PUSTAKA

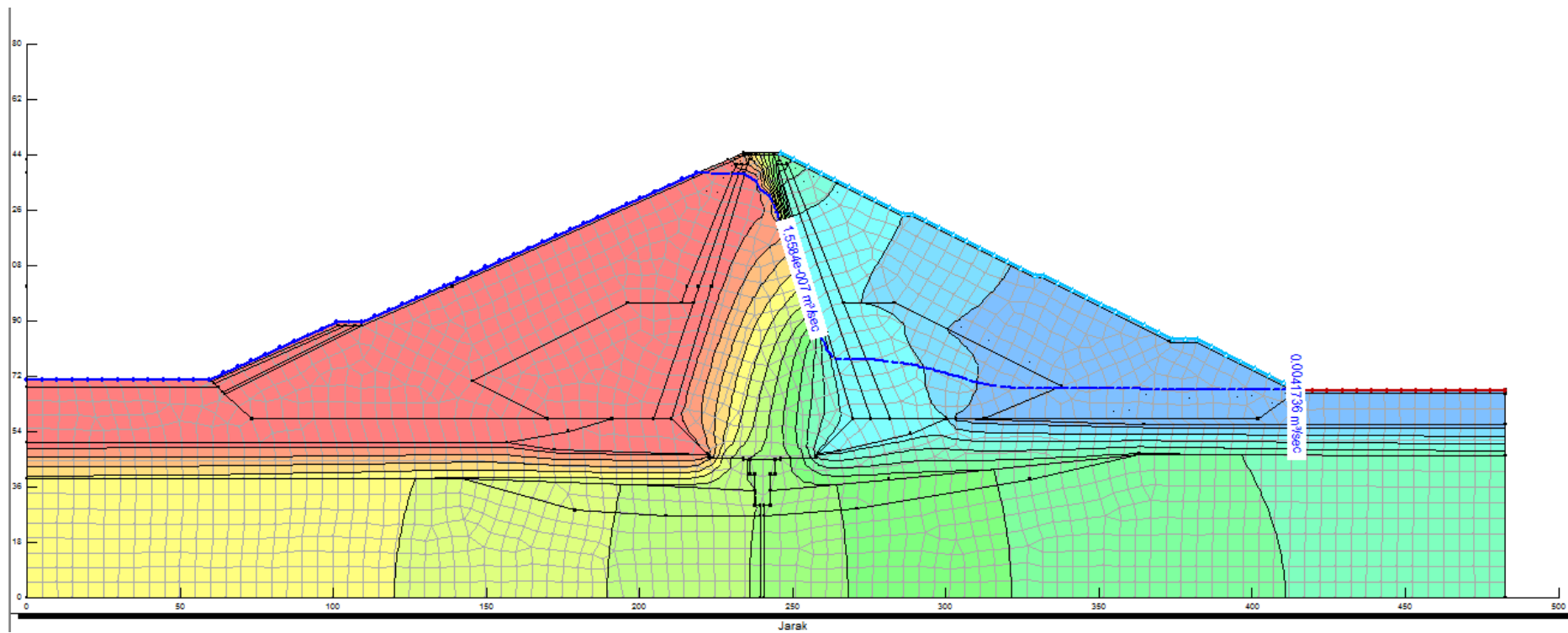
- Hardiyatmo, Hary Christady.2002.Mekanika Tanah  
I.Yogyakarta:Gadajah Mada  
University Press.
- Ilham, Muchammad.2015."Analisa Stabilitas Tubuh  
Bendungan pada Bendungan Utama Tugu  
Kabupaten Trenggalek". Skripsi. Malang:  
Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Ma'ruf, M. Farid.2013."Analisis Numerik Stabilitas  
Lereng dengan Drainase Horisontal karena  
Rapid Drawdown untuk Berbagai Kemiringan  
(178G)". Makalah disajikan dalam Konferensi  
Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) di  
Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta,  
24-26 Oktober 2013.
- Rahman, Hakim Ardiansyah dkk.2014."Pengaruh  
Fluktuasi Muka Air Waduk Terhadap Debit  
Rembesan Menggunakan Model  
SEEP/W(Studi Kasus di Bendungan Benel,  
Kabupaten Jembrana, Bali).*e-Jurnal  
MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 471-476
- Sukirman.2014."Analisis Rembesan pada Bendung Tipe  
Urugan Melalui Uji Hidrolik di Laboratorium  
Hidri FT. UNSRI".*Jurnal Teknik Sipil dan  
Lingkungan*, 2(2):238-244.
- Sunday, Devi dan Azmeri.2013."Kajian Kestabilan  
Tubuh Waduk Rukoh Kecamatan Titieu  
Keumala Kabupaten Pidie (109G)". Makalah  
disajikan dalam Konferensi Nasional Teknik  
Sipil 7 (KoNTekS 7) di Universitas Sebelas  
Maret (UNS) Surakarta, 24-26 Oktober 2013.
- Triatmodjo,Bambang.1993.Hidrolika I.Yogyakarta:Beta  
Offset.



LAMPIRAN  
Rembesan Hasil Perhitungan Kondisi MAB (+256,65)

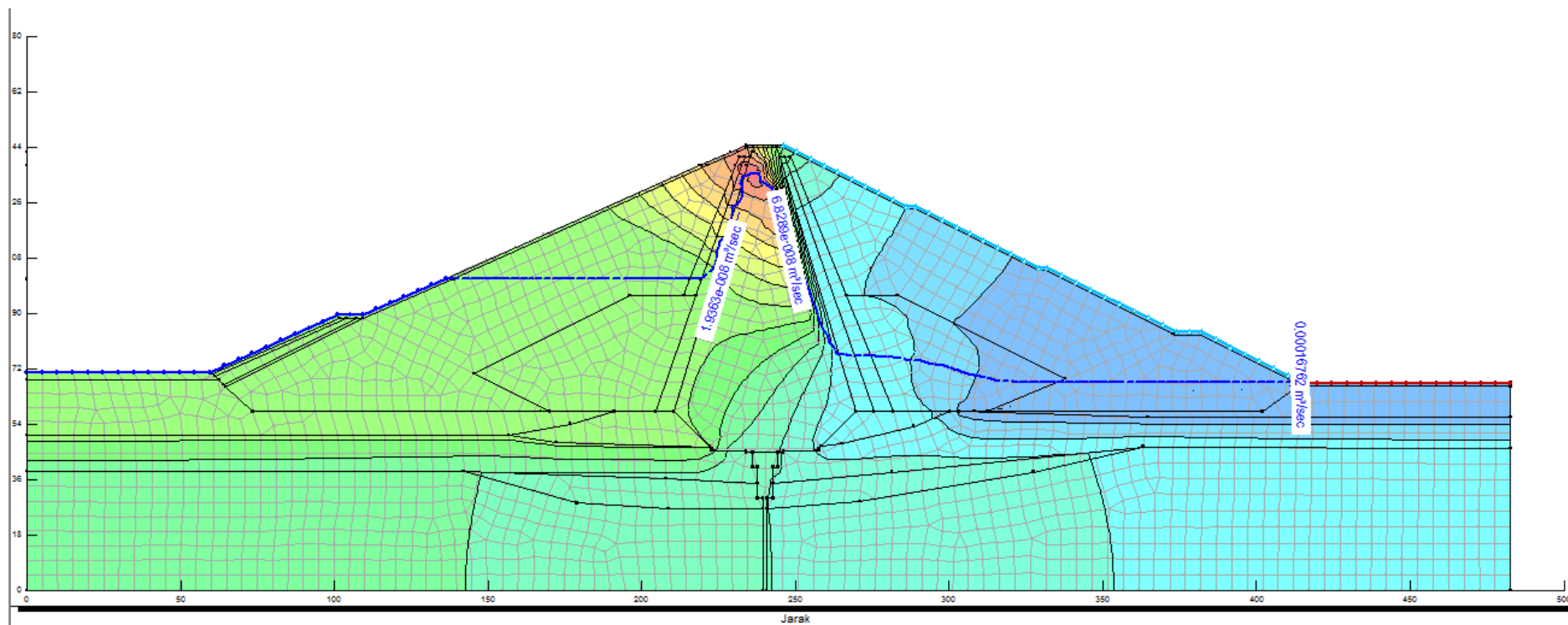


# Rembesan Hasil Perhitungan Kondisi Mercu Spillway (+250,60)

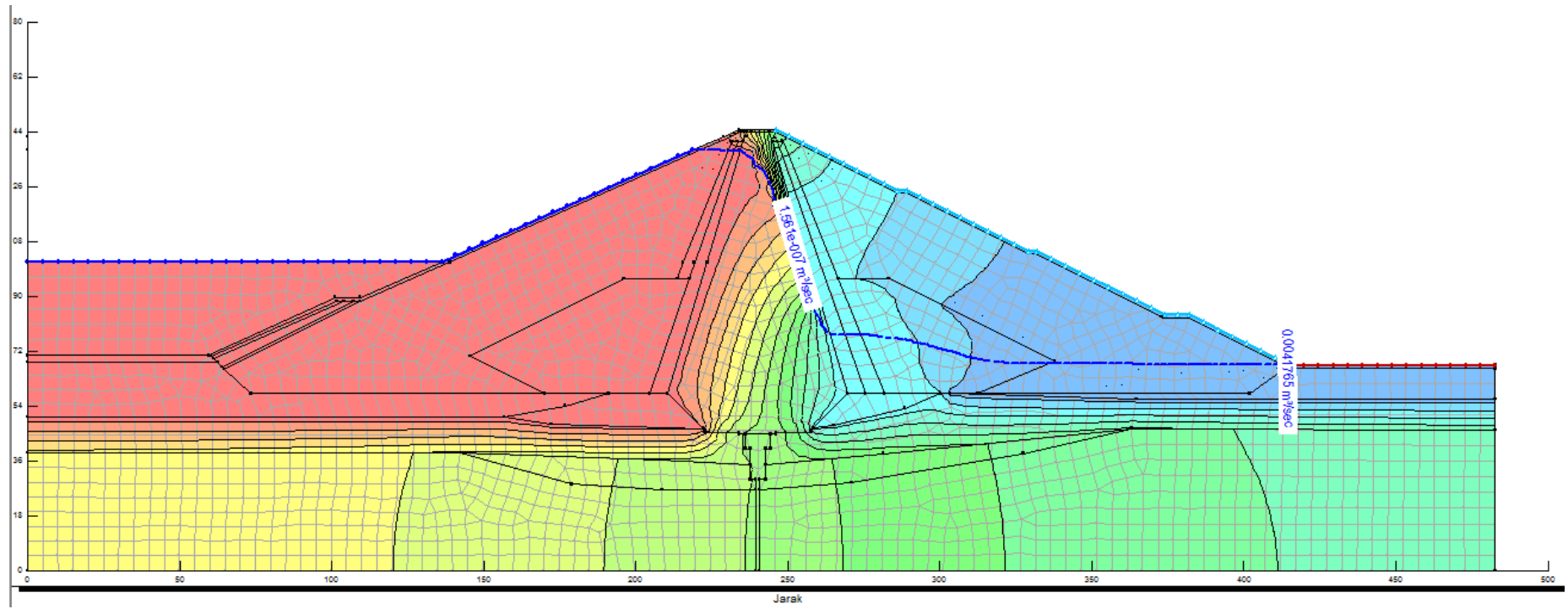




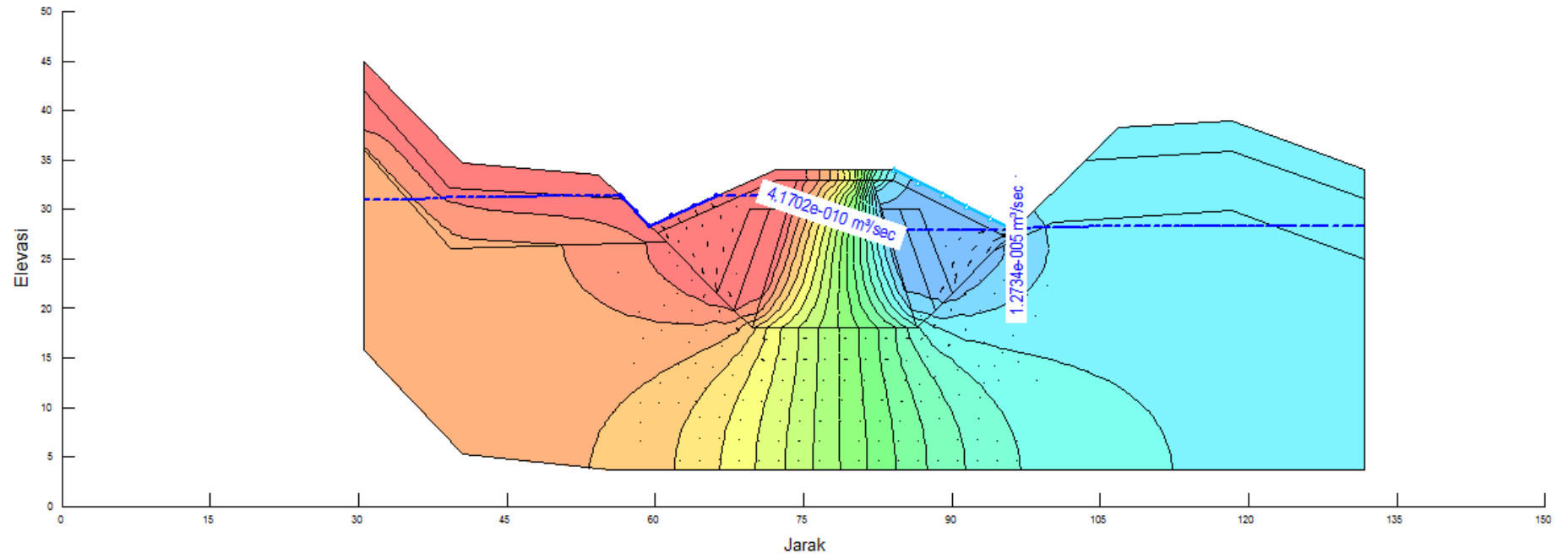
Rembesan Hasil Perhitungan Kondisi Surut Cepat (+250,60 - +215,50)



Rembesan Hasil Perhitungan Kondisi Dead Storage (+250,60)



Rembesan Hasil Perhitungan Kondisi MAB Permodelan STA 17 (+256,65)





## BIOGRAFI PENULIS 1



Muhammad Zaka Dharfan, lahir di Jombang pada tanggal 26 Agustus 1995, merupakan anak dari pasangan Abdul Majid dan Dra. Muchariroh yang merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan antara lain : TK Muslimat 5 Parimono Jombang (2000-2002), SD Plus Darul Ulum Jombang (2002-2008), SMP Negeri 2 Jombang (2008-2011), SMA Negeri Jogoroto Jombang (2011-2014) dan sekarang sedang menempuh pendidikan D3 Teknik Infrastruktur Sipil ITS Surabaya dengan NRP 3114030018. Selain mengerjakan Tugas Akhir penulis juga mengikuti kegiatan organisasi saat menempuh pendidikan tersebut, yaitu menjadi pengurus LDJ (Lembaga Dakwah Jurusan) JMAA ITS pada tahun 2014-2016. Selain pengalaman organisasi di perguruan tinggi, penulis juga cukup aktif di SMA sebagai pengurus organisasi OSIS pada tahun 2012. Setelah lulus dari D3 Teknik Infrastruktur Sipil penulis hendak meneruskan lintas jalur S1 Teknik Sipil ITS

## BIOGRAFI PENULIS 2



Wildan Aidi Rahman, lahir di Gresik pada tanggal 25 Februari 1996 dari pasangan Drs. Isyadi (Alm.) dan Yufi Emiliastuti, SH. dan merupakan anak pertama dari 3 bersaudara, penulis pernah menempuh pendidikan formal cukup beragam karena 2 kali masuk TK dan sempat pindah ke Pontianak saat SMP, pendidikan formalnya antara lain : TK Aisyah Busthanul Athfal 1 Gresik (1999-2000), TK Bakti 5 Gresik (2000-2002), SD Muhammadiyah 1 Gresik (2002-2008), SMPI Al-Azhar 17 Pontianak (2008-2009), SMP Muhammadiyah 12 GKB (2009-2011), SMA Muhammadiyah 1 Gresik (2011-2014) dan sekarang sedang menempuh pendidikan D3 Teknik Infrastruktur Sipil ITS Surabaya dengan NRP 3114030033. Selain mengerjakan Tugas Akhir penulis juga mengikuti kegiatan organisasi saat menempuh pendidikan tersebut, yaitu menjadi pengurus LDJ (Lembaga Dakwah Jurusan) JMAA ITS dan sempat ditunjuk sebagai pengurus inti (Bendahara Umum). Selain pengalaman organisasi di perguruan tinggi, penulis juga cukup aktif di SMA sebagai pengurus ranting IPM SMA Muhammadiyah 1 Gresik dan juga sempat ditunjuk sebagai Kepala Bidang PIP (Pengembangan Ilmu Pengetahuan). Setelah lulus dari D3 Teknik Infrastruktur Sipil penulis hendak meneruskan lintas jalur S1 Teknik Sipil ITS