TUGAS AKHIR

PENGARUH TINGGI MUKA AIR WADUK TERHADAP STABILITAS LERENG DAN BAHAYA PIPING PADA TUBUH BNDUNGAN SANGIRAN (*INFLUENCE OF WATER LEVEL POF DAM DUE TO SLOPE STABILITY AND PIPING ON SANGIRAN DAM)*

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

Serly Dwi Astarina
16511218

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH TINGGI MUKA AIR WADUK TERHADAP STABILITAS LERENG DAN BAHAYA PIPING PADA TUBUH BNDUNGAN SANGIRAN (*INFLUENCE OF WATER LEVEL POF DAM DUE TO SLOPE STABILITY AND PIPING ON SANGIRAN DAM)*

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

Disusun Oleh

Serly Dwi Astarina
16511218

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

Diuji Pada Tanggal 14 Juni 2022
Oleh Dosen Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
M. Rifqi Abdurrozak, S.T.,M.Eng	**Ir. Akhmad Marzuko, M.T.**	**Dr.Ir. Lalu Makrup, M.T.**
NIK: 135111101	**NIK : 885110107**	**NIK : 885110106**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bernama Serly Dwi Astarina menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 19 April 2022

Yang membuat pernyataan,



Serly Dwi Astarina

(16511218)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk seluruh anggota keluarga baik inti maupun kerabat besar saya, semua teman-teman seperjuangan yang mengenal saya baik dekat ataupun yang hanya sekedar mengenal nama, dan tak lupa secara khusus saya persembahkan juga untuk pendamping hidup saya kelak.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayah Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Tinggi Muka Air Waduk Terhadap Stabilitas Lereng Dan Bahaya Piping Pada Tubuh Bendungan Sangiran.* Sholawat serta salam, penulis ucapkan kepada kekasih Nya Nabi Muhammad SAW. Allahumma sholli'ala sayyidina Muhammad wa'ala aali sayyidina Muhammad. Tanpa beliau kita tidak akan menjadi umat yang sebahagia saat ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang penulis alami, namun berkat saran, kritik, bimbingan dan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak M. Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan pemberi izin untuk melakukan penelitian tugas akhir pada proyek beliau,
2. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T. dan Bapak Dr.Ir. Lalu Makrup, M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir,
3. Kepada Bapak, Ibu, Kakak, Adik, Keponakan, Sepupu dan semua keluarga saya yang telah memotivasi dan selalu memberi dorongan kepada penulis,
4. Kepada teman-teman satu daerah Jawa Timur khususnya Kediri, Nganjuk, Trenggalek yang sangat baik sekali dengan penulis, dan
   Kepada team Gabut, Team Bidikmisi UII, dan Team Excellent UII yang telah membersamai saya selama kuliah di Universitas Islam Indonesia ini.

5. Teman-teman satu angakatan Teknik Sipil 16 yang tercinta yang telah membuat saya merasa punya keluarga diperantauan ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 19 April 2022

Yang membuat pernyataan,



Serly Dwi Astarina

(16511218)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI DAN SIGKATAN xvi
ABSTRAK xviii
ABSTRACK xix
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 5
1.3. Tujuan Penelitian 6
1.4. Manfaat Penelitian 6
1.5. Batasan Penelitina 6
BAB II 8
TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1. Tinjauan Umum 8
2.2. Kondisi Keamanan Struktur Bendungan 8
2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Rembesan Air Pada Bendungan 9
2.3.1 Faktor Pengaruh Tipe Bendungan Terhadap Rembesan Bendungan 9
2.3.2 Faktor Pengaruh Tinggi MA Terhadap Rembesan Bendungan 11
2.3.3 Faktor Pengaruh Debit Rembesan Terhadap Stabilitas 12
2.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Pada Bendungan 13
2.4.1 Faktor Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Stabilitas 13
2.4.2 Faktor Pengaruh Tinggi Muka Air Terhadap Stabilitas 14

2.5. Pengaruh Bahaya Piping Pada Bendungan 16
2.6. Keaslian Penelitian 17
BAB III 20
LANDASAN TEORI 20
3.1. Bendungan 20
3.2. Pembagian Tipe Bendungan 21
3.2.1. Bendungan Berdasarkan Ukurannya 21
3.2.2. Bendungan Berdasarkan Tujuan Pembangunannya 21
3.2.3. Bendungan Berdasarkan Penggunaannya 22
3.2.4. Bendungan Berdasarkan Konstruksinya 22
3.3. Bendungan Urugan 23
3.4. Kelemahan Dan Keistimewaan Bendungan Urugan 26
3.5. Rembesan Bendungan 26
3.5.1. Teori Rembesan 26
3.5.2. Rembesan Dengan Seep/W 28
3.6. Bahaya Piping 30
3.7. Stabilitas Lereng Pengaruh Gempa 31
3.7.1. Pemilihan Besaran Gempa Untuk Analisis 32
3.7.2. Evaluasi Penentuan beban Gempa 32
3.7.3. Faktor Yang Mempengaruhi Pemlihan Parameter Evaluasi Gempa 33
3.7.4. Pemilihan Koefisien Gempa 44
3.8. Stabilitas Bendungan 46
3.8.1. Stabilitas Lereng Dengan Slope/W 49
3.8.2. Stabilitas Terhadap Guling 50
3.8.3. Stabilitas Terhadap Geser 51
BAB IV 52
METODE PENELITIAN 52
4.1 Jenis Penelitian 52
4.2 Obyek dan Subyek Penelitian 52
4.3 Lokasi Penelitian 52
4.4 Data Penelitian 53
4.5 Metode Analisis Data 61
4.6 Langkah-Langkah Penelitian 61

BAB V 66
ANALISIS DAN PEMBAHASAN 66
5.1. Data Yang Digunakan Dalam Penelitian 66
5.1.1. Data Teknis Bendungan 66
5.1.2. Data Penyelidikan Tanah 67
5.2. Analisis Koefisien Gempa Termodifikasi 69
5.3. Analisis Rembesan Bendungan 76
5.3.1. Rembesan Pada Muka Air Normal 79
5.3.2. Rembesan Pada Muka Air Maksimum 80
5.3.3. Rembesan Pada Muka Air Minimum 80
5.4. Analisis Bahaya Piping 81
5.4.1. Keamanan Terhadap Bahaya Piping Pada Muka Air Normal 81
5.4.2. Keamanan Terhadap Bahaya Piping Pada Muka Air Maksimum 81
5.4.3. Keamanan Terhadap Bahaya Piping Pada Muka Air Minimum 82
5.5. Analisis Stabilitas Bendungan 82
5.5.1. Stabilitas Lereng Pada Kondisi Muka Air Normal 83
5.5.2. Stabilitas Lereng Pada Konndisi Muka Air Maksimum 86
5.5.3. Stabilitas Lereng Pada Kondisi Muka Air Minimum 89
5.5.4. Stabilitas Lereng Pada Kondisi Muka Air Surut Cepat 92
5.5.5. Stabilitas Lereng Terhadap Guling dan Geser 95
5.6. Pembahasan 100
BAB VI 105
KESIMPULAN DAN SARAN 105
6.1. Kesimpulan 105
6.2. Saran 106
LAMPIRAN 108

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu 18
Tabel 3. 1 Kriteria Nilai Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Bendungan Urugan 31
Tabel 3. 2 Tingkat Kerusakan Menurut Besarnya Perepatan Gempa Maksimum Pada MDE 34
Tabel 3. 3 Kriteria Faktor Resiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan 35
Tabel 3. 4 Hubungan Kesetaraan Konsekuensi Daerah Hilir Bendungan Klasifikasi Bahaya 37
Tabel 3. 5 Matriks Jumlah Penduduk (Orang) Terkena Resiko Keruntuhan Bendungan Untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan 37
Tabel 3. 6 Matriks Jumlah Keluarga yang Terancam Bahaya Keruntuhan Bendungan Untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan 37
Tabel 3. 7 Kelas Resiko Bendungan dan Bangunan Air 38
Tabel 3. 8 Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan 39
Tabel 3. 9 Koefisien Zona Gempa 41
Tabel 3. 10 Periode Ulang dan Percepatan Gempa Dasar 42
Tabel 3. 11 Faktor Koreksi Pengaruh Jenis Bantuan/Tanah Setempat 42
Tabel 4. 1 Data Teknis Bendungan Sangiran 54
Tabel 4. 2 Data N-SPT Bendungan Sangiran 58
Tabel 4. 3 Data Penyelidikan Laboratorium 60
Tabel 5. 1 Data Penyelidikan Tanah Bendungan Sangiran 69
Tabel 5. 2 Kriteria Faktor Resiko Evaluasi Keamanan Bendungan 70
Tabel 5. 3 Faktor Resiko Total Keamanan bendungan Sangiran 71
Tabel 5. 4 Kelas Resiko Bendungan 71
Tabel 5. 5 Kreteria Beban Gempa 72
Tabel 5. 6 Periode Ulang dan Percepatan Gempa 73
Tabel 5. 7 Faktor Koreksi Jenis Batuan Dasar 73

Tabel 5. 8 Periode Ulang dan Percepatan Gempa 75
Tabel 5. 9 Faktor Koreksi Jenis Batuan Dasar 75
Tabel 5. 10 Parameter Geoteknik Tubuh Bendungan dan Pondasi 82
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Debit Rembesan 100
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Faktor Keamanan Piping 101
Tabel 5. 13 Hasil Analisis Stabilitas Bendungan Di Bagian Hulu 101
Tabel 5. 14 Hasil Analisis Stabilitas Bendungan Di Bagian Hilir 102
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Guling dan Geser Bendungan Sangiran 104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Klasifikasi Umum Bendungan Urugan 2
Gambar 1. 2 Lokasi Bendungan Sangiran/Waduk Sangiran 3
Gambar 1. 3 Bendungan Sangiran/Waduk Sangiran 3
Gambar 3. 1 Contoh Potongan Melintang Bendungan Urugan 25
Gambar 3. 2 Contoh Rencana Teknis Bendungan Sekat 25
Gambar 3. 3 Perhitungan Metode Rembesan Casagrande 27
Gambar 3. 4 Gambar Tanah Berlapis Horizontal 28
Gambar 3. 5 Peta Zona Gempa Indonesia 40
Gambar 3. 6 Ilustrasi Gaya Pada Metode Fellenius 47
Gambar 3. 7 Ilustrasi Gaya Pada Metode Bishop 49
Gambar 3.8 Tampilan Menu KeyIn Analysis 50
Gambar 4. 1 Lokasi Pelitian 53
Gambar 4. 2 Bendungan Sangiran 53
Gambar 4. 3 Peta Situasi Bendungan Sangiran 56
Gambar 4. 4 Peta Dimensi Bendungan Sangiran 57
Gambar 4. 5 Potongan Memanjang Sta I Bendungan Sangiran 57
Gambar 4. 6 Titik Bor Penyelidikan Tanah 58
Gambar 4. 7 Bagan Alir Penelitian 63
Gambar 4. 8 Lanjutan Bagan Alir Penelitian 64
Gambar 4. 9 Bagan Alir Geostudio 65
Gambar 5. 1 Lokasi Investigasi Geoteknik Bendungan Sangiran 68
Gambar 5. 2 Peta Zona Gempa di Indonesia Tahun 2017 70
Gambar 5. 3 Gambar rembesan Air di Tubuh Bendungan 77
Gambar 5. 4 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Pada Kondisi MA Normal 79
Gambar 5. 5 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Pada Kondisi MA Air Banjir 80
Gambar 5. 6 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Pada Kondisi MA Minimum 81
Gambar 5. 7Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal 84

Gambar 5. 8 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal 84
Gambar 5. 9 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 84
Gambar 5. 10 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 85
Gambar 5. 11 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 85
Gambar 5. 12 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 86
Gambar 5. 13 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir 86
Gambar 5. 14 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir 87
Gambar 5. 15 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 87
Gambar 5. 16 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 88
Gambar 5. 17 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 88
Gambar 5. 18 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 89
Gambar 5. 19 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Tanpa Beban Gempa 89
Gambar 5. 20 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Tanpa Beban Gempa 90
Gambar 5. 21 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 90
Gambar 5. 22 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 91
Gambar 5. 23 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 91
Gambar 5. 24 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 92

Gambar 5. 25 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba 92
Gambar 5. 26 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba 93
Gambar 5. 27 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba Tiba Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 93
Gambar 5. 28 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun 94
Gambar 5. 29 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 94
Gambar 5. 30 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun 95
Gambar 5. 31 Gambaran Stabilitas Guling dan Geser Bendungan Sangiran 95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data yang Digunakan Dalam Analisis 109
Lampiran 2 Hasil Analisis Rembesan dengan Geostudio Seep/W 114
Lampiran 3 Hasil Analisis Stabilitas dengan Geostudio Slope/W 117

DAFTAR NOTASI DAN SIGKATAN

PLTA = Pembangkit Listrik Tenaga Air
LS = Lintang Selatan (°)
BT = Bujur Timur (°)
E = Gaya Gempa Dengan Arah Horisontal
k = Koefisien Gempa
W = Berat Bangunan (kN)
τ = Gaya Geser (kN/m^2)
c’ = Kohesi Tanah (kN/m^2)
σn’ = Tegangan Efektif Secara Normal Pada Bidang Geser (kN/m^2)
SF = Faktor Keamanan
R = Jari-jari lingkaran bidang longsor (m)
n = Jumlah irisan
Wi = Berat masa tanah irisan (kN)
F = Faktor keamanan
C = Kohesi (kN/m^2)
ϕ = Sudut gesek dalam tanah (°)
ai = Lengkungan irisan (m)
μi = Tekanan air pori (kN/m^2)
θi = Sudut irisan (°)
c’ = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)
bi = lebar isisan ke (m)
ϕ' = Sudut gesek dalam efektif (°)
q = Debit rembesan (m^3/s)
i = Gradien hidraulik tanpa dimensi
A = Luas potongan yang ditinjau (m^2)
k = Koefisien permeabilitas (m/s)
Fs = Gaya rembesan
ɣw = Berat volume air
V = Volume (m^3)
FK = Faktor keamanan tanpa dimensi
Ic = Gradien keluaran kritis tanpa dimensi
Ie = Gradien keluaran dari hasil analisis rembesan
ɣ’ = Berat volume efektif terendam
Gs = Gravity spesifik tanpa dimensi

e = Angka pori tanpa dimensi
PGA = Peak Ground Acceleration (Percepatan Gempa Maksimum)
MDE = Maximum Design Earthquake (Gempa Dasar Maksimum)
OBE = Operating Basis Earthquake (Gempa Dasar Operasi)
RIE = Reservior Induced Earthquake (Gempa Imbas)
FRtot = Faktor Resiko Total
FRk = Faktor Resiko Pengaruh Kapasitas Waduk
FRt = Faktor Resiko Tinggi Bendungan
FRe = Faktor Resiko Kebutuhan Evakuasi
FRh = Pengaruh Tingkat Kerusakan Hilir
Ac = Percepatan Gempa Dasar
Ts = Periode Predominan Perlapisan Tanah Dengan Regangan Besar Waktu Terjadi Gempa
Tp = Periode Predominan Perlapisan Tanah Dengan Regangan Kecil
Vsi = Cepat Rambat Gelombang (m/s)
Nspt = Nilai Uji Penetrasi Standart
Vs = Cepat Rambat gelombang geser
Hi = Tebal perlapisan (m)
n = Jumlah lapisan
F = Gaya gempa mendatar
W = Berat (kN)
kh = Koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T
ad = Percepatan gempa terkoreksi oleh pengaruh jenis tanah
$\alpha 1$ = Koreksi pengaruh daerah bebas untuk bendungan tipe urugan
ks = Koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas
g = Gravitasi (980 cm/s^2)
ko = Koefisien gempa desain terkoreksi dipermukaan tanah,
$\alpha 2$ = Koreksi pengaruh jenis struktur, untuk bendungan tipe urugan
kh = Koefisien gempa dasar yang tergantung periode ulang T

ABSTRAK

Bendungan Sangiran diresmikan dan mulai aktif beroperasi pada tahun 2000 dengan tipe urugan batu inti tegak yang mempunyai panjang puncak 137,40 meter dan lebar 6 meter. Mengingat usia bendungan sudah melebihi 20 tahun, maka analisis stabilitas suatu lereng perlu dilakukan terhadap kondisi suatu lereng bendungan karena melewati beberapa tahun setalah bangunan fisiknya dibangun. Hal tersebut perlu dilakukan karena berpotensi adanya perubahan parameter fisik tanah pada tubuh bendungan terutama pada bendungan urugan dapat berupah karena pengaruh perubahan cuaca. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui evaluasi secara keseluruhan tingkat keamanan Bendungan Sangiran yang ditinjau dari rembesan, bahaya piping dan stabilitasnya.

Penelitian pada Bendungan Sangiran dilakukan tubuh bendungan yang memiliki *cross section* yang paling tinggi, yaitu pada potongan melintang I atau pada titik pengeboran BH 1 dengan data pengeboran yang diambil pada saat ipeksi besar tahun 2017. Analisis rembesan dilakukan dengan menggunakan *Software Geostudio Seep/W* untuk mengetahui pola aliran rembesan bendungan. Sedangkan untuk anilisis stabilitas bendungan digunakan *Software Geostudi Slope/W* yang kemudian akan didapat nilai faktor keamaan dari bendungan tersebut. Permodelan yang dilakukan mempertimbangkan 4 kondisi yaitu kondisi muka air minimum, normal, banjir dan muka air surut tiba-tiba (*rapid drawdown*), dengan penambahan beban gempa OBE dan MDE dan tanpa beban gempa.

Sesuai persyaratan Pedoman *Grouting* untuk Bendungan Departemen Pekerjaa Umum-SDA, yaitu 1% dari debit *inflow* sebesar $7,5 \times 10^{-2}$ m^3/s maka dapat disimpulkan debit rembesan Bendungan Sangiran dalam kondisi aman karena diperoleh debit rembesan pada kondisi muka air normal diperoleh nilai sebesar $1,5128 \times 10^{-3}$ m^3/s, pada muka air banjir sebesar $1,6309 \times 10^{-3}$ m^3/s, dan pada kondisi muka air minimum sebesar $5,9878 \times 10^{-4}$ m^3/s. Sedangkan untuk faktor keamanan terhadap piping diperoleh nilai 3,5557 untuk kondisi muka air normal, 3,4968 untuk muka air banjir, dan 5,8479 untuk kondisi muka air minimum. Hal tersebut menunjukan Bendungan Sangiran aman terhadap piping degan syarat SF> 3 s/d 4. Menurut SNI 8064:2016 (Metode Analisis tabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan), stabilitas Bendungan Sangiran dalam kondisi aman. Hal tersebut karena nilai faktor keamanan bendungan telah memenuhi persyaratan, yaitu kondisi paling kritis pada muka air banjir sebesar 1,608 > 1,5 (Aman). Pada kondisi dengan beban gempa OBE sebesar 1,534 > 1,2 (Aman). Pada kondisi dengan beban gempa MDE sebesar 1,492 > 1,0 (Aman).

Kata Kunci : Stabilitas Bendungan, Rembesan, Faktor Keamanan, Geostudio.

ABSTRACK

The Sangiran Dam was inaugurated and strated its active operation in 2000 with a apeak length of 137,40 meters and a peak width of 6 meters. Considering the age of the dam has exceeded 20 years, it is necessary to analyse the stability of a slope on condition of a dam slope because it has passed several years after the physical building was built. This needs to be done because there is the potential for changes in the physical parameters of the soil on the dam body, especially in embankment dams, which can be paid for due to the influence of weather changes. This study aims to determine the overall evaluation of the safety level of the Sangiran dam in terms of seepage, piping hazard and stability.

Research on the Sangiran Dam was carried out by the dam body which has the highest cross section, namely in the cross section 1 or at the drilling point BH 1 with drilling taken during a major inspection in 2017. Seepage analisys was carried out using the Geostudio Seep/W software to determine the seepage flow pattern of the dam. Meanwhile, for the analysis of the dam stability, Geostudio Slope/W software is used which will then obtain the safety factor value of the dam. The modeling carried out considers 4 conditions, namely minimum, normal, flood and rapid drawdown conditions, with the addition of OBE and MDE earthquake loads and with non earthquake loads.

According to the requerements of the Grouting Guidelines for Dams of the Departement of Public Work-SDA, which is 1% of the inflow discharge of 7,5 x 10^{-2} m^3/s, it can be concluded that the seepage discharge of the Sangiran Dam is in a safe condition, because at the normal water level of 1,5128 x 10^{-3} m^3/s, at the flood water level of 1,6309 x 10^{-3} m^3/s, and at the minimum water level of 5,8978 x 10^{-4} m^3/s. As for the safety factor for piping, the values obtained are 3,5557 for normal water level conditions, 3,4968 for flood water level, and 5,8479 for minimum water level. This shows that the Sangiran Dam is safe against piping provided that SF>3 to 4. According to SNI 8064:2016 (Method of Static Slope Analysis of Backfill Dam), the stability of the Sangiran Dam is in a safe condition. This is because the value of safety factor of the dam has met requirements, namely the most critical condition at the flood water level is 1,608 > 1,5 (safe). In condition eith an OBE earthquake load of 1,534 > 1,2 (safe). In conditions with an MDE earthquake load of 1,492 > 1,0 (safe).

Keyword : *Stability of dams, seeping, Safety Factor, Geostu*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang mempunyai potensi sumber daya alam berupa air yg sangat besar dan relatif buat dikelola dan dimanfaatkan. salah satu bentuk berasal pemanfaatannya merupakan menggunakan dibangunnya bangunan air berupa bendungan atau waduk. Bendungan atau berupa bangunan tampungan danau alam atau danau sintesis serta kolam penyimpanan.

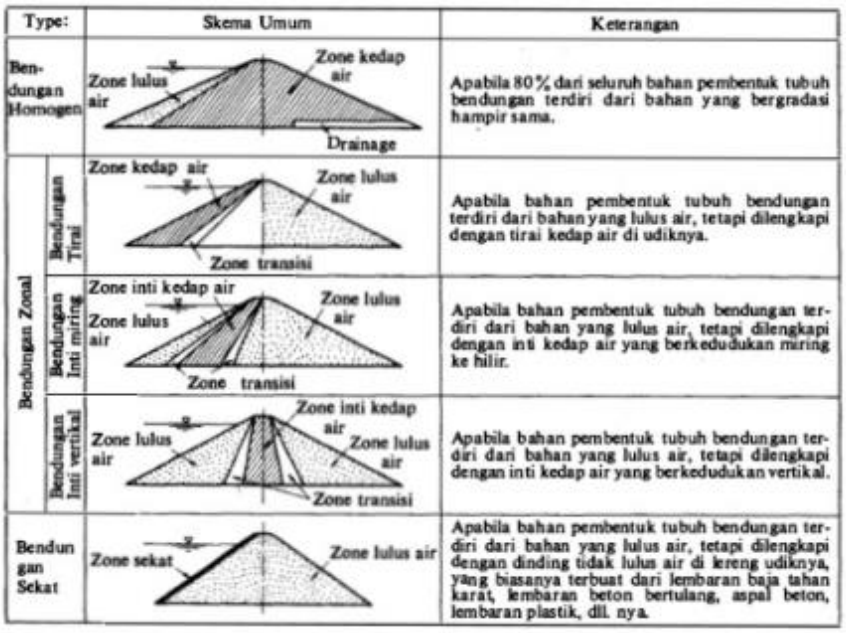
Bendungan memiliki aneka macam manfaat bagi kehidupan manusia, tapi disisi lain bendungan juga memiliki potensi bahaya yang amat sangat besar bila tidak baik pengelolaannya. Apabila terjadi keruntuhan pada bendungan maka akan menimbulkan hancurnya infrastruktur yg ada pada wilayah hilir serta bisa menyebabkan kerugian jiwa dan materi.

Bendungan ialah bengunan yg berupa urugan tanah, uruan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain buat menunda serta menampung air, dapat juga dibangun buat menunda dan menampung limbah tambang (*tailing)*, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010 perihal Bendungan).

Dari Sarono dkk (2007), bendungan memiliki beberapa fungsi serta manfaat yaitu menjadi irigasi, penyedia air standar, menjadi PLTA, pengendali banjir, perikanan dan jua menjadi kawasan pariwisata dan olahraga air. Adapun jenis-jenis bendungan menurut Sani (2008) bisa diklasifikasikan menjadi beberapa jenis/tipe yaitu bendungan sesuai ukuran, sesuai tujuan pembangunan, berdasarkan penggunaannya, sesuai jalannya air, sesuai konstruksinya, serta yang terakhir berdasarkan manfaatnya.

Sehubungan dengan manfaatnya sebagai penampung air, secara garis besar tubuh bendungan ialah hambatan rembesan air ke arah hilir dan penyangga

tampungan air tersebut. Pengelompokan bendungan berdasarkan penempatan serta susunan bahan yg menghasilkan tubuh bendungan agar dapat memenuhi fungsinya degan baik, maka bendungan dibagi menjadi 3 tipe utama yaitu bendungan urugan *(fill type dam)*, bendungan zonal serta bendungan sekat. bisa ditinjau pada Gambar 1.1 seperti dibawah ini.



Gambar 1. 1 Klasifikasi Umum Bendungan Urugan

(Sumber : Sosrodarsono dan Takeda; 1997)

Di Kabupaten Ngawi terdapat sebuah bendungan yang bernama Waduk Sangiran. Waduk tersebut berada di Desa Sumber Bening, Kecamatan Bringin, Kabupaten Ngawi, Provinsi Jawa Timur yang lokasinya masuk kategori wilayah Perbukitan dengan pemandangan Indah. Secara geografis lokasi Bendungan Sangiran berada pada koordinat 7°24'41.23"LS dan 111°36'56.60"BT. Waduk Sangiran mempunyai jarak dari Kota Ngawi sekitar 25 Km dan dari ruas jalan Propinsi dan antar Ngawi Caruban sekitar 25 Km.



Gambar 1. 2 Lokasi Bendungan Sangiran/Waduk Sangiran

(Sumber : Pemkot Ngawi; 2018)

Waduk Sangiran merupakan sebuah bendungan menggunakan konstruksi yang baru beroperasi pada tahun 2000. Bendungan ini mempunyai tipe urugan batu menggunakan ini tegak pada tengan menggunakan panjang puncaknya ialah 137.40 m, lebar 6 m dan tinggi maksimumnya 28 m. Waktu ini bendungan Sangiran sepenuhnya dikelola Oleh Balai Besar Wilayah Bengawan Solo. Waduk sangiran juga dilengkapi dengan bangunan pelimpah tipe *overflow ogee crest* dengan aspect channel.



Gambar 1. 3 Bendungan Sangiran/Waduk Sangiran

(Sumber: Google Maps)

Tujuan dibangunnya Bendungan Sangiran sebagai penyedia air irigasi buat wilayah dengan luas 18.20 km2. Bendungan Sangiran juga berfungsi sebagai tempat pariwisata serta perikanan. Dari Sosrodarsono (2002) bedungan urugan merupakan sebuah bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti krakal, batu, krikil, pasir serta pula tanah menggunakan posisi eksklusif yg lalu berfungsi sebegai pengempang atau pengangkat bagian atas air yg terdapat dalam waduk udiknya.

Menggunakan tipe urugan batu tubuh bendungan yang terdiri dari timbunan batu yang berkomosisi lepas, maka bahaya akan jebolnya bendungan sangat mampu saja terjadi. Adapun penyebab dari jebolnya bendungan itu sendiri berdasarkan Sosrodarso (2002) disebabkan oleh hal-hal menjadi berikut.

1. Longsoran yang di lereng udik ataupun lereng hilir dari tubuh bendungan itu sendiri.
2. Terjadinya sufosi akibat gaya-gaya yg ada dalam peredaran filtrasi yg terjadi di dalam bendungan.
3. Suatu konstruksi yg kaku tidak diinginkan yang terdapat dalam tubuh bendungan, karena konstruksi tersebut tidak dapat mengikuti gerakan konsolidasi dari tubuh bendungan.
4. Proses aplikasi pembangunan yang umumnya sangat sensitif terhadap impak iklim, terlebih di bendungan tanah yg dimana kelembaban optimum tertentu perlu dipertahankan terutama pada ketika aplikasi penimbunan dan pemadatannya.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 37 tahun 2010 tentang pemantauan dan pemeriksaan terhadap kondisi bendungan, bendungan perlu melakukan inpeksi akbar setiap lima tahun sekali. Adapun inpeksi besar yang dimaksudkan artinya dilakukan pengecekan kondisi bendungan baik bendungan yang mempunyai umur muda ataupun yg telah berumur tua. Stabilitas dari suatu bendungan perlu dikontrol atau dinilai pulang. Kestabilan bendungan dipengaruhi sang factor keamaan berasal bendungan itu sendiri. Bendungan yang kestabilannya terganggu akan mensugesti fungsi pemanfaatan bendungan tersebut.

Berdasarkan Nanda dan Hamdhan (2016), bendungan tipe urugan sangat beresiko terhadap keruntuhan, baik keruntuhan yg terjadi akibat beban gempa juga dari geometri bendungan itu sendiri. Sundary dan Azmeri (2013) menyatakan bahwa persyaratan primer buat kestabilan bendungan ialah tidak adanya kelongsoran lereng serta rembesan (seepage) pada bendungan.

Sebelum melakukan penelitian, sebelumnya penulis telah melakukan observasi ke Bendungan Sagiran secara langsung. Dalam pengamatan Bendungan Sangiran termasuk dalam kondisi baik karena telah mengalami proses perbaikan atau renovasi. Dengan adanya hal tersebut, muncul dibenak sang peneliti apakah adanya perbaikan tersebut adakah pengaruhnya terhadap stabilitas yang ada. Selain itu, Bendungan Sangiran telah melakukan inpeksi besar pada tahun 2017, jika dihitung sampai dengan tahun 2022 sekarang, maka sudah waktunya bendungan tersebut melakukan inpeksi kembali.

Perlu dilakukan analisis keamanan terhadap stabilitas tubuh Bendungan Sangiran yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keamaan berasal bendungan tadi yang dipandang berasal kestabilan lereng bendungan dampak rembesan serta bahaya piping yg akan terjadi. Mengingat Bendungan Sangiran tersebut artinya bendungan dengan usia lebih asal 20 tahun sebagai akibatnya bisa menyebabkan bendungan tadi kurang efektif. Penelitian ini akan mencoba menganalisis kestabilan lereng bendungan dengan analisis rembesan, menggunakan mengangkat judul : pengaruh Tinggi Muka Air Waduk Terhadap Stabilitas Lereng dan Bahaya Piping pada Bendungan Sangiran Ngawi”

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana faktor keamanan stabilitas bendungan pada kondisi muka air normal, minimum, banjir, dan surut tiba-tiba pada tubuh Bendungan Sangiran?
2. Bagaimana faktor keamanan stabilitas bendungan pada kondisi muka air normal, minimum, banjir, dan surut tiba-tiba dengan penambahan beban gempa OBE dan MDE pada tubuh Bendungan Sangiran?

3. Bagaimana faktor keamanan stabilitas guling dan geser pada Bendungan Sangiran?
4. Bagaimana pengaruh rembesan pada bahaya piping yang terjadi pada tubuh Bendungan Sangiran?
5. Bagaimana tingkat keamanan secara keseluruhan pada tubuh Bendungan Sangiran?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui faktor keamanan stabilitas bendungan pada kondisi muka air normal, minimum, banjir, dan surut tiba-tiba pada tubuh Bendungan Sangiran.
2. Mengetahui faktor keamanan stabilitas bendungan pada kondisi muka air normal, minimum, banjir, dan surut tiba-tiba dengan penambahan beban gempa OBE dan MDE pada Bendungan Sangiran?
3. Mengetahui faktor keamanan stabilitas guling dan geser pada Bendungan Sangiran?
4. Mengetahui pengaruh rembesan pada bahaya piping yang terjadi pada tubuh Bendungan Sangiran.
5. Mengetahui tingkat keamanan secara keseluruhan pada tubuh Bendungan Sangiran

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan diperoleh dari penelitian adalah mengetahui stabilitas lereng dengan cara menganalisis rembesan yang terjadi pada bendungan dengan perhitungan tinggi muka air yang berbeda-beda yaitu dengan muka air normal, muka air minimum dan muka air banjir, dan pengaruh adanya rembesan terhadap bahaya sofusi (erosi dalam atau piping) pada Bendungan Sangiran dengan menggunakan *Software Geo-Studio Seep/W* dan *Sloope/W.*

1.5. Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah yang membatasi penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tipe bendungan yang diteliti merupakan bendungan dengan tipe urugan batu dengan inti tegak di tengah.
2. Penelitan dilaksanakan di Bendunga Sangiran, Kecamatan Bringin, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur.
3. Data penyelelidikan tanah yang digunakan papa analisis adalah data yang berasal dari uji laboratorium yang bersumber dari Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah Direktorat Jendral Pengembangan Perdesaan Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo tahun 2017.
4. Bagian yang dianalisis adalah titik BH 1 karenan mempunyai potongan titik *cross section* yang paling tinggi.
5. Permodelan dilakukan dengan menggunakan empat kondisi yaitu kondisi muka air normal, muka air kering, muka air banjir dan muka air surut cepat.
6. Metode yang digunakan untuk menganalisis rembesan adalah dengan menggunakan program *Geo-Studio Seep/W.*
7. Penggambaran garis rembesan dilakukan dengan program Geotudio, perhitungan manual dengan menggunakan metode Casarande hanya digunakan untuk mengitung debit rembesan.
8. Metode yang digunakan untuk menghitung stabilitas lereng adalah dengan menggunakan program *Geo-Studio Sloope/W.*
9. Analisis beban gempa menggunakan analisis pseudotastik dengan koefisien gempa termodifikasi.
10. Beban yang ada pada puncak bendungan di abaikan.
11. Hasil dari analisis rembesan dan stabilitas dengan *Geostudio* hanya menampilkan kondisi bagian lereng yang paling kritis untuk mengetahui nilai keamanan bendungannya.
12. Data yang digunakan bersumber dari Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah Direktorat Jendral Pengembangan Perdesaan Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Banyaknya potensi sumber daya alam berupa air pada Indonesia adalah suatau kekayaan alam yang perlu dijaga, dirawat serta dipelihara keadaannya. galat satu bentuk memanfaatkan air dengan sebaik-baiknya ialah menggunakan membentuk sebuah waduk/bendungan. Bendungan berfungsi menjadi penampung air, pengendali banjir dan pula bisa sebagai irigasi. Bendungan berupa bangunan tampungan danau alam atau danau sintesis serta kolam penyimpanan.

Stabilitas suatu bendungan adalah hal yg sangat penting dilakukan pengecekan secara berulang serta terus menerus dalam jangka saat eksklusif. pada suatu bendungan yang kestabilanya terganggu maka akan berpengaruh terhadap fungsi pemanfaatan bendungan tadi. Selain itu, setiap bendungan pasti pula akan mengalami rembesan air, tapi impak rembesan air tadi terhadap bendungan tergantung dengan jenis bahan serta bentuk berasal timbunan bendungan. Bendungan Bening artinya bendungan menggunakan tipe timbunan tanah rata, sang sebab itu perlu dilakukan evaluasi terhadap kestabilan dan bahaya piping yg mungkin terjadi di bendungan tadi.

2.2. Kondisi Keamanan Struktur Bendungan

Suatu bendungan wajib dirancang serta dibangun sesuai dengan perkembangan dan kemajuan tegnologi terbaru sehingga akan aman dipergunakan pada semua kondisi yaitu normal, luar biasa dan darurat. dari sebuah jurnal juga dikatakan supaya keamanan suatu bendungan terpenuhi, maka bendungan wajib dibuat sesuai 3 kriteria pokok, yaitu menjadi berikut.

1. aman terhadap kegagalan operasional dan *structural*
2. aman terhadap kegagalan hidrolis, dan
3. aman terhadap kegagalan rembesan

Salah satu cara buat mengetahui tingkat keamanan suatu bendungan adalah menggunakan menggunakan metode-metode eksklusif, keliru satunya ialah menggunakan metode GPR. dalam sebuah penelitian yang berjudul perangkat lunak *Metode Ground Penetrating* Radar Terhadap Pola Retakan yang dilakukan di Bendungan Batu Tegi Lampung, adanya retakan yg timbul di bendungan urugan tadi sangat Mengganggu dan mengancam keselatatan wilayah tersebut. menggunakan adanya keluhan tersebut maka buat mengetahui taraf keamanan bendungan dilakukan penelitian geologi bawah tanah dengan mengunakan *Metode Ground Penetrating Radar* (GPR).

Penetrasi kedalaman menggunakan metode GPR ini sangat bergantung pada sifat listrik geologi bawah bagian atas menggunakan prinsip kerja pengirim serta penerima pulsa gelombang, sehingga akan ada struktur lapisan bawah bagian atas sebab terdapatnya anomali bawah permukaan pada radargram. hasil penelitian dari metode GPR ini menerangkan pola retakan yg timbul di urugan bendungan Batu Tegi. yang nantinya bisa digunakan buat membantu perencanaan mengevaluasi desain, kontruksi di urugan bendungan juga perencanaan mitigasi.

2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Rembesan Air Pada Bendungan

2.3.1 Faktor Pengaruh Tipe Bendungan Terhadap Rembesan Bendungan

Dalam sebuah penelitiannya Siswanto (2019), Bendungan urugan batu zonal inti tegak mempunyai geometri yang lebih kompleks dibandingkan menggunakan bendungan tanah homogen umumnya. Banyaknya bentuk-bentuk material dan geometri yang dipergunakan menyebabkan prediksi dan perhitungan sebagai lebih rumit. Adapun tujuan asal penelitian tersebut untuk mendapatkan version numeris yg dipergunakan menjadi estimasi debit rembesan sekaligus sebagai validasi pemodelan rembesan pada bendungan urugan batu inti tegak. Sedangkan buat mendapatkan pola rembesan sesuai akuisisi data rembesan melalui *V-Notch* dipergunakan metode statistic dan regesi. Dari penelitian tersebut bisa disimpulkan bahwa bendungan menggunakan model inti tegak tersebut telah relatif baik buat digunakan. Pola linier hubungan debit rembesan (q)

sesuai ketinggian muka air waduk (h) yaitu q = 0.5221h - 68.958. Koefisien determinasi di version tersebut sebesar 78.5%.

Penelitian lain oleh Waskito (2016), menunjukan bahwa untuk mengetahui struktur batuan di bawah bagian atas bumi berasal nilai tahanan jenisnya bisa memakai suatu metode yaitu Metode Resistivitas menggunakan konfigurasi Schlumberger. sebagai study perkara dilakukan di Bendungan Cengklik yang terletak pada Desa Margorejo, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Dilakukan buat menghitung dan mengetahui jumlah debit rembesan yang terjadi. berasal yang akan terjadi penelitian dengan menggunakan perangkat lunak IP2WIN yg dilukan ada lapisan zona rembesan di lapisan tuffa yang jenuh air sebagai akibatnya diketahi debit rembesan yang cukup besar yaitu nine,4576 x 10-5 m3 /s. Hal tersebur mengindikasikan, bahwa Jika terjadi suatu kesalahan kecil pada suatu bendungan urugan akan mempunyai akibat yang sangat beresiko besar.

Terakhir yaitu penelitian oleh Setyaningtyas (2019), menunjukan rembesan merupakan persoalan yang selalu terjadi di suatu tubuh bendungan. sebab kondisi tadi, perlu dilakukan analisis terhadap rembesan untuk memantau serta mengamati bentuk pola peredaran yg terjadi di rembesan tersebut serta mengetahui debit rembesannya. pada penelitian tersebut dilakukan version fisik bendungan urugan homogeny berbentuk trapezium, dengan kemiringan lereng 30 derajat dan tingkat kepatannya artinya 90 %. Dimensi bendungan ialah 3200 cm, tinggi 880 cm, serta lebar samping 1760 cm. Adapun yang akan terjadi perhitungan rembesan yang diperoleh asal penelitian tadi diperoleh dengan 3 metode perhitungan, yaitu meted empiris, metode cassagrande dan software program program *Geo studio 2012 Seep/W student version.* Kesimpulan yang diperoleh merupakan meningkat air tampungan yang ada di bagian hulu, maka debit rembesan yang dihasilkan pada hilir jua akan semakin besar . Sebaliknya yang terjadi, jika air tampungan pada bagian hulu rendah, maka debit rembesanpun pula

akan rendah. Hal tersebut memiliki arti bahwa banyaknya debit rembesan ditentukan sang syarat muka air yg ada di bagian hulu.

2.3.2 Faktor Pengaruh Tinggi MA Terhadap Rembesan Bendungan

Dalam suatu penelitian oleh Ardiansyah (2014), mengungkapkan rembesan yang berlebihan bisa berpengaruh terhadap keamanan bendungannya. Tujuan berasal penelitian ini merupakan buat mengetahui pengaruhnya fluktuasi muka air waduk terhadap debit rembesan menggunakan meninjau pola rembesan yag terjadi pada pada tubuh bendungan. Adapun yang akan terjadi yg diperoleh dari version menunjukkan pola aliran sinkron menggunakan prinsip metode Cassagrande. Akibat perhitungan menunjukkan efek fluktuasi muka air waduk sangat kecil terhadap debit rembesan menggunakan durasi rembesan mencapai rata-rata 2,5 tahun. Tapi, rembesan yg terjadi sehabis pengisian awal waduk hanya kurang lebih five bulan. Perbedaan durasi rembesan dari hasil perhitungan serta penelitian menunjukkan pemodelan belum sempurna.

Pada penelitian selanjutnya oleh Dharmayasa (2014), mengatakan kondisi keamanan berhubungan dengan perubahan ketinggian air di hulu bendungan yang mempengaruhi akbar rembesan serta keamanan lereng bendungan ketika bendungan beroperasi. Tinjauan keamanan bendungan ini dilakukan di Bendungan Benel yang terletak pada Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Propinsi Bali. Sesuai analisis yang selesai dilakukan, akibat perhitungan rembesan (q) pada tubuh bendungan menggunakan SEEP/W serta flownet membagikan bahwa debit rembesan (q) yang melewati tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan diketahui jumlahnya kurang asal 1 % terhadap debit banjir rata-rata, sebagai akibatnya telah memenuhi persyaratan keamanan yg ditentukan. Perhitungan angka keamanan bendungan menggunakan tanpa beban gempa dan dengan beban gempa, buat syarat di saat pembangunan, saat bendungan beroperasi menggunakan muka air banjir, ketika bendungan beroperasi pada isu terkini hujan (muka air ordinary), waktu bendungan beroperasi pada animo kering,

dan waktu air bendungan surut dengan cepat (*fast draw down*) saat lereng bagian hulu dan bagian hilir dengan mengunakan SLOPE/W serta dengan metode Bishop memperoleh akibat lebih besar dari yg dipengaruhi dalam RSNI M-03-2002.

Dalam penelitian lain oleh Setyawati (2018) penelitia yang dilakukan memiliki tujuan yaitu mengetahui debit air bendungan yg terserap melalui AS bendungan pada saat syarat muka air normal dan banjir, serta mengetahui nilai *component* keamanan terhadap bahaya piping. Asal hasil pemetaan geologi yang dilakukan, bendungan tersusun dari batu pasir *tuffan, tuff,* dan breksi dengan *tuff* yang mendominasi permukaan dan batupasir tuffan mendominasi bagian bawah. Debit rembesan yang diperoleh sebelum grouting pada ketika muka air regular adalah 14,33 m3 /hari serta berubah menjadi 9,49 m3 /hari, debit rembesan sebelum grouting ketika kondisi muka air banjir ialah 15,32 m3 /hari dan berubah menjadi 10,17 m3 /hari. Nilai faktor keamanan piping Bendungan Logung pada ketika sebelum di grouting artinya 1,38 serta naik sebagai 4,77 sehabis pada *grouting*.

2.3.3 Faktor Pengaruh Debit Rembesan Terhadap Stabilitas

Dalam suatu penelitian oleh Waskito (2016) tentang rembesan dengan metode resistivitas Konfigurasi Schlumberger Dan Uji Permeabilitas, bertujuan untuk menganalisis lapisan zona rembesan pada bendungan tadi serta menghitung jumlah debit rembesannya. information akibat pengukuran di lapangan berupa nilai potensial serta arus sehingga dapat dipergunakan buat menghitung nilai resistivitas semunya. Perhitungan serta pemodelan memakai *software* IP2WIN menghasilkan nilai resistivitas sebenarnya serta kedalaman setiap lapisan batuan, yang dipergunakan menjadi nilai masukan di software. Progress buat meperoleh gambaran contoh 3-D dengan memakai *software RockWork 15*, yang akan terjadi contoh diinterpretasikan lithologi batuannya menggunakan validasi isu geologi. ada lapisan zona rembesan pada lapisan tuffa yang jenuh air, serta

dihasilkan yang akan terjadi pengukuran debit rembesan dengan memakai perangkat lunak program *Slide 6.0* sebesar 9,4576 x 10-5 m3 /s.

Pada penelitian lain oleh Siswanto (2019) tentang hubungan permeabilitas waduk dengan lintasan rembesan bendungan dengan tipe urugan batu memiliki stabilitas yg lebih baik jika dibanding bendungan tanah homogen. sehingga akan memungkinkan Jika dibuat lebih ramping pada hal volume. Buat menghitung profil rembesan secara lebih akurat dipergunakan pemodelan serta perhitungan numeris. Kombinasi parameter koefisien permeabilitas (k), ketinggian muka air pada waduk (Δh) serta panjang lintasan rembesan (L) digunakan buat mengetahui korelasi antar parameter menggunakan satuan yang sama. Pemodelan 2d dilakukan di syarat jenuh/tidak jenuh dengan serta syarat tetap (regular state) di setiap parameter. Persamaan ini bisa digunakan buat memperkirakan rembesan yg terjadi pada sebuah bendungan urugan batu zonal inti tegak lainnya sesuai nilai koefisien permeabilitas baik secara lebih mudah buat semua nilai Δh serta L yang dilihat. Pola linier hubungan debit rembesan q berdasarkan ketinggian muka air waduk h yaitu q= 0,5221h-68,958. Keofisien determinasi pada model tersebut sebesar 78,5% hal ini menunjukan model tersebut sudah cukup baik untuk digunakan dan dapat digunakan sebagai validasi data pada semua jenis permodelan.

2.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Pada Bendungan

2.4.1 Faktor Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Stabilitas

Dalam penelitian oleh Sompie (2015) tentang pengaruh konsolidasi terhadap deformasi, untuk memenuhi sumber pangan serta pertumbuhan ekonomi, wilayah irigasi terutama bendungan harus di desain buat mampu menampung cadangan air secara lebih premier. Pada suatu perencanaan taanggul diperlukan penyelidikan tanah, terutama pada ketika menentukan ciri yaitu sifat fisik serta mekanik suatu lapisan tanah pada lokasi penelitian menggunakan menggunakan analisis geoteknik harus dilakukan menggunakan baik pada lapangan dan pada laboratorium. dari hasil penelitian yg telah dilakukan, menggunakan memakai perhitungan Plaxis

sesuai Metode Elemen hingga buat menganalisis nilai deformasi dengan lima tahapan konstruksi konsolidasi setinggi dua centimeter selama 150 hari memberikan nilai issue keamanan 1.295. bisa disimpulkan, jenis tanah yang digunakan pada suatu bendungan bisa mensugesti taraf keamanan dan daya stabilitasnya.

Dalam penelitian lain oleh Azmeri (2013) tentang observasi garis freatis pada model bendungan berdasarkan kepadatan tanah , stabilitas suatu bendungan sangat bergantung di besar kecilnya rembesan yg terjadi. Penelitian yang dilakukan bertujuan buat melihat serta mengamati pola aliran garis freatis yg terjadi dan menghitung debit rembesan yang didapatkan bendungan. Penelitian dilakukan dengan version tubuh bendungan yg terbuat berasal tanah lempung kekuning-kuningan menggunakan memvariasikan tingkat kepadatan tanahnya sebesar 60%, 65%, dan 70%. Pola aliran rembesan dihitung dengan menggunakan teori perhitungan aliran yaitu metode Dupuit, metode Schaffernak, serta metode Cassagrande. di syarat kepadatan tanah 60%, 65%, dan 70% hanya pada syarat air tampungan 55 cm saja yang bisa memenuhi metode Cassagrande. disparitas debit yag dihasilkan dari akibat perhitungan dan penelitian menunjukkan bahwa kalibrasi pemodelan belum sempurna. hasil menunjukkan bahwa meningkat tingkat kepadatan tanah pada tubuh suatu bendungan maka akan semakin mungil debit rembesan yang didapatkan.

2.4.2 Faktor Pengaruh Tinggi Muka Air Terhadap Stabilitas

Dalam penelitian oleh Tjokorda (2016) tentang stabilitas lereng, penelitian ini untuk mengetahui stabilitas lereng tanah pada bendungan, mengetahui manfaat pemasangan Geotekstil terhadap kestabilan lereng serta terhadap arah serta peredaran rembesan. Analisis dilakukan menggunakan menggunakan beberapa metode diantaranya ialah metode irisan *Bishop*, metode *Fellinius*, dan Metode Janbu. Sebab penelitian memakai metode lebih yg banyak maka diperlukan alat bantu hitung buat membantu menuntaskan penelitian ini. alat bantu yg dimaksud artinya acara personal komputer yaitu *GeoStudio2007* dengan fitur *SLOPE/W*. Hasil yg

diperoleh asal analisis stabilitas lereng bendungan Titab menggunakan pemasangan geotekstil yaitu manfaat asal pemasangan geotekstil tipe/berukuran D17 serta D15 di bendungan Titab diantaranya menjadi separator, menjadi filter, meningkatan nomor keamanan kestabilan lereng dibandingkan dengan tanpa geotekstil. Manfaat geotekstil terhadap rembesan yaitu memperpendek arah sirkulasi rembesan air di tubuh bendung dan tidak sampai ke lereng bagian hilir, memperkecil berat volume (γsat), semakin stabil sebuah lereng. menggunakan demikian maka lereng bagian upstream bendungan Titab yang memakai Geotekstil berukuran D17 serta D15 menjadi filter serta drainase ini berada di kondisi stabilitas lereng yang *safety*.

Dalam peneitian lain oleh Hanan (2014) tentang stabilitas lereng dengan gempa, stabilitas bendungan merupakan salah satu persyaratan krusial yang wajib dipenuhi pada pembangunan suatu bendungan. Simulasi yg dipergunakan yaitu menggunakan memakai gempa kala ulang 100 tahun (OBE) serta gempa kala ulang 10,000 tahun (MDE) yg meliputi 4 syarat bendungan yaitu syarat waduk kosong, muka air normal, Intermediate, banjir dan surut cepat. Akibat yg diperoleh dalam analisa ini ialah menggunakan restrict Equilibrium method simulasi manual dapat disimpulkan Bendungan Jatigede dikatakan tidak *safety* hanya pada simulasi *Geostudio Slope/W* menggunakan gempa kala ulang 10,000 tahun (MDE) di syarat muka air *Intermediate* pada hulu, muka air *everyday* di hulu serta di syarat surut cepat pada hulu sebab nilai faktor keamanan dibawah satu (SF < 1). Adapun menggunakan melakukan simulasi ini dapat diketahui potongan bendungan dengan longsoran di hulu dan hilir juga deformasi di tubuh Bendungan Jatigede. Untuk kondisi yg tidak *safety*, bisa dilakukan perhitungan lanjutan menggunakan metode *Newmark* dan *MakdisiSeed.*

Kemudian dalam penelitian lain oleh Dipa (2017) tentang evaluasi keamanan bendungan, penelitian tersebut bertujuan untuk evaluasi terhadap keamanan tubuh bendungan tersebut buat mengetahui tingkat kestabilan

bendungan tersebut. Penilaian keamanan tubuh Bendungan dilaksanakan di 2 stasiun yaitu stasiun 03+50 serta stasiun 06+00 yg meliputi analisis rembesan Cassagrande dan analisis pseudostatik menggunakan koefisien gempa termodifikasi sebagai beban gempa. Adapun akibat asal dua analisis ini akan digunakan buat melakukan analisis stabilitas bendungan dengan menggunakan *Plaxis 8.2 model 2d* menggunakan tanpa gempa serta dampak beban gempa sesuai syarat muka air waduk kosong, normal, penuh dan surut cepat. asal dua stasiun bendungan tadi, syarat tanpa gempa, yang akan terjadi Plaxis memberikan di stasiun 03+50 dinyatakan tak *safety* sebab nilai SF tidak sinkron menggunakan yang disyaratkan.

Dalam penelitian yang lain juga oleh Bentara (2021) tentang analisis stabilitas tubuh bendungan, analisis rembesan dilakukan dengan menggunakan metode cassagrande dan stabilitasnya dengan metode fellinus. Hasil yang diperoleh meunjukan secara keseluruhan stabilitas Bendungan Dawuhan berada pada posisi aman karena mempunyai nilai SF di atas persyaratan yang ditetapkan. Untuk bahaya piping pada bendungan pada kondisi muka air paling kritis yaitu pada saat banjir diperoleh nilai sf sebear 6,2863 > 3.

2.5. Pengaruh Bahaya Piping Pada Bendungan

Dalam penelitian oleh Muhammad (2012) tentang kajian ulang groundsill, adanya pembangunan *groudsill* bisa mengembalikan kondisi sungai dan, menjaga bangunan Bendungan gerak, dan mengatur arus sungai. *Groundsill* merupakan suatu struktur ambang melintang yang di bangun pada alur sungai yg bertujuan buat mengurangi kecepatan arus dan menaikkan laju pengendapan pada bagian hulu struktur. Berdasarkan hal tersebut, penulis ingin menganalisis stabilitas *Groundsill* baik dipandang dari keamanan terhadap bahaya gerusan, bahaya rembesan (piping), keamanan terhadap daya dukung tanah, serta kemanan terhadap bahaya geser di saat debit banjir. Yang akan terjadi yg didapatkan sesuai anilisis yg pada lakukan adalah *groundsill* bendung gerak *safety* dari bahaya rembesan (piping) sebab nilai *weight creep ratio* hitung lebih besar daripada *weight creep ratio* buat tanah berjenis pasir halus. *Groundsill* bendung aman asal bahaya geseran saat banjir.

Groundsill tidak *safety* berasal daya dukung tanah karena nilai tekanan lebih akbar daripada daya dukung tanah. *Groundsill safety* dari bahaya gerusan.

2.6. Keaslian Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini membahas tentang pengaruh tinggi muka air terhadap stabilitas lereng dan bahaya piping pada tubuh bendungan dengan menggunakan program *Geo-Studio Slope/W* dan *Seep/W* pada Bendunan Sangiran di Ngawi. Penelitian ini belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga keaslian penelitian ini dapat dipertanggung jawabkan. Berikut perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Variabel Tinjau	Penelitian Terdahulu							Penelitian yang kini dilakukan
Peneliti	Hanan, dkk (2014)	Ardiansyah, dkk (2014)	Dharmayasa, dkk (2014)	Tjokorda, dkk (2016)	Dipa (2017)	Siswanto (2019)	Bentara (2021)	Astarina (2021)
Judul	Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Jatigede Dengan Parameter Gempa Termodifikasi	Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk Terhadap Debit Rembesan Menggunakan Model *SEEP/W*	Analisis Keamanan Lereng Bendungan Utama Pada Bendungan Benel di Kabupaten Jembrana	Analisis Stabilitas Lereng Pada Bendungan Titab	Evaluasi Keamanan Tubuh Bendungan Saradan	Estimasi dan Evaluasi Debit Rembesan Pada Bendungan Urugan Batu Zonal Inti Tegak	Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Dawuhan	Pengaruh Tinggi Muka Air Terhadap Stabilitas Lereng dan Bahaya Piping Pada Tubuh Bendungan Sangiran
Metode Penelitian	Menggunakan gempa kala ulang 100 tahun (OBE) dan gempa kala ulang 10,000 tahun (MDE) yang mencakup 4 kondisi bendungan yaitu kondisi waduk kosong, muka air normal, *Intermediate*,banjir dan surut cepat yang dihitung dengan *Limit Equilibrium Method* simulasi program	Pola rembesan yang terjadi di dalam tubuh bendungan dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak *SEEP/W* tipe steady-state. Data permeabilitas yang digunakan merupakan data saat pelaksanaan konstruksi yang diasumsikan sama dengan kondisi pada saat ini.	Perhitungan rembesan tubuh bendungan menggunakan*SEEP/W* dan flownet. Padaperhitungan angka keamanan bendungan tanpa beban gempa dan dengan beban gempa, kondisisaat pembangunan, saat bendungan beroperasi dengan muka air banjir, saat bendungan beroperasi pada	Menggunakan beberapa metode diantaranya adalah metode irisan Bishop, metode Fellinius, dan Metode Janbu. Karena penelitian menggunakan metode lebih yang banyak maka diperlukan alat bantu hitung untuk membantu menyelesaikan penelitian ini. Alat bantu yang dimaksudkan	Evaluasi dilakukan pada 2 stasiun yaitu stasiun 03+50 dan stasiun 06+00 yang meliputi analisis rembesan cassagrande dan analisis pseudostatik dengan koefisien gempa termodifikasi sebagai beban gempa. Hasil dari dua analisis ini akan digunakan untuk melakukan analisis stabilitas	Untuk mendapatkan model numeris yang dapat digunakan sebagai estimasi debit rembesan sekaligus sebagai validasi permodelan dengan menggunakan hokum Darcy dan Cassagrande	Mengetahui angka keamanan bendungan terhadap stabilitas dan rembesan pada kondisi muka air banjir, normal, minimum dan surut cepat dengan menggunakan metoode fellinus untuk stabilitas dan cassagrande untuk rembesan	Analisis yang digunakan untuk mengetahui stabilitas lereng bendungan adalah dengan menggunakan program *Geo-Studio Slope/W* dan *Seep/W* untuk menghitung nilai rembesan yang terjadi.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Variabel Tinjau	Penelitian Terdahulu							Penelitian yang kini dilakukan
			musim kemarau, dan saat air bendungan surut dengan cepat ketika lereng bagian hulu dan bagian hilir mengunakan *SLOPE/W* dan metode Bishop.	*Adalah dengan* program computer*GeoStudio2007* dengan fitur *SLOPE/W*.	menggunakan*Plaxis* 8.2model 2D dengan tanpa gempa dan akibat beban gempa berdasarkan kondisi muka air waduk kosong, normal, penuh dan surut cepat.			
Lokasi	Bendungan Jatigede	Bendungan Benel	Bendungan Benel	Bendungan Titab	Bendungan Saradan	Bedungan Urugan Batu Zonal	Bendungan Dawuhan	Bendungan Sangiran
Hasil Penelitian	Hasi diperoleh dengan LEM simulasi manualdisimpulkan bahwa Bendungan tidak aman pada simulasi *Geostudio Slope/W* dengan gempa kala ulang 10,000 th pada muka air *Intermediate* di hulu, muka air normal di hulu dan kondisi surut cepat di hulu karena nilai (SF < 1).	Hasil menunjukkan pengaruh fluktuasi muka air waduk sangat kecil pada debit rembesan dengan durasi rembesan mencapai rerata 2,5 tahun. Tetapi, rembesan yang terjadi setelah pengisian awal waduk hanya sekitar 5 bulan. Perbedaan durasi menunjukkan pemodelan belum sempurna.	Hasil perhitungan rembesan pada tubuh bendungan menunjukkan bahwa debit rembesan memenuhi syarat keamanan. Perhitungan mengunakan *SLOPE/W* dan dengan metode Bishop memperoleh hasil lebih besar dari ketentuan RSNI M-03-2002.	Hasil yang diperoleh adalah manfaat geotekstil terhadap rembesan membuat lereng bagian upstream bendungan Titab yang menggunakan Geotekstil ukuran D17 dan D15 sebagai filter dan drainase ini berada pada kondisi stabilitas lereng yang aman.	Hasil Plaxis dari dua stasiun bendungan tersebut, kondisi tanpa gempa, hasil Plaxis menunjukkan pada stasiun 03+50 dinyatakan tidak aman karena nilai SF tidak sesuai dengan yang disyaratkan.	Pola linier hubungan rembesan berdasarkan ketinggian muka air waduk yaitu q= 0,5521h-68,958. Koefisien determinasi sebesar 78,5% nilai yang mengidentifikasi bahwa model tersebut sudah cukup baik untuk digunakan dan dapat diunakan sebagai validasi data.	Keamanan tubuh Bendungan Dawuhan aman, dimana kondisi paling kritis yaitu *rapid drawdown* (surut cepat). Pada kondisi tanpa gempa nilai paling kritis sebesar 2,568 > 1,5 (Aman). Pada kondisi gempa OBE sebesar 2,191 > 1,2 (Aman). Pada kondisi gempa MDE sebesar 1,419 > 1 (Aman).	

Sumber : Tugas Akhir Hanan(2014), Ardiyansyah(2014), Dharmayasa(2014), Tjokorda(2016), Dipa(2017), Siswanto(2018) dan Bentara(2021)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Bendungan

Dalam bukunya, Kartasapoetra (1991) menyebutkan bahwa bendungan ialah suatu bangunan air yg dibangun secara melintang sungai, sedemikian rupa agar permukaan air sungai disekitarnya bias naik hingga di ketinggian tertentu sehingga air di sungai tadi bisa dialirkan melalui pintu-pintu sadap ke saluran pembagi lalu menuju lahan-lahan pertanian.

Dalam bukunya, Asiyanto (2011) juga menjelaskan bahwa manfaat dan tujuan pembangunan suatu bendungan ada 2, yaitu sebagai berikut ini.

1. Sebagai *Single Purpose Reservior*

   Bedungan hanya berfungsi sebagai penyedia air, terutama untuk industry pertambangan misalnya, dimana umur bendungan akan tergantung pada deposit sumber daya tambang yang ada. Jika deposit tambang telah habis, aktivitas penambangan akan terhenti dan bendungan otomatis tidak dapat digunakan lagi. Selain itu, fungsi bendungan juga untuk memasok air ke kota, yang kemudian dapat digunakan kembali sebagai tempat wisata karena bentuknya seperti danau.

2. Sebagai *Multi Purpose Reservior*

   Manfaat bendungan tumbuh dari waktu ke waktu. Setelah melalui kajian mendalam, manfaat bendungan dapat dirinci, antara lain:

   a. sebagai penyedia air industri dan penduduk,
   b. sebagai irigasi untuk pertanian,
   c. sebagai penambah kualitas air,
   d. sebagai alat transportasi air,
   e. sebagai pelindung jiwa dan harta benda,
   f. sebagai penyedia energi listrik bagi penduduk dan industri, dan

g. sebagai peningkat taraf hidup.

Umur bendungan tergantung pada proses pelaksanaan dan bahan konstruksi yang digunakan saat bendungan dibangun. Banyak sekali bendungan yang masih bisa beroperasi meski usinya sudah ratusan tahun. Bendungan yang dikelola dengan baik akan memiliki umur yang sangat panjang, dan jika bendungan tersebut dikerjakan dengan buruk maka hasilnya juga akan buruk, tidak sesuai dengan umur yang direncanakan.

3.2. Pembagian Tipe Bendungan

Dalam bukunya, Soedibyo (1993) mengklasifikasikan bendungan menjadi beberapa jenis, diantaranya bendungan berdasarkan ukurannya, berdasarkan tujuan pembangunannya, berdasarkan peruntukannya dan terakhir berdasarkan konstruksinya.

3.2.1. Bendungan Berdasarkan Ukurannya

Menurut ukurannya, bendungan dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut ini.

1. *Large Dams* atau Bendungan Besar

   Bendungan yang tergolong bendungan besar menurut ICOLD ialah:

   a. Mempunyai tinggi lebih dari 15 m, yang diukur mulai dari bagian paling bawah yaitu pondasi sampai dengan puncak bendungan.
   b. Mempunyai tinggi antara 10 – 15 m dapat dikatakan sebagai bendungan besar apabila memenuhi kriteris yaitu panjang puncaknya lebih dari 500 m, daya tampung waduknya melebihi 1 juta m^3, debit banjir maksimal tidak kurang dari 2000 m^3/detik, bedungan mempunyai masalah khusus terutama di bagian pondasinya dan yang terakhir desain bendungan tidak seperti biasanya.

2. *Small Dams* atau Bendungan Kecil

   Bendungan kecil merupakan bendungan yang fisiknya tidak mempunyai karakteristik seperti yang digambarkan pada bendungan besar.

3.2.2. Bendungan Berdasarkan Tujuan Pembangunannya

Bendungan yang dikategorikan menurut tujuan pembangunannya dikategorikan menjadi 2 tipe yaitu sebagai berikut ini.

1. *Single Purpose Dams* atau Bendungan Dengan Tujuan Tunggal

   Bendungan tersebut hanya mempunya satu tujuan pembangunan saja. Seperti contoh bendungan dibangun untuk irigasi atau pembangkit listrik saja, atau bendungan yang dibangun sebagai pegendali banjir atau untuk perikanan saja.

2. *Multipurpose Dams* atau Bendungan Serbaguna

   Tujuan dibangunnya bendungan tersebut bermacam-macam. Seperti contoh bendungan dibangung sebagai pengendali banjir, pembangkit listrik, irigasi dan juga pariwisata secara bersamaan.

3.2.3. Bendungan Berdasarkan Penggunaannya

Berdasarkan penggunannya, bendungan diklasifikasikan menjadi 3 tipe yaitu sebagai berikut.

1. *Storage Dams* atau Bendungan Membentuk Waduk

   Bendungan dikhususkan untuk membentuk waduk saja guna saat waduk kelebihan air, waduk dapat meyimpannya sehingga air apat digunakan pada waktu diperlukan.

2. *Diversion Dams* atau Bendungan Pembelok Air/Penangkap

   Bendungan khusus dibangun dengan mempunyai permukaan air yang lebih tinggi sehingga dapat mengalir masuk ke saluran terowongan air.

3. *Detension Dams* atau Bendungan Untuk Memperlambat Jalannya Air

   Bendungan dibangun khusus untuk memperlambat aliran air sehingga banjir besar dapat dicegah.

3.2.4. Bendungan Berdasarkan Konstruksinya

Bendungan dengan tipe ini dapat dikelompokkan menjadi 2 tipe yaitu sebegai beikut.

1. Bendungan Urugan atau *Fill Dams*

Menurut ICOLD bendungan urugan merupakan bendungan yang dibangun dari hasil peggalian material tanpa tambahan lain yang sifatnya campuran secara kimia, melainkan asli bahan pembentuk bendungan. Tipe bendungan ini dapat dibagi menjadi 3 tipe yaitu :

a. Bendungan urugan serbasama (*homogeneous dams*)

b. Bendungan urugan berlapis-lapis (*zone dams, rockfill dams*)
Bendungan ini terdiri atas beberapa lapisan yaitu lapisan kedap air (*water tight layer*), lapisan batu (*rock zones, shell*), lapisan batu teratur (*rip-rap*) dan lapisan pengering (*filter zones*).

c. Bendungan urugan batu dengan lapisan kedap air di muka (*impermeable face rockfill dams, decked rockfill dams*)

Lapisan kedap air pada bendungan ini diletakkan di sebelah hulu bendungan dan material yang sering dipakai adalah aspal dan beton bertulang.

2. Bendungan Beton atau *Concrete Dams*

Bendungan dengan tipe seperti ini dibangun dengan menggunakan konstruksi Benton dengan menggunakan tulangan maupun tidak menggunakan tulangan. Bendungan beton dikelopmpokan menjadi 4 tipe yaitu sebagai berikut.

a. Bendungan beton berdasar berat sendiri atau *concrete gravity dams*
Bendungan beton ini didesain untuk menahan beban dan gaya yang bekerja padanya hanya dengan berat sendiri saja..

b. Bendungan beton dengan penyangga atau *concrete buttress dams*
Bendungan beton ini mempunyai penyangga untuk menyalurkan gaya-gaya yang bekerja padanya. bendungan ini banyak dipakai apabila sungainya sangat lebar dan kondisi geologi baik.

c. Bendungan beton berbentuk lengkung atau *concrete arch dams*
Merupakan bendungan beton yang didesain untuk menyalurkan gaya-gaya yang bekerja padanya lewat abutmen kiri dan abutmen kanan bendungan.

d. Bendungan beton kombinasi atau *combination concrete dams, mixed type concrete dams*
Bendungan ini merupakan kombinasi antara lebih dari satu tipe. Bendungan beton berbentuk lengkung berdasar berat sendiri disebut *concrete arch gravity dams.* Sedangkan bendungan beton dengan gabungan dari beberapa lengkung disebut *concrete multiple arch dams*.

3.3. Bendungan Urugan

Menurut SNI 03-1731 definisi dari bendungan urugan adalah setiap penahan buatan, baik tipe urugan maupun tipe yang lainnya yang dapat menampung air atau

menampung air baik secara alami maupun buatan, termasuk pondasi, ebatmen, bengunan pelengkap serta pelengkapnya.

Dalam bukunya, Suyono (1989) mengungkapkan bahwa bendungan urugan merupakan bendungan yang dibangun dengan cara menimbun bahan-bahan seperti batu, kerikil, krakal, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat dari dalam waduk di udiknya.

Adapun berdasarkan pada gradasi dari bahan timbunan yang digunakan, secara umum bendungan urugan dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu sebagai berikut ini.

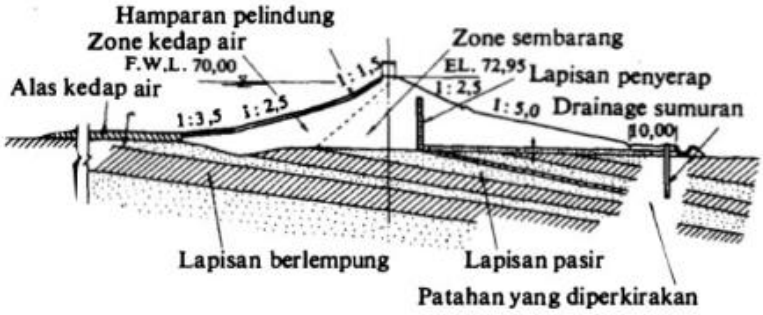
1. *Rock Fill Dam* (Bendungan urugan Batu) atau dikenal dengan nama "Bendungan Batu".
2. Earth Fill Dam (Bendungan Urugan Tanah) atau dikenal dengan nama "Bendungan Tanah".

Selain kedua jenis tersebut, Suyono juga mengatakan bahwa ada bendungan urugan campuran yang terdiri dari pegunungan batu yang berfungsi sebagai bahan bantalan di hilir, dan bendungan yang terbuat dari bahan tanah yang berfungsi sebagai penopang tambahan di pedesaan, berfungsi sebagai penyangga tirai tahan air.

Menurut suyono (1989), ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan dibedakan menjadi 3 tipe yaitu sebagai berikut ini.

1. Bendungan Urugan Homogen

Bendungan Homogen terbentuk dari bahan tanah yang hampir sejenis dan susunan ukuran butirannya seragam. Tubuh bendungan ini memiliki fungsi ganda yaitu sebagai struktur penahan dan juga sebagai penahan rembesan air seperti pada gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Contoh Potongan Melintang Bendungan Urugan

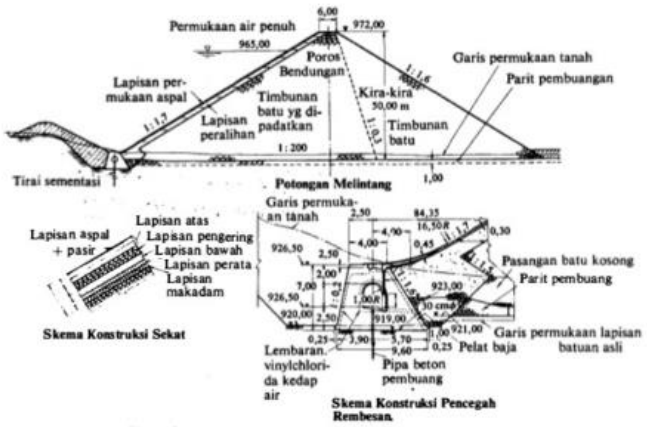
(Sumber: Sosrodarsono, 1989)

2. Bendungan Urugan Zonal

Bendungan Zonal terbentuk dari bahan material yang tersusun dari batuan berbeda gradasinya pada stratifikasi tertentu. Pada bendunga ini, tekanan air diterapkan pada bagian bantalan lereng lurus, dan beban diterapkan pada bagian penahan rembesannya dibebankan pada timbunan yang kedap air.

3. Bendungan Urugan Bersekat

Bendungan urugan bersekat di lereng udik bendungan itu sendiri dilapisi dengan sekat kedap air seperti pelat baja tahan karat, beton aspal, pelat beton bertulang, lantai plastik, struktur blok beton dan lain-lain.



Gambar 3. 2 Contoh Rencana Teknis Bendungan Sekat

(Sumber: Sosrodarsono, 1989)

3.4. Kelemahan Dan Keistimewaan Bendungan Urugan

Sosrodarsono (1981) dalam bukunya mengemukakan bahwa bendungan urugan memiliki beberapa kelemahan dan keistimewaan yaitu sebagai berikut.

1. Kelemahan bendungan urugan adalah bendungan tersebut tidak dapat menahan arus keluar dari puncak. Tumpahan ini dapat menyebabkan longsoran di hilir dan menyebabkan bendungan jebol.
2. Keistimewaan bendungan urugan, antara lain sebagai berikut.
   a. Secara struktural, bendungan dapat diterapkan di hampir semua kondisi geologi dan geografis, dan
   b. Material yang digunakan untuk membangun tubuh bendungan mungkin saja berupa batu-batuan disekitar bendungan.

3.5. Rembesan Bendungan

Air yang tersimpan dalam suatu waduk akan cenderung mencari jalan keluar ke bagian yang lebih rendah, terutama ke bagian hilir. Rembesan merupakan air waduk yang mencari jalan keluar melalui material yang porus atau suatu rekahan baik yang ada di dalam tubuh maupun pondasi bendungan. Tekanan maupun gaya air dari rembesan yang terjadi dapat menimbulkan akur air baru atau memperbesar alur ekisting hingga bendungaan akan rekah. Jadi, pengendalian rembesan merupakan suatu hal yang perlu dilakukan karena merupakan faktor penting terkait kondisi keamanan bendungan.

3.5.1. Teori Rembesan

Hukum Darcy dapat digunakan untuk menghitung debit rembesan yang melalui struktur bendungan. Hal ini diperlukan ketika merencanakan bendungan, perlu diperhatikan stabilitas terhadap tanah longsoran, erosi lereng dan resiko kerugian air akibat rembesan dari tubuh bendungan. Teori rembesan jenuh air dan kondisi yang disederhanakan merupakan salah satu teori yang dapat digunakan sebagai dasar perancangan dan estimasi biaya. Adapun metode analisis yang digunakan didasarkan pada persamaan Darcy yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1 berikut ini.

$$q = k.i.A \qquad (3.1)$$

Dengan :

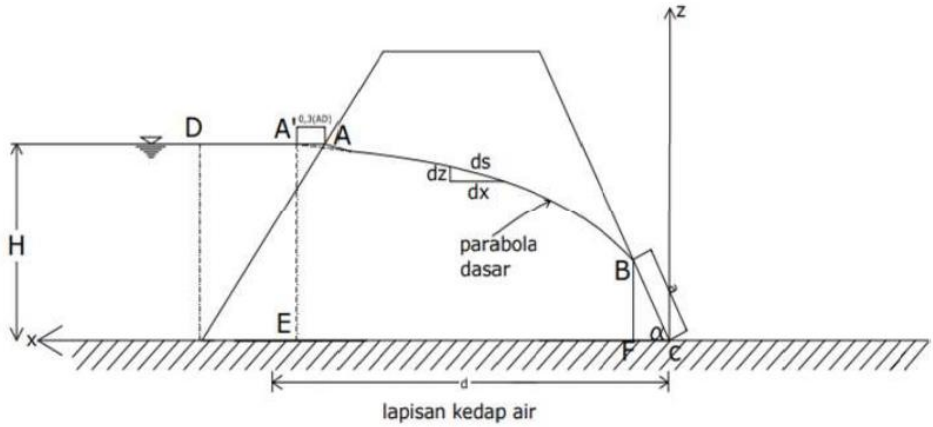
q = Debit rembesan (m3/s)

i = Gradien hidraulik tanpa dimensi

A = Luas potongan yang ditinjau (m2)

k = Koefisien permeabilitas (m/s)

Metode Cagrande (1937) dalam bukunya, Hardiyatmo (2018) memberi cara menghitung rembesan yang melewati tubuh bendungan yang berasal dari pengujian model. Parabola AB berawal dari titik A' seperti yang terdapat pada gambar, dengan A'A = 0,3 x AD. Pada modifikasi ini nilai d yang digunakan dalam prsamaan merukapan jarak horizontal antara titik E dan C.



Gambar 3. 3 Perhitungan Metode Rembesan Casagrande

(Sumber: Hardiyatmo, 2018)

Besarnya debit rembesan dapat ditentukan degan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 sebagai berikut ini.

$q = ka \sin^2\alpha$ (3.2)

$\alpha = \sqrt{d^2 + H^2} - \sqrt{d^2 - H^2 ctg^2 a}$ (3.3)

dengan :

q = debit rebesan (m^3/s)

k = koefisien permeabilitas (m/s)

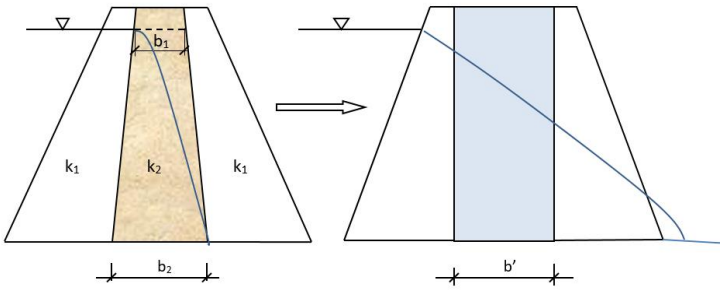
α = sudut hilir tanggul (°)

d = jarak horizontal antara E dan C (m)

a = panjang zoa basah (m)

H = tinggi muka air (m)

Dalam penelitian ini, kondisi bendungan yang sedang ditelitimerupakan bendungan dengan tipe unisotropik tatau dalam art lain terdapat lapisan lapisan yang terdapat pada tubuh bendungan. Lapissan tanah yang ada pada tubuh bendungan meruakan taah berlapis arah horizontal. Dapat dilihat pada gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3. 4 Gambar Tanah Berlapis Horizontal

Dengan adanya peristiwa tersebut, maka untuk mencari nilai K (koefisien permeabilitas) dapat dilakukan dengan persamaan 3.6 dan persamaan 3.7 sebagai berikut.

$K_{eq} = \sqrt{Kx \,.\, Kz}$ (3.4)

$K_x = \frac{\sum kxi \,.Li}{L}$ (3.5)

$K_z = \frac{L}{\sum \frac{Li}{kzi}}$ (3.6)

Dengan :

K_{eq} = koefisien permeabilitas (m/s)

Kx = koefisien permeabilitas perlapisan (m/s)

Kx = koefisien permeabilitas perlapisan (m/s)

Li = tebal bendungan ke i

L = tebal bendungan (m)

3.5.2. Rembesan Dengan Seep/W

SEEP/W merupakan salah satu komponen dari produk GeoStudio dengan menggunakan basic CAD terbatas untuk menganalisis rembesan air dan masalah

disipasi tekanan air pori berlebih dalam bahan yang berpori misalkan tanah dan batuan. Komponen yang komprehensif memungkinkan bisa mempertimbangkan analisis mulai dari yang paling sederhana, masalah kondisi jenuh *steady-state* sampai dengan masalah pada 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).

Perhitungan analisa pada stabilitas lereng dapat menggunakan beberapa program komputer yang dapat mempermudah menganalisa lereng. Untuk lereng pada bendungan Bening ini dianalisa dengan menggunakan program komputer Geo-Studio2012. *SEEP/W* merupakan program yang digunakan untuk menganalisis rembesan air. Salah satu aplikasinya dalam bendungan adalah menganalisis rembesan yang melewati tubuh dan fondasi bendungan, infiltrasi air lewat drainase dan sumur injeksi. *SEEP/W* mampu memodelkan kondisi-kondisi, yaitu :

1. analisis *steady* dan *transient,*
2. cara pandang 2-dimensional, Axisymmetric, dan plan,
3. *infinite element,*
4. batasan kondisi berupa tekanan atau jumlah aliran air,
5. batasan kondisi yang berubah berdasarkan waktu,
6. benggambaran garis phreatik dengan kondisi tidak jenuh diatasnya, dan
7. infiltrasi akibat hujan.

Adapun untuk menganalisis rembesan pada kondisi *steady* pada kasus bendungan urugan dengan *SEEP/W*, input yang dibutuhkan adalah Koefisien Permeabilitas (m/s), Total Head (m) dan Unit flux (m/s). Tidak jauh berbeda dengan analisis model Slope/W, adapaun tahapan-tahapan permodelan dengan menggunakan Seep/W adalah sebagai berikut.

a. Peneliti harus memastikan Geo-Studio 2012 yang digunakan adalah yang Full License agar semua fitur dapat dipakai dan diganakan untuk kepentingan menganalisa suatau rembesan.
b. Kemudian memasukkan data meterial yang terdapat pada bendungan Bening.

c. Setelah memasukkan jenis material, langkah selanjutnya kemudian memasukkan data-data lab yang ada diantaranya kepadatan, kohesi, volume dan lain-lain. Caranya bisa memakai menu *KeyIn Materials.*
d. Setelah semua terinput baik itu dimensi (gambar) bendungan Sangiran, jenis material yang digunakan, dan juga memasukkan data-data hasil uji laboratorium, maka langkah terakhir adalah menjalankan menggunakan fasilitas "*Solve Analysis*".

3.6. Bahaya Piping

Erosi buluh sering terjadi pada kondisi urugan yang berkohesi. Proses ini dimulai dengan adanya diskontinuitas di hilir atau konsentrasi aliran air di hilir. Faktor keamanan dinyatakan sebagai rasio antara gradient kritis (Ic) dengan komponen vertical dari gradient keluaran. Menurut Harza (1935) dan Hardiyatmo (2018) nilai faktor keamanan bangunan air terhadap erosi buluh atau piping yang berupa perbandingan antara nilai gradien hidrolik kritis dengan gradien keluar maksimum harus lebih besar dari 3 sampai dengan 4. Hasil tersebut dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut ini.

$$\text{FK} = \frac{Ic}{Ie} \geq 3\frac{s}{d}4 \qquad (3.7)$$

$$\text{Ic} = \frac{\gamma}{\gamma w} = \frac{Gs-1}{1+e} \qquad (3.8)$$

Dengan :

FK = Faktor keamanan tanpa dimensi

Ic = Gradien keluaran kritis tanpa dimensi

Ie = Gradien keluaran dari hasil analisis rembesan

ɣ' = Berat volume efektif terendam (t/m3)

ɣw = Berat volume air (t/m3)

Gs = Gravity spesifik tanpa dimensi

e = Angka pori tanpa dimensi

3.7. Stabilitas Lereng Pengaruh Gempa

SNI 8064:2016 dibahas tentang analisis stabilitas lereng statik bendungan tipe urugan dengan nilai faktor kemanan dalam berbagai kondisi. Faktor keamanan untuk stabilitas suatu lereng bendungan dapat diartikan sebagai perbandingan dari total tahanan geser tanah yang diperbolehkan terhadap tegangan geser tanah. Adanya keamanan disini diperuntukkan untuk mempertahankan keseimbangan sepanjang permukaan bidang yang mempunyai potensi kelongsoran atau tergelincir. Adapun persyaratan faktor keamanan untuk berbagai kondisi bendungan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Kriteria Nilai Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Bendungan Urugan

No	Kondisi	Kuat Geser	Tekanan Air Pori	FK Tanpa Gempa	Fk Dengan Gempa
1	Selesai Konstruksi tergantung : 1. Jadwal konstruksi 2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu Lereng U/S dan D/S Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 50% koefisien gempa desain	1. Efektif	Peningkatan tekanan air pori pada urugan dan pondasi dihitung menggunakan dana lab dan pengawasan instrumen	1,3	1,2
			Idem hanya tanpa pengawasan instrument	1,4	1,2
			Hanya pada urugan tanpa dan dengan/tanpa pengawasan instrument	1,3	1,2
		2. Total	Tanpa pengawasan	1,3	1,2
2	Aliran Langgeng tergantung: 1. Evaluasi muka air normal sebelah udik. 2. Elevasi muka air sebelah hilir. Lereng U/S dan D/S dengan tanpa gempa kerusakan digunakan 100% 100f koef gempa desain.	1. Efektif	Dari Analisis Rembesan.	1,5	1,2
3	Pengoperasian waduk tergantung: 1. Evaluasi muka air normal sebelah udik. 2. Elevasi muka air sebelah hilir. (*dead storage*) lereng U/S harus dianalisis untuk kondisi surut cepat	1. Efektif	Surut cepat dari elevasi muka air normal sampai elevasi muka air minimum lereng U/s dan D/S.	1,3	1,1
			Surut cepat dari elevasi muka air maksimum sampai elevasi muka air minimum. Pengaruh gempa diambil 0% dari koefisien gempa desain.	1,3	-
4	Kondisi darurat tergantung:	1. Efektif	Surut cepat dari elevasi muka air maksimum sampai	1,2	-

	1. Pembuntuan pada sistem drainase. 2. Surut cepat karena penggunaan air melebihi kebutuhan. 3. Surut cepat keperluan darurat		elevasi muka air terendah bangunan pengeluaran. Pengaruh gempa diabaikan.		
Catatan: periksa standart tentang Metode Analisis stabilitas dinamik bendungan tipe urugan. Untuk gempa OBE, FK> 1,2 sedangkan untuk gempa MDE, FK> 1					

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

Biasanya untuk analisis stabilitas lereng pengaruh gempa mempunyai dua metode yang tidak selaras buat bendungan tipe urugan serta tanggul, yaitu pendekatan koefisien gempa serta faktor keamanan, dan pendekatan alihan tetap dampak gempa. percepatan yang terjadi pada permukaan tanah dampak gempa bumi sangat mensugesti gaya-gaya inersia, yang bisa menyebabkan terjadinya ketidakstabilan serta alihan permanen di lereng alami, atau lereng sintesis insan mirip bendungan urugan dan tanggul. Pendekatan analisis stabilitas akibat gempa ini memakai cara analisis keseimbangan batas *pseudostatik.*

3.7.1. Pemilihan Besaran Gempa Untuk Analisis

Untuk menganalisis suatu bendungan, besaran gempa harus dipengaruhi terlebih dahulu agar bias menentukana parameter gempa yang sinkron mirip perepatan, ragam sambutan gempa, durasi gempa dan lainnya. Proses pemilihan ini dilakukan dengan mengikuti prosedur deterministic juga evaluasi probabilitas banana gempa. buat pemilihan parameter penilaian gempa, besaran serta jeda itu sendiri tidak bisa hanya dipengaruhi menggunakan metode deterministic saja. Besaran gempa yang diperkirakan akan terjadi di wilayah asal gempa yg umumnya di sesaran aktif atau wilayah subduksi akan lebih cocok ditentukan menggunakan cara *probabilistik.*

3.7.2. Evaluasi Penentuan beban Gempa

Adapun beban gempa yang digunakan biasanya untuk desain bedungan baru atau evaluasi keamanan bangunan bendungan diperoleh dari OBE, MDE dan terkadang RIE. Hal tersebut detentukan berdasarkan kondisiya, bedungan dapat di evaluasi dengan satu atau beberapa beban gempa. Syarat utama desain bendungan

tahan gempa adalah dapat memberikan perlindungan terhadap keamanan umum, kehidupan ataupun harta benda masyarakat disekitar bendungan. Suatu bendungan harus mampu menahan goncangan gempa yang kuat atau pergerakan sasaran yang mungkin terjadi di lokasi bendungan sehingga tidak terjadi pelimpahan air waduk yang tidak terkontrol atau jebol. Adapun faktor-faktor lain yang dibutuhkan untuk evaluasi keamanan bendungan terhadap gempa antara lain:

1. Tingkat kebecanaan gempa di lokasi bendungan,
2. Kebutuhan fungsinonal,
3. Tipe bendungan,
4. Tingkat resiko waduk aau bendungan yang telah selesai, dan
5. Konsekuensi perkiraan resiko.

Bendungan yang perlu dianalisis dengan ketentuan OBE, MDE dan RIE merupakan bendungan yang cukup tinggi dengan waduk yang digunakan untuk penyediaan air minum di daerah permukiman harus didesain dengan mempertimbangkan persyaratan beban baik pada MDE ataupun OBE. Bendungan mempunyai faktor ekonomis rendah, tetapi keruntuhannya akan mengakibatkan becana besar dan menghilangkan banyak nyawa sehingga harus tetap di evaluasi dengan menggunakan MDE. Untuk bendungan buri atau tailling dams, bendungan limbah atau bangunan pengendali banjir dapat diperhitungkan hanya terhadap OBE, karena bendungan semacam ini kerap kali dikeringkan pada masa operasionalnya.

3.7.3. Faktor Yang Mempengaruhi Pemlihan Parameter Evaluasi Gempa

Berikut adalah beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan ketika memilih parameter evaluasi gempa sebegain berikut.

1. Pengaruh tingkat kerusakan

   Tingkat kerusakan dapat dikategorikan berdasarkan percepatan gempa maksimum (PGA) yang mungkin terjadi pada MDE. Keputusan ini dapat dibuat dengan menggunakan peta zona gempa. Tabel 3.1 dibawah ini dapat digunakan untuk bahan pondasi yang sangat baik atau bendungan tipe batuan. Namun, untuk lokasi dengan lanau pasiran lunak atau pasir lepas dengan kepadatan relative rendah dan berpotensi mengalami likuifaksi harus

diterapkan lebih berhati-hati. Tingkat kerusakan dalam Tabel 3.1 dapat digunakan sebagai pedoman awal untuk menentukan parameter gempa yang berupa penilaian di awal, yaitu dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut ini

Tabel 3. 2 Tingkat Kerusakan Menurut Besarnya Perepatan Gempa Maksimum Pada MDE

Percepatan Gempa Maksimum (PGA = ad)	Klasifikasi Tingkat Kerusakan
PGA < 0,1 g	I (Rendah)
0,1 ≤ PGA < 0,25 g	II (Moderat)
PGA ≥ 0,25 g Tidak terdapat sesaran aktif dalam jarak 10 km dari lokasi	III (Tinggi)
PGA ≥ 0,25 g sesaran aktif lebih dekat 10 km dari lokasi	IV (Ekstrim)

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

a. Pada lokasi tingkat kerusakan I, parameter percepatan gempa maksimum terkoreksi pada MDE dapat digunakan untuk analisis selain metode analisis sederhana dengan cara koefisien gempa. Jika sudah dianalisis dengan menggunakan MDE, maka pertimbangan terhadap besaran OBE ataupun RIE tidak diperlukan lagi.
b. Pada lokasi dengan tingkat kerusakan II, parameter gempa dapat ditentukan dengan percepatan gempa maksimum terkoreksi, ragam sambutan gempa,atau sejarah waktu percepatan gempa. Selain itu, masih harus dipertimbangkan pengaruh tipe bendungan dan resiko tingkat bencana di hilir. Pertimbangan terhadap OBE tidak diperlukan karena bendungan yang didesain dengan baik pada tingkat kerusakan III harus dapat menahan gempa MDE dengan asumsi hanya terjadi kerusakan sedikit.
c. Pada lokasi denga tingkat kerusakan III, sebaiknya parameter gempa

ditentukan dengan menggunakan sejarah waktu percepatan gempa meskipun kemungkinan sudah cukup dengan ragam sambutan gempa. Biasanya masih dibutuhkan dengan pertimbangan secara terpisah untuk OBE dan RIE.

2. Pada lokasi dengan tingkat kerusakan IV, sejarah waktu percepatan gempa digunakan untuk menentukan dan memberikan dampak sesaran terhadap kedekatan lokasi (nearfield) atau pengaruh arah. Pengaruh tingkat resiko bangunan

   Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan pengaruh tingkat resiko bangunan ialah meliputi klasifikasi kelas resiko dan kriteria beban gempa untuk desain bendungan urugan.

   a. Klasifikasi kelas resiko

      Kelas resiko beban gempa yang harus digunakan dalam desain ditentukan oleh tingkat resiko bendungan seperti diperlihatkan dalam Tabel 3.3 sebagai berikut ini.

Tabel 3. 3 Kriteria Faktor Resiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan

Faktor Resiko	**Angka Bobot Dalam Kurung**				
	Ekstrim	**Tinggi**		**Moderat**	**Rendah**
Kapasitas ($10^6 m^3$) (FRk)	>100 (6)	100-1.25 (4)		1.00-0.125 (2)	<0.125 (0)
Tinggi (m) (FRt)	>45 (6)	45-30 (4)		30-15 (2)	<15 (0)
Kebutuhan evakuasi (jumlah orang) (FRe)	>1000 (12)	1000-100 (8)		100-1 (4)	0 (0)
Tingkat kerusakan hilir (FRh)	Sangat tinggi (12)	Tinggi (10)	Agak tinggi (8)	Moderat (4)	Tidak ada (0)

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Penentuan kelas beban gempa dilakukan dengan menghitung faktor resiko total (FRtot) seperti pada Persamaan 3.5 yang merupakan penjumlahan dari faktor resiko pengaruh kapasitas waduk (FRk), tinggi bendungan (FRt), Kebutuhan evakuasi (FRe) dan pengaruh tingkat kerusakan hilir (FRh) dimana FRh diperoleh dari Pedoman Klasifikasi Bahaya pada Bendungan.

$$(FRtot) = (FRk) + (FRt) + (FRe) + (FRh) \quad (3.9)$$

Kelas bahaya bendungan atau kelas bahaya wilayah hilir bendungan adalah peringkat bahaya bendungan yg ditentukan berdasarkan jumlah penduduk terkena resiko dan atau kerusakan harta benda di hilir suatu bendungan, baik sebagian juga seluruhnya. tingkat kerusakan hilir bendungan disebut pula sebagai tingkat bahaya wilayah hilir bendungan.

Pada umumnya menggunakan pertambahan usia bendungan, wilayah hilir yang semula belum berkembang menjadi permukiman padat penduduk, sentra kegiatan perekonomian dan industri, syarat ini wajib telah diantisipasi pada penentuan kelas bahaya bendungan, dan setiap 5 tahun kelas bahaya bendungan perlu ditinjau pulang sinkron dengan pesatnya perkembangan daerah hilir bendungan. Peninjauan tak hanya buat menetapkan kembali kelas bahaya berdasar kondisi teranyar, tapi juga buat mendata kembali perkembangan penduduk, permukiman, kegiatan ekonomi dan sebagainya pada hilir bendungan.

Di dalam SNI 03-3432-1994 tentang "*Tata Cara Penetapan Banjir Desain dan Kapasitas Pelimpahan untuk Bendungan*", Konsekuensi daerah hilir dibagi menjadi dua kelas yaitu:

1) konsekuensi kecil, bila tidak terdapat atau terdapat sedikit jumlah penduduk, dan atau daerah usaha dan industri, dan
2) konsekuensi besar, bila terdapat kelompok permukiman penduduk (contoh: desa, kecamatan, kota) dan atau daerah usaha maupun industri baik yang sudah berkembang maupun yang akan dibangun.

Konsekuensi kecil dibedakan lagi menjadi 2 yaitu tingkat bahaya rendah dan tingkat bahaya sedang. Sedangkan Konsekuensi besar dibedakan menjadi tingkat bahaya tinggi dan sangat tinggi seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Hubungan Kesetaraan Konsekuensi Daerah Hilir Bendungan Klasifikasi Bahaya

Konsekuensi Daerah Hilir *)	Tingkat Bahaya
Kecil	Rendah
Sedang	
Besar	Tinggi
Sangat tinggi	

Sumber : SNI 03-3432-1994

Apabila di daerah sebelah hilir bendungan terverifikasi terdapat kota dengan berpenduduk lebih dari 200 keluarga (KK), untuk sementara tingkat bahaya bendungan seperti yang telihat pada Tabel 3.5 dan 3.6 dapat langsung ditetapkan sangat tinggi (=4). Akan tetapi apabila didaerah hilir bendungan diketahui tak berpenduduk, maka tingkat bahaya dapat langsung ditetapkan rendah (=1).

Tabel 3. 5 Matriks Jumlah Penduduk (Orang) Terkena Resiko Keruntuhan Bendungan Untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan

Jumlah Pen Ris (Orang) (kumulatif)	Jarak Dari Bendungan (km)				
	0-5	0-10	0-20	0-30	0->30
0	1	1	1	1	1
1-100	3	3	2	2	2
101-1000	4	4	4	3	3
>1000	4	4	4	4	4

Sumber : SNI 03-3432-1994

Tabel 3. 6 Matriks Jumlah Keluarga yang Terancam Bahaya Keruntuhan Bendungan Untuk Masing-Masing Kelas Bahaya Bendungan

Jumlah Pen Ris (Orang)	Jarak Dari Bendungan (km)				
	0-5	0-10	0-20	0-30	0->30

(kumulatif)					
0	1	1	1	1	1
1-20	3	3	2	2	2
21-200	4	4	4	3	3
>200	4	4	4	4	4
Catatan : Untuk kemudahan perhitungan saat di lapangan, jumlah PenRis sapat diganti dengan satuan keluarga, dengan narasi setiap keluarga terdiri dari 5 jiwa dan mendiami satu rumah.					

Sumber : SNI 03-3432-1994

b. Kriteria beban gempa untuk desain bendungan

Menurut faktor resiko total, kelas resiko untuk desain seperti di uraikan dalam Tabel 3.6 terbagi atas kelas I (rendah), kelas II (moderat), kelas III (tinggi), dan kelas IV (ekstrim). Kriteria beban gempa ditinjau berdasarkan Tabel 3.7 dan ditentukan menurut kelas resiko. Analisis dilakukan dengan dua tingkat gempa, yaitu sebagai berikut.

Tabel 3. 7 Kelas Resiko Bendungan dan Bangunan Air

Faktor Resiko Total	**Kelas Resiko**
(0-6)	I (Rendah)
(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(31-36)	IV (Ekstrim)

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

1) Persyaratan tanpa kerusakan dengan periode ulang T ditentukan (OBE), sehingga beban gempa dapat diperoleh dari peta zona gempa. Analisis dilakukan dengan cara koefisien gempa. Kestabilan bendungan harus lebih tinggi dari faktor keamanan minimal yang dipersyaratkan, bendungan tidak mengalami kerusakan yang serius dan masih tetap beroperasi, serta tidak diperlukan pekerjaan perbaikan yang menyeluruh.

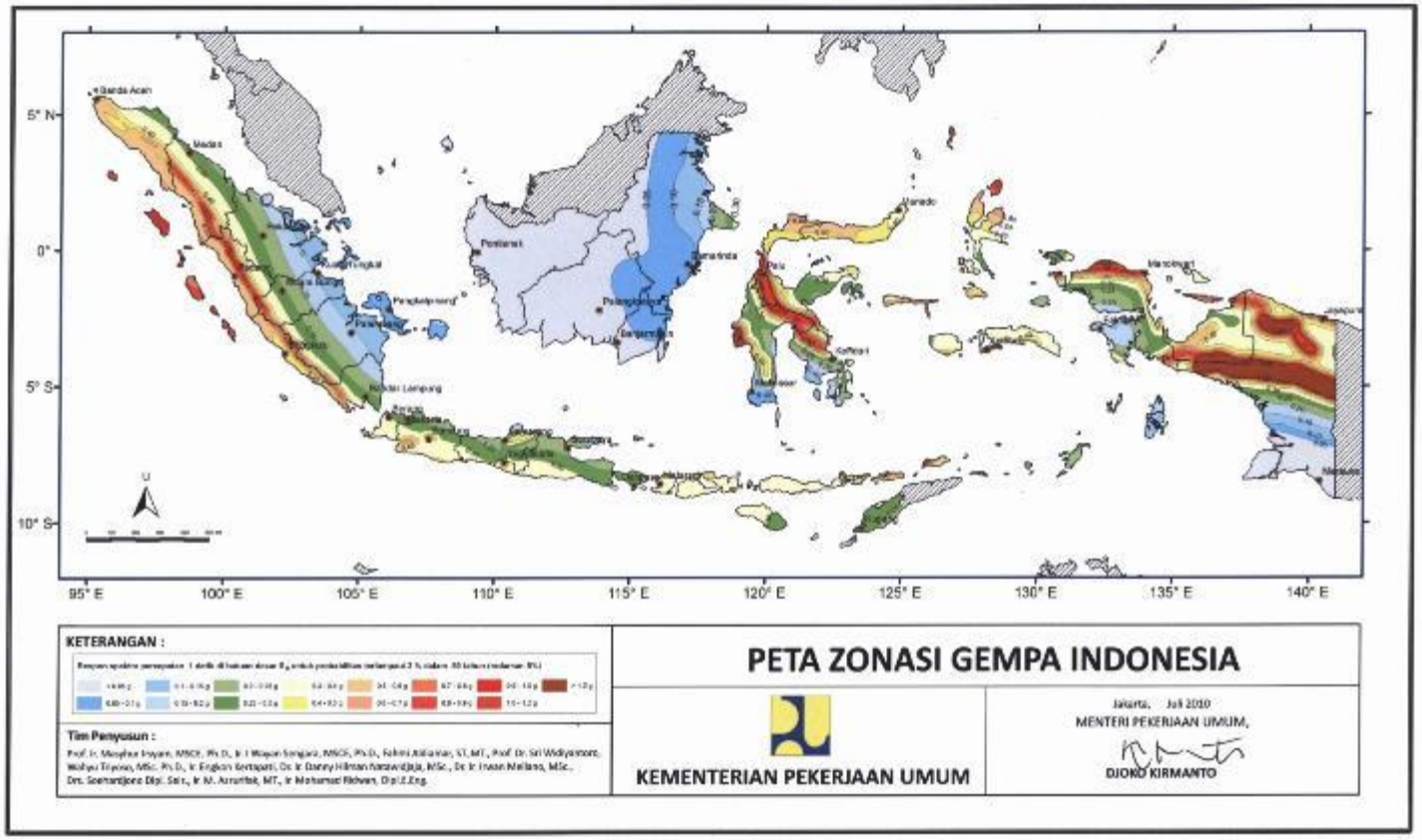
2) Persyaratan yang diperkenankan ada kerusakan tanpa terjadi keruntuhan dengan periode ulang T ditentukan untuk kelas I, II, III, dan IV, sehingga percepatan gempa maksimum dipermukaan tanah dapat diperoleh dari peta zona gempa. Analisis dilakukan dengan cara dinamik dengan menggunakan ragam sambutan gempa atau sejarah waktu percepatan gempa. Bendungan harus mampu menahan gempa desain MDE tanpa keruntuhan atau dperkenankan ada kerusakan dengan alihan tetap tidak melampaui 50 % dari tinggi jagaan. Adapun kriteria beban gempa untuk desain bendungan dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3. 8 Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

Kelas Resiko Masa Guna	**Persyaratan Tanpa Kerusakan**		**Persyaratan Diperkenankan Ada Kerusakan Tanpa Keruntuhan**	
	T (Tahun)	**Metode Analisis**	**T (Tahun)**	**Metode Analisis**
IV N = 100	100 – 200 ad ≥ 0,1 g	Koef. Gempa	10.000 (MDE)	Koef. Gempa atau dinamik
III N = 100	50 – 100 ad ≥ 0,1 g	Koef. Gempa	5000 (MDE)	Koef. Gempa atau dinamik
II N = 100	50 – 100 ad ≥ 0,1 g	Koef. Gempa	3000 (MDE)	Koef. Gempa atau dinamik
I N = 100	50 – 100 ad ≥ 0,1 g	Koef. Gempa	1000 (MDE)	Koef. Gempa atau dinamik

Catatan :
1) Untuk bedungan besar dengan kondisi geologi setempat yang khusus, peta zona dempa tetap dapat digunakan, namun perlu diklarifikasi dengan melakukan studi gempa tersendiri
2) Analisis dinamik dapat dilakukan dengan analisis spectrum percepatan gempa (cara simplifikasi) atau waktu percepatan gempa

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)



Gambar 3. 5 Peta Zona Gempa Indonesia
(Sumber: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat,2010)

Membaca Peta Zona Gempa :

a) Peta zona gempa pada Gambar 3.6 dibagi menjadi zona gempa yang mencangkup rincian yang ditunjukan pada peta gambar degan garis kontur koefisien gempagempa.
b) Desain proyek percepatan gempa dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menentukan koordinat pada peta, untuk memperoleh faktor koefisien zona gempa (Z). Z dapat diperoleh langsung dari kontur koefisien zona gempa atau dapat ditentukan dari kisaran (nilai rata-rata atau maksimum) yang ditunjukkuan pada tabel koefisien zona pada peta. Adapun koefisien zona gempa berdasarkan peta di atas seperti pada Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Koefisien Zona Gempa

Zona	Koefisien Zona	
1	Z = < 0,05 g	
2	Z = 0,05 – 0,1 g	
3	Z = 0,1 – 0,15 g	
4	Z = 0,15 – 0,2 g	
5	Z = 0,2 – 0,25 g	
6	Z = 0,25 – 0,3 g	
7	Z = 0,3 – 0,4 g	
8	Z = 0,4 – 0,5 g	
9	Z = 0,5 – 0,6 g	
10	Z = 0,6 – 0,7 g	
11	Z = 0,7 – 0,8 g	
12	Z = 0,8 – 0,9 g	
13	Z = 0,9 – 1,0 g	
14	Z = 1,9 – 1,2 g	
15	Z = > 1,2 g	

Sumber : Peta Zona Gempa Indonesia (2010)

c) Nilai percepatan gempa dasar a_c (g) ditentukan, disesuaikan dengan periode ulang T (tahun) menurut kriteria desain dengan menggunakan Tabel 3.10 berkut ini.

Tabel 3. 10 Periode Ulang dan Percepatan Gempa Dasar

Periode Ulang T (tahun)	**a_c (gal)**
10	0,127
20	0,155
50	0,196
100	0,227
200	0,255
500	0,289
1000	0,313
5000	0,364
10000	0,385

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

d) Percepatan gempa puncak dipermukaan tanah harus dikoreksi terhadap pengaruh jenis tanah setempat berdasarkan :

(1) periode predominan dari perlapisan tanah, yang dibagi dalam 4 kelompok seperti pada Tabel 3.11 dibawah ini.

Tabel 3. 11 Faktor Koreksi Pengaruh Jenis Bantuan/Tanah Setempat

Kelompok	**Jenis Batuan Dasar**	**Periode Predominan T_s (detik)**	**Koreksi Fukushima dkk (v)**
1	Batuan	$T_s \leq 0{,}25$	0,80
2	Tanah kaku	$0{,}25 < T_s \leq 0{,}50$	1,00
3	Tanah sedang	$0{,}50 < T_s \leq 0{,}75$	1,10
4	Tanah lunak	$T_s > 0{,}75$	1,20

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

(2) nilai periode predominan diitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7 sebagai berikut.

$$Ta = 1{,}25\ Tp \quad (3.10)$$

$$Tp = \sum_{i=1}^{n} \frac{4\ Hi}{vsi} \quad (3.11)$$

dengan V, dihitung menggunakan Persamaan (3.8) atau (3.9), atau diuji dilaboratorium menggunakan uji kolom resonansi (*resonant column test*), atau diuji di lapangan dengan uji lubang silang (*cross hole test*).

$$Vs = 100\ N^{1/3} \text{(untuk tanah kohesif)} \quad (3.12)$$

$$Vs = 80\ N^{1/3} \text{(untuk tanah nonkohesif)} \quad (3.13)$$

Dengan :

Ts = Periode predominan perlapisan tanah dengan regangan besar waktu terjadi gempa

Tp = Periode predominan perlapisan tanah dengan regangan kecil (detik)

Hi = Tebal perlapisan ke I (m)

Vsi = Cepat rambat gelombang geser pada lapisan tanah ke I (m/detik)

Nspt = Nilai uji penetrasi standart (SPT)

Vs = Cepat rambat gelombang geser (m/detik)

n = Jumlah lapisan

Bantuan dasar yang merupakan batas terdalam harus ditentutan sebagai besar lapisan yang mempunyai nilai V, lebih besar dari 350 m/detik.

(3) jenis batuan dasar dan periode predominan T_s juga dapat diketahui dengan menggunakan desain spektra Indonesia

e) hitung percepatan gempa terkoreksi a_d dengan menggunakan Persamaan 3.10.

$$ad = Z \times ac \times V \quad (3.14)$$

sedangkan koefisien gempa K menggunakan Persamaan 3.11

$$k = ad/g \text{ (g = percepatan grafitasi)} \quad (3.15)$$

3.7.4. Pemilihan Koefisien Gempa

1. Metode berdasarkan pengalaman.

   Kesulitan utama dalam menerapkan pendekatan koefisien gempa dengan faktor keamanan untuk analisis stabilitas pengaruh gempa disebakan oleh adanya perbedaan pandangan dalam menentukan faktor gempa (Seed dan Martin, 1966; Seed, 1979; Mercuson, 1981; Hynes dan Franklin, 1984). Berdasarkan *Building Standart Act*, poin pengalaman didasarkan pada pertimbangan teknis empiris (di Amerika Serikat ks = 0,1 – 0,25; di Jepang ks = 0,15 – 0,25). Seed (1979) menyatakan bahwa lereng dan bendungan urugan lempung dengan faktor keamanan semu = 1,15 dengan koefisien gempa = 0,15 telah terbukti mengalami alihan/deformasi akibat gempa (magnitudo = 8,5) dan menyebabkan percepatan maksimum sebesar 0,75 g. Selain itu, deformasi yang di alami mencapai 1 meter, dan pada kasus gempa berkekuatan ≤ 6,5 harus digunakan koefisien gempa = 0,1 dengan faktor keamanan sebesar 1,15. Menurut Seed, besarnya gempa diperlukan untuk menentukan koefisien gempa, tetapi tidak ada pedoman untuk pemilihan nilai ks yang sesuai untuk percepatan puncak di bawah 0,75 g.

1. Metode dengan cara *probabilistic*

   Untuk menjelaskan efek gravitasi akibat gempa, hal yang sering dilakukan dalam analisis stabilitas lereng adalah dengan menggunakan konstanta numerik yang biasa disebut koefisien gempa (k_g). Faktor ini dinyatakan sebagai persentase gravitasi. Misalnya, koefisien gravitasi 10 % (0,1g) sering digunakan dalam perhitungan. Oleh karena itu, gaya dinamis dianggap sebagai gaya statis dan kadang-kadang disebut sebagai *pseudostatic analysis*.

   a. Cara koefisien gempa

Metode ini dilakukan dengan menghitung koefisien gempa dan gaya getaran yang bekerja ke segala arah. Gaya statik horizontal, seperti Persamaan 3.12 dan 3.13 dibawah ini.

$F = k_s \times W$ (3.16)

$k_h = ad/g$

$k_s = \alpha_1 \times k_h$ (3.17)

dengan ;

F = Gaya gempa mendatar (Kn)

W = Berat (ton),

k_h = Koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T (*probabilistik*),

a_d = Percepatan gempa terkoreksi oleh pengaruh jenis tanah (g),

α_1 = Koreksi pengaruh daerah bebas (*freefield*) untuk bendungan tipe urugan

nilai α_1 = 0,7, namun untuk bendungan beton dan pasangan batu = 1,

k_s = Koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas, dan

g = Gravitasi (=980 cm/det^2)

dalam metode analisis ini, percepatan gempa dari bawah ke atas bendungan dikatakan sama. Karena kelenturan bendungan, asumsi ini tidak sepenuhnya sempurna dan percepatan gempa harus meningkat lebih jauh di bagian atas.

b. Cara koefisie gempa termodifikasi

Metode koefisien gempa yang telah diuraikan membutuhkan modifikasi karena tidak sudah tidak sesuai. Oleh karena itu, digunakan cara dari jepang "*Seismic Design Guideline for Fill Dam*" dengan koefisien gempa desain kh = ad/g, yang diperoleh dari Persamaan (3.13). Koefisien gempa desain untuk tubuh bendungan urugan yang merupakan fungsi dari kedalaman, dapat dihitung dengan Persamaan 3.14 sebagai berikut ini.

$k_o = \alpha 2 \times kh$ (3.18)

dengan :

ko = Koefisien gempa desain terkoreksi dipermukaan tanah,

α2 = Koreksi pengaruh jenis struktur, untuk bendungan tipe urugan=0,5

kh = Koefisien gempa dasar yang tergantung periode ulang T

Dalam analisis stabilitas ini, koefisien gempa pada kedalaman y dari puncak bendungan berbeda-beda. Karena itu, peninjauan dilakukan pada y = 0,25h; 0,5h; 0,75h; dan h (h ialah tinggi bendungan) dengan menggunakan kh pada periode ulang sesuai dengan yang disyaratkan. Koefisien gempa rata-rata ks pada y yang berbeda-beda, dapat dihitung dengan Persamaan-Persamaan seperti dibawah ini. Namun, cara ini tidak berlaku bagi bendungan yang kaku, misalnya bendungan beton.

Untuk $0 < y/h \leq 0{,}4$ maka koefisien gempa termodifikasi dihitung menggunakan Persamaan 3.15 sebagai berikut ini.

$$Ks = ko \times \left(2{,}0 - 1{,}85\ x\left(\frac{y}{h}\right)\right) \quad (3.19)$$

Untuk $0{,}4 < y/h \leq 1{,}0$ maka koefisien gempa termodifikasi dihitung menggunakan Persamaan 3.21 sebagai berikut ini.

$$Ks = ko \times \left(2{,}0 - 0{,}60\ x\left(\frac{y}{h}\right)\right) \quad (3.20)$$

3.8. Stabilitas Bendungan

Analisis kestabilan lereng pada bendungan dapat dilakukan dengan menggunakan banyak cara diantaranya yaitu dengan cara pengamatan visual, dengan cara penggunaan komputasi dan penggunaan grafik. Ketiga cara tersebut umum dan paling banyak digunakan. Sebagai gambaran, penulis mencoba menjabarkan cara analisis kestabilan lereng dengan menggunakan teori sebagai berikut.

1. Metode Fellenius

Untuk menghitung factor keamanan pada suatu bidang lereng kritis, gaya yang bekerja disisi kanan kiri irisan mempunyai resultan nol arah tegak lurus bidang longsor, dengan keseimbangan arah vertikal yaitu dapat dilihat pada Persamaan 3.17 dan 3.18 berikut ini.

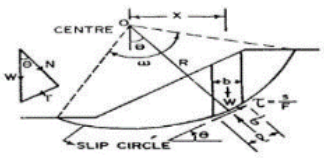
$$Ni + Ui + Wi \cos \theta i \quad (3.21)$$

Atau

$$Ni = Wi\cos \theta i - Ui = Wi \cos \theta i - \mu i ai \quad (3.22)$$

Lengan momen yang berasal dari berat masa tanah pada tiap irisan adalah R sin θ, maka momen masa tanah yang akan terjadi longsor dapat dilihat pada Persamaan 3.19 dab Gambar 3.19 berikut ini.

$$\Sigma Md = R \Sigma^{i=n} Wt \sin \theta i \quad (3.23)$$



Gambar 3. 6 Ilustrasi Gaya Pada Metode Fellenius

(Sumber: Suwarsa, 2016)

Dengan :

R = Jari-jari lingkaran bidang longsor

n = Jumlah irisan

Wi = Berat masa tanah irisan ke i

Apabila terdapat air pada lereng karena akibat pengaruh tekanan air pori, maka persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3.20 berikut ini.

$$F = x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca1 + (Wi \cos \theta i - \mu i ai) tg \, \emptyset}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \emptyset} \quad (3.24)$$

Dengan :

F = Faktor keamanan

C = Kohesi (kN/m2)

ϕ = Sudut gesek dalam tanah (0)

ai = Lengkungan irisan ke I (m)

Wi = Berat irisan tanah ke I (kN)

μi = Tekanan air pori ke I (kN)

2. Metode Modified Bishop

Pada metode ini, gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertical. Persamaannya adalah dapat dilihat pada Persamaan 3.21 dan Gambar 3.21 berikut ini.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}(c'b1+Wi(1-ru)tg\ \emptyset')(\frac{1}{\cos\emptyset 1(1+tg\ \emptyset\frac{1tg\emptyset'}{F}})}{\sum_{i=1}^{i=n} W1\sin\emptyset i} \quad (3.25)$$

Dengan :

F = Faktor keamanan

θi = Sudut irisan

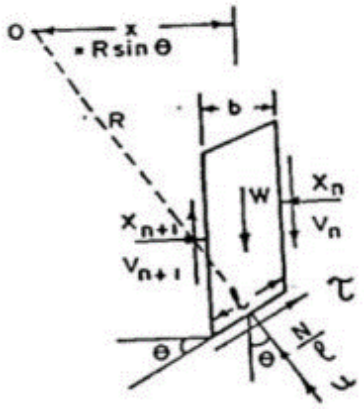
c’ = Kohesi tanah efektif (kN/m2)

bi = lebar isisan ke I (m)

Wi = Berat irisan tanah ke I (kN)

ϕ' = Sudut gesek dalam efektif (0)

μi = Tekanan air pori irisan ke I (kN/m2)



Gambar 3. 7 Ilustrasi Gaya Pada Metode Bishop

(Sumber: Suwarsa, 2016)

Pada peneitian ini, penulis menghitung analisis stabilitas lerereng dengan perbedaan tinggi muka air yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut antara lain meliputi tinggi muka air normal, tinggi muka air banjir, tinggi muka air minium dan tinggi muka air surut cepat. Perhitungan stabilitas bendungan menggunakan analisis Geostudio Slope/W dan perhitungan Stabilitas Geser dan Guling dengan perhitungan manual. Untuk teorinya dapat di lihat pada pejelasan dibawah ini.

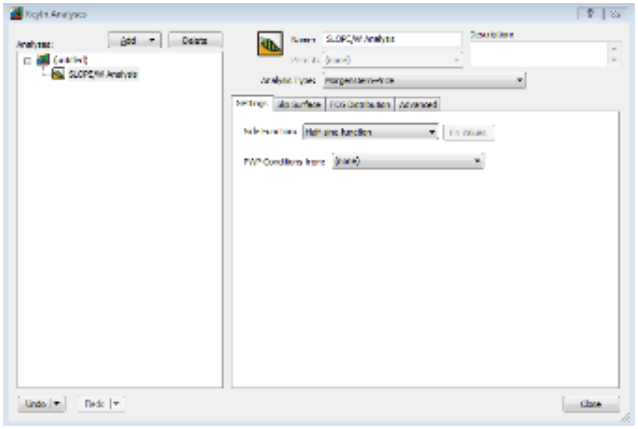
3.8.1. Stabilitas Lereng Dengan Slope/W

SLOPE/W merupakan sebuah program yang dipakai untuk menganalisis stabilitas lereng baik tanah juga batuan, termasuk pula galian dan timbunan. SLOPE/W bisa memodelkan kondisi-kondisi sebagai berikut yaitu :

1. lapisan tanah yang komplek,
2. kondisi tekanan air pori yang sangat tidak beraturan,
3. beberapa model kuat geser tanah, Mohr-Coloumb, Anisotropic, dll,
4. parameter Kuat geser pada kondisi tidak jenuh,
5. pendekatan bentuk bidang gelincir menggunakan atau tanpa tension crack,
6. beban merata, dan beban gempa, dan
7. perkuatan menggunakan struktur.

Adapun input yang dibutuhkan *SLOPE/W* dalam analisis stabilitas lereng dengan model kuat geser Mohr Coloumb adalah Kohesi (Kn/m3), Phi dan Berat Isi Tanah (Kn/m3).

1. Analisa dalam *Geo-Studio2012 SLOPE/W* ini yang akan diinput diantaranya, dimensi bendungan Sangiran, lalu penentuan jenis material yang digunakan, dan terakhir memasukkan data-data *output* uji laboratorium agar bisa digunakan sebagai parameter dalam menganalisa stabilitas lereng pada bendungan Sangiran. Langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut: Peneliti harus memastikan *Geo-Studio2012* yang digunakan adalah yang Full License agar semua fitur dapat dipakai dan diganakan untuk kepentingan menganalisa sebuah lereng.
2. Kemudian memasukkan data meterial yang terdapat pada Bendungan Sangiran dengan memilih fitur *KeyIn Analysis*.



Gambar 3.8 Tampilan Menu KeyIn Analysis

3. Setelah memasukkan jenis material, langkah selanjutnya kemudian memasukkan data-data lab yang ada diantaranya kepadatan, kohesi, volume dan lain-lain. Caranya bisa memakai menu *KeyIn Materials.*
4. Setelah semua terinput baik itu dimensi (gambar) bendungan Bening, jenis material yang digunakan, dan juga memasukkan data-data hasil uji laboratorium, maka langkah terakhir adalah menjalankan menggunakan fasilitas "*Solve Analysis*".

3.8.2. Stabilitas Terhadap Guling

Kestabilan struktur suatu bendungan terhadap terjadinya bahaya terguling atau *overtunning stability* dihitung dengan perbandingan jumlah momen yang menyebabkan terjadinya guling dengan jumlah momen yang melawan guling itu sendiri. Persamaan tersebut berlaku apabila dinding gravitas yang menyebabkan

guling berasal dari gaya tekanan-tekanan tanah atau air jika pada bendungan, dan momen yang melawan guling berasal dari berat dari struktur itu sendiri. Menurut SNI 8460:2017, faktor keamanan stabilitas terhadap guling diambil sebesar 2 dengan persamaan 2.22 sebagai berikut.

$$\text{Stabilitas Guling} = \frac{\Sigma \text{M Lawan}}{\Sigma \text{M Guling}} > 2 \qquad (3.26)$$

Dimana :

ΣM Lawan : Jumlah Momen Perlawanan Guling

ΣM Guling : Jumlah Momen Penyebab Guling

3.8.3. Stabilitas Terhadap Geser

Adanya gaya air pada bendungan selain menimbulkan terjadinya momen juga dapat menimbulkan adanya gaya dorong yang menyebabkan bendungan bergeser. Perlawan terhadap gaya yang mendorong dapat terjadi di bidang datar yaitu pada bendungan dan juga tanah dasar. Menurut SNI 8460:2017, Faktor stabilitas geser diambil sebesar 1,5 dengan persamaan 2.23 sebagai berikut.

$$\text{Stabilitas Geser} = \frac{\text{F}.\Sigma \text{V}}{\Sigma \text{H}} \geq 1{,}5 \qquad (3.27)$$

Dimana :

ΣV : Keseluruhan Gaya Vertikal (Kn)

ΣH : Keseluruhan Gaya Horizontal yang bekerja pada bendungan (Kn)

f : Koefisien gesek beton dan tanah dasar pondasi, dimana untuk pasangan batu atau batu keras atau batu berkwalitas baik nilai f = 0,75.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

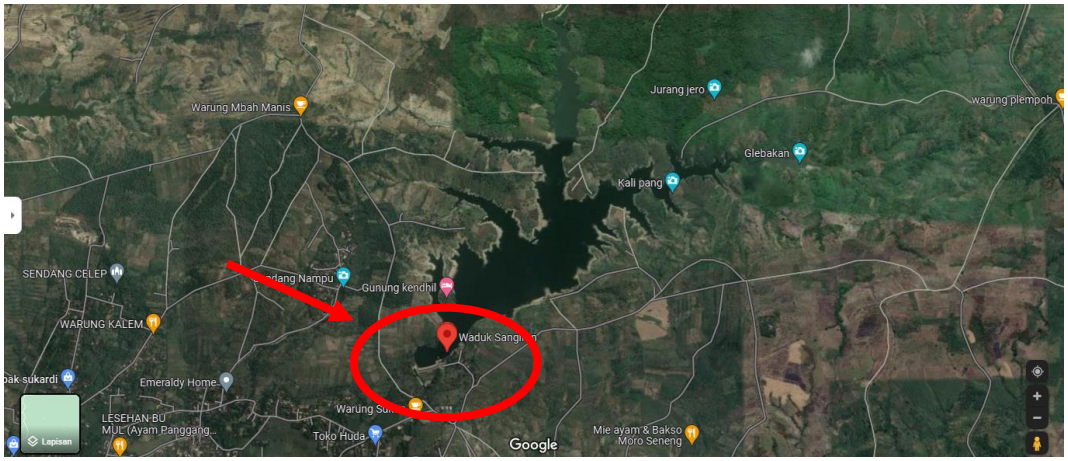
Penyusunan tugas akhir menggunakan metode penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan suatu penelitian dengan metode pengumpulan data yang dapat diukur dengan metode statistic, matematik, maupun komputasi. Analisis pada penelitian ini menggunakan bantuan software *Geostudio* untuk mempermudah permodelan yang kemudian dianalisis

4.2 Obyek dan Subyek Penelitian

Adapun obyek dalam penelitian ini adalah untuk mengetaui pengaruh tinggi muka air waduk terhadap rembesan, serta mengetahui pengaruhnya terhadap bahaya piping dan stabilitas pada Bendungan Sangiran. Sedangkan subyek dari penelitian ini adalah tubuh Bendungan Sangiran di Kecamatan Bringin, Kabupaten Ngawi, Provinsi Jawa Timur.

4.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bendungan Sangiran . Bendungan tersebut terletak di Kecamatan Bringin, Kabupaten Ngawi, Provinsi Jawa Timur dengan jarak kurang lebih 25 km menuju arah timur dari Kota Madiun. Waduk Sangiran mempunyai luas DAS sebesar 18.20 km2 dengan membendung aliran-aliran sungai yaitu Kali Pang, Kali Geblakan dan Kali Wekas. Bendungan bening mempunyai tipe bendungan yaitu urugan Batu dengan inti tegak di tengah dengan tinggi maksimum 28 meter, panjang puncak 136.40 meter dan lebar puncak 6 meter. Pada saat ini Bendungan Sangiran dikelola sepenuhnya oleh Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. Adapun untuk peta DAS Sangiran dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Lokasi Pelitian

(Sumber: Google Maps, 2021)



Gambar 4. 2 Bendungan Sangiran

(Sumber: Google Maps, 2021)

4.4 Data Penelitian

Untuk mengetahui suatu kestabilan dengan menganalisis rembesan dan tingkat keamaan bendungan terhadap bahaya piping maka perlu adanya data-data sekunder yang menunjukkan kondisi nyata di lapangan. Data-data tersebut diantaranya adalah sebagai berikut ini.

1. Data teknis Bendungan Sangiran

Bendungan sangiran sejak mulai pertama diresmikan sampai dengan saat ini di kelola oleh BBWS Bengawan Solo, dibangun pada tahun 2000 dengan tipe urugan batu dengan inti tegak di tengah. Bendunngan tersebut mempunyai tinggi puncak 28 meter, dengan panjang puncak 137,40 m. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Data Teknis Bendungan Sangiran

No	**Data Teknis**	**Inpeksi Besar 2017**
1	**Data Umum**	
	No Registrasi KNI-BB	1020000165
	Tahun Konstruksi	2000
	Perencana	Nippon Koei Co.,Ltd.
	Pemilik	BBWS Bengawan Solo
	Pengelola	BBWS Bengawan Solo
2	Hidrologi	
	Sungai	Kali Pang, Geblakan dan Wekas
	Luas DAS	18,20 km^2
3	Tubuh Bendungan	
	Tipe urugan	Urugan Batu dengan inti tegak di tengah
	Panjang Puncak	137,40 m
	Lebar Puncak	6 m
	Elevasi Puncak	+131,10 m
	Tinggi Maksimum	28 m
4	Bendungan	
	Elevasi Muka Air Normal	+127,70 m
	Elevasi Muka Air Banjir	+129,20 m

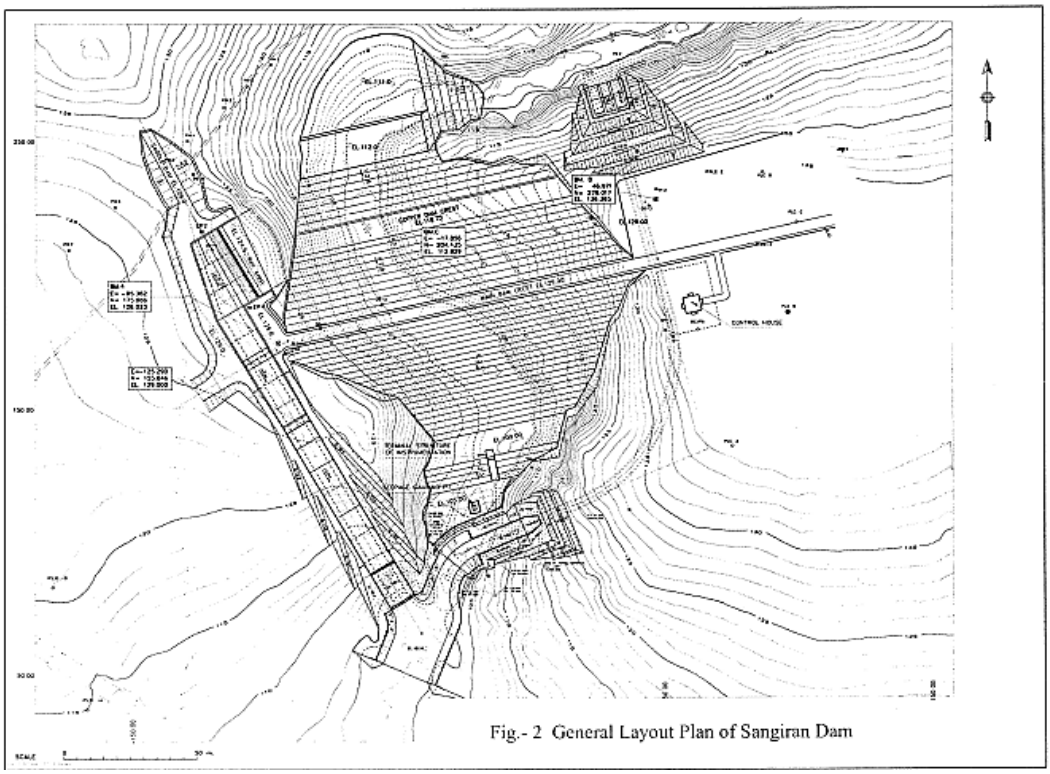
	Elevasi Muka Air Minimum	+108,00 m
	Luas dan vol waduk ma normal	144,92 ha ; 9,63 juta m^3
	Luas dan vol waduk ma banjir	156,49 ha ; 10,30 juta m^3
	Luas dan vol waduk ma minimal	0,75 ha ; 0,139 juta m^3
5	Pelimpah	
	Tipe	Overflow ogee crest, side channel + chute + peredam
	Elevasi mercu	+ 127,70
	Panjang mercu	127,50 m
	Lebar mercu	30 m
	Kapasitas pelimpah	214,06 m^3/detik
6	Pintu intake	
	Tipe	Slide gate, tangkai spindel
	Lebar pintu	1 m
	Tinggi pintu	1,5 m
	Jumlah pintu	2 buah
	Cara pengoperasian	Elektrik genset
	Elevasi dasar intake	+ 107,20 m
	kapasitas	2 m^3/detik
7	instrumentasi	
	Piezometer	2 buahopen piezometer ; 24 elektrik piezometer cable
	Multi layer settlement	2 buah, 1 rusak
	Patok geser	7 buah
	Alat ukur debit	1 buah V-noth
	Stasiun hujan	3 unit rusak 1, 1 unit otomastis dan 2 manual

8	Lain-lain	
	Irigasi	1406 ha
	Manfaat lain	Pariwisata dan perikanan

Sumber : Data Teknis PT. Aria Jasa Konsultan (2017)

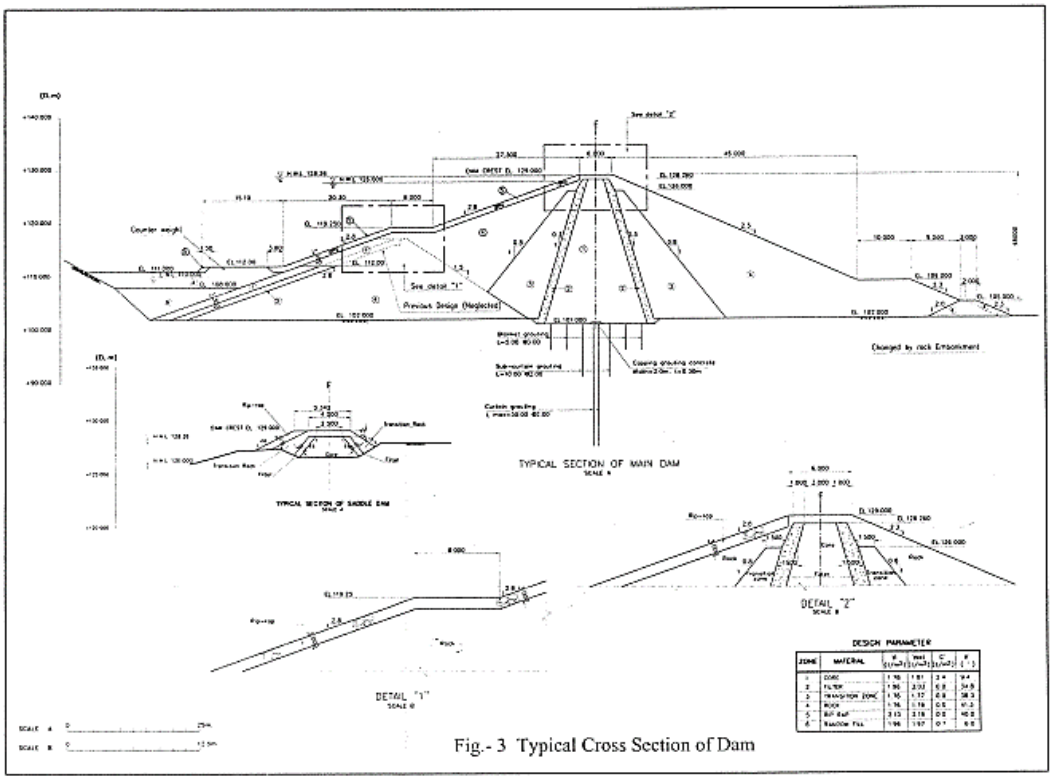
2. Data Geometri Bendungan

Data geometri Bendungan Sangiran meliputi peta situasi bendungan, peta dimensi bendungan dan juga peta potongan melintang bendungan pada titik yang diteliti. Pada penelitian ini igunakan titik pengeboran BH1 dengan posisi titik I karena dianggap paling tinggi dan ekstrem. Adapun peta yang diebutkan diatas dapat dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 sebagai berikut.



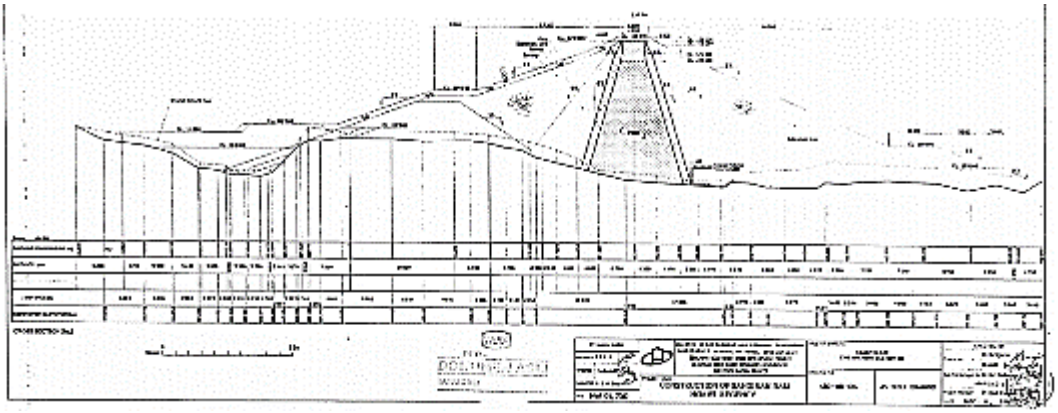
Gambar 4. 3 Peta Situasi Bendungan Sangiran

(Sumber: PT. Aria Jasa Konsultan, 2017)



Gambar 4. 4 Peta Dimensi Bendungan Sangiran

(Sumber: PT. Aria Jasa Konsultan, 2017)

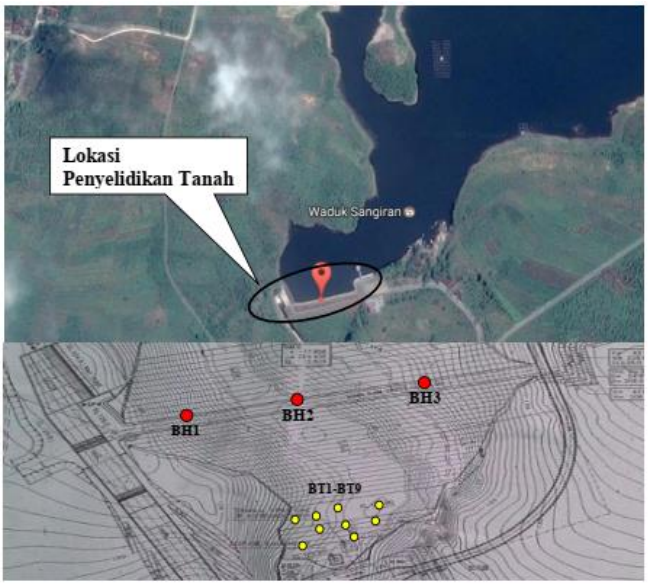


Gambar 4. 5 Potongan Memanjang Sta I Bendungan Sangiran

(Sumber: PT. Aria Jasa Konsultan, 2017)

3. Data Tanah

Berdasarkan laporan teknis geologi bendungan oleh PT. Aria Jasa Tirta pada tahun 2017 telah dilakukan pekerjaan penyelidikan langsung di lapangan. Penyelidikan tanah dilakukan dengan melakukan pengeboran sebanyak 3 titik bor yang berada pada puncak bendungan. Berikut merupakan lokasi titik pengeboran dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4. 6 Titik Bor Penyelidikan Tanah

(Sumber : PT. Aria Jasa Konsultan, 2017)

Data hasil N-SPT yang diperoleh berdasarkan pengeboran pada titik-titik yang diselidiki dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Data N-SPT Bendungan Sangiran

No	Titik Bor								
	BH 1			BH 2			BH 3		
	Depth (m)	Penetrasi (cm)	Nspt	Depth (m)	Penetrasi (cm)	Nspt	Depth (m)	Penetrasi (cm)	Nspt
1	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0

2	2-2,45	30	9	1,55-2	30	6	1,55-2	30	4
3	4-4,45	30	12	3,55-4	30	11	3,55-4	30	6
4	6-6,45	30	14	5,55-6	30	13	5,55-6	30	7
5	8-8,45	30	15	7,55-8	30	14	7,55-8	30	6
6	10-10,45	30	17	9,66-10	30	18	9,66-10	30	10
7	12-12,45	30	21	11,55-12	30	22	11,55-12	30	8
8	14-14,45	30	22	13,55-14	30	20	13,55-14	30	10
9	16-16,45	30	24	15,55-16	30	23	15,55-16	30	12
10	18-18,45	30	25	17,55-18	30	25	17,55-18	30	17
11	20-20,45	30	25	19,55-20	30	26	19,55-20	30	20
12	22-22,45	30	23	21,55-22	30	24			
13	24-24,45	30	24	23,55-24	30	27			
14	26-26,45	30	26	25,55-26	30	27			
15	28-28,45	30	44’’	27,55-28	30	>60’			
16	30-30,45	30	>60’’						

Sumber : Laporan Teknis Geoteknik PT. Aria Jasa Konsultan (2017)

Tabel 4. 3 Data Penyelidikan Laboratorium

Test Point No	Depth (m)	Moisture Content	Specific Grafity	Liquid Limit	Plastic Limit	Plasticity Index	Liquidy Limit	Void Ratio	Degree of Saturation	Finer #200	Coef. Of Gradation		Classification	Bulk density	Dry density	Strenght Parameters Triaxial UU		Compaction Test	
		Wn (%)	Gs	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	e	Sγs (%)	(%)	Cc	Cu	Unified	(gr/cm3)	(gr/cm3)	φ	c (kg/cm2)	MDD grcm	CMC %
BH 1	6.00-6.50	37.41	2.65	47.82	26.67	21.16	0.51	0.99	100	63.22	-	-	CL	1.83	1.33				
BH 1	12.00-12.50	32.63	2.63	46.33	25.11	21.22	0.35	0.94	91.5	36.35	-	-	SC	1.8	1.36	10.89	0.777		
BH 1	18.00-18.50	34.5	2.66	50.1	28.56	21.54	0.28	0.98	93.97	52.19	-	-	MH	1.81	1.35				
BH 1	24.00-24.50	25.76	2.61	46.57	26.85	19.72	-0.06	0.78	85.77	49.27	-	-	SC	1.84	1.46	12.52	0.753		
BH 2	6.00-6.50	26.98	2.65	45.89	25.9	20	0.05	0.77	92.73	56.18	-	-	CL	1.9	1.5	10.94	0.286		
BH 2	12.00-12.50	29.67	2.66	48.8	26.02	22.78	0.16	0.83	94.55	54.87	-	-	CL	1.86	1.45	10.79	0.772		
BH 2	18.00-18.50	24.45	2.67	48.53	27.12	21.41	-0.12	0.85	77.16	68.17	-	-	CL	1.8	1.45				
BH 3	6.00-6.50	35.6	2.62	43.71	23.28	20.43	0.6	0.93	100	42.97	-	-	SC	1.84	1.36				
BH 3	12.00-12.50	29.41	2.62	42.81	22.2	20.61	0.35	0.79	97.05	40.78	-	-	SC	1.89	1.46	7.17	0.333		
BH 3	18.00-18.50	33.1	2.6	43.13	23.72	19.41	0.48	0.85	100	51.04	-	-	CL	1.87	1.4	6.47	0.63		
SED 1	HS Kiri		2.54							46.07									
SED 2	HS Kanan		2.58							42.69									
SED 3	S Kanan		2.48							83.71									
SED 4	S Kiri		2.5							67.67									
SED 5	Intake		2.52							67.02									
BH 1	1.00-5.00	9.27	2.61															1.47	27.73
BH 1	5.00-10.50	8.54	2.72															1.59	24.6
BH 2	1.00-5.00	7.03	2.71															1.55	26.39
BH 3	4.00-9.00	5.83	2.7															1.51	26

Sumber : Laporan Teknis Geoteknik PT. Aria Jasa Konsultan (2017)

4.5 Metode Analisis Data

Analisis rembesan pada tubuh Bendungan Sangiran pada tugas akhir ini menggunakan aplikasi Geostudio SEEP/W, analisis stabilitas menggunakan aplikasi Geostudio Slope/W, sedangkan untuk analisis beban gempa menggunakan analisis pseudostatik dengan koefisien gempa termodifikasi.

4.6 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian menggambarkan skema/alur pekerjaan yang akan dilakukan mulai dari awal hingga selesainya penelitian. Adapun langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut.

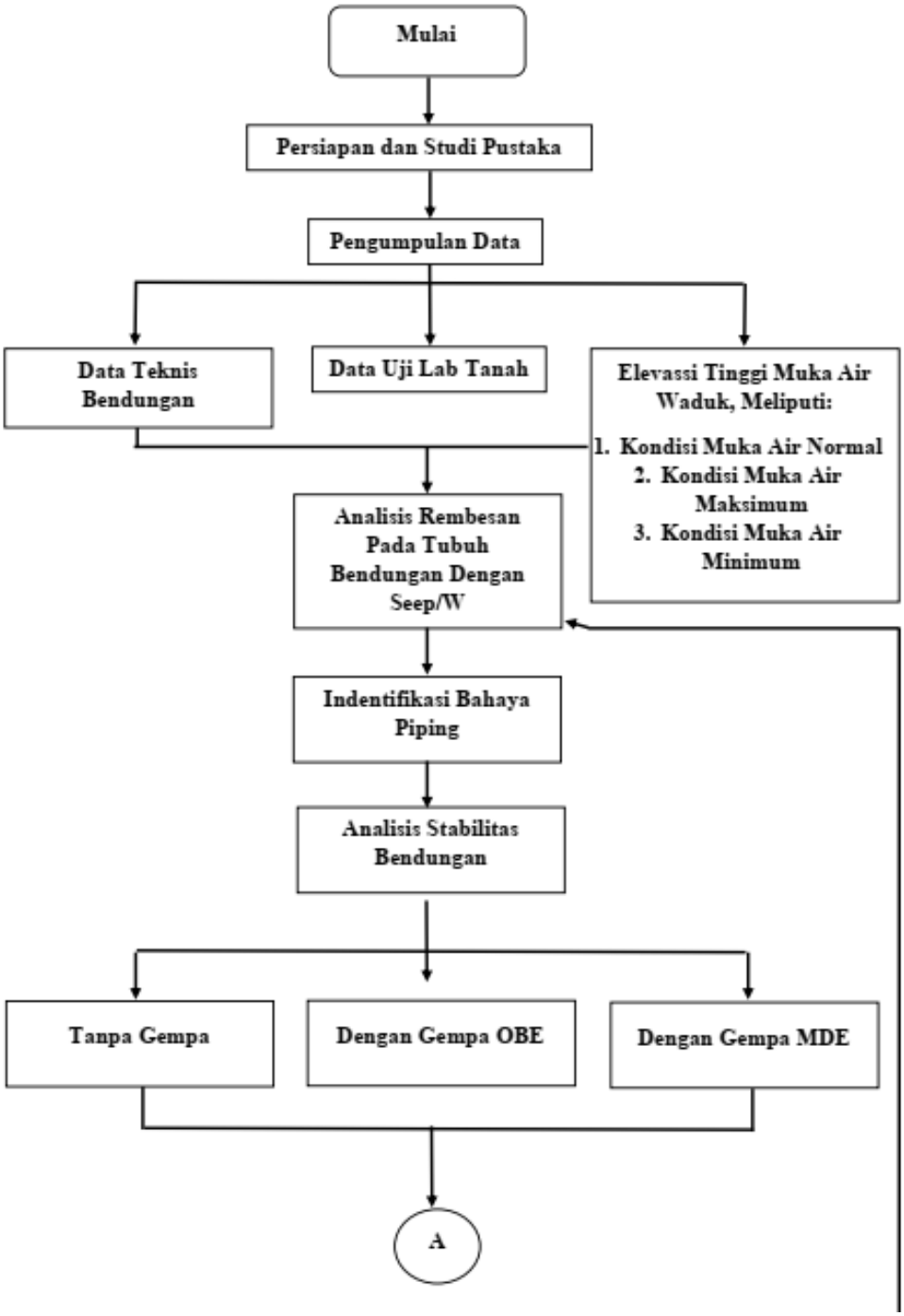
1. Mencari dan mempelajari beberapa literature atau penelitian terdahulu yang sehubungan dengan topik penelitian tugas akhir.
2. Mencari serta mengumpulkan referensi yang diperlukan untuk menunjang penelitian.
3. Mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam penelitian guna kepentingan analisis yang meliputi data teknis bendungan dan juga data penyelidikan tanah.
4. Menghitung beban gempa termodifikasi sesuai dengan standart dan prosedur yang telah ditetapkan.
5. Permodelan Geostudio 2012.

   GEO-STUDIO 2012 merupakan sebuah paket aplikasi untuk pemodelan dalam bidang geoteknik dan geolingkungan. Software ini melingkupi *SLOPE/ W, SEEP / W, SIGMA / W, QUAKE/ W, TEMP / W,* dan *CTRAN / W*. Yang sifatnya terkoneksi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk yang lain. Aplikasi ini bersifat unik dan mempunyai fitur yang kuat, sangat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk proyek yang berbeda. Langkah-langkah sebagai berikut.

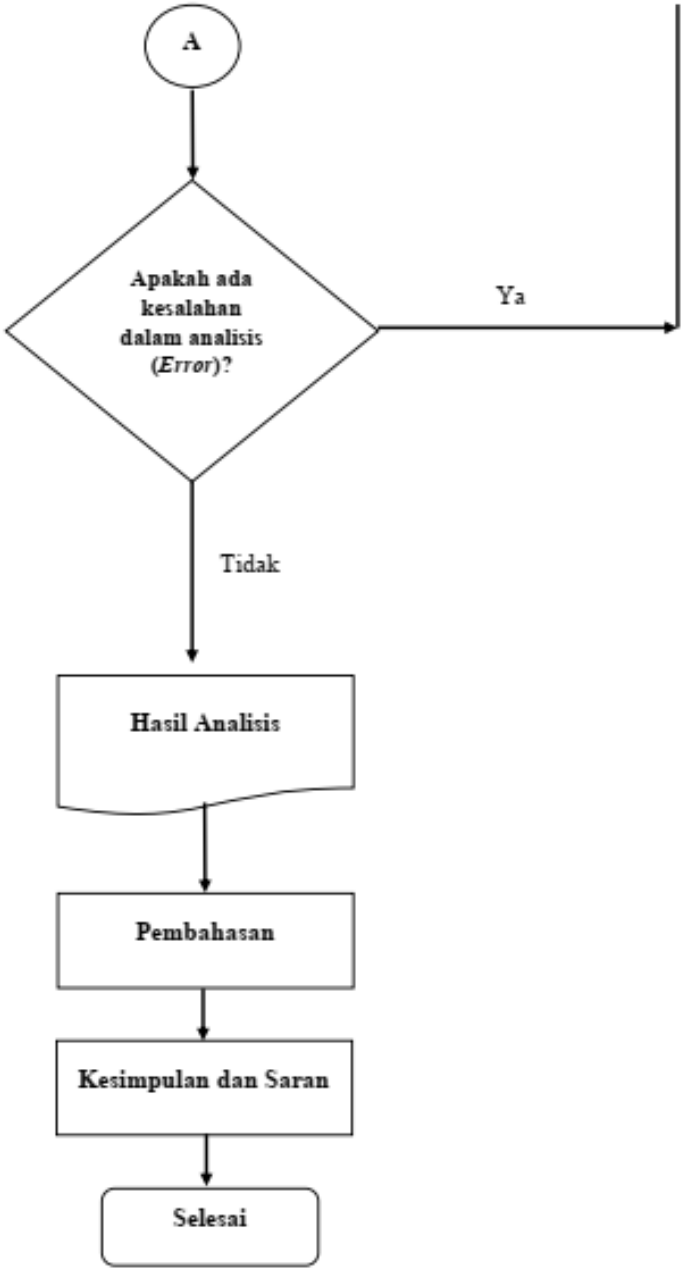
   a. Menggambar sket bendungan pada Geostudio,
   b. Menggambar bendungan sesuai dengan ukuran dan dimensi yang telah diketahui pada data-data yang dieroleh,

c. Memasukan koordinat potongan melintang bendungan pada lembar kerja Seep/W,
d. Memasukan parameter-parameter yang diperlukan untuk analisis rembesan pada Seep/W,
e. Menganalisis rembesan yang terjadi pada kondisi muka air yang di inginkan dengan akibat gempa atau tanpa gempa,
f. Menganalisis adanya bahaya piping yang terjadi pada bendungan berdasarkan nilai rembesan yang telah diperoleh pada analisis Seep/w,
g. Melakukan permodelan kedua pada lembar kerja Slope/W dengan cara yang sama seperti saat permodelan di Seep/W
h. Menganalisis stabilitas bendungan dengan menggunakan Slope/w, dan
i. Menghitung factor keamanan bendungan.
j. Melakukan kesimpulan evaluasi menyeluruh tentang keamanan bendungan sesuai hasil yang telah diperoleh pada analisis sebelumnya.

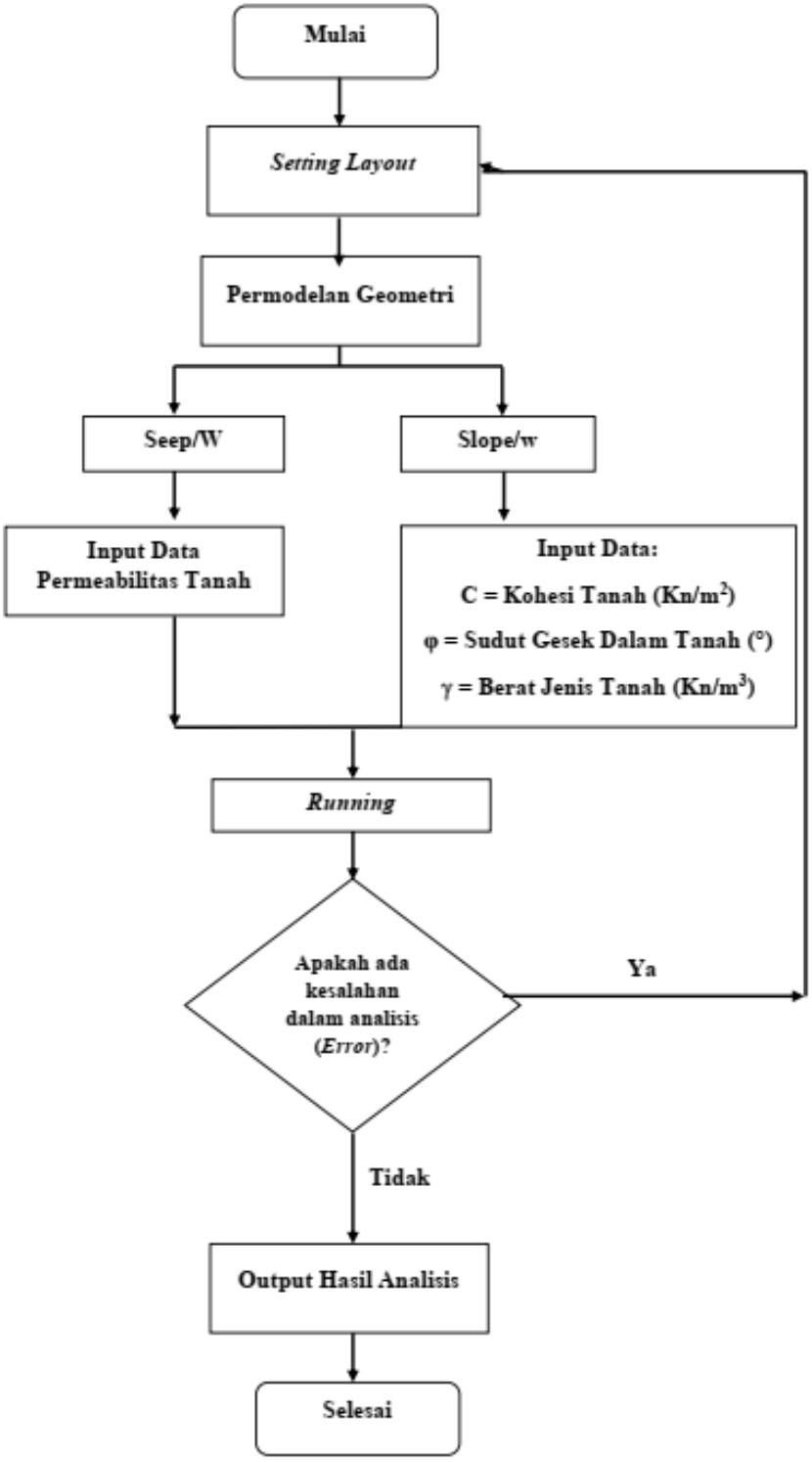
Untuk lebih jelasnya, tahapan penelitia ada penelitian ini dapat dilihat langsung pada diagram alir pada gambar 4.7, gambar 4.8 dan gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. 8 Lanjutan Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. 9 Bagan Alir Geostudio

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Data Yang Digunakan Dalam Penelitian

Data yang digunakan penulis dalam analisis ini meliputi data teknis bendungan, data penyelidikan tanah, daan data gambar teknis bendungan. Data yang tidak ditampilkan pada bab ini akan dilampirkan pada Lampiran 1.

5.1.1. Data Teknis Bendungan

Adapun data teknis bendungan meliputi data lokasi dan dimensi bendungan diperoleh penulis dari BBWS Bengawan Solo sebagai berikut.

1. Data Umum
   a. No Registrasi KNI-BB : 1020000165
   b. Lokasi : Ds. Sumber Bening, Kec. Bringin, Kab. Ngawi
   c. Koordinat : 7°24'41.23"LS dan 111°36'56.60"BT
   d. Tahun Konstruksi : 2000
   e. Pemilik : BBWS Bengawan Solo
2. Hidrologi
   a. Sungai : Kali Pang, Kali Geblakan, dan Kali Wekas
   b. Luas DAS : 18,20 km^2
3. Tubuh Bendungan
   a. Tipe urugan : Urugan batu dengan inti tegak
   b. Panjang puncak : 137,40 m
   c. Lebar puncak : 6,00 m
   d. Elevasi puncak : + 131,10
   e. Tinggi maksimum : 28,00 m
4. Bendungan
   a. Elevasi muka air normal: +127,70 m
   b. Elevasi muka air banjir: +129,20 m
   c. Elevasi muka air minimum: +108,00 m
   d. Luas dan vol waduk pada m.a normal : 144,92 ha; 9,63 juta m^3

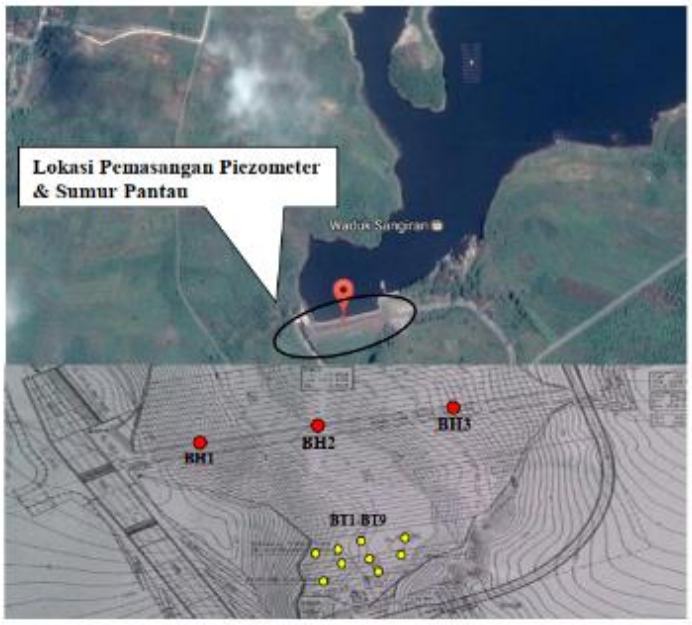
e. Luas dan vol waduk pada m.a banjir : 156,49 ha; 10,30 juta m^3
f. Luas dan vol waduk pada m.a minimal : 0,75 ha; 0,139 juta m^3

5. Pelimpah
   a. Tipe : Ogee tanpa pintu
   b. Elevasi mercu : +127,70
   c. Panjang mercu : 172,50 m
   d. Lebar mercu : 30 m
   e. Kapasitas pelimpah : 214,06 m^3/detik
6. Pintu Intake
   a. Tipe : Sorong
   b. Lebar pintu : 1,00 m
   c. Tinggi pintu : 1,50 m
   d. Jumlah pintu : 2 buah
   e. Cara pengoperasian : Elektrik genset
   f. Elevasi dasar intake : +107.20 m
   g. Kapasitas : 2 m^3/detik
7. Instrumentasi
   a. Piezometer : 2 buah open piezometer dan 24 electric piezometer
   b. Multi Layer Settelment : 2 buah (1 buah rusak)
   c. Patok geser : 7 buah
   d. Sumur pantau : 9 buah
   e. Alat ukur debit : 1 buah V-Notch (Rembesan)
   f. Stasiun hujan : 3 unit rusak 1 (1 unit otomatis dan 2 manual)
8. Lain-Lain
   a. Irigasi : 1.406 ha
   b. Nama Daerah irigasi : D.I Pang (J.I Pang, J.I Pojok dan J.I Krompol)
   c. Manfaat Lain : Pariwisata dan Perikanan

5.1.2. Data Penyelidikan Tanah

Adapun data penyelidikan tanah yan digunakan dalam analisis tugas akhir ini di ambil dari proyek Inpeksi Besar Bendungan Sangiran. Pengeboran yang dilakukan pada tubuh Bendungan Sangiran dilakukan sebanyak 3 (tiga) titik.

Sedangkan data-data tanah yang digunakan dalam analisis tugas akhir penulis adalah 1 titik pemboran, yaitu pada titik BH1 karena titik tersebut merupakan titik dimana potongan *cross section* yang paling tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.1 sebagai berikut ini.



Gambar 5. 1 Lokasi Investigasi Geoteknik Bendungan Sangiran

(Sumber : PT. Aria Jasa Konsultan, 2017)

1. Lokasi Titik Bor

   Lokasi titik bor dalam analisis tugas akhir penulis adalah pada titik BH1 yang terletak di sebelah bangunan intake.

2. Koordinat Titik Bor

   Koordinat titik bor yang digunakan oleh penulis terletan pada koordinat X= -7.41664 dan Y= 111.609477

Data rangkuman dari hasil pengujian tanah di laboratorium dapat dilihat pada table 5.1 sebegai berikut ini.

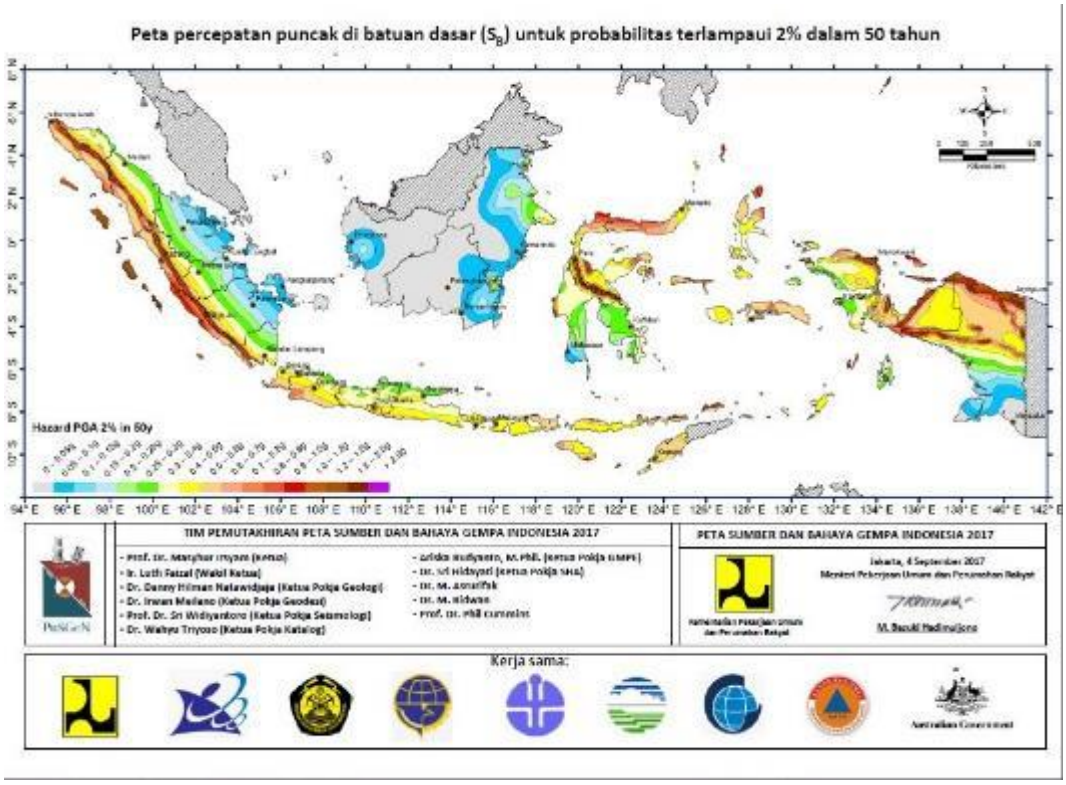
Tabel 5. 1 Data Penyelidikan Tanah Bendungan Sangiran

Test Point No	Depth (m)		Moisture Content	Specific Grafity	Liquid Limit	Plastic Limit	Plasticity Index	Liquidy Limit	Void Ratio	Degree of Saturation
			Wn (%)	Gs	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LL (%)	e	Sγs (%)
BH 1	6.00-6.50		37.41	2.65	47.82	26.67	21.16	0.51	0.99	100
BH 1	12.00-12.50		32.63	2.63	46.33	25.11	21.22	0.35	0.94	91.5
BH 1	18.00-18.50		34.5	2.66	50.1	28.56	21.54	0.28	0.98	93.97
BH 1	24.00-24.50		25.76	2.61	46.57	26.85	19.72	-0.06	0.78	85.77
Finer #200	Coef. Of Gradation		Classification	Bulk density		Dry density	Strenght Parameters Triaxial UU		Compaction Test	
(%)	Cc	Cu	Unified	(gr/cm3)		(gr/cm3)	φ	c (kg/cm2)	MDD grcm	CMC %
63.22	-	-	CL	1.83		1.33				
36.35	-	-	SC	1.8		1.36	10.89	0.777		
52.19	-	-	MH	1.81		1.35				
49.27	-	-	SC	1.84		1.46	12.52	0.753		

(Sumber : Laporan Geoteknik PT. Aria Jasa Konsultan, 2017)

5.2. Analisis Koefisien Gempa Termodifikasi

Bendungan Sangiran terletak di daerah Ngawi Provinsi Jawa Timur, maka dari melihat dari Peta Zona Gempa Tahun 2017 bendunga tersebut terletak pada zona dengan Z = 0.1-0.15, yang digunakan pada perhitungan adalah 0.15. Pada bendungan dengan kategori persyaratan tanpa kerusakan maka analisis dilakukan dengan metode OBE dan MDE. Adapun Peta Zona Gempa Indonesia Tahun 2017 dapat dilihat pada gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5. 2 Peta Zona Gempa di Indonesia Tahun 2017

Sumber: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat,2017

1. Menentukan Besaran Parameter Gempa Desain

   Untuk menentukan besaran gempa desain bendungan menggunakan Pedoman Konstruksi dan Bangunan Sipil yang analisisnya diawali dengan menentukan factor resiko keamanan bendungan terlebih dahulu seperti pada table 5.2 berikut..

Tabel 5. 2 Kriteria Faktor Resiko Evaluasi Keamanan Bendungan

Faktor Resiko	Angka Kategori Bobot Dalam Kurung			
	Ekstrim	Tinggi	Moderat	Rendah
Kapasitas (10^6m^3)(FR_k)	>100 (6)	100-1,25 (4)	1,00-0,125 (2)	<0,125 (0)
Tinggi (m) (FR_t)	>45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	<15 (0)

Kebutuhan evakuasi (jumlah orang) (FR_e)	>1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	0 (0)
Tingkat Kerusakan hilir (FR_h)	Sangat tinggi (12)	Tinggi (10)	Agak Tinggi (8)	Moderat (4)

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Berdasarkan kreteria di atas, dapat diperoleh Fakto Resiko Total Bendungan Sangiran seperti pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Faktor Resiko Total Keamanan bendungan Sangiran

Kriteria Bendungan Sangiran	**Besaran**	**Bobot Faktor Resiko**
Kapasitas waduk	214.06 x $10^6 m^3$	FRk (6)
Tinggi bendungan	28 m	FRt (2)
Kebutuhan evakuasi	±100 orang	FRe (4)
Tingkat kerusakan hilir	Tinggi	FRh (10)
Faktor resiko total		**FRtotal (22)**

Setelah mengetahui factor esiko total, maka selanjutnya adalah menentukan kelas resiko yang dapat ditentukan melalui tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5. 4 Kelas Resiko Bendungan

Faktor Resiko Total	**Kelas Resiko**
0 – 6	I (Rendah)
7 – 18	II (Moderat)
19 - 30	III (Tinggi)
>31	IV (Ekstrem)

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Bendungan Sangiran termasuk kategori kelas resiko ke III (tinggi). Dengan demikian kriteria beban gempa pada desain bendungan dalam OBE dan MDE dapat ditentukan dengan tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Kreteria Beban Gempa

Kelas Resiko Dengan Masa Guna	**Persyaratan Tanpa Kerusakan**		**Persyaratan Diperkenankan Ada Kerusakan Tanpa Keruntuhan**	
	T (tahun)	**Metode Analisis**	**T (tahun)**	**Metode Analisis**
IV N= 50-100	100-200 Ad > 0.1 g	Koefisien Gempa	10000 MDE	Koefisien gempa atau dinamik
III N= 50-100	50-100 Ad > 0.1 g	Koefisien Gempa	5000 MDE	Koefisien gempa atau dinamik
II N= 50-100	50-100 Ad > 0.1 g	Koefisien Gempa	3000 MDE	Koefisien gempa atau dinamik
I N= 50-100	50-100 Ad > 0.1 g	Koefisien Gempa	1000 MDE	Koefisien gempa atau dinamik

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Kelas resiko Bendungan Sangiran termasuk kelas resiko III (Tinggi), untuk itu dalam metode analisisnya mempertimbangkan persyaratan tanpa kerusakan (OBE) dengan T = 100 tahun dan persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan (MDE) dengan T = 5000 tahun.

2. Analisis Koefisien Gempa Kala Ulang T = 100 Tahun

   Analisis koefisien gempa pada T = 100 tahun dilakukan berdasarkan periode ulang, maka dapat ditentukan nilai dari percepatan gempa dasar (ac) adalah sebesar 0,277 seperti pada tabel 5.6 sebagai berikut ini.

Tabel 5. 6 Periode Ulang dan Percepatan Gempa

Periode Ulang T (Tahun)	ac (G)
10	0,127
20	0,155
50	0,196
100	0,227
200	0,255
500	0,289
1000	0,313
5000	0,364
10000	0,385

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Bendungan Sangiran terletak di daerah Ngawi Provinsi Jawa Timur, maka dari melihat dari Peta Zona Gempa Tahun 2017 bendunga tersebut terletak pada zona dengan Z = 0,1-0,15, yang digunakan pada perhitungan ini adalah 0,15. Untuk jenis batuan dasar Bendungan Sangiran merupakan jenis Rock (batuan) maka dari itu didapat faktor koreksi pengaruh jenis tanahatau batuan sebesar V = 0.8 yang dapat dilihat seperti pada tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5. 7 Faktor Koreksi Jenis Batuan Dasar

Jenis Batuan Dasar	Faktor Koreksi (V)
Rock (batuan)	0,8
Dilluvium (tanah kaku)	1
Alluvium (tanah sedang)	1,1
Soft Alluvium (tanah lunak)	1,2

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Maka sesuai perssamaan 3.27 dan 3.28 pada bab III, dapat dihitung nilai percepatan gempa termodifikasi sebagai berikut ini.

a. Percepatan gempa terkoreksi (ad)

Ad = Z x ac x V

= 0,15 x 0,227 x 0,8

= 0,0272 g

= 26,7224 cm/det^2

b. Koefisien gempa (ko)

k = ad/g

= 26,7224/981

= 0,0272

ko = a_2 x k

= 0,5 x 0,0272

= 0,0136

c. Koefisien gempa termodifikasi

Untuk analisis koefisien gempa termodifikasi ini, koefisien gempa dianalisis berdasarkan fungsi kedalaman (y). Peninjauan sebaiknya dilakukan pada y = 0,25h; 0,5h; 0,75h dan h dengan menggunakan k pada periode ulang yang telah disyaratkan. Akan tetapi pada penelitian ini penulis hanya melakukan perhitunga dengan peninjauan y= h saja, dengan H adalah tinggi bendungan.

y/h = 1

k = ko x (2 – 0.6 (y/h))

= 0,0136 x (2 – 0.6 (1))

= 0,0191 g

Maka, dari hasil perhitungan diperoleh koefisien gempa termodifikasi untuk T = 100 tahun sebesar k = 0,0191 g.

3. Analisis Koefisien Gempa Kala Ulang T = 5000 Tahun

Analisis koefisien gempa pada T = 100 tahun dilakukan berdasarkan periode ulang, maka dapat ditentukan nilai dari percepatan gempa dasar (ac) adalah sebesar 0.277 seperti pada tabel 5.8 sebagai berikut ini.

Tabel 5. 8 Periode Ulang dan Percepatan Gempa

Periode Ulang T (Tahun)	ac (G)
10	0,127
20	0,155
50	0,196
100	0,227
200	0,255
500	0,289
1000	0,313
5000	0,364
10000	0,385

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Bendungan Sangiran terletak di daerah Ngawi Provinsi Jawa Timur, maka dari melihat dari Peta Zona Gempa Tahun 2017 bendunga tersebut terletak pada zona dengan Z = 0,1-0,15, yang digunakan pada perhitungan ini adalah 0,15. Adapun jenis batuan dasar Bendungan Sangiran merupakan jenis Rock (batuan) maka dari itu didapat factor koreksi pengaruh jenis tanah/batuan sebesar V = 0,8 seperti pada tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5. 9 Faktor Koreksi Jenis Batuan Dasar

Jenis Batuan Dasar	Faktor Koreksi (V)
Rock (batuan)	0,8
Dilluvium (tanah kaku)	1
Alluvium (tanah sedang)	1,1
Soft Alluvium (tanah lunak)	1,2

Sumber : Pedoman analisis dinamik bendungan urugan (2008)

Maka sesuai perssamaan 3.27 dan 3.28 pada bab III, dapat dihitung percepatan gempa termodifikasi sebagai berikut ini.

a. Percepatan gempa terkoreksi (ad)

ad = Z x ac x V

= 0,15 x 0,364 x 0,8

= 0,0437 g

= 42,8501 cm/det^2

b. Koefisien gempa (ko)

k = ad/g

= 42,8501/981

= 0,0437

ko = a_2 x k

= 0,5 x 0,0437

= 0,0219

c. Koefisien gempa termodifikasi

Adapun untuk analisis koefisien gempa termodifikasi ini, koefisien gempa dianalisis berdasarkan fungsi kedalaman (y). Peninjauan sebaiknya dilakukan pada y = 0,25h; 0,5h; 0,75h dan h dengan menggunakan k pada periode ulang yang telah disyaratkan. Akan tetapi pada penelitian ini penulis hanya melakukan perhitunga dengan peninjauan y = h saja, dengan H adalah tinggi bendungan.

y/h = 1

k = ko x (2 – 0,6 (y/h))

= 0,0219 x (2 – 0,6 (1))

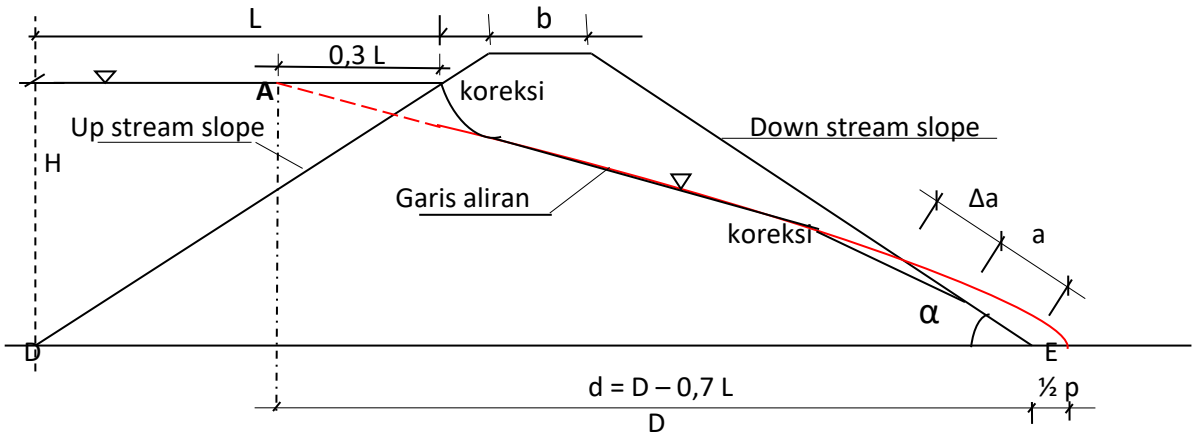
= 0,0307 g

Maka, dari hasil perhitungan diperoleh koefisien gempa termodifikasi untuk T = 5000 tahun sebesar k = 0,0307 g.

5.3. Analisis Rembesan Bendungan

Analisis rembesan dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keamanan tubuh bendungan terhadap bahaya rembesan yaitu piping. Adapun untuk perhitungan

manual dengan menggunakan metode Casagrande dapat dilihat pada analisis berikut ini.



Gambar 5. 3 Gambar rembesan Air di Tubuh Bendungan

Perhitungan debit rembesan dengan garis frestik manual dengan menggunakan metode casagrande pada kondizi muk air normal, dapat dihitung sebagai berikut.

H hulu = 25,7 m

H hulu^2 = 660,49 m

α = 32°

tan α = 0,6248

ctg^2 α = 2,5611

sin α = 0,5299

sin^2 α = 0,2808

d = 21,53 m

d^2 = 463,5409 m

$$\alpha = \sqrt{d^2 + H^2} - \sqrt{d^2 - H^2 ctg^2 a}$$

$$= \sqrt{463{,}5409 + 660{,}49} - \sqrt{463{,}5490 - 660{,}49\ x\ 2{,}561}$$

= 10,5774 m

Mencari K equivalen bendungan :

$K_{x1} = \frac{10^{-5} \, x \, 1}{25,7}$

$= 3,8911 \times 10^{-7}$

$K_{z1} = \frac{25,7}{\frac{1}{10^{-5}}}$

$= 2,57 \times 10^{-4}$

$K_{x2} = \frac{10^{-2} \, x \, 30,8}{25,7}$

$= 0,01198$

$K_{z2} = \frac{25,7}{\frac{30,8}{10^{-2}}}$

$= 8,3441 \times 10^{-3}$

$K_{x3} = \frac{10^{-6} \, x \, 7,7}{25,7}$

$= 2,9961 \times 10^{-7}$

$K_{z3} = \frac{25,7}{\frac{7,7}{10^{-6}}}$

$= 3,3338 \times 10^{-6}$

$K_{x4} = \frac{10^{-6} \, x \, 3,2}{25,7}$

$= 1,2451 \times 10^{-7}$

$K_{z4} = \frac{25,7}{\frac{3,2}{10^{-6}}}$

$= 8,031 \times 10^{-6}$

$K_{x5} = \frac{10^{-9} \, x \, 5,6}{25,7}$

$= 2,1790 \times 10^{-10}$

$K_{z5} = \frac{25,7}{\frac{5,6}{10^{-9}}}$

$= 4,59 \times 10^{-9}$

$$K_x = \frac{\sum kxi \,.Li}{L}$$

$$= 1284{,}0483$$

$$K_z = \frac{L}{\sum \frac{Li}{kzi}}$$

$$= 16881{,}5929$$

$$K_{eq} = \sqrt{0{,}011985 \text{x } 0{,}008612}$$

$$= 1{,}015 \text{ x } 10^{-2}$$

Maka dapat dihitng nilai debit rembesan bendungan :

$$q = k \text{ x } \alpha \text{ x } \sin^2 \alpha$$

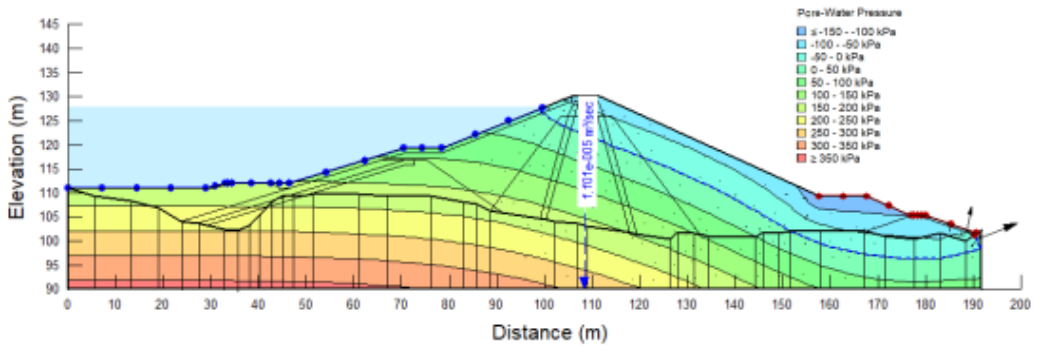
$$= 1{,}015\text{x } 10^{-2} \text{ x } 10{,}5774 \text{ x } 0{,}2808$$

$$= 3{,}0146 \text{ x } 10^{-2} \text{ m}^3\text{/s pada kondisi muka air normal}$$

Selanjutnya, untuk mengetahui pola garis rembesan pada bendungan Sangiran digunakan software *Seep/W* yang hasilnya berisi informasi tentang tekanan air pori pada tubuh bendungan sebagai berikut ini.

5.3.1. Rembesan Pada Muka Air Normal

Analisis rembesan pada tubuh Bendungan Sangiran dengan analisis menggunakan Seep/W pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.3 Berikut ini.



Gambar 5. 4 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Pada Kondisi Muka Air Normal

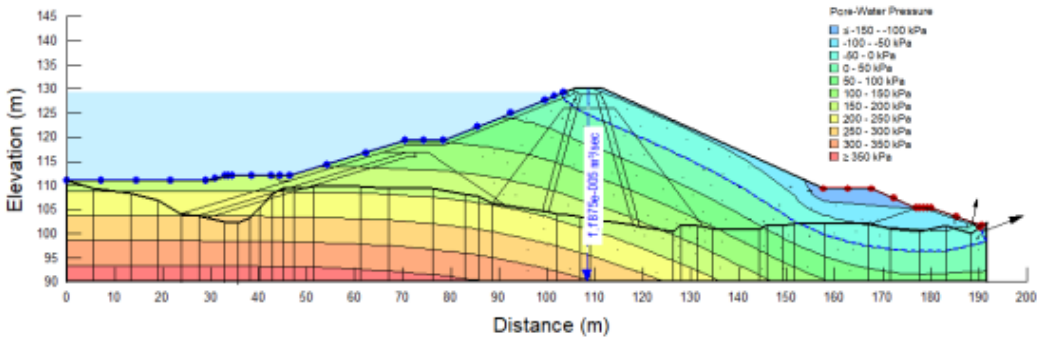
Berdasarkan data teknis yang ada pada bendungan Sagiran, panjang puncak bendungan adalah 137,4 m sehingga total rembesan diketahui sebagai berikut .

Qtotal = 1,101 x 10^{-5} x 137,4 m

= 1,5128 x 10^{-3} m^3/s

5.3.2. Rembesan Pada Muka Air Maksimum

Analisis rembesan pada tubuh Bendungan Sangiran dengan analisis menggunakan Seep/W pada kondisi muka air banjir dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5. 5 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Pada Kondisi Muka Air Banjir

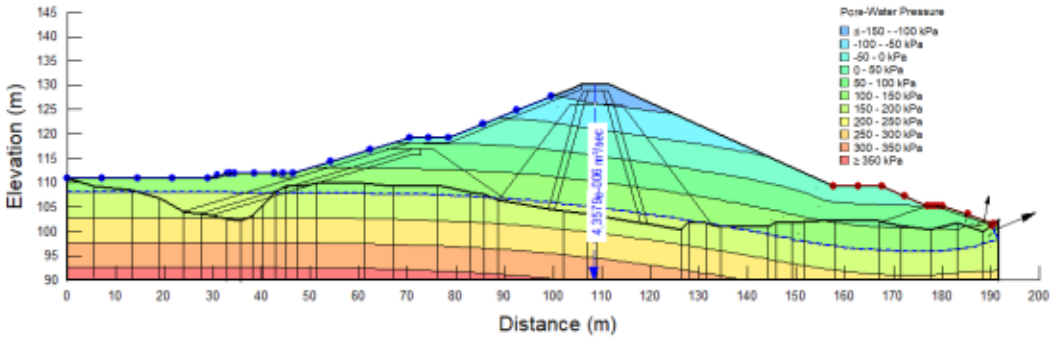
Berdasarkan data teknis yang ada pada bendungan Sagiran, panjang puncak bendungan adalah 137,4 m sehingga total rembesan diketahui sebagai berikut .

Qtotal = 1,187 x 10^{-5} x 137,4 m

= 1,6309 x 10^{-3} m^3/s

5.3.3. Rembesan Pada Muka Air Minimum

Analisis rembesan pada tubuh Bendungan Sangiran dengan analisis menggunakan Seep/W pada kondisi muka air minimum dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5. 6 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Pada Kondisi Muka Air Minimum

Berdasarkan data teknis yang ada pada bendungan Sagiran, panjang puncak bendungan adalah 137,4 m sehingga total rembesan diketahui sebagai berikut .

Qtotal = 4,357 x 10^{-6} x 137,4 m

= 5,9878 x 10^{-4} m^3/s

5.4. Analisis Bahaya Piping

5.4.1. Keamanan Terhadap Bahaya Piping Pada Muka Air Normal

Perhitungan keamanan terhadap piping dari persamaan 3.3 dan 3.4 dapat diperoleh hasil sebagai berikut.

$$Ie = \frac{28}{121}$$

= 0,2314

$$In = \frac{2{,}63 - 1}{1 + 0{,}981}$$

= 0,8228

$$SF = \frac{0{,}8228}{0{,}2314}$$

= 3,5557 > 3 (Aman)

5.4.2. Keamanan Terhadap Bahaya Piping Pada Muka Air Maksimum

Perhitungan keamanan terhadap piping dari persamaan 3.3 dan 3.4 dapat diperoleh hasil sebagai berikut.

$$Ie = \frac{28}{191}$$

= 0,2353

$$In = \frac{2{,}63 - 1}{1 + 0{,}981}$$

= 0,8228

$$SF = \frac{0{,}8228}{0{,}2353}$$

= 3,4968 > 3 (Aman)

5.4.3. Keamanan Terhadap Bahaya Piping Pada Muka Air Minimum

Perhitungan keamanan terhadap piping dari persamaan 3.3 dan 3.4 dapat diperoleh hasil sebagai berikut.

$$Ie = \frac{28}{199}$$

= 0,1407

$$In = \frac{2{,}63 - 1}{1 + 0{,}981}$$

= 0,8228

$$SF = \frac{0{,}8228}{0{,}1407}$$

= 5,8479 > 3 (Aman)

5.5. Analisis Stabilitas Bendungan

Adapun parameter geoteknik tubuh bendungan dan pondasi dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 10 Parameter Geoteknik Tubuh Bendungan dan Pondasi

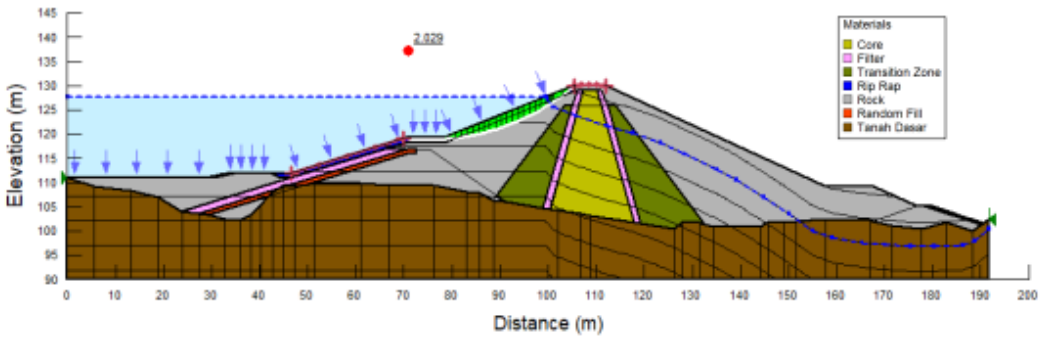
No	Material	Jenis Material	γ (kn/m^3)	C (kn/m^2)	φ *(..o)*	Sumber

1	Core	Lempung	18,5	50.199	8.825	Uji Laboratorium
2	Filter	Lempung kepasiran, abu-abu kecokelatan, terdapat sedikit pasir, kaku	19	0	30	Uji Terdahulu
3	Transition Zone	Lempung kepasiran, abu-abu kecokelatan, terdapat sedikit pasir, kaku	19	0	32.5	Uji Terdahulu
4	Rockfill Zone	Batuan, Pasir halus-kasar, berkerikil, sedikit lempung	20	0	35	Uji Terdahulu
5	Random Fill	Pasir halus-kasar, berkerikil, sedikit lempung	20	0	40	Uji Terdahulu
6	Rip Rap	Pasir halus-kasar, berkerikil, sedikit lempung, cokelat keabuan, padat	18	10	10	Uji Terdahulu

Sumber : Laporan Teknis Geoteknik PT Aria Jasa Konsultan (2017)

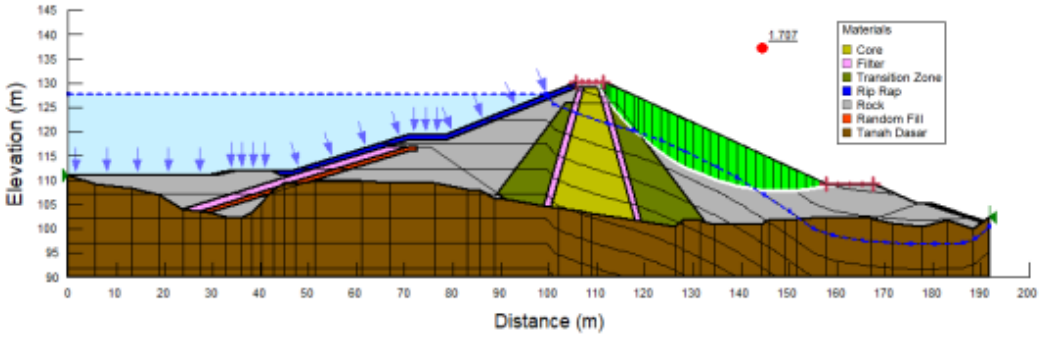
5.5.1. Stabilitas Lereng Pada Kondisi Muka Air Normal

Berikut ini adalah hasil analisis stabilitas lereng bendungan dengan analisis Slope/W pada kondisi muka air normal pada Bendungan Sangiran dapat dilihat pada gambar 5.6 sampai dengan gambar 5.11 sebagai berikut ini.



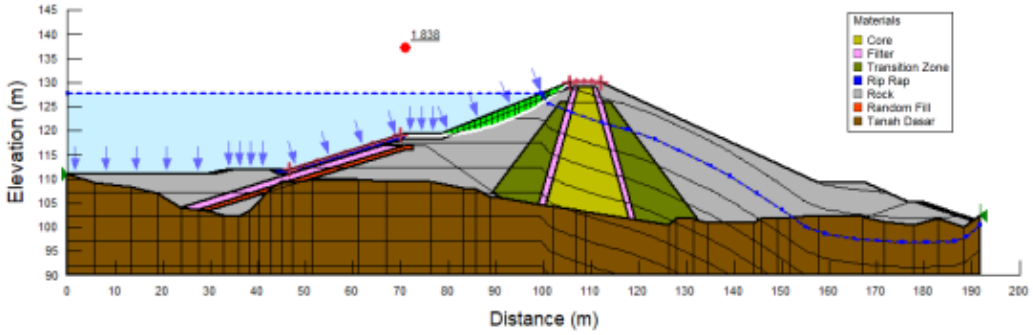
Gambar 5. 7Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 2,029 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



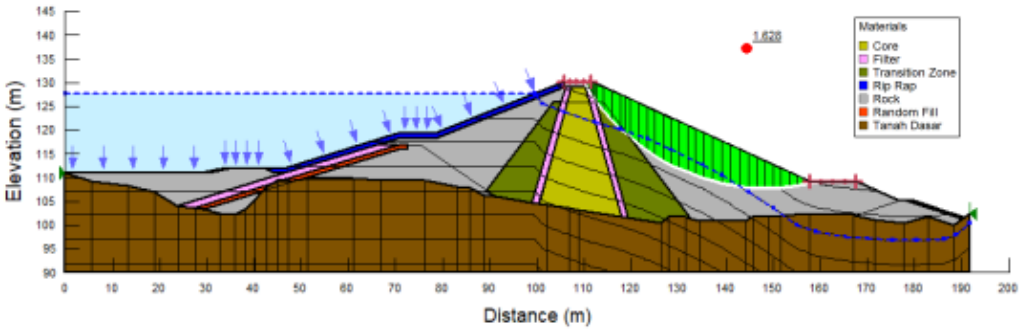
Gambar 5. 8 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,707 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



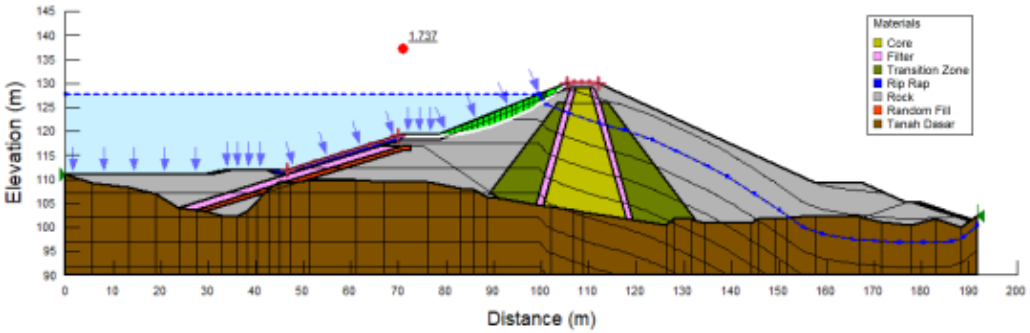
Gambar 5. 9 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,838 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



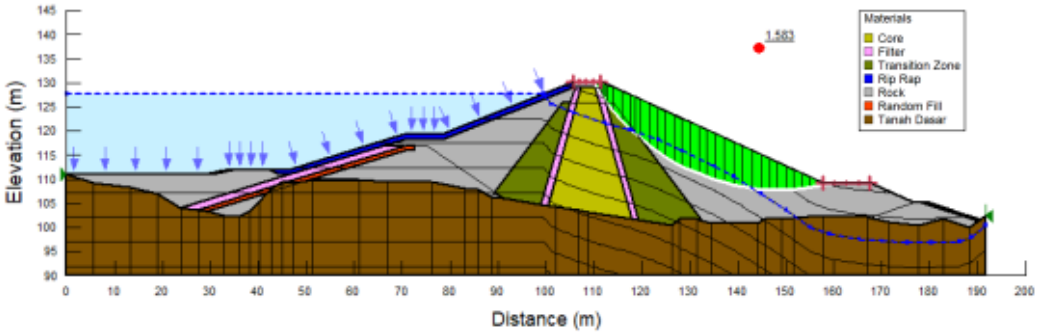
Gambar 5. 10 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,628 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



Gambar 5. 11 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,737 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

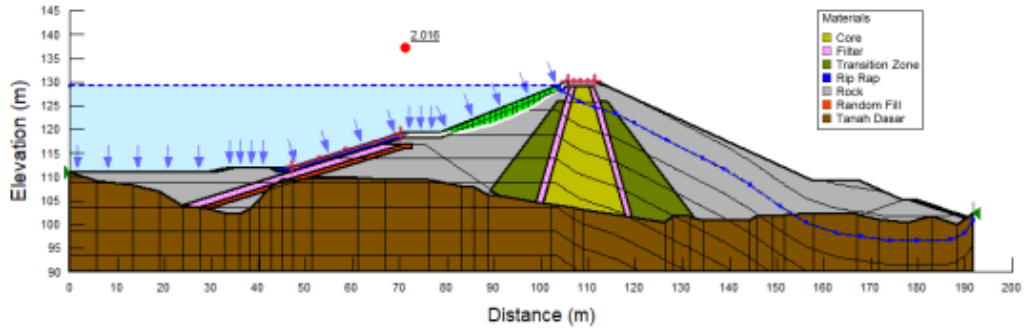


Gambar 5. 12 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,583 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

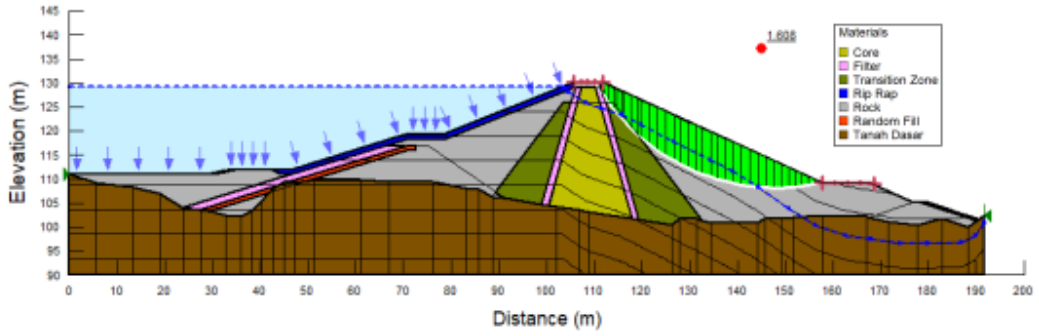
5.5.2. Stabilitas Lereng Pada Konndisi Muka Air Maksimum

Berikut ni adalah hasil analisis stabilitas lereng bendungan dengan anailis Slope/W pada kondisi muka air Banjir pada Bendungan Sangiran dapat dilihat pada gambar 5.12 sampai dengan gambar 5.17 sebagai berikut ini.



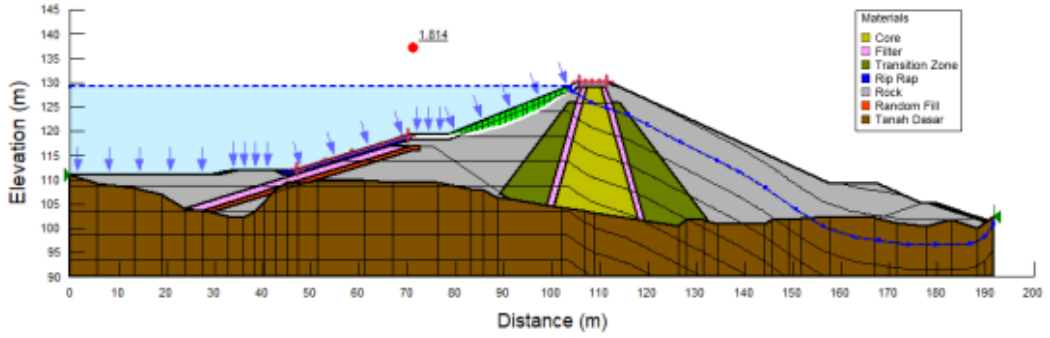
Gambar 5. 13 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 2,016 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



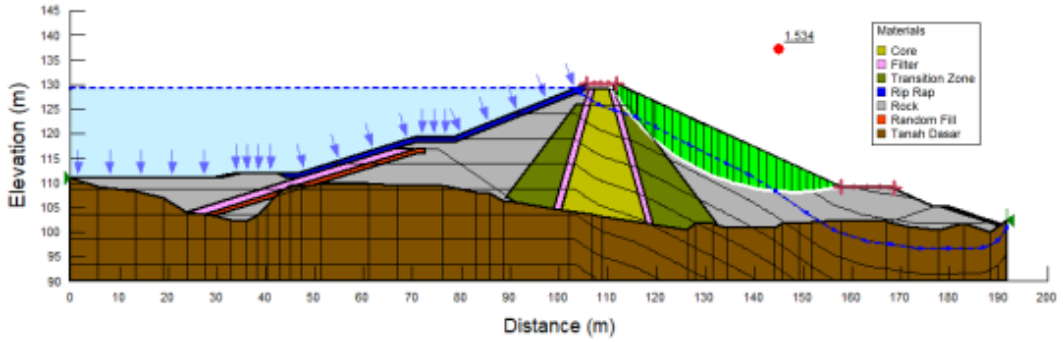
Gambar 5. 14 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,608 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



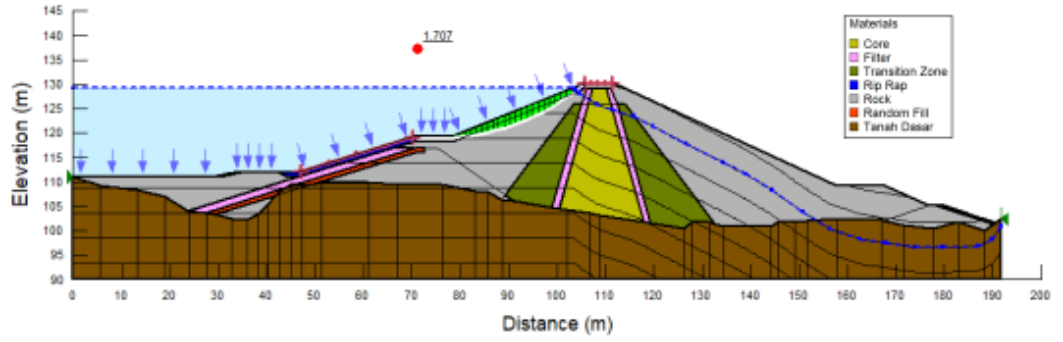
Gambar 5. 15 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,814 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



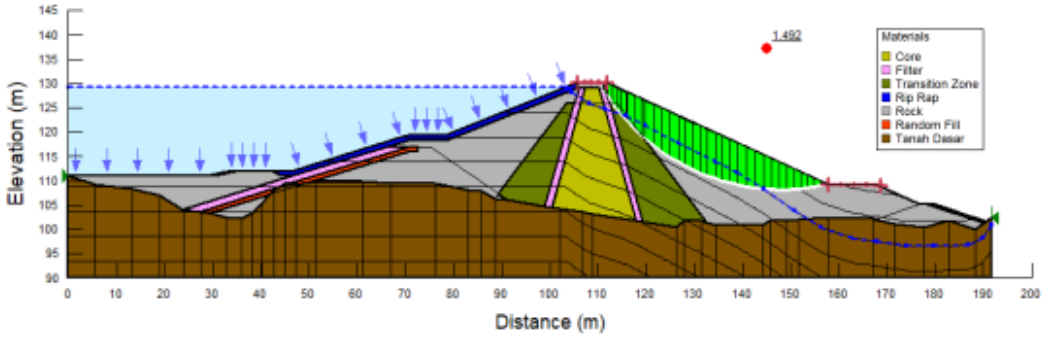
Gambar 5. 16 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,534 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



Gambar 5. 17 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,707 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

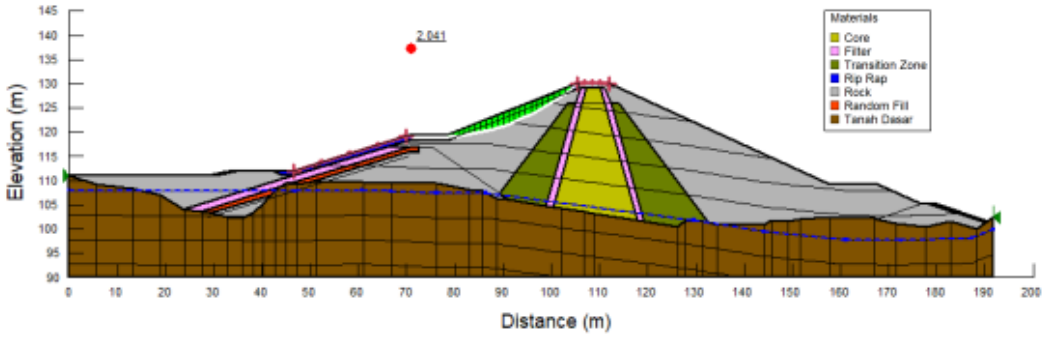


Gambar 5. 18 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,492 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

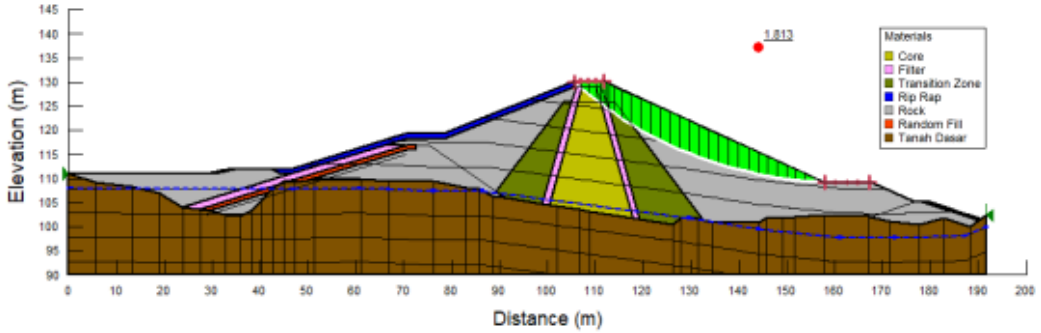
5.5.3. Stabilitas Lereng Pada Kondisi Muka Air Minimum

Berikut ini adalah hasil analisis stabilitas lereng bendungan dengan anailis Slope/W pada kondisi muka air minimum pada Bendungan Sangiran dapat dilihat pada gambar 5.18 sampai dengan gambar 5.23 sebagai berikut ini.



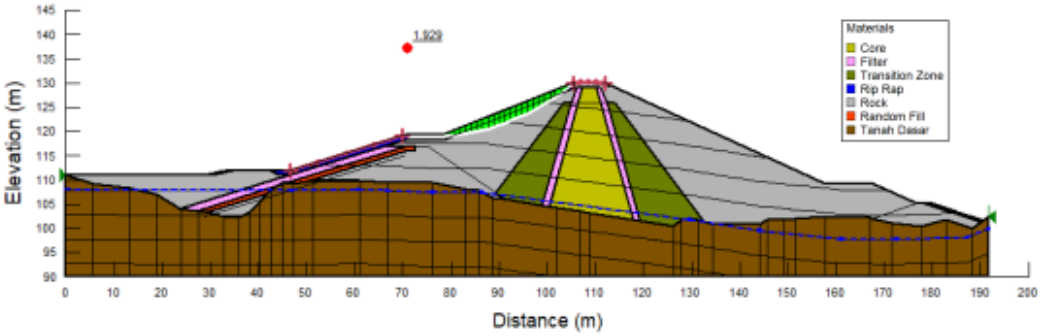
Gambar 5. 19 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Tanpa Beban Gempa

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 2,041 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



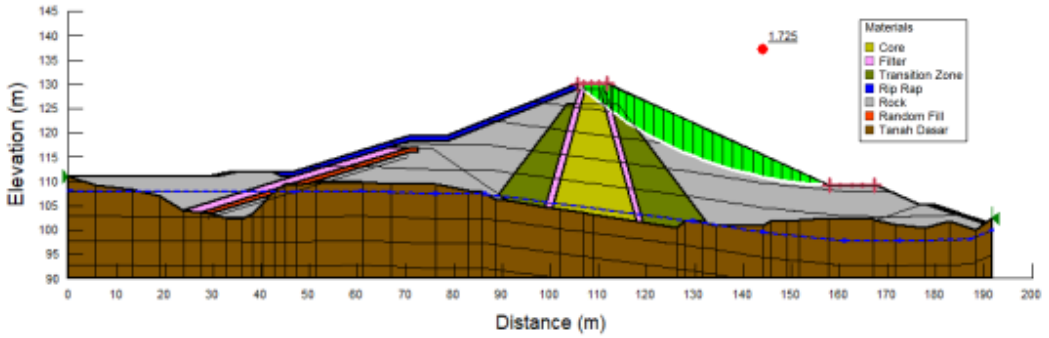
Gambar 5. 20 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Tanpa Beban Gempa

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,813 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



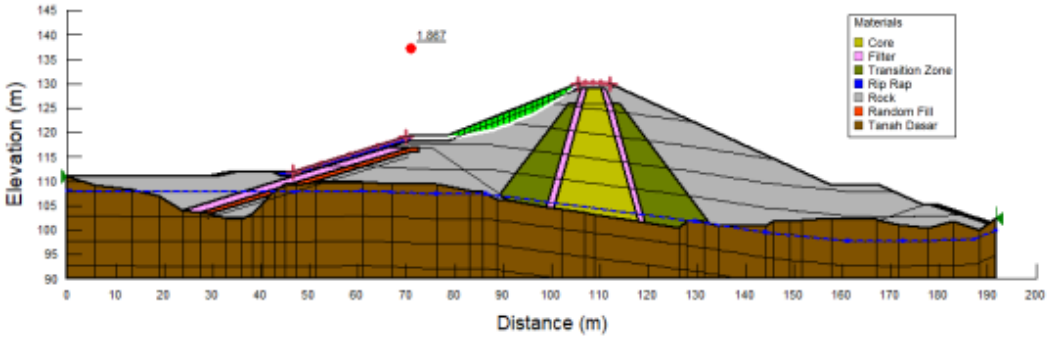
Gambar 5. 21 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,929 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



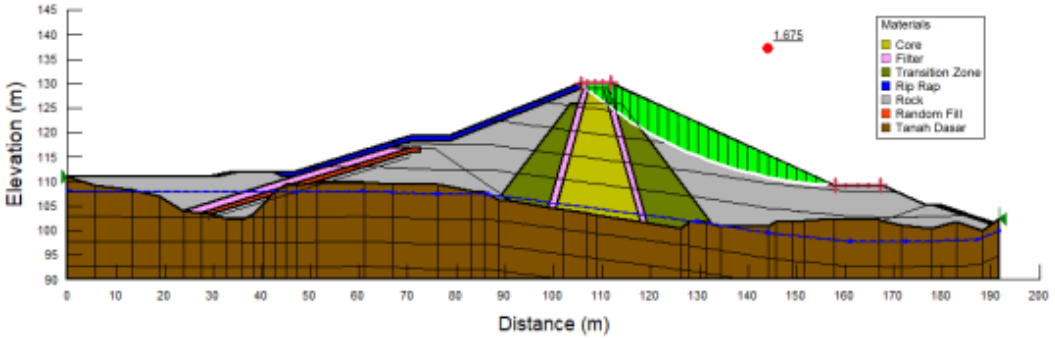
Gambar 5. 22 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,725 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



Gambar 5. 23 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,867 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

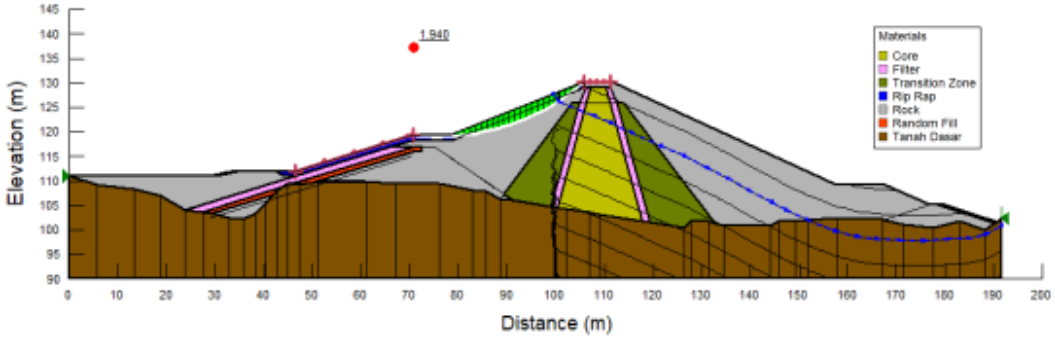


Gambar 5. 24 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,675 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

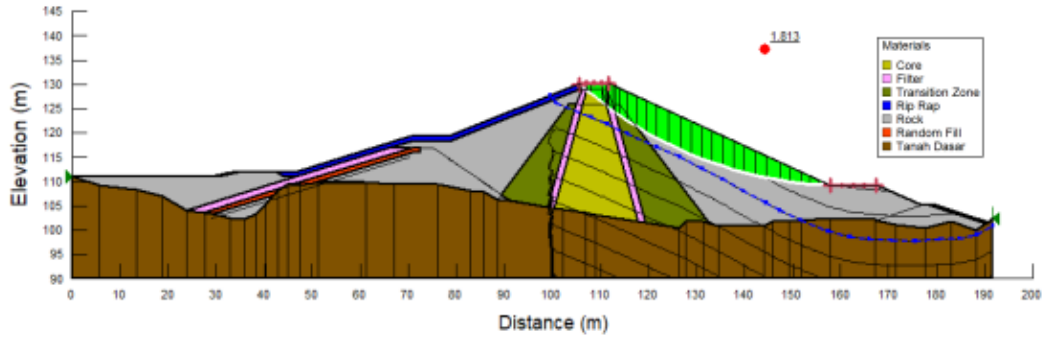
5.5.4. Stabilitas Lereng Pada Kondisi Muka Air Surut Cepat

Berikut ini adalah hasil analisis stabilitas lereng bendungan dengan anailis Slope/W pada kondisi muka air minimum pada Bendungan Sangiran dapat dilihat pada gambar 5.24 sampai dengan gambar 5.29 sebagai berikut ini.



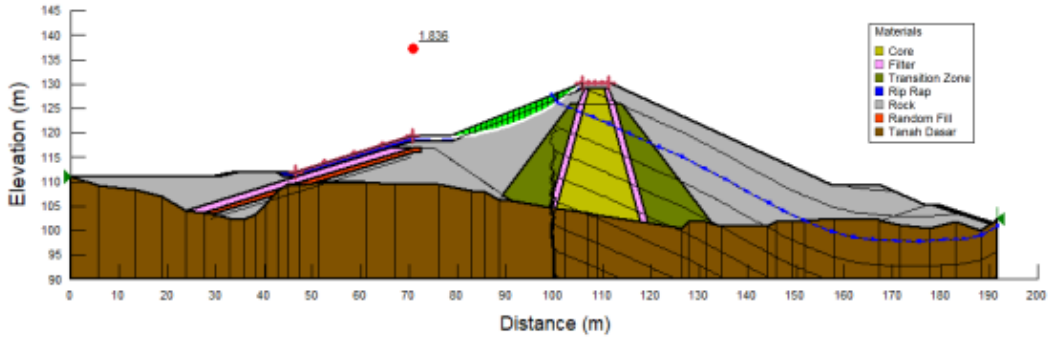
Gambar 5. 25 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,940 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



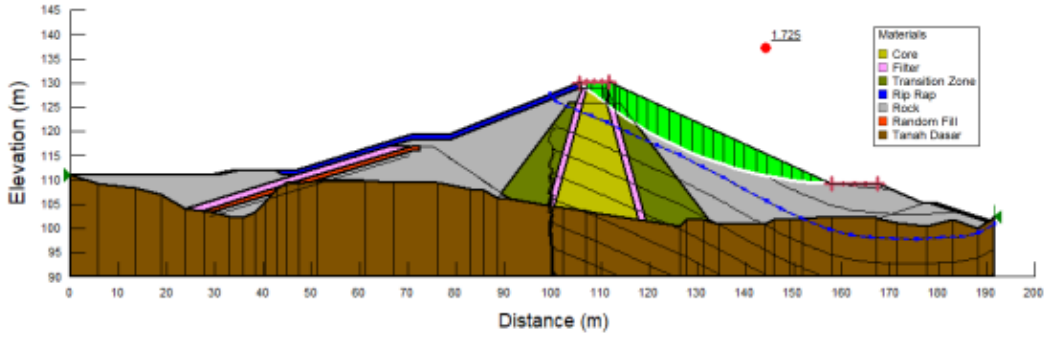
Gambar 5. 26 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,813 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



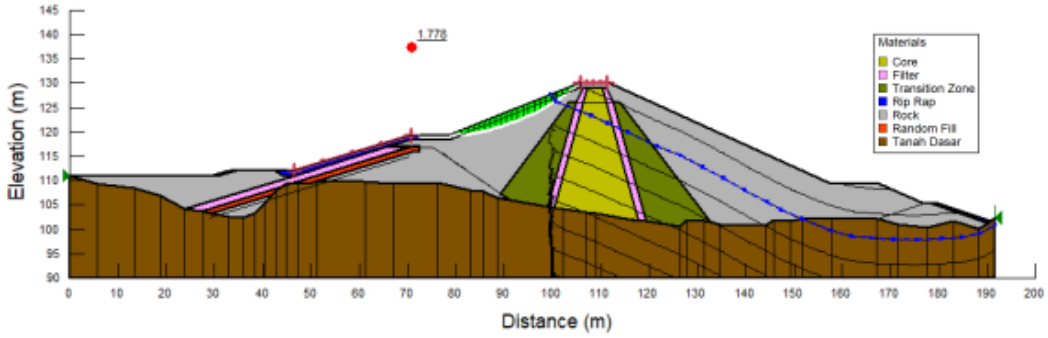
Gambar 5. 27 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,836 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



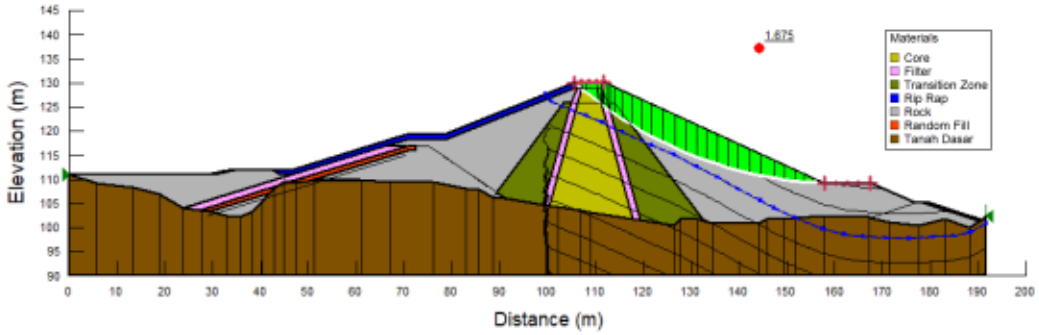
Gambar 5. 28 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,725 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.



Gambar 5. 29 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,776 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

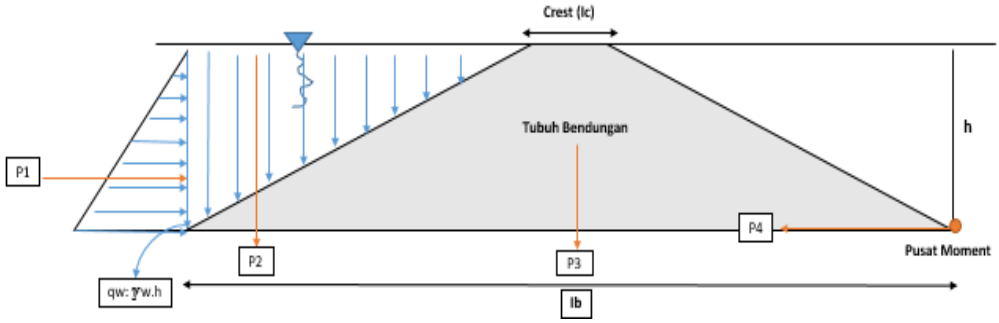


Gambar 5. 30 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Surut Tiba-Tiba Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun

Dari hasil analisis lereng bagian hulu diatas, diperoleh nilai factor keamanan bendungan sebesar 1,675 yang berarti memperoleh hasil angka keamanan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

5.5.5. Stabilitas Lereng Terhadap Guling dan Geser

Stabilitas guling merupakan kestabilan struktur terhadap kemungkinan terguling karena adanya beban dorong dari air waduk, sedangkan stabilitas geser merupakan perlawanan terhadap gaya dorong yang terjadi searah bidang horizontal bendungan. Sebagai gambaran dapat dilihat pada gambar 5.30 sebagai berikut.



Gambar 5. 31 Gambaran Stabilitas Guling dan Geser Bendungan Sangiran

Pada penelitian ini, hasil dari perhitungan stabilitas guling dan geser pada Bendungan Sangiran dapat dilihat pada hasil berikut ini.

1. Kondisi Muka Air Normal

   Tipe Bendungan : urugan batu

   Tinggi (h) : 127,7 m

   Berat jenis (γ) : 2,64

Berat jenis air (γw) : 1

Lebar puncak (lc) : 6 m

Lebar Bawah (lb) : 146 m

Overtuning Moment

M1 = P1(h/3)

M1 = (qw.h/2)(h/3)

M1 = ((γw.h)(h/2)(h/3))

M1 = $\gamma w.h^3/6$

M1 = 1 x 127,7^3/6

M1 = 347073,5 tm

Resisting Moment

M2+M3 = P2(Ib/2)+P3(Ib-(2h/3)/3)

M2+M3 = (γ.h(Ib+Ic)/2)(Ib/2)+(qw(2h/3)/2)(Ib-(2h/3)/3)

M2+M3 = (γ.h(Ib+Ic)/2)(Ib/2)+((γw.h)(h/3))(Ib-2h/9)

M2+M3 = (2,64x127,7(146+6)/2)(146/2)+((1x127,7)(127,7/3))(146-2x127,7/9)

M2+M3 = 2509752,7 tm

Safety Factor

SF Guling = (M2+M3)/M1

SF Guling = 2509752,7/347073,5

SF Guling = 7,2312 > 2 Aman

Shear Forces

P1 = (qw.h/2)

P1 = (γw.h)(h/2)

P1 = (1x127,7)(127,7/2)

P1 = 8153,645 ton

Shear Resistance

P4 = μ(p2+p3)

P4 = 0,6(γ(Ib+Ic)h/2+(h/2)(Ib-Ic)/2)

P4 = 0,6(2,64(146+6)x127,7/2 + (127,7/2)(146-6)/2)

P4 = 18054,74 ton

Safety Factor

SF Geser = P4/P1

SF Geser = 18054,74/8153,645

SF Geser = 2,2143 > 1,5 Aman

2. Kondisi Muka Air Maksimum

Tipe Bendungan : urugan batu

Tinggi (h) : 129,2 m

Berat jenis (γ) : 2,64

Berat jenis air (γw) : 1

Lebar puncak (lc) : 6 m

Lebar Bawah (lb) : 146 m

Overtuning Moment :

M1 = P1(h/3)

M1 = 1 x 129,2^3/6

M1 = 359448,2 tm

Resisting Moment :

M2+M3 = P2(Ib/2)+P3(Ib-(2h/3)/3)

M2+M3=(2,64x129,2(146+6)/2)(146/2)+((1x129,2)(129,2/3))(146-2x129,2/9)

M2+M3 = 2544976,6 tm

Safety Factor

SF Guling = (M2+M3)/M1

SF Guling = 2544976,6/359448,2

SF Guling = 7,0802 > 2 Aman

Shear Forces

P1 = (qw.h/2)

P1 = (γw.h)(h/2)

P1 = (1x129,2)(129,2/2)

P1 = 8346,32 ton

Shear Resistance

P4 = μ(p2+p3)

P4 = 0,6(γ(Ib+Ic)h/2+(h/2)(Ib-Ic)/2)

P4 = 0,6(2,64(146+6)x129,2/2 + (129,2/2)(146-6)/2)

P4 = 18266,8128 ton

Safety Factor

SF Geser = P4/P1

SF Geser = 18266,8128/8346,32

SF Geser = 2,1886 > 1,5 Aman

3. Kondisi Muka Air Minimum

Tipe Bendungan : urugan batu

Tinggi (h) : 108 m

Berat jenis (γ) : 2,64

Berat jenis air (γw) : 1

Lebar puncak (lc) : 6 m

Lebar Bawah (lb) : 146 m

Overtuning Moment

M1 = P1(h/3)

M1 = 1 x 108^3/6

M1 = 209952 tm

Resisting Moment

M2+M3 = P2(Ib/2)+P3(Ib-(2h/3)/3)

M2+M3 = (2,64x108(146+6)/2)(146/2)+((1x108)(108/3))(146-2x108/9)

M2+M3 = 2056181,76 tm

Safety Factor

SF Guling = (M2+M3)/M1

SF Guling = 2056181,76/209952

SF Guling = 9,7936 > 2 Aman

Shear Forces

P1 = (qw.h/2)

P1 = (γw.h)(h/2)

P1 = (1x108)(108/2)

P1 = 5832 ton

Shear Resistance

P4 = μ(p2+p3)

P4 = 0,6(γ(Ib+Ic)h/2+(h/2)(Ib-Ic)/2)

P4 = 0,6(2,64(146+6)x108/2 + (108/2)(146-6)/2)

P4 = 15269 ton

Safety Factor

SF Geser = P4/P1

SF Geser = 15269/5832

SF Geser = 2,6182 > 1,5 Aman

4. Kondisi Muka Air Surut Cepat

Tipe Bendungan : urugan batu

Tinggi (h) v : 129,2 m

Tinggi (h) h : 108 m

Berat jenis (γ) : 2,64

Berat jenis air (γw) : 1

Lebar puncak (lc) : 6 m

Lebar Bawah (lb) : 146 m

Overtuning Moment

M1 = P1(h/3)

M1 = 1 x 108^3/6

M1 = 209952 tm

Resisting Moment

M2+M3 = P2(Ib/2)+P3(Ib-(2h/3)/3)

M2+M3 = (2,64x129,2(146+6)/2)(146/2)+((1x129,2)(129,2/3))(146-2x129,2/9)

M2+M3 = 2544976,62 tm

Safety Factor

SF Guling = (M2+M3)/M1

SF Guling = 2544976,62/209952

SF Guling = 12,122 > 2 Aman

Shear Forces

P1 = (qw.h/2)

P1 = (γw.h)(h/2)

P1 = (1x108)(108/2)

P1 = 5832 ton

Shear Resistance

P4 = μ(p2+p3)

P4 = 0,6(γ(Ib+Ic)h/2+(h/2)(Ib-Ic)/2)

P4 = 0,6(2,64(146+6)x129,2/2 + (129,2/2)(146-6)/2)

P4 = 18267 ton

Safety Factor

SF Geser = P4/P1

SF Geser = 18267/5832

SF Geser = 3,1322 > 1,5 Aman

5.6. Pembahasan

1. Debit Rembesan

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dari permodelan Seep/W untuk menghitung debit rembesan dapat dilihat pada Tabel 5.11 hasil rekapitulasi berikut ini.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Debit Rembesan

No	Kondisi	Hasil Analisis	Syarat	Keterangan
1	Muka Air Normal	1,5128 x 10^{-3} m^3/s	7,5 x 10^{-2} m^3/s	Aman
2	Muka Air Banjir	1,6309 x 10^{-3} m^3/s	7,5 x 10^{-2} m^3/s	Aman
3	Muka Air Minimum	5,9878 x 10^{-4} m^3/s	7,5 x 10^{-2} m^3/s	Aman

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Bendungan Sangiran mempunyai kategori aman dari debit rembesan yang ada karena telah melebihi ketentuan yang telah disyaratkan.

2. Faktor Keamanan Piping

Berdasarkan perhitungan yang telah dijabarkan pada subbab sebelumnya, rekapitulasi faktor keamanan piping dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Faktor Keamanan Piping

No	Kondisi	Hasil SF Piping	Syarat	Keterangan
1	Muka Air Normal	3,5557	3	Aman
2	Muka Air Banjir	3,4968	3	Aman
3	Muka Air Minimum	5,8479	3	Aman

Sesuai dengan ketentuan Harza (1935) dan Hardiyatmo (2018) yaitu nilai faktor keamanan bendungan terhadap piping yang berupa perbandingan antara nilai gradien hidrolik kritis dengan gradien keluar maksimum syaratnya harus lebih besar dari 3 sampai dengan 4. Pada Bendungan Sangiran diperoleh nilai faktor keamanan pada masing-masing kondisi telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan yaitu > 3, hal tersebut menunjukan bahwa bendungan aman terhadap bahaya piping.

3. Faktor Keamanan Stabilitas Bendungan

a. Lereng Hulu Bendungan

Adapun untuk rekapitulasi hasi analisis stabilitas bendungan pada lereng hulu dapat dilihat pada tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5. 13 Hasil Analisis Stabilitas Bendungan Di Bagian Hulu

No	Kondisi Muka Air Waduk	Faktor Keamanan		Evaluasi
		Standart	Hasil Analisis	
1	**Kondisi Normal**			
	Tanpa Gempa	1,5	2,029	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,838	Aman

	Dengan Gempa MDE	1,0	1,737	Aman
2	**Kondisi Banjir**			
	Tanpa Gempa	1,5	2,016	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,814	Aman
	Dengan Gempa MDE	1,0	1,707	Aman
3	**Kondisi Minimum**			
	Tanpa Gempa	1,5	2,041	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,929	Aman
	Dengan Gempa MDE	1,0	1,867	Aman
4	**Kondisi Surut Cepat**			
	Tanpa Gempa	1,5	1,940	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,836	Aman
	Dengan Gempa MDE	1,0	1,776	Aman

Berdasarkan hasil rekapitulasi tabel 5.13 analisis stabilitas lereng pada bendunganSangiran dibagian lereng hulu, dapat disimpulkan bahwa Bendungan Sangiran aman dari bidang kelongsoran dari segi kondisi muka air apapun. Hal tersebut dapat dikatehui karena nilai faktor keamanan bendungan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

b. Lereng Hilir Bendungan

Adapun untuk rekapitulasi hasi analisis stabilitas bendungan pada lereng hilir dapat dilihat pada tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 14 Hasil Analisis Stabilitas Bendungan Di Bagian Hilir

No	Kondisi Muka Air Waduk	Faktor Keamanan		Evaluasi
		Standart	Hasil Analisis	
1	**Kondisi Normal**			
	Tanpa Gempa	1,5	1,707	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,628	Aman
	Dengan Gempa MDE	1,0	1,583	Aman
2	**Kondisi Banjir**			
	Tanpa Gempa	1,5	1,608	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,534	Aman
	Dengan Gempa MDE	1,0	1,492	Aman
3	**Kondisi Minimum**			
	Tanpa Gempa	1,5	1,813	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,725	Aman
	Dengan Gempa MDE	1,0	1,675	Aman
4	**Kondisi Surut Cepat**			
	Tanpa Gempa	1,5	1,813	Aman
	Dengan Gempa OBE	1,2	1,725	Aman
	Dengan Gempa MDE	1,0	1,675	Aman

Berdasarkan hasil rekapitulasi tabel 5.13 analisis stabilitas lereng pada bendungan Sangiran dibagian lereng hulu, dapat disimpulkan bahwa Bendungan Sangiran aman dari bidang kelongsoran dari segi kondisi muka air apapun. Hal tersebut dapat dikatehui karena nilai faktor keamanan bendungan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

4. Faktor Keamanan Stabilitas Bendungan Terhadap Guling Dan Geser

   Adapun rekapitlasi untuk hasil analisis stabilitas bendungan terhadap guling dan geser dapat dilihat pada tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Guling dan Geser Bendungan Sangiran

Analisis	Muka Air Normal	Muka Air Maksimum	Muka Air Minimum	Muka Air Surut Cepat
Stabilitas Guling	SF = 7,2312 > 2 Aman	SF = 7,0802 > 2 Aman	SF = 9,7936 > 2 Aman	SF = 12,122 > 2 Aman
Stabilitas Geser	SF = 2,2143 > 1,5 Aman	SF = 2,1886 > 1,5 Aman	SF = 2,6182 > 1,5 Aman	SF = 3,1322 > 1,5 Aman

Berdasarkan hasil rekapitulasi tabel 5.15 analisis stabilitas guling dan geser pada bendungan Sangiran dibagian lereng, dapat disimpulkan bahwa Bendungan Sangiran aman dari bidang kelongsoran dari segi kondisi muka air apapun. Hal tersebut dapat dikatehui karena nilai faktor keamanan bendungan lebih besar dari yang telah disyaratkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis kasus dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Hasil analisis stabilitas lereng pada tubuh Bendungan Sangiran tanpa beban gempa, diperoleh nilai fator keamanan pada kondisi muka air normal dibagian hulu dan hilir sebesar 2.209 dan 1.707 (SF > 1.5), kondisi muka air banjir dibagian hulu dan hilir sebesar 2.016 dan 1.608 (SF > 1.5), kondisi muka air minimum dibagian hulu dan hilir sebesar 2.041 dan 1.813 (SF > 1.5), dan kondisi muka air suru tiba-tiba *(rapid drawdown*) dibagian hulu dan hilir sebesar 1,940 dan 1,813 (SF > 1,5) hal tersebut menunjukan bendungan dalam kondisi aman.
2. Hasil analisis stabilitas lereng pada tubuh Bendungan Sangiran dengan beban gempa OBE kala ulang 100 tahun, diperoleh nilai fator keamanan pada kondisi muka air normal dibagian hulu dan hilir sebesar 1.838 dan 1.628 (SF > 1.2), kondisi muka air banjir dibagian hulu dan hilir sebesar 1.814 dan 1.534 (SF > 1.2), kondisi muka air minimum dibagian hulu dan hilir sebesar 1.929 dan 1.725 (SF > 1.2), dan kondisi muka air suru tiba-tiba *(rapid drawdown*) dibagian hulu dan hilir sebesar 1,836 dan 1,725 (SF > 1,2) hal tersebut menunjukan bendungan dalam kondisi aman.
3. Hasil analisis stabilitas lereng pada tubuh Bendungan Sangiran dengan beban gempa MDE kala ulang 5000 tahun, diperoleh nilai fator keamanan pada kondisi muka air normal dibagian hulu dan hilir sebesar 1.737 dan 1.583 (SF > 1), kondisi muka air banjir dibagian hulu dan hilir sebesar 1.707 dan 1.492 (SF > 1), kondisi muka air minimum dibagian hulu dan hilir sebesar 1.867 dan 1.675 (SF > 1), dan kondisi muka air suru tiba-tiba *(rapid drawdown*) dibagian

hulu dan hilir sebesar 1,776 dan 1,675 (SF > 1) hal tersebut menunjukan bendungan dalam kondisi aman.

4. Hasil analisis debit rembesan pada Bedungan Sangiran masuk dalam kategori aman karena memenuhi persyaratan yaitu lebih besar dari 7,5 x 10^{-2} m^3/s yaitu untuk kondisi muka air normal adalah 1,5128 x 10^{-3} m^3/s, untuk kondisi muka air banjir sebesar 1,6309 x 10^{-3} m^3/s, dan untuk konisi muka air minimum sebesar 5,9878 x 10^{-4} m^3/s. Untuk bahaya piping pada Bendungan Sangiran diperoleh nilai sebesar 3,5557 untuk kondisi muka air normal, 3,4968 untuk kondisi muka air banjir, dan 5,8479 untuk muka air minimum, ketiga nilai tersebut sudah melebihi angka SF > 3, maka dari itu Bendungan Sangiran dapat dikatakan aman terhadap bahaya piping.
5. Berdasarkan hasil analisis stabilitas guling dan geser pada bendungan Sangiran dibagian lereng, dapat disimpulkan bahwa Bendungan Sangiran aman dari bidang kelongsoran dari segi kondisi muka air apapun. Hal tersebut dapat dikatehui karena nilai faktor keamanan bendungan lebih besar dari yang telah disyaratkan.
6. Secara keseluruhan Bedungan Sangiran berada pada kondisi baik baik dari segi fisik dan fungsinya. Ditinjau dalam segi debit rembesan, bahaya piping, dan stabilitas bendungan nilainya sudah melebihi persyaratan.

6.2. Saran

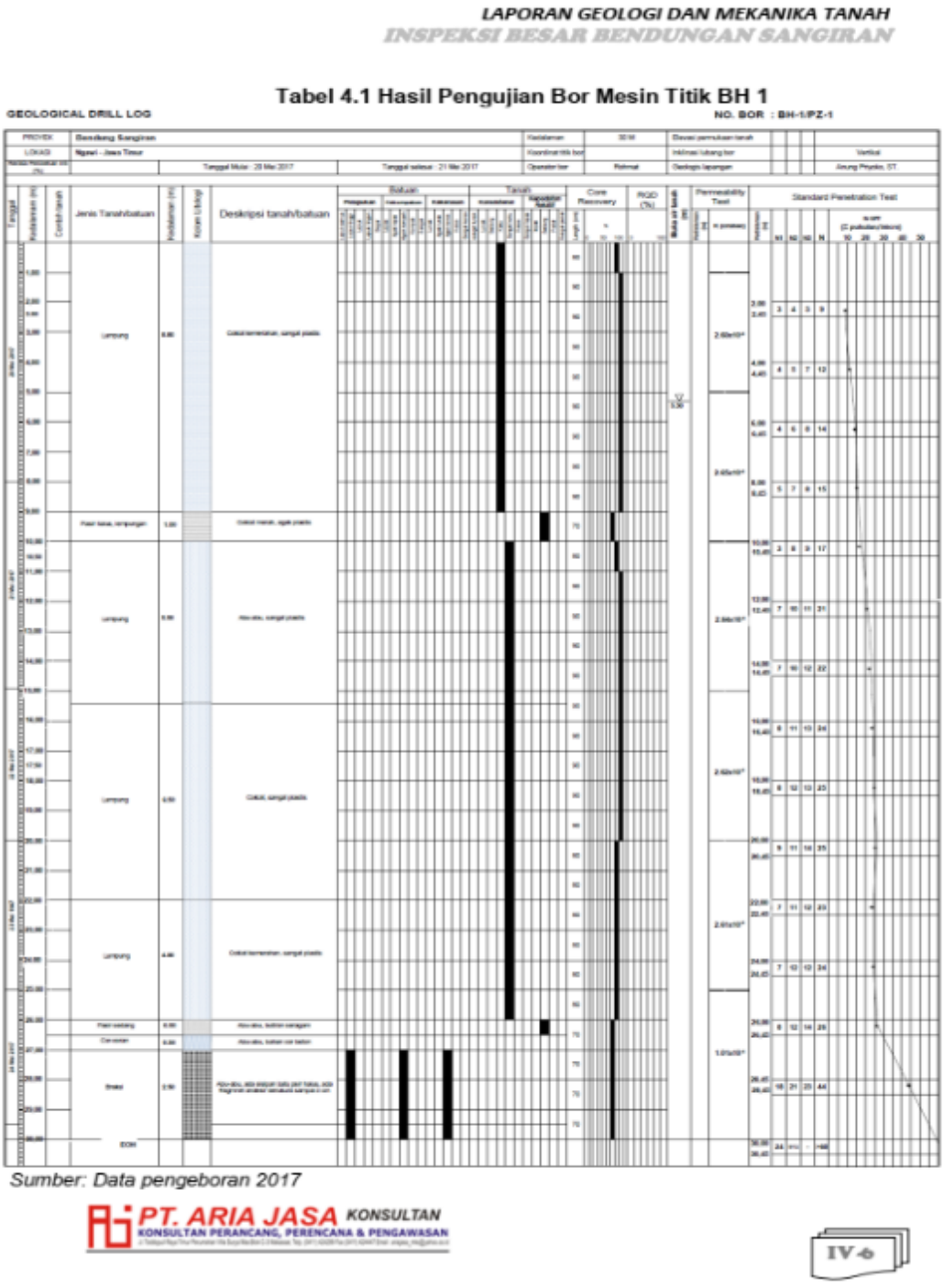
Adapun saran yang dapat diambil oleh penulis berdasarkan studi kasus pada penelitian ini antara lain sebagai berikut ini.

1. Tubuh bendungan berada pada kondisi baik, hal tersebut karena tubuh bendungan dibuat dengan material batu-batu sehingga tidak dapat ditumbuhi semak-semak belukar yang dapat mengganggu kestabilan bendungan. Perlu ditingkatkan lagi untuk masalah kebersihan bendungan karena terdapat sampah-sampah plastic yang berserakan di sekitar hulu bendungan.
2. Perlu dilakukan analisis stabilitas lebih lanjut untuk titik-titik stasiun yang lain agar data dijadikan sebagai perbandingan dari hasil yang telah diperoleh dan dijabarkan pada bab sebelumnya.

3. Bagi peneliti-peneliti yang ingin melanjutkan penelitian ini terhadap keamanan Bendungan Sangiran dapat menggunakan referensi aplikasi permodelan yang lain seperti Plaxis, UTEXAS, CLARA, GALENA, XSTABL ataupun dengan menggunakan perhitungan manual atau perbendingan dar aplikasi-aplikasi yang telah disebutkan di atas

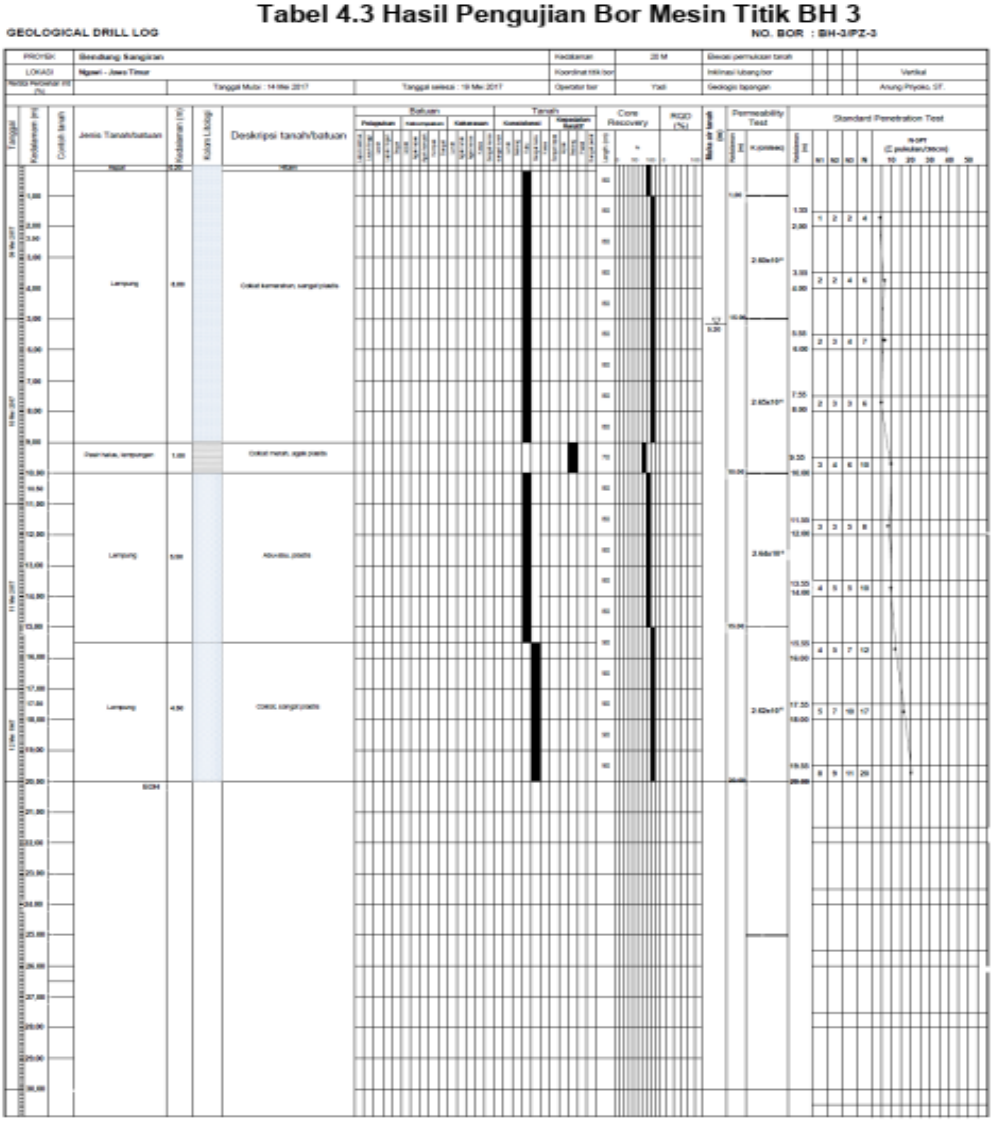
LAMPIRAN

Lampiran 1 Data yang Digunakan Dalam Analisis



Gambar L 1.1 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BH 1

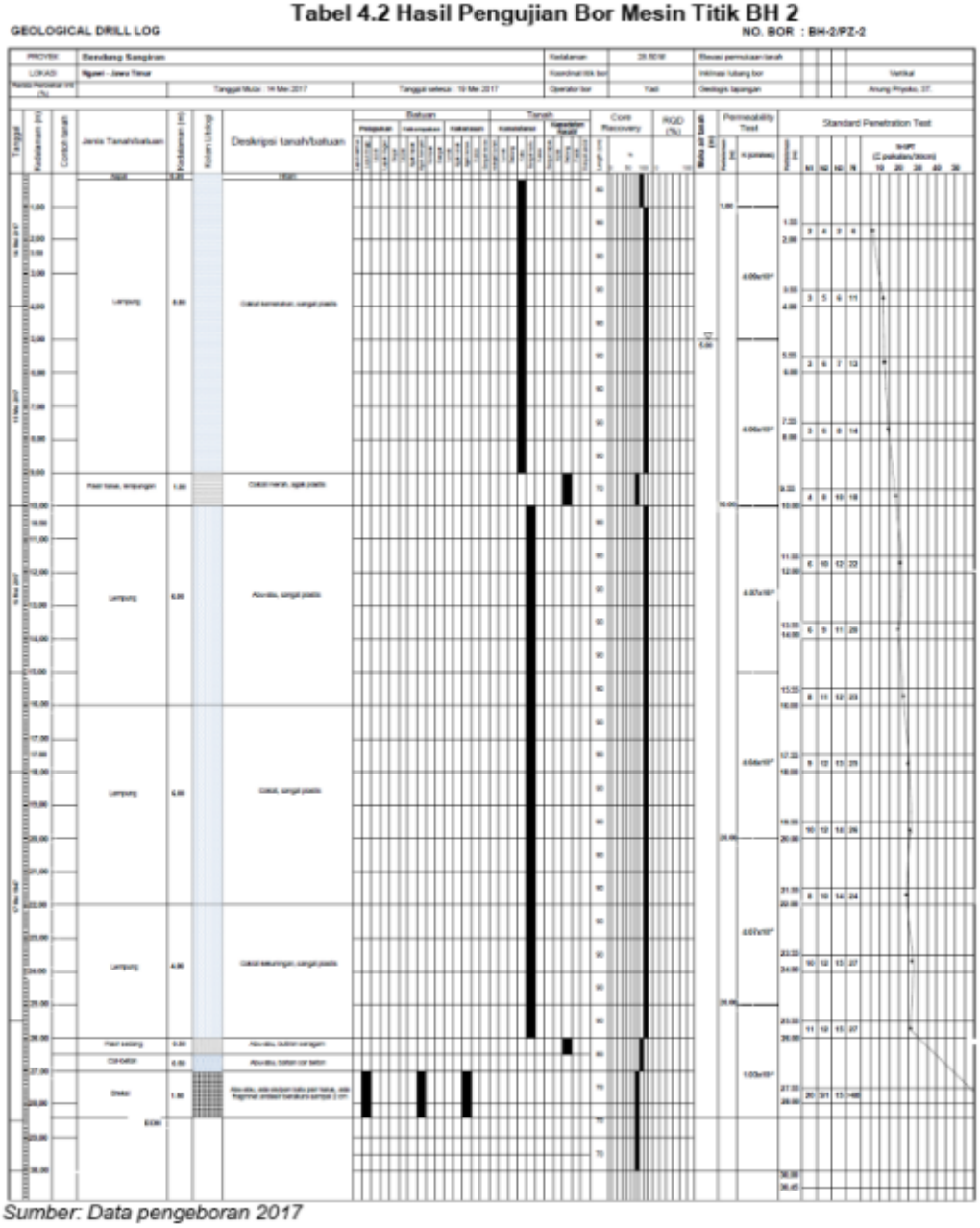
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BH 3



Sumber: Data pengeboran 2017

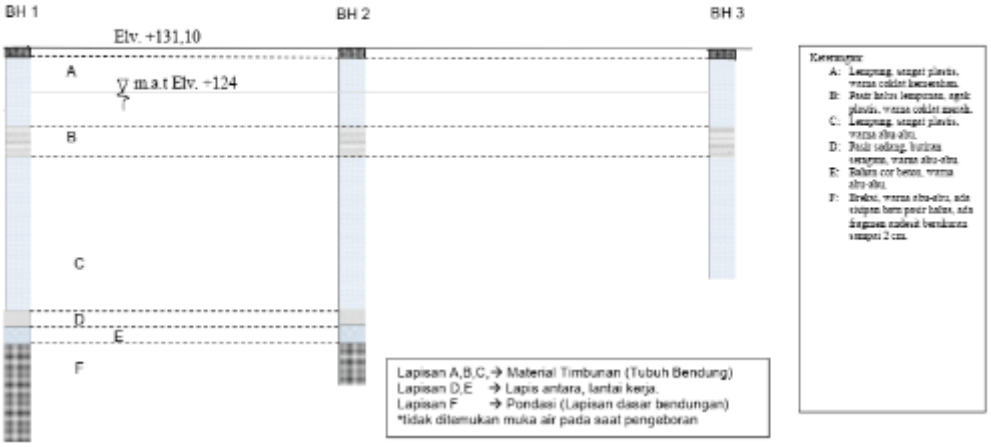
Gambar L 1.2 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BH 2

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BH 2

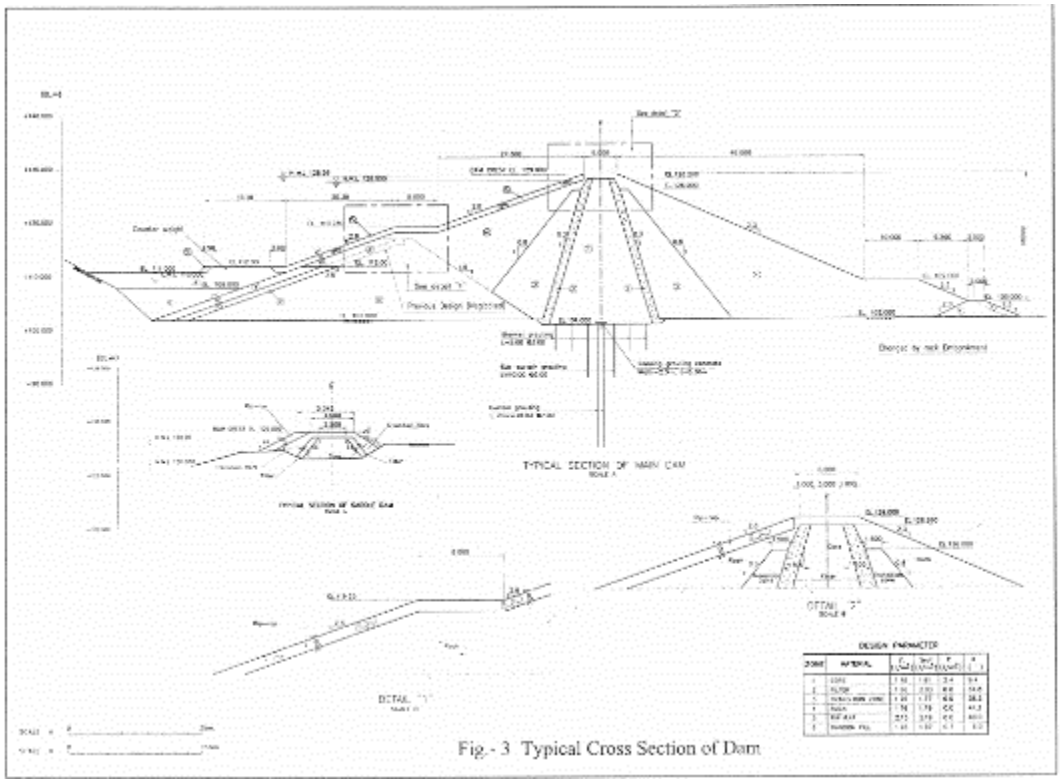


Sumber: Data pengeboran 2017

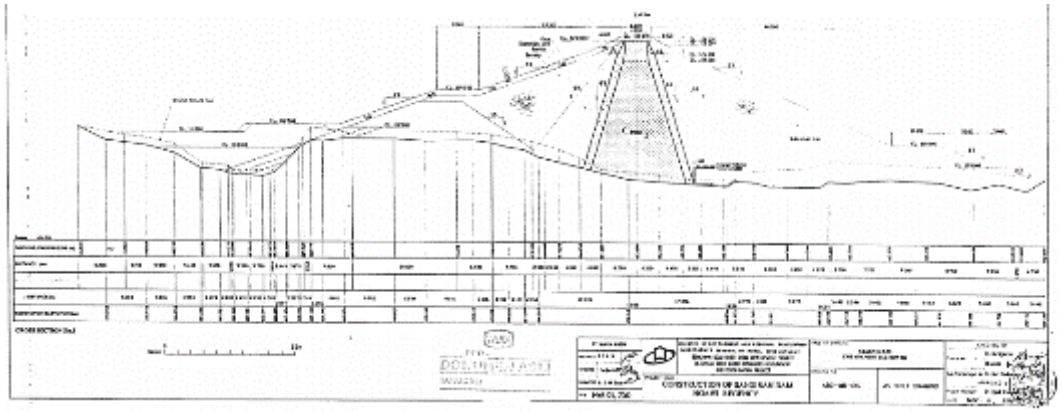
Gambar L 1.3 Hasil Pengujian Bor Mesin Titik BH 3



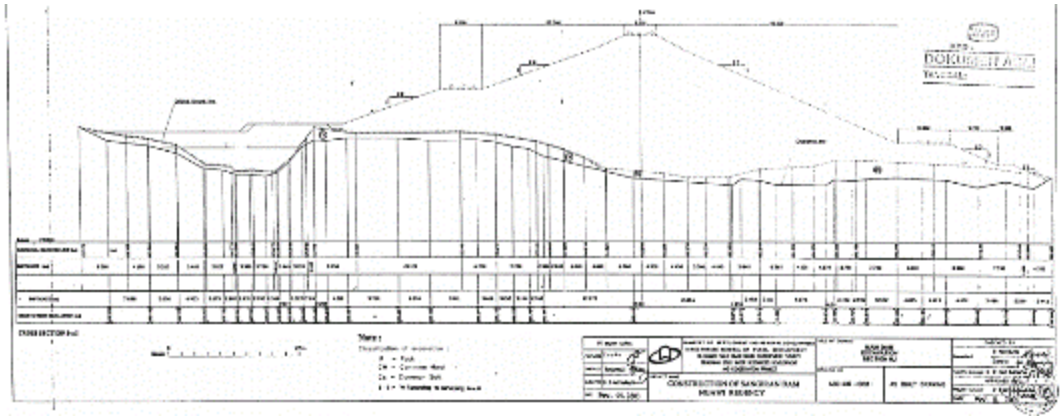
Gambar L 1.4 Stratigrafi Penampang Memanjang Tubuh Bendungan



Gambar L 1.5 Gambar Desain Bendungan Sangiran

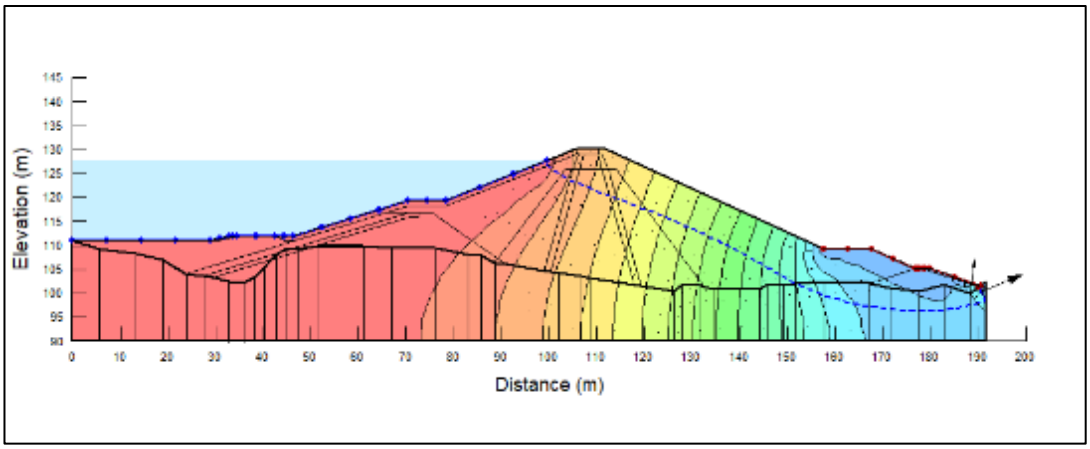


Gambar L 1.6 Potongan Memanjang Sta I Bendungan Beserta Komponen

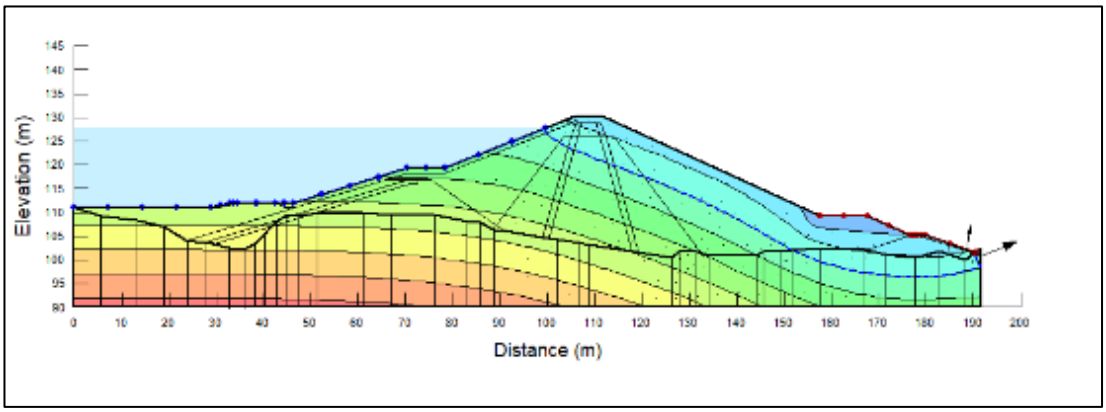


Gambar L 1.7 Potongan Memanjang Sta I Bendungan

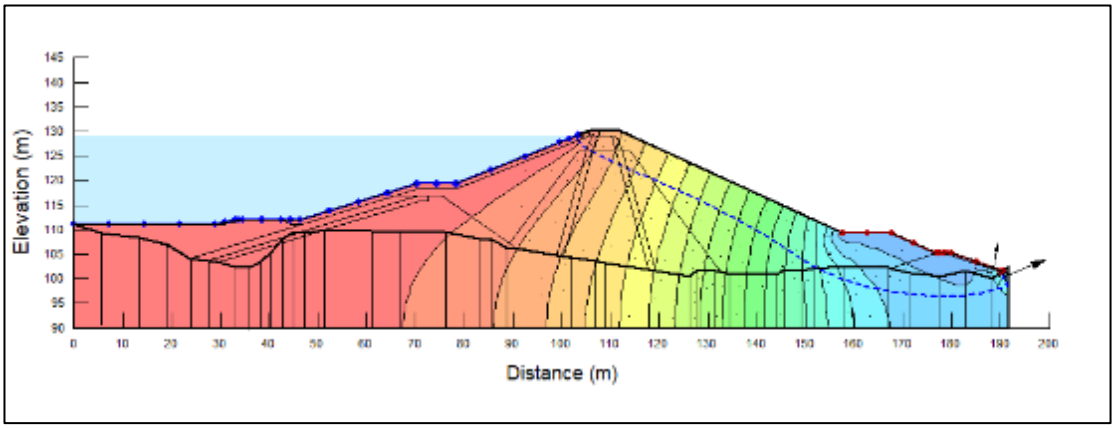
Lampiran 2 Hasil Analisis Rembesan dengan Geostudio Seep/W



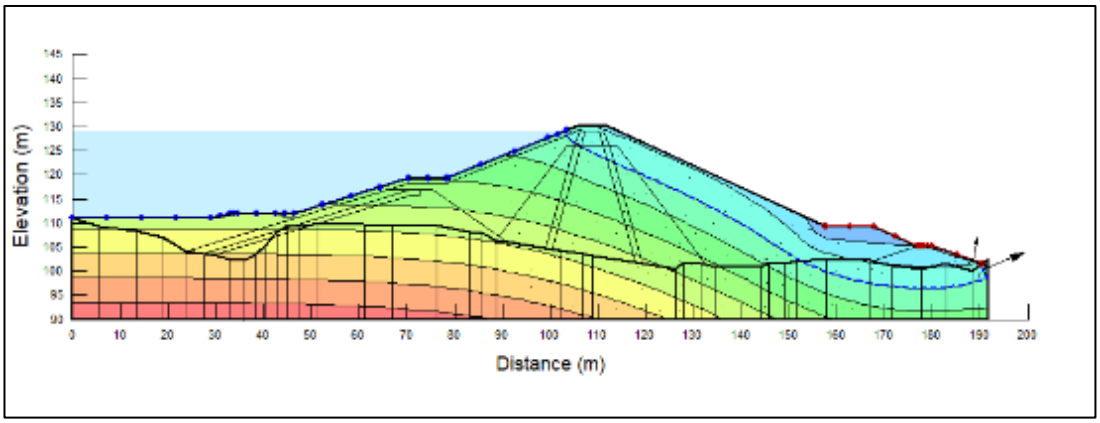
Gambar L 2.1 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Beserta Tinggi Tekanan Total Pada Kondisi Muka Air Normal Pada El. 127.7 m



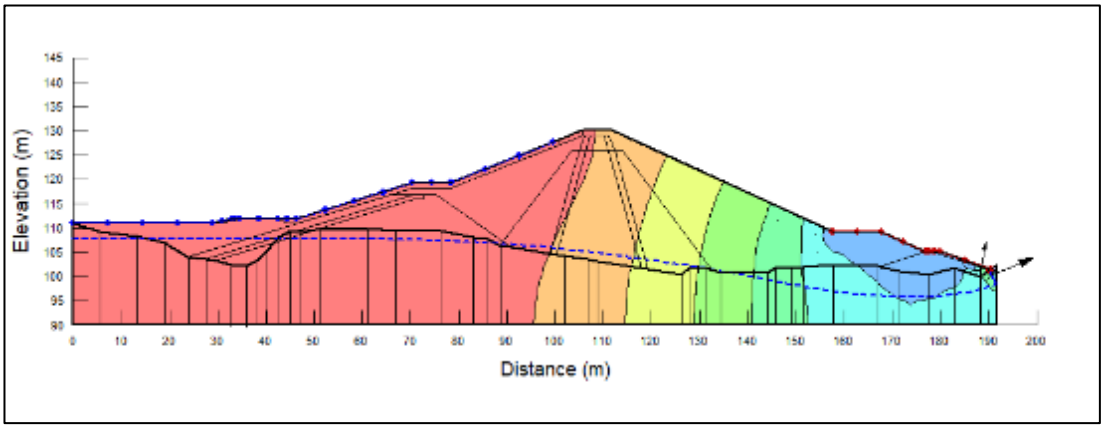
Gambar L 2.2 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Beserta Tekanan Air Pori Pada Kondisi Muka Air Normal Pada El. 127.7 m



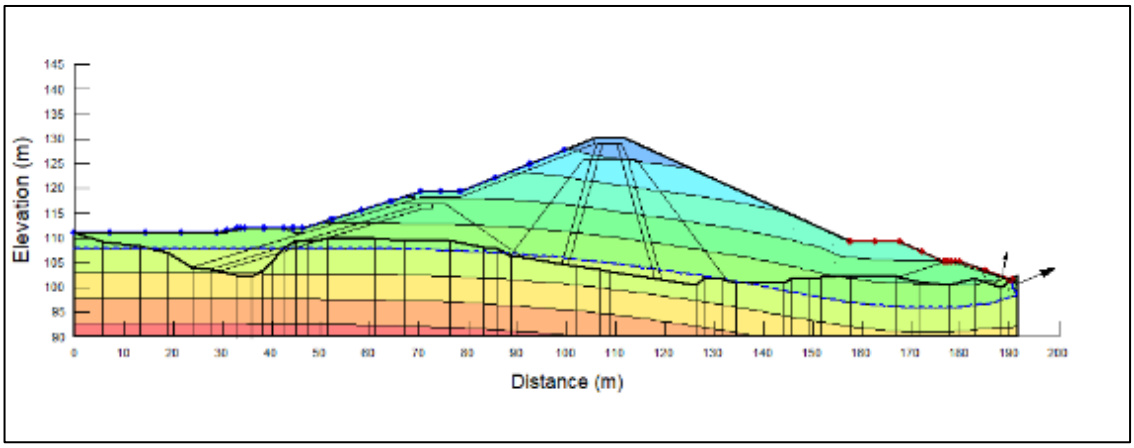
Gambar L 2.3 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Beserta Tinggi Tekanan Total Pada Kondisi Muka Air Normal Pada El. 129.2 m



Gambar L 2.4 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Beserta Tekanan Air Pori Pada Kondisi Muka Air Normal Pada El. 129.2 m

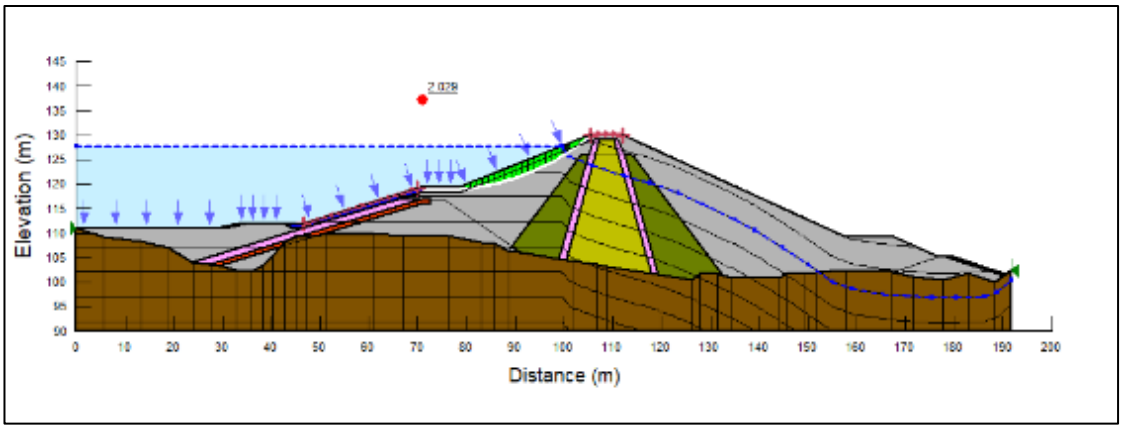


Gambar L 2.5 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Beserta Tinggi Tekanan Total Pada Kondisi Muka Air Normal Pada El. 108 m

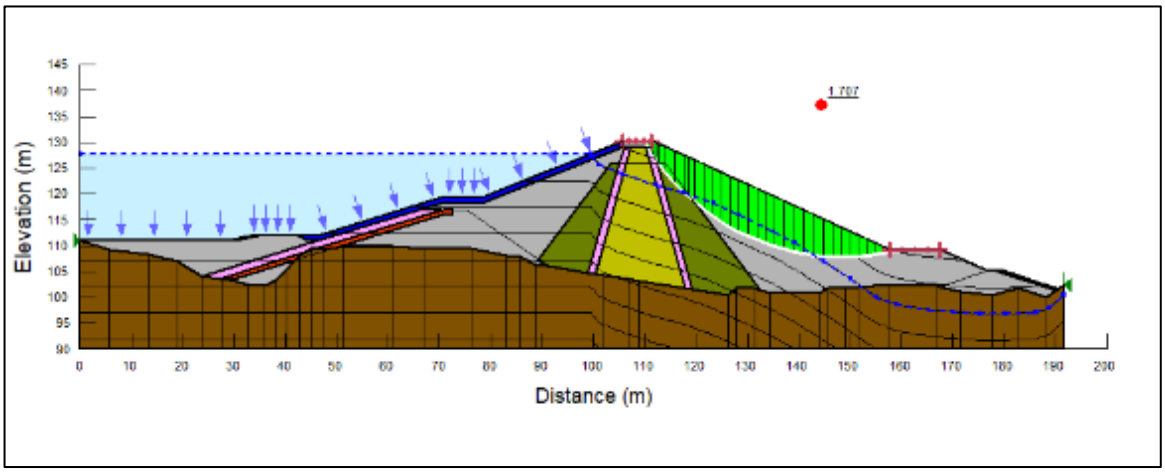


Gambar L 2.6 Pola Rembesan Bendungan Sangiran Beserta Tekanan Air Pori Pada Kondisi Muka Air Normal Pada El. 108 m

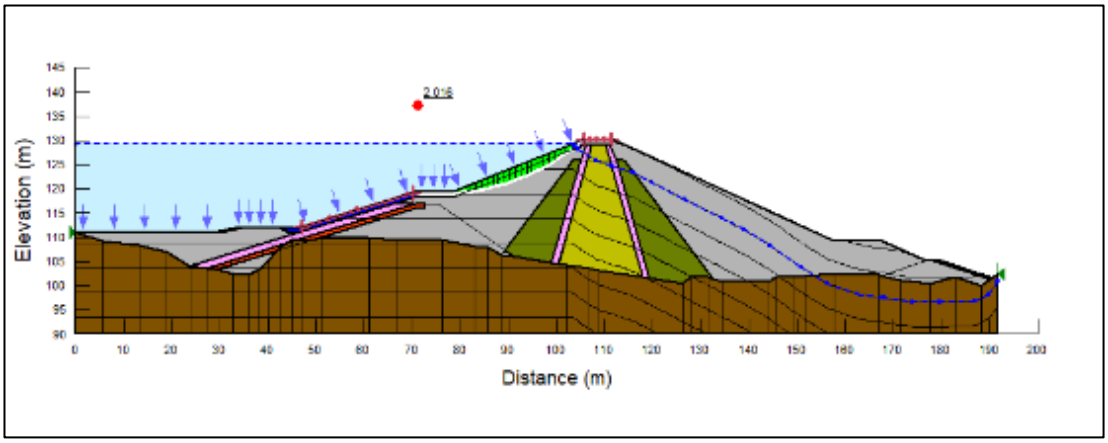
Lampiran 3 Hasil Analisis Stabilitas dengan Geostudio Slope/W



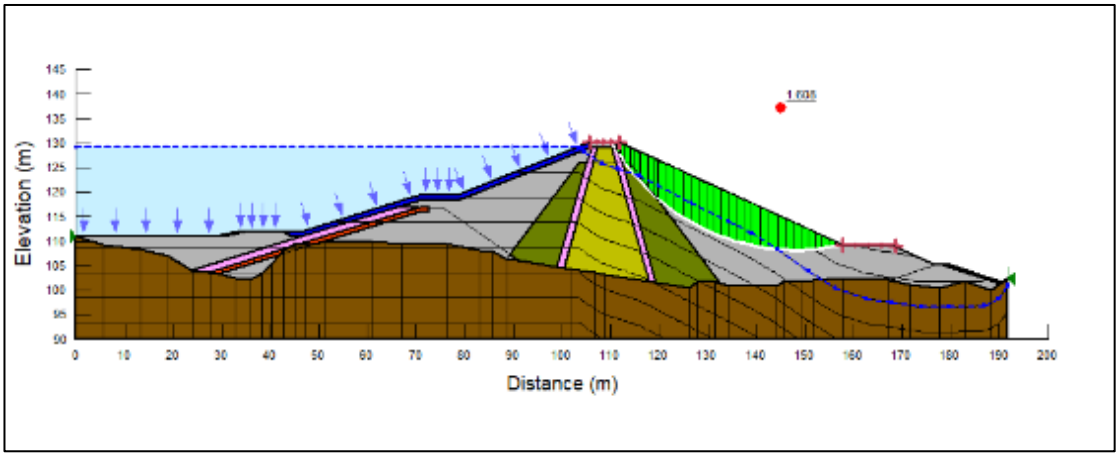
Gambar L 2.7 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal Tanpa Beban Gempa



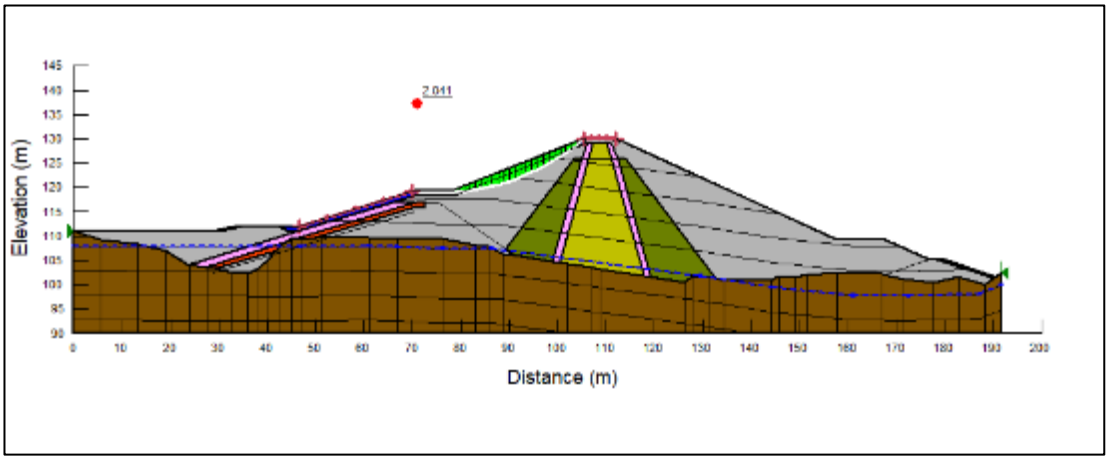
Gambar L 2.8 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal Tanpa Beban Gempa



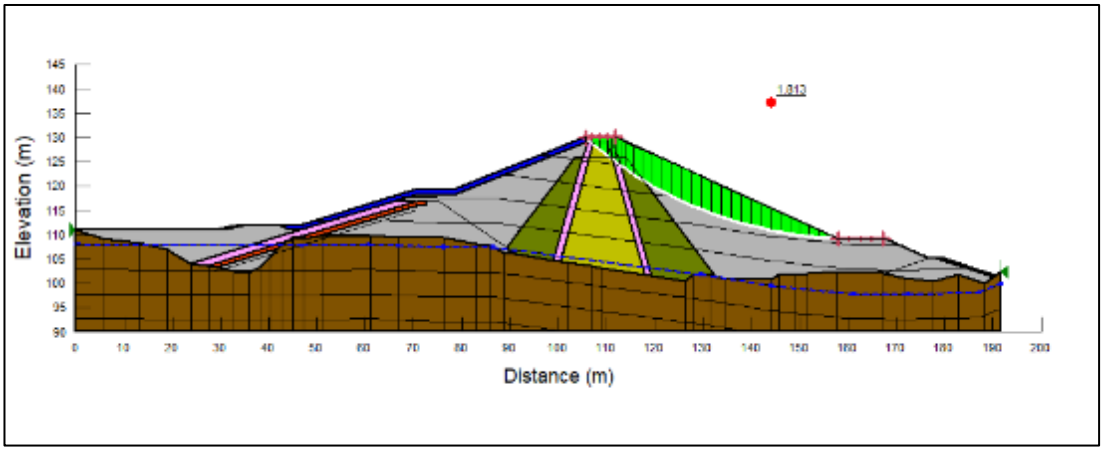
Gambar L 2.9 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Tanpa Beban Gempa



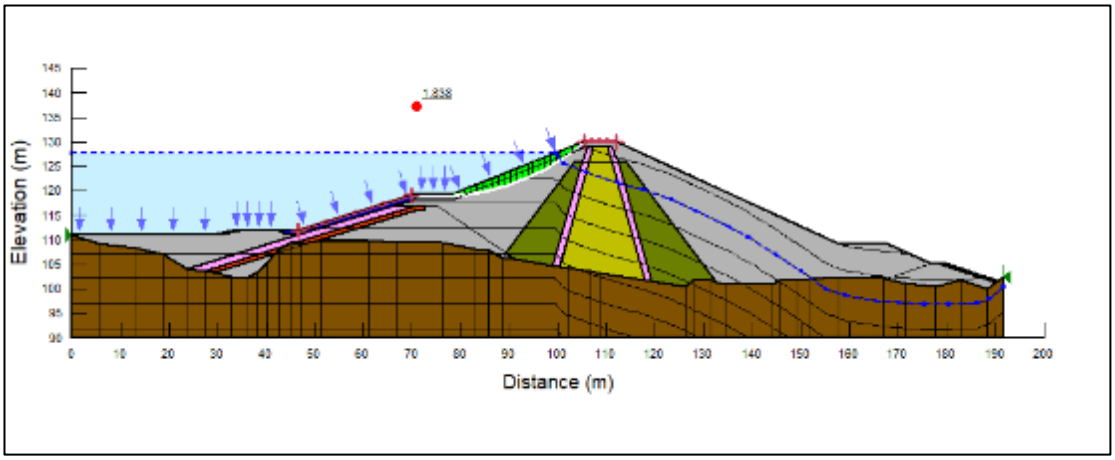
Gambar L 2.10 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir Tanpa Beban Gempa



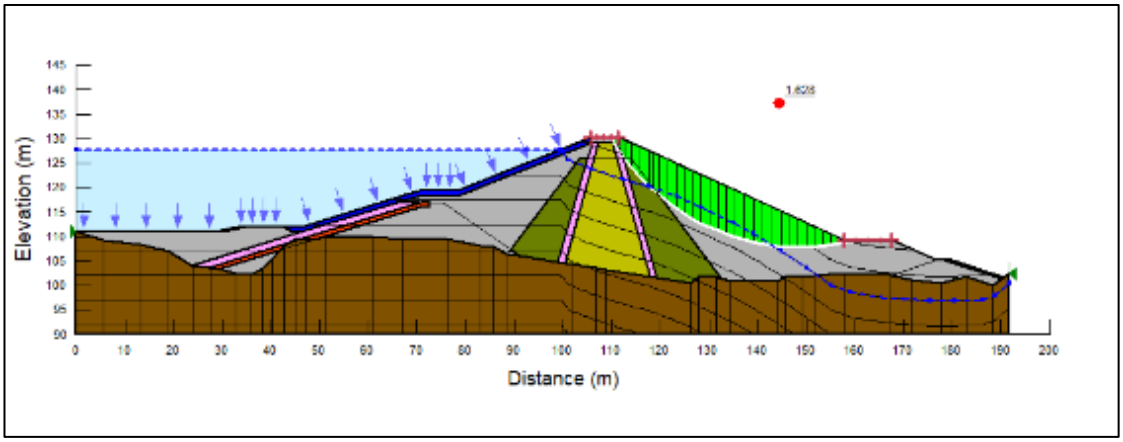
Gambar L 2.11 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Tanpa Beban Gempa



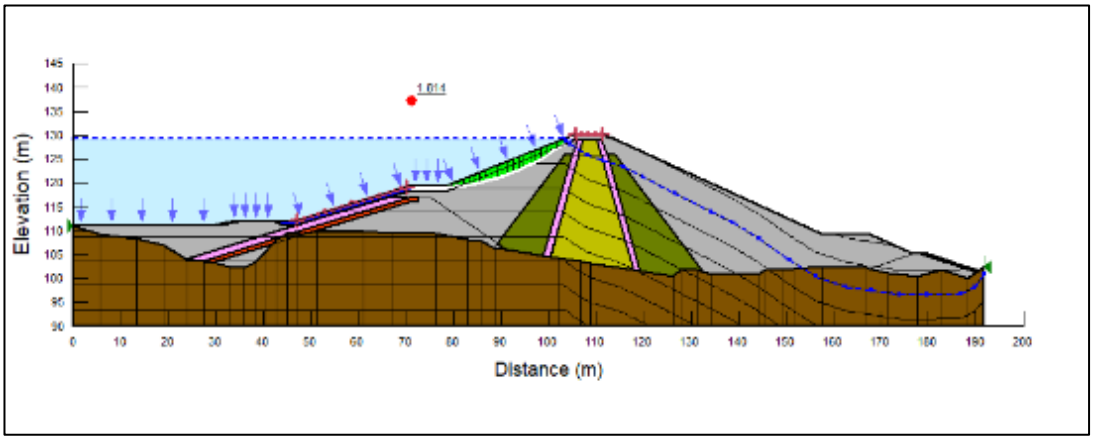
Gambar L 2.12 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Tanpa Beban Gempa



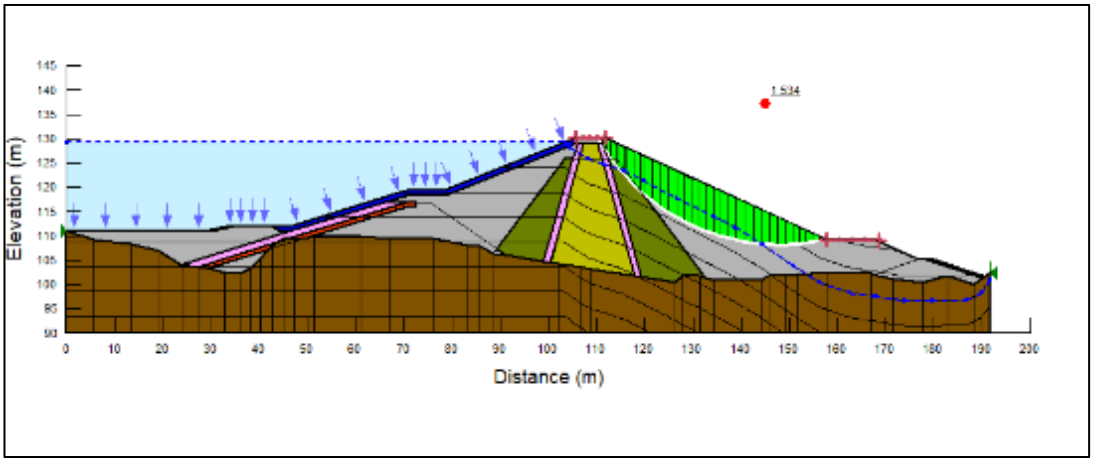
Gambar L 2.13 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun



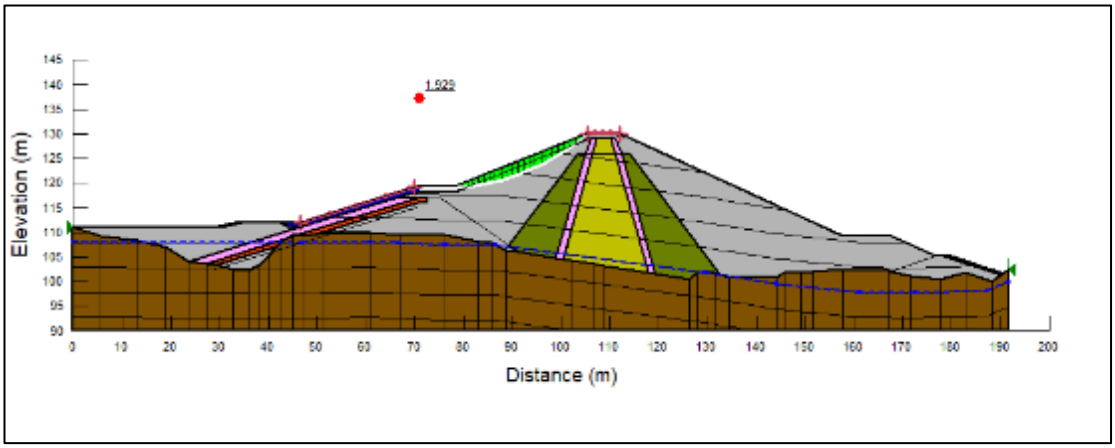
Gambar L 2.14 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun



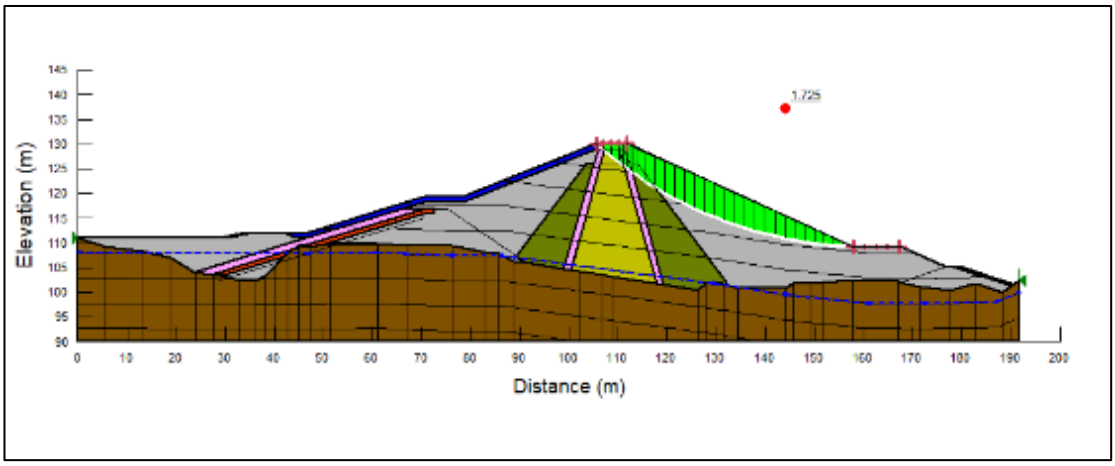
Gambar L 2.15 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun



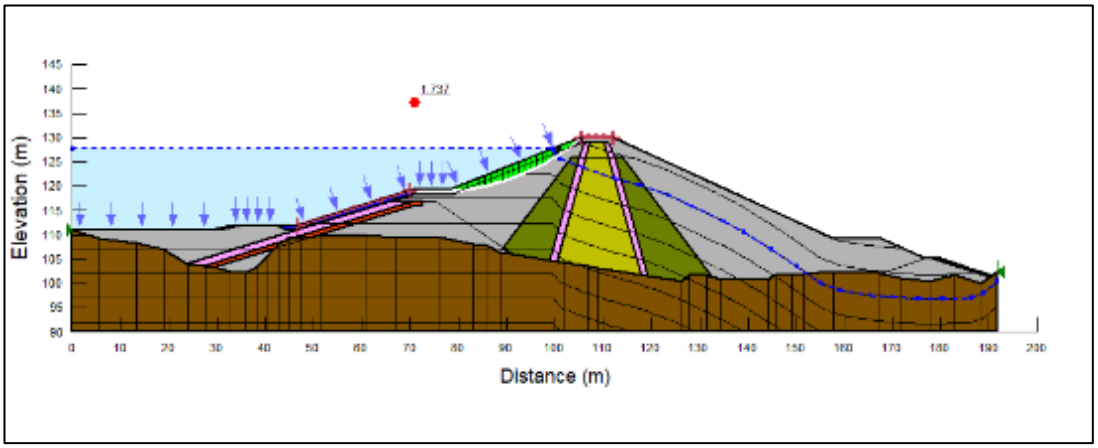
Gambar L 2.16 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun



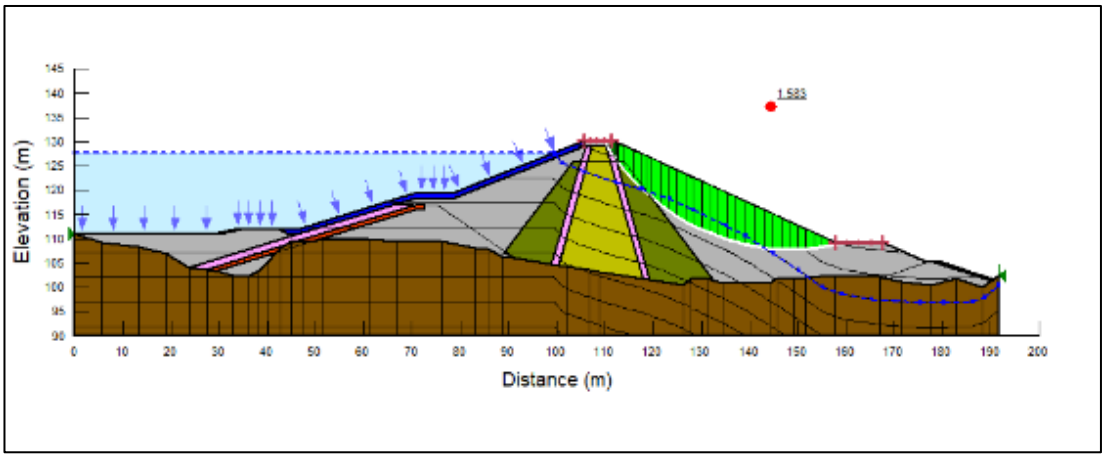
Gambar L 2.17 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun



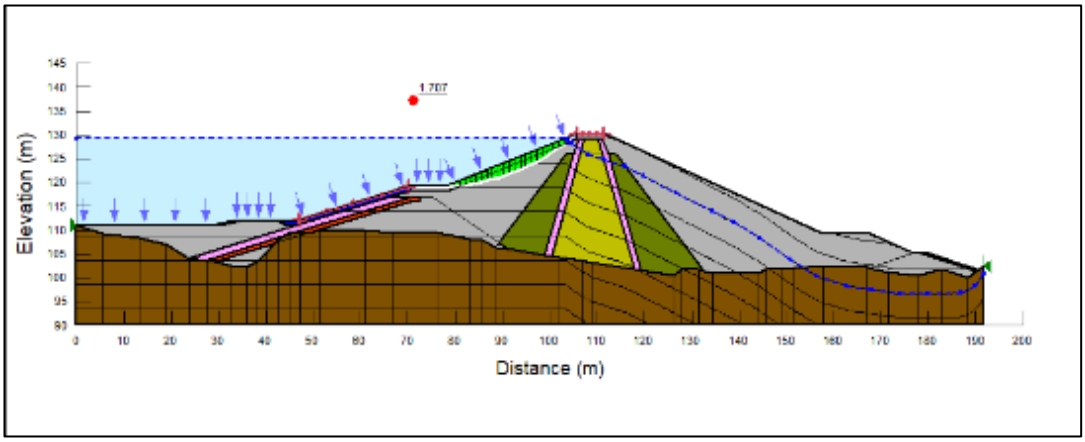
Gambar L 2.18 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa OBE T 100 Tahun



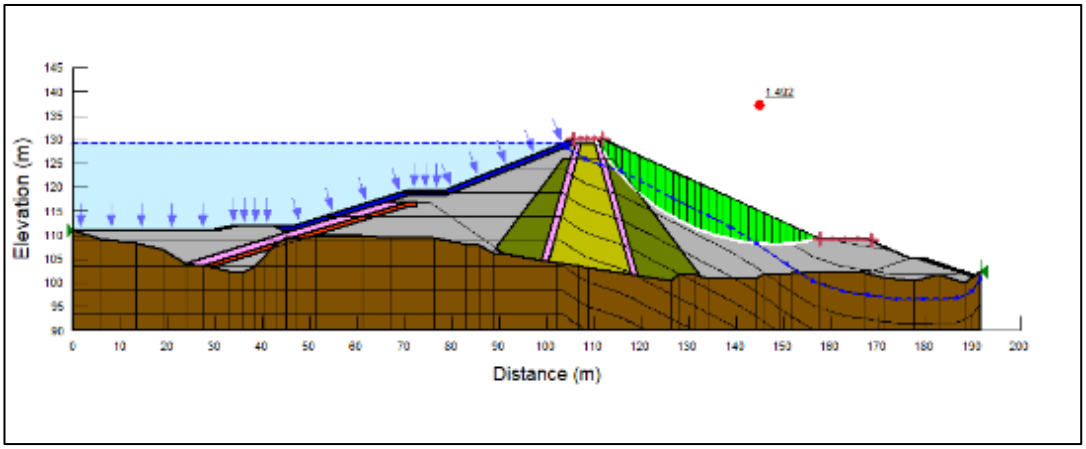
Gambar L 2.19 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun



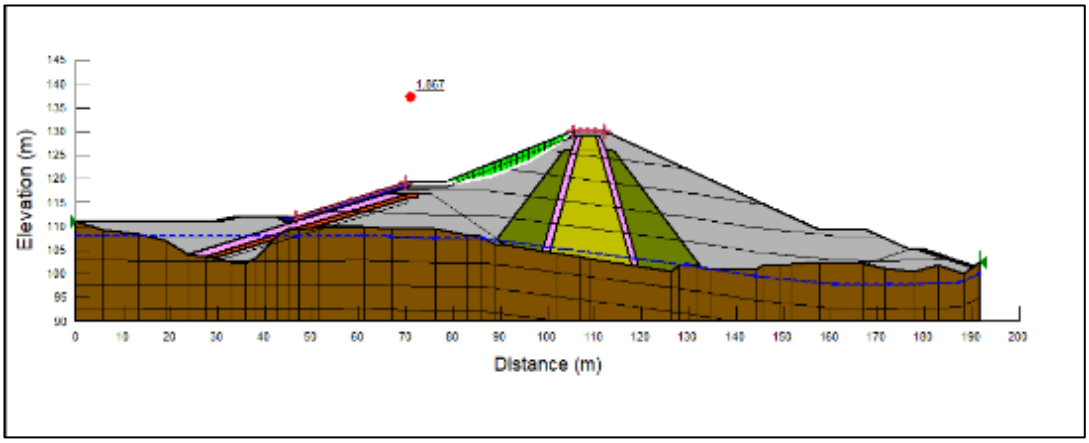
Gambar L 2.20 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Normal Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun



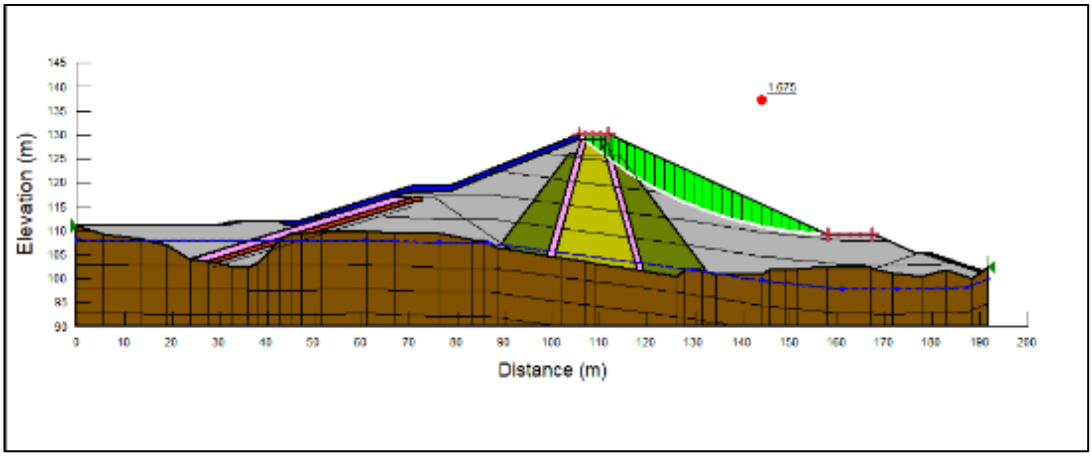
Gambar L 2.21 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun



Gambar L 2.22 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun



Gambar L 2.23 Analisis Stabilitas Lereng Hulu Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun



Gambar L 2.24 Analisis Stabilitas Lereng Hilir Pada Kondisi Muka Air Minimum Dengan Beban Gempa MDE T 5000 Tahun