**TUGAS AKHIR**

# ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN TUBUH EMBUNG (TANGGUL) DI ATAS TANAH LUNAK DENGAN *PLAXIS* 2D

**(Studi Kasus : Embung Danau Asam di Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah)**

## (*STABILITY ANALYSIS OF EMBANKMENT AT SOFT SOIL USING PLAXIS 2D*)

**(Study Case : Embung Danau Asam in Kotawaringin Barat Regency, Central Kalimantan Province)**

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


**DYAH HAPSARI**
**18511197**


**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**
**2023**

**TUGAS AKHIR**

# ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN TUBUH EMBUNG (TANGGUL) DI ATAS TANAH LUNAK DENGAN *PLAXIS* 2D

**(Studi Kasus : Embung Danau Asam di Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah)**

## (*STABILITY ANALYSIS OF EMBANKMENT AT SOFT SOIL USING PLAXIS 2D*)

(*Study Case : Embung Danau Asam in Kotawaringin Barat Regency, Central Kalimantan Province*)

Disusun oleh

**DYAH HAPSARI**
**18511197**

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

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji :

| Dosen Pembimbing | Penguji I | Penguji II |
|---|---|---|
| **Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M. Eng.** | **Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.** | **Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.** |
| **NIK : 13511101** | **NIK : 805110201** | **NIK : 045110407** |

Mengesahkan

**Ketua Program Studi Teknik Sipil**

**Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.**
**NIK: 095110101**

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, Maret 2023

Yang membuat pernyataan,




Dyan Hapsari

18511197

# KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu'alaikum Wr. Wb*

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT, yang telah meilmpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir ini dengan sebaik – baiknya. Shalawat serta salam selalu kami haturkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta pengikut beliau.

Salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah dengan menyelesaikan Tugas Akhir sebagai penerapan teori Teknik Sipil yang dipelajari selama masa perkuliahan. Selama menyusun tugas akhir ini banyak pihak – pihak terkait yang memberikan dukungan dan bantuan hingga terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih untuk pihak – pihak terkait, kepada :

1. Bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Terimakasih atas bimbingan, saran, serta dukungan yang diberikan selama penulis menyusun tugas akhir ini.
2. Dr. Ir. Lalu Makrup, M. T., dan Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
4. Almarhum Bapak Sudarto dan Almarhumah Ibu Sri Yanti selaku orang tua saya yang senantiasa berdoa sepanjang hidupnya dan memotivasi saya. Serta Mas Singgih dan Danang selaku saudara saya yang selalu memberi dukungan.
5. Seluruh civitas akademik di lingkungan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

6. Teman – teman DPA 7 (tujuh) yang telah memberikan bantuan dan dukungan dititik terendah hidup saya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak dan semoga Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat bagi pembaca dan juga kami sebagai penyusun.
Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, Maret 2023



Dyah Hapsari
18511197

# DAFTAR ISI


COVER i

LEMBAR PENGESAHAN ii

TUGAS AKHIR
**Error! Bookmark not defined.**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR LAMPIRAN xiv

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xv

ABSTRAK xviii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Tinjauan Umum 5

2.2 Analisis Timbunan Diatas Tanah Lunak 6

2.3 Stabilitas Lereng Bendungan Dengan Gempa 7

2.4 Pengaruh Muka Air terhadap Kestabilan Lereng 8

2.5 Bahaya *Pipping* Bendungan 10

2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang 11

BAB III LANDASAN TEORI 15

3.1 Tanah 15
3.1.1 Tanah Lunak 16
3.2 Lereng Tanggul 16
3.2.1 Keruntuhan Lereng 17
3.3 Rembesan 18
3.3.1 Hukum Darcy 18
3.3.2 Garis Freatik 19
3.3.3 Metode Cassagrande 19
3.3.4 Keruntuhan Akibat *Piping* 20
3.4 Analisis Stabilitas Lereng 21
3.4.1 Metode Irisan 22
3.4.2 Metode Irisan *Bishop* 24
3.5 Kriteria Nilai Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Tanggul 24
3.6 Beban Gempa 26
3.6.1 Koefisien Gempa 26
3.6.2 Tingkat Risiko Bangunan 31
3.7 Perkuatan Tanah 33
3.8 Program *Plaxis* 33
3.8.1 Tampilan *Plaxis* 34
3.8.2 Analisa Pengujian Program 35
BAB IV METODE PENELITIAN 36
4.1 Tinjauan Umum 36
4.2 Lokasi Penelitian 36
4.3 Langkah Penelitian 37
4.4 Parameter Penelitian 37
4.4.1 Parameter Tanah 37
4.4.2 Geometri Dan Desain Tanggul 39
4.4.3 Variasi Muka Air Yang Akan Dimodelkan 40
4.5 Data Gempa 41
4.6 Input Plaxis 41
4.7 Bagan Alir Penelitian 48

BAB V 50
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 50
5.1 Data Penelitian 50
5.1.1 Data Teknis Waduk 51
5.1.2 Data Potongan Melintang Tanggul 52
5.1.3 Data Parameter Tanah 52
5.1.4 Analisis Tingkat Risiko Bendungan 52
5.2 Perhitungan Manual Rembesan Tanggul 54
5.2.1 Garis Freatik Kondisi Muka Air Banjir 54
5.2.2 Garis Freatik Kondisi Muka Air Normal 57
5.3 Perhitungan Stabilitas Timbunan 60
5.3.1 Analisis Timbunan Asli Pada Program Plaxis 60
5.3.2 Analisis Timbunan Asli Perhitungan Manual 77
5.4 Pembahasan 83
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 85
6.1 Kesimpulan 85
6.2 Saran 87
DAFTAR PUSTAKA xx
LAMPIRAN xxiii

# DAFTAR GAMBAR


| | | |
|---|---|---|
| Gambar 1.1 | Lokasi Embung Danau Asam | 4 |
| Gambar 1.2 | Lokasi Potongan Tanggul P14 | 4 |
| Gambar 3.1 | Massa Tanah Jenuh Air Sebagian | 15 |
| Gambar 3.2 | Kelongsoran Rotasi Lereng | 17 |
| Gambar 3.3 | Jaringan Aliran Pada Bendungan Yang Homogen | 19 |
| Gambar 3.4 | Rembesan Metode Cassagrande | 19 |
| Gambar 3.5 | Ilustrasi Keruntuhan Akibat Piping | 20 |
| Gambar 3.6 | Gaya – gaya yang bekerja pada irisan | 21 |
| Gambar 3.7 | Skema Gaya Longsoran Rotasi | 22 |
| Gambar 3.8 | Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 20% dalam 10 Tahun | 27 |
| Gambar 3.9 | Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 10 Tahun | 27 |
| Gambar 3.10 | Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun | 28 |
| Gambar 3.11 | Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun | 28 |
| Gambar 3.12 | Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun | 29 |
| Gambar 3.13 | Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 100 Tahun | 29 |
| Gambar 3.14 | Jendela Utama Program *Plaxis* | 34 |
| Gambar 4.1 | Gambar Lokasi | 36 |
| Gambar 4.2 | Kemiringan Tanggul Tanah Homogen | 39 |
| Gambar 4.3 | Penampang Melintang Tanggul Patok P.14 | 39 |
| Gambar 4.4 | Penampang Melintang Tanggul Dengan Muka Air Banjir | 40 |

| | | |
|---|---|---|
| Gambar 4.5 | Penampang Melintang Tanggul Dengan Muka Air Normal | 40 |
| Gambar 4.6 | Penampang Melintang Tanggul Tanpa Asumsi Rembesan | 40 |
| Gambar 4.7 | Tab *Project* Pada Kotak *Project Properties* Plaxis 2D | 42 |
| Gambar 4.8 | Tab *Model* Pada Kotak *Project Properties* Plaxis 2D | 42 |
| Gambar 4.9 | Tab *Constants* Pada Kotak *Project Properties* Plaxis 2D | 43 |
| Gambar 4.10 | Halaman Depan Plaxis 2D | 43 |
| Gambar 4.11 | Tab *Soil* Pada Plaxis 2D | 44 |
| Gambar 4.12 | Tab *Structure* Pada Plaxis 2D | 44 |
| Gambar 4.13 | Tab *Mesh* Pada Plaxis 2D | 45 |
| Gambar 4.14 | *Output* Dari *Generate Mesh* Pada Plaxis 2D | 45 |
| Gambar 4.15 | Tab *Flow Conditions* Pada Plaxis 2D | 46 |
| Gambar 4.16 | Jendela *Phases* Tab *Staged Construction* Pada Plaxis 2D | 46 |
| Gambar 4.17 | *Output Select Nodes And Stress Points* Pada Plaxis 2D | 47 |
| Gambar 4.18 | Proses Kalkulasi Plaxis 2D | 47 |
| Gambar 4.19 | Bagan Alir Penelitian | 48 |
| Gambar 5.1 | Tampungan Air Embung Danau Asam | 50 |
| Gambar 5.2 | Skema Parameter Perhitungan Garis Depresi MAB | 54 |
| Gambar 5.3 | Formasi Garis Depresi MAB | 56 |
| Gambar 5.4 | Skema Parameter Perhitungan Garis Depresi MAN | 57 |
| Gambar 5.5 | Formasi Garis Depresi MAN | 59 |
| Gambar 5.6 | Lapisan Tanah Pondasi Yang Dimasukkan ke *Plaxis* 2D | 60 |
| Gambar 5.7 | *Project Properties* Tab *Project* | 61 |
| Gambar 5.8 | *Project Properie* Tab M*odel* | 61 |
| Gambar 5.9 | *Tab Soil* Pada *Mode Tabs* | 62 |
| Gambar 5.10 | *Modify Soil Layers* | 62 |
| Gambar 5.11 | *Tab Structure* Pada *Mode Tabs* | 63 |
| Gambar 5.12 | *Tab Mesh* Pada *Mode Tabs* | 63 |
| Gambar 5.13 | Hasil *Meshing* dengan Distribusi Elemen *Very Fine* | 64 |
| Gambar 5.14 | *Tab Flow Conditions* Pada *Mode Tabs* | 64 |
| Gambar 5.15 | *Phases* Pada *Phases Explorer* | 65 |
| Gambar 5.16 | *Tab Staged Construction* Pada *Mode Tabs* | 65 |

| | | |
|---|---|---|
| Gambar 5.17 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Tanpa Beban Gempa, Hulu | 66 |
| Gambar 5.18 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Tanpa Beban Gempa, Hilir | 66 |
| Gambar 5.19 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa OBE, Hulu | 67 |
| Gambar 5.20 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa OBE, Hilir | 67 |
| Gambar 5.21 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa MDE, Hulu | 68 |
| Gambar 5.22 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa MDE, Hilir | 68 |
| Gambar 5.23 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Tanpa Beban Gempa, Hulu | 69 |
| Gambar 5.24 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Tanpa Beban Gempa, Hilir | 69 |
| Gambar 5.25 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa OBE, Hulu | 70 |
| Gambar 5.26 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa OBE, Hilir | 70 |
| Gambar 5.27 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa MDE, Hulu | 71 |
| Gambar 5.28 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa MDE, Hilir | 71 |
| Gambar 5.29 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Tanpa Beban Gempa, Hulu | 72 |
| Gambar 5.30 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Tanpa Beban Gempa, Hilir | 72 |
| Gambar 5.31 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Beban Gempa OBE, Hulu | 73 |

| | | |
|---|---|---|
| Gambar 5.32 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Beban Gempa OBE, Hilir | 73 |
| Gambar 5.33 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Beban Gempa MDE, Hulu | 74 |
| Gambar 5.34 | Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa MDE, Hilir | 74 |
| Gambar 5.35 | Potensi Kelongsoran Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Tanpa Beban Gempa, Hulu | 75 |
| Gambar 5.36 | Potensi Kelongsoran Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Tanpa Beban Gempa, Hilir | 75 |
| Gambar 5.37 | Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Beban Gempa OBE | 76 |
| Gambar 5.38 | Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Beban Gempa MDE | 76 |
| Gambar 5.39 | Luas Arsiran Irisan Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* | 77 |

# DAFTAR TABEL


| | | |
|---|---|---|
| Tabel 2.1 | Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Sekarang | 12 |
| Tabel 3.1 | Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Bendungan Tipe Urugan | 25 |
| Tabel 3.2 | Faktor Amplifikasi ($F_{PGA}$) | 30 |
| Tabel 3.3 | Kriteria Faktor Risiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan | 31 |
| Tabel 3.4 | Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air | 32 |
| Tabel 3.5 | Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan | 32 |
| Tabel 4.1 | Parameter Tanah Embung Danau Asam | 38 |
| Tabel 4.2 | Kemiringan Tanggul Tanah Homogen | 39 |
| Tabel 5.1 | Tingkat Risiko Bendungan | 52 |
| Tabel 5.2 | Koordinat Parabola Garis Depresi MAB | 55 |
| Tabel 5.3 | Koordinat Parabola Garis Depresi MAB Input Pada Plaxis 2D | 55 |
| Tabel 5.4 | Koordinat Parabola Garis Depresi MAN | 58 |
| Tabel 5.5 | Koordinat Parabola Garis Depresi MAN Input Pada Plaxis 2D | 58 |
| Tabel 5.6 | Parameter Tanah Metode Irisan Pias - pias | 77 |
| Tabel 5.7 | Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan Slice Method Kondisi Rapid Drawdown, T = 100 Th, k = 0,0713 | 79 |
| Tabel 5.8 | Rekapitulasi Nilai Faktor Aman Embung Danau Asam | 82 |

# DAFTAR LAMPIRAN


| | | |
|---|---|---|
| Lampiran 1 | Hasil Boring Pada Lokasi BH - 01 | xxiv |
| Lampiran 2 | Hasil Boring Pada Lokasi BH - 02 | xxvii |
| Lampiran 3 | Peta Lokasi Bench Mark (BM) dan Control Point (CP) Terpasang | xxx |
| Lampiran 4 | Peta Situasi Hasil Pengukuran Topografi | xxxi |
| Lampiran 5 | Potongan Penampang Melintang | xxxii |
| Lampiran 6 | Data Parameter Tanah | xxxiii |
| Lampiran 7 | Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713, Hulu | xxxiv |
| Lampiran 8 | Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713, Hilir | xxxvii |
| Lampiran 9 | Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hulu | xl |
| Lampiran 10 | Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hilir | xliii |

# DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

**Notasi** :

$\tau$ = tegangan geser tanah (kN/m²)

$c$ = kohesi tanah (kN/m²)

σ = tegangan normal (kN/m²)

φ = sudut gesek dalam tanah (°)

Q = debit aliran (m³/s)

A = luas penampang (m²)

V = kecepatan (cm/s)

i = gradien hidrolik

$\Delta_h$ = perbedaan tinggi muka air pada ujung yang berbeda (m)

L = panjang lapisan yang dilewati rembesan (m)

$i_c$ = gradien hidrolik material

$i_e$ = gradien hidrolik keluaran

$X_r$ dan $X_1$ = gaya geser disepanjang sisi irisan

$E_r$ dan $E_1$ = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan

$T_i$ = resultan gaya geser efektif disepanjang dasar irisan atau beban komponen tangensial dari tiap irisan

$N_i$ = resultan gaya normal efektif disepanjang dasar irisan atau beban komponen vertikal dari setiap irisan

$T_e$ = komponen tangensial beban *seismic* dari irisan

$N_e$ = komponen vertikal beban *seismic* setiap irisan

$U_r$ dan $U_1$ = tekanan air pori pada kedua sisi irisan

$U_{wi}$ = tekanan air pori pada dasar irisan

b = lebar irisan

$M_d$ = momen pendorong longsor

$M_r$ = momen penahan longsor

$\Delta l_i$ = panjang lengkung lingkaran irisan ke – i (m)

$W_i$ = berat massa tanah irisan ke - i

$c'$ = kohesi tanah efektif (kN/m²)

φ' = sudut gesek dalam tanah efektif (°)

PGAM = percepatan puncak di permukaan tanah

FPGA = faktor amplifikasi untuk PGA

SPGA = percepatan tanah dipermukaan

K = koefisien gempa terkoreksi

$\alpha_1$ = koreksi pengaruh daerah bebas (bendungan urugan : 0,7)

g = gravitasi (980 cm/s²)

$FR_{total}$ = faktor risiko total

$FR_k$ = faktor risiko kapasitas tampung

$FR_t$ = faktor risiko tinggi bendungan

$FR_e$ = faktor risiko kebutuhan evakuasi

$FR_h$ = faktor risiko tingkat kerusakan

$\gamma_b$ = berat volume tanah basah (kN/m³)

$\gamma_d$ = berat volume tanah kering (kN/m³)

$\gamma_{sat}$ = berat volume tanah jenuh (kN/m³)

$\gamma_w$ = berat volume air (kN/m³)

w = kadar air (%)

e = angka pori

$G_s$ = berat jenis

**Singkatan** :

SF = *Safety Factor*

OBE = *Operating Basis Earthquake*

MDE = *Maximum Design Earthquake*

SNI = Standar Nasional Indonesia

PGA = *Peak Ground Acceleration*

MAK = Muka Air Kosong

MAN = Muka Air Normal

MAB = Muka Air Banjir

RDD = *Rapid Draw Down*

# ABSTRAK

Embung merupakan bangunan air yang digunakan sebagai tampungan air. Salah satu komponen dari bangunan air adalah tanggul. Tanggul yang dibangun dengan tujuan untuk mencegah banjir harus memiliki elevasi yang lebih tinggi dibanding muka air banjir dan persyaratan yang memenuhi SNI. Embung Danau Asam berlokasi di Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah.

Pada penelitian ini, analisis meliputi rembesan menggunakan metode *Cassagrande*, mencari koefisien gempa termodifikasi yang selanjutnya digunakan dalam analisis stabilitas tubuh embung. Analisis stabilitas tubuh embung dilakukan menggunakan bantuan program *Plaxis* 2D dan apabila mengalami keruntuhan, perhitungan dilanjutkan menggunakan metode manual berupa metode irisan. Analisis dilakukan dengan kondisi tanpa beban gempa dan diberi beban gempa berupa beban gempa OBE dan MDE berdasarkan kondisi muka air waduk kosong, normal, banjir, dan surut cepat.

Hasil analisis Plaxis 2D didapatkan angka tidak aman lereng ($SF_{izin}$ < 1,5) kondisi muka air kosong 1,48 (hulu) dan 1,46 (hilir). Kondisi muka air normal sebesar 1,36 (hilir). Kondisi muka air banjir sebesar 1,18 (hilir). Kondisi surut cepat sebesar 1,14 (hulu) dan 1,22 (hilir). Berdasarkan akibat beban gempa OBE angka tidak aman lereng ($SF_{izin}$ < 1,2) kondisi muka air normal 1,15 (hilir). Kondisi muka air banjir 0,99 (hilir). Kondisi surut cepat 0,77 (hulu) dan 0,81 (hilir). Berdasarkan akibat beban gempa MDE angka tidak aman lereng ($SF_{izin}$ < 1,0) kondisi muka air banjir 0,88 (hilir). Kondisi surut cepat 0,64 (hulu) dan 0,67 (hilir). Angka tidak aman akibat pengaruh terhadap bahaya piping terjadi pada kondisi muka air banjir sebesar 2,67 < 4.

# ABSTRACT

*Embung is water building that is used as a reservoir. One of the component is the embankment. The embankments was built on purpose of preventing from flood. It must have a higher elevation than the elevation of flooding and follow the regulation that based in SNI. Embung Danau Asam is located in Kotawaringin Barat regency, Central Kalimantan Province.*

*In this study, the analysis includes seepage using Cassagrande method, looking for modified earthquake coefficients which are then used in the analysis of the stability of the embankment. The analysis of the embankment was carried out using Plaxis 2D and if it collapsed, the calculation is continued using the manual method as it named slice of method. The analysis was carried out under the conditions without earthquake and given the earthquake such as OBE and MDE based on the condition of an empty water level, normal, flood, and rapid draw down.*

*The results of the analysis using Plaxis 2D show that the unsafety factor slope ($SF_{permit}$ < 1.5) in empty water level 1.48 (upstream) and 1.46 (downstream). In normal water level 1.36 (downstream). In flood water level 1.18 (downstream). In rapid draw down 1.14 (upstream) and 1.22 (downstream). Then, the given earthquake in the form of OBE with unsafety factor slope ($SF_{permit}$ < 1.2) in normal water level 1.15 (downstream). In flood water level 0.99 (downstream). In rapid drawdown 0.77 (upstream) and 0.81 (downstream). Then, the given earthquake in the form of MDE with unsafety factor slope ($SF_{permit}$ < 1.0) in flood water level 0.88 (downstream). In rapid drawdown 0.64 (upstream) and 0.67 (downstream). The unsafety factor that was caused by the influence of the piping was occurred in flood water level 2.67 < 4.*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pulau Kalimantan memiliki keindahan alam yang menjadi potensi besar pada sektor pariwisata. Berdasarkan data Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah, wilayah ini memiliki 11 sungai besar, apabila dikelola dengan benar maka sungai – sungai besar di Kalimantan bisa menjadi sumber penghidupan yang bisa dimanfaatkan diberbagai macam sektor. Namun, karena alih fungsi lahan, hutan dibabat secara masif di daerah bagian hulu, Hal ini menyebabkan bencana alam berupa banjir sering terjadi, salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan banjir, diantaranya membangun bangunan air. Salah satu komponen dari bangunan air yaitu tanggul. Tanggul yang dibangun dengan tujuan untuk mencegah banjir harus memiliki elevasi yang lebih tinggi dibanding muka air banjir yang mungkin terjadi. Pada umumnya, tanggul yang sering dibangun di Indonesia menggunakan material urugan tanah. Tanggul yang dibangun untuk menampung tampungan air biasanya terdapat pada bangunan air berupa bendungan atau embung. Salah satu bangunan air yang ada di Kabupaten Kotawaringin Barat yaitu Embung Danau Asam. Pembangunan embung ini juga dapat dimanfaatkan sebagai pariwisata air.

Kondisi fisik wilayah Kalimantan Tengah terdiri dari daerah pantai dan rawa yang terdapat di wilayah bagian selatan. Tubuh tanggul dari Embung Danau Asam ini dibangun diatas tanah lunak dan berpotensi mengalami penurunan, karena persebaran tanah lunak cukup luas di Kalimantan. Struktur bangunan rentan mengalami kegagalan saat dibangun diatas tanah lunak. Kegagalan struktur berupa keruntuhan bendungan dapat disebabkan akibat dari terjadinya *overtopping.* Peristiwa ini terjadi karena tinggi elevasi muka air banjir melebihi tinggi puncak bendungan yang bisa menyebabkan aliran melewati puncak tubuh bendungan. Kejadian *overtopping* dapat

menyebabkan ambrolnya atau runtuhnya bendungan. Apabila bangunan air ambrol, maka akan menimbulkan kerugian baik secara material ataupun non-material. Agar tidak terjadi kelongsoran maka perlu adanya sebuah perkuatan lereng.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dirumuskan masalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana pengaruh rembesan akibat tinggi muka air normal dan muka air banjir pada timbunan ?
2. Bagaimana nilai angka aman timbunan pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat tanpa beban gempa ?
3. Bagaimana angka aman timbunan pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat diberi beban gempa OBE ?
4. Bagaimana angka aman timbunan pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat diberi beban gempa MDE ?
5. Bagaimana hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis* 2D pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat serta perhitungan manualnya apabila terjadi keruntuhan ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh rembesan akibat tinggi muka air normal dan muka air banjir pada timbunan.
2. Mengetahui nilai angka aman timbunan pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat pada kondisi tanpa gempa.
3. Mengetahui nilai angka aman timbunan pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat diberi beban gempa OBE.
4. Mengetahui nilai angka aman timbunan pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat diberi beban gempa MDE.

5. Mengetahui hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis* 2D pada saat variasi muka air kosong, muka air normal, muka air banjir, dan kondisi surut cepat serta perhitungan manualnya apabila terjadi keruntuhan.

## 1.4 Manfaat Penelitian

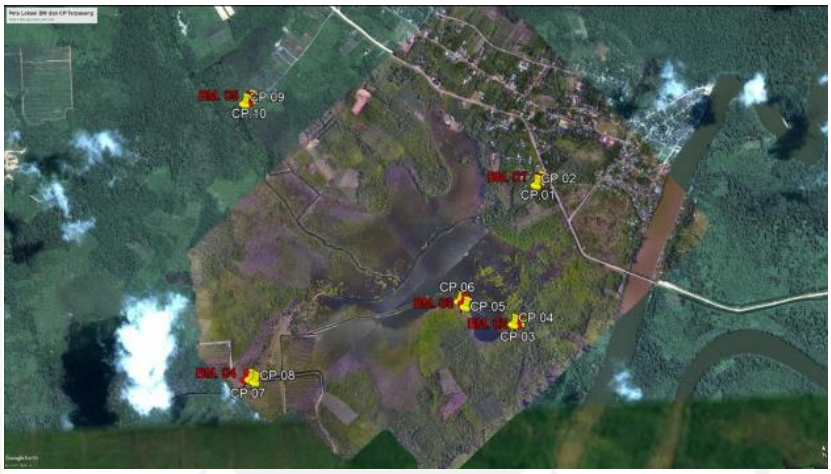
Penelitian dilakukan dengan harapan memperoleh manfaat agar pengetahuan bertambah mengenai stabilitas lereng dan mengetahui adanya program komputer dalam membantu menghitung stabilitas lereng.

## 1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

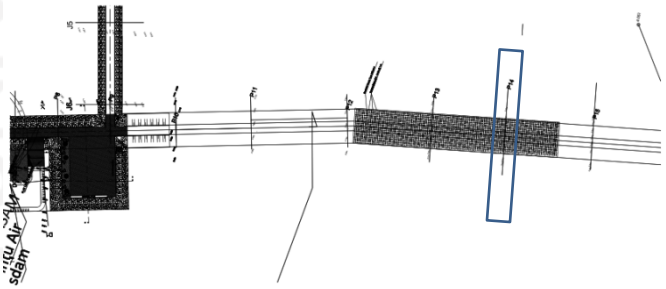
1. Lokasi berada di Kelurahan Kotawaringin Hilir, Kecamatan Kotawaringin Lama, Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah.
2. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode irisan (*method of slices*) dan program *Plaxis*.
3. Menghitung dan menganalisis stabilitas timbunan.
4. Data tanah didapat dari laporan geoteknik / mekanika tanah *review* desain embung Danau Asam Kabupaten Kotawaringin Barat.
5. Variasi muka air yang dianalisis berupa muka air kosong, muka air normal, muka air banjir dan kondisi surut cepat.

Lokasi berada di Kelurahan Kotawaringin Hilir, Kecamatan Kotawaringin Lama, Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah, seperti Gambar 1.1 berikut.




**Gambar 1.1 Lokasi Embung Danau Asam**
(Sumber: Laporan *Review* Desain Embung Danau Asam)

Lokasi potongan tanggul yang akan dilakukan untuk penelitian adalah Patok P14 yang disajikan pada Gambar 1.2 berikut.



**Gambar 1.2 Lokasi Potongan Tanggul P14**
(Sumber: Laporan *Review* Desain Embung Danau Asam)

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Tinjauan Umum

Longsor merupakan bagian gerakan tanah yang mengalami perpindahan dengan membawa material berupa tanah juga batuan bergerak ke arah bawah, menuruni atau keluar dari lereng. Ketentuan lereng merujuk pada bentuk permukaan yang memiliki sudut terhadap bidang horizontal, baik lereng yang terbentuk secara alami maupun dibentuk karena manusia yang memiliki tujuan tertentu seperti pekerjaan menimbun dalam pembuatan tanggul. Tanggul yang dibangun di atas tanah lunak, berpotensi untuk mengalami keruntuhan. Hal ini karena adanya gaya yang bekerja mendorong condong ke arah bawah dan pengaruh muka air seiring dengan waktu yang menyebabkan tanah menjadi jenuh sehingga tanah tidak stabil dan longsor.

Pergerakan tanah akibat gaya dorong, akan dilawan dengan gaya tahan tanah agar tanah tetap stabil. Apabila gaya dorong tanah jauh lebih besar dibanding gaya penahan tanah, maka lereng akan mengalami keruntuhan tanah atau longsor. Gaya pendorong tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban luar dan berat jenis material pembentuk lereng. Sedangkan gaya penahan dipengaruhi oleh kekuatan material tanah juga batuan dan kepadatan tanahnya termasuk kuat gesernya. Longsor yang mungkin terjadi pada tanggul, berupa longsor rotasi. Longsor rotasi memiliki bidang tanah yang mengalami keruntuhan berbentuk cekung atau busur lingkaran.

## 2.2 Analisis Timbunan Diatas Tanah Lunak

Tanah lunak yang dimaksud dalam modul Pelatihan Geosintetik volume 2. Perkuatan Timbunan di Atas Tanah Lunak adalah tanah yang didefinisikan tanah gambut dan tanah lempung dengan gaya geser kurang dari 25 kN/m². Pada beberapa kondisi, tanah dasar pada lokasi tertentu mengalami kondisi seperti tanah dasar memiliki zona lemah atau rongga akibat lubang amblasan, aliran sungai tua, adanya kantung lanau, lempung ataupun gambut. Dalam pedoman KP – 06 mengenai parameter bangunan, analisis untuk menghitung kemiringan – kemiringan yang penting yaitu menggunakan metode Irisan *Bishop* (*Bishop method of slices*).

Hamdani, (2019) melakukan penelitian tugas akhir pada ruas jalan tol Balikpapan – Samarinda seksi V. STA 9 + 726 s/d 926. Peneliti menemukan masalah dalam proses pengerjaannya berupa kondisi tanah yang lunak yang akan mempengaruhi kualitas dan ketahanan jalan. Kondisi tanah tersebut perlu dilakukan perbaikan agar mampu mendukung beban struktur jalan dan beban lalu lintas. Hamdani melakukan analisis dengan mencari perbandingan angka aman antara tanah dengan kondisi tanpa dan dengan perkuatan *sheet pile* dan *geotextile*. Peneliti melakukan perhitungan secara manual dengan menggunakan metode fellenius.

Usnaini, (2007) menganilisis sifat – sifat fisik dan jenis lumpur lapindo, juga membandingkan antara metode *Bishop*, metode *Janbu* serta *Ordinary* untuk mendapatkan faktor aman minimum (SFmin). Simulasi lereng memiliki ketinggian badan jalan 2,1 meter, berat volume tanah 1,7 t/m³, sudut kemiringan 45°, serta lebar badan jalan 6 meter. Nilai aman minimum yang didapat tidak berbeda jauh dari beberapa metode yang digunakan. Faktor aman yang diperoleh dipengaruhi berat volume tanah basah (ɣb), tinggi badan jalan, dan kemiringan lereng. semakin besar nilai – nilai tersebut maka ketidakstabilan lereng atau tingkat kelongsoran lereng semakin besar.

## 2.3 Stabilitas Lereng Bendungan Dengan Gempa

Sandi, (2020) melakukan penelitian pada bendungan Pondok. Bendungan Pondok dikategorikan sebagai bendungan berisiko tinggi, sehingga memiliki beban gempa dengan kala ulang (T) 100 tahun untuk gempa OBE dan kala ulang (T) 5.000 tahun untuk gempa MDE. Analisis dilakukan dengan program *Geostudio* dan manual. Didapat nilai yang relatif aman untuk bendungan pada kondisi muka air banjir, muka air normal, dan muka air minimum. Syarat nilai minimum angka aman pada kondisi tanpa beban gempa sebesar 1,5, dengan beban gempa OBE sebesar 1,2, dan dengan beban gempa MDE sebesar 1. Sedangkan pada kondisi surut cepat didapat nilai angka aman sebagai berikut. Perhitungan angka aman dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa memiliki nilai angka aman 1,25 (tidak aman), dengan beban gempa OBE sebesar 0,929 (tidak aman) dan dengan beban gempa MDE sebesar 0,685 (tidak aman). Kemudian perhitungan dengan bantuan program *Geoslope* didapat nilai angka aman tanpa gempa sebesar 1,63 (aman), dengan beban gempa OBE sebesar 0,796 (tidak aman), dan dengan beban gempa MDE sebesar 0,576 (tidak aman).

Dipa (2017) melakukan evaluasi keamanan tubuh Bendungan Saradan dengan menganalisis angka aman pada dua stasiun, yaitu stasiun 03+50 (sebelah kiri bangunan *intake*) dan stasiun 06+00 (sebelah kanan *spillway*). Analisis dilakukan dengan bantuan program *Plaxis 8.2* dengan kondisi tidak diberi beban gempa dan diberi beban gempa OBE dan MDE. Nilai angka aman yang dinyatakan tidak aman yaitu pada stasiun 03+50 dengan SF = 1,344 pada saat muka air waduk kosong, SF = 1,318 pada saat muka air waduk surut tiba – tiba dari muka air penuh, dan SF = 1,323 pada saat muka air waduk surut tiba – tiba dari muka air normal. Selanjutnya kondisi tidak aman juga terjadi akibat gempa periode (T) = 100 th dengan SF = 1,029 untuk kondisi muka air waduk kosong, SF = 0,967 akibat muka air waduk surut tiba-tiba dari muka air penuh, SF = 0,994 berdasarkan kondisi muka air waduk surut tiba-tiba dari muka air normal. Sedangkan akibat gempa periode (T) = 3000 th dengan SF =

0,786 akibat muka air waduk surut tiba-tiba dari muka air penuh, SF = 0,809 berdasarkan kondisi muka air waduk surut tiba-tiba dari muka air normal.

## 2.4 Pengaruh Muka Air terhadap Kestabilan Lereng

Sandi, (2020) melakukan analisis bangunan tubuh Bendungan Pondok yang terletak di Desa Dero, Kecamatan Beringin, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. Bendungan ini dibangun pada tahun 1992 dengan perencanaan material urugan sehingga perlu analisis lebih lanjut mengenai zona penyusun tubuh bendungan seperti kemiringan hulu dan hilir bendungan yang efektif dan efisien, juga ketebalan masing – masing bagian hulu dan hilirnya. Data penelitian yang digunakan peneliti berupa data sekunder seperti data teknis bendungan, data geometri bendungan dan data tanah bendungan. Peneliti menggunakan metode cassagrande untuk memperhitungkan rembesan pada bendungan, metode bishop untuk mencari perhitungan stabilitas lereng, dan melakukan pemodelan melalui *software GeoStudio*.

Ardiansyah, (2017) melakukan penelitian pada lereng tanah km. 77 di jalan Banjarnegara – Karangkobar. Peneliti memodelkan lereng menjadi dua kondisi yaitu kondisi muka air minimum dan maksimum dengan data masukan pembebanan yang sama yaitu beban kendaraan dan beban gempa. Peneliti melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui angka aman lereng dengan kondisi elevasi muka air tanah yang berada pada kedalaman 5 m dan 1 m dari permukaan tanah. Peneliti menerapkan agka aman dengan persyaratan > 1,5. Pada lereng asli dengan beban kendaraan untuk lereng pada kondisi muka air tanah normal dan ekstrim tidak memenuhi persyaratan angka aman. Lereng yang diperkuat dengan dinding penahan tanah pada kondisi muka air tanah yang sama, nilai angka aman memenuhi persyaratan. Sehingga peneliti menyimpulkan, naiknya muka air tanah terhadap angka aman dapat mengurangi nilai angka aman lereng, karena berat jenis air menambah beban terhadap lereng.

Krisdianto, (2021) melakukan penelitian terhadap perubahan ketinggian muka air pada hulu bendungan dengan meninjau keamanan stabilitas tubuh bendungan. Peneliti melakukan perhitungan analisis secara manual dan bantuan aplikasi perangkat lunak Geostudio SLOPE/W. Besar debit rembesan menggunakan metode *Cassagrande* yang selanjutnya dilanjutkan dengan menganalisis keamanan lereng bendungan menggunakan metode *Fellenius*. Peneliti mengikuti angka aman yang ditentukan dalam SNI 8064:2016. Peneliti memberikan hasil analisis dengan menunjukkan angka aman bendungan tanpa beban dan dengan beban gempa untuk dibeberapa kondisi muka air pada bagian lereng hulu dan hilir bendungan.

Harison, dkk (2013) melakukan penelitian tentang analisa geoteknik dan penanggulangan kelongsoran Tanggul Sungai Banjir Kanal Barat wilayah Semarang. Lebih tepatnya pada lereng rawan longsor berada di lokasi WF – 80 dan WF – 91. Perhitungan dilakukan manual dengan menggunakan metode *Fellinius* dan diperoleh angka aman sebesar 0,98. Selanjutnya angka aman dihitung dengan bantuan program melalui *software finite element* berupa *Plaxis* pada kondisi lereng telah diberi perkuatan dinding penahan tanah sebesar 1,302 dan perkuatan dinding penahan tanah disertai *bored pile* sebesar 1,363. Peneliti berkesimpulan bahwa kelongsoran disebabkan karena dasar sungai yang dangkal sehingga tinggi muka air banjir akan bersejajar dengan tinggi tanggul. Hal ini akan mengurangi daya dukung tanah akibat rendaman air.

Nanda dan Hamdhan (2016) melakukan penelitian terhadap bendungan tipe urugan dengan melakukan analisis rembesan dan stabilitas yang dihitung menggunakan metode elemen hingga dengan model 2D dan 3D pada program *Plaxis AE*. Analisis menggunakan variasi pembebanan, saat selesai konstruksi, muka air minimum, muka air maksimum, dan surut cepat yang keseluruhan kondisi akan dikombinasikan dengan beban gempa pseudostatik. Pada pembeban setelah konstruksi, muka air minimum, muka air maksimum dan surut cepat model 2D sebelum diberi beban gempa diperoleh nilai faktor aman berturut – turut sebesar

2,088; 1,876; 1,965; dan 1,750. Selanjutnya, pada urutan yang sama dengan kondisi diberi beban gempa adalah 1,823; 1,688; 1,461; dan 1,452.

## 2.5 Bahaya *Pipping* Bendungan

Penelitian yang dilakukan oleh Amran dan Safi'i (2020) daerah Irigasi Rawa Seputih Surabaya bertujuan untuk merehabilitasi lereng tanggul penahan banjir yang mampu menahan debit banjir pada periode ulang tertentu dan menentukan faktor aman pada lereng tanggul yang akan direncanakan. Peneliti menggunakan metode irisan dengan cara *Fellenius* dalam mendapatkan faktor keamanan. Nilai yang didapat lebih besar dari yang disyaratkan yaitu sebesar 2,902. Debit rembesan dihitung menggunakan cara *Schaffernak* dengan kesimpulan bahwa hasil rembesan tersebut akan menyebabkan gejala *pipping* (proses terangkutnya butir – butir tanah halus yang menyebabkan aliran air dalam tubuh tanggul).

Gunawan dkk. (2017) melakukan penelitian dalam mendesain bronjong talud dan mendesain dimensi bendungan pada embung Manjang di Desa Ngawu, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunung Kidul, DIY. Diawali dengan membentuk garis longsor agar ditemukan angka aman sebesar 2,545 menggunakan metode *Fellinius* dan desain bronjong dengan kedalaman 3 m dengan tinggi pondasi sebesar 1 meter dan lebar 4 m. Peneliti juga melakukan perhitungan stabilitas terhadap bahaya guling, geser, *pipping* dan daya dukung tanah dengan nilai sebagai berikut 5,053 ; 2,0 ; 6 ; dan 3,9.

Seroy dkk. (2020) melakukan penelitian pada embung Nunuka yang terletak di Desa Nunuka Kecamatan Bolangitang Timur Kabupaten Bolaan Mongondow Utara. Penelitian dilakukan untuk mencari besar faktor keamanan pada tubuh embung terhadap kestabilan lereng dan bahayanya terhadap *pipping* serta deformasi. Peneliti juga melakukan analisis lereng menggunakan program *Plaxis* dan *Geostudio.* Faktor keamanan yang didapat menggunakan Plaxis 8.5 memiliki faktor aman berkisar antara 1,722 – 1,813. Sedangkan, faktor keamanan yang didapat menggunakan

*Geostudio* berkisar antara 1,63 – 1,1988. Analisis rembesan pada Embung Nunuka dilakukan pada kondisi aliran langgeng pada tinggi muka air dengan elevasi +90,5 dan elevasi +91,7. Pada perhitungan *pipping*, faktor keamanan terhadap erosi buluh pada zona lempung dinyatakan sebagai perbandingan antara gradien kritis (Ic) dengan komponen vertikal dari gradien keluaran (Iy), dengan hasil nilai faktor keamanan yang memenuhi persyaratan yaitu ≥ 4 (tanpa filter) dan ≥ 2 (dengan filter).

## 2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian yang membantu penyusun untuk melakukan penelitian dengan membandingkan hasil penelitian dari peneliti – peneliti sebelumnya. Berikut Tabel 2.1 merupakan perbandingan penelitian terdahulu dan yang akan datang.

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang**

| Peneliti | Usnaini (2007) | Harison, dkk. (2013) | Nanda Dan Hamdhan (2016) | Dipa (2017) |
|---|---|---|---|---|
| Judul | Analisis Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Yang Terbuat Dari Lumpur Lapindo | Analisa Geoteknik Dan Penanggulangan Kelongsor-an Tanggul Sungai Banjir Kanal Barat Semarang | Analisis Rembesan dan Stabilitas Bendungan Bajulmati dengan Metode Elemen Hingga Model 2D dan 3D | Evaluasi Keamanan Tubuh Bendungan Saradan Menggunakan Plaxis 8.2 |
| Tujuan | Mengetahui sifat fisis dan jenis tanah lumpur Lapindo serta angka aman minimum. | Mengetahui kondisi pergerakan tanah pada lereng akibat ketidakstabilan lereng dan mengetahui nilai angka aman. | Melakukan analisis terhadap rembesan dan stabilitas yang akan terjadi pada bendungan menggunakan program kompu-ter *Plaxis* AE dengan model 2D dan 3D. Sehingga diketahui kirteria keamanan berdasarkan hasil analisis. | Mengetahui evaluasi keamanan bendungan urugan menggunakan metode elemen hingga pada Plaxis 8.2 |
| Metode | Membandingkan faktor aman metode *Bishop, Janbu,* serta *Ordinary*. Menganalisis stabilitas melalui program *Geoslope* | Perhitungan manual menggunakan metode *Fellinius* dan software finite element berupa *Plaxis.* | Pemodelan dan analisis rembesan dihitung menngunakan *Plaxis* AE dengan metode elemen hingga. | Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dari *Plaxis* 8.2 dan bila dinyatakan collapse lereng dihitung kembali melalui metode pias – pias (method of slice) |
| Hasil | Nilai angka aman pada setiap metode tidak berbeda jauh satu sama lainnya. Begitu juga program *geoslope.* Semakin besar berat volume tanah, tinggi badan jalan, dan kemiringan lereng maka tingkat kelongsoran juga semakin besar. | Angka aman dihitung melalui metode *Fellinius* adalah sebesar 0,98. Lereng yang diberi perkuatan memiliki angka aman dari *Plaxis* sebesar 1,302 dengan dinding penahan tanah dan 1,363 dengan dinding penahan tanah disertai *bored pile.* | Stabilitas Bendungan Bajulmati pada kondisi setelah konstruksi, muka air minimum, muka air maksimum, dan surut cepat baik tanpa gempa dan diberi beban gempa memiliki nilai angka aman ≥ 1,5. | Kondisi yang memiliki nilai angka aman tidak memenuhi syarat baik tanpa beban gempa dan diberi beban gempa yaitu saat muka air waduk kosong, saat muka air waduk surut tiba – tiba dari muka air penuh dan muka air waduk surut tiba – tiba dari muka air normal |

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang**

| Peneliti | Gunawan, dkk. (2017) | Ardiansyah (2017) | Hamdani (2019) | Sandi (2020) |
|---|---|---|---|---|
| Judul | Stabilitas Lereng Dan Bendungan Pada Embung Desa Ngawu, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunung Kidul, DIY. | Pengaruh Kondisi Muka Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng Jalan Dengan Dinding Penahan Tanah | Analisis Stabilitas Timbunan Jalan Di Atas Tanah Lunak Dengan Perkuatan Sheet Pile Dan *Geotekstil* | Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Mengguna-kan Metode *Bishop* Dan Perhitungan Rembesan Dengan Pendekatan Metode *Cassagrande* |
| Tujuan | Peneliti memberikan alternatif perbaikan kuat dukung tanah dengan mendesain bronjong talud dan dimensi bendungan pada Embung Manjang. | Mengetahui faktor aman lereng asli pada muka air tanah sedalam 5m dan 1m dari permukaan tanah, dan bisa mendesain dinding penahan tanah dengam pertimbangan beban kendaraan dan gempa. | Mengetahui nilai angka aman pada lereng timbunan tanah asli, diperkuat *Sheet Pile*, dan diperkuat *Geotextile*. | Mengetahui tingkat klasifikasi resiko bendungan, angka aman pada variasi muka air (banjir, normal, minimum, rapid drawdown), rembesan dan pengaruhnya terhadap stabilitas. |
| Metode | Analisis stabilitas lereng dihitung melalui metode *Fellinius*, selain itu peneliti meninjau stabilitas terhadap guling, geser, piping dan daya dukung tanah. | Stabilitas lereng dianalisis menggunakan aplikasi program *Plaxis* 8.2. | Membandingkan angka aman antara tanah dengan dan tanpa perkuatan menggunakan program *Plaxis* Versi 8.6. | Perhitungan rembesan menggunakan metode *Cassagrande*, stabilitas lereng secara manual menggunakan metode *Bishop*, dan permodelan tubuh bendungan dengan program *geostudio* |
| Hasil | Didapatkan desain bronjong dengan kedalaman 3 m dengan tinggi pondasi sebesar 1 meter dan lebar 4 m. Peneliti juga melakukan perhitungan stabilitas terhadap bahaya guling, geser, pipping dan daya dukung tanah dengan nilai 5,053 ; 2,0 ; 6 ; dan 3,9. | Hasil pada lereng asli, nilai angka aman tidak memenuhi syarat. Kemudian, pada lereng dengan dinding penahan tanah nilai faktor aman memenuhi syarat. | Nilai angka aman pada lereng asli menunjukkan lereng terjadi keruntuhan. Nilai angka aman pada lereng timbunan diperkuat perkuatan tanah memberikan hasil lereng yang aman terhadap keruntuhan, penurunan, dan geser. | Bendungan Pondok dikategorikan bendungan berisiko tinggi. Dari semua kondisi muka air didapatkan bahwa bendungan aman terhadap kelongsoran, kecuali dalam kondisi *rapid drawdown.* |

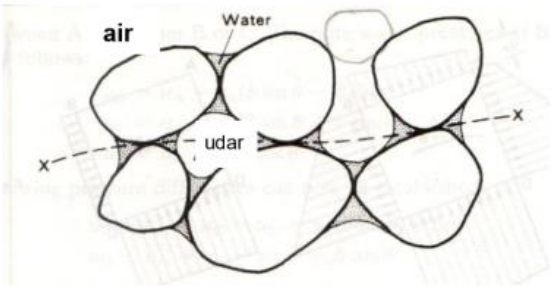
**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang**

| Peneliti | Amran dan Safi'i (2020) | Seroy, dkk. (2020) | Krisdianto (2021) | Hapsari (2023) |
|---|---|---|---|---|
| Judul | Analisis Stabilitas Lereng Pada Tanggul Penahan Banjir Sungai Way Seputih Kecamatan Seputih Surabaya Kabupaten Lampung Tengah Provinsi Lampung | Analisa Kestabilan Bangunan Embung Nunuka | Analisis Stabilitas Pada Tubuh Bendungan Dengan Irisan *Fellenius* Dan Debit Rembesan Dengan Metode *Cassagrande* Menggunakan *Software Geostudio* | Analisis Stabilitas Timbunan Tubuh Embung (Tanggul) Di Atas Tanah Lunak Dengan *Plaxis* 2D |
| Tujuan | Merehabilitasi lereng tanggul penahan banjir yang menahan debit banjir pada periode ulang tertentu dan menentukan faktor aman lereng tanggul | Menemukan besar faktor keamanan pada tubuh embung terhadap kestabilan lereng dan bahayanya terhadap *pipping* serta deformasi. | Mengetahui tingkat klasifikasi resiko bendungan, angka aman pada variasi muka air dengan dan tanpa beban, serta rembesan bendungan. | Mengetahui nilai angka aman dari variasi muka air baik tanpa beban gempa dan diberi beban gempa dari tingkat klasifikasi risiko bendungan. |
| Metode | Peneliti menggunakan metode irisan berupa *Fellenius* untuk mencari faktor keamanan dan debit rembesan dihitung menggunakan cara *Schaffernak* | Peneliti melakukan analisis lereng menggunakan program *Plaxis* dan *Geostudio* | Perhitungan rembesan mengguna-kan metode *Cassagrande*, stabilitas lereng dengan metode *Fellenius*, dan permodelan tubuh bendungan dengan program geostudio | Perhitungan rembesan menggunakan metode *Cassagrande*. Analisis stabilitas lereng menggunakan *Plaxis 2D*, apabila kondisi collapse dilanjutkan perhitungan manual melalui metode pias -pias (*method of slice*) |
| Hasil | Didapatkan nilai faktor aman sebesar 2,902. Rembesan diprediksi akan menyebabkan gejala *pipping*. | Faktor keamanan yang didapat menggunakan *Plaxis* 8.5 berki-sar antara 1,722 – 1,813. Sedangkan, faktor keamanan yang didapat menggunakan *Geostudio* berkisar antara 1,63 – 1,1988. Faktor keamanan terha-dap bahaya *pipping* meme-nuhi persyaratan yaitu ≥ 4 (tanpa filter) dan ≥ 2 (dengan filter). | Bendungan Pondok dikategorikan bendungan berisiko tinggi. Bendungan aman terhadap kelongsoran disetiap variasi muka air. | Angka aman pada variasi muka air kosong bernilai relatif sama. Angka aman pada variasi muka air normal dan banjir memiliki potensi kerun-tuhan pada bagian hilir, sedangkan pada surut cepat potensi keruntuhan akan berada pada kedua sisi. |

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Tanah

Tanah terbentuk akibat proses teruarainya batuan menjadi partikel yang jauh lebih kecil akibat proses pelapukan secara fisik atau mekanis dan kimia (Hardiyatmo, 2014). Pelapukan secara fisik terjadi akibat erosi dari angin dan air, serta perubahan suhu yang menyebabkan batuan besar terpecah menjadi partikel – partikel kecil dengan komposisi yang sama dengan batuan induk. Pelapukan secara kimia sering terjadi pada daerah dengan intensitas hujan yang cukup tinggi. Reaksi batuan terhadap asam, basa, oksigen dan karbondioksida akan mengubah mineral yang ada di dalam batuan menjadi mineral – mineral baru yang dikenal dengan mineral lempung. Sehingga dari berbagai referensi, tanah merupakan campuran dari unsur mineral dan material organik seperti tumbuhan yang membusuk. Menurut Darwis (2018) Partikel tanah tersusun secara longgar, menciptakan formasi tanah yang terdiri dari ruang pori. Diantara butiran tanah yang terdapat ruang pori, akan terisi udara dan air. Massa tanah jenuh air sebagian digambarkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.




**Gambar 3.1 Massa Tanah Jenuh Air Sebagian**

### 3.1.1 Tanah Lunak

Klasifikasi tanah yang dilakukan untuk tujuan teknik didasarkan pada indentifikasi tanah berupa ukuran butir, gradasi, plastisitas dan kompresibilitas. Tanah lunak sering menimbulkan permasalahan pada struktur diatasnya yang disebabkan daya dukung tanah yang rendah dan waktu konsolidasi yang lama. Permasalahan tanah lunak perlu perbaikan agar tidak terjadi penurunan setelah konstruksi dan agar tidak terjadi kerusakan bangunan sebelum mencapai umur konstruksi.

## 3.2 Lereng Tanggul

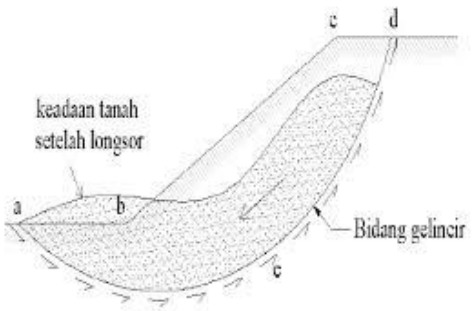
Tanggul merupakan bangunan menerus digunakan untuk mengatur muka air. Pada umumnya menggunakan konstruksi urugan tanah dengan volume yang sangat besar. Tanggul memiliki tembok miring, sehingga kemiringan tanggul perlu didesain dan dianalisis sedemikian rupa. Analisis stabilitas pada permukaan yang miring ini disebut dengan analisis stabilitas lereng. Tujuan dilakukan analisis stabilitas lereng adalah menentukan faktor aman dari bidang longsor. Permukaan tanah yang memiliki elevasi berbeda secara ekstrim, memiliki gaya dorong yang bekerja ke arah bawah, dari tanah yang memiliki elevasi tinggi ke arah tanah dengan elevasi yang rendah. Reaksi dari gaya dorong tanah yang bergerak ke arah bawah yaitu gaya penahan tanah. Gaya yang bekerja menahan tanah, memberikan ke stabilan tanah apabila lebih besar dibanding gaya pendorongnya. Gaya penahan berupa gesek, lekatan antar tanah (kohesi), dan kekuatan geser tanah. Karena tanah mempunyai kohesi ($c$) dan sudut gesek dalam ($\varphi$), tegangan geser tanah dapat dicari melalui penyelesaian yang diberikan Mohr Coulomb (1776) dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad \text{(asumsi tanpa air pori)} \qquad (3.1)$$

Sehingga salah satu hal yang perlu dilakukan untuk membangun tanggul yaitu dilakukannya penyelidikkan tanah, sehingga didapat kekuatan geser dan kohesi yang bekerja pada partikel tanah.

### 3.2.1 Keruntuhan Lereng

Faktor – faktor dari lereng yang tidak stabil menurut Cruden dan Varnes (1996), dibedakan menjadi faktor penyebab dan faktor pemicu. Faktor penyebab berupa kemiringan lereng dan jenis batuan dan tanah. Sedangkan faktor pemicu menurut Goenadi *et al.* (2003), dikelomppokan menjadi faktor pemicu bersifat tetap (statis) dan berubah (dinamis). Faktor pemicu bersifat tetap (statis) dilihat dari jenis litologi penyusun struktur geologi dan sifat fisik tanah. Sedangkan faktor pemicu bersifat berubah (dinamis) berupa curah hujan dan penggunaan lahan. Tanah longsor dengan bidang gelincir mendekati bentuk busur lingkaran disebut dengan longsor rotasi. Biasanya terjadi pada timbunan atau galian dengan tanahnya yang homogen. Bidang longsor yang digambar berbentuk lingkaran dimaksudkan dalam mempermudah perhitungan dengan pertimbangan bentuk yang mendekati keadaan sebenarnya di alam. Selain cara analisis yang diperhitungkan untuk kondisi tanah homogen, ada kondisi dimana tanah tidak homogen dan memiliki bentuk aliran serta berat volume tanah tidak menentu akibat aliran rembesan. Dengan kondisi demikian, metode yang cocok digunakan yaitu metode irisan (*method of slice*). Kelongsoran lereng yang digambar berbentuk lingkaran dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.




**Gambar 3.2 Kelongsoran Rotasi Lereng**

(Sumber: Das M, 2002)

### 3.3 Rembesan

Rembesan pada air waduk merupakan air yang mengalir melalui material yang porus baik dari dalam tubuh tanggul atau fondasinya. Rembesan dapat menyebabkan stabilitas tanggul terganggu akibat *pipping* yang membentuk rongga sehingga mengakibatkan fondasi bangunan mengalami penurunan.

#### 3.3.1 Hukum Darcy

Air yang merembes pada waduk yang dibangun dengan tanggul homogen memiliki debit rembesan yang bisa dihitung melalui persamaan Hukum Darcy. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan rembesan disajikan pada Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

Rumus umum : $Q = A \times V$ (3.2)

Rumus turunan : $\frac{d_h}{d_l} = i$

$Q = -K \times A \times \frac{h_l}{L}$

$= -K \times A \times \frac{d_h}{d_l}$

$Q = -K \times A \times i$ (3.3)

Dengan,

Q : Debit Aliran ($m^3/s$)

V : Kecepatan Darcy (cm/s)

K : Konduktivitas hidrolik, ketepatan (cm/s)

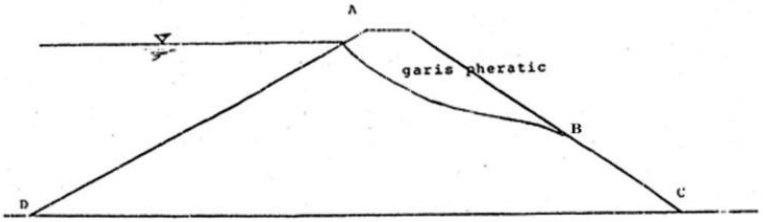
i : Gradien hidrolik

A : Luas penampang

L : Panjang lapisan yang dilewati rembesan (m)

### 3.3.2 Garis Freatik

Garis freatik pada tubuh embung merupakan aliran air yang mengalir dari bagian hulu ke hilir. Jaringan aliran untuk bendungan tanah dengan fondasi berupa tanah kedap air dapat digambarkan pada Gambar 3.3 berikut.

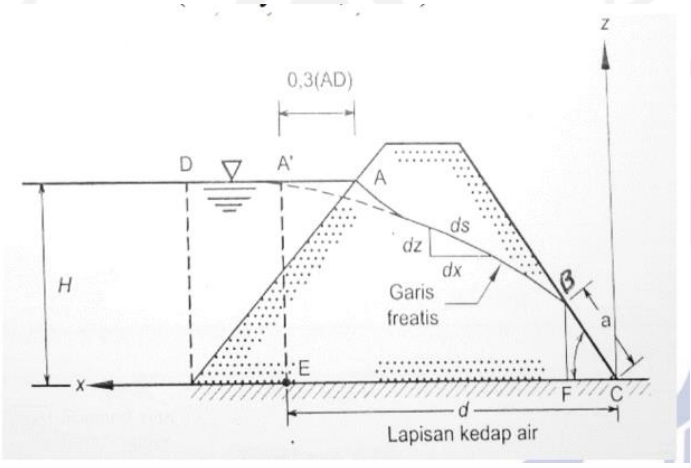



**Gambar 3.3 Jaringan Aliran Pada Bendungan Yang Homogen**
(Sumber: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi 2017)

Garis AB merupakan garis *phreatic*.Garis ini membatasi daerah yang jenuh dan yang kering. Garis aliran ini bisa dihitung dengan menggunakan metode *Cassagrande*.

### 3.3.3 Metode Cassagrande

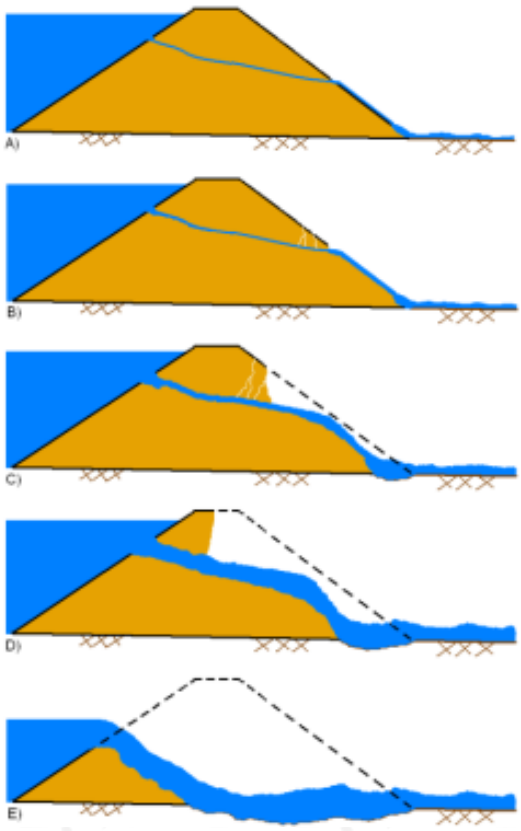
Metode *Cassagrande* (1937) pada dasarnya melakukan pengujian model dalam memberikan cara perhitungan rembesan. Pemodelan metode *Cassagrande* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.




**Gambar 3.4 Rembesan Metode *Cassagrande***
(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

### 3.3.4 Keruntuhan Akibat *Piping*

Aliran air rembesan mengalir dari suatu lapisan berbutir halus menuju lapisan yang lebih kasar, akan menyebabkan terangkutnya butiran halus lolos melewati bahan yang lebih kasar. Erosi butiran ini mengakibatkan turunnya tahanan aliran air dan naiknya gradien hidrolik. Lebih dari sepertiga kejadian keruntuhan bendungan diakibatkan karena rembesan air melalui pondasi atau tubuh bendungan yang disebut dengan *piping*. Berikut ilustrasi keruntuhan akibat *piping* yang disajikan pada Gambar 3.5.




**Gambar 3.5 Ilustrasi Keruntuhan Akibat *Piping***
(Sumber: HEC – RAS *Hydraulic Reference* Manual, 2021)

Angka keamanan dari *piping* pada penelitian ini akan dihitung dengan metode Harza melalui Persamaan 3.4 , 3.5 , dan 3.6 sebagai berikut.

$$SF = \frac{i_c}{i_e} \quad (3.4)$$

$$i_c = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (3.5)$$

$$i_e = \frac{\Delta_h}{L} \quad (3.6)$$

Dengan ketentuan sebagai berikut :

SF = *Safety Factor* (angka keamanan)

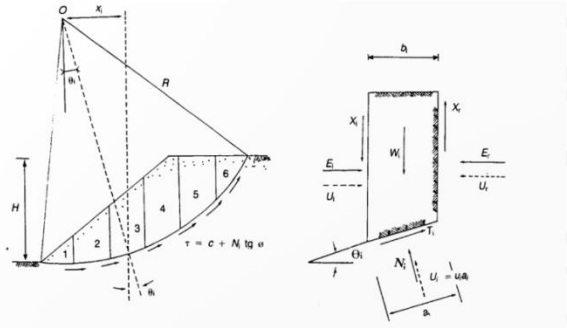
$i_c$ = Gradien hidrolik material

$i_e$ = Gradien hidrolik keluaran

Menurut Hardiyatmo H.C. (2017) menyatakan angka keamanan yang digunakan sebagai persyaratan atau ketentuan bendungan yaitu harus lebih besar dari 3 – 4 (SF > 3 – 4).

### 3.4 Analisis Stabilitas Lereng

Metode irisan memecah massa tanah longsoran menjadi beberapa irisan yang vertikal. Irisan – irisan vertikal ini memiliki tebal satuan, yakni volume yang cenderung slip. Berikut Gambar 3.6 yang mengilustrasikan gaya – gaya yang bekerja.



**Gambar 3.6 Gaya – gaya yang bekerja pada irisan**

(Sumber: Hardiyatmo, 1994)

Gambar 3.6 memperlihatkan irisan dengan gaya yang bekerja pada irisan tersebut, gaya – gaya yang bekerja pada irisan – irisan ini terdiri dari :

$X_r$ dan $X_l$ = gaya geser disepanjang sisi irisan

$E_r$ dan $E_l$ = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan

$T_i$ = resultan gaya geser efektif disepanjang dasar irisan

$N_i$ = resultan gaya normal efektif disepanjang dasar irisan

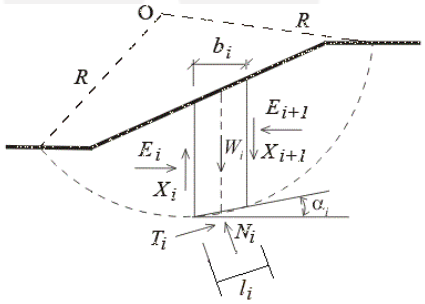
$U_r$ dan $U_l$ = tekanan air pori pada kedua sisi irisan

$U_i$ = tekanan air pori pada dasar irisan

b = lebar irisan

### 3.4.1 Metode Irisan

Keseimbangan tiap irisan dipengaruhi oleh gaya – gaya yang bekerja padanya. Gaya – gaya tersebut diantaranya gaya geser dan gaya normal efektif, resultan gaya geser efektif dan resultan gaya normal efektif. Berikut skema gaya longsor rotasi yang disajikan pada Gambar 3.7 berikut.




**Gambar 3.7 Skema Gaya Longsoran Rotasi**

(Sumber: Wikipedia)

Faktor aman merupakan nilai banding antar jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor dan jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor yang dirumuskan pada Persamaan 3.7 berikut.

$$SF = \frac{\sum M_r \quad \text{(jumlah momen penahan longsor)}}{\sum M_d \ \text{(jumlah momen penyebab longsor)}} \qquad (3.7)$$

Dengan ketentuan sebagai berikut :

SF > 1,5 kondisi lereng stabil

SF = 1,5 kondisi lereng kemungkinan tidak stabil

SF < 1,5 kondisi lereng tidak stabil

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah *R* (jari – jari lingkaran bidang longsor) sin θ, sehingga momen dari massa tanah yang akan longsor tersajikan pada Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$\sum \mathrm{M}_d = R \sum_{i=l}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.8)$$

Momen yang menahan tanah akan longsor disajikan pada Persamaan 3.9 berikut.

$$\sum \mathrm{M}_r = R \sum_{i=l}^{i=n} (c\Delta l_i + N_i \mathrm{tg}\varphi) \quad (3.9)$$

Keseimbangan arah vertikal dan gaya yang bekerja pada sembarang irisan yang mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor, dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut :

$$N_i = W_i \cos\theta_i - U_{wi}$$

$$= W_i \cos\theta_i - u_{wi}\Delta l_i \text{ (asumsi adanya air pori)} \quad (3.10)$$

Persamaan 3.11 merupakan momen yang menahan tanah longsor dengan memperhatikan tekanan air pori.

$$\sum \mathrm{M}_r = R \sum_{i=l}^{i=n} (cl_i + (W_i \cos\theta_i - u_{wi}\Delta l_i)\mathrm{tg}\varphi) \quad (3.11)$$

Sehingga faktor keamanan (*safety factor*, SF) dari uraian persamaan sebelumnya, disajikan pada Persamaan 3.12 berikut.

$$\mathrm{SF} = \frac{\sum_{i=l}^{i=n} (c\Delta l_i + (W_i \cos\theta_i - u_{wi}\Delta l_i)\mathrm{tg}\varphi)}{\sum_{i=l}^{i=n} W_i \sin\theta_i} \quad (3.12)$$

Keterangan sebagai berikut :

c = kohesi tanah (kN/m$^2$)

φ = sudut gesek dalam tanah (°)

$\Delta l_i$ = panjang lengkung lingkaran irisan ke – *i* (m)

n = jumlah irisan

$W_i$ = berat massa tanah irisan ke – *i*

$u_{wi}$ = tekanan air pori pada irisan ke – *i* (m)

$\theta_i$ = sudut yang didefinisikan

### 3.4.2 Metode Irisan *Bishop*

Metode *simplified bishop* dianggap lebih akurat dibanding metode lainnya. Metode ini menggunakan irisan dengan memperhitungkan gaya tambahan pada antar irisannya. Metode *Bishop* pada perhitungannya juga menggunakan iterasi, yaitu melakukan perulangan pada hitungan faktor keamanan. Persamaan faktor aman metode *Bishop* membutuhkan cara *trial and error*, karena adanya nilai faktor aman dikedua sisi persamaan. Sehingga diperoleh persamaan faktor aman yang dapat dilihat pada Persamaan 3.13 berikut :

$$SF = \frac{\sum_{i=l}^{i=n}\left[c' b_i + (W_i - u_{wi} b_i)\text{tg}\varphi'\right]\left(\frac{1}{\cos\theta_i\left(1+\text{tg}\theta_i \text{tg}\varphi'/F\right)}\right)}{\sum_{i=l}^{i=n} W_i \sin\theta_i} \quad (3.13)$$

Keterangan tambahan sebagai berikut :

c’ = kohesi tanah efektif ($kN/m^2$)

φ’ = sudut gesek dalam tanah efektif (°)

$b_i$ = lebar irisan ke – *i* (m)

Beberapa masalah yang menjadikan ketidaktentuan hasil analisis stabilitas lereng menurut Hardiyatmo (2007), diantaranya lereng yang mengalami kelongsoran berada pada bidang tiga dimensi, kondisi benda uji berpengaruh terhadap hasil pengujian. Kondisi pembebanan di laboratorium memiliki kemungkinan untuk tidak cocok dengan kondisi kedudukan tegangan - tegangan di lapangan.

## 3.5 Kriteria Nilai Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Tanggul

Faktor keamanan minimum yang disyaratkan untuk analisis stabilitas lereng bendungan tipe urugan berdasarkan SNI 8064:2016 disajikan dalam Tabel 3.1 Kriteria Faktor Keamanan Minimum Untuk Stabilitas Bendungan Tipe Urugan.

**Tabel 3.1 Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Bendungan Tipe Urugan**

| No | Kondisi | Kuat Geser | Tekanan Air Pori | FK Tanpa Gempa | FK dg Gempa * |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | **Selesai konstruksi tergan-tung :**<br>1. Jadwal konstruksi.<br>2. Hubungan antara tekanan air pori dan waktu.<br>Lereng U/S dan D/S.<br><br>Dengan gempa tanpa kerusakan digunakan 50% koefisien gempa desain. | 1. Efektif | Peningkatan tekanan air pori pada urugan dan fondasi dihitung menggu-nakan data lab. dan pengawasan instru-men. | 1,30 | 1,20 |
| | | | Idem hanya tanpa penga-wasan instrumen. | 1,40 | 1,20 |
| | | | Hanya pada urugan tanpa data laboratorium dan dengan atau tanpa pengawasan instrumen (taksiran konservatif) | 1,30 | 1,20 |
| | | 2. Total | Tanpa pengawasan instrumen | 1,30 | 1,20 |
| 2. | **Aliran langgeng tergantung:**<br>1. Elevasi muka air normal sebelah udik.<br>2. Elev. muka air sebelah hilir.<br>Lereng U/S dan D/S. Dg gem-pa tanpa kerusakan digunakan 100% koef.gempa desain. | 1. Efektif | Dari analisis rembesan | 1,50 | 1,20 |
| 3. | **Pengoperasian waduk tergantung :**<br>1. Elev.m.a. maksimum di udik<br>2. Elev.m.a. minimum di udik (*dead storage*).<br>Lereng U/S harus dianalisis untuk kondisi surut cepat. | 1. Efektif | Surut cepat dari el. Muka air normal sampai elev. muka air minimum.<br>Lereng U/S dan D/S. | 1,30 | 1,10 |
| | | | Surut cepat dari elev.ma. maks. sampai el.m.a. min.<br>Pengaruh gempa diambil 0% dari kf. gempa desain. | 1,30 | - |
| 4. | **Kondisi darurat tergantung :**<br>1. Pembuntuan pada sistem drainase<br>2. Surut cepat krena penggunaan air melebihi kebutuhan.<br>3.Surut cepat keperluan darurat. | 1. Efektif | Surut cepat dari elev.ma maksimum sp el. terendah bangunan pengeluaran.<br>Pengaruh gempa diabai-kan. | 1,20 | - |

*) Catatan: Periksa standar tentang metode analisis stabilitas lereng dinamik bendungan tipe urugan.
*) untuk OBE ; sedangkan **)untuk MDE, FK ≥ 1

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

## 3.6 Beban Gempa

Gempa bumi merupakan energi yang lepas dari dalam bumi, sehingga berakibat patahnya lapisan batuan pada kerak bumi secara tiba – tiba. Dalam analisis stabilitas bendungan urugan akibat beban gempa dapat dianalisis dengan cara analisis keseimbangan batas *pseudostatic* (koefisien gempa) dan analisis dinamik. Perhitungan nilai gempa dapat dilakukan dengan mengikuti pedoman konstruksi dan bangunan analisis stabilitas bendungan dengan tipe urugan akibat beban gempa berdasarkan Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Pd T-14-20040A), adapun tinjauan dalam menentukan beban gempa adalah sebagai berikut.

1. Gempa Dasar Operasi (*Operating Basis Earthquake*, OBE)
   Gempa dengan batasan goncangan di permukaan tanah pada lokasi studi dengan 50% kemungkinan tidak terlampaui dalam 100 tahun, yang sebaiknya ditentukan secara probabilistik.
2. Gempa Desain Maksimum (*Maximum Design Earthquake*, MDE)
   Gempa dengan goncangan terbesar pada lokasi studi yang digunakan sebagai analisis.

### 3.6.1 Koefisien Gempa

Analisi gempa untuk desain bendungan dan pelengkapnya yang tahan gempa dapat dilakukan dengan cara menggunakan koefisien gempa. Koefisien ini diberikan dalam persen dari gravitasi. Sebagai contoh, koefisien gravitasi 10% (0,1 g) sering digunakan dalam hitungan. Jadi, gaya – gaya dinamis dianggap sebagai gaya statis, yang kadang – kadang disebut *pseudostatic analysis*. Faktor keamanan izin yang berkaitan dengan koefisien gempa menggambarkan perilaku lereng bendungan. Koefisien gempa ditentukan dari nilai percepatan gempa maksimum terkoreksi (*peak ground acceleration*, PGA) yang ditujukkan pada Persamaan 3.14 berikut.

$$PGAM = FPGA \times SPGA \quad (3.14)$$

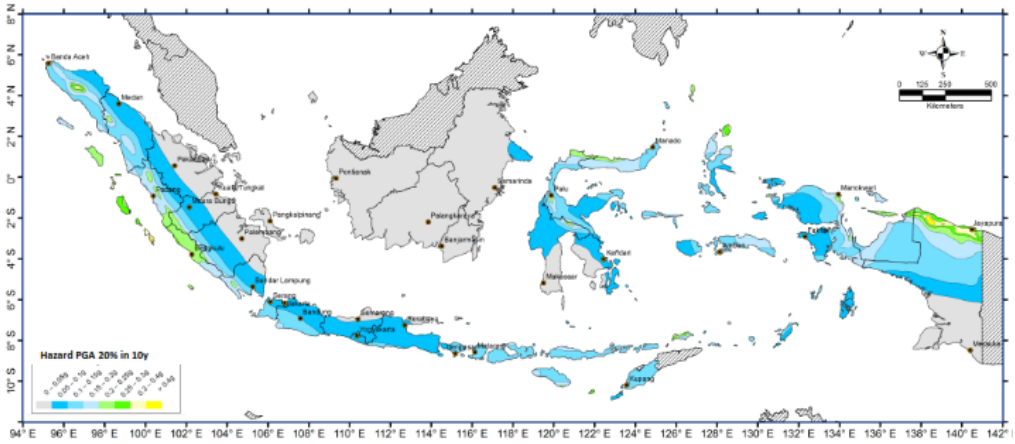
Dengan :

PGAM = Percepatan puncak di permukaan tanah

FPGA = Faktor amplifikasi untuk PGA

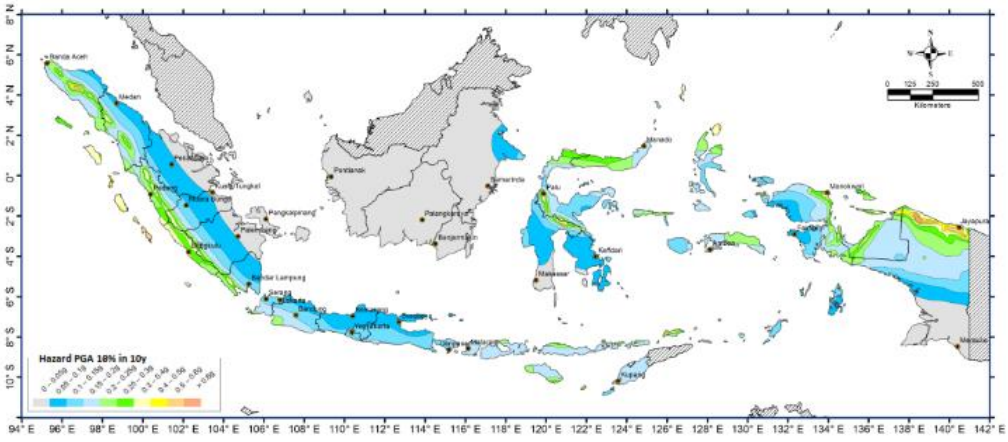
SPGA = Percepatan tanah di permukaan

Peta gempa yang digunakan adalah peta gempa tahun 2017 yang dapat dilihat pada Gambar 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 dan 3.13 sebagai berikut.



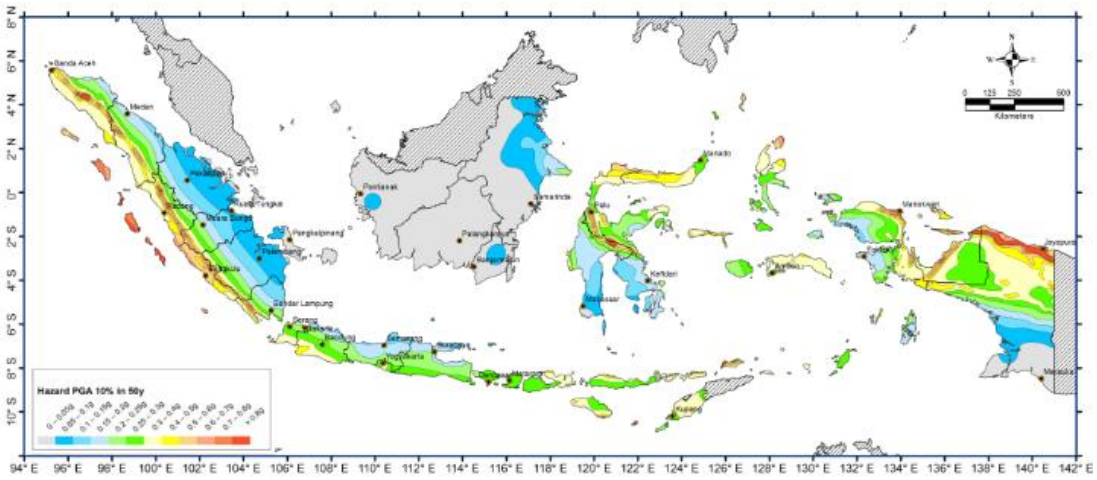

**Gambar 3.8 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 20% dalam 10 Tahun**

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



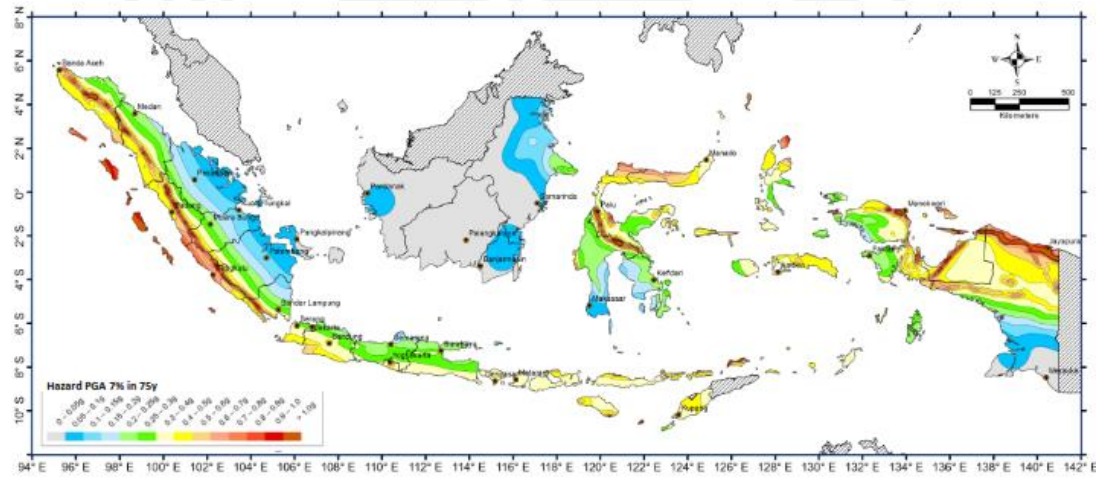

**Gambar 3.9 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 10 Tahun**

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



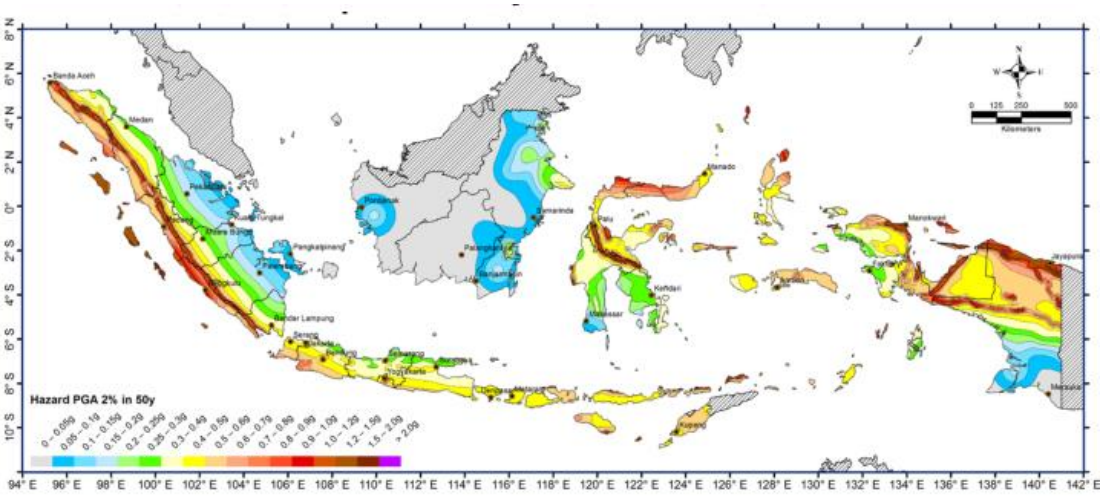

**Gambar 3.10 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun**

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



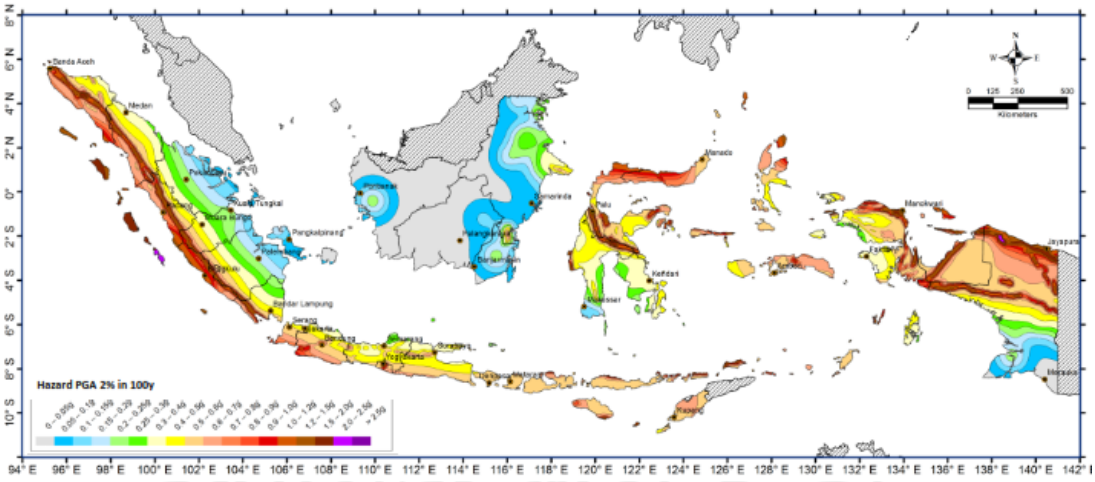

**Gambar 3.11 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun**

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




**Gambar 3.12 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun**

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




**Gambar 3.13 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar ($S_B$) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 100 Tahun**

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

Gaya gempa ini berarah horizontal, kearah yang berbahaya, dengan garis kerja yang melewati titik berat konstruksi. Komponen vertikal relatif tidak akan berbahaya dibandingkan dengan komponen horizontal. Harga f tergantung dari lokasi tempat konstruksi sesuai dengan peta zona gempa. Koefisien jenis tanah untuk beban gempa dapat dilihat pada Tabel 3.2 Faktor Amplifikasi ($F_{PGA}$) berkut.

**Tabel 3.2 Faktor Amplifikasi ($F_{PGA}$)**

| Kelas Situs | $S_{PGA}$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **PGA = 0.1** | **PGA = 0.2** | **PGA = 0.3** | **PGA = 0.4** | **PGA = 0.5** |
| Batuan Keras (SA) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| Batuan (SB) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Keras (SC) | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| Tanah Sedang (SD) | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| Tanah Lunak (SE) | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| Tanah Khusus (SF) | SS | SS | SS | SS | SS |

Sumber : SNI 8460:2017

Selanjutnya menghitung koefisien gempa dan gaya – gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah – ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar, seperti pada Persamaan 3.15 dan 3.16 sebagai berikut.

$$K_h = \frac{PGA_M}{g} \quad (3.15)$$

$$K = \alpha_1 \times K_h \quad (3.16)$$

Dengan :

PGAM = Percepatan puncak di permukaan tanah

$\alpha_1$ = Koreksi pengaruh daerah bebas (*freefield*) (bendungan urugan :0,7)

K = Koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas

g = Gravitasi (980 cm/det²)

### 3.6.2 Tingkat Risiko Bangunan

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

1. Klasifikasi Kelas Risiko

   Klasifikasi kelas risiko menyesuaikan parameter yang didapat berdasarkan data teknis bendungan. Klasifikasi kelas risiko didapatkan dari Persamaan 3.17 berikut.

   $FR_{total} = FR_k + FR_t + FR_e + FR_h$ (3.17)

   Dengan :

   $FR_k$ = Faktor risiko kapasitas tampung

   $FR_t$ = Faktor risiko tinggi bendungan

   $FR_e$ = Faktor risiko kebutuhan evakuasi

   $FR_h$ = Faktor risiko tingkat kerusakan

   Kriteria faktor risiko untuk evaluasi keamanan bendungan yang disajikan pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3 Kriteria Faktor Risiko Untuk Evaluasi Keamanan Bendungan**

| Faktor Risiko | Angka Bobot Dalam Kurung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ekstrema | 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 Evaluasi (jumlah orang) (FRe) | > 1000 (12) | 1000 - 100 (8) | | 100 - 1 (4) | 0 (0) |
| Tingkat Kerusakan (FRh) | Sangat Tinggi (12) | Tinggi (10) | Agak Tinggi (8) | Moderat (4) | Tidak Ada (0) |

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

2. Kriteria Beban Gempa

Dari nilai faktor risiko, kemudian menentukan kriteria beban gempa dengan menentukan kelas risiko. Berikut Tabel 3.4 yang menyajikan kelas risiko bendungan dan bangunan air.

**Tabel 3.4 Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air**

| Faktor Risiko Total | Kelas Risiko |
|---|---|
| (0 - 6) | I (rendah) |
| (7 - 18) | II (moderat) |
| (19 - 30) | III (tinggi) |
| (31 - 36) | IV (ekstrem) |

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

Selanjutnya Tabel 3.5 menyajikan kriteria beban gempa untuk desain bangunan sebagai berikut.

**Tabel 3.5 Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan**

| Kelas risiko dengan massa guna | Persyaratan tanpa kerusakan | | Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan | |
|---|---|---|---|---|
| | T (thn) | Metode Analisis | T (thn) | Metode Analisis |
| IV<br>N = 50 - 100 | 100 - 200 ad<br>≥ 0,1 g | Koef. Gempa | 10.000<br>(MDE) | Koef. Gempa<br>atau dinamik * |
| III<br>N = 50 - 100 | 50 - 100 ad<br>≥ 0,1 g | Koef. Gempa | 5.000<br>(MDE) | Koef. Gempa<br>atau dinamik * |
| II<br>N = 50 - 100 | 50 - 100 ad<br>≥ 0,1 g | Koef. Gempa | 3.000<br>(MDE) | Koef. Gempa<br>atau dinamik * |
| I<br>N = 50 - 100 | 50 - 100 ad<br>≥ 0,1 g | Koef. Gempa | 1.000<br>(MDE) | Koef. Gempa<br>atau dinamik * |

Catatan :

1) Untuk bendungan besar dengan kondisi geologi setempat yang khusus, Peta Zona Gempa dalam BAB V tidak dapat digunakan, dan perlu dilakukan studi gempa tersendiri.
2) Analisis dinamik dapat dilakukan dengan analisis ragam sambutan gempa atau sejarah waktu percepatan gempa.

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

## 3.7 Perkuatan Tanah

Tanah lunak mempunyai daya dukung tanah dan kuat geser yang rendah dengan kompresibilitas yang tinggi, sehingga pori – pori tanah yang terisi air akan menyebabkan penurunan tanah. Permasalahan ini dapat diatasi melalui perbaikan tanah, dengan memperbaiki sifat teknis tanah seperti kuat geser, kekakuan, permeabilitas, dan kompresibilitasnya. Perbaikan tanah dapat dilakukan melalui berbagai metode dengan mempertimbangkan faktor – faktor yang mempengaruhi, diantaranya jenis tanah, area kedalaman dan lokasi penanganan, sifat tanah yang diinginkan, material yang tersedia, tenaga ahli, kondisi lingkungan, dan ekonomi. Perbaikan sifat tanah dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan secara mekanis, perbaikan secara modifikasi hidrolik, perbaikan secara fisik dan kimia, serta modifikasi dengan penyisipan dan pengekangan.

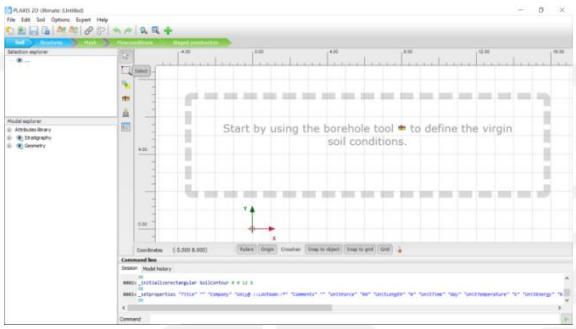
## 3.8 Program *Plaxis*

Dalam mengatasi dan mendapatkan solusi yang optimal, dibutuhkan analisis yang baik dari lereng terebut dengan perkuatan tanah pada konstruksinya. Permasalahan geoteknik di lapangan dapat disimulasikan ke program aplikasi komputer, salah satunya *Plaxis*.

*Plaxis* merupakan program aplikasi yang dikembangkan berdasarkan metode elemen hingga. Program aplikasi ini memudahkan pengguna karena dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang dianalisis. Model geometri terdiri dari titik – titik, garis – garis dan klaster – klaster. Setelah model geometri terbentuk, parameter – parameter dari material dimasukkan untuk membentuk komponen geometri, sehingga jaring elemen hingga dapat disusun. Data – data yang dimasukkan ke dalam program *plaxis*, diantaranya parameter tanah dari hasil penyelidikan tanah, beban timbunan lokasi kelongsoran, dan rembesan air yang meluber di lokasi longsoran.

### 3.8.1 Tampilan *Plaxis*

Bagian – bagian penting dari jendela utama ditunjukkan dalam Gambar 3.13 jendela utama program masukan dibawah ini




**Gambar 3.14 Jendela Utama Program *Plaxis***

(Sumber: Pedoman *Plaxis* Indonesia)

Fungsi – fungsi dari beberapa bagian utama program masukan plaxis yang tertera dalam Gambar 3.14 diatas, diantaranya :

1. Menu utama : seluruh pilihan masukan dan fasilitas operasional dari program
2. *Toolbar* (umum) : berisi tombol – tombol untuk aktivitas khusus berkaitan dengan berkas, pencetakan, *zooming*, ataupun untuk pemilihan objek
3. *Toolbar* (geometri) : berisi tombol – tombol untuk aktivitas khusus berkaitan dengan pembuatan model geometri
4. Mistar : menunjukkan koordinat *x* dan *y* dari model geometri pada sisi kiri dan sisi atas bidang gambar
5. Bidang gambar : letak model geometri dibuat dan dimodifikasi
6. Koordinat pusat : jika koordinat pusat atau salib sumbu berada dalam rentang dimensi yang ditentukan maka pusat koordinat tersebut akan digambarkan sebagai sebuah lingkaran kecil dengan sumbu-*x* dan sumbu-*y* diindikasikan oleh anak panah.
7. Masukan manual : jika penggambaran dengan *mouse* tidak memberikan ketepatan yang diinginkan, maka baris masukan manual dapat digunakan. Bagian ini juga dapat digunakan untuk menentukan koordinat baru suatu titik tertentu

### 3.8.2 Analisa Pengujian Program

Pengujian dilakukan pada timbunan tanpa perkuatan geotekstil, sehingga didapat pola keruntuhan yang diprediksi. Apabila terjadi keruntuhan, perlu dilakukan pemasangan geotekstil dengan harapan keruntuhan dapat dicegah atau kerusakan dapat diminimalisir. Hasil pengujian selanjutnya berupa angka aman, dengan batas dari nilai angka aman sebesar 1,5. Apabila timbunan tanpa geotekstil tidak memenuhi nilai angka aman, maka perlu perkuatan geotekstil yang diharapkan memperoleh angka aman melebihi batas minimum.

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan suatu cara dari peneliti untuk mengumpulkan informasi dan melakukan serangkaian pengujian dalam menginvestigasi data yang telah didapat dengan tujuan memperoleh pengetahuan dan jawaban dari objek yang diteliti. Metode penelitian mengarahkan peneliti untuk berpikir secara sistematis karena adanya tahapan – tahapan yang disusun sebagai pedoman. Metode penelitian berisi sampel data, lokasi, metode dan prosedur, parameter data, serta bagan alir dari penelitian yang dilakukan.

Data – data yang telah diperoleh, selanjutnya diolah dan dianalisis secara hitungan manual maupun melalui program *Plaxis* 2D v.20. Sehingga didapat nilai angka aman yang merupakan hasil dari analisis stabilitas lereng asli.

## 4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian yang ditinjau berada di Kelurahan Kotawaringin Hilir, Kecamatan Kotawaringin Lama, Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah. Secara geografis, Embung Danau Asam terletak pada koordinat 2°29'16.6“LS 111°26'14.6“BT.




**Gambar 4.1 Lokasi Penelitian**

## 4.3 Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, diantaranya mengumpulkan literatur dan referensi mengenai stabilitas lereng. Informasi didapat dari buku – buku, jurnal, dan tugas akhir dari perpustakaan setempat dan internet. Menentukan parameter dan mengumpulkan data – data yang berkaitan dengan topik. Seperti data tanah yang didapat dari Laporan Geoteknik / Mekanika Tanah *review* Desain Embung Danau Asam Kabupaten Kotawaringin Barat. Menganalisis rembesan melalui metode *Cassagrande,* agar terbentuk aliran rembesan. Mencari nilai koefisien gempa dengan memberi kelas klasifikasi tingkat risiko bangunan di lokasi. Menghitung dan menganalisis stabilitas timbunan tanpa perkuatan melalui permodelan *Plaxis*. Dalam permodelan *Plaxis,* timbunan yang dimodelkan ada yang diberikan beban gempa dan tidak. Timbunan akan diberi variasi muka air pada lereng bagian hulu baik dengan beban gempa dan tanpa beban gempa. *Output* yang akan dihasilkan dari analisis ini berupa nilai angka aman yang akan memenuhi persyaratan atau tidak. Apabila nilai angka aman tidak memenuhi persyaratan, maka timbunan yang diprediksi mengalami keruntuhan. Timbunan yang mengalami keruntuhan berada dalam konsdisi angka aman yang tidak memenuhi persyaratan, sehingga dibeberapa kondisi tidak ditampilkan besaran dari angka aman pada program *Plaxis* 2D, sehingga angka aman dicari secara perhitungan manual melalui metode irisan. Setelah didapat angka aman pada variasi muka air yang berbeda, baik dibagian hulu dan hilir, selanjutnya melakukan pembahasan dari hasil analisis stabilitas timbunan yang telah dilakukan sehingga bisa ditarik kesimpulannya.

## 4.4 Parameter Penelitian

### 4.4.1 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan data yang penting dalam melakukan analisis *Plaxis* 2D. Data tanah ini didapat dari data analisis geotek mektan yang dilakukan oleh CV. Karya Dinamis disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4.1 Parameter Tanah Embung Danau Asam**

| Parameter | | Satuan | Tanah Lempung | Tanah Lempung Berpasir | Tanah Lempung Lekat | Tanah Lempung Lekat |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Berat Volume dan Specific Gravity** | Berat volume tanah basah ($\gamma_b$) | kN/m$^3$ | 15,6 | 15,8 | 16,9 | 17,1 |
| | Berat volume tanah kering ($\gamma_d$) | kN/m$^3$ | 11,0 | 11,4 | 12,0 | 12,4 |
| | Kadar air (w) | % | 42,24 | 39,08 | 41,26 | 37,46 |
| | Angka pori ($e$) | | 1,27 | 1,22 | 1,10 | 1,02 |
| | Berat jenis ($G_s$) | | 2,54 | 2,57 | 2,56 | 2,56 |
| **Kuat Tekan/ Kuat Geser** | Kohesi ($C$) | kN/m$^2$ | 5,88 | 4,90 | 13,73 | 16,67 |
| | Sudut geser dalam (φ) | ° | 15,36 | 16,70 | 21,65 | 23,36 |
| **Klasifikasi Tanah** | UNIFIED & ASTM | | CH | CL | CH | CH |

(Sumber : CV. Karya Dinamis)

Data material dalam penelitian analisis stabilitas timbunan, didapat dari Laporan Geoteknik/Mekanika Tanah *review* Desain Embung Danau Asam Kabupaten Kotawaringin Barat :

a. Data Material Tanah I (Timbunan)
   Berat jenis tanah (ɣ) = 15,6 kN/m³
   Kohesi tanah (C) = 14,3 kN/m ²
   Sudut gesek tanah (φ) = 29,5°
b. Data Material Tanah II (Tanah dasar pondasi)
   Berat jenis tanah ($\gamma_{sat}$) = 16,46 kN/m³
   Kohesi tanah (C) = 5,88 kN/m ²
   Sudut gesek tanah (φ) = 15,36°

### 4.4.2 Geometri Dan Desain Tanggul

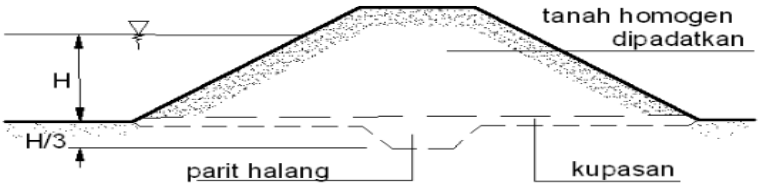
Berikut Tabel 4.2 yang merupakan kemiringan tampak samping yang dianjurkan untuk tanggul tanah homogen dari standar perencanaan irigasi KP 04, Tahun 2013

**Tabel 4.2 Kemiringan Tanggul Tanah Homogen**

| Klasifikasi Tanah | Kemiringan Talud Dalam (1:m) | Kemiringan Talud Luar (1:m) |
|---|---|---|
| GW, GP, SW, SP | Lolos air, tidak dianjurkan | |
| GC, GM, SC, SM | 1:2,5 | 1:2,0 |
| CL, ML | 1:3,0 | 1:2,5 |
| CH, MH | 1:3,5 | 1:2,5 |

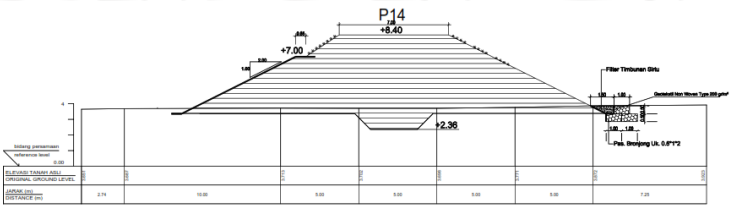
(Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktoran Jenderal SDA, 2013)

Berikut Gambar 4.1 contoh gambar desain tubuh bendungan stabilitas tanggul.




**Gambar 4.2 Kemiringan Tanggul Tanah Homogen**

Berdasarkan dari data pengukuran yang didapat, potongan melintang pada tanggul embung danau asam pada patok P.14 disajikam pada Gambar 4.2 berikut.

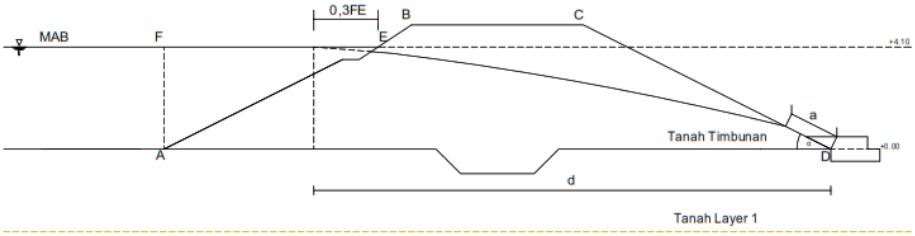



**Gambar 4.3 Penampang Melintang Tanggul Patok P.14**

### 4.4.3 Variasi Muka Air Yang Akan Dimodelkan

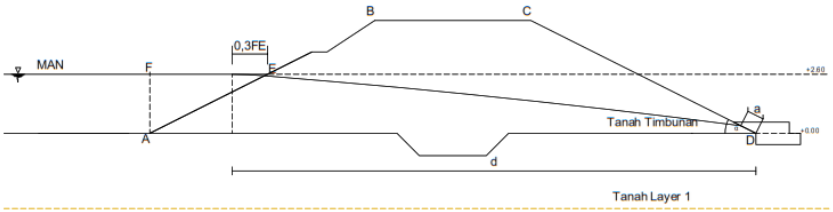
Berikut desain geometri beserta irisan (pias) timbunan tanpa perkuatan dan data tanah yang akan diolah untuk mencari nilai angka aman (*safety factor*).

a. Timbunan tanpa perkuatan dengan tinggi muka air banjir (MAB) setinggi 4,1 m. Disajikan pada Gambar 4.3 sebagai berikut.



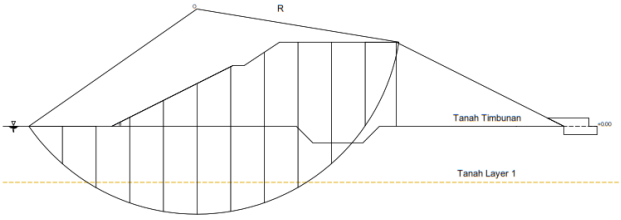

**Gambar 4.4 Penampang Melintang Tanggul Dengan Muka Air Banjir**

b. Timbunan tanpa perkuatan dengan tinggi muka air normal (MAN) setinggi 2,6 m. Disajikan pada Gambar 4.4 sebagai berikut.




**Gambar 4.5 Penampang Melintang Tanggul Dengan Muka Air Normal**

c. Timbunan tanpa perkuatan dengan fungsi timbunan sebagai tampungan, tanggul dilapisi geomembran disajikan pada Gambar 4.5 sebagai berikut.




**Gambar 4.6 Penampang Melintang Tanggul Tanpa Asumsi Rembesan**

a. Data Geometri Tanah

Lebar rata – rata timbunan (B) = 17 m

Tinggi timbunan (H) = 5,04 m

Tinggi tanah pondasi (h) = 6 m (tanah lapis 1)

## 4.5 Data Gempa

Data kegempaan pada penelitian menggunakan beban gempa jenis pseudostatik sebagai *input* data pada program *Plaxis*. Gempa merupakan getaran yang terjadi pada permukaan bumi akibat dari pelepasan energi dari bawah permukaan secara tiba – tiba yang menciptakan gelombang seismik. Kalimantan merupakan satu – satunya pulau di Indonesia dengan tingkat aktivitas kegempaan paling rendah, menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Hal ini karena pulau Kalimantan memiliki struktur sesar yang kondisinya sudah berumur tersier sehingga segmentasinya banyak yang sudah tidak aktif lagi untuk memicu gempa dan lokasi Kalimantan cukup jauh dari zona tumbukan lempeng sehingga suplai energi yang membangun medan tegangan tidak begitu kuat. Data beban yang digunakan berupa analisis beban gempa *pseudostatic* dengan acuan gambar sesuai Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.

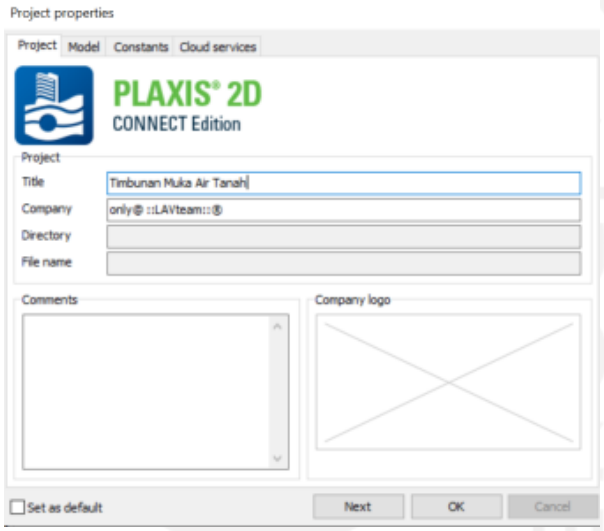
## 4.6 Input Plaxis

Proses permodelan geometri timbunan dilakukan dalam tiga tahapan, diantaranya *pre-process*, *calculation*, dan *post-process*. *Pre-process* merupakan awal dari pembuatan model bangunan sehingga bisa terdefinisikan masalah, situasi awal suatu bangunan, dan simulasi dari tahapan konstruksinya. Bagan alir kerja dari *pre-process* diawali dengan menginput *borehole* kedalaman dan parameter tanah yang ada ditab *soil*. Selanjutnya tab *structure* untuk membuat garis geometri dan struktur perkuatan yang akan menjadi model analisis. Tab *mesh* untuk menentukan tipe elemen distribusi yang akan digunakan. Tab *flow condition* untuk memberikan kondisi aliran dengan mengatur konfigurasi yang dibutuhkan seperti muka air tanah. Kemudian tab *staged construction* untuk mendefinisikan tahapan konstruksi dan mensimulasikan konstruksi dalam beberapa tahapan. Pada fase setelah *initial phase*, dalam mencari angka aman, tipe kalkulasi yang digunakan adalah *safety.*

Berikut langkah – langkah yang digunakan dalam analisis menggunakan program *Plaxis* 2D v. 20.

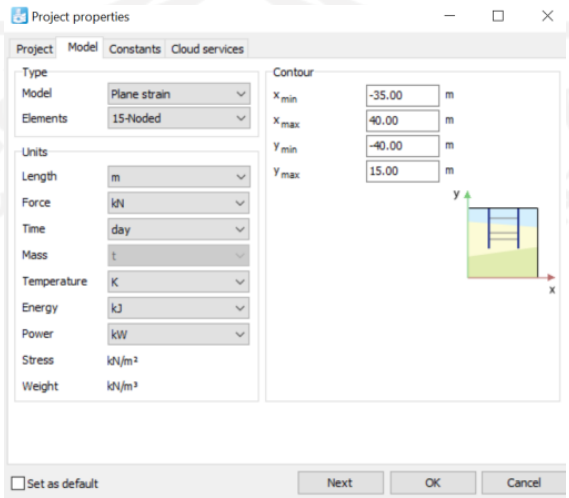
1. Buka program plaxis

   Program plaxis dijalankan dengan *double click right* ikon *Plaxis* 2D pada *mouse*, klik *Start New Project*. Sehingga muncul tampilan *peoject properties* seperti pada Gambar 4.7 dibawah ini.



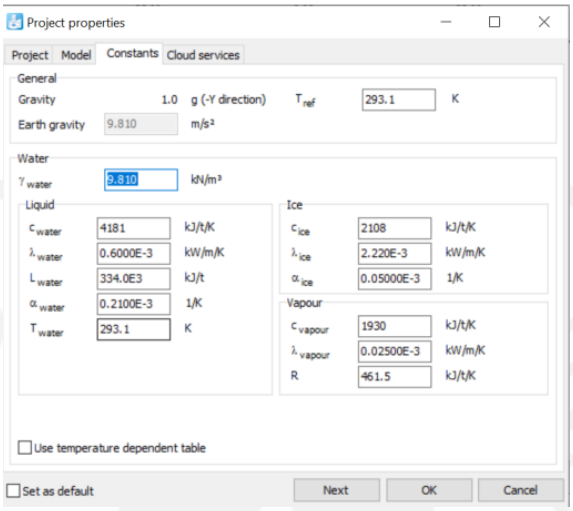

**Gambar 4.7 Tab *Project* Pada Kotak *Project Properties Plaxis* 2D**

Pada tab *project*, masukkan judul pada pemodelan yang akan dibuat. Selanjutnya pada tab *model* masukkan tipe model, kontur, dan satuan seperti pada Gambar 4.8 dibawah.



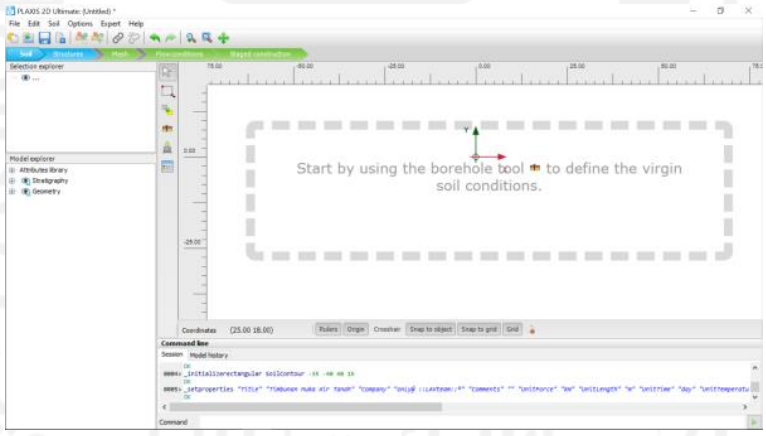

**Gambar 4.8 Tab *Model* Pada Kotak *Project Properties Plaxis* 2D**

Pada tab *constants*, masukkan berat dari massa jenis air sebesar 9,81 kN/m³. Kemudian klik Ok seperti pada Gambar 4.9 berikut.



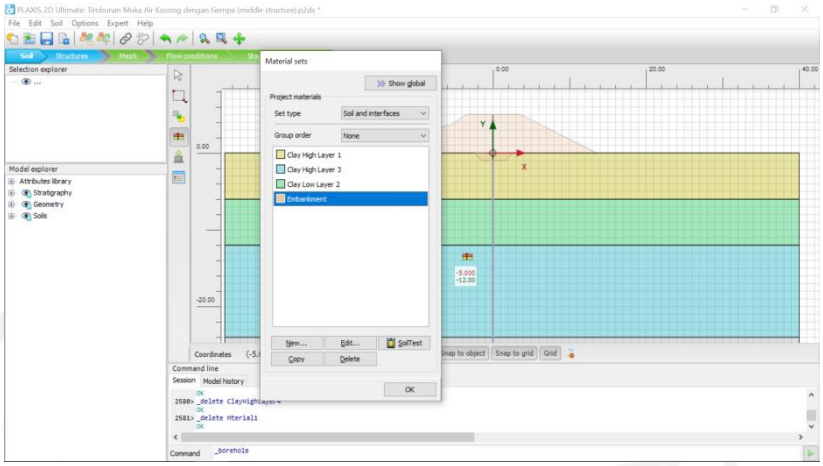

**Gambar 4.9 Tab *Constants* Pada Kotak *Project Properties Plaxis* 2D**

2. Tampilan *lay out* pada program *Plaxis* 2D ditampilkan pada Gambar 4.10 berikut



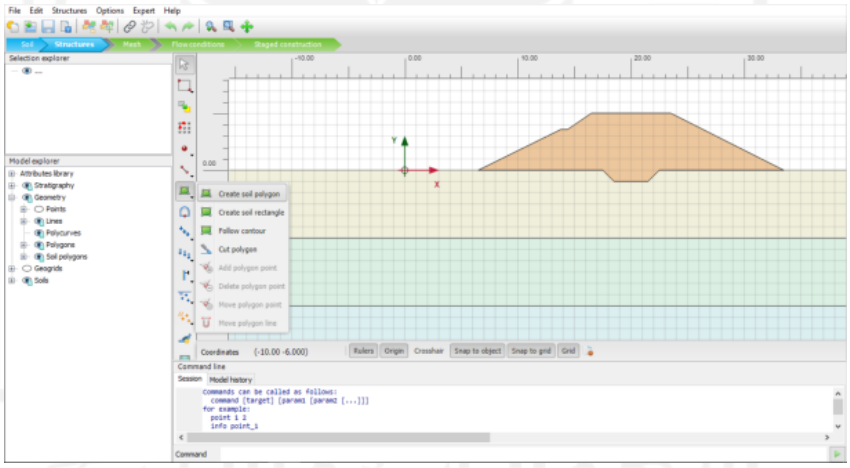

**Gambar 4.10 Halaman Depan *Plaxis* 2D**

3. Tab *Soil* pada halaman *Plaxis* 2D menyediakan *setting* material untuk tanah dasar dan struktur yang akan menjadi awal pemodelan ditampilkan pada Gambar 4.11.



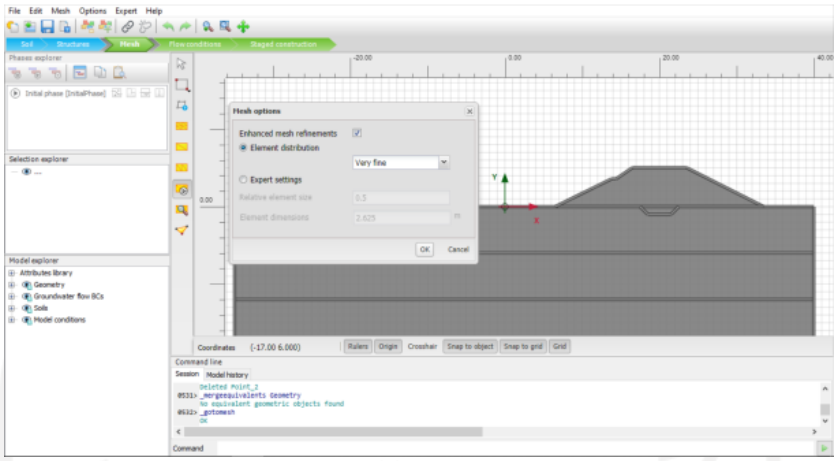
**Gambar 4.11 Tab *Soil* Pada *Plaxis* 2D**

4. Tab *Structure* pada halaman *Plaxis* 2D menampilkan bentuk geometri bangunan yang akan dimodelkan dengan membuat tanah poligon pada fitur poligon disajikan pada Gambar 4.12 berikut.



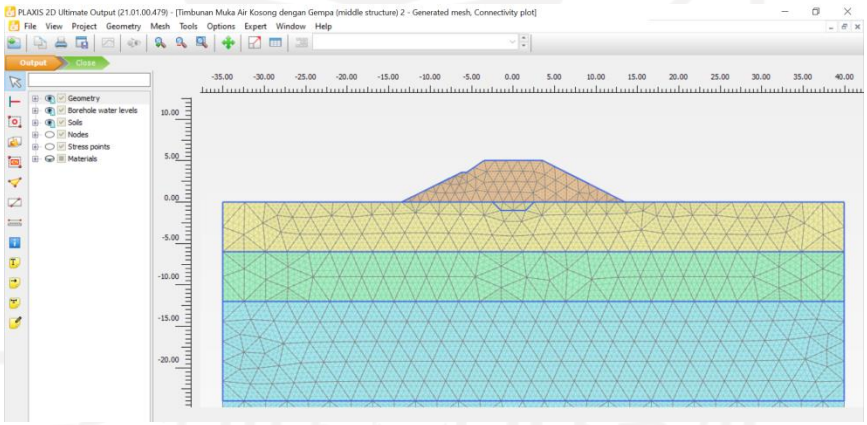
**Gambar 4.12 Tab *Structure* Pada *Plaxis* 2D**

5. Geometri dibagi menjadi elemen hingga untuk melanjutkan perhitungan, komposisi elemen hingga ini disebut dengan *mesh*. Klik *generate mesh* pada tab *mesh* di toolbar pada halaman *Plaxis* 2D selanjutnya pilih jenis elemen distribusi yang tersedia seperti pada Gambar 4.13 dibawah ini.



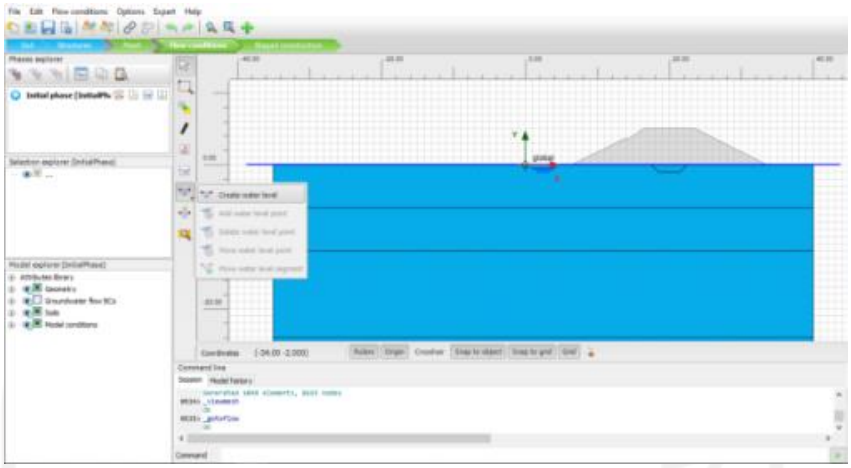
**Gambar 4.13 Tab *Mesh* Pada *Plaxis* 2D**

Untuk melihat *output* dari geometri yang kita berikan *mesh* klik *view mesh*, selanjutnya program memproses dan muncul gambar seperti Gambar 4.14 berikut.



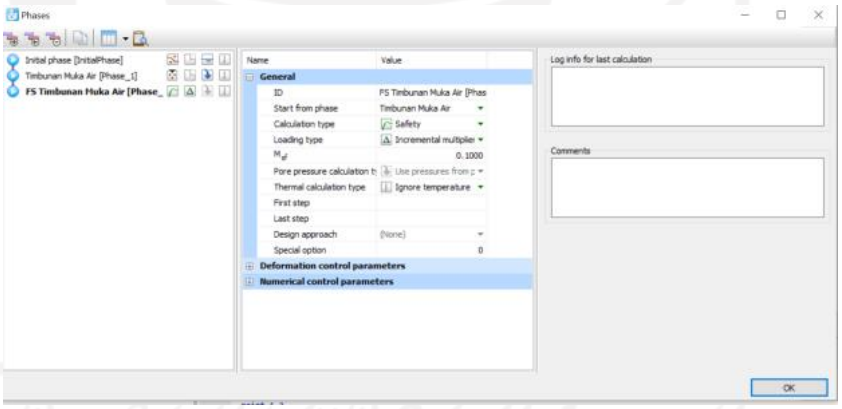
**Gambar 4.14 *Output* Dari *Generate Mesh* Pada *Plaxis* 2D**

6. Menentukan letak ketinggian muka air bisa dilakukan pada tab *soil* dan tab *flow conditions*. Pada tab *flow conditions* klik *create water level* dan pilih letak tinggi muka air yang akan dimodelkan seperti pada Gambar 4.15 berikut.



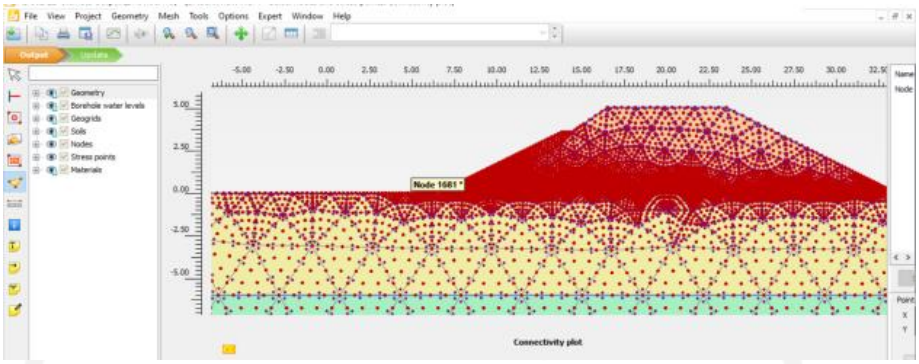
**Gambar 4.15 Tab *Flow Conditions* Pada *Plaxis* 2D**

7. Kemudian, pada tab *staged construction*, *add phase* pada *phases explorer*. Ini merupakan tahap perhitungan yang akan disimulasikan pada mode *calculation*. Jendela fase yang ditampilkan pada tab *staged construction* menampilkan informasi perhitungan seperti Gambar 4.16 berikut.



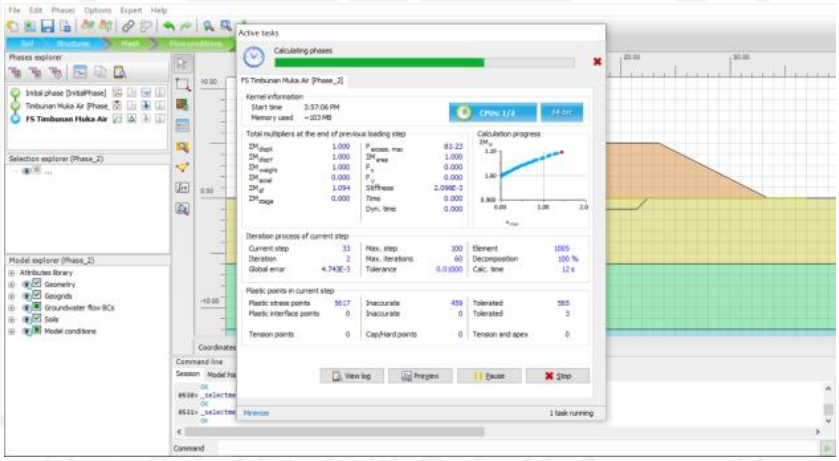

**Gambar 4.16 Jendela *Phases* Tab *Staged Construction* Pada *Plaxis* 2D**

*Select points for curves* digunakan untuk memberi *nodes* pada titik *mesh* dari geometri yang ingin dianalisis secara detail. Ini memudahkan pengguna untuk melihat lebih detail dibagian mana titik longsor yang akan dijadikan output grafik. Berikut tampilan output setelah klik *select points for curves* disajikan pada Gambar 4.17 berikut.




**Gambar 4.17 *Output Select Nodes And Stress Points* Pada *Plaxis* 2D**

8. Setelah memberi nodes, dilanjutkan perhitungan dengan mengkalkulasi data – data yang telah dimasukan sebelumnya pada geometri yang dimodelkan. Klik *calculate,* program akan memproses langkah yang telah dibuat pada *phases explorer* seperti pada Gambar 4.18 berikut.

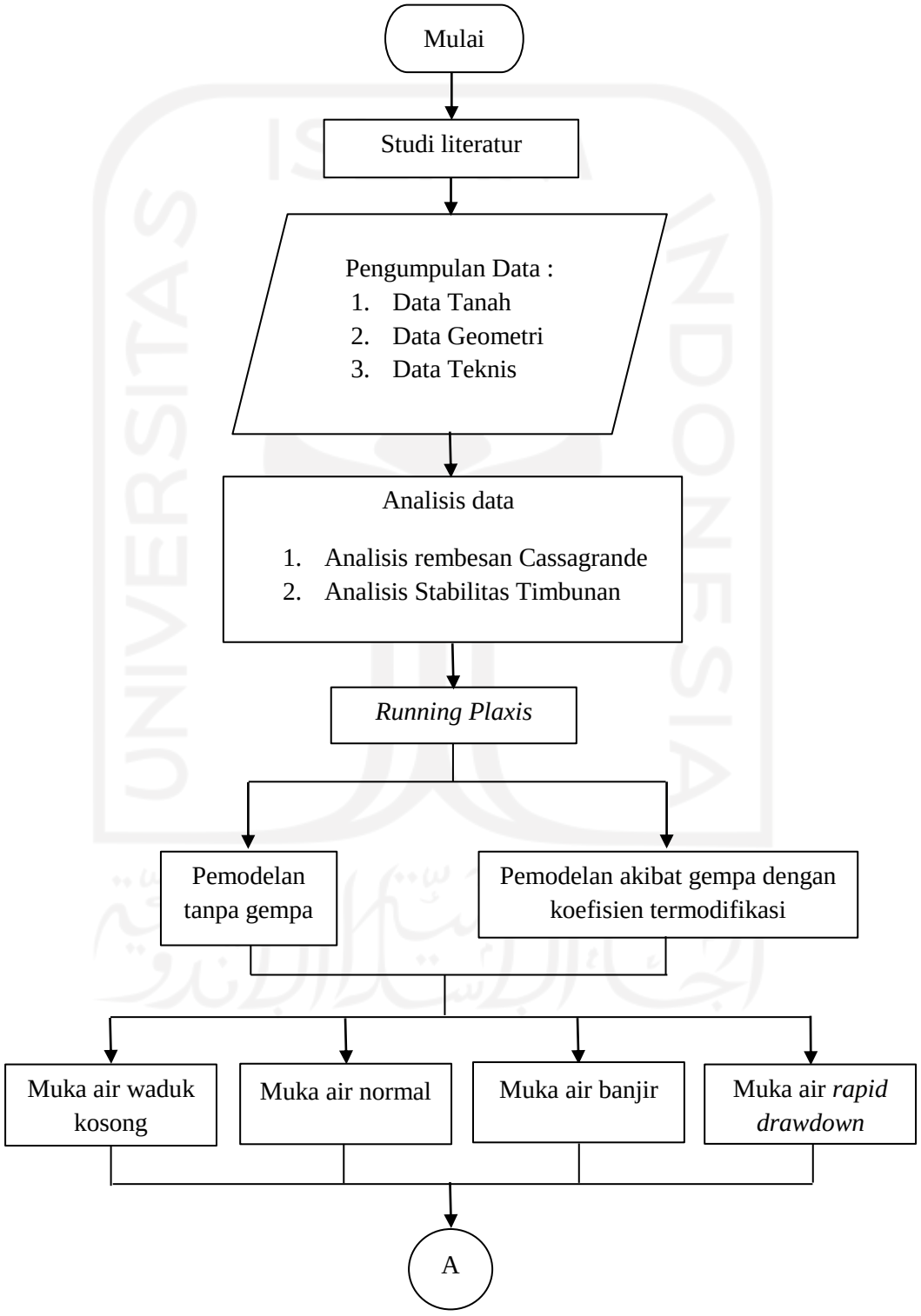


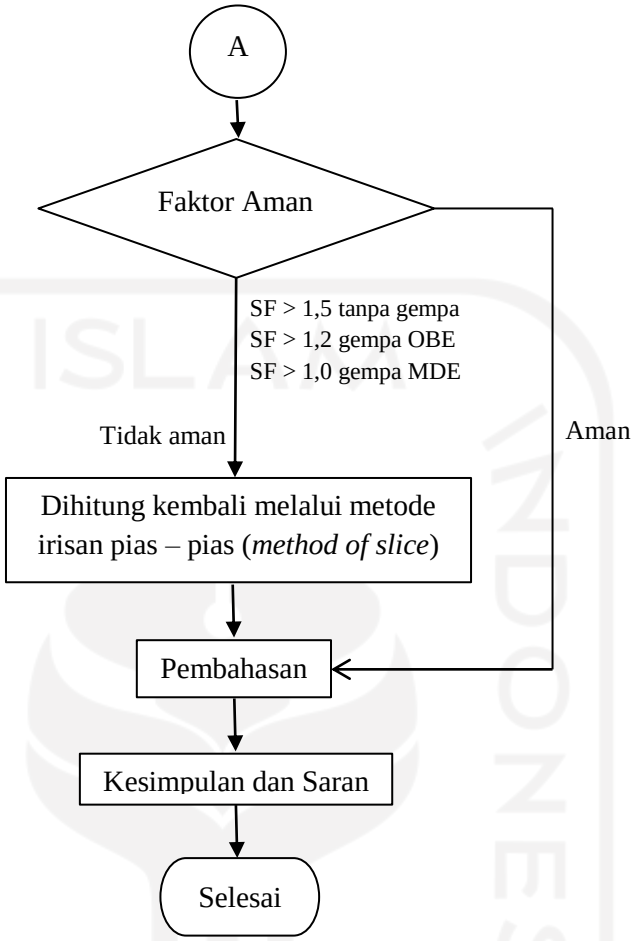
**Gambar 4.18 Proses Kalkulasi *Plaxis* 2D**

9. Tahap terakhir adalah dengan melihat *output* dari geometri yang telah kita modelkan dengan mengklik *view calculation results* yang menampilkan output dari geometri yang dimodelkan.

## 4.7 Bagan Alir Penelitian

Proses penelitian ini dapat digambarkan melalui *flowchart* yang dilampirkan pada Gambar 4.19 berikut.





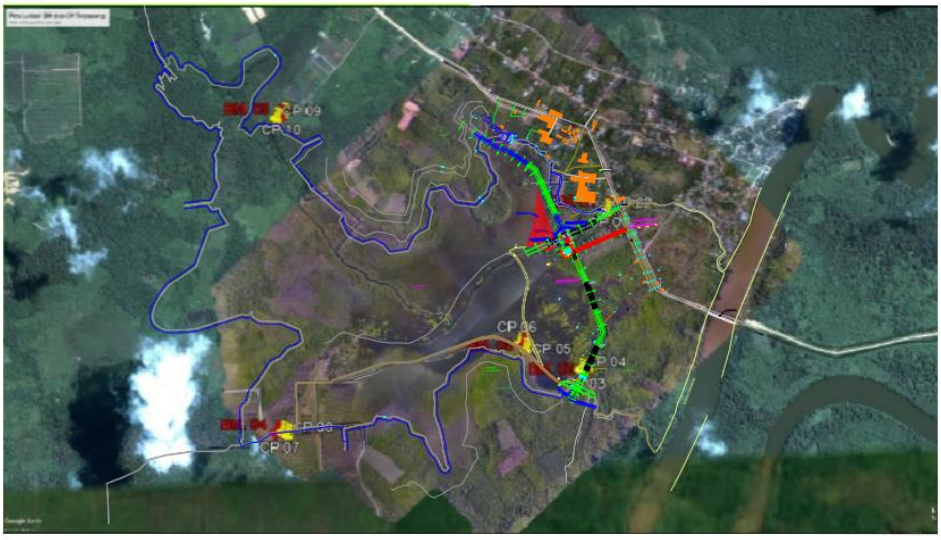

**Gambar 4.19 Bagan Alir Penelitian**

# BAB V
# ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Data Penelitian

Pembangunan Embung Danau Asam dilaksanakan di atas tanah lunak berupa tanah lempung yang tergenang air. Kondisi genangan embung tidak mengganggu, karena kawasan genangan bukan daerah perkebunan ataupun permukiman melainkan kawasan semak belukar tidak produktif. Lokasi Embung berada pada Kelurahan Kotawaringin Hilir, Kecamatan Kotawaringin Lama, Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah. Harapan masyarakat sekitar terhadap pembangunan embung ini yaitu agar dapat dikelola menjadi tempat rekreasi pariwisata dan budidaya ikan air tawar.

Timbunan tanggul ini memiliki lebar atas selebar 7 meter dengan tinggi timbunan setinggi 5 meter. Tanggul memiliki panjang 2.200 meter. Berikut Gambar 5.1 Embung Danau Asam yang digunakan untuk menampung air.




**Gambar 5.1 Tampungan Air Embung Danau Asam**

Timbunan yang dibangun di atas tanah tersebut perlu diketahui besaran gaya yang bekerja, agar nilai angka aman dapat diketahui.

### 5.1.1 Data Teknis Waduk

Adapun data sekunder berupa data teknis embung adalah sebagai berikut.

1. Umum
   a. Lokasi : Kelurahan Kotawaringin Hilir, Kecamatan Kotawaringin Lama, Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah.
   b. Fungsi : Sebagai tampungan air, pemanfaatan air baku dan pariwisata
   c. Tahun konstruksi : 2019
2. Tanggul Bendungan
   a. Tipe urugan : Tanah homogen
   b. Tinggi tanggul : 5 m
   c. Lebar puncak : 7 m
   d. Panjang tanggul : 2.200 m
3. Muka Air Waduk
   a. MA Normal
      Elevasi : +5,25 m
      Luas genangan : 2,60 km²
      Volume tampungan : 1,65 Juta m³
   b. MA Banjir
      Elevasi : +6,75 m
      Luas genangan : 3,79 km²
      Volume tampungan : 4,41 Juta m³
4. Pelimpah Utama
   a. Tipe : OGEE
   b. Elevasi : +5,25 m
   c. Lebar : 2 × 14 m

### 5.1.2 Data Potongan Melintang Tanggul

Potongan melintang tanggul yang digunakan untuk penelitian terletak pada Patok P.14 yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

### 5.1.3 Data Parameter Tanah

Embung ini memiliki tipe pembentuk tanggul yang terbuat dari urugan tanah, parameter lapisan tanah yang digunakan dalam penelitian telah disajikan dalam Tabel 4.1 Parameter Tanah Embung Danau Asam dan Tabel 5.5 Parameter Untuk Menghitung Angka Aman Dengan Metode Irisan Pias – pias.

### 5.1.4 Analisis Tingkat Risiko Bendungan

Penentuan tingkat risiko bertujuan untuk menentukan klasifikasi kelas risiko, berikut analisis risiko yang disajikan dalam Tabel 5.1 Tingka Risiko Bendungan.

**Tabel 5.1 Tingkat Risiko Bendungan**

| No. | Faktor Risiko | | Kategori | Nilai |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Faktor risiko kapasitas tampung (FRk) | 1,65 juta $m^3$ | Tinggi | (4) |
| 2 | Faktor risiko tinggi bendungan (FRt) | 5 m | Rendah | (0) |
| 3 | Faktor risiko kebutuhan evakuasi (FRe) | > 1.000 | Ekstrim | (12) |
| 4 | Faktor risiko tingkat kerusakan (FRh) | Tinggi | Tinggi | (10) |
| Jumlah | | | | (26) |

Setelah mendapatkan nilai faktor risiko, selanjutnya menentukan kriteria beban gempa dengan menentukan kelas risiko. Tingkat risiko yang dimiliki Embung Danau Asam sebesar 26, sehingga berdasarkan Tabel 5.1, Embung Danau Asam termasuk kelas risiko III. Embung Danau Asam berdasarkan kelas risiko termasuk dalam kelas risiko III (tinggi). Sehingga kriteria beban gempa untuk desain menggunakan kala ulang tahun 100 tahun untuk gempa OBE dan kala ulang 5.000 tahun untuk gempa MDE.

1. Data Beban Gempa

Pendekatan analisis stabilitas akibat gempa dapat dihitung melalui cara sebagai berikut.

a. Beban Gempa Pseudostatik

Analisis dengan cara memberi koefisien gempa digunakan untuk mewakili pengaruh gaya – gaya inersia akibat gempa terhadap massa yang berpotensi runtuh. Beban gempa dilakukan berdasarkan nilai koefisien pada peta gempa sesuai jenis gempa OBE dan MDE.

Pada kondisi gempa (OBE) diambil nilai percepatan puncak permukaan tanah sebesar 0,1 dan kondisi gempa (MDE) diambil nilai percepatan puncak permukaan tanah sebesar 0,15 dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1) Perhitungan gempa OBE :

PGAM = 0,1

g = 0,981 $dm/s^2$

Kh = $\frac{0,1}{0,981}$

= 0,1019 g

α = 0,5

K = 0,1019 × 0,5

= 0,0509 g

$K_s$ = 0,0509 × (2 - 0,6(y/h))

= 0,0509 × (2 - 0,6(1))

= 0,0713 g

Sehingga koefisien termodifikasi untuk T = 100 tahun, sebesar 0,0713 g.

2) Perhitungan gempa MDE :

PGAM = 0,15

g = 0,981 $dm/s^2$

Kh = $\frac{0,15}{0,981}$

= 0,1529 g

α = 0,5

K = 0,1529 × 0,5

= 0,0764 g

$K_s$ = 0,0764 × (2 - 0,6(y/h))

= 0,0764 × (2 - 0,6(1))

= 0,1070 g

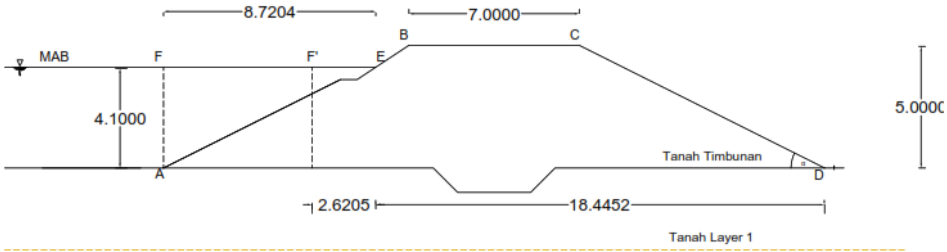
Sehingga koefisien termodifikasi untuk T = 5000 tahun, sebesar 0,1070 g.

## 5.2 Perhitungan Manual Rembesan Tanggul

Timbunan yang difungsikan sebagai tanggul untuk menampung air, perlu diperhatikan rembesan yang mengalir. Aliran rembesan dihitung dengan berbagai kondisi dari variasi muka air banjir dan muka air normal. Aliran rembesa dihitung menggunakan metode *Cassagrande.*

### 5.2.1 Garis Freatik Kondisi Muka Air Banjir

Penggambaran garis freatik secara manual pada kondisi muka air banjir dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.




**Gambar 5.2 Skema Parameter Perhitungan Garis Depresi MAB**

1. Diketahui rembesan muka air banjir :

$H_{hulu}$ = 4,1 m

α = 26,565°

d = 2,62 + 18,45 m

= 21,07 m

Maka :

s $= \sqrt{d^2 + h^2} - d$

$= \sqrt{21.07^2 + 4{,}1^2} - 21.07$

= 0,395 m

Parabola bentuk dasar dapat diperoleh dengan persamaan ($y_0 = s$) :

y $= \sqrt{2y_0x + {y_0}^2}$

$= \sqrt{2\,.\,0{,}395\,x + 0{,}395^2}$

Diperoleh koordinat parabola sebagai Tabel 5.2 berikut :

**Tabel 5.2 Koordinat Parabola Garis Depresi MAB**

| **x** | -0,20 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| **y** | 0 | 0,395 | 0,973 | 1,318 | 1,590 |

| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,822 | 2,027 | 2,214 | 2,385 | 2,546 | 2,697 |

| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,839 | 2,975 | 3,105 | 3,230 | 3,350 | 3,466 |

| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3,578 | 3,687 | 3,793 | 3,896 | 3,996 | 4,094 |

Selanjutnya, koordinat parabola yang akan di*input* ke *Plaxis* 2D disajikan dalam Tabel 5.3 berikut :

**Tabel 5.3 Koordinat Parabola Garis Depresi MAB *Input* Pada Plaxis 2D**

| **x** | **y** |
|---|---|
| -35,00 | 4,1270 |
| -4,82 | 4,1270 |
| -4,24 | 3,9690 |
| -3,85 | 3,8727 |
| -3,45 | 3,7861 |
| -3,12 | 3,7213 |
| -2,17 | 3,5752 |
| -1,17 | 3,4630 |
| -0,17 | 3,3470 |
| 0,82 | 3,2269 |
| 1,82 | 3,1021 |
| 2,82 | 2,9721 |

| **x** | **y** |
|---|---|
| 3,82 | 2,8361 |
| 4,82 | 2,6933 |
| 5,82 | 2,5425 |
| 6,82 | 2,3822 |
| 7,82 | 2,2103 |
| 8,82 | 2,0239 |
| 9,82 | 1,8185 |
| 10,88 | 1,3547 |
| 11,78 | 0,9061 |
| 12,62 | 0,4842 |
| 13,61 | 0,0125 |
| 13,61 | 0,0125 |

Harga a untuk sudut kemiringan hilir kurang dari 30° ditentukan dengan persamaan :

a $= \frac{d}{\cos a} - \sqrt{\left(\frac{d^2}{\cos^2 a} - \frac{h^2}{\sin^2 a}\right)}$

a + Δa $= \frac{y_0}{1 - \cos a}$

Sehingga,

$a + \Delta a = \frac{0{,}395}{1 - \cos 26{,}565°}$

$= 3{,}744$ m

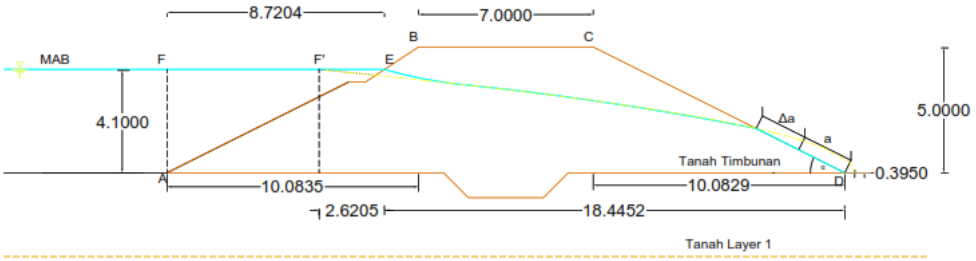
$a = \frac{21{,}07}{\cos 26{,}565°} - \sqrt{\left(\frac{21{,}07^2}{\cos^2 26{,}565} - \frac{4{,}1^2}{\sin^2 26{,}565}\right)}$

$= 1{,}858$ m

$\Delta a = 3{,}744 - 1{,}858$

$= 1{,}886$ m

Dari perhitungan diatas, didapatkan garis depresi aliran yang disajikan dalam Gambar 5.3 berikut.




**Gambar 5.3 Formasi Garis Depresi MAB**

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode *Cassagrande* pada kondisi muka air banjir, dapat dihitung dengan persamaan 3.3 Hukum Darcy. Pada lereng dengan sudut kemiringan hilir kurang dari 30°, debit rembesan dapat dihitung dengan Persamaan 5.1.

$Q = k \times A \times I$ (3.3)

$= k \times y\,(1) \times \frac{dy}{dx}$

$= k \times a \sin a \times \frac{\sin a}{\cos a}$

Sehingga,

$Q = k \times a \sin a \times \tan a$ (5.1)

$= 10^{-8} \times 1{,}858 \sin 26{,}565° \times \tan 26{,}565°$

$= 4{,}2 \times 10^{-9}$ m³/dt

Berdasarkan data teknis Embung Danau Asam memiliki panjang puncak 2200 m, sehingga total rembesan sebagai berikut

$Q_{total} = 4{,}2 \times 10^{-9} \times 2200$

$= 9{,}1 \times 10^{-6}$ m³/dt

$= 7{,}8 \times 10^{-1}$ m³/hari

2. Gradien Hidrolik

Perhitungan angka keamanan bahaya piping tanpa penerapan filter untuk kondisi muka air banjir yaitu sebagai berikut.

$i_c = \frac{2{,}54-1}{1+1{,}12}$

$= 0{,}73$

$i_e = \frac{4{,}1}{15{,}08}$

$= 0{,}27$

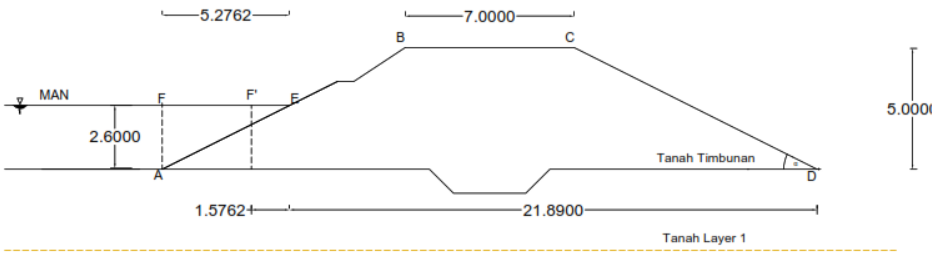
$SF = \frac{0{,}73}{0{,}27}$

$= 2{,}67 < 3$ sampai dengan 4

Sehingga, faktor keamanan terhadap bahaya piping tidak memenuhi persyaratan.

### 5.2.2 Garis Freatik Kondisi Muka Air Normal

Penggambaran garis freatik secara manual pada kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.




**Gambar 5.4 Skema Parameter Perhitungan Garis Depresi MAN**

1. Diketahui rembesan muka air normal :

$H_{hulu}$ = 2,6 m
α = 26,565°
d = 1,58 + 21,89 m
= 23.47 m
Maka :
s $= \sqrt{23.47^2 + 2{,}6^2} - 23.47$
= 0,149 m

Parabola bentuk dasar dapat diperoleh dengan persamaan ($y_0 = s$) :

y $= \sqrt{2\,.\,0{,}149x + 0{,}149^2}$

Diperoleh koordinat parabola sebagai Tabel 5.4 berikut :

**Tabel 5.4 Koordinat Parabola Garis Depresi MAN**

| x | -0,07 | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| y | 0 | 0,149 | 0,566 | 0,787 | 0,958 |

| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,102 | 1,230 | 1,346 | 1,453 | 1,552 | 1,645 |

| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,734 | 1,818 | 1,898 | 1,975 | 2,049 | 2,121 |

| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,190 | 2,257 | 2,322 | 2,385 | 2,447 | 2,507 |

Selanjutnya, koordinat parabola yang akan di*input* ke *Plaxis 2D* disajikan dalam Tabel 5.5 berikut :

**Tabel 5.5 Koordinat Parabola Garis Depresi MAN Input Pada Plaxis 2D**

| **x** | **y** |
|---|---|
| -35,00 | 2,6405 |
| -8,30 | 2,6405 |
| -7,85 | 2,5815 |
| -7,41 | 2,5304 |
| -6,41 | 2,4394 |
| -5,41 | 2,3818 |
| -4,41 | 2,3352 |
| -3,41 | 2,2815 |
| -2,41 | 2,2217 |
| -1,41 | 2,1557 |
| -0,41 | 2,0835 |
| 0,58 | 2,0052 |
| 1,58 | 1,9207 |

| **x** | **y** |
|---|---|
| 2,58 | 1,8301 |
| 3,58 | 1,7336 |
| 4,58 | 1,6303 |
| 5,58 | 1,5212 |
| 6,58 | 1,4059 |
| 7,57 | 1,2843 |
| 8,57 | 1,1565 |
| 9,58 | 1,0215 |
| 10,57 | 0,8816 |
| 11,57 | 0,7342 |
| 12,34 | 0,6167 |
| 13,57 | 0,0026 |
| 13,58 | 0,0000 |

Harga a untuk sudut kemiringan hilir kurang dari 30° ditentukan dengan persamaan :

a $= \frac{d}{\cos a} - \sqrt{\left(\frac{d^2}{\cos^2 a} - \frac{h^2}{\sin^2 a}\right)}$

a + Δa $= \frac{y_0}{1 - \cos a}$

Sehingga,

$a + \Delta a = \frac{0{,}149}{1 - \cos 26{,}565°}$

$= 1{,}413$ m

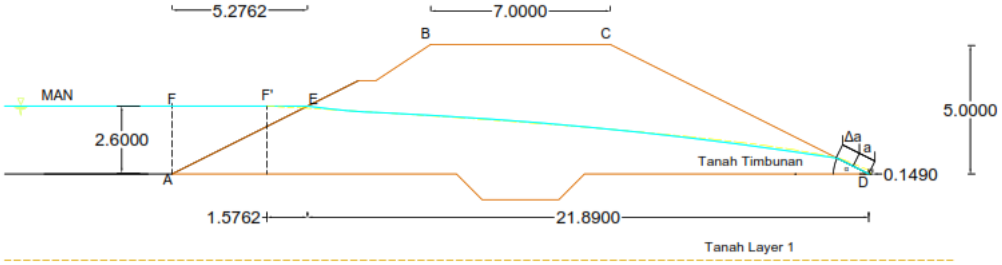
$a = \frac{23{,}62}{\cos 26{,}565°} - \sqrt{\left(\frac{21{,}07^2}{\cos^2 26{,}565} - \frac{2{,}6^2}{\sin^2 26{,}565}\right)}$

$= 0{,}678$ m

$\Delta a = 1{,}413 - 0{,}678$

$= 0{,}735$ m

Didapatkan garis depresi aliran yang disajikan dalam Gambar 5.5 berikut.




**Gambar 5.5 Formasi Garis Depresi MAN**

Perhitungan debit rembesan dengan menggunakan metode *Cassagrande* pada kondisi muka air banjir, dapat dihitung dengan persamaan 3.3 Hukum Darcy. Pada lereng dengan sudut kemiringan hilir kurang dari 30°, debit rembesan dapat dihitung dengan Persamaan 5.1

$Q = k \times a \sin \alpha \times \tan \alpha$

$= 10^{-8} \times 0{,}678 \sin 26{,}565° \times \tan 26{,}565°$

$= 1{,}5 \times 10^{-9}$ m³/dt

Berdasarkan data teknis Embung Danau Asam memiliki panjang puncak 2200 m, sehingga total rembesan sebagai berikut

$Q_{total} = 1{,}5 \times 10^{-9} \times 2200$

$= 3{,}3 \times 10^{-6}$ m³/dt

$= 2{,}8 \times 10^{-1}$ m³/hari

2. Gradien Hidrolik

Perhitungan angka keamanan bahaya piping tanpa penerapan filter untuk kondisi muka air banjir yaitu sebagai berikut.

$i_c = \frac{2{,}54 - 1}{1 + 1{,}12}$

$= 0{,}73$

$i_e = \frac{2{,}60}{20{,}89}$

$= 0{,}12$

$SF = \frac{0{,}73}{0{,}12}$

$= 5{,}83 > 3$ sampai dengan 4

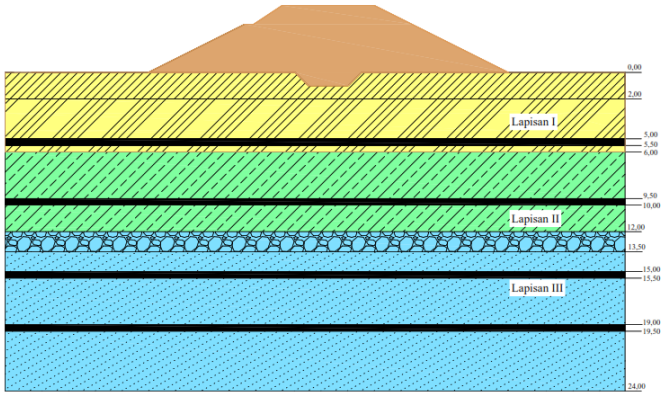
Sehingga, faktor keamanan terhadap bahaya piping memenuhi persyaratan.

## 5.3 Perhitungan Stabilitas Timbunan

Perhitungan stabilitas pada tubuh embung danau asam dengan garis freatik manual dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis* 2D dan secara manual menggunakan metode irisan. Percobaan dilakukan dengan variasi muka air yang berbeda. Analisis pada tanah timbunan asli bertujuan untuk mengetahui gaya – gaya yang bekerja, nilai angka aman dan pengaruh perilaku gempa yang terjadi.

### 5.3.1 Analisis Timbunan Asli Pada Program Plaxis

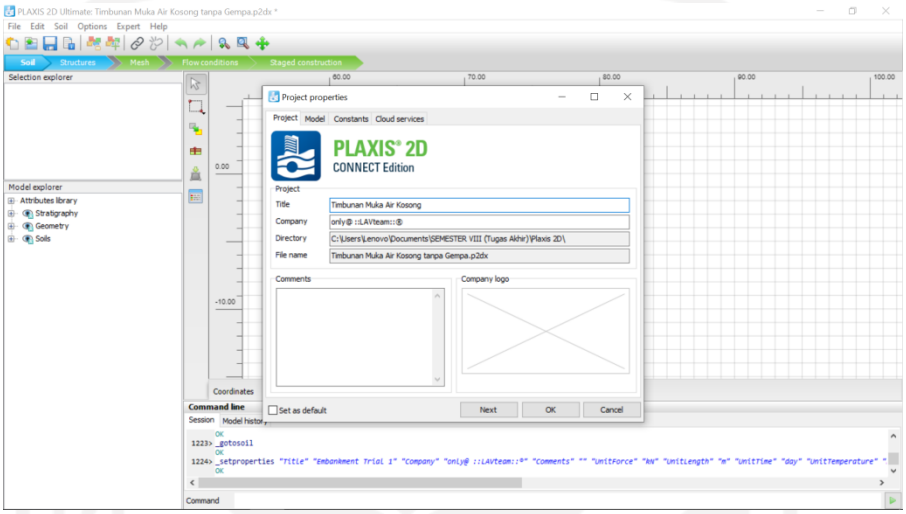
Dalam permodelan analisis tanah timbunan asli, beban yang bekerja meliputi beban tanah dalam keadaan dua kondisi, yaitu tanpa beban gempa dan dengan beban gempa. Analisis meliputi kondisi sebelum diberi beban gempa dan setelah diberi beban gempa. Beban gempa yang diberi berupa beban gempa pseudostatik. Permodelan dilakukan dalam dua dimensi dengan variasi muka air yang beragam. Variasi muka air meliputi muka air kosong, muka air banjir, muka air normal, dan kondisi surut cepat. Lapisan tanah yang digunakan dalam pemodelan *Plaxis* 2D disajikan pada Gambar 5.6 berikut.




**Gambar 5.6 Lapisan Tanah Pondasi Yang Dimasukkan ke *Plaxis* 2D**

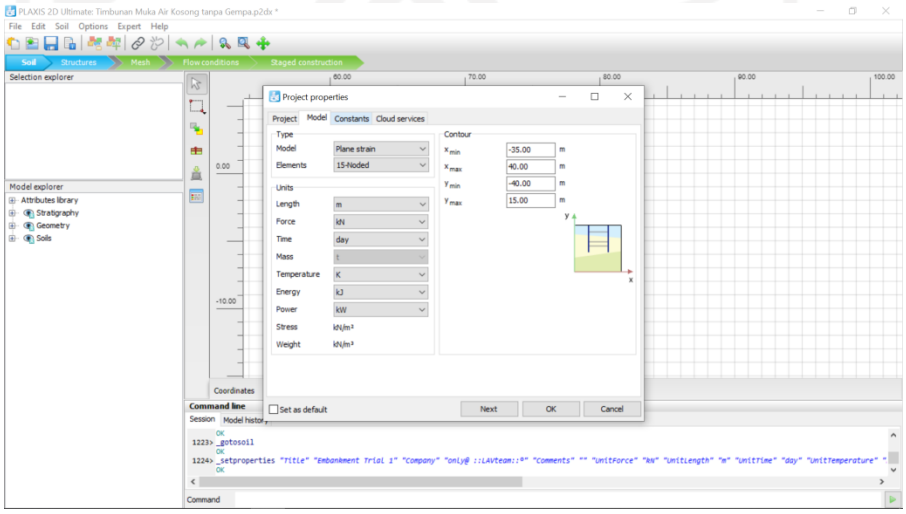
Tahap *Input Plaxis* (*Pre – process*)

Tahap ini dilakukan permodelan geometri secara lengkap berupa parameter material tanah, kondisi batas dan beban yang akan diaplikasikan yang selanjutnya akan dilakukan *meshing*. Tampilan awal yang tersedia dari *Plaxis* memberikan informasi deskripsi proyek, seperti pada Gambar 5.6 berikut.



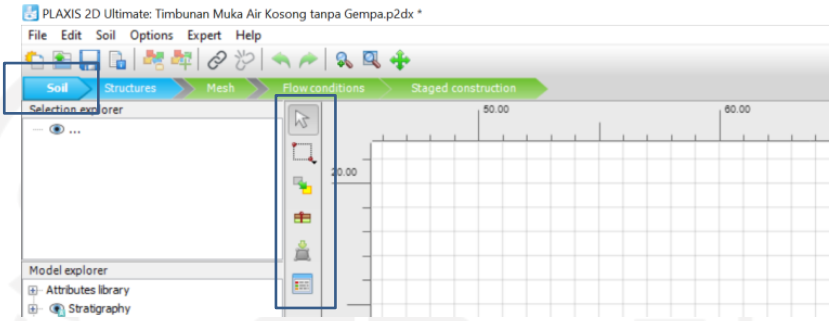

**Gambar 5.7 *Project Properties* Tab *Project***

Pada *Project Properties* tab *Model* memberikan batasan pada gambaran proyek berupa batas koordinat yang akan dimodelkan dalam kanvas seperti pada Gambar 5.7 berikut.



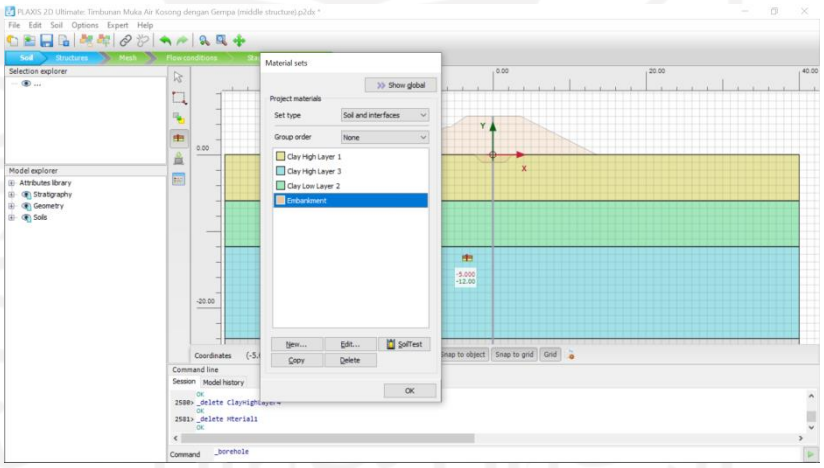

**Gambar 5.8 *Project Properie* Tab *Model***

a. Selanjutnya memasukkan parameter tanah pada *tab soil* yang berada pada *mode tabs*. Pada menu *tab soil* terdapat *side toolbar* yang selanjutnya digunakan sebagai *tools* untuk membuat stratigafi tanah seperti pada Gambar 5.8 berikut.




**Gambar 5.9 *Tab Soil* Pada *Mode Tabs***

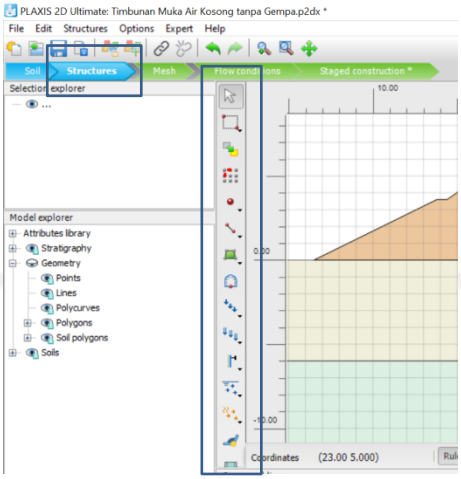
Fitur *create borehole* dipilih dan selanjutnya klik lokasi di area gambar atau kanvas. Selanjutnya akan ditampilkan tampilan *modify soil layer* seperti pada Gambar 5.9 berikut.




**Gambar 5.10 *Modify Soil Layers***

Selanjutnya, memasukkan material *properties* tanah berdasarkan urutan lapisan yang berisi berat jenis tanah, modulus elastisitas, kohesi dan sudut geser tanah.

b. Membuat struktur yang akan dibangun diatas lapisan tanah yang telah dibuat sebelumnya. Struktu digambar dengan bantuan *tools* yang berada pada *tab structure* seperti pada Gambar 5.10 sebagai berikut.

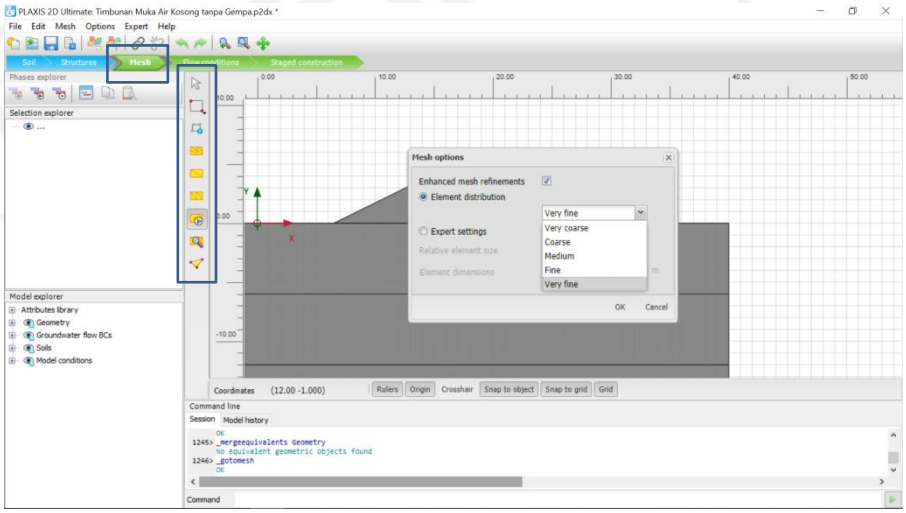



**Gambar 5.11 *Tab Structure* Pada *Mode Tabs***

1. Tahap Kalkulasi (*Calculation*)

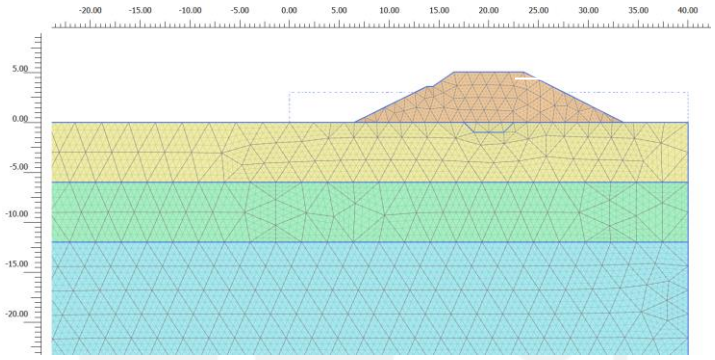
   Setelah *input* parameter selesai, selanjutnya masuk pada tahapan kalkulasi. Pada tahapan ini berupa pemberian *mesh* dan mendefinisikan tahap konstruksi.

   a. Geometri akan dibagi menjadi elemen hingga untuk selanjutnya dilakukan perhitungan. Komposisi elemen ini disebut *mesh*. Untuk melakukan *meshing* caranya dengan klik tombol *Generate Mesh* pada *tool bar* yang berada pada tab *Mesh* seperti pada Gambar 5.11 berikut. Pilih opsi yang sesuai pada menu *Mesh*, jenis elemen distribusi yang tersedia antara lain *very coarse*, *coarse*, *medium*, *fine*, dan *very fine*.



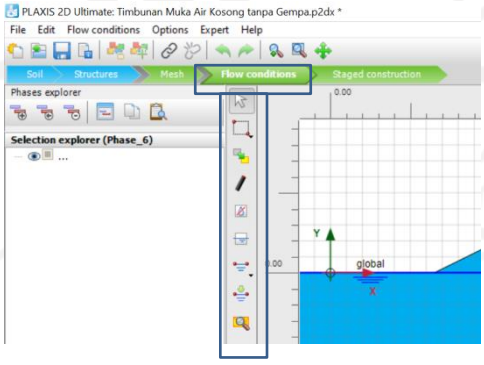

**Gambar 5.12 *Tab Mesh* Pada *Mode Tabs***

Berikut Gambar 5.12 hasil *Mesh* dengan pilihan opsi *very fine*. Semakin halus *mesh*, maka perhitungannya semakin akurat. Tetapi membutuhkan ruang memori yang besar dan waktu yang lebih lama.



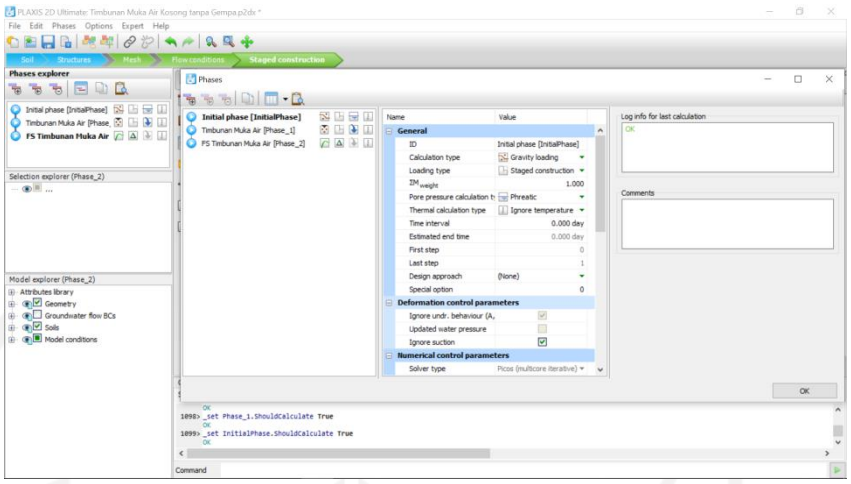

**Gambar 5.13 Hasil *Meshing* dengan Distribusi Elemen *Very Fine***

b. Geometri yang telah dibuat dan diberi *mesh*, selanjutnya akan disimulasikan pada *phase explorer*. Namun, dibeberapa kondisi tertentu pada tanah yang memiliki air tanah perlu ditambah. Penambahan ini bisa melalui *tools* pada tab *Flow Conditions* yang disajikan pada Gambar 5.13 berikut.




**Gambar 5.14 *Tab Flow Conditions* Pada *Mode Tabs***

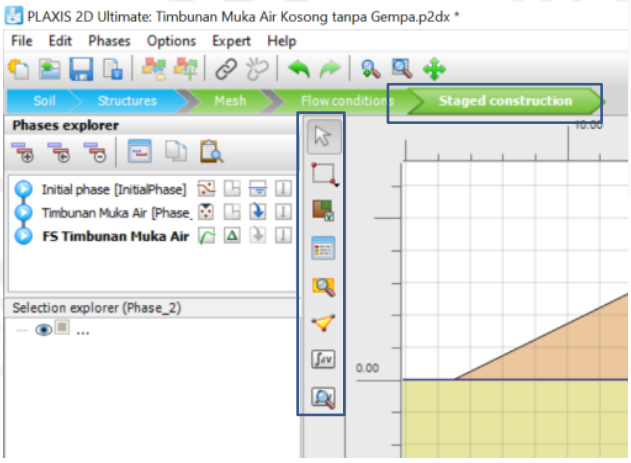
c. *Phase explorer* menampilkan status perhitungan yang ditunjukkan oleh simbol diawal setiap baris. Berikut contoh fase yang digunakan pada permodelan dengan timbunan muka air kosong tanpa gempa yang disajikan pada Gambar 5.14 berikut.



**Gambar 5.15 *Phases* Pada *Phases Explorer***

2. Tahap *Output Plaxis (Post – process)*

   *Plaxis Output* akan menampilkan hasil analisis dan sebagai alat evaluasi terhadap model. Hasil analisis akan ditampilkan dengan bantuan *tools* dari tab *Staged Construction* berupa *View Calculation Results.* Tetapi sebelum bisa ditampilkan, *phases* yang telah dibuat sebelumnya perlu dikalkulasi terlebih dahulu melalui *tools Calculate*. Berikut Tab *Staged Construction* pada *Mode Tabs* yang disajikan pada Gambar 5.15 berikut.

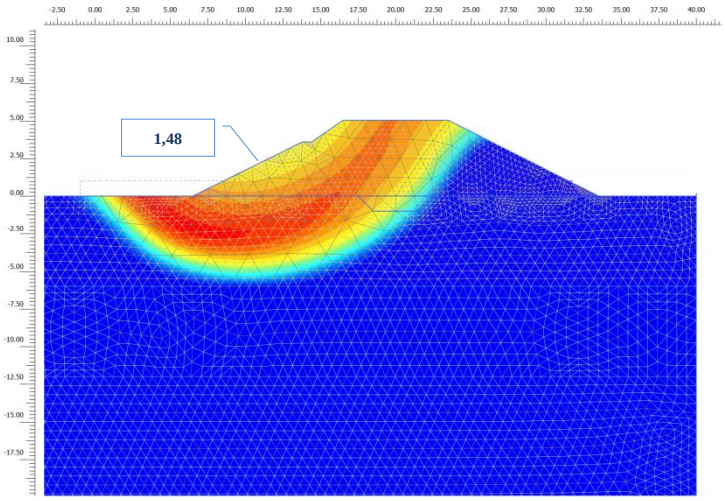



**Gambar 5.16 *Tab Staged Construction* Pada *Mode Tabs***

Hasil *output* didasarkan pada perhitungan *Phi-c Reduction*, dengan jaring elemen yang terdeformasi menunjukkan daerah tersebut kritis. Berikut mekanisme keruntuhan yang ditampilkan oleh penulis.

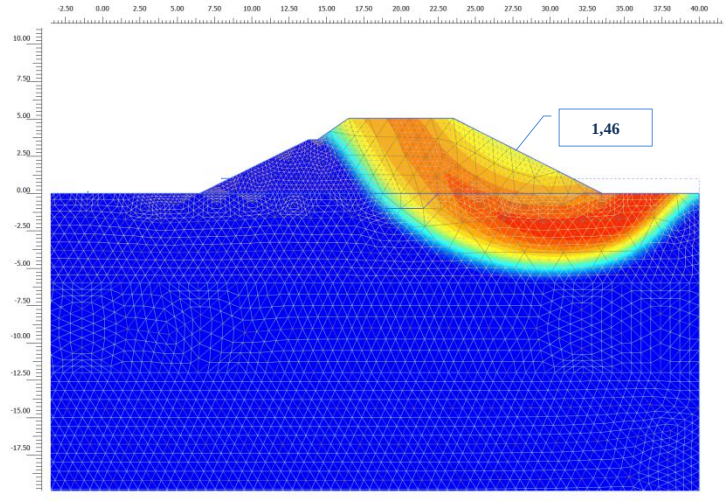
a. Timbunan Muka Air Kosong

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan sebelum diberi beban gempa pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,48 yang disajikan pada Gambar 5.16 berikut.




**Gambar 5.17 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Tanpa Beban Gempa, Hulu**

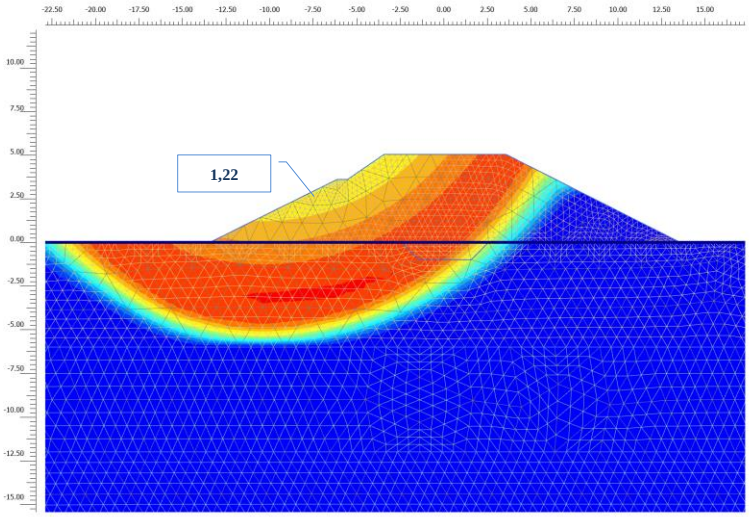
Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,46 sebagai Gambar 5.17 berikut.




**Gambar 5.18 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Tanpa Beban Gempa, Hilir**

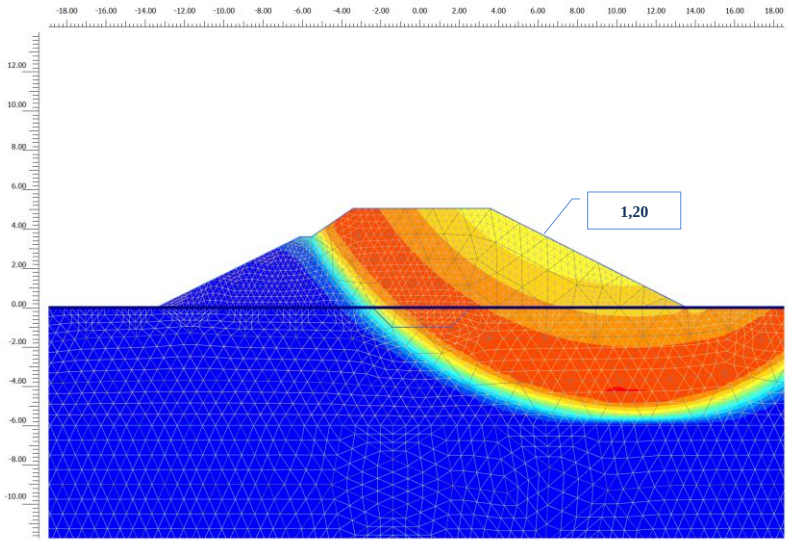
b. Timbunan Muka Air Kosong Dengan Beban Gempa

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan setelah diberi beban gempa OBE pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,22 yang disajikan pada Gambar 5.18 berikut.



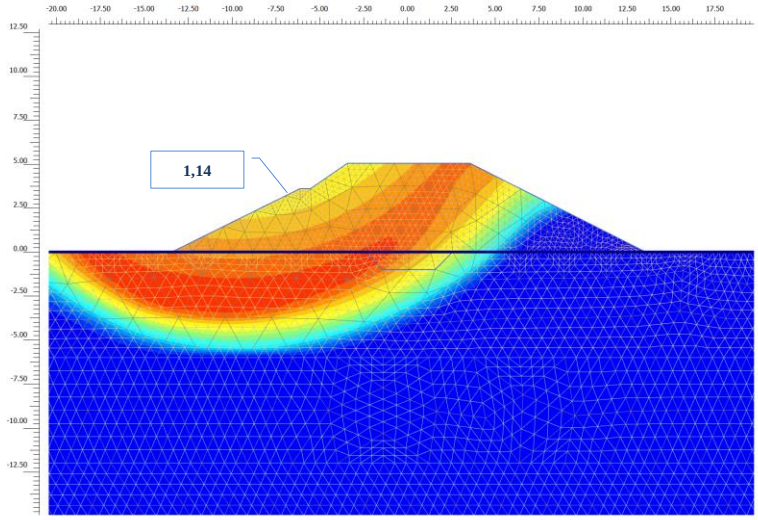

**Gambar 5.19 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa OBE, Hulu**

Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,20 sebagai Gambar 5.19 berikut.



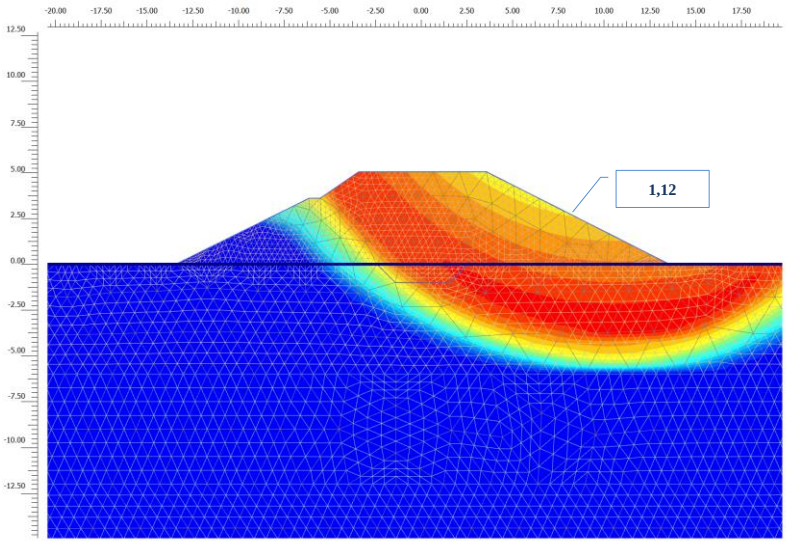

**Gambar 5.20 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa OBE, Hilir**

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan setelah diberi beban gempa MDE pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,14 yang disajikan pada Gambar 5.20 berikut.




**Gambar 5.21 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa MDE, Hulu**

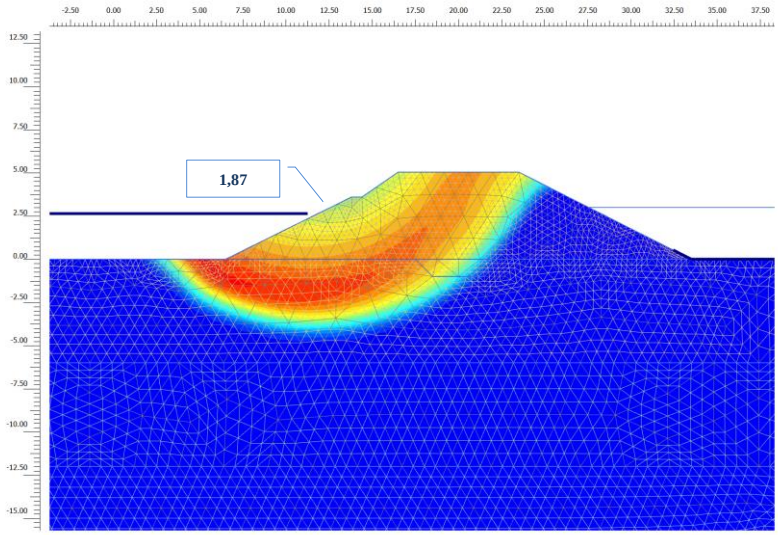
Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,12 sebagai Gambar 5.21 berikut.




**Gambar 5.22 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Kosong Beban Gempa MDE, Hilir**

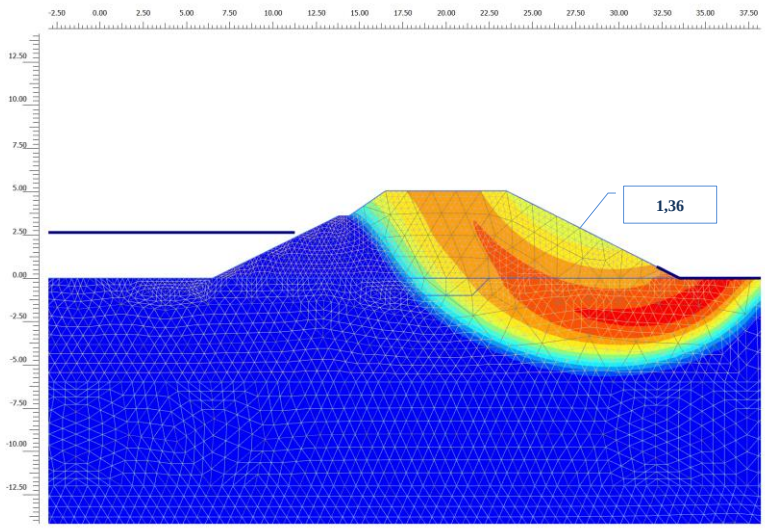
c. Muka Air Normal Tanpa Beban Gempa

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan sebelum diberi beban gempa pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,87 yang disajikan pada Gambar 5.22 berikut.




**Gambar 5.23 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Tanpa Beban Gempa, Hulu**

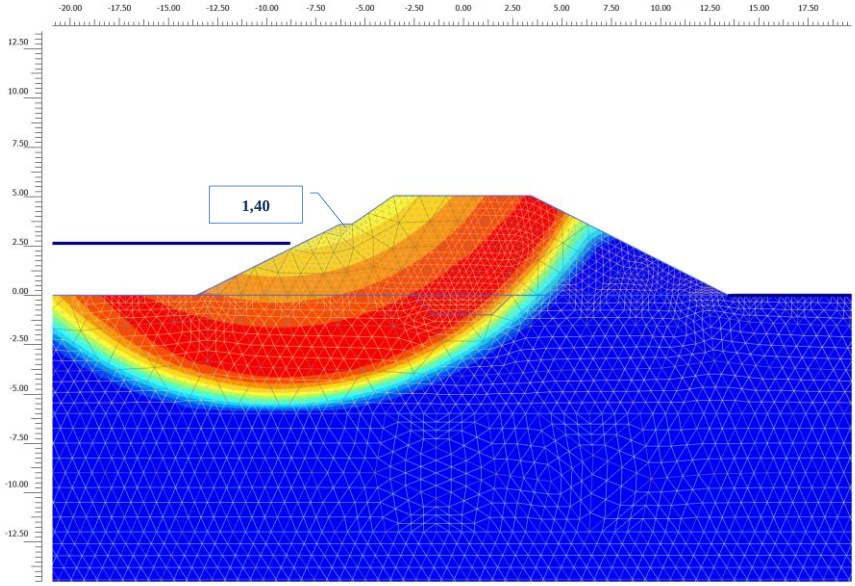
Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,36 sebagai Gambar 5.23 berikut.




**Gambar 5.24 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Tanpa Beban Gempa, Hilir**

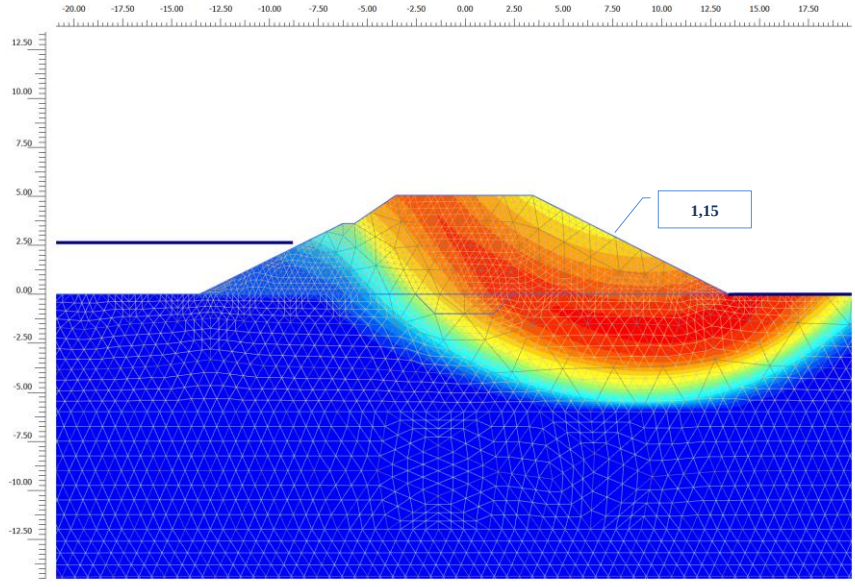
d. Timbunan Muka Air Normal Dengan Beban Gempa

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan setelah diberi beban gempa OBE pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,40 yang disajikan pada Gambar 5.24 berikut.



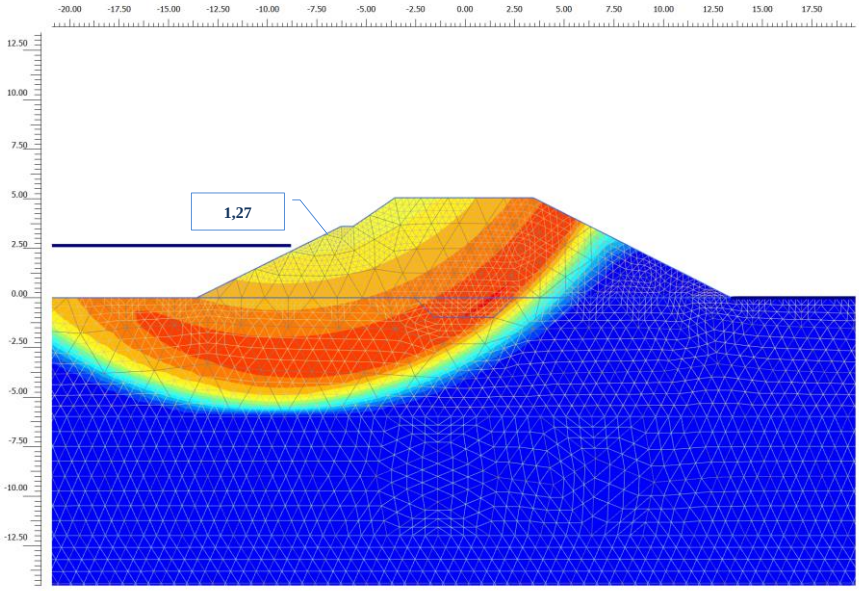

**Gambar 5.25 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa OBE, Hulu**

Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,15 sebagai Gambar 5.25 berikut.



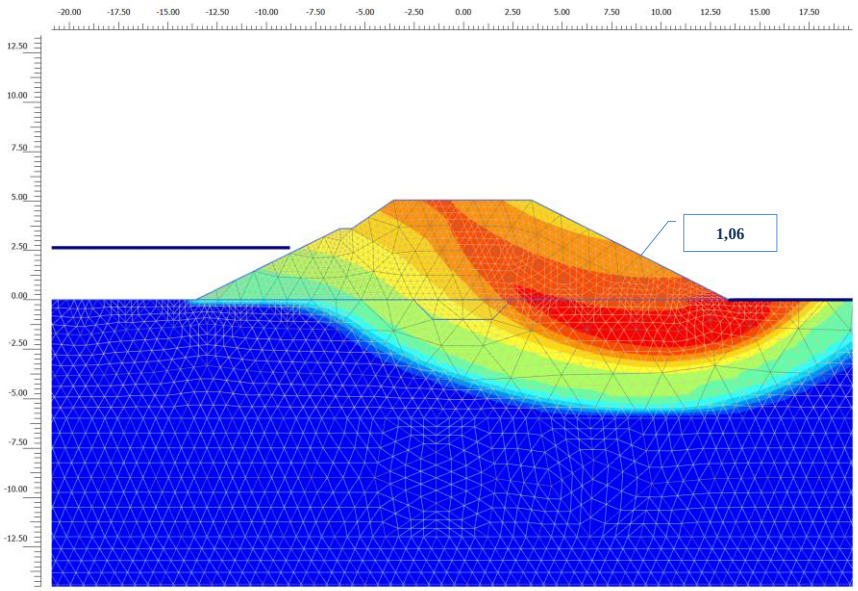

**Gambar 5.26 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa OBE, Hilir**

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan setelah diberi beban gempa MDE pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,27 yang disajikan pada Gambar 5.26 berikut.




**Gambar 5.27 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa MDE, Hulu**

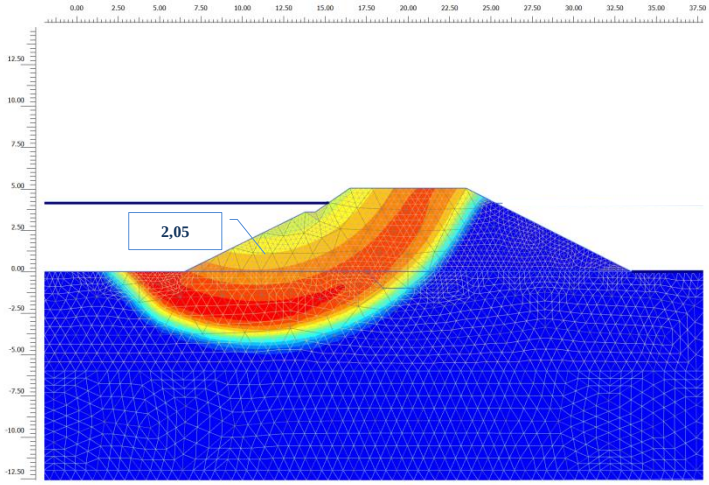
Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,06 sebagai Gambar 5.27 berikut.




**Gambar 5.28 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa MDE, Hilir**

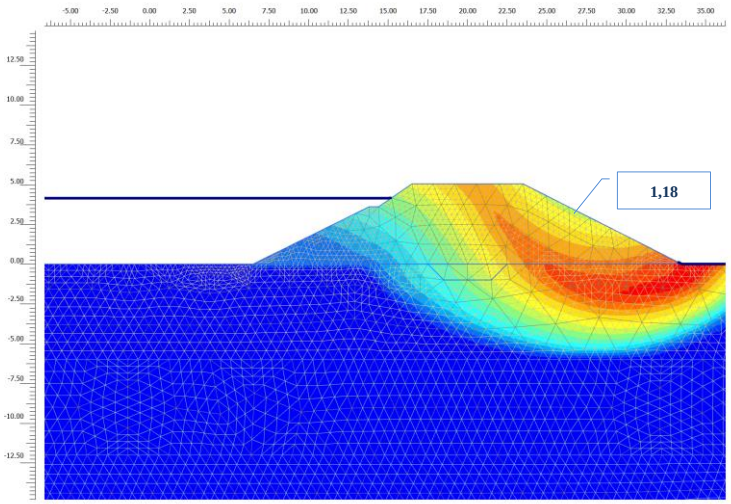
e. Muka Air Banjir Tanpa Beban Gempa

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan sebelum diberi beban gempa pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 2,05 yang disajikan pada Gambar 5.28 berikut.




**Gambar 5.29 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Tanpa Beban Gempa, Hulu**

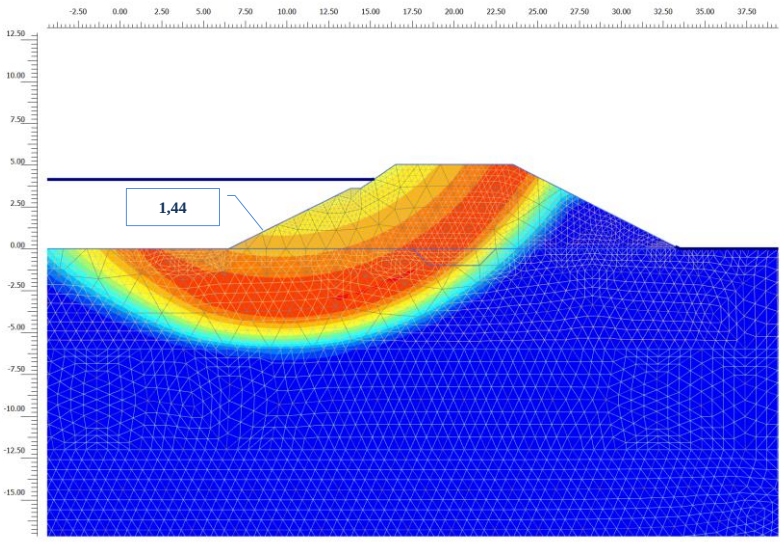
Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,18 sebagai Gambar 5.29 berikut.




**Gambar 5.30 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Tanpa Beban Gempa, Hilir**

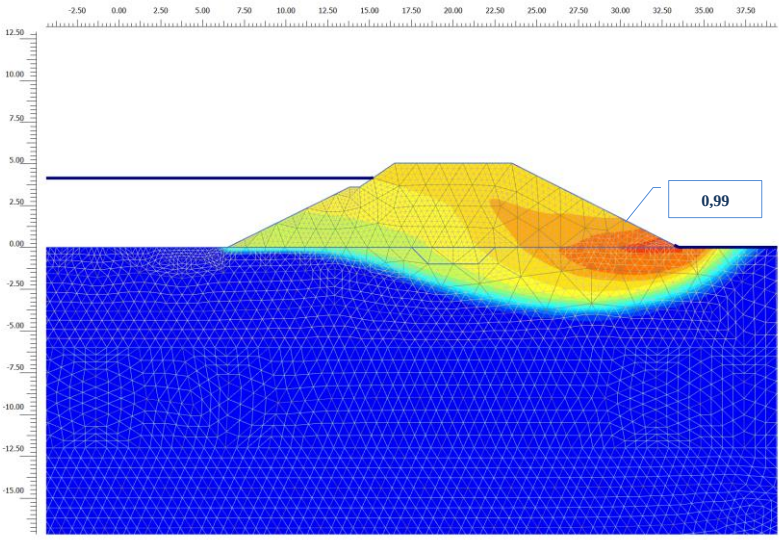
f. Timbunan Muka Air Banjir Dengan Beban Gempa

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan setelah diberi beban gempa OBE pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,44 yang disajikan pada Gambar 5.30 berikut.



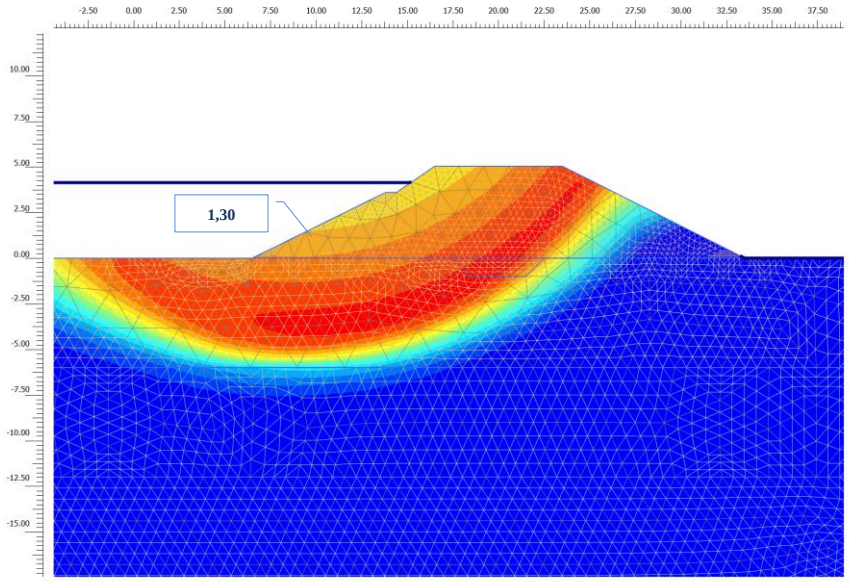

**Gambar 5.31 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Beban Gempa OBE, Hulu**

Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 0,99 sebagai Gambar 5.31 berikut.



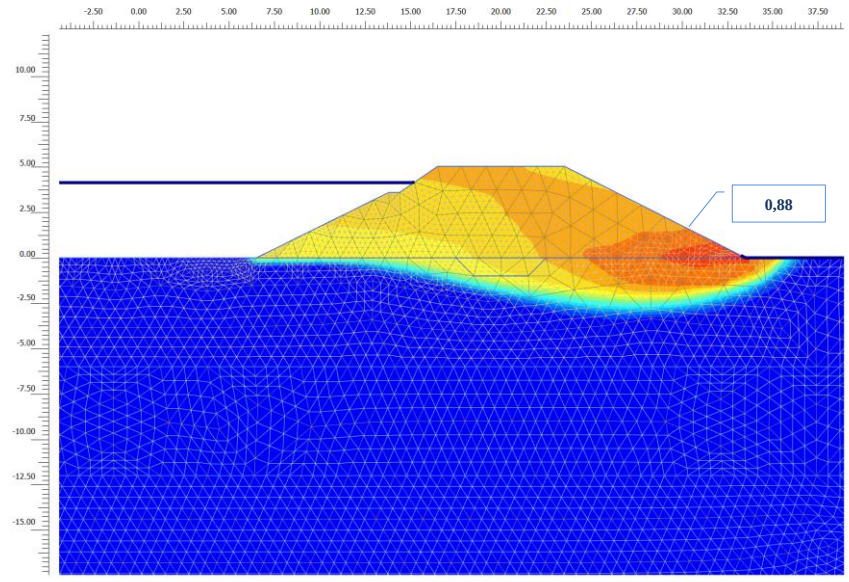

**Gambar 5.32 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Beban Gempa OBE, Hilir**

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan setelah diberi beban gempa MDE pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,30 yang disajikan pada Gambar 5.32 berikut.




**Gambar 5.33 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Banjir Beban Gempa MDE, Hulu**

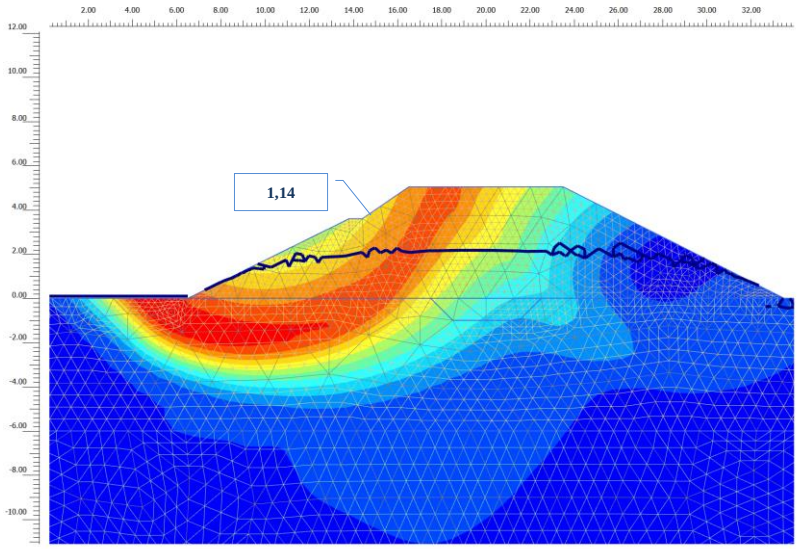
Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 0,88 sebagai Gambar 5.33 berikut.




**Gambar 5.34 Potensi Kelongsoran Timbunan Muka Air Normal Beban Gempa MDE, Hilir**

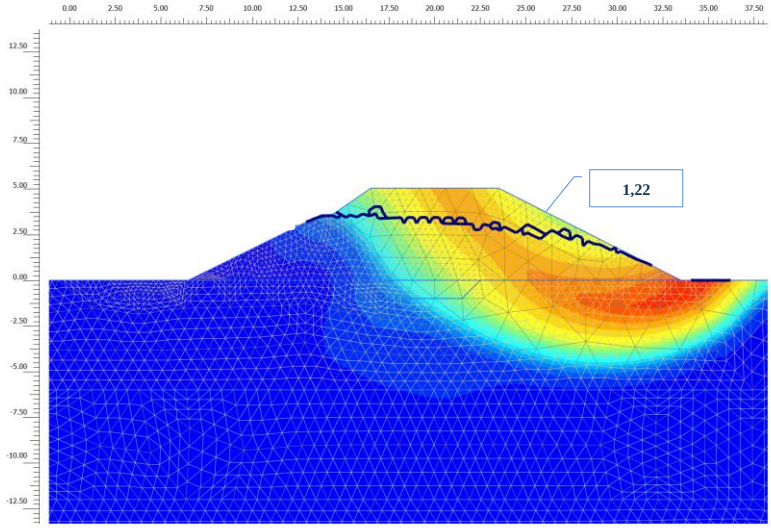
g. Kondisi *Rapid Draw Down* Tanpa Beban Gempa

Adapun gambar menampilkan kondisi timbunan sebelum diberi beban gempa pada analisis *Plaxis* 2D, dengan nilai SF bagian hulu sebesar 1,14 yang disajikan pada Gambar 5.34 berikut.




**Gambar 5.35 Potensi Kelongsoran Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Tanpa Beban Gempa, Hulu**

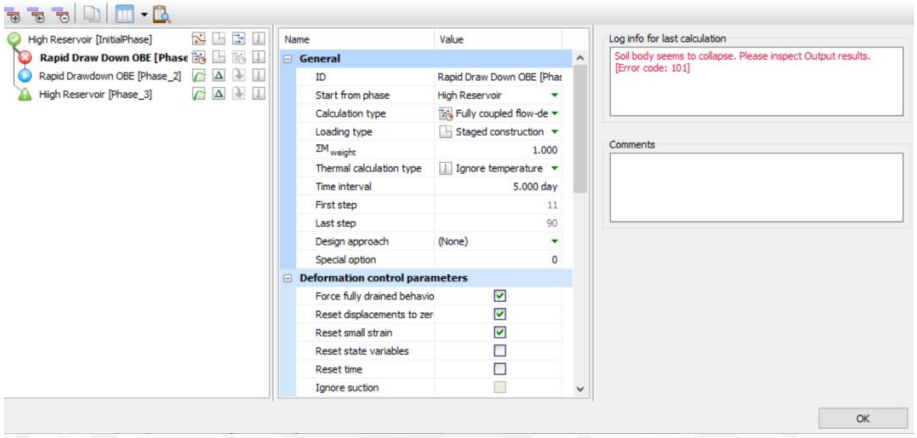
Selanjutnya gambar yang menampilkan potensi bagian hilir dengan nilai angka aman sebesar 1,22 sebagai Gambar 5.35 berikut.




**Gambar 5.36 Potensi Kelongsoran Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Tanpa Beban Gempa, Hilir**

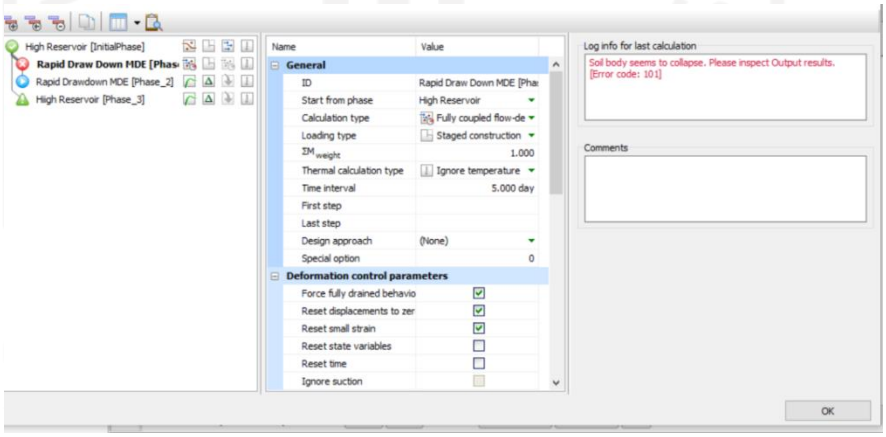
h. Kondisi *Rapid Draw Down* Dengan Beban Gempa

Adapun kondisi timbunan setelah diberi beban gempa OBE pada analisis *Plaxis* 2D akan mengalami *collapse* seperti pada Gambar 5.36 berikut.




**Gambar 5.37 Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Beban Gempa OBE**

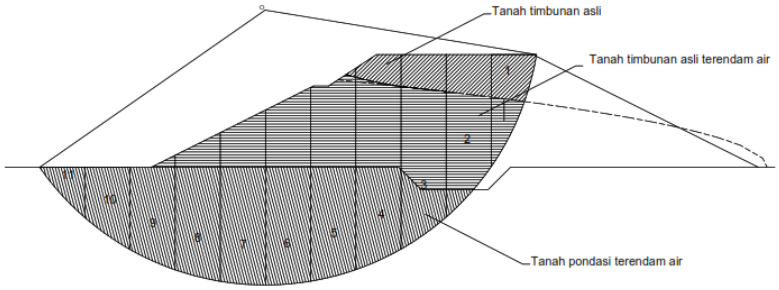
Selanjutnya, kondisi timbunan setelah diberi beban gempa MDE pada analisis *Plaxis* 2D akan mengalami *collapse* seperti pada Gambar 5.37 berikut.




**Gambar 5.38 Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down* Beban Gempa MDE**

### 5.3.2 Analisis Timbunan Asli Perhitungan Manual

Perhitungan analisis timbunan secara manual dihitung melalui metode irisan (*slice of method*). Adapun gambar menampilkan arsiran kondisi timbunan mengalami *rapid draw down* dengan sudut lereng 29°. Pada perhitungan dilakukan dengan menggambar 11 irisan seperti Gambar 5.38 berikut.




**Gambar 5.39 Luas Arsiran Irisan Timbunan Kondisi *Rapid Draw Down***

Adapun parameter untuk menghitung angka aman dengan metode irisan pias – pias ini disajikan pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5.6 Parameter Tanah Metode Irisan Pias - pias**

| Tubuh Embung | Kekuatan Geser | | ɣ berbagai kondisi | | | | | Koefisien Gempa | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | φ | Kering | Basah | Jenuh | Air | ɣ' | T = 100 | T = 5000 |
| | kN/m² | ° | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | g | g |
| Timbunan | 14,3 | 29,5 | 11,4 | 15,6 | 16,68 | 9,81 | 6,87 | 0,0713 | 0,107 |
| Lapis Tanah I | 5,88 | 15,36 | 10,99 | 15,59 | 16,46 | | 16,46 | | |

Panjang total bidang longsor secara horizontal sebesar 22,23 m. Sehingga tiap irisan memiliki lebar yang sama sebesar 2,02 m. Timbunan memiliki tinggi sebesar 5,04 m. Tinjauan dilakukan pada pias 6.

1. Lebar irisan (b) = 2,02 m
2. Panjang lengkung pada irisan ke 6 ($\Delta l_6$) = 2,03 m
3. Luas area yang terbagi menjadi
   a. Luas area timbunan tidak terendam air = 0 m²
   b. Luas area timbunan terendam air = 6,20 m²
   c. Luas area pondasi terendam air = 10,54 m²
4. Berat massa tanah irisan ke 6 ($W_6$)
   a. Berat massa timbunan terendam air = 6,20 × 16,68 kN
      = 103,42 kN
   b. Berat massa pondasi terendam air = 10,54 ×16,46 kN
      = 173 kN

Sehingga berat massa timbunan (W I) dan berat massa pondasi (W II) ditotal menjadi 276,90 kN.

5. Beban komponen vertikal dari setiap irisan ($N_6$)
   a. N I = W cos α
      = 103,42 cos (-4,77)
      = 103,06 kN/m
   b. N II = 173 cos (-4,77)
      = 172,89 kN/m
6. Beban komponen tangensial dari tiap irisan ($T_6$) = (W I + W II) sin α
   = 276,90 sin (-4,77)
   = -23,03 kN/m
7. Komponen vertikal beban *seismic* tiap irisan ($Ne_6$)
   a. Ne I = E I. sin α. Tg ϕ I
      = (10,32) sin (-4,77) Tg (29,5)
      = -0,49 kN/m
   b. Ne II = E II. sin α. Tg ϕ II
      = (17,31) sin (-4,77) Tg (15,36)
      = -0,40 kN/m
8. Komponen tangensial beban *seismic* irisan ($Te_6$) = (E I + E II) cos α
   = (10,32 + 17,31) cos (-4,77)
   = 27,54 kN/m
9. Tekanan air pori ($U'_w$)
   a. Tekanan air pori timbunan = $h_w \times \Delta l_6 \times \gamma_w$
      = 3,07 × 2,03 × 9,81
      = 60,99 kN/m
   b. Tekanan air pori pondasi = 5,23 × 2,03 × 9,81
      = 104 kN/m
10. Tahanan longsor komponen kohesi (C) = $c_6 \times \Delta l_6$
    = 5,88 × 2,03
    = 11,93 kN/m

Berikut Tabel 5.7 perhitungan untuk menemukan angka aman melalui metode irisan (*slice method*) sebagai berikut.

**Tabel 5.7 Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713**

| Pias | b (jarak horizontal) | Δl (m) | ø (°) | A (Luas) | | | ɣ | | | W | | | cos ø | sin ø |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A I | A II | A III | ɣ I | ɣ II | ɣ III | w I | w II | w III | | |
| | | | | m² | m² | m² | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | | |
| 1 | 2,02 | 5,32 | 64,78 | 3,60 | 2,54 | 0 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 56,16 | 42 | 0 | 0,43 | 0,90 |
| 2 | 2,02 | 3,04 | 47,76 | 3,60 | 8,21 | 0,79 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 56,16 | 136,94 | 13 | 0,67 | 0,74 |
| 3 | 2,02 | 2,48 | 35,18 | 3,12 | 8,68 | 4,44 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 48,67 | 144,78 | 73 | 0,82 | 0,58 |
| 4 | 2,02 | 2,22 | 24,32 | 2,24 | 7,67 | 8,40 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 34,94 | 127,94 | 138 | 0,91 | 0,41 |
| 5 | 2,02 | 2,09 | 14,33 | 0,09 | 7,74 | 9,85 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 1,40 | 129,10 | 162 | 0,97 | 0,25 |
| 6 | 2,02 | 2,03 | -4,77 | 0 | 6,20 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 103,42 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 7 | 2,02 | 2,03 | -4,66 | 0 | 4,15 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 69,22 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 8 | 2,02 | 2,09 | -14,21 | 0 | 2,11 | 9,86 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 35,19 | 162 | 0,97 | -0,25 |
| 9 | 2,02 | 2,22 | -24,19 | 0 | 0,29 | 8,43 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 4,84 | 139 | 0,91 | -0,41 |
| 10 | 2,02 | 2,47 | -35,04 | 0 | 0 | 6,10 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 100 | 0,82 | -0,57 |
| 11 | 2,02 | 3,03 | -47,59 | 0 | 0 | 2,46 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 40 | 0,67 | -0,74 |

**Lanjutan Tabel 5.7 Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713**

| Pias | N | | T | ϕ | | Tg ϕ | | N' | | k | E = k.W | | Ne | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N I | N II | (W I + W II) sin φ | φ I | φ II | Tg ϕ I | Tg ϕ II | N' I | N' II | (OBE) | E I | E II | Ne I | Ne II |
| | kN/m | kN/m | kN/m | ° | ° | | | kN/m | kN/m | g | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m |
| 1 | 41,98 | 0,00 | 89,14 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 23,75 | 0 | | 7,02 | 0,00 | 3,60 | 0 |
| 2 | 129,80 | 8,74 | 152,59 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 73,44 | 0 | | 13,77 | 0,93 | 5,77 | 0 |
| 3 | 158,13 | 59,74 | 153,55 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 89,47 | 16,41 | | 13,79 | 5,21 | 4,50 | 0,82 |
| 4 | 148,43 | 126,00 | 124,00 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 83,98 | 34,61 | | 11,61 | 9,86 | 2,71 | 1,12 |
| 5 | 126,45 | 157,09 | 72,41 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 71,54 | 43,15 | | 9,31 | 11,56 | 1,30 | 0,79 |
| 6 | 103,06 | 172,89 | -23,03 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 58,31 | 47,49 | 0,0713 | 7,37 | 12,37 | -0,35 | -0,28 |
| 7 | 68,99 | 172,92 | -19,70 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 39,03 | 47,50 | | 4,94 | 12,37 | -0,23 | -0,28 |
| 8 | 34,12 | 157,33 | -48,48 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 19,30 | 43,22 | | 2,51 | 11,57 | -0,35 | -0,78 |
| 9 | 4,41 | 126,57 | -58,84 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 34,77 | | 0,34 | 9,89 | 0 | -1,11 |
| 10 | 0,00 | 82,21 | -57,64 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 22,58 | | 0 | 7,16 | 0 | -1,13 |
| 11 | 0,00 | 27,31 | -29,90 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 7,50 | | 0 | 2,89 | 0 | -0,59 |
| | | | 354,11 | | | | | 756,05 | | | | | 15,50 | |

**Lanjutan Tabel 5.7 Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713**

| Pias | Te | Hw | | ɣ w | U | | U' | | U' Tg φ | | C | | L.C | | SF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (E I + E II) cos ø | Hw I | Hw II | | U I | U II | U' I | U' II | U' I Tg φ | U' II Tg φ | c I | c II | L.c I | L. c II | |
| | kN/m | m | m | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m² | kN/m² | kN/m | kN/m | |
| 1 | 2,99 | 2,00 | 0 | | 19,66 | 0 | 104,65 | 0 | 59,21 | 0 | 14,3 | 0 | 76,13 | 0 | |
| 2 | 9,88 | 4,49 | 0 | | 44,06 | 0 | 133,75 | 0 | 75,67 | 0 | 14,3 | 0 | 43,41 | 0 | |
| 3 | 15,53 | 4,03 | 2,02 | | 39,52 | 19,86 | 97,98 | 49,22 | 55,43 | 13,52 | 0 | 5,88 | 0 | 14,58 | |
| 4 | 19,57 | 3,79 | 4,20 | | 37,20 | 41,25 | 82,58 | 91,56 | 46,72 | 25,15 | 0 | 5,88 | 0 | 13,05 | |
| 5 | 20,22 | 3,77 | 4,89 | | 36,96 | 47,94 | 77,15 | 100,06 | 43,65 | 27,49 | 0 | 5,88 | 0 | 12,27 | |
| 6 | 19,67 | 3,07 | 5,23 | 9,81 | 30,07 | 51,28 | 60,99 | 104,00 | 34,51 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,93 | 0,87 |
| 7 | 17,25 | 2,05 | 5,23 | | 20,16 | 51,30 | 40,88 | 104,02 | 23,13 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,92 | |
| 8 | 13,65 | 1,05 | 4,89 | | 10,26 | 48,01 | 21,39 | 100,13 | 12,10 | 27,50 | 0 | 5,88 | 0 | 12,26 | |
| 9 | 9,34 | 0 | 4,19 | | 0 | 41,10 | 0 | 91,15 | 0 | 25,04 | 0 | 5,88 | 0 | 13,04 | |
| 10 | 5,86 | 0 | 3,04 | | 0 | 29,83 | 0 | 73,83 | 0 | 20,28 | 0 | 5,88 | 0 | 14,55 | |
| 11 | 1,95 | 0 | 1,26 | | 0 | 12,40 | 0 | 37,51 | 0 | 10,30 | 0 | 5,88 | 0 | 17,79 | |
| | 135,91 | | | | | | | | 556,85 | | | | 240,93 | | |

$$SF = \sum \frac{\{C.I+(N-U-Ne)tan\varphi\}}{\sum(T+Te)}$$

$$= \frac{240,93+(756,05-556,85-21,70)}{(354,11+135,91)} = 0,87$$

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Nilai Faktor Aman Embung Danau Asam**

| Kondisi M. A. Waduk | Daerah Tinjauan | SF Tanpa Gempa | Status | SF Gempa OBE | Status | SF Gempa MDE | Status |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SF ijin = 1,5 | | SF ijin = 1,2 | | SF ijin = 1,0 | |
| Muka Air Kosong | Hulu | 1,48 | Tidak Aman | 1,22 | Aman | 1, 14 | Aman |
| | Hilir | 1,46 | Tidak Aman | 1,20 | Aman | 1,12 | Aman |
| Muka Air Normal | Hulu | 1,87 | Aman | 1,40 | Aman | 1,27 | Aman |
| | Hilir | 1,36 | Tidak Aman | 1,15 | Tidak Aman | 1,06 | Aman |
| Muka Air Banjir | Hulu | 2,05 | Aman | 1,44 | Aman | 1,30 | Aman |
| | Hilir | 1,18 | Tidak Aman | 0,99 | Runtuh | 0,88 | Runtuh |
| Kondisi RDD | Hulu | 1,14 | Tidak Aman | 0,87 | Runtuh | 0,75 | Runtuh |
| | Hilir | 1,22 | Tidak Aman | 0,91 | Runtuh | 0,78 | Runtuh |

(*) = perhitungan manual *method of slice*

## 5.4 Pembahasan

Penulis melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dari tubuh embung (tanggul) yang memiliki tipe urugan homogen, baik tanpa gempa maupun dengan gempa pada berbagai kondisi variasi muka air pada waduk. Penulis menyusun naskah, diawali dengan menganalisis aliran rembesan menggunakan metode *Cassagrande* sehingga didapatkan pola aliran rembesan yang mengalir melewati tanggul. Setelah mendapatkan pola aliran rembesan, timbunan dianalisis stabilitasnya terhadap bahaya *piping*. Selanjutnya, mengklasifikasikan tingkat risiko bendungan untuk mendapatkan kala ulang yang mendekati pada lokasi. Kala ulang ini digunakan untuk menghitung nilai koefisien gempa termodifikasi yang kemudian hasilnya digunakan untuk analisis stabillitas lereng, baik dengan bantuan program *Plaxis* 2D maupun dengan menghitung manual menggunakan *Slice Method.* Pola aliran yang didapatkan sebelumnya juga menjadi acuan penulis dalam memodelkan lereng untuk melakukan analisis.

*Plaxis* 2D merupakan program sebagai alat bantu pengguna untuk menganalisa permasalahan geoteknik secara praktis dengan menggunakan metode elemen hingga dua dimensi. Program ini dikembangkan untuk analisis stabilitas dengan mereduksi parameter *Phi-c* sehingga diketahui kekritisan bagian mana dari pemodelan. Program ini juga dikembangkan untuk analisis deformasi, sehingga bagian yang mengalami kekritisan akan terilustrasi potensi longsornya. Potensi longsor diakibatkan adanya pengaruh beban seperti beban sendiri dari berat massa tanah serta beban lain seperti tekanan dari muka air waduk dan beban gempa. Potensi kelongsoran biasanya berbentuk pola lingkaran pada tanah timbunannya.

Pada Patok 14 Tanggul Embung Danau Asam, penulis menganalisis pada kedua sisi bagian tanggul, yaitu bagian hulu dan hilir. Kedua sisi tanggul memiliki kemiringan yang hampir sama, sehingga saat keadaan muka air kosong tanpa diberi beban gempa dan setelah diberi beban gempa lereng memiliki nilai angka aman yang relatif sama. Nilai angka aman pada bagian hulu sebesar 1,48 dan bagian hilir sebesar 1,46 dengan kondisi tanpa beban gempa. Kemudian saat setelah diberi beban gempa kala ulang 100 tahun angka aman pada bagian hulu

sebesar 1,22 dan bagian hilir sebesar 1,20. Pada kondisi pembebanan kala ulang 5.000 tahun, angka aman pada bagian hulu sebesar 1,14 dan bagian hilir sebesar 1,12.

Pada kondisi waduk dengan muka air normal (man) potensi kelongsoran berada pada bagian hilir, dengan kondisi tanpa beban gempa maupun diberi beban gempa. Nilai angka aman pada kondisi tanpa beban gempa di bagian hulu sebesar 1,87 dan bagian hilir 1,36. Selanjutnya, angka aman pada kondisi diberi beban kala ulang 100 tahun, bagian hulu sebesar 1,40 dan bagian hilir 1,15. Angka aman pada kondisi diberi beban gempa kala ulang 5.000 tahun, bagian hulu sebesar 1,27 dan bagian hilir 1,06.

Pada kondisi waduk dengan muka air banjir (mab) potensi kelongsoran juga berada pada bagian hilir, dengan kondisi tanpa beban gempa maupun diberi beban gempa. Nilai angka aman pada kondisi tanpa beban gempa di bagian hulu sebesar 2,05 dan bagian hilir 1,18. Selanjutnya, angka aman pada kondisi diberi beban kala ulang 100 tahun, bagian hulu sebesar 1,44 dan bagian hilir 0,99. Angka aman pada kondisi diberi beban gempa kala ulang 5.000 tahun, bagian hulu sebesar 1,30 dan bagian hilir 0,88.

Kondisi tanggul pada muka air normal (man) dan muka air banjir (mab) tanpa diberi beban gempa memiliki potensi kelongsoran pada bagian hilir. Adanya gaya tambahan yang diberikan oleh air dalam menahan kelongsoran tanah, menyebabkan tanggul bagian hulu relatif aman.

Kondisi kritis terjadi saat embung mengalami muka air waduk surut cepat (*rapid drawdown*). Pemodelan air surut cepat dilakukan dari muka air waduk banjir hingga waduk mengalami kekosongan air pada jangka waktu 5 hari. Sehingga, walaupun muka air waduk kosong, tanggul masih memiliki aliran rembesan yang akan memperbesar potensi kelongsoran. Pada analisis *rapid drawdown* tanpa diberi beban gempa, potensi kelongsoran tanggul berada pada bagian hulu. Kemudian, setelah tanggul diberi beban gempa dengan kala ulang 100 tahun dan 5.000 tahun, tanggul mengalami keruntuhan dikedua sisi. Sehingga perhitungan dilanjutkan secara manual menggunakan *Method Of Slice.*

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan studi kasus dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, didapakan kesimpulan sebagai berikut.

1. Rembesan memberikan pengaruh terhadap keruntuhan timbunan dengan variasi muka air yang berbeda. Stabilitas timbunan terhadap bahaya *piping* dianalisis dengan cara menemukan angka aman, dengan persyaratan angka aman lebih besar dari 4 (SF > 4). Angka aman terhadap bahaya *piping* untuk kondisi muka air banjir yaitu sebesar 2,67dinyatakan tidak aman. Dan angka aman terhadap bahaya *piping* untuk kondisi muka air normal yaitu sebesar 5,83 dinyatakan aman.
2. Dua sisi bagian tanggul pada Patok 14, yaitu hulu dan hilir dianalisis stabilitas lerengnya. Dengan bantuan program *Plaxis 2D* pada kondisi tanpa beban gempa memiliki $SF_{izin}$ = 1,5. Variasi muka air kosong menghasilkan nilai angka aman sebesar 1,48 pada bagian hulu dan 1,46 pada bagian hilir, sehingga dinyatakan tidak aman. Pada variasi muka air normal, nilai angka aman pada bagian hulu sebesar 1,87 dinyatakan aman dan bagian hilir 1,36 dinyatakan tidak aman. Pada variasi muka air banjir, nilai angka aman pada bagian hulu sebesar 2,05 dinyatakan aman dan bagian hilir 1,18 dinyatakan tidak aman. Pada kondisi air waduk surut cepat (*rapid drawdown*) menghasilkan nilai angka aman bagian hulu sebesar 1,14 dan bagian hilir 1,22 sehingga dikedua sisi dinyatakan tidak aman.
3. Pada kondisi diberi beban gempa kala ulang 100 tahun (OBE, dengan koefisien gempa 0,0713 g) memilliki $SF_{izin}$ = 1,2. Pada variasi muka air kosong memiliki nilai angka aman pada bagian hulu sebesar 1,22 dan bagian hilir 1,20 sehingga dinyatakan aman. Pada variasi muka air normal, nilai

angka aman pada bagian hulu sebesar 1,40 dinyatakan aman dan bagian hilir 1,15 dinyatakan tidak aman. Pada variasi muka air banjir, nilai angka aman bagian hulu sebesar 1,44 dinyatakan aman dan bagian hilir 0,99 dinyatakan tidak aman atau akan mengalami keruntuhan. Selanjutnya, hasil analisis pada kondisi air waduk surut cepat (*rapid drawdown*) pada program *Plaxis 2D* akan mengalami keruntuhan, sehingga nilai angka aman dihitung melalui perhitungan manual, didapat angka aman bagian hulu sebesar 0,87 dan bagian hilirnya 0,91.

4. Pada kondisi diberi beban gempa kala ulang 5.000 tahun (MDE, dengan koefisien gempa 0,1070 g) memilliki $SF_{izin}$ = 1,0. Pada variasi muka air kosong memiliki nilai angka aman pada bagian hulu sebesar 1,14 dan bagian hilir 1,12 sehingga dinyatakan aman. Pada variasi muka air normal, nilai angka aman pada bagian hulu sebesar 1,27 dinyatakan aman dan bagian hilir 1,06 dinyatakan aman. Pada variasi muka air banjir, nilai angka aman bagian hulu sebesar 1,30 dinyatakan aman dan bagian hilir 0,88 dinyatakan tidak aman atau akan mengalami keruntuhan. Selanjutnya, hasil analisis pada kondisi air waduk surut cepat (*rapid drawdown*) pada program *Plaxis 2D* akan mengalami keruntuhan, sehingga nilai angka aman dihitung melalui perhitungan manual, didapat angka aman bagian hulu sebesar 0,75 dan bagian hilirnya 0,78.
5. Hasil analisis stabilitas lereng dilakukan dengan dua metode. Dua metode tersebut berupa metode elemen hingga (*finite element method*) yaitu dengan bantuan *Plaxis* 2D dan metode irisan atau yang dikenal juga dengan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*). Metode kesetimbangan batas memberikan asumsi terhadap bidang longsor yang selanjutnya pada bidang kelongsoran tersebut dibagi menjadi beberapa irisan. Sedangkan, metode elemen hingga terdapat tahap *meshing* yaitu pencacahan model geometri menjadi gabungan dari elemen – elemen yang jumlahnya tertentu (*finite*)

## 6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah dipaparkan diatas, maka dapat disarankan hal – hal sebagai berikut.

1. Timbunan masih memiliki potensi longsor dengan nilai angka aman yang belum memenuhi persyaratan dibeberapa kondisi, sehingga perlu diberi perkuatan tanah. Disamping itu, timbunan dibangun di atas tanah lunak sehingga perkuatan tanah akan sangat membantu tanah pondasi untuk menyokong bangunan struktur diatasnya. Bagi peneliti selanjutnya, perlu dilakukan analisis dengan perkuatan tanah.
2. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisis dengan menggunakan *software* lain seperti *Geoslope, Plaxis 3D, Slide* ataupun perbandingan dari aplikasi berbeda lainnya.

# DAFTAR PUSTAKA


Aditya, C.R., 2010. Studi Analisis Geotekstil Pada Penanganan Jalan Dengan Konstruksi Bantalan Tertutup Pada Tanah Gambut (Studi Kasus Jalan Sui Duri-Singkawang). *Tugas Akhir.* Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.

Amran, Y. dan Safi'i, A., 2020. Analisis Stabilitas Lereng Pada Tanggul Penahan Banjir Sungai Way Seputih Kecamatan Seputih Surabaya Kabupaten Lampung Tengah Provinsi Lampung. *Tapak (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, *9*(2), pp.130-139. Universitas Muhammadiyah Metro. Lampung.

Ardiansyah, M. I., 2017. Pengaruh Kondisi Muka Air Tanah Terhadap Stabilitas Lereng Jalan Dengan Dinding Penahan Tanah. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Chasanah, U., 2012. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

CV. Karya Dinamis. 2019. : Laporan Geoteknik / Mekanika Tanah *Review* Desain Embung Danau Asam Kabupaten Kotawaringin Barat. Bandar Lampung.

Darwis, H., 2018. Dasar-dasar Mekanika Tanah. Pena Indis. Yogyakarta.

Departemen Pekerjaan Umum., 2013. Standar Perencanaan Irigasi. *Kriteria Perencanaan Bagian, Parameter Bangunan (KP-06).*

Departemen Pekerjaan Umum., 2009. Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik. Jakarta

Departemen Pekerjaan Umum., 2009. Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak. *Modul Pelatihan Geosintetik Vol.2*

Dipa, A. R., 2017. Evaluasi Keamanan Tubuh Bendungan Saradan Menggunakan Plaxis 8.2. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Fitradi, N. I., 2019. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Dan Turap Beton Menggunakan Program Plaxis (*Slope Stability Analysis With Geotextile And Concrete Sheet Pile Reinforcement Using Plaxis Program*) *Tugas Akhir Teknik Sipil.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Gunawan, S., Sulistyowati, V.Y.E. dan Timur, H.M., 2017. Stabilitas Lereng Dan Bendung Pada Embung Ds. Ngawu, Kec. Playen, Kab. Gunung Kidul,

DIY. *Jurnal Teknik Sipil Volume 14, No.2,* pp 124 - 133. Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.

Hamdani, A.T. 2019. Analisis Stabilitas Timbunan Jalan Di Atas Tanah Lunak Dengan Perkuatan Sheet Pile Dan Geotekstil (Studi kasus: tol Balikpapan–Samarinda seksi V. STA. 9+ 726 s/d STA. 9+ 926). *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C.. 2010. Mekanika Tanah 2, 5th Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C.. 2013. Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya Perancangan dan Aplikasi. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.

Hardiyatmo, H. C. 2014. Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. 2017 . Mekanika Tanah 1. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C.. 2020. Perbaikan Tanah. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.

Harison, M.A., Saputro, S.A., Wardani, S.P.R. and Hardiyati, S., 2013. Analisa Geoteknik dan Penanggulangan Kelongsoran Tanggul Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, *2*(1), pp.334-358. Universitas Diponegoro. Semarang.

Krisdianto, F., 2021. Analisis Stabilitas Pada Tubuh Bendungan Dengan Irisan Fellenius Dan Debit Rembesan Dengan Metode Cassagrande Menggunakan Software Geostudio. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Lembang, L.D., 2021. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+ 750). *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Muzani. 2021. Buku Referensi Bencana Tanah Longsor Penyebab Dan Potensi Longsor. Deepublish. Yogyakarta.

Nanda, T.N.F. dan Hamdan, I. N., 2021Analisis Rembesan dan Stabilitas Bendungan Bajulmati dengan Metode Elemen Hingga Model 2D dan 3D. *Jurnal Teknik Sipil*. Institut Teknologi Nasional. Bandung.

Pangemanan, V.G.M., Turangan, A.E. dan Sompie, O.B., 2014. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (studi kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, *2*(1). Universitas Sam Ratulangi. Manado.

Purwanto, Edy. 2012. Perkuatan Tanah. *Handout Mata Kuliah*, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Rasdi, R.F.K., 2021. Analisis Stabilitas Timbunan Tanah Menggunakan Perkuatan Geotekstil Dengan Program Plaxis 8.2 (Studi Kasus Di Jalan Tol Balikpapan-Samarinda). *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Sandi, I. K., 2021. Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Menggunakan Metode Bishop Dan Perhitungan Rembesan Dengan Pendekatan Metode *Cassagrande. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Seroy, C.A., Manoppo, F.J. and Rondonuwu, S.G., 2020. Analisa kestabilan bangunan embung nunuka 1. *Jurnal Sipil Statik*, *8*(2). Universitas Sam Ratulangi. Manado.

Sosrodarsono, S. (2000). Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi. Jakarta: Pradnya Paramita.

Tay, P. A., Adi, F. S., Tjandra, D., & Wulandari, P. S., 2014. Analisa Perkuatan Geotekstil pada Timbunan Konstruksi Jalan dengan PLAXIS 2D. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, *3*(2). Universitas Kristen Petra. Surabaya.

Usnaini, Hendra., 2007. Analisis Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Yang Terbuat Dari Lumpur Lapindo. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

*US Army Corps of Engineers*., 2021. *HEC-HMS Technical Reference Manual* USA. https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/modelingreservoirs/dambreak

Wardana, I.G.N., 2017. Penggunaan Bahan Geotekstil untuk Mencegah Kelongsoran pada Lereng. *Tugas Akhir*. Universitas Udayana. Bali.

Wesley, L.D., 2012. Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan Dan Residu. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

Zain, M.N. dan Suryo, E.A., 2015. Analisis Stabilitas Lereng Embung Dengan Menggunakan Kombinasi Dinding Penahan Kantilever dan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak. *Doctoral dissertation* atau *jurnal*. Universitas Brawijaya. Malang.

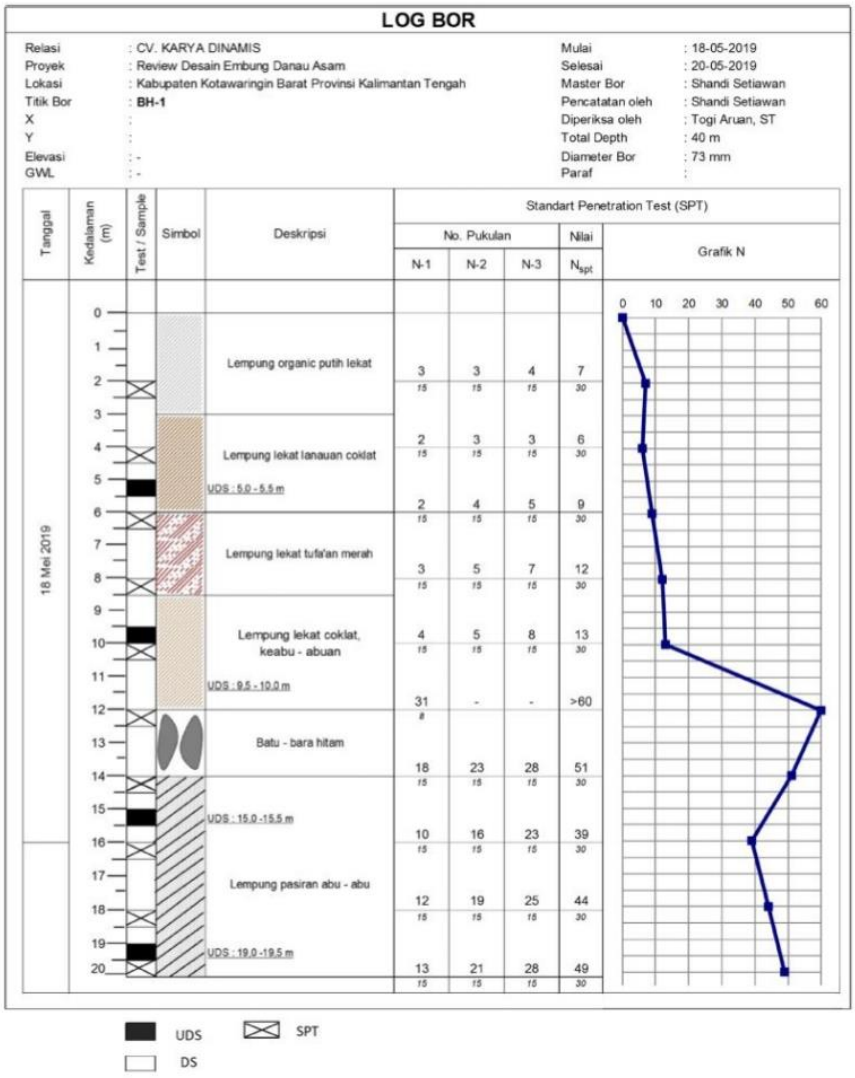
# LAMPIRAN

Dari hasil boring titik **BH-01** dapat di deskripsikan sebagai berikut:

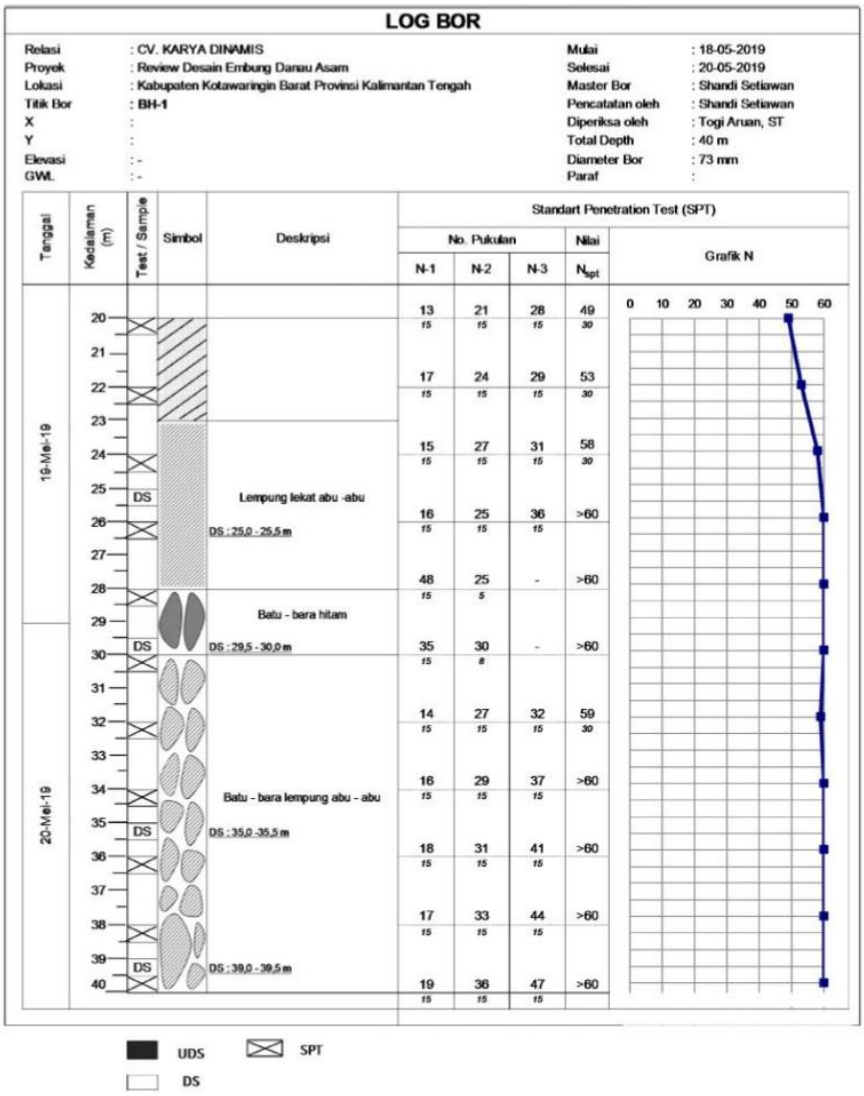
**Tabel 3.34. Hasil Boring pada Lokasi BH-01**

| Kedalaman (m) | Deskripsi Tanah | $N_{SPT}$ | Konsistensi |
|---|---|---|---|
| 0,0 - 3,0 | Lempung organic putih lekat | 0 - 7 | Kenyal Sedang |
| 3,0 - 6,0 | Lempung lekat lanauan, coklat | 6 - 9 | Kenyal Sedang |
| 6,0 - 8,5 | Lempung lekat tufa'an merah | 12 | Kenyal Sedang |
| 8,5 - 12,0 | Lempung lekat coklat keabu - abuan | 13 - 60 | Kenyal Sedang - Keras |
| 12,0 - 14,0 | Batu - bara hitam | 51 | Keras |
| 14,0 - 23,0 | Lempung pasiran abu - abu | 39 - 51 | Keras |
| 23,0 - 28,0 | Lempung lekat abu - abu | 58 - 60 | Keras |
| 28,0 - 30,0 | Batu - bara hitam | > 60 | Keras |
| 30,0 - 40,0 | Batu lempung abu - abu | 59 - 60 | Keras |

*Sumber: Hasil Penyelidikan Mekanika Tanah CV. Karya Dinamis, Tahun 2019*




**Gambar 3.22. Gambar Hasil Bor Inti pada Lokasi BH-01 (1/2)**



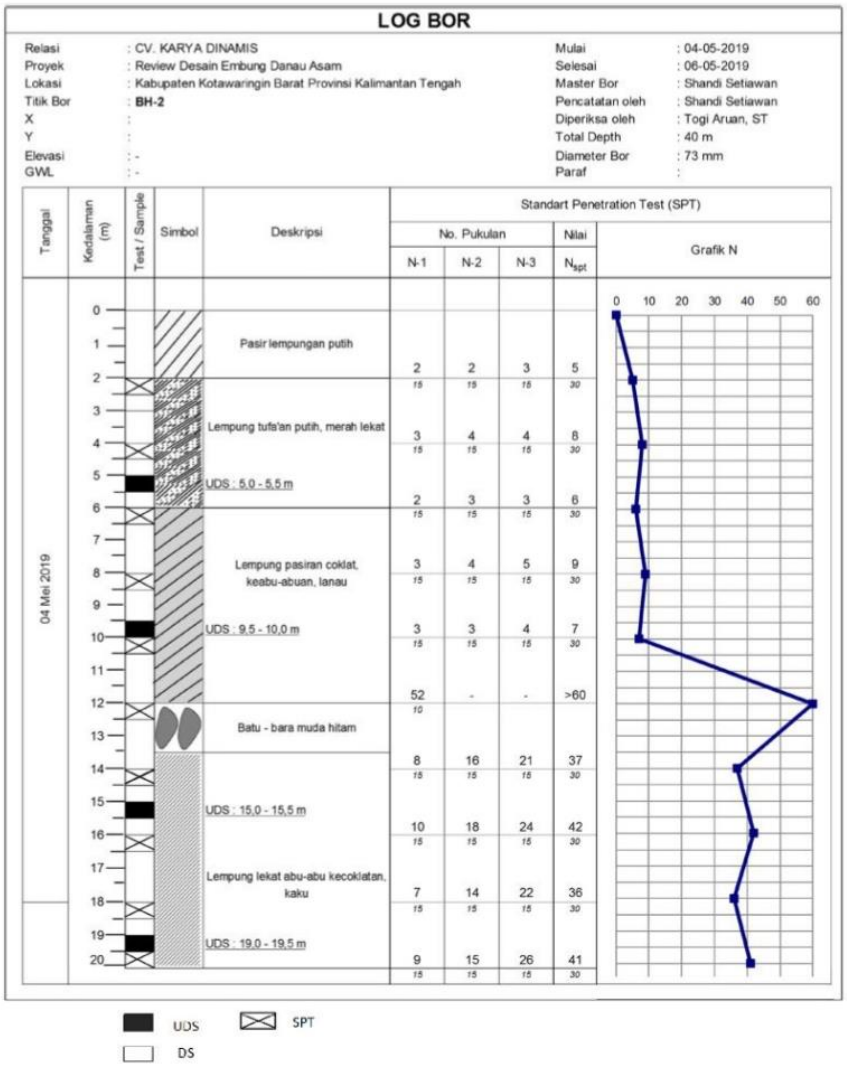

**Gambar 3.23. Gambar Hasil Bor Inti pada Lokasi BH-01 (2/2)**

Dari hasil boring titik **BH-02** dapat di deskripsikan sebagai berikut:

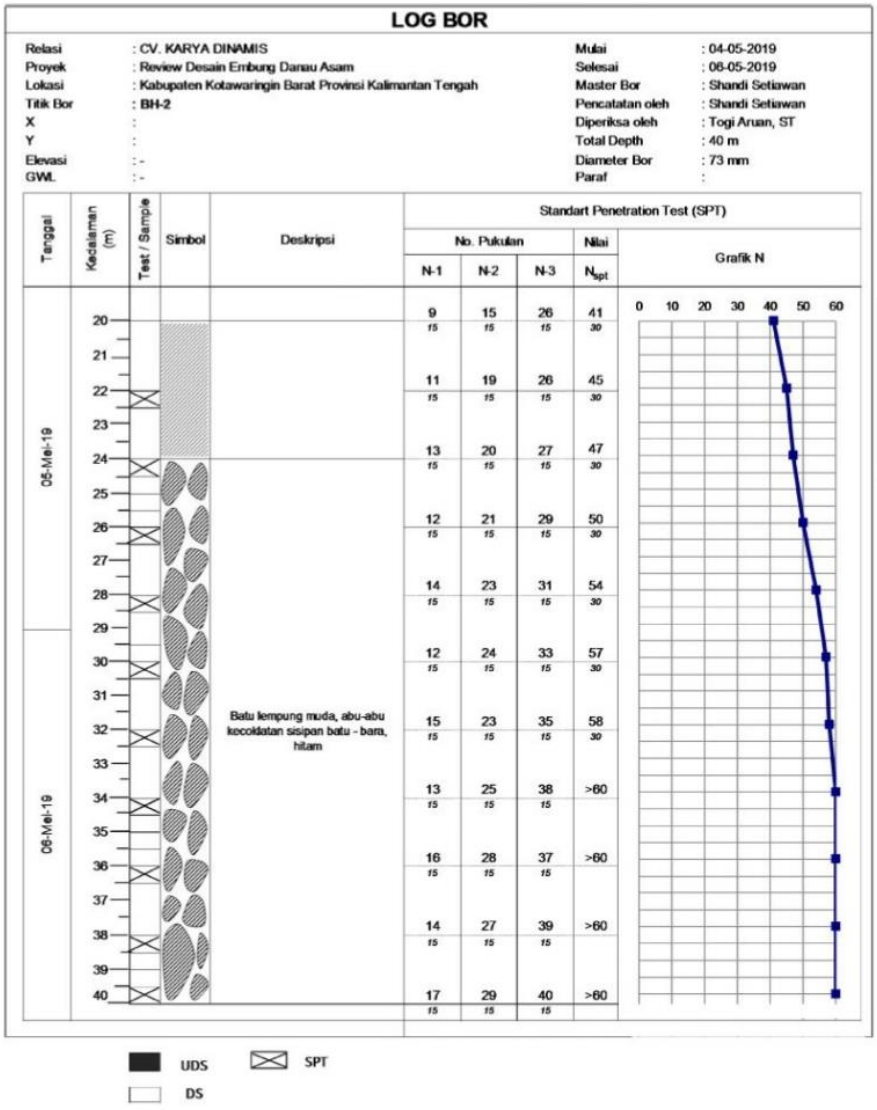
**Tabel 3.35. Hasil Boring pada Lokasi BH-02**

| Kedalaman (m) | Deskripsi Tanah | $N_{SPT}$ | Konsistensi |
|---|---|---|---|
| 0,0 - 2,0 | Pasir lempungan putih | 0 - 5 | Sedang |
| 2,0 - 6,0 | Lempung tufa'an putih, merah lekat | 6 - 8 | Kenyal Sedang |
| 6,0 - 12,0 | Lempung pasiran coklat, keabu - abuan, lanau | 7 - 60 | Kenyal Sedang - Keras |
| 12,0 - 13,5 | Batu - bara muda hitam | - | - |
| 13,5 - 24,0 | Lempung lekat abu - abu kecoklatan, kaku | 36 - 47 | Keras |
| 24,0 - 40,0 | Batu lempung muda, abu - abu kecoklatan sisipan batu - bara, hitam | 50 - 60 | Keras |
| 0,0 - 2,0 | Pasir lempungan putih | 0 - 5 | Sedang |
| 2,0 - 6,0 | Lempung tufa'an putih, merah lekat | 6 - 8 | Kenyal Sedang |
| 6,0 - 12,0 | Lempung pasiran coklat, keabu - abuan, lanau | 7 - 60 | Kenyal Sedang - Keras |

*Sumber: Hasil Penyelidikan Mekanika Tanah CV. Karya Dinamis, Tahun 2019*



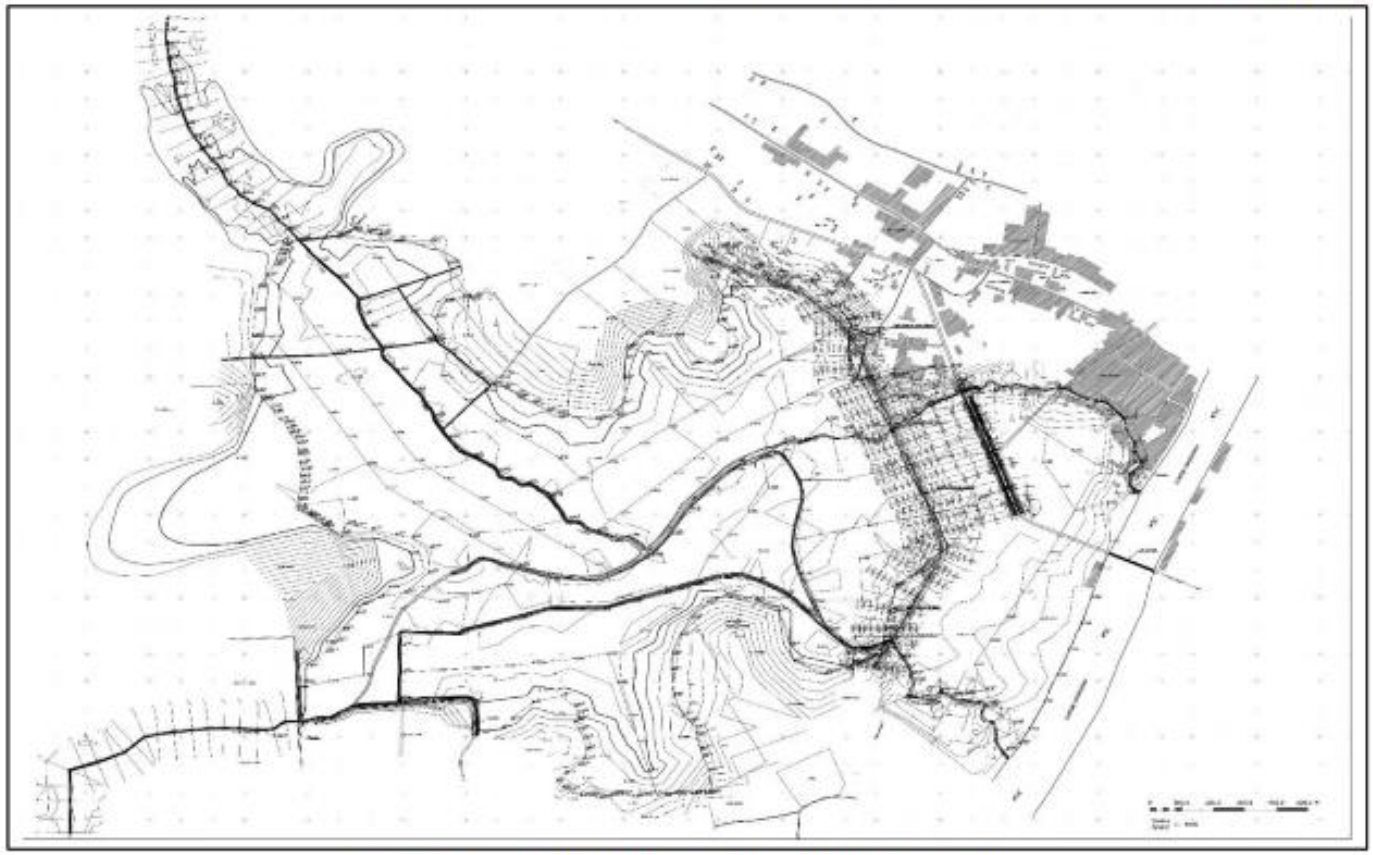

**Gambar 3.24. Gambar Hasil Bor Inti pada Lokasi BH-02 (1/2)**



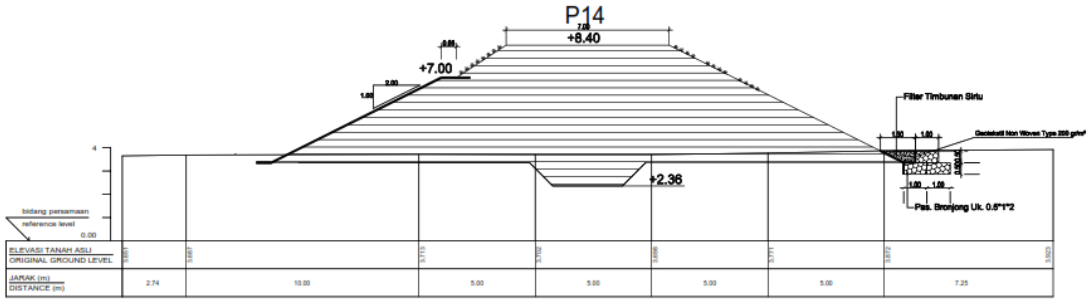

**Gambar 3.25. Gambar Hasil Bor Inti pada Lokasi BH-02 (2/2)**




**Gambar 3.5. Peta Lokasi Bench Mark (BM) dan Control Point (CP) Terpasang**



**Gambar 3.7. Peta Situasi Hasil Pengukuran Topografi**




KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
BALAI WILAYAH SUNGAI KALIMANTAN II
SNVT PELAKSANA JARINGAN SUMBER AIR KALIMANTAN II
PROVINSI KALIMANTAN TENGAH
Jln. Tjilik Riwut Km. 3,5 Palangka Raya Kode Pos 73112

Provinsi : KALIMANTAN TENGAH

Proyek : PEMBANGUNAN EMBUNG DANAU ASAM KECAMATAN KOTAWARINGIN LAMA

Kabupaten : KOTAWARINGIN BARAT

CONSTRUCTION DRAWING

CROSS JALAN TANGGUL

No Lembar : 02

| | | |
|---|---|---|
| Kontraktor: PT. SINAR PEMBANGUNAN JAYA KSO PT JATINOM JAYA MAKMUR | Digambar Oleh | M.DIMAS RIZKY MAULANA |
| | Site Manager | ARYESWARA M.ADAM G.T, ST |
| Konsultan Supervisi: PT. ABIPLAN DINAMIKA CONSULTANT | Site Engineer | MARWAN,ST.MT |
| SNVT PJSA KALIMANTAN IV PROV. KALTENG SUNGAI DAN PANTAI II KALIMANTAN TENGAH | Direksi Pekerjaan | ALPIUS IPU ,ST.MT |
| | PPK Sungai dan Pantai II | BELLY TAHASAK , ST.MT |

Diketahui/Disetujui konsultan perencana CV.KARYA DINAMIS

Ir.Tanso M.Eng

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Relasi | : CV. KARYA DINAMIS | | | | | | | | | |
| Pekerjaan | : Review Desain Embung Danau Asam | | | | | | | | | |
| Lokasi | : Kabupaten Kotawaringin Barat Provinsi Kalimantan Tengah | | | | | | | | | |
| No. Bor | : | BH-01 | | | | | BH-02 | | | |
| Kedalaman | : | 5,0 - 5,5 | 9,5 - 10,0 | 15,0 - 15,5 | 19,0 - 19,5 | 25,0 - 25,5 | 5,0 - 5,5 | 9,5 - 10,0 | 15,0 - 15,5 | 19,0 - 19,5 |
| JENIS PENGUJIAN | | | | | | | | | | |
| Berat Volume dan Spesific Gravity | Kadar Air (Wc), % | 32,87 | 34,41 | 41,69 | 38,71 | 37,20 | 42,24 | 39,08 | 41,26 | 37,46 |
| | Berat Jenis (Gs) | 2,56 | 2,54 | 2,56 | 2,57 | 2,55 | 2,54 | 2,57 | 2,56 | 2,56 |
| | Berat Volume (**g**), gr/cc | 1,52 | 1,65 | 1,72 | 1,74 | 1,78 | 1,59 | 1,61 | 1,72 | 1,74 |
| | Berat Volume Kering (**gd**), gr/cc | 1,15 | 1,23 | 1,21 | 1,25 | 1,30 | 1,12 | 1,16 | 1,22 | 1,27 |
| | Angka Pori (e) | 1,23 | 1,06 | 1,11 | 1,05 | 0,97 | 1,27 | 1,22 | 1,10 | 1,02 |
| | Porositas (n) | 0,552 | 0,516 | 0,526 | 0,512 | 0,491 | 0,559 | 0,550 | 0,524 | 0,506 |
| | Derajat Kejenuhan, % | 68,30 | 82,08 | 96,17 | 94,86 | 98,25 | 84,33 | 82,07 | 95,81 | 93,80 |
| Atterberg Limit | Batas Cair (LL), % | 52,63 | 53,21 | 48,60 | 49,30 | 51,64 | 52,36 | 41,60 | 52,67 | 53,36 |
| | Batas Plastis (PL), % | 22,30 | 21,86 | 31,20 | 24,40 | 23,20 | 22,30 | 21,10 | 22,39 | 24,70 |
| | Plastic Index (PI), % | 30,33 | 31,35 | 17,40 | 24,90 | 28,44 | 30,06 | 20,50 | 30,28 | 28,66 |
| Grain Size Distribution | Gravel, % | | | | | | | | | |
| | Coarse (%) | | | | | | | | | |
| | Medium (%) | | | 2,60 | 1,20 | | | | | |
| | Sand, % | 9,71 | 8,45 | 21,30 | 18,42 | 3,46 | 5,70 | 11,60 | 6,70 | 6,38 |
| | Silt + Clay % | 90,29 | 91,55 | 76,10 | 80,38 | 96,54 | 94,30 | 88,40 | 93,30 | 93,62 |
| Kuat Tekan / Kuat Geser | Tekanan puncak deviator (qu), kg/cm2 | 0,17 | 0,19 | 0,24 | 0,23 | 0,20 | 0,22 | 0,21 | 0,24 | 0,26 |
| | Kohesi, kg/cm2 | 0,07 | 0,08 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,06 | 0,05 | 0,14 | 0,17 |
| | Sudut geser dalam derajat | 16,46 | 17,46 | 20,56 | 22,42 | 24,43 | 15,36 | 16,70 | 21,65 | 23,36 |
| KONSOLIDASI | Koefisien Konsolidasi (Cv), cm2/sec x $10^{-4}$ | 0,47 | 0,52 | 0,81 | 0,92 | 0,46 | 0,42 | 0,46 | 0,64 | 0,52 |
| KLASIFIKASI TANAH | UNIFIED & ASTM | CH | CH | CL | CL | CH | CH | CL | CH | CH |
| | AASHTO | A-7-6 | A-7-6 | A-2-6 | A-2-6 | A-7-6 | A-7-6 | A-2-6 | A-7-6 | A-7-6 |
| | JENIS TANAH | Lempung lekat | Lempung lekat | Tanah Lempung Berpasir | Tanah Lempung Berpasir | Lempung lekat | Tanah Lempung | Tanah Lempung berpasir | Tanah Lempung Lekat | Tanah Lempung Lekat |

**Tabel Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713**

| Pias | b (jarak horizontal) | Δl (m) | ø (°) | A (Luas) | | | ɣ | | | W | | | cos ø | sin ø |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A I | A II | A III | ɣ I | ɣ II | ɣ III | w I | w II | w III | | |
| | | | | m² | m² | m² | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | | |
| 1 | 2,02 | 5,32 | 64,78 | 3,60 | 2,54 | 0 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 56,16 | 42 | 0 | 0,43 | 0,90 |
| 2 | 2,02 | 3,04 | 47,76 | 3,60 | 8,21 | 0,79 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 56,16 | 136,94 | 13 | 0,67 | 0,74 |
| 3 | 2,02 | 2,48 | 35,18 | 3,12 | 8,68 | 4,44 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 48,67 | 144,78 | 73 | 0,82 | 0,58 |
| 4 | 2,02 | 2,22 | 24,32 | 2,24 | 7,67 | 8,40 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 34,94 | 127,94 | 138 | 0,91 | 0,41 |
| 5 | 2,02 | 2,09 | 14,33 | 0,09 | 7,74 | 9,85 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 1,40 | 129,10 | 162 | 0,97 | 0,25 |
| 6 | 2,02 | 2,03 | -4,77 | 0 | 6,20 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 103,42 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 7 | 2,02 | 2,03 | -4,66 | 0 | 4,15 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 69,22 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 8 | 2,02 | 2,09 | -14,21 | 0 | 2,11 | 9,86 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 35,19 | 162 | 0,97 | -0,25 |
| 9 | 2,02 | 2,22 | -24,19 | 0 | 0,29 | 8,43 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 4,84 | 139 | 0,91 | -0,41 |
| 10 | 2,02 | 2,47 | -35,04 | 0 | 0 | 6,10 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 100 | 0,82 | -0,57 |
| 11 | 2,02 | 3,03 | -47,59 | 0 | 0 | 2,46 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 40 | 0,67 | -0,74 |

**Lanjutan Tabel Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713**

| Pias | N | | T | ϕ | | Tg ϕ | | N' | | k | E = k.W | | Ne | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N I | N II | (W I + W II) sin φ | φ I | φ II | Tg ϕ I | Tg ϕ II | N' I | N' II | (OBE) | E I | E II | Ne I | Ne II |
| | kN/m | kN/m | kN/m | ° | ° | | | kN/m | kN/m | g | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m |
| 1 | 41,98 | 0,00 | 89,14 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 23,75 | 0 | | 7,02 | 0,00 | 3,60 | 0 |
| 2 | 129,80 | 8,74 | 152,59 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 73,44 | 0 | | 13,77 | 0,93 | 5,77 | 0 |
| 3 | 158,13 | 59,74 | 153,55 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 89,47 | 16,41 | | 13,79 | 5,21 | 4,50 | 0,82 |
| 4 | 148,43 | 126,00 | 124,00 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 83,98 | 34,61 | | 11,61 | 9,86 | 2,71 | 1,12 |
| 5 | 126,45 | 157,09 | 72,41 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 71,54 | 43,15 | | 9,31 | 11,56 | 1,30 | 0,79 |
| 6 | 103,06 | 172,89 | -23,03 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 58,31 | 47,49 | 0,0713 | 7,37 | 12,37 | -0,35 | -0,28 |
| 7 | 68,99 | 172,92 | -19,70 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 39,03 | 47,50 | | 4,94 | 12,37 | -0,23 | -0,28 |
| 8 | 34,12 | 157,33 | -48,48 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 19,30 | 43,22 | | 2,51 | 11,57 | -0,35 | -0,78 |
| 9 | 4,41 | 126,57 | -58,84 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 34,77 | | 0,34 | 9,89 | 0 | -1,11 |
| 10 | 0,00 | 82,21 | -57,64 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 22,58 | | 0 | 7,16 | 0 | -1,13 |
| 11 | 0,00 | 27,31 | -29,90 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 7,50 | | 0 | 2,89 | 0 | -0,59 |
| | | | 354,11 | | | | | 756,05 | | | | | 15,50 | |

**Lanjutan Tabel Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713**

| Pias | Te | Hw | | ɣ w | U | | U' | | U' Tg φ | | C | | L.C | | SF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (E I + E II) cos ø | Hw I | Hw II | | U I | U II | U' I | U' II | U' I Tg φ | U' II Tg φ | c I | c II | L.c I | L. c II | |
| | kN/m | m | m | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m² | kN/m² | kN/m | kN/m | |
| 1 | 2,99 | 2,00 | 0 | | 19,66 | 0 | 104,65 | 0 | 59,21 | 0 | 14,3 | 0 | 76,13 | 0 | |
| 2 | 9,88 | 4,49 | 0 | | 44,06 | 0 | 133,75 | 0 | 75,67 | 0 | 14,3 | 0 | 43,41 | 0 | |
| 3 | 15,53 | 4,03 | 2,02 | | 39,52 | 19,86 | 97,98 | 49,22 | 55,43 | 13,52 | 0 | 5,88 | 0 | 14,58 | |
| 4 | 19,57 | 3,79 | 4,20 | | 37,20 | 41,25 | 82,58 | 91,56 | 46,72 | 25,15 | 0 | 5,88 | 0 | 13,05 | |
| 5 | 20,22 | 3,77 | 4,89 | | 36,96 | 47,94 | 77,15 | 100,06 | 43,65 | 27,49 | 0 | 5,88 | 0 | 12,27 | |
| 6 | 19,67 | 3,07 | 5,23 | 9,81 | 30,07 | 51,28 | 60,99 | 104,00 | 34,51 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,93 | 0,87 |
| 7 | 17,25 | 2,05 | 5,23 | | 20,16 | 51,30 | 40,88 | 104,02 | 23,13 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,92 | |
| 8 | 13,65 | 1,05 | 4,89 | | 10,26 | 48,01 | 21,39 | 100,13 | 12,10 | 27,50 | 0 | 5,88 | 0 | 12,26 | |
| 9 | 9,34 | 0 | 4,19 | | 0 | 41,10 | 0 | 91,15 | 0 | 25,04 | 0 | 5,88 | 0 | 13,04 | |
| 10 | 5,86 | 0 | 3,04 | | 0 | 29,83 | 0 | 73,83 | 0 | 20,28 | 0 | 5,88 | 0 | 14,55 | |
| 11 | 1,95 | 0 | 1,26 | | 0 | 12,40 | 0 | 37,51 | 0 | 10,30 | 0 | 5,88 | 0 | 17,79 | |
| | 135,91 | | | | | | | | 556,85 | | | | 240,93 | | |

$$SF = \sum \frac{\{C.I+(N-U-Ne)tan\varphi\}}{\sum(T+Te)}$$

$$= \frac{240,93+(756,05-556,85-21,70)}{(354,11+135,91)} = 0,87$$

**Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713, Hilir**

| Pias | b (jarak horizontal) | Δl (m) | ø (°) | A (Luas) | | | ɣ | | | W | | | cos ø | sin ø |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A I | A II | A III | ɣ I | ɣ II | ɣ III | w I | w II | w III | | |
| | | | | m² | m² | m² | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | | |
| 1 | 2,02 | 5,32 | 64,78 | 3,47 | 2,63 | 0 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 54,13 | 44 | 0 | 0,43 | 0,90 |
| 2 | 2,02 | 3,04 | 47,76 | 3,30 | 8,51 | 0,79 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 51,48 | 141,95 | 13 | 0,67 | 0,74 |
| 3 | 2,02 | 2,48 | 35,18 | 3,79 | 8,02 | 4,44 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 59,12 | 133,77 | 73 | 0,82 | 0,58 |
| 4 | 2,02 | 2,22 | 24,32 | 4,11 | 5,87 | 8,40 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 64,12 | 97,91 | 138 | 0,91 | 0,41 |
| 5 | 2,02 | 2,09 | 14,33 | 2,96 | 5,27 | 9,85 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 46,18 | 87,90 | 162 | 0,97 | 0,25 |
| 6 | 2,02 | 2,03 | -4,77 | 1,59 | 4,61 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 24,80 | 76,89 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 7 | 2,02 | 2,03 | -4,66 | 0,35 | 3,58 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 5,46 | 59,71 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 8 | 2,02 | 2,09 | -14,21 | 0 | 2,11 | 9,86 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 35,19 | 162 | 0,97 | -0,25 |
| 9 | 2,02 | 2,22 | -24,19 | 0 | 0,29 | 8,43 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 4,84 | 139 | 0,91 | -0,41 |
| 10 | 2,02 | 2,47 | -35,04 | 0 | 0 | 6,10 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 100 | 0,82 | -0,57 |
| 11 | 2,02 | 3,03 | -47,59 | 0 | 0 | 2,46 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 40 | 0,67 | -0,74 |

**Lanjutan Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713, Hilir**

| Pias | N | | T | ϕ | | Tg ϕ | | N' | | k | E = k.W | | Ne | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N I | N II | (W I + W II) sin φ | φ I | φ II | Tg ϕ I | Tg ϕ II | N' I | N' II | (OBE) | E I | E II | Ne I | Ne II |
| | kN/m | kN/m | kN/m | ° | ° | | | kN/m | kN/m | g | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m |
| 1 | 41,76 | 0,00 | 88,66 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 23,63 | 0 | | 6,99 | 0,00 | 3,58 | 0 |
| 2 | 130,02 | 8,74 | 152,83 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 73,56 | 0 | | 13,79 | 0,93 | 5,78 | 0 |
| 3 | 157,67 | 59,74 | 153,22 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 89,21 | 16,41 | | 13,75 | 5,21 | 4,48 | 0,82 |
| 4 | 147,65 | 126,00 | 123,65 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 83,54 | 34,61 | | 11,55 | 9,86 | 2,69 | 1,12 |
| 5 | 129,91 | 157,09 | 73,30 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 73,50 | 43,15 | | 9,56 | 11,56 | 1,34 | 0,79 |
| 6 | 101,35 | 172,89 | -22,88 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 57,34 | 47,49 | 0,0713 | 7,25 | 12,37 | -0,34 | -0,28 |
| 7 | 64,96 | 172,92 | -19,37 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 36,75 | 47,50 | | 4,65 | 12,37 | -0,21 | -0,28 |
| 8 | 34,12 | 157,33 | -48,48 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 19,30 | 43,22 | | 2,51 | 11,57 | -0,35 | -0,78 |
| 9 | 4,41 | 126,57 | -58,84 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 34,77 | | 0,34 | 9,89 | 0 | -1,11 |
| 10 | 0,00 | 82,21 | -57,64 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 22,58 | | 0 | 7,16 | 0 | -1,13 |
| 11 | 0,00 | 27,31 | -29,90 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 7,50 | | 0 | 2,89 | 0 | -0,59 |
| | | | 354,56 | | | | | 754,06 | | | | | 15,52 | |

**Lanjutan Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 100 Th, k = 0,0713, Hilir**

| Pias | Te | Hw | | ɣ w | U | | U' | | U' Tg φ | | C | | L.C | | SF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (E I + E II) cos ø | Hw I | Hw II | | U I | U II | U' I | U' II | U' I Tg φ | U' II Tg φ | c I | c II | L.c I | L. c II | |
| | kN/m | m | m | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m² | kN/m² | kN/m | kN/m | |
| 1 | 2,98 | 2,36 | 0 | | 23,16 | 0 | 123,32 | 0 | 69,77 | 0 | 14,3 | 0 | 76,13 | 0 | |
| 2 | 9,89 | 4,42 | 0 | | 43,38 | 0 | 131,68 | 0 | 74,50 | 0 | 14,3 | 0 | 43,41 | 0 | |
| 3 | 15,50 | 4,18 | 2,10 | | 41,01 | 20,63 | 101,67 | 51,14 | 57,52 | 14,05 | 0 | 5,88 | 0 | 14,58 | |
| 4 | 19,51 | 2,89 | 4,20 | | 28,39 | 41,16 | 63,02 | 91,37 | 35,66 | 25,10 | 0 | 5,88 | 0 | 13,05 | |
| 5 | 20,46 | 2,62 | 4,90 | | 25,65 | 48,04 | 53,55 | 100,27 | 30,29 | 27,54 | 0 | 5,88 | 0 | 12,27 | |
| 6 | 19,55 | 2,29 | 5,22 | 9,81 | 22,47 | 51,25 | 45,57 | 103,95 | 25,78 | 28,55 | 0 | 5,88 | 0 | 11,93 | 0,91 |
| 7 | 16,96 | 1,90 | 5,23 | | 18,62 | 51,28 | 37,76 | 103,99 | 21,36 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,92 | |
| 8 | 13,65 | 1,06 | 4,88 | | 10,38 | 47,91 | 21,65 | 99,91 | 12,25 | 27,44 | 0 | 5,88 | 0 | 12,26 | |
| 9 | 9,34 | 0 | 4,19 | | 0 | 41,08 | 0 | 91,09 | 0 | 25,02 | 0 | 5,88 | 0 | 13,04 | |
| 10 | 5,86 | 0 | 3,01 | | 0 | 29,50 | 0 | 73,01 | 0 | 20,05 | 0 | 5,88 | 0 | 14,55 | |
| 11 | 1,95 | 0 | 1,25 | | 0 | 12,31 | 0 | 37,23 | 0 | 10,23 | 0 | 5,88 | 0 | 17,79 | |
| | 135,66 | | | | | | | | 533,70 | | | | 240,93 | | |

**Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hulu**

| Pias | b (jarak horizontal) | Δl (m) | ø (°) | A (Luas) | | | ɣ | | | W | | | cos ø | sin ø |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A I | A II | A III | ɣ I | ɣ II | ɣ III | w I | w II | w III | | |
| | | | | m² | m² | m² | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | | |
| 1 | 2,02 | 5,32 | 64,78 | 3,60 | 2,54 | 0 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 56,16 | 42 | 0 | 0,43 | 0,90 |
| 2 | 2,02 | 3,04 | 47,76 | 3,60 | 8,21 | 0,79 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 56,16 | 136,94 | 13 | 0,67 | 0,74 |
| 3 | 2,02 | 2,48 | 35,18 | 3,12 | 8,68 | 4,44 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 48,67 | 144,78 | 73 | 0,82 | 0,58 |
| 4 | 2,02 | 2,22 | 24,32 | 2,24 | 7,67 | 8,40 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 34,94 | 127,94 | 138 | 0,91 | 0,41 |
| 5 | 2,02 | 2,09 | 14,33 | 0,09 | 7,74 | 9,85 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 1,40 | 129,10 | 162 | 0,97 | 0,25 |
| 6 | 2,02 | 2,03 | -4,77 | 0 | 6,20 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 103,42 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 7 | 2,02 | 2,03 | -4,66 | 0 | 4,15 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 69,22 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 8 | 2,02 | 2,09 | -14,21 | 0 | 2,11 | 9,86 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 35,19 | 162 | 0,97 | -0,25 |
| 9 | 2,02 | 2,22 | -24,19 | 0 | 0,29 | 8,43 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 4,84 | 139 | 0,91 | -0,41 |
| 10 | 2,02 | 2,47 | -35,04 | 0 | 0 | 6,10 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 100 | 0,82 | -0,57 |
| 11 | 2,02 | 3,03 | -47,59 | 0 | 0 | 2,46 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 40 | 0,67 | -0,74 |

**Lanjutan Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hulu**

| Pias | N | | T | ϕ | | Tg ϕ | | N' | | k | E = k.W | | Ne | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N I | N II | (W I + W II) sin φ | φ I | φ II | Tg ϕ I | Tg ϕ II | N' I | N' II | (MDE) | E I | E II | Ne I | Ne II |
| | kN/m | kN/m | kN/m | ° | ° | | | kN/m | kN/m | g | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m |
| 1 | 41,98 | 0,00 | 89,14 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 23,75 | 0 | | 10,54 | 0,00 | 5,40 | 0 |
| 2 | 129,80 | 8,74 | 152,59 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 73,44 | 0 | | 20,66 | 1,39 | 8,65 | 0 |
| 3 | 158,13 | 59,74 | 153,55 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 89,47 | 16,41 | | 20,70 | 7,82 | 6,75 | 1,24 |
| 4 | 148,43 | 126,00 | 124,00 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 83,98 | 34,61 | | 17,43 | 14,79 | 4,06 | 1,67 |
| 5 | 126,45 | 157,09 | 72,41 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 71,54 | 43,15 | | 13,96 | 17,35 | 1,96 | 1,18 |
| 6 | 103,06 | 172,89 | -23,03 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 58,31 | 47,49 | 0,107 | 11,07 | 18,56 | -0,52 | -0,42 |
| 7 | 68,99 | 172,92 | -19,70 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 39,03 | 47,50 | | 7,41 | 18,56 | -0,34 | -0,41 |
| 8 | 34,12 | 157,33 | -48,48 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 19,30 | 43,22 | | 3,77 | 17,37 | -0,52 | -1,17 |
| 9 | 4,41 | 126,57 | -58,84 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 34,77 | | 0,52 | 14,85 | 0 | -1,67 |
| 10 | 0,00 | 82,21 | -57,64 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 22,58 | | 0,00 | 10,74 | 0 | -1,69 |
| 11 | 0,00 | 27,31 | -29,90 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 7,50 | | 0,00 | 4,33 | 0 | -0,88 |
| | | | 354,11 | | | | | 756,05 | | | | | 23,27 | |

**Lanjutan Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hulu**

| Pias | Te | Hw | | ɣ w | U | | U' | | U' Tg φ | | C | | L.C | | SF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (E I + E II) cos ø | Hw I | Hw II | | U I | U II | U' I | U' II | U' I Tg φ | U' II Tg φ | c I | c II | L.c I | L. c II | |
| | kN/m | m | m | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m² | kN/m² | kN/m | kN/m | |
| 1 | 4,49 | 2,00 | 0 | | 19,66 | 0 | 104,65 | 0 | 59,21 | 0 | 14,3 | 0 | 76,13 | 0 | |
| 2 | 14,82 | 4,49 | 0 | | 44,06 | 0 | 133,75 | 0 | 75,67 | 0 | 14,3 | 0 | 43,41 | 0 | |
| 3 | 23,31 | 4,03 | 2,02 | | 39,52 | 19,86 | 97,98 | 49,22 | 55,43 | 13,52 | 0 | 5,88 | 0 | 14,58 | |
| 4 | 29,36 | 3,79 | 4,20 | | 37,20 | 41,25 | 82,58 | 91,56 | 46,72 | 25,15 | 0 | 5,88 | 0 | 13,05 | |
| 5 | 30,34 | 3,77 | 4,89 | | 36,96 | 47,94 | 77,15 | 100,06 | 43,65 | 27,49 | 0 | 5,88 | 0 | 12,27 | |
| 6 | 29,53 | 3,07 | 5,23 | 2,977309 | 30,07 | 51,28 | 60,99 | 104,00 | 34,51 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,93 | 0,75 |
| 7 | 25,88 | 2,05 | 5,23 | | 20,16 | 51,30 | 40,88 | 104,02 | 23,13 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,92 | |
| 8 | 20,48 | 1,05 | 4,89 | | 10,26 | 48,01 | 21,39 | 100,13 | 12,10 | 27,50 | 0 | 5,88 | 0 | 12,26 | |
| 9 | 14,02 | 0 | 4,19 | | 0 | 41,10 | 0 | 91,15 | 0 | 25,04 | 0 | 5,88 | 0 | 13,04 | |
| 10 | 8,80 | 0 | 3,04 | | 0 | 29,83 | 0 | 73,83 | 0 | 20,28 | 0 | 5,88 | 0 | 14,55 | |
| 11 | 2,92 | 0 | 1,26 | | 0 | 12,40 | 0 | 37,51 | 0 | 10,30 | 0 | 5,88 | 0 | 17,79 | |
| | 203,96 | | | | | | | | 556,85 | | | | 240,93 | | |

**Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hilir**

| Pias | b (jarak horizontal) | Δl (m) | ø (°) | A (Luas) | | | ɣ | | | W | | | cos ø | sin ø |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A I | A II | A III | ɣ I | ɣ II | ɣ III | w I | w II | w III | | |
| | | | | m² | m² | m² | kN/m³ | kN/m³ | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | | |
| 1 | 2,02 | 5,32 | 64,78 | 3,47 | 2,63 | 0 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 54,13 | 44 | 0 | 0,43 | 0,90 |
| 2 | 2,02 | 3,04 | 47,76 | 3,30 | 8,51 | 0,79 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 51,48 | 141,95 | 13 | 0,67 | 0,74 |
| 3 | 2,02 | 2,48 | 35,18 | 3,79 | 8,02 | 4,44 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 59,12 | 133,77 | 73 | 0,82 | 0,58 |
| 4 | 2,02 | 2,22 | 24,32 | 4,11 | 5,87 | 8,40 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 64,12 | 97,91 | 138 | 0,91 | 0,41 |
| 5 | 2,02 | 2,09 | 14,33 | 2,96 | 5,27 | 9,85 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 46,18 | 87,90 | 162 | 0,97 | 0,25 |
| 6 | 2,02 | 2,03 | -4,77 | 1,59 | 4,61 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 24,80 | 76,89 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 7 | 2,02 | 2,03 | -4,66 | 0,35 | 3,58 | 10,54 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 5,46 | 59,71 | 173 | 1,00 | -0,08 |
| 8 | 2,02 | 2,09 | -14,21 | 0 | 2,11 | 9,86 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 35,19 | 162 | 0,97 | -0,25 |
| 9 | 2,02 | 2,22 | -24,19 | 0 | 0,29 | 8,43 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0,00 | 4,84 | 139 | 0,91 | -0,41 |
| 10 | 2,02 | 2,47 | -35,04 | 0 | 0 | 6,10 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 100 | 0,82 | -0,57 |
| 11 | 2,02 | 3,03 | -47,59 | 0 | 0 | 2,46 | 15,60 | 16,68 | 16,46 | 0 | 0,00 | 40 | 0,67 | -0,74 |

**Lanjutan Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hilir**

| Pias | N | | T | ϕ | | Tg ϕ | | N' | | k | E = k.W | | Ne | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N I | N II | (W I + W II) sin φ | φ I | φ II | Tg ϕ I | Tg ϕ II | N' I | N' II | (MDE) | E I | E II | Ne I | Ne II |
| | kN/m | kN/m | kN/m | ° | ° | | | kN/m | kN/m | g | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m |
| 1 | 41,76 | 0,00 | 88,66 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 23,63 | 0 | | 10,49 | 0,00 | 5,37 | 0 |
| 2 | 130,02 | 8,74 | 152,83 | 29,5 | 0 | 0,57 | 0 | 73,56 | 0 | | 20,70 | 1,39 | 8,67 | 0 |
| 3 | 157,67 | 59,74 | 153,22 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 89,21 | 16,41 | | 20,64 | 7,82 | 6,73 | 1,24 |
| 4 | 147,65 | 126,00 | 123,65 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 83,54 | 34,61 | | 17,34 | 14,79 | 4,04 | 1,67 |
| 5 | 129,91 | 157,09 | 73,30 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 73,50 | 43,15 | | 14,35 | 17,35 | 2,01 | 1,18 |
| 6 | 101,35 | 172,89 | -22,88 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 57,34 | 47,49 | 0,107 | 10,88 | 18,56 | -0,51 | -0,42 |
| 7 | 64,96 | 172,92 | -19,37 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 36,75 | 47,50 | | 6,97 | 18,56 | -0,32 | -0,41 |
| 8 | 34,12 | 157,33 | -48,48 | 29,5 | 15,36 | 0,57 | 0,27 | 19,30 | 43,22 | | 3,77 | 17,37 | -0,52 | -1,17 |
| 9 | 4,41 | 126,57 | -58,84 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 34,77 | | 0,52 | 14,85 | 0 | -1,67 |
| 10 | 0,00 | 82,21 | -57,64 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 22,58 | | 0,00 | 10,74 | 0 | -1,69 |
| 11 | 0,00 | 27,31 | -29,90 | 0 | 15,36 | 0 | 0,27 | 0 | 7,50 | | 0,00 | 4,33 | 0 | -0,88 |
| | | | 354,56 | | | | | 754,06 | | | | | 23,29 | |

**Lanjutan Perhitungan Stabilitas Lereng Dengan *Slice Method* Kondisi *Rapid Drawdown*, T = 5.000 Th, k = 0,1070, Hilir**

| Pias | Te | Hw | | ɣ w | U | | U' | | U' Tg φ | | C | | L.C | | SF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (E I + E II) cos ø | Hw I | Hw II | | U I | U II | U' I | U' II | U' I Tg φ | U' II Tg φ | c I | c II | L.c I | L. c II | |
| | kN/m | m | m | kN/m³ | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m | kN/m² | kN/m² | kN/m | kN/m | |
| 1 | 4,47 | 2,36 | 0 | | 23,16 | 0 | 123,32 | 0 | 69,77 | 0 | 14,3 | 0 | 76,13 | 0 | |
| 2 | 14,85 | 4,42 | 0 | | 43,38 | 0 | 131,68 | 0 | 74,50 | 0 | 14,3 | 0 | 43,41 | 0 | |
| 3 | 23,26 | 4,18 | 2,10 | | 41,01 | 20,63 | 101,67 | 51,14 | 57,52 | 14,05 | 0 | 5,88 | 0 | 14,58 | |
| 4 | 29,28 | 2,89 | 4,20 | | 28,39 | 41,16 | 63,02 | 91,37 | 35,66 | 25,10 | 0 | 5,88 | 0 | 13,05 | |
| 5 | 30,71 | 2,62 | 4,90 | | 25,65 | 48,04 | 53,55 | 100,27 | 30,29 | 27,54 | 0 | 5,88 | 0 | 12,27 | |
| 6 | 29,34 | 2,29 | 5,22 | 2,977309 | 22,47 | 51,25 | 45,57 | 103,95 | 25,78 | 28,55 | 0 | 5,88 | 0 | 11,93 | 0,78 |
| 7 | 25,45 | 1,90 | 5,23 | | 18,62 | 51,28 | 37,76 | 103,99 | 21,36 | 28,57 | 0 | 5,88 | 0 | 11,92 | |
| 8 | 20,48 | 1,06 | 4,88 | | 10,38 | 47,91 | 21,65 | 99,91 | 12,25 | 27,44 | 0 | 5,88 | 0 | 12,26 | |
| 9 | 14,02 | 0 | 4,19 | | 0 | 41,08 | 0 | 91,09 | 0 | 25,02 | 0 | 5,88 | 0 | 13,04 | |
| 10 | 8,80 | 0 | 3,01 | | 0 | 29,50 | 0 | 73,01 | 0 | 20,05 | 0 | 5,88 | 0 | 14,55 | |
| 11 | 2,92 | 0 | 1,25 | | 0 | 12,31 | 0 | 37,23 | 0 | 10,23 | 0 | 5,88 | 0 | 17,79 | |
| | 203,58 | | | | | | | | 533,70 | | | | 240,93 | | |