

TESIS

**Analisis Pengaruh Beban Gempa dan Fluktuasi Muka
Air Terhadap Rembesan dan Deformasi Bendungan
Jatibarang**

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)



Oleh :

TOTTI ADITYA SUSANTO

NIM : 20202300037

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**Analisis Pengaruh Beban Gempa dan Fluktuasi Muka
Air Terhadap Rembesan dan Deformasi Bendungan
Jatibarang**

Disusun oleh :

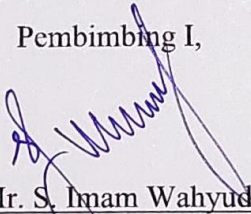
TOTTI ADITYA SUSANTO

NIM : 20202300037

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Tanggal, 5 Desember 2024

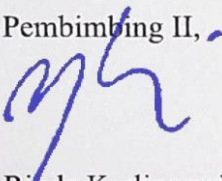
Pembimbing I,


Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA

NIK.210291014

Tanggal, 5 Desember 2024

Pembimbing II,


Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT

NIK.210297022

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**Analisis Pengaruh Beban Gempa dan Fluktuasi Muka Air
Terhadap Rembesan dan Deformasi Bendungan Jatibarang**

Disusun oleh :

TOTTI ADITYA SUSANTO

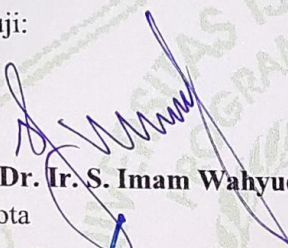
NIM : 20202300037

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :

22 November 2024

Tim Penguji:

1. Ketua


Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA

2. Anggota


Dr. Abdul Rochim, ST., MT

3. Anggota

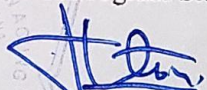

Dr. Rifqi Brilyant Arif, ST., MT

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, Desember 2024

Mengetahui,

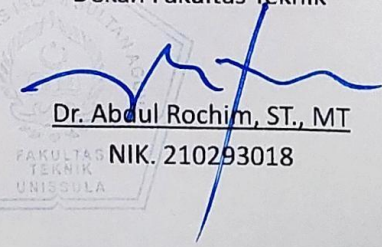
Ketua Program Studi


Prof. Dr. R. Antonius, MT

NIK. 210291014

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Rochim, ST., MT

NIK. 210293018

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ
أَمَّنْ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Artinya : “ Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makhruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik” (QS. Ali-Imron/3:110)

Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik. (Ali bin Abi Thalib)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis bisa menyelesaikan Tesis ini. Tesis ini Penulis persembahkan untuk:

1. Kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Agung Susanto dan Ibu Sri Muryani, atas cinta, kasih sayang, pengertian, kesabaran, dan doa yang tak ternilai, yang selalu menjadi fondasi utama dalam setiap langkah saya.
2. Kepada Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng, atas dukungan secara materiil dan non materiil, serta motivasi, bimbingan dan aura semangat yang tidak pernah padam yang diberikan selama proses penyusunan thesis.
3. Kepada adik tercinta saya Satrio Sakti Susanto, atas bantuan dan waktu yang diluangkan untuk mendukung penyelesaian tugas ini. Terima kasih atas kerja sama dan kontribusinya.
4. Kepada teman dan partner yang luar biasa saya Zoggy Ardi Eka S ST, atas kesediaannya membantu proses thesis ini dan menjadi partner yang luar biasa selama study S1 hingga S2 ini.
5. Kepada Pembimbing saya Prof Imam dan khusus untuk Bu Rinda Karlinasari dalam arahan yang selalu intens dan sabar dalam mengarahkan saya untuk penyelesaian thesis yang baik dan benar.

ABSTRAK

Bendungan merupakan Infrastruktur sipil terbesar di semua jenis infrastruktur lainnya. Bendungan memiliki berbagai macam fungsi salah satunya sebagai sarana penampungan air bagi masyarakat sekitar. Besarnya kapasitas tampungan air yang di tampung menjadi perhatian khusus untuk selalu dalam keadaan stabil atau aman. Salah satu bahaya yang paling mengancam bagi bendungan adalah terjadinya gempa yang dapat menjadi pemicu terjadinya kegagalan bendungan.

Analisis ini menggunakan bantuan program numerik dengan beberapa metode kombinasi untuk menggambarkan kondisi lapangan bendungan saat terjadi gempa dan sebelum terjadi gempa. Pemodelan bendungan menggunakan data parameter korelasi dengan menyesuaikan desain sebenarnya bendungan Jatibarang yang diambil dari instansi terkait. Ada 3 kondisi yang diambil pada penelitian ini yaitu kondisi MAN (Muka Air Normal), MAB (Muka Air Banjir) dan *Rapid Drawdown*. Penelitian ini difokuskan pada analisis rembesan sebelum dan setelah terjadinya gempa, faktor keamanan lereng sebelum dan sesudah gempa, serta deformasi pada arah x dan y setelah gempa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan (SF) tertinggi sebelum gempa terjadi pada kondisi Muka Air Bendungan (MAB) 1,628, dengan nilai ambang batas yang harus dipenuhi adalah $SF \geq 1,5$. Sementara itu, nilai SF tertinggi setelah gempa terjadi pada kondisi MAB 1,614, dengan nilai ambang batas yang harus dipenuhi adalah $SF \geq 1,1$. Pada kasus rembesan nilai rembesan cenderung rendah setelah terjadi gempa, diambil dari kasus kondisi MAN sebelum gempa kecepatan rembesan 1,09 l/det sedangkan setelah gempa 0,72 l/det. Deformasi yang terjadi setelah gempa nilai tertinggi deformasi arah x yang tercatat sebesar 0,54 m dan arah y 0,20 m semua terjadi pada kondisi MAB, deformasi masih tergolong aman karena tidak melebihi 50% tinggi jagaan bendungan.

Kata kunci: Bendungan Urugan, Gempa, Rembesan, Deformasi

ABSTRAC

Dams are the largest civil infrastructure in all other types of infrastructure. Dams have various functions, one of which is as a means of water storage for the surrounding community. The large capacity of the water reservoir that is accommodated becomes a special concern to always be in a stable or safe state. One of the most threatening hazards for dams is the occurrence of earthquakes that can trigger dam failure.

This analysis uses the help of a numerical program with several combination methods to describe the field conditions of the dam during an earthquake and before an earthquake. Dam modeling uses correlation parameter data by adjusting the actual design of the Jatibarang dam taken from related agencies. There are 3 conditions taken in this study, namely MAN (Normal Water Level), MAB (Flood Water Level) and Rapid Drawdown conditions. This research focused on the analysis of seepage before and after the earthquake, the safety factor of the slope before and after the earthquake, and the deformation in the x and y directions after the earthquake.

The results showed that the highest safety factor (SF) value before the earthquake occurred in the condition of the Dam Water Level (MAB) of 1.628, with the threshold value that must be met is $SF \geq 1.5$. Meanwhile, the highest SF value after the earthquake occurred in the MAB condition of 1.614, with the threshold value that must be met is $SF \geq 1.1$. In the case of seepage, the seepage value tends to be low after an earthquake, taken from the case of MAN conditions before the earthquake the seepage velocity was 1,09 l/det while after the earthquake it was 0,72 l/det. Deformation that occurred after the earthquake, the highest value of deformation in the x-direction recorded was 0.57m and the y-direction was 0.20m all occurring in the MAB condition, the deformation was still classified as safe because it did not exceed 50% of the dam's height.

Keyword: Embankment dam, earthquake, seepage, deformation

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: TOTTI ADITYA SUSANTO

NIM: 20202300037

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

**Analisis Pengaruh Beban Gempa dan Fluktuasi Muka Air Terhadap
Rembesan dan Deformasi Bendungan Jatibarang**

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 16 Oktober 2024



TOTTI ADITYA SUSANTO

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “**Analisis Pengaruh Beban Gempa dan Fluktuasi Muka Air Terhadap Rembesan dan Deformasi Bendungan Jatibarang**” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik program studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tesis ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktu dan saran selama penyusunan Tesis ini.
2. Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil.
4. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Magister Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada Penulis.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi Penulis juga bagi para Pembaca.

Daftar Isi

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
MOTTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRAC	vii
PERNYATAAN KEASLIAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Air.....	4
2.2 Tanah	4
2.2.1 Data Tanah.....	5
2.3 Bendungan Jatibarang.....	10
2.3.1 Pengendalian Mutu Bendungan Urugan.....	14
2.3.2 Tahapan Pembangunan Bendungan.....	14
2.3.3 Jenis-Jenis Kegagalan Bendungan.....	15
2.4 Deformasi	15
2.5 Rembesan.....	18

2.5.1 Jaringan (<i>Flow-net</i>).....	19
2.5.2 Debit Rembesan.....	20
2.5.3 Metode Penentuan Aliran Rembesan Air dengan <i>Piezometer</i>	21
2.5.4 Metode Penentuan Debit Rembesan.....	23
2.5.5 Metode Pengendalian Rembesan.....	27
2.6 <i>Fluktuasi</i> Muka Air bendungan.....	29
2.7 Kajian Hasil Penelitian Terdahulu.....	31
2.8 Sumarry Penelitian Terdahulu.....	34
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1 Bentuk Penelitian.....	35
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	35
3.3 Tahapan Penelitian.....	35
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	36
3.5 Metode Analisis Data.....	36
3.6 Alur Penelitian.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Perhitungan Simulasi Gempa Bendungan Jatibarang.....	38
4.1.1 Analisis Pemodelan Bendungan.....	38
4.1.2 Analisis Simulasi Rebesan Bendungan.....	38
4.1.3 Analisis Tegangan Tanah.....	45
4.1.4 Analisis Kondisi Gempa.....	51
4.1.5 Analisis <i>Safety Of Factor</i> Lereng.....	56
4.1.6 <i>Stagging</i> Analisis.....	60
4.2 Hasil Analisis aliran Rembesan Air.....	61
4.3 Hasil Analisis Gempa.....	73
4.4 Hasil analisis <i>Safety Of Factor</i> Lereng.....	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
6.1 Kesimpulan.....	83
6.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	84
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah	5
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Menurut USCS.....	6
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran (ASTM).....	7
Tabel 2.4 Kriteria dalam Penerimaan Debit Rembesan pada Bendungan Urugan Tanah.....	21
Tabel 2.5 Kriteria Rembesan yang Ditoleransi Pada Tubuh Bendungan	24
Tabel 2.6 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dalam Tesis ini Dengan Penelitian-Penelitian Sebelumnya.....	31
Tabel 4.1 Material Analisis Rembesan aliran Air	41
Tabel 4.2 <i>Input</i> Material Analisis Tegangan	48
Tabel 4.3 <i>Input</i> Material Analisis Gempa	54
Tabel 4.4 <i>Input</i> Material Analisis Lereng	58
Tabel 4.5 <i>Stagging</i> Analisi MAN	60
Tabel 4.6 <i>Stagging</i> Analisi MAB	60
Tabel 4.7 <i>Stagging</i> Analisi <i>Rapid Drawdown</i>	61
Tabel 4.8 Hasil Kesimpulan Rembesan Dari 3 Model	72
Tabel 4.9 Presentase Kehilangan Air Bendungan.....	72
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Analisis Rembesan	73
Tabel 4.11 Kesimpulan <i>Output</i> Deformasi Bendungan.....	72
Tabel 4.12 Hasil Analisis SF Bendungan Sebelum dan Sesudah Gempa.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Triaxial Cyclic</i>	9
Gambar 2.2 Bendungan Jatibarang.....	11
Gambar 2.3 Macam-macam Bendungan Urugan	13
Gambar 2.4 Deformasi Tanah.....	15
Gambar 2.5 Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan.....	17
Gambar 2.6 jaringan flow-net.....	19
Gambar 2.7 Jaringan arus pada sheet pile	20
Gambar 2.8 Alat <i>Piezometer</i>	21
Gambar 2.9 Zona Inti Kedap Air di Tengah	28
Gambar 3.1 Diagram alur	37
Gambar 4.1 Menu Utama SEEP/W	39
Gambar 4.2 Menentukan Skala dan Satuan.....	40
Gambar 4.3 Gambar CAD Bendungan Jatibarang	40
Gambar 4.4 Sketsa <i>polyline</i> gambar Bendungan Jatibarang	41
Gambar 4.5 <i>Input</i> parameter Analisis Rembesan	42
Gambar 4.6 <i>Input</i> Material WC.....	42
Gambar 4.7 Kotak dialog “ <i>Conductivity Function</i> ”	43
Gambar 4.8 Kotak dialog “ <i>Estimate Hydraulic Conductivity Function</i> ”	43
Gambar 4.9 <i>Draw</i> Material.....	44
Gambar 4.10 <i>Boundary Condition</i>	44
Gambar 4.11 <i>Define Boundary Condition</i>	45
Gambar 4.12 <i>Solve Manager</i>	45
Gambar 4.13 <i>Define Project</i>	46
Gambar 4.14 menentukan skala dan satuan.....	47
Gambar 4.15 Gambar CAD Bendungan Jatibarang	47
Gambar 4.16 Sketsa <i>polyline</i> gambar Bendungan Jatibarang	48
Gambar 4.17 <i>Define Material</i>	49
Gambar 4.18 <i>Draw Material</i>	49
Gambar 4.19 <i>Draw Initial Water Table</i>	50
Gambar 4.20 Pemodelan <i>Water Table SIGMA/W</i>	50
Gambar 4.21 <i>Boundary Condition</i>	50

Gambar 4.22 <i>Define Analysis</i>	51
Gambar 4.23 <i>Define Analysis (Setting)</i>	52
Gambar 4.24 Penentuan <i>Initial Stress Condition From</i>	53
Gambar 4.25 <i>Import file SIGMA/W</i>	53
Gambar 4.26 <i>import data gempa</i>	54
Gambar 4.27 <i>Define Material</i>	55
Gambar 4.28 <i>Draw Material</i>	55
Gambar 4.29 <i>Boundary Condition</i>	56
Gambar 4.30 <i>Define Analysis</i>	57
Gambar 4.31 <i>Setting dan Slip Surface SLOPE/W</i>	57
Gambar 4.32 <i>Define Analysis SLOPE/W</i>	58
Gambar 4.33 <i>Draw analysis SLOPE/W</i>	59
Gambar 4.34 <i>Draw Slip Surface</i>	59
Gambar 4.35 <i>Solver Manager</i>	60
Gambar 4.36 Kontur Tekanan Air Pori Sebelum Gempa Kondisi <i>Steady State</i> MAN	61
Gambar 4.37 Kontur Tekanan Air Pori Sesudah Gempa Kondisi MAN	62
Gambar 4.38 <i>Water total head</i> sebelum gempa kondisi <i>steady state</i> MAN.....	62
Gambar 4.39 <i>Water total head</i> sesudah gempa kondisi MAN	62
Gambar 4.40 Besarnya Debit Rembesan sebelum gempa pada kondisi Muka Air Normal	63
Gambar 4.41 Besarnya Debit Rembesan Sesudah Gempa Pada Kondisi Muka Air Normal.....	64
Gambar 4.42 Kontur Tekanan Air Pori Sebelum Gempa Kondisi <i>Steady State</i> MAB	65
Gambar 4.43 Kontur tekanan air pori setelah gempa kondisi MAB	65
Gambar 4.44 <i>Water total head</i> sebelum gempa kondisi <i>steady state</i> MAB	66
Gambar 4.45 <i>Water total head</i> setelah gempa kondisi MAB	66
Gambar 4.46 Besarnya Debit Rembesan sebelum gempa pada kondisi Muka Air Banjir	67
Gambar 4.47 Besarnya Debit Rembesan sesudah gempa pada kondisi Muka Air Banjir	67

Gambar 4.48 Kontur tekanan air pori sebelum gempa kondisi <i>steady state rapid Drawdown</i>	69
Gambar 4.49 Kontur tekanan air pori setelah gempa kondisi <i>drawdown</i>	69
Gambar 4.50 <i>Water total head</i> sebelum gempa kondisi <i>rapid drawdown</i>	69
Gambar 4.51 <i>Water total head</i> setelah gempa kondisi <i>rapid drawdown</i>	70
Gambar 4.52 Besarnya Debit Rembesan sebelum gempa pada kondisi <i>rapid Drawdown</i>	70
Gambar 4.53 <i>Water Total Head</i> Setelah Gempa Kondisi <i>Rapid Drawdown</i>	71
Gambar 4.54 <i>output</i> kontur deformasi x kondisi MAN.....	74
Gambar 4.55 <i>output</i> kontur deformasi x kondisi MAB.....	74
Gambar 4.56 <i>output</i> kontur deformasi nt x kondisi <i>rapid drawdown</i>	74
Gambar 4.57 Grafik deformasi-x vs <i>time</i> MAN	75
Gambar 4.58 Grafik deformasi-x vs <i>time</i> MAB	75
Gambar 4.59 Grafik deformasi-x vs <i>time rapid drawdown</i>	76
Gambar 4.60 <i>output</i> kontur deformasi Y kondisi MAN.....	76
Gambar 4.61 <i>output</i> kontur deformasi Y kondisi MAB.....	77
Gambar 4.62 <i>output</i> kontur deformasi Y kondisi <i>rapid drawdown</i>	77
Gambar 4.63 Grafik deformasi-y vs <i>time</i> MAN	78
Gambar 4.64 Grafik deformasi-y vs <i>time</i> MAB	78
Gambar 4.65 Grafik deformasi-y vs <i>time rapid drawdown</i>	79
Gambar 4.66 SF bendungan sebelum gempa kondisi MAN	80
Gambar 4.67 SF bendungan sebelum gempa kondisi MAB.....	80
Gambar 4.68 SF bendungan sebelum gempa kondisi <i>rapid drawdown</i>	80
Gambar 4.69 SF bendungan sesudah gempa kondisi MAN.....	81
Gambar 4.70 SF bendungan sesudah gempa kondisi MAB	81
Gambar 4.71 SF bendungan sesudah gempa kondisi <i>rapid drawdown</i>	81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bendungan merupakan salah satu infrastruktur vital yang berfungsi sebagai pengendali banjir, penyedia air irigasi, dan sumber air baku di wilayah sekitarnya. Dengan kapasitas yang besar, bendungan juga berperan dalam penyediaan energi listrik melalui pembangkit listrik tenaga air. Keberhasilan operasional bendungan ini sangat bergantung pada kemampuan struktur untuk menahan tekanan air dan mengelola rembesan yang terjadi.

Bendungan Jatibarang menggunakan pembangunan tipe urugan batu ber zona ke tengah dengan tinggi 77 m, panjang 200 m, elevasi puncak 157 m, lebar puncak 10 m, luas permukaan waduk 1,1 km², daerah tangkapan air 54 km² dan memiliki total daya tampung sir sebesar 20,4 juta m³. Bertempat di Jl. Moch Ihsan, Kedungpane, Kec. Mijen, Kota Semarang, Jawa Tengah 50211.

Fluktuasi muka air di dalam bendungan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama intensitas dan durasi hujan. Peningkatan curah hujan dapat menyebabkan peningkatan volume air di dalam bendungan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan tekanan pada struktur bendungan dan mempengaruhi pola rembesan. Rembesan yang tidak terkendali dapat mengarah pada kerusakan struktur bendungan, menurunkan stabilitas, dan meningkatkan risiko terjadinya kegagalan bendungan.

Rembesan pada bendungan Jatibarang menjadi penting mengingat bendungan ini berada di wilayah dengan curah hujan yang cukup tinggi, terutama pada musim hujan. Fluktuasi muka air yang meningkat secara signifikan akibat dari hujan yang deras yang dapat memicu perubahan pola rembesan yang perlu diidentifikasi dan dianalisis untuk memastikan keamanan dan stabilitas bendungan.

Faktor *external* lain selain hujan yang bisa terjadi pada bendungan adalah akibat gempa yang bisa terjadi kapanpun untuk mengguncang stabilitas bendungan. Jika bendungan tidak mampu menahan gempa, berbagai dampak serius dapat terjadi. Struktur yang tidak tahan gempa berisiko mengalami kerusakan fisik, yang dapat menyebabkan penurunan stabilitas, rembesan air yang tidak terkendali,

hingga potensi jebolnya bendungan. Hal ini tidak hanya membahayakan fungsi bendungan itu sendiri, tetapi juga berisiko menimbulkan kerugian besar bagi lingkungan dan masyarakat di sekitarnya.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh fluktuasi muka air bendungan dan gempa terhadap aliran rembesan air, deformasi dan nilai SF lereng di Bendungan Jatibarang. Penelitian ini dibantu dengan *software* Geoteknik untuk memudahkan dalam perhitungan dan memvisualisasikan kondisi gempa di Bendungan Jatibarang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan keselamatan dan efisiensi operasional Bendungan Jatibarang serta menjadi referensi bagi pengelolaan bendungan lainnya di wilayah dengan kondisi serupa.

1.2. Rumusan Masalah

Dari Latar belakang diatas didapat rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh fluktuasi muka air bendungan terhadap rembesan bendungan?
2. Bagaimana pengaruh gempa terhadap keamanan rembesan, deformasi dan stabilitas bendungan?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyimpulkan hasil analisis pengaruh fluktuasi muka air bendungan terhadap rembesan bendungan.
2. Mengkalkulasi dan memahami pengaruh gempa terhadap keamanan rembesan, deformasi dan stabilitas bendungan sesuai SNI 8064:2016.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah guna membatasi penelitian untuk mendapatkan hasil yang efektif dan maksimal:

1. Penelitian ini dilakukan di Bendungan Jatibarang.
2. Penelitian menggunakan perangkat lunak.
3. Penelitian ini tidak mempertimbangkan analisa dampak lingkungan.

4. Penelitian ini tidak menganalisis mitigasi keamanan Jatibarang.
5. Penelitian ini melibatkan badan institusi pemerintah BBWS Pemali Juana.

1.5. Manfaat Penelitian

Kegunaan penelitian ini untuk mengkaji kelayakan Bendungan Jatibarang jika terjadi gempa untuk keamanan masyarakat sekitar Bendungan Jatibarang. Hal tersebut guna menambah keyakinan rasa aman bagi masyarakat sekitar. Penelitian ini juga bertujuan untuk menjadi rujukan penelitian selanjutnya dan pemerintah untuk menentukan mitigasi yang baik untuk Bendungan Jatibarang.

1.6. Sistematika Penulisan

Penyusunan Laporan Tesis ini terdiri dari 5 BAB, Dimana masing masing BAB terdiri dari:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika Penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka sistematis bendungan secara umum serta tentang hal-hal yang berkaitan dengan penelitian dalam laporan tesis ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang bentuk penelitian, jenis dan sumber data, teknik analisis dan diagram alur penelitian.

BAB IV : PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini berisi tentang pengolahan data, pemodelan serta pembahasan mengenai penelitian yang dilakukan

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air

“Dalam pengertiannya air merupakan sumber kehidupan yang mutlak diperlukan untuk semua makhluk hidup, namun jika tidak dikelola dengan benar air bisa menjadi bencana” (Setyadi et al., 2023 a). Semarang merupakan salah satu kota yang memiliki bencana banjir terbesar di Indonesia. Air merupakan faktor terpenting dalam kehidupan masyarakat dalam pertanian, kehidupan bahkan ekonomi.

“Infrastruktur keairan adalah sangat penting karena merupakan bagian dari system infrastruktur yang mendukung system ekonomi dan system sosial sekaligus sebagai kerangka landasan kedua system itu dalam keseimbangan yang harmoni dengan alam lingkungan (Ismijayanti et al., 2023). Tidak hanya sebagai infrastruktur air juga dapat sebagai bahan energi bagi masyarakat untuk mendapatkan energi Listrik yang sangat bermanfaat bagi masyarakat. Dalam menciptakan energi air berperan untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan energi dan menyimpannya di generator.

2.2. Tanah

Dalam pengertian Teknik secara umum, tanah merupakan material yang terdiri dari agregat mineral padat (butiran) yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) dan dari bahan-bahan organik yang sudah melapuk (berpartikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel padat tersebut (Das, 1995). Tanah digunakan sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Selain itu, tanah juga berfungsi sebagai pendukung pondasi dari bangunan.

2.2.1. Data Tanah

A. Klasifikasi tanah

Ukuran dari partikel tanah sangat beragam dan bervariasi. Berdasarkan ukuran partikel yang dominan, tanah dapat diklasifikasikan sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*).

Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,075	0,05 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 - 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0,0075.	

Sumber: (Das, 1995)

B. Tes Boring

Bore log merupakan suatu pengujian tanah untuk melihat lapisan tanah pendukung yang dilakukan secara visual dan mengambil sampel tanah hingga kedalaman yang diinginkan dengan menggunakan mesin bor.

Pengujian ini digunakan untuk mendeskripsikan dan mengklasifikasikan tanah serta digunakan sebagai bahan pengujian laboratorium.

C. Uji SPT (*Standard Penetration Test*)

SPT adalah suatu metode uji yang dilakukan bersamaan dengan pengujian *borelog*. Pengujian SPT dilaksanakan tiap interval 2 meter.

Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Menurut USCS

Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (terahan saringan no. 4 (4,75 mm))	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm))	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
Pasir bersih kandungan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
		SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm))	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung	<p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas atterberg yang termasuk dalam daerah yang arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$</p>	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')		
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.		
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan organik tinggi		Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488		

Sumber: (Hardiyatmo, 2002)

D. Sieve Analys dan Hydrometer Test

Uji saringan (*grain size analysis*) dilakukan dengan cara menyaring untuk jenis tanah berbutir kasar. Tanah benda uji disaring menggunakan satu set saringan standar. Berat tanah yang tersisa dalam setiap saringan ditimbang. Dihitung persentase terhadap berat kumulatif tanah.

Sedangkan untuk menguji tanah berbutir halus, dilakukan uji hidrometri, yang ditentukan dengan fiksasi butiran dalam larutan tersuspensi (sedimentasi). Untuk tanah dengan butiran yang lebih kecil akan mengendap lebih lama, sedangkan butiran yang lebih besar akan mengendap lebih cepat di dalam suspensi.

Tabel 2.3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran

(ASTM)

No	Ukuran Butiran (mm)	Jenis Tanah
1	<0,0020	Clay (Lempung)
2	0,0020 – 0,0074	Silt (Lanau)
3	0,0074 – 4,7500	Sand (Pasir)
4	>4,7500	Gravel (Kerikil)

(Sumber: Das, 1995)

E. Atterberg Limits

Penentuan batas-batas *Atterberg* meliputi:

- Batas susut (*shrinkage limit*), merupakan batas kadar air dimana tanah dengan nilai kadar air dibawahnya tidak akan menyusut (tidak berubah volume).
- Batas plastis (*plastic limit*), merupakan kadar air terendah dimana tanah dengan nilai kadar air terendah mulai bersifat plastis.
- Batas cair (*liquid limit*), merupakan kadar air tertentu yang sifatnya berubah dari kondisi plastis ke cair.
- Indeks plastisitas (*plasticity index*), merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis dan tanah masih bersifat plastis.

F. *Index Properties*

Uji *index properties* tanah dilakukan pada beberapa sampel tanah untuk menentukan jenis tanah dan sifat fisik-mekanik tanah. Uji ini dilakukan dengan tujuan untuk memeriksa sampel tanah yang diambil dari lapangan yang meliputi:

- a. Kadar air (*water content*) yaitu persentase berat air suatu tanah terhadap berat tanah keringnya.
- b. Berat jenis butir (G_s) dan berat volume butir (γ_s). Berat jenis butir adalah perbandingan antara berat butiran tanah dan berat air sulingan dalam volume yang sama dan suhu tertentu.
- c. Berat volume tanah (γ) ada dua, yaitu berat volume tanah basah (γ_b) dan berat tanah kering (γ_k).
- d. Angka pori (*void ratio*) merupakan membandingkan antara isi pori dan isi butir tanah.
- e. Kadar pori (*porosity*) adalah membandingkan antara isi pori dan isi tanah seluruhnya.
- f. Berat isi jenuh tanah (γ_{sat}) merupakan membandingkan berat tanah jenuh dan isi tanah jenuh.
- g. Berat isi celup tanah (γ_{sub}) merupakan suatu harga berat isi jenuh dikurang dengan berat isi air.

G. *Unconfined Compression Strength Test*

Kuat tekan bebas merupakan nilai tegangan *axial* pada gaya maksimum yang dapat ditahan pada suatu benda sebelum mengalami kerusakan/keretakan oleh gaya tekan.

H. *Triaxial Test*

Dalam uji tekan *triaxial* konvensional, benda uji silinder dibungkus dengan membran karet dan ditempelkan dalam sel *triaxial* dimana sampel diberi tekanan fluida. Beban *axial* kemudian diterapkan dan ditingkatkan, hingga keruntuhan terjadi. *Triaxial* sangat berguna pada struktur atau bangunan yang dirancang untuk tahan gempa. Uji ini digunakan untuk

berbagai material yang berkaitan *cyclic* seperti *damping ratio*, *Steady state strength*, *Recoverable modulus function*, *MFS pore-water pressure function*, C' dan ϕ' .



Gambar 2.1 *Triaxial Cyclic*

Uji geser *triaxial* merupakan pengujian yang paling andal untuk menentukan parameter tegangan geser tetapi lebih mahal dan membutuhkan waktu cukup lama. Pengujian ini ada tiga jenis yaitu:

- a. Pengujian *consolidated drained*
- b. Pengujian *consolidated underdrained*
- c. Pengujian *unconsolidated underdrained*

I. *Direct Shear Test*

Uji geser langsung adalah pengujian yang menggunakan alat uji geser yang berbentuk lingkaran/bulat atau persegi panjang dengan menerapkan gaya normal (P) pada bagian atas kotak dan gaya horizontal (F) pada bidang horizontal. Beban yang diterapkan pada alat menyebabkan tekanan pada lantai. Tegangan ini berupa tegangan utama yang besar (*major principal stress*) dan tegangan utama yang kecil (*minor principal stress*) yang dapat menimbulkan tegangan geser pada tanah yang membentuk sudut terhadap bidang gesernya. Sedangkan tegangan utama sedang (*intermediate principal stress*) tetap bekerja secara merata di semua sisi, tetapi tidak diperhitungkan karena tidak menyebabkan deformasi. Pada kontribusi pembangunan bendungan *direct shear* sangat dibutuhkan untuk menentukan ϕ' dan C' material bendungan. Parameter tersebut sangat berpengaruh pada *stability* lereng bendungan.

J. Uji *Sand Cone*

Uji *Sand Cone* adalah tes tingkat kepadatan tanah yang dilakukan di lokasi dengan menggunakan pasir Ottawa sebagai tingkat probabilitas kepadatan tanah. Uji sand cone bertujuan untuk menentukan tingkat kepadatan tanah di lapangan dan kepadatan relatif tanah (%) terhadap kepadatan tanah dari hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium atau hasil pemadatan kompaksi berdasarkan ketentuan di ASTM D-1556 dan SNI 03-2828-1992. Uji sand cone menggunakan pasir Ottawa yang memiliki berat jenis tetap dalam kondisi apapun. Maka dari itu material pasir Ottawa dijadikan sebagai material untuk mengukur tingkat kepadatan di lapangan (Setyadi et al., 2023b). Hasil uji ini sangat penting bagi pembangunan bendungan untuk mengetahui berat jenis material tanah di setiap bagian bendungan.

2.3. Bendungan Jatibarang

Menurut Peraturan Menteri PUPR RI Nomor 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan dijelaskan bahwa Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, dan beton, yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Bendungan Jatibarang bukan hanya sebagai mitigasi bencana banjir tapi juga sebagai penyedia sumber air permukaan bagi masyarakat sekitar, sumber air permukaan berupa sungai, waduk dan danau (Watervoorziening, 2004).

Bendungan Jatibarang dibangun sejak tahun 15 Oktober 2009 hingga 5 Mei 2014, lalu bendungan diresmikan pada tanggal 11 Januari 2015 oleh Direktur Jenderal Sumber Daya Air, Mudjiadi. Bendungan Jatibarang merupakan bendungan pertama yang beroperasi di era Kabinet Kerja Presiden Jokowi. Pembangunan bendungan ini dimulai pada Oktober 2009 dan selesai pada 5 Mei 2014. Bendungan

ini dibangun dengan biaya Rp 655 miliar dari pembiayaan Japan International Cooperation Agency (JICA).

Bendungan Jatibarang memiliki luas genangan 189 hektar dan volume tampung total 20,4 juta m³. Bendungan Jatibarang merupakan infrastruktur sipil yang dibangun oleh pemerintah berfungsi sebagai mitigasi bencana banjir, pemasok air baku hingga pembangkit listrik. Bendungan Jatibarang membentang sepanjang 200m dengan tinggi elv 157m bertempat diatas batuan keras di wilayah kecamatan Gunungpati kota Semarang.



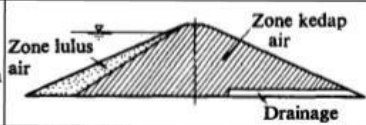
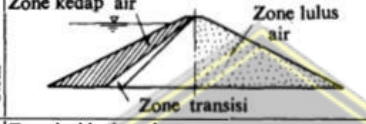
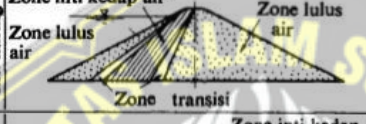
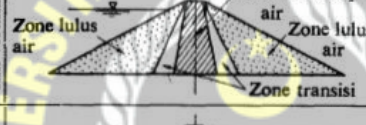

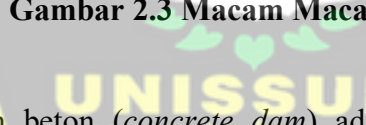
Gambar 2.2 Bendungan Jatibarang

Bendungan Jatibarang merupakan contoh nyata sebagai infrastruktur yang sangat menguntungkan bagi masyarakat sekitar. Banyak keuntungan yang dapat diambil dari adanya bendungan Jatibarang dari sektor pariwisata, tersedianya air bersih yang melimpah, sebagai bangunan pengendali banjir, tempat mata pencaharian sebagai nelayan dan banyak hal lainnya. MenurutClick or tap here to enter text.dalam tipenya bendungan memiliki banyak macam sebagai berikut

1. Tipe bendungan berdasarkan pembangunannya:
 - a. Bendungan dengan tujuan tunggal (*single purpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya II-2 untuk pembangkit tenaga listrik, irigasi, pengendali banjir, atau tujuan lainnya tetapi hanya untuk satu tujuan saja.

- b. Bendungan serbaguna (*multipurpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya: Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan irigasi, pengendali banjir dan PLTA, air minum dan irigasi, dan lain sebagainya.
2. Tipe bendungan berdasarkan penggunaannya:
 - a. Bendungan penampung air (*storage dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan, termasuk dalam bendungan penampung adalah tujuan rekreasi, perikanan, pengendali banjir, dan lain-lain.
 - b. Bendungan pembelok (*diversion dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk meninggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air ke dalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan.
 - c. Bendungan penahan (*detention dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seminimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Air ditampung secara berkala/sementara, dialirkan melalui pelepasan (*outlet*). Air ditahan selama mungkin dan dibiarkan meresap di daerah sekitarnya.
 3. Tipe bendungan berdasarkan jalannya air:
 - a. Bendungan untuk dilewati air (*overflow dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk dilimpasi air pada bangunan pelimpah (*spillway*).
 - b. Bendungan untuk menahan air (*non overflow dam*) adalah bendungan yang sama sekali tidak boleh dilimpasi air.
 4. Tipe bendungan berdasarkan material pembentuknya:
 - a. Bendungan urugan (*rock fill dam, embankment dam*) adalah bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan (*material*) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimiawi, jadi betul-betul bahan pembentuk bangunan asli. Bendungan ini masih dibagi lagi menjadi dua yaitu bendungan urugan serba sama II-3 (*homogeneous dam*) adalah bendungan apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan mempunyai gradasi (susunan ukuran butiran) hampir seragam. Kedua adalah bendungan zonal, adalah bendungan apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari

batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan pelapisan tertentu. Ketiga adalah Bendungan urugan digolongkan dalam tipe sekat (*facing*) jika kemiringan hulu dari tubuh bendungan dipasang dengan sekat kedap air, misalnya, lembaran baja tahan karat, beton aspal, lembaran beton bertulang, hamparan plastik, susunan beton blok, dan lain-lain.

Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Tirai		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
Bendungan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Bendungan Inti miring		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Bendungan Inti vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan Sekat		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll nya.

Gambar 2.3 Macam Macam Bendungan Urugan

- b. Bendungan beton (*concrete dam*) adalah bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya ramping. Bendungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu bendungan beton berdasarkan berat sendiri stabilitas tergantung pada massanya, bendungan beton dengan penyangga (*butterss dam*) dimana permukaan hulu menerus dan hilirnya pada jarak tertentu ditahan, bendungan berbentuk lengkung serta bendungan beton kombinasi.

2.3.1. Pengendalian Mutu Bendungan Urugan

Pekerjaan timbunan pada bendungan urugan tipe zonal misalnya, Bendungan Randugunting dipisahkan menjadi pekerjaan bendungan utama, pekerjaan bendung pengelak hulu dan pekerjaan bendung pengelak hilir. Dalam pekerjaan timbunan ini membutuhkan banyak material timbunan dengan kualitas yang baik, mengingat dalam rencana proyek pembangunan Bendungan Randugunting digunakan berbagai macam material timbunan yang dipisahkan menjadi beberapa zona, sebagai berikut:

- Area inti kedap air (Zona 1)
- Area filter halus (Zona 2)
- Area transisi atau filter kasar (Zona 3)
- Area timbunan tanah random (Zona 4)
- Area riprap atau bati pilihan (Zona 5)

2.3.2. Tahapan Pembangunan Bendungan

Pada saat proses pembangun suatu bendungan dilakukan proses – proses sebagai berikut:

1. Pembangunan *diversion channel* yang ada di sebelah sungai. *Divesion channel* berfungsi untuk menampung aliran air sungai selama proses pembangunan bendungan.
2. Proses pengeringan daerah pembangunan bendungan melalui proses *dewatering*.
3. Lalu dimulai proses penggalian untuk pondasi bendungan. Kemudian dilanjutkan dengan *finishing* permukaan batuan dengan membersihkan semua *loose* material dan menutup permukaannya dengan *splash grouting*. *Splash grouting* adalah campuran semen pasir dan air yang disiramkan kepermukaan batuan.
4. Setelah proses penggalian selesai dilanjut dengan pekerjaan pembuatan pondasi bendungan. Yang dilanjut dengan pekerjaan beton pada tubuh bendungan, kolam olakan, dan *piers* juga kolom.

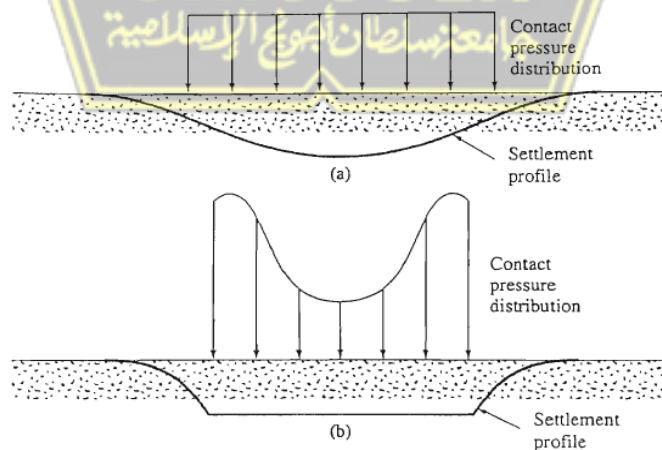
2.3.3. Jenis-jenis Kegagalan Bendungan

Pada kasus kegagalan bendungan terdapat banyak macam menurut penyebab dari kegagalan bendungan tersebut. Bendungan urugan termasuk jenis bendungan yang memiliki banyak macam permasalahan karena parameter nya yang dapat berubah dengan mudah tergantung beban atau aliran air di dalam bendungan. Berikut beberapa macam jenis kegagalan bendungan urugan:

- Deformastion
- Rembesan Bendungan
- Kegagalan lereng
- Erosi/Piping

2.4. Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (Andriyani et al., 2012). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif). Menurut Terzaghi (1943), metode konsolidasi satu dimensi adalah pendekatan yang paling umum digunakan untuk menganalisis deformasi tanah.



Gambar 2.4 Deformasi Tanah

Deformasi tanah akibat konsolidasi terjadi ketika air pori dalam tanah dilepaskan, sehingga beban yang diterima tanah sepenuhnya ditahan oleh partikel tanah. Dalam metode ini, deformasi tanah dianggap hanya terjadi dalam satu arah, yaitu arah vertikal. Akibatnya, perhitungan deformasi tanah cenderung lebih besar dibandingkan dengan deformasi yang sebenarnya terjadi di lapangan, karena di lapangan deformasi terjadi dalam berbagai arah, bukan hanya vertikal. Seperti halnya bendungan-bendungan lain, Bendungan Jatibarang-pun rawan dari deformasi yang disebabkan oleh berbagai muatan-muatan dan gaya-gaya diantaranya berat bendungan sendiri, tekanan pori, tekanan hidrostatik, dan faktor pengaruh lainnya.

Ketika suatu batuan mengalami peningkatan gaya tegangan maka akan terjadi tiga tahapan:

1. Deformasi elastis (*elastic deformation*) terjadi apabila sifat gaya tariknya dapat berbalik (*reversible*), kembali seperti semula. II-8
2. Deformasi lentur (*ductile deformation*) terjadi apabila sifat gaya tariknya tidak dapat kembali lagi (*irreversible*) mengakibatkan perubahan bentuk dan volume secara permanen, sehingga bentuknya berlainan dengan bentuk semula.
3. Retakan/rekahan (*fracture*), deformasi yang melampaui batas elastis karena sifat gaya tariknya yang tidak kembali lagi sehingga batuan pecah/retak.

Ada dua sifat deformasi, yaitu:

1. Sifat elastik, yaitu suatu materi yang mengalami deformasi akan kembali ke bentuk semula setelah gaya deformasinya tidak bekerja lagi pada materi tersebut.
2. Sifat plastik, yaitu suatu materi yang mengalami deformasi tidak akan kembali ke bentuk semula setelah terdeformasi karena efek-efek yang terjadi menempel pada materi tersebut.

Untuk mengetahui terjadinya deformasi pada suatu tempat diperlukan suatu survei, yaitu survei deformasi dan geodinamika. Survei deformasi dan geodinamika sendiri adalah survei *geodetic* yang dilakukan untuk mempelajari fenomena-fenomena deformasi dan geodinamika. Fenomena-fenomena tersebut terbagi atas dua, yaitu fenomena alam seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung api, dan lain-lain. Fenomena yang lain adalah fenomena manusia seperti bangunan,

jembatan, bendungan, permukaan tanah, dan sebagainya. Dalam menghitung besarnya deformasi suatu lapisan tanah, maka diperlukan beberapa parameter. Berikut ini parameter-parameter perhitungan deformasi konsolidasi primer sebagai berikut.

1. Tegangan Overburden Efektif (P_o)

Winner (2017) dalam Satindra (2018) menyatakan bahwa “tegangan overburden efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau”. Tegangan overburden efektif dapat dihitung dengan Persamaan 2.1.

$$P_o = \gamma' \times H \dots\dots\dots 2.1$$

dengan :

- P_o = Tegangan overburden efektif,
- γ' = Berat volume tanah efektif, dan
- H = Tebal lapisan tanah.

2. Distribusi Tegangan Tanah (ΔP)

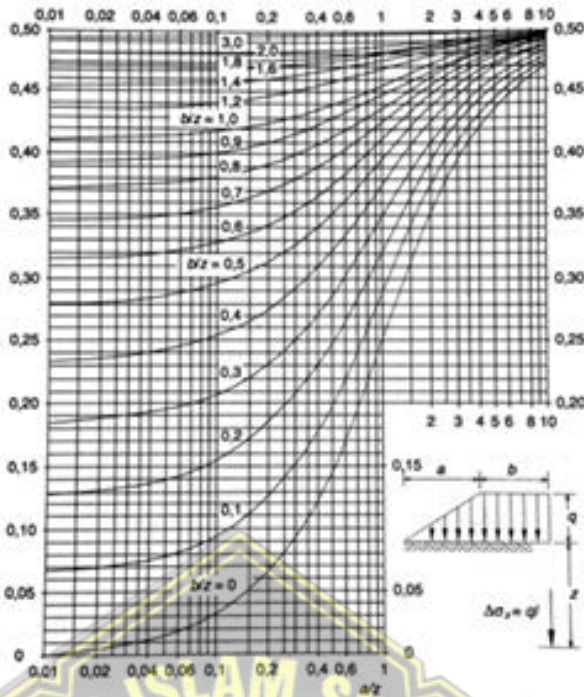
Winner (2017) dalam Satindra (2018) menyatakan bahwa “distribusi tegangan tanah merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban tambahan 16 di atas tanah yang ditinjau di tengah-tengah lapisan”. Distribusi tegangan tanah dapat dihitung dengan Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4.

$$\Delta P = 2 \times q_o \times I \dots\dots\dots 2.2$$

$$Q_o = \gamma_{\text{timbunan}} \times H \dots\dots\dots 2.3$$

dengan:

- ΔP = Tambahan tegangan vertikal,
- q_o = Beban timbunan,
- γ_{timbunan} = Berat volume tanah timbunan,
- H = Tinggi timbunan Preloading, dan
- I = Faktor pengaruh, perhitungan dengan melihat Gambar 3.1.



Gambar 2.5 Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan (Osterberg, 1957)
(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

3. Indeks kompresi tanah (C_c)

Terzaghi dan Peck (1967) dalam Barimbing (2017) menyarankan pemakaian persamaan empiris untuk menghitung indeks pemampatan pada lempung yang struktur tanahnya tidak terganggu atau belum rusak (*undisturbed*). Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.4.

$$C_c = 0,009 \times (LL-10) \dots \dots \dots 2.4$$

dengan:

C_c = Indeks kompresi tanah, dan

LL = Batas cair

2.5. Rembesan

Pada pembangunan bendungan urugan tanah dan timbunan batu harus terhindar dari masalah rembesan atau erosi internal di dalam bendungan maupun pondasi. Faktor yang paling berpengaruh pada rembesan bendungan adalah nilai *permeability* parameter bendungan. Dalam penelitian Lab. Mekanika Tanah nilai K (*permeability*) bisa diperoleh dari uji *permeability* tanah. Garis *phreatic* sebagai garis batas kejenuhan pada struktur tubuh bendungan. Garis *phreatic* akan

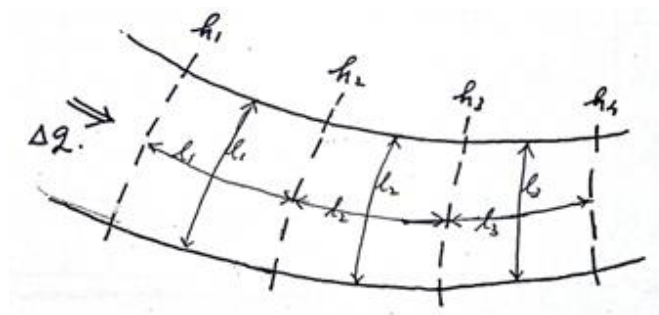
memisahkan daerah yang mengalami rembesan dengan daerah yang tidak mengalami rembesan.

Pada analisa rembesan memiliki banyak cara untuk mengetahui berapa besar rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan. Rembesan biasanya terjadi karena adanya regangan yang cukup tinggi antar butiran tanah dengan ditambah adanya tekanan beban yang besar dari air yang mendorong tanah. Pada kondisi tersebut maka akan membuat tanah akan memiliki rongga dan membuat air masuk ke sela sela butiran tanah. Semua jenis tanah dapat dilalui air melalui pori – pori tanah. Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air mengalir lewat rongga pori (Azmeri et al., 2013). Semakin tinggi tingkat kepadatan tanah, maka semakin kecil nilai koefisien permeabilitas dan debit rembesan yang dihasilkan.

Pada kondisi di lapangan bendungan ada beberapa cara untuk menentukan rembesan di tubuh bendungan. Rembesan bendungan yang masuk dan tertampung dihitung di alat pengukur rembesan *V-notch* dan mengetahui debit rembesan bendungan, nilai rembesan bendungan tidak boleh lebih 0,05% *gross storage* bendungan.

2.5.1. Jaringan (*Flow-net*)

Garis aliran adalah suatu garis sepanjang mana butir– butir air akan bergerak dari bagian hulu kebagian hilir sungai melalui media tanah yang tembus air (permeable). Garis sepanjang mana partikel bergerak dari hulu ke hilir melalui bahan tanah *permeabel* disebut juga dengan garis aliran. Garis yang tinggi potensialnya sama di semua titik pada garis tersebut merupakan garis *eksponensial*. Berdasarkan hukum darcy:



Gambar 2.6 jaringan flow-net (Darcy, 1856)

$$q = k.i.A \dots\dots\dots 2.5$$

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} \dots\dots\dots 2.6$$

$$\Delta h = \frac{h}{N_d} \dots\dots\dots 2.7$$

$$i = \frac{h_1 - h_2}{b_1} \dots\dots\dots 2.8$$

$$\Delta q = kh \frac{N_q}{N_d} \dots\dots\dots 2.9$$

dengan:

A= luas penampang basah

K= koefisien permeabilitas

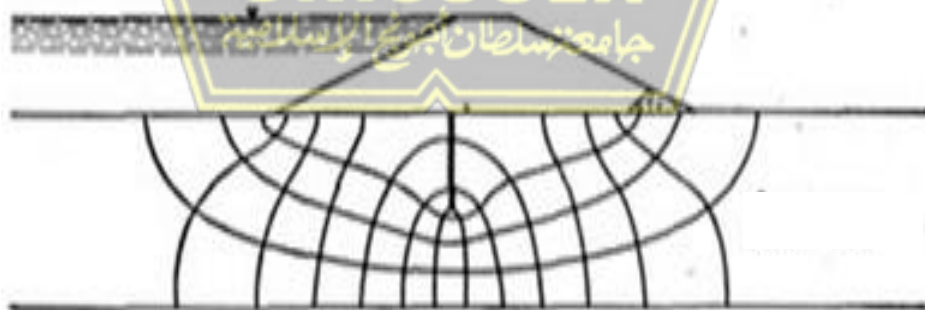
I= gradien hidrolis

$$= h/L$$

N_f = jumlah jalur aliran

N_d = jumlah deformasi garis ekuipotensial

Jadi jika piezometer ditempatkan pada beberapa titik berbeda di sepanjang garis eksponensial, air akan naik ke ketinggian yang sama di setiap piezometer. Sebagai aturan, merancang jaringan aliran harus dicoba beberapa kali. Dan selama mendesain jaringan aliran, perlu mempertimbangkan kondisi batas



Gambar 2.7 Jaringan arus pada sheet pile

2.5.2. Debit Rembesan

Debit rembesan pada tubuh bendungan memiliki beberapa kriteria penerimaan untuk mencegah adanya kebocoran bendungan yang bisa menyebabkan

terbawa nya material-material halus yang nantinya mengakibatkan gagal nya stabilitas pada tubuh bendungan. Kriteria tersebut adalah, sebagai berikut :

Tabel 2.4 Kriteria Penerimaan Debit Rembesan pada Bendungan Urugan Tanah

<i>Dam Height (m)</i>	<i>Seepage (litres/day/metre)</i>	
	<i>Ok</i>	<i>Not Ok</i>
<5	<25 (0,02)	>50 (0,03)
5 – 10	<50 (0,03)	>100 (0,07)
10 – 20	<100 (0,07)	>200 (0,14)
20 – 40	<200 (0,14)	>400 (0,28)
>40	<400 (0,28)	>800 (0,56)

Sumber: (Look, 2007)

2.5.3. Metode Penentuan Aliran Rembesan Air dengan Piezometer

Piezometer adalah alat yang berfungsi untuk menentukan garis rembesan dengan membaca tekanan air pori yang terjadi di timbunan bendungan(Maulana et al., 2016). Garis rembesan atau Flow Line merupakan parameter yang penting guna me-mitigasi rembesan yang terjadi di Bendungan



Gambar 2.8 Alat *Piezometer*

Standpipe piezometer bekerja berdasarkan prinsip hukum Pascal, yang menyatakan bahwa tekanan yang diterapkan pada suatu titik dalam fluida tertutup ditransmisikan tanpa perubahan ke seluruh fluida tersebut. Saat air tanah masuk ke dalam tabung piezometer melalui screen, ketinggian air dalam tabung akan naik hingga mencapai keseimbangan dengan tekanan air pori di luar tabung pada kedalaman screen. Berdasarkan fungsinya, *piezometer* memiliki beberapa jenis dan fungsi yang beragam berdasarkan jenisnya. Berikut jenis jenis piezometer beserta fungsinya:

1. *Standpipe Piezometer*

Standpipe piezometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan air pori di dalam tanah atau tekanan air pada kedalaman tertentu di bawah permukaan tanah. Alat ini membantu dalam memantau kondisi air tanah dan mempelajari perubahan tekanan air seiring waktu, yang penting dalam berbagai aplikasi geoteknik dan hidrologi. Tekanan air pori dihitung dari ketinggian kolom air yang terbaca di dalam tabung piezometer. Tekanan ini dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots 2.10$$

Keterangan:

P = Tekanan Air Pori

g = Percepatan gravitasi

h = ketinggian kolom air di dalam tabung piezometer

2. *Piezometer pneumatik*

Adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan air pori di dalam tanah atau tekanan air pada kedalaman tertentu di bawah permukaan tanah menggunakan prinsip tekanan udara. Alat ini berguna dalam memantau kondisi air tanah dan perubahan tekanan air seiring waktu,

3. *Piezometer elektronik (Vibrating Wire Piezometer)*

Atau sering disebut sebagai Vibrating Wire Piezometer (VWP), adalah alat ukur tekanan air pori atau tekanan air di dalam tanah

menggunakan teknologi vibrating wire. Alat ini digunakan untuk memantau tekanan air tanah di berbagai kedalaman di bawah permukaan tanah dengan akurasi tinggi dan stabilitas jangka panjang.

Skema pemasangan *piezometer* pada timbunan inti bendungan:

1. Gali puritan kabel dengan kedalaman min 300 mm, kemiringan galian parit 45 derajat.
2. Buat kantung (*pocket*) ukuran 300 x 300 x 300 mm sbg tempat *piezometer* tip. Chek elevasi nya sesuai desain.
3. Tempatkan lapisan *backfill* setebal 100 mm di dasar pocket.
4. Piezometer tip dapat ditempatkan di dlm socket, tutup dengan malt *backfill* dan padatkan dg tangan atau ditempatkan dg cara ditekan ke dasar socket.
5. Pembuatan socket dpt dilakukan menggunakan 'mandrel' yang ukuran lubangnya sama dengan diameter piso tip, sehingga piso tip dpt dimasukkan seluruhnya ke dasar socket.
6. Bawa piso tip (dalam ember) yang telah dijenuhkan ke site dan lakukan zero reading.
7. Ambil piso tip dari ember hati-hati dan tempatkan pada pocket atau socket. Gulung kabelnya seperti pada sket.
8. Backfill pocket dan paritan menggunakan matl timbunan yg sama dan padatkan sekitar piso tip dg hati-hati dengan tangan dan dg alat pemadat ringan pada kabel.

2.5.4. Metode Penentuan Debit Rembesan

A. *V-notch*

V-notch merupakan komponen untuk mengetahui kuantitas rembesan pada Bendungan. Bendungan memiliki batas toleransi rembesan yang sudah ditentukan, keamanan Bendungan berhubungan dengan Panjang, tinggi dan *permeability core*.

Dari fungsi *v-notch* ada beberapa mekanisme yang dilakukan untuk pemanfaatan alat *v-notch*. Alat ini biasanya digunakan dalam aplikasi

hidrologi dan teknik lingkungan untuk mengukur debit air dengan cara yang cukup akurat. Berikut ini adalah beberapa jenis V-notch yang umum digunakan:

1. *V-notch* 90°

Jenis *v-notch* yang satu ini sering digunakan untuk mengukur aliran air di saluran terbuka. *V-notch* 90° memiliki akurasi hasil pengukuran yang sangat tinggi dan sangat cocok digunakan pada aliran rendah hingga sedang. Aliran air yang melewati *V-notch* 90° menciptakan pola aliran yang dapat diukur berdasarkan tinggi air (head) di atas dasar *notch*. Aliran ini kemudian dapat dihitung menggunakan rumus tertentu yang mempertimbangkan tinggi air dan koefisien debit, yang memperhitungkan kondisi aliran dan karakteristik *notch*. Berikut rumus perhitungan *v-notch* 90°

$$Q = \frac{8}{12} C_d \sqrt{2g} \cdot H^{5/2} \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana:

Q = laju aliran (m³/s)

Cd= Koefisien debit (tanpa dimensi)

g= percepatan gravitasi (9,81m/s²)

H= tinggi air diatas dasar notch (m)

2. *V-notch* 60°

Merupakan *notch* yang berbentuk segitiga dengan memiliki sudut pada puncaknya sebesar 60°. Komponen tersebut merupakan komponen yang sering digunakan pada aliran air yang rendah, akurasi perhitungan yang dihasilkan pada aliran rendah cukup tinggi dan sangat direkomendasikan. Pada perhitungannya *v-notch* 60° sama dengan *v-notch* 90°.

3. *v-notch* 120°

Berdasarkan namanya jenis komponen ini memiliki sudut segitiga sebesar 120°. Alat ini sangat cocok untuk digunakan pada aliran yang lebih besar dari *v-notch* 60° dan *v-notch* 90°.

B. Software

Program *Software* merupakan suatu program untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Program ini mencakup SLOPE/W, SEEP/W, QUAKE/W, SIGMA/W, TEMP/W, dan CTRAN/W. Yang terhubung sedemikian rupa sehingga hasil dari suatu produk dapat digunakan untuk produk lain. Fitur yang unik dan kuat sangat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh hasil yang diperlukan untuk berbagai proyek.

- SEEP/W

SEEP/W merupakan model numerik yang secara matematis dapat mensimulasikan proses fisik yang nyata dari air yang mengalir melalui media partikular. Pemodelan numerik merupakan murni matematika dan dalam pengertian itu sangat berbeda dari fisik skala pemodelan di laboratorium atau pemodelan lapangan skala besar.

SEEP/W adalah salah satu program di *Software* yang digunakan untuk menganalisis masalah rembesan air tanah dan kelebihan disipasi tekanan air pori. SEEP/W memungkinkan kita untuk mempertimbangkan analisis mulai dari masalah tingkat kejenuhan yang tetap sampai yang tidak jenuh, tergantung dari masalah yang terjadi. SEEP/W memungkinkan untuk menganalisis rembesan sebagai fungsi waktu dan mempertimbangkan proses seperti infiltrasi curah hujan dapat diterapkan pada analisis dan desain geoteknik, sipil, hidrogeologi, dan pertambangan proyek rekayasa.

- QUAKE/W

QUAKE/W adalah produk perangkat lunak elemen hingga geoteknik yang digunakan untuk analisis dinamis struktur tanah yang mengalami guncangan gempa bumi dan pembebanan benturan mendadak lainnya seperti, misalnya, dinamit atau pemancangan tiang pancang. QUAKE/W merupakan bagian dari *software* dan oleh karena itu, terintegrasi penuh dengan komponen lain seperti SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W misalnya. Dalam hal ini,

QUAKE/W sangat unik. Integrasi QUAKE/W dan produk lain dalam *software* sangat memperluas jenis dan jangkauan masalah yang dapat dianalisis melebihi apa yang dapat dilakukan dengan perangkat lunak analisis dinamik geoteknik lainnya. QUAKE/W dapat digunakan sebagai produk yang berdiri sendiri, namun salah satu daya tarik utamanya adalah integrasi dengan produk *software* lainnya.

- SIGMA/W

SIGMA/W adalah produk perangkat lunak elemen hingga yang dapat digunakan untuk melakukan analisis tegangan dan deformasi struktur bumi. Formulasi nya yang komprehensif memungkinkan untuk menganalisis masalah yang sederhana maupun yang sangat kompleks. Sebagai contoh, Anda dapat melakukan analisis deformasi elastis linier sederhana atau analisis tegangan efektif elastis-plastis *nonlinear* yang sangat canggih. Jika digabungkan dengan produk perangkat lunak GEOSLOPE lainnya, SIGMA/W juga dapat memodelkan pembangkitan dan disipasi tekanan air pori pada struktur tanah sebagai respons terhadap beban eksternal dengan menggunakan formulasi yang digabungkan atau tanpa penggabungan. SIGMA/W dapat digunakan dalam analisis dan desain untuk proyek-proyek geoteknik, sipil, dan teknik pertambangan.

- SLOPE/W

Menganalisis stabilitas struktur tanah merupakan jenis analisis numerik tertua dalam rekayasa geoteknik. Gagasan untuk mendekritkan massa geser potensial menjadi beberapa irisan diperkenalkan pada awal abad ke-20. Pada tahun 1916, (Pettersson, 1955) mempresentasikan analisis stabilitas Stigberg Quay di Gothenberg, Swedia di mana permukaan gelincir dianggap melingkar dan massa gelincir dibagi menjadi beberapa bagian. Selama beberapa dekade berikutnya, (Fellenius, 1936) memperkenalkan metode irisan biasa atau metode Swedia. Pada

pertengahan tahun 1950-an, (Janbu, 1954) dan (Bishop, 1955) mengembangkan kemajuan dalam metode ini. Munculnya komputer elektronik pada tahun 1960-an memungkinkan untuk lebih mudah menangani prosedur berulang yang melekat pada metode ini yang mengarah pada formulasi matematis yang lebih ketat seperti yang dikembangkan oleh (Morgenstern & Price, 1965) dan (Spencer, 1967). Salah satu alasan mengapa metode limit equilibrium diadopsi dengan mudah adalah karena solusinya dapat diperoleh dengan perhitungan manual. Asumsi penyederhanaan harus diadopsi untuk mendapatkan solusi, tetapi konsep membagi benda yang lebih besar secara numerik menjadi bagian-bagian yang lebih kecil untuk tujuan analisis adalah hal yang baru pada saat itu.

2.5.5. Pengendalian Rembesan

Penting untuk memahami metode yang digunakan untuk mengendalikan rembesan dan kaitannya dengan bendungan dan bangunan pelengkapannya (Anonim, 2017). Pada prinsipnya, cara perbaikan pengendalian rembesan tersebut meliputi :

a. Zona filter dan transisi

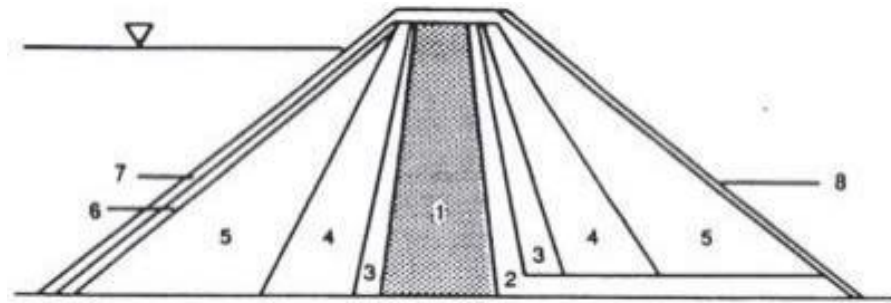
Lapisan filter digunakan untuk melindungi terbuanya antar butiran terhadap rembesan melalui tubuh dan pondasi bendungan, dan pada waktu bersamaan membiarkan air rembesan keluar tanpa menimbulkan terjadinya tekanan air pori berlebih (*excessive pore water pressures*). Lapisan filter tersebut didesain tersendiri atau drain tersebut juga didesain sebagai penyaring dan sekaligus untuk drainase. Gradasi tanah timbunan dan debit rembesan yang harus diantisipasi akan menentukan suatu desain filter yang diperlukan.

b. Metode pengurangan rembesan

Metode ini digunakan untuk mengurangi tinggi tekanan air waduk yang merembes melalui timbunan. Beberapa cara diantaranya yaitu:

1. Konstruksi bendungan tanah homogen dengan kemiringan yang relatif sangat landai;
2. Konstruksi zona inti kedap yang miring ke arah hulu;
3. Konstruksi bendungan dengan zona inti sentral di tengah;

4. Konstruksi dinding inti terbuat dari beton atau tanah bentonite yang plastis.



Gambar 2.9 Zona Inti Kedap Air di Tengah

Keterangan :

1. Core;
2. Filter or Drain;
3. Transition;
4. Fill;
5. Shell;
6. Upstream Transition (gravel or riprap);
7. Upstream Slope Protection (typically riprap);
8. Downstream Slope Protection.

c. Berbagai jenis drainase

Salah satu cara untuk mengendalikan rembesan melalui pondasi adalah *grouting*. Beberapa jenis *grouting* yang digunakan sebagai pengendali rembesan, antara lain adalah *grouting* selimut/dental, tirai, konsolidasi, dll. *Grouting* di pondasi dilakukan untuk mengurangi:

1. Tekanan ke atas (*uplift*) di bawah pondasi, hilir dari *grouting*;
2. Kemungkinan terbawanya butiran tanah timbunan ke dalam pondasi;
3. Terbawanya butiran tanah timbunan melalui pondasi masuk kembali ke timbunan;
4. Piping butiran tanah dari kekar-kekar dan sisipan dari batuan;
5. Terbawanya material dari batuan yang hancur (*soluble rock*)
6. Erosi internal pada bidang kontak antara timbunan dengan pondasi (*bedrock*).

2.6. Fluktuasi Muka Air Bendungan

Seorang ahli hidrolika dari Perancis mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah (Anonim, 2007). Darcy berpendapat bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/September 2014/472 keluar dari lapisan tanah sebanding dengan gradien hidrauliknya. Hukum Darcy dinyatakan dalam persamaan, sebagai berikut:

$$Q = k.i.A \dots\dots\dots 2.12$$

$$V = k.i \dots\dots\dots 2.13$$

Keterangan :

Q= Volume aliran air persatuan waktu yang masuk ataupun keluar (m^3/s)

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

V= Kecepatan (cm/s)

i= *gradient* hidrolik

A= luas penampang tanah yang dilewati (m^2)

Δh = Perbedaan tinggi muka air pada kedua ujung contoh tanah (m)

L= Panjang lapisan tanah yang dirembesi (m)

Pemantauan fluktuasi muka air bendungan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Banyak kebutuhan yang mengandalkan ketersediaan air bendungan yang cukup. Seperti tujuan utama dibangunnya bendungan, air bendungan merupakan komponen yang sangat bermanfaat bagi masyarakat dari beberapa sektor. Maka dari itu pemerintah terutama BBWS dari berbagai sektor selalu memantau muka air bendungan secara real time. Era yang semakin maju banyak alat yang dapat mengukur muka air bendungan secara real time. Berikut beberapa alata tau metode untuk mengukur muka air bendungan secara real-time:

A. AWRL

AWRL merupakan alat untuk mengukur muka air yang berada di Bendungan. Alat ini berfungsi untuk mengecek muka air Bendungan tetap berada kondisi yang aman atau tidak. AWRL sering digunakan untuk memahami pola aliran air, mengevaluasi risiko banjir, merencanakan pengelolaan sumber daya air, dan melakukan analisis hidrologi lainnya.

B. Staff Gauge (Penggaris Air)

Staff gauge, juga dikenal sebagai penggaris air, adalah alat yang digunakan untuk mengukur tinggi atau ketinggian muka air dalam suatu reservoir, sungai, atau tangki. Alat ini terdiri dari sebuah batang atau papan dengan skala yang memungkinkan pengukuran tinggi air secara langsung. *Staff gauge* bekerja dengan cara menunjukkan ketinggian muka air secara langsung pada skala pengukuran yang terdapat di batang atau papan. Ketika air naik atau turun, tinggi air dapat dibaca langsung dari skala yang ada pada *staff gauge*.



2.7.Kajian hasil penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu memiliki berbagai macam metode dalam menentukan aliran rembesan air, deformasi dan SF lereng bendungan. Berikut rangkuman hasil penelitian terdahulu:

Tabel 2.6 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dalam Tesis ini dengan Penelitian-penelitian Sebelumnya

No	Cite	Judul	Hasil
1	R. Abadirulian Ervantara, (2022)	Tinjauan Geoteknik Keamanan Rembesan dan Pembebanan Gempa Pada Stabilitas Lereng (Studi: Bendungan Way Sekampung) R. Abadirulian Ervantara ¹ , Ahmad Rifa'i ² , Iman Satyarno ²	saat diberikan beban gempa menghasilkan $S_{fcal} < S_{fmin}$, hal ini menunjukkan bahwa bendungan memiliki potensi kerusakan dan keruntuhan
2	Iwan Rudiawan, (2020)	Analisis Hidrologi Bendungan Ciniru Kabupaten Kuningan	Hasil analisa menunjukkan bahwa area irigasi di bendungan ciniru dapat diperluas
3	MR Nabiha, 2023	Analisis risiko pada pekerjaan pembangunan Bendungan Bener Kabupaten Purworejo Paket 4 (MYC)	Hasil penilaian risiko untuk aspek keuangan, teknis dan operasional, politik, dan sosial menunjukkan beberapa risiko tinggi risiko sedang, dan risiko rendah berdasarkan identifikasi risiko yang telah dilakukan.

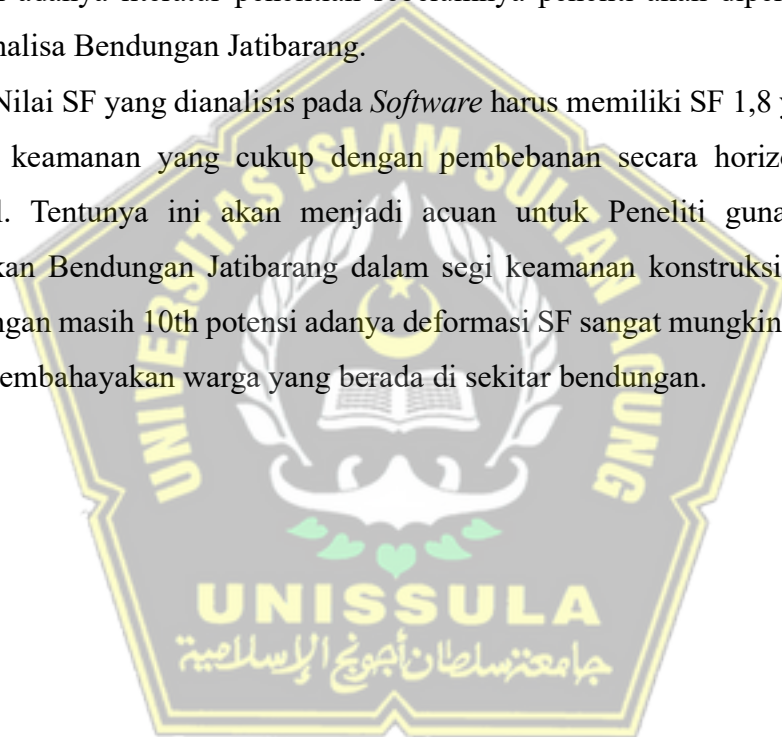
4	M Saidillah, 2021	Analisis Rembesan dan Stabilitas Bendungan Saradan	Analisis rembesan pada bendungan sara dan setelah dilakukan perhitungan manual dan hasil analisis program GeoStudio 2012 menunjukkan bahwa pada setiap kondisi dinyatakan aman.
5	Farasati S, 2023	Analisis Rembesan Dengan Menggunakan Program Numerik Pada Bendungan Jragung Kabupaten Semarang	Pemodelan Plaxis 8.6 dilakukan analisis keamanan bendungan terhadap bahaya rembesan steady-stated sebelum dilakukan grouting nilai safety factor sebesar 1,320 dan setelah dilakukan grouting nilai safety factor lebih tinggi yaitu 1,8924.
6	Buldan R, 2021	Analisis Rembesan Terhadap Keamanan Bendungan Kedung Ombo Di Grobogan, Jawa Tengah	Berdasarkan hasil analisis seepage index, Nilai QI tertinggi sebesar 0,09 pada elevasi muka air banjir maksimum +95 m, dimana kriteria keamanan seepage index $QI < 1$. Berdasarkan seepage index kondisi rembesan pada Bendungan Kedung Ombo masih dalam kondisi aman
7	Utami S, 2022	Analisis Stabilitas Lereng Bangunan Spillway Bendungan Tugu, Trenggalek, Jawa Timur	Nilai SF yang dihasilkan sebesar 1,509 untuk beban statis dan 1,122 untuk beban <i>pseudostatic</i> . Berdasarkan hasil trial and error, kombinasi tersebut memberikan hasil yang optimal dan mampu menahan beban statis maupun <i>pseudostatic</i> sesuai dengan persyaratan SNI 8460:2017.

8	Suprpto R, 2021	Penilaian Risiko Bendungan Pelaparado Berbasis Metode Modifikasi ICOLD dan Metode Indeks Risiko	Hasil penelitian menunjukkan Bendungan Pelaparado memiliki nilai risiko sebesar 67 dengan kategori risiko “tinggi”, nilai indeks risiko total sebesar 227,56 dan nilai keamanan 72,91 dengan klasifikasi keamanan “cukup”, sehingga Bendungan Pelaparado aman terhadap beban normal tetapi kemungkinan kurang aman terhadap banjir desain dan gempa desain.
9	Rahayu R, 2021	Analisis Kestabilan Lereng Bendungan Akibat Fluktuasi Muka Air	Berdasarkan hasil penelitian dari ketiga kondisi lereng, nilai factor keamanan yang stabil dan aman terhadap bahaya longsor. Sedangkan potensi longsor yang akan terjadi akan mengalami longsor dengan tipe translasi dikarenakan perbedaan kuat geser dan perbedaan lapisan pada susunan timbunan pada bendungan utama.
10	maretha L, 2020	Analisis Stabilitas dan Keamanan Bendungan Ciawi (Dry Dam) di Provinsi Jawa Barat	Perhitungan nilai Faktor Keamanan (FK) dilakukan pada tiga kondisi yaitu kondisi selesai konstruksi, muka air normal dan rapid drawdown. Dari hasil perhitungan pada kondisi tanpa gempa dan gempa Operation Base Earthquake (OBE) nilai FK telah memenuhi syarat minimum berdasarkan SNI 8064:2016.

2.8. Summary penelitian Terdahulu

Dari kajian penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai keamanan suatu bendungan ditentukan dengan umur bendungan. Dengan bendungan yang relatif sudah lama berdiri memiliki nilai SF atau nilai keamanan yang kecil dan memiliki potensi terjadinya runtuh. Berbeda dengan bendungan yang dibangun pada era sekarang dengan modern memiliki nilai SF atau faktor keamanan yang masih cukup baik walau umurnya sudah diatas 70 hingga 100 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kemajuan dalam dunia konstruksi teknik sipil cukup berkembang dengan baik. Dengan adanya literatur penelitian sebelumnya peneliti akan dipermudah dalam menganalisa Bendungan Jatibarang.

Nilai SF yang dianalisis pada *Software* harus memiliki SF 1,8 yang memiliki tingkat keamanan yang cukup dengan pembebanan secara horizontal maupun vertikal. Tentunya ini akan menjadi acuan untuk Peneliti guna menentukan kelayakan Bendungan Jatibarang dalam segi keamanan konstruksi. Walau umur Bendungan masih 10th potensi adanya deformasi SF sangat mungkin terjadi dan ini akan membahayakan warga yang berada di sekitar bendungan.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bentuk Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada analisa rembesan yang terjadi Bendungan Jatibarang rentang waktu tahun 2015 hingga tahun 2024. Penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu metode kuantitatif dan kualitatif, untuk metode kualitatif dilakukan dengan pemantauan tinggi muka air bendungan (AWRL) dan tekanan air pori menggunakan *piezometer*, sedangkan metode kuantitatif menggunakan program *software Plaxis V22* untuk menghitung nilai *pore pressure* pada bendungan Jatibarang.

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi yang pertama dikunjungi yaitu Bendungan Jatibarang yang bertempat di Kec. Mijen, Kota Semarang, Jawa Tengah) lalu akan mencari data di BBWS Pemali Juana (Balai Besar Wilayah Sungai), untuk waktu penelitian dilakukan dari tanggal 10 februari – 20 Oktober 2024.

3.3. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini perlu dirancang dan diatur secara sistematis agar memudahkan pelaksanaan penelitian. Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Perumusan Masalah

Dalam proyek analisis dampak gempa terhadap bendungan Jatibarang, fokus penelitian adalah untuk memahami kondisi bendungan saat terjadi gempa dan dampak apa saja yang terjadi setelah terjadi gempa. Pertanyaan penelitian adalah bagaimana kondisi bendungan saat terjadi gempa dalam 3 kondisi yaitu MAN, MAB dan *Rapid*? Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak apa saja yang terjadi saat gempa pada bendungan Jatibarang.

b. Tinjauan Pustaka

Referensi diambil dari penelitian terdahulu seperti buku, jurnal, dan peraturan terkait analisis gempa pada bendungan. Tinjauan pustaka dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam tentang bendungan yang mengalami gempa dan apa saja dampaknya.

c. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui data terdahulu dan buku rujukan desain bendungan urugan di Indonesia, serta langkah-langkah analisis yang benar melalui buku panduan *software*.

d. Pengolahan dan Analisis Data

Data diolah dengan *software untuk menganalisis* gempa pada bendungan, serta hasil analisis disesuaikan dengan SNI yang ada di Indonesia.

e. Kesimpulan

Dari analisis data, disimpulkan bahwa bendungan Jatibarang masih dalam kondisi aman setelah di guncang gempa dari segi rembesan, deformasi dan SF *slope* lereng hilir.

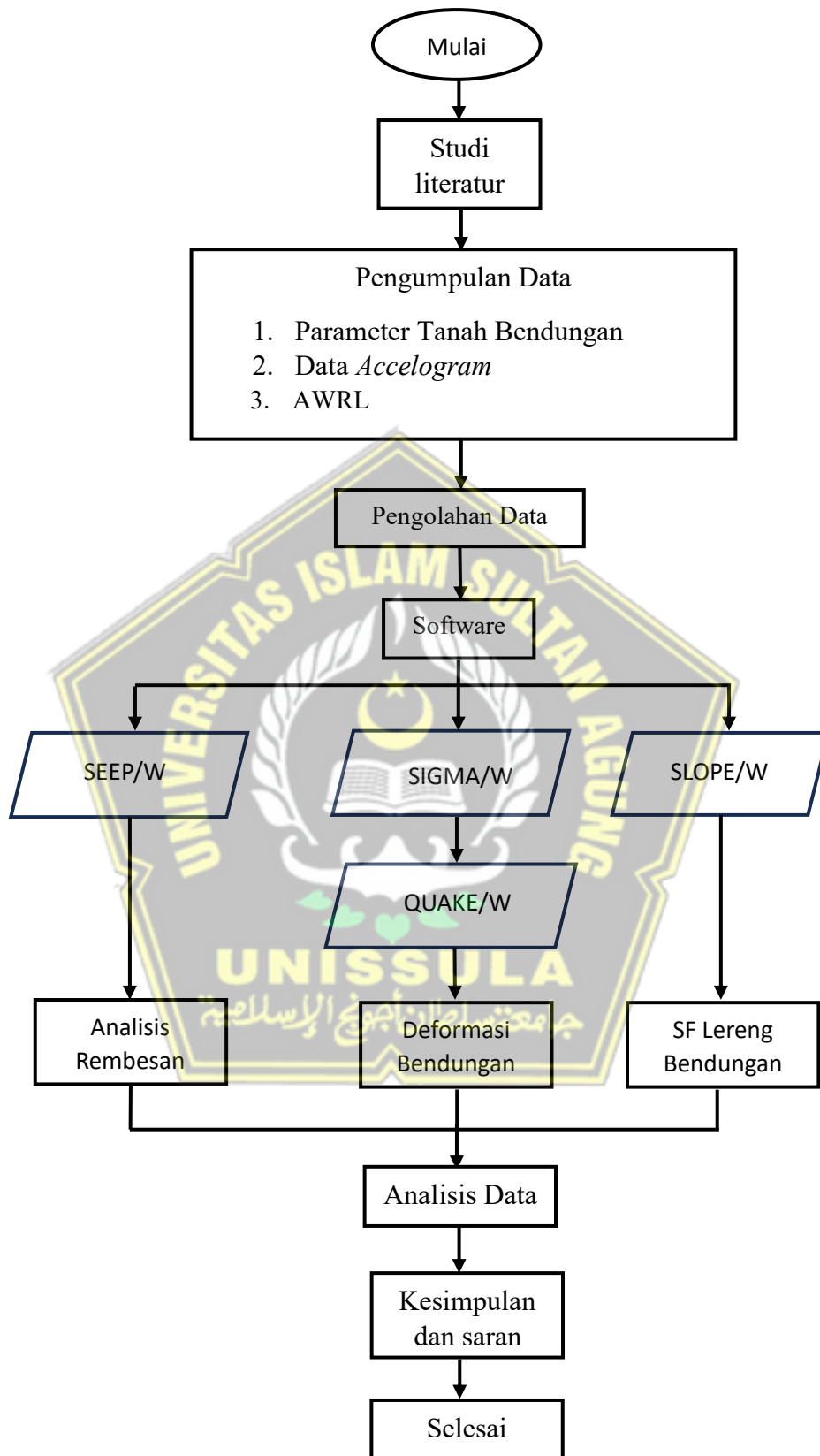
3.4. Metode pengumpulan Data

Pengumpulan data secara sekunder yang bersumber dari BBWS Pemali Juana dan pada kantor pemeliharaan Bendungan Jatibarang. Adapun beberapa data yang bersumber dari penelitian terdahulu seperti data tanah dan beberapa korelasi data tanah. Data yang dibutuhkan yaitu data tanah, desain bendungan, AWRI dan *accelogram* gempa. Data tanah dan data AWRL dipergunakan untuk mengetahui besaran rembesan yang terjadi di Bendungan Jatibarang dan *accelogram* digunakan untuk mengguncang bendungan.

3.5. Metode Analisis Data

Metode yang digunakan adalah metode numerik yang didapat dari *software*. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui rembesan, *settlement* dan SF lereng yang terjadi di dalam tubuh bendungan. Dari *output* tersebut data akan di cek dengan SNI yang sesuai di Indonesia guna menyimpulkan kondisi bendungan Jatibarang.

3.6. Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Simulasi Aliran Air Kondisi Gempa

Simulasi gempa di Bendungan Jatibarang dilakukan guna mengetahui kemampuan Bendungan dalam menghadapi gempa yang akan terjadi di Kota Semarang ataupun sekitar Kota Semarang. Gempa yang terjadi di Semarang diambil kala ulang 10.000 tahun menurut peta gempa yang diterbitkan oleh berbagai gabungan instansi terkait. PGA yang terjadi di Kota Semarang yaitu 0,5g terkhusus di area Bendungan Jatibarang, PGA 0,5g di Kota Semarang sama dengan akselogram rekaman gempa *loma preita* dengan nilai PGA 0,5g. Menurut (Hanan, 2014) analisis dapat dilakukan dengan kala ulang gempa 3000 hingga 10.000 tahun untuk analisis bendungan. Analisis tersebut menggunakan bantuan software guna menggambarkan situasi gempa yang terjadi di Bendungan Jatibarang, dalam analisis tersebut kita dapat menentukan kemampuan Bendungan dan jika terjadi kegagalan dapat menentukan evaluasi yang baik untuk Bendungan Jatibarang.

4.1.1. Analisis Pemodelan Bendungan

Dalam tahapan analisis menggunakan *software* menggunakan beberapa tipe analisis dalam *software* tersebut yaitu SEEP/W, QUAKE/W, SIGMA/W dan SLOPE/W. Dalam *software* penggunaan 4 tipe analisis tersebut sangat jarang dikombinasikan dalam satu model analisis, pada analisis ini akan menggambarkan kombinasi dari 4 tipe analisis. Tiap tipe analisis memiliki peran khusus untuk menentukan berbagai macam situasi yang ada di bendungan seperti saat muka air banjir, muka air normal, rapid drawdown dan gempa. Proses analisis ini bertujuan untuk mengetahui kondisi Bendungan Jatibarang sebelum gempa dan sesudah gempa.

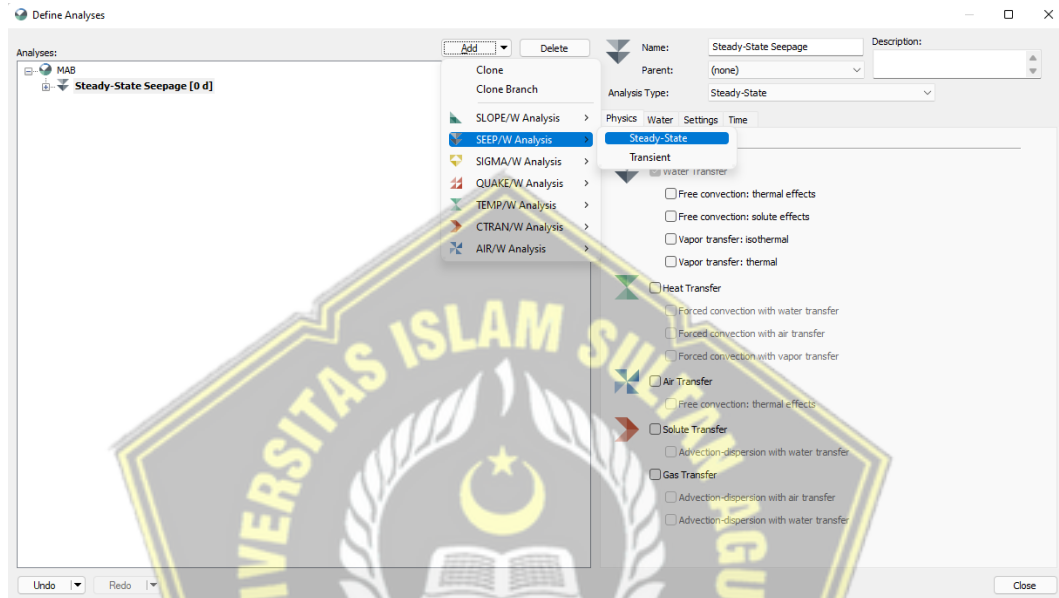
4.1.2. Analisis Simulasi Rembesan Air Bendungan

Pada analisis ini berfungsi untuk menggambarkan kondisi Bendungan sebelum terjadi gempa, selain itu tipe analisis ini berfungsi untuk mengetahui besar

rembesan, *pore water pressure* dan garis freatik pada bendungan dengan 2 kondisi yaitu *steady state* untuk MAB dan MAN, sedangkan *transient* untuk *Rapid drawdown*. Langkah pertama yang dilakukan adalah:

1. Menentukan *Define Project*

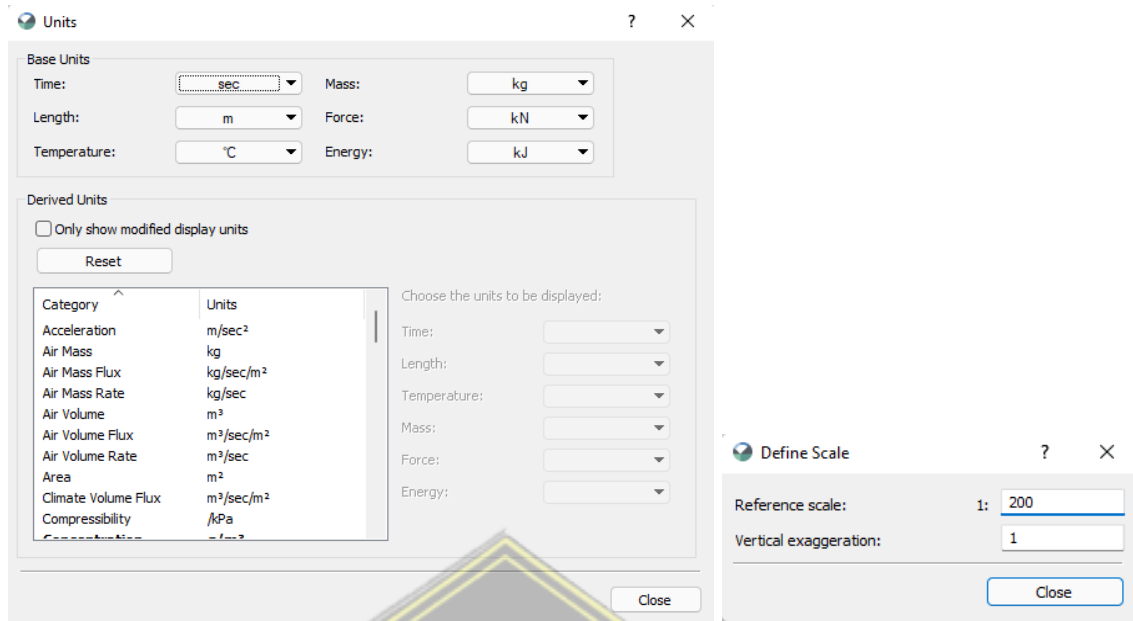
Pada tahap ini adalah menentukan tipe analisis SEEP/W menggunakan *steady state* atau *transient* seperti gambar 4.1.



Gambar 4.1 Menu utama SEEP/W

2. Pengukuran skala dan satuan

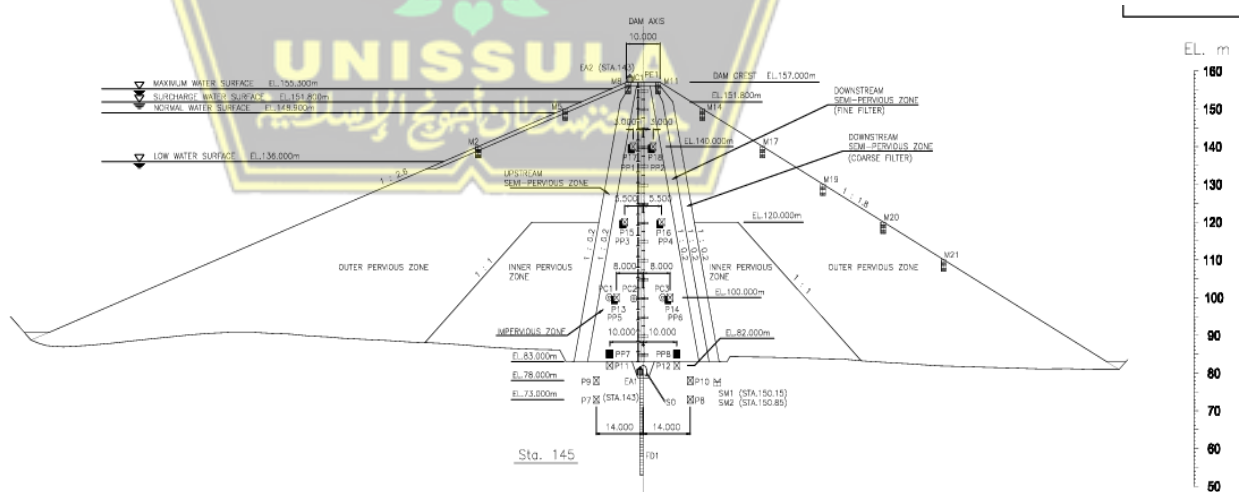
Untuk menentukan batas wilayah pemodelan dan mengatur satuan yang digunakan, Anda dapat mengatur skala dan satuan. Pengaturan skala dan grid dapat ditemukan di menu "unit". Saat Anda memilih opsi skala, kotak dialog akan muncul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



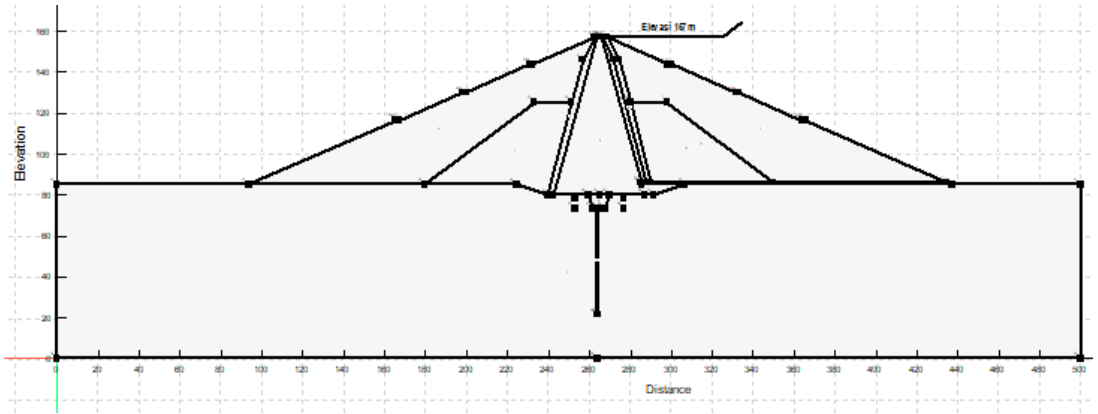
Gambar 4.2 menentukan skala dan satuan

3. Sket *Polyline*

Tahap selanjutnya yaitu menggambar skema *polyline* bendungan dengan *import* gambar dari CAD ke *Software* dalam memudahkan membuat sketsa bendungan. Pada tahap ini region sudah otomatis karna sudah ditentukan di CAD seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.3 Gambar CAD Bendungan Jatibarang



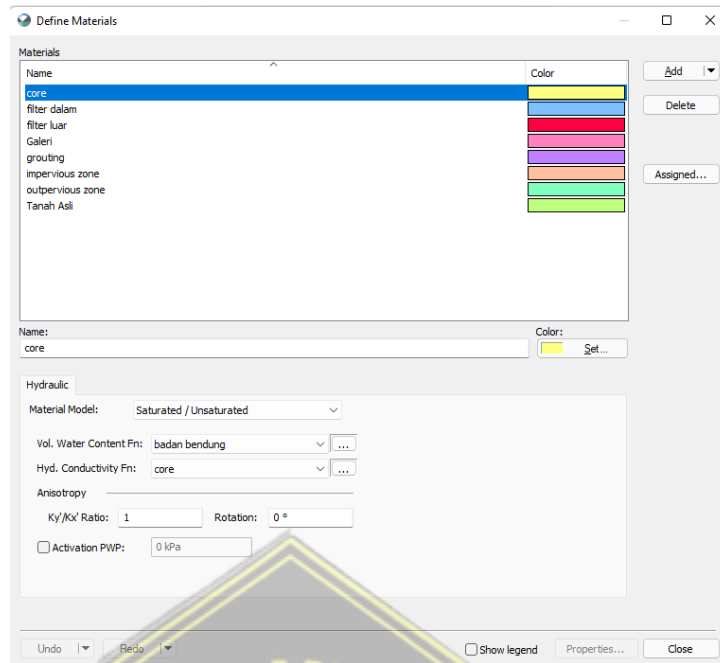
Gambar 4.4 Sketsa *polyline* pada *software*

4. *Input* Material

Pada analisis rembesan tipe analisis yang digunakan SEEP/W, parameter yang diperlukan adalah hasil uji permeabilitas tanah yang menghasilkan nilai k dan water content tanah guna untuk memasukan (*input*) parameter pada material analisis rembesan.

Tabel 4.1 Material Analisis Rembesan Aliran Air

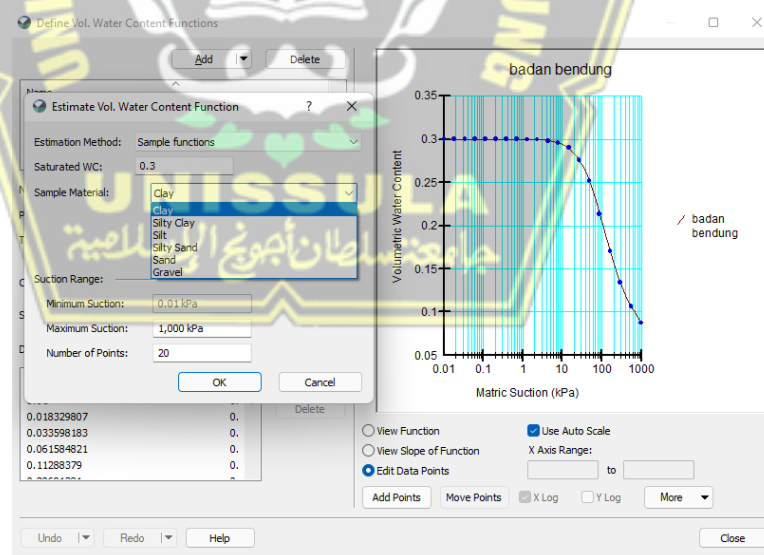
Bagian	Jenis	konsentrasi	wc	K
			%	(m/s)
Core	Clay	Very stiff	0.25	1×10^{-9}
Impervious	Clay	Sandy	0.3	1×10^{-8}
Outpervious	sirtu	sirtu	0.3	1×10^{-4}
Filter dalam	Sand	Danse	0.3	1×10^{-3}
Filter luar	Sand	Danse	0.3	1×10^{-3}
Tanah asli	Batuan	Medium	0.3	1×10^{-6}
Galery	Beton	fc' 40	-	1×10^{-11}
Grouting	Beton	fc' 30	-	1×10^{-11}



Gambar 4.5 Input parameter analisis rembesan

f. *Water content*

Pada parameter *water content* tahap ini menentukan nilai water content tanah dan sample tanah yang digunakan seperti gambar 4.6.

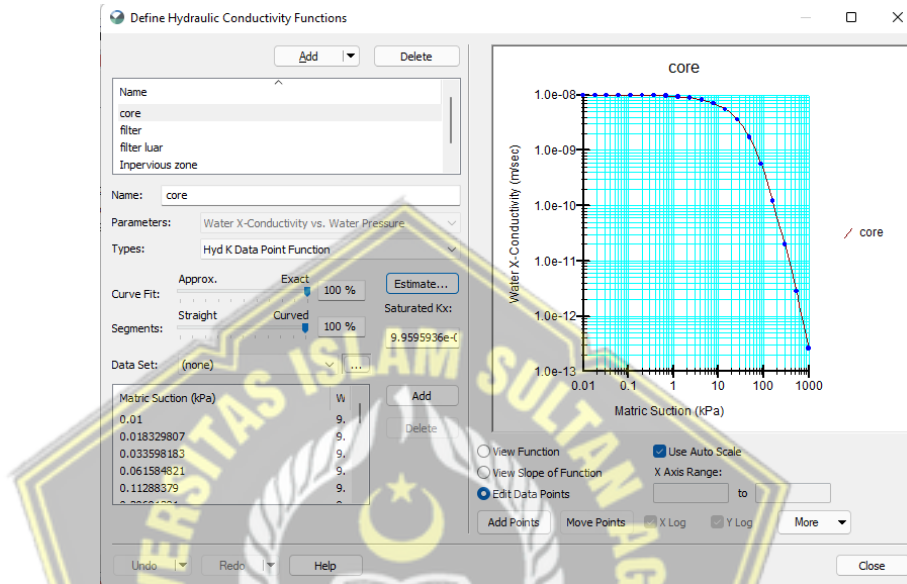


Gambar 4.6 Input material WC

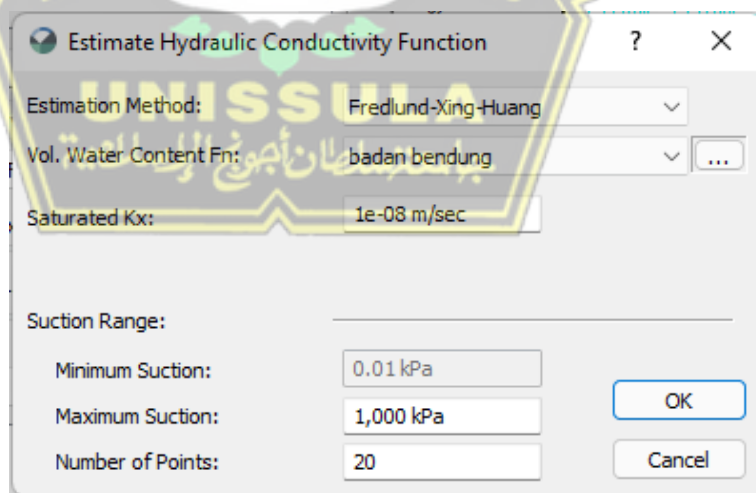
g. Permeabilitas (*Hydraulic Conductivity*)

Untuk mendapatkan keakurasian analisis, kapasitas hidrasi material harus diukur sebagai fungsi dari bukan hanya satu angka. Dengan menekan

tombol "*Estimate*", menu dapat diubah menjadi fungsi untuk mengubah angka koefisien permeabilitas. Selanjutnya pilih metode estimasi yang akan digunakan, dan untuk setiap jenis material, pilih "volume water content # Fn." Gambar 4.7 menunjukkan kurva fungsi *hydraulic conductivity* untuk setiap jenis material.



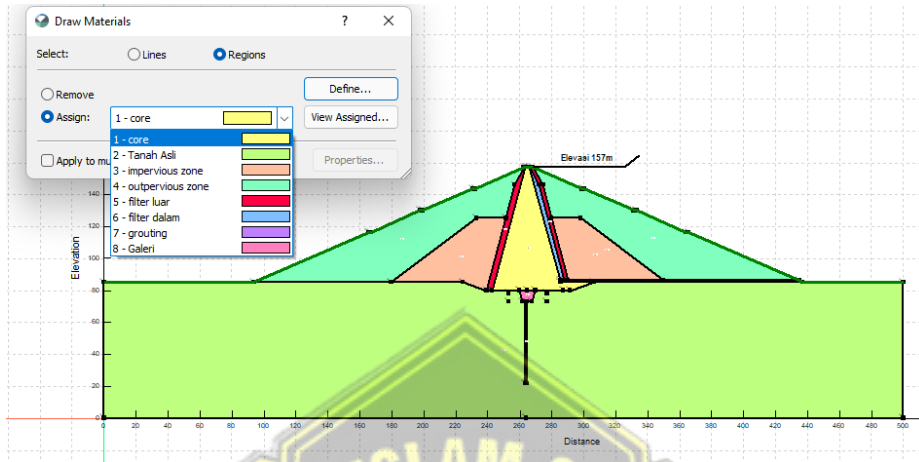
Gambar 4.7 Kotak dialog "*Conductivity Function*"



Gambar 4.8 Kotak dialog "*Estimate Hydraulic Conductivity Function*"

5. Draw Material

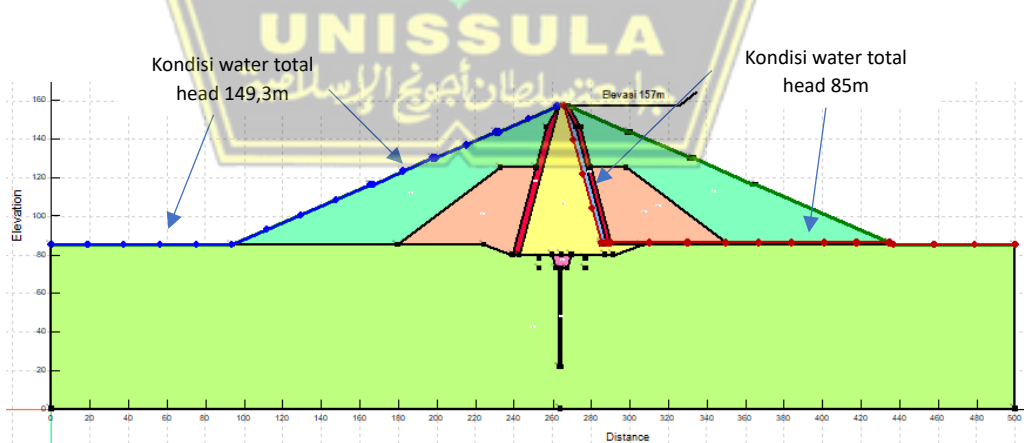
Setelah material siap lalu masukan material ke dalam model atau region Bendungan Jatibarang seperti gambar 4.9.



Gambar 4.9 Draw Material

6. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

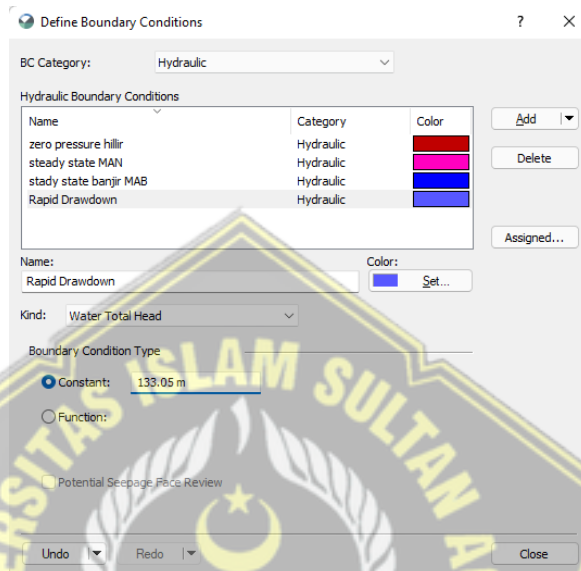
Salah satu langkah yang tak kalah penting adalah proses penentuan *boundary condition* guna menentukan batasan analisis dan menggambarkan kondisi *real* dilapangan. Kondisi batas seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 adalah untuk muka air bendungan dan batasan aliran air pada tubuh bendungan.



Gambar 4.10 Boundary condition

Ada beberapa boundary kondition yang dibuat untuk menggambarkan kondisi sesuai di lapangan, berikut beberapa *boundary condition* untuk pemodelan SEEP/W

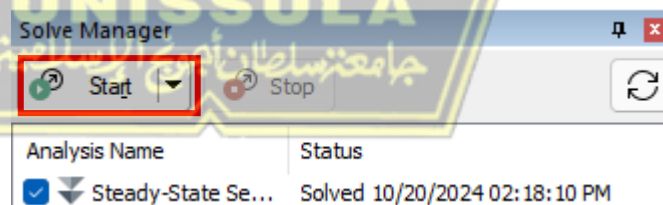
1. Kondisi MAN yaitu jenis *boundary* water total head 149,3m
2. Kondisi MAN yaitu jenis *boundary* water total head 155m
3. Kondisi *Rapid drawdown* yaitu jenis *boundary* water total head 133.05m
4. *Zero Pressure* yaitu jenis *boundary* water total head 85m yang berfungsi untuk membatasi pergerakan air ke puncak dan hilir lereng pada tubuh bendungan.



Gambar 4.11 *Boundary Condition*

7. *Running*

Setelah pengecekan semua material dan input data sudah sesuai dengan yang kita inginkan selanjutnya adalah proses analisis stau *running*.



Gambar 4.12 *Gambar Solve Manager*

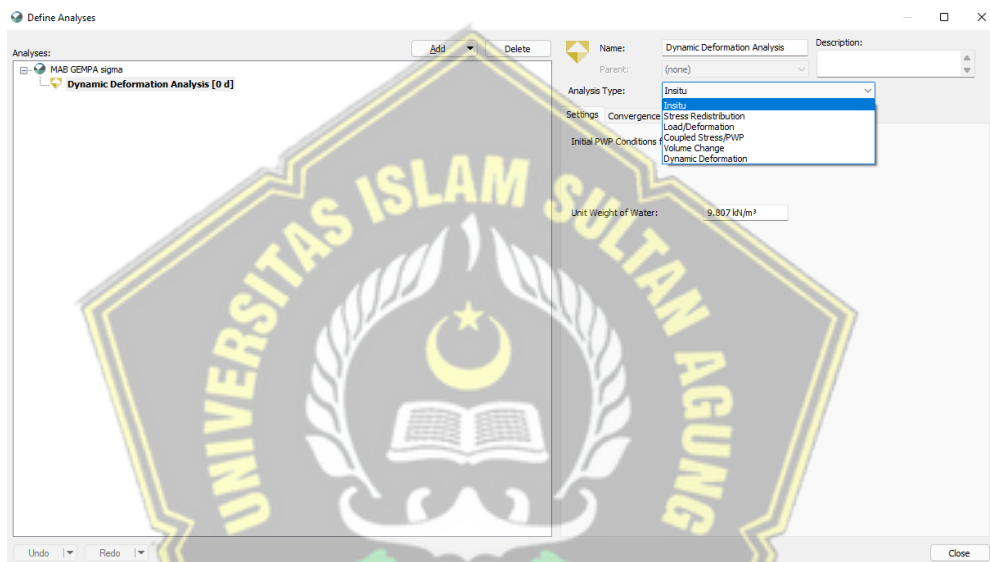
4.1.3. Analisis Tegangan Tanah

Sebelum masuk ke analisis *static* pada *software* sebelumnya harus melakukan analisis *initial static* guna memperhitungkan kondisi tegangan pada model yang di analisis. Pada QUAKE/W terdapat *type analysis initial static* tetapi perhitungan tegangan pada QUAKE/W hanya memperhitungkan nilai tegangan akibat gravitasi, sedangkan pada SIGMA/W dapat memperhitungkan tegangan

karna berat material tersebut. Perilaku tersebut sangat menggambarkan kondisi yang seharusnya pada lapangan sehingga *initial static* khusus pada tegangan mengambil analisis external dari SIGMA/W tipe analisis *insitu*.

1. Define Analysis

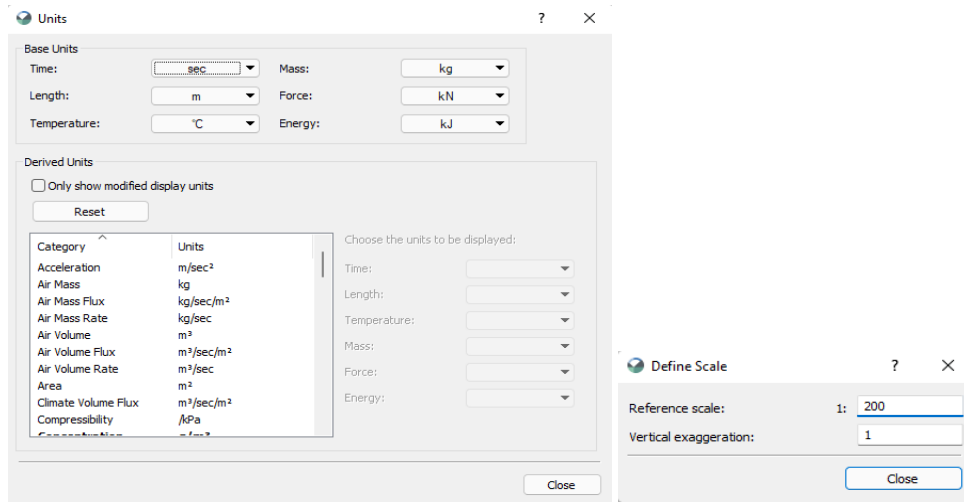
Langkah pertama pada analisis ini sama halnya dengan SEEP/W yaitu menentukan tipe analisis pada *define project* dengan tipe analisis *insitu*. Lalu pada *initial pwp* pilih *water table* untuk mensimulasikan kondisi muka air yang dibutuhkan. Pada analisis ini ada 3 kondisi yaitu muka air normal, muka air banjir dan *rapid drawdown*



Gambar 4.13 Define Project

2. Pengukuran skala dan satuan

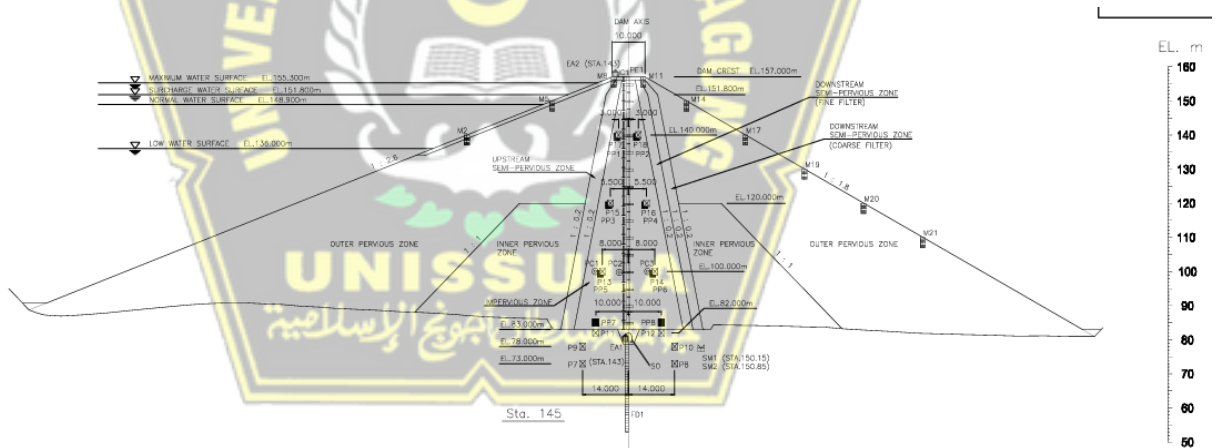
Untuk menentukan batas wilayah pemodelan dan mengatur satuan yang digunakan, Anda dapat mengatur skala dan satuan. Pengaturan skala dan grid dapat ditemukan di menu "unit" Saat Anda memilih opsi skala, kotak dialog akan muncul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.



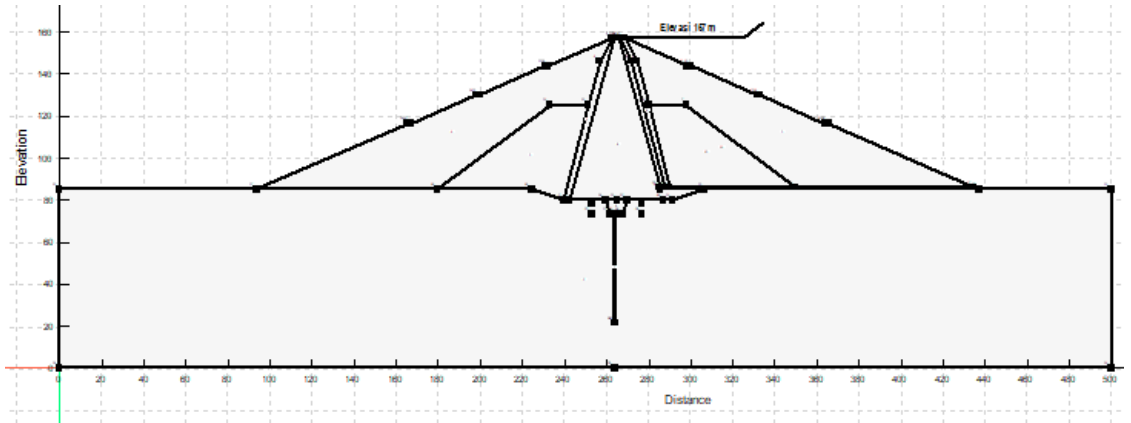
Gambar 4.14 menentukan skala dan satuan

3. Sket *Polyline*

Tahap selanjutnya yaitu menggambar skema *polyline* bendungan dengan *import* gambar dari CAD ke *Software* dalam memudahkan membuat sketsa bendungan. Pada tahap ini region sudah otomatis karna sudah ditentukan di CAD seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.15 Gambar CAD Bendungan Jatibarang



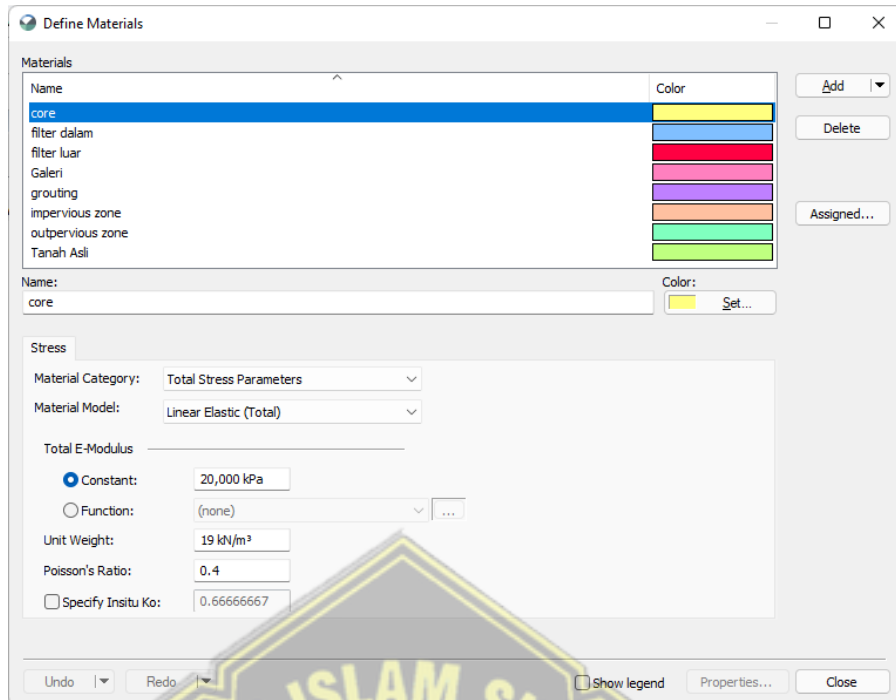
Gambar 4.16 Sketsa *polyline* gambar Bendungan Jatibarang

4. Input Data

Pada tipe analisis SIGMA/W ini parameter yang digunakan adalah hasil uji berat jenis, N-SPT dan *triaxial*. Masukan parameter pada *define material* SIGMA/W seperti gambar 4.17.

Tabel 4.2 *Input* Material Analisis Tegangan

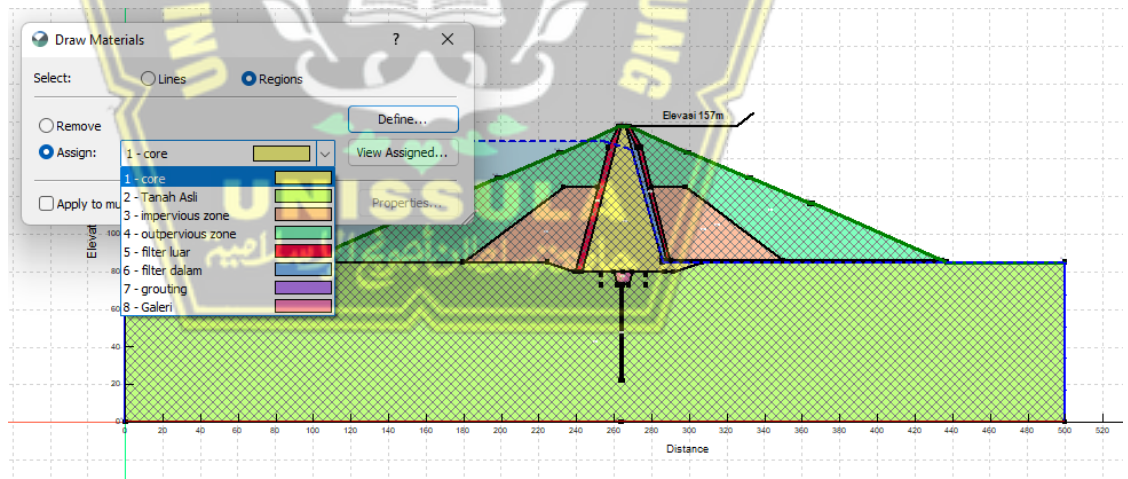
Bagian	Jenis	konsentrasi	E	γ	v
			kPa	kN/m ³	
Core	Clay	Very stiff	20000	19	0.4
Impervious	Clay	Sandy	25000	18	0.25
Outpervious	sirtu	sirtu	40000	18	0.25
Filter dalam	Sand	Danse	50000	17	0.3
Filter luar	Sand	Danse	50000	17	0.3
Tanah asli	Batuan	Medium	125000	21	0.2
Galery	Beton	fc' 40	25743000	24	0.15
Grouting	Beton	fc' 30	29275000	22	0.15



Gambar 4.17 *Define Material*

5. Draw Material

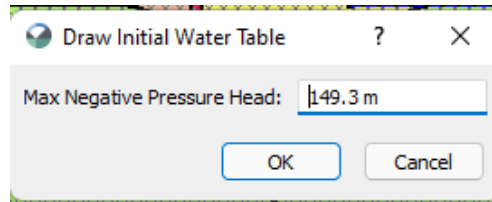
Masukan material yang sudah dibuat kedalam model sesuai dengan kondisi dilapangan seperti gambar 4.18.



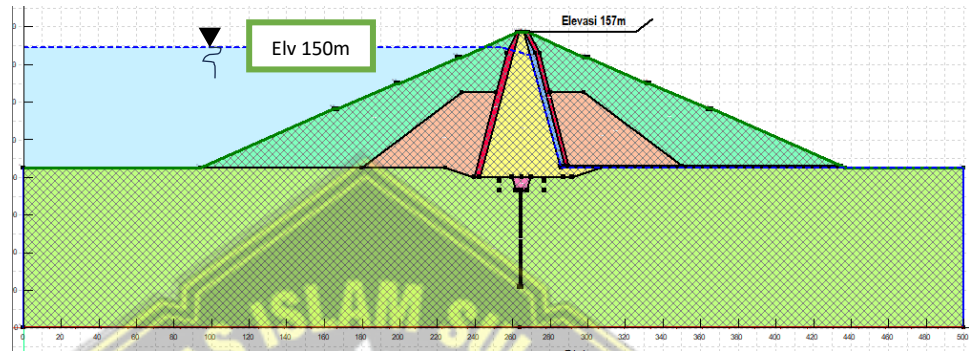
Gambar 4.18 *Draw Material*

6. Water Table

Untuk memodelkan kondisi *initial* pwp atau kondisi muka air bendungan pada SIGMA/W kita melakukannya dengan cara manual dengan membuat garis water table dengan titik koordinat. Kondisi garis freatik yang ada didalam bendungan disesuaikan dengan kondisi di analisis SEEP/W sebelumnya.



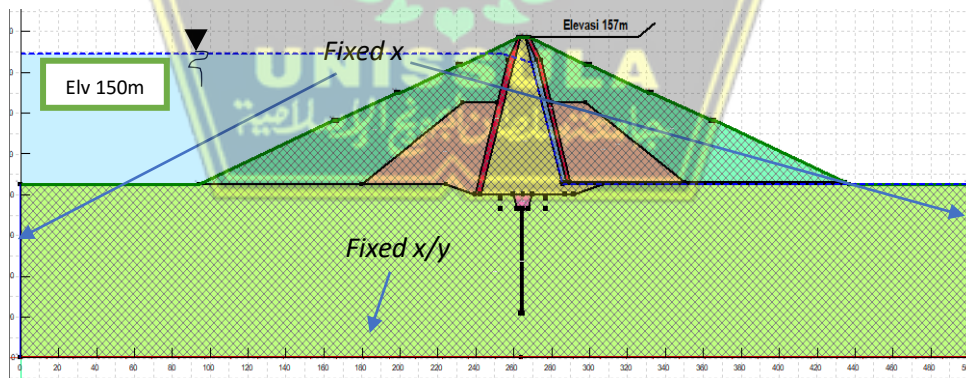
Gambar 4.19 *Draw Initial Water Table*



Gambar 4.20 *Pemodelan water table SIGMA/W*

7. *Boundary Condition*

Boundary Condition kali ini berbeda dengan yang sebelumnya, pembatasan dilakukan pada bidang tepi model untuk memfokuskan perhitungan tegangan hanya pada model dan tidak bersifat *free*. Jenis *boundary* yang digunakan adalah *fixed x* dan *fixed x/y* seperti gambar 4.13.



Gambar 4.21 *Boundary Condition*

8. *Running*

Setelah semua material dan komponen analisis sesuai maka langkah terakhir yaitu *running*, hasil analisis SIGMA/W hanya digunakan untuk pelengkap analisis QUAKE/W kondisi tegangan tanah jadi output pada analisis tidak diperhitungkan.

4.1.4. Analisis Kondisi Gempa

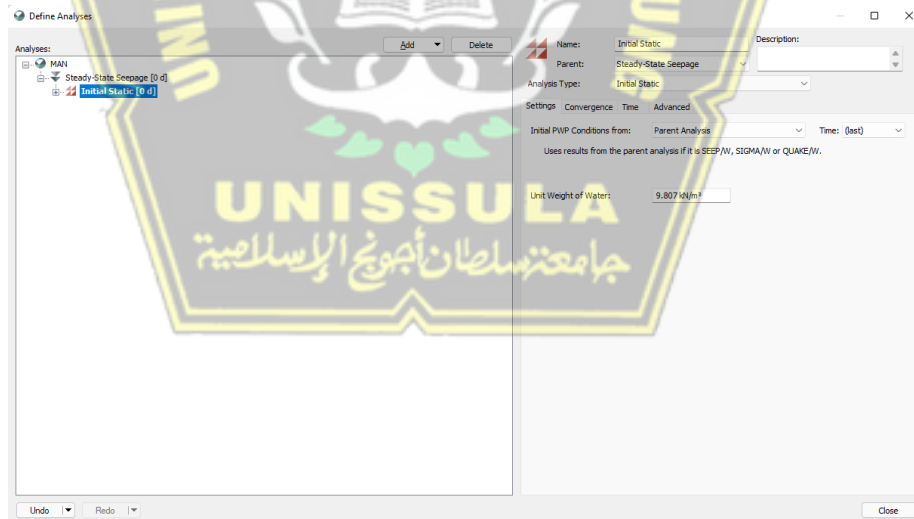
Analisis kondisi gempa menggunakan Quake/W dilakukan 2 kali pada tipe analisis *initial static* dan *Equivalent linier Dynamic*. *Initial static* menjadi syarat wajib sebelum masuk ke tipe analisis *Equivalent linier Dynamic*, karna pada tahap *initial static* dilakukan perhitungan tegangan dan initial pwp. Pada analisis ini merupakan analisis yang cukup rumit karna banyak komponen yang harus dilengkapi dan bersifat *parent* (induk), yang berarti analisis QUAKE/W mengambil hasil analisis induk yaitu dari hasil SEEP/W. Berikut Langkah-langkah analisis:

1. *Define Analysis*

Halaman *define Analysis* SEEP/W sebelumnya yang sudah dianalisis ditambah analisis QUAKE/W masing-masing tipe analisis *initial static* dan *Equivalent linier Dynamic*.

a. *Initial Static*

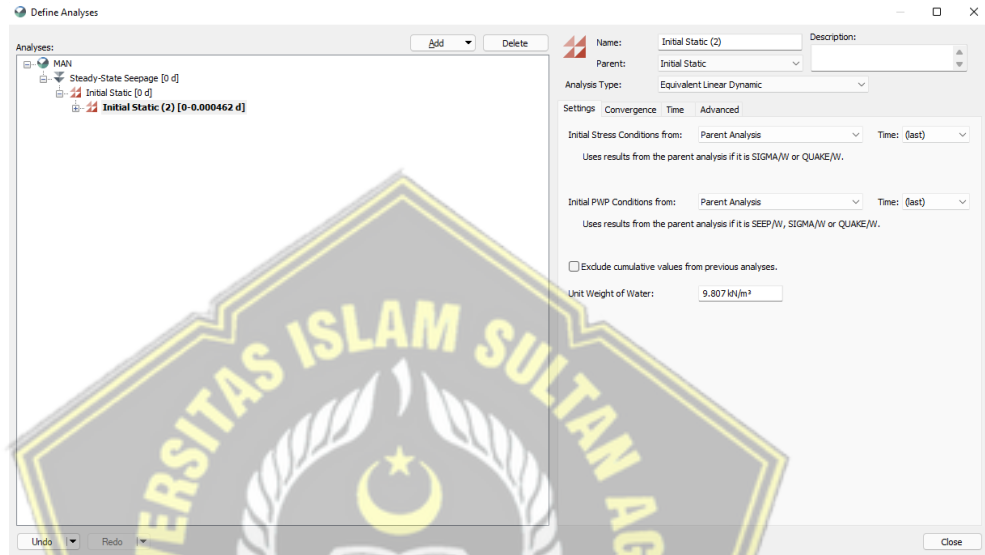
Karna kekurangan QUAKE/W tipe analisis *initial static* memiliki kelemahan pada perhitungan tegangan maka perhitungan tegangan *initial static* tidak akan digunakan dan akan dibahas lebih lanjut di sub-bab *Equivalent linier Dynamic*.



Gambar 4.22 *Define Analysis*

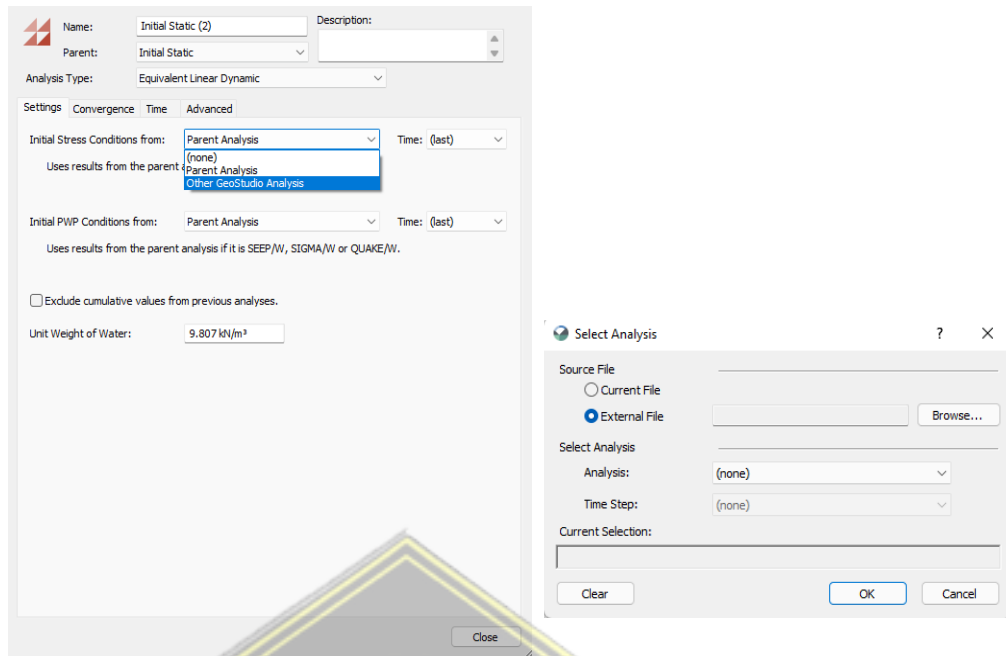
b. *Equivalent linier Dynamic*

Langkah selanjutnya yaitu *add* (tambahkan) *QUAKE/W* tipe analisis *Equivalent linier Dynamic*, seperti yang sudah disinggung di sub-bab sebelumnya tegangan *initial static* tidak digunakan karna kelamahan pada sistem perhitungannya dan perhitungan tegangan yang baik ada di *SIGMA/W* tipe analisis *insitu* maka pada *parent* analisis tegangan mengambil file



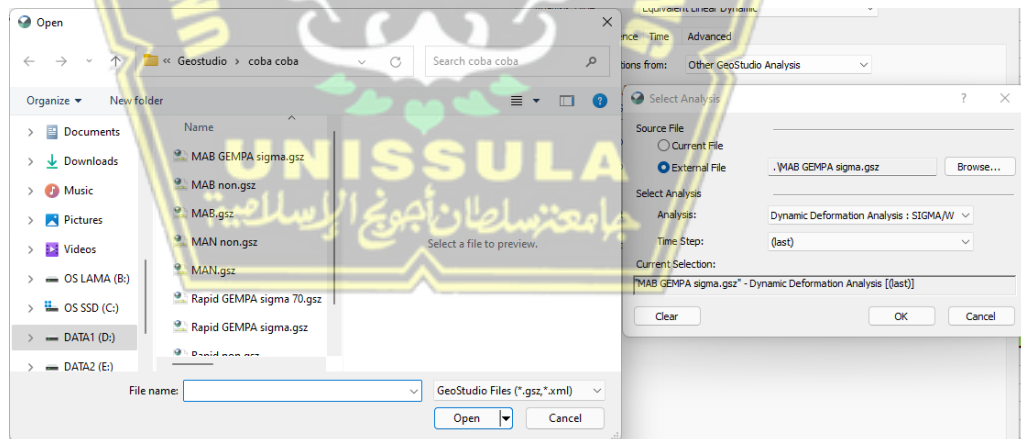
Gambar 4.23 *Define analysis*

external dari hasil perhitungan *SIGMA/W* sebelumnya dan masukan pada menu *initial Stress*, langkah langkahnya akan di jelaskan pada gambar 4.35.



Gambar 4.24 penentuan *initial stress condition from*

Pilih menu other pada *initial stress condition from* lalu pilih opsi *External File* untuk memasukan file hasil perhitungan SIGMA/W kedalam perhitungan QUAKE/W yang ditunjukkan seperti gambar 4.36.

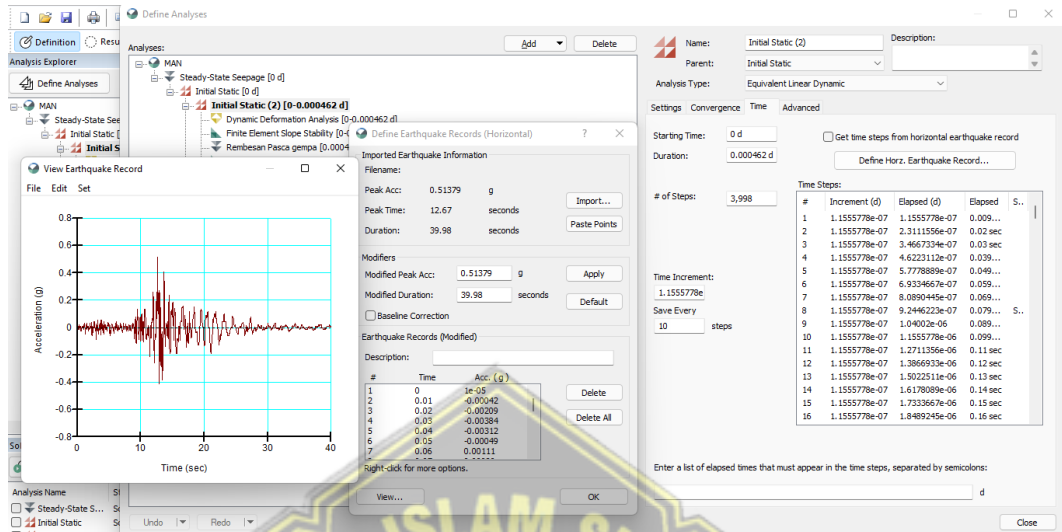


Gambar 4.25 *Import file SIGMA/W*

2. *Input Accelogram*

Selanjutnya memasukan beban gempa pada define analisis dengan mengcopy data rekaman pada excel lalu paste pada opsi paste point di menu time. Sesuaikan

steps, time increment dan save every, setelah acceleration sesuai maka data gempa sudah masuk kedalam sistem analisis.



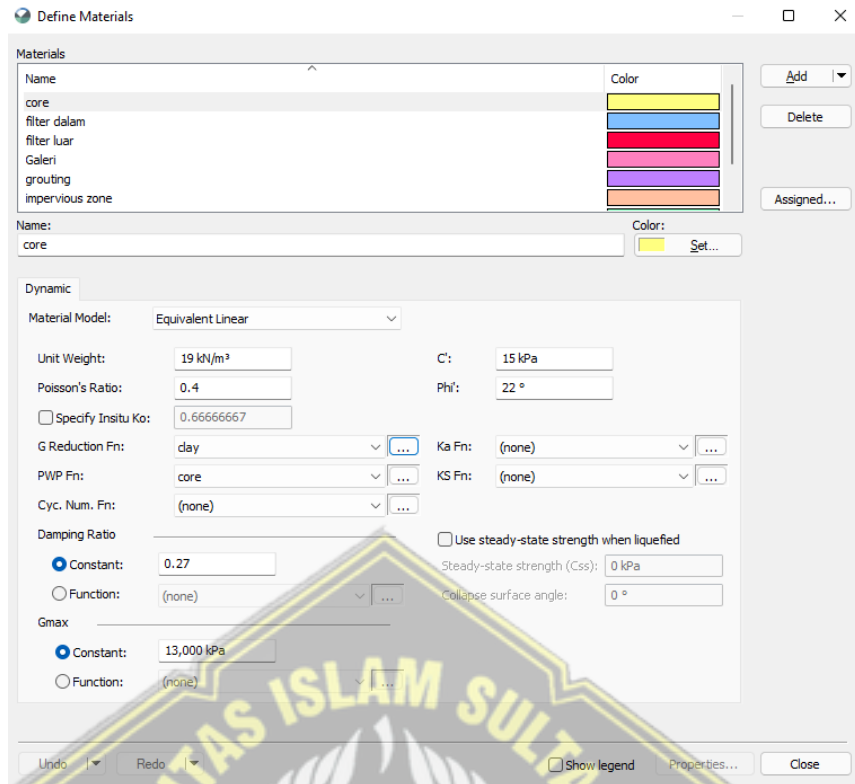
Gambar 4.26 import data gempa

3. Input Material

Input beberapa material yang di perlukan dalam analisis QUAKE/W seperti *G Reduction*, *unit weight*, *poisson's ratio*, *C'*, *Phi'*, *G Reduction fn*, *PWP fn*, *Ka Fn*, *KS fn*, *Damping ratio* dan *Gmax*. Sesuaikan material dengan kondisi *real* dilapangan.

Tabel 4.3 Input Material Gempa

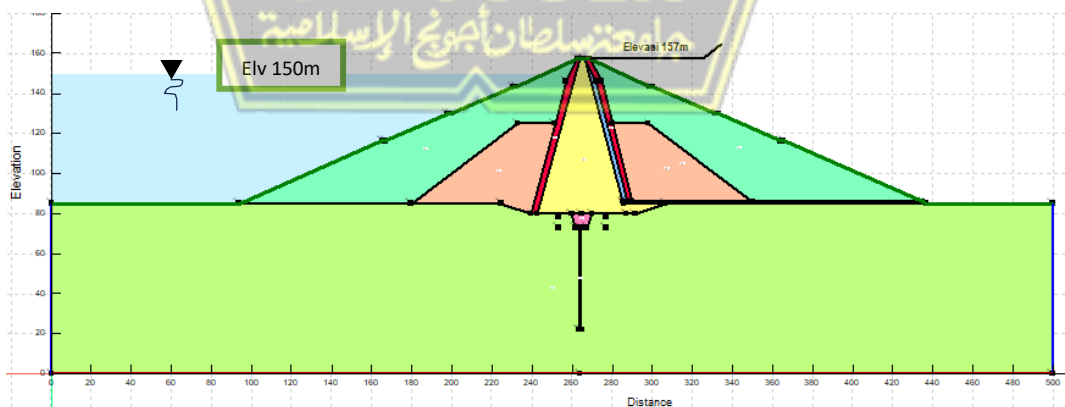
Bagian	Jenis	konsentrasi	E	γ	v	d	Gmax	ϕ'	c'
			kPa	kN/m ³			Kpa	°	Kpa
Core	Clay	Very stiff	20000	19	0.4	0.27	13000	22	15
Impervious	Clay	Sandy	25000	18	0.25	0.25	15625	32	10
Outpervious	sirtu	sirtu	40000	18	0.25	0.18	27000	34	3
Filter dalam	Sand	Danse	50000	17	0.3	0.15	30000	33	4
Filter luar	Sand	Danse	50000	17	0.3	0.15	30000	33	4
Tanah asli	Batuan	Medium	125000	21	0.2	0.15	81250	40	25
Galery	Beton	fc' 40	25743000	24	0.15	0.21	15445800	45	45



Gambar 4.27 *Define Material*

4. Draw Material

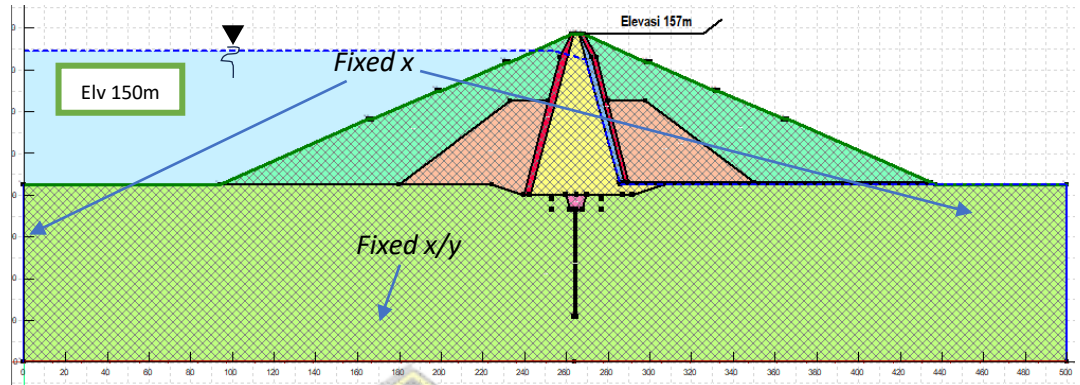
Setelah material semua dibuat maka tahap selanjutnya masukan material kedalam model. *Drop* semua material kedalam model sesuai dengan kondisi di lapangan.



Gambar 4.28 *Draw Material*

5. Boundary condition

Sama dengan SIGMA/W *boundary condition* pada analisis ini dilakukan di tepi model dengan menggunakan jenis boundary *fixed x* dan *fixed x/y*.



Gambar 4.29 *Boundary Condition*

4.1.5. Analisis *Safety Of Factor* Lereng

Tipe analisis yang terakhir yaitu untuk mengetahui nilai *safety of factor* dari slope sebelum dan sesudah terjadi gempa. Pada analisis sebelum gempa tipe analisis yang digunakan yaitu *Morgenstern-price* dan setelah gempa menggunakan *QUAKE/W STRESS*. Berikut Langkah-langkah analisisnya:

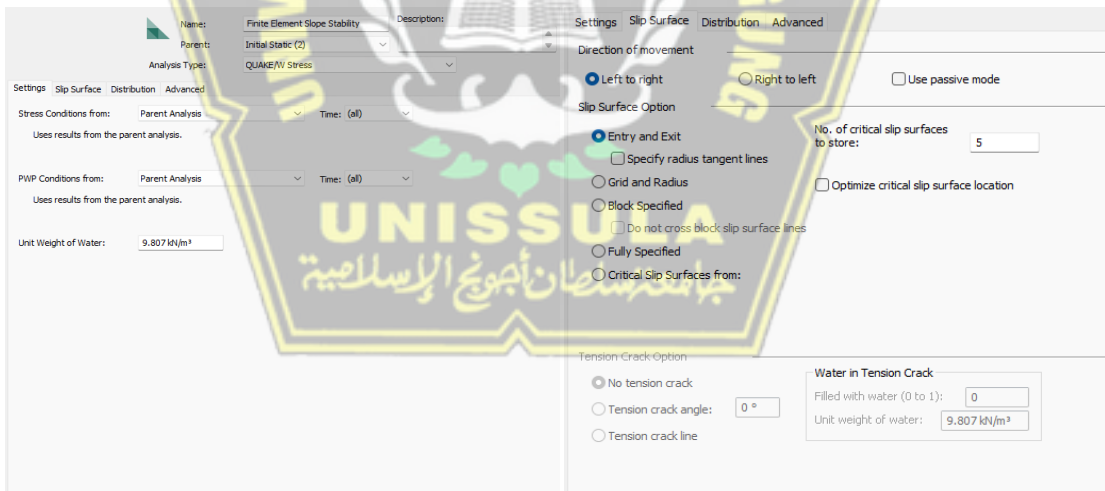
1. *Define Analysis*

Langkah pertama seperti yang biasa dilakukan pada analisis sebelumnya yaitu menentukan *define analysis*, pada halaman *define analysis* klik add lalu pilih *SLOPE/W Morgenstern-price* untuk sebelum gempa dan setelah gempa menggunakan *QUAKE/W STRESS* seperti gambar 4.41.



Gambar 4.30 *define analysis*

selanjutnya pada menu setting ubah kondisi PWP dan *Stres* dengan *parent analysis* dan *time* pilih *all*. Setelah setting masuk ke *slip surface* pilih jenis yang *entri – exit*.



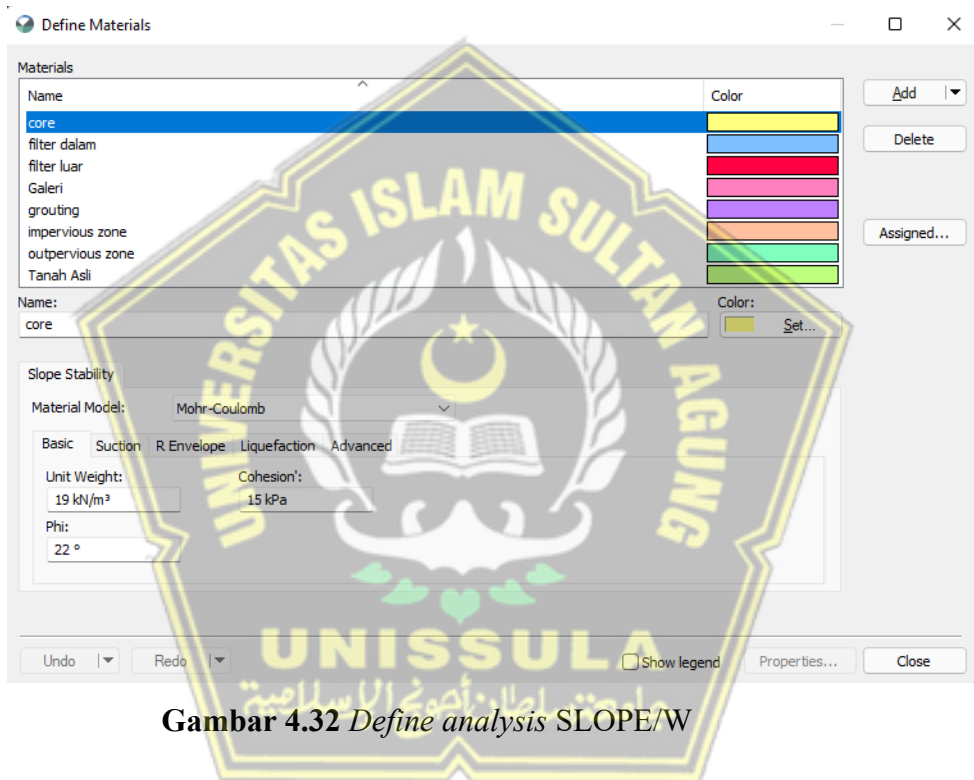
Gambar 4.31 *stting dan slip surfave SLOPE/W*

3. *Input Material*

Input beberapa material yang di perlukan dalam analisis SLOPE/W seperti *unit weight*, *C* dan *Phi* ' Sesuaikan material dengan kondisi *real* dilapangan.

Tabel 4.4 *Input Analisis Material Lereng*

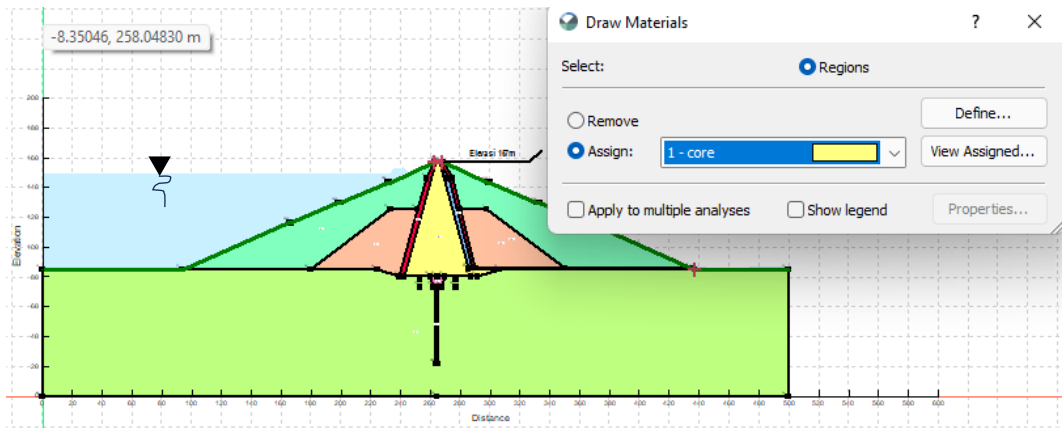
Bagian	Jenis	konsentrasi	γ	c'	ϕ'
			kN/m ³	Kpa	°
Core	Clay	Very stiff	19	15	22
Impervious	Clay	Sandy	18	10	32
Outpervious	sirtu	sirtu	18	3	34
Filter dalam	Sand	Danse	17	4	33
Filter luar	Sand	Danse	17	4	33
Tanah asli	Batuan	Medium	21	25	40
Galery	Beton	fc' 40	24	45	45



Gambar 4.32 *Define analysis SLOPE/W*

4. *Draw material*

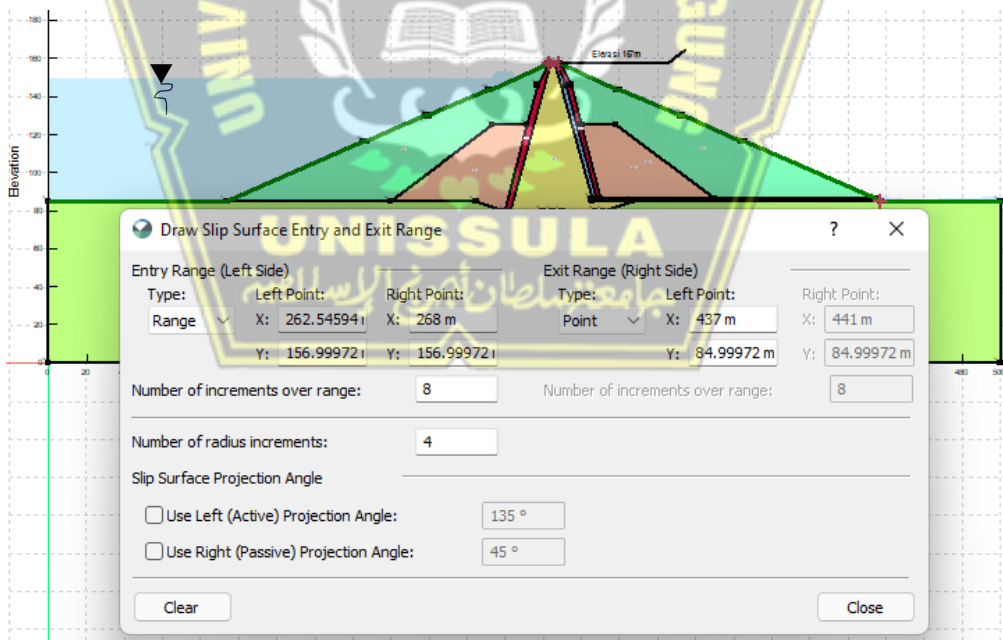
Parameter yang dibuat selanjutnya masukan ke dalam model sesuai dengan kondisi lapangan seperti gambar 4.44.



Gambar 4.33 Draw analysis SLOPE/W

5. Entry to Exit

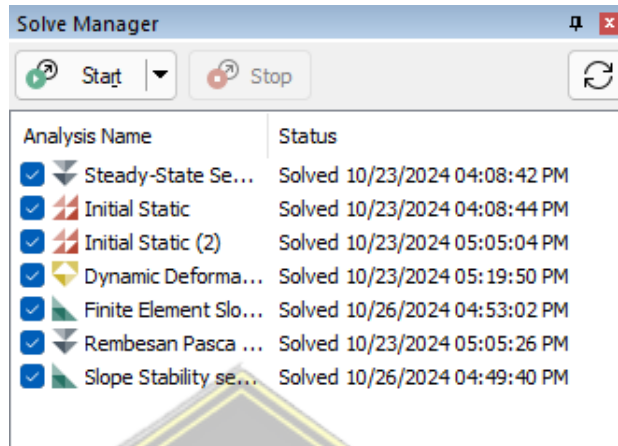
Klik *entry to exit* lalu pilih kondisi lereng yang memiliki potensi memiliki longsor, *entry to exit* yang di analisis adalah bagian hilir bendungan karena kondisi yang memiliki potensi paling beresiko terhadap longsor adalah sebelah hilir bendungan. Ebelah kanan bendungan secara tidak langsung memiliki perkuatas dari debit bendungan yang juga menahan lereng bendungan.



Gambar 4.34 Draw Slip Surface

6. Running

Langkah terakhir yaitu *running* dengan mengklik seluruh *name analysis* pada *solve manager* untuk menggabungkan beberapa analisis dalam satu perhitungan.



Gambar 4.35 Solver Manager

4.1.6. Staggering Analysis

Berikut rangkuman staggering analisis kondisi MAN, MAB dan *Rapid drwdown*.

Tabel 4.5 Staggering Analisis MAN

MAN				
no	Analysis	Type Analysis	Parent	Output
1	SEEP/W	Steady State	None	Debit dan kecepatan rembesan
2	SLOPE/W (1)	Morgenstern-Price	SEEP/W	SF Lereng
3	QUAKE/W (1)	Insitu	SEEP/W	Tegangan Tanah
4	QUAKE/W (2)	Equivalent Linier	QUAKE/W	Deformation
5	SLOPE/W (2)	QUAKE/W Stress	QUAKE/W (2)	SF Lereng
6	SEEP/W	Trasient	QUAKE/W (2)	Debit dan kecepatan rembesan

Tabel 4.6 Staggering Analisis MAB

MAB				
no	Analysis	Type Analysis	Parent	Output
1	SEEP/W	Steady State	None	Debit dan kecepatan rembesan
2	SLOPE/W (1)	Morgenstern-Price	SEEP/W	SF Lereng
3	QUAKE/W (1)	Insitu	SEEP/W	Tegangan Tanah
4	QUAKE/W (2)	Equivalent Linier	QUAKE/W	Deformation
5	SLOPE/W (2)	QUAKE/W Stress	QUAKE/W (2)	SF Lereng
6	SEEP/W	Trasient	QUAKE/W (2)	Debit dan kecepatan rembesan

Tabel 4.7 Staging Analisis Rapid Drawdown

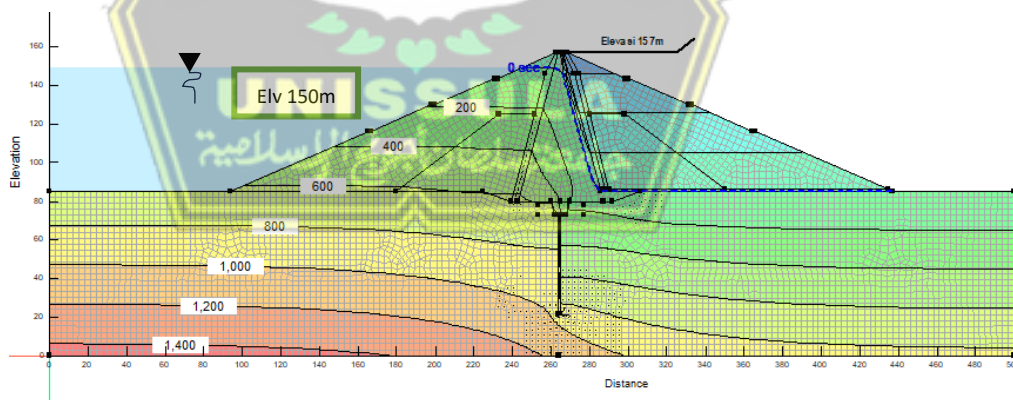
Rapid Drawdown				
no	Analysis	Type Analysis	Parent	Output
1	SEEP/W (1)	Steady State	None	Debit dan kecepatan rembesan
2	SEEP/W (2)	Trasient	SEEP/W (1)	Debit dan kecepatan rembesan
3	SLOPE/W (1)	Morgenstern-Price	SEEP/W (2)	SF Lereng
4	QUAKE/W (1)	Insitu	SEEP/W (2)	Tegangan Tanah
5	QUAKE/W (2)	Equivalent Linier	QUAKE/W (1)	Deformation
6	SLOPE/W (2)	QUAKE/W Stress	QUAKE/W (2)	SF Lereng
7	SEEP/W (3)	Trasient	QUAKE/W (2)	Debit dan kecepatan rembesan

4.2. Hasil Analisis Aliran Rembesan Air

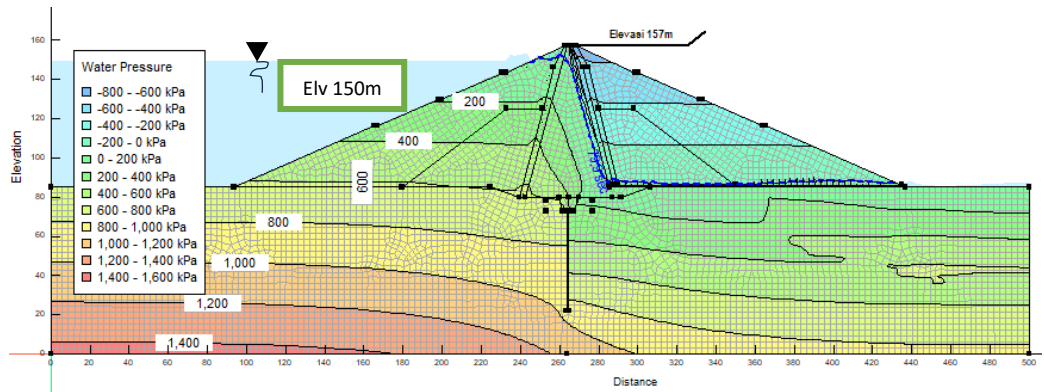
Pada analisis SEEP/W akan berfokus pada analisis rembesan pada bendungan Jatibarang. Melihat kecepatan rembesan bendungan kita dapat melihat melalui grafik *eater rate vs time*, nilai tersebut lalu dihitung untuk mendapat nilai debit rembesan dalam satu area bentang rembesan.

1. MAN

Pada kondisi muka air normal berikut *pore water pressure* dan *water total head* dari hasil pemodelan SEEP/W kondisi Muka Air Normal guna mengetahui aliran garis *freatik* pada timbunan bendungan.

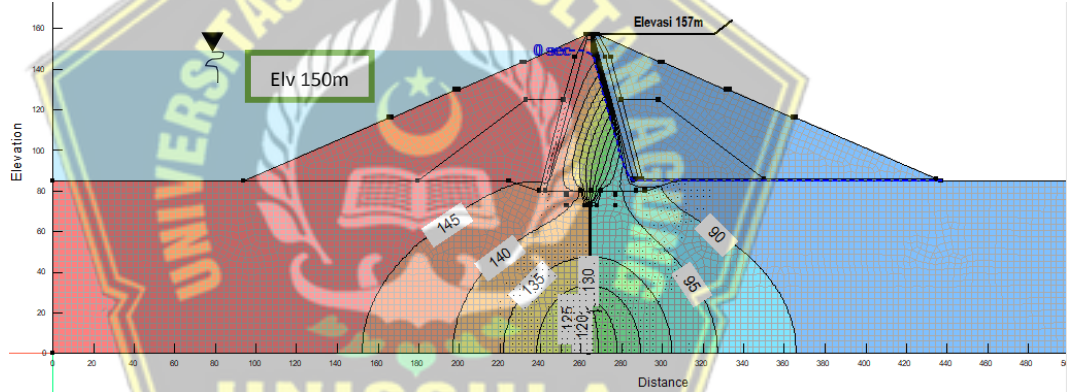


Gambar 4.36 Kontur tekanan air pori sebelum gempa kondisi *steady state* MAN

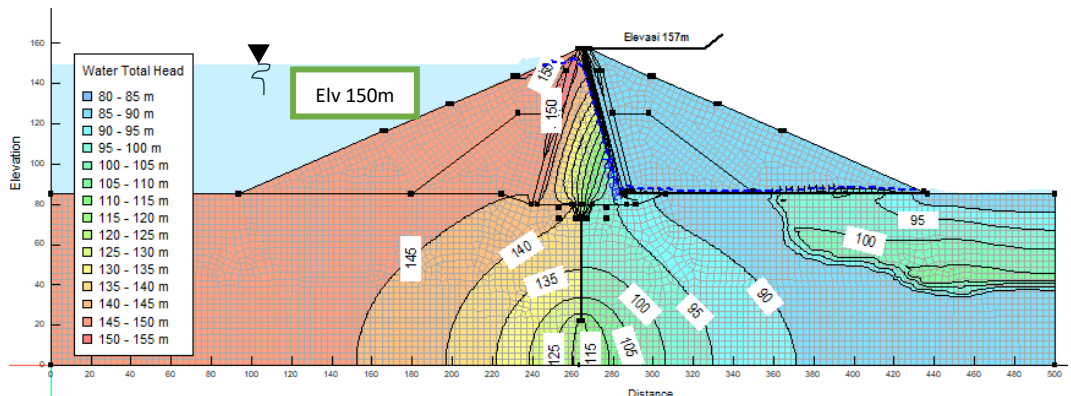


Gambar 4.37 Kontur tekanan air pori sesudah gempa kondisi MAN

Pada *output* yang dihasilkan dari dua model menunjukkan perbedaan pada garis freatik. Setiap lapisan garis *pore water pressure* terlihat berubah bentuk karna faktor gempa.



Gambar 4.38 *Water total head* sebelum gempa kondisi *steady state* MAN



Gambar 4.39 *Water total head* sesudah gempa kondisi MAN

Hasil dari *output* sebelum dan setelah gempa terlihat terjadi perubahan *water total head* pada sisi hilir bawah lereng yang terpengaruh akibat muka air bendungan di elevasi 100m dan 95m. Pada kondisi di sisi puncak hulu lereng paling banyak dipengaruhi oleh air dari elevasi 150m.

Output pada *Software SEEP/W* berupa debit rembesan per meter lebar (debit Fluxs = q_f) yang melalui bagian tubuh dan fondasi bendungan. Sehingga untuk mengetahui total debit rembesan (Q_T) dapat digunakan Persamaan dibawah ini.

$$Q_T = q_r \times L \dots\dots\dots (4.1)$$

Keterangan:

Q_T = Total debit rembesan (m^3/s)

q_f = Debit rembesan Fluxs ($m^3/s/m'$)

L = Luas penampang memanjang Bendungan (m)

Pertama, Anda harus menghitung debit rembesan per meter lebar (debit Fluxs = q_f) pada garis tinjauan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 4.48. Gross storage capacity Bendungan Jatibarang adalah 20,4 juta m^3 . Besarnya debit rembesan yang melalui bendungan (Q_r) harus lebih kecil dari 0,05% dari (Q_i) *Gross storage capacity* (RSNI M-02, 2002). Sehingga:

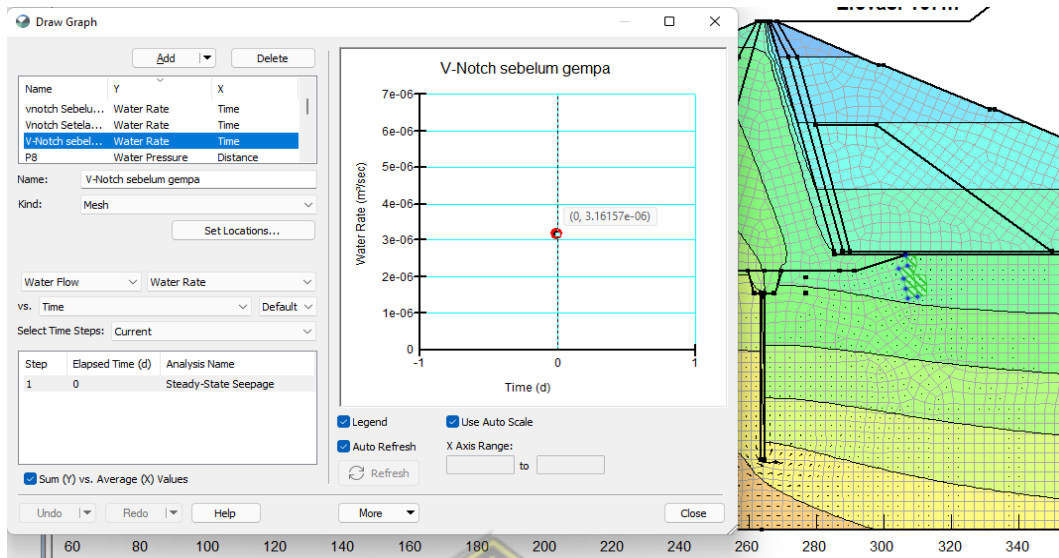
$$Q_r = \frac{Q_i \times 0,05\% \times 1000}{60 \times 60 \times 24}$$

$$Q_r = \frac{20400000 \times 0,05\% \times 1000}{60 \times 60 \times 24}$$

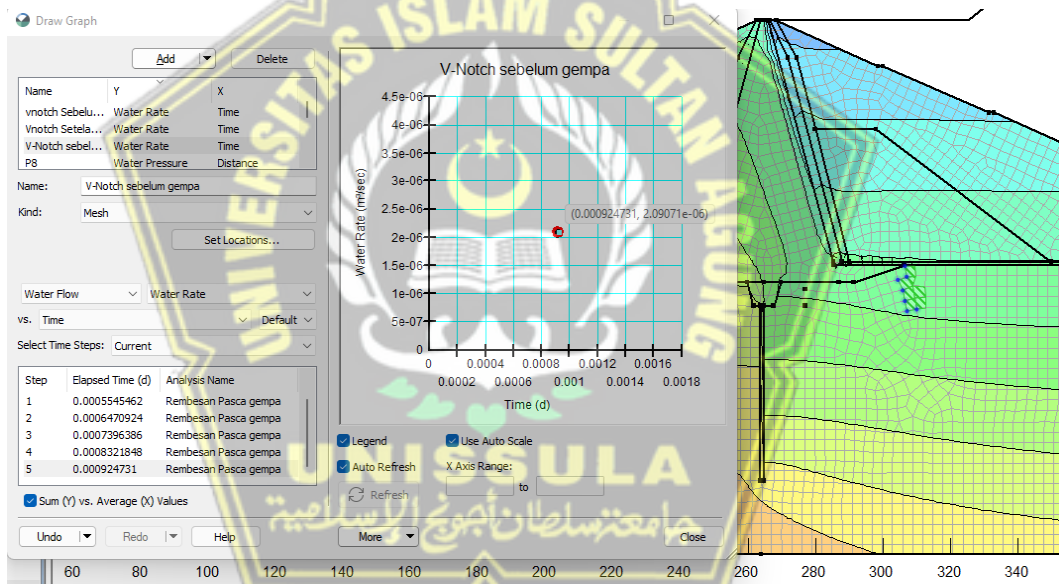
$$Q_r = \frac{10200000}{86400}$$

$$Q_r = 118,1 \text{ l/det}$$

Dari hasil tersebut menyimpulkan bahwa batas rembesan aliran air pada bendungan Jatibarang adalah sebesar 118,1 l/det.



Gambar 4.40 Besarnya Debit Rembesan sebelum gempa pada kondisi Muka Air Normal



Gambar 4.41 Besarnya Debit Rembesan sesudah gempa pada kondisi Muka Air Normal

Perhitungan Debit Rembesan Sebelum Gempa

$$\begin{aligned}\text{Debit rembesan } (qf) \text{ per m}' &= 3,16\text{E-}06 \quad \text{m}^3/\text{det}/\text{m}' \\ &= 3,16\text{E-}03 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}' \\ &= 0,19 \quad \text{l}/\text{menit}/\text{m}' \\ &= 0.0032 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}\end{aligned}$$

Setelah mendapat debit aliran rembesan hasil tersebut dikalikan dengan panjang penampang rembesan bendungan besesar

$$(L) = 343,3531 \times 0.0032$$

$$\text{Hasil analisis} = 1,09 \quad \text{l}/\text{det}$$

$$\text{Syarat aliran rembesan air} = 118,1 \quad \text{l}/\text{det}$$

Sehingga pada kondisi MAN sebelum gempa nilai rembesan 1,09 l/det < 118,1 l/det masih lebih kecil dengan syarat rembesan yang di iijinkan di Bendunga Jatibarang.

Perhitungan Debit Rembesan Sesudah Gempa

$$\begin{aligned}\text{Debit rembesan } (qf) \text{ per m}' &= 2,09\text{E-}06 \quad \text{m}^3/\text{det}/\text{m}' \\ &= 2,09\text{E-}03 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}' \\ &= 0,125 \quad \text{l}/\text{menit}/\text{m}' \\ &= 0.0021 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}\end{aligned}$$

Setelah mendapat debit aliran rembesan hasil tersebut dikalikan dengan panjang penampang rembesan bendungan besesar

$$(L) = 343,3531 \times 0.0021$$

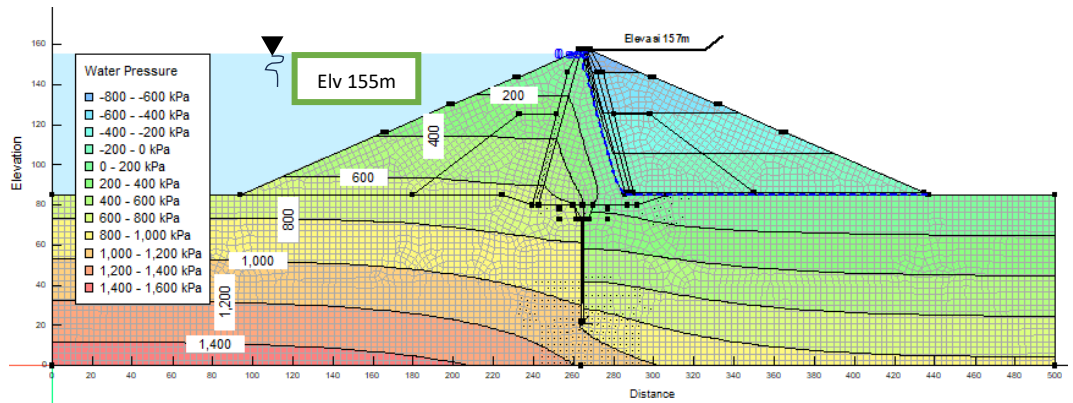
$$\text{Hasil analisis} = 0,72 \quad \text{l}/\text{det}$$

$$\text{Syarat aliran rembesan air} = 118,1 \quad \text{l}/\text{det}$$

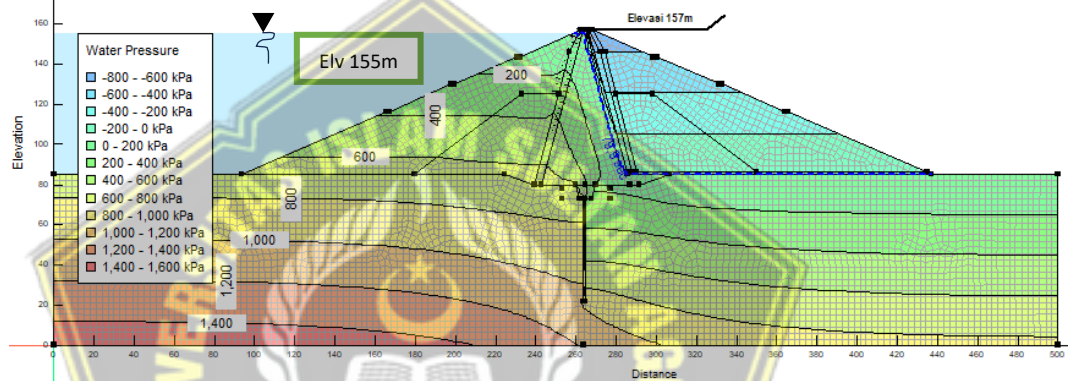
Sehingga pada kondisi MAN sesudah gempa nilai rembesan 0,72 l/det < 118,1 l/det masih lebih kecil dengan syarat rembesan yang di iijinkan di Bendunga Jatibarang.

2. MAB

Pada kondisi muka air banjir berikut *pore water pressure* dan *water total head* dari hasil pemodelan SEEP/W Muka Air Banjir guna mengetahui aliran garis *freatik* pada timbunan bendungan.

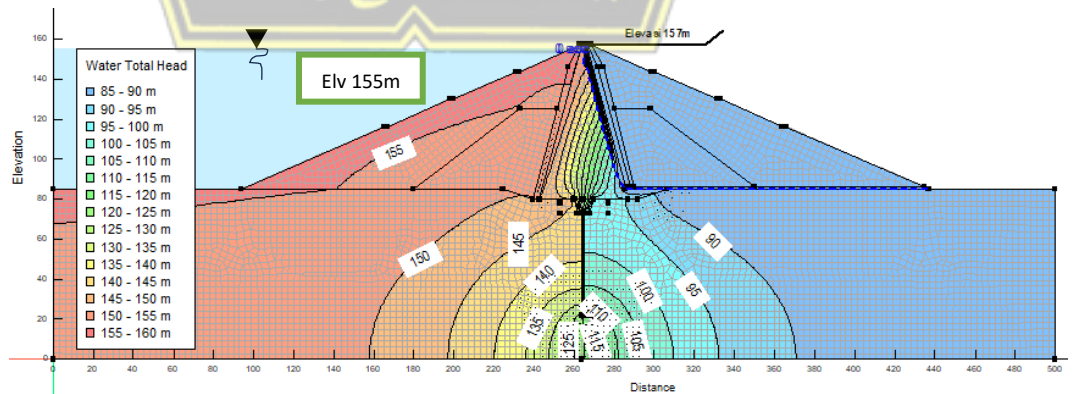


Gambar 4.42 Kontur tekanan air pori sebelum gempa kondisi *steady state* MAB

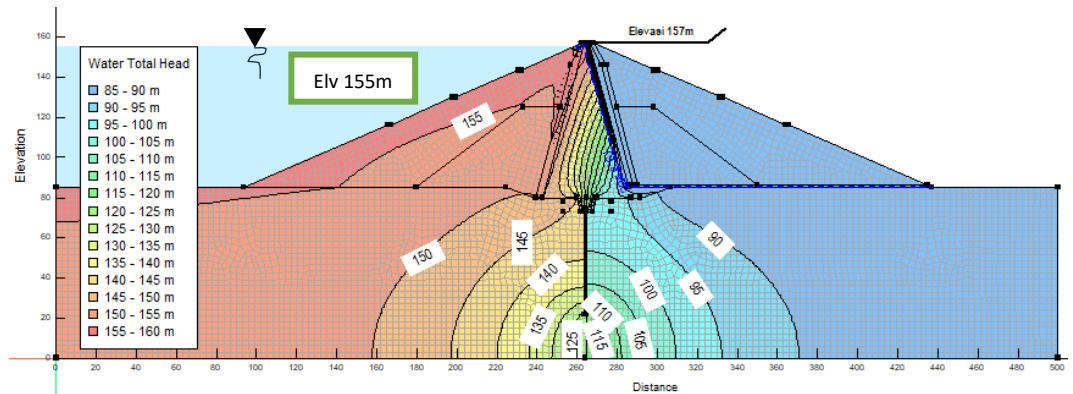


Gambar 4.43 Kontur tekanan air pori setelah gempa kondisi MAB

Pada *output* yang dihasilkan dari dua model menunjukkan perbedaan pada garis freatik. Setiap lapisan garis *pore water pressure* terlihat berubah bentuk karna faktor gempa.

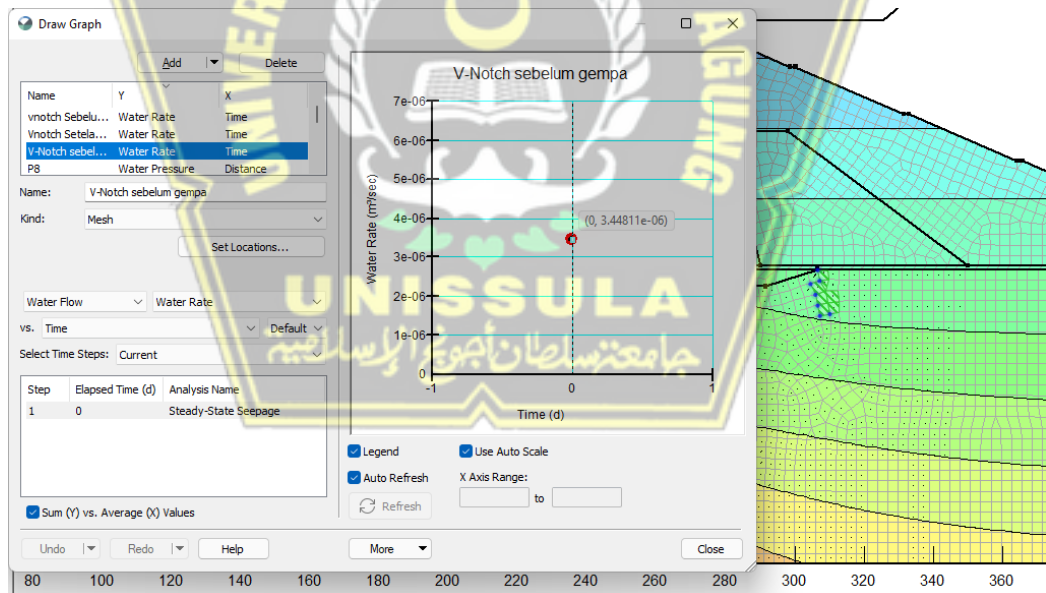


Gambar 4.44 *Water total head* sebelum gempa kondisi *steady state* MAB

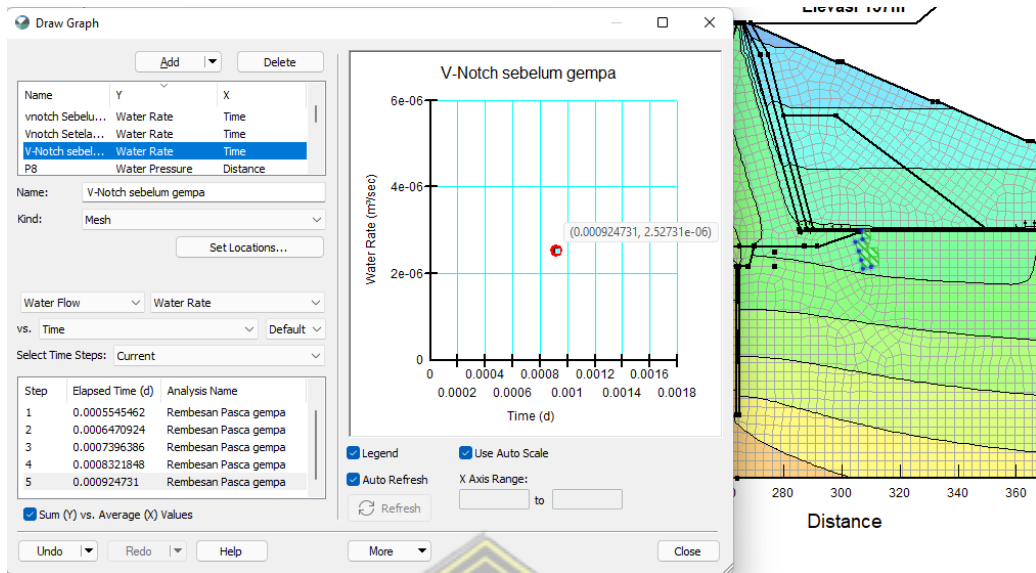


Gambar 4.45 *Water total head* setelah gempa kondisi MAB

Hasil dari *output* sebelum dan setelah gempa terlihat terjadi perubahan *water total head* pada puncak bagian impervious lereng hulu dekat dengan filter yang terpengaruh akibat muka air bendungan elevasi 155m. Berbeda dengan 2 model lainnya sisi hilir tidak terpengaruh terlalu banyak *water total head*.



Gambar 4.46 Besarnya Debit Rembesan sebelum gempa pada kondisi Muka Air Banjir



Gambar 4.47 Besarnya Debit Rembesan sesudah gempa pada kondisi Muka Air Banjir

Perhitungan Debit Rembesan Sebelum Gempa

$$\begin{aligned}
 \text{Debit rembesan } (qf) \text{ per m}' &= 3,45\text{E-}06 \quad \text{m}^3/\text{det}/\text{m}' \\
 &= 3,45\text{E-}03 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}' \\
 &= 0,207 \quad \text{l}/\text{menit}/\text{m}' \\
 &= 0.0035 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}
 \end{aligned}$$

Setelah mendapat debit aliran rembesan hasil tersebut dikalikan dengan panjang penampang rembesan bendungan besesar

$$\begin{aligned}
 (L) &= 343,3531 \times 0.0035 \\
 \text{Hasil analisis} &= 1,18 \quad \text{l}/\text{det} \\
 \text{Syarat aliran rembesan air} &= 118,1 \quad \text{l}/\text{det}
 \end{aligned}$$

Sehingga pada kondisi MAB sebelum gempa nilai rembesan 1,18 l/det < 118,1 l/det masih lebih kecil dengan syarat rembesan yang di iijinkan di Bendunga Jatibarang.

Perhitungan Debit Rembesan Sesudah Gempa

$$\begin{aligned}
 \text{Debit rembesan } (qf) \text{ per m}' &= 2,53\text{E-}06 \quad \text{m}^3/\text{det}/\text{m}' \\
 &= 2,53\text{E-}03 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}' \\
 &= 0,152 \quad \text{l}/\text{menit}/\text{m}' \\
 &= 0.0025 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}
 \end{aligned}$$

Setelah mendapat debit aliran rembesan hasil tersebut dikalikan dengan panjang penampang rembesan bendungan besesar

$$(L) = 343,3531 \times 0.0025$$

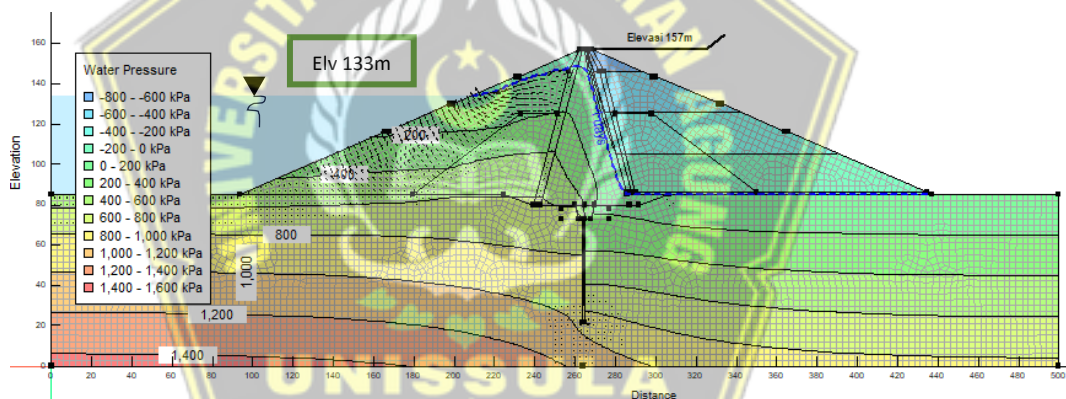
$$\text{Hasil analisis} = 0,868 \quad \text{l/det}$$

$$\text{Syarat aliran rembesan air} = 118,1 \quad \text{l/det}$$

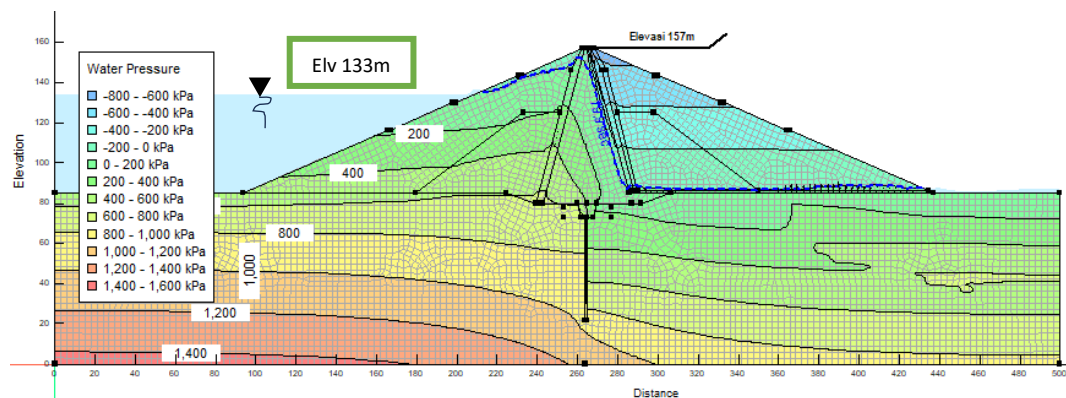
Sehingga pada kondisi MAB sesudah gempa nilai rembesan 0,868 l/det < 118,1 l/det masih lebih kecil dengan syarat rembesan yang di ijinakan di Bendunga Jatibarang.

3. Rapid Drawdown

Pada kondisi *rapid drawdown* berikut *pore water pressure* dan *water total head* dari hasil pemodelan SEEP/W *rapid drawdown* guna mengetahui aliran garis *freatik* pada timbunan bendungan.

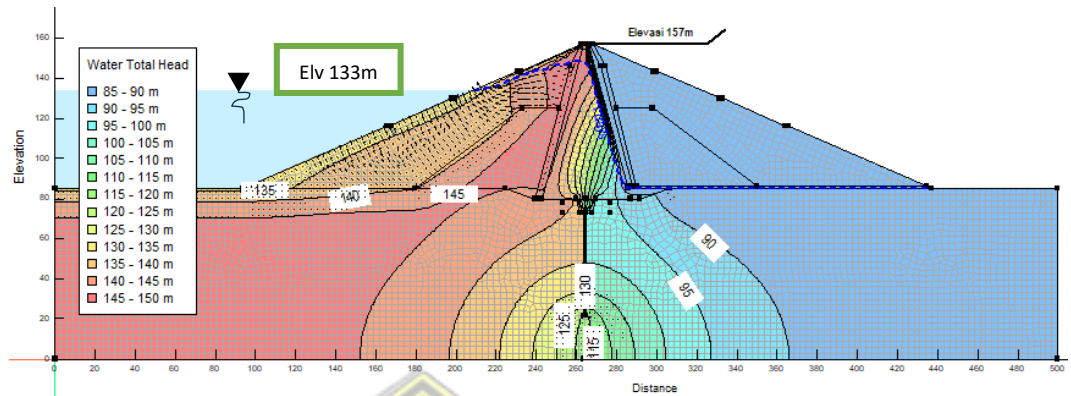


Gambar 4.48 Kontur tekanan air pori sebelum gempa kondisi *transient rapid drawdown*

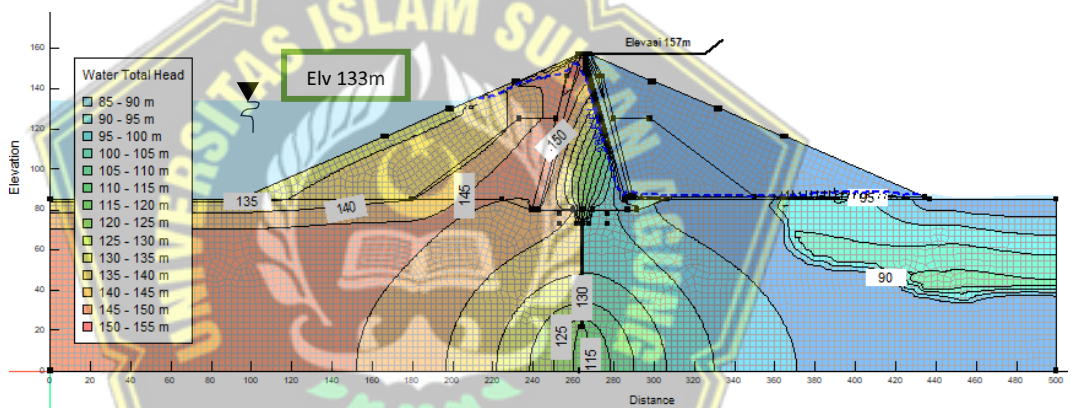


Gambar 4.49 Kontur tekanan air pori setelah gempa kondisi *drawdown*

Pada *output* yang dihasilkan dari dua model menunjukkan perbedaan pada garis freatik diarea puncak bendungan. Setiap lapisan garis *pore water pressure* terlihat berubah bentuk karna faktor gempa.

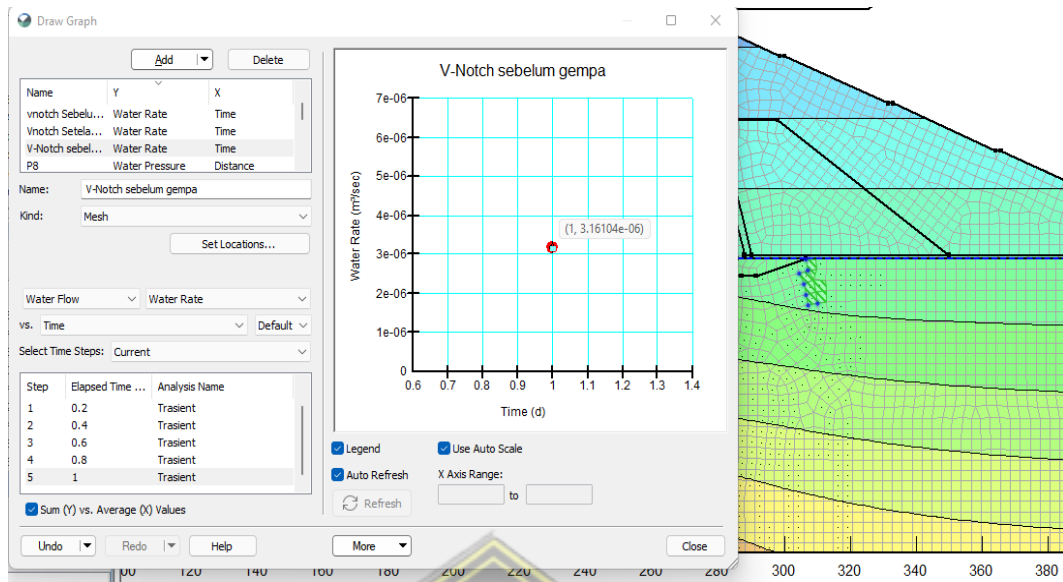


Gambar 4.50 *Water total head* sebelum gempa kondisi *rapid drawdown*

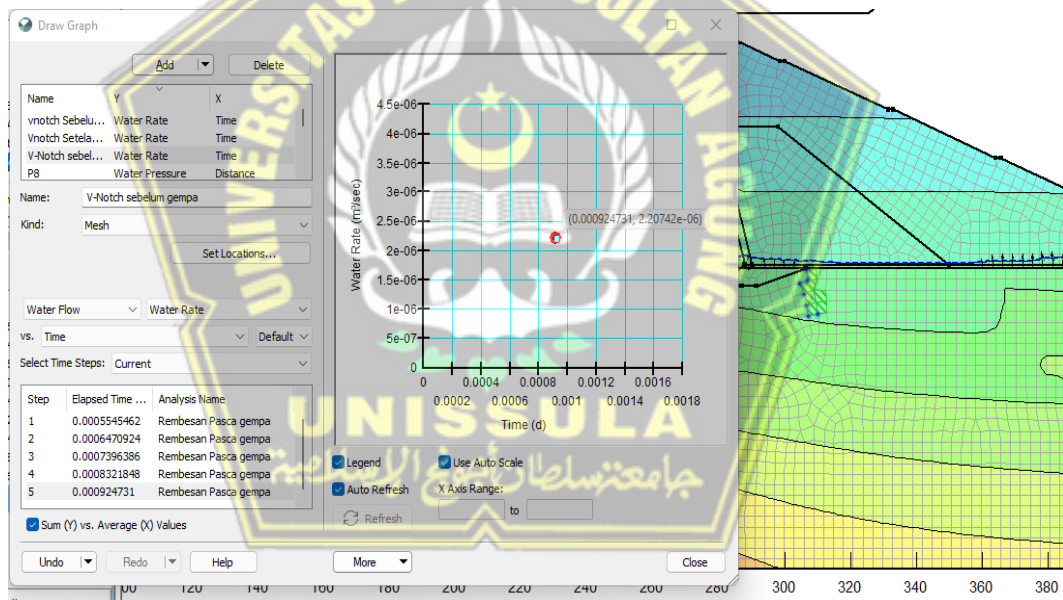


Gambar 4.51 *Water total head* setelah gempa kondisi *rapid drawdown*

Hasil dari *output* sebelum dan setelah gempa terlihat terjadi perubahan *water total head* pada sisi hilir bawah lereng yang terpengaruh akibat muka air bendungan di elevasi 90m dan 95m. Pada kondisi di sisi puncak hulu lereng paling banyak dipengaruhi oleh air dari elevasi 150 m.



Gambar 4.52 Besarnya Debit Rembesan sebelum gempa pada kondisi *rapid drawdown*



Gambar 4.53 Besarnya Debit Rembesan sesudah gempa pada kondisi *rapid drawdown*

Perhitungan Debit Rembesan Sebelum Gempa

$$\begin{aligned}
 \text{Debit rembesan } (qf) \text{ per m}' &= 3,16\text{E-}06 \quad \text{m}^3/\text{det}/\text{m}' \\
 &= 3,16\text{E-}03 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}' \\
 &= 0,19 \quad \text{l}/\text{menit}/\text{m}' \\
 &= 0.0032 \quad \text{l}/\text{det}/\text{m}
 \end{aligned}$$

Setelah mendapat debit aliran rembesan hasil tersebut dikalikan dengan panjang penampang rembesan bendungan besesar

$$\begin{aligned} (L) &= 343,3531 \times 0.0032 \\ \text{Hasil analisis} &= 1,09 \quad \text{l/det} \\ \text{Syarat aliran rembesan air} &= 118,1 \quad \text{l/det} \end{aligned}$$

Sehingga pada kondisi rapid sebelum gempa nilai rembesan 1,09 l/det < 118,1 l/det masih lebih kecil dengan syarat rembesan yang di iijinkan di Bendunga Jatibarang.

Perhitungan Debit Rembesan Sesudah Gempa

$$\begin{aligned} \text{Debit rembesan } (qf) \text{ per m}' &= 2,21\text{E-}06 \quad \text{m}^3/\text{det}/\text{m}' \\ &= 2,21\text{E-}03 \quad \text{l/det}/\text{m}' \\ &= 0,132 \quad \text{l/menit}/\text{m}' \\ &= 0.0022 \quad \text{l/det}/\text{m} \end{aligned}$$

Setelah mendapat debit aliran rembesan hasil tersebut dikalikan dengan panjang penampang rembesan bendungan besesar

$$\begin{aligned} (L) &= 343,3531 \times 0.0022 \\ \text{Hasil analisis} &= 0,76 \quad \text{l/det} \\ \text{Syarat aliran rembesan air} &= 118,1 \quad \text{l/det} \end{aligned}$$

Sehingga pada kondisi rapid sesudah gempa nilai rembesan 0,76 l/det < 118,1 l/det masih lebih kecil dengan syarat rembesan yang di iijinkan di Bendunga Jatibarang.

Hasil perhitungan pada kondisi sebelum gempa dan sesudah gempa disimpulkan bahwa tiga kondisi tersebut masih dalam posisi **AMAN** karna rembesan masih dibawah 0,05% *gross storage*. Setelah analisis perhitungan dari 3 model berikut dilakukan berikut kesimpulan dari hasil perbandingan nilai rembesan dari 3 kondisi, hasil menunjukan sebelum dan sesudah terjadi gempa nilai rembesan terbesar terjadi pada kondisi MAB. Pada kondisi sebelum dan sesudah gempa menunjukan debit rembesan menurun dikarenakan analisis SIGMA/W membuat kondisi bendungan mengalami **deformasi** yang sebenarnya sesuai berat jenis material dibendungan, deformasi tersebut membuat butiran semakin rapat dan membuat jalur rembesan air mengecil.³

Tabel 4.8 Hasil Kesimpulan Rembesan Dari 3 Model

no	Model	m ³ /det	l/det	l/menit	l/menit	l/det	Batas Syarat Rembesan (L/det)	(OK)/(NOT OK)
1	MAN sebelum Gempa	3.16E-06	3.16E-03	0.19	65.14	1.09	118.1	OK
2	MAN setelah Gempa	2.09E-06	2.09E-03	0.13	43.08	0.72	118.1	OK
3	MAB sebelum Gempa	3.45E-06	3.45E-03	0.21	71.04	1.18	118.1	OK
4	MAB setelah Gempa	2.53E-06	2.53E-03	0.15	52.07	0.87	118.1	OK
5	Rapid sebelum Gempa	3.16E-06	3.16E-03	0.19	65.12	1.09	118.1	OK
6	Rapid setelah Gempa	2.21E-06	2.21E-03	0.13	45.47	0.76	118.1	OK

Tabel 4.9 Presentase Kehilangan Air Bendungan Jatibarang

l/det	0.05% Gross storage (l/det)	Presentase rembesan (%)	(OK)/(NOT OK)
1.09	118.1	0.000000005321973	OK
0.72	118.1	0.000000003519369	OK
1.18	118.1	0.000000005803526	OK
0.87	118.1	0.000000004253724	OK
1.09	118.1	0.000000005320290	OK
0.76	118.1	0.000000003714609	OK

Untuk meyakinkan hasil perhitungan masih dalam koridor baik atau aman pada bendungan, maka hasil akan dibandingkan dengan analisis rembesan pada bendungan luar negeri. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rembesan di Jatibarang masih masuk akal dan aman. Perbandingan dengan satuan l/det karna analisis pada bendungan di luar negeri dilakukan tanpa menghitung rembesan aliran air.

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Analisis Rembesan

NO	MAN		MAB		Rapid		Bendungan
	l/det	l/day	l/det	l/day	l/det	l/day	
1	3.16E-03	273.20	3.45E-03	297.92	3.16E-03	273.11	Jatibarang, Indonesia
2	9.09E-03	785.38	1.11E-02	959.04	4.54E-06	0.39	Hemrin, Iraq
3	2.88	24.90					Jereh, Iran
4	2.17E-03	187.75					Sagar, India
5	3.50E-03	302.40	3.63E-03	313.63			Jeragung, Indonesia

4.3. Hasil Analisis Gempa

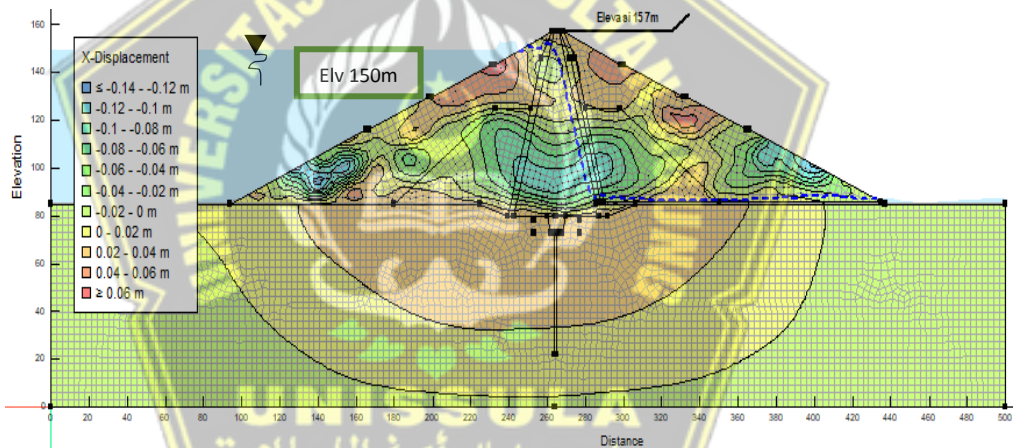
Analisis gempa menggunakan analisis QUAKE/W berfokus pada deformasi yang terjadi akibat beban gempa yang diterapkan pada bendungan Jatibarang. Penentuan hasil deformasi yang terjadi pada bendungan diambil dari hasil grafik

yang ditranslatekan ke dalam excel dan mendapat nilai deformasi paling besar dari arah x maupun y.

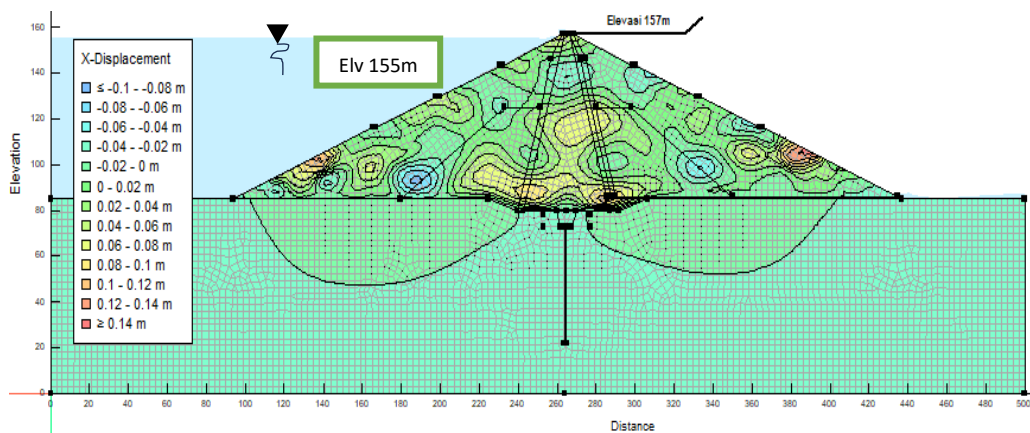
SNI 8064:2016 menjelaskan bahwa titik aman deformasi bendungan yang diijinkan adalah deformasi tidak boleh melebihi 50% dari tinggi jagaan bendungan pada kondisi MAB, hal tersebut bertujuan supaya air tidak luber atau melimpas di top atau puncak bendungan (SNI mengambil referensi dari ICOLD no 148, 2016). Pada bendungan Jatibarang tinggi jagaan 2m, maka dari itu syarat deformasi yang diperbolehkan adalah 1m.

1. Deformasi x (Vertikal)

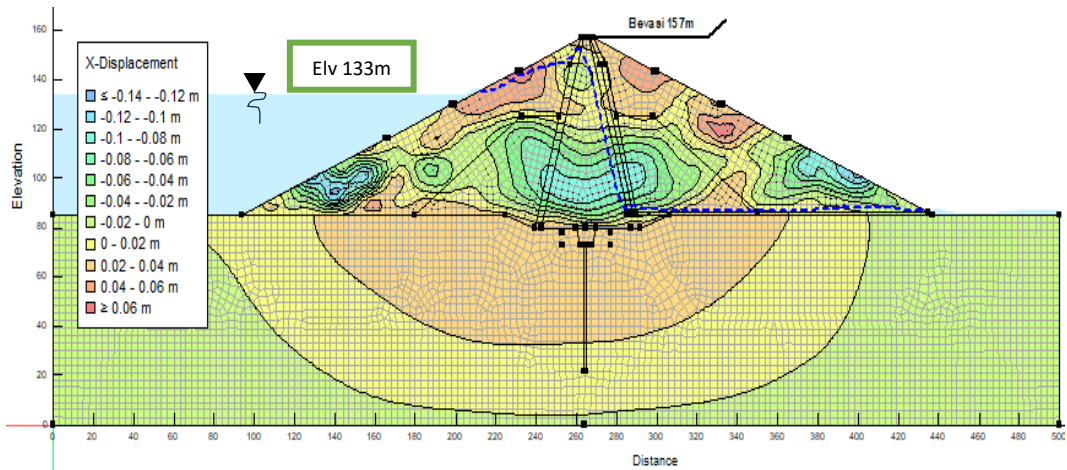
Pergeseran bendungan merupakan perhatian khusus terhadap keamanan bendungan. Dengan sedikitnya pergeseran bendungan menggambarkan stabilitas bendungan yang cukup baik. Berikut hasil analisis QUAKE/W.



Gambar 4.54 output kontur deformasi x kondisi MAN

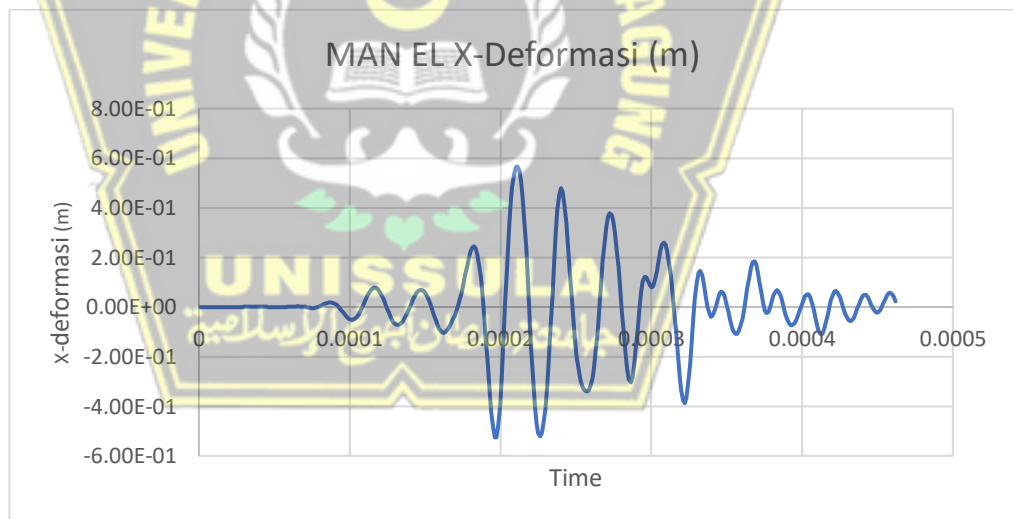


Gambar 4.55 output kontur deformasi x kondisi MAB



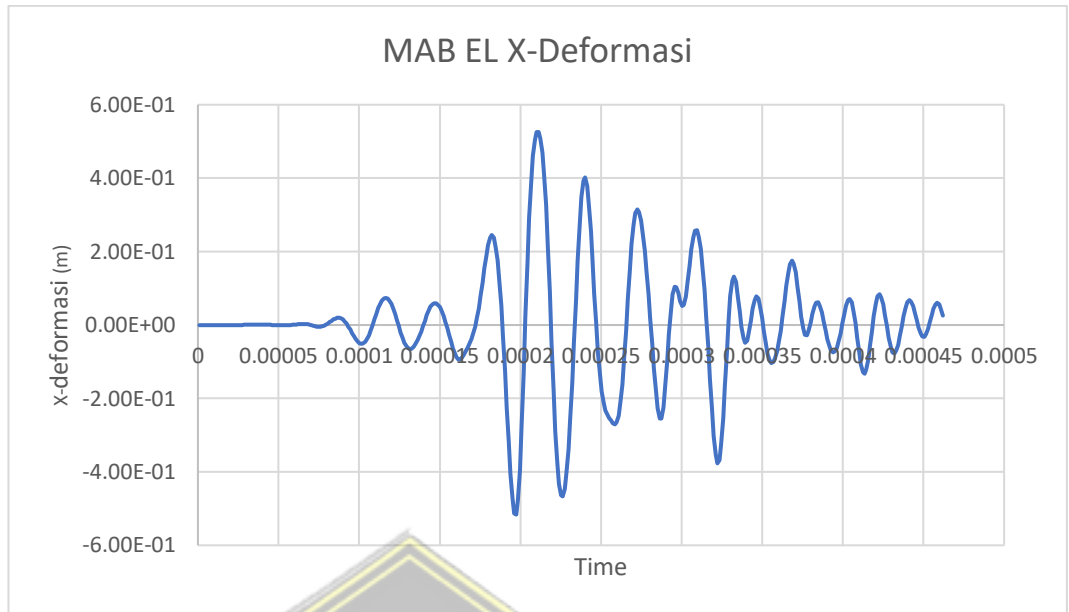
Gambar 4.56 output kontur deformasi x kondisi *rapid drawdown*

Terlihat deformasi yang paling banyak terjadi dan beragam ada di bagian timbunan bendungan. Untuk melihat lebih detail deformasi yang paling tinggi terjadi bisa dilihat dari hasil grafik deformasi *vs time* berikut.



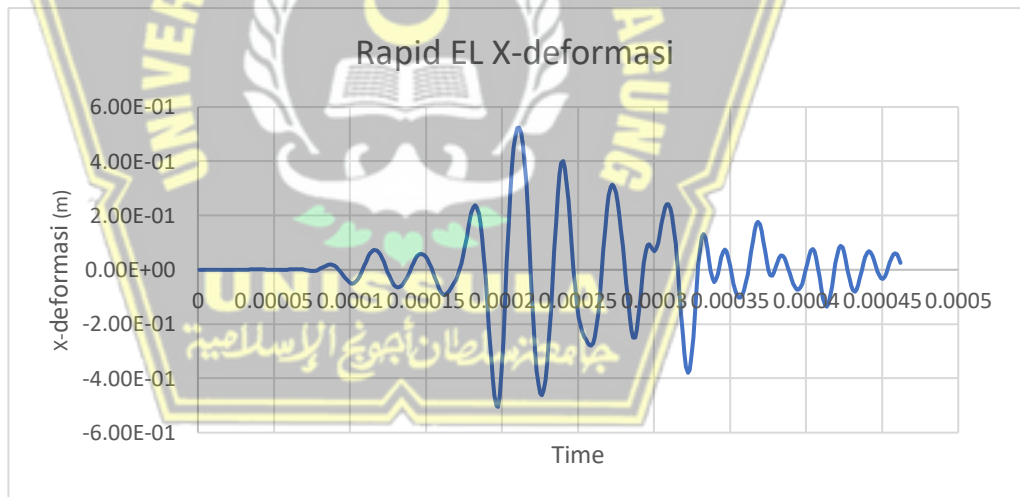
Gambar 4.57 Grafik deformasi-x *vs time* MAN

Dari hasil grafik nilai deformasi x diambil nilai terendah karna berfokus deformasi kebawah. Nilai deformasi terendah pada kondisi bendungan MAN adalah sebesar -0,41m.



Gambar 4.58 Grafik deformasi-x vs time MAB

Dari hasil grafik nilai deformasi x diambil nilai terendah karna berfokus deformasi kebawah. Nilai deformasi terendah pada kondisi bendungan MAB adalah sebesar -0,53m.

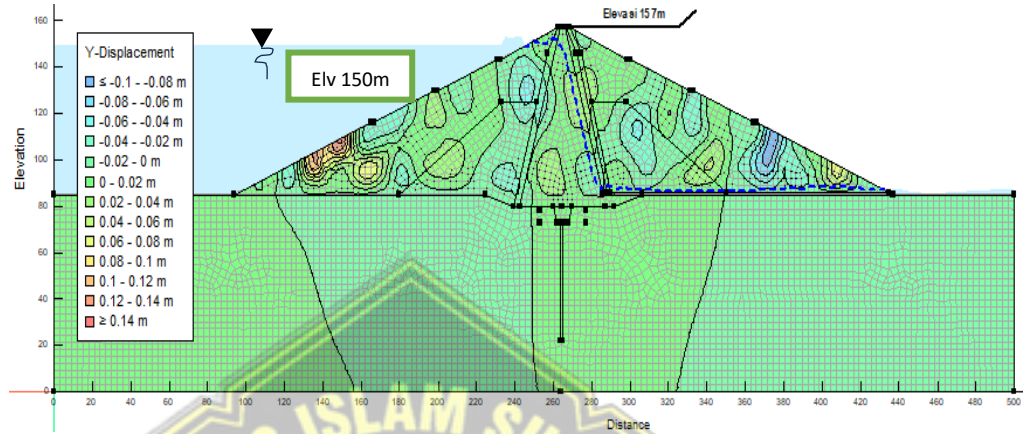


Gambar 4.59 Grafik deformasi-x vs time rapid drawdown

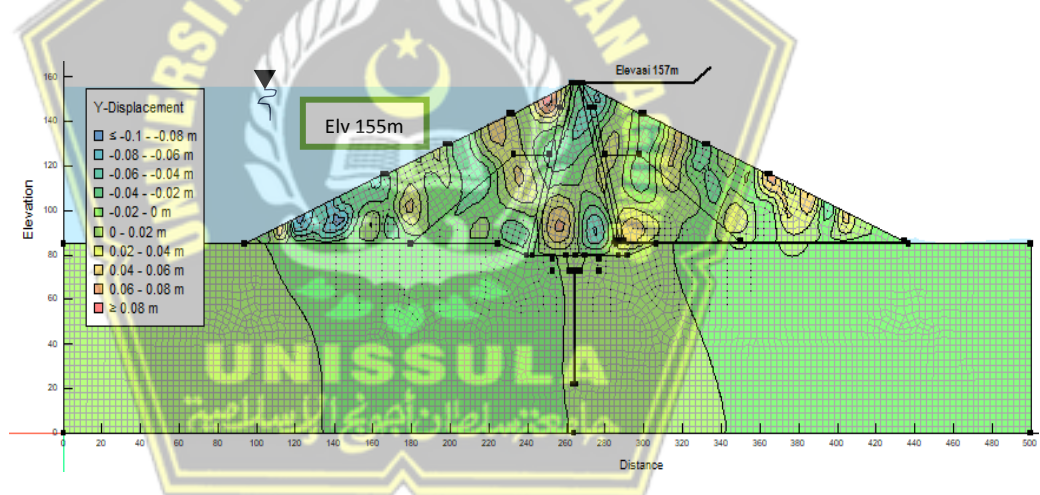
Dari hasil grafik nilai deformasi x diambil nilai terendah karna berfokus deformasi kebawah. Nilai deformasi terendah pada kondisi bendungan *rapid drawdown* adalah sebesar -0,54m.

2. Deformasi y (Horizontal)

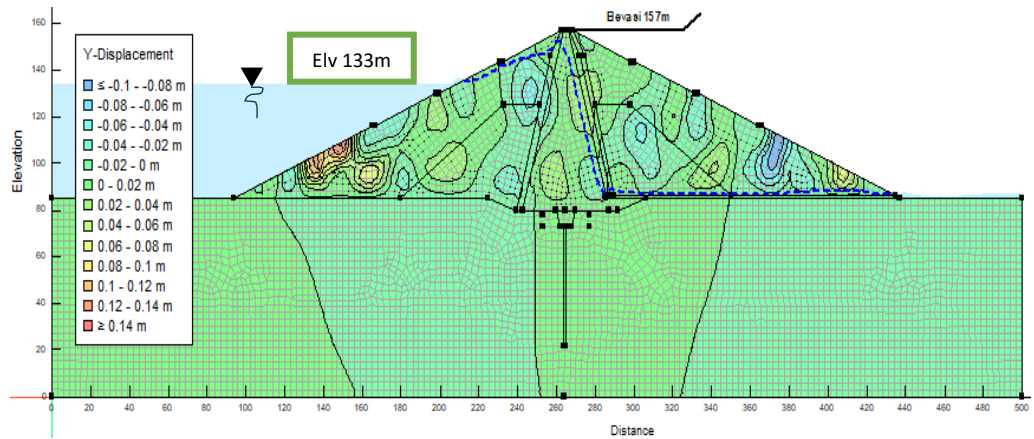
Deformasi bendungan merupakan perhatian khusus terhadap keamanan bendungan. Dengan sedikitnya deformasi bendungan menggambarkan stabilitas bendungan yang cukup baik. Berikut hasil analisis QUAKE/W.



Gambar 4.60 output kontur deformasi Y kondisi MAN

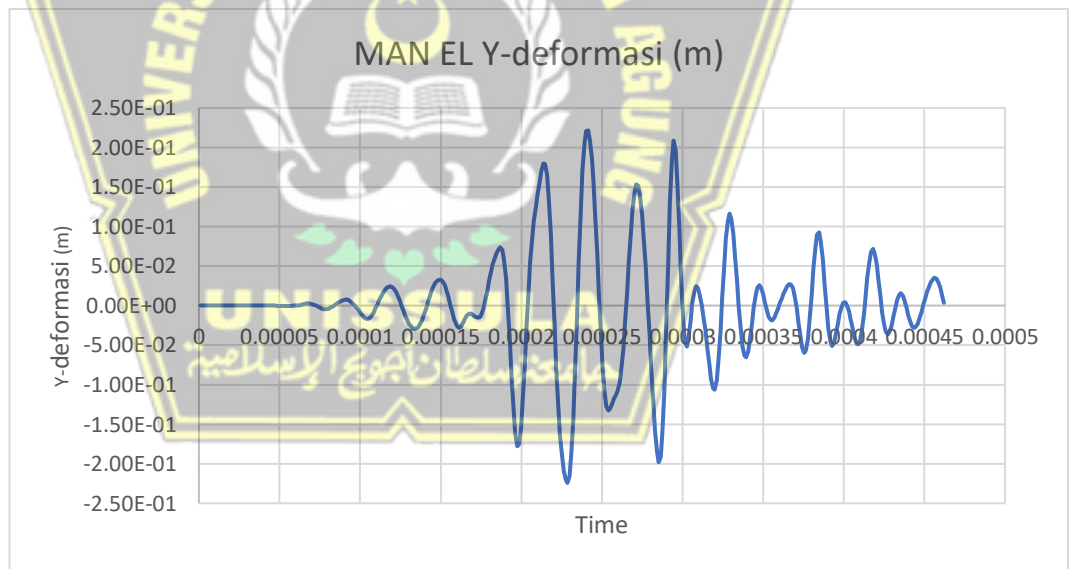


Gambar 4.61 output kontur deformasi Y kondisi MAB



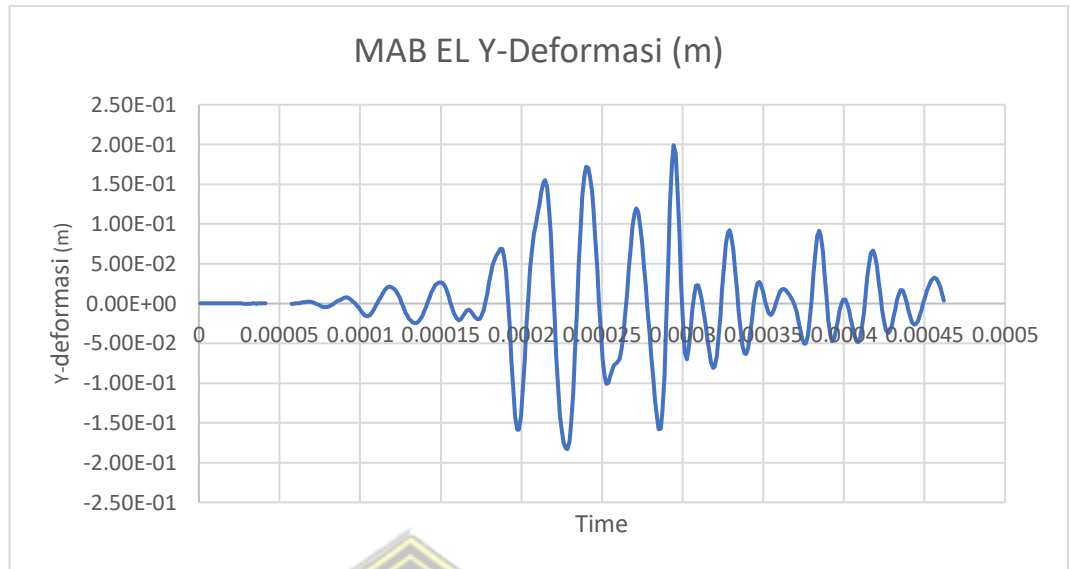
Gambar 4.62 output kontur deformasi Y kondisi *rapid drawdown*

Terlihat deformasi yang paling besar terjadi dan beragam ada di bagian timbunan lereng bendungan, seperti yang terjadi di kondisi MAN dan *rapid drawdown*. Untuk melihat lebih detail deformasi yang paling tinggi terjadi bisa dilihat dari hasil grafik deformasi *vs time* berikut.



Gambar 4.63 Grafik deformasi-y *vs time* MAN

Dari hasil grafik nilai deformasi y tertinggi pada kondisi bendungan muka air normal adalah sebesar 0,16m.



Gambar 4.64 Grafik deformasi-y vs *time* MAB

Dari hasil grafik nilai deformasi y tertinggi pada kondisi bendungan muka air banjir adalah sebesar 0,20m.



Gambar 4.65 Grafik deformasi-y vs *time rapid drawdown*

Dari hasil grafik nilai deformasi y tertinggi pada kondisi bendungan *rapid drawdown* adalah sebesar 0,17m.

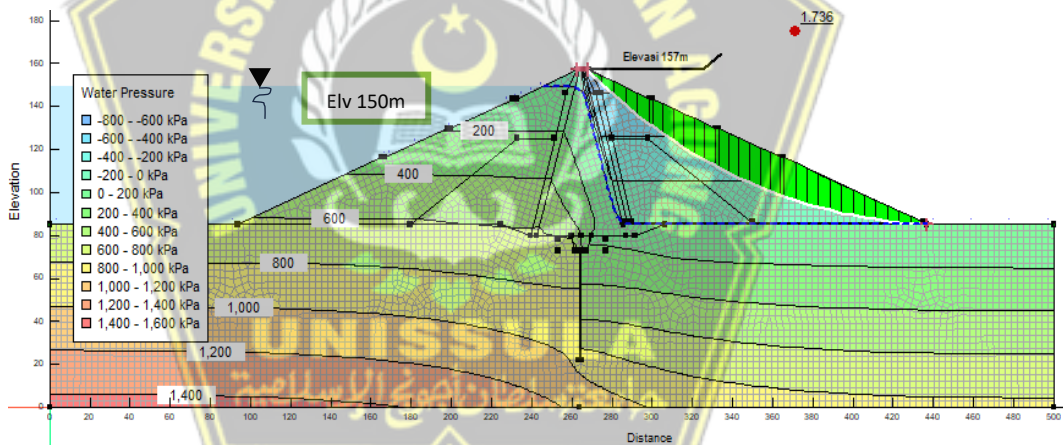
Tabel 4.11 Kesimpulan *Output* Deformasi Bendungan

no	Model	X-displacement (m)	Y-displacement (m)	Syarat (m)	Keterangan	
					X	Y
1	MAN EL setelah Gempa	-0.41	0.16	1	Memenuhi	Memenuhi
2	MAB EL setelah Gempa	-0.53	0.20	1	Memenuhi	Memenuhi
3	RAPID EL setelah Gempa	-0.54	0.17	1	Memenuhi	Memenuhi

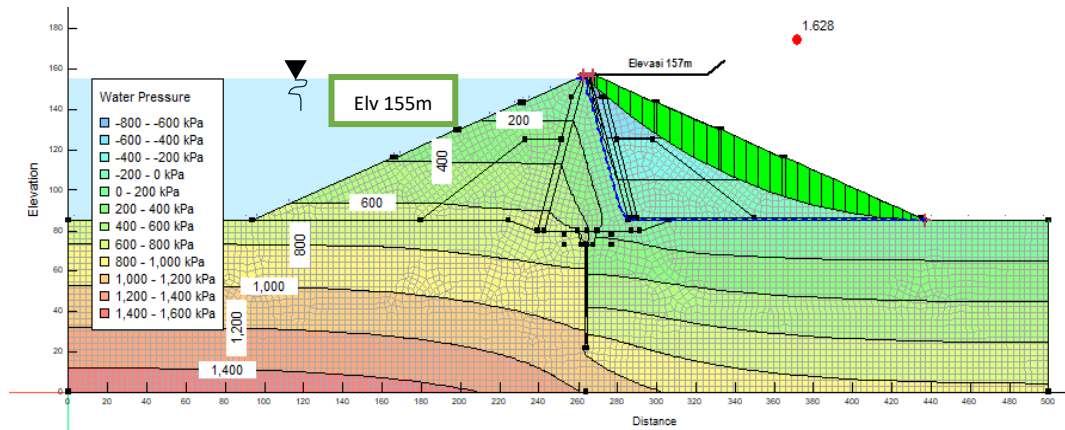
Kesimpulan dari hasil deformasi bendungan paling besar dari arah x dan y adalah kondisi bendungan MAB.

4.4. Analisis SF Lereng

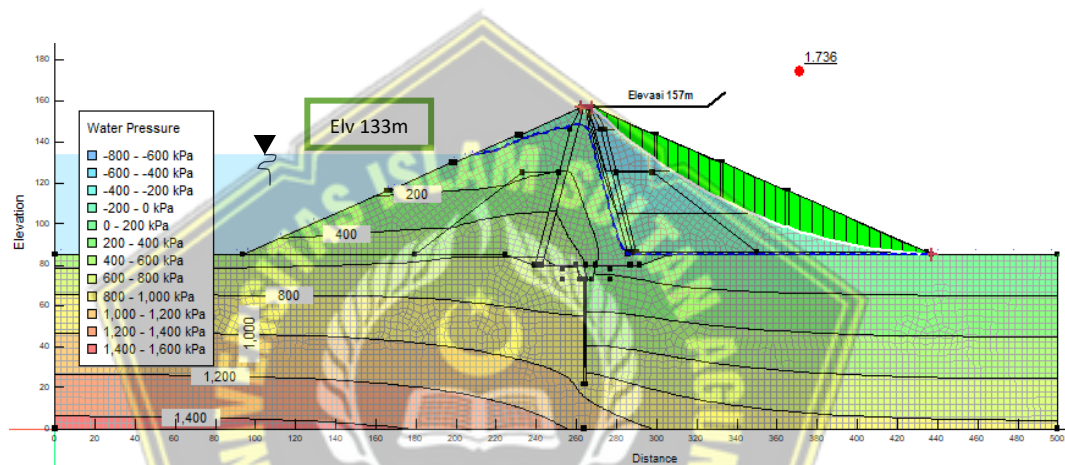
Pada analisis SLOPE/W bertujuan untuk mengetahui nilai SF dari lereng bendungan sebelum dan sesudah terjadi gempa. Perhitungan sebelum gempa menggunakan tipe analisis *Morgenstern-price*. Hasil akan dibandingkan dan akan mengetahui seberapa besar efek gempa terhadap nilai SF lereng bendungan. Nilai SF hitung adalah bagian hilir bendungan, hal tersebut karna pada lereng hulu secara tidak langsung air pada bendungan menjadi perkuatan lereng bagi bendungan.



Gambar 4.66 SF bendungan sebelum gempa kondisi MAN

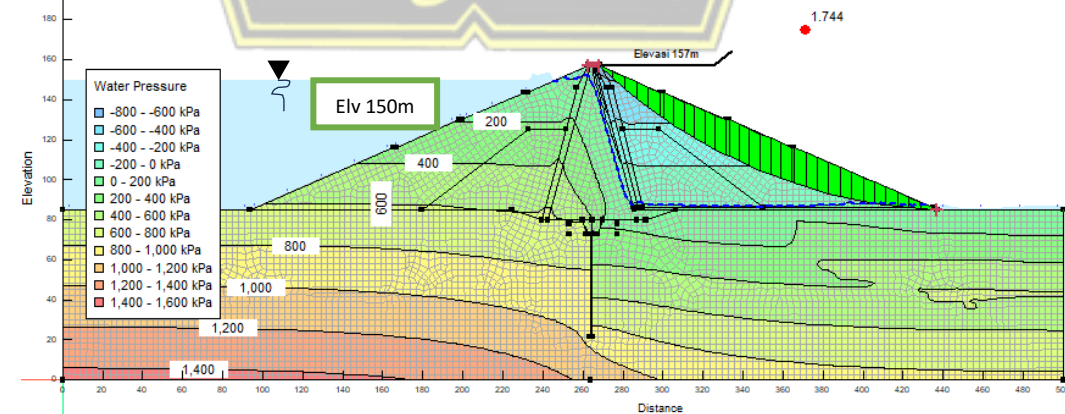


Gambar 4.67 SF bendungan sebelum gempa kondisi MAB

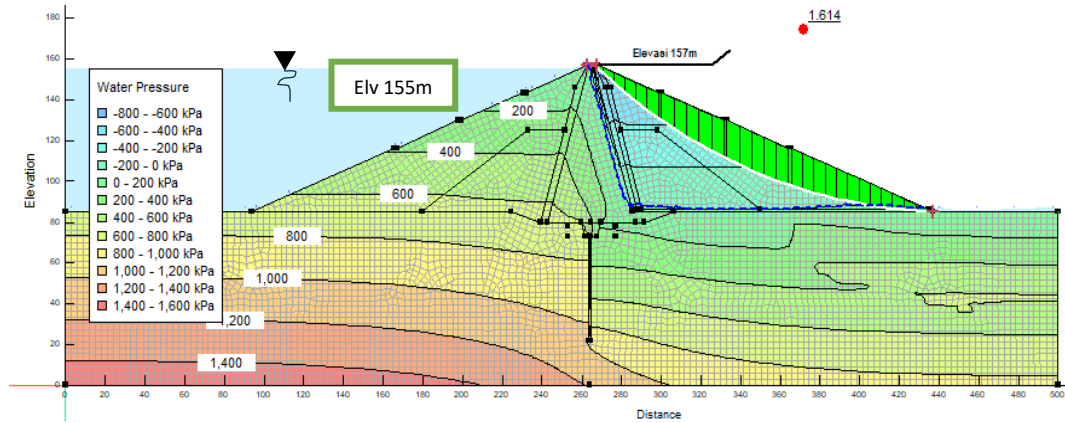


Gambar 4.68 SF bendungan sebelum gempa kondisi *rapid drawdown*

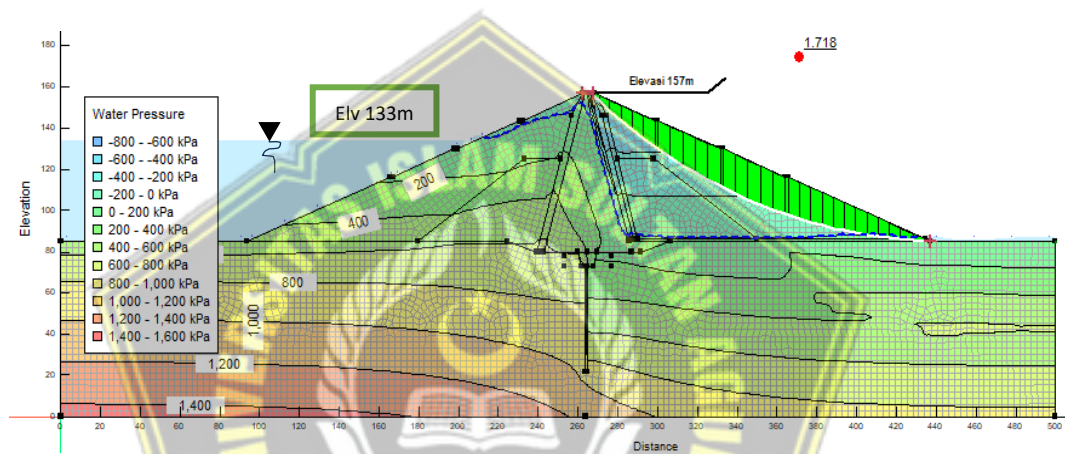
Pada analisis nilai SF lereng bendungan kondisi yang memiliki nilai SF paling rendah adalah pada saat bendungan MAB.



Gambar 4.69 SF bendungan sesudah gempa kondisi MAN



Gambar 4.70 SF bendungan sesudah gempa kondisi MAB



Gambar 4.71 SF bendungan sesudah gempa kondisi *rapid drawdown*

Pada analisis nilai SF lereng bendungan kondisi yang memiliki nilai SF paling rendah adalah pada saat bendungan MAB. Semua kondisi memenuhi syarat menurut SNI 8064:2016.

Tabel 4.12 Hasil Analisis SF Bendungan Sebelum dan Sesudah Gempa

no	Model	Syarat	SF	Keterangan
1	MAN EL sebelum Gempa	1.5	1.738	Memenuhi
2	MAN EL sesudah Gempa	1.2	1.728	Memenuhi
3	MAB EL sebelum Gempa	1.5	1.628	Memenuhi
4	MAB EL sesudah Gempa	1.1	1.614	Memenuhi
5	Rapid EL sebelum Gempa	1,3	1.736	Memenuhi
6	Rapid EL sesudah Gempa	1	1.718	Memenuhi

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis mendalam terhadap hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, beberapa poin penting dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada analisis dapat disimpulkan bahwa bendungan Jatibarang aman terhadap fluktuasi muka air bendungan. Nilai rembesan pada kondisi MAN 1,09 l/det, MAB 1,18 l/det dan rapid drawdown 1,09 l/det masih lebih rendah dari 0,05% *gross storage* bendungan Jatibarang.
2. Beban gempa saat diterapkan pada setiap model analisis semua dalam kondisi aman. Analisis rembesan bendungan saat terjadi gempa rembesan mengalami pengurangan kecepatan rembesan, hal tersebut bisa terjadi karna deformasi akibat analisis SIGMA/W yang membuat kondisi *stress* bendungan sesuai dengan berat jenis material tanah dan membuat butiran antar tanah merapat dan nilai permeabilitas mengecil. Deformasi yang terjadi semua dibawah 1 meter atau 50% tinggi jagaan bendungan, hal tersebut sudah memenuhi SNI 8640:2016. Analisis slope atau lereng hilir bendungan sebelum dan sesudah gempa nilai SF semua diatas 1,5.

5.2 Saran

Setelah mengetahui hasil analisis, diajukan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya

1. Parameter yang digunakan sebaiknya hasil uji lab yang sebenarnya terjadi pada bendungan Jatibarang. Hasil dari penelitian ini tidak sepenuhnya menggambarkan situasi yang terjadi di bendungan Jatibarang tetapi metode dan alur analisis bisa menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya.
2. Data gempa yang sebenarnya terjadi atau kala ulang yang tepat koordinatnya sesuai dengan lokasi di bendungan Jatibarang menjadi hal yang lebih baik karna sangat menggambarkan situasi yang sebenarnya terjadi atau yang akan terjadi.

Daftar Pustaka

- Andriyani, G., Kahar, S., Awaluddin, M., & ... (2012). Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu Tahun 2009-2011. *Jurnal Geodesi*
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/2248>
- Anonim. 2005. Pedoman Pengendalian Rembesan Pada Bendungan Urugan, Balai Bendungan Direktorat Sungai Danau dan Waduk, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air DPU, Desember 2005 Anonim. 2010. Evaluasi Rembesan, Balai Bendungan Direktorat Sungai Danau dan Waduk, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air DPU, 2010
- Anonim. (2007). Modul Pelatihan Geostudio 2007: Tutorial Geostudio 2007. *Teknik Sipil*.
- Azmeri, A., Rizalihadi, M., & Yanita, I. (2013). Observasi Garis Freatis pada Model Bendungan Berdasarkan Kepadatan Tanah Melalui Model Fisik. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. <https://www.academia.edu/download/106286115/1430.pdf>
- Bishop, A. W. (1955). The use of slip circle in the stability of slopes (Session 1/1). *Géotechnique*.
- Buldan, R., Suharyanto, S., Najib, N., & Sadono, K. W. (2021). Analisis Rembesan Terhadap Keamanan Bendungan Kedung Ombo Di Grobogan, Jawa Tengah. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 12(2), 79–92.
- Das, B. M. (1995). *MEKANIKA TANAH (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid 1, Terjemahan Noor Endah Mochtar, Ir., M. Sc. Ph. D. dan Indra Surya B. Mochtar, Ir*
- DATA, I., & KOTA, K. (n.d.). Akhdan Najla Malik Al'Abda. *Eprints.Walisongo.Ac.Id*.
http://eprints.walisongo.ac.id/14326/1/Skripsi_1708016013_Akhdan%20Najla%20Malik%20Al%20Ab_da.pdf
- Fellenius, V. (1936). 1936, Calculation of the stability of earth dams. *Trans Actions Second Congress on Large Dams*

- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I. Ketiga*. Gajah Mada University Press.
- Hanan, Z. R. (2014). *Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Jatigede Dengan Parameter Gempa Termodifikasi*. repository.ub.ac.id.
<http://repository.ub.ac.id/142577/>
- Ismijayanti, D., Kodoatie, R. J., & ... (2023). Penilaian Risiko Bendungan Manggar Dengan Metode Modifikasi ICOLD: Risk Assessment Manggar Dam With Modification ICOLD Method. *Media Ilmiah Teknik*
<https://journal.umpr.ac.id/index.php/mits/article/view/4699>
- Janbu, N. (1954). Application Of Composite Slip Surface For Stability Analysis, European Cnf. *On Stability Of Year Slopes, Stockholm, Swedia*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi (2017). Modul Instrumentasi Bendungan Urugan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. Jakarta.
- Kodoatic R.J. (2002). Hidrolika Terapan, Andi Yogyakarta
- Look, B. G. (2007). *Handbook of geotechnical investigation and design tables*. taylorfrancis.com. <https://doi.org/10.1201/9780203946602>
- Maulana, R. E., Atmanto, I. D., & Pardoyo, B. (2016). Analisa Instrumentasi Geoteknik untuk Evaluasi Keamanan Bendungan Urugan Tanah di Lodan Kabupaten Rembang. *Jurnal Karya Teknik*
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/10692>
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*. <https://doi.org/10.1680/geot.1965.15.1.79>
- Mujiharjo D. 2009. Rembesan, Bahan Ajar Diklat Fungsional Inspeksi dan Evaluasi Keamanan Bendungan, Balai Bendungan Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Jakarta
- Nurnawaty, Suhardiman dan Ihwan (2018), Analisis Rembesan Pada Bendungan Tipe Urugan (Uji Simulasi Lab), Jurnal Teknik Hidro Vol. 11 No. 1, Februari 2018