

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

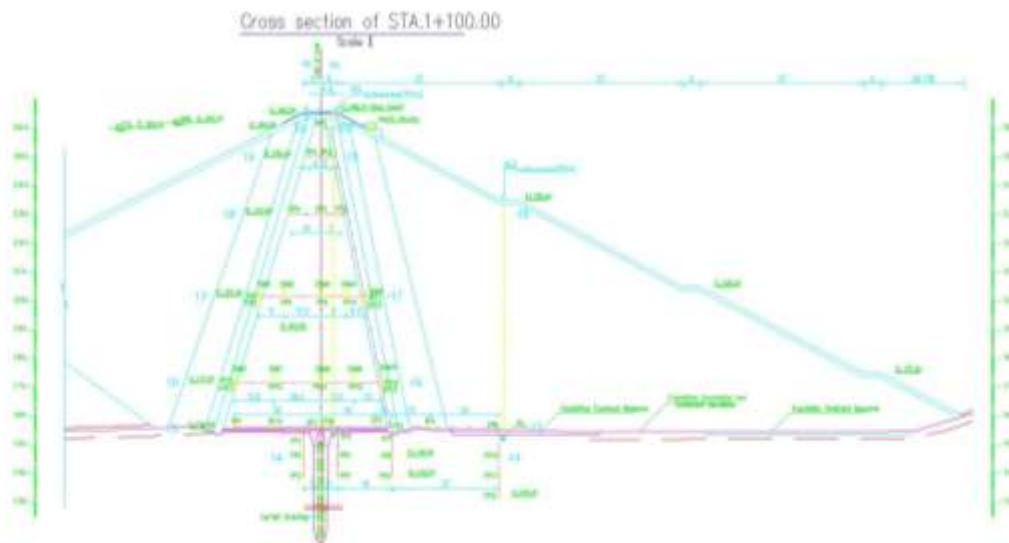
#### 3.1. Lokasi dan Sampel Penelitian

Lokasi yang dijadikan tempat penelitian yaitu pada Proyek Pembangunan Bendungan Jatigede. Bendungan Jatigede direncanakan dibangun pada Sungai Cimanuk sekitar 25 km di hulu Bendung Rentang di Dusun Jatigede Desa Cijeunjing, Kec. Jatigede, Kab. Sumedang, Provinsi Jawa Barat, sekitar 15 km dari Jalan Arteri Cirebon – Sumedang, sekitar 75 km dari Kota Cirebon. Bendungan Jatigede dibangun dalam rangka memanfaatkan sumber daya air yang berasal dari aliran Sungai Cimanuk. Dilaksanakan pada instrumentasi geoteknik berupa Vibrating Wire Piezometer, Inclinometer, Settlement Meter yang dipasang di main dam STA. 1+100 dan V-Notch Weir di hilir bendungan. Sampel penelitian adalah hasil pembacaan dari keempat instrumentasi geoteknik yang diambil dari awal pengisian waduk 31 Agustus 2015 hingga air waduk mencapai elevasi muka air antara +241 m dan +250m.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Bendungan Jatigede

[Sumber: Laporan Akhir Kegiatan Pelaksanaan Periode Tahun 2015]



Gambar 3. 2 Lokasi Instrumentasi Bendungan Jatigede di Sta. 1+100

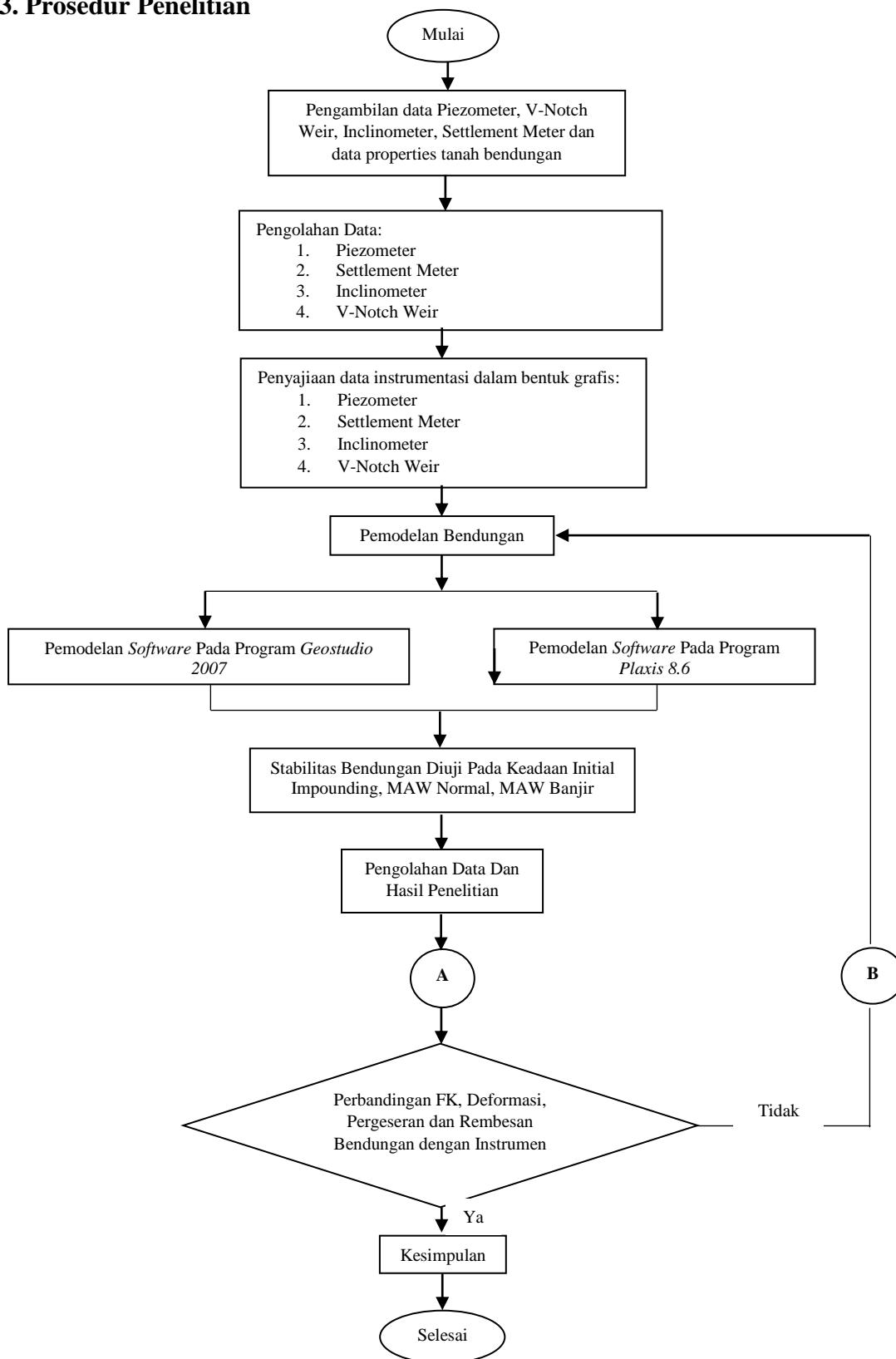
[Sumber: *As Built of Dam Instrumentation*]

### 3.2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini penulis akan menggunakan metode penelitian deskriptif. Penelitian dengan cara deskriptif dalam masalah ini ditujukan untuk menjelaskan suatu peristiwa maupun fakta-fakta di lapangan yang berhubungan dengan kenaikan elevasi muka air terhadap perilaku bendungan selama *initial impounding* yang akan termonitoring dengan instrumentasi geoteknik, apakah memenuhi standar perencanaan atau tidak sesuai dengan syarat stabilitas bendungan.

Dari hasil pengamatan lapangan diharapkan dapat menjelaskan keadaan perilaku bendungan yang dipengaruhi akibat *initial impounding* terhadap stabilitasnya, yang rencananya akan dilakukan penjenuhan bendungan selama 2-3 tahun, maka elevasi muka air waduk +241 m dan +250 m akan terus diulang hingga bacaan dari instrumentasi dianggap stabil.

### 3.3. Prosedur Penelitian



Gambar 3. 3 Prosedur Penelitian

Tria Fajri Jauhari, 2017

**PENGARUH INITIAL IMPOUNDING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN JATIGEDE BERBASIS INSTRUMENTASI GEOTEKNIK**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

### **3.3.1. Uraian Prosedur Penelitian**

Penelitian diawali dengan pengambilan data dan pengukuran langsung di lapangan instrumentasi geoteknik yaitu VW Piezometer, Inclinometer, Settlement Meter di Sta. 1+100 dan V-Notch Weir di hilir bendungan terhitung dari mulai tanggal 31 Agustus 2015 sampai dengan 21 April 2016. Data hasil dari lapangan dilakukan perhitungan untuk menunjukan kondisi dari tekanan air pori, pergeseran, penuruan dan rembesan yang terjadi pada bendungan selama *initial impounding* terjadi. Keempat hasil perhitungan dari data lapangan ini akan dibandingkan pula dengan keadaan curah hujan yang terjadi, sebagai upaya pembanding bahwa instrumentasi tidak hanya dipengaruhi dari kondisi muka air waduk saja melainkan kondisi klimatologi di bendungan, ikut mempengaruhi pula. Tekanan air pori, pergeseran, penurunan dan rembesan hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafis.

Setelah perhitungan selesai sebagai upaya pembanding dalam menguji stabilitas bendungan dilanjutkan dengan pemodelan *software Finite Element Method* (Plaxis 8.6) dan *Limit Equilibrium* (Geostudio 2007). Dari pemodelan ini di dapatkan hasil-hasil berupa tekanan air pori, pergeseran, penuruan dan rembesan yang akan dibandingkan dengan hasil instrumentasi dan syarat izinnya. Yang diharapkan dari pemodelan ini untuk kedepannya adalah sebagai upaya pengganti dari instrumentasi yang rusak maupun dalam tahap *maintenance* dalam hal pengisian data yang kurang.

## **3.4. Langkah-langkah Penelitian**

### **3.4.1. Vibrating Wire Piezometer**

Pengambilan data vibrating wire piezometer di Sta. 1+100 meliputi pondasi, embankment dan tubuh bendungan melalui vibrating wire data recorder, setiap vibrating wire piezometer ini dihubungkan dengan panel box yang berada di instrument house melalui kawat tansduser. Data perolehan dari pembacaan lapangan adalah berupa nilai modulus dan temperature, dari hasil pembacaan modulus digunakan persamaan  $E = A.R1^2 + B.R1 + C$  untuk dikonversikan menjadi tekanan air pori ( $E$ ) dalam satuan KPa, dimana nilai A dan B merupakan

koefisien yang diperoleh dari kalibrasi alat. Maka nilai A dan B ini memiliki nilai berbeda-beda untuk Vibrating Wire Piezometer yang terpasang. Nilai A dan B untuk PP 4 adalah sebagai berikut:

$$A = 0,000003442421$$

$$B = -0,9928032$$

Nilai C diperoleh dengan persamaan  $C = -(A \cdot R_0^2 + B \cdot R_0)$ . Nilai  $R_0$  merupakan nilai pembacaan pertama pada alat Vibrating Wire Piezometer, dimana  $R_0 = 6537,7$ .

$$\text{Maka } C = -(0,000003442421 \cdot 6537,7^2 + -0,9928032 \cdot 6537,7) = 6343,51517018$$

Dari hasil perhitungan tekanan air pori dengan satuan KPa dapat dikonversikan menjadi elevasi muka air yang berada diatas instrumen, tepatnya untuk jenis Vibrating Wire Piezometer merk Itm Soil merupakan hasil kali tekanan air pori dengan 0,1022 (Spesifikasi Instrumen Vibrating Wire Piezometer merk Itm Soil). Dari hasil konversi meter air ini yang nantinya akan menunjukkan keadaan tekanan hidrostatis bendungan.

Adapun daftar Instrumentasi VW Piezometer, Inclinometer, Settlement Meter dan V-Notch Weir yang ditinjau pada Sta. 1+100 adalah sbb:

#### 1. VW Piezometer

##### a. Foundation Piezometer (FP)

- |         |         |           |
|---------|---------|-----------|
| 1. FP 1 | 5. FP 5 | 9. FP 9   |
| 2. FP 2 | 6. FP 6 | 10. FP 10 |
| 3. FP 3 | 7. FP 7 | 11. FP 11 |
| 4. FP 4 | 8. FP 8 | 12. FP 12 |

##### b. Embankment Piezometer (EP)

- |         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 1. EP 1 | 3. EP 3 | 5. EP 5 |
| 2. EP 2 | 4. EP 4 | 6. EP 6 |

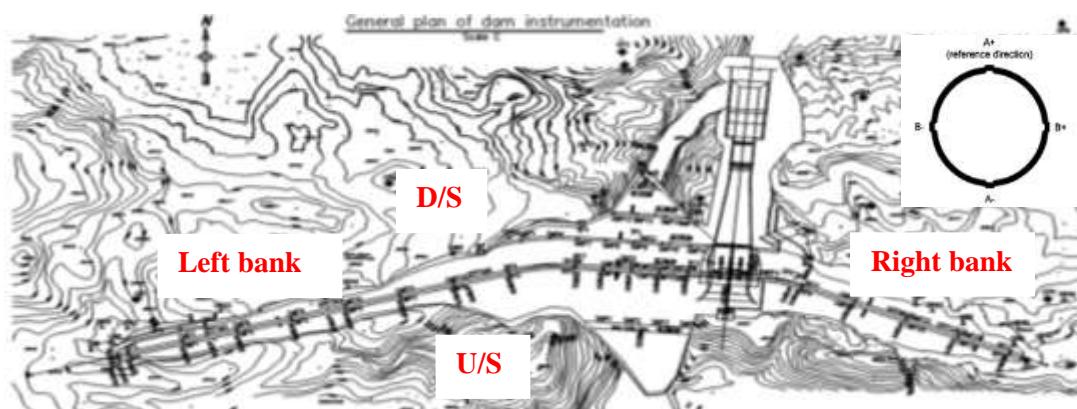
##### c. Pore Pressure Meter (PP)

- |         |          |           |
|---------|----------|-----------|
| 1. PP 3 | 5. PP 8  | 9. PP 14  |
| 2. PP 4 | 6. PP 9  | 10. PP 15 |
| 3. PP 5 | 7. PP 10 | 11. PP 16 |
| 4. PP 6 | 8. PP 11 |           |

### 3.4.2. Inclinometer dan Settlement Meter

Inclinometer yang digunakan untuk pengukuran pergeseran dan settlement meter untuk pengukuran penurunan, di bendungan jatigede khususnya di VC (Vertical Chasing) Sta. 1+100 terdapat dua titik pengukuran yaitu VC 1 dan VC 2, dan inclinometer ini merupakan produk dari Itm Soil. Pengambilan data lapangan untuk inclinometer adalah setiap 50 cm, dari tiap-tiap kedalaman ini akan menunjukkan pergerakan bendungan ke arah mana. *Reference direction* (A0) untuk inclinometer ditujukan ke arah downstream. Setiap lubang pengukuran dilakukan dua kali pembacaan untuk menentukan pergerakkan ke arah A-A axis (downstream-upstream) dan pergerakkan ke arah B-B axis (leftbank-right bank). Kelengkapan dari produk ini yaitu biaxial inclinometer system dan software untuk menampilkan data hasil dari lapangan dalam bentuk grafis.

Settlement meter untuk kondisi initial impounding ini hanya bisa diperoleh dari VC 1 saja karena VC 2 untuk monitoring penurunan tubuh bendungan sedang dalam tahap perbaikan. VC 1 dipasang pada material timbunan core inti (zona 1) dan terdapat 19 plat magnet dengan elevasi datum berada di +153.394 m sebagai titik acuan monitoring penurunan di bendungan. Jarak dari datum ke plat magnet pertama yaitu 3 m, selanjutnya dari plat magnet pertama ke plat magnet kedua dan seterusnya dipasang setiap interval 6 m.



Gambar 3. 4 Plan View Bendungan Jatigede

### 3.4.3. V-Notch Weir

Terdapat tiga buah V-Notch Weir di Bendungan Jatigede, masing-masing ditempatkan di left bank, river bed dan right bank, dalam penelitian ini diambil hanya dua buah V-Notch yaitu V-Notch 1 dan V-Notch 3, dengan alasan V-Notch 2 yang berada di river bed masih baru, sehingga data yang diperoleh masih sedikit untuk menunjukkan nilai rembesan pada sebuah bendungan dan konstruksi untuk V-Notch 2 ini baru selesai pada bulan Maret 2016. Contoh perhitungan pengolahan data rembesan yang terjadi pada waduk jatigede pada V-Notch Weir 3 pada tanggal 28 Agustus 2015.



Gambar 3. 5 Geometri V-Notch Weir 3

Perhitungan debit rembesan ( $q$ ) pada V-notch menggunakan persamaan  $q = C \times h^{5/2}$ , dan untuk mendapatkan nilai  $C$  digunakan persamaan sbb:

$$C = 1,354 + \frac{0,004}{H} + \left( \frac{0,14+0,2}{\sqrt{W}} \right) \cdot \left( \frac{H}{B} - 0,09 \right)^2$$

Dimana:

$q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$H$  = Tinggi V-notch (m) = 0,25 m

$h$  = Tinggi air di saluran (m)

$W$  = Tinggi dari dasar ke V-notch

$C$  = Koefisien Dimensi Saluran

(m) = 0,45 m

$B$  = Lebar V-Notch (m) = 1 m

$$C = 1,354 + \frac{0,004}{0,25} + \left( \frac{0,14+0,2}{\sqrt{0,45}} \right) \cdot \left( \frac{0,25}{1} - 0,09 \right)^2 = 1,38122$$

Berikut merupakan keadaan rembesan izin untuk skenario MAW Initial Impounding. Batasan rembesan V-notch total 0,05% dari tampungan waduk per-hari adalah sebagai berikut:

- Volume tampungan MAW + 241 = 383.697.717,6 m<sup>3</sup>

$$Q = \frac{\text{Tampungan MAW} + 241}{181} = 2119876,893 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_{\text{rembesan izin}} = 0,05\% \times \frac{2119876,893 \times 1000}{24 \times 60 \times 60} = 12,268 \text{ Liter/detik}$$

- Volume tampungan MAW + 250 = 627.284.717,65 m<sup>3</sup>

$$Q = \frac{\text{Tampungan MAW} + 250}{238} = 2635650,074 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_{\text{rembesan izin}} = 0,05\% \times \frac{2635650,074 \times 1000}{24 \times 60 \times 60} = 15,253 \text{ Liter/detik}$$

Debit rembesan izin dapat diperoleh juga dari data inflow Sungai Cimanuk, batasan yang digunakan untuk data inflow adalah 1% dari inflow. Berikut merupakan hasil perhitungannya:

Debit inflow maksimum sebesar = 3224,4 m<sup>3</sup>/detik

Debit rembesan izin = 1% x 3224,4 = 32,244 m<sup>3</sup>/detik

Dalam penelitian ini digunakan debit rembesan izin berdasarkan tampungan, karena Bendungan Jatigede masih dalam tahap impounding, dan nilainya pun lebih dianggap mendekati kondisi lapangan (*existing*).

#### 3.4.4. Finite Elemen Method (Plaxis 8.6)

Adapun data – data material tubuh bendungan maupun pondasi bendungan yang dibutuhkan untuk *input* ke dalam Program Plaxis 8.6 adalah sebagai berikut:

<i>General</i>	<i>Parameters</i>	<i>Interfaces</i>
<b><u>Material set:</u></b>	<b><u>Stiffness:</u></b>	<b><u>Strength:</u></b>
<i>Identification</i>	E <sub>eff</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	<i>rigid dan manual</i>
<i>Material model</i>	v (nu)	R <sub>inter</sub>
<i>Material type</i>		
<b><u>General properties:</u></b>	<b><u>Alternatives:</u></b>	<b><u>Real interface thickness</u></b>
γ <sub>unsat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	G <sub>ref</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	δ-inter
γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	E <sub>oed</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	
<b><u>Permeability:</u></b>	<b><u>Strength:</u></b>	<b><u>Velocities:</u></b>

$K_x$ (m/day)	$c_{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$V_s$ (m/s)
$K_y$ (m/day)	$\phi$ (phi) (°)	$V_p$ (m/s)
	$\Psi$ (psi) (°)	

#### 3.4.4.1. Investigasi Geologi Pondasi dan Investigasi Material Bendungan

Untuk mendapatkan beberapa data-data penting yang diperlukan dalam perencanaan bendungan seperti daya dukung tanah dan permeabilitas lapisan di river bed maka dilakukan pengeboran tanah oleh tim geologi pada tahap investigasi tanah di sungai cimanuk (*riverbed area*). Pengeboran dilakukan pada tiga lokasi.

Material untuk tubuh bendungan seperti *Borrow Area* (material tanah) dan *Quarry* (material batuan) biasanya diusahakan agar dapat diambil sedekat mungkin dari lokasi perencanaan bendungan. Lokasi yang terpilih untuk material bendungan perlu dilakukan penyelidikan mengenai luas daerah penyebarannya, mengenai volumenya dan karakteristik teknisnya, dalam penelitian pada setiap kemungkinan tempat-tempat penggalian material bendungan disamping karakteristiknya agar diperhatikan pula pertimbangan mengenai transportasi, biaya pembebasan dll. (S.Suyono.1976 hal:68)

Dari data timbunan tubuh Bendungan Jatigede terdapat tiga tipe pengujian kuat geser tanah, yaitu tipe CD (*Consolidated Drained*), CU (*Consolidated Undrained*), dan UU (*Unconsolidated Undrained*). Ketika tipe pengujian kuat geser ini memiliki metode pengujian yang berbeda.

##### 1. CD (*Consolidated Drained*)

- Tidak boleh ada tekanan air pori berlebih terjadi sampel pada saat pengujian.
- Penggeseran dengan kecepatan yang sangat rendah untuk mencegah munculnya tekanan air pori berlebih.
- Dihasilkan nilai  $c'$  dan  $\phi'$ .
- Konstruksi bendungan dengan tinggi muka air bendung tetap.

##### 2. CU (*Consolidated Undrained*)

- Tekanan air pori muncul saat penggeseran.

- Dihasilkan nilai  $c'$  dan  $\phi'$ .
- Lebih cepat dari CD (*Consolidated Drained*)
- Konstruksi bertahap.
- Muka air bendungan turun tiba-tiba.
- Konstruksi timbunan di atas lereng alamiah.

3. UU (*Unconsolidated Undrained*)

- Tekanan air pori muncul saat pergeseran.
- Kondisi tegangan total → dihasilkan  $C_u$  dan  $\phi_u$ .
- $C_u$  dan  $\phi_u$  digunakan pada analisis dengan kondisi tak teralir.
- Pekerjaan timbunan yang cepat.

Dari ketiga tipe pengujian tersebut yang terdapat pada data tubuh Bendungan Jatigede diambil nilai kuat geser tanah  $c$  (kohesi) dan  $\phi$  (sudut geser) dari hasil tipe pengujian CD (*Consolidated Drained*) karena pada pemodelan di Program Plaxis dibutuhkan parameter tanah dengan kondisi efektif atau teraliri (*drained*) dan pada hasil tipe pengujian CD ini memiliki nilai kuat geser tanah  $c$  (kohesi) dan  $\phi$  (sudut geser) yang paling besar dari tipe pengujian lainnya, sehingga asumsi parameter kuat geser tanah  $c$  (kohesi) dan  $\phi$  (sudut geser) diambil dalam kondisi ekstrim. Sehingga data material tubuh bendungan untuk *input* kedalam Program Plaxis adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Material Tubuh Bendungan (General set) Untuk Input Program Plaxis 8.6

No	Ket	General					
		Material Set		General Properties		Permeability	
		Identification	Material Model	Material Type	$\gamma_{unw}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Kx (m/day)
1	Zona 1	Zona 1	Mohr – Coulomb	Drained	18,744	20,618	$5,70 \times 10^{-3}$
2	Zona 2A	Zona 2A	Mohr – Coulomb	Drained	24,200	26,620	$5,53 \times 10^{-1}$
3	Zona 2B	Zona 2B	Mohr- Coulomb	Drained	25,080	27,588	$9,5 \times 10^{+0}$
4	Zona 3A	Zona 3A	Mohr – Coulomb	Drained	22,000	24,200	$5,81 \times 10^{+1}$
5	Zona 3B	Zona 3B	Mohr – Coulomb	Drained	21,500	23,650	$6,91 \times 10^{+2}$
6	Zona 4 (rip-rap)	Zona 4	Mohr – Coulomb	Drained	21,500	23,650	$6,91 \times 10^{+2}$

Tabel 3. 2 Material Tubuh Bendungan (Parrameters set) Untuk Input Program Plaxis 8.6

No	Ket	Parameters			
		Stiffness		Strength	
		E <sub>ref</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	v (nu)	c <sub>ref</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	ϕ (phi) (°)
1	Zona 1	125854,20	0,3	20	18
2	Zona 2A	50000	0,3	30	36
3	Zona 2B	50000	0,3	30	38
4	Zona 3A	81000	0,3	40	36,5
5	Zona 3B	81000	0,3	40	36
6	Zona 4 (rip-rap)	81000	0,3	40	36

### 1. Perhitungan Parameter Batuan Dari Hasil Data Bor

- BOR NO: RB.01 muka air tanah 3,7 m

Tabel 3. 3 Stratifikasi dan Parameter Batuan BOR NO: RB.01

Layer	Kedalaman (m)	N	RQD (%)	Class	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	Parameter Kuat Geser Tanah	
						kohesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	sudut geser (°)
1	0 - 5	50	0 – 30	CL	6000	5	28
2	5 – 10	50	10 – 50	CL	12000	8	30
3	10 – 20	50	40 – 80	CM	24000	10	35
4	20 – 30	50	10 – 50	D	6000	5	28
5	30 – 40	50	30 – 90	CL	12000	8	30
6	40 – 45	50	30 – 40	CL	12000	8	30
7	45 – 50	50	30	CL	12000	8	30
8	50 – 59,8	50	30	CL	12000	8	30
9	59,8 – 60	50	0	D	6000	5	28

- BOR NO: RB.02 muka air tanah 7,3 m

Gambar 3. 6 Stratifikasi dan Parameter Batuan BOR NO: RB.02

Layer	Kedalaman (m)	N	RQD (%)	Class	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	Parameter Kuat Geser Tanah	
						kohesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	sudut geser (°)
1	0 – 16	50	10 - 80	CM	24	10	35
2	16 – 20	50	30 – 90	CM	24	10	35
3	20 – 25	50	30 – 40	CL	12	8	30
4	25 – 30	50	30 – 100	CM	24	10	35
5	30 – 40	50	30 – 90	CM	24	10	35
6	40 – 45	50	40	CL	12	8	30
7	45 – 50	50	30	CL	12	8	30
8	50 – 60	50	0	D	12	8	30

- BOR NO: RB.03 muka air tanah 4,6 m

Gambar 3. 7 Stratifikasi dan Parameter Batuan BOR NO: RB.03

Layer	Kedalaman (m)	N	RQD (%)	Class	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	Parameter Kuat Geser Tanah	
						kohesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	sudut geser (°)
1	0 – 15	50	15 – 70	CM	24	10	35
2	15 – 20	50	10 – 25	CL	12	8	30
3	20 – 30	50	40 – 95	CM	24	10	35
4	30 – 35	50	30 – 90	CM	24	10	35
5	35 – 40	50	30	D	6	5	28
6	40 – 55	50	30 – 40	CL	12	8	30
7	55 – 60	50	0	D	6	5	28

Untuk pemodelan Finite Element Method dan Limit Equilibrium Method maka dari ketiga data stratifikasi dan parameter batuan di atas akan diambil satu data bor yang mempunyai kelas batuan paling rendah dibandingkan data bor lainnya. Data yang diambil adalah data BOR NO: RB.01.

Dari data di atas maka pada daerah *riverbed* Bendungan Jatigede terdiri dari Batu lempung (*Claystone*) dan diatasnya terdapat Breksi volkanik (*Volcanic Breccia*). Untuk mencari parameter-parameter yang lainnya maka akan merujuk pada Tabel 2.9 *Estimated Physico-mechanical Property of Each Rock Class*. Data material pondasi bendungan untuk *input* ke dalam program Plaxis 8.6 adalah sebagai berikut:

Gambar 3. 8 Material Pondasi Bendungan (General set) Untuk Input Program Plaxis 8.6

No	Ket	General						
		Material Set			General Properties		Permeability	
		Identific ation	Material Model	Material Type	$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Kx (m/day)	Ky (m/day)
1	Layer 1	Layer 1	Mohr – Coulomb	Drained	18,00	19,8	7,508x10 <sup>-2</sup>	7,508x10 <sup>-2</sup>
2	Layer 2	Layer 2	Mohr – Coulomb	Drained	18,00	19,8	7,508x10 <sup>-2</sup>	7,508x10 <sup>-2</sup>
3	Layer 3	Layer 3	Mohr – Coulomb	Drained	18,00	19,8	7,508x10 <sup>-2</sup>	7,508x10 <sup>-2</sup>
4	Layer 4	Layer 4	Mohr – Coulomb	Drained	18,00	19,8	7,508x10 <sup>-2</sup>	7,508x10 <sup>-2</sup>
5	Layer 5	Layer 5	Mohr – Coulomb	Drained	18,00	19,8	7,508x10 <sup>-2</sup>	7,508x10 <sup>-2</sup>
6	Layer 6	Layer 6	Mohr – Coulomb	Drained	18,00	19,8	7,508x10 <sup>-2</sup>	7,508x10 <sup>-2</sup>

7	Layer 7	Layer 7	Mohr – Coulomb	<i>Drained</i>	18,00	19,8	$7,508 \times 10^{-2}$	$7,508 \times 10^{-2}$
8	Layer 8	Layer 8	Mohr – Coulomb	<i>Drained</i>	18,00	19,8	$7,508 \times 10^{-2}$	$7,508 \times 10^{-2}$
9	Layer 9	Layer 9	Mohr – Coulomb	<i>Drained</i>	18,00	19,8	$7,508 \times 10^{-2}$	$7,508 \times 10^{-2}$

Gambar 3. 9 Material Pondasi Bendungan (Parameters set) Untuk Input Program Plaxis 8.6

No	Ket	Parameters			
		Stiffness		Strength	
		$E_{\text{eff}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	v (nu)	$c_{\text{ref}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (phi) (°)
1	Layer 1	1200000	0,3	800	30
2	Layer 2	1200000	0,3	800	30
3	Layer 3	2400000	0,3	1000	35
4	Layer 4	600000	0,3	500	28
5	Layer 5	1200000	0,3	800	30
6	Layer 6	1200000	0,3	800	30
7	Layer 7	1200000	0,3	800	30
8	Layer 8	1200000	0,3	800	30
9	Layer 9	600000	0,3	500	28

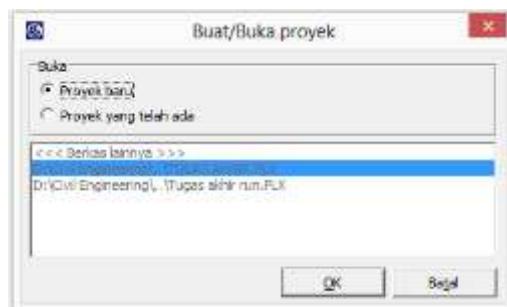
Berikut merupakan langkah-langkah pemodelan FEM pada program Plaxis 8.6. Tahap-tahap perhitungan analisa pada program Plaxis 8.6 ini dibuat menjadi enam tahap/*phase* yaitu. Elevasi MAW +260 s.d. *Sudden Drawdown* merupakan analisis tambahan dalam pemodelan ini:

1. *Initial Phase*, merupakan *default* dari program (*phase 0*).
2. Tahap analisa pada saat muka air waduk naik sampai elevasi +241 meter.
3. Tahap analisa pada saat muka air waduk naik sampai elevasi +250 meter.
4. Tahap analisa pada saat muka air waduk naik sampai elevasi +260 meter (muka air normal).

5. Tahap analisa pada saat muka air waduk naik sampai elevasi +262 meter (muka air maksimum).
6. Tahap analisa pada saat muka air waduk turun hingga elevasi +204 meter (*Sudden drawdown*).

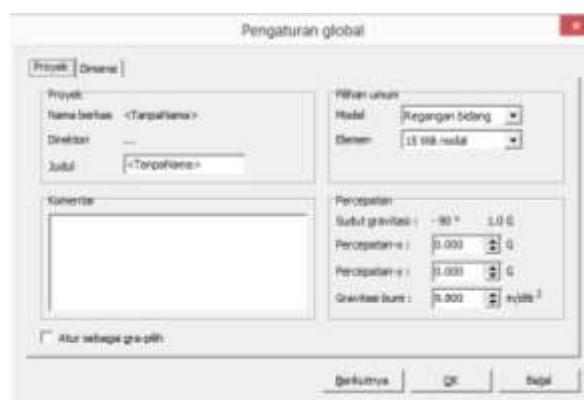
**1. Initial Phase, Merupakan Default Dari Program (*phase 0*).**

- a. Buka program Plaxis 8.6, setelah muncul kotak dialog *Buat/Buka proyek* pilih *Proyek baru*.



Gambar 3. 10 Kotak Dialog Create/Open project

- b. Setelah klik OK maka akan muncul kotak dialog *Pengaturan Global* pada lembar *tab proyek* masukkan *Judul*, pilih *Regangan Bidang* karena struktur memanjang dan pilih juga 15-nodal untuk melakukan analisa yang lebih detail.



Gambar 3. 11 Lembar Tab Projeck Pada Kotak Dialog General Setting

- c. Klik *berikutnya* untuk berpindah pada lembar *tab Dimensi* yang berguna menentukan standar *unit* (satuan) dan menentukan batas ruang kerja dalam menggambar geometri.

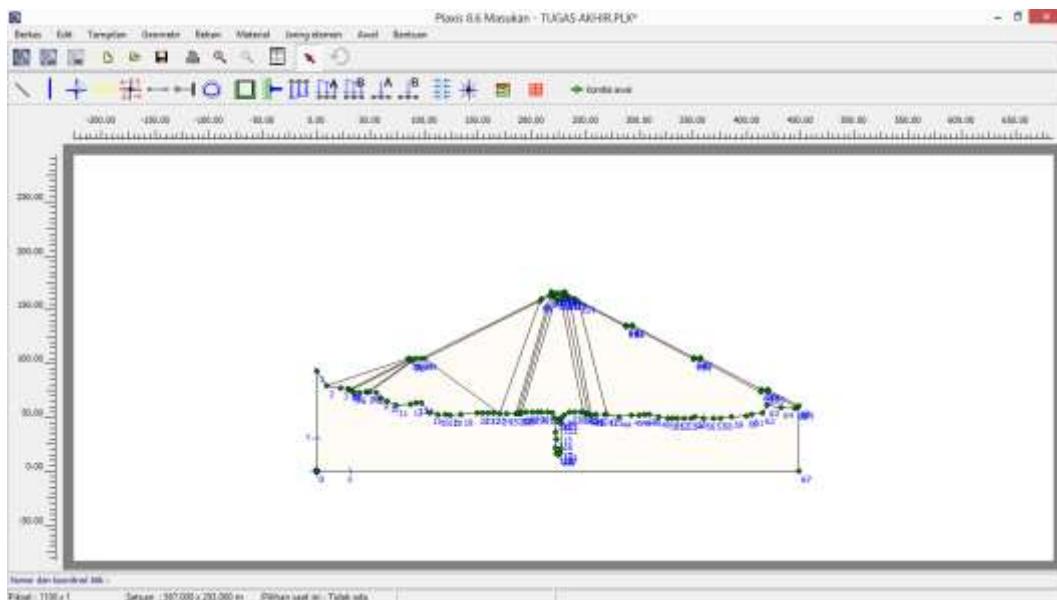


Gambar 3. 12 Lembar Tab Dimensi pada Kotak Dialog Pengaturan Global

d. Langkah selanjutnya yaitu melakukan penggambaran geometri.

Penggambaran geomteri ini menggunakan *garis geometri* atau dapat menggunakan input berdasarkan titik di sumbu kartersius (X & Y). Input data sumbu kartersius ini didapat dari penggambaran geometri pada program Autocad.

e. Lalu klik *Jepit Standar* untuk membatasi daerah yang dianalisa oleh Plaxis. Sehingga pada akhirnya seperti gambar berikut:



Gambar 3. 13 Geometri Bendungan Jatigede

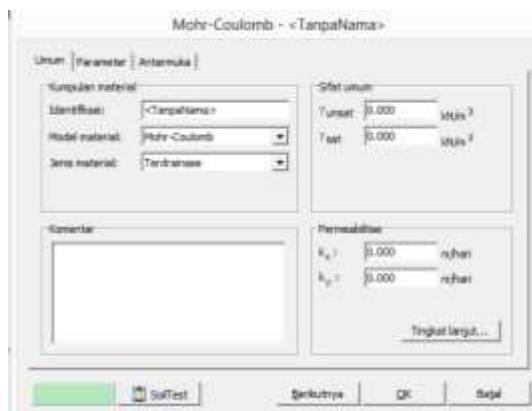
- f. Jika terjadi kesalahan dan ingin menghapus atau memperbaikinya dapat menggunakan *select* , atau jika ingin kembali ke *step* sebelumnya, dapat menggunakan *redo* .
- g. Langkah selanjutnya adalah melakukan *input* material agar dapat melakukan *generate mesh* pada pemodelan bendungan ini. *Input* material menggunakan *material set* , lalu akan muncul dialog seperti dibawah ini:



Gambar 3. 14 Kotak Dialog Material Set

Terdapat 4 (empat) *set type* pemodelan yaitu *Tanah dan Antarmuka*, *Pelat*, *Geogrid*, dan *Jangkar*. Dalam pemodelan tubuh bendungan dan pondasi bendungan ini menggunakan *set type model Tanah & Antarmuka*. Berikut adalah langkah-langkahnya:

- Klik *Baru* pada kotak dialog *Material Set*, maka akan muncul kotak dialog seperti berikut:



Gambar 3. 15 Tab General Pada Kotak Dialog Material Set Core Zone 1

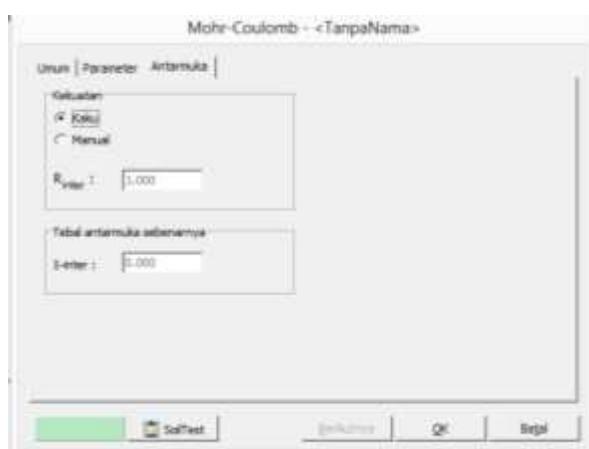
Ketik nama jenis tanah pada bagian *Identifikasi*. Pilih juga *Material Model* Mohr-Coulomb. Lalu masukkan parameter  $\gamma_{unsat}$  sebesar 18,744 kN/m<sup>3</sup> dan  $\gamma_{sat}$  sebesar 20,618 dari hasil perhitungan sebelumnya.

- Untuk mengatur warna material, dapat melakukan *setting-an* warna di pojok kiri bawah kotak dialog.
- Klik *next* untuk berpindah pada lembar *tab Parameter*, masukkan nilai *Modulus Young* sebesar 5000 kN/m<sup>2</sup> dan angka *poisson* 0,35 karena material ini dianggap memiliki tingkat kekearasan yang rendah. Lalu masukkan nilai kohesi sebesar 20 kN/m<sup>2</sup> dan sudut geser tanah sebesar 16<sup>0</sup>.



Gambar 3. 16 Tab Parameters Pada Kotak Dialog Material Set Core Zone 1

- Klik *next* untuk berpindah pada lembar *tab Interfaces*. Dikarenakan tidak ada friksi tanah terhadap material lain, maka bagian ini dapat dilewat. Lalu klik OK.



Gambar 3.17 Tab Interfaces Pada Kotak Dialog Material Set Core Zone 1

- Buat seluruh parameter tanah timbunan dan pondasi Bendungan Jatigede yang dibutuhkan secara lengkap dengan menggunakan pemodelan *Set Type Soil & Interfaces*. Material yang dibuat pada pemodelan ini yaitu:

## Material Tanah

1. *Core zone 1*
  2. *Filter 2A*
  3. *Filter 2B*
  4. *Filter 3A*
  5. *Filter 3B*
  6. Zona rip-rap

## Material Batuan (tanah dasar)

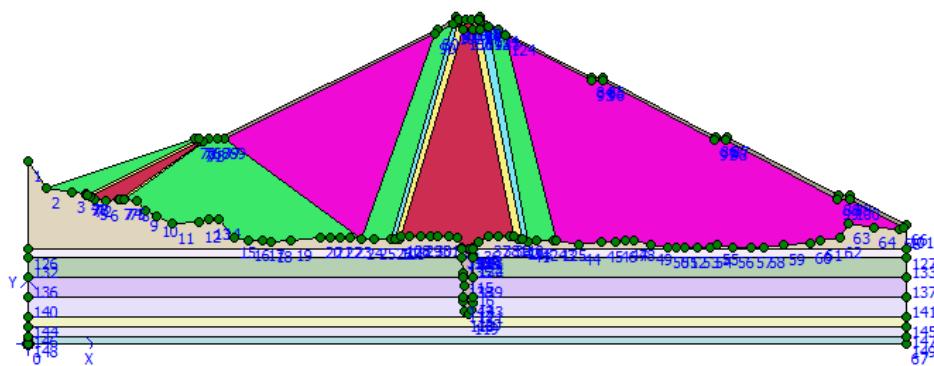
1. Layer 1 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)
  2. Layer 2 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)
  3. Layer 3 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)
  4. Layer 4 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)
  5. Layer 5 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)
  6. Layer 6 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)
  7. Layer 7 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)
  8. Layer 8 : breksi volkanik (*volcanic breccia*)

Berikut adalah kotak dialog *Material Set* yang sudah berisi material-material tubuh bendungan dan pondasi Bendungan Jatigede.



Gambar 3. 18 Soil & Interfaces Pada Kotak Dialog Material Set

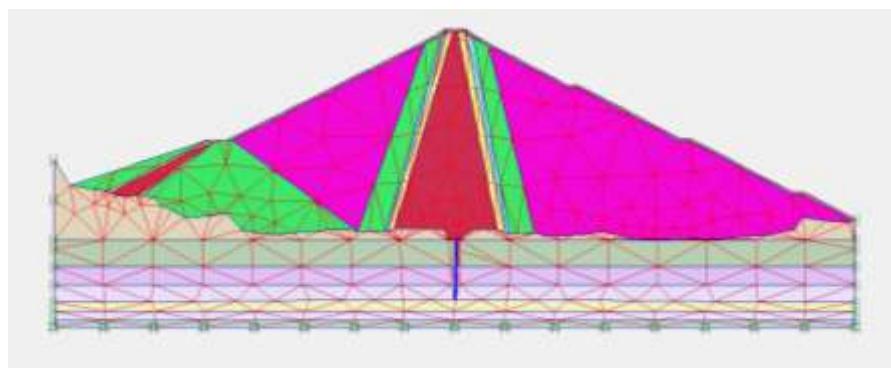
- Setelah membuat *Soil & Interfaces* pada *Material Set* setiap material yang dibutuhkan, lalu masukkan material tersebut kedalam geometri pemodelan Bendungan Jatigede dengan cara *drag* material yang terpilih ke dalam geometri yang sudah dibuat.



Gambar 3. 19 Geometri Bendungan Jatigede Setelah Terisi Material

- h. Langkah selanjutnya yaitu *input* kondisi awal. Pada kondisi ini didefinisikan bahwa pada kondisi awal belum terdapat timbunan bendungan

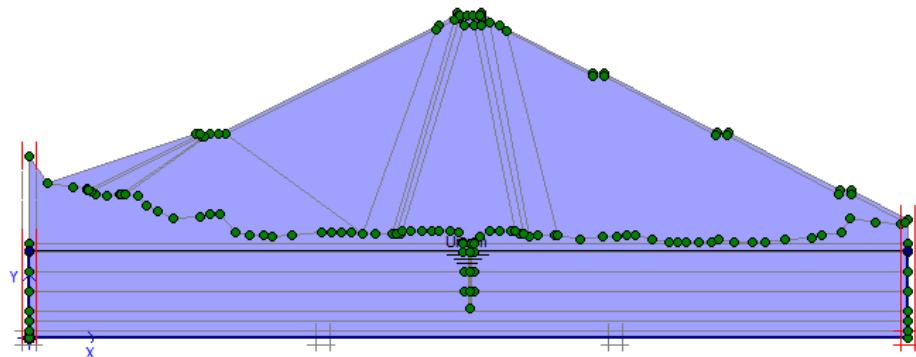
- Lakukan *generate mesh* dengan mencara klik yang berguna untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen *cluster* dan titik-titik nodal elemen (*nodes*). Kegunaan *mesh* ini adalah untuk melakukan perhitungan dalam metode elemen hingga. Setelah di klik *generate mesh* maka akan muncul hasil seperti di bawah ini.



Gambar 3. 20 Generate Mesh Bendungan Jatigede

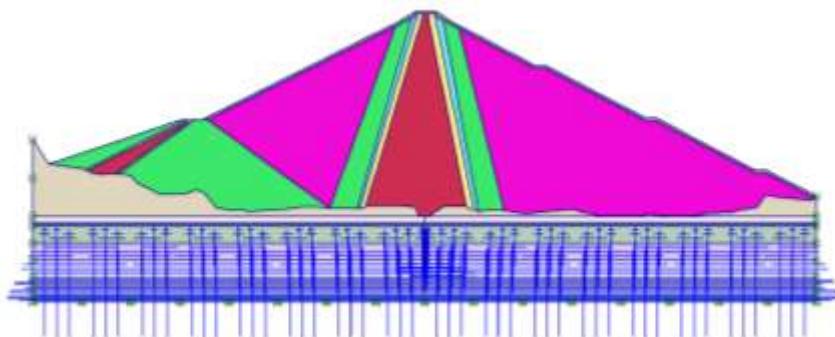
- Klik *Perbaharui*

- Lalu klik *Kondisi awal*  , sehingga akan muncul gambar seperti di bawah ini:



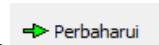
Gambar 3. 21 Muka Air Bendungan Kondisi Awal

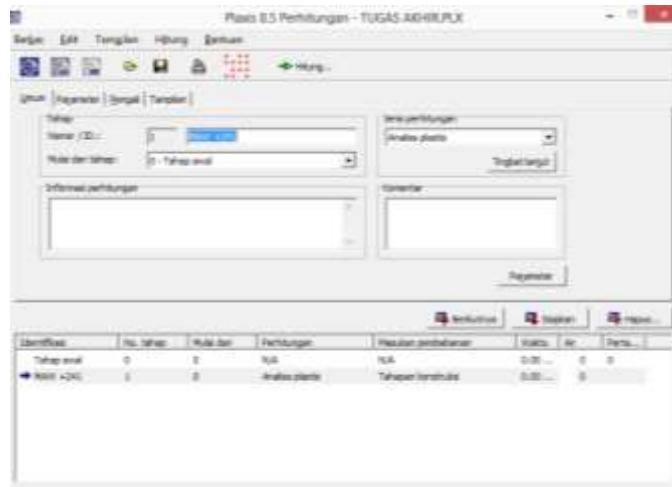
- Klik *generate water pressure*  untuk mengetahui tekan air yang bekerja pada kondisi awal, sehingga akan muncul seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3. 22 Generate Water Pressure Kondisi Awal

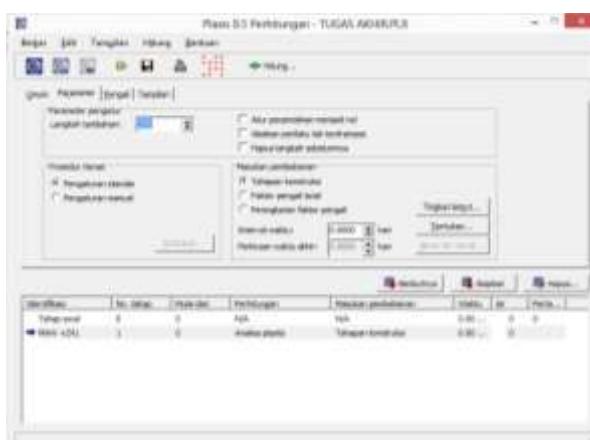
## 2. MAW +241 m

- Klik *Perbaharui* .
- Langkah selanjutnya yaitu melakukan proses perhitungan atau kalkulasi pada pemodelan Bendungan Jatigede ini. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:
  - Klik *Hitung*  , sehingga akan muncul gambar seperti di bawah ini:



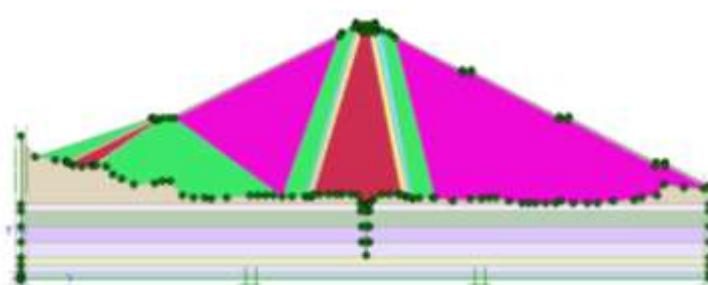
Gambar 3. 23 Lembar Tab General Pada Proses Kalkulasi Elevasi +241

- *Calculation type* yang dipilih yaitu *type Plastic*.
- Lalu isi *phase 1* dengan nama MAW +241
- Klik *next* untuk berpindah pada lembar *tab parameters*. Maka akan muncul gambar seperti di bawah ini:



Gambar 3. 24 Lembar Tab Parameters Pada Proses Kalkulasi MAW +241

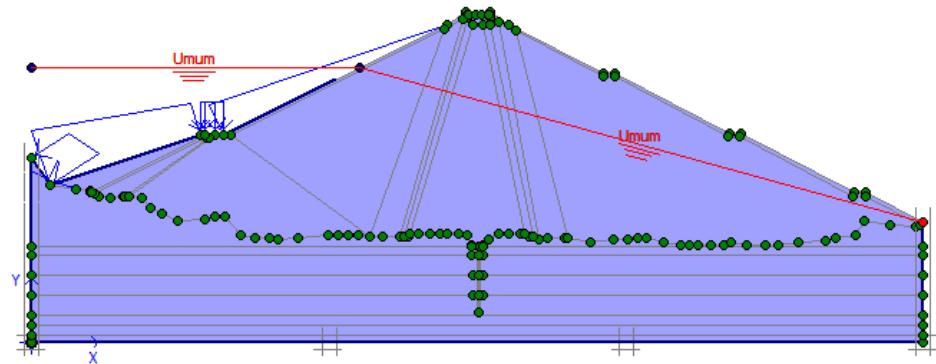
- Klik tentukan , lalu akan muncul gambar seperti di bawah ini:



Gambar 3. 25 Geometri Bendungan Sebelum Input MAW +241

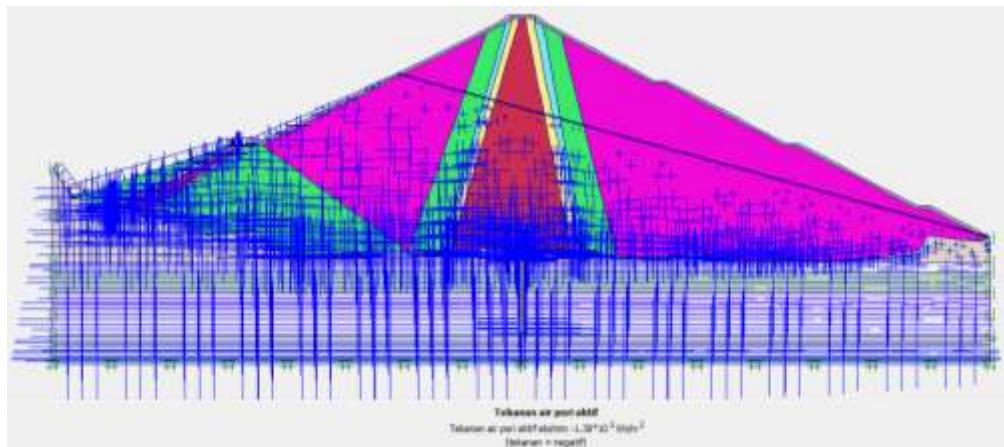
- Non-aktifkan *phase* sebelumnya. Klik *initial pore pressure* .

Masukan elevasi muka air pada kondisi MAW +241 dengan klik  masukan koordinat elevasi muka air seperti gambar di bawah ini:

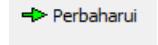


Gambar 3. 26 Muka Air Waduk Elv. +241

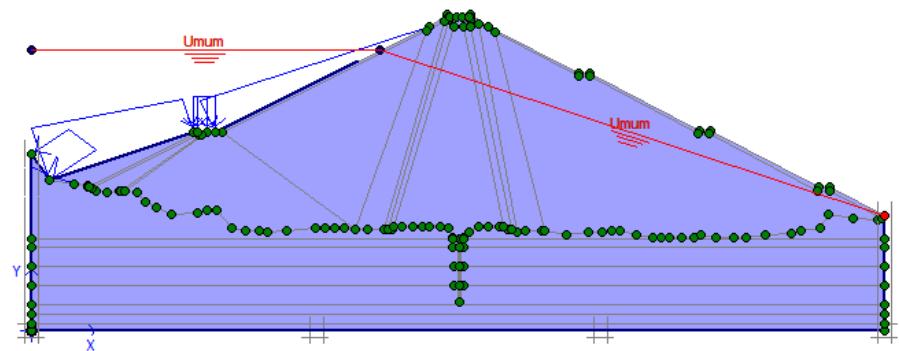
- Klik *generate water pressure*  untuk mengetahui tekanan air yang bekerja pada kondisi MAW +241, sehingga akan muncul seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3. 27 Generate Water Pressure MAW +241

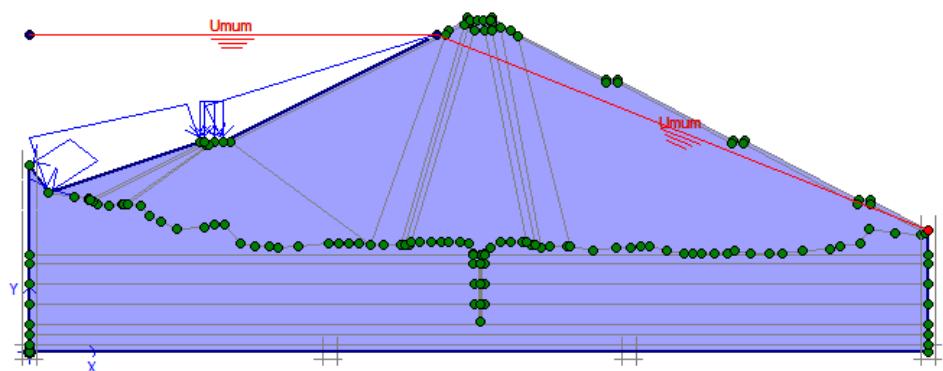
- Lalu klik *perbaharui* , dan lakukan hal yang sama untuk elevasi MAW + 250, MAW Normal (+260), MAW Banjir (+262) dan Kondisi Sudden Drawdown.

### 3. MAW +250 m



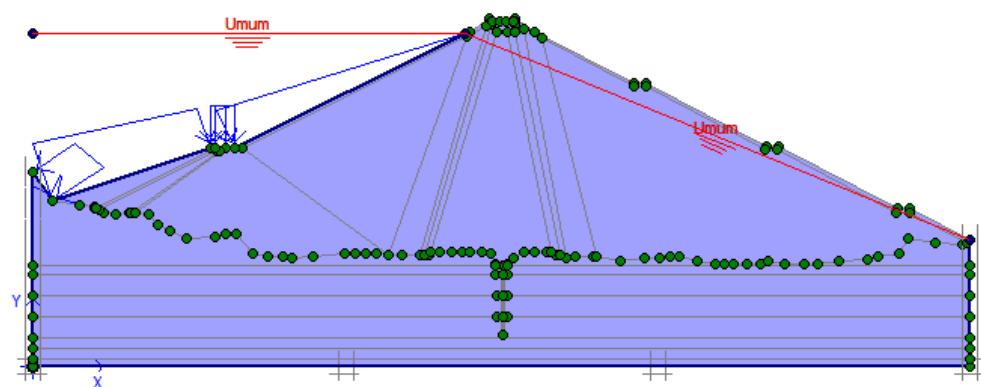
Gambar 3. 28 Muka Air Waduk Elv. +250

### 4. MAW +260 m (Normal)



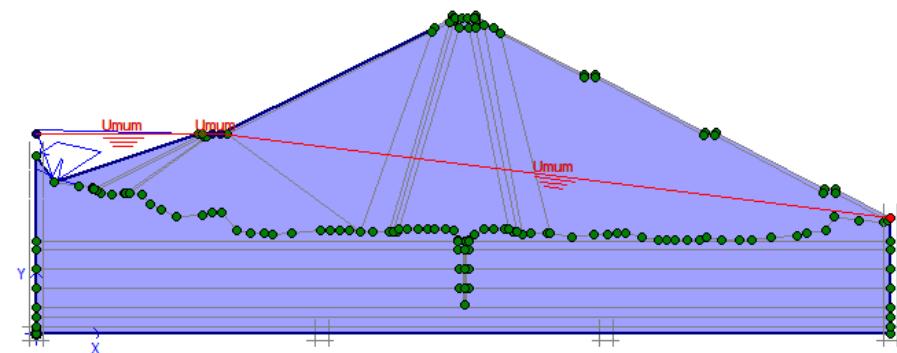
Gambar 3. 29 Muka Air Waduk Elv. +260

### 5. MAW +262 m (Maksimum)



Gambar 3. 30 Muka Air Waduk Elv. +262

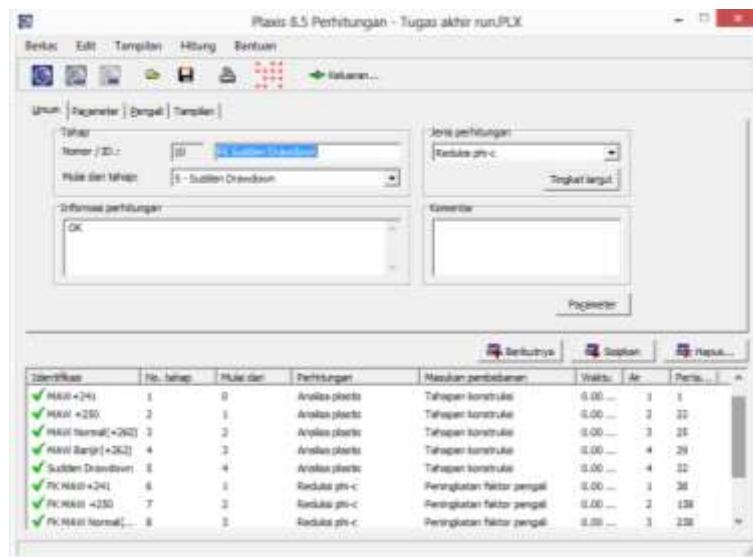
## 6. MAW +204 m (*Sudden Drawdown*)



Gambar 3. 31 Muka Air Waduk Elv. +204 (Sudden Drawdown)

Selanjutnya yaitu meninjau besarnya tekanan air pori, *Pergeseran* dan rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan. Besarnya tekanan air pori yang akan ditinjau yaitu saat muka air waduk berada pada setiap skenario elevasi muka air waduk selama initial impounding. Hasil dari poses kalkulasi tersebut yaitu nilai tekanan air pori seperti di bawah ini.

- Klik *perbaharui* ., lalu klik *Hitung*
- Setelah semua proses di atas selesai. Maka akan muncul gambar seperti di bawah ini.



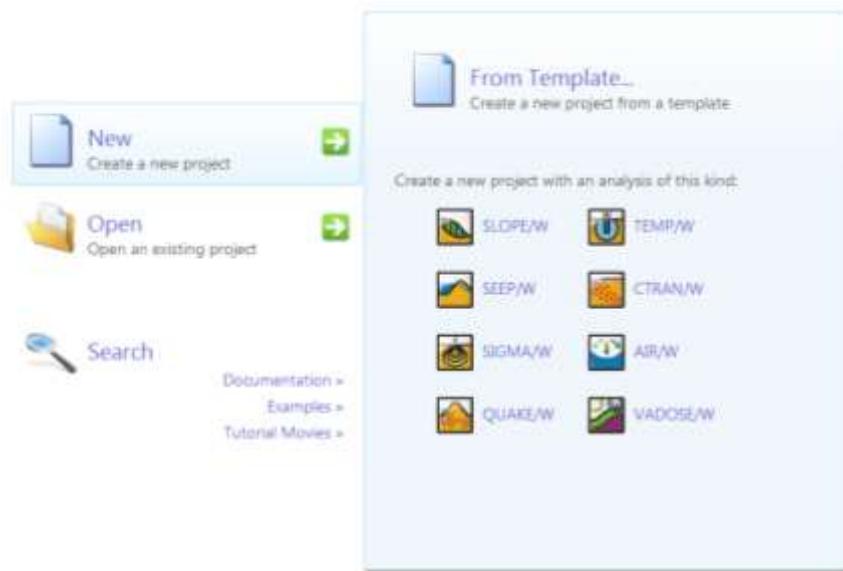
Gambar 3. 32 Kalkulasi MAW +241 sampai Kondisi Sudden Drawdown

- Kalkulasi elevasi MAW yang berhasil ditandai dengan *symbol ✓*
- Pilih keluaran, maka akan keluar hasil perhitungan. Berikut merupakan hasil analisis tekanan air porinya

### 3.4.5. Limit Euilibrium (Geostudio 2007)

#### 3.4.5.1. Pemodelan SLOPE/W

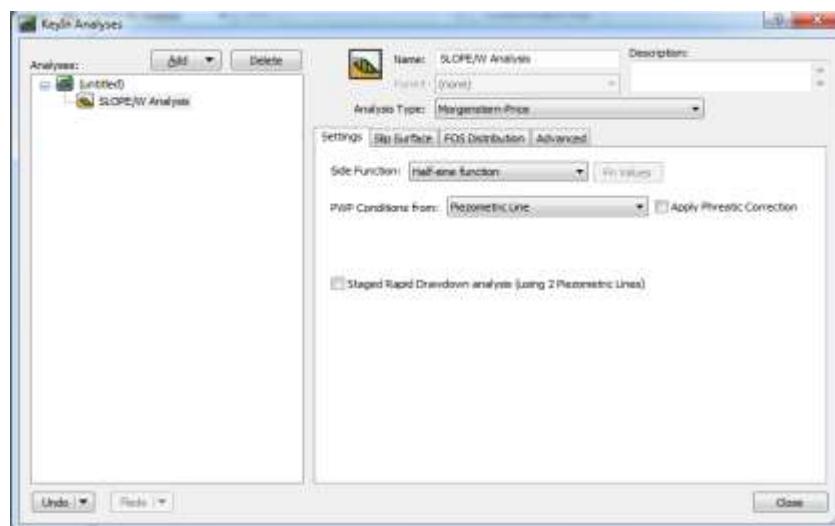
- Buka program GeoStudio 
- Akan muncul kotak dialog *Create/New a new project*. Pilih New lalu pilih SLOPE/W.



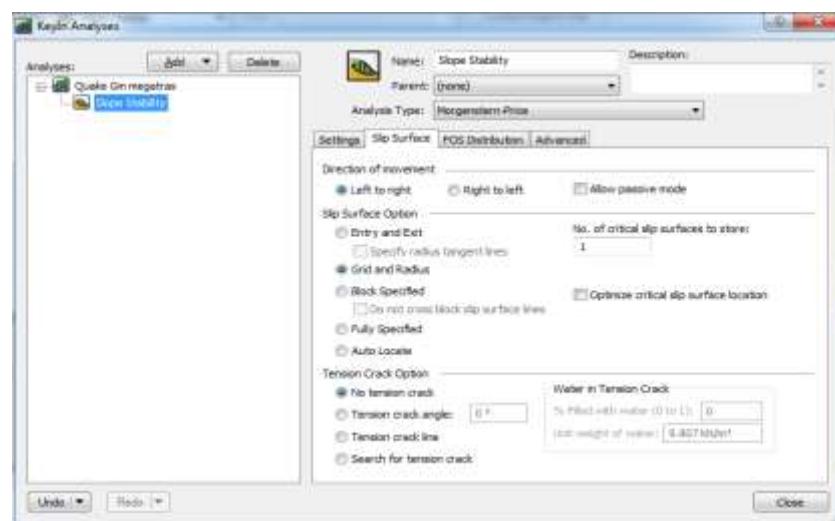
Gambar 3. 33 Tampilan create/new a new project

- Muncul jendela *KeyIn Analyses*.
- Ubah nama sesuai project yang dikehendaki misal “ ANALISIS SAFETY FACTOR BENDUNGAN JATIGEDE” dengan nama analisis “SLOPE/W Analisis FK MAW +241”
- Pilih tipe analisis Morgenstern-Price
- Pada setting pilih piezometric line untuk memperlihatkan aliran muka air

- Pada slip surface pilih left to right, grid and radius dan no tension crack lalu yang berfungsi untuk menentukan bidang keruntuhan dan menentukan tipe *slip surface* yang akan digunakan close

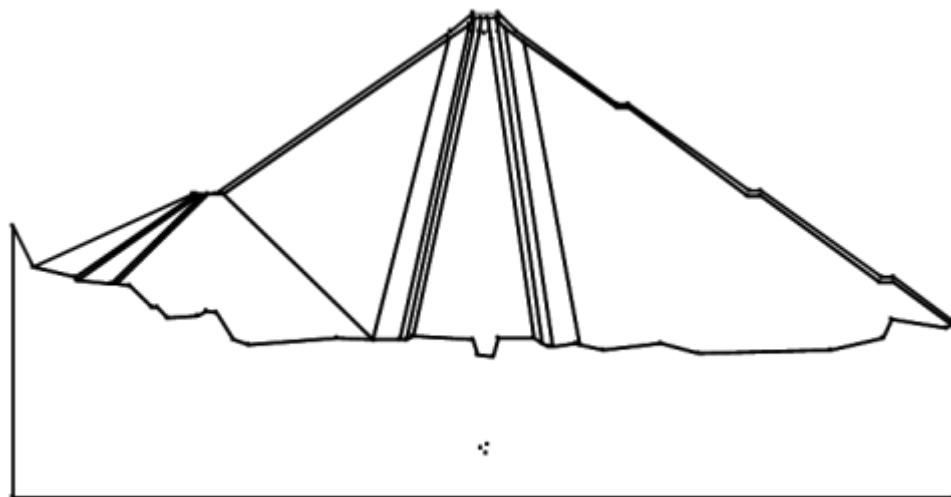


Gambar 3. 34 KeyIn Analysis



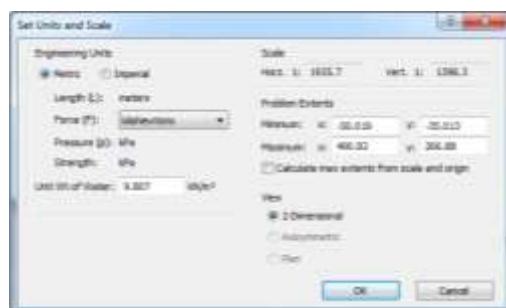
Gambar 3. 35 Setting Slip Surface

- Masukkan point untuk membuat geometri dengan cara KeyIn-Point-Input Koordinat Point, kemudian hubungkan antar point hingga membentuk geometri bendungan



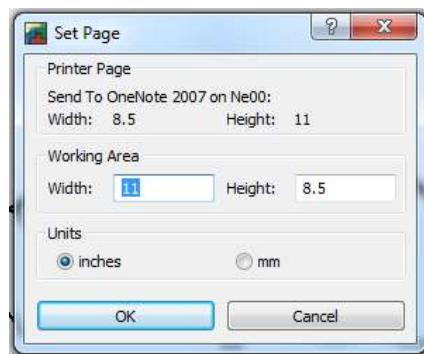
Gambar 3. 36 Geometri Bendungan

- Pengaturan skala dan unit agar gambar terlihat proporsional di lembar kerja dengan cara Set-unit and scale-atur berdasarkan nilai absis, ordinat minimum dan maksimum



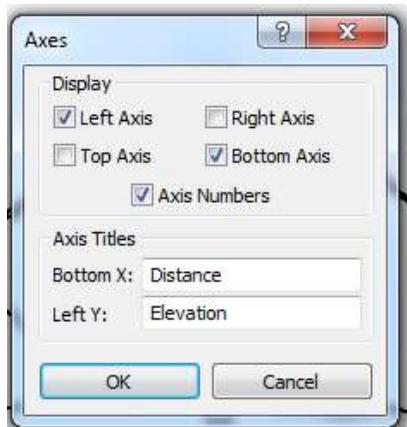
Gambar 3. 37 Set Units and Scale

- Atur bidang gambar agar geometri dapat masuk ke dalam bidang gambar dengan cara Set-Page.

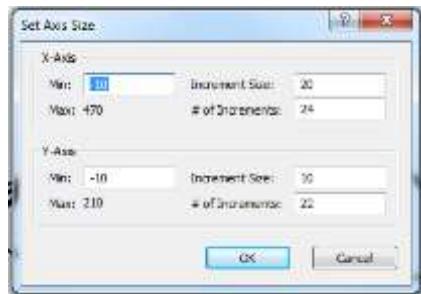


Gambar 3. 38 Set Page

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

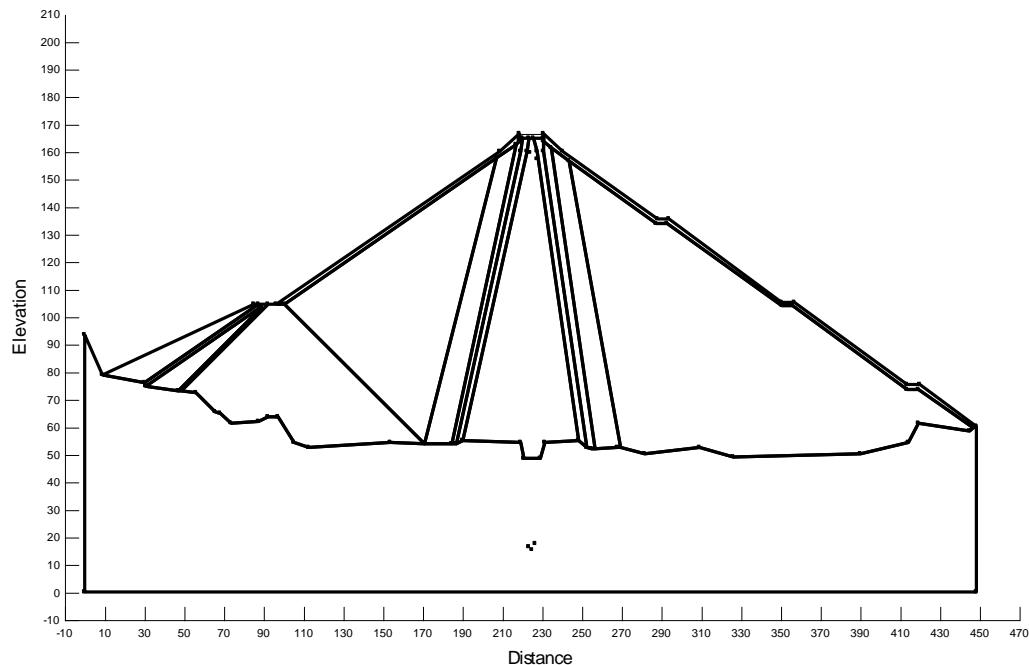


Gambar 3. 39 Set Axes



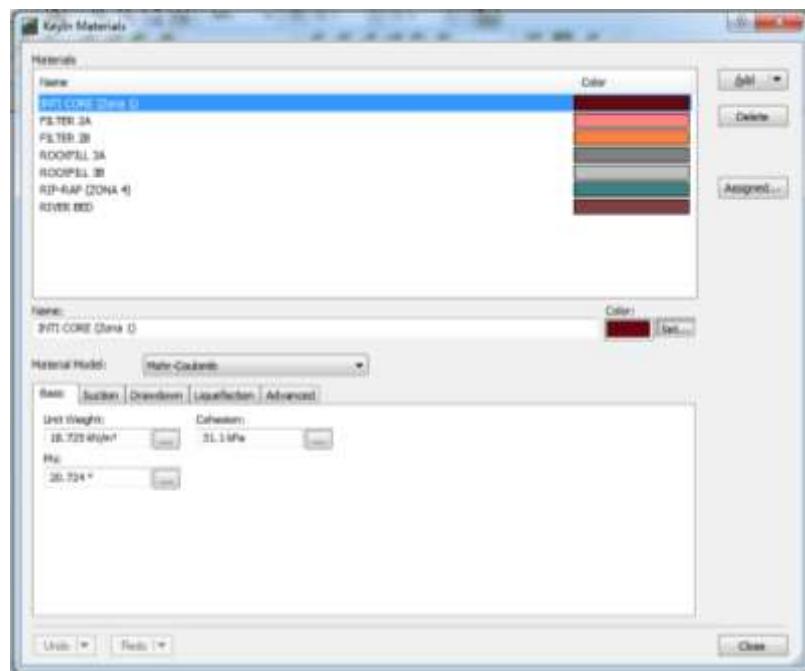
Gambar 3. 40 Set Axis Size

- Berikut ini adalah gambar hasil *set axes* yang telah digambar pada area kerja. Untuk mengurangi atau menambahkan panjang axes arah sumbu x maupun sumbu y dapat dilakukan pada menu Set axes.



Gambar 3. 41 Set Axes

- Membuat material untuk input ke dalam geometri bendungan. KeyIn-material

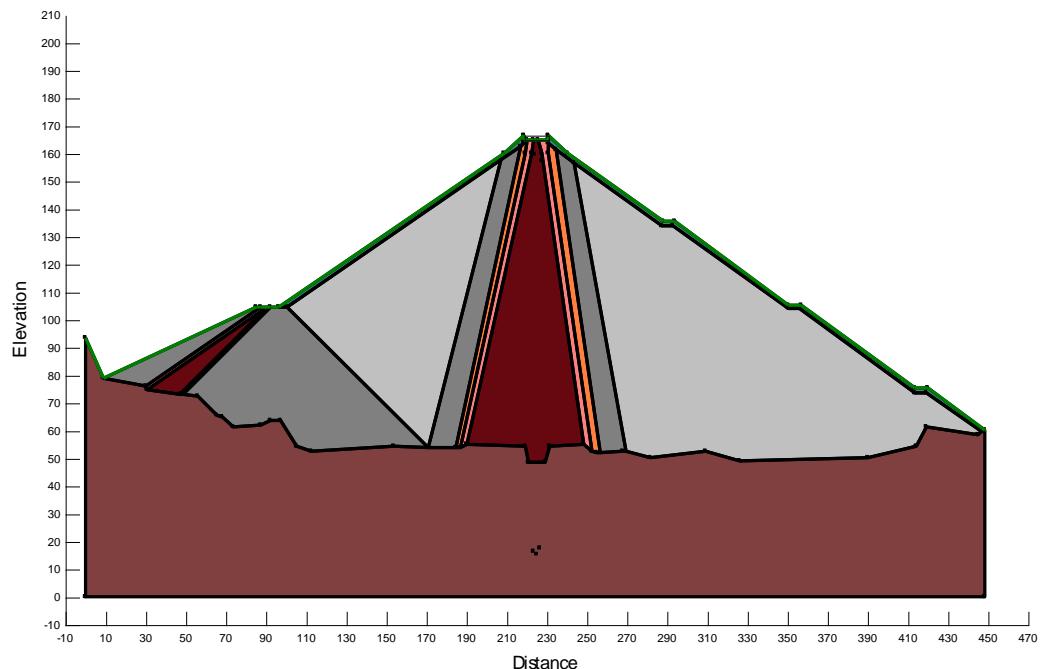


Gambar 3. 42 Input Material

Tabel 3. 4 Data Material Bendungan

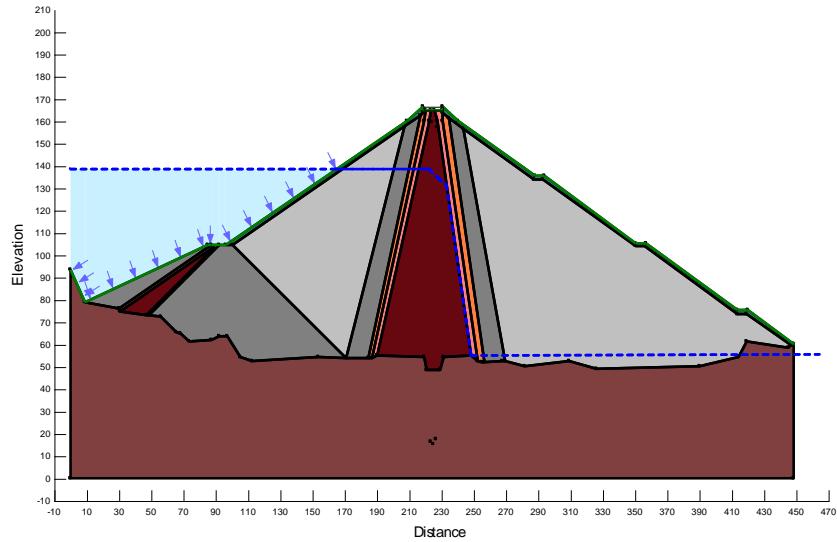
No	Material	$\gamma n$ (kN/m <sup>3</sup> )	c <sub>ref</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (phi) (°)
1	Zona 1	18,725	31,1	20,724
2	Zona 2A	23,459	30	36
3	Zona 2B	24,05	30	38
4	Zona 3A	23,216	40	36,5
5	Zona 3B	22,22	40	36
6	Zona 4 (rip-rap)	22,22	40	36

- Setelah input material dilanjutkan penggambaran material pada geometri bendungan dengan cara Draw-material pilih region yang akan diisi.



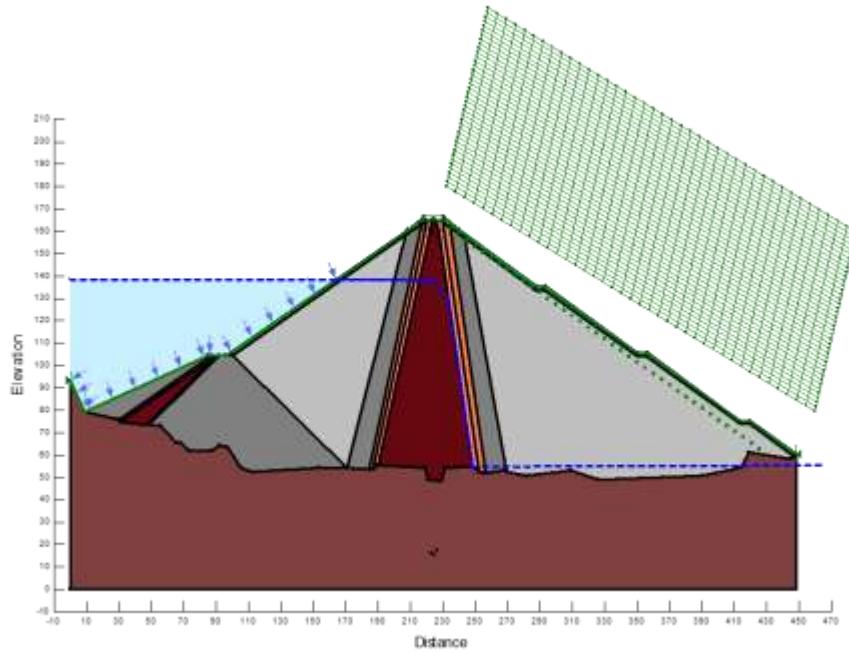
Gambar 3. 43 Input Draw Material

- Selanjutnya menggambar elevasi muka air waduk. Draw-Pore water pressure  -add-draw



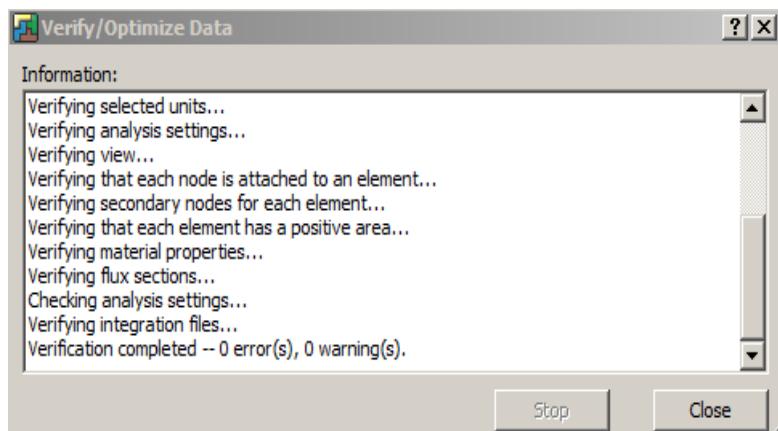
Gambar 3. 44 *Phreatic Line*

- Perhitungan faktor keamanan hilir bendungan dengan cara Draw-Slip Surface-Grid lalu masukan nilai *increments x* dan *y*, hasil penggambaran grid seperti gambar dibawah ini.
- Selanjutnya dilakukan input radius disepanjang bidang longsoran, dengan cara draw-slip surface-radius



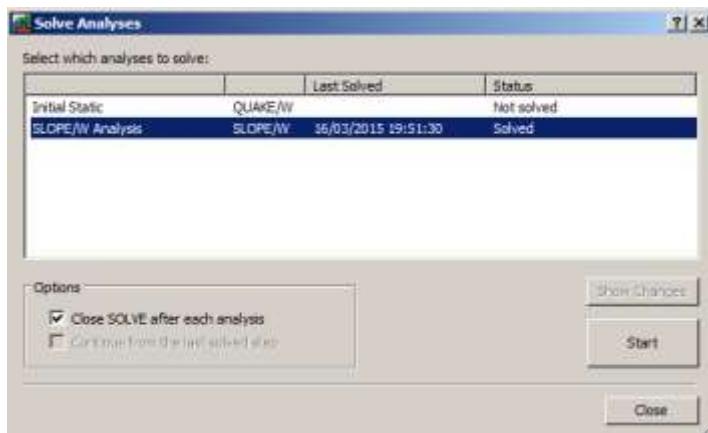
Gambar 3. 45 *Grid Dan Radius*

- Tahap selanjutnya verifikasi terhadap data-data yang telah diinput dengan cara pilih menu Tools *verify/optimize* |  untuk mengetahui bahwa geometri yang diinputkan error atau tidak



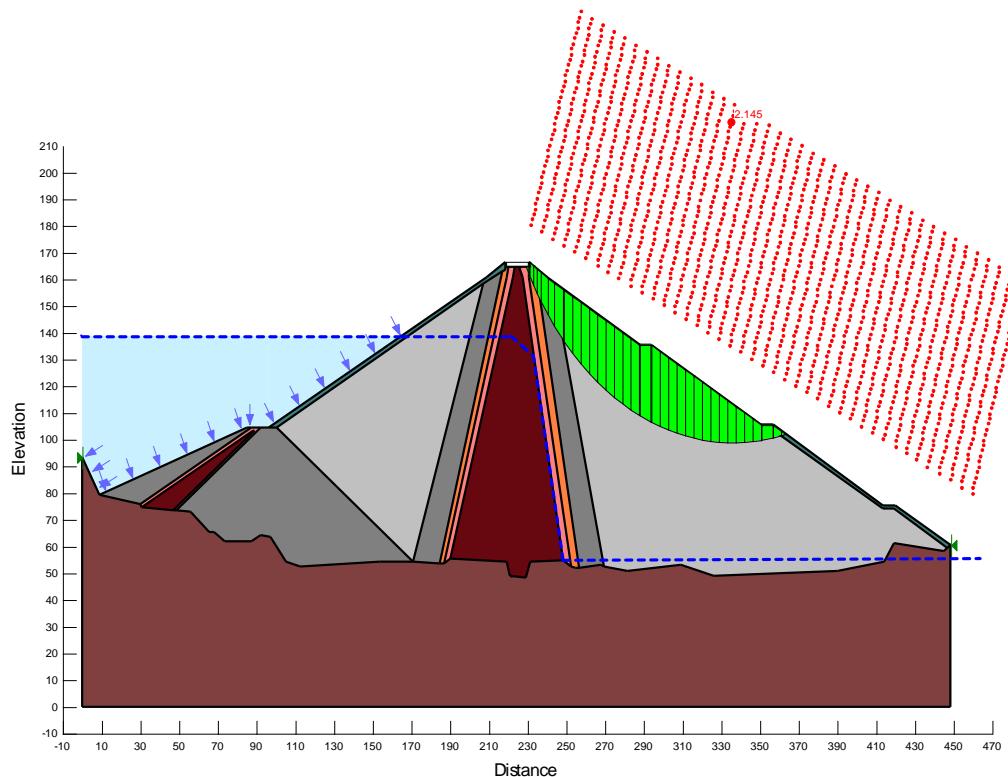
Gambar 3. 46 Verify/Optimized

- Selanjutnya pilih *Solve Analysis*  lalu pilih start, untuk memulai menghitung faktor kemanan.



Gambar 3. 47 Solve Analyses

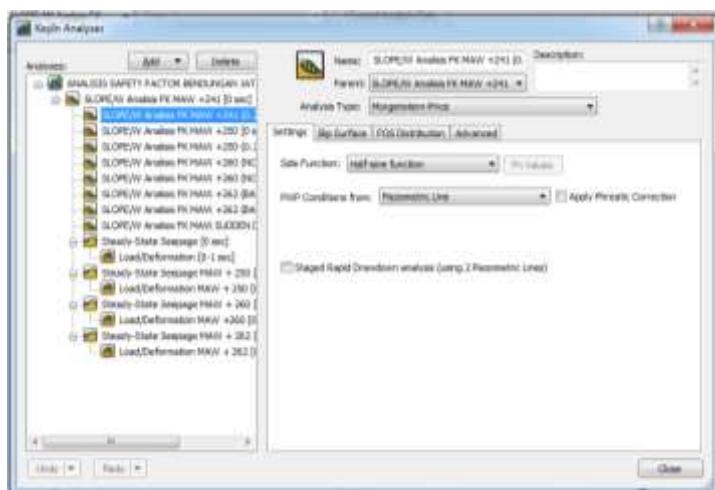
Setelah perhitungan faktor keamanan selesai maka *Output* yang keluar adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 48 Hasil Perhitungan SLOPE/W

### 3.4.5.2. Pemodelan SEEP/W

- KeyIn-Analysis
- Pilih “ANALISIS SAFETY FACTOR BENDUNGAN JATIGEDE”-add-SEEP/W Analysis-steady state
- Pada parent pilih SLOPE/W Analisis FK MAW +241-Close

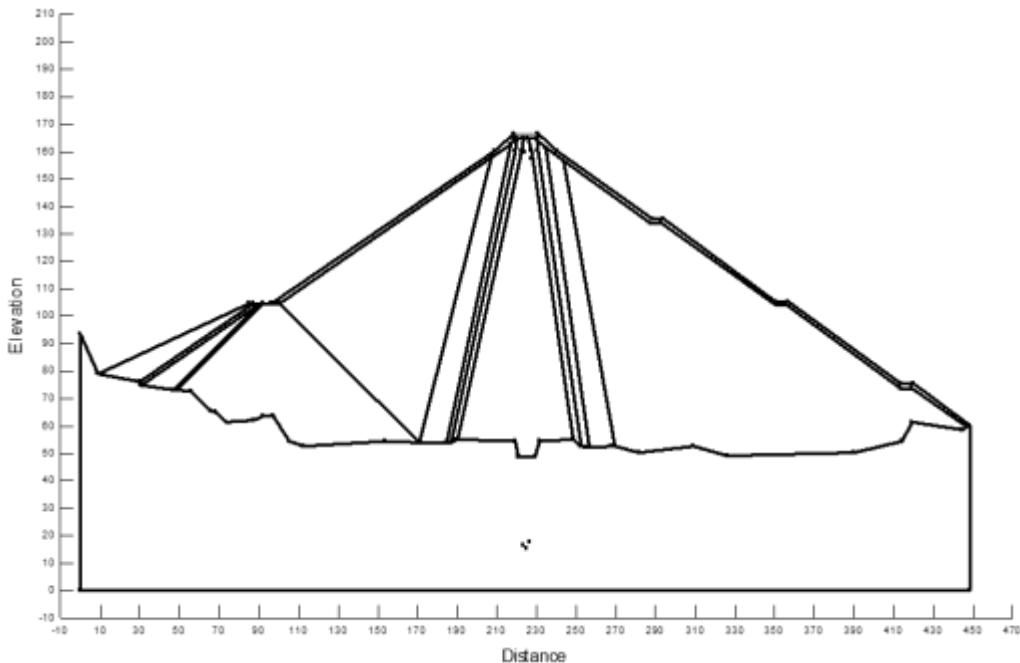


Gambar 3. 49 KeyIn SEEP/W

Tria Fajri Jauhari, 2017

PENGARUH INITIAL IMPOUNDING TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN JATIGEDE BERBASIS INSTRUMENTASI GEOTEKNIK

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu



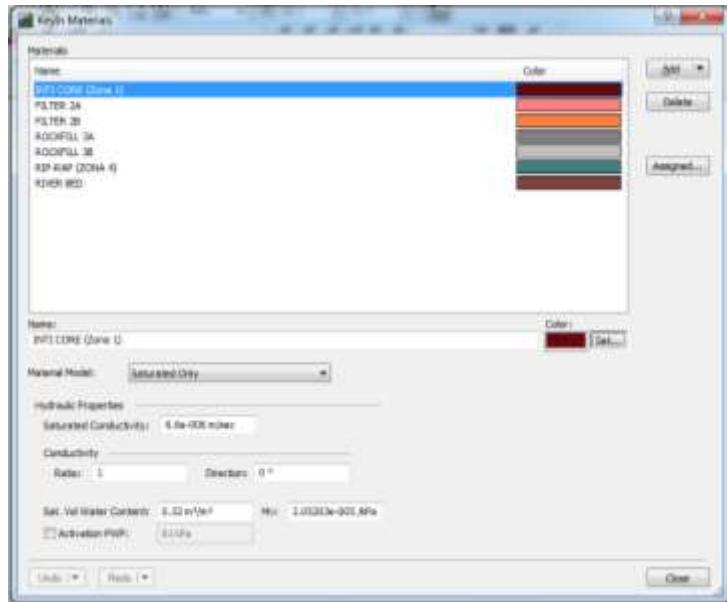
Gambar 3. 50 Geometri Bendungan

- Langkah selanjutnya adalah input material tubuh bendungan dengan cara KeyIn-material. Parameter Material yang dibutuhkan yaitu:
  - *Vol. Water content at Saturation*
  - *Coef. Of Vol. Compressibility* ( $m_v$ )
  - *K (Coef. Of Permeability)*

Berikut data-data yang akan dimasukkan:

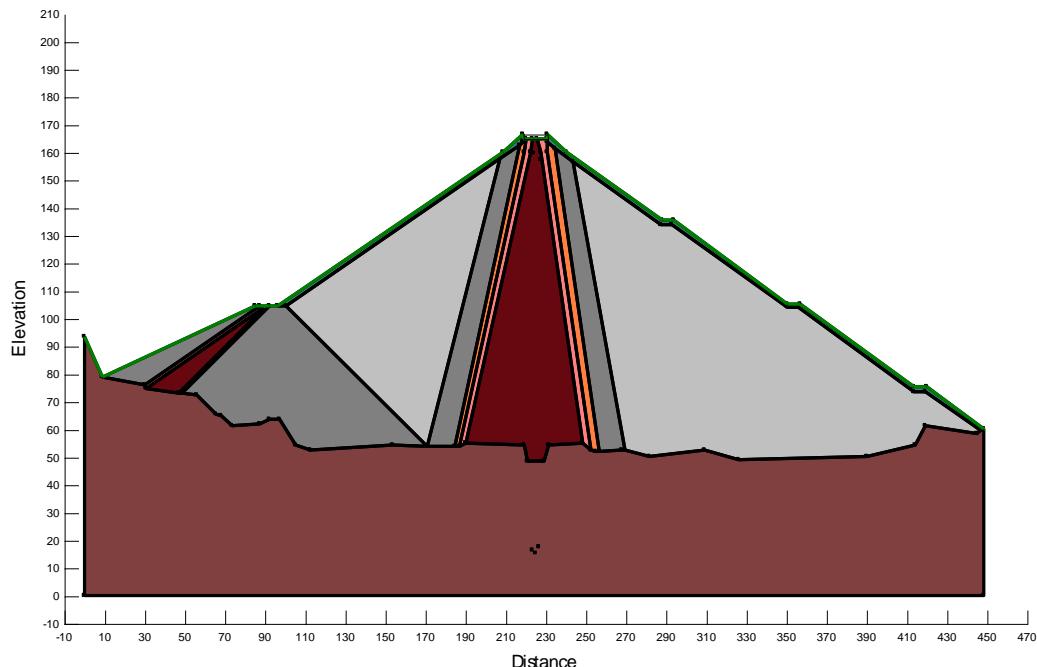
Tabel 3. 5 Material Tubuh Bendungan untuk Input Program SEEP/W

Parameter	Vol. WC	E (kN/m <sup>3</sup> )	$m_v$ (m <sup>2</sup> /kN)	Permeabilitas (m/det)
Zone 1 : filter Cijeunjing	0.408	4.87E+04	2.05E-05	6.60E-06
Zone 2A : filter material	0.452	5.00E+04	2.00E-05	6.40E-04
Zone 2B : filter material	0.452	5.00E+04	2.00E-05	1.10E-02
Zone 3A : transition material	0.476	8.10E+04	1.23E-05	6.00E-02
Zone 3B : rockfill material	0.476	8.10E+04	1.23E-05	8.00E-01
Rip-rap (zona 4)	0.476	8.10E+04	1.23E-05	8.00E-01



Gambar 3. 51 Material Properties Tubuh dan Pondasi Bendungan

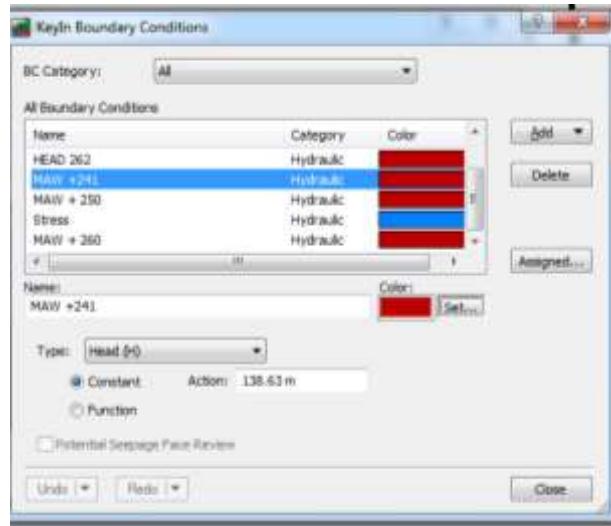
- Material tubuh bendungan selanjutnya dimasukkan kedalam geometri dengan cara memilih region sesuai tempat material itu.



Gambar 3. 52 Input Material

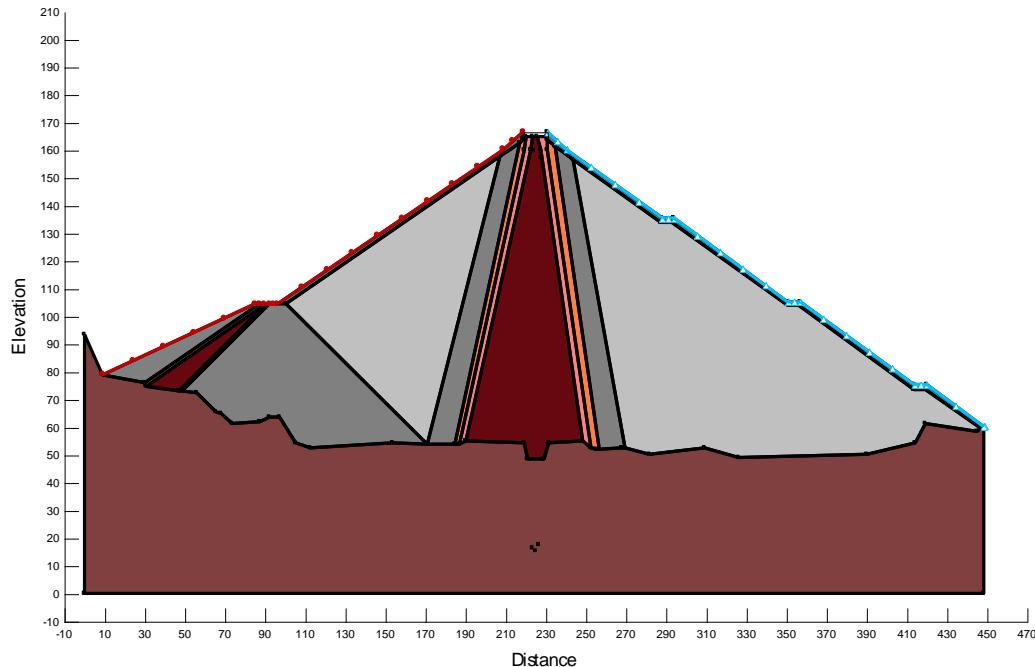
- Buat *Boundary Conditions* Draw-boundary condition-add
- Pilih *Head (H)* pada *Type Boundary*

- Action yaitu tinggi muka air waduk dari titik datum yang dibuat. Pada hulu bendungan tinggi muka air yaitu 138.63 meter dari titik 0.0 untuk MAW +241



Gambar 3. 53 *Boundary Condition*

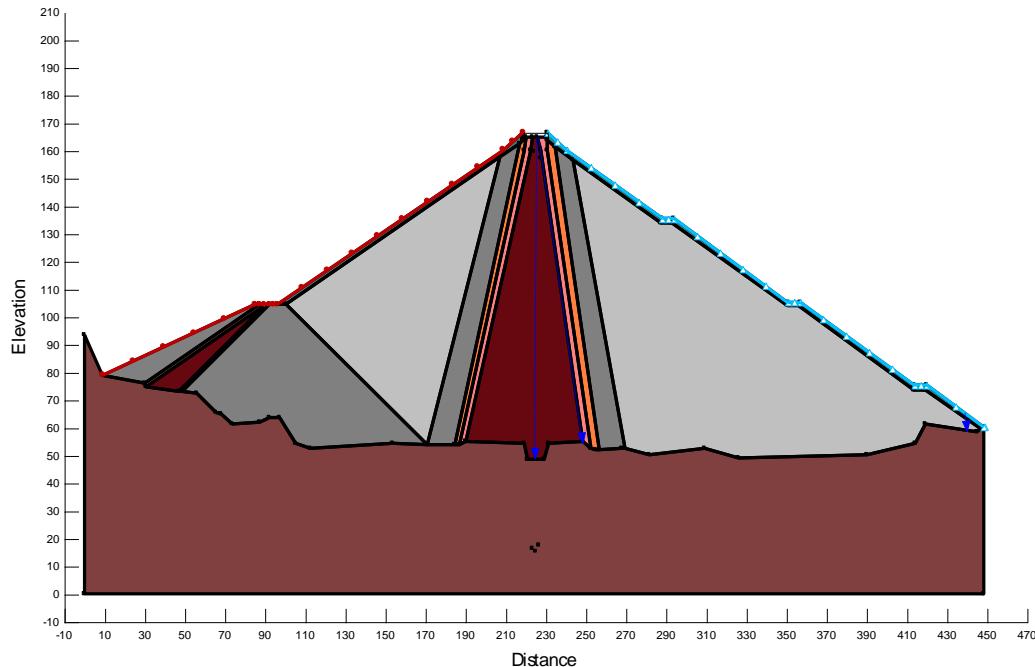
- Klik daerah yang akan dibatasi. Boundary condition-klik



Gambar 3. 54 *Assign Boundary Condition*

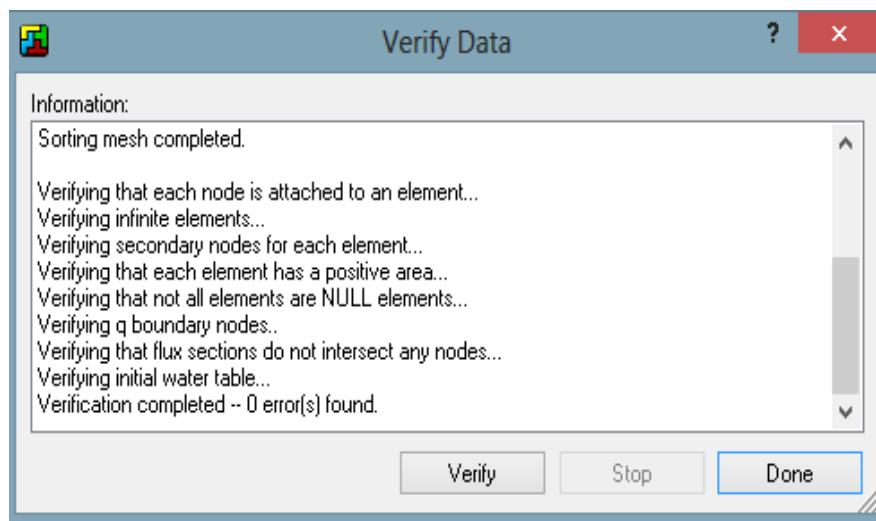
- Buat section nilai rembesan yang akan ditinjau dengan cara *Draw-Flux*





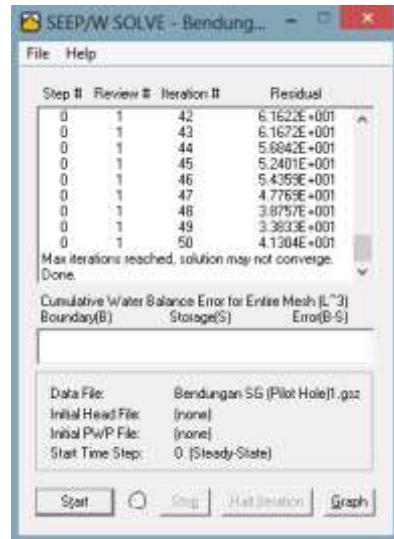
Gambar 3. 55 *Flux Section*

- Klik *Verify* untuk mengetahui apakah ada kesalahan proses inputl atau tidak



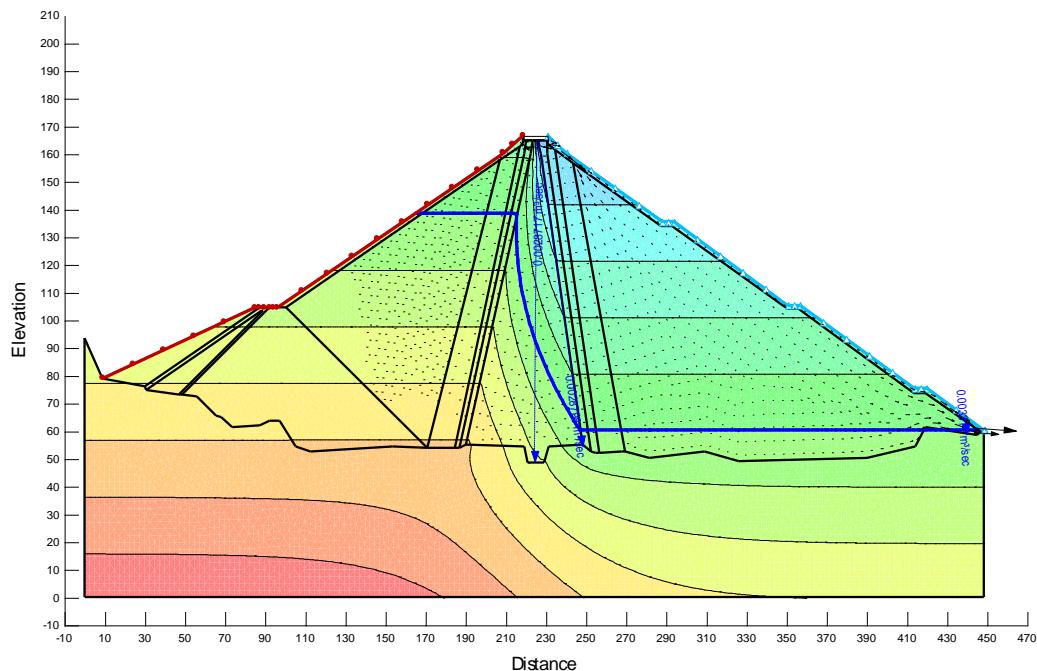
Gambar 3. 56 *Verify Data*

- Selanjutnya yaitu melakukan kalkulasi untuk mengetahui besarnya rembesan yang terjadi. Klik *SOLVE* maka akan muncul kotak dialog seperti di bawah ini.



Gambar 3. 57 Kalkulasi SEEP/W

- Klik *Contour*
- Klik *Draw Flux Label* , lalu klik pada *Flux Section* yang sebelumnya telah dibuat, maka akan muncul besarnya rembesan yang melalui tubuh dan pondasi bendungan seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3. 58 Total Head dan Besar Rembesan

### **3.5. Alat dan Teknik Pengumpul Data**

#### **3.5.1. Alat Pengumpulan Data**

Alat yang digunakan dalam pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu:

- Vibrating Wire Data Recorder (Red Out)
- Inclinometer
- Settlement Meter
- Mistar (Mengukur tinggi air di saluran V-Notch)
- Dan lain-lain

#### **3.5.2. Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dengan melakukan pengukuran instrumentasi secara langsung di STA 1+100 dan studi kepustakaan yaitu pengumpulan data yang diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan dan dengan cara membaca, mencatat dan mempelajari buku-buku literature, kumpulan buku yang berhubungan dengan stabilitas bendungan. Serta bahan bacaan lain yang berhubungan dengan permasalahan yang penulis sajikan. Dalam penelitian ini, data yang diperlukan untuk menganalisa faktor keamanan bendungan adalah sbb:

1. Data Material Bendungan
2. Data Instrumentasi VW Piezometer, Inclinometer, Settlement Meter di Sta. 1+100 dan V-Notch Weir di hilir bendungan.

Data-data diatas didapatkan dari pengujian laboratorium dan pengukuran instrumentasi dari pihak SNVT Pembangunan Waduk Jatigede.

Date	STA 1 + 000	ELV + 188.000	Coordinate	STA 1 + 000	ELV + 181.000	Coordinate	STA 1 + 000	ELV + 174.000	Coordinate						
	Location : Main Dam/River Bed, 6m, U/S	x = 113068.972		Location : Main Dam/River Bed, 6m, U/S	x = 113068.972		Location : Main Dam/River Bed, 6m, U/S	x = 113068.972							
	Serial Number : 043096	y = 97431.553		Serial Number : 043097	y = 97431.553		Serial Number : 043098	y = 97431.553							
	FP.13 (Foundation Piezometer)			FP.14 (Foundation Piezometer)			FP.14 (Foundation Piezometer)								
	E = AR <sub>1</sub> <sup>2</sup> + BR <sub>1</sub> + C			E = AR <sub>1</sub> <sup>2</sup> + BR <sub>1</sub> + C			E = AR <sub>1</sub> <sup>2</sup> + BR <sub>1</sub> + C								
	A = -0.000000449771600			A = -0.000000708305700			A = -0.0000001375363000								
	B = -0.7862751000			B = -0.7907304000			B = -0.7540742000								
	C = -(AR <sub>2</sub> + BR <sub>0</sub> )			C = -(AR <sub>2</sub> + BR <sub>0</sub> )			C = -(AR <sub>2</sub> + BR <sub>0</sub> )								
	R <sub>0</sub> = 6456.5	elv.	188	R <sub>0</sub> = 6275.5	elv.	181	R <sub>0</sub> = 6396.4	elv.	174						
	C = 5095.33453849			C = 4934.33420078			C = 4879.63172246								
1 kPa = 0.10220 m H <sub>2</sub> O		1 kPa = 0.10220 m H <sub>2</sub> O		1 kPa = 0.10220 m H <sub>2</sub> O		1 kPa = 0.10220 m H <sub>2</sub> O		1 kPa = 0.10220 m H <sub>2</sub> O							
Reading		Pore Water Pressure		Reading		Pore Water Pressure		Reading							
R1 F <sup>2</sup> /1000		E (kPa)		m H <sub>2</sub> O		Elev (m)		R1 F <sup>2</sup> /1000		E (kPa)		m H <sub>2</sub> O		Elev (m)	

Tabel 3. 6 Form Data Vibrating Wire Piezometer

Tabel 3. 7 Form Data Incinometer

Depth (m)	27-Jan-15	29-Jan-15	18-Feb-15	26-Feb-15	20-Mar-15	29-Mar-15
	9:53:00 AM	10:06:00 AM	1:52:00 PM	1:49:00 PM	10:24:00 AM	2:27:00 PM

Tabel 3. 8 Form Data Settlement Meter

Tabel 3. 9 Form Data V-Notch Weir

NO	Waktu	Tanggal	MAW	Tinggi V-Notch (mm)	Debit (L/S)	Curah hujan (mm)	ket

