# BAB IX
# PERENCANAAN TUBUH EMBUNG

## 9.1. Tinjauan Umum

Tubuh embung direncanakan untuk dapat menahan gaya-gaya yang menyebabkan tidak stabilnya tubuh embung. Dimensi tubuh embung direncanakan berdasarkan elevasi muka air banjir tampungan embung, tinggi jagaan tubuh embung, material untuk konstruksi tubuh embung, dan hal-hal lain yang mempengaruhinya. Perencanaan tubuh embung terdiri dari:

- Penentuan material konstruksi
- Penentuan dimensi tubuh embung
- Susunan konstruksi tubuh embung
- Stabilitas tubuh embung terhadap rembesan
- Stabilitas tubuh embung terhadap longsoran

## 9.2. Material Konstruksi

Berdasarkan material yang tersedia di lokasi atau sekitarnya maka tubuh Embung Panohan direncanakan sebagai embung urugan. Bahan-bahan material yang akan digunakan diambil dari lokasi yang dekat dengan lokasi embung.

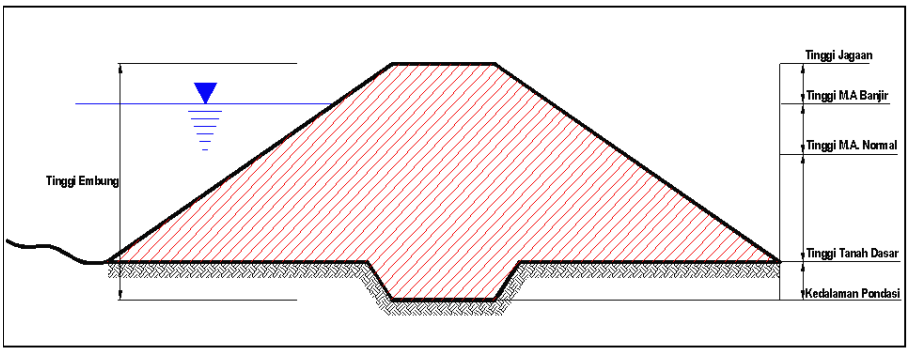
Untuk tubuh embung direncanakan berupa urugan tanah homogen. Tanah bahan timbunan berupa tanah merah hasil pelapukan batu lempung. Dari hasil pengujian laboratorium mekanikan tanah dan berdasar pada *unified soil classification*, tanah tersebut dapat digolongkan ke dalam jenis CH/SC.

## 9.3. Dimensi Embung

Dimensi-dimensi tubuh embung yang akan direncanakan adalah:

- Penentuan elevasi puncak embung
- Panjang Embung
- Kemiringan lereng embung
- Lebar puncak embung

### 9.3.1. Elevasi Puncak Embung




Gambar 9.1 Penentuan Elevasi Puncak Embung

Elevasi puncak embung didapat dari elevasi muka air banjir ditambah dengan tinggi jagaan. Tinggi muka air banjir diperoleh dari perhitungan penelusuran banjir. Elevasi muka air banjir Embung Panohan +73,44 m.

Tinggi jagaan adalah jarak bebas antara mercu embung dengan permukaan air maksimum rencana. Tinggi jagaan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$H_f \geq \Delta h + (h_w \text{ atau } \frac{h_e}{2}) + h_a + h_i$$

atau

$$H_f \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$$

di mana :

$H_f$ = tinggi jagaan (tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk)

$\Delta h$ = yang terjadi akibat timbulnya banjir abnormal

$H_w$ = tinggi ombak akibat tiupan angin

$h_e$ = tinggi ombak akibat gempa

$h_a$ = tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk, apabila terjadi kemacetan-kemacetan pada pintu bangunan pelimpah.

hi = tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi dari waduk

Parameter Tinggi Jagaan yang diperhitungkan untuk mendapatkan elevasi puncak embung adalah:

- Tinggi kenaikan permukaan air yang disebabkan oleh banjir abnormal
- Tinggi ombak yang disebabkan oleh angin ($h_w$)
- Tinggi ombak yang disebabkan oleh gempa ($h_e$)

## A. Tinggi Kenaikan Permukaan Air Yang Disebabkan Oleh Banjir Abnormal

Rumus yang digunakan :

$$\Delta h = \frac{2}{3} . \frac{\alpha Q_0}{Q} . \frac{h}{1 + \frac{A \times h}{Q \times T}}$$

di mana :

$Q_o$ = debit banjir rencana ($m^3$/det)

Q = kapasitas rencana ($m^3$/det)

$\alpha$ = 0,2 untuk bangunan pelimpah terbuka

$\alpha$ = 1,0 untuk bangunan pelimpah tertutup

h = kedalaman pelimpah rencana (m)

A = luas permukaan air waduk pada elevasi banjir rencana ($km^2$)

T = durasi terjadinya banjir abnormal (1 s/d 3 jam)

Untuk perhitungan digunakan data-data sebagai berikut :

$Q_o$ = 106,85 m³/dt

Q = 196,39 m³/dt

h = 1,79 m

A = 0,17 km²

T = 3 Jam

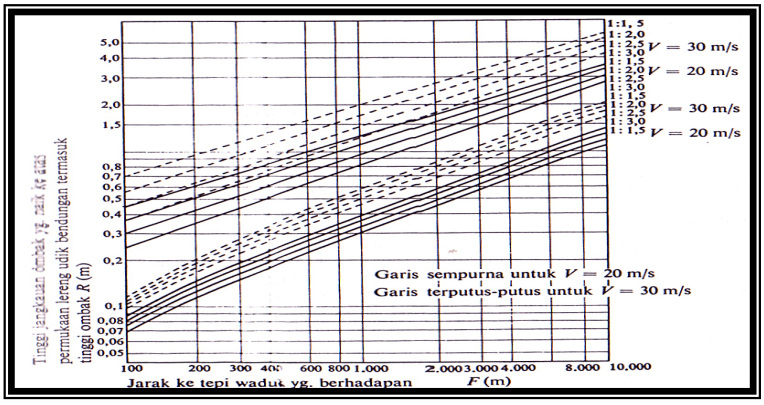
$$\Delta h = \frac{2}{3} \times \frac{0,2 \times 106,85}{196,39} \times \frac{1,79}{1 + \frac{0,17 \times 1,79}{196,39 \times 3}}$$

$\Delta h$ = 0,058 m

## B. Tinggi Ombak Yang Disebabkan Oleh Angin ($H_w$)

Tinggi ombak yang disebabkan oleh angin ini perhitungannya sangat dipengaruhi oleh panjangnya lintasan ombak (F) dan kecepatan angin di atas permukaan air waduk. Panjang lintasan ombak yang dipakai adalah $F_{eff}$ sebesar 670 m dihitung dari as tubuh embung ke titik terjauh tepi genangan dengan arah tegak lurus tubuh embung. Panjang lintasan ombak didapat dari pengukuran pada peta topografi, peta topografi dilampirkan pada lampiran gambar. Sedangkan kecepatan angin di atas permukaan air waduk dari data klimatologi diambil 20 m/det.

Perhitungan tinggi ombak ($h_w$) ini menggunakan grafik metode SMB yang dikombinasikan dengan metode *Saville.* Dengan kemiringan hulu 1 : 3 tinggi jangkauan ombak ($h_w$) yang didapat adalah 0,27 m .




Gambar 9.2. Grafik Perhitungan Metode SMB (Suyono Sosrodarsono, 1989)

## C. Tinggi ombak yang disebabkan oleh gempa ($h_e$)

Parameter-parameter untuk menghitung tinggi ombak yang disebabkan oleh gempa dapat dilihat pada Tabel 2.21 dan Tabel 2.22. Dari data pada Tabel-tabel tersebut, maka dapat ditentukan harga yang akan digunakan yaitu:

| | | |
|---|---|---|
| (1). | Koefisien gempa | z = 0,8 |
| (2). | Percepatan dasar gempa | Ac = 119,62 cm/dt² |
| (3). | Faktor koreksi | V = 1,1 |
| (4). | Percepatan gravitasi | g = 980 cm/dt² |

Perhitungan intensitas seismis horizontal dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$e = z \,.\, Ac \,.\, \frac{V}{g}$$

$$e = 0{,}8 \times 119{,}62 \times \left(\frac{1}{980}\right)$$

$$e = 0{,}09$$

Besarnya tinggi gelombang yang diakibatkan oleh gempa ($h_e$) adalah :

$$h_e = \frac{e \,.\, \tau}{\pi} \sqrt{g \,.\, h_0}$$

Didapatkan tinggi ombak yang disebabkan oleh gempa adalah :

$$h_e = \frac{e \,.\, \tau}{\pi} \sqrt{g \,.\, H_0}$$

di mana :

e = Intensitas seismis horizontal

$\tau$ = Siklus seismis ( 1 detik )

$h_0$ = Kedalaman air di dalam waduk

= elv.HWL – elv.dasar

= 74,4 -59

= 15,4 m (MSL)

$$he = \frac{0{,}09 \times 1}{3{,}14} \sqrt{9{,}8 \times 15{,}4}$$

= 0.352 m

Jadi tinggi puncak ombak di atas permukaan air rata-rata $\frac{h_e}{2}$ = 0.176 m.

Tinggi jagaan alternatif 1

$H_f \geq \Delta h + h_w + h_a + h_i$

$H_f \geq 0{,}058 + 0{,}27 + 0 + 1$

$H_f \geq 1{,}328$ m

Tinggi jagaan alternatif 2

$H_f \geq \Delta h + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$

$H_f \geq 0{,}058 + 0{,}176 + 0 + 1$

$H_f \geq 1{,}234$ m

Tinggi jagaan alternatif 3

$$H_f \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$$

$$H_f \geq 0{,}27 + 0{,}176 + 0 + 1$$

$$H_f \geq 1{,}446 \text{ m}$$

Dari analisis diatas maka tinggi jagaan ditentukan sebesar 2,00 m

Elevasi puncak embung = elevasi muka air banjir + tinggi jagaan
= 73,97 + 2 = 75,97 m ~ 76 m

Tinggi tubuh embung = elevasi puncak – elevasi dasar sungai
= 76– 59 = 17 m

### 9.3.2. Panjang Embung

Panjang embung diukur pada peta kontur per meter. Dengan elevasi puncak embung +76 m maka panjang embung adalah 86,93 m

### 9.3.3. Kemiringan Lereng Embung

Dari Tabel 2.16 dan penggunaan material berupa tanah jenis CH/SC maka kemiringan embung adalah:

Kemiringan hulu = 1 : 3

Kemiringan hilir = 1 : 2,25

### 9.3.4. Lebar Puncak Embung

Lebar mercu embung minimum dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$B = 3{,}6\ H^{1/3} - 3{,}0$

H = Tinggi Embung = 17 m

Maka $B = 3{,}6\ (17)^{1/3} - 3{,}0$

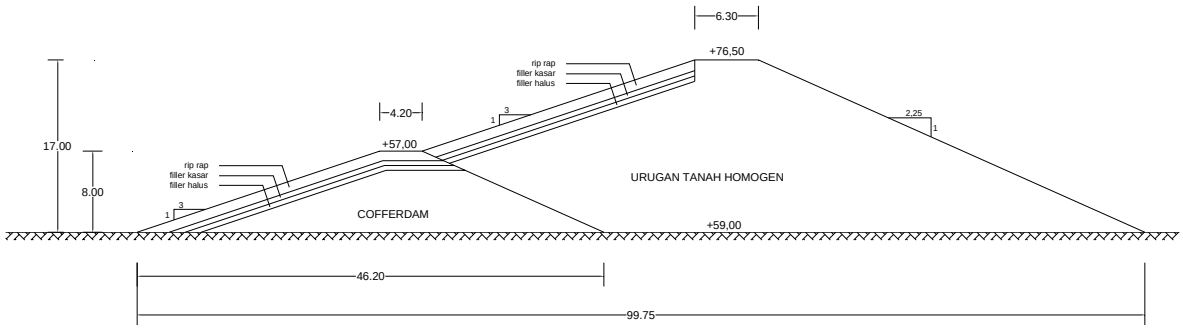
$= 6{,}256$ m ~ 6,3 m

### 9.3.5. Konstruksi Tubuh Embung

Untuk melindungi permukaan lereng embung dari ombak serta penurunan air mendadak, permukaan lereng embung dilapisi dengan hamparan batu pelindung (rip-

rap). Sedangkan untuk lereng embung sebelah hilir dihamparkan gebalan rumput, untuk melindungi lereng terhadap erosi.

Dari perencanaan tubuh embung diatas dapat digambarkan sket tubuh embung seperti gambar dibawah ini. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran gambar perencanaan.




Gambar 9.3 Konstruksi Tubuh Embung

## 9.4. Stabilitas Tubuh Embung Terhadap Rembesan

Stabilitas lereng embung terhadap rembesan ditinjau dengan cara sebagai berikut :

- Formasi garis depresi tubuh bendung kondisi sesuai dengan garis parabola
- Formasi garis depresi tubuh bendung kondisi dengan menggunakan drainase kaki
- Jaringan *Trayektori* aliran filtrasi (*seepage flow-net*)
- Tinjauan terhadap gejala sufosi *(piping)* dan sembulan *(boiling)*

### 9.4.1. Formasi garis depresi tubuh bendung kondisi sesuai dengan garis parabola

Diketahui :

h : 14,97 m (kondisi FSL)

$l_1$ : 49,11 m

$l_2$ : 50,64 m

$\alpha$ : $24^o$

d : $0{,}3.l_1 + l_2 = (0{,}3 \text{ x } 49{,}11) + 50{,}64 = 65{,}373$ m

maka :

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d = \sqrt{(14{,}97)^2 + (65{,}373)^2} - (65{,}373)$$

$$= 1{,}692 \text{ m}$$

Parabola bentuk dasar dapat diperoleh dengan persamaan :

$$y = \sqrt{2y_0.x + y_0^2} = \sqrt{2 \times 1{,}692x + 1{,}692^2}$$

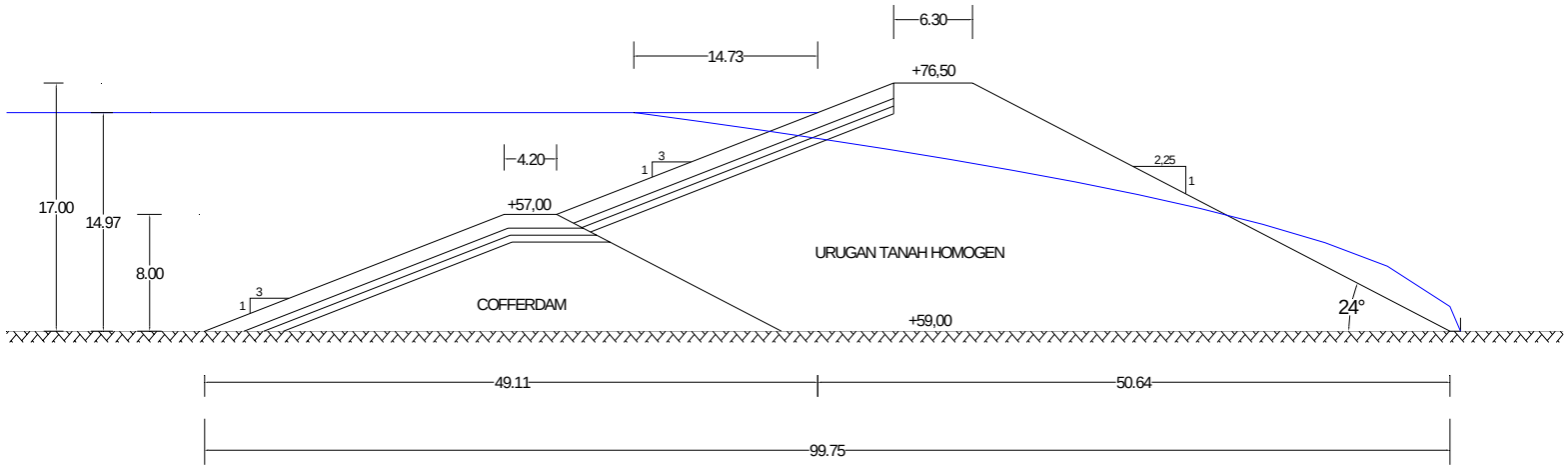
Dan diperoleh koordinat parabola sebagai berikut :

Tabel 9.1 Koordinat Parabola Garis Depresi

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **x** | -0,846 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| **y** | 0,000 | 1,692 | 4,448 | 6,058 | 7,323 | 8,399 | 9,352 | 10,217 |
| **x** | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 65,37 |
| **y** | 11,014 | 11,757 | 12,456 | 13,117 | 13,747 | 14,349 | 14,927 | 14,969 |

Sumber : Hasil Perhitungan

dari hasil perhitungan didapat garis depresi aliran yang keluar melalui lereng hilir embung sehingga tidak aman terhadap bangunan untuk itu perlu digunakan drainase kaki maupun drainase alas.




Gambar 9.4. Garis Depresi Pada Bendungan Homogen Kondisi Sesuai Garis Parabola

### 9.4.2. Formasi garis depresi tubuh bendung kondisi dengan menggunakan drainase kaki

Diketahui :

h : 14,97 m (kondisi FSL)

$l_1$ : 49,11 m

$l_2$ : 50,64 – 10 = 40,64 m

$\alpha$ : $135^{\circ}$

d : $0{,}3.l_1 + l_2$ = (0,3 x 49,11) + 40,64 = 55,373 m

maka :

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d = \sqrt{(14{,}97)^2 + (55{,}373)^2} - (55{,}373)$$

$$= 1{,}988 \text{ m}$$

Parabola bentuk dasar dapat diperoleh dengan persamaan :

$$y = \sqrt{2y_0.x + y_0^2} = \sqrt{2 \times 1{,}988x + 1{,}988^2}$$

Dan diperoleh koordinat parabola sebagai berikut :

Tabel 9.2 Koordinat Parabola Garis Depresi dengan Drainase Kaki

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **x** | -0,994 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| **y** | 0,000 | 1,988 | 4,882 | 6,612 | 7,974 | 9,136 | 10,166 |
| **x** | 30 | 35,0 | 40 | 45 | 50 | 55 | 55,37 |
| **y** | 11,101 | 11,963 | 12,767 | 13,523 | 14,239 | 14,921 | 14,970 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Untuk $\alpha = 135^0$, berdasarkan grafik pada Gambar 2.8 didapat nilai C = $\frac{a}{a + \Delta a} = 0{,}15$ maka dapat ditentukan nilai :

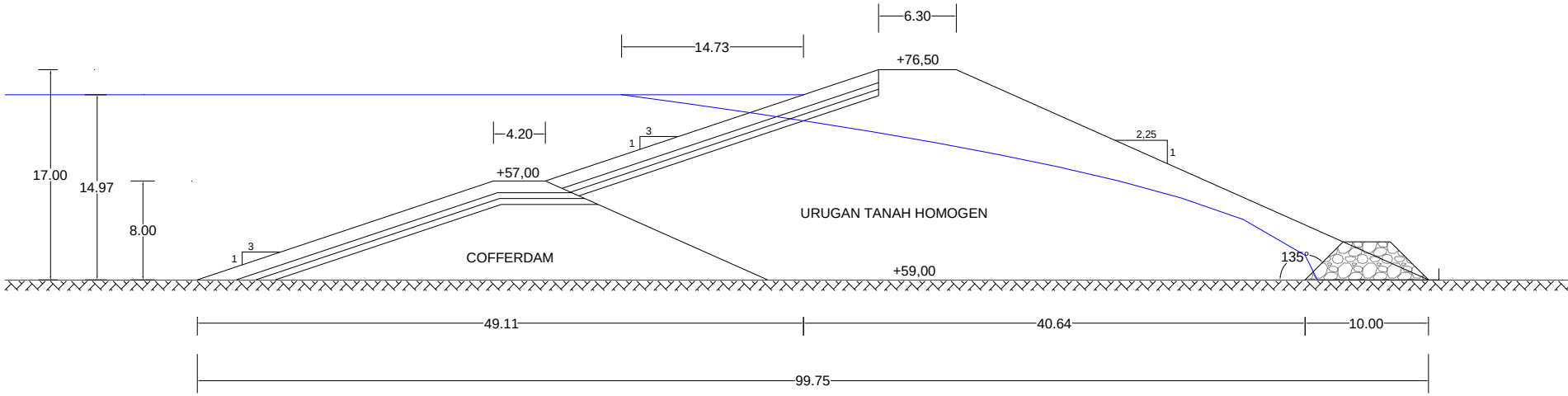
$$a + \Delta_a = \frac{y_0}{1 - \cos\alpha} = \frac{1{,}988}{1 + 0{,}707} = 1{,}165$$

$$0{,}15 = \frac{\Delta a}{1{,}165}$$

Sehingga didapat nilai :

$\Delta\alpha$ = 0,15 x 1,165 = 0,175

$\alpha$ = 1,165 – 0,175 = 0,99




Gambar 9.5. Garis Depresi Pada Bendungan Homogen Dengan Drainase Kaki

### 9.4.3. Jaringan *Trayektori* aliran filtrasi (*seepage flow-net*)

Kapasitas aliran filtrasi asumsi Kh = Kv

Dengan menggunakan rumus jaringan trayektori aliran sebagai berikut :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_e} \cdot k \cdot H \cdot L$$

di mana :

$Q_f$ = kapasitas aliran filtrasi (kapasitas rembesan)

$N_f$ = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

$N_e$ = angka pembagi dari garis equipotensial

$k$ = koefisien filtrasi

$H$ = tinggi tekanan air total

L = panjang profil melintang tubuh embung

Dari data yang ada di dapat :

$N_f$ = 3

$N_e$ = 12

$k$ = $7x10^{-7}$ cm/det = $7x10^{-9}$ m/dt

H = 14,4 m

L = 92,82 m

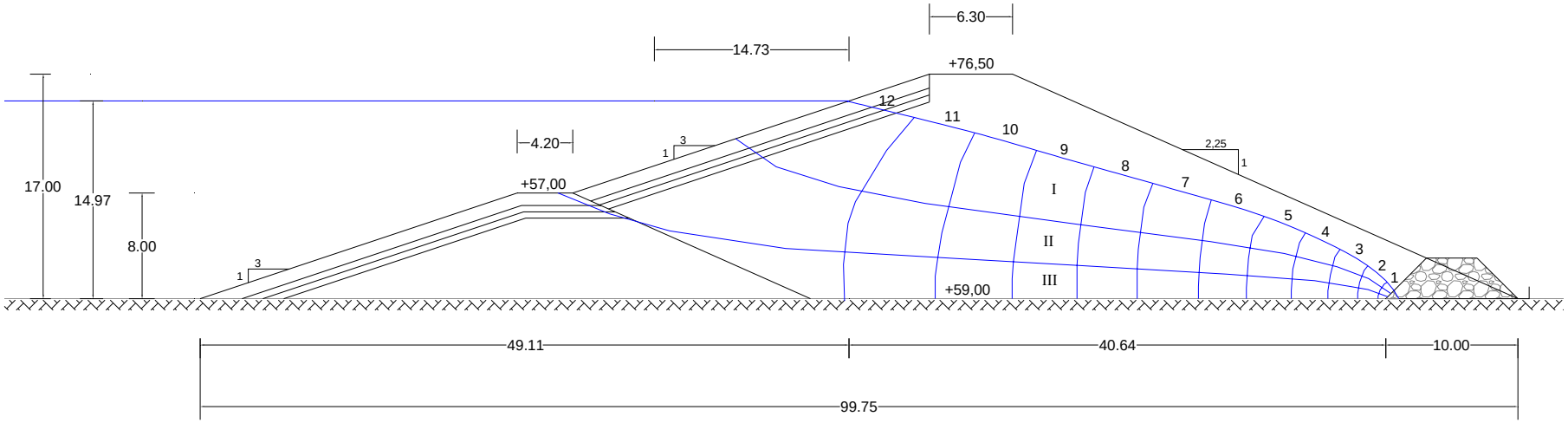
Maka debit aliran filtrasi adalah sebagai berikut :

$$Q = \left(\frac{3}{12}\right) \cdot 7 \times 10^{-9} \cdot 14{,}97 \cdot 92{,}82$$

= $2,6 \times 10^{-6}$ m³/dt

= $2,6 \times 10^{-6} \times 60 \times 60 \times 24$

= 0,22 m³/hari




Gambar 9.6. Jaringan Trayektori

### 9.4.4. Tinjauan terhadap gejala sufosi *(piping)* dan sembulan *(boiling)*

Kecepatan aliran keluar ke atas permukaan lereng hilir yang komponen vertikalnya dapat mengakibatkan terjadinya perpindahan butiran-butiran bahan embung, kecepatannya dibatasi sebagai berikut :

$$c = \sqrt{\frac{w_1 \times g}{F \times \gamma}}$$

di mana :

c = kecepatan kritis

w1 = berat butiran bahan dalam air = 2,62 gr/cm3 = 2,62 ton/m3

g = gravitasi = 9,8 m/det²

F = luas permukaan yang menampung aliran filtrasi

= 4,34 m x 1 m = 4,34 m² (untuk per satuan meter panjang bidang)

maka :

$c = c = \sqrt{\frac{2{,}62 \times 9{,}81}{4{,}34 \times 1}}$ = 2,39 m/det

Kecepatan rembesan yang terjadi pada embung adalah :

$V = k \,.\, i = k \,.\, \frac{h_2}{l}$

di mana :

k = koefisien filtrasi = 7x10-9 m/dt

i = gradien debit

h2 = tekanan air rata-rata = 9,98 m

l = panjang rata-rata berkas elemen aliran filtrasi pada bidang keluarnya aliran = 51,52 m

maka :

$V = 7.10^{-9} . \frac{9{,}98}{51{,}52}$ = 2,26 x $10^{-8}$ m/det < $c$ = 2,39 m/det → **Aman**

## 9.5. Stabilitas Tubuh Embung Terhadap Longsoran

### 9.5.1. Tinjauan Umum

*Plaxis V.8.2* adalah program analisa geoteknik, terutama untuk analisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisa memungkinkan untuk di*input* dengan cukup teliti. Karena *Plaxis* dilengkapi fitur – fitur khusus yang berhubungan dengan banyak aspek dari struktur geometri yang komplek.

Aplikasi geoteknik memerlukan model konstruksi tingkat lanjut untuk simulasi perilaku tanah yang tidak linear dan perilaku yang bergantung pada waktu. Disamping itu, material tanah adalah material yang *multiphase*. Untuk analisa yang melibatkan keberadaan air tanah perlu diperhitungkan tekanan hidrostatis dalam tanah.

Selain itu *Plaxis V.8.2* menyediakan berbagai analisa tentang *displacement,* tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan dan lain-lain. Untuk melakukan analisis struktur tubuh embung dan spillway pada perencanaan Embung Panohan, digunakan metode elemen hingga dengan kondisi *plane strain* (regangan bidang). Model *plane strain* digunakan dengan asumsi bahwa sepanjang sumbu potongan melintang penampang dipandang relatif sama dan peralihan dalam arah tegak lurus potongan tersebut dianggap tidak terjadi.

Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 *nodes* (titik) atau 15 titik. Pada analisis ini digunakan elemen segitiga dengan 6 titik.

### 9.5.2. Pemodelan Material

Perilaku tanah dan batuan dibawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, diantaranya *Linear elastic model, Mohr Coulomb model, Hardening Soil model, Soft Soil model,* dan *Soft Soil Creep model*. Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 buah parameter yaitu :

- Kohesi ( $c$ )
- Sudut geser dalam ( $\varphi$ )
- Modulus *Young* ( $E_{ref}$ )
- *Poisson's ratio* ( $v$ )
- *Dilatancy angle* ( $\psi$ ).

Pada Tabel 9.3 diberikan penjelasan mengenai parameter-parameter tanah yang digunakan pada analisa stabilitas

Tabel 9.3 Parameter Desain Material untuk Tubuh Embung

| kedalaman | jenis tanah | tipe | γ dry | γ sat | v | E | c | φ | ψ | k |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ( KN/m³ ) | ( KN/m³ ) | | ( KN/m² ) | ( KN/m² ) | ( º ) | ( º ) | ( m/hari ) |
| timbunan | pasir - lempung | undrained | 16,7 | 20,4 | 0,3 | 50000 | 40 | 23,5 | 0 | 5,18E-04 |
| 0 - 2 m | silt - lempung | undrained | 17,4 | 20,5 | 0,3 | 7000 | 28,8 | 10,16 | 0 | 0,32 |
| 2 - 4,2 m | lempung | undrained | 14,2 | 18,6 | 0,3 | 7000 | 28,8 | 10,16 | 0 | 3,50E-01 |
| 4,2 - 6,4 m | batuan lempung | undrained | 16,5 | 20,1 | 0,5 | 13000 | 30,6 | 8,95 | 0 | 3,50E-01 |
| 6,4 - ... | tanah keras | | | | | | | | | |

### 9.5.3. Tahap Perhitungan Plaxis 8.2

Pada perhitungan dengan Plaxis 8.2 tahap-tahapnya adalah:

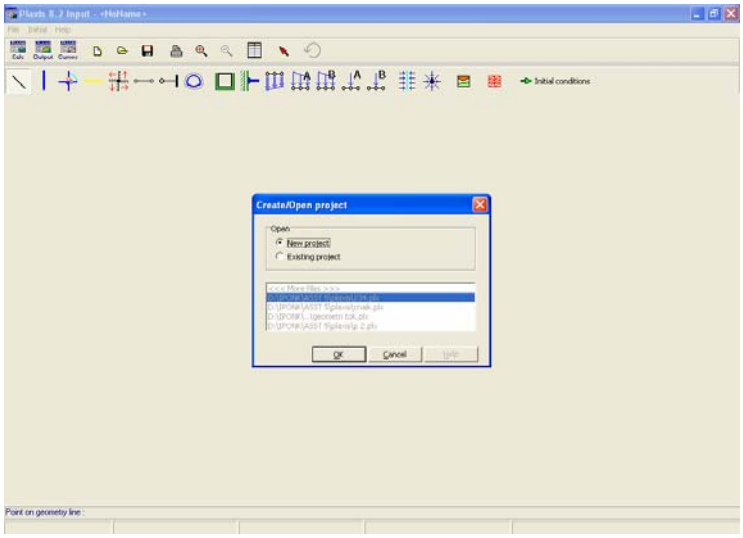
- *Plaxis input*
- *Plaxis calculation*
- *Plaxis output*

**A. *Plaxis Input***

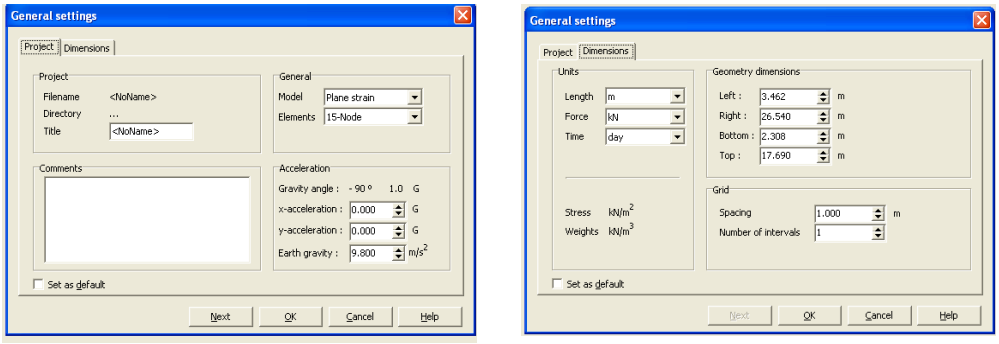
Analisis stabilitas struktur tubuh embung dengan Plaxis 8.2 dilakukan dengan membuat *file* baru setelah kita membuka program *Plaxis Input* . Dalam membuat *fle* baru untuk analisis harus diketahui terlebih dahulu dimensi dari struktur yang kita analisis untuk mengisi *Geometry Dimensions.* Satuan yang akan digunakan juga diatur terlebih dahulu pada awal pembuatan pada Plaxis 8.2.

Tahap-tahap dalam analisis *plaxis input* adalah:

- Input Geometri
- Input material
- Meshing generation
- Penetapan kondisi awal (*initial condition*)



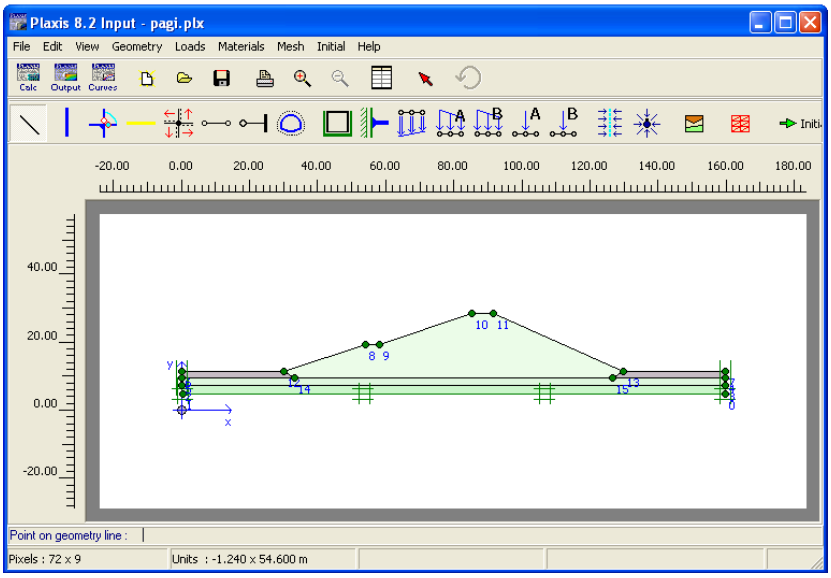

Gambar 9.7 Tampilan Awal *Plaxis Input*




Gambar 9.8 Pembuatan *File* analisis baru pada *Plaxis Input*

## 1. Input Geometri

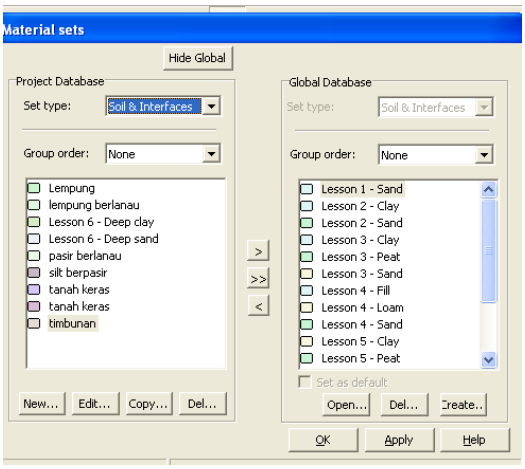
Pada tahap *input* dilakukan permodelan material tanah dan beban yang bekerja terhadap tanah. Dalam hal ini beban yang bekerja pada tanah adalah tekanan air. Permodelan penampang melintang tubuh embung dilakukan dengan menggunakan *geometri line* atau dengan meng*input* koordinat dengan mengetikkan pada *point on geometri line* pada sisi bawah *window*.



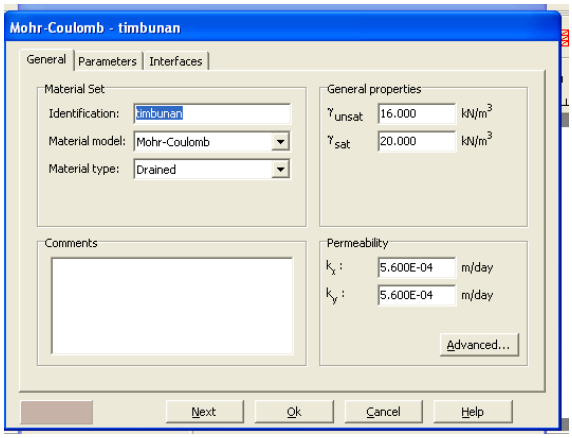

Gambar 9.9 *Input Geometry*

## 2. Input material

Material tanah diinput pada suatu lapisan tanah dengan klik pada lapisan tanah pada gambar penampang, lalu klik untuk mendapatkan jenis-jenis tanahnya.




Gambar 9.10 *Material Sets*




Gambar 9.11 Parameter-Parameter Material

Plaxis 8.2 telah menyediakan jenis-jenis tanah secara umum. Untuk mendapatkan parameter tanah yang sesuai dengan penyelidikan tanah pada suatu bangunan kita dapat mengganti parameter-parameter pada material tanah yang ada, atau membuat baru suatu jenis tanah.

Hasil dari permodelan penampang melintang tanah kemudian diberikan suatu kondisi batas pada tiap sumbu. Jika suatu model tidak diberi kondisi batas maka kondisi alamiah akan terjadi di mana gaya yang ditentukan sama dengan nol dan terjadi kondisi bebas bergerak. Kondisi batas yang digunakan adalah *standard fixities* (kekakuan standar) yang memodelkan lapisan bawah tanah terjepit sempurna atau tidak bergerak sama sekali, sedangkan untuk bagian samping kiri-kanan memungkinkan untuk bergerak secara vertikal ($U_x$=0; $U_y$= bebas). Kekakuan standar diberikan dengan klik sehingga terbentuk suatu model seperti pada Gambar 9.9.

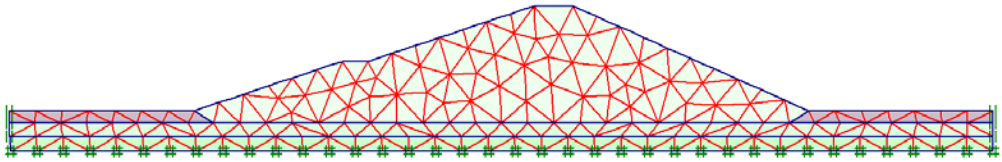
### *3. Meshing Generation*

Proses berikutnya adalah melakukan *meshing generation* untuk membagi material tanah ke dalam elemen-elemen diskret yang berhingga, dengan menggunakan *toolbar* . Tingkat kekasaran *meshing* dapat dipilih :

- Sangat kasar (*Very Coarse)* : sekitar 50 elemen
- Kasar (*Coarse*) : sekitar 100 elemen
- Menengah (*Medium*) : sekitar 250 elemen

- Halus (*Fine*) : sekitar 500 elemen
- Sangat halus (*Very Fine*) : sekitar 1000 elemen

Dalam simulasi ini, material di-*mesh Fine*, kemudian klik Update.



Gambar 9.12. Tampilan *Geometry Model* Setelah Di*generate Mesh Fine*

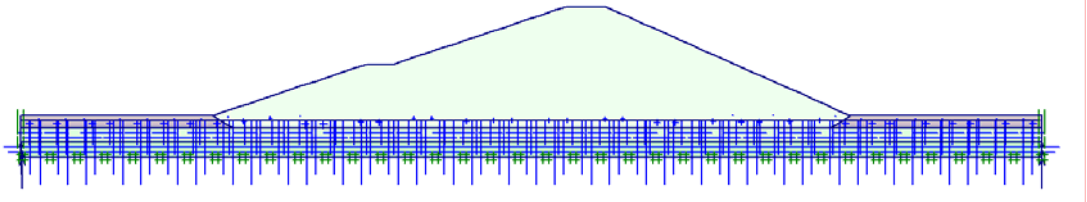
### 4. Penetapan *kondisi* awal (*Initial Condition*)

Penetapan kondisi awal dilakukan dengan klik Initial conditions. Penetapan kondisi awal adalah untuk menetapkan elevasi muka air tanah pada paada kondisi awal sebuah bangunan..

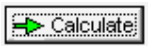
Model geometri yang sudah dibuat harus ditetapkan kondisi awalnya. Kondisi awal memiliki 2 mode, yaitu :

Mode 1 untuk pembangkitan tekanan air awal (*water condition mode*).

Mode 2 untuk menetapkan konfigurasi tekanan efektif awal (*geometry configuration mode*). Langkah ini dapat ditentukan dengan memilih prosedur *Ko* atau *Gravity Loading*. *Ko Procedure* dipilih jika kondisi geometri relatif horisontal, yaitu dengan memilih ikon *Geometri initial stress,* dengan menekan *toolbar* untuk menuju model *Geometry configuration*, tekan (sebelah kanan) untuk mengaktifkan *Ko-Procedure* kemudian klik Update.



Gambar 9.13 Tekanan Tanah Efektif

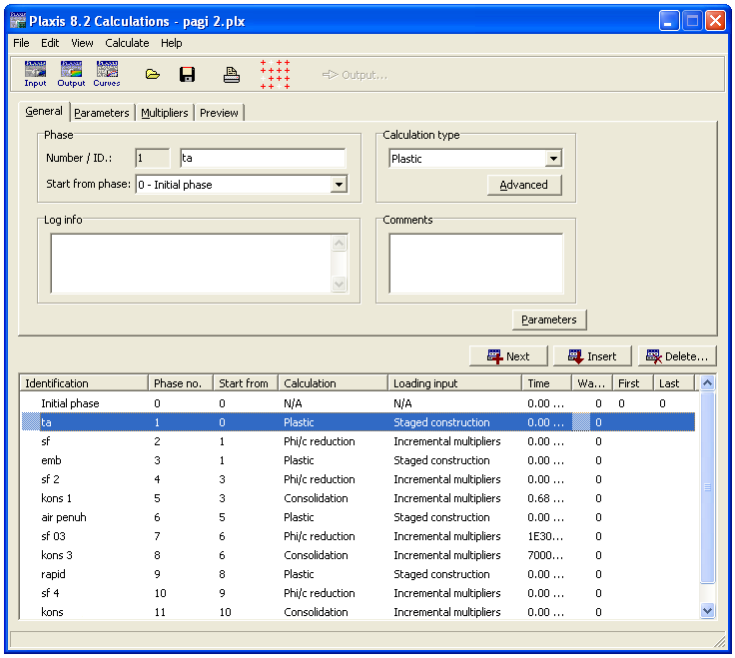
Tahapan perhitungan selanjutnya adalah mengidentifikasikan, mendefinisikan , dan mengeksekusi tahapan fase-fase perhitungan untuk memperoleh *output* program yang diinginkan dengan menekan *toolbar* 

untuk menuju *PLAXIS CALCULATION V 8.2.*

## B. *Plaxis Calculations*

Perhitungan stabilitas Embung Panohan dengan Plaxis 8.2 ditinjau pada kondisi-kondisi di bawah ini:

1. Kondisi tanah asli, kondisi dimana tegangan dan regangan awal akibat berat tanah sendiri
2. Kondisi embung awal, kondisi dimana terjadi tegangan dan regangan yang diakibatkan oleh beban embung sebelum diisi air
3. Kondisi embung terisi air, kondisi dimana terjadi tegangan dan regangan yang diakibatkan oleh beban embung dan beban air
4. Kondisi *rapid drawdown*, kondisi dimana air tampungan embung turun secara tiba-tiba, sehingga pada saat muka air tampungan turun, tapi air pada tubuh embung belum ikut turun




**Gambar 9.14 Tampilan *Plaxis Calculations***

Dari kondisi-kondisi yang akan diperhitungkan diatas, pada tiap kondisi ada tiga fase yang harus diproses. Fase-fase tersebut adalah :

- Fase kondisi yang diperhitungkan
- Fase konsolidasi
- Fase perhitungan angka keamanan

**1. Fase kondisi yang akan diperhitungkan**

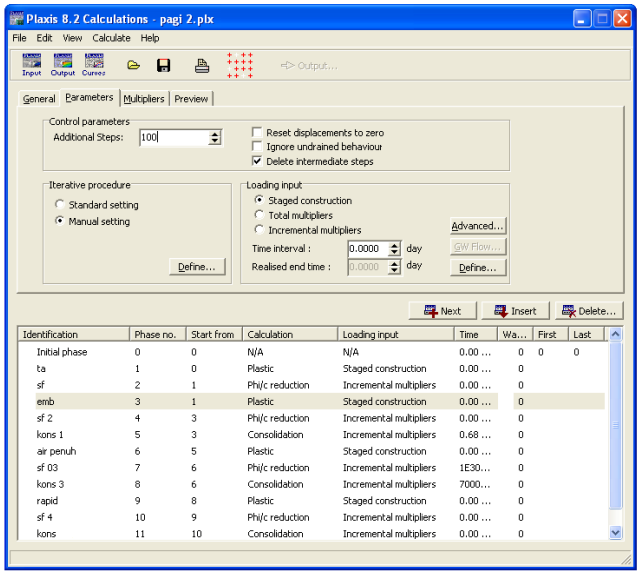
Yaitu fase dimana terjadi tegangan dan regangan yang diakibatkan oleh beban pada kondisi-kondisi yang akan diperhitungkan. Contohnya adalah fase embung, dimana pada fase tersebut beban yang bekerja adalah berat sendiri tubuh embung tanpa tekanan air pada tubuh embung. Pada fase ini tampungan embung belum terisi air.

Pengaturan pada fase ini adalah :

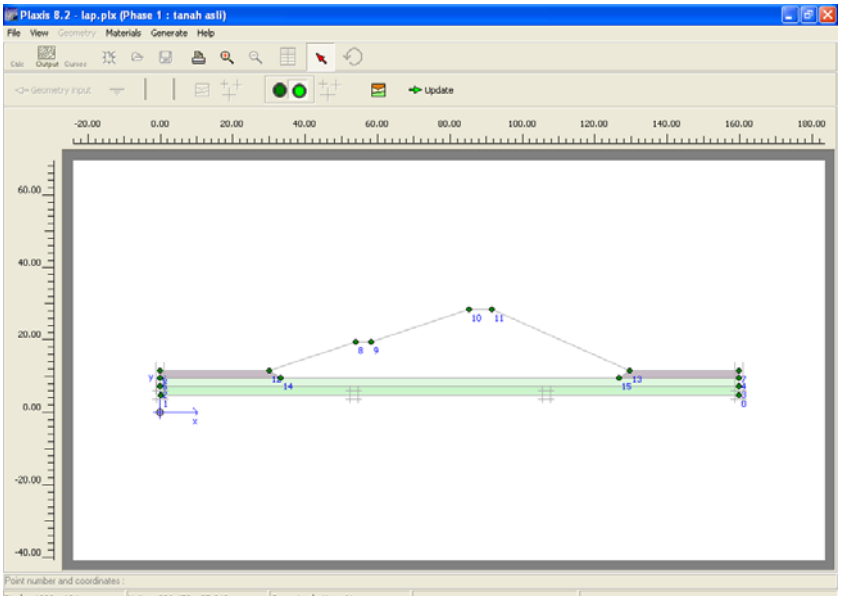
*Number / ID* = Nama fase
*Calculation type* = *Plastic*
*Control Parameters* = *Delete intermediate steps*
*Iterative procedure* = *Standard*
*Loading input* = *Stage construction*
*Start from phase* = fase sebelumnya

Untuk perubahan pada kondisi-kondisi tertentu dilakukan dengan klik

Disini kita dapat mengaktifkan atau menonaktifkan suatu lapisan tanah, dan mengubah permukaan air pada embung tersebut.




Gambar 9.15 Parameter Fase Kondisi yang Akan Diperhitungkan




Gambar 9.16 Perubahan yang Dapat Dilakukan Pada Fase Kondisi yang Akan Diperhitungkan

**2. Fase Konsolidasi**

Yaitu fase dimana terjadi penurunan lapisan tanah akibat keluarnya air pada lapisan tanah karena ada beban yang bekerja. Pengaturan pada fase ini adalah :

*Number / ID* = Nama fase

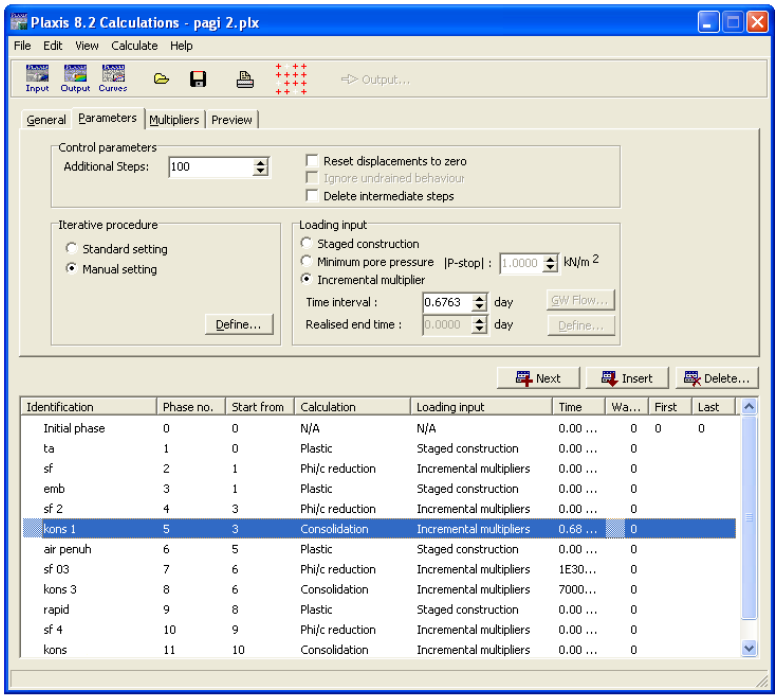
*Calculation type* = *Consolidation*

*Control Parameters* = -

*Iterative procedure* = *Standard*

*Loading input* = *Incremental multipliers*

*Start from phase* = fase kondisi yang diperhitungkan




Gambar 9.17 Parameter Fase Konsolidasi

**3. Fase perhitungan faktor keamanan (SF*)***

Yaitu fase akibat perhitungan beban embung dan takanan air yang bekerja. Pada perhitungan faktor keamanan (*SF*) digunakan metode *Phi-c reduction. Phi-c reduction* adalah *option* yang tersedia dalam *Plaxis* untuk menghitung faktor keamanan (*SF*). *Option* ini hanya tersedia untuk tipe perhitungan secara *Plastic* menggunakan *Manual control* atau dengan prosedur *Load advencement number of steps.* Dalam *Phi-c*

*reduction* dilakukan pendekatan parameter-parameter kekuatan tanah *tan φ* dan *c* dengan mengurangi nilainya sampai tercapainya keadaan dimana kegagalan struktur terjadi. Jumlah pengali *ΣMsf* digunakan untuk mendefinisikan harga dari parameter-parameter kekuatan tanah.

$$\Sigma Msf = \frac{\tan\varphi_{input}}{\tan\varphi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}}$$

Parameter-parameter kekuatan tanah secara otomatis dikurangi sampai tercapainya kegagalan struktur.

$$SF = \frac{\sigma_{available}}{\sigma_{failure}} = \text{harga } \Sigma Msf \text{ saat kegagalan}$$

Pengaturan pada fase ini adalah :

*Number / ID* = Nama fase

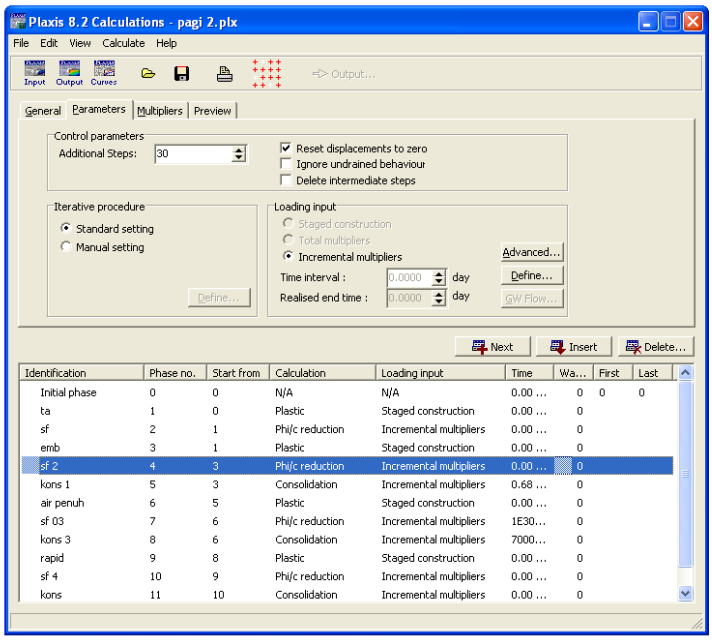
*Calculation type* = *Phi-c reduction*

*Control Parameters* = *reset displacement to zero*

*Iterative procedure* = *Standard*

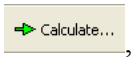
*Loading input* = *Incremental multipliers*

*Start from phase* = fase sebelumnya

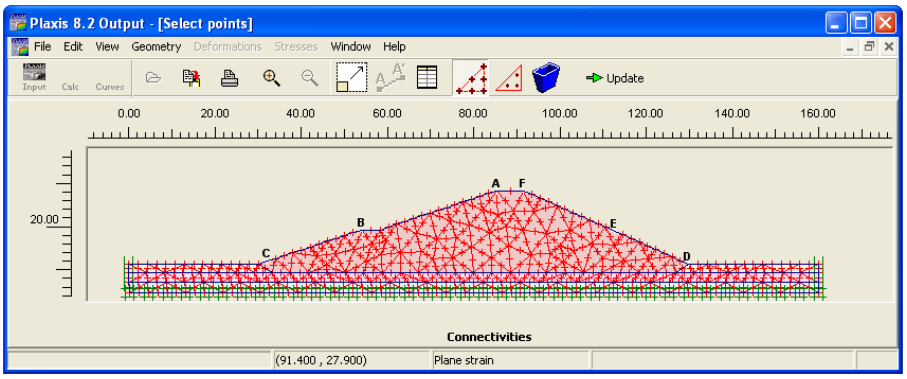



Gambar 9.18 Parameter Fase Faktor Keamanan (*SF*)

## 4. Proses perhitungan

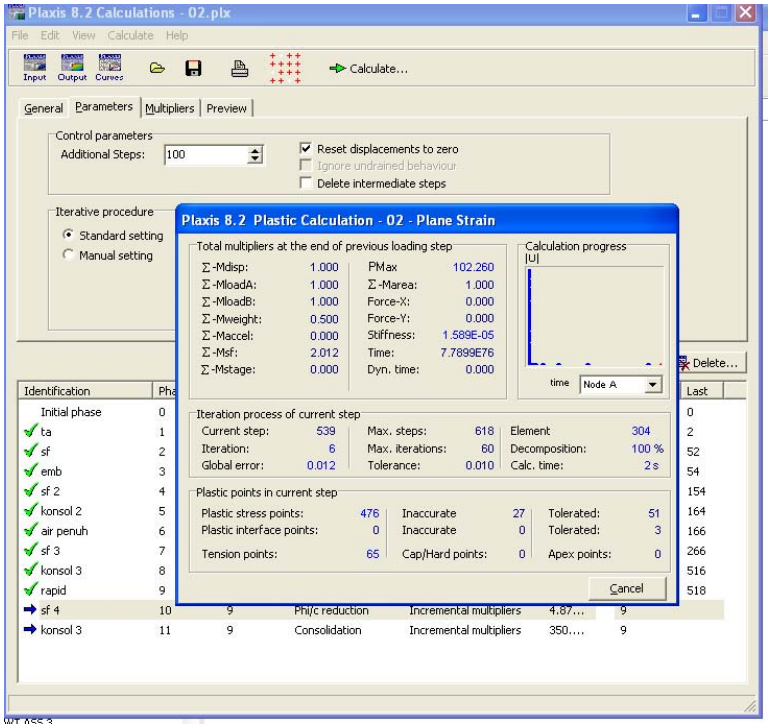
Proses perhitungan dilakukan dengan klik pada 

, tapi sebelumnya ditentukan titik-titik yang akan ditinjau dengan klik pada dan klik pada titik-titik yang akan ditinjau.




Gambar 9.19 Penentuan Titik-Titik yang Akan Ditinjau pada Proses Perhitungan Plaxis 8.2

Fase-fase yang akan dihitung akan diberi tanda anak panah biru ➡ di depan tulisan *Phase*, yang akan menjadi centang hijau ✓ apabila perhitungan sukses dilakukan.




Gambar 9.20 Proses Kalkulasi

## C. Plaxis *Output* V 8.2

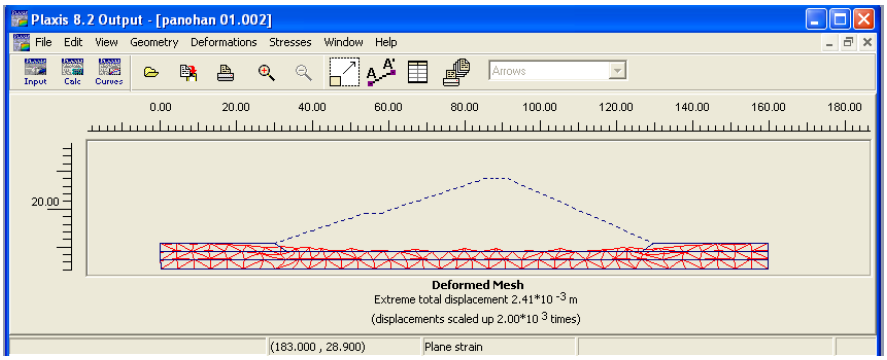
Perhitungan stabilitas Embung Panohan dengan Plaxis 8.2 ditinjau pada kondisi-kondisi di bawah ini:

- Kondisi tanah asli
- Kondisi embung awal
- Kondisi embung terisi air
- Kondisi *rapid drawdown*

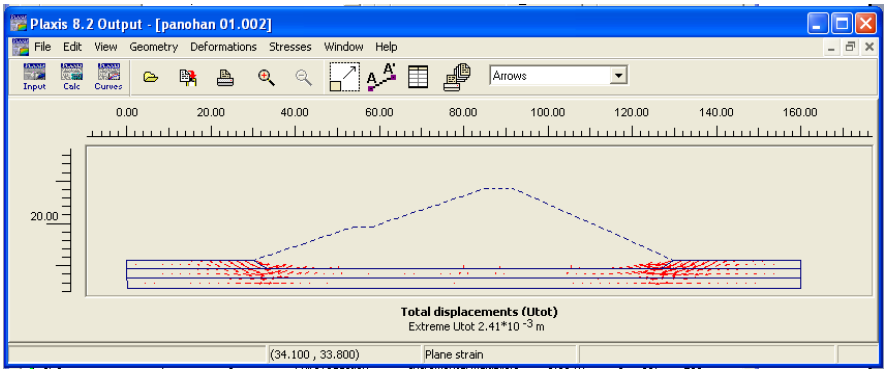
Hasil analisis berupa deformasi dan angka keamanan pada *Plaxis output* dilihat pada tiap kondisi yang dianalisis.

### 1. Kondisi tanah asli

Kondisi tanah asli adalah kondisi dimana belum ada timbunan tubuh embung. Gaya-gaya yang bekerja adalah akibat berat tanah asli sendiri dan tekanan air tanah. Setelah dilakukan perhitungan dengan Plaxis 8.2 didapat bahwa pada kondisi ini terjadi deformasi yang sangat kecil yaitu sebesar 0,2 cm dengan angka keamanan 15,1.



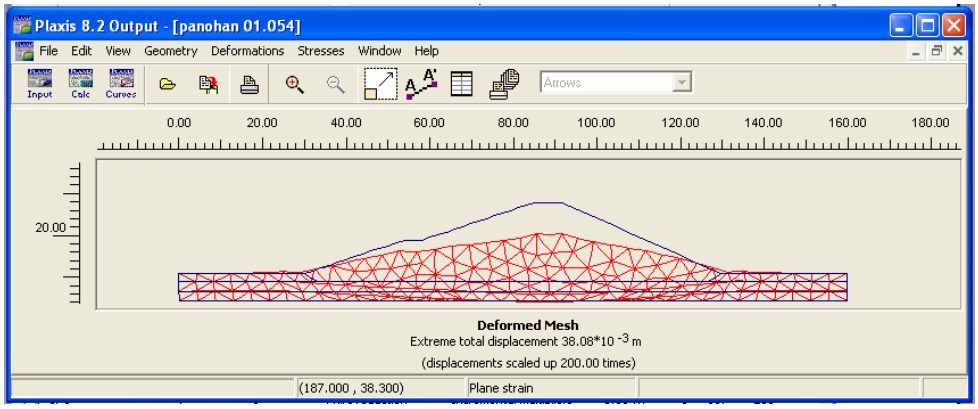

Gambar 9.21 Deformasi *Mesh* Kondisi Tanah Asli



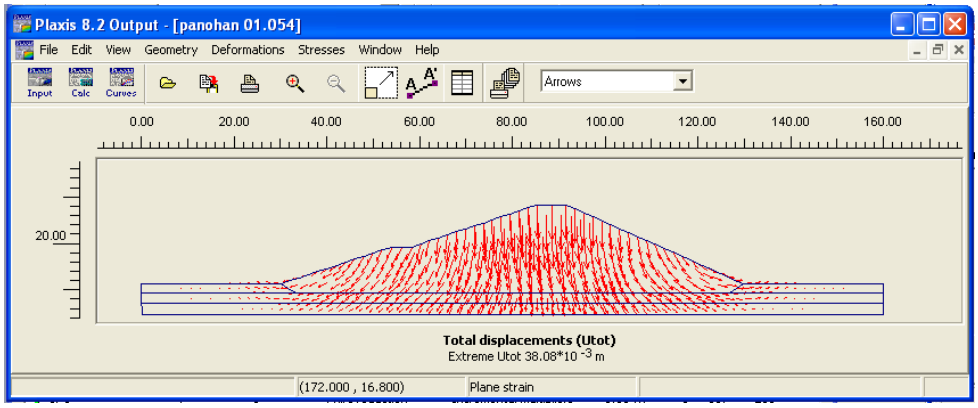

Gambar 9.22 Arah Pergerakan Tanah pada Kondisi Tanah Asli

## 2. Kondisi Embung Awal

Kondisi embung awal adalah kondisi sudah ada timbunan tubuh embung. Gaya-gaya yang bekerja adalah akibat berat timbunan dan tekanan air tanah. Setelah dilakukan perhitungan dengan Plaxis 8.2 didapat bahwa pada kondisi ini terjadi deformasi sebesar 3,8 cm dengan angka keamanan 2,32.



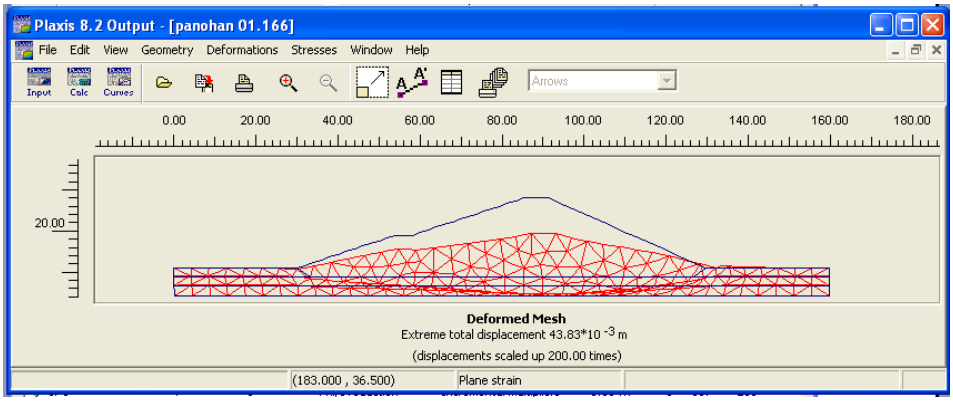

Gambar 9.23 Deformasi *Mesh* Kondisi Embung Awal



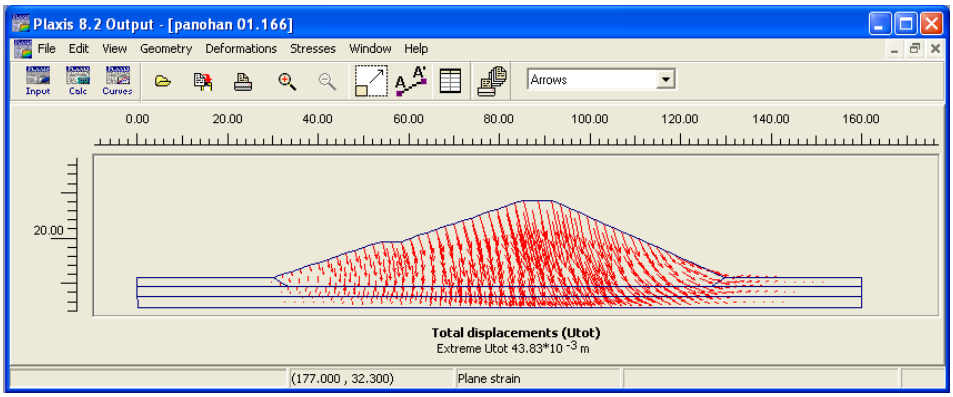

Gambar 9.24 Arah Pergerakan Tanah pada Kondisi Embung Awal

## 3. Kondisi Embung Terisi Air

Kondisi embung terisi air adalah kondisi sudah ada timbunan tubuh embung dan air pada tampungan terisi penuh. Gaya-gaya yang bekerja adalah akibat berat timbunan dan tekanan air pada tampungan embung. Setelah dilakukan perhitungan dengan Plaxis 8.2 didapat bahwa pada kondisi ini terjadi deformasi sebesar 4,38 cm dengan angka keamanan 2,19.



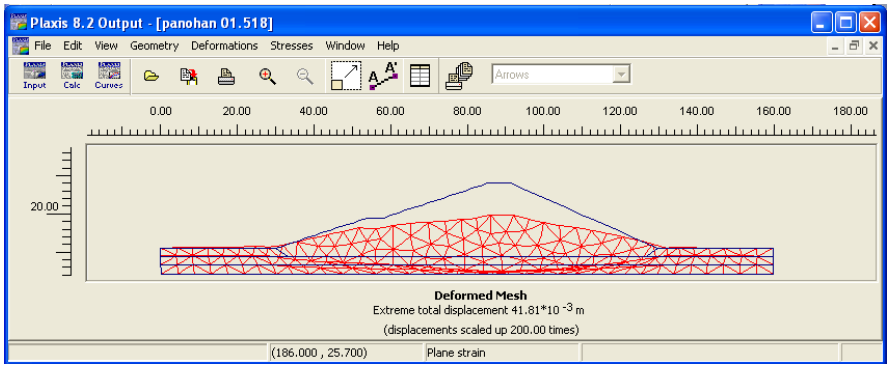

Gambar 9.25 Deformasi *Mesh* Kondisi Embung Terisi Air



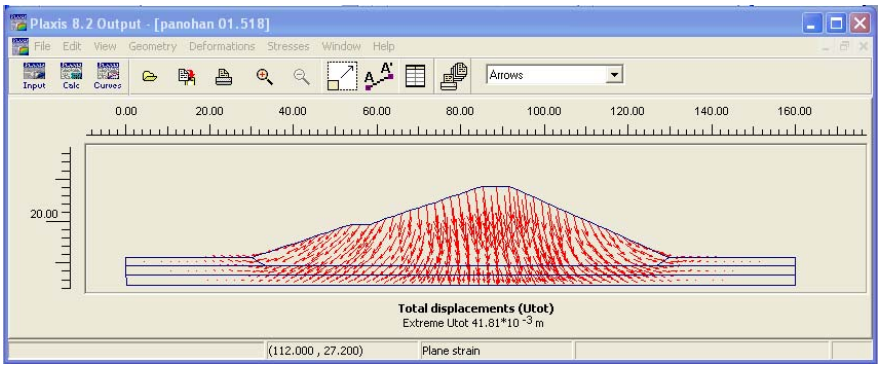

Gambar 9.26 Arah Pergerakan Tanah pada Kondisi Embung Terisi Air

### 4. Kondisi *Rapid Drawdown*

Kondisi *rapid drawdown* adalah kondisi setelah air pada tampungan penuh tiba-tiba terjadi penurunan muka air tampungan. Setelah muka air turun tidak didikuti dengan turunnya air yang merembes pada tubuh embung. Gaya-gaya yang bekerja adalah akibat berat timbunan dan tekanan air yang masih ada pada tubuh embung. Setelah dilakukan perhitungan dengan Plaxis 8.2 didapat bahwa pada kondisi ini terjadi deformasi sebesar 4,18 cm dengan angka keamanan 2,02



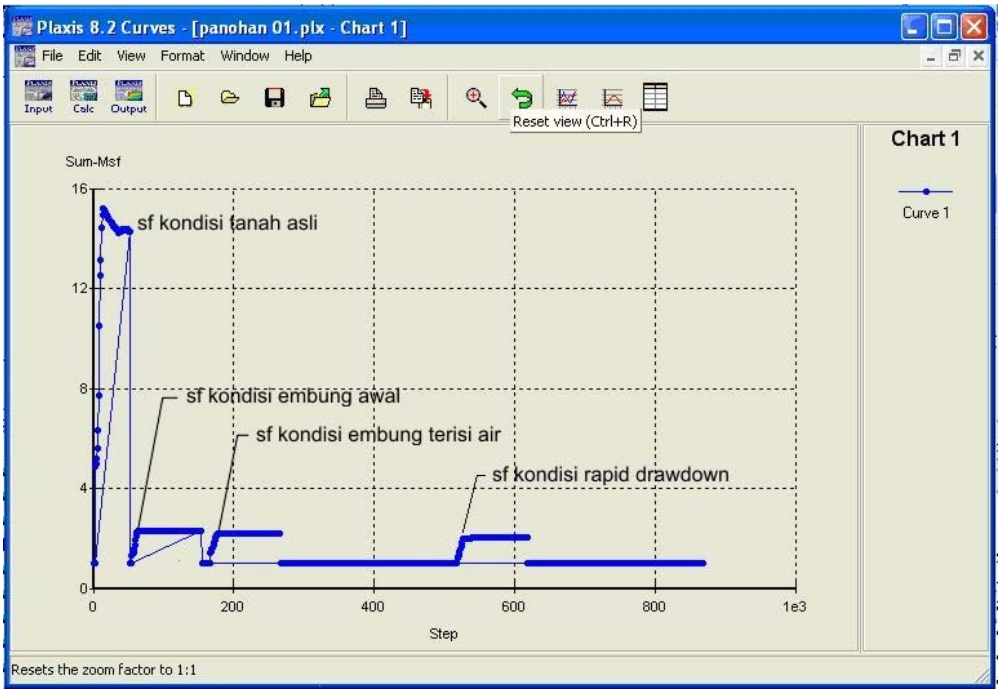

Gambar 9.27 Deformasi *Mesh* Kondisi *Rapid Drawdown*




Gambar 9.28 Arah Pergerakan Tanah pada Kondisi *Rapid Drawdown*

**5. Angka Keamanan Tubuh Embung**

Dari keadaan-keadaan yang dianalisis dapat diketahui besarnya angka keamanan pada tiap-tiap keadaan tersebut. Besar angka keamanan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti gambar dibawah ini.




Gambar 9.30 Grafik Angka Keamanan (SF) Tubuh Embung

Hasil dari analisis dan besarnya angka keamanan serta aman tidaknya stabilitas tubuh embung ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 9.4 Hasil Analisis Stabilitas Bangunan Pelimpah dengan Plaxis 8.2

| No | Kondisi yang dianalisis | deformasi | *safety factor* (SF) | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Kondisi tanah asli | 0,2 cm | 15,1 | sangat aman |
| 2 | Kondisi embung awal | 3,8cm | 2,32 | aman |
| 3 | Kondisi air penuh | 4,38cm | 2,19 | aman |
| 4 | Kondisi rapid drawdown | 4,18cm | 2,02 | aman |