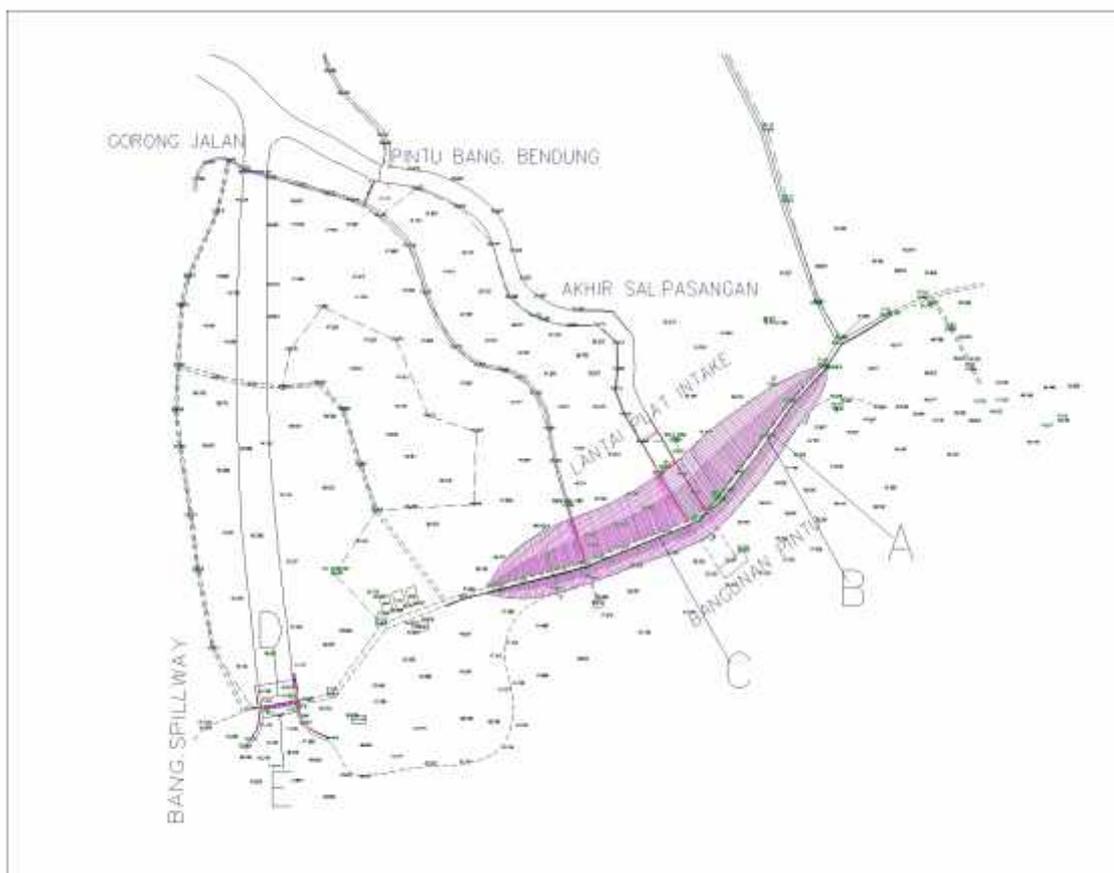


## BAB IV

### ANALISA PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Data Tanah pada Lokasi Bendungan Prijetan

Data tanah yang digunakan sebagai input analisis pada tugas akhir ini diambil pada proyek Evaluasi Keamanan Bendungan Prijetan yang berlokasi di Desa Mlati, Kecamatan Kedungpring, Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur. Dari lokasi pengambilan data tanah (*soil investigation*) dapat dilihat bahwa terdapat lima titik pengeboran sebagai berikut :



Gambar 4.1 Lokasi Penyelidikan Geoteknik

Tabel 4.1 Lokasi Pekerjaan Pengeboran

| Depth Bore | Titik | Koordinat UTM        |
|------------|-------|----------------------|
| DB – 1     | A     | X 633716; Y 9202297  |
| DB – 2     | C     | X 633604; Y 9202227  |
| DB – 3     | D     | X 633255 ; Y 9202155 |
| DB – 4     | E     | X 633254 ; Y 9202118 |
| DB – 5     | B     | X 633710 ; Y 9202297 |

Sumber : PT. Testana Engineering, 2014

Namun pada pembahasan ini, *DB-3* dan *DB-4* tidak disertakan dalam perhitungan, dikarenakan lokasi pengeboran berada pada wilayah pelimpah Kondisi tanah pada daerah studi rata-rata adalah lempung lanau (*silty clay*).sedangkan untuk potongan melintang kondisi lapisan tanah dapat dilihat pada (lampiran).

Tabel 4.2 Ringkasan Hasil Pengujian Tanah di Laboratorium

| No                     | Name/Unit/ID                    | DB-2                           | DB-3       | DB-4       | DB-5       | DB-6       |            |          |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
|                        |                                 |                                |            |            |            |            | DB-7       |          |
| Depth                  |                                 | 2.0                            | 12.5       | 2.0        | 2.5        | 10.5       | 4.0        |          |
| Soil type              |                                 | Silty Clay                     | Silty Clay | Silty Clay | Silty Clay | Silty Clay | Silty Clay |          |
| Soil Classification    |                                 | CI                             | CI         | CI         | CI         | CI         | CI         |          |
| Compressive Properties | Moist Content                   | Wc %                           | 31         | 26         | 35         | 31         | 36         |          |
|                        | Specific Gravity                | Gs                             | 2.65       | 2.64       | 2.69       | 2.67       | 2.64       | 2.59     |
|                        | Wet Density                     | $\rho_{sat}$ g/cm <sup>3</sup> | 1.74       | 1.75       | 1.77       | 1.79       | 1.77       | 1.71     |
|                        | Dry Density                     | $\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>     | 1.25       | 1.29       | 1.30       | 1.32       | 1.33       | 1.22     |
|                        | Saturation                      | Sr %                           | 51         | 50         | 51         | 57         | 59         | 52       |
|                        | Void Ratio                      | eo                             | 1.1        | 1.05       | 1.05       | 1.05       | 1.05       | 1.12     |
|                        | Porosity                        | n                              | 0.52       | 0.50       | 0.50       | 0.49       | 0.5        | 0.48     |
|                        | Infiltration                    | i                              | 54         | 46         | 47         | 48         | 50         | 45       |
|                        | Shrinkage                       | Sh %                           | 37         | 30         | 30         | 30         | 31         | 38       |
|                        | Plasticity Index                | IP %                           | 16         | 16         | 22         | 20         | 29         | 21       |
| Shrinkage Ratio        | SR                              | 0.68                           | 0.70       | 0.65       | 0.65       | 0.67       | 0.52       |          |
| Compressive Strength   | Compression Index               | Cc                             | 0.53       | 0.4        | 0.3        | 0.31       | 3.20E-01   | 0.52     |
|                        | Swelling Index                  | Cs                             | 0.07       | 0.03       | 0.05       | 0.05       | 0.07       | 0.07     |
|                        | Unconfined Compressive Strength | $q_u$ kN/m <sup>2</sup>        | 2.02E-05   | 1.65E-05   | 3.42E-05   | 4.11E-05   | 3.00E-05   | 3.92E-05 |
|                        | Termination Pressure            | $q_t$ kN/m <sup>2</sup>        | 0.29       | 1.5        | 0.1        | 1.2        | 1.4        | 0.20     |
|                        | Preconsolidation Pressure       | $P_0$ kN/m <sup>2</sup>        | 1.5        | 1.5        | 1.1        | 1          | 1.4        | 1.4      |
|                        | Overconsolidation Ratio         | OCR                            | 2.31       | 1          | 4.75       | 1.67       | 0.54       | 1.89     |
| Stiffness              | Compressibility                 | $k_v$ cm/kg                    | 1.01E-14   | 1.57E-14   | 1.15E-14   | 1.41E-14   | 2.69E-14   | 4.10E-14 |
|                        | Undrained Modulus               | $E_u$ kN/m <sup>2</sup>        | 64.72      | 72.23      | 130        | 113        | 242        | 32       |
|                        | Secant Modulus                  | $E_{sec}$ kN/m <sup>2</sup>    | 21.01      | 47.76      | 90         | 74         | 155        | 21       |
|                        | Coefficient of Compressor       | $\alpha_v$ cm <sup>3</sup> /kg | 0.20       | 0.26       | 0.084      | 0.082      | 0.082      | 0.132    |
| Strength               | Secant Modulus                  | $E_{sec}$ kN/m <sup>2</sup>    | 5          | 27         | 31         | 45         | 45         | 17.5     |
|                        | Ultimate                        | $q_u$ kN/m <sup>2</sup>        | 0.14       | 0.27       | 0.3        | 0.32       | 1.1        | 0.17     |
| Strength               | Unconfined Compressive Strength | $q_u$ kN/m <sup>2</sup>        | 0.44       | 0.76       | 0.8        | 0.92       | 1.1        | 0.17     |
|                        | Soil Angle                      | $\phi$                         | -          | -          | 10         | 1          | 5          | 7        |

Sumber : PT Testana Engineering, 2014

#### 4.2. Perhitungan Debit Rembesan

Baik tubuh bendungan maupun pondasinya diharuskan mampu mempertahankan diri terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pembentuk tubuh bendungan dan pondasi. Untuk mengetahui kemampuan daya tahan tubuh bendungan serta pondasinya terhadap gaya-gaya tersebut di atas, maka diperlukan analisa pada parameter-parameter berikut :

- Formasi garis depresi (*seepage line formation*) dalam tubuh bendungan dengan elevasi muka air waduk tertentu (diambil kondisi MAT).
- Kapasitas aliran filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi bendungan.

Data teknis bendungan yang diperlukan dalam perhitungan formasi garis depresi adalah :

- Elevasi puncak bendungan = + 51.87m
- Elevasi HWL = + 51.00m
- Elevasi NWL = + 49.00m
- Elevasi dasar = + 29.00 m

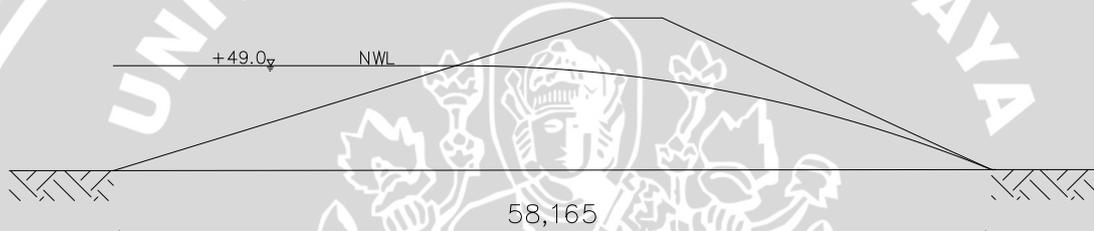


$$\begin{aligned}
 Y_0 &= 22.68 \text{ m} \\
 2 Y_0 &= 1.152 \text{ m} \\
 Y_0^2 &= 0.332 \text{ m} \\
 0.5 Y_0 &= 0.288 \text{ m} \\
 Y &= (1,152x + 0.332)^{0.5} \\
 X &= (Y^2 - 0,332)/1,152
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Koordinat Parabola Garis Depresi Bagian Kanan Bendungan Prijetan

|       |        |       |       |       |        |
|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| X (m) | -0.288 | 0     | 10    | 20    | 42.264 |
| Y (m) | 0      | 0.576 | 3.442 | 4.833 | 7      |

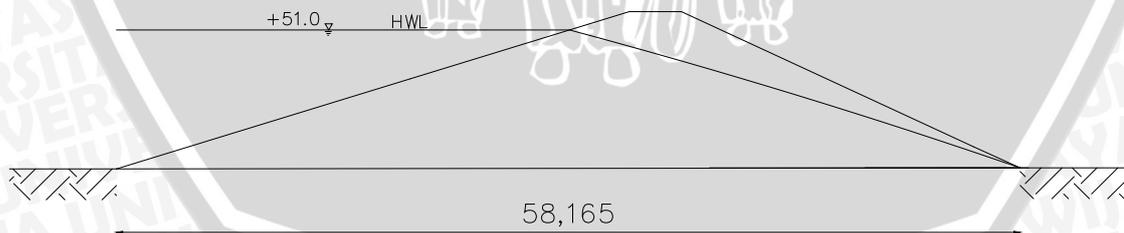
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.3 Parabola Garis Depresi Bagian Kanan Bendungan Prijetan dengan Tinggi Muka Air Normal +49.00

Sumber: Hasil Perhitungan

Berikut hasil Gambar dari garis depresi dari section lain dari Bendungan Prijetan :

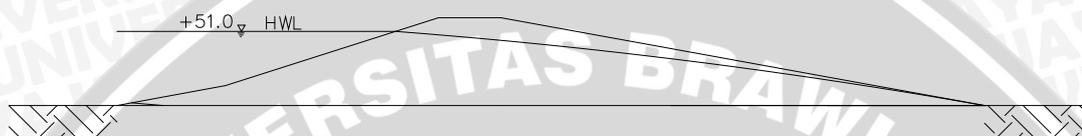


Gambar 4.4 Parabola Garis Depresi Bagian Kanan Bendungan Prijetan dengan Tinggi Muka Air Banjir +51.00

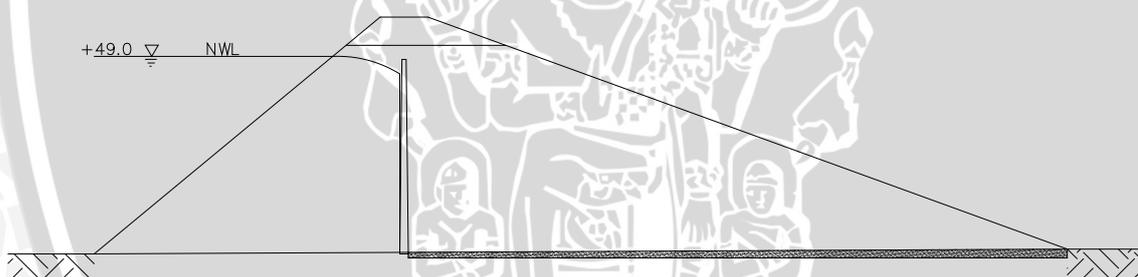
Sumber: Hasil Perhitungan



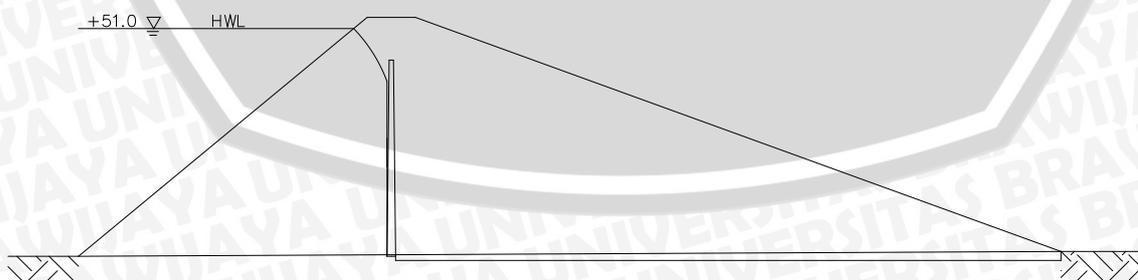
Gambar 4.5 Parabola Garis Depresi Bagian Kiri Bendungan Prijetan dengan Tinggi Muka Air Normal +49.00  
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.6 Parabola Garis Depresi Bagian Kiri Bendungan Prijetan dengan Tinggi Muka Air Banjir +51.00  
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.7 Parabola Garis Depresi Bagian Tengah Bendungan Prijetan dengan Tinggi Muka Air Normal +49.00  
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.8 Parabola Garis Depresi Bagian Tengah Bendungan Prijetan dengan Tinggi Muka Air Banjir +51.00  
Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.2.2. Perhitungan Debit Rembesan

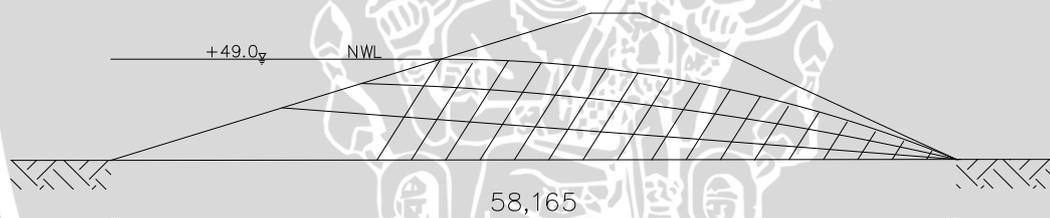
Kapasitas atau debit aliran filtrasi dapat ditentukan berdasarkan jaringan trayektori (*flownet*) yang terjadi di dalam tubuh bendungan dan pondasinya. Persamaan kapasitas aliran filtrasi dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_d} * K * H * B \dots\dots\dots 4.4$$

dengan:

- $Q_f$  = kapasitas aliran filtrasi ( $m^3/det$ )
- $N_f$  = jumlah trayektori aliran filtrasi
- $N_d$  = jumlah garis eipotensial
- $K$  = koefisien filtrasi =  $\sqrt{K_h * K_v}$
- $H$  = tinggi tekan air total
- $B$  = panjang dasar tubuh bendung

Contoh perhitungan garis depresi pada section kanan bendungan Prijetan dengan tinggi muka air normal +49.00 :



Gambar 4.9 Jaringan Trayektori Filtrasi pada Section Kanan bendungan Prijetan dengan Tinggi Muka Air Normal +49.00

Sumber: Hasil Perhitungan

- $N_f$  = 3
- $N_d$  = 17
- $K$  =  $7.57 \times 10^{-7}$
- $H$  = 7 m
- $B$  = 58.165 m

$$Q_f = \frac{N_f}{N_d} * K * H * B$$

$$Q_f = \frac{3}{17} * 0.000000757 * 7 * 58.165$$

$$= 0.054 \text{ lt/dt}$$

Berikut hasil perhitungan debit rembesan dari bagian lain dari Bendungan Prijetan

Tabel 4.4 Rekapitulasi Debit Rembesan Bendungan Prijetan

| Bagian        | Debit Rembesan (lt/dt) | Prosentase Terhadap Tampunguan Efektif Bendungan |
|---------------|------------------------|--|
| Kanan Normal  | 0.054                  | $6.17 \times 10^{-10} \%$                        |
| Kanan Banjir  | 0.106                  | $8.15 \times 10^{-10} \%$                        |
| Tengah Normal | 0.727                  | $8.30 \times 10^{-9} \%$                         |
| Tengah Banjir | 0.996                  | $7.66 \times 10^{-9} \%$                         |
| Kiri Normal   | 0.00064                | $7.31 \times 10^{-12} \%$                        |
| Kiri Banjir   | 0.00193                | $1.48 \times 10^{-11} \%$                        |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari perhitungan diatas dapat dilihat prosentase debit rembesan terhadap tampungan efektif bendungan kurang dari 1% sehingga dinyatakan aman dalam hal debit rembesannya.

#### 4.3. Pembebanan Dinamis pada Bendungan Prijetan

Beban dinamis yang ada pada bendungan perlu dihitung untuk mengaetaahui kondisi dari bendungan tersebut, perhitungan pembebanan dinamis sebagai berikut:

Tabel 4.5. Kriteria Faktor Risiko untuk Evaluasi Keamanan Bendungan

| Faktor Risiko   | Ekstrem               | Angka bobot dalam kurung |                    |                |                  |
|---|-----------------------|--------------------------|--------------------|----------------|------------------|
|   |                       | Tinggi                   | Moderat            | Rendah         |                  |
| Kapasitas ( $10^6 m^3$ )<br>(FR <sub>v</sub> )          | >100<br>(6)           | 100-1.25<br>(4)          | 1,00-0,125<br>(2)  | < 0,125<br>(0) |                  |
| Tinggi (m)<br>(FR <sub>t</sub> )                        | > 45<br>(6)           | 45-30<br>(4)             | 30-15<br>(2)       | < 15<br>(0)    |                  |
| Kebutuhan evakuasi<br>(jumlah orang) (FR <sub>e</sub> ) | > 1000<br>(12)        | 1000-100<br>(6)          | 100-1<br>(4)       | 0<br>(0)       |                  |
| Tingkat kerusakan hilir<br>(FR <sub>h</sub> )           | Sangat Tinggi<br>(12) | Tinggi<br>(10)           | Agak Tinggi<br>(8) | Moderat<br>(4) | Tidak Ada<br>(0) |

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Tabel 4.6. Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air

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

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Tabel 4.7. Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

| Kelas risiko dengan masa gempa | Persyaratan tanpa kerusakan |                               | Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan |                            |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|
|                                | T (thn)                     | Metode Analisis               | T (tahun)  | Metode Analisis            |
| IV<br>N=50-100                 | 100-200<br>$a_g \geq 0,1 g$ | Koef Gempa<br>Metode Analisis | 10.000 (MDE)   | Koef.gempa atau dinamik *  |
| III<br>N=50-100                | 50-100<br>$a_g \geq 0,1 g$  | Koef Gempa                    | 5000 (MDE)   | Koef. gempa atau dinamik * |
| II<br>N=50-100                 | 50-100<br>$a_g \geq 0,1 g$  | Koef Gempa                    | 3000 (MDE)   | Koef. gempa atau dinamik * |
| I<br>N=50-100                  | 50-100<br>$a_g \geq 0,1 g$  | Koef Gempa                    | 1000 (MDE)   | Koef. gempa atau dinamik * |

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Tabel 4.8. Faktor Risiko Keamanan Bendungan Prijetan

| Kriteria Bendungan Prijetan                      | Bobot Faktor Risiko                 |
|--|-------------------------------------|
| Kapasitas Waduk = $8.75 \times 10^6 \text{ m}^3$ | $FR_k = 4$                          |
| Tinggi Bendungan = 23 m                          | $FR_t = 2$                          |
| Kebutuhan Evakuasi $\pm 300$ orang               | $FR_e = 8$                          |
| Tingkat Kerusakan Hilir = moderat                | $FR_h = 4$                          |
| <b>Faktor Risiko Total</b>                       | <b><math>FR_{Total} = 18</math></b> |

Sumber : Inspeksi Besar Waduk Prijetan

Maka dengan kelas risiko yang didapat dari perhitungan sebelumnya, dimana Bendungan Prijetan termasuk kelas risiko II (Moderat) maka dalam metode analisisnya dengan  $T = 100$  tahun (untuk “persyaratan tanpa kerusakan” [OBE, *Operating Basic Earthquake*]) dan  $T = 1.000$  tahun (“persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan” [MDE, *Maximum Design Earthquake*]).

#### 4.4. Perhitungan Keamanan Bendungan dengan Program Plaxis 8.2 2D

##### 4.4.1. Pemodelan Tanah dan Parameter yang Digunakan

Adapun tanah yang akan di analisis adalah tanah di daerah Bendungan Prijetan. Hasil pengeboran dan potongan eksisting yang akan digunakan untuk analisis program *Plaxis* 8.2 2D dapat dilihat pada lampiran.

Jenis material yang digunakan pada analisis ini adalah model *Mohr-Coulomb* dan *Joint Rock*, dan parameter-parameter tanah yang akan dipakai pada program ini adalah berat isi jenuh dan tak jenuh ( $\gamma_{sat}$  dan  $\gamma_{unsat}$ ), permeabilitas ( $k_x$  dan  $k_y$ ), modulus *Young* ( $E$ ), angka Poisson ( $\mu$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser ( $\phi$ ) dan sudut dilatasi ( $\psi$ ).

Tabel 4.9 Kisaran Permeabilitas Tanah (k) Pada Temperatur 20° C (Das, 1983)

| Jenis Tanah   | k (mm/det)          |
|---|---------------------|
| Butiran kasar   | $10^{-3}$           |
| Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang | $10^{-2} - 10^{-3}$ |
| Pasir halus, lanau longgar                                  | $10^{-4} - 10^{-2}$ |
| Lanau padat, lanau berlempung                               | $10^{-5} - 10^{-4}$ |
| Lempung berlanau, lempung                                   | $10^{-8} - 10^{-5}$ |

Sumber : Hary Christady H, 2010

Tabel 4.10 Nilai Modulus Elastis (Bowles, 1977)

| Jenis Tanah              | E (kN/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|------------------------|
| Lempung :                |                        |
| Sangat lunak             | 300 - 3000             |
| Lunak                    | 2000 - 4000            |
| Sedang                   | 4500 - 9000            |
| Keras                    | 7000 - 20000           |
| Berpasir                 | 30000 - 42500          |
| Pasir :                  |                        |
| Berlanau                 | 5000 - 20000           |
| Tidak Padat              | 10000 - 25000          |
| Padat                    | 50000 - 100000         |
| Pasir dan Kerikil :      |                        |
| Padat                    | 80000 - 200000         |
| Tidih Padat              | 50000 - 140000         |
| Lanau                    | 2000 - 20000           |
| Loess                    | 15000 - 60000          |
| Serpih ( <i>Shales</i> ) | 140000 - 1400000       |

Sumber : Hary Christady H, 2010 :160

Tabel 4.11 Nilai Rasio Poisson (Bowles, 1977)

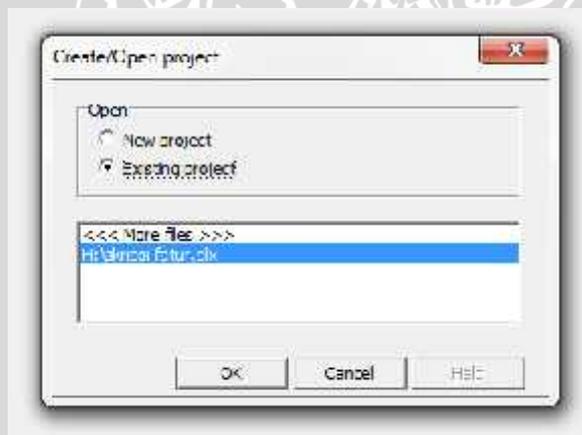
| Jenis Tanah                     | $\mu$      |
|---------------------------------|------------|
| Lempung Jenuh                   | 0,4 - 0,5  |
| Lempung Tak Jenuh               | 0,1 - 0,3  |
| Lempung Berpasir                | 0,2 - 0,3  |
| Lanau                           | 0,3 - 0,35 |
| Pasir Padat                     | 0,2 - 0,4  |
| Pasir Kasar ( $e = 0,4 - 0,7$ ) | 0,15       |
| Pasir Halus                     | 0,25       |
| Batu                            | 0,1 - 0,4  |
| Loess                           | 0,1 - 0,3  |
| Beton                           | 0,15       |

Sumber : Hary Christady H, 2010 : 204

#### 4.4.2. Input Data

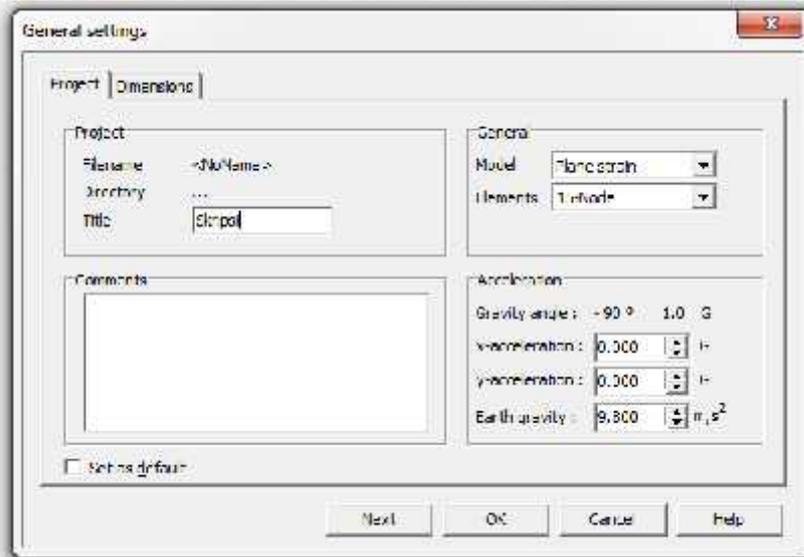
##### 4.4.2.1. Model Geometri dan Kondisi Batas

Timbunan dapat dianalisa dengan menggunakan model regangan bidang (*plain strain*), dengan 15 titik nodal. Satuan dasar yang digunakan untuk panjang, gaya, dan waktu adalah m, kN, dan hari. Tampilan dari model geometri pada DB 2 dapat dilihat sebagai berikut:



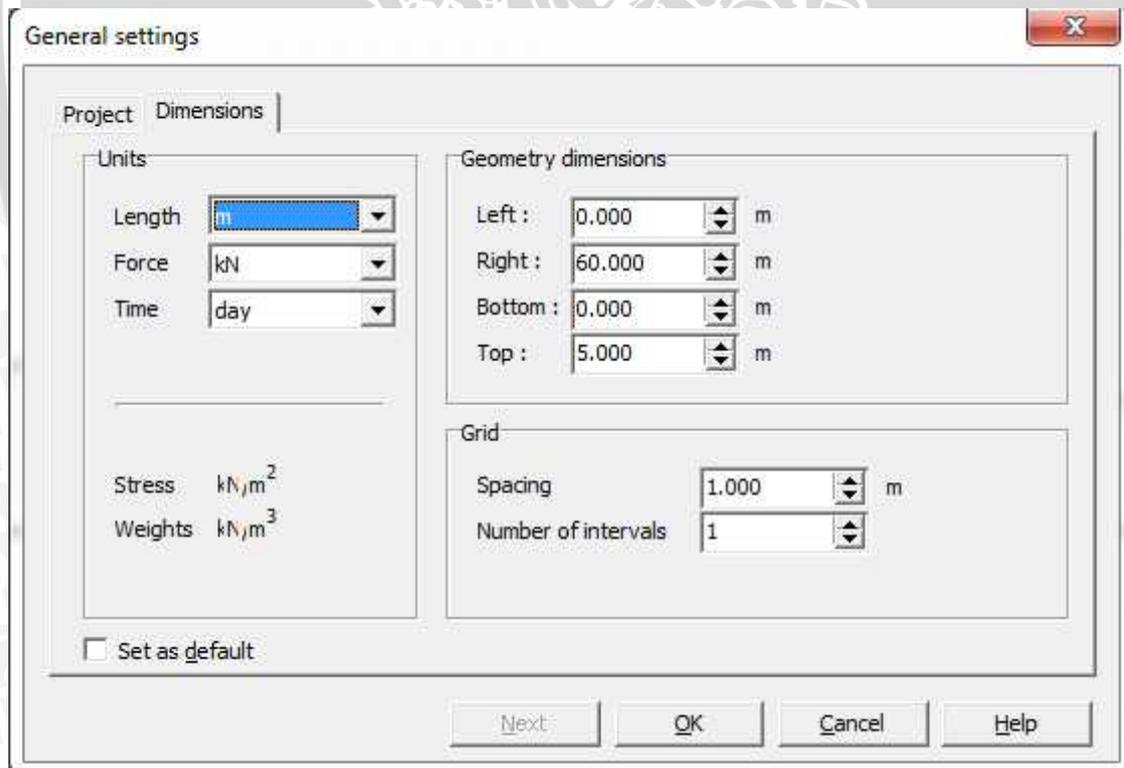
Gambar 4.10 Tampilan Awal Plaxis 8.2 2D  
Sumber : Hasil Perhitungan

Sebelum memulai pemodelan lapisan tanah dan klaster volumetrik lainnya, terlebih dahulu harus menentukan jenis elemen dan jumlah titik nodal. Elemen ini menggunakan interpolasi dengan ordo empat untuk perpindahan dari integrasi numerik yang melibatkan 12 titik *Gauss* (titik tegangan).

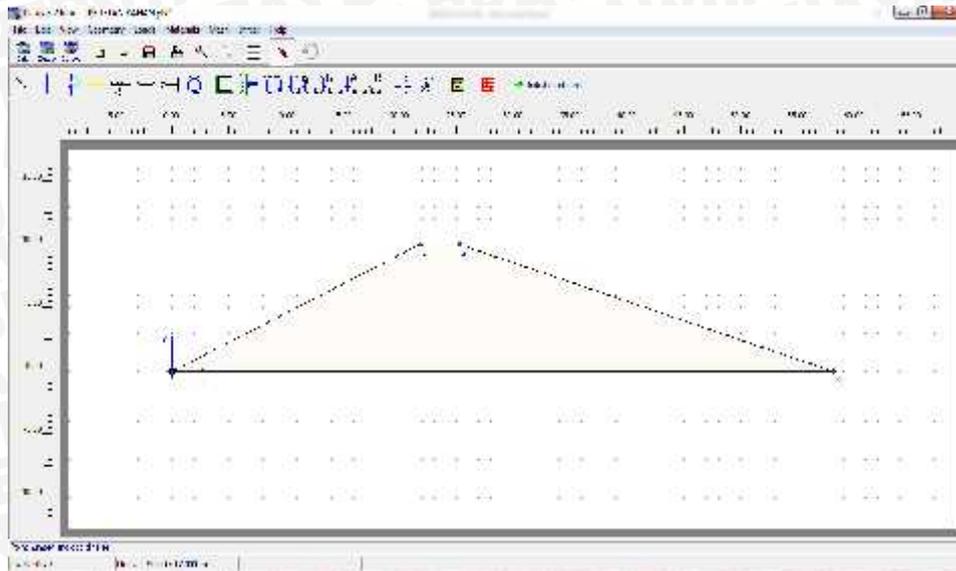


Gambar 4.11 Jendela Pengaturan Global Plaxis 8.2 2D (Lembar Tab Proyek)  
 Sumber : Hasil Perhitungan

Satuan-satuan untuk panjang, gaya dan waktu yang digunakan dalam analisis didefinisikan saat data masukan ditentukan oleh pengguna. Satuan-satuan dasar ini dimasukkan dalam lembar tab *Dimensi* dalam jendela Pengaturan Global.



Gambar 4.12 Jendela Pengaturan Global Plaxis 8.2 2D (Lembar Tab Dimensi)  
 Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.13 Hasil Penggambaran Geometri Pada Tubuh Bendungan Bagian Kanan  
Sumber : Hasil Perhitungan

#### 4.4.2.2. Data Bahan (*Material Sets*)

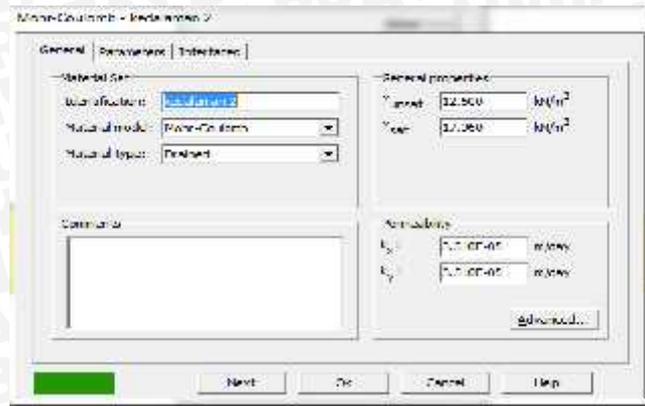
Adapun sifat-sifat material yang dimasukkan ke kumpulan data material pada program masukan (*input*) Plaxis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.12 Parameter Desain pada DB-2

| Tabel Propertis Tanah                  |        |                   |          |          |
|--|--------|-------------------|----------|----------|
| Propertis                              | Simbol | Unit              | DB - 2   |          |
|  |        |                   | 2        | 12.5     |
| berat isi tanah di atas garis fraktis  | unsat  | kN/m <sup>3</sup> | 12.6     | 12.9     |
| berat isi tanah di bawah garis freatik | sat    | kN/m <sup>3</sup> | 17.06    | 17.06    |
| permeabilitas arah horizontal          | kx     | m/hari            | 3.51E-05 | 6.54E-04 |
| permeabilitas arah vertical            | ky     | m/hari            | 3.51E-05 | 6.54E-04 |
| modulus young                          | Eref   | kN/m <sup>2</sup> | 6000     | 6000     |
| angka poisson                          | v      | --                | 0.3      | 0.3      |
| Kohesi                                 | cref   | kN/m <sup>2</sup> | 22       | 37       |
| sudut geser                            |        | 0                 | 0        | 0        |
| sudut dilantasi                        |        | 0                 | 0        | 0        |
| faktor reduksi kuat geser antarmuka    | Rinter | --                | 0        | 0        |

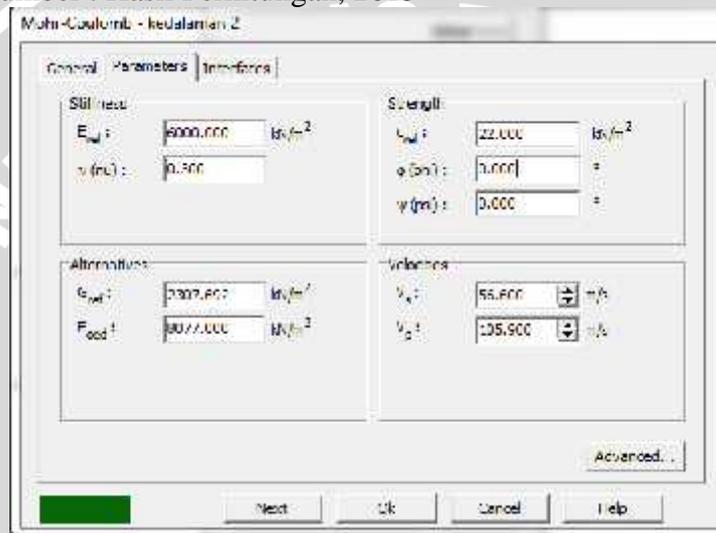
Sumber : Data Geologi Bendungan Prijetan, 2014

Kumpulan data material dimasukkan sesuai pada klaster dalam model geometri. Adapun cara memindahkan data material tersebut adalah dengan meng-klik dan seret (*drag*) kumpulan data ke masing-masing klaster.



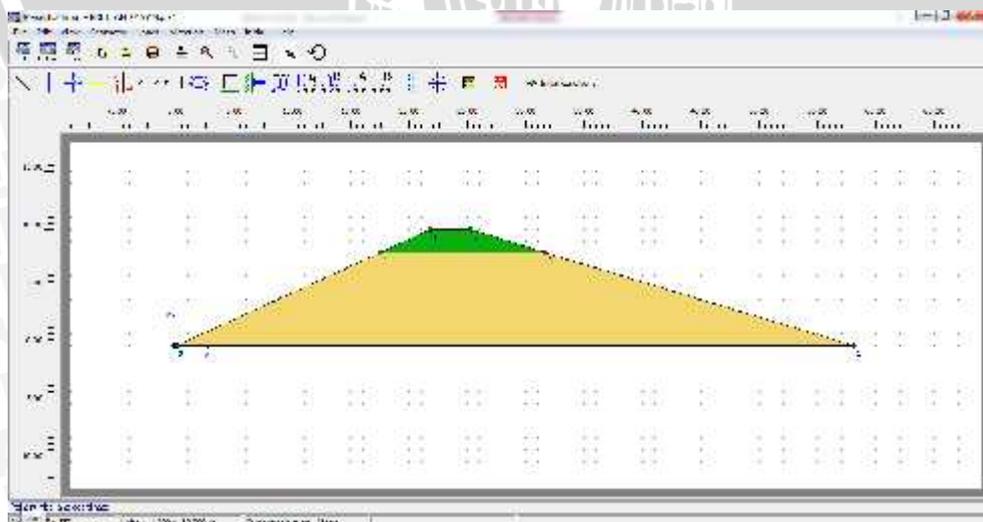
Gambar 4.14 Jendela Kumpulan Material Untuk Tanah dan Antarmuka Plaxis 8.2 2D (lembar-tab *Umum*)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.15 Jendela Kumpulan Data Material Tanah dan Antarmuka Plaxis 8.2 2D (Lembar Tab Parameter dalam *Mohr-Coulomb*)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

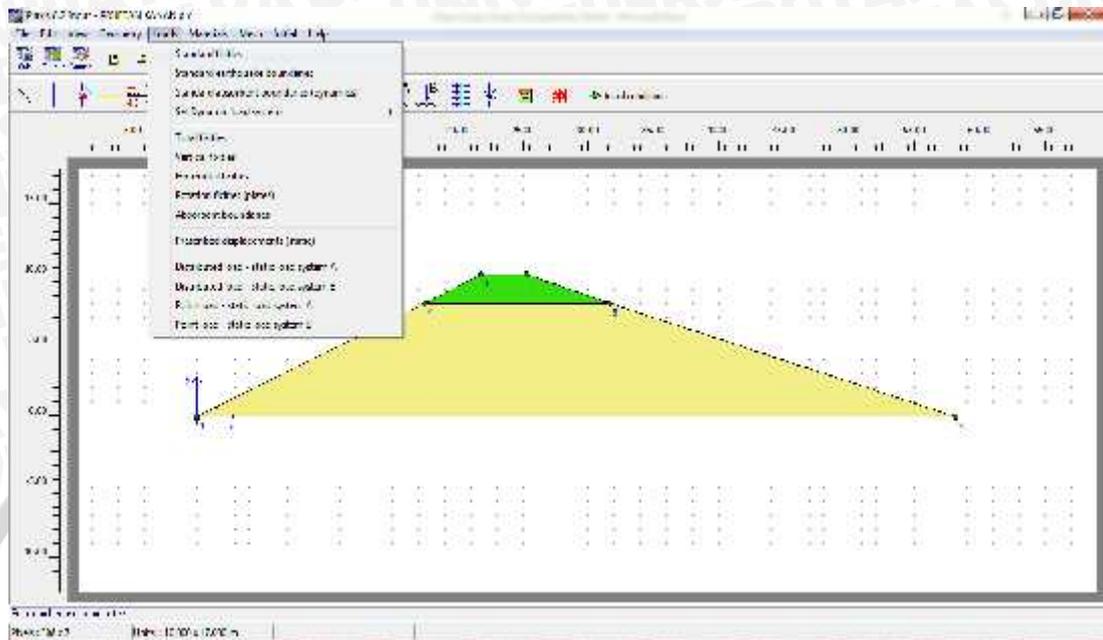


Gambar 4.16 Tampilan Geometri Setelah Adanya Data Material Pada Setiap Lapisan Tanah

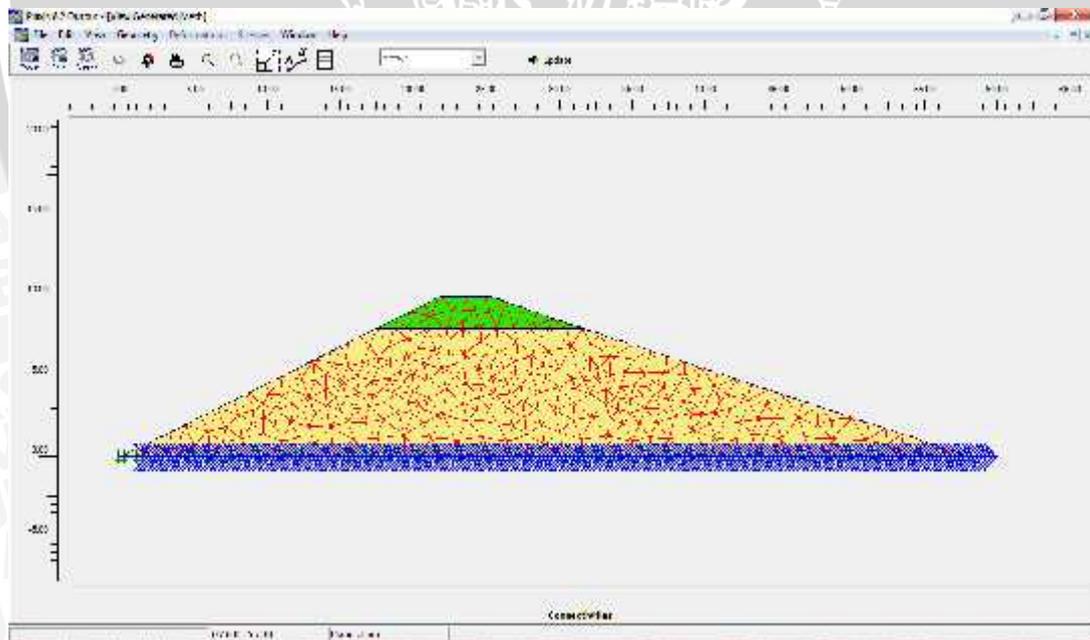
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.2.3. Penyusunan Jaring Elemen (*Mesh Generation*)

Klik Loads, lalu klik “Standart Fixities” dan “Standart earthquake boundaries” hal ini dilakukan untuk menentukan titik atau bagian mana saja yang akan ditinjau berdasarkan titik tinjauan dan titik.



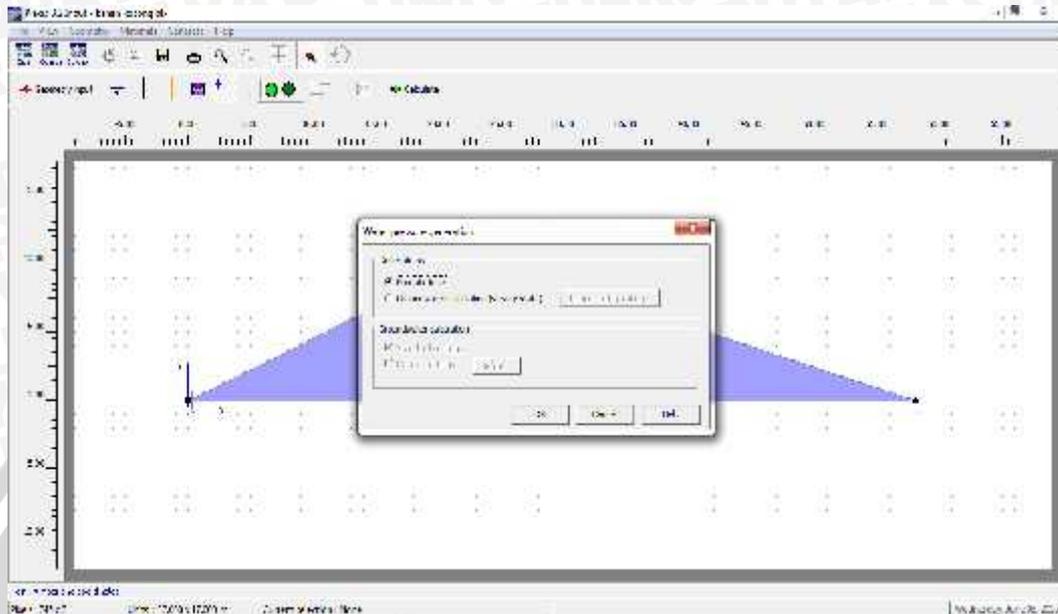
Gambar 4.17 Pemilihan Titik Tinjau  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.18 Jaring Jaring Elemen Pada Tubuh Bendungan  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.2.4. Kondisi Awal (*Initial Condition*)

Dalam kondisi awal (*initial condition*) ditetapkan berat isi air sebesar  $10 \text{ kN/m}^3$ . Tekanan air sepenuhnya adalah tekanan hidrostatik berdasarkan garis freatik global. Kemudian klik tombol hitung tekanan air (*generate water pressure*).



Gambar 4.19 Penggambaran Kondisi Awal (*Initial Condition*) Untuk Bagian Kanan (Plaxis 8.2 2D)

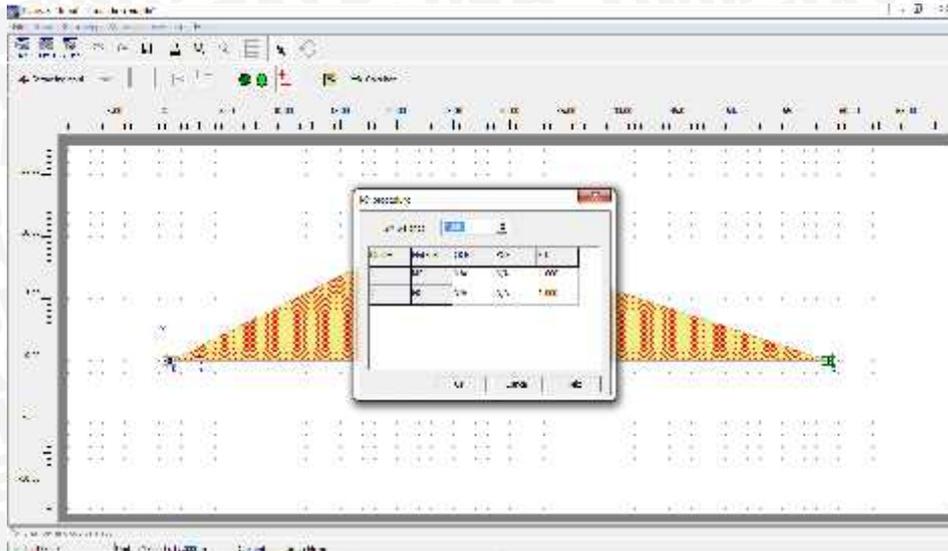
Sumber : Hasil Perhitungan

#### 4.4.2.5. Tegangan Awal (*Generate Initial Stresses*)

Seperti perhitungan tekanan air, kembali ke konfigurasi geometri awal. Pada kondisi awal, timbunan belum ada sehingga untuk menghitung tegangan awal dari model maka timbunan harus di nonaktifkan terlebih dahulu.

Klik satu kali pada kluster yang memodelkan timbunan. Setelah timbunan dinonaktifkan (klaster yang bersangkutan akan mempunyai warna seperti warna latar belakang), maka geometri yang aktif akan berupa geometri yang horizontal dengan lapisan-lapisan yang horizontal pula.

Kemudian dilakukan perhitungan tegangan awal, dengan klik perhitungan tegangan awal. Untuk model *Mohr-Coulomb* perhitungan bisa langsung dilakukan.. Setelah perhitungan tegangan awal dilakukan maka masukan telah selesai dan perhitungan konsolidasi dapat dilakukan.

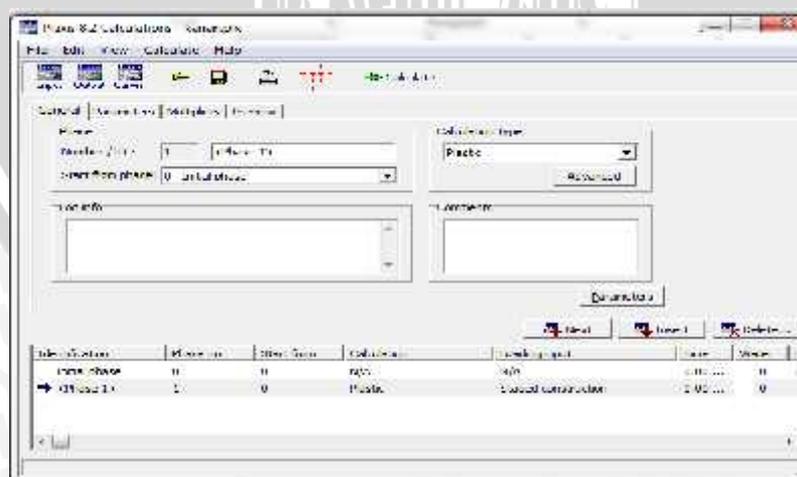


Gambar 4.20 Perhitungan Tegangan Awal Prosedur  $K_0$  dengan Nilai OCR Untuk DB 2 (Plaxis 8.2 2D)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.3. Tahap Perhitungan (*Calculation*)

Berikut langkah-langkah dalam tahap perhitungan :

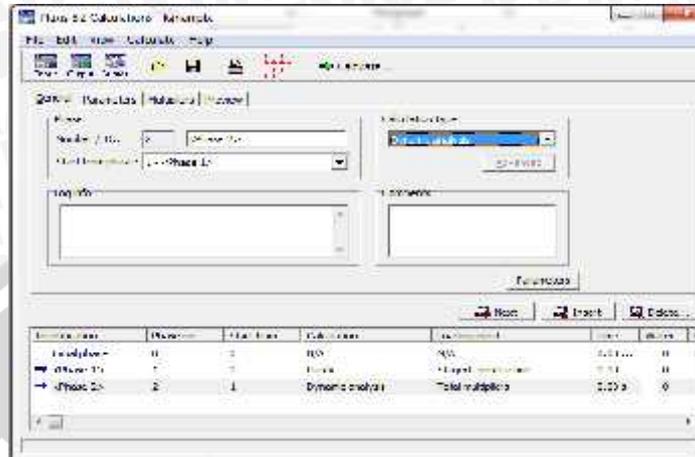
1. Tahap perhitungan pertama adalah analisis Plastisitas, tahapan konstruksi. Dalam lembar-tab umum (*general*) dipilih plastisitas (*Plastic*) dari kotak jenis perhitungan (*calculation type*). Tahapan konstruksi (*staged construction*) sebagai masukan pembebanan (*loading input*) di pilih dan dilakukan pengaktifan klaster timbunan dari jendela konfigurasi geometri yang telah di nonaktifkan pada tahap perhitungan tegangan awal sebelumnya. Setelah itu, klik pilihan selanjutnya (*next*).



Gambar 4.21 Jendela Perhitungan (*Calculation*) Pada Plaxis 8.2 2D Tahap *Plastic*  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

2. Tahap kedua adalah analisis (*Dynamic Analysis*), tahap ini digunakan untuk kondisi gempa dimana tahap ini berfungsi untuk menganalisa analisa dinamis,

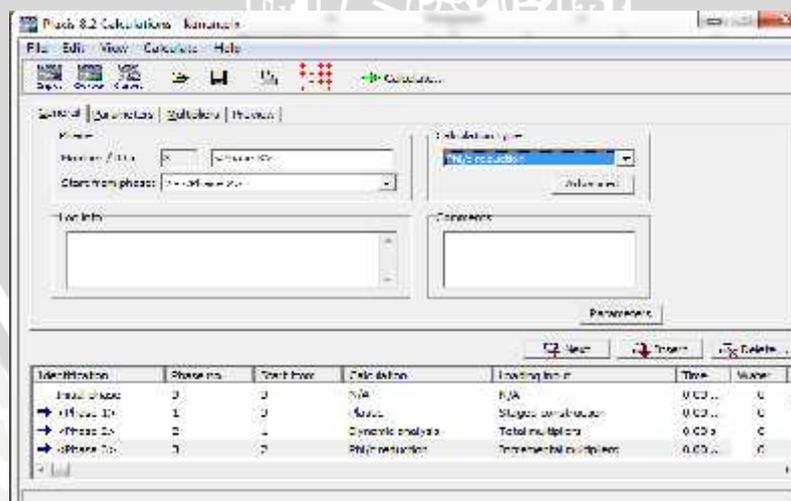
dan gempa merupakan analisa yang dinamis karena sesuai dengan karakteristik gempa yang bergerak secara dinamis. Dalam lembar-tab umum (*general*) pilih *Dynamic Analysis* dipilih dari kotak jenis perhitungan (*calculation type*). Setelah itu, klik pilihan selanjutnya (*next*).



Gambar 4.22 Jendela Perhitungan (*Calculation*) Pada Plaxis 8.2 2D tahap *Dynamic Analysis*

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

- Tahap ketiga adalah analisis (*phi-c reduction*), tahap ini digunakan untuk menganalisa keamanan pada timbunan dengan mereduksi parameter kekuatan dari tanah. Dalam lembar-tab umum (*general*) pilih *phi-c reduction* dipilih dari kotak jenis perhitungan (*calculation type*). Setelah itu, klik pilihan selanjutnya (*next*).



Gambar 4.23 Jendela Perhitungan (*Calculation*) Pada Plaxis 8.2 2D tahap *phi-c reduction*

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.4. Hasil Perhitungan (*Output Data*)

Setelah proses perhitungan selesai, hasil keluaran perhitungan dapat dilihat pada program keluaran (*output*). Berikut akan dijelaskan *output* pada berbagai kondisi.

#### 4.4.4.1. Kondisi Waduk Kosong Tanpa Gempa

Pada musim kemarau Bendungan Prijetan mengalami kondisi kosong. Oleh karena itu perlu diadakannya analisa terhadap bendungan pada saat kondisi kosong, untuk melihat faktor keamanan dari bendungan tersebut. Pada kondisi kosong kita akan melihat apakah ada pengaruh jika bendungan tidak terdapat air dalam tampungannya.

Analisa yang dilakukan pada berbagai bagian dari Bendungan Prijetan. Berikut analisa yang dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng waduk pada kondisi kosong dengan menggunakan aplikasi *plaxis* 2 dimensi.

Dari hasil perhitungan, terlihat bahwa nilai  $SF = 2.3668$  (Gambar 4.24). Hal ini menunjukkan bendungan aman. Hasil rekapitulasi sebagai berikut:

Tabel 4.13 Rekapitulasi Angka Keamanan Kondisi Kosong Bendungan Prijetan

| Kondisi       | Angka Keamanan | Status |
|---------------|----------------|--------|
| Kanan Kosong  | 2.3668         | Aman   |
| Kiri Kosong   | 2.9279         | Aman   |
| Tengah Kosong | 1.2290         | Aman   |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.14 Rekapitulasi *Total Displacements* Kondisi Kosong Bendungan Prijetan

| Kondisi       | <i>Total Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|---------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong  | 773.67                            | 4617         | 0.167                             |
| Kiri Kosong   | $49.59 \times 10^3$               | 637          | 72.183                            |
| Tengah Kosong | 11.34                             | 4493         | $2.52 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.15 Rekapitulasi *Horizontal Displacements* Kondisi Kosong Bendungan Prijetan

| Kondisi       | <i>Horizontal Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|---------------|--|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong  | 773.63                                 | 4617         | 0.167                             |
| Kiri Kosong   | $49.55 \times 10^3$                    | 637          | 72.183                            |
| Tengah Kosong | 11.34                                  | 4493         | $2.52 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.16 Rekapitulasi *Vertical Displacements* Kondisi Kosong Bendungan Prijetan

| Kondisi       | <i>Vertical Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|---------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong  | 574.36                               | 4617         | 0.124                             |
| Kiri Kosong   | $34.21 \times 10^3$                  | 637          | 53.71                             |
| Tengah Kosong | 6.75                                 | 4493         | $1.50 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari analisa yang telah dilakukan pada *Total Displacements*, *Horizontal Displacements*, *Vertical Displacements* merupakan akumulasi perpindahan absolut ( $u$ ), yang dibentuk oleh perpindahan horisontal ( $x$ ) dan vertikal ( $y$ ) pada setiap nodal pada akhir dari langkah perhitungan saat ini, dan ditampilkan di atas geometri. Dapat dilihat pada gambar 4.24 sampai 4.35.

Pada tabel 4.14 dinyatakan *Total Displacements* dari bagian bendungan baik kanan, kiri maupun tengah menunjukkan perpindahan tanah yang berbeda. Hal itu menunjukkan bahwa dari beberapa bagian bendungan mengalami perpindahan tanah yang besar yaitu bagian kiri, sedangkan pada bagian tengah maupun kanan bendungan angkanya relatif kecil.

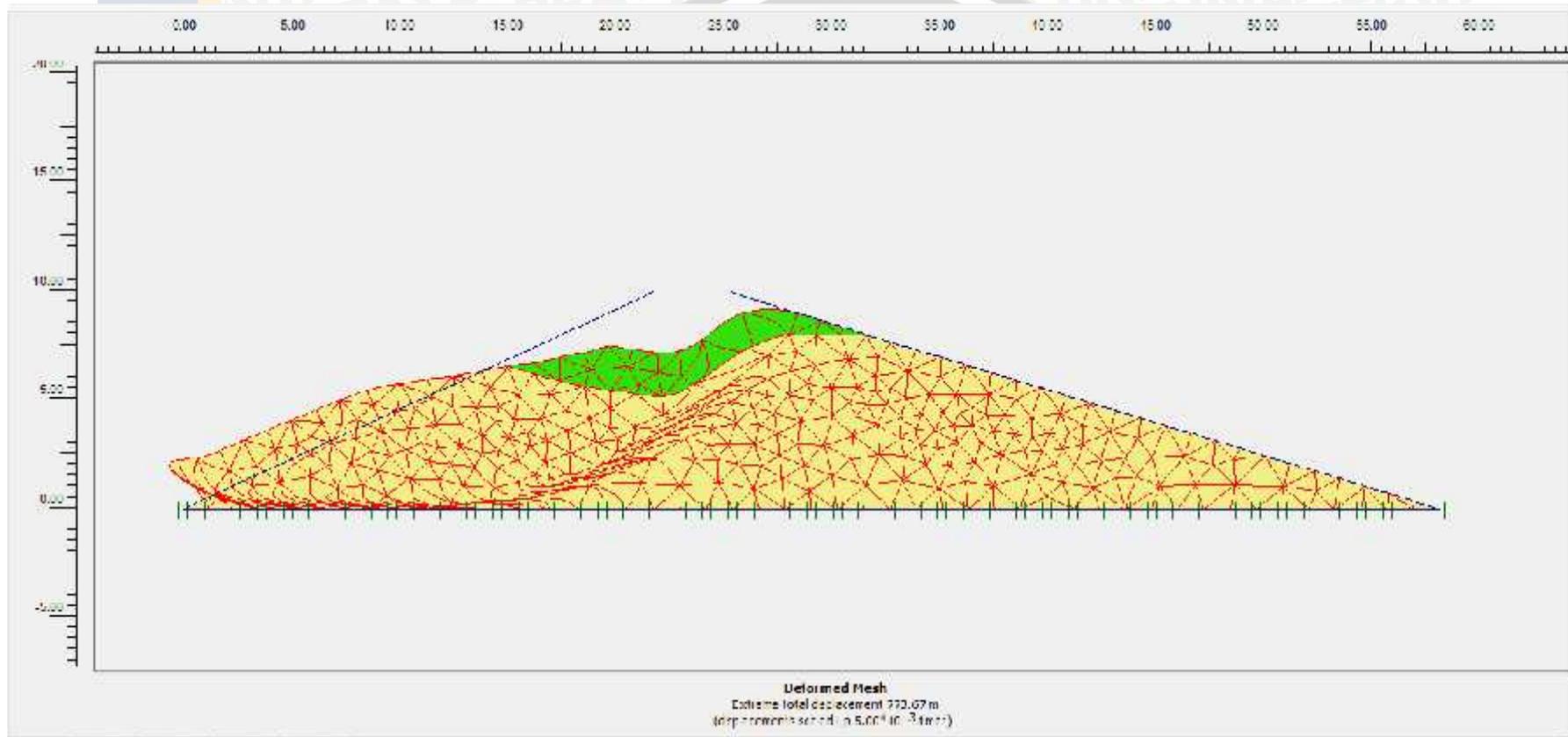
Perpindahan tanah *horizontal* juga dianalisis pada aplikasi *plaxis* ini dapat dilihat pada tabel 4.15. Analisa ini digunakan untuk melihat seberapa besar perpindahan arah kesamping (*horizontal*) dari tanah. Dari analisa yang telah dilakukan dapat dilihat besar dari *Horizontal Displacements* sama halnya dengan *Total Displacements* bahwa bendungan bagian kiri mengalami perpindahan yang besar, dari analisa ini memperkuat bahwa bagian kiri mengalami kekritisian pada perpindahan tanahnya.

Analisa *Vertical Displacements* pada bendungan juga untuk mengetahui tekanan ke arah vertikal dari tanah terhadap bendungan. Dari tabel 4.16 dapat diketahui besarnya angka tersebut kurang dari angka dari *Horizontal Displacements*. Lalu bagian paling besar perpindahannya yaitu bagian kiri dan bagian terkecil perpindahannya yaitu bagian tengah.

Dari tabel 4.14 sampai dengan tabel 4.16 dapat dilihat bahwa angka perpindahan yang besar yaitu pada bagian kiri bendungan sedangkan pada bagian tengah bendungan yang terkecil angka perpindahannya. Meskipun angka keamanan bendungan dinyatakan aman namun perpindahannya juga perlu diperhatikan kembali untuk kestabilan bendungan itu sendiri.

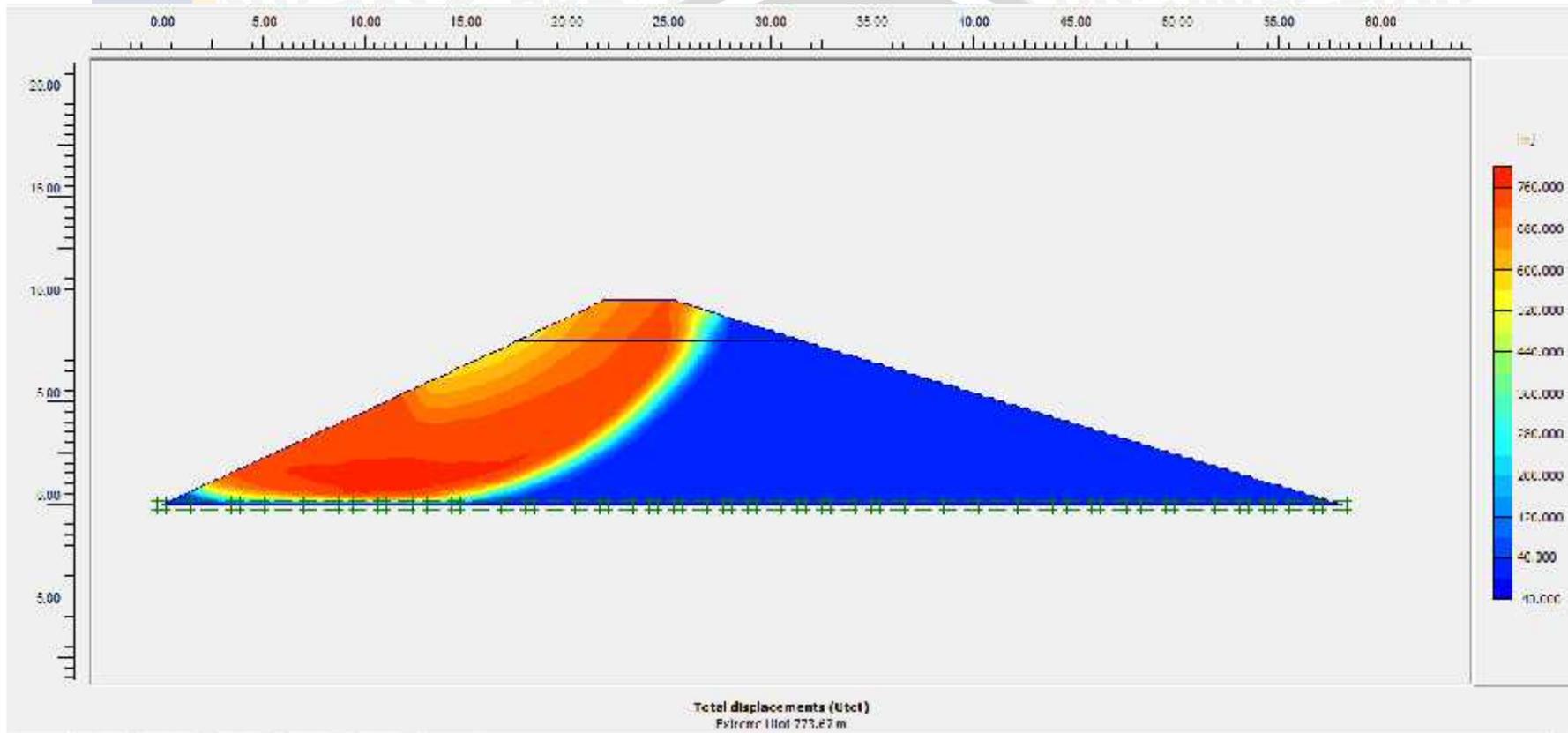
Hasil penyelidikan di lapangan yang telah dilakukan juga menyebutkan bahwa pada Bendungan Prijetan pada kondisi kosong tetap terdapat tampungan sebesar 500.000 m<sup>3</sup>. Hal itu untuk membantu tubuh bendungan supaya tetap aman dalam hal stabilitas lerengnya.

Menurut Eduard Larosa dan Rudi Iskandar (2014) dalam kondisi kosong keruntuhan yang terjadi pada bendungan akibat adanya beban dari bendungan itu sendiri dapat dilihat berdasarkan pola bidang gelincirnya pada gambar 4.25 yang telah dianalisis. Semakin merah warnanya maka semakin kritis pula kondisi keruntuhannya.



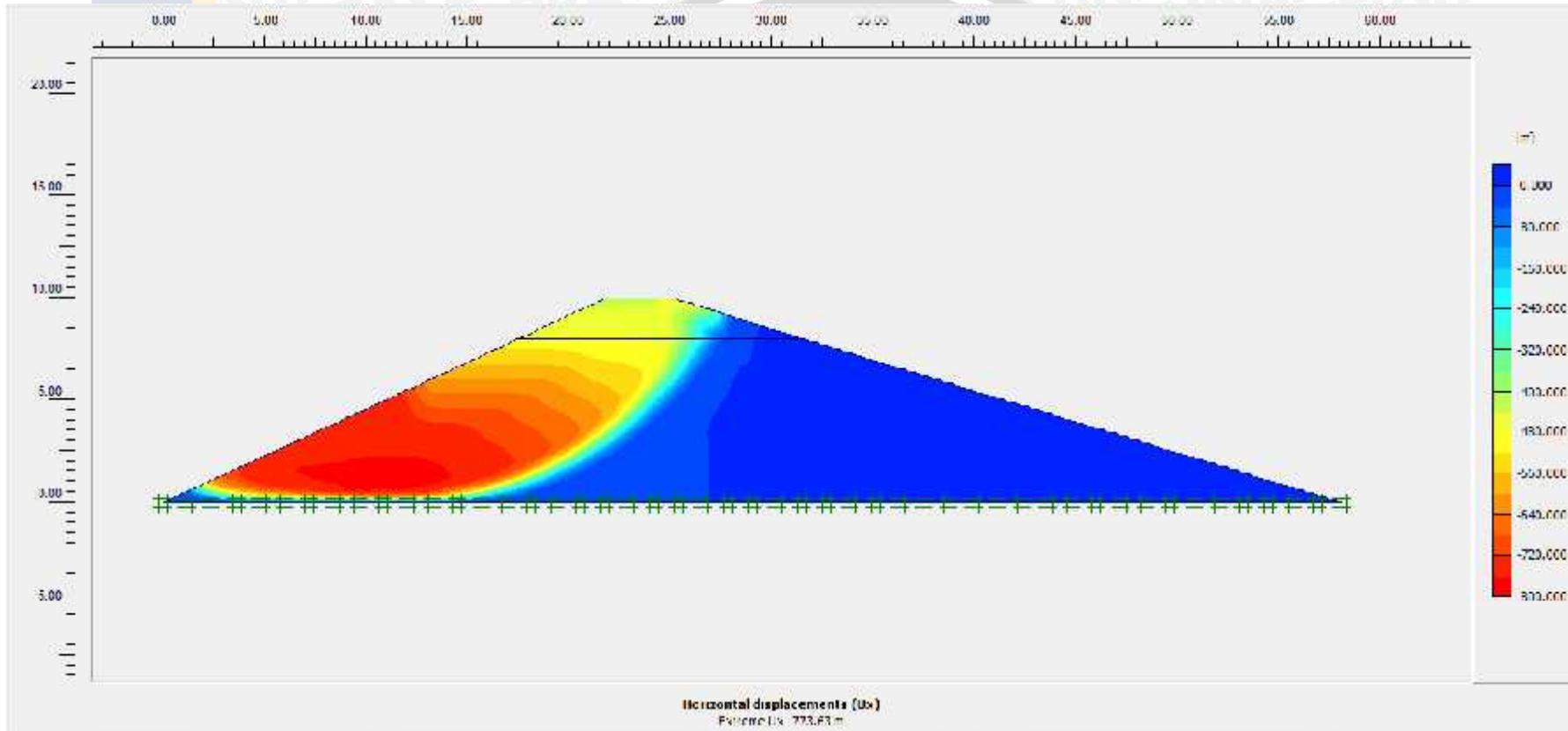
Gambar 4.24 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong (SF = 2.3668)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



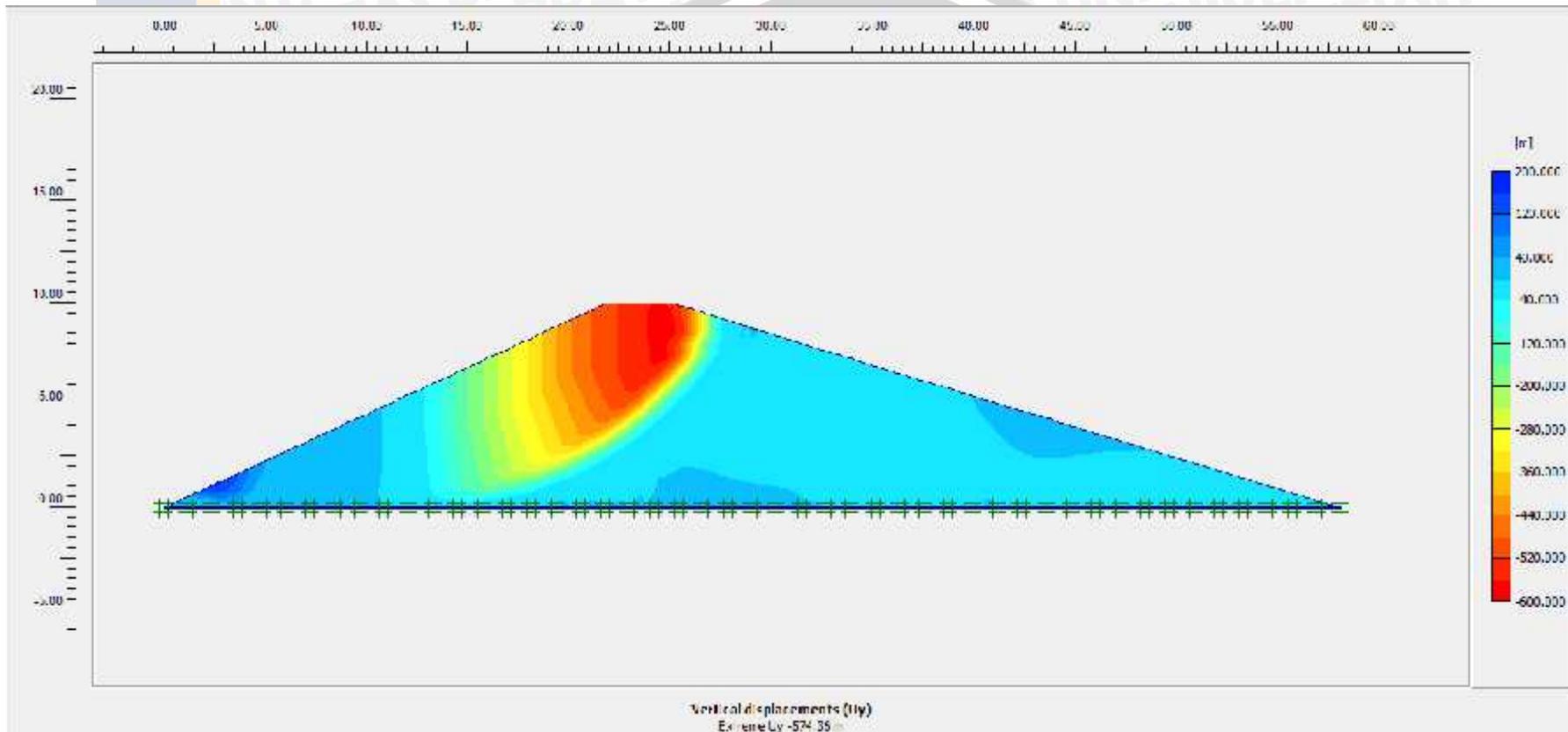
Gambar 4.25 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong (SF = 2.3668)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

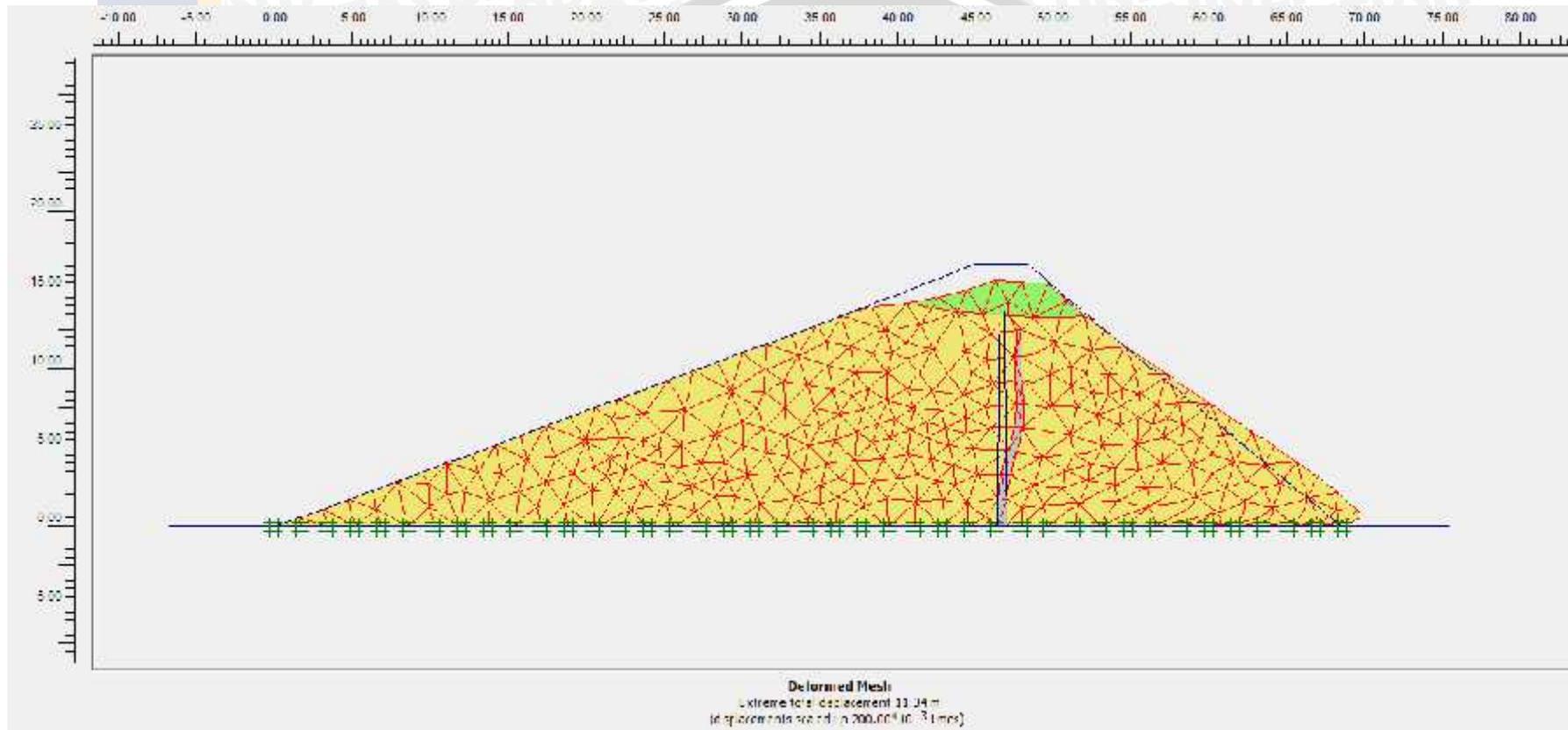


Gambar 4.26 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong (SF = 2.3668)

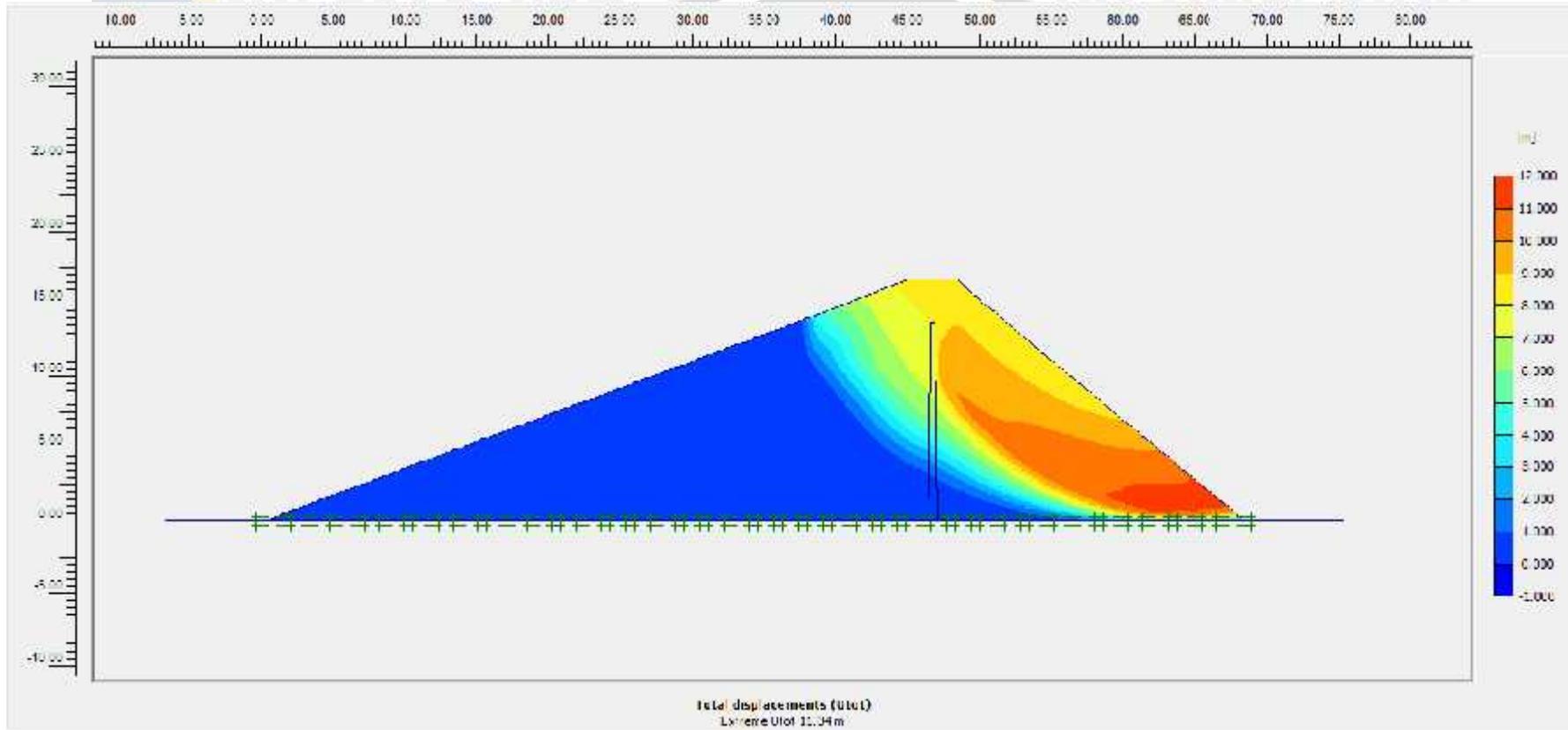
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.27 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong (SF = 2.3668)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

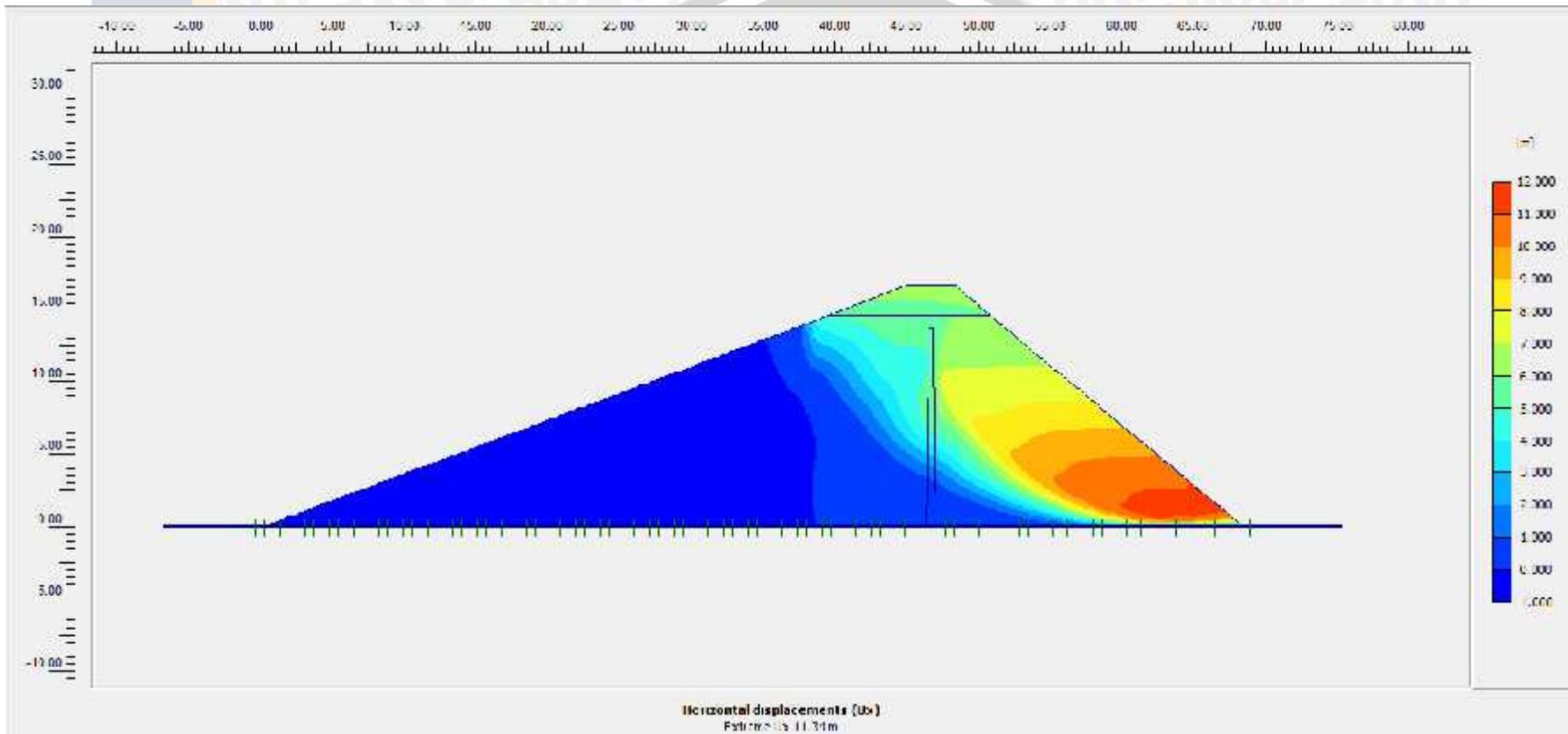


Gambar 4.28 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong (SF = 1.2290)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



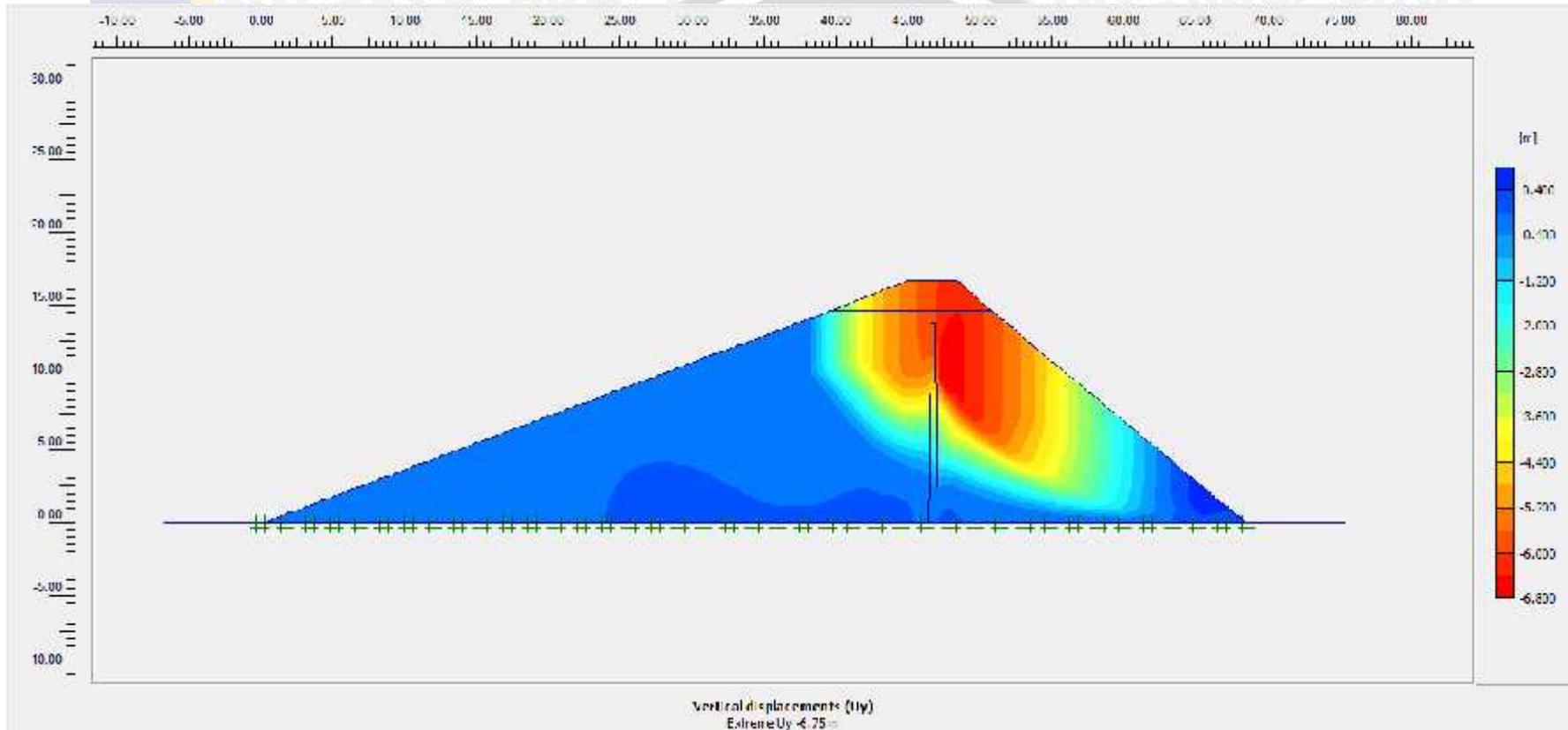
Gambar 4.29 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong (SF = 1.2290)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



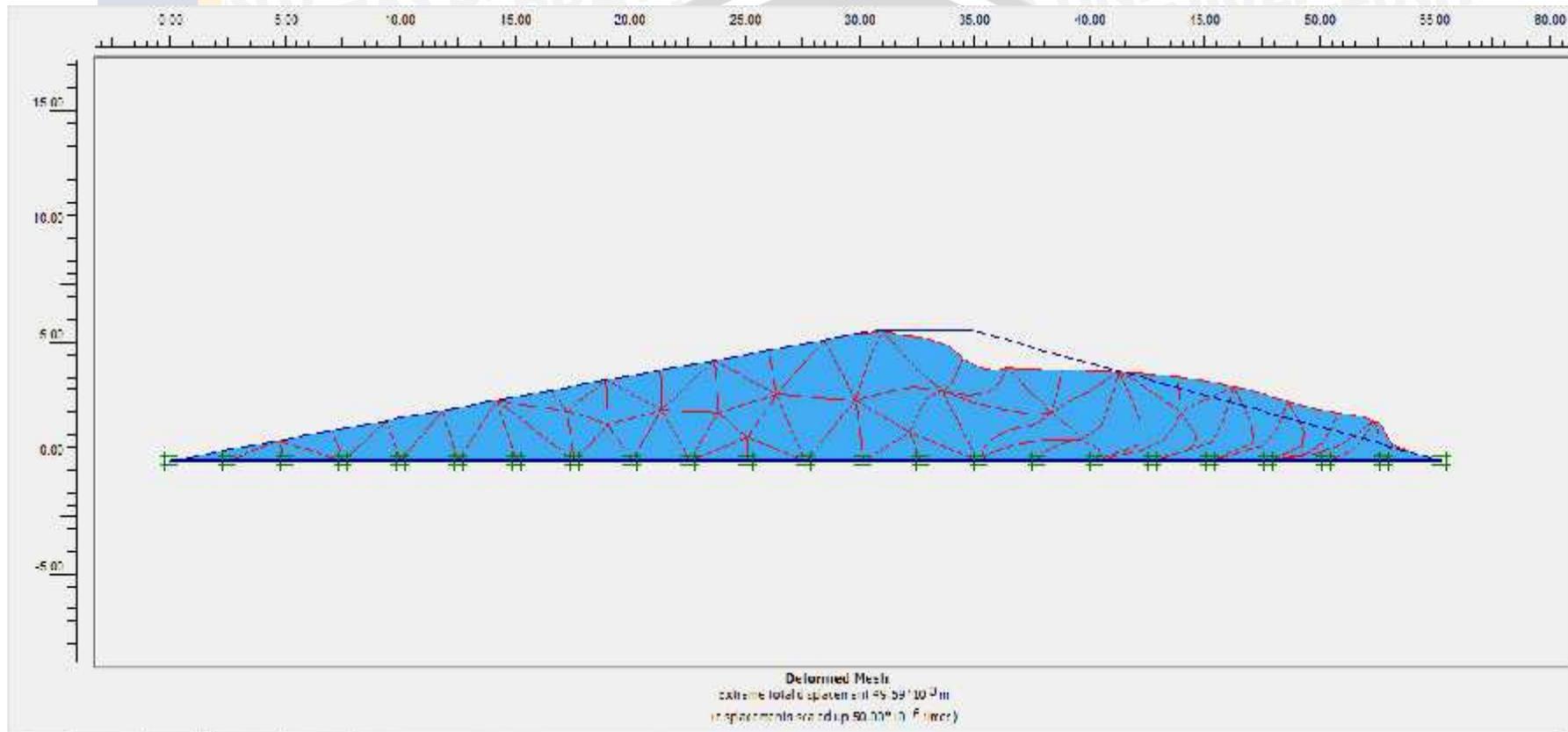
Gambar 4.30 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong (SF = 1.2290)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

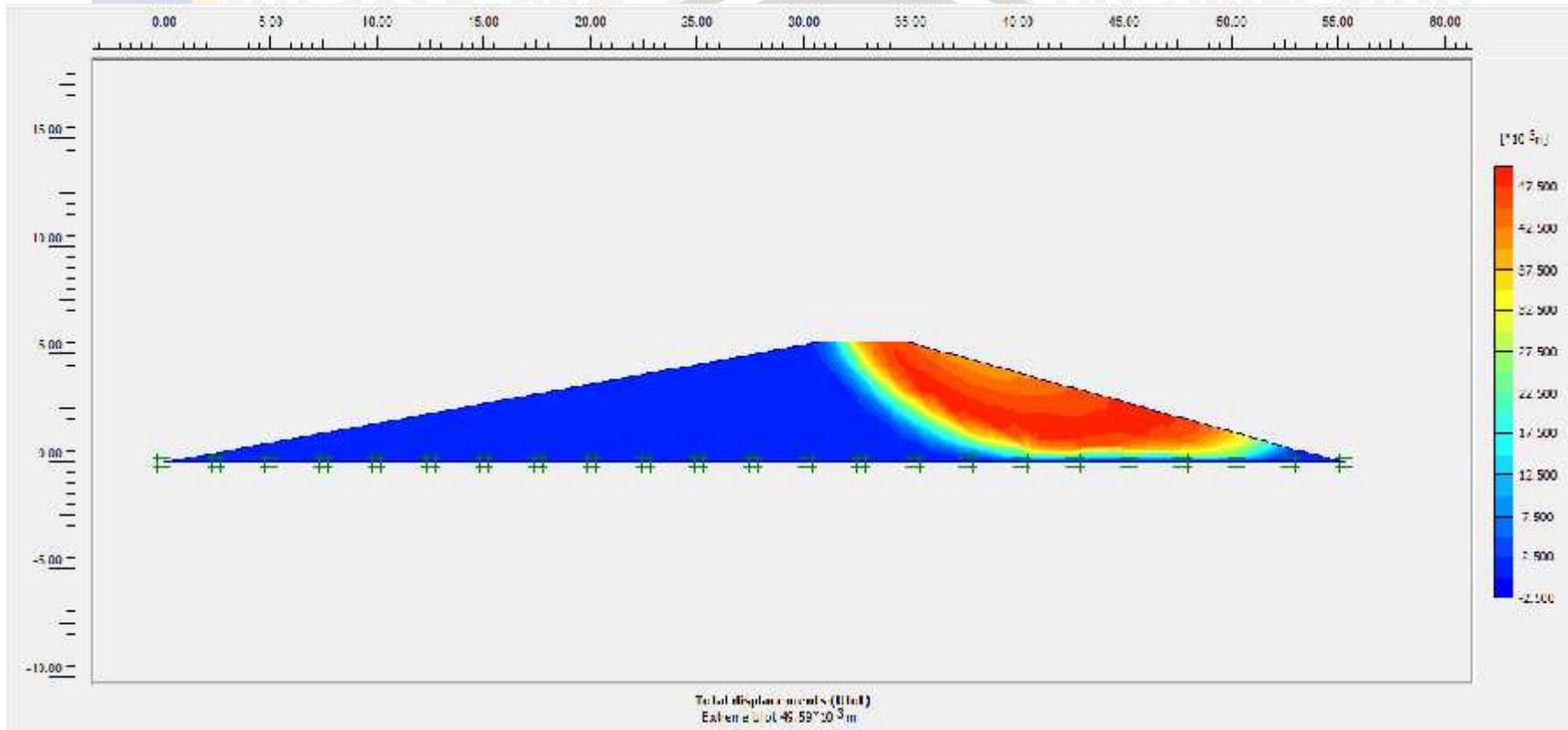


Gambar 4.31 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong (SF = 1.2290)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

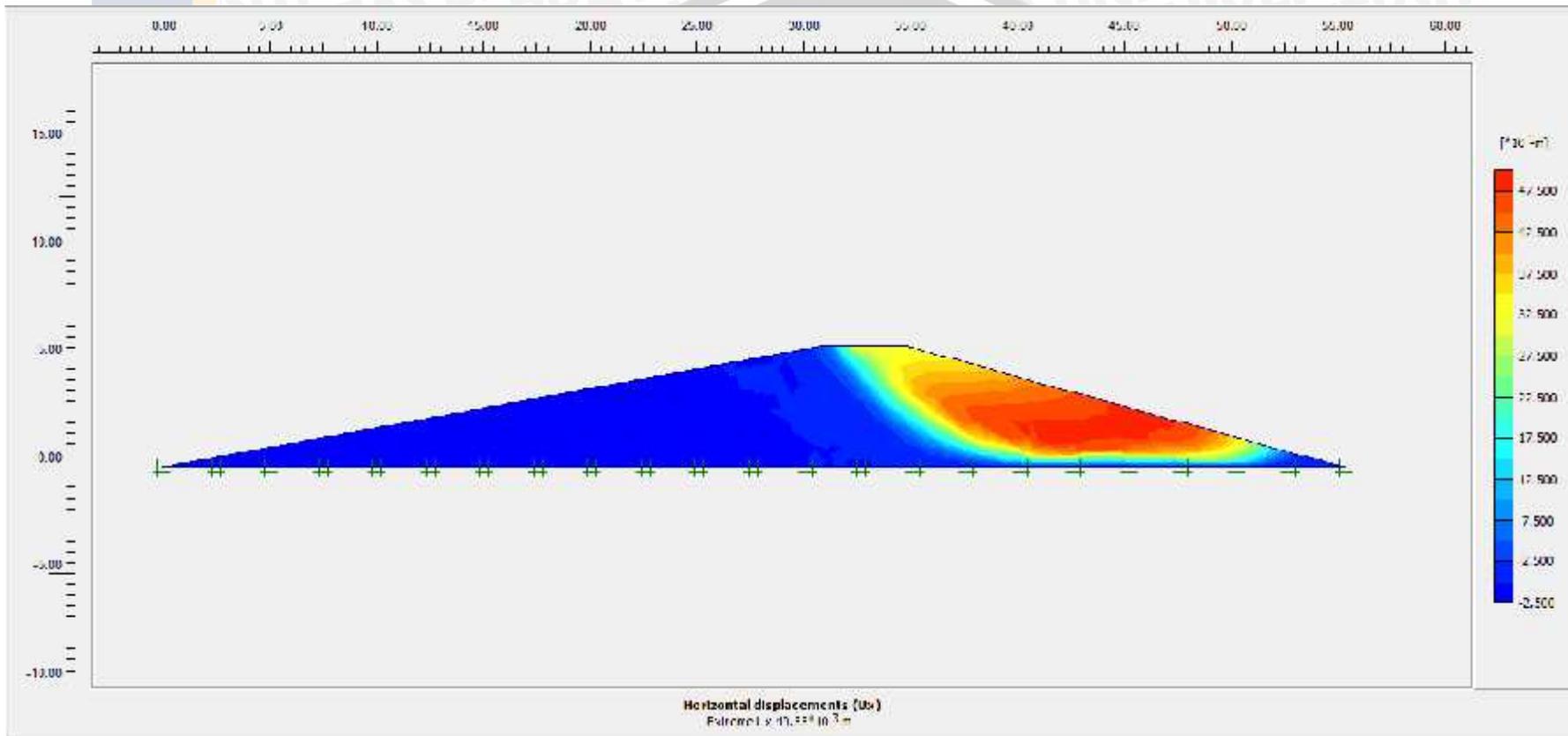


Gambar 4.32 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong (SF = 2.9279)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



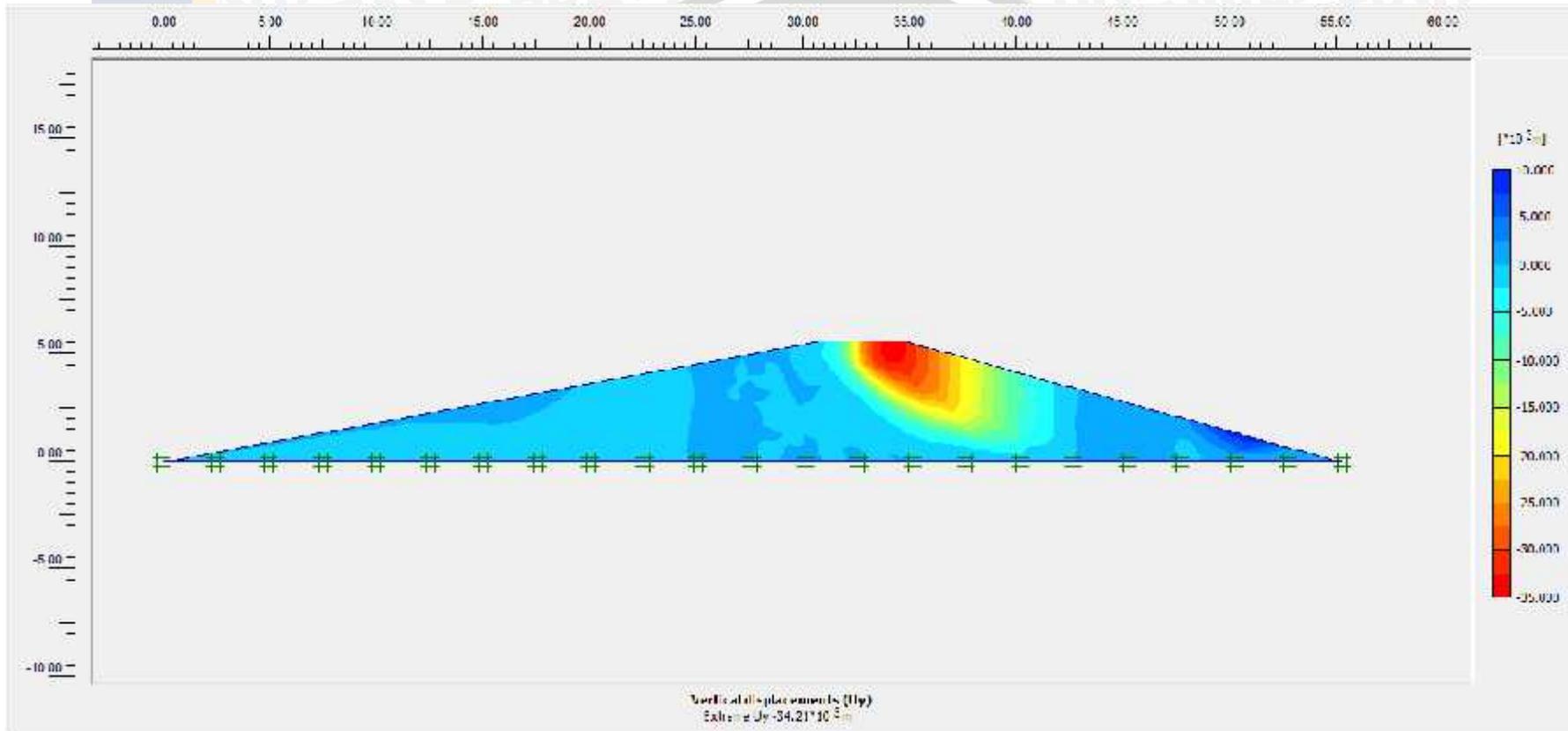
Gambar 4.33 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong (SF = 2.9279)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.34 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong (SF = 2.9279)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.35 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong (SF = 2.9279)

Sumber : Hasil Perhitungan,

#### 4.4.4.2. Kondisi Waduk Kosong Dengan Gempa

Kondisi kosong yang terjadi di Bendungan Prijetan tanpa gempa yang sudah dibahas di atas mengalami kekritisian pada angka keamanannya. Hal itu belum ditambah dengan parameter gempa, dimana gempa juga akan mempengaruhi kestabilan dari bendungan tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa waduk dengan gempa.

Analisa yang dilakukan pada berbagai bagian dari Bendungan Prijetan. Berikut analisa yang dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng waduk pada kondisi kosong dengan gempa dengan menggunakan aplikasi *plaxis* 2 dimensi.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar dibawah dan tabel dibawah sebagai berikut:

Tabel 4.17 Rekapitulasi Angka Keamanan Kondisi Kosong Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi             | Angka Keamanan | Status |
|---------------------|----------------|--------|
| Kanan Kosong Gempa  | 2.3665         | Aman   |
| Kiri Kosong Gempa   | 2.9282         | Aman   |
| Tengah Kosong Gempa | 1.2302         | Aman   |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.18 Rekapitulasi *Total Displacements* Kondisi Kosong Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi             | <i>Total Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|---------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong Gempa  | 841.21                            | 4617         | 0.182                             |
| Kiri Kosong Gempa   | $103.23 \times 10^3$              | 637          | 162.05                            |
| Tengah Kosong Gempa | 16.09                             | 4493         | $3.58 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.19 Rekapitulasi *Horizontal Displacements* Kondisi Kosong Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi             | <i>Horizontal Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|---------------------|--|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong Gempa  | 841.16                                 | 4617         | 0.182                             |
| Kiri Kosong Gempa   | $103.15 \times 10^3$                   | 637          | 162.05                            |
| Tengah Kosong Gempa | 16.09                                  | 4493         | $3.58 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.20 Rekapitulasi *Vertical Displacements* Kondisi Kosong Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi             | <i>Vertical Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|---------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong Gempa  | 623.58                               | 4617         | 0.14                              |
| Kiri Kosong Gempa   | $71.18 \times 10^3$                  | 637          | 111.74                            |
| Tengah Kosong Gempa | 9.57                                 | 4493         | $2.13 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

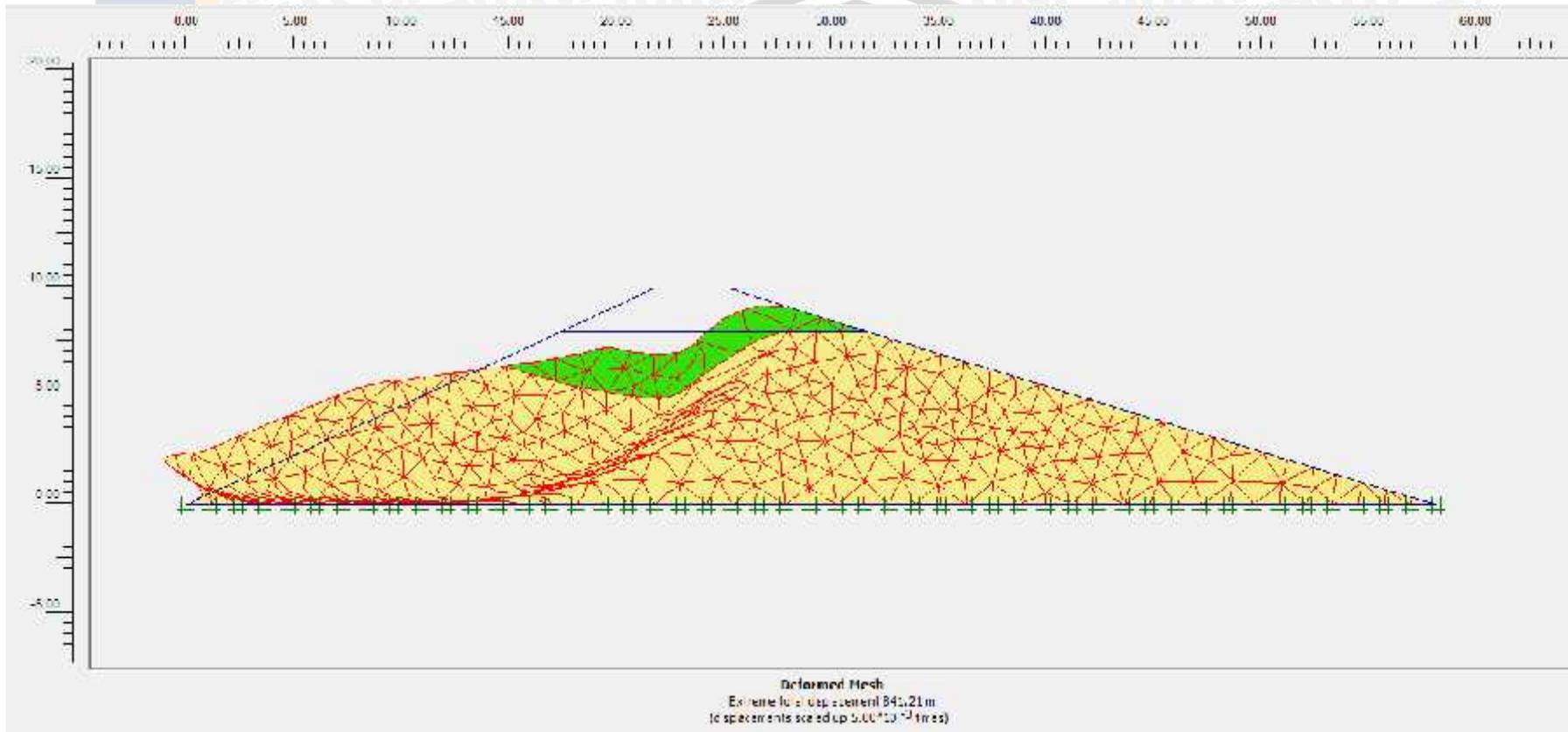
Pada tabel 4.18 dinyatakan *Total Displacements* dari bagian bendungan baik kanan, kiri maupun tengah menunjukkan perpindahan tanah yang berbeda. Meskipun sudah ditambah dengan parameter gempa pada waktu analisa dengan aplikasi Plaxis, masih menunjukkan besaran angka dari bagian kiri mempunyai besaran angka yang besar.

Perpindahan tanah *horizontal* yang dilakukan juga menunjukkan kesamaan angka dengan kondisi waduk kosong tanpa gempa yang dapat dilihat pada tabel 4.19. Angka-angka tersebut masih menunjukkan kesamaan angka total perpindahan dengan perpindahan *horizontal* sama, sehingga dapat ditarik pernyataan bahwa perpindahan yang terjadi pada waduk kosong tanpa gempa maupun dengan gempa mengarah ke arah *horizontal*.

Analisa *Vertical Displacements* yang dapat dilihat pada tabel 4.20 menunjukkan angka yang lebih besar dibanding dengan angka yang terdapat pada tabel 4.16 pada bagian waduk kosong tanpa gempa. Hal itu menunjukkan parameter gempa mempengaruhi perpindahan ke arah *vertikal* lebih besar dibandingkan tanpa gempa.

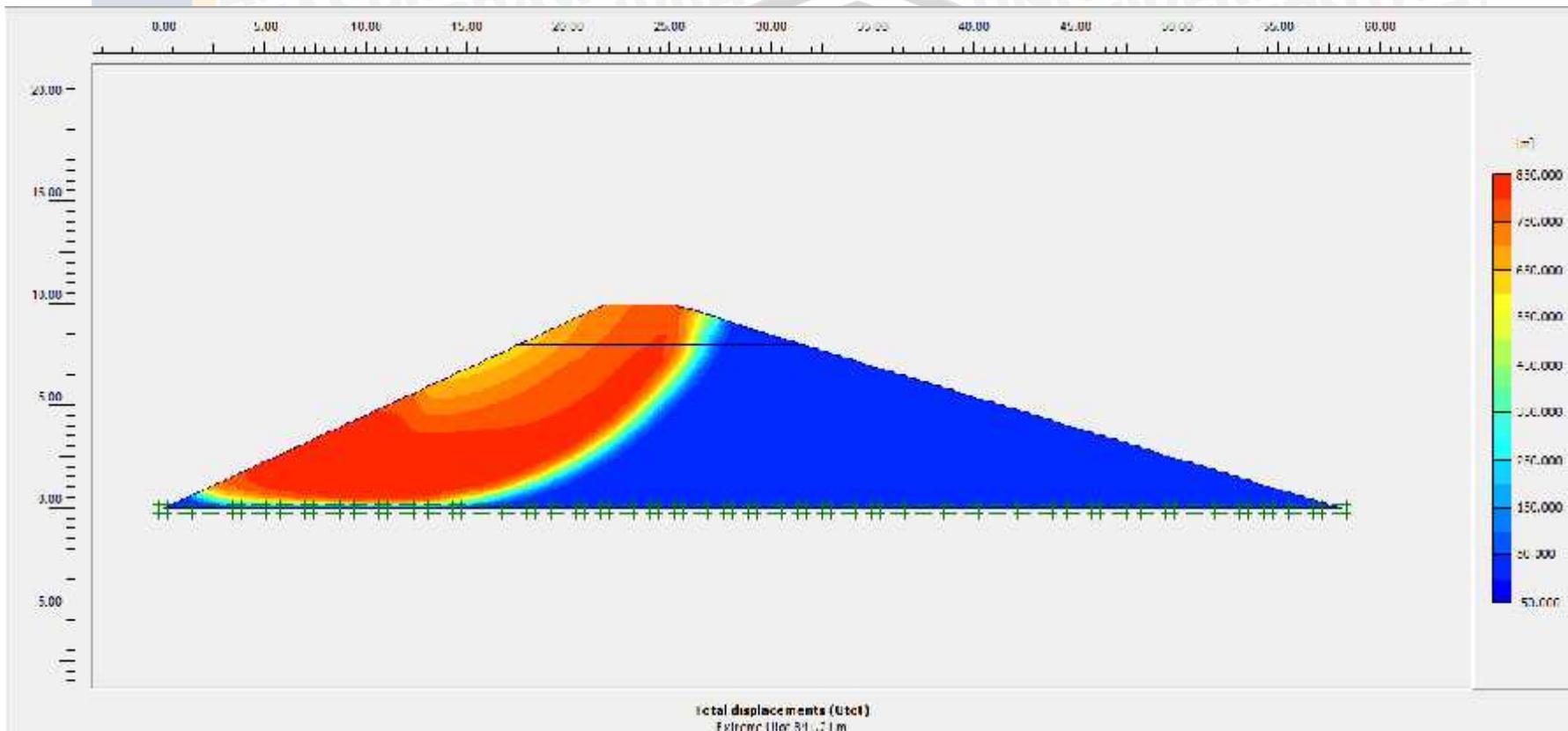
Dari analisa yang dilakukan pada bagian waduk kosong dengan gempa menunjukkan bahwa parameter gempa mempengaruhi angka-angka dari perpindahan dari masing-masing bagian bendungan. Bagian kanan, kiri maupun tengah menunjukkan bahwa perpindahan arah horizontal yang mempunyai perpindahan yang besar hal itu dikarenakan waduk kosong sehingga air yang seharusnya membantu bendungan untuk tetap stabil berkurang. Dari pengamatan di lapangan yang telah dilakukan benar adanya bila bendungan prijetan harus tetap berisi 500.000 m<sup>3</sup> untuk membantu kestabilan bangunan itu sendiri.

Menurut Permadi dan Fajar (2014) kondisi material bukan merupakan penyebab terjadinya kelongsoran melainkan kondisi yang diperlukan agar longsor dapat terjadi. Meskipun material pada lereng mempunyai kuat geser yang cukup lemah, longsor tidak akan terjadi apabila tidak ada proses-proses pemicu longsor yang bekerja seperti gempa. Hal yang disebutkan diatas sesuai dengan hasil analisis yang telah saya lakukan bahwa nilai *Total Displacement* berbeda antara sebelum dan sesudah adanya penambahan faktor gempa.



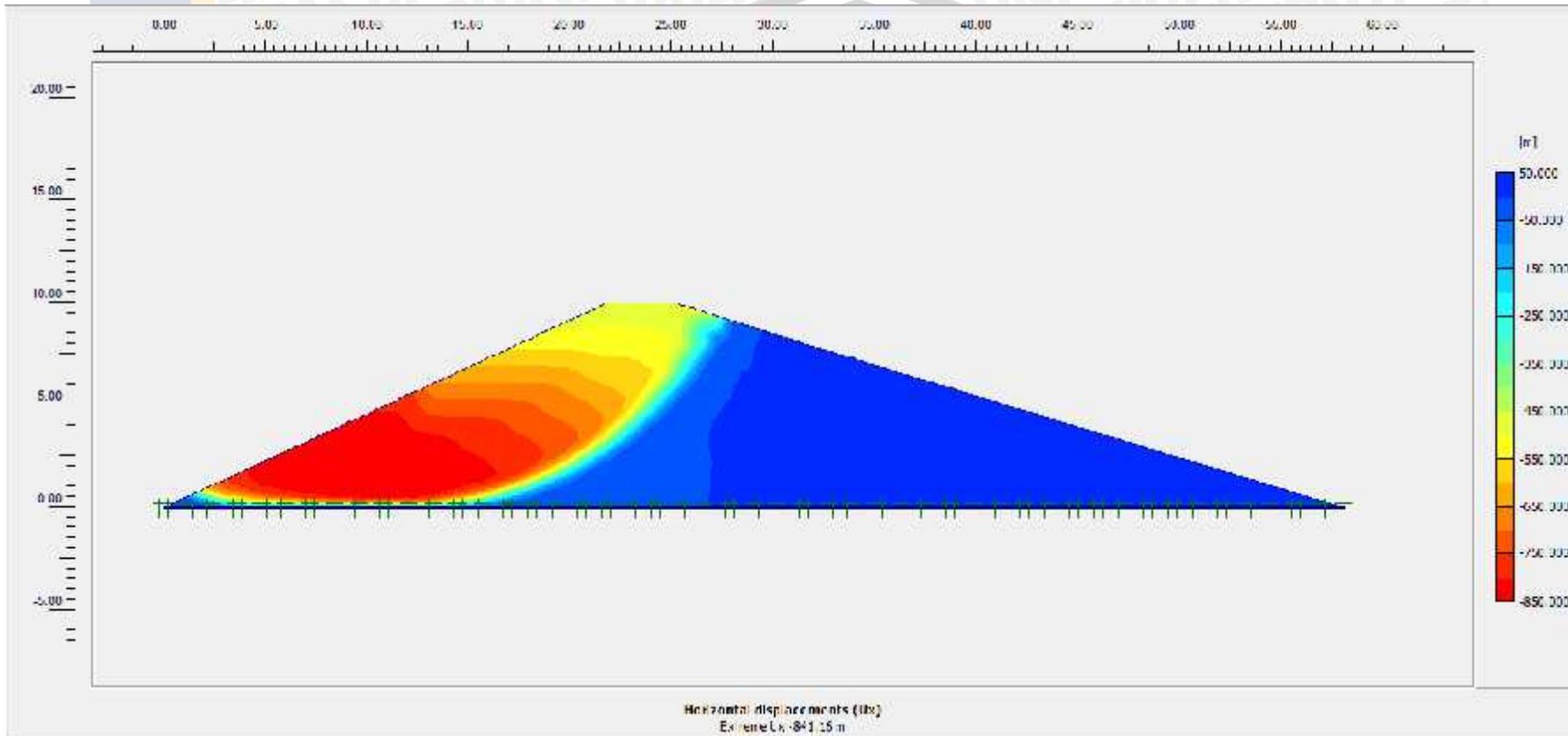
Gambar 4.36 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong dengan Gempa ( $SF = 2.3665$ )

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

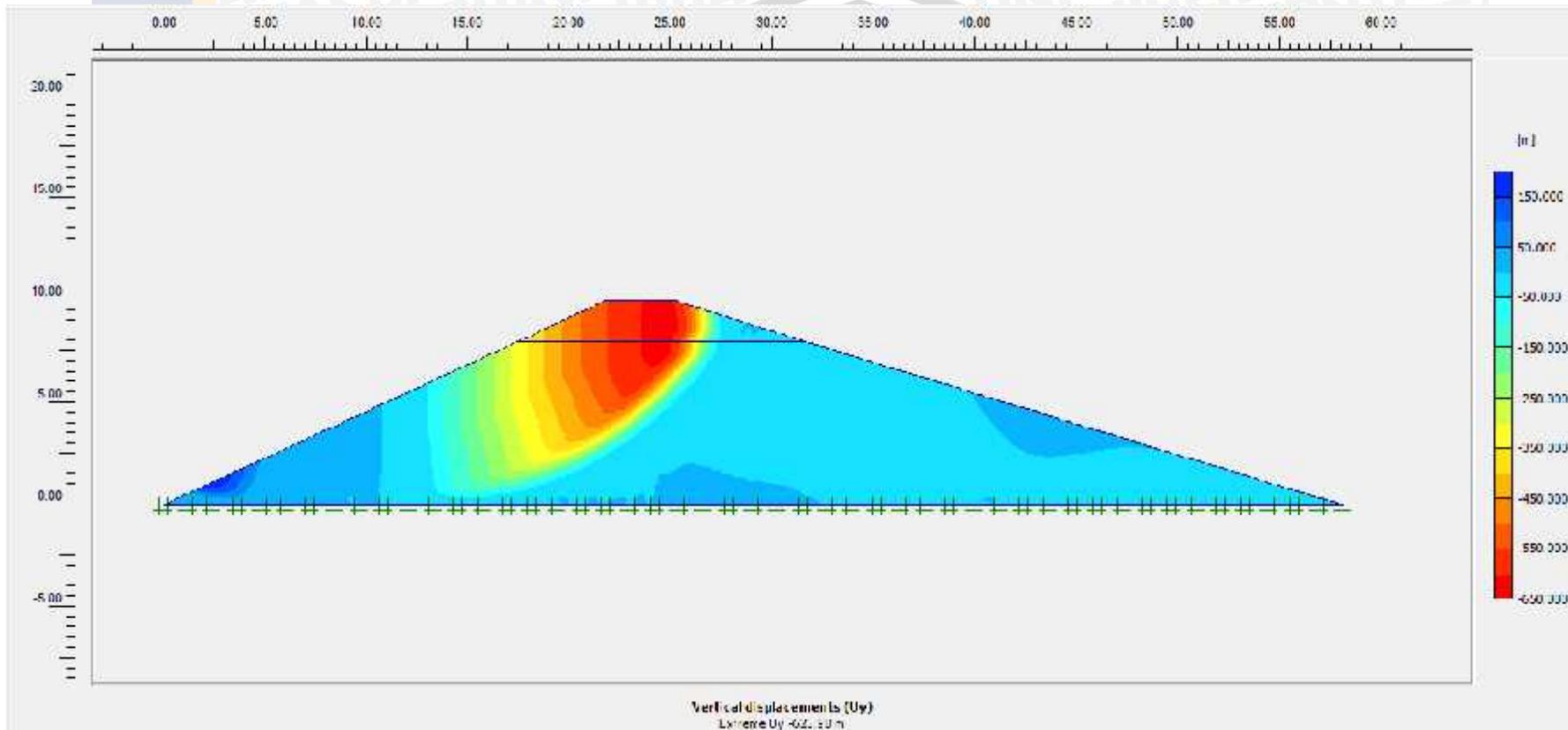


Gambar 4.37 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 2.3665)

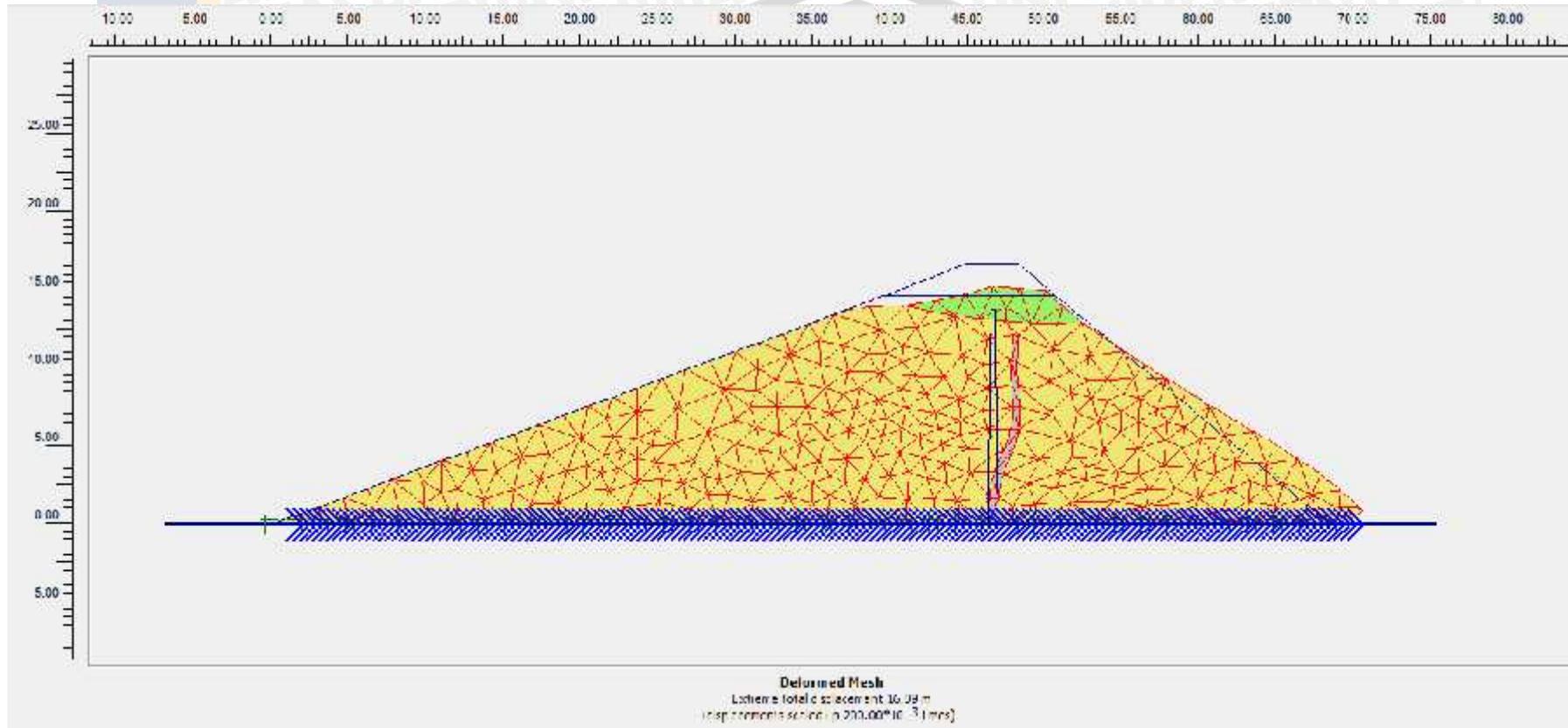
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.38 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 2.3665)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

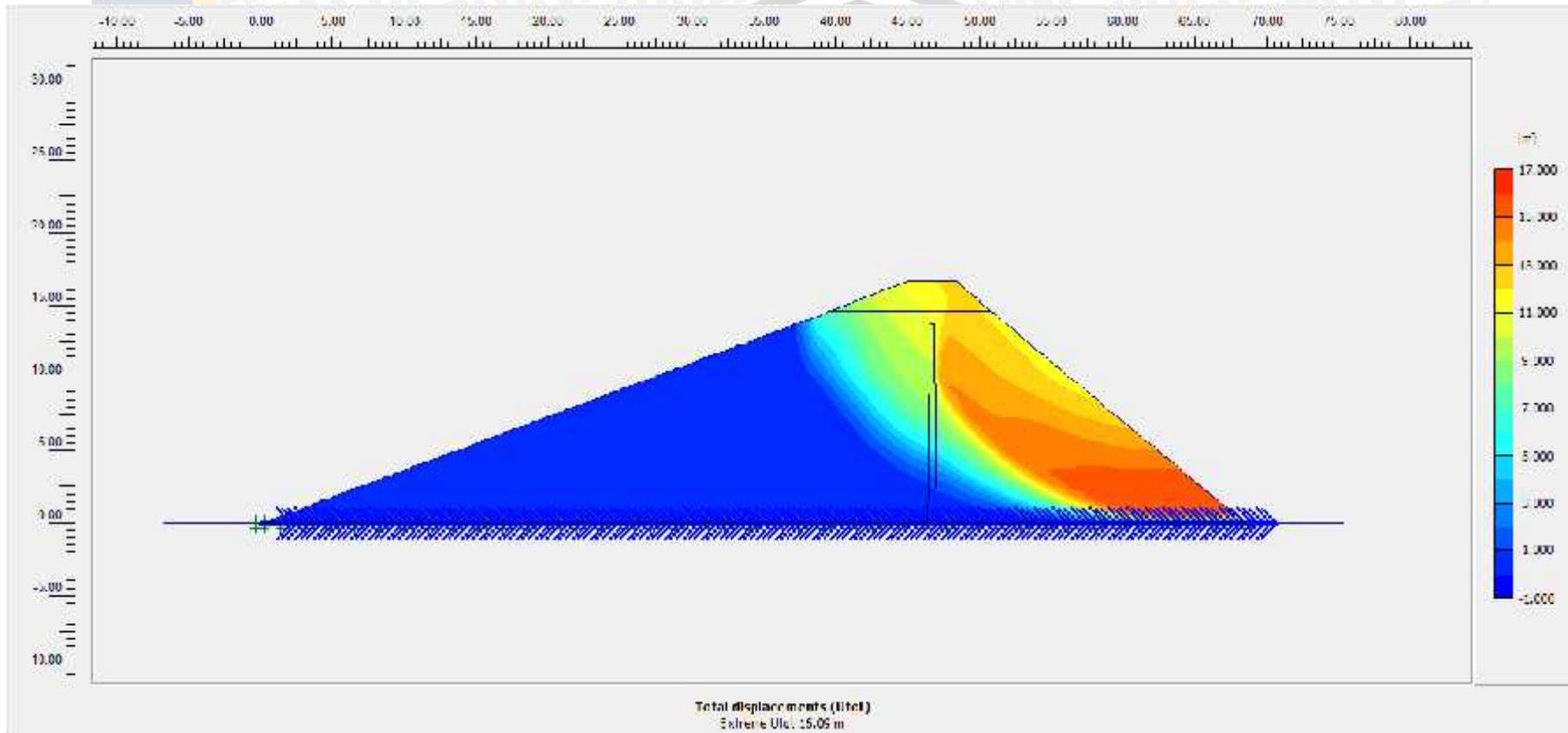


Gambar 4.39 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 2.3665)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



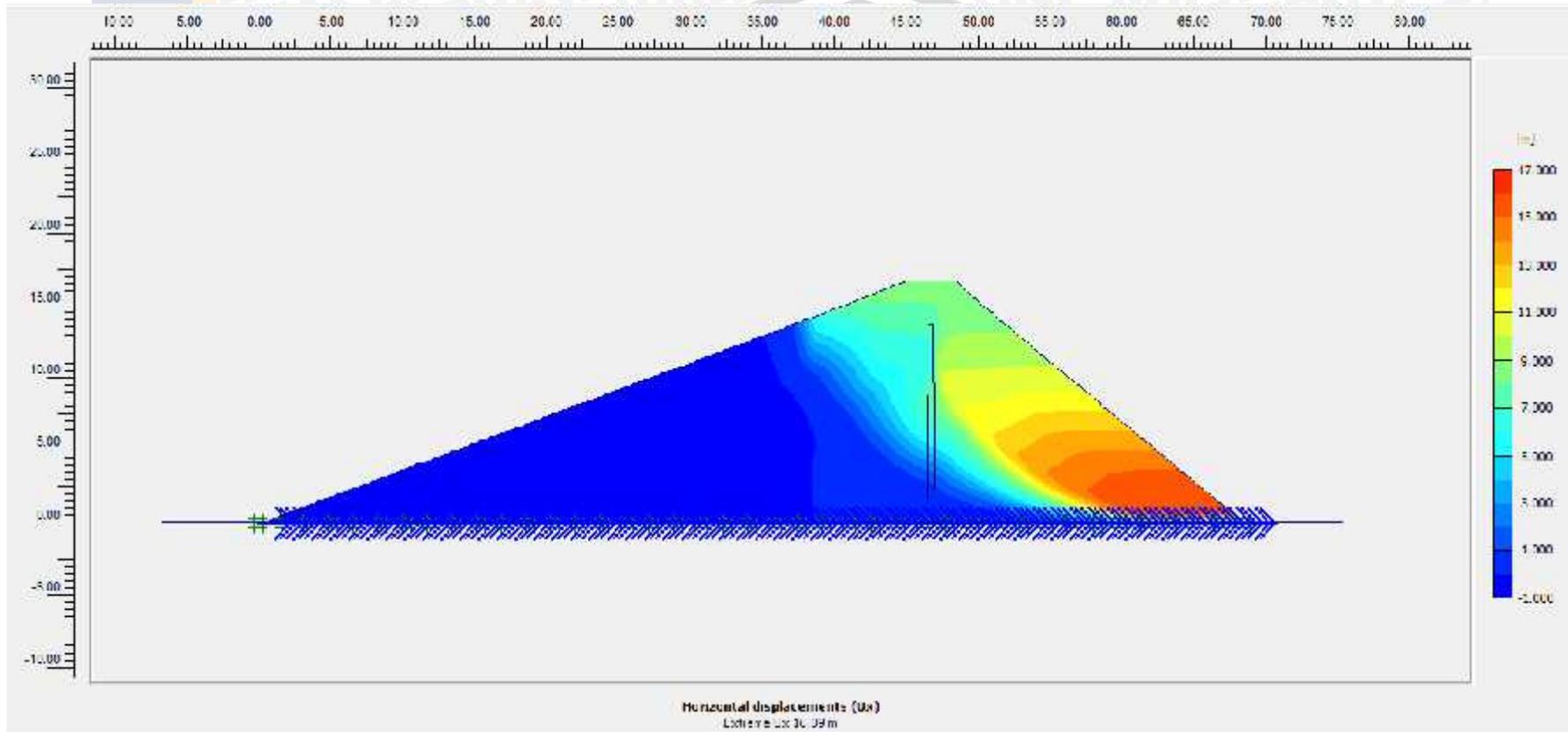
Gambar 4.40 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 1.2302)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

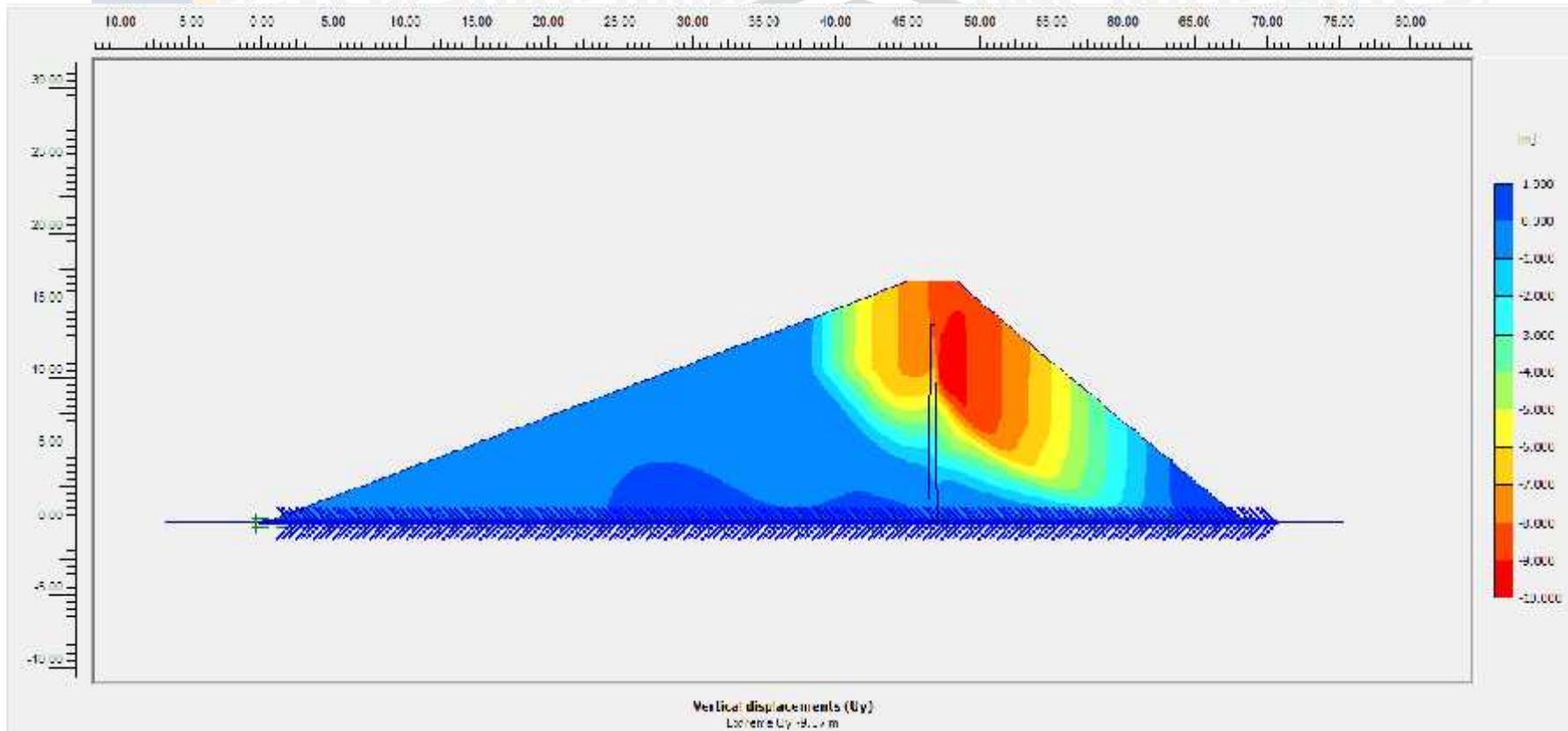


Gambar 4.41 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 1.2302)

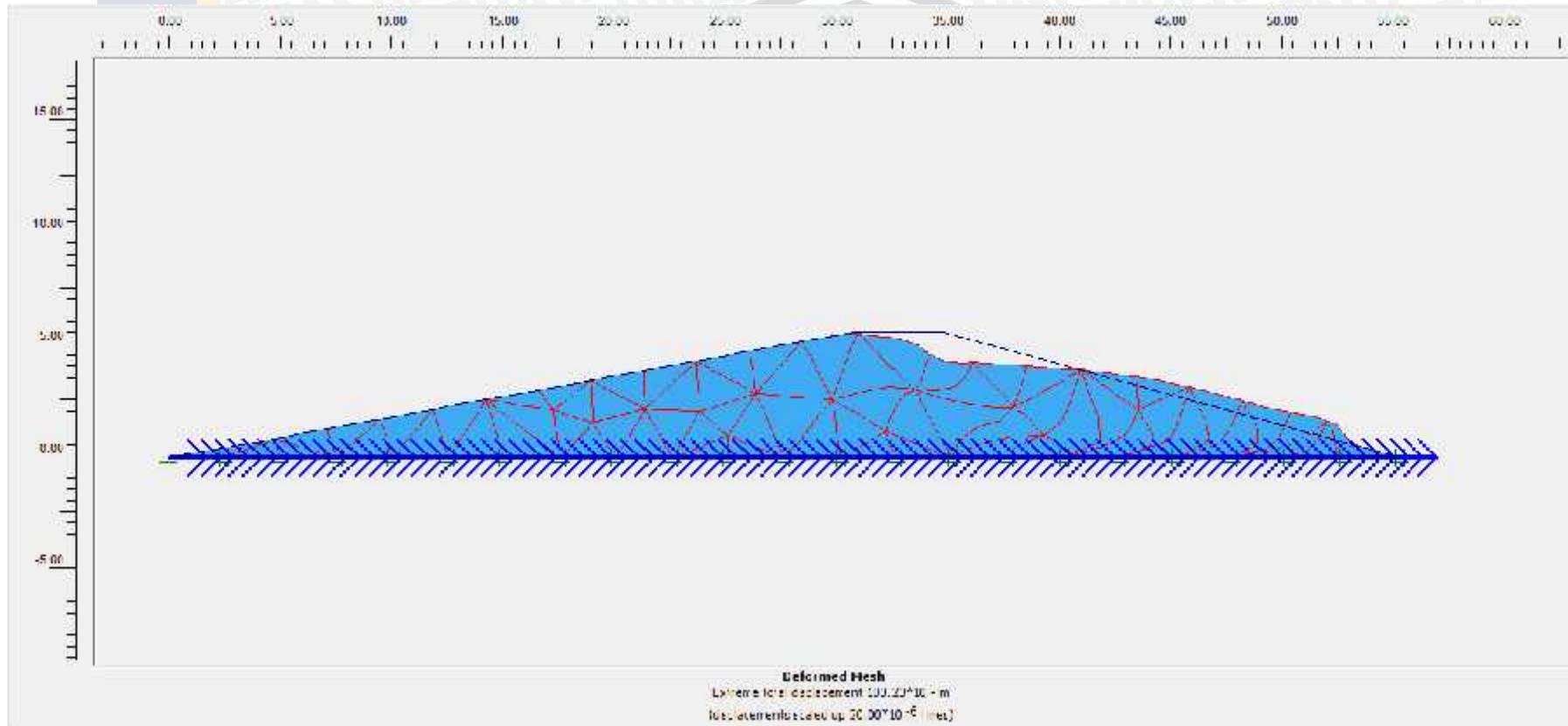
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



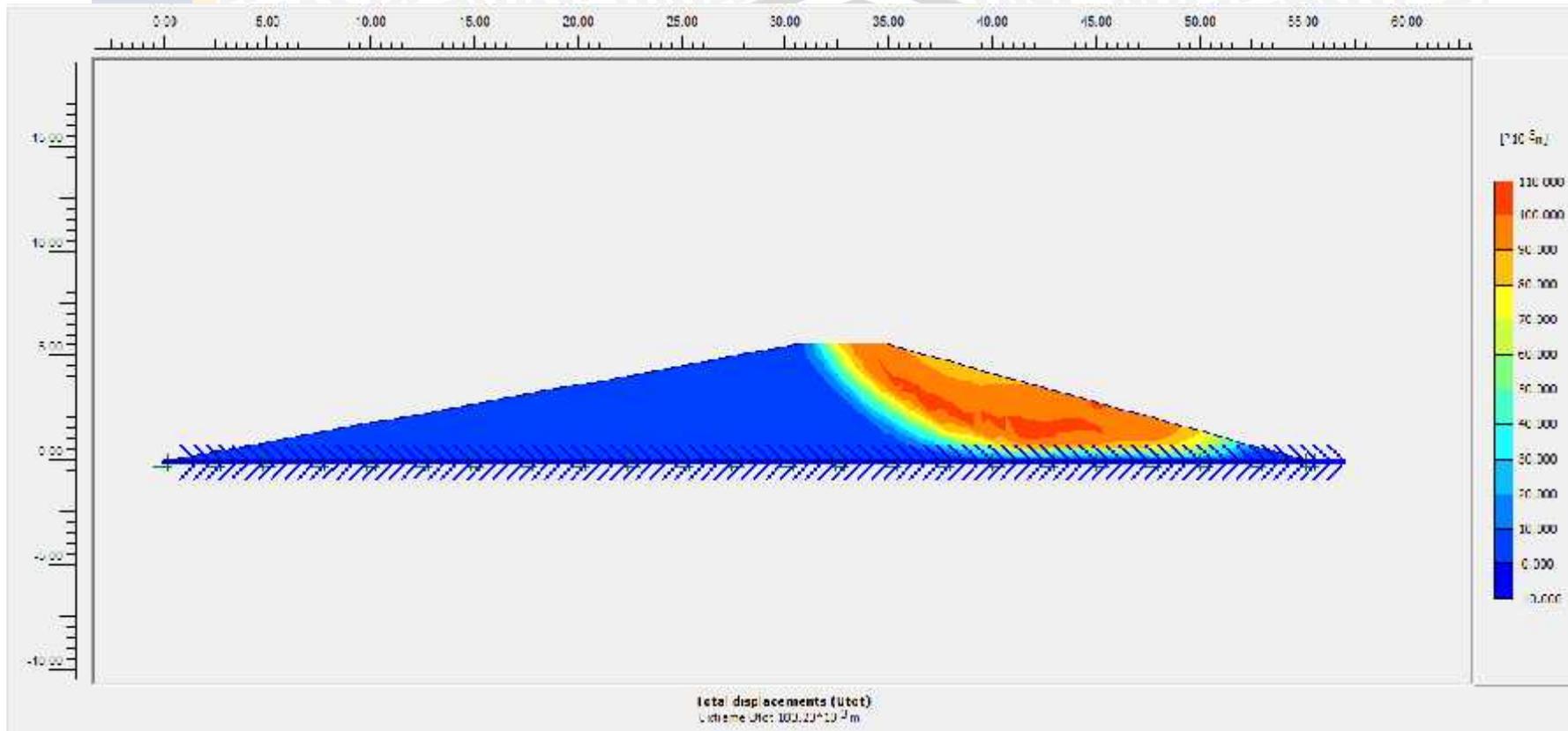
Gambar 4.42 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 1.2302)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.43 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 1.2302)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

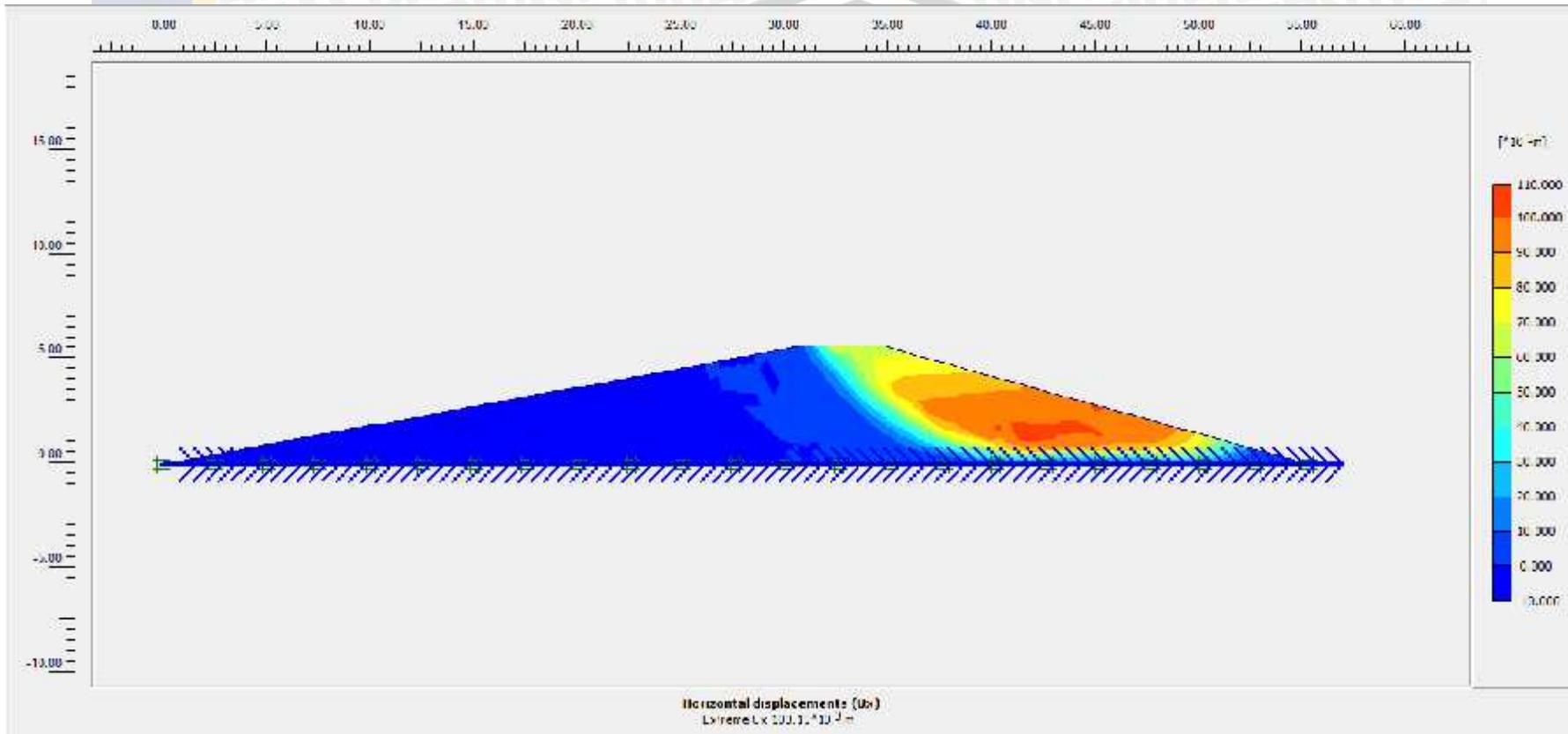


Gambar 4.44 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong dengan Gempa ( $SF = 2.9282$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

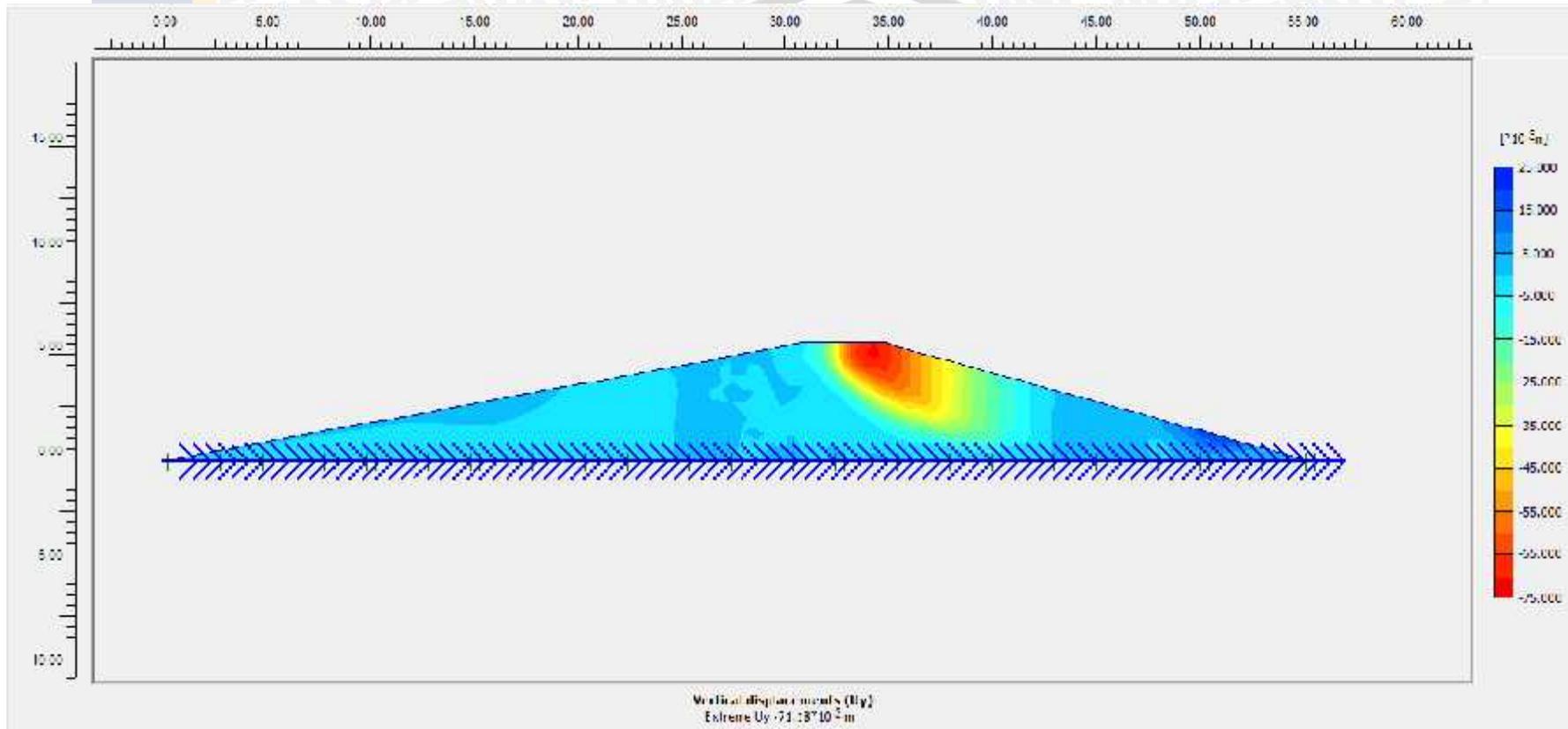


Gambar 4.45 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 2.9282)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.46 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 2.9282)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.47 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Kosong dengan Gempa (SF = 2.9282)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.4.3. Kondisi Waduk Air Normal Tanpa Gempa

Pada inspeksi yang dilakukan pada Bendungan Prijetan didapat tinggi muka air normal +49.00. Lalu dilakukan analisa pada bendungan pada kondisi air normal untuk mengetahui stabilitas bendungan untuk mengetahui kestabilan pada saat air normal tersebut.

Analisa yang dilakukan pada berbagai bagian dari Bendungan Prijetan. Berikut analisa yang dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng waduk pada kondisi air normal tanpa gempa dengan menggunakan aplikasi *Plaxis 2* dimensi.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar dan tabel di bawah sebagai berikut:

Tabel 4.21 Rekapitulasi Angka Keamanan Kondisi Air Normal Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | Angka Keamanan | Status |
|-------------------|----------------|--------|
| Kanan Air Normal  | 2.2275         | Aman   |
| Kiri Air Normal   | 3.1197         | Aman   |
| Tengah Air Normal | 1.5991         | Aman   |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.22 Rekapitulasi *Total Displacements* Kondisi Air Normal Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | <i>Total Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Normal  | 475.35                            | 4617         | 0.11                              |
| Kiri Air Normal   | $63.96 \times 10^3$               | 637          | 100.41                            |
| Tengah Air Normal | 12.29                             | 4493         | $2.74 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.23 Rekapitulasi *Horizontal Displacements* Kondisi Air Normal Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | <i>Horizontal Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------|--|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Normal  | 475.29                                 | 4617         | 0.11                              |
| Kiri Air Normal   | $63.71 \times 10^3$                    | 637          | 100.41                            |
| Tengah Air Normal | 12.29                                  | 4493         | $2.74 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.24 Rekapitulasi *Vertical Displacements* Kondisi Air Normal Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | <i>Vertical Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Normal  | 331.40                               | 4617         | 0.08                              |
| Kiri Air Normal   | $47.63 \times 10^3$                  | 637          | 74.78                             |
| Tengah Air Normal | 6.05                                 | 4493         | $1.34 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

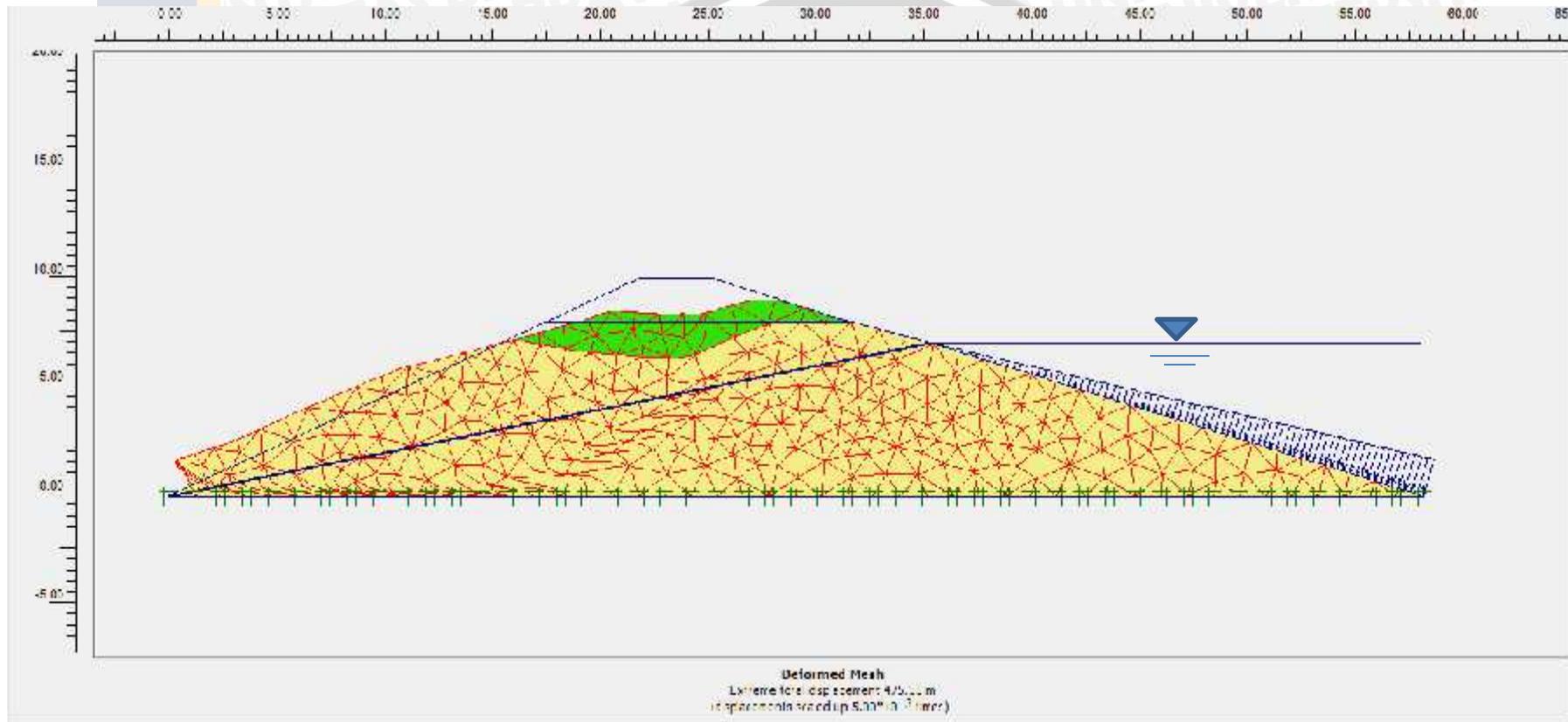
Total perpindahan yang di rekapitulasi pada tabel 4.22 menjelaskan bahwa pada bagian kiri mempunyai angka perpindahan yang besar sedangkan pada bagian tengah menunjukkan sebaliknya. Meskipun sudah ada air dalam tampungan tetap saja perpindahan pada bagian kanan masih besar.

Perpindahan tanah yang besar juga terjadi pada arah horizontal dari bendungan itu sendiri yang dapat dilihat pada tabel 4.23. Perpindahan arah horizontal ini semakin memperkuat pernyataan bahwa bagian kiri mengalami angka perpindahan yang besar begitu pula dengan bagian tengah yang relatif kecil. Air yang mempunyai tinggi normal pada bendungan ini sedikit membantu dari besar perpindahan ini dibanding dengan waduk pada kondisi kosong tanpa gempa maupun dengan gempa.

Pergerakan arah vertikal tanah juga mengalami hal yang serupa setelah adanya air yang berada di tampungan dengan elevasi +49.00 sesuai dengan tabel 4.24. Dari hasil yang didapat setelah dilakukan analisis menunjukkan bahwa pergerakan tanah menurun setelah ditambah air pada analisa waduk dengan tinggi muka air normal ini, hal ini menunjukkan bahwa air yang berada pada tampungan membantu bendungan untuk tetap stabil.

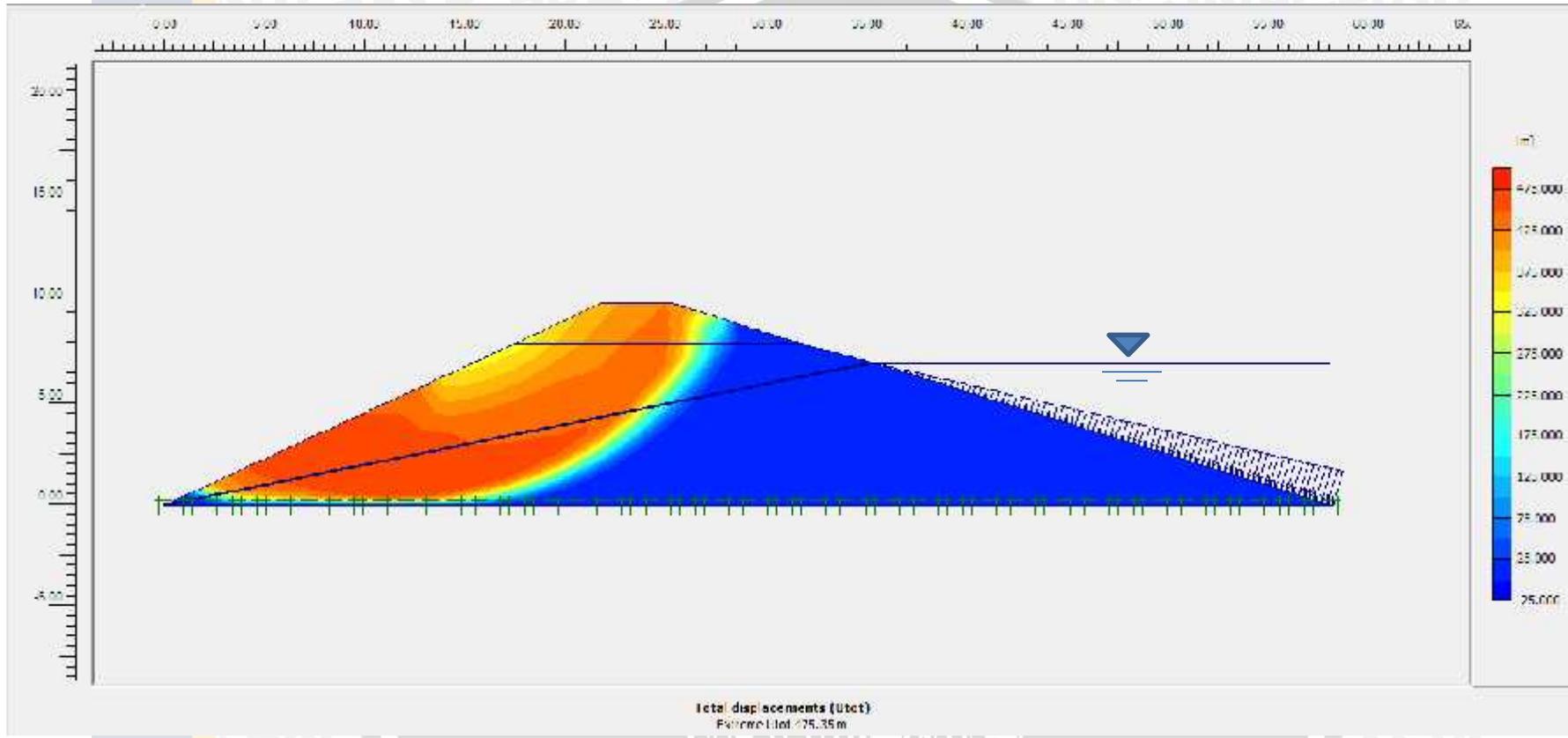
Dari analisa yang dilakukan pada waduk kosong dengan tinggi muka air normal ini dapat dikatakan aman yang sesuai dengan tabel 4.21, dimana angka keamanan mulai meningkat atau dapat dikatakan menjauhi dari angka keamanan standar yaitu 1.2, hal itu membuktikan bahwa tekanan air yang berada dalam tampungan membantu bendungan untuk lebih stabil dalam stabilitas lerengnya. Aplikasi *plaxis* ini dalam mencari angka keamanan dengan cara mengurangi perkuatan tanah dalam hal ini kohesi tanah serta sudut geser tanah direduksi, sehingga dapat disimpulkan bahwa air dapat membantu mengurangi reduksi dari tanah pada konstruksi bendungan.

Menurut forum Geoteknik Indonesia aplikasi *plaxis* yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng menghasilkan nilai keamanan yang dipengaruhi oleh deformasi suatu bangunan, maksud dari hal itu adalah faktor keamanan yang diperoleh setelah dilakukan analisis setelah adanya beban runtuh dari bendungan tersebut yang ditambah dengan pengaruh muka air yang ada pada tampungannya. Nilai keamanan tersebut belum tentu dinyatakan aman atau tidak aman dikarenakan nilai kemannya keluar setelah terjadi deformasi dari bendungan tersebut.

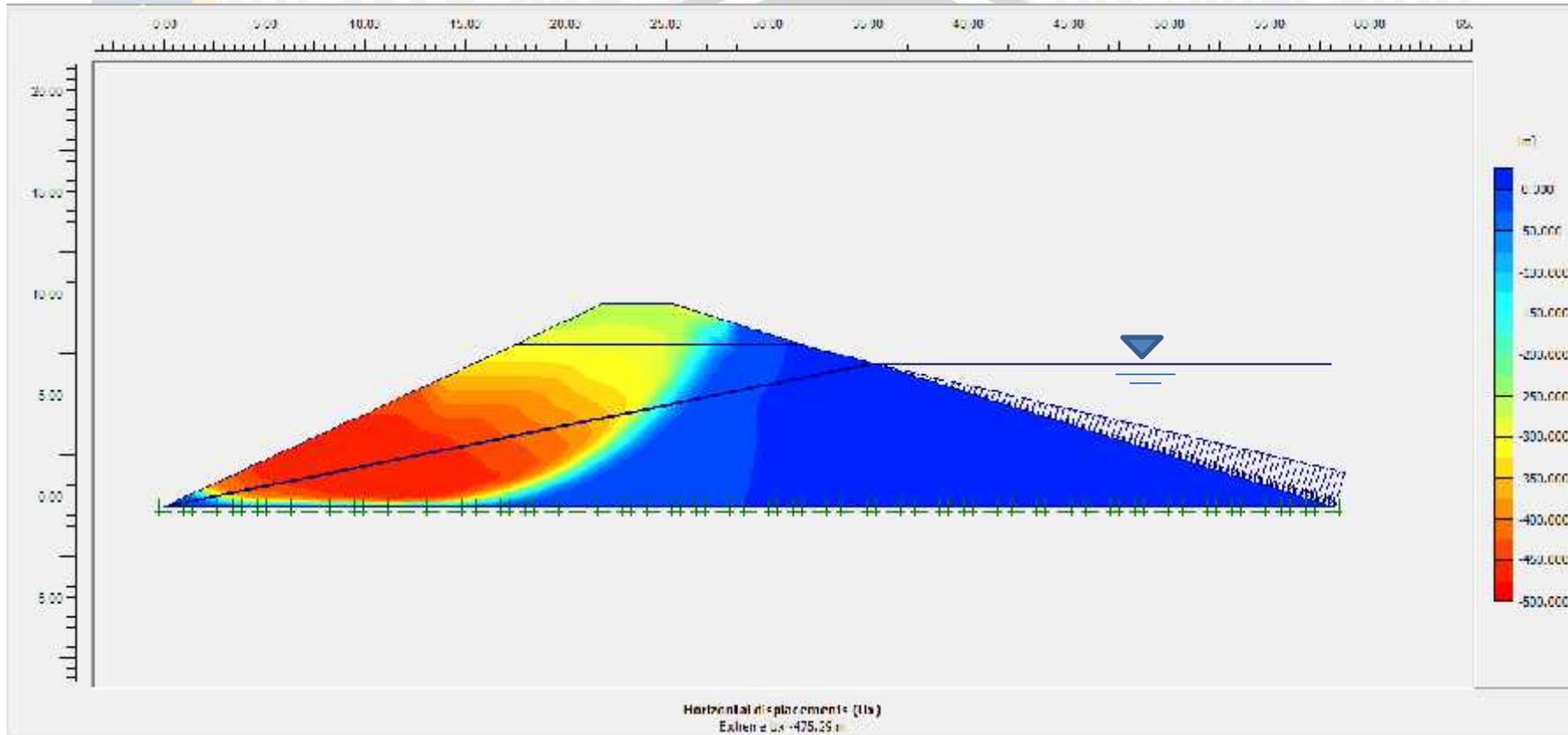


Gambar 4.48 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal Tanpa Gempa ( $SF = 2.2275$ )

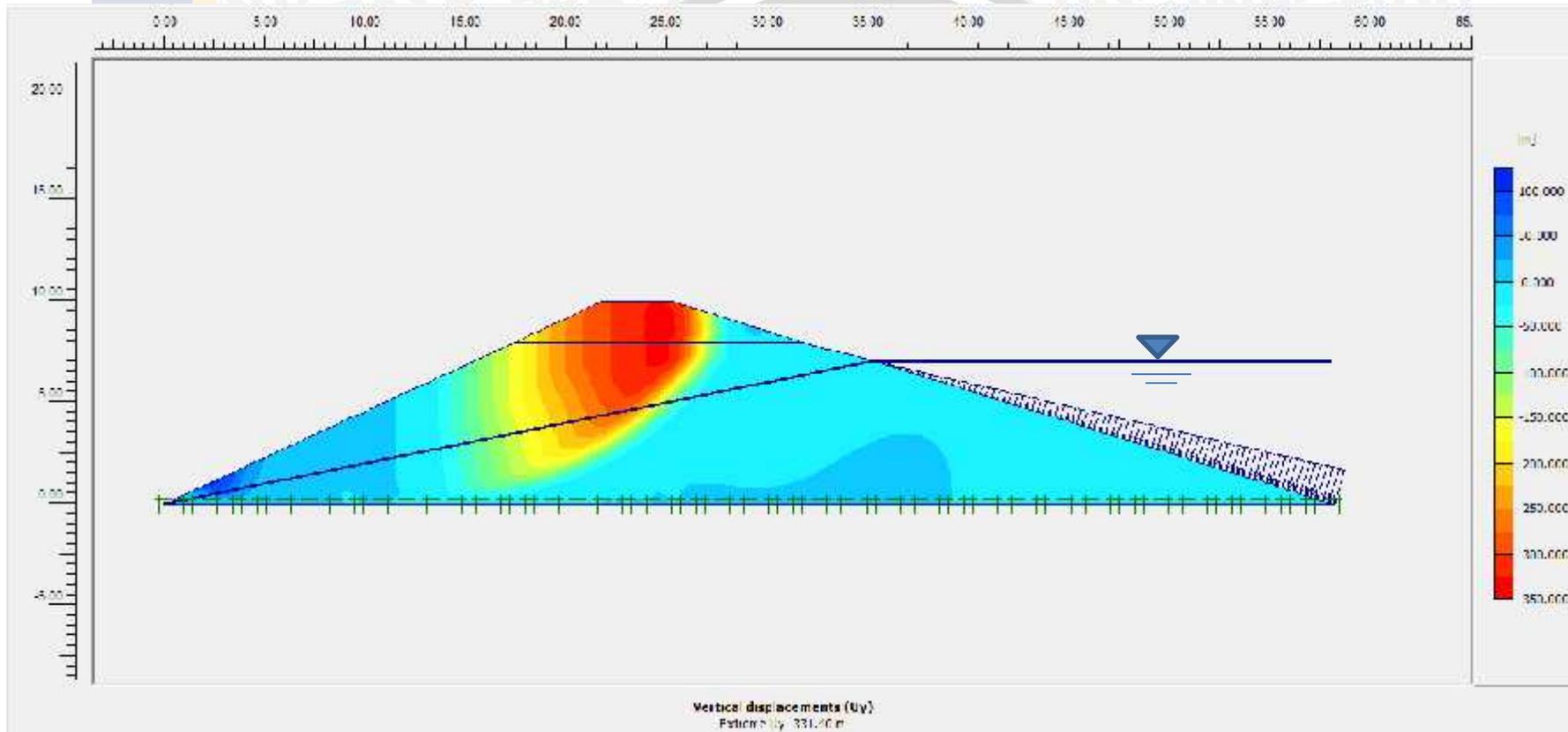
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



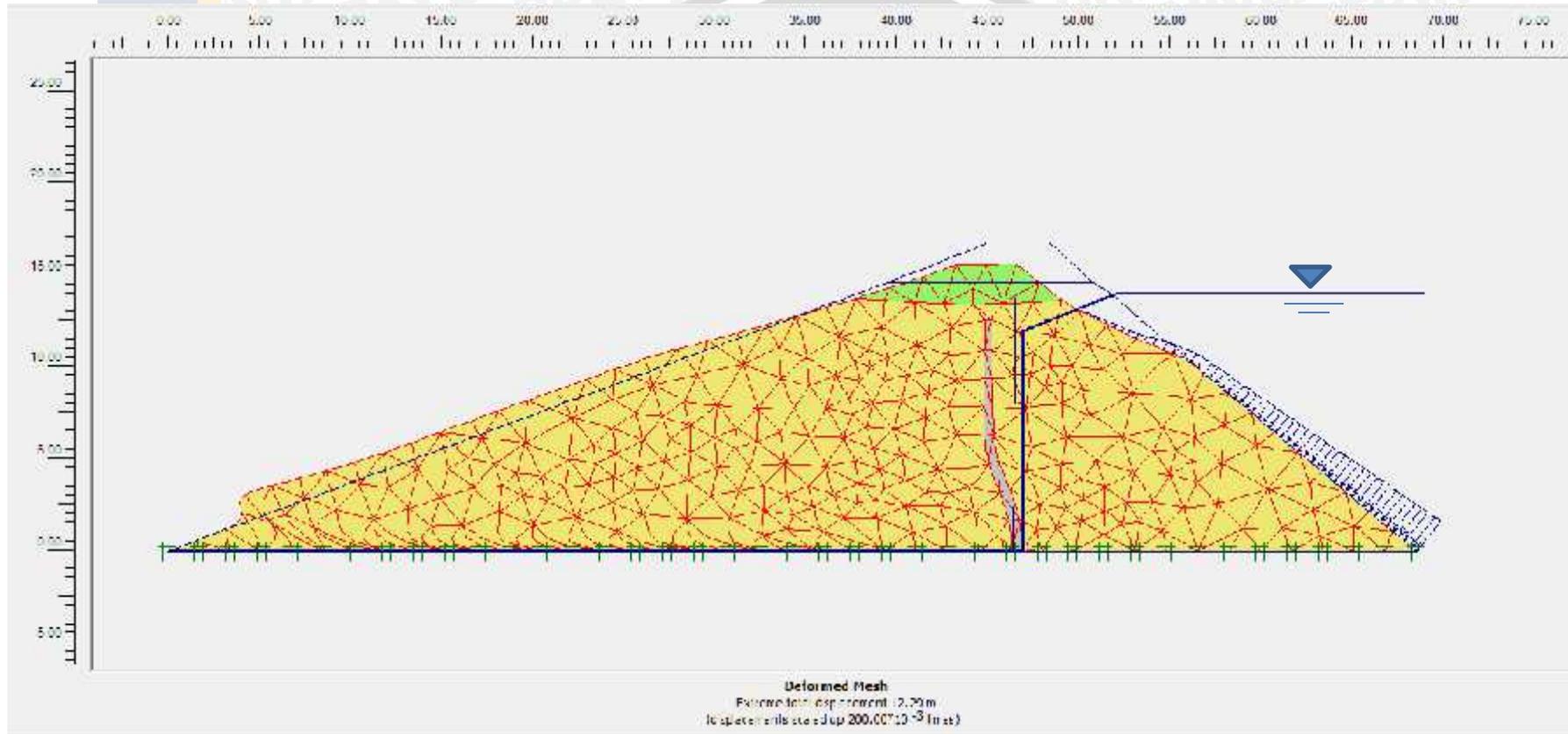
Gambar 4.49 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 2.2275)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



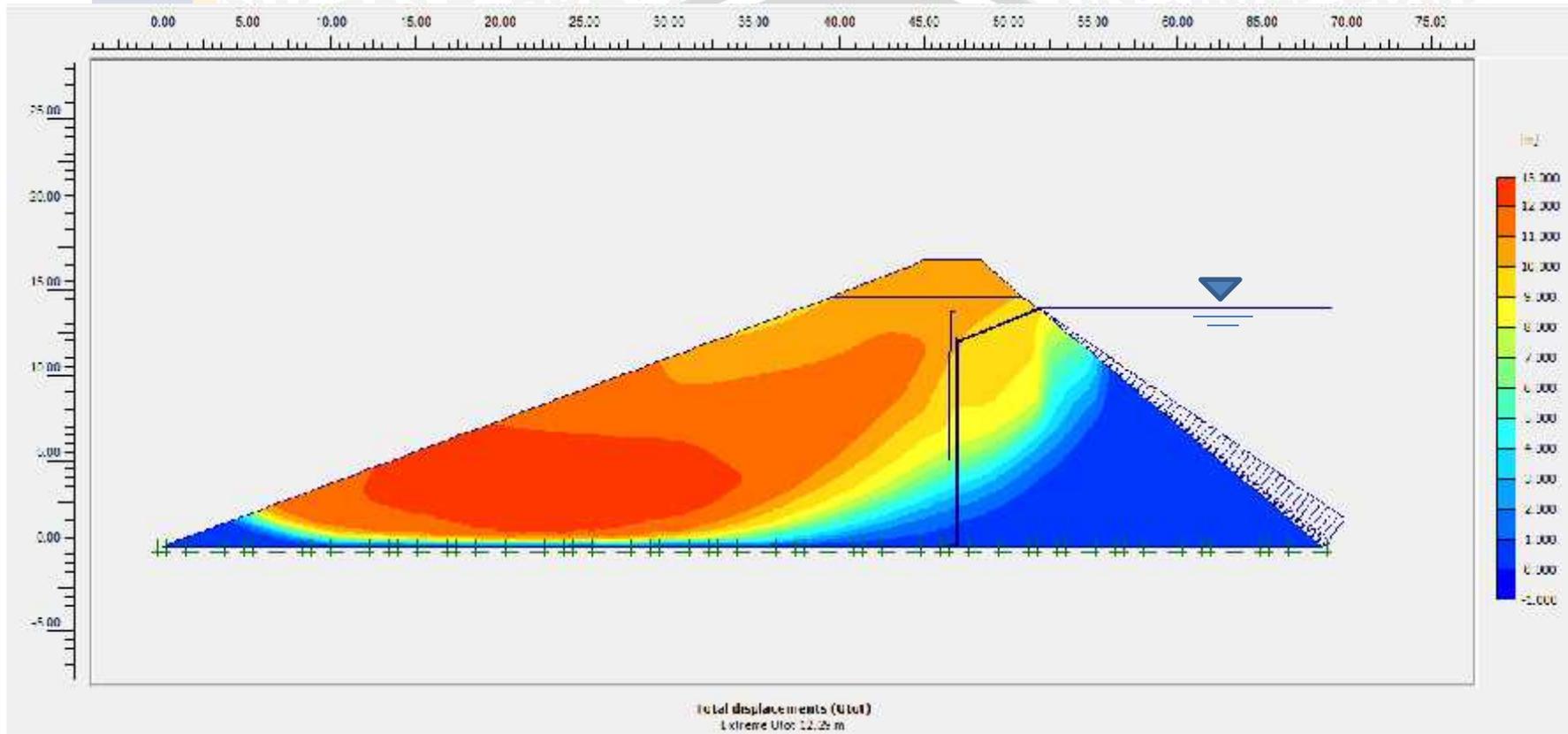
Gambar 4.50 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal Tanpa Gempa ( $SF = 2.2275$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.51 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 2.2275)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

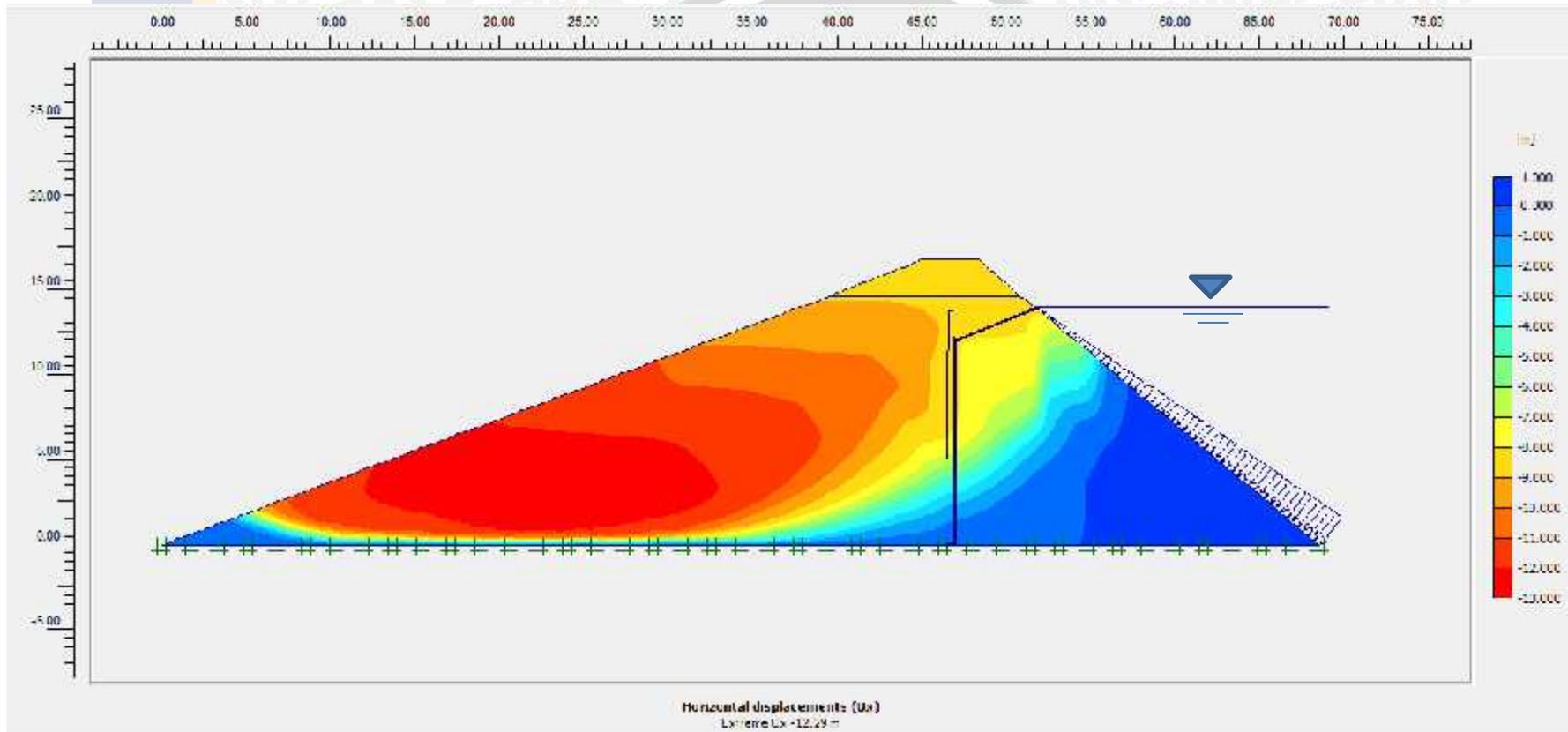


Gambar 4.52 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal Tanpa Gempa ( $SF = 1.5991$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

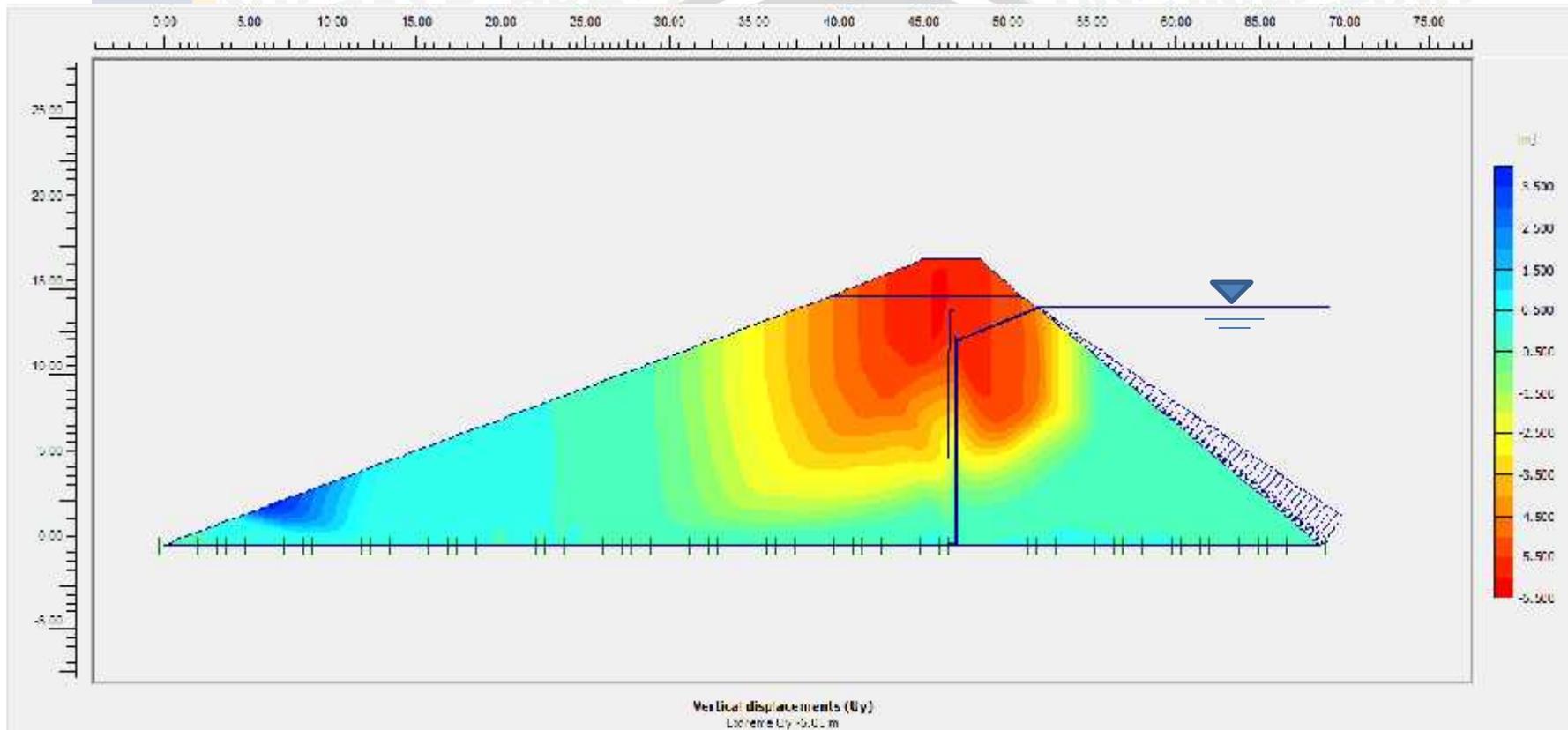


Gambar 4.53 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 1.5991)

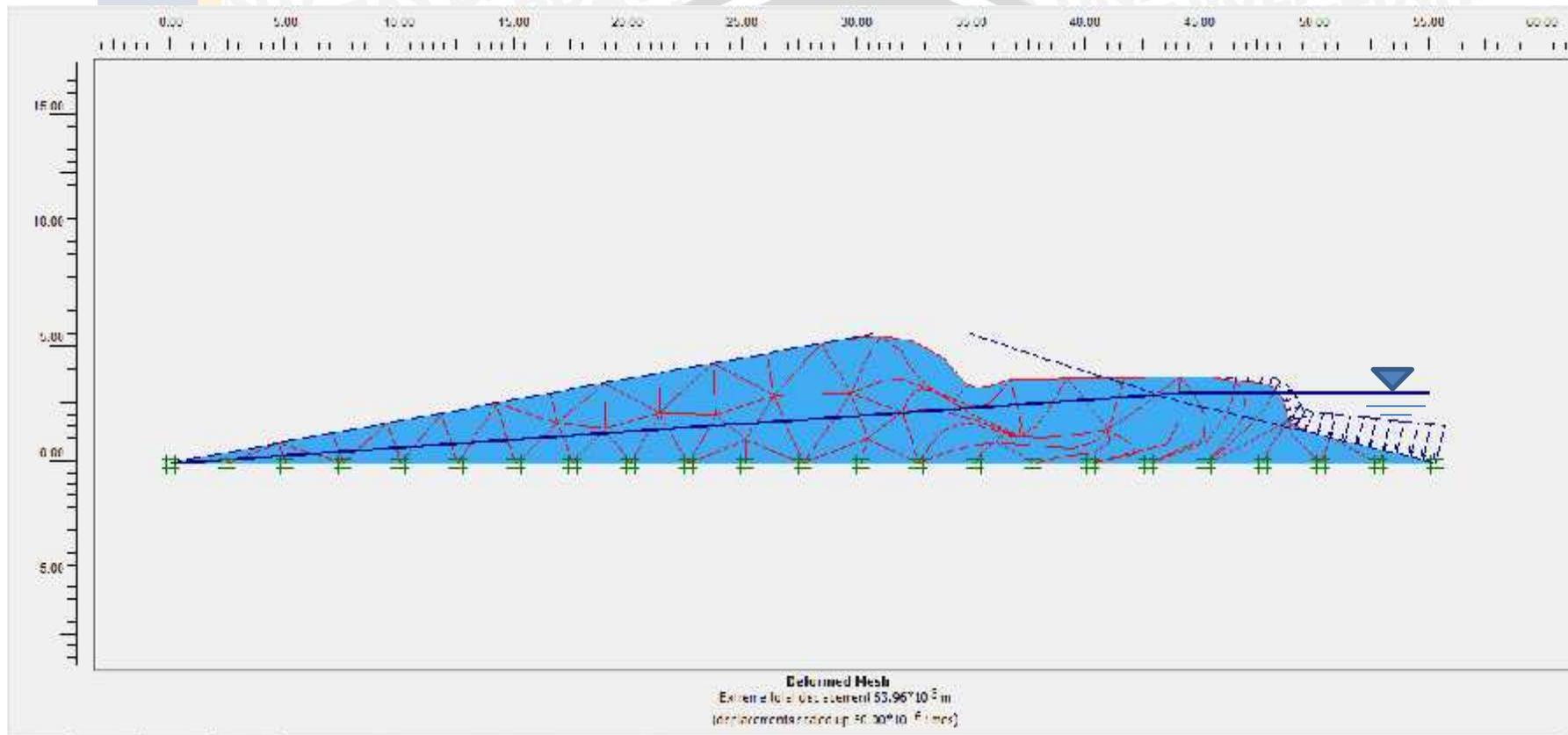
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



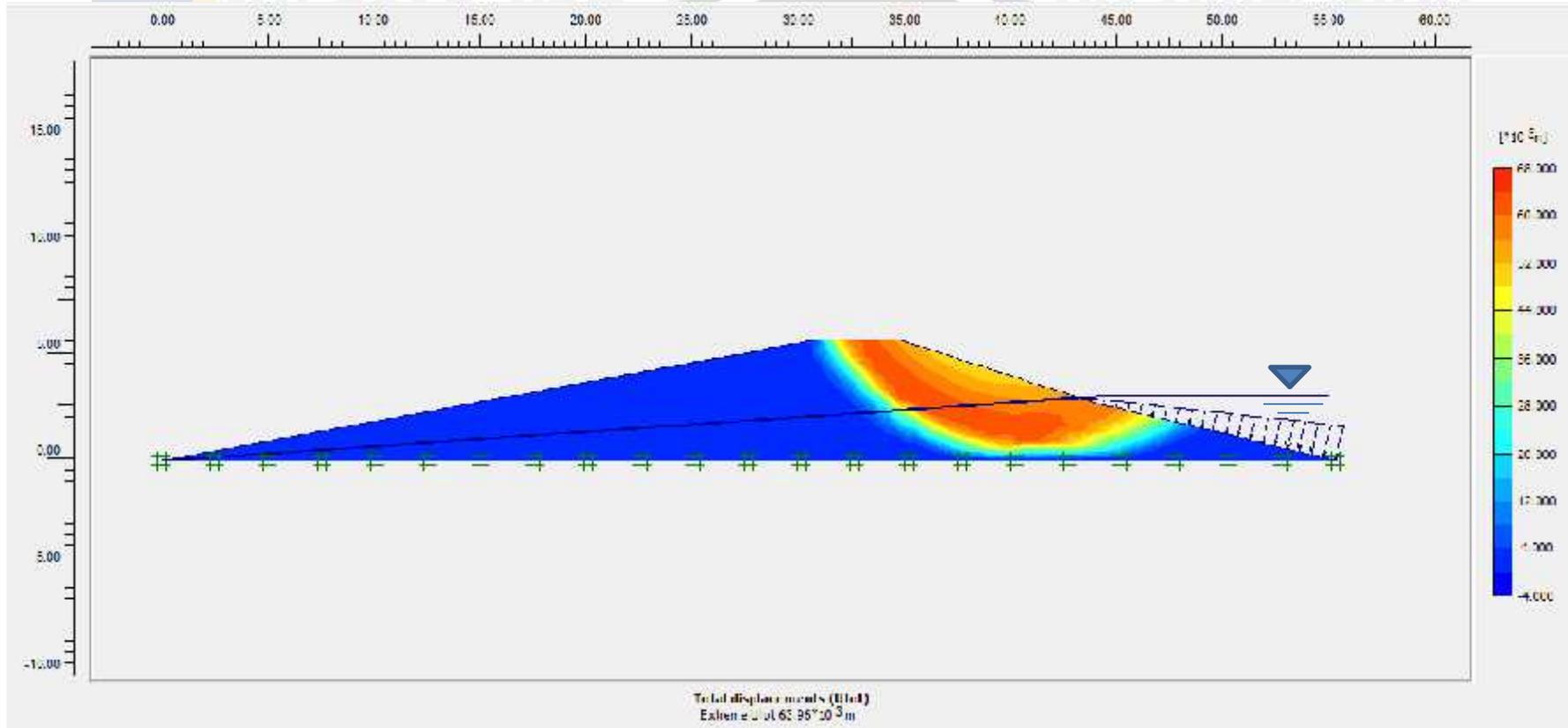
Gambar 4.54 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 1.5991)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.55 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 1.5991)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

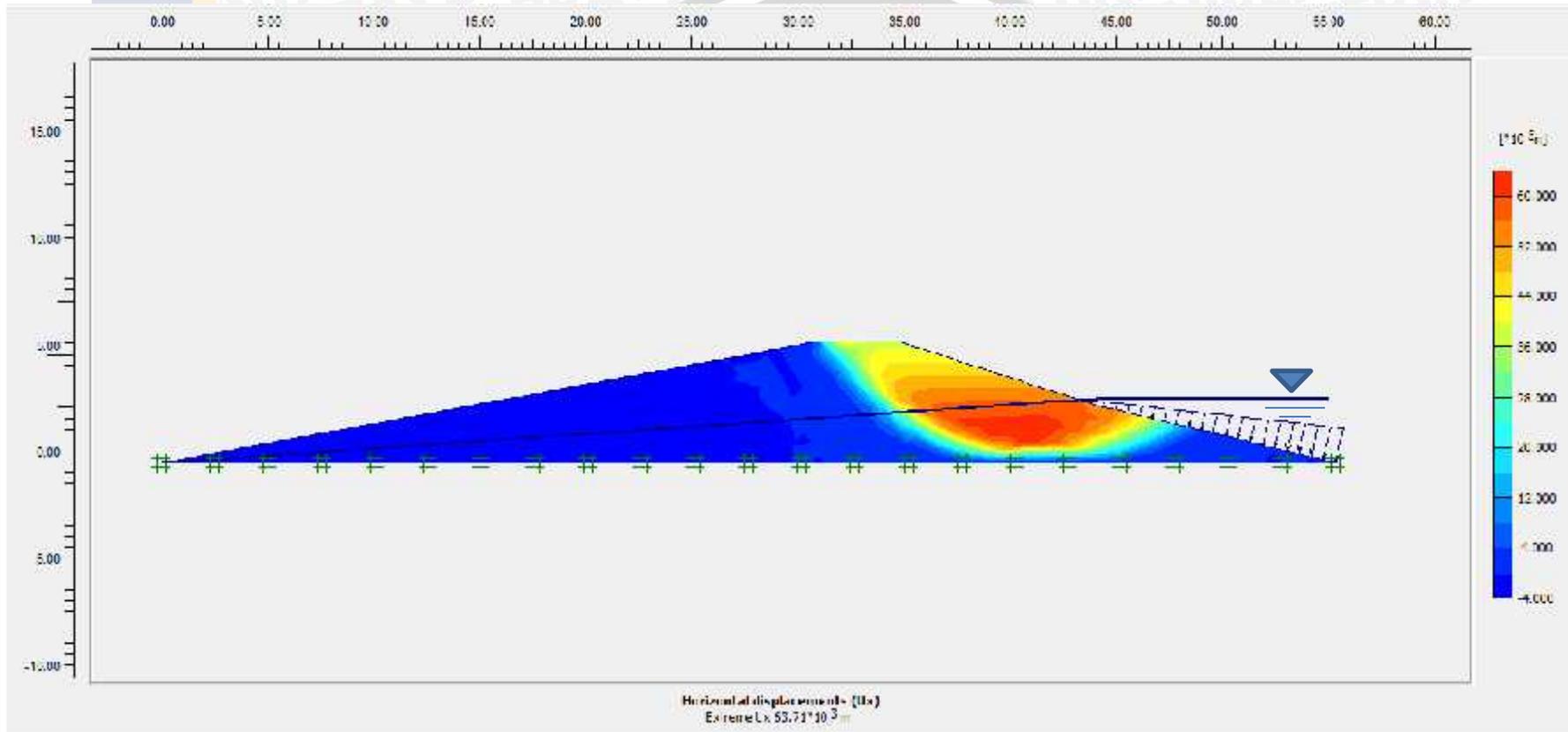


Gambar 4.56 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal Tanpa Gempa ( $SF = 3.1197$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

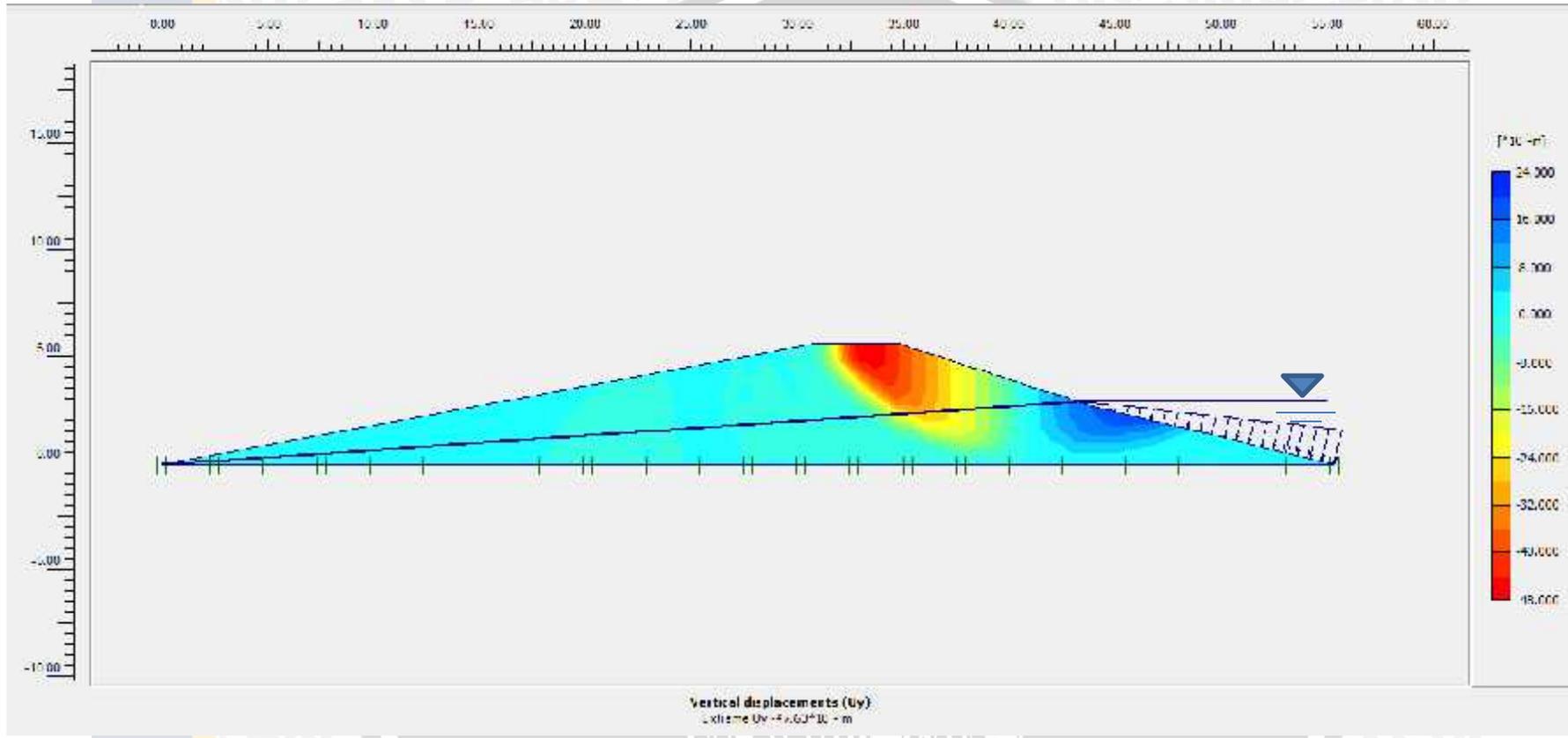


Gambar 4.57 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 3.1197)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.58 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 3.1197)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.59 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal Tanpa Gempa (SF = 3.1197)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.4.4 Kondisi Waduk Air Normal Dengan Gempa

Analisa yang dilakukan dengan tinggi muka air normal menyebutkan bahwa air yang berada pada tampungan dapat membantu faktor keamanan bendungan meningkat. Pada analisa berikutnya akan dilakukan dengan parameter gempa untuk melihat faktor keamanan bendungan tersebut apakah masih sesuai dengan faktor keamanan standart.

Analisa yang dilakukan pada berbagai bagian dari Bendungan Prijetan. Berikut analisa yang dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng waduk pada kondisi air normal dengan gempa dengan menggunakan aplikasi *Plaxis* 2 dimensi.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar dan tabel dibawah sebagai berikut:

Tabel 4.25 Rekapitulasi Angka Keamanan Kondisi Air Normal Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | Angka Keamanan | Status |
|-------------------------|----------------|--------|
| Kanan Air Normal Gempa  | 2.2280         | Aman   |
| Kiri Air Normal Gempa   | 3.1196         | Aman   |
| Tengah Air Normal Gempa | 1.6026         | Aman   |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.26 Rekapitulasi *Total Displacements* Kondisi Air Normal Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | <i>Total Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Normal Gempa  | 784.84                            | 4617         | 0.169                             |
| Kiri Air Normal Gempa   | $120.70 \times 10^3$              | 637          | 189.48                            |
| Tengah Air Normal Gempa | 12.52                             | 4493         | $2.78 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.27 Rekapitulasi *Horizontal Displacements* Kondisi Air Normal Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | <i>Horizontal Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------------|--|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Normal Gempa  | 784.75                                 | 4617         | 0.169                             |
| Kiri Air Normal Gempa   | $120.21 \times 10^3$                   | 637          | 189.48                            |
| Tengah Air Normal Gempa | 12.51                                  | 4493         | $2.78 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.28 Rekapitulasi *Vertical Displacements* Kondisi Air Normal Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | <i>Vertical Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Normal Gempa  | 547.95                               | 4617         | 0.12                              |
| Kiri Air Normal Gempa   | $89.86 \times 10^3$                  | 637          | 141.07                            |
| Tengah Air Normal Gempa | 6.13                                 | 4493         | $1.36 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

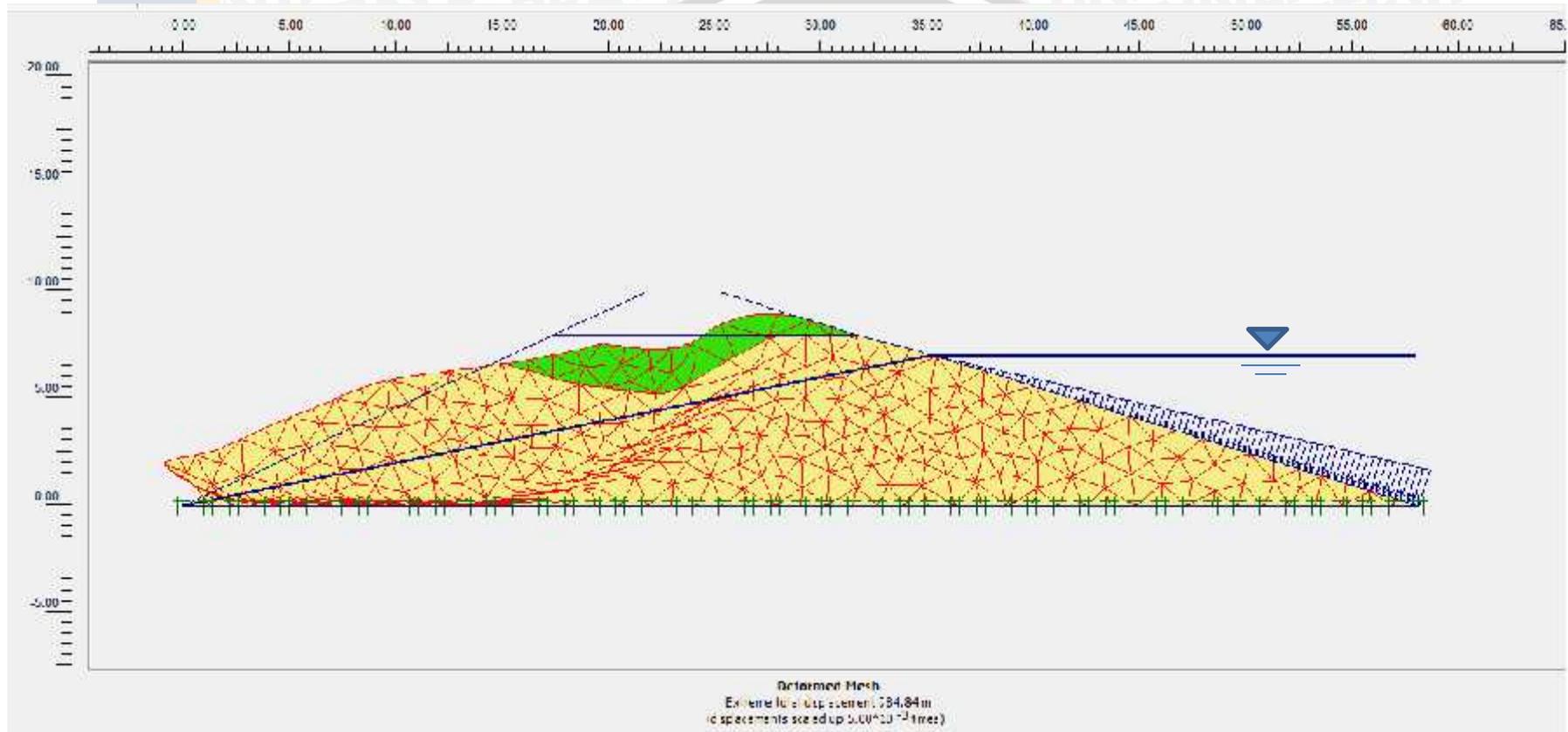
Hasil dari analisa menggunakan aplikasi *Plaxis* menunjukkan hasil dari *Total Displacements*. Dimana pada rekapitulasi yang dilakukan terlihat pada tabel 4.26 menunjukkan bahwa nilai total dari perpindahan total dari bendungan menunjukkan hasil yang besar pada bagian kiri dari bendungan. Dari analisa yang telah dilakukan dari awal mempunyai hasil yang sama bahwa bagian kiri paling banyak mengalami perpindahan tanah.

Tabel 4.27 yang menunjukkan hasil dari analisa *Horizontal Displacements* menunjukkan bahwa arah horizontal tetap menjadi arah pergeseran tanah terbesar dibandingkan dengan arah vertikal meskipun sudah ditambah dengan parameter gempa tetap saja hal itu terjadi. Bagian kiri bendungan masih tetap menunjukkan angka yang paling besar dibandingkan dengan bagian kanan maupun tengah dari bendungan.

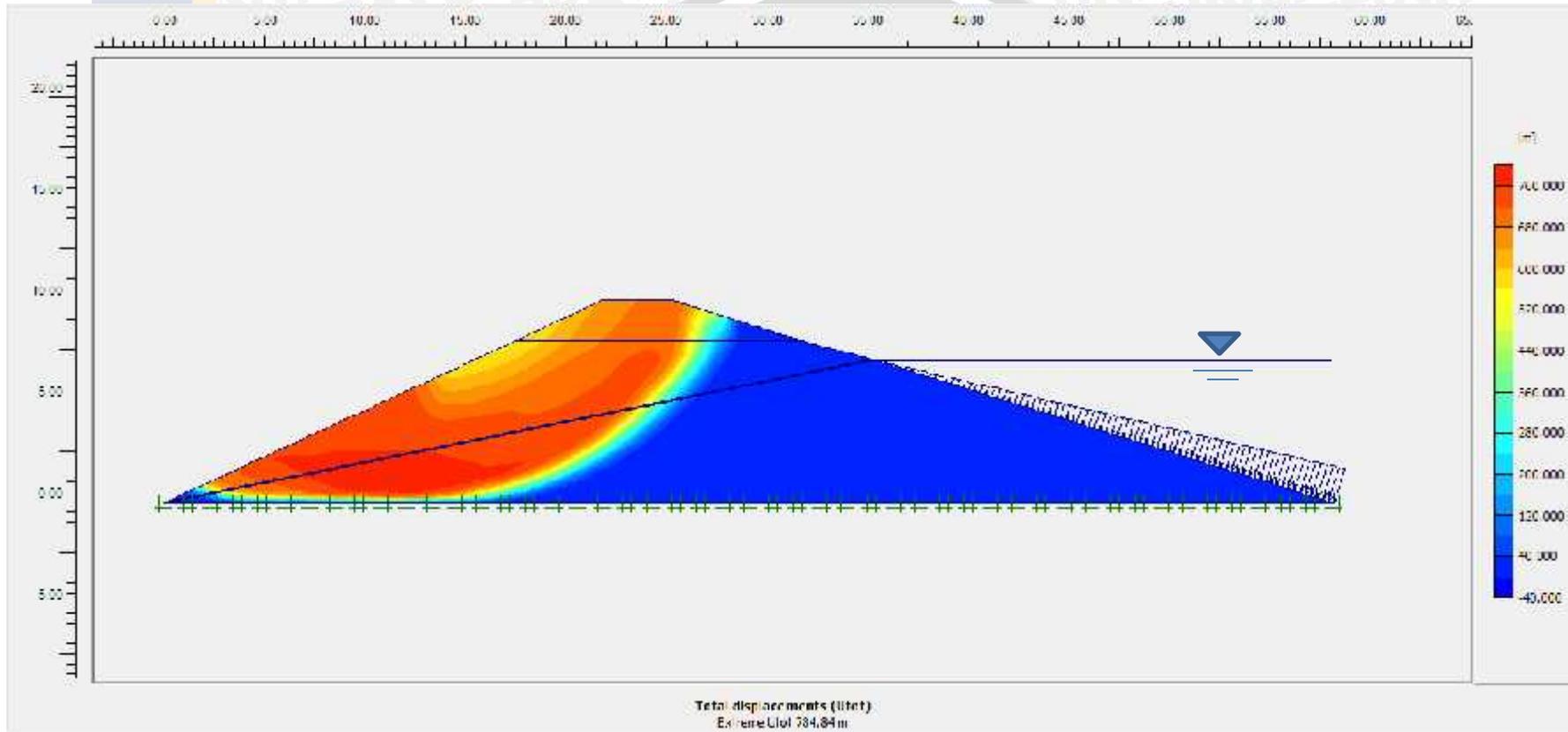
Arah perpindahan tanah secara vertikal yang dianalisa menunjukkan bahwa pada kondisi bendungan pada waduk dengan air elevasi +49.00 yang juga ditambah dengan parameter gempa masih menunjukkan hal yang sama yaitu bagian kiri masih besar angkanya, dan pada arah vertikal relatif lebih kecil dibandingkan dengan arah horizontal. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 4.28.

Dari analisa yang dilakukan pada waduk kosong dengan tinggi muka air normal dengan gempa menunjukkan bahwa hasil dari reduksi  $\phi$ -c menurun dibandingkan dengan waduk dengan kondisi tanpa gempa. Hal itu menunjukkan bahwa gempa berpengaruh pada kestabilan bendungan itu sendiri. Angka keamanan yang diperoleh dari hasil analisa menunjukkan bahwa dari semua bagian bangunan dinyatakan aman.

Menurut forum Geoteknik Indonesia, tanah lunak tidak selalu mengakibatkan amplifikasi percepatan gempa di permukaan. Untuk gempa dengan frekuensi tinggi dan amplitudo yang kuat (gempa dengan sumber yang dekat), tanah lunak malah cenderung meredam percepatan gempa di permukaan. Sedangkan untuk gempa dengan frekuensi gelombang yang rendah, tanah lunak bisa memperkuat gelombang gempa di permukaan karena efek resonansi. Analisis yang saya lakukan pada bendungan ini strukturnya merupakan tanah lunak dan pernyataan diatas menyebutkan bahwa tanah lunak cenderung meredam energi sehingga hasil analisa menyebutkan bahwa nilai keamanan meningkat dengan adanya tambahan parameter gempa.

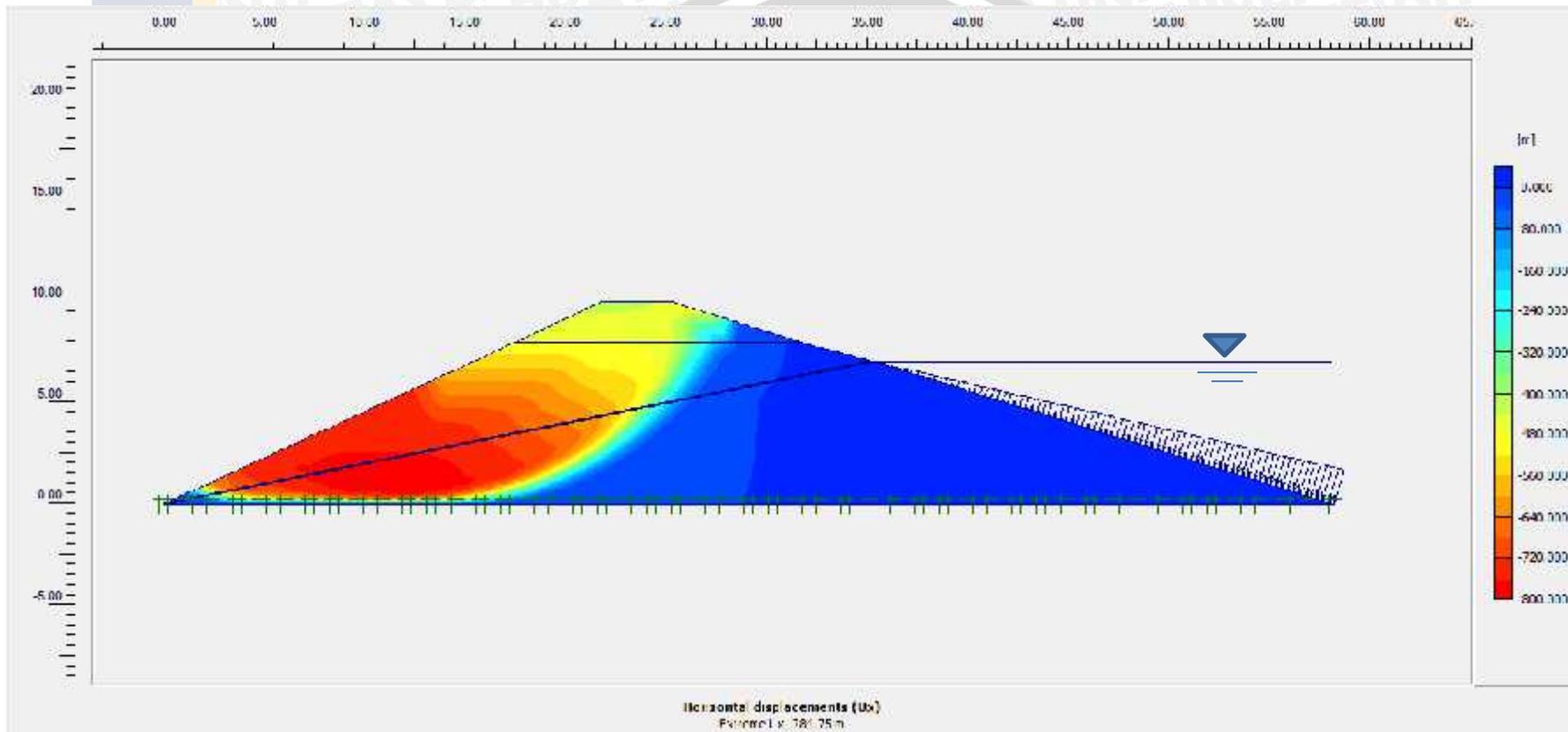


Gambar 4.60 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal dengan Gempa ( $SF = 2.2280$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

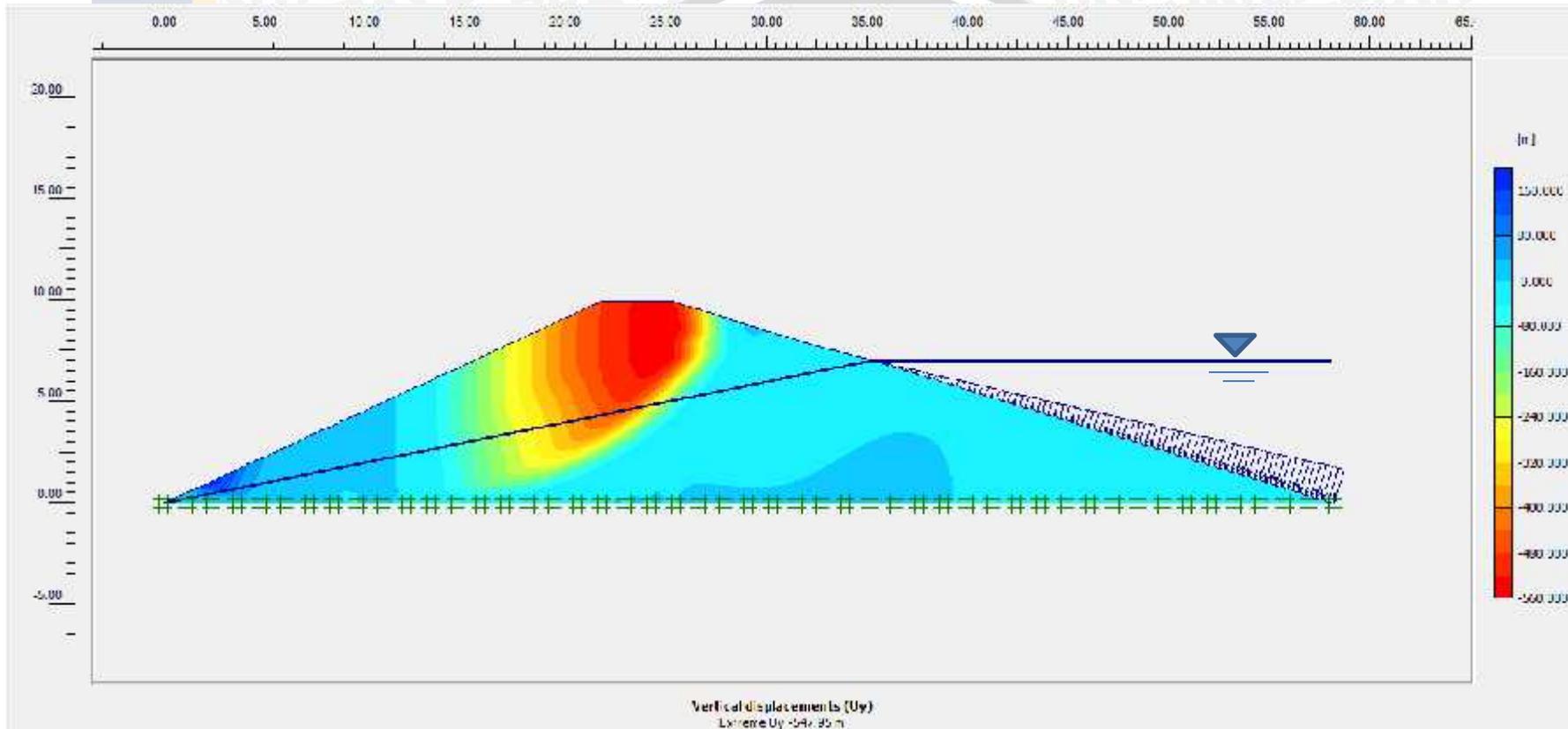


Gambar 4.61 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal dengan Gempa ( $SF = 2.2280$ )

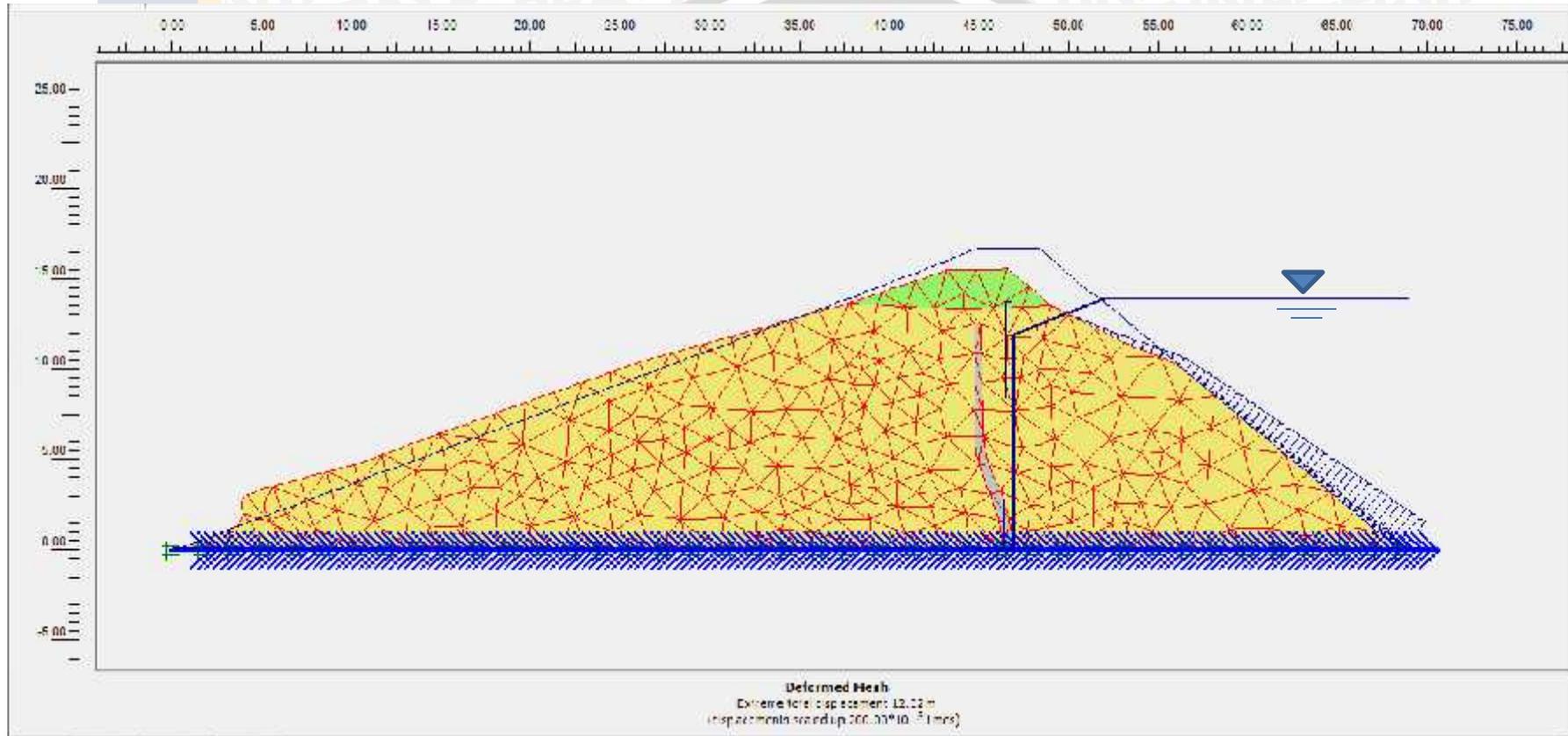
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.62 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 2.2280)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

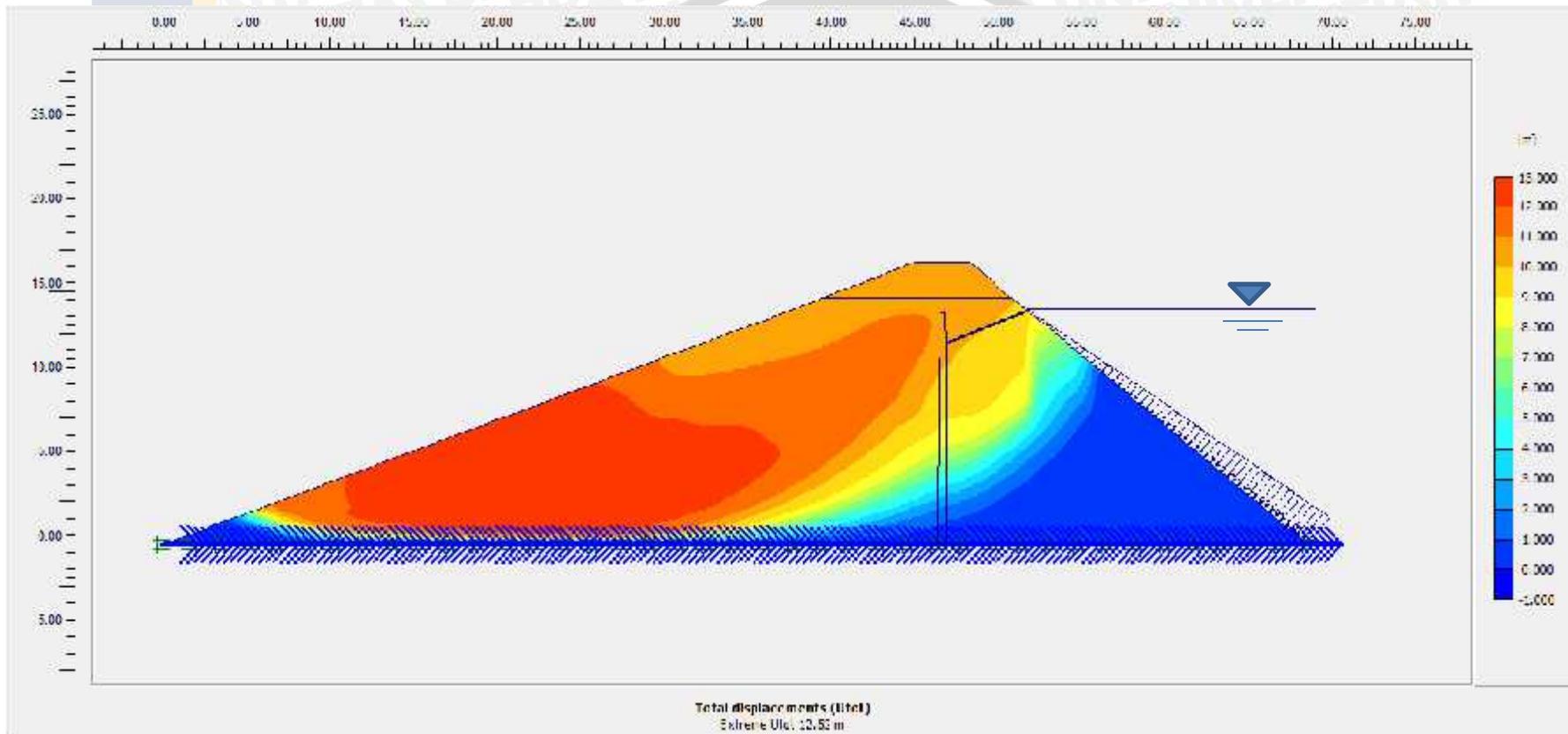


Gambar 4.63 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 2.2280)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

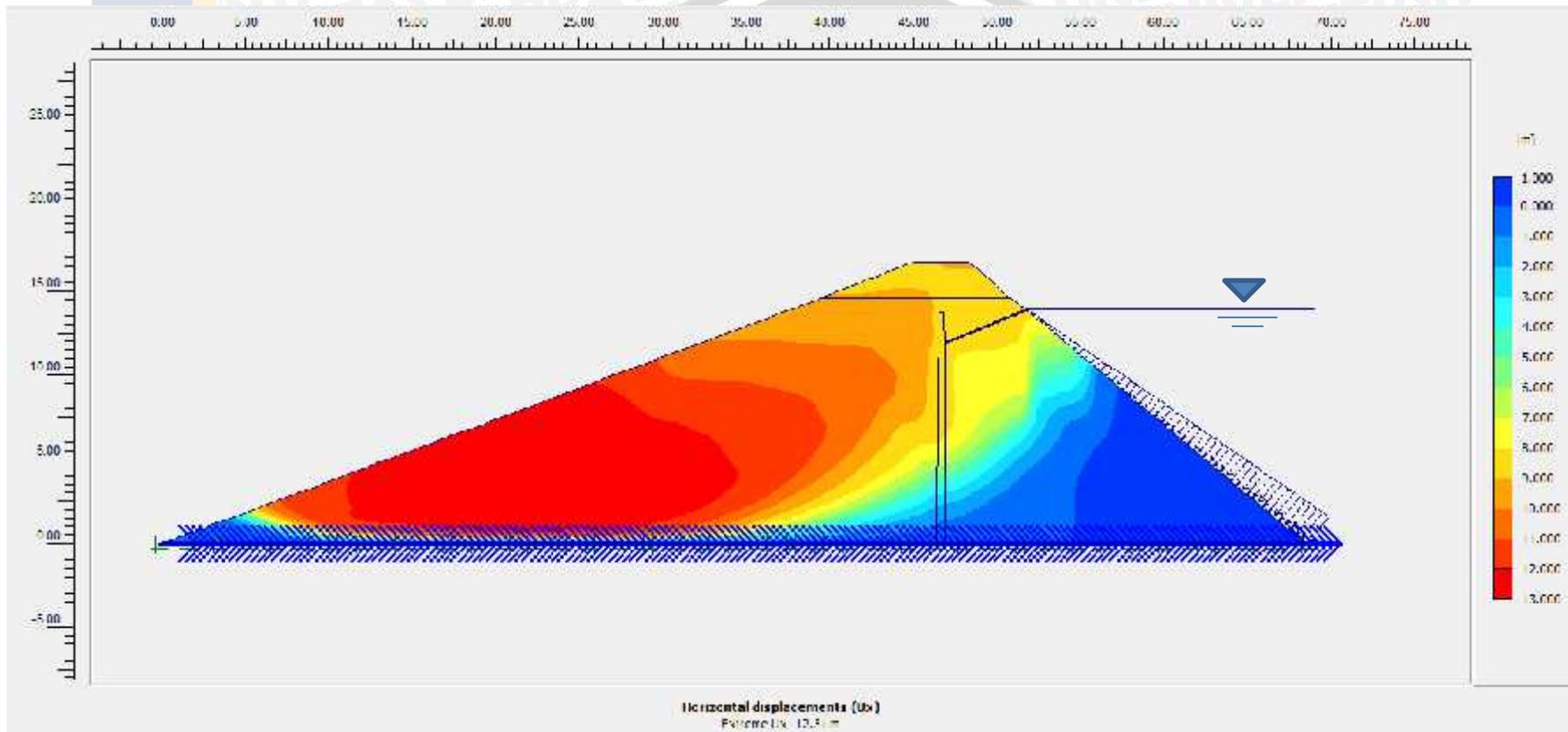


Gambar 4.64 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal dengan Gempa ( $SF = 1.6026$ )

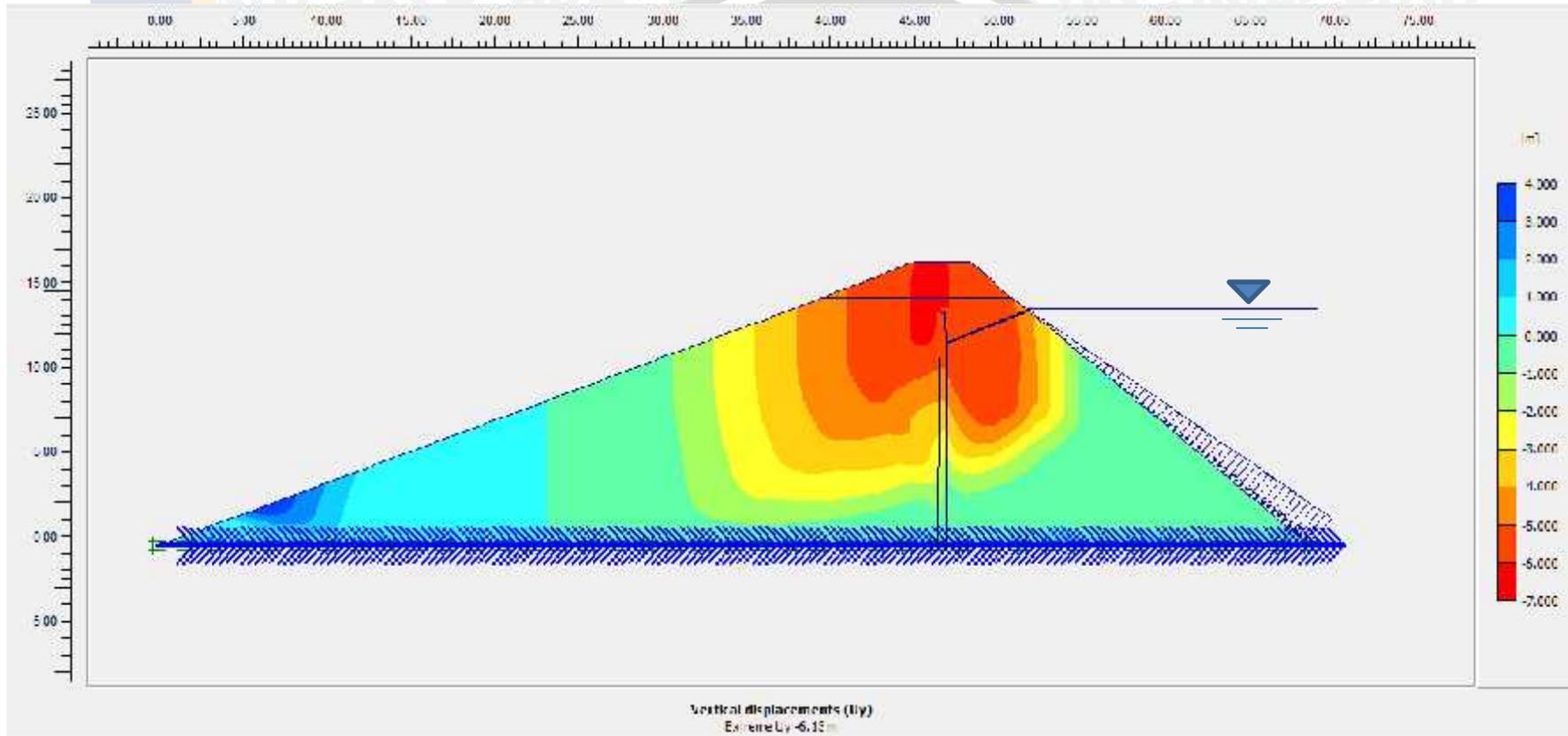
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



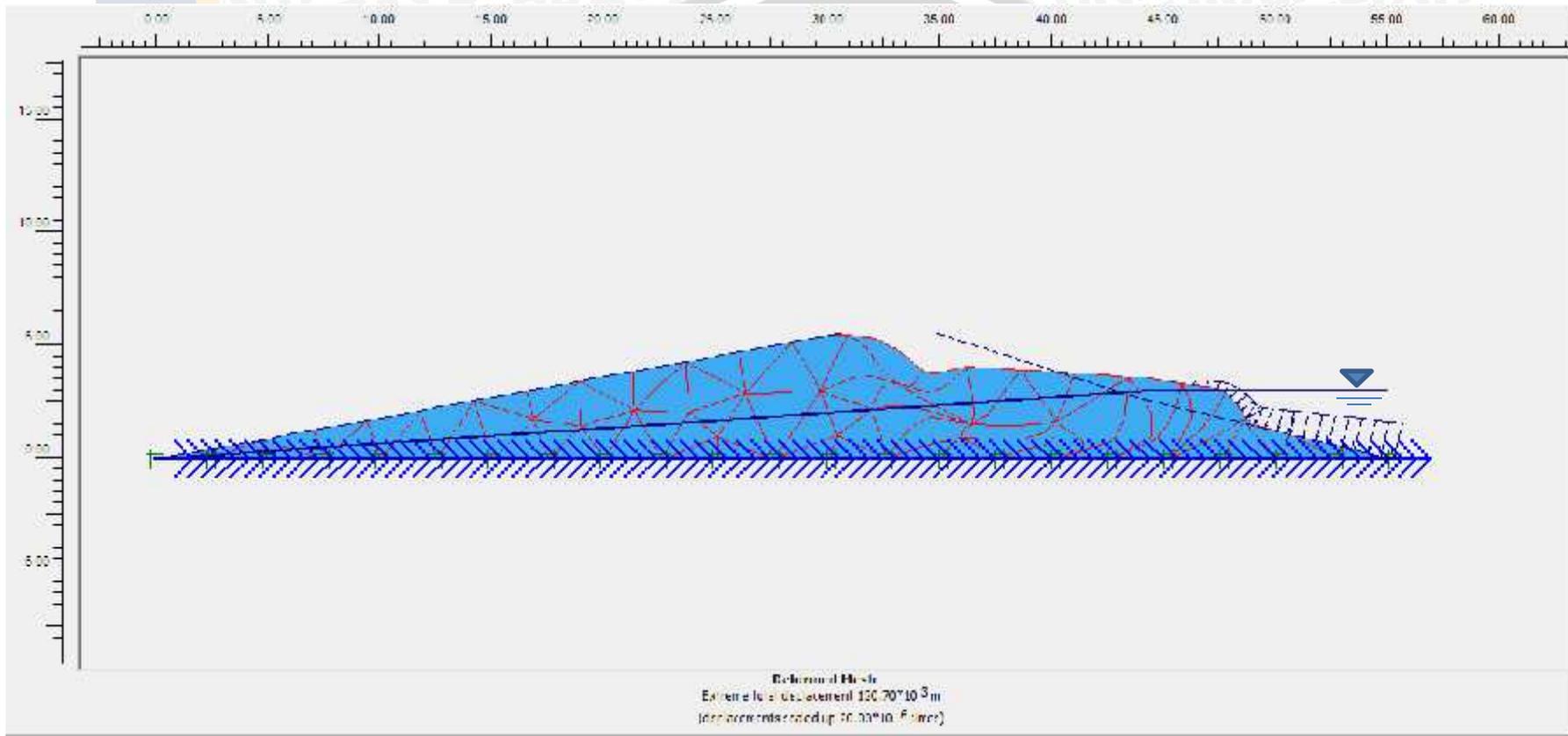
Gambar 4.65 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 1.6026)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



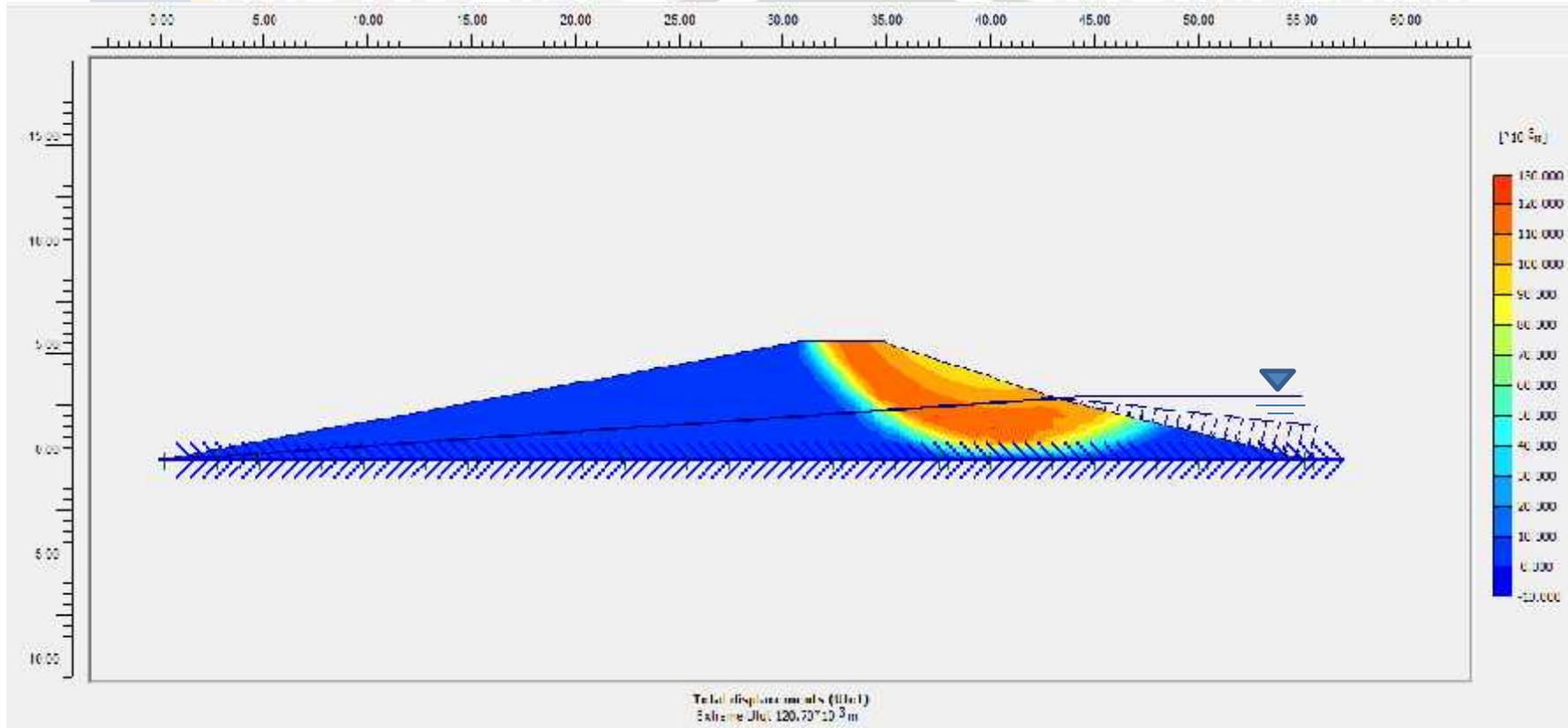
Gambar 4.66 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 1.6026)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.67 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 1.6026)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

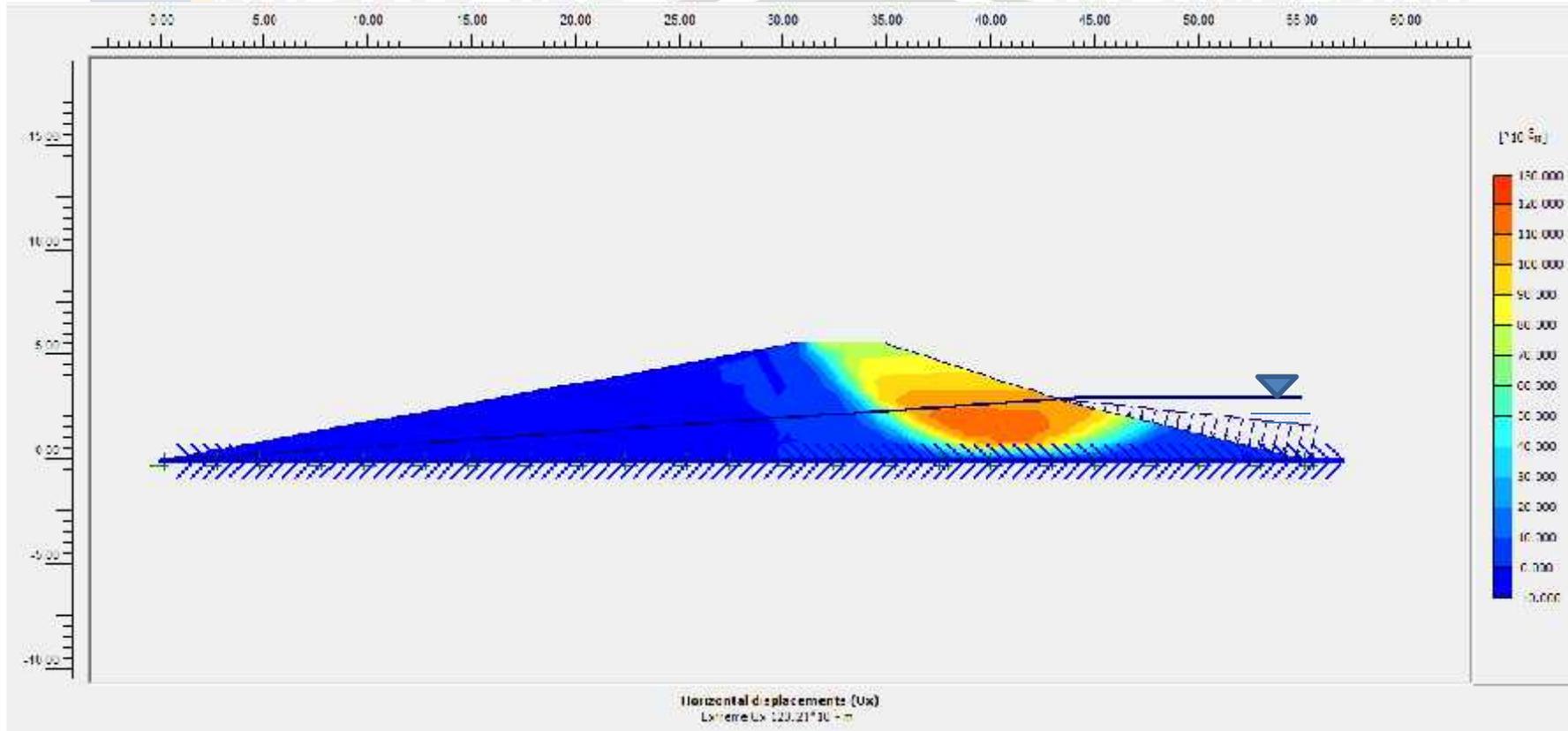


Gambar 4.68 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 3.1196)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

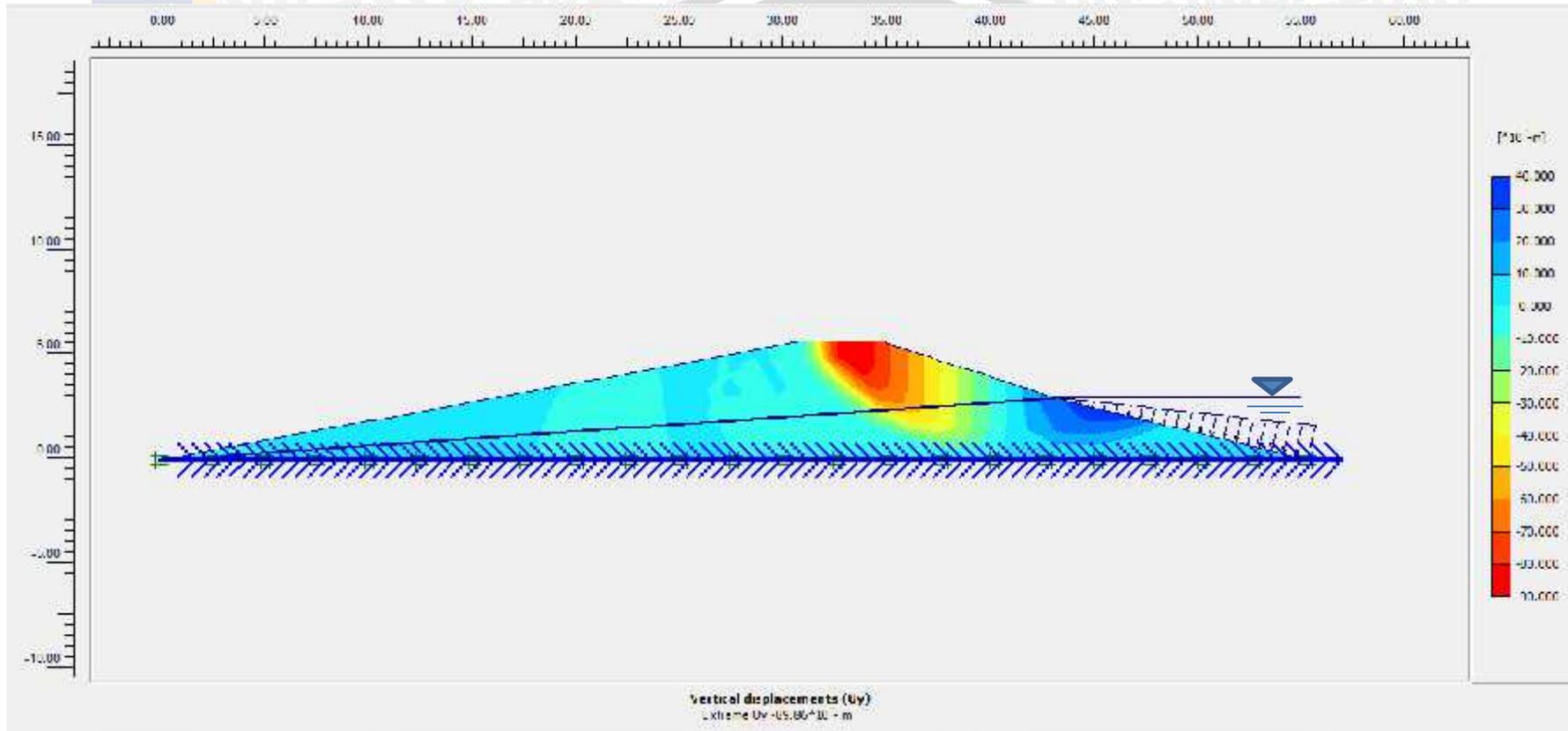


Gambar 4.69 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 3.1196)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.70 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 3.1196)  
 Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.71 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Normal dengan Gempa (SF = 3.1196)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.4.5. Kondisi Waduk Air Banjir Tanpa Gempa

Tinggi muka air banjir merupakan kondisi yang sangat memungkinkan terjadi apabila terjadi hujan yang terus menerus dan faktor lainnya. Inspeksi yang telah dilakukan pada Bendungan Prijetan menemukan tinggi muka air banjir pada elevasi +51.00, dimana itu sangat dekat dengan elevasi puncak bendungan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa keamanannya untuk melihat faktor keamanan bendungan tersebut.

Analisa yang dilakukan pada berbagai bagian dari Bendungan Prijetan. Berikut analisa yang dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng waduk pada kondisi air banjir tanpa gempa dengan menggunakan aplikasi *Plaxis* 2 dimensi.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar dan tabel di bawah sebagai berikut:

Tabel 4.29 Rekapitulasi Angka Keamanan Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | Angka Keamanan | Status |
|-------------------|----------------|--------|
| Kanan Air Banjir  | 1.9146         | Aman   |
| Kiri Air Banjir   | 2.9155         | Aman   |
| Tengah Air Banjir | 1.5411         | Aman   |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.30 Rekapitulasi *Total Displacements* Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | <i>Total Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Banjir  | 303.04                            | 4617         | 0.065                             |
| Kiri Air Banjir   | $2.08 \times 10^3$                | 637          | 3,27                              |
| Tengah Air Banjir | 12.75                             | 4493         | $2.84 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.31 Rekapitulasi *Horizontal Displacements* Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | <i>Horizontal Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------|--|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Banjir  | 303.02                                 | 4617         | 0.065                             |
| Kiri Air Banjir   | $2.08 \times 10^3$                     | 637          | 3,27                              |
| Tengah Air Banjir | 12.75                                  | 4493         | $2.84 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.32 Rekapitulasi *Vertical Displacements* Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi           | <i>Vertical Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Banjir  | 152.06                               | 4617         | 0.032                             |
| Kiri Air Banjir   | $1.38 \times 10^3$                   | 637          | 2.17                              |
| Tengah Air Banjir | 5.02                                 | 4493         | $1.12 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

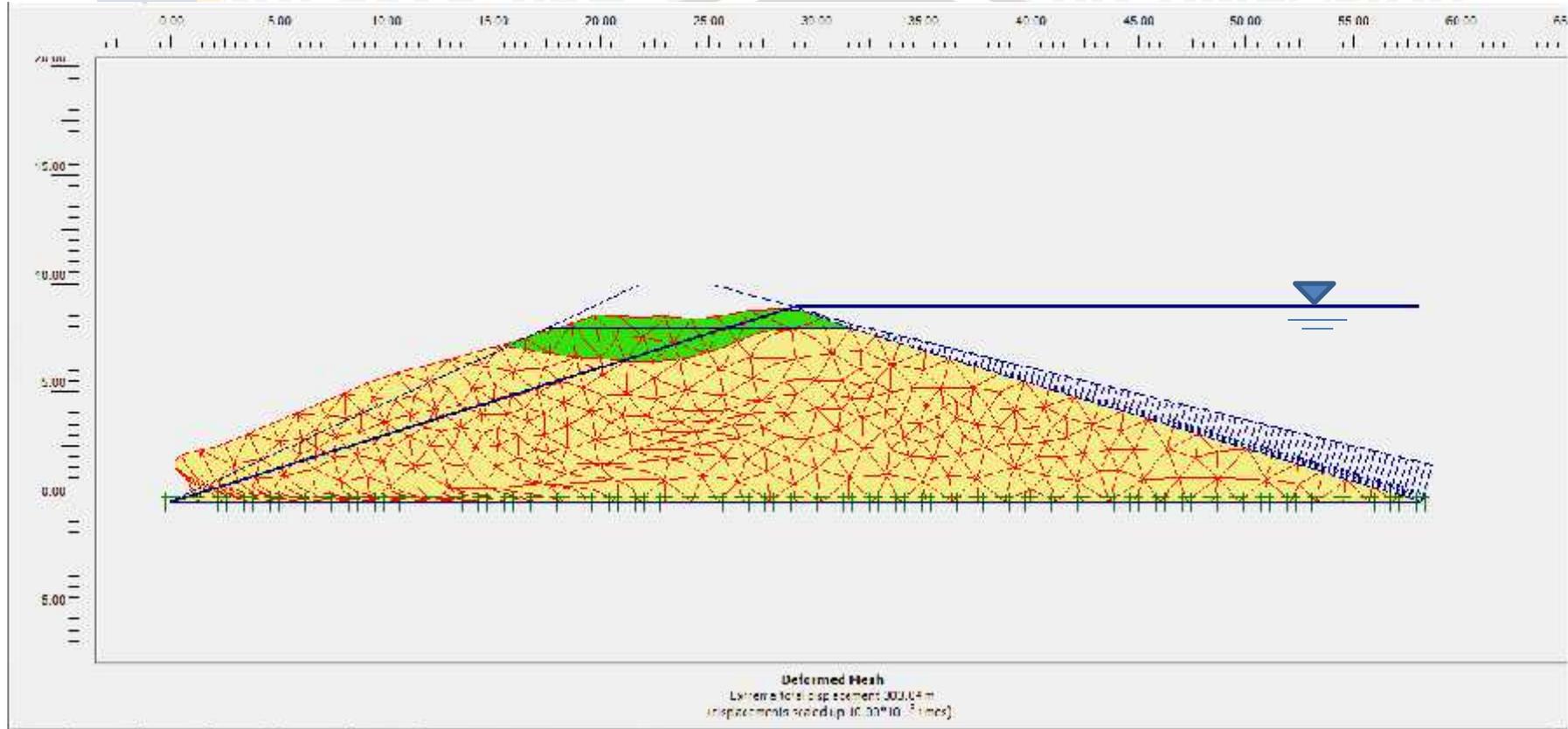
Muka air banjir pada tampungan waduk mempengaruhi *total displacements* pada analisa bendungan menggunakan aplikasi *Plaxis*. Terbukti dengan besaran angka yang ditunjukkan pada tabel 4.30 dimana pada hasil tersebut terlihat menurun dibanding pada saat waduk pada kondisi air normal. Air pada elevasi +51.00 ternyata berdampak baik pada pergeseran tanah yang terjadi.

Hasil analisa yang telah dilakukan menunjukkan pergerakan tanah arah horizontal menunjukkan bahwa elevasi muka air banjir berpengaruh pada tanah yang bergerak ke arah horizontal. Dapat dilihat pada tabel 4.31 yang menunjukkan penurunan dari sebelumnya namun bendungan bagian kiri masih mempunyai angka yang besar dibandingkan dengan bagian lain pada arah horizontal.

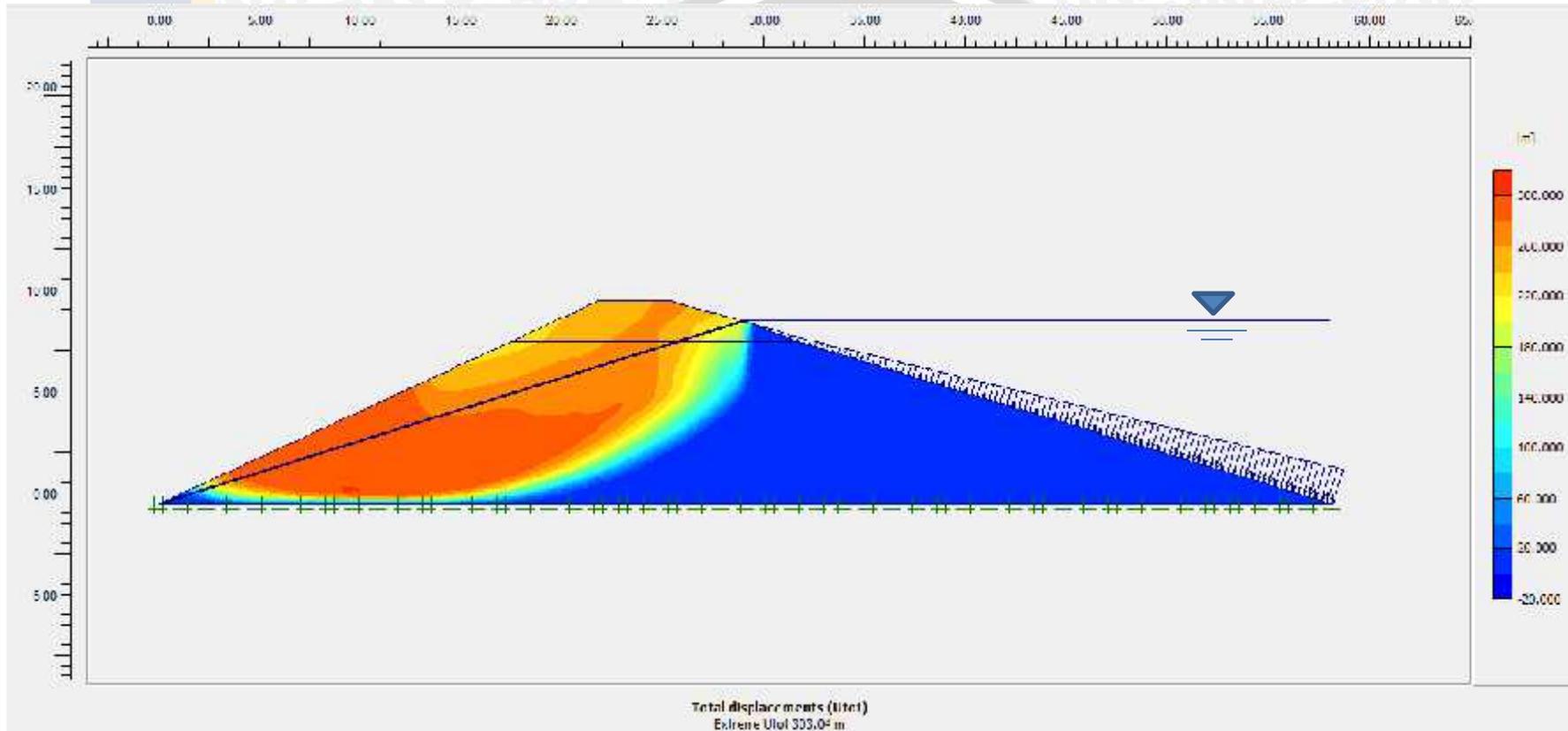
Analisa yang dilakukan menghasilkan perpindahan tanah secara vertikal yang dapat dilihat pada tabel 4.32. Hasil dari analisa tersebut menyebutkan bahwa nilai dari bagian kiri besar dibandingkan bagian-bagian yang lain dan bagian tengah menunjukkan hasil yang sebaliknya yaitu lebih kecil.

Dari analisa yang dilakukan pada waduk dengan tinggi muka air banjir pada elevasi +51.00 menunjukkan bahwa *displacements* yang didapat berpengaruh pada angka keamanan dari bendungan tersebut. Semakin menurun *Total Displacements* yang dihasilkan maka nilai keamanan juga terpengaruh. Air yang tertampung pada waduk mempengaruhi stabilitas bendungan terlebih lagi pada kondisi banjir dikarenakan tekanan air juga mempengaruhi stabilitas konstruksi bendungan. Dari hasil analisa keamanan menggunakan aplikasi *Plaxis* yang ditunjukkan pada tabel 4.29 menyatakan bahwa bendungan aman.

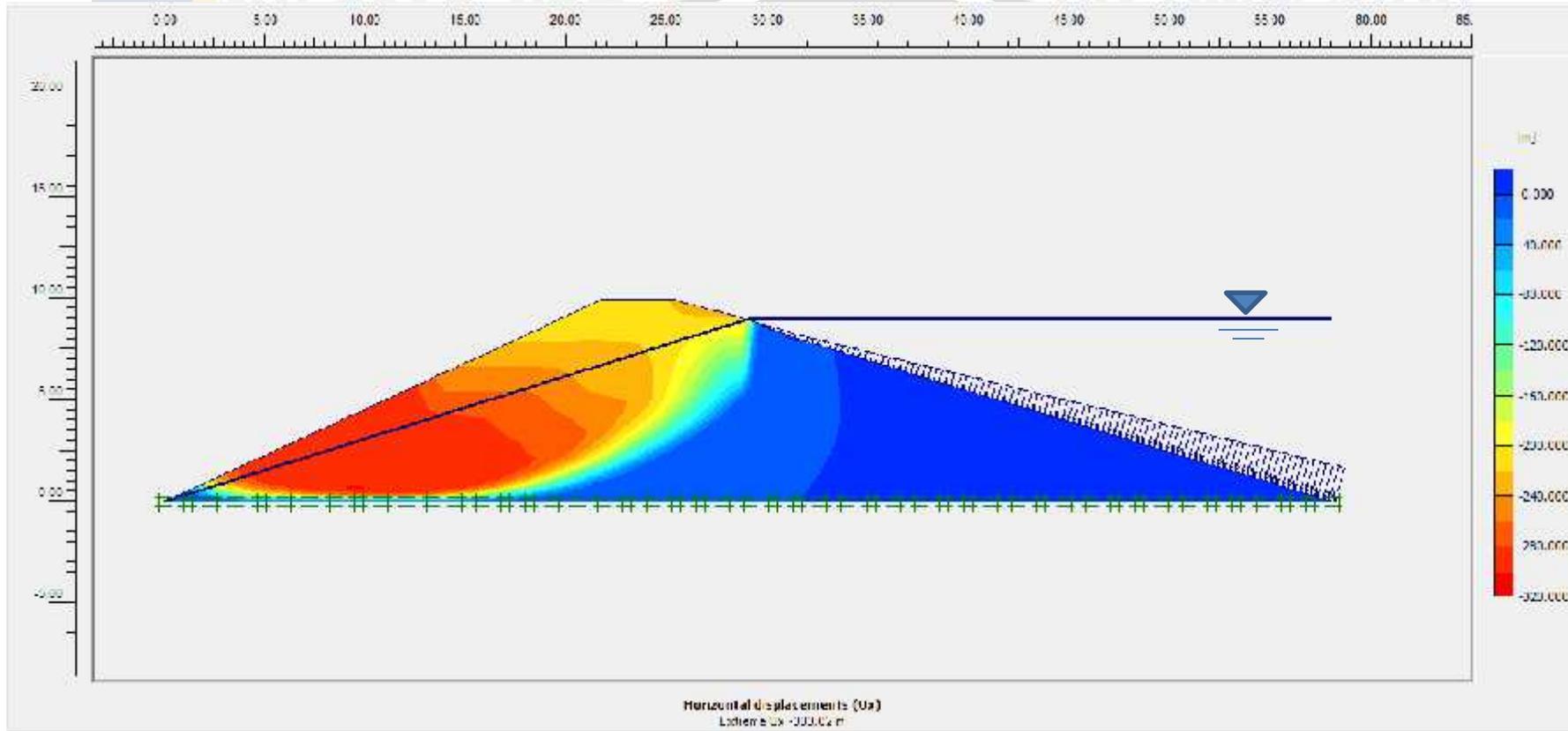
Pengaruh ketinggian muka air hulu terhadap stabilitas adalah nilai faktor keamanan (SF) model bendungan tanah berkurang seiring dengan penambahan ketinggian muka air hulu. Semua model bendungan tanah dengan bahan yang berbeda mempunyai kecenderungan yang sama. Hasil penelitian ini lebih jelas terlihat ditinjau dari segi material model bendungan. Model bendungan dengan campuran tanah lanau yang lebih banyak, mempunyai nilai SF yang lebih tinggi daripada model bendungan dengan persentase pasir lebih banyak (Anonim,2014)



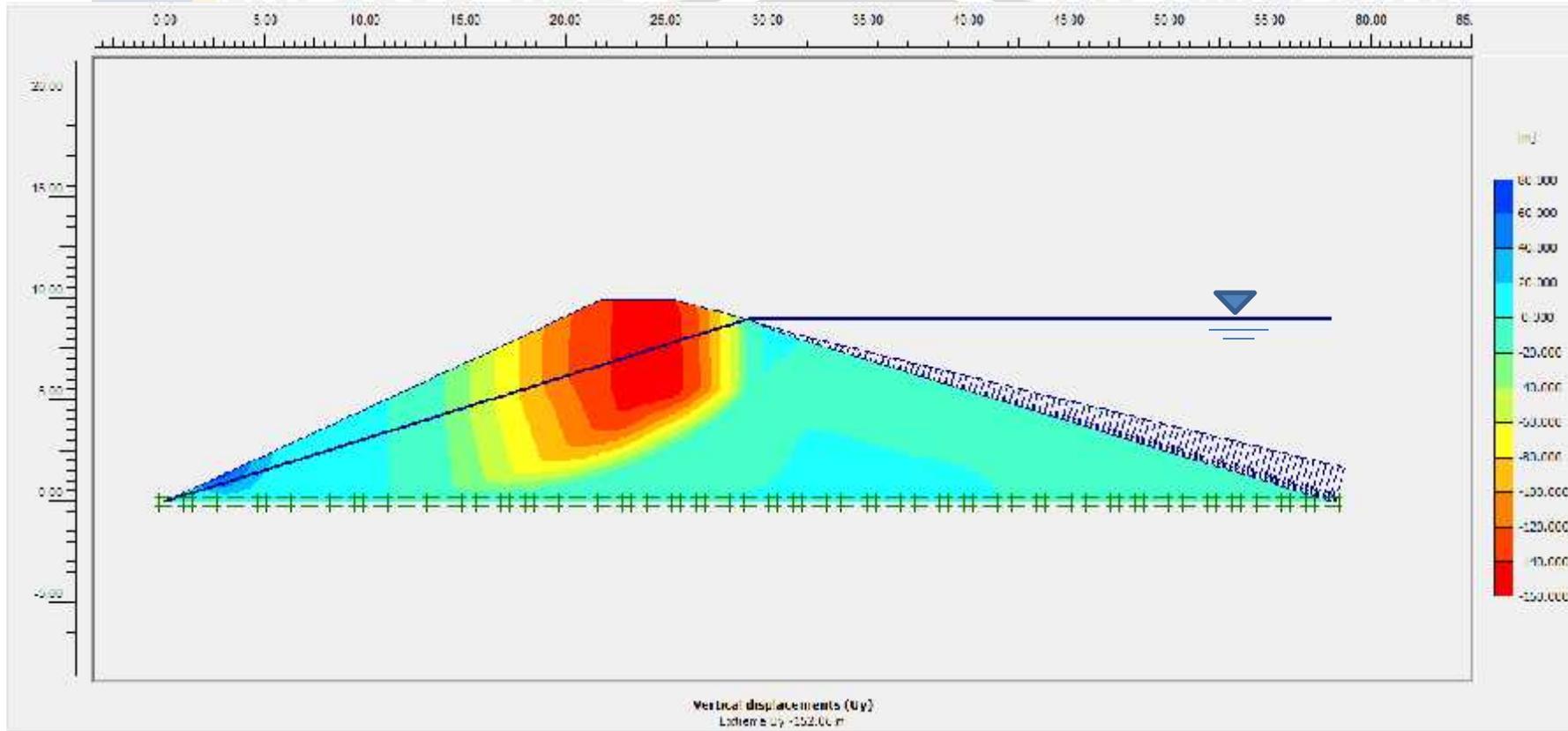
Gambar 4.72 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 1.9416)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



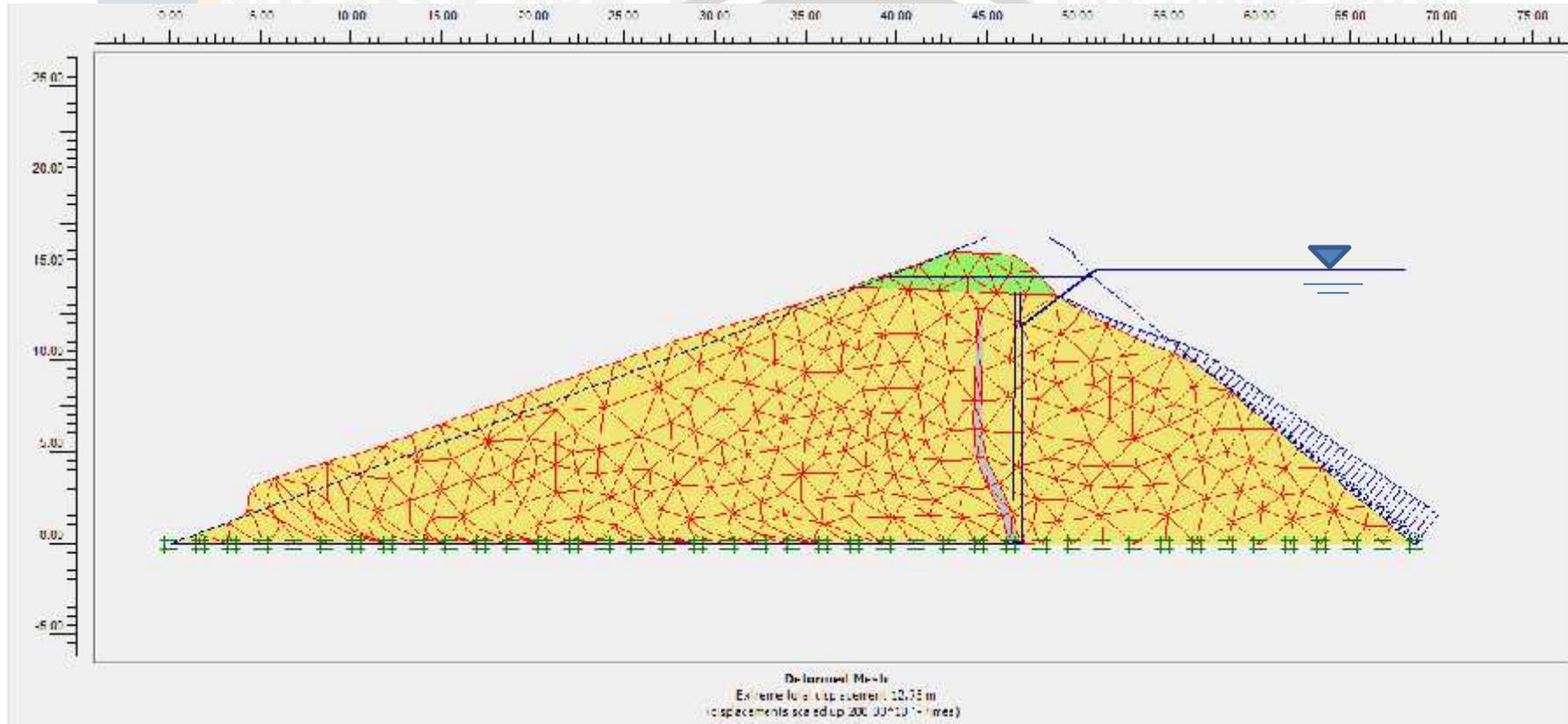
Gambar 4.73 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 1.9416)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.74 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 1.9416)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

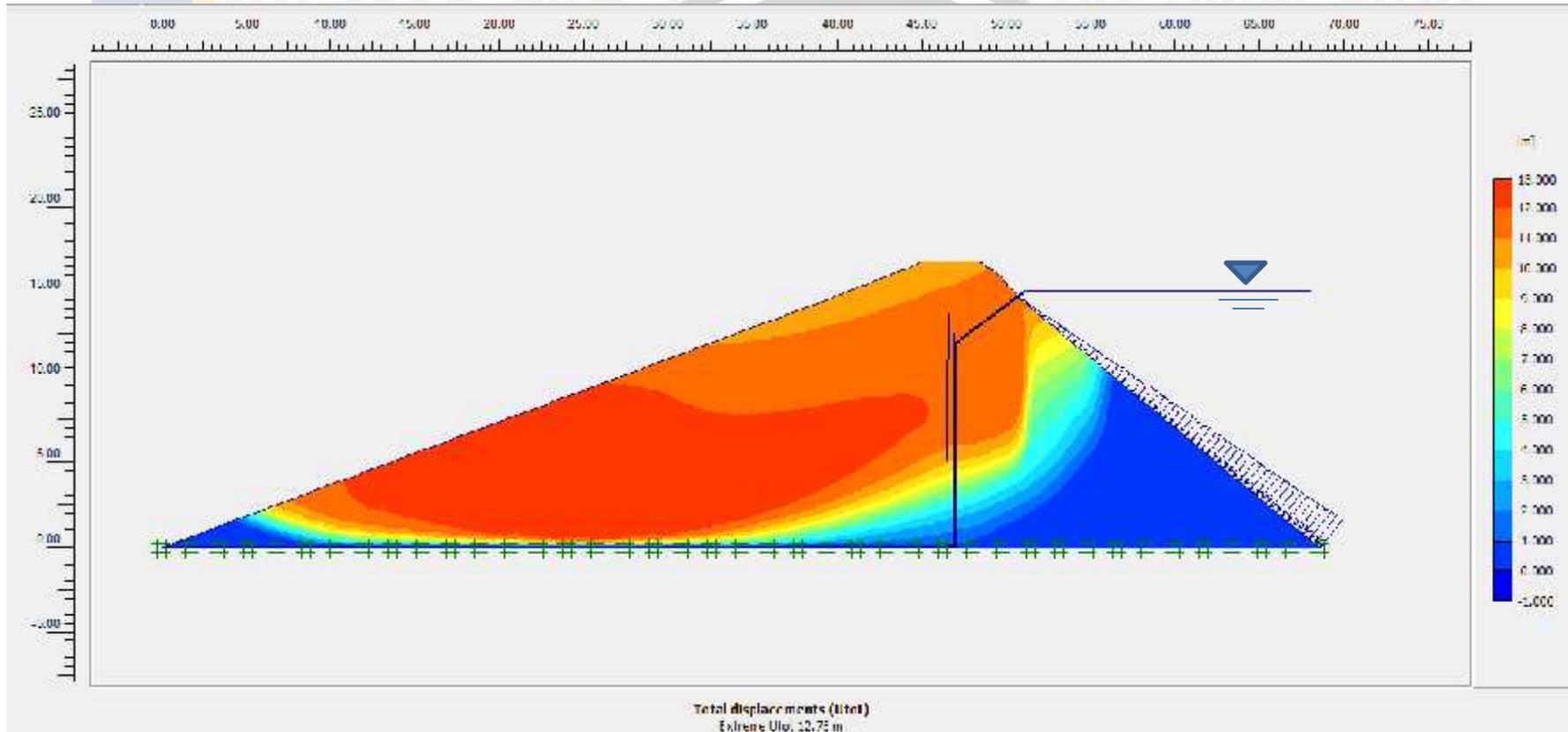


Gambar 4.75 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 1.9416)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



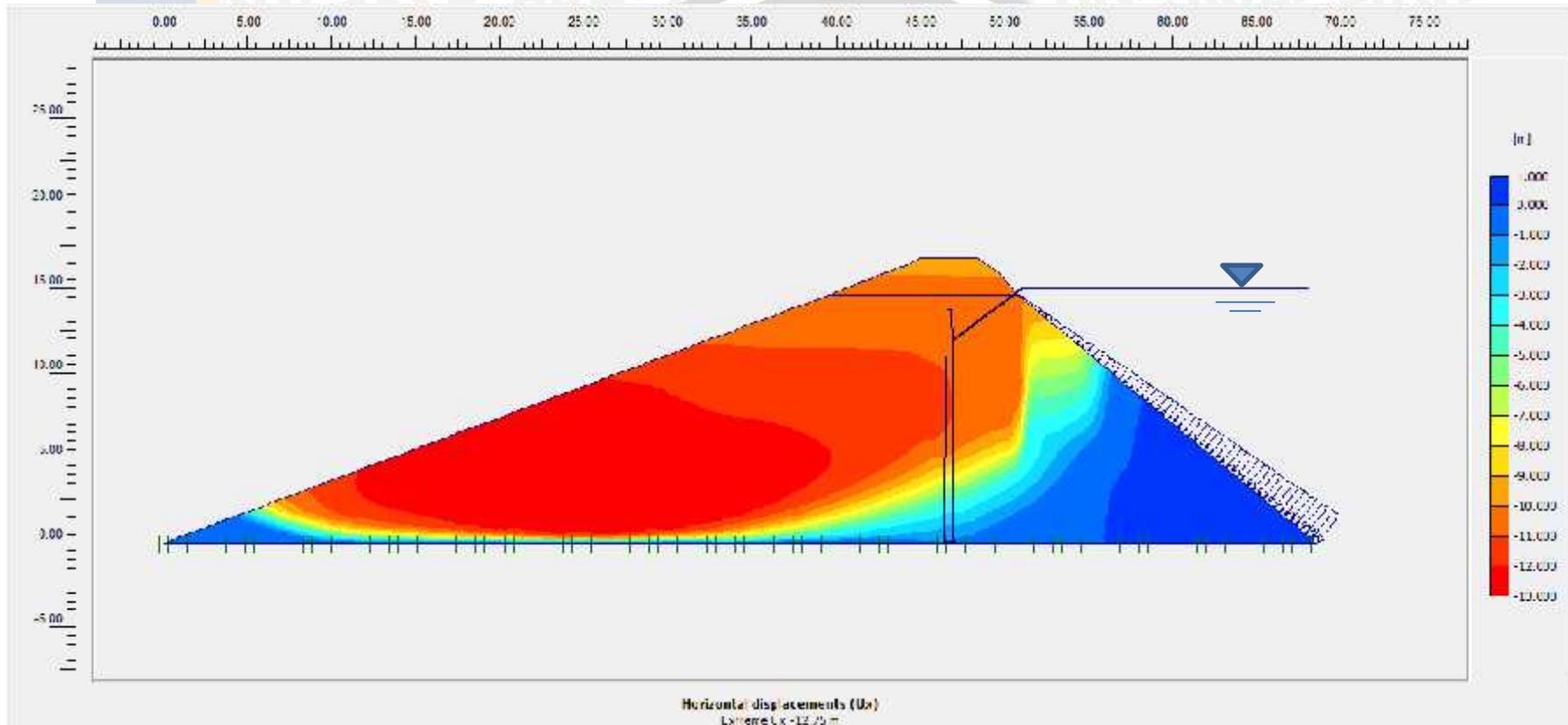
Gambar 4.76 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa ( $SF = 1.5411$ )

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

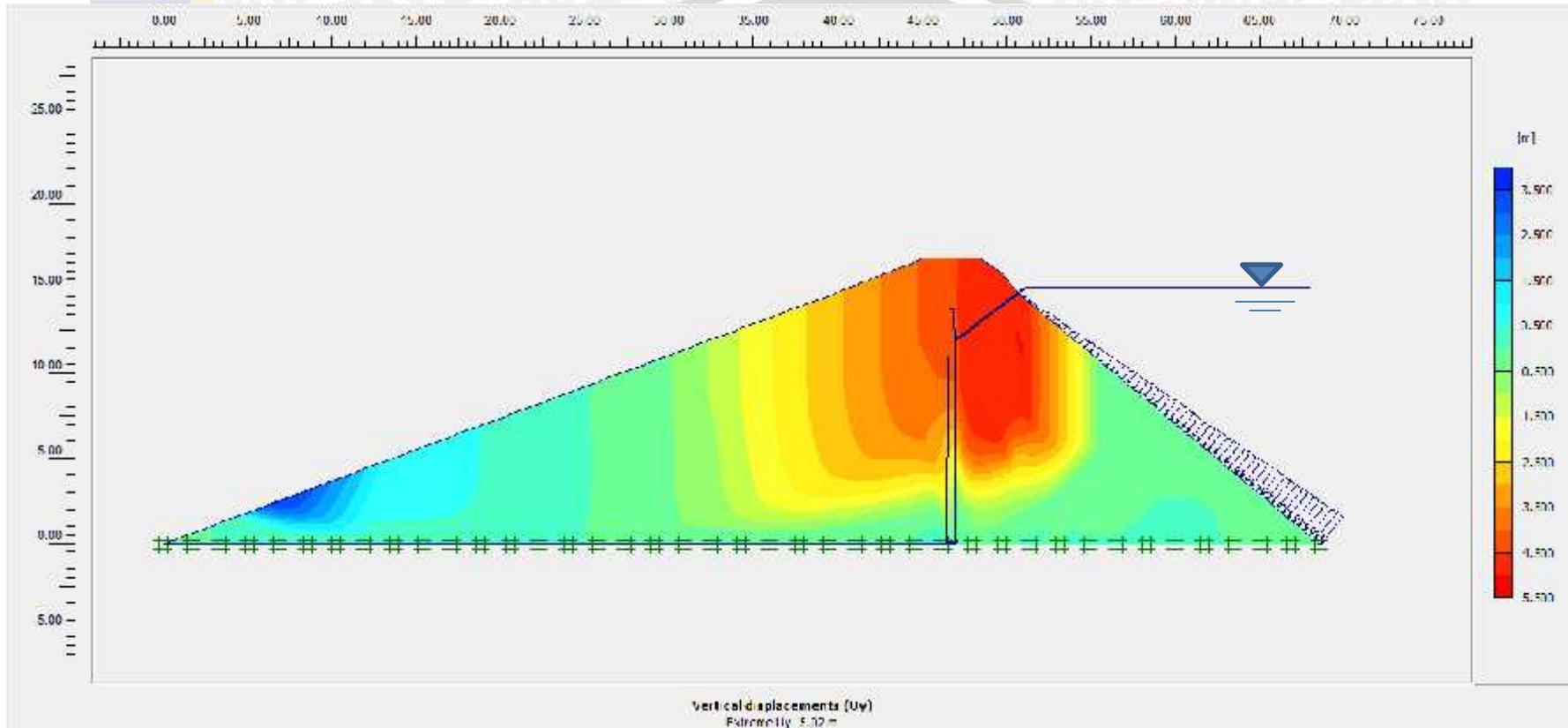


Gambar 4.77 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 1.5411)

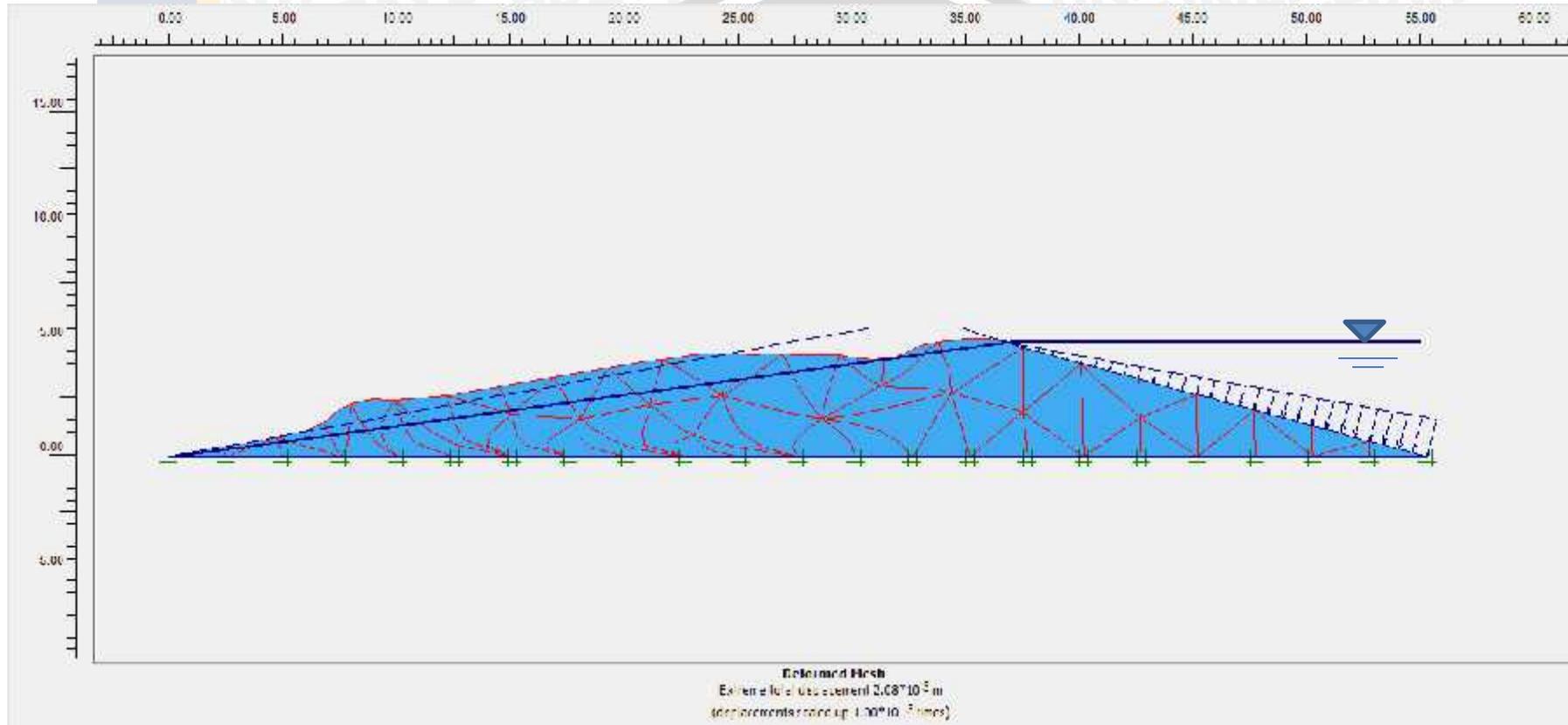
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.78 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa ( $SF = 1.5411$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

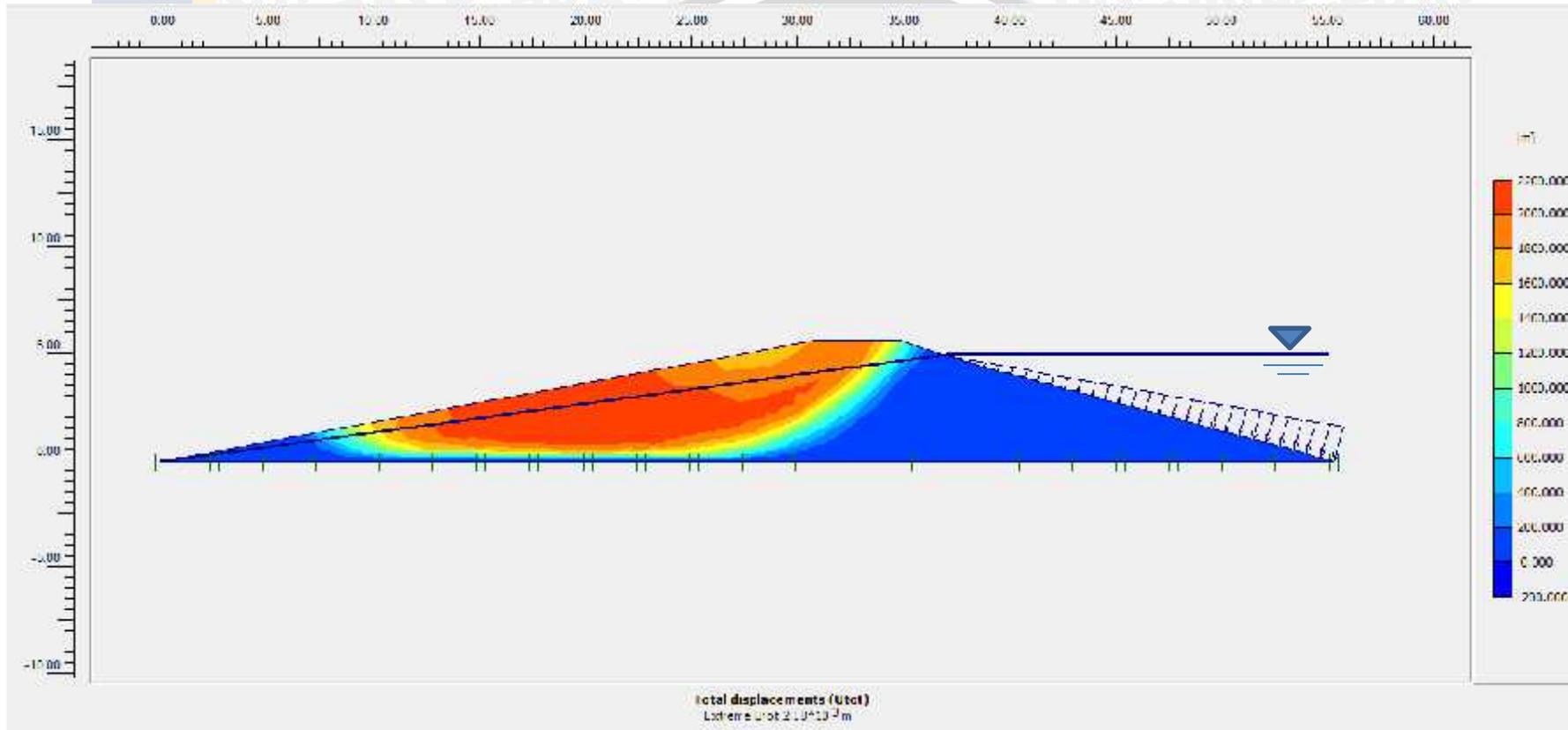


Gambar 4.79 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 1.5411)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



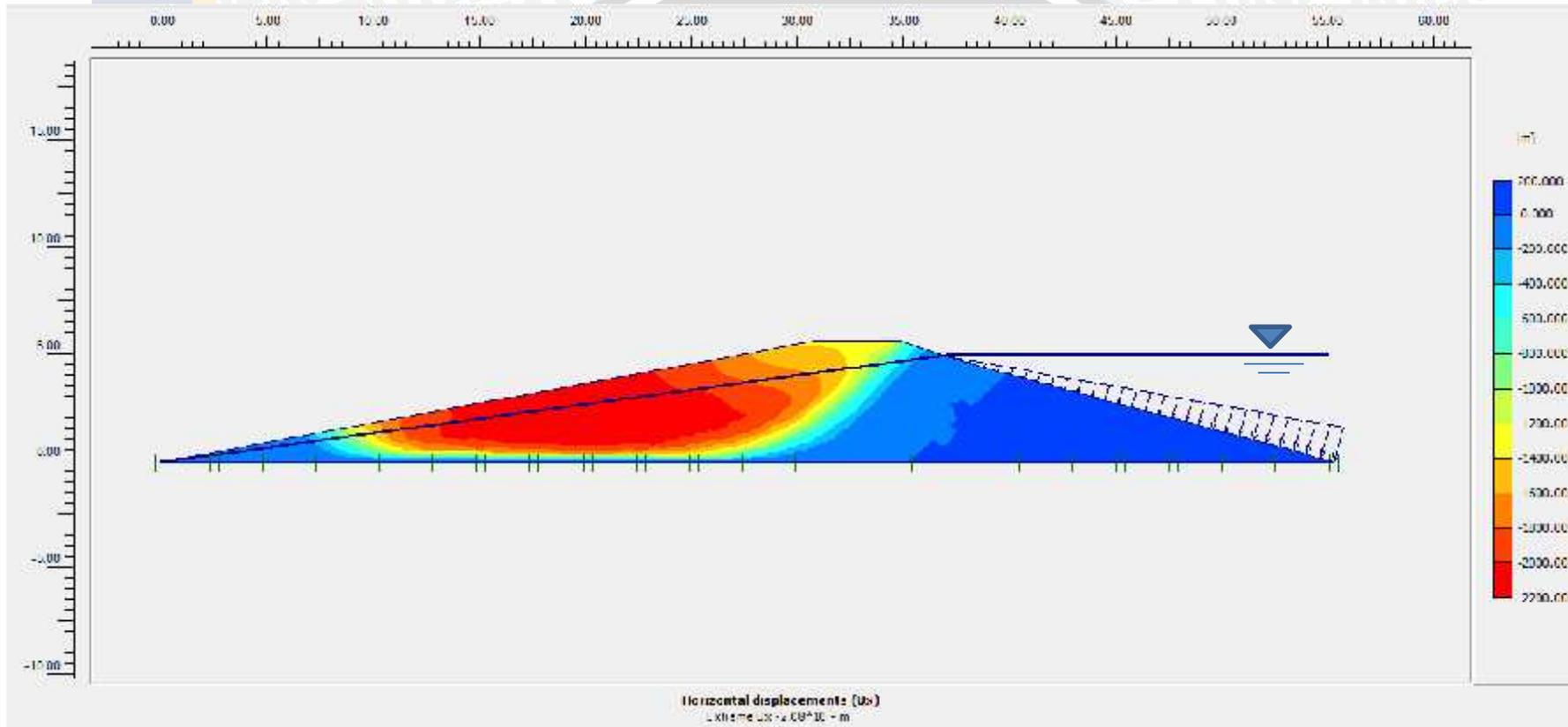
Gambar 4.80 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa ( $SF = 2.9155$ )

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

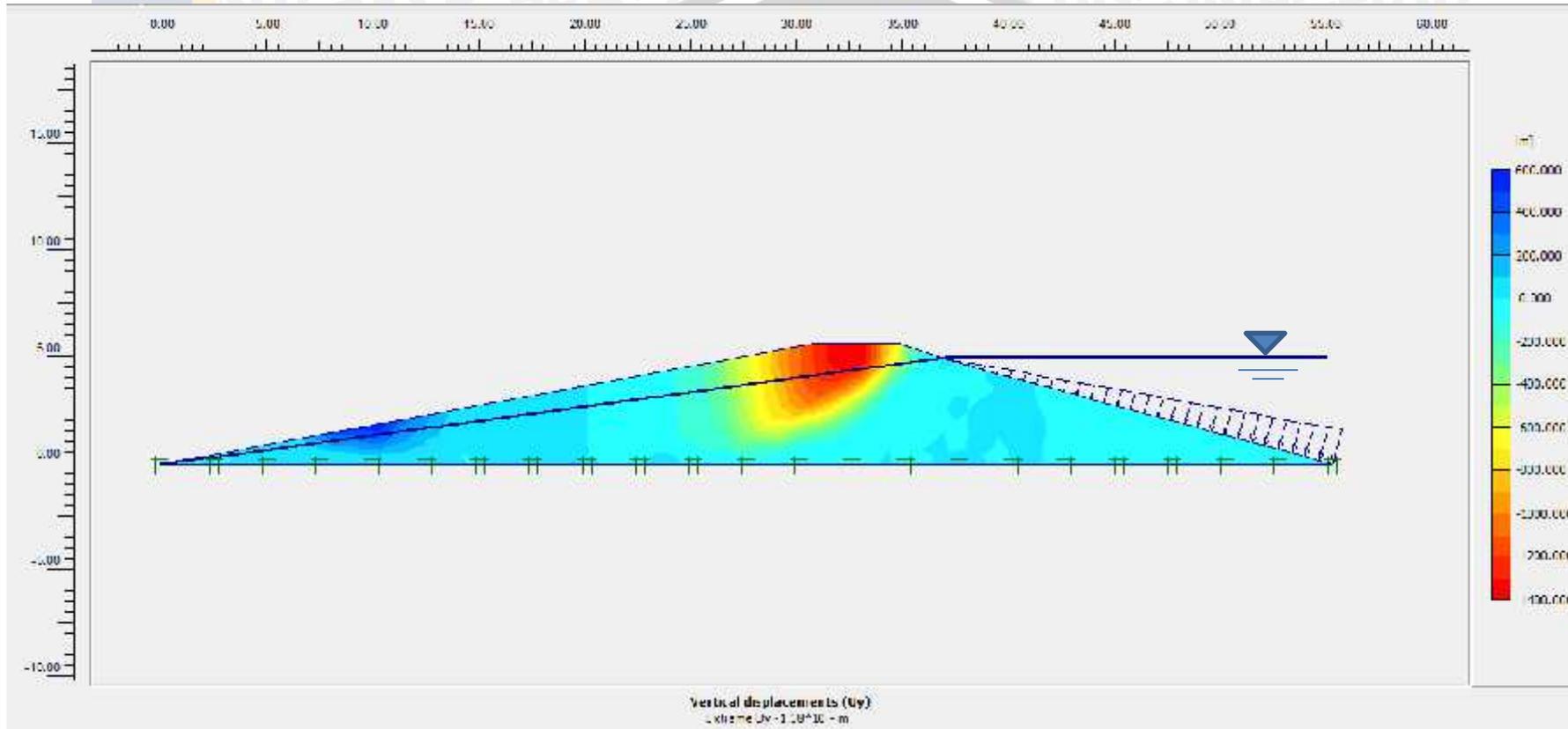


Gambar 4.81 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 2.9155)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.82 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 2.9155)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.83 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir Tanpa Gempa (SF = 2.9155)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.4.4.6. Kondisi Waduk Air Banjir Dengan Gempa

Analisa yang dilakukan dengan tinngi muka air normal yang telah dilakukan masih ditetapkan aman. Namun nilai angka keamanan turun setelah ditambahkan dengan parameter gempa yang. Oleh karena itu pada kondisi muka air banjir perlu ditambahkan analisa dengan menambahkan parameter gempa tersebut.

Analisa yang dilakukan pada berbagai bagian dari Bendungan Prijetan. Berikut analisa yang dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng waduk pada kondisi air banjir dengan gempa dengan menggunakan aplikasi *Plaxis 2* dimensi.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar dan tabel dibawah sebagai berikut:

Tabel 4.33 Rekapitulasi Angka Keamanan Kondisi Air Banjir Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | Angka Keamanan | Status |
|-------------------------|----------------|--------|
| Kanan Air Banjir Gempa  | 1.9126         | Aman   |
| Kiri Air Banjir Gempa   | 2.9150         | Aman   |
| Tengah Air Banjir Gempa | 1.5171         | Aman   |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.34 Rekapitulasi *Total Displacements* Kondisi Air Banjir Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | <i>Total Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Banjir Gempa  | 176.15                            | 4617         | 0.04                              |
| Kiri Air Banjir Gempa   | $7.87 \times 10^3$                | 637          | 12.35                             |
| Tengah Air Banjir Gempa | 14.00                             | 4493         | $3.12 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.35 Rekapitulasi *Horizontal Displacements* Kondisi Air Banjir Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | <i>Horizontal Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------------|--|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Banjir Gempa  | 176.15                                 | 4617         | 0.04                              |
| Kiri Air Banjir Gempa   | $7.87 \times 10^3$                     | 637          | 12.35                             |
| Tengah Air Banjir Gempa | 13.99                                  | 4493         | $3.12 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.36 Rekapitulasi *Vertical Displacements* Kondisi Air Banjir Dengan Gempa Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | <i>Vertical Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Air Banjir Gempa  | 86.09                                | 4617         | 0.018                             |
| Kiri Air Banjir Gempa   | $5.21 \times 10^3$                   | 637          | 8.18                              |
| Tengah Air Banjir Gempa | 5.42                                 | 4493         | $1.21 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

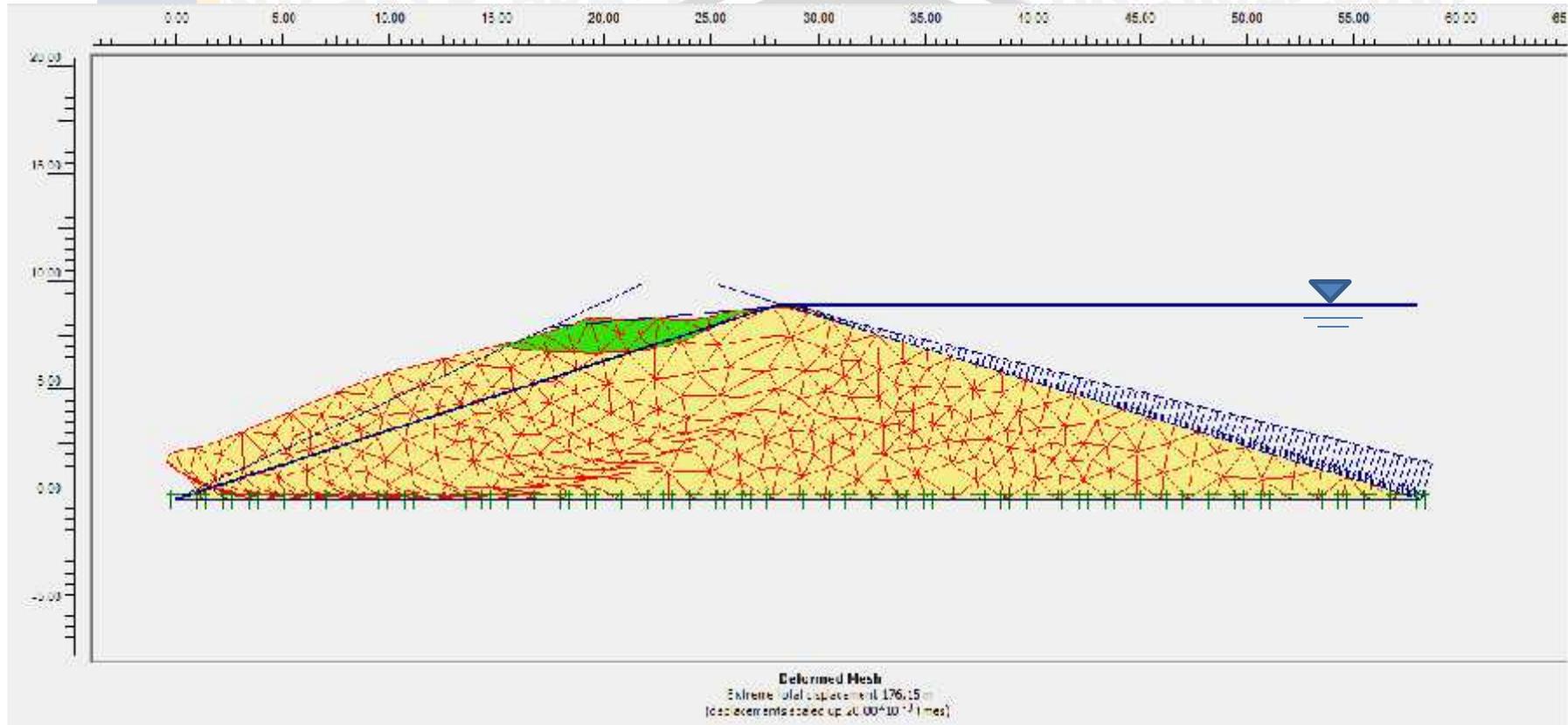
Hasil *Total Displacements* yang ada pada tabel 4.34 menunjukkan hasil dari analisa waduk kondisi air banjir dengan gempa. Dari hasil tersebut terlihat bahwa kondisi air banjir dengan parameter gempa menurun dibandingkan dengan kondisi tanpa gempa. Yang mempunyai nilai terbesar yaitu bagian kiri bendungan.

Hasil analisa yang telah dilakukan menunjukkan pergerakan tanah arah horizontal menunjukkan bahwa elevasi muka air banjir dengan gempa terjadi penurunan dibandingkan dengan sebelumnya tanpa parameter gempa. Dapat dilihat pada tabel 4.35.

Rekapitulasi pada tabel 4.36 menunjukkan bahwa perpindahan tanah arah vertikal pada bagian bendungan sebelah kiri lebih besar dibandingkan dengan bagian yang lain. Hasil tersebut sama dengan analisa yang sebelumnya telah dianalisis jadi bendungan bagian kanan banyak mengalami pergeseran tanah.

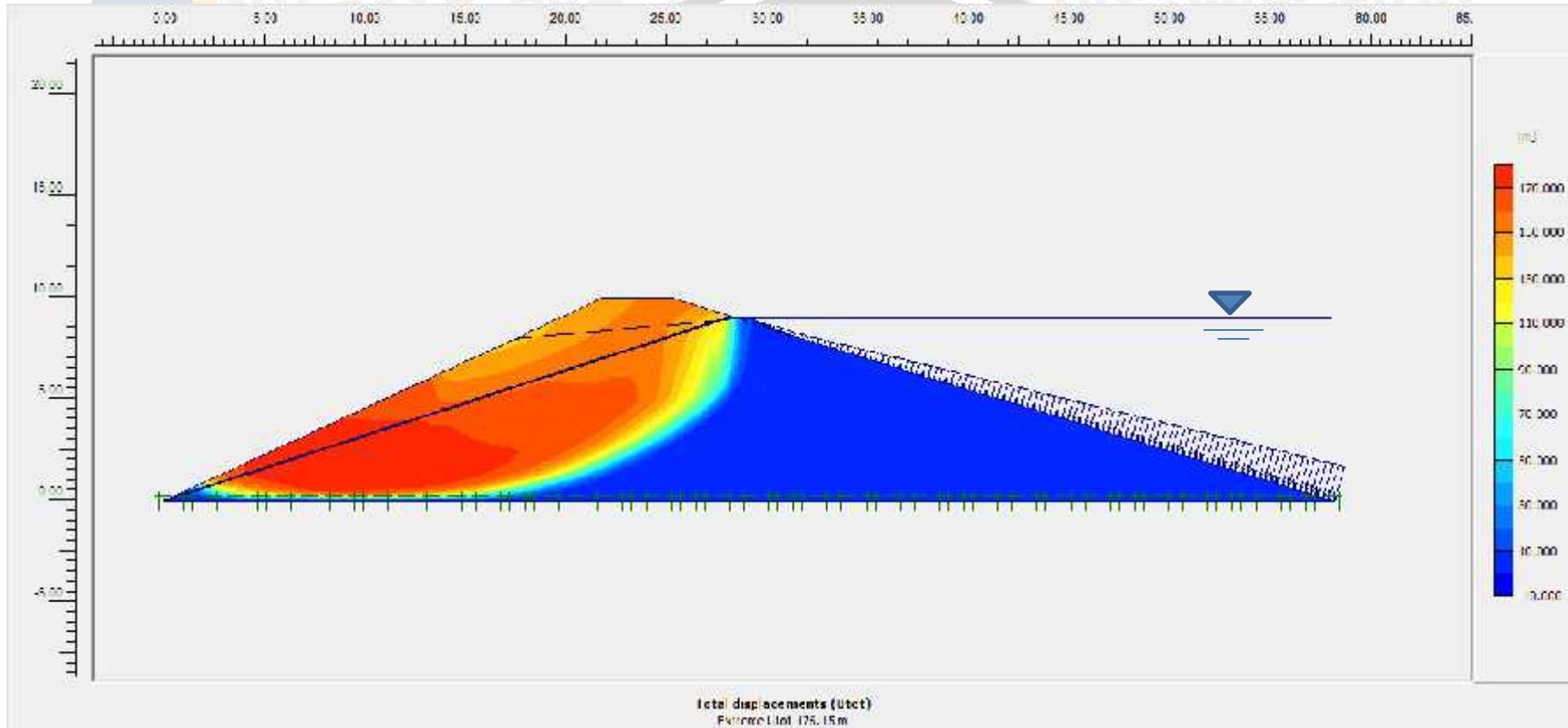
Dari analisa yang dilakukan pada waduk dengan tinggi muka air banjir pada elevasi +51.00 menggunakan parameter gempa mengalami penurunan angka keamanan disebabkan gempa mempengaruhi kestabilan dari bendungan sehingga angka keamanan menurun., hal itu dapat dilihat pada tabel 4.33. analisa yang telah dilakukan menyatakan bendungan aman.

Beban gempa dapat berpengaruh signifikan terhadap tegangan-tegangan dinamik horisontal dan vertikal pada lereng. Tegangan-tegangan tersebut menghasilkan tegangan normal dinamik dan tegangan geser sepanjang daerah yang berpotensi longsor. Jika dibandingkan dengan tegangan geser statik yang ada, tegangan-tegangan dinamik dapat melampaui tahanan geser ijin tanah. Hal ini yang menyebabkan ketidakstabilan lereng (Anonim,2014).

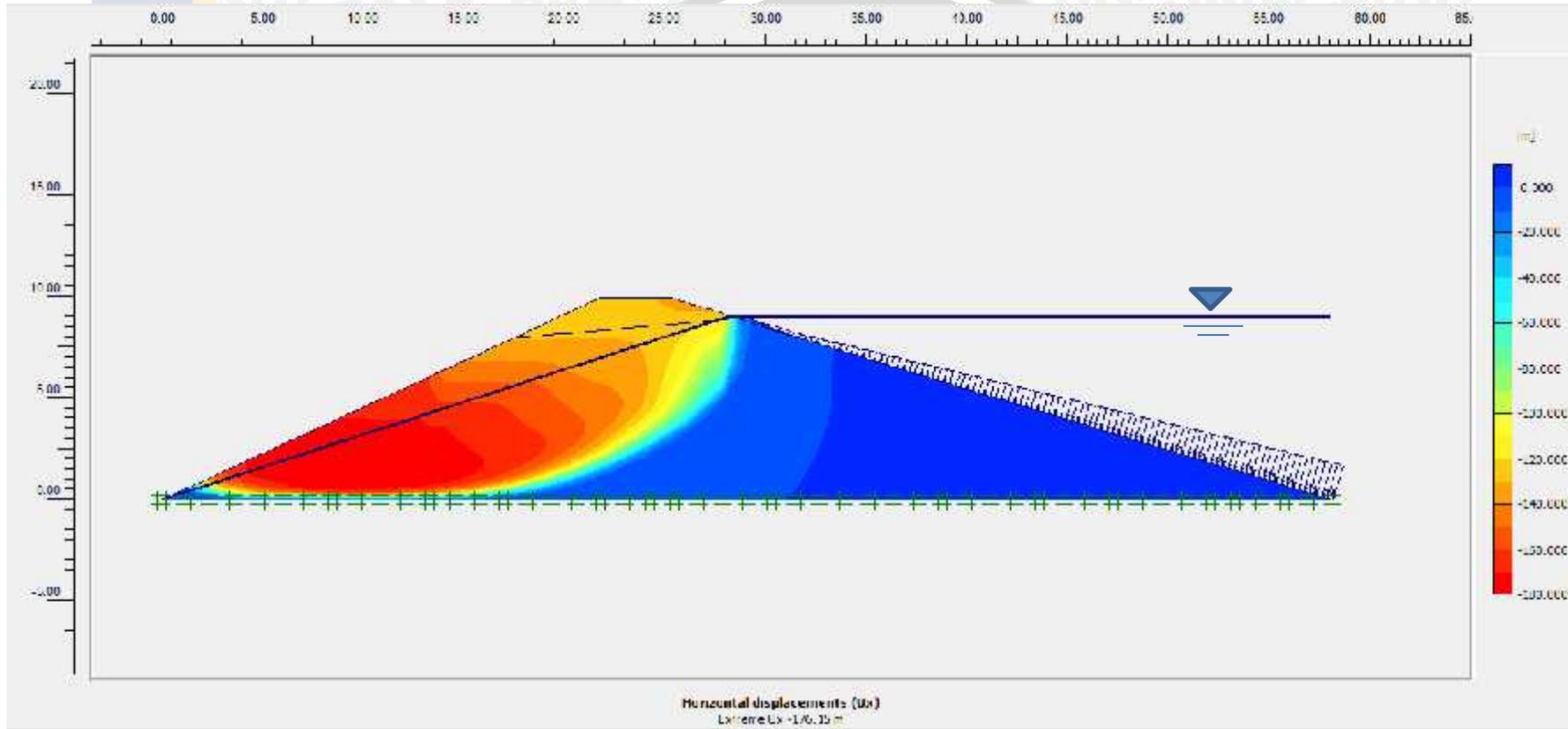


Gambar 4.84 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 1.9126)

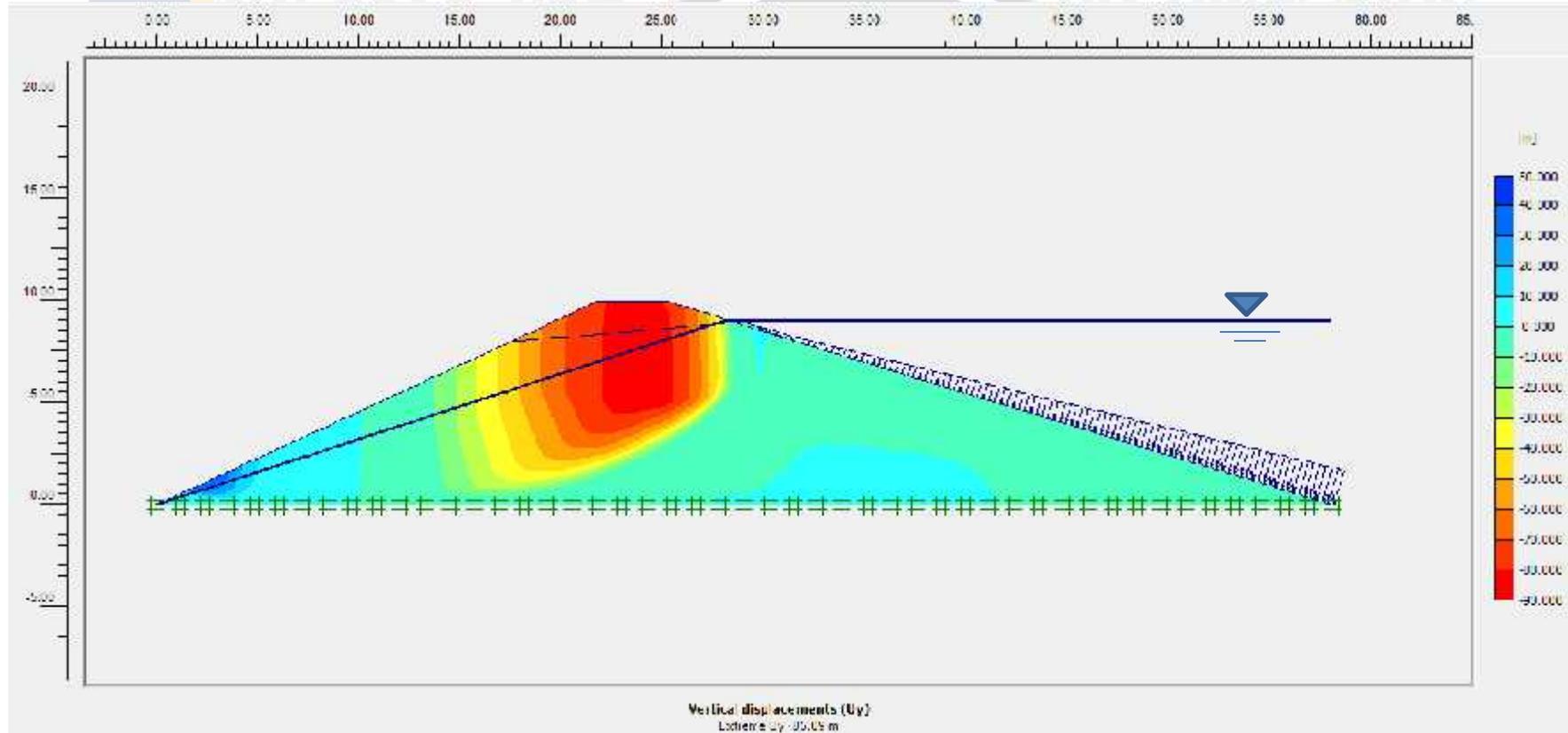
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



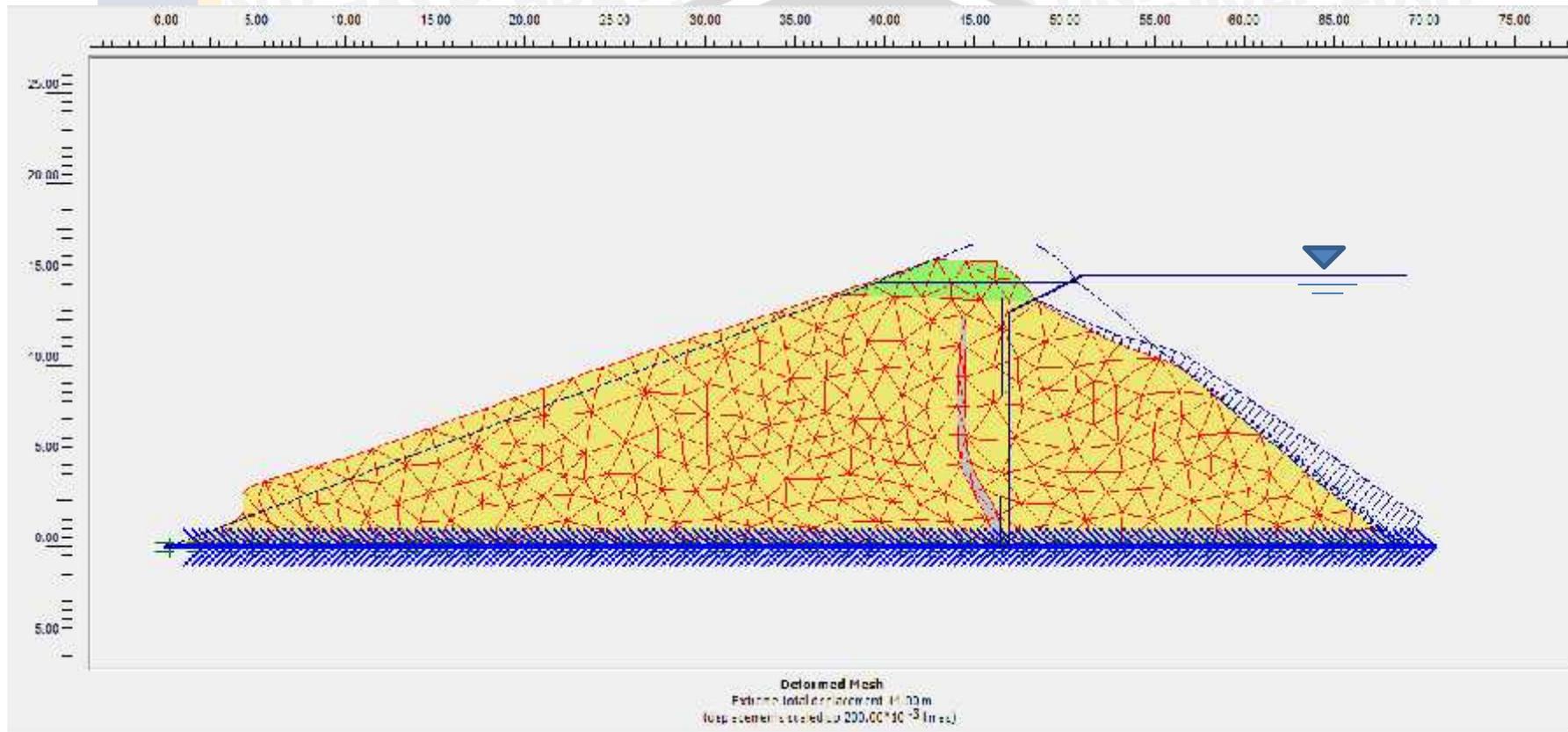
Gambar 4.85 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 1.9126)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.86 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 1.9126)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

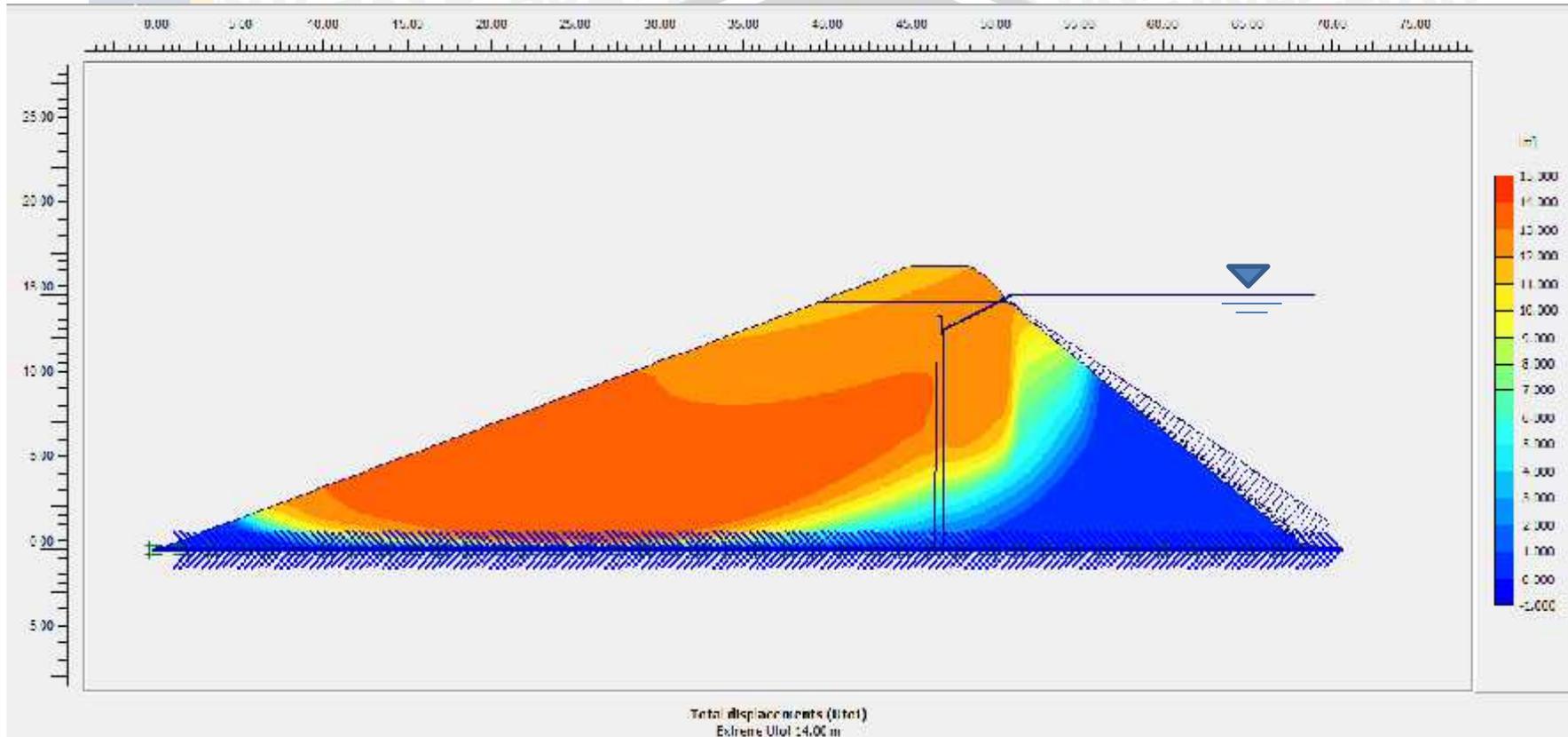


Gambar 4.87 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kanan Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 1.9126)  
 Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

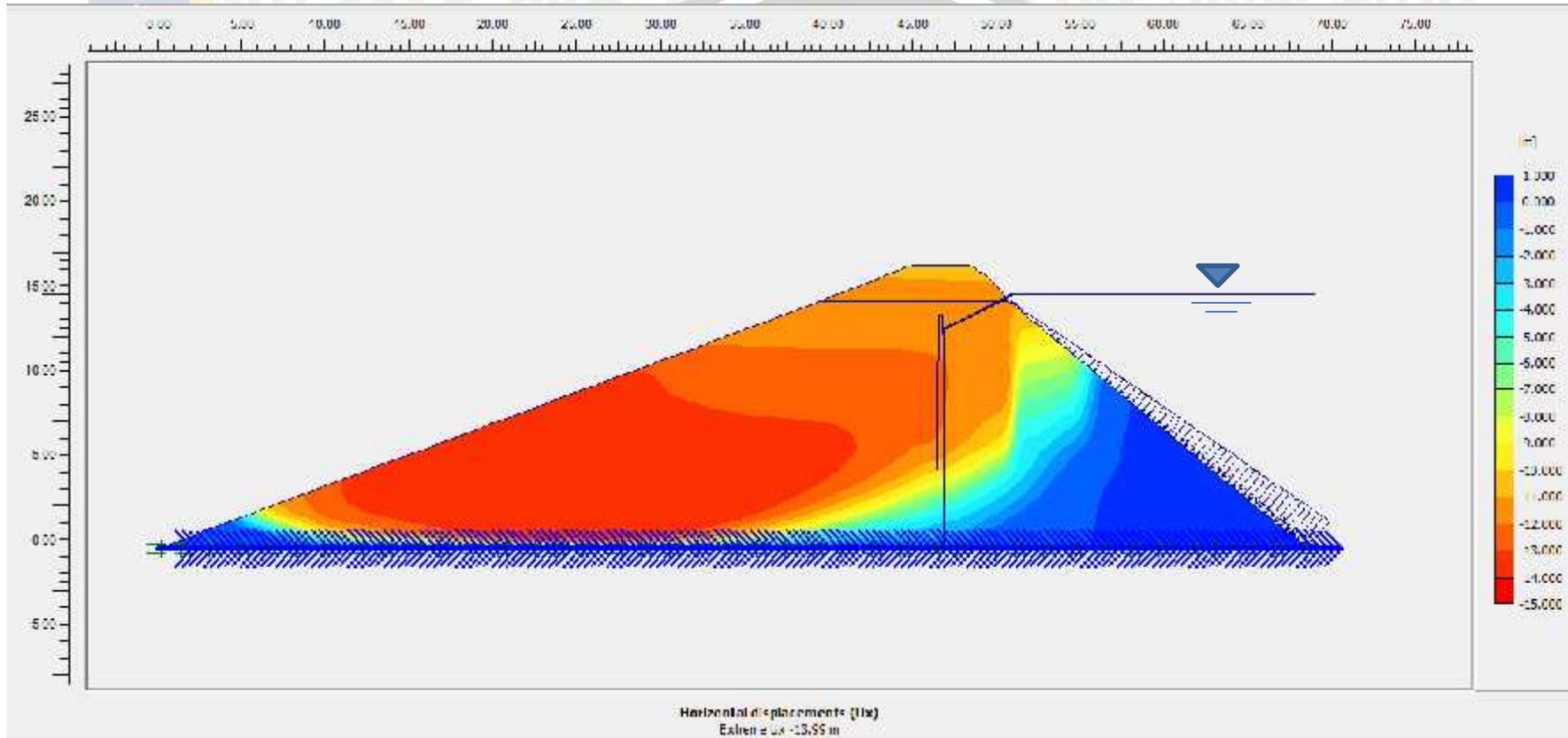


Gambar 4.88 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 1.5171)

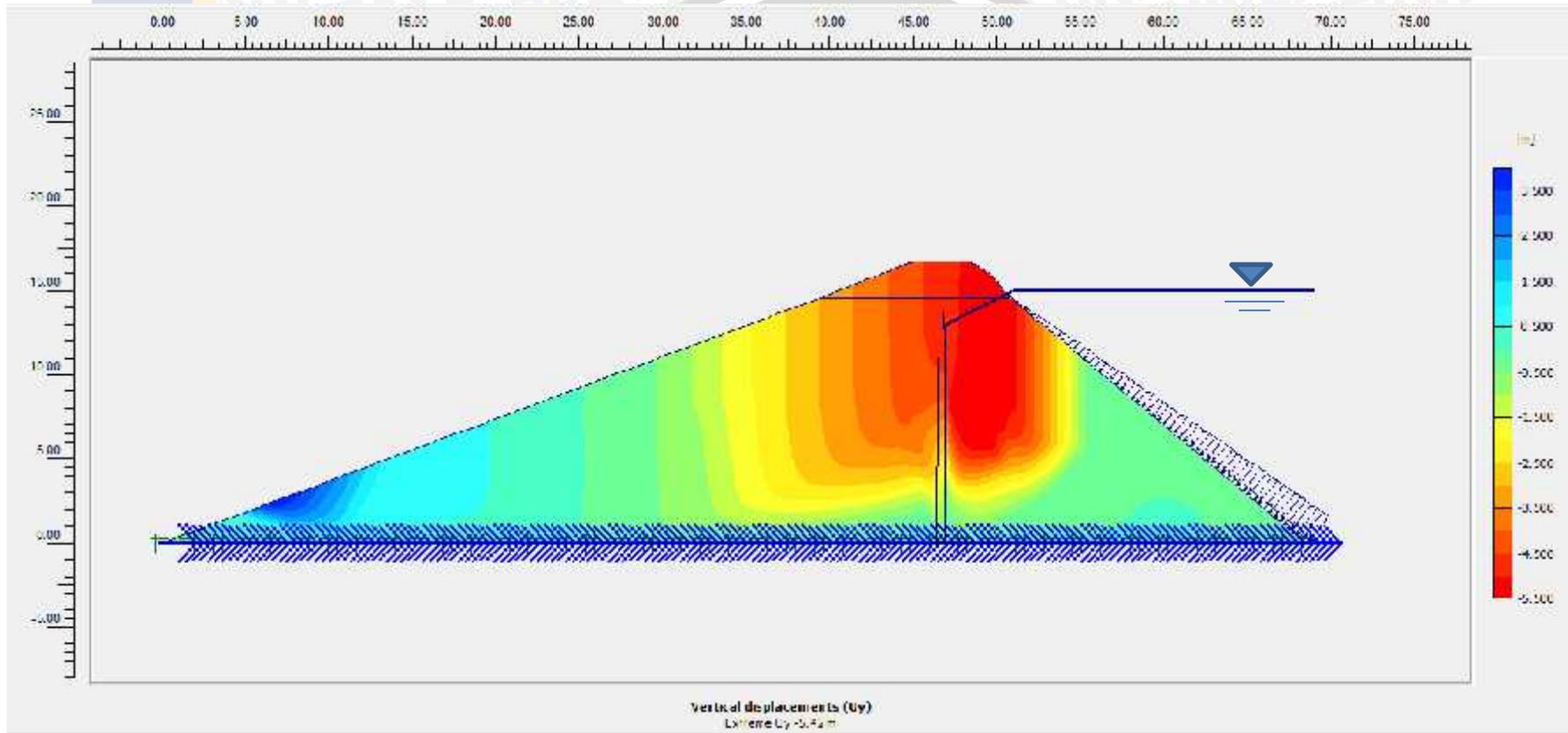
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



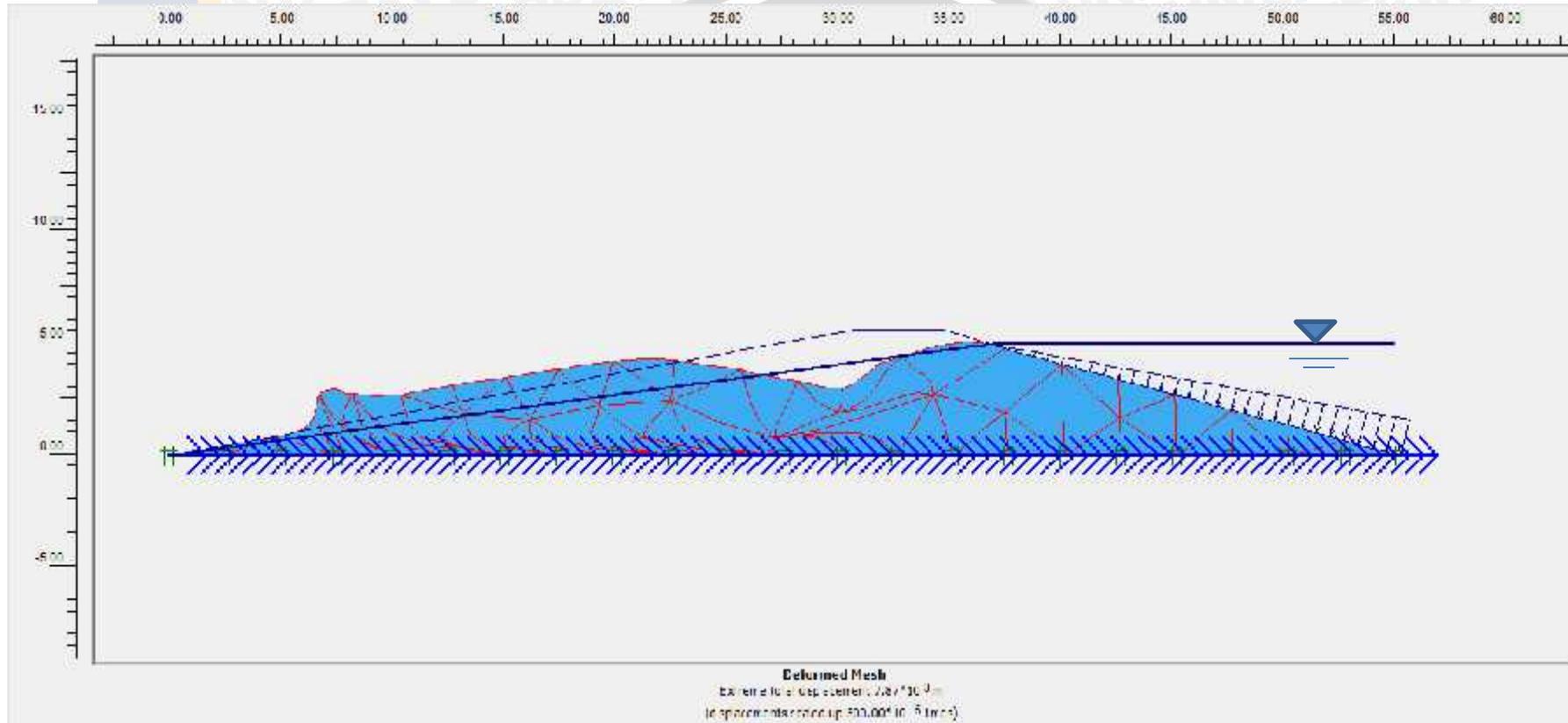
Gambar 4.89 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 1.5171)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



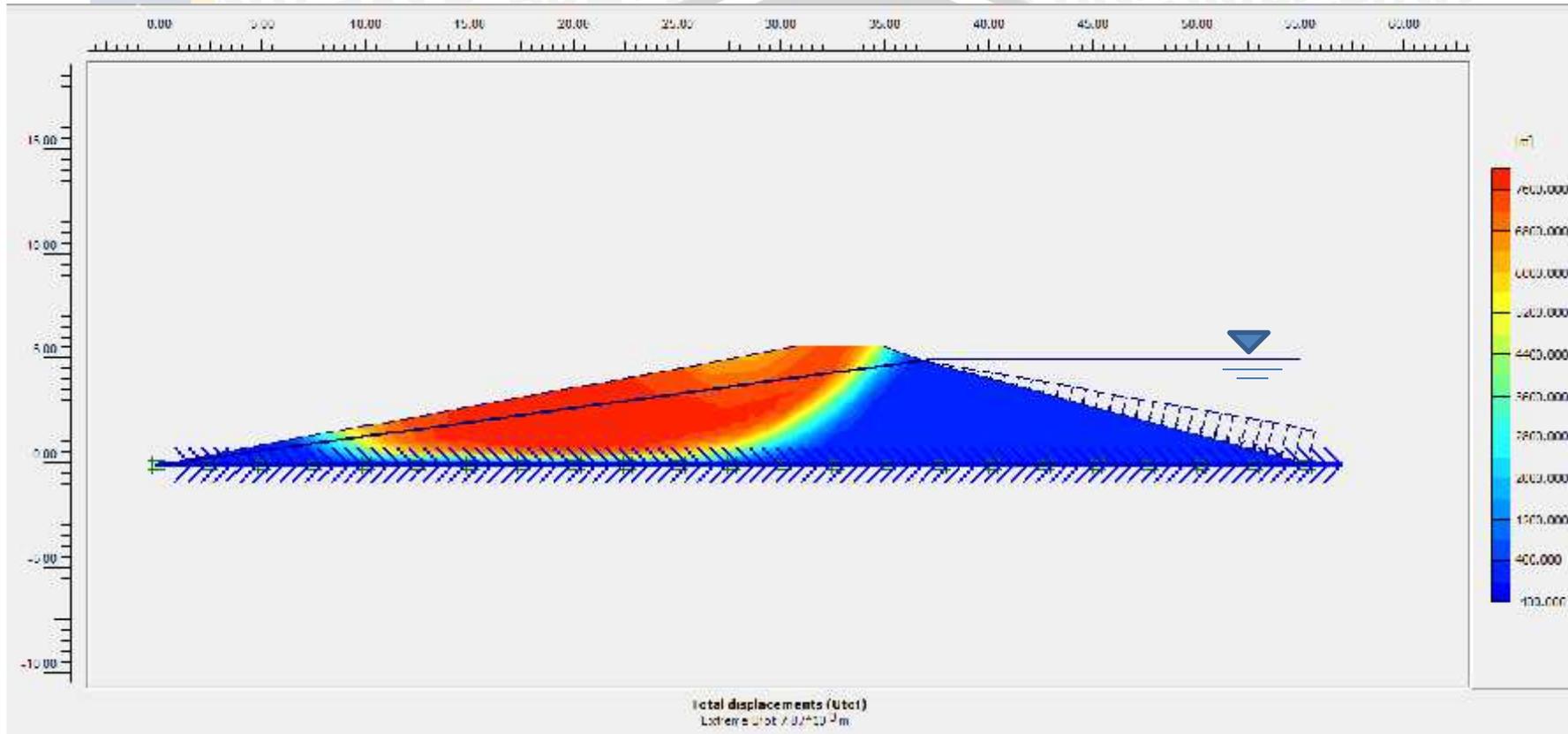
Gambar 4.90 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir dengan Gempa ( $SF = 1.5171$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.91 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Tengah Kondisi Air Banjir dengan Gempa ( $SF = 1.5171$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

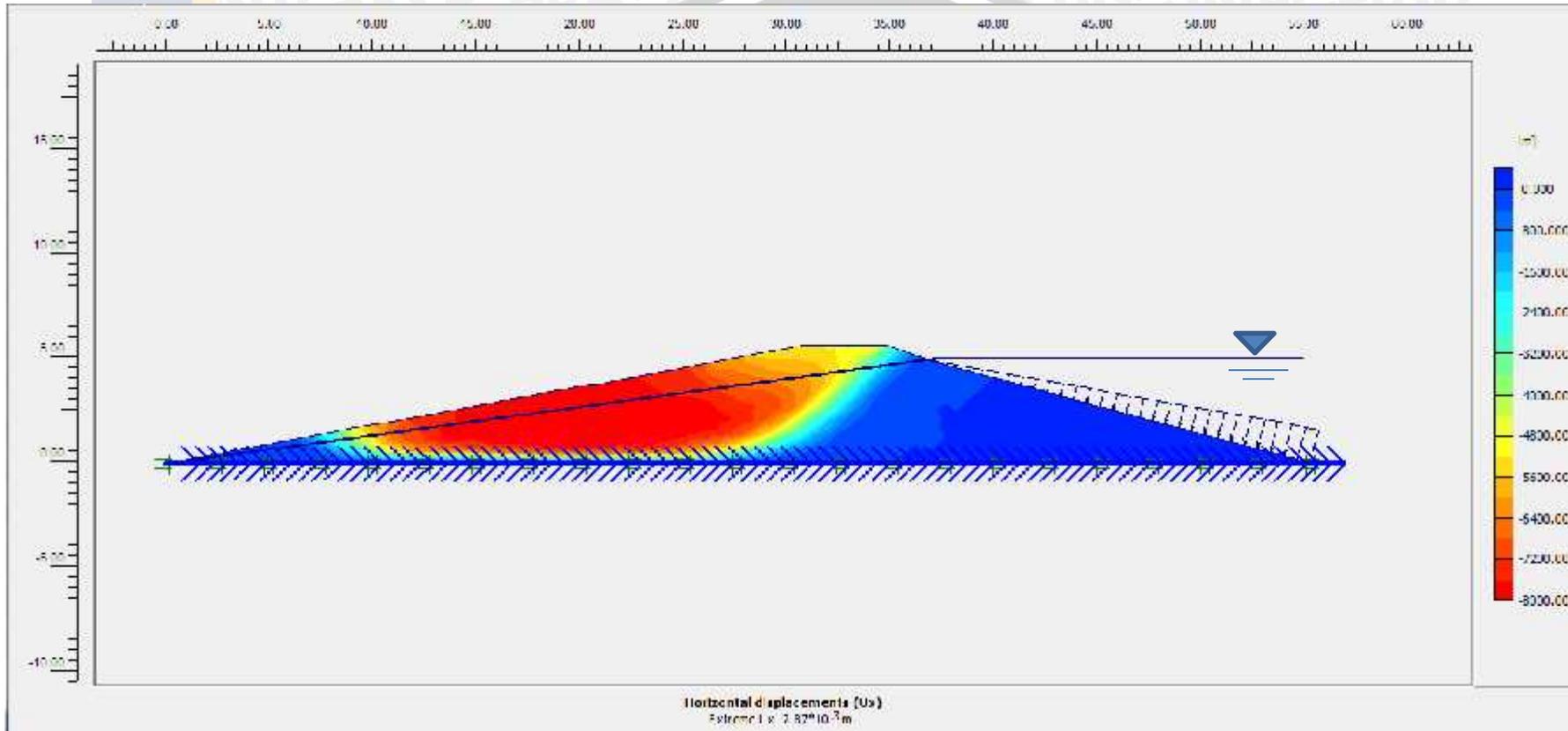


Gambar 4.92 Keluaran *Deformed Mesh* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir dengan Gempa ( $SF = 2.9150$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

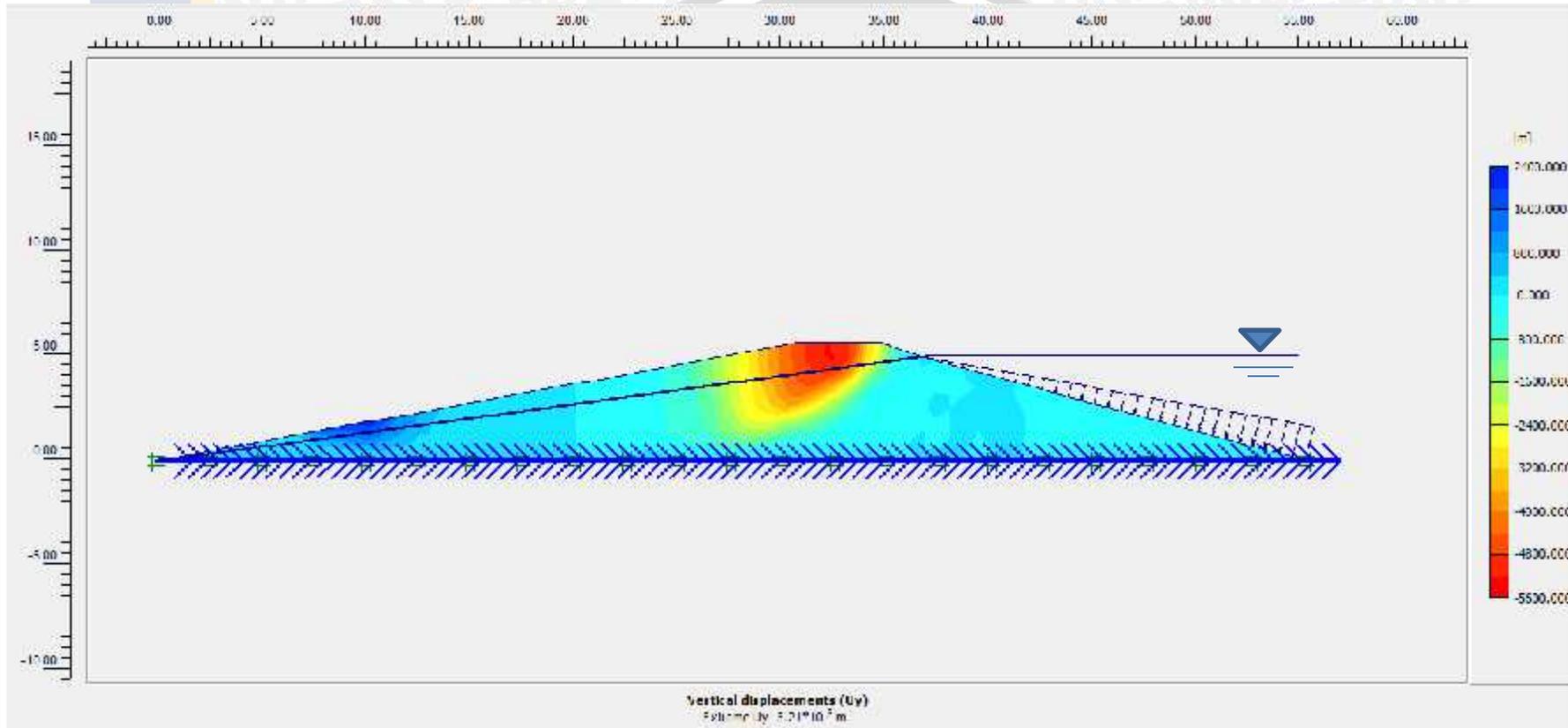


Gambar 4.93 Keluaran Total *Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 2.9150)

Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.94 Keluaran Total *Horizontal Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir dengan Gempa (SF = 2.9150)  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015



Gambar 4.95 Keluaran Total *Vertical Displacements* Untuk Bagian Kiri Kondisi Air Banjir dengan Gempa ( $SF = 2.9150$ )  
Sumber : Hasil Perhitungan, 2015

#### 4.6. Kajian Faktor Keamanan Bendungan Terhadap Stabilitas Lereng

Tabel 4.37 Rekapitulasi Angka Keamanan Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | Angka Keamanan | Status |
|-------------------------|----------------|--------|
| Kanan Kosong            | 2.3668         | Aman   |
| Kanan Kosong Gempa      | 2.3665         | Aman   |
| Kanan Air Normal        | 2.2275         | Aman   |
| Kanan Air Normal Gempa  | 2.2280         | Aman   |
| Kanan Air Banjir        | 1.9416         | Aman   |
| Kanan Air Banjir Gempa  | 1.9126         | Aman   |
| Kiri Kosong             | 2.9279         | Aman   |
| Kiri Kosong Gempa       | 2.9282         | Aman   |
| Kiri Air Normal         | 3.1197         | Aman   |
| Kiri Air Normal Gempa   | 3.1196         | Aman   |
| Kiri Air Banjir         | 2.9155         | Aman   |
| Kiri Air Banjir Gempa   | 2.9150         | Aman   |
| Tengah Kosong           | 1.2290         | Aman   |
| Tengah Kosong Gempa     | 1.2302         | Aman   |
| Tengah Air Normal       | 1.5991         | Aman   |
| Tengah Air Normal Gempa | 1.6026         | Aman   |
| Tengah Air Banjir       | 1.5411         | Aman   |
| Tengah Air Banjir Gempa | 1.5171         | Aman   |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.38 Rekapitulasi *Total Displacements* Bendungan Prijetan

| Kondisi                | <i>Total Displacements</i><br>(m) | Jumlah<br>Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong           | 773.67                            | 4617            | 0.167                             |
| Kanan Kosong Gempa     | 841.21                            | 4617            | 0.182                             |
| Kanan Air Normal       | 475.35                            | 4617            | 0.11                              |
| Kanan Air Normal Gempa | 784.84                            | 4617            | 0.169                             |
| Kanan Air Banjir       | 303.04                            | 4617            | 0.065                             |
| Kanan Air Banjir Gempa | 176.15                            | 4617            | 0.04                              |
| Kiri Kosong            | $49.59 \times 10^3$               | 637             | 72.183                            |
| Kiri Kosong Gempa      | $103.23 \times 10^3$              | 637             | 162.05                            |
| Kiri Air Normal        | $63.96 \times 10^3$               | 637             | 100.41                            |
| Kiri Air Normal Gempa  | $120.70 \times 10^3$              | 637             | 189.48                            |
| Kiri Air Banjir        | $2.08 \times 10^3$                | 637             | 3,27                              |
| Kiri Air Banjir Gempa  | $7.87 \times 10^3$                | 637             | 12.35                             |
| Tengah Kosong          | 11.34                             | 4493            | $2.52 \times 10^{-3}$             |
| Tengah Kosong Gempa    | 16.09                             | 4493            | $3.58 \times 10^{-3}$             |

|                         |       |      |                       |
|-------------------------|-------|------|-----------------------|
| Tengah Air Normal       | 12.29 | 4493 | $2.74 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Air Normal Gempa | 12.52 | 4493 | $2.78 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Air Banjir       | 12.75 | 4493 | $2.84 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Air Banjir Gempa | 14.00 | 4493 | $3.12 \times 10^{-3}$ |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.39 Rekapitulasi *Horizontal Displacements* Bendungan Prijetan

| Kondisi                 | <i>Horizontal Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|-------------------------|--|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong            | 773.67                                 | 4617         | 0.167                             |
| Kanan Kosong Gempa      | 841.16                                 | 4617         | 0.182                             |
| Kanan Air Normal        | 475.29                                 | 4617         | 0.11                              |
| Kanan Air Normal Gempa  | 784.75                                 | 4617         | 0.169                             |
| Kanan Air Banjir        | 303.02                                 | 4617         | 0.065                             |
| Kanan Air Banjir Gempa  | 176.15                                 | 4617         | 0.04                              |
| Kiri Kosong             | $49.55 \times 10^3$                    | 637          | 72.183                            |
| Kiri Kosong Gempa       | $103.15 \times 10^3$                   | 637          | 162.05                            |
| Kiri Air Normal         | $63.71 \times 10^3$                    | 637          | 100.41                            |
| Kiri Air Normal Gempa   | $120.21 \times 10^3$                   | 637          | 189.48                            |
| Kiri Air Banjir         | $2.08 \times 10^3$                     | 637          | 3,27                              |
| Kiri Air Banjir Gempa   | $7.87 \times 10^3$                     | 637          | 12.35                             |
| Tengah Kosong           | 11.34                                  | 4493         | $2.52 \times 10^{-3}$             |
| Tengah Kosong Gempa     | 16.09                                  | 4493         | $3.58 \times 10^{-3}$             |
| Tengah Air Normal       | 12.29                                  | 4493         | $2.74 \times 10^{-3}$             |
| Tengah Air Normal Gempa | 12.51                                  | 4493         | $2.78 \times 10^{-3}$             |
| Tengah Air Banjir       | 12.75                                  | 4493         | $2.84 \times 10^{-3}$             |
| Tengah Air Banjir Gempa | 13.99                                  | 4493         | $3.12 \times 10^{-3}$             |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.40 Rekapitulasi *Vertical Displacements* Bendungan Prijetan

| Kondisi                | <i>Vertical Displacements</i><br>(m) | Jumlah Nodal | Rata-Rata<br><i>Displacements</i> |
|------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| Kanan Kosong           | 574.36                               | 4617         | 0.124                             |
| Kanan Kosong Gempa     | 623.98                               | 4617         | 0.14                              |
| Kanan Air Normal       | 331.40                               | 4617         | 0.08                              |
| Kanan Air Normal Gempa | 547.95                               | 4617         | 0.12                              |
| Kanan Air Banjir       | 152.06                               | 4617         | 0.032                             |
| Kanan Air Banjir Gempa | 86.09                                | 4617         | 0.018                             |
| Kiri Kosong            | $34.21 \times 10^3$                  | 637          | 53.71                             |
| Kiri Kosong Gempa      | $71.18 \times 10^3$                  | 637          | 111.74                            |
| Kiri Air Normal        | $47.63 \times 10^3$                  | 637          | 74.78                             |

|                         |                     |      |                       |
|-------------------------|---------------------|------|-----------------------|
| Kiri Air Normal Gempa   | $89.86 \times 10^3$ | 637  | 141.07                |
| Kiri Air Banjir         | $1.38 \times 10^3$  | 637  | 2.17                  |
| Kiri Air Banjir Gempa   | $5.21 \times 10^3$  | 637  | 8.18                  |
| Tengah Kosong           | 6.75                | 4493 | $1.50 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Kosong Gempa     | 9.57                | 4493 | $2.13 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Air Normal       | 6.05                | 4493 | $1.34 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Air Normal Gempa | 6.13                | 4493 | $1.36 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Air Banjir       | 5.02                | 4493 | $1.12 \times 10^{-3}$ |
| Tengah Air Banjir Gempa | 5.42                | 4493 | $1.21 \times 10^{-3}$ |

Sumber : Hasil Perhitungan

Angka *Total Displacements* yang telah dianalisis dari aplikasi *plaxis 2* dimensi menyebutkan bahwa dari beberapa bagian Bendungan Prijetan mengalami pergeseran tanah yang berbeda-beda. Kondisi dari berbagai bagian dari bendungan mempengaruhi angka tersebut dikarenakan masing-masing kondisi mempunyai gaya yang berbeda, baik dari segi tampungan maupun dari parameter yang diterimanya. Hal itu juga berpengaruh pada dua analisa yang lain yaitu analisa *Horizontal Displacements* dan *Vertical Displacements*.

Angka keamanan yang telah dianalisis dari aplikasi *plaxis 2* dimensi menyebutkan bahwa dari beberapa bagian Bendungan Prijetan dinyatakan aman. Angka keamanan yang relatif mendekati angka keamanan syarat aman yaitu bagian tengah, dapat dinyatakan bagian tengah mengalami kekritisian. Angka keamanan yang keluar dari aplikasi *Plaxis* dinyatakan aman setelah dilakukan berbagai macam analisa. Kenyataan di lapangan juga menyebutkan bahwa Bendungan Prijetan harus diisi dengan tampungan  $500.000 \text{ m}^3$  untuk membantu kestabilan bendungan.