# BAB V
# ANALISIS DAN PEMODELAN

## 5.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai data-data material tanah yang digunakan, hasil analisis dan pemodelan hydraulic fracture yang didapat. Data-data material tanah di dapat dari hasil uji laboratorium mekanika tanah dan pengujian di lapangan. Model bendungan yang dipakai adalah model bendungan Jambu Aye di propinsi Nanggroe Aceh Darussalam pada posisi STA 0+300. Analisis dan pemodelan hydraulic fracture dilakukan dengan menggunakan software SEEP/W 2007 untuk memodelkan rembesan dan SIGMA/W 2007 analisis uncoupled untuk memodelkan tegangan.

## 5.2 Lokasi Studi dan Data Teknis Bendungan

Bendungan Jambu Aye adalah bendungan yang masih dalam tahap perencanaan. Bendungan ini terletak di daerah Aceh Utara.




**Gambar 5. 1 Lokasi Bendungan Jambu Aye**

Data teknis bendungan adalah sebagai berikut:

1. Tinggi Bendungan : 56 m
2. Lebar Bendungan : 400 m
3. Elevasi Air Rencana : 64 m
4. Kecepatan pengisian : 5 m

Pada studi ini, kecepatan pengisian diambil dari data Tabel 2. 1 dengan melakukan interpolasi dari ketinggian bendungan dengan waktu pengisian dari bendungan Balderhead dan Viddalsvatn.

5. Inti bendungan
   Lebar sisi atas : 15 m
   Lebar sisi bawah : 30 m
   Tinggi : 54,5 m
   Material : Lempung
6. Fine Filter bendungan
   Tebal dari Inti : 2 m
   Material : Pasir
7. Coarse Filter bendungan
   Tebal dai Fine Filter : 3 m
   Material : Pasir
8. Rockfill bendungan
   Material : kerakal dan kerikil

Pada studi ini pengisian akan dilakukan 5 m / bulan. Pengisian akan dimulai pada hari ke-H dan akan dihentikan pada hari ke- H+260 ketika elevasi muka air mencapai elevasi 64 m (elevasi rencana), kemudian dari hari ke- H+260 hingga hari ke- H+1825 (5 tahun) elevasi muka air akan tetap berada pada elevasi 64 m untuk mengamati proses penjenuhan pada tanah di tubuh bendungan.

## 5.3 Data Material

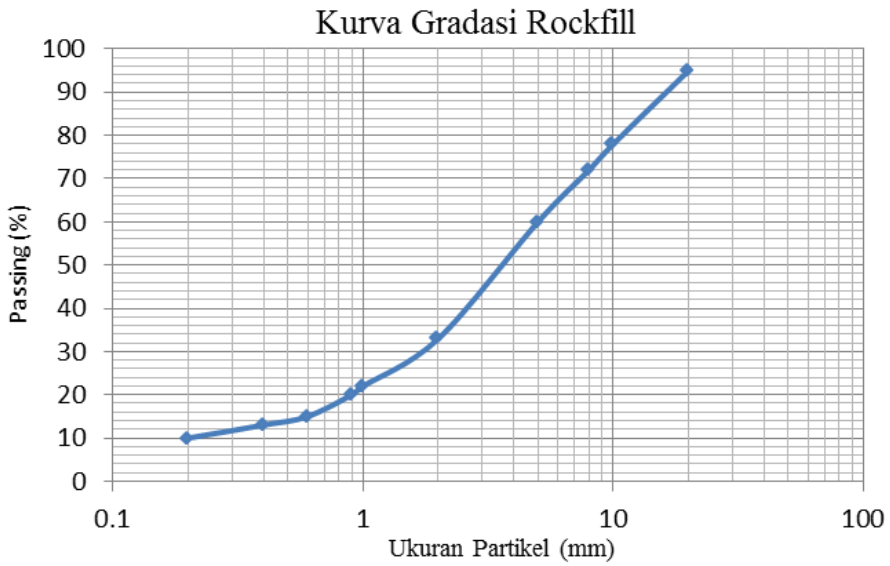
Data material adalah berupa parameter-parameter tanah yang digunakan untuk memodelkan *hydraulic fracture* bendungan rockfill. Parameter-parameter tanah yang dibutuhkan untuk melakukan pemodelan adalah sebagai berikut:

1. Gradasi butiran untuk rockfill dan pasir (filter)
2. Plastisitas untuk material core bendungan
3. Parameter kuat geser tanah berupa nilai c (kohesi) dan nilai phi (sudut geser)

### 5.3.1 Gradasi Butir

#### 5.3.1.1 Gradasi Butir Rockfill

Rockfill pada bendungan merupakan material berupa kerikil (gravel). Kurva gradasi berikut diambil dari penelitian pada hasil studi dari bendungan Mianeh dam dan Madani dam di Iran oleh Ali Ganbari (*An Experiment Study on the Behavior of Rockfill Materials Using Large Scale Test*, 2008). Adapun kurva gradasi *rockfill* hasil studi tersebut adalah sebagai berikut:




**Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Rockfill**

Dari kurva gradasi Rockfill tersebut dapat diperoleh beberapa data-data yaitu:

$D_{90}$ = 17 mm

$D_{60}$ = 5 mm

$D_{50}$ = 3,5 mm

$D_{30}$ = 1,8 mm

$D_{20}$ = 0,9 mm

$D_{10}$ = 0,2 mm

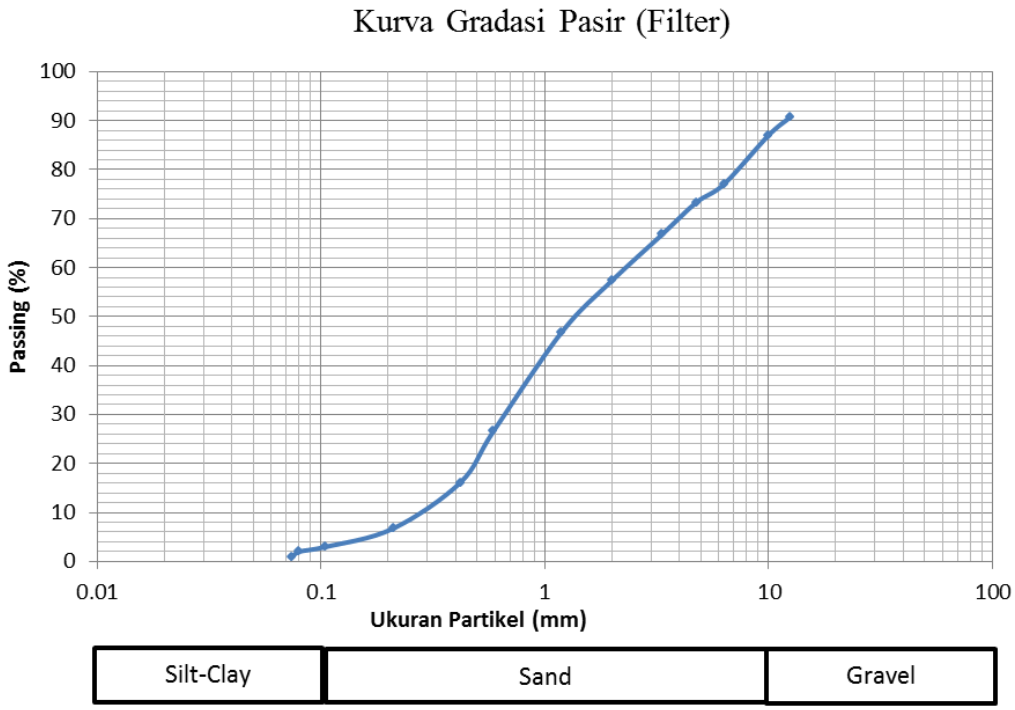
$P_{200}$ = 3,69%

#### 5.3.1.2 Gradasi Butir Material Filter

Filter pada bendungan rockfill merupakan material pasir. Pada pemodelan ini, dikarenakan hasil kurva gradasi material pasir bendungan Jambu Aye tidak berada

pada kurva gradasi yang telah ditentukan, maka untuk pemodelan pada studi ini digunakan kurva gradasi material pasir bendungan Keuliling yang juga berada di propinsi Aceh.

Kurva gradasi pasir yang dipakai adalah kurva gradasi dari Laporan Hasil Penyelidikan Tanah "Pekerjaan Supervisi, Perencanaan Land Scape dan Penyelidikan Tanah Waduk Keuliling Nanggroe Aceh Darussalam". Kurva dapat dilihat pada Gambar 5.3.




**Gambar 5. 3 Kurva Gradasi Filter**

Dari kurva gradasi filter (pasir) tersebut dapat diperoleh beberapa data-data yaitu:

$D_{90}$ = 12 mm

$D_{60}$ = 2,3 mm

$D_{50}$ = 1,35 mm

$D_{30}$ = 0,67 mm

$D_{20}$ = 0,49 mm

$D_{10}$ = 0,29 mm

$P_{200}$ = 1,4%

### 5.3.2 Plastisitas Material Inti Bendungan

Inti bendungan yang akan dimodelkan adalah inti bendungan dengan material lempung plastisitas tinggi (High Plasticity Clay / CH). Untuk bagian inti bendungan data yang diperlukan adalah data hasil uji batas-batas atterberg. Hasil dari uji batas-batas atterberg pada bendungan Jambu Aye pada tahun 2010 adalah sebagai berikut:

**Tabel 5. 1 Hasil Uji Batas Atterberg Lempung CH**

| Tahun | Kode titik Bor | LL | PI |
|---|---|---|---|
| 2010 | TP-1 | 72.02 | 23.67 |
| | TP-2 | 40.5 | 17.66 |
| | TP-3 | 68.36 | 34.3 |
| | TP-4 | 59.63 | 31.16 |
| | TP-5 | 81.23 | 46.37 |
| | TP-6 | 44.86 | 21.82 |
| | TP-7 | 58.28 | 30.28 |
| | TP-8 | 62.57 | 34.21 |
| | TP-9 | 61.47 | 32.36 |
| | TP-10 | 59.41 | 27.89 |
| | TP-11 | 62.69 | 28.29 |
| | TP-12 | 32.84 | 14.66 |
| | TP-13 | 66.86 | 33.01 |
| | TP-14 | 48 | 19.28 |
| | TP-15 | 69.43 | 46.79 |
| | TP-16 | 58.35 | 25.86 |
| | TP-17 | 42.6 | 20.87 |
| | TP-18 | 55.26 | 31.22 |
| | TP-19 | 29.24 | 13.42 |
| | TP-20 | 60.26 | 26.41 |
| | TP-21 | 34.1 | 16.93 |
| | TP-22 | 46.16 | 21.23 |
| | TP-23 | 58.44 | 29.25 |
| | TP-24 | 41.52 | 20.64 |
| | TP-25 | 50.04 | 24.09 |
| | TP-26 | 64.15 | 27.15 |
| | TP-27 | 50.27 | 20.25 |
| | TP-28 | 55.49 | 22.6 |
| | TP-29 | 57.58 | 23.28 |
| | TP-30 | 58.96 | 26.95 |
| **Average** | | **55.019** | **26.397** |

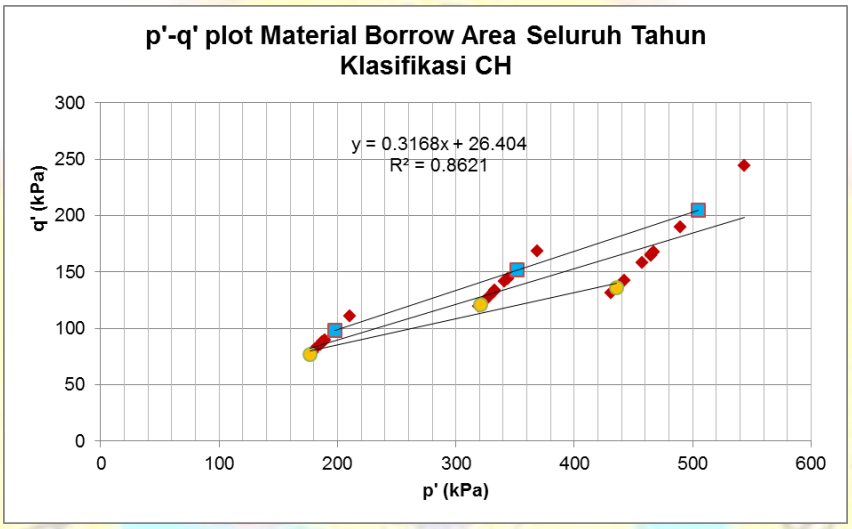
### 5.3.3 Parameter Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah adalah berupa nilai kohesi efektif (c') dan sudut geser efektif tanah (φ'). Parameter kuat geser material yang dimodelkan adalah sebagai berikut:

1. Parameter kuat geser untuk bagian **inti bendungan (lempung CH)** diambil dari uji Triaksial CU bendungan Jambu Aye. Hasil uji Triaksial CU yang didapat adalah sebagai berikut:

   **c' = 18,47 kPa**

   **φ'= 27,84$^0$**




**Gambar 5. 4 Hasil Triaksial CU material lempung CH**

2. Parameter kuat geser untuk material **tanah granular** untuk **filter** diambil dari "Laporan Perhitungan Liquefaction, Rembesan dan Analisa Seismik Desember 2003" dari Review Desain Saddle Dam dan Main Dam Waduk Keuliling. Nilai dari parameter tersebut adalah sebagai berikut:

   **c' = 0**

   **φ' = 40$^0$**

3. Parameter kuat geser untuk material granular untuk **rockfill** diambil dari hasil studi pada bendungan Madani Dam (An Experimental Study on the Behavior of Rockfill Materials Using Large Scale Test). Dengan parameter kuat geser adalah sebagai berikut

   **c' = 0**

   **φ = 47,5$^0$**

## 5.4 Penentuan *Soil Water Characteristic Curve* (SWCC)

Penentuan *Soil Water Characteristic Curve* menggunakan metode ***Fredlund and Xing***. Untuk penentuan kurva SWCC diperlukan *fitting curve parameter*. *Fitting curve parameter* adalah a, n dan m yang dihitung berdasarkan analisis butir untuk tanah granular (rockfill dan filter) dan nilai batas-batas atterberg untuk tanah kohesif (inti bendungan).

### 5.4.1 *Soil Water Characteristic Curve* Rockfill

Perhitungan *fitting curve parameter* untuk rockfill adalah sebagai berikut:

$$m_1 = \frac{30}{[\log(D_{90}) - \log(D_{60})]}$$

$m_1 = 56{,}44$

$$D_{100} = 10^{\left[\frac{40}{m_1} + \log(D_{60})\right]}$$

$D_{100} = 25{,}56$

$$a = -2{,}79 - 14{,}1\log(D_{20}) - 1{,}9\times10^{-6}\cdot P_{200}^{4{,}34} + 7\log(D_{30}) + 0{,}055\cdot D_{100}$$

$a = 1{,}05$

$$a_f = 1{,}14\cdot a - 0{,}5$$

**$a_f$ = 0,6**

$$m_2 = \frac{20}{[\log(D_{30}) - \log(D_{10})]}$$

$m_2 = 20{,}6$

$$D_0 = 10^{\left[\frac{-30}{m_2} + \log(D_{20})\right]}$$

$D_0 = 0{,}03$

$$b = \left\{5{,}39 - 0{,}29\ln\left[P_{200}\left(\frac{D_{90}}{D_{10}}\right)\right] + 3\cdot D_0^{0{,}57} + 0{,}021\cdot P_{200}^{1{,}19}\right\}\cdot m_1^{0{,}1}$$

$b = 6{,}37$

$$b_f = 0{,}936\cdot b - 3{,}8$$

**$b_f$ = 2,16**

$$c_f = 0{,}26 \cdot e^{0{,}758} + 1{,}4 \cdot D_{10}$$

**$c_f$ = 0,84**

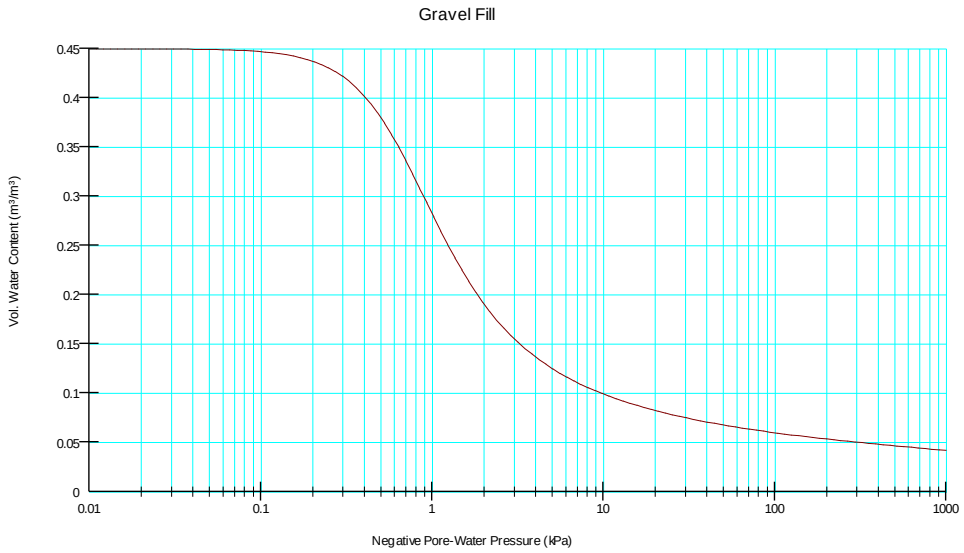
Jadi *fitting curve parameter* kurva *Soil Water Characteristic* (SWCC) rockfill adalah sebagai berikut:

**a = 0,6**

**n = 2,16**

**m = 0,84**

Dengan memasukkan *fitting curve parameter* ke *Volumetric Water Content Function* pada SEEP/W maka didapat *Soil-Water Characteristic Curve* rockfill yang diplot berdasarkan metode *Fredlund and Xing* untuk tanah bergranular.




**Gambar 5. 5 Kurva SWCC Rockfill**

### 5.4.2 *Soil Water Characteristic Curve* Pasir

Perhitungan *fitting curve parameter* untuk filter pasir adalah sebagai berikut:

$$m_1 = \frac{30}{[\log(D_{90}) - \log(D_{60})]}$$

$m_1 = 41{,}81$

$$D_{100} = 10^{\left[\frac{40}{m_1} + \log(D_{60})\right]}$$

$D_{100} = 20{,}81$

$$a = -2{,}79 - 14{,}1\log(D_{20}) - 1{,}9 \times 10^{-6} \cdot P_{200}^{4{,}34} + 7\log(D_{30}) + 0{,}055 \cdot D_{100}$$

$a = 1{,}51$

$a_f = 1{,}14 \cdot a - 0{,}5$

**$a_f$ = 0,86**

$$m_2 = \frac{20}{[\log(D_{30}) - \log(D_{10})]}$$

$m_2 = 54{,}99$

$$D_0 = 10^{\left[\frac{-30}{m_2} + \log(D_{20})\right]}$$

$D_0 = 0{,}14$

$$b = \left\{5{,}39 - 0{,}29 \ln\left[P_{200}\left(\frac{D_{90}}{D_{10}}\right)\right] + 3 \cdot D_0^{0{,}57} + 0{,}021 \cdot P_{200}^{1{,}19}\right\} \cdot m_1^{0{,}1}$$

$b = 7{,}58$

$b_f = 0{,}936 \cdot b - 3{,}8$

**$b_f$ = 3,29**

$c_f = 0{,}26 \cdot e^{0{,}758} + 1{,}4 \cdot D_{10}$

**$c_f$ = 0,96**

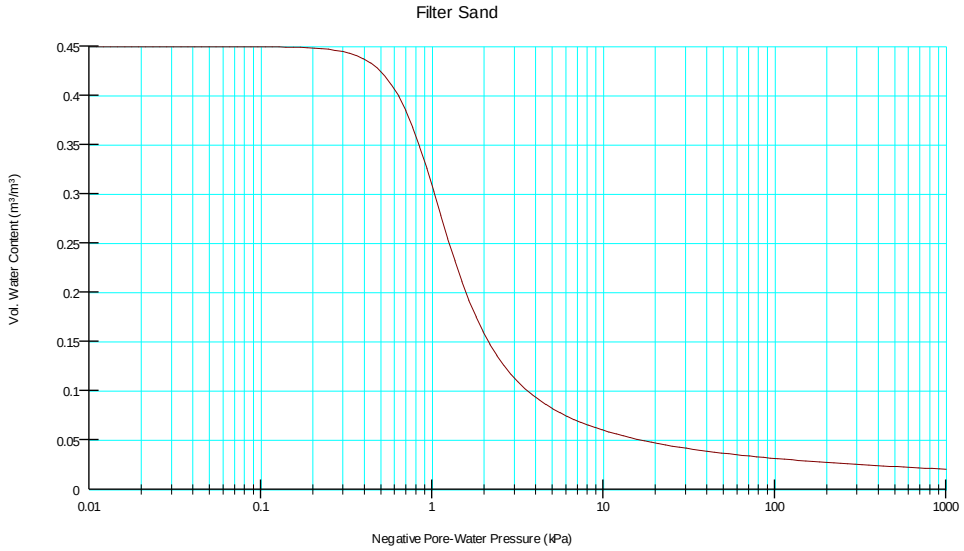
Jadi *fitting curve parameter Soil-Water Characteristic Curve* pasir adalah sebagai berikut:

**a = 0,86**

**n = 3,29**

**m = 0,96**

Dengan memasukkan parameter penyesuai fungsi ke *Volumetric Water Content Function* pada SEEP/W maka didapat *Soil Water Characteristic Curve* filter pasir yang diplot berdasarkan metode *Fredlund and Xing* untuk tanah bergranular.




**Gambar 5. 6 Kurva SWCC Filter Pasir**

### 5.4.3 *Soil Water Characteristic Curve* Lempung Inti Bendungan (Core)

Perhitungan *fitting curve parameter* untuk tanah berbutir halus (kohesif) adalah sebagai berikut

$$wPI = \frac{P_{200} \cdot PI}{100}$$

$P_{200}$ = 80,07 (didapat dari hasil analisis butir lempung CH)

wPI = 21,13

$$a_f = 32{,}835\{\ln(wPI)\} + 32{,}438$$

**$a_f$ = 132,62**

$$b_f = 1{,}421(wPI)^{-0{,}3185}$$

**$b_f$ = 0,54**

$$c_f = -0{,}2154\{\ln(wPI)\} + 0{,}7145$$

**$c_f$ = 0,057**

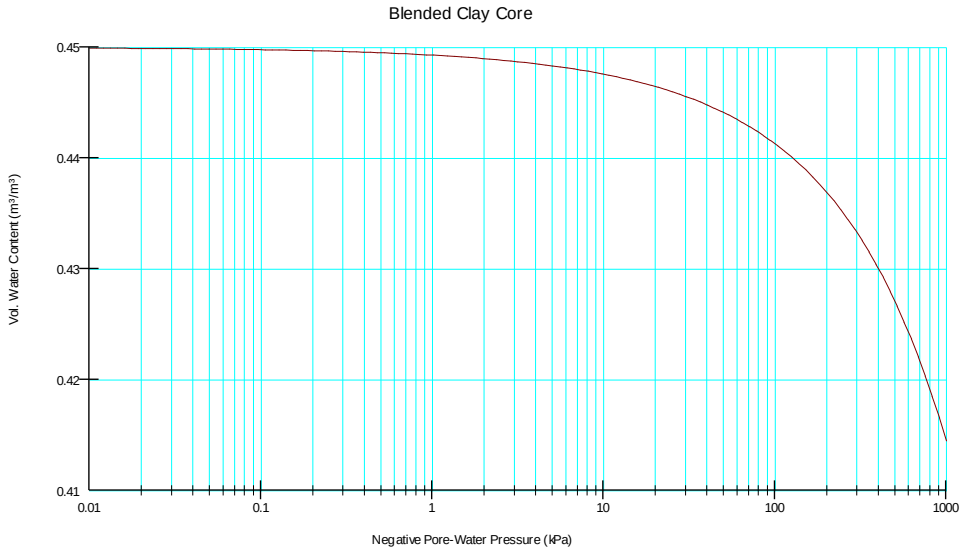
Jadi *fitting curve parameter Soil-Water Characteristic Curve* lempung inti bendungan adalah sebagai berikut:

**a = 132,62**

**n = 0,54**

**m = 0,057**

Dengan memasukkan parameter penyesuai fungsi ke *Volumetric Water Content Function* pada SEEP/W maka didapat *Soil-Water Characteristic Curve* inti bendungan (CH) yang diplot berdasarkan metode *Fredlund and Xing* untuk tanah berbutir halus.




**Gambar 5. 7 Kurva SWCC Filter Pasir**

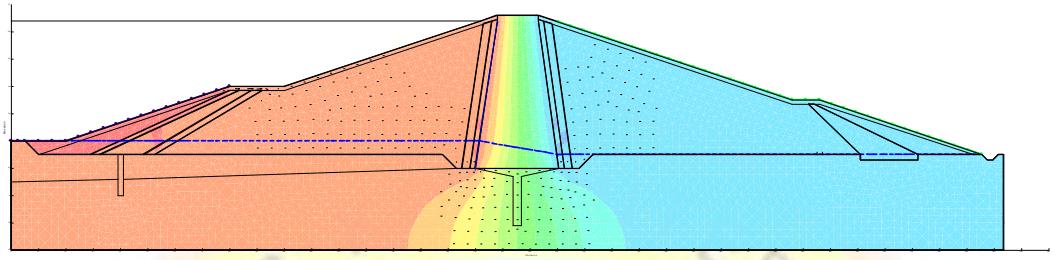
## 5.5 Analisis dan Pemodelan Rembesan (Seepage) dengan SEEP/W 2007

Analisis dan pemodelan rembesan bendungan Jambu Aye dilakukan dengan rentang waktu (durasi) 1825 hari (5 tahun) dengan pengamatan sebagai berikut:

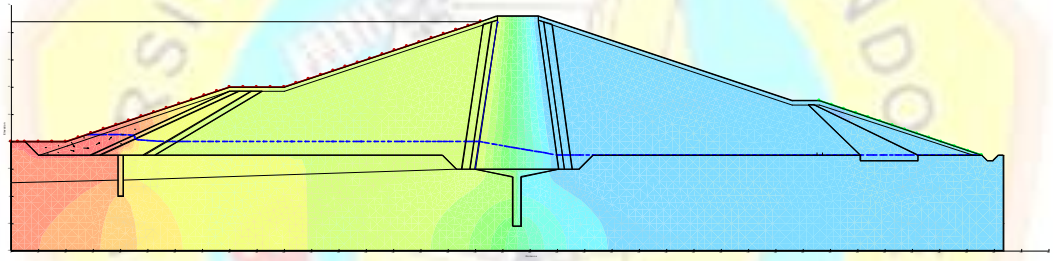
1. Hari H pengisian (mulai pengisian)
2. 15 hari pengisian (H + 15), dengan tinggi muka air 22,5 m dari fondasi
3. 30 hari pengisian (H + 30), dengan tinggi muka air 25 m dari fondasi
4. 60 hari pengisian (H + 60), dengan tinggi muka air 30 m dari fondasi
5. 90 hari pengisian (H + 90), dengan tinggi muka air 35 m dari fondasi
6. 120 hari pengisian (H + 120), dengan tinggi muka air 40 m dari fondasi
7. 180 hari pengisian (H + 180), dengan tinggi muka air 50 m dari fondasi
8. 260 hari pengisian (pengisian dihentikan) (H + 260), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi
9. 365 hari (1 tahun) dari hari H pengisian (H + 365), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi
10. 730 hari (2 tahun) dari hari H pengisian (H + 730), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi

11. 1835 hari (5 tahun) dari hari H pengisian (H + 1825), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi

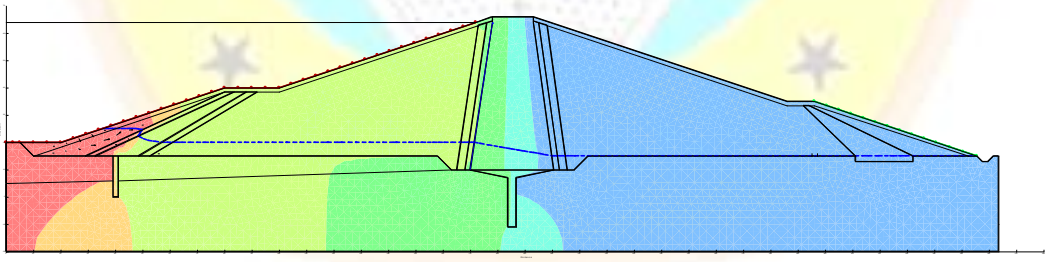
Hasil analisis rembesan dengan SEEP/W 2007 dapat dilihat pada Gambar 5.8 sampai Gambar 5.29 dan tabel 5.2 di bawah. Gambar di bawah ini merupakan kontur total head selama pengisian waduk



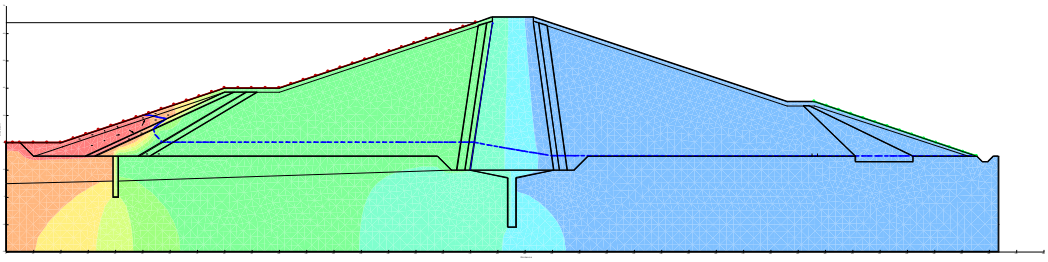
**Gambar 5. 8 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Steady State (H = 0) Bendungan Jambu Aye,**



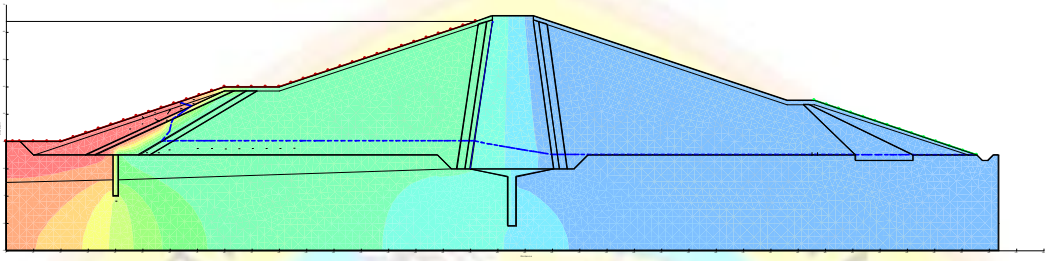
**Gambar 5. 9 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +15 pengisian, elevasi muka air 22,5 m.**



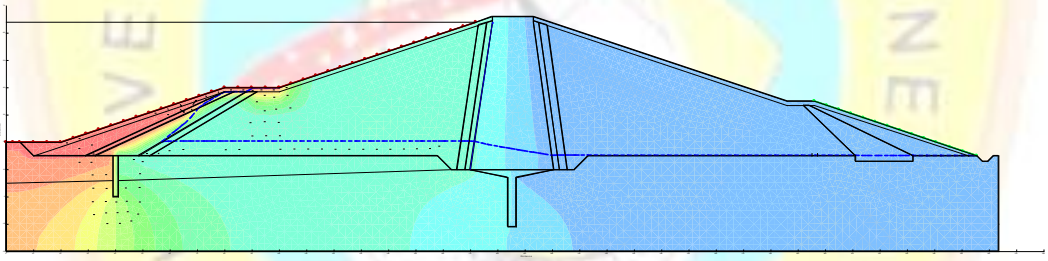
**Gambar 5. 10 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +30 pengisian, elevasi muka air 25 m**



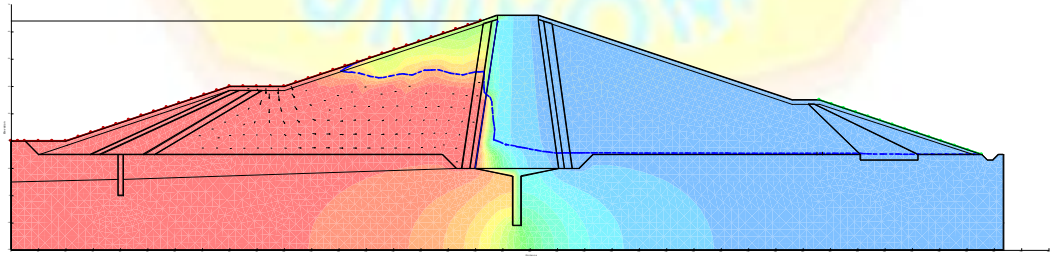
**Gambar 5. 11 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +60 pengisian, elevasi muka air 30 m**



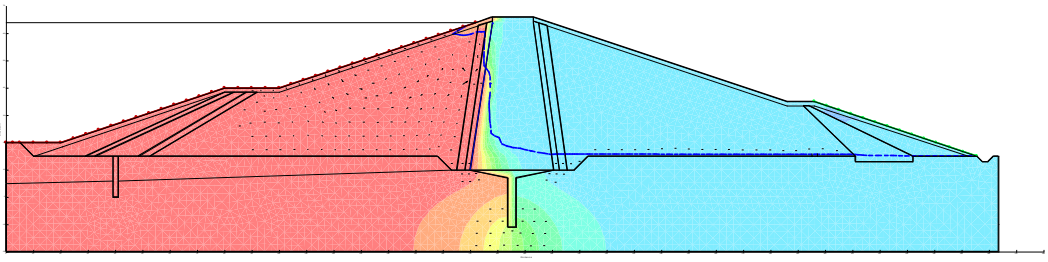
**Gambar 5. 12 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +90 pengisian, elevasi muka air 35 m**



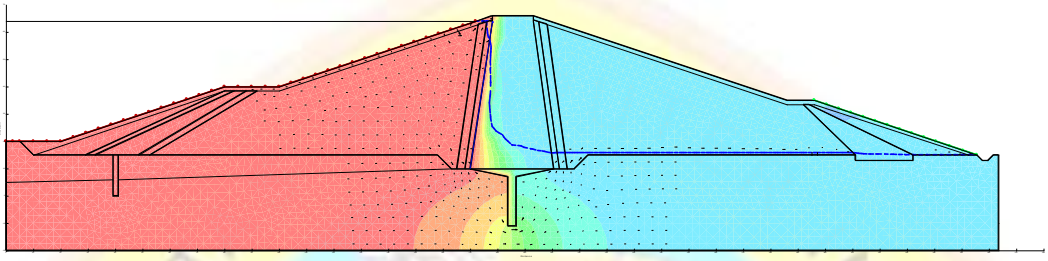
**Gambar 5. 13 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +120 pengisian, elevasi muka air 40 m**



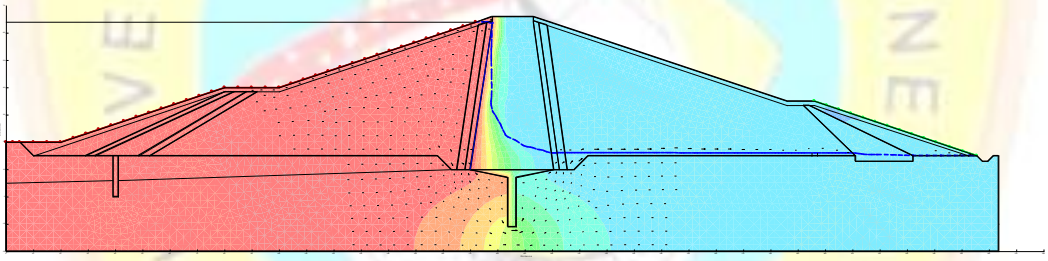
**Gambar 5. 14 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +180 pengisian, elevasi muka air 50 m**



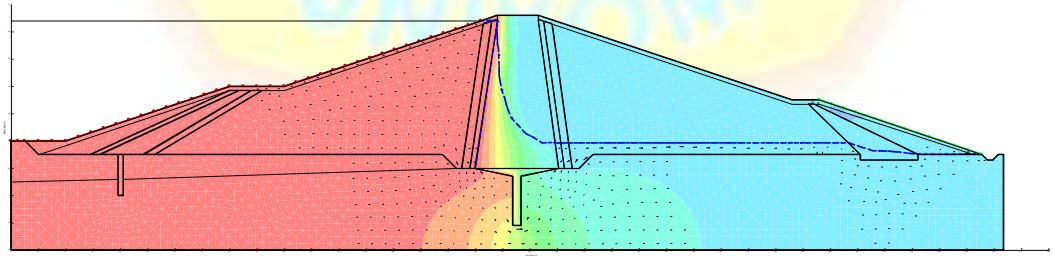
**Gambar 5. 15 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +260 pengisian, elevasi muka air 64 m**



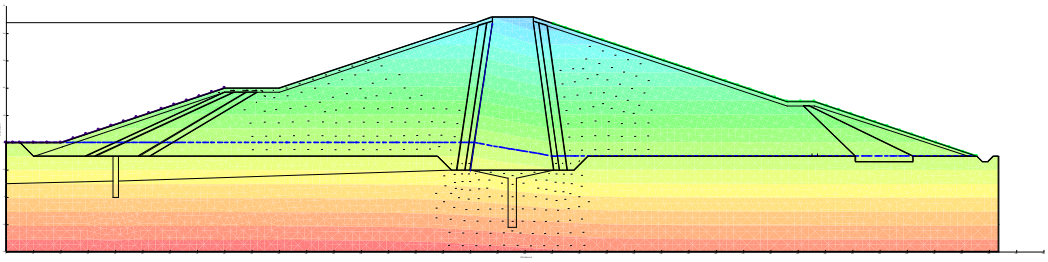
**Gambar 5. 16 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +365 pengisian, elevasi muka air 64 m**



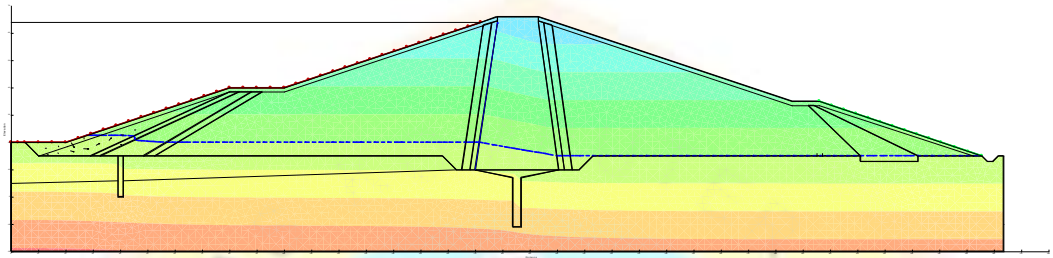
**Gambar 5. 17 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +730 pengisian, elevasi muka air 64 m**



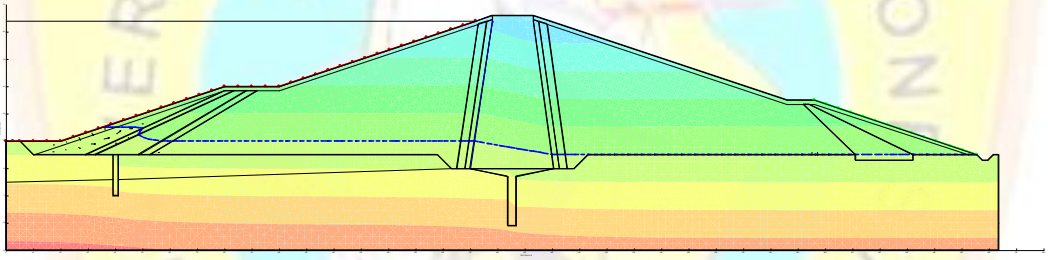
**Gambar 5. 18 Kontur Total Head Hasil SEEP/W Transient Bendungan Jambu Aye, H +1825 pengisian, elevasi muka air 64 m**



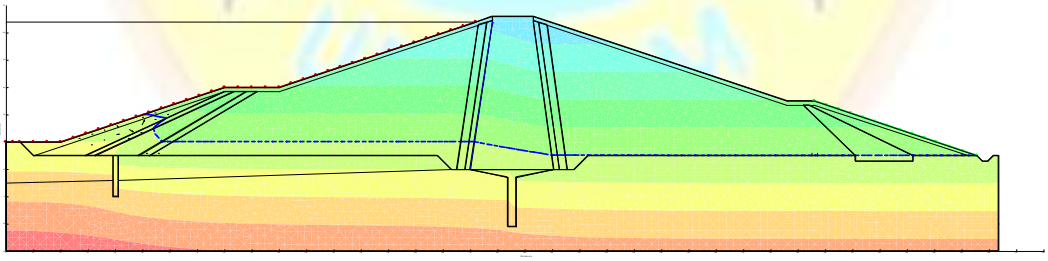
**Gambar 5. 19 Kontur PWP Hasil SEEP/W Steady State (H = 0) Bendungan Jambu Aye**



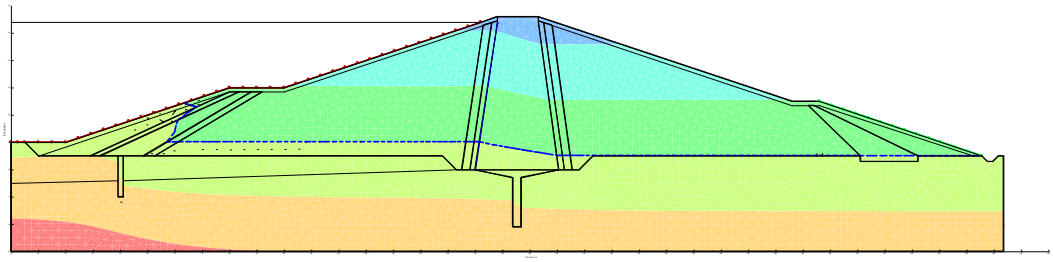
**Gambar 5. 20 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +15) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 22,5 m**



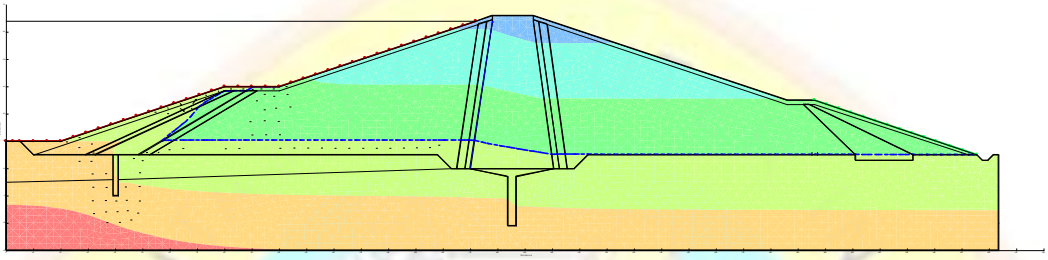
**Gambar 5. 21 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +30) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 25 m**



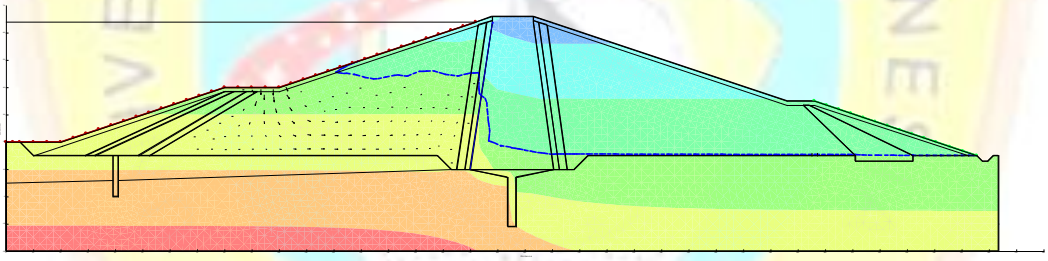
**Gambar 5. 22 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +60) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 30 m**



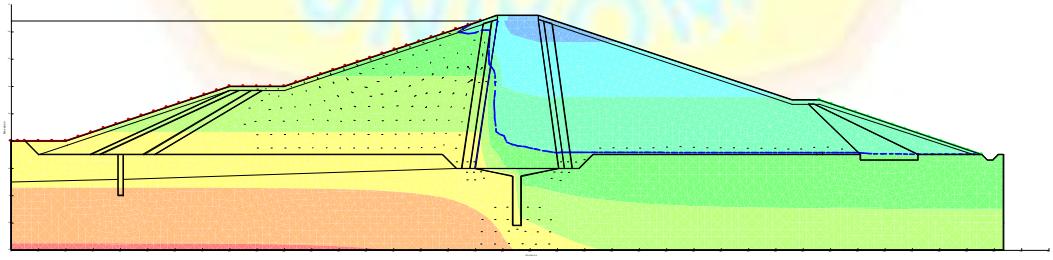
**Gambar 5. 23 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +90) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 35 m**



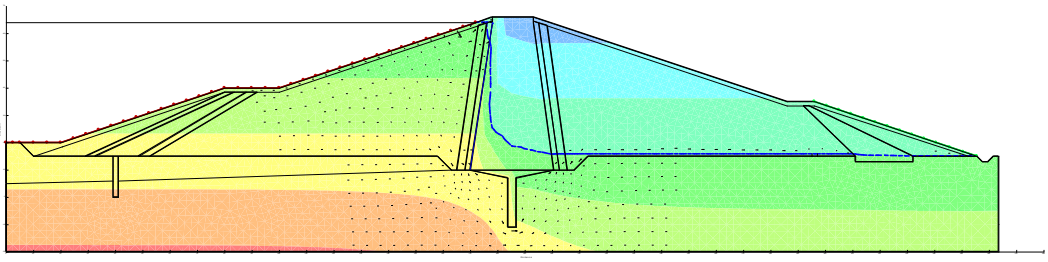
**Gambar 5. 24 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +120) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 40 m**



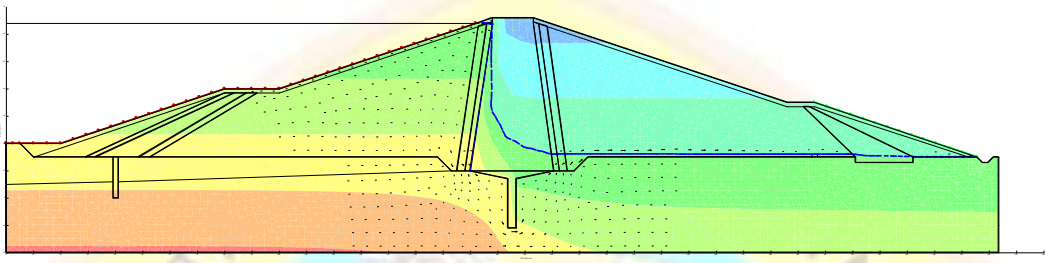
**Gambar 5. 25 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +180) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 50 m**



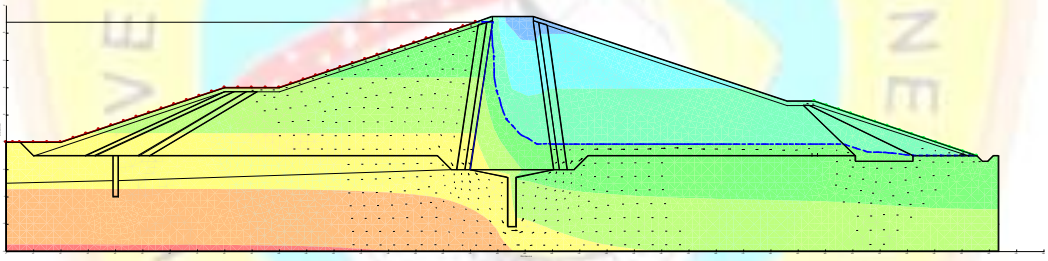
**Gambar 5. 26 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +260) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**



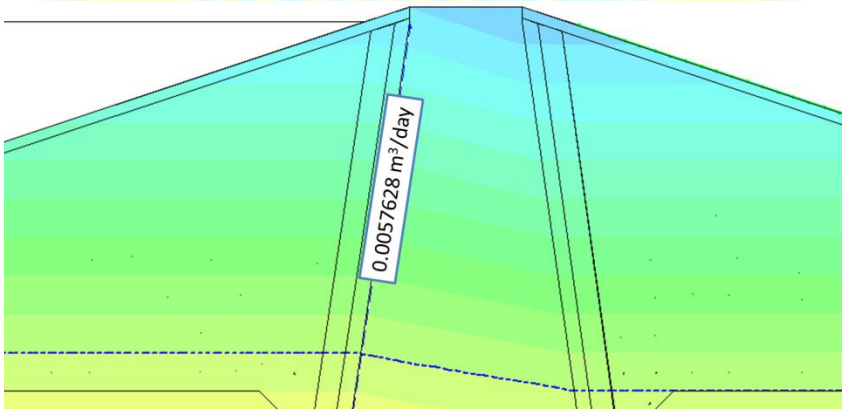
**Gambar 5. 27 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +365) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**



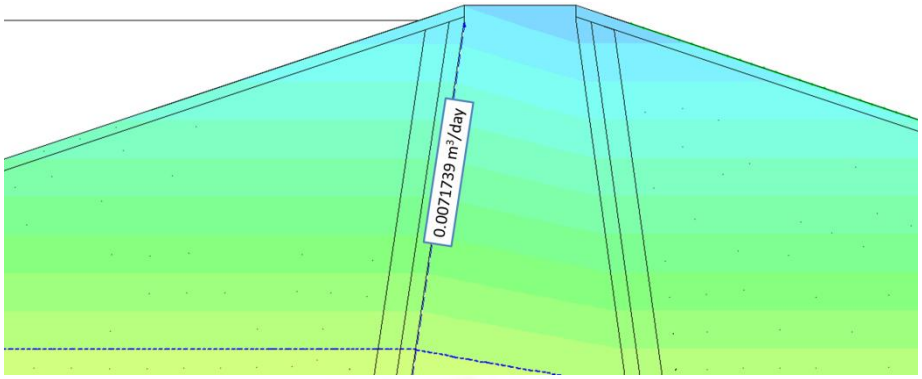
**Gambar 5. 28 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +730) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**



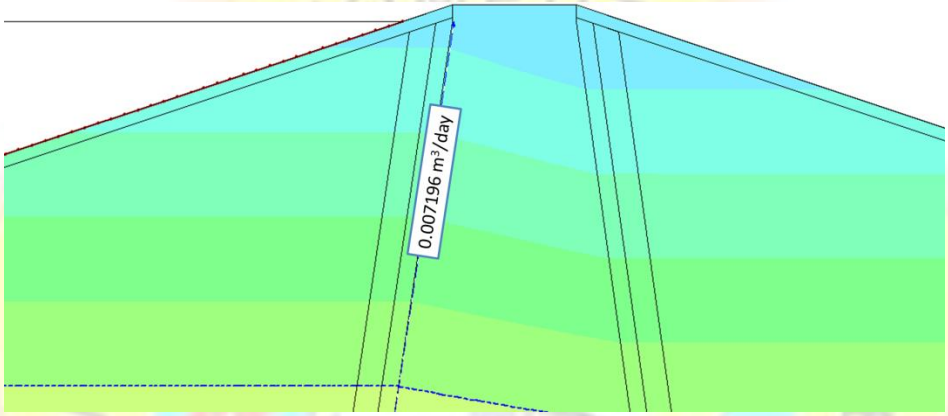
**Gambar 5. 29 Kontur PWP Hasil SEEP/W Transient (H +1825) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**



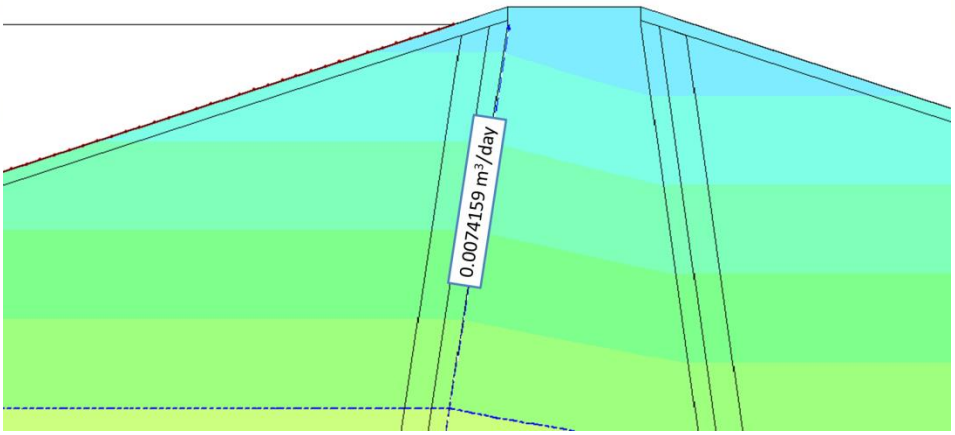

**Gambar 5. 30 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Steady State (H = 0) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 20 m**



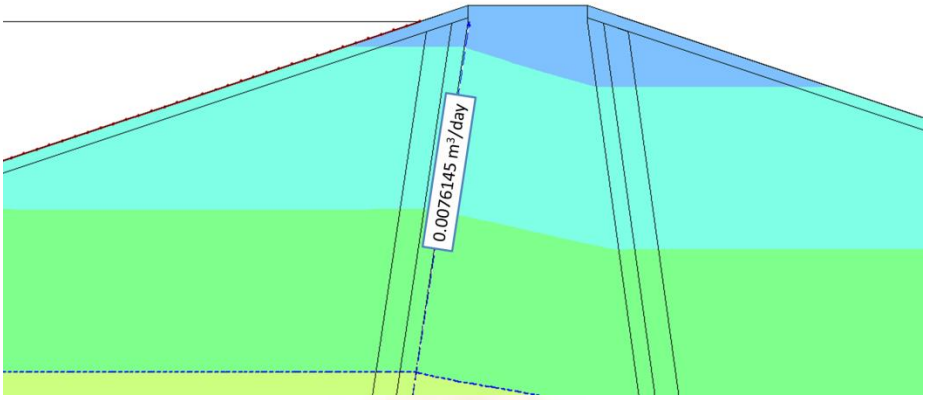

**Gambar 5. 31 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +15) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 22,5 m**



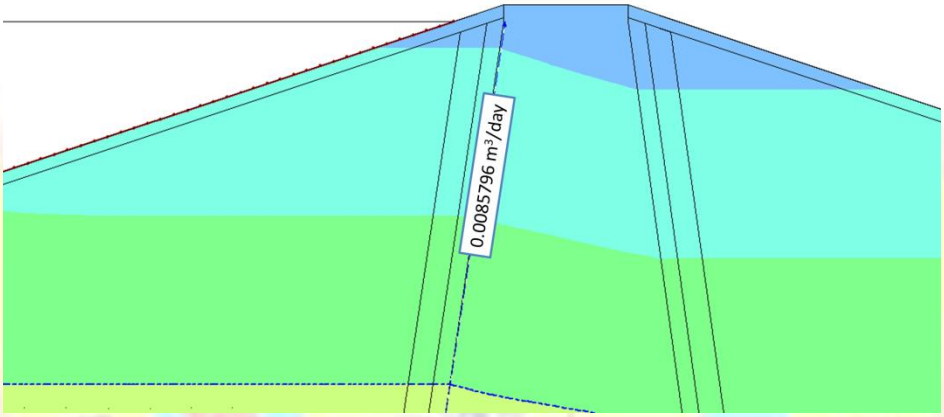

**Gambar 5. 32 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +30) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 25 m**



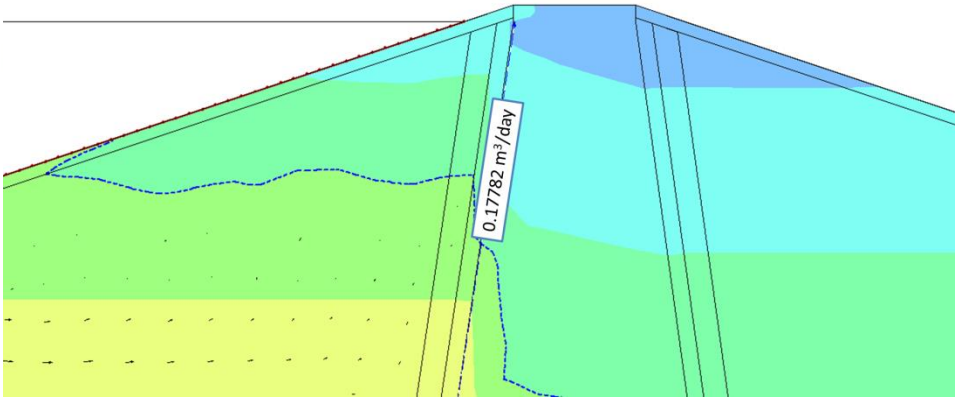

**Gambar 5. 33 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +60) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 30 m**



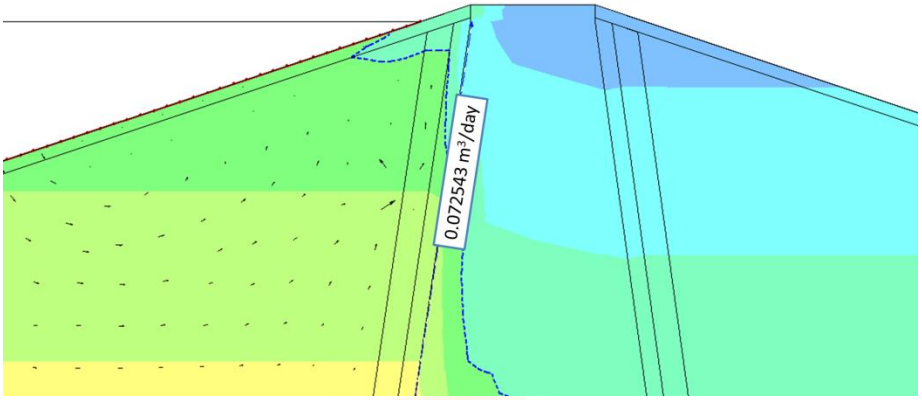

**Gambar 5. 34 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +90) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 35 m**



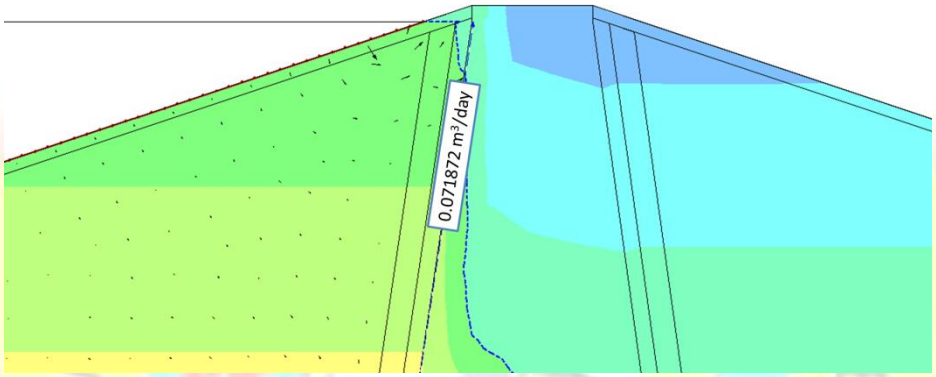

**Gambar 5. 35 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +120) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 40 m**



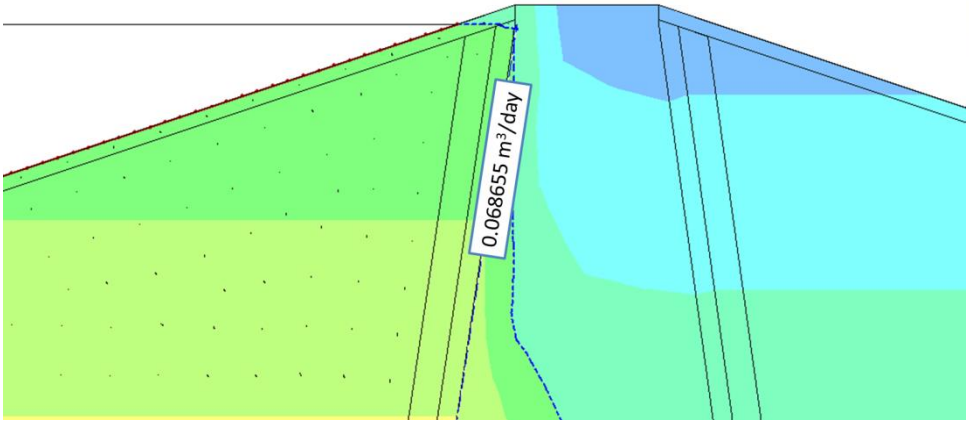

**Gambar 5. 36 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +180) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 50 m**



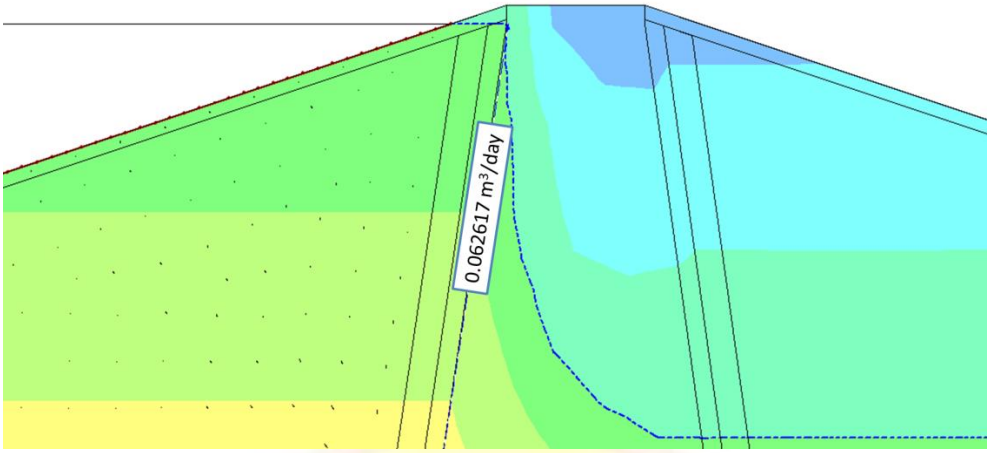

**Gambar 5. 37 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +260) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**




**Gambar 5. 38 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +365) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**




**Gambar 5. 39 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +730) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**




**Gambar 5. 40 Debit Rembesan Hasil SEEP/W Transient (H +1825) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**

**Tabel 5. 2 Hari Pengisian, Tinggi Muka Air dan Debit Rembesan pada Inti Bendungan**

| Days | Tinggi Muka Air (m) | Debit Rembesan pd Inti Bendungan ($m^3$/day) |
|---|---|---|
| H | 20 | 0.0057628 |
| H + 15 | 22.5 | 0.0071739 |
| H + 30 | 25 | 0.007196 |
| H + 60 | 30 | 0.0074159 |
| H + 90 | 35 | 0.0076145 |
| H + 120 | 40 | 0.0085796 |
| H + 180 | 50 | 0.17782 |
| H + 260 | 64 | 0.072543 |
| H + 365 (1th) | 64 | 0.071872 |
| H + 730 (2th) | 64 | 0.068655 |
| H + 1825 (5th) | 64 | 0.062617 |

**(NB: Elevasi diukur dari pondasi bendungan)**

Pada hari H + 180 hingga seterusnya terjadi penurunan debit rembesan pada inti bendungan. Hal tersebut dikarenakan pada inti bendungan, derajat kejenuhan sudah tinggi sehingga dari hubungan derajat kejenuhan, koefisien permeabilitas, dan *suction* yaitu apabila derajat kejenuhan semakin meningkat, maka koefisien permeabilitas akan semakin kecil dan *suction* juga semakin berkurang maka tanah permeabilitas tanah akan berkurang sehingga air yang melewati tanah juga akan berkurang perlahan-lahan (debit berkurang).

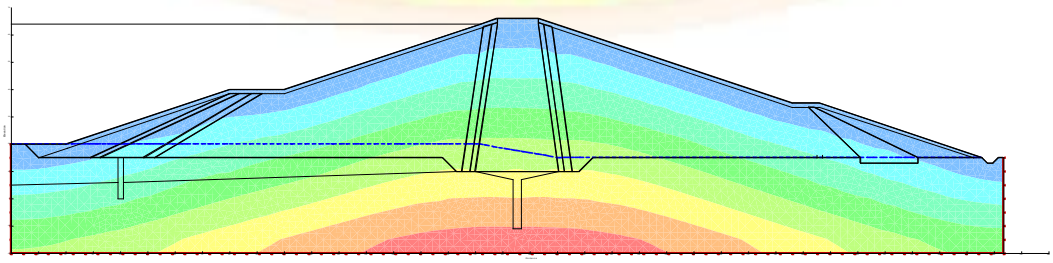
## 5.6 Analisis dan Pemodelan Tegangan dengan SIGMA/W 2007

Setelah melakukan analisis dan pemodelan rembesan dengan menggunakan SEEP/W 2007, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan pemodelan tegangan dengan SIGMA/W 2007.

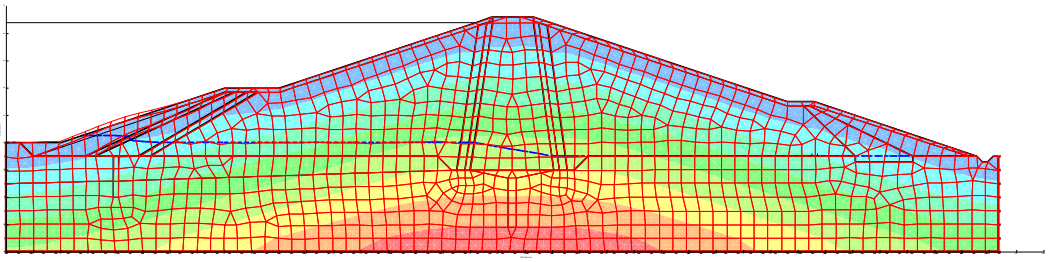
Untuk memodelkan dan menggetahui potensi *hydraulic fracture* maka hasil tegangan efektif, tekanan air pori (PWP), dan tegangan total akan diplot. Pemodelan dilakukan dengan rentang waktu 1825 hari (5 tahun) dengan pengamatan sebagai berikut:

1. Hari H pengisian (mulai pengisian)
2. 15 hari pengisian (H + 15), dengan tinggi muka air 22,5 m dari fondasi
3. 30 hari pengisian (H + 30), dengan tinggi muka air 25 m dari fondasi
4. 60 hari pengisian (H + 60), dengan tinggi muka air 30 m dari fondasi
5. 90 hari pengisian (H + 90), dengan tinggi muka air 35 m dari fondasi
6. 120 hari pengisian (H + 120), dengan tinggi muka air 40 m dari fondasi
7. 180 hari pengisian (H + 180), dengan tinggi muka air 50 m dari fondasi
8. 260 hari pengisian (pengisian dihentikan) (H + 260), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi
9. 365 hari (1 tahun) dari hari H pengisian (H + 365), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi
10. 730 hari (2 tahun) dari hari H pengisian (H + 730), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi
11. 1835 hari (5 tahun) dari hari H pengisian (H + 1825), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi

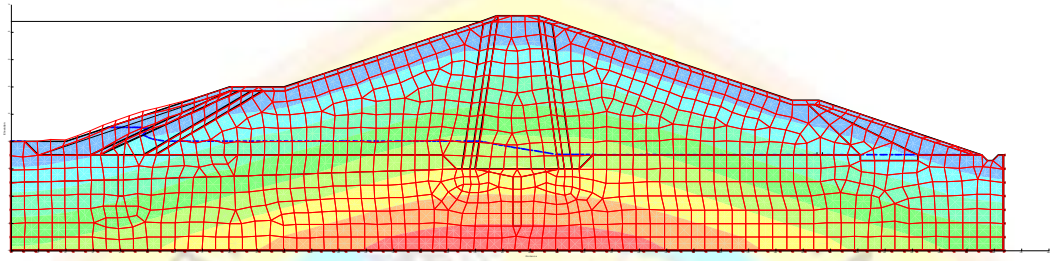
Hasil perubahan kontur total stress dapat dilihat pada gambar di bawah ini



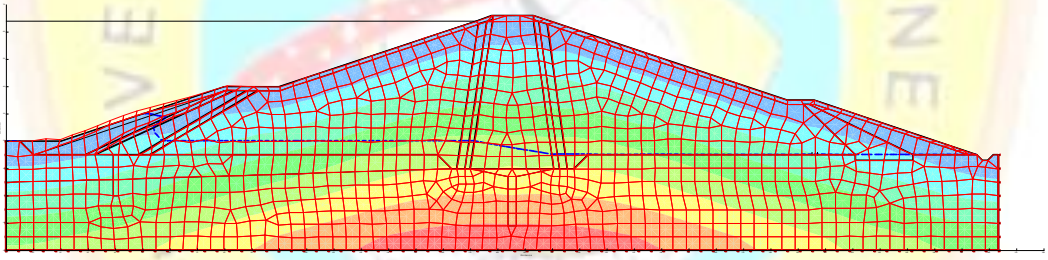
**Gambar 5. 41 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Insitu (H = 0) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 20 m**



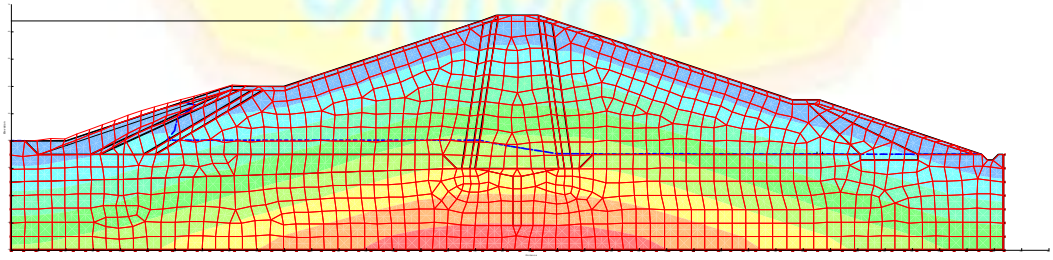
**Gambar 5. 42 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +15 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 22,5 m**



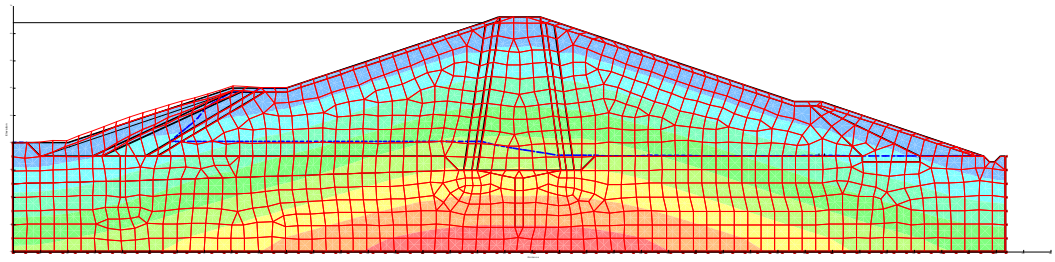
**Gambar 5. 43 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +30 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 25 m**



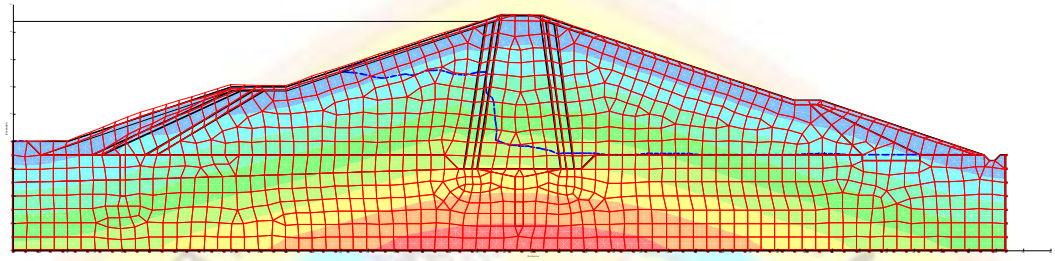
**Gambar 5. 44 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +60 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 30 m**



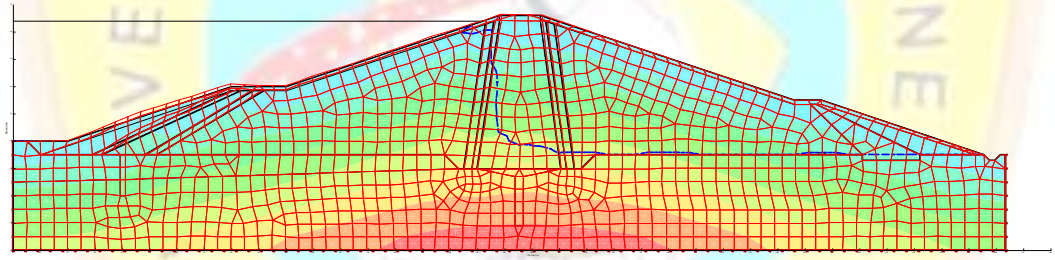
**Gambar 5. 45 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +90 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 35 m**



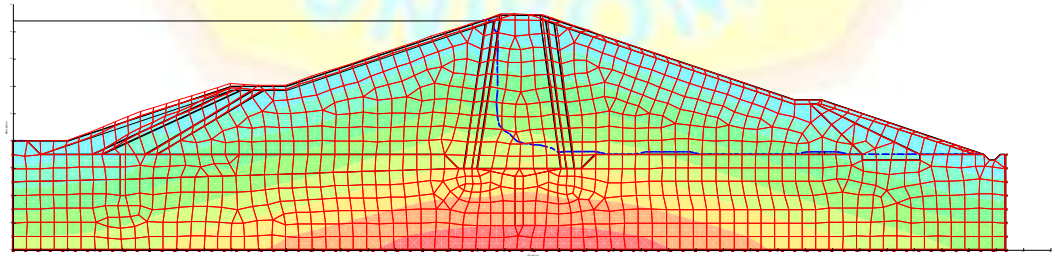
**Gambar 5. 46 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +120 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 40 m**



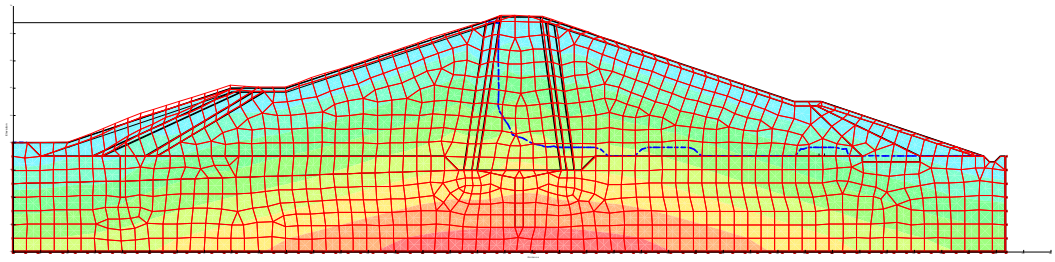
**Gambar 5. 47 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +180) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 50 m**



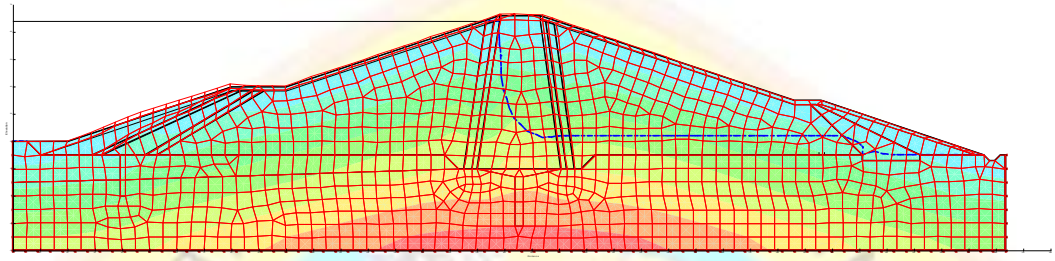
**Gambar 5. 48 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +260 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**



**Gambar 5. 49 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +365 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**

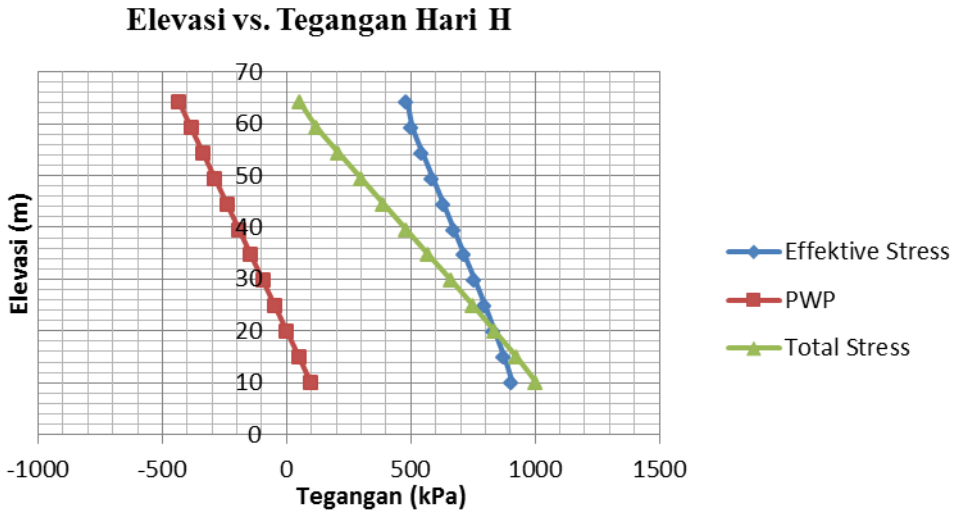


**Gambar 5. 50 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +730 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**

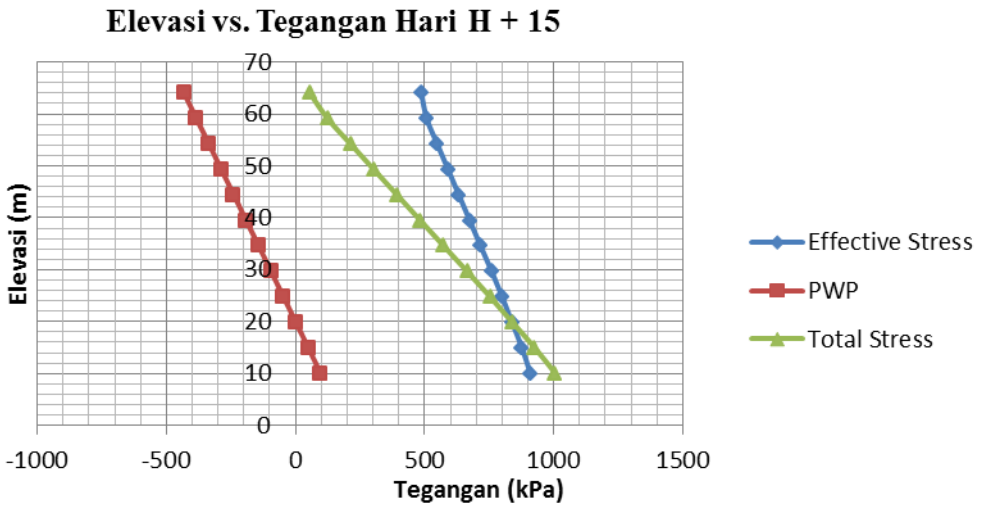


**Gambar 5. 51 Kontur Total Stress Hasil SIGMA/W Uncoupled (H +1825 ) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**

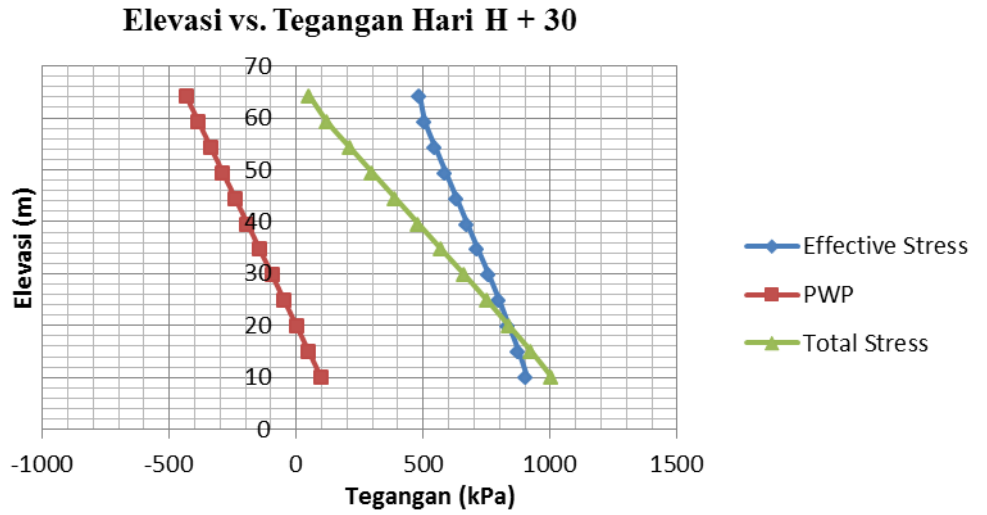
Dari hasil SIGMA/W Uncoupled, kemudian diplotlah grafik tegangan efektif, tekanan air pori (PWP), dan tegangan total terhadap elevasi untuk tiap waktu pengamatan di dala Microsoft Excel. Perubahan tegangan efektif, tekanan air pori dan tegangan total dapat dilihat pada gambar berikut:



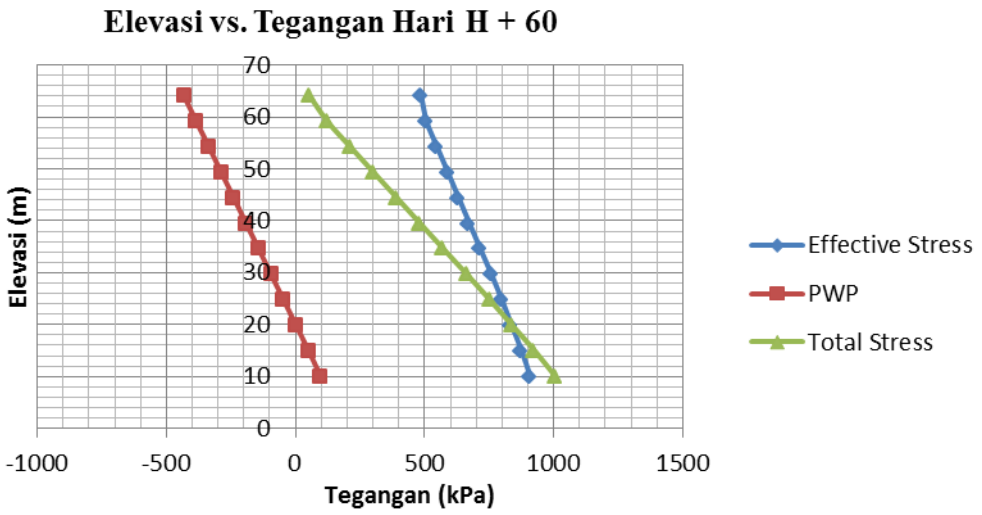

**Gambar 5. 52 Elevasi vs. Tegangan hasil SIGMA Insitu (H = 0) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 20 m**



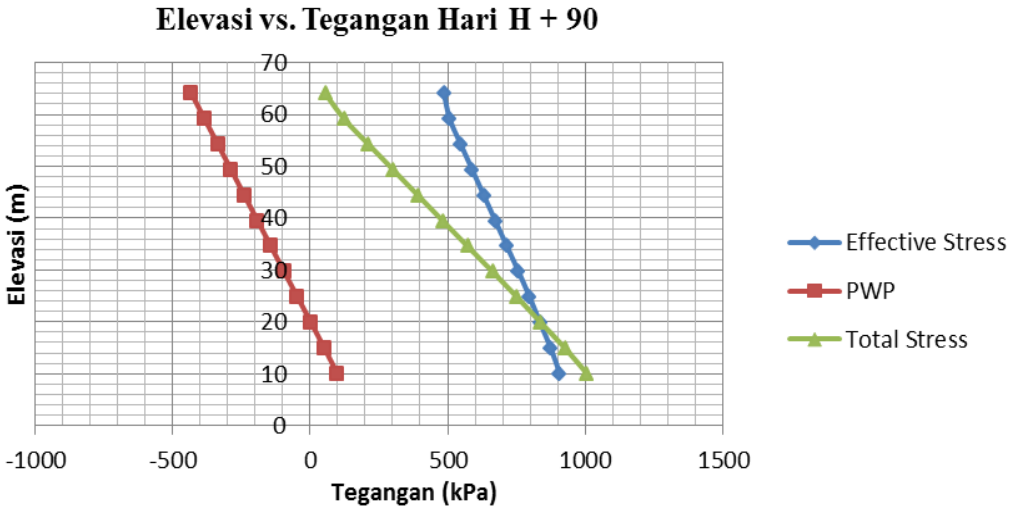

**Gambar 5. 53 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 15) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 22,5 m**



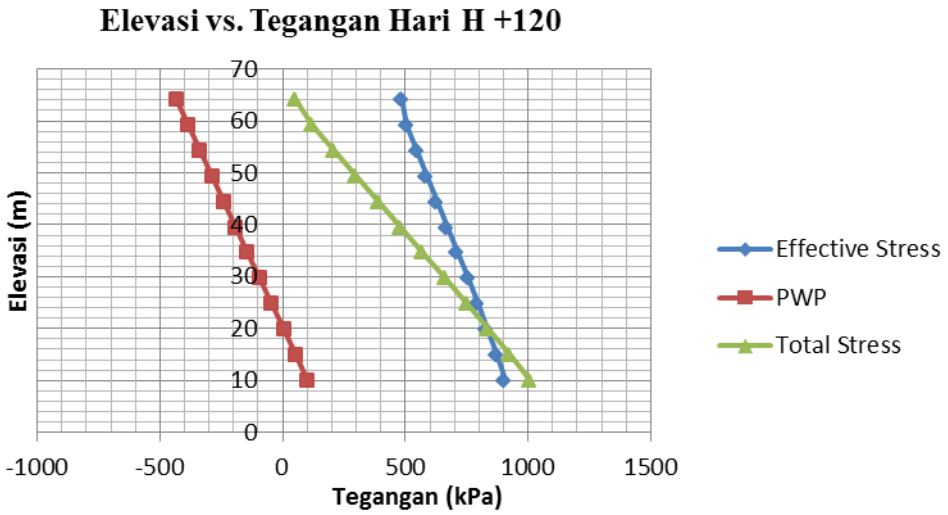

**Gambar 5. 54 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 30) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 25 m**



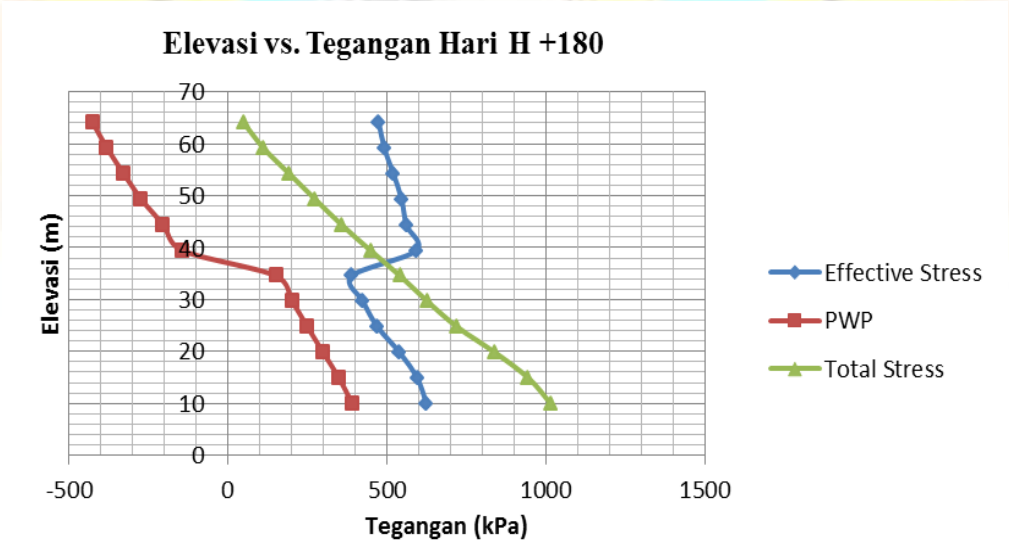

**Gambar 5. 55 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 60) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 30 m**



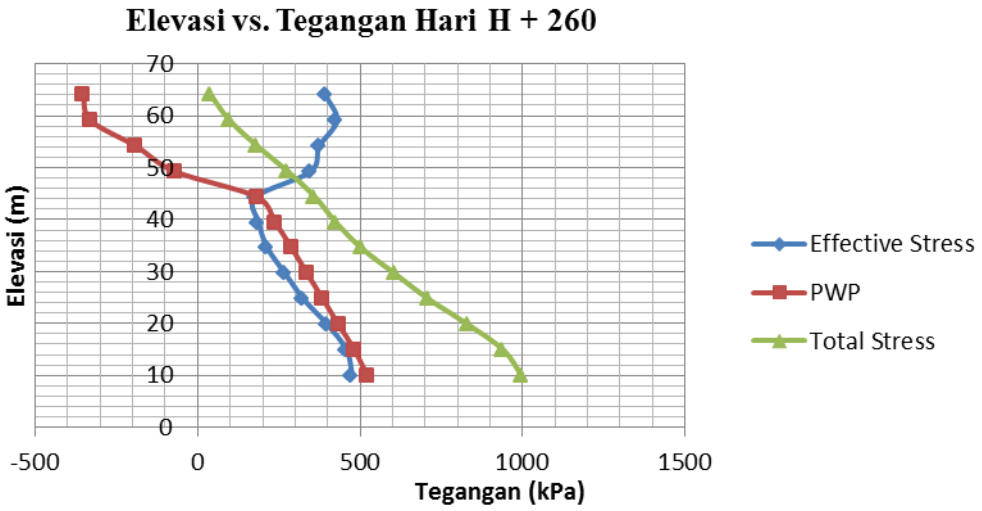

**Gambar 5. 56 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 90) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air35 m**



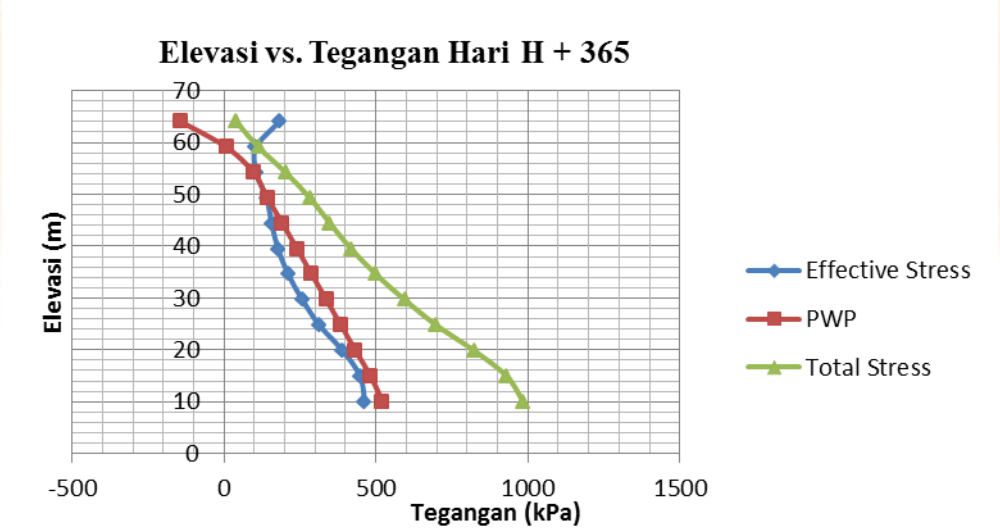

**Gambar 5. 57 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 120) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 40 m**



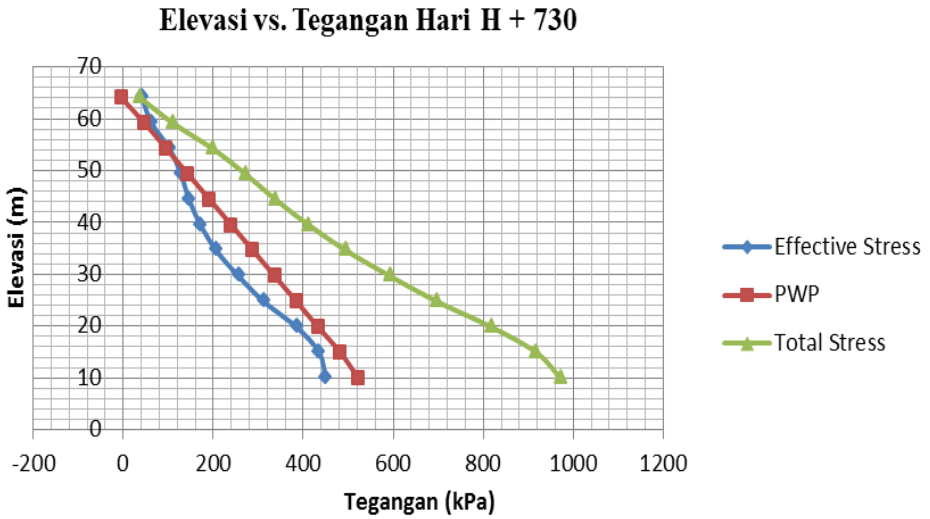

**Gambar 5. 58 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 180) Bendungan Jambu Aye, elevasi 50 m**



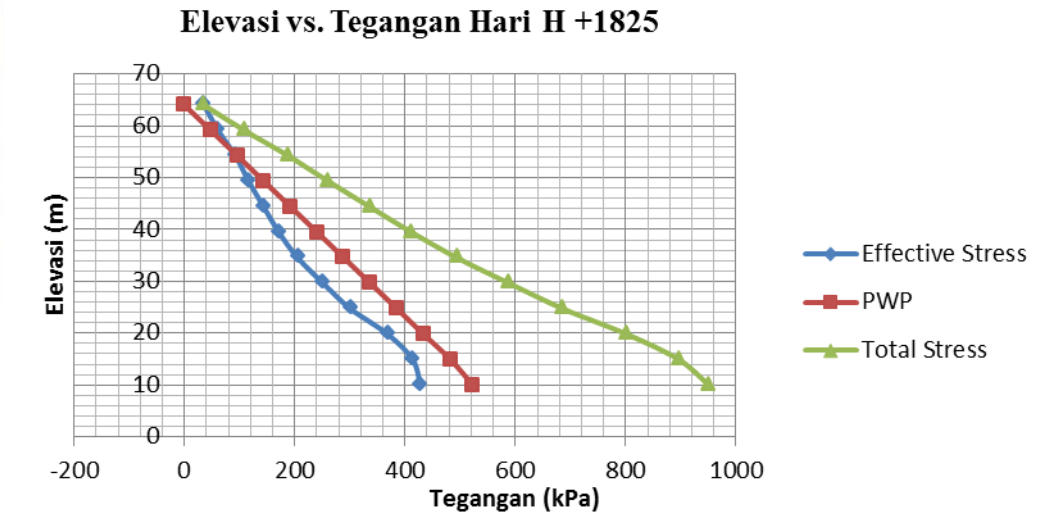

**Gambar 5. 59 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 260) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**




**Gambar 5. 60 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H + 365) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**




**Gambar 5. 61 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H = 730) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**




**Gambar 5. 62 Elevasi vs. Tegangan Hasil SIGMA Uncoupled (H = 1825) Bendungan Jambu Aye, elevasi muka air 64 m**

Hasil yang didapat dari analisis dan pemodelan tegangan efektif, tekanan air pori, dan tegangan total untuk tiap waktu yang telah ditentukan terhadap potensi Hydraulic fracture adalah sebagai berikut:

1. Pada awal pengisian waduk hingga 6 bulan pengisian dengan tinggi elevasi air mencapai 50 m dari fondasi bendungan, tidak terdapat potensi *hydraulic fracture*

2. Pada hari ke 260 pengisian (akhir pengisian) dengan tinggi elevasi air mencapai titik tertinggi 64 m dari fondasi bendungan, terdapat potensi *hydraulic fracture* dari dasar hulu inti bendungan hingga elevasi 44m pada hulu inti bendungan
3. Pada hari ke 365 (1 tahun) hingga hari ke 1825 (5 tahun) setelah pengisian selesai dengan tinggi elevasi air mencapai 64 m dari fondasi bendungan, terdapat potensi *hydraulic fracture* dari dasar hulu inti bendungan hingga elevasi 54 m pada hulu inti bendungan
4. Solusi untuk mencegah adanya potensi *hydraulic fracture* adalah dengan memperlebar dasar inti bendungan, dengan memadatkan tanah pada inti bendungan untuk meningkatkan tegangan efektif dan tegangan tarik pada tanah, serta merencanakan kemiringan hulu dan hilir inti bendungan secara simetri.