BAB IV
PEMODELAN DENGAN SOFTWARE KOMPUTER

4.1 Umum

Pemodelan *Hydraulic Fracture* pada studi ini akan dilakukan dengan menggunakan software GEO-STUDIO 2007 yaitu: SEEP/W 2007 dan SIGMA/W 2007. Program SEEP/W 2007 digunakan untuk menganalisis rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan akibat adanya beda tinggi energi total akibat proses pengisian waduk. Sedangkan SIGMA/W 2007 digunakan untuk analisis perubahan tegangan efektif dan tekanan air pori akibat pengisian waduk. Pada SIGMA/2007 akan dilakukan analisis uncoupled.

Pada studi ini, sebagai studi kasus bendungan yang digunakan untuk melakukan pemodelan *hydraulic fracture* adalah rencana bendungan Jambu Aye di propinsi Nanggroe Aceh Darussalam.

4.2 Pemodelan Rembesan dengan SEEP/W 2007

4.2.1 Pendahuluan

Pada awalnya, analisis aliran air dalam tanah difokuskan pada aliran pada tanah yang jenuh dan masalah aliran dikategorikan ke dalam kondisi yang dibatasi (*confined*) atau kondisi yang tidak dibatasi (*unconfined*). Aliran dibawah bangunan struktural merupakan aliran dengan kondisi yang dibatasi. Sedangkan aliran melalui tanggul adalah aliran dengan kondisi yang tidak dibatasi. Kondisi yang tidak dibatasi dianggap lebih sulit untuk dianalisis karena ketinggian permukaan freatik integral terhadap analisis. Tanah di atas permukaan freatik merupakan tanah tidak jenuh (*unsaturated soil*) sedangkan tanah dibawah permukaan freatik adalah tanah jenuh (*saturated soil*).

Analisis yang mengabaikan aliran air pada tanah tidak jenuh tidak dapat diterima lagi karena bukan hanya mengabaikan aliran udara di dalam tanah tetapi juga sangat membatasi masalah yang dianalisis. Dengan menggunakan SEEP/W 2007, analisis dan perhitungan untuk berbagai jenis kondisi tanah dapat dilakukan dengan lebih akurat.

4.2.2 Pemodelan dan Sifat Material pada SEEP/W

Model material pada SEEP/W dibagi menjadi:

1. *None* (digunakan untuk menghilangkan bagian model pada analisis)
2. *Saturated/Unsaturated Model* (Model Jenuh/Tidak Jenuh)
3. *Saturated Only Model* (Model Jenuh)
4. *Interface Model*

Saturated Only Model sangat berguna untuk melakukan analisis cepat pada kondisi tanah dibawah permukaan freatik, tetapi tidak dapat digunakan pada kondisi tanah yang tidak jenuh seluruhnya atau jenuh sebagian. Apabila dilakukan akan didapatkan hasil yang kurang tepat karena pada zona tanah tidak jenuh aliran air tidaklah sama seperti tanah jenuh.

4.2.3 Tipe Analisis

Ada 2 tipe analisis dasar pada analisis rembesan, yaitu: analisis steady-state dan analisis transien

4.2.3.1 Analisis Steady State

Analisis steady-state adalah analisis dengan kondisi yang tidak berubah atau tetap. Pada analisis rembesan, apabila kondisi steady (stabil) telah tercapai maka tekanan air dan kecepatan air akan berada pada kondisi seperti itu selamanya. Pada kondisi lapangan, kondisi steady **tidak akan** pernah tercapai. Aliran di bawah bendungan mungkin mendekati kondisi steady apabila kondisi di hulu dijaga agar tetap stabil sepanjang waktu.

Tipe analisis ini tidak memperkirakan berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi stabil. Analisis ini mengabaikan variable waktu dan juga mengabaikan fungsi VWC (*Volumetric Water Content*). **Fungsi VWC** menyatakan berapa banyak air yang bertambah atau hilang pada tanah apabila terjadi perubahan tekanan air pori. Pada analisis steady-state, tidak ada nilai tekanan atau perubahan nilai tekanan.

4.2.3.2 Analisis Transien

Analisis transien adalah analisis yang selalu berubah. Analisis ini selalu berubah dikarenakan memperhitungkan lamanya tanah merespon kondisi-kondisi batas yang telah diberikan. Contoh analisis transien meliputi waktu yang diperlukan untuk inti bendungan menjadi jenuh ketika waduk diisi dengan cepat.

Pada analisis transien, kondisi awal harus diberikan, kondisi sekarang, dan kondisi yang akan datang.

4.2.4 Kondisi Batas (Boundary Condition)

Menentukan kondisi pada garis batas masalah adalah komponen utama dalam analisis numerik. Dapat mengontrol kondisi batas adalah hal yang membuat analisis numerik menjadi sangat *powerful*.

Solusi dari masalah numeric adalah respon langsung dari kondisi batas yang dibuat. Tanpa kondisi batas mustahil bisa didapat solusi. Kondisi batas secara esensi adalah "hal yang mengendalikan". Rembesan terjadi akibat perbedaan tinggi energi total pada 2 tempat atau sejumlah aliran yang masuk keluar suatu sistem. Solusi adalah respon dari dalam domain masalah ke kondisi spesifik dari batasan.

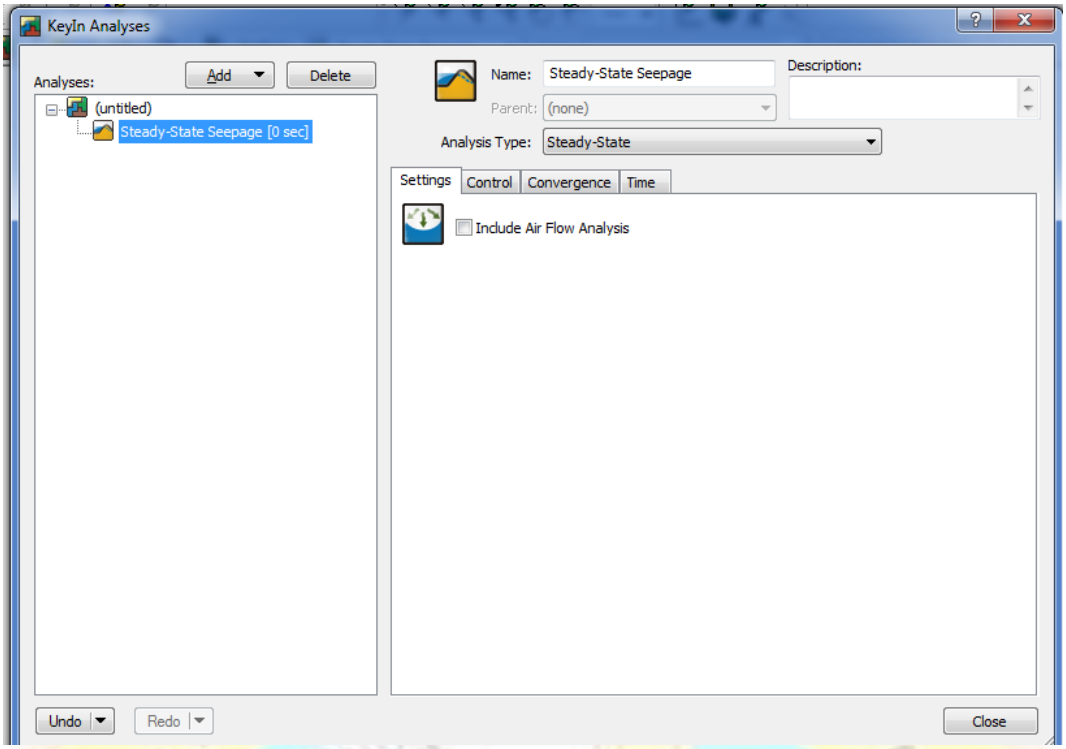
Pada SEEP/W kondisi batas ditentukan oleh nilai tinggi energi (H) dan jumlah aliran yang terjadi atau debit (Q). Apabila yang diketahui adalah nilai H, maka hasil yang akan di dapat adalah Q, demikian sebaliknya.

4.2.5 Langkah-Langkah Pemodelan dengan Menggunakan SEEP/W 2007

Berikut akan dijelaskan tahapan-tahapan pemodelan dengan menggunakan SEEP/W 2007:

1. Menentukan Key In Analysis

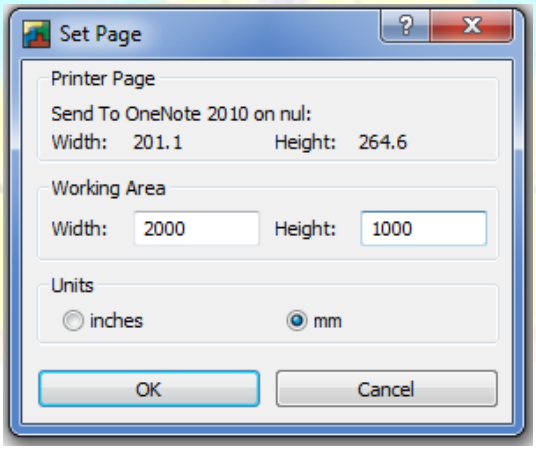
Dalam tahap ini kita menentukan analisis apa yang akan kita operasikan dan hubungan antar analisis. Pada awal dimulai dengan melakukan analisis rembesan steady state. Analisis rembesan steady state diperlukan sebelum melakukan analisis rembesan transien.



Gambar 4. 1 Key In Analysis SEEP/W Steady State

2. Menentukan Page

Menyesuaikan ukuran lembar kerja. Pada skripsi ini ukuran lembar kerja adalah 2000x1000 mm.

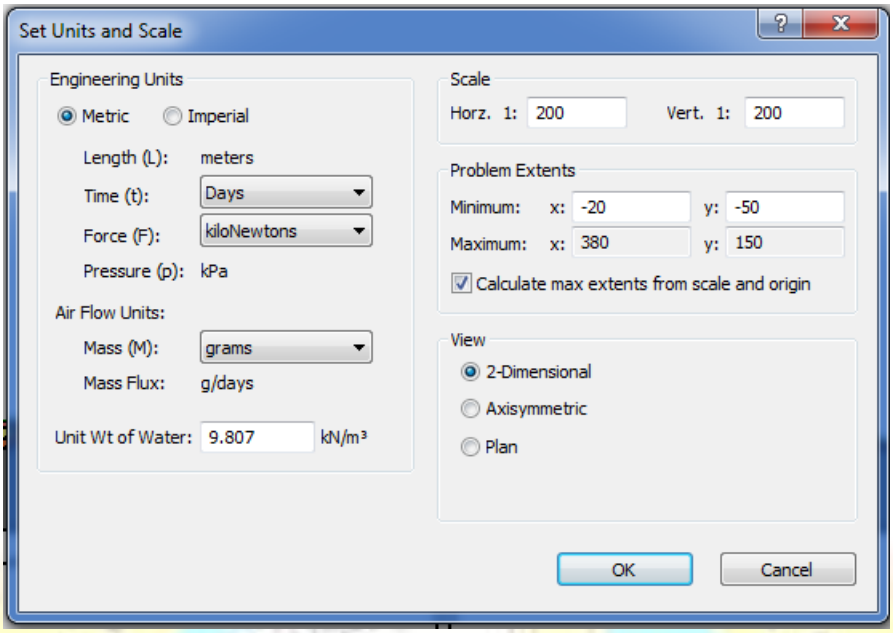


Gambar 4. 2 Set Page

3. Menentukan Unit and Scale

Menentukan satuan dan skala lembar kerja. Satuan/unit yang digunakan pada skripsi ini adalah kN (kilo Newton) untuk satuan gaya dan *days* (hari) untuk satuan waktu. Pada skripsi ini ukuran skala adalah 1:200 dengan sumbu vertikal

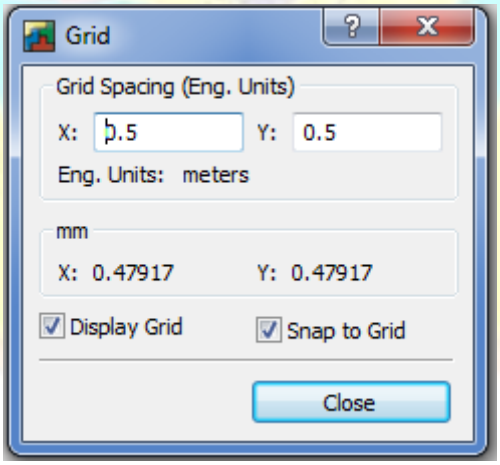
minimum adalah -50, sumbu vertikal maksimum adalah 150, sumbu horizontal minimum adalah -20, sumbu horizontal maksimum 380.



Gambar 4. 3 Set Unit and Scale

4. Menentukan Grid

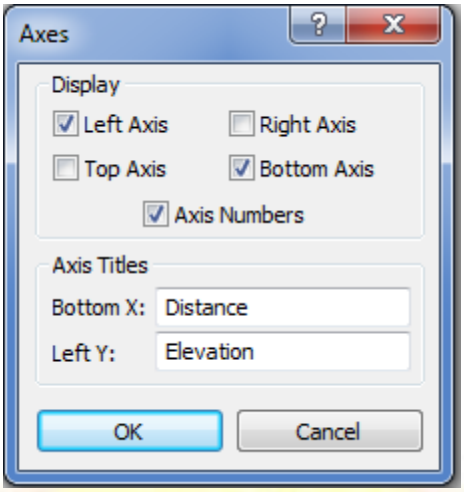
Grid adalah titik-titik pada lembar kerja yang menandai koordinat-koordinat tertentu. Pada skripsi ini grid maksimum yang dipakai adalah 0.5



Gambar 4. 4 Grid

5. Menggambar Axes

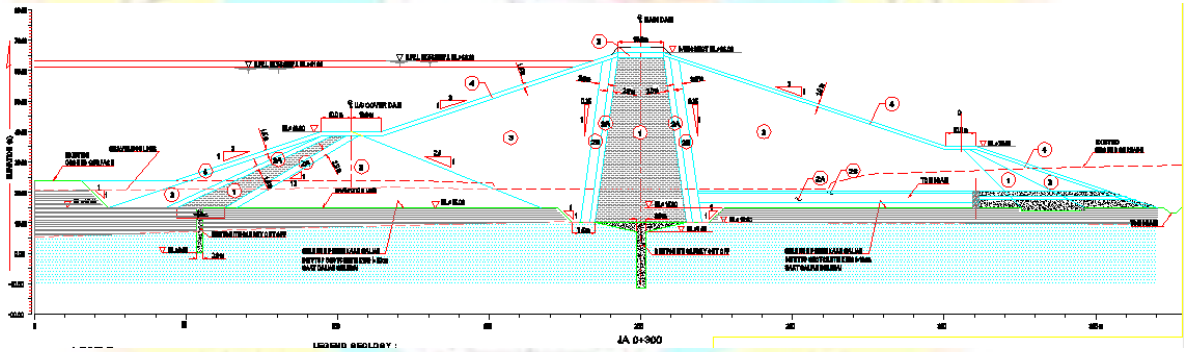
Membuat sumbu horizontal dan sumbu vertikal pada lembar kerja. Sumbu horizontal adalah jarak (*distance*) dan sumbu vertikal adalah elevasi (*elevation*).



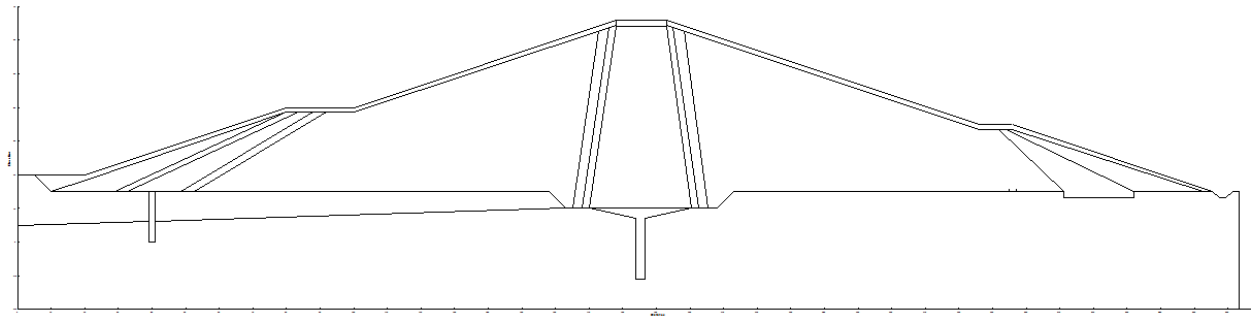
Gambar 4. 5 Axes

6. Sketch Polylines

Membuat sketsa model bendungan dari gambar AutoCAD ke dalam GeoStudio. Model dibuat sesuai dengan ukuran dan bentuk asli bendungan.



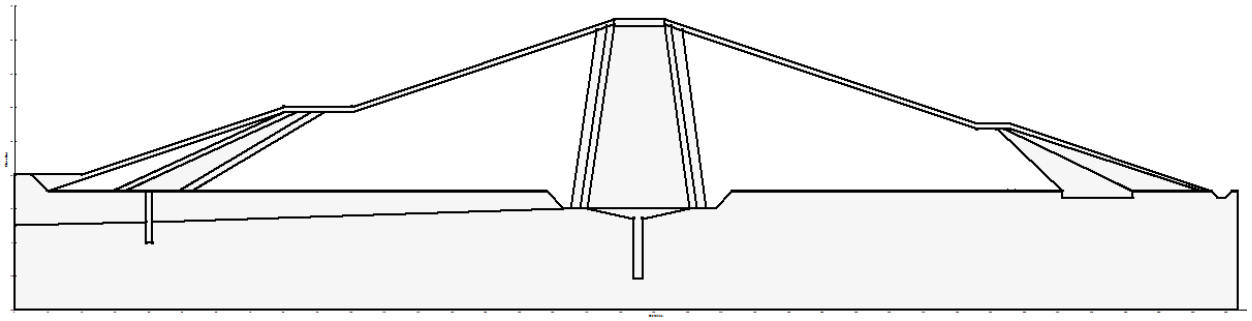
Gambar 4. 6 Sketsa Bendungan pada AutoCAD



Gambar 4. 7 Sketsa Bendungan pada GEO-STUDIO SEEP/W

7. Menggambar Region

Membagi area yang dibatasi oleh garis ke dalam beberapa region sesuai dengan bagian-bagiannya misalnya bagian rockfill, core bendungan, filter dan fondasi bendungan. Satu region memiliki material yang sama.



Gambar 4. 8 Sketsa Region pada Bendungan

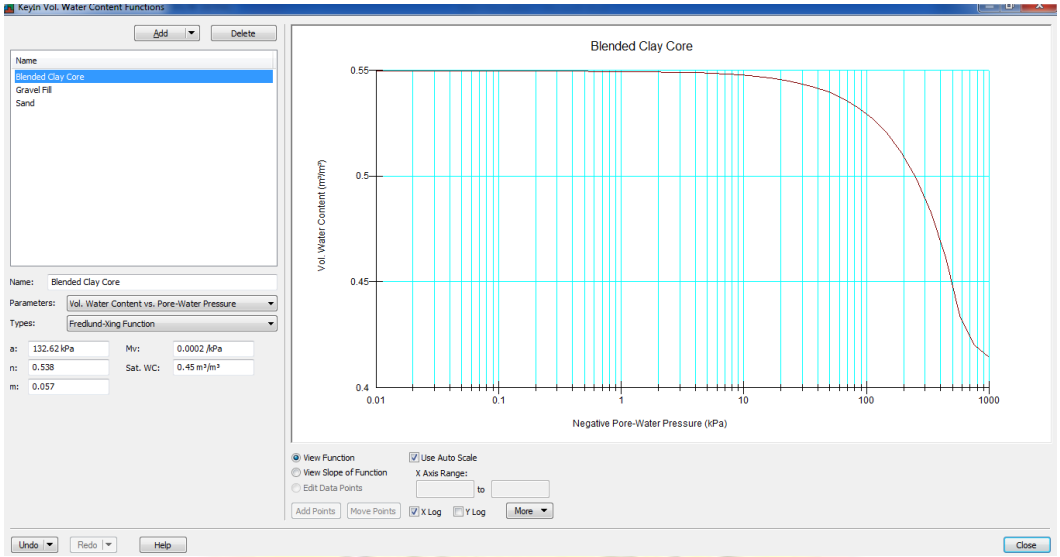
8. Input Key In: Volumetric Water Content Function

Menginput volume kadar air untuk berbagai jenis material. Fungsi *Volumetric Water Content* didasarkan pada persamaan *Fredlund and Xing* yang dibagi ke dalam 2 jenis tanah, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

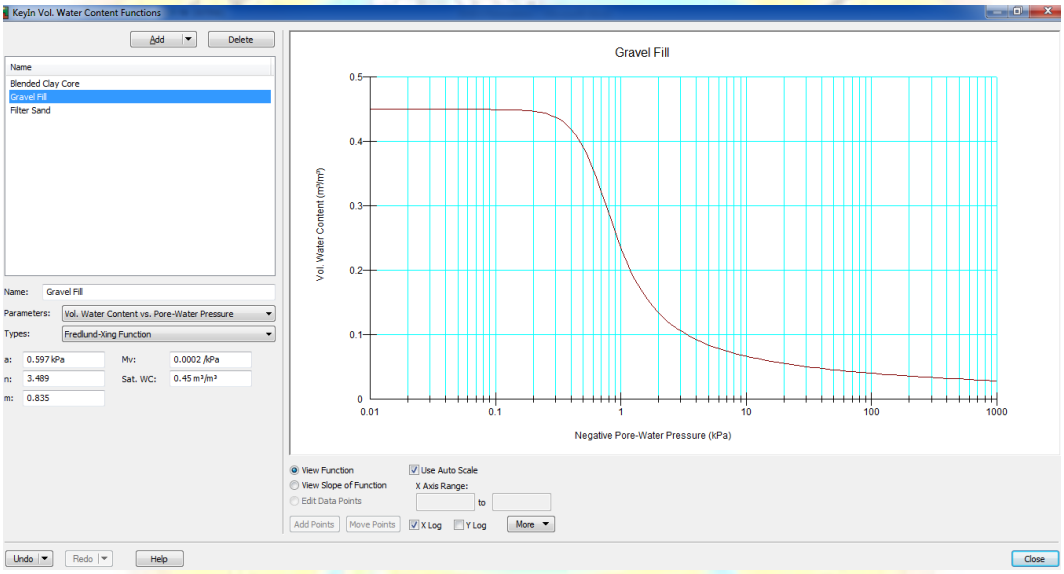
Input parameter untuk volume kadar air yang diperlukan adalah parameter penyesuai fungsi a, n, m, Mv (Koefisien Kompresibilitas), dan Sat. WC.

Pada Skripsi ini VWC Function dibagi dalam 3 fungsi:

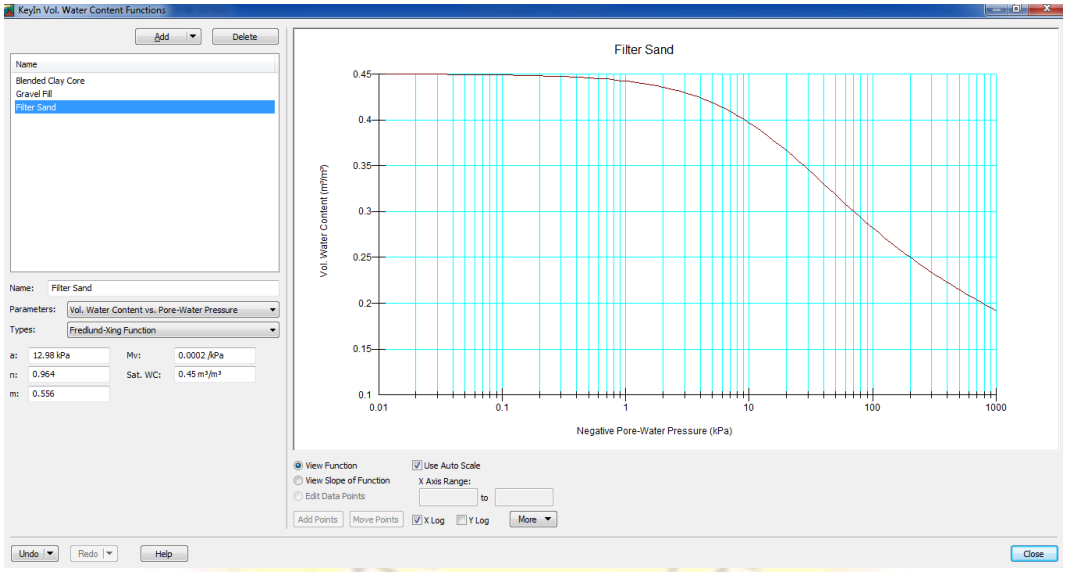
1. Blended Clay Core
2. Gravel Fill
3. Filter Sand



Gambar 4. 9 VWC Function Blended Clay Core



Gambar 4. 10 VWC Function Gravel Fill



Gambar 4. 11 VWC Sand Filter

9. Input Key In: Hydraulic Conductivity

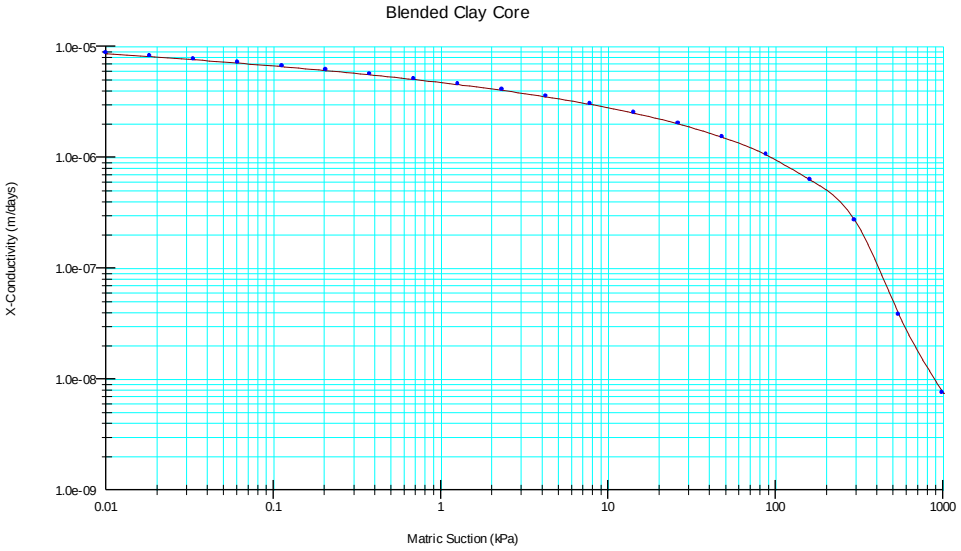
Input fungsi konduktivitas hidrolik (fungsi koefisien rembesan) material dengan input Ksat masing-masing material dan melakukan *estimate* dengan menggunakan metode *Fredlund and Xing* dan memasukkan fungsi *Volumetric Water Content* yang telah dibuat diatas serta nilai K_{sat} (koefisien rembesan pada saat jenuh).

Konduktivitas pada studi ini dibagi ke dalam 4 fungsi sebagai berikut:

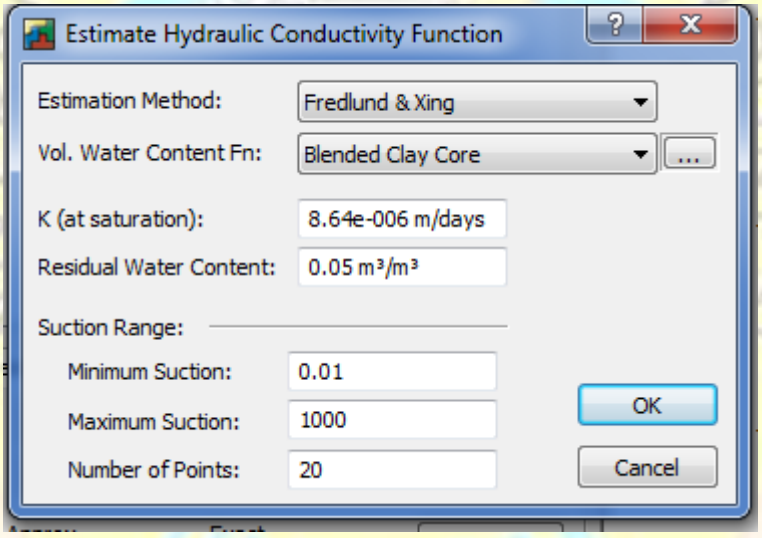
1. Blended Clay Core untuk bagian inti bendungan
2. Gravel Fill untuk bagian urugan batu
3. Fine Filter untuk bagian Filter Halus
4. Coarse Sand untuk bagian Filter Kasar

Tabel 4. 1 Koefisien Rembesan dalam m/day

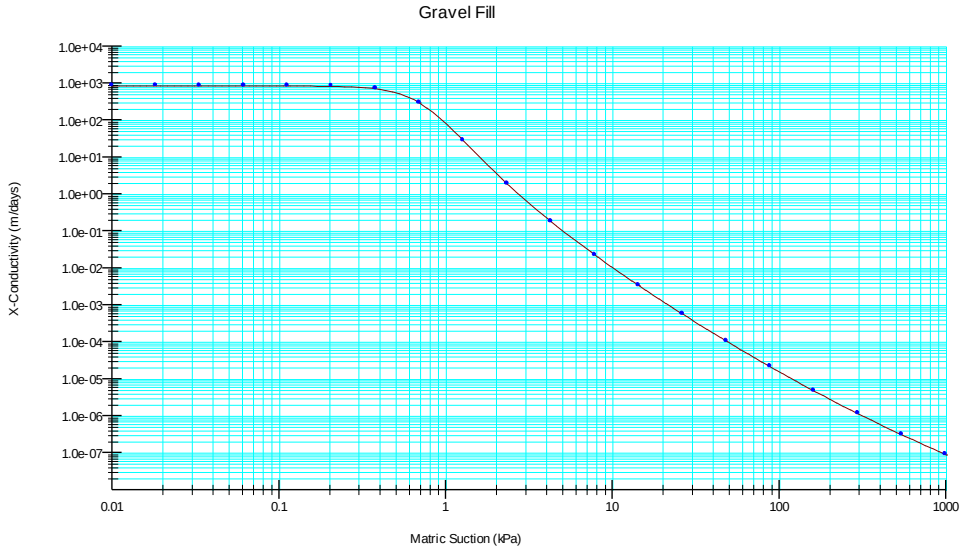
Jenis Tanah	Koefisien Rembesan (m/s)	Koefisien Rembesan (m/day)
Kerikul	≥ 0,01	864
Pasir Kasar	10^{-2} - 10^{-3}	864 - 86,4
Pasir Sedang	10^{-3} - 10^{-4}	86,4 - 8,64
Pasir Halus	10^{-5} - 10^{-6}	$8{,}64\times10^{-1}$ - $8{,}64\times10^{-2}$
Lanau	10^{-6} - 10^{-7}	$8{,}64\times10^{-2}$ - $8{,}64\times10^{-3}$
Lempung Kelanauan	10^{-7} - 10^{-9}	$8{,}64\times10^{-3}$ - $8{,}64\times10^{-5}$
Lempung	10^{-8} - 10^{-11}	$8{,}64\times10^{-4}$ - $8{,}64\times10^{-7}$



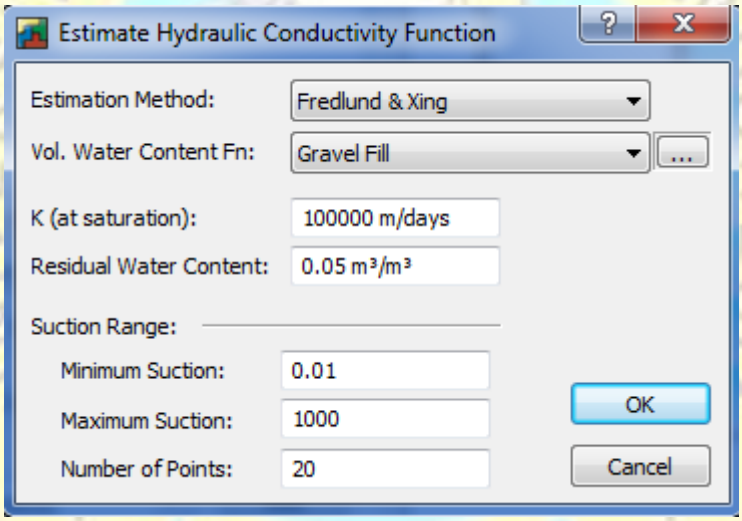
Gambar 4. 12 Konduktivitas Hidrolik Blended Clay Core



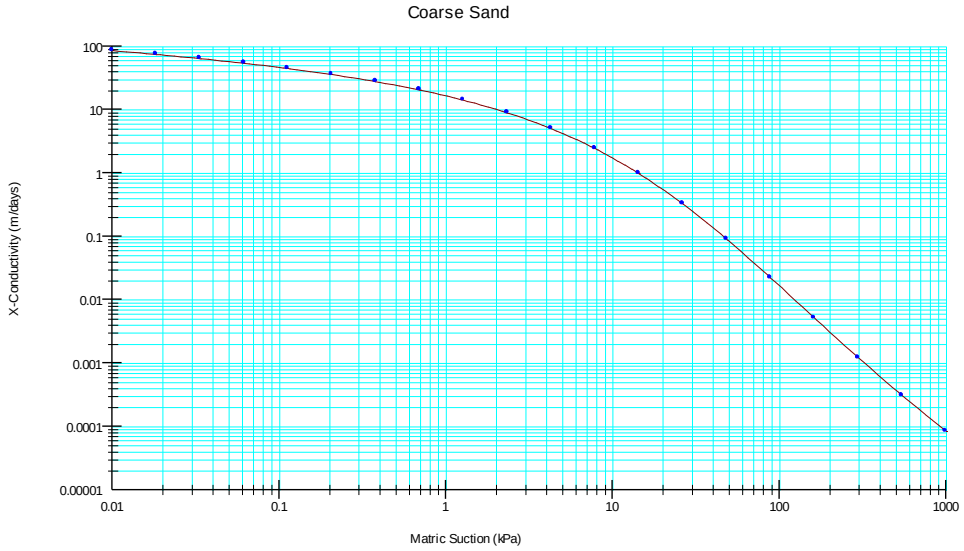
Gambar 4. 13 Estimasi Konduktivitas Hidrolik Blended Clay Core



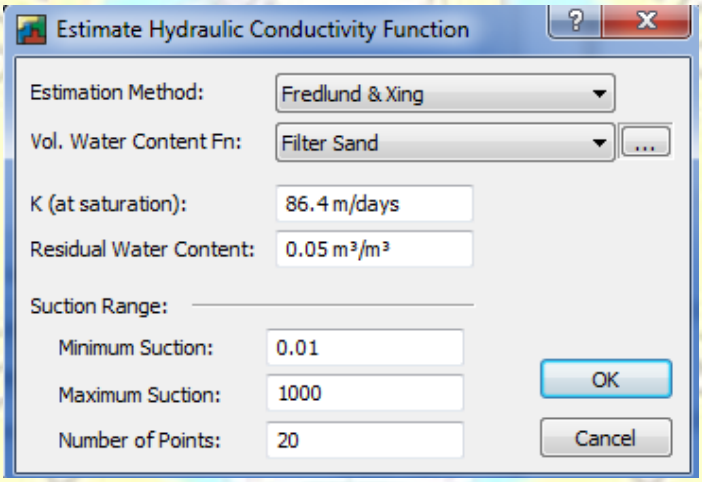
Gambar 4. 14 Konduktivitas Hidrolik Gravel Fill



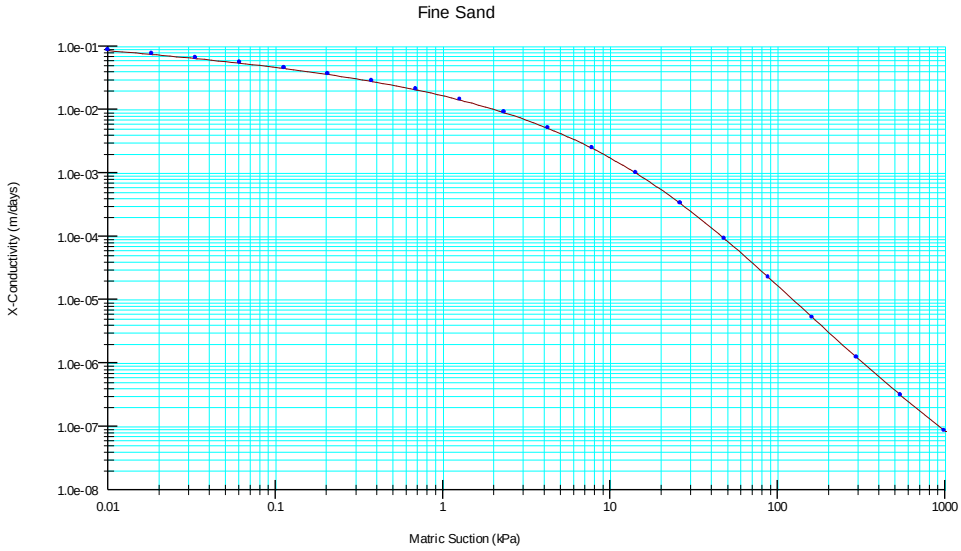
Gambar 4. 15 Estimasi Konduktivitas Hidrolik Gravel Fill



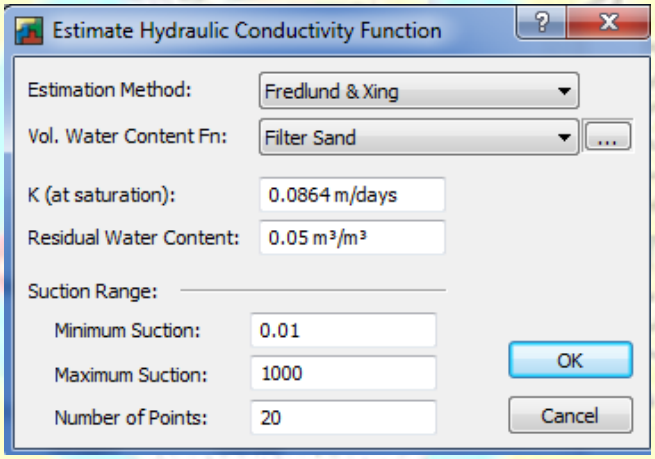
Gambar 4. 16 Konduktivitas Hidrolik Coarse Sand



Gambar 4. 17 Estimasi Konduktivitas Hidrolik Coarse Sand



Gambar 4. 18 Konduktivitas Hidrolik Fine Sand



Gambar 4. 19 Estimasi Konduktivitas Hidrolik Fine Sand

10. Input Key In: Materials

Input Material yang akan digunakan. Material tanah yang digunakan pada Skripsi ini berupa:

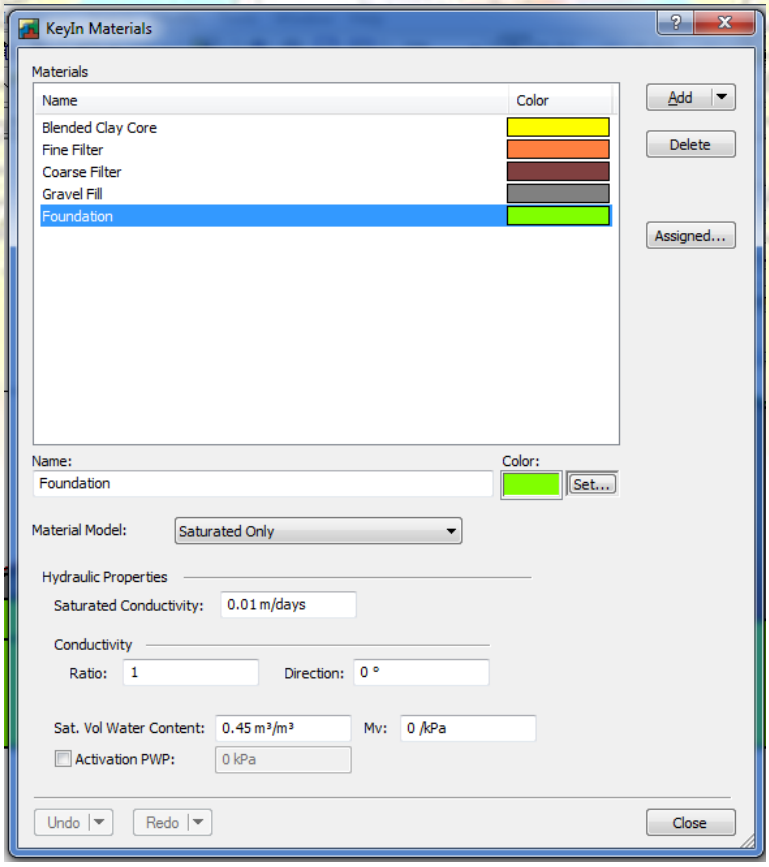
a. Blended Clay Core untuk bagian inti
b. Coarse Filter untuk bagian filter bendungan
c. Fine Filter untuk bagian filter bendungan
d. Gravel Fill untuk bagian rockfill bendungan

Model material untuk setiap jenis tanah yang digunakan adalah Material Model: *Saturated/Unsaturated*, dan input *Hydraulic Conductivity* dan *Volumetric Water Content Function* sesuai dengan masing-masing material.

Tabel 4. 2 Tabel Material Properties, Fungsi VWC dan Hydraulic Conductivity yang digunakan

Material	VWC Function	Hydraulic Conduntivity
Blended Clay Core	Blended Clay core	Blended Clay Core
Coarse Filter	Filter Sand	Coarse Sand
Fine Filter	Filter Sand	Fine Sand
Gravel Fill	Gravel Fill	Gravel

Untuk fondasi bendungan, Material Model adalah *Saturated Only* karena diasumsikan tanah dasar bendungan adalah tanah jenuh (*saturated*) dengan koefisien permeabilitas sebesar 0.01 m/hari.

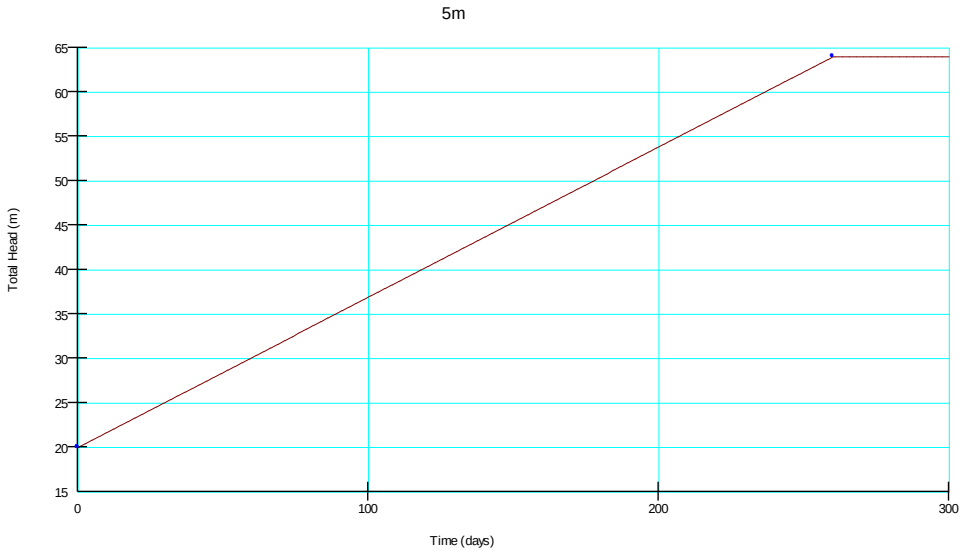


Gambar 4. 20 Key In Material Properties

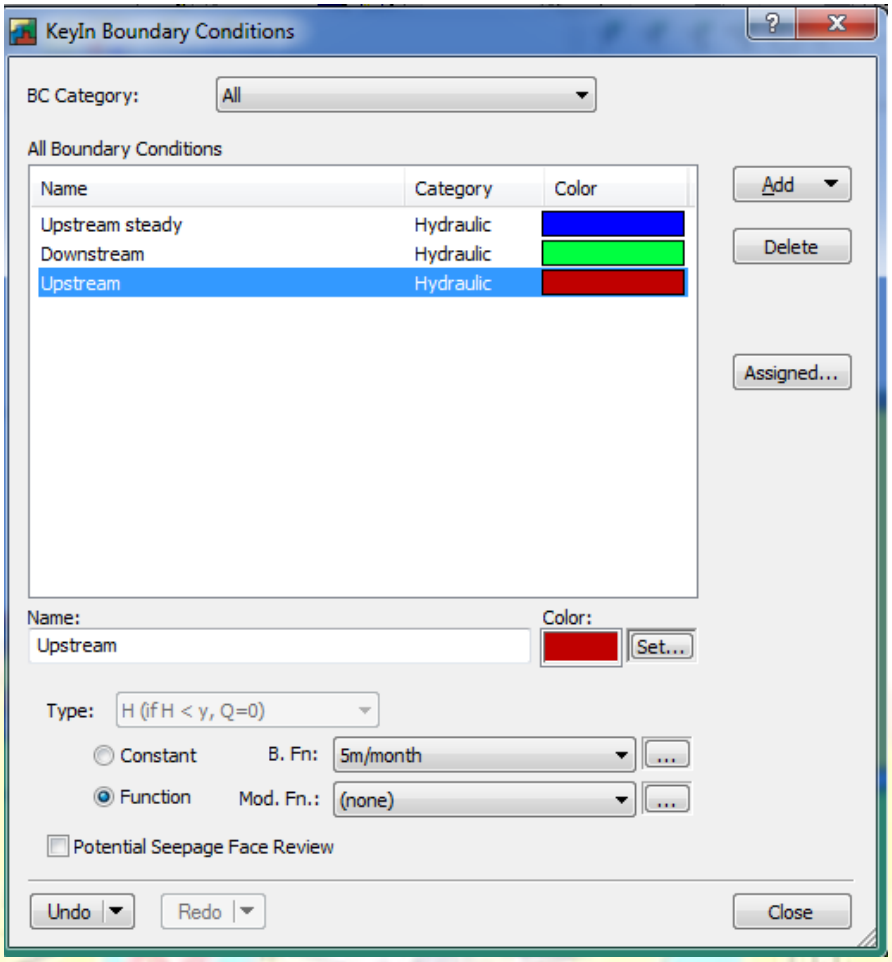
11. Set Boundary Condition

Menentukan kondisi batas masalah untuk mendapatkan solusi. Kondisi batas yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Upstream steady untuk kondisi hulu pada analisis steady state dengan Total Head konstan sebesar 20 m dari dasar bendungan
2. Upstream untuk kondisi hulu pada analisis transien berupa fungsi Total Head vs. waktu pada bagian hulu bendungan. Fungsi dapat dilihat pada Gambar 4. 21
3. Downstream untuk kondisi pada hilir bendungan berupa kondisi batas Type: Constant dengan Total Head sebesar 15 m dari dasar bendungan.



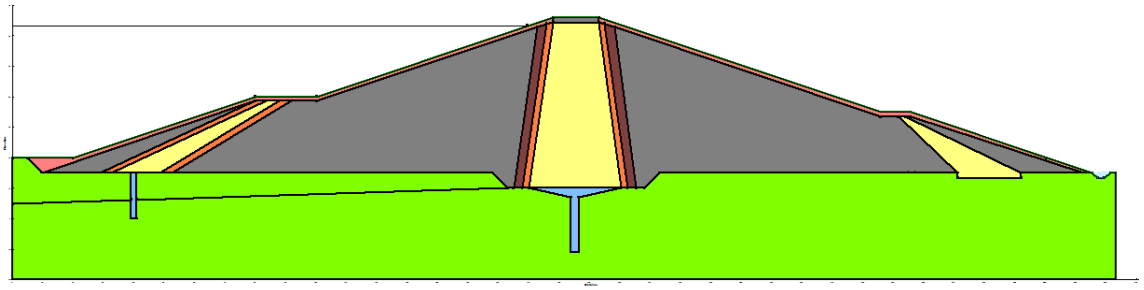
Gambar 4. 21 Fungsi Total Head vs. Waktu untuk Kondisi Batas Upstream



Gambar 4. 22 Key In Boundary Condition

12. Draw Material pada Model

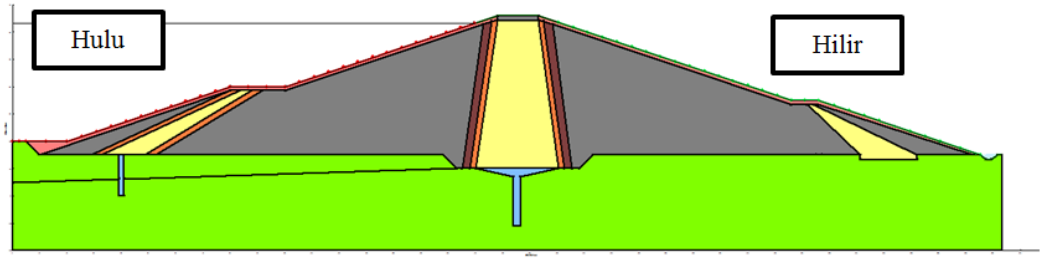
Dari area yang telah dibagi-bagi tersebut, kemudian di set jenis material yang telah diinput pada Material Properties. SEEP/W akan memberi warna pada setiap area sesuai dengan warna jenis material tersebut.



Gambar 4. 23 Model setelah diinput Material

13. Draw Boundary Condition pada Model

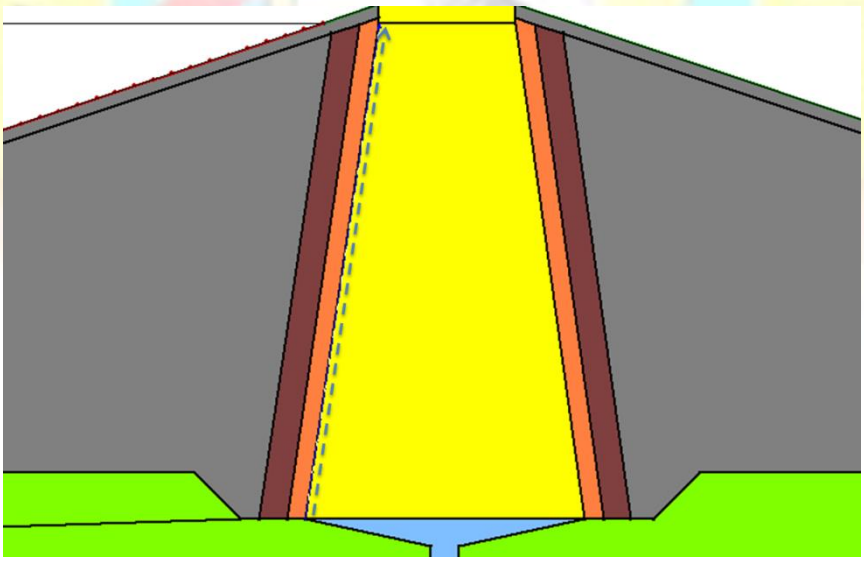
Langkah selanjutnya adalah menetapkan kondisi batas (Boundary Condition) pada hulu (upstream) dan hilir (downstream) bendungan. Pada steady state analisis kondisi hulu adalah “upstream steady” dan pada hilir adalah “downstream”.



Gambar 4. 24 Model setelah diberi Boundary Condition

14. Draw Flux Section

Untuk mengetahui debit pada inti bendungan, langkah selanjutnya adalah menggambar *Flux Section*. Klik pada tombol *Draw Flux Section*. Tariklah garis dari bawah inti bendungan sampai ke atas inti bendungan. Flux Section ditunjukkan oleh garis putus-putus.

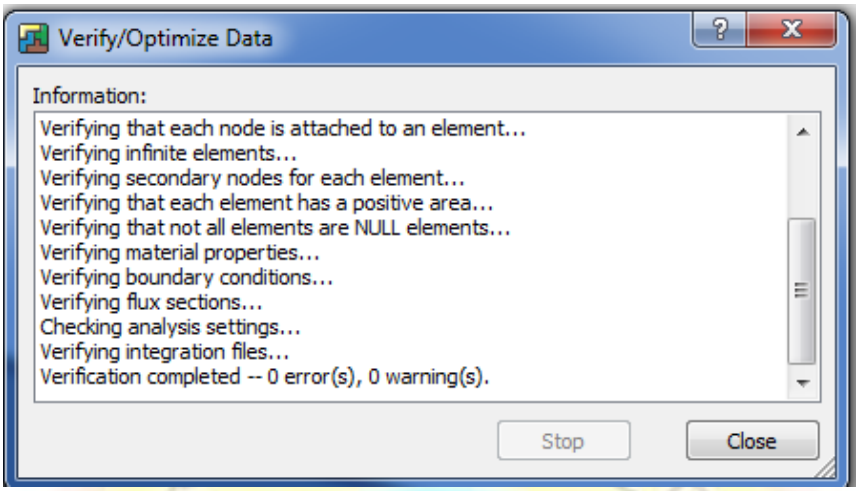


Gambar 4. 25 Model setelah digambar Flux Section

15. Melakukan Verify/Optimize

Langkah selanjutnya adalah melakukan verifikasi (Verify/Optimize). Verifikasi ditujukan untuk mengecek pemodelan yang telah dibuat apakah terdapat

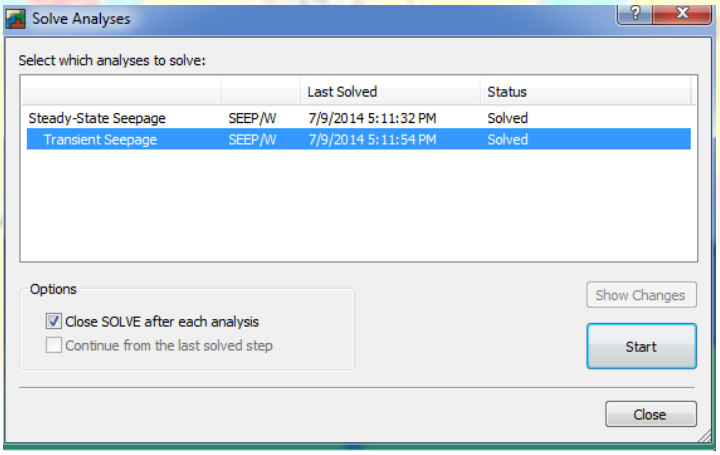
kesalahan pada data atau tidak. Apabila terdapat kesalahan maka SEEP/W tidak dapat dilakukan analisis selanjutnya.



Gambar 4. 26 Verify/Optimize Data

16. Solve Analysis

Malakukan analisis untuk mendapatkan hasil berupa pola aliran, besarnya rembesan, tekanan air pori dan hasil lainnya. Sebelum melakukan analisis, pemodelan harus terlebih dahulu disimpan (save). Setelah disimpan maka analisis dapat segera dilakukan.



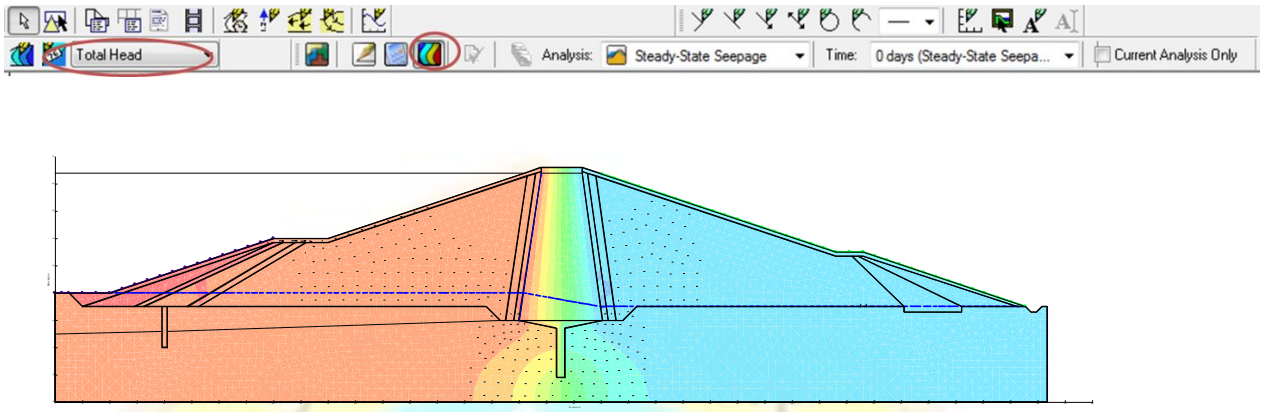
Gambar 4. 27 Solve Analysis

17. Menampilkan hasil

Setelah analisis dihitung, hasil dapat dikeluarkan. Pada studi ini hasil yang akan ditampilkan berupa kontur Total Head, kontur tekanan air pori, debit rembesan dan grafik elevation vs. PWP

a. Kontur Total Head

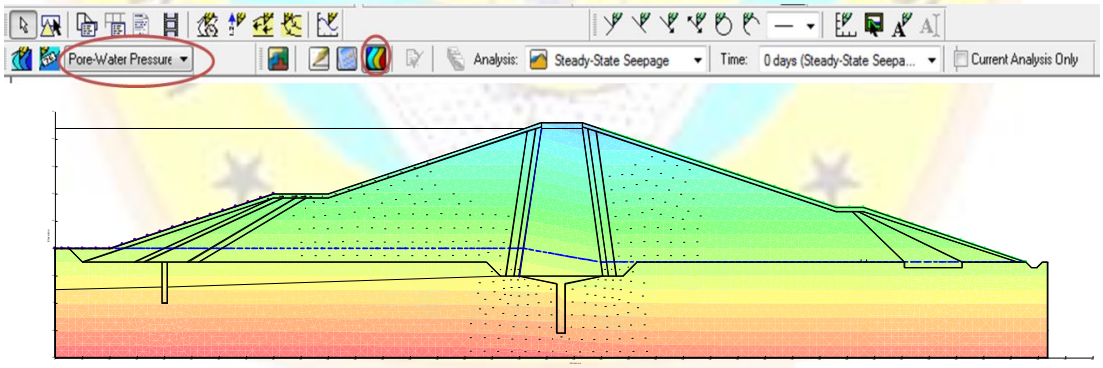
Output kontur Total Head dapat ditampilkan melalui klik tombol kontur dan pilihlah Total Head pada optionnya



Gambar 4. 28 Contoh Output Kontur Total Head Steady-State Analysis

b. Kontur Pore Water Pressure (tekanan air pori)

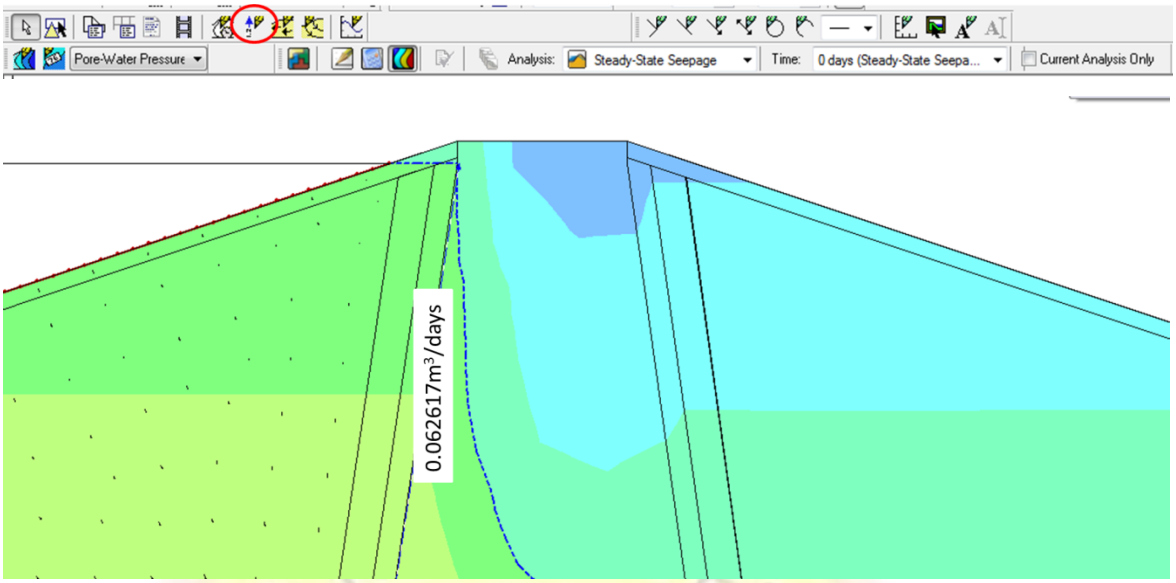
Output kontur Tekanan air pori Head dapat ditampilkan melalui klik tombol kontur dan pilihlah Pore Water Pressure pada optionnya



Gambar 4. 29 Contoh Output Pore Water Pressure Analisis Steady State

c. Debit Rembesan

Besarnya debit rembesan dapat ditampilkan melalui klik *Draw Flux Label*, kemudian klik pada garis *Flux Section*



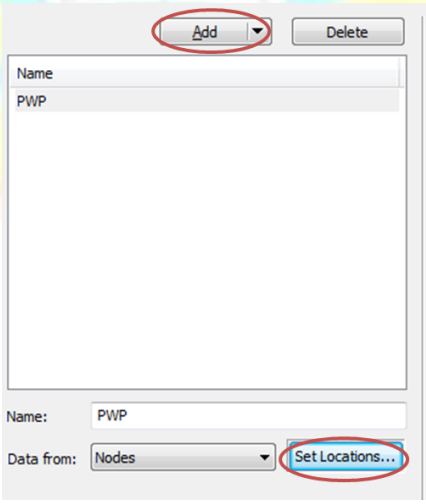
Gambar 4. 30 Contoh Output Debit Rembesan Analisis Steady State

d. Grafik Elevation vs. PWP

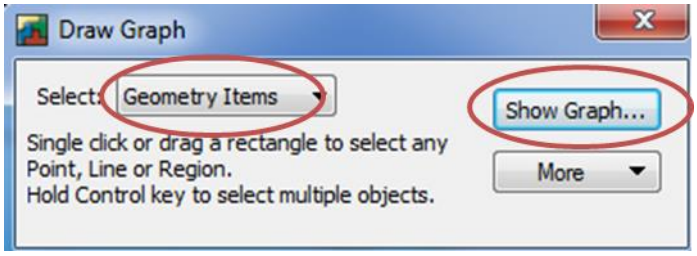
Grafik Elevasi vs. PWP dapat ditampilkan melalui klik Graph → Add → Set Location → Select: Geomettri Items →klik geometri core dam →Show Graph → Pore Pressure →Pore Water Pressure vs. Y



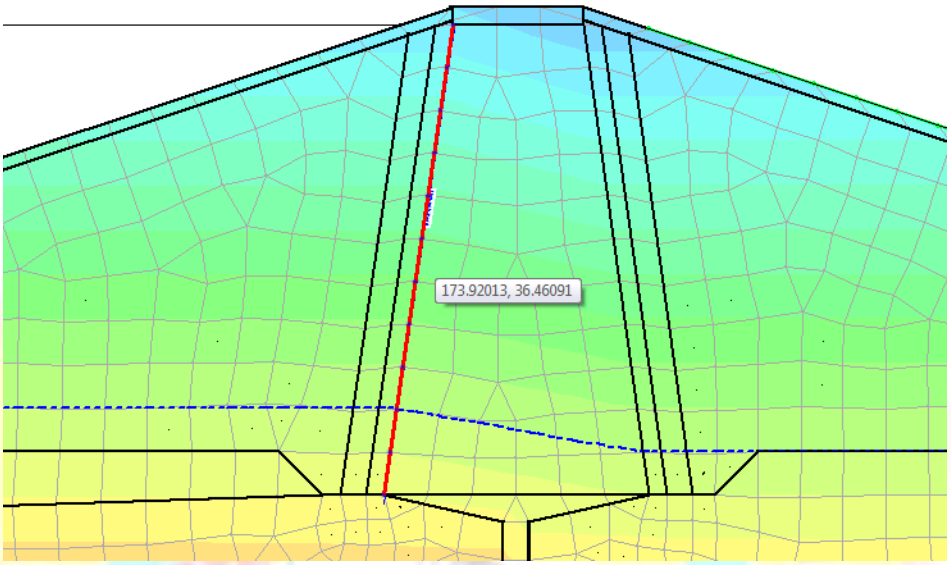
Gambar 4. 31 Pilihan Tombol *Graph*



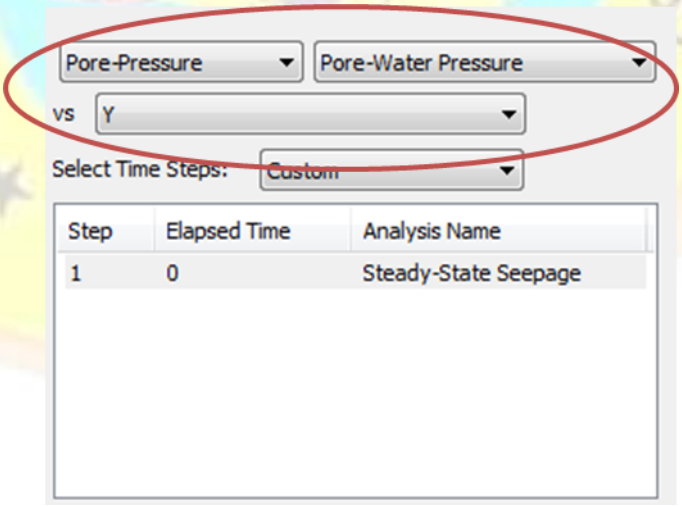
Gambar 4. 32 *Add* dan *Set Location* pada Menu *Graph*



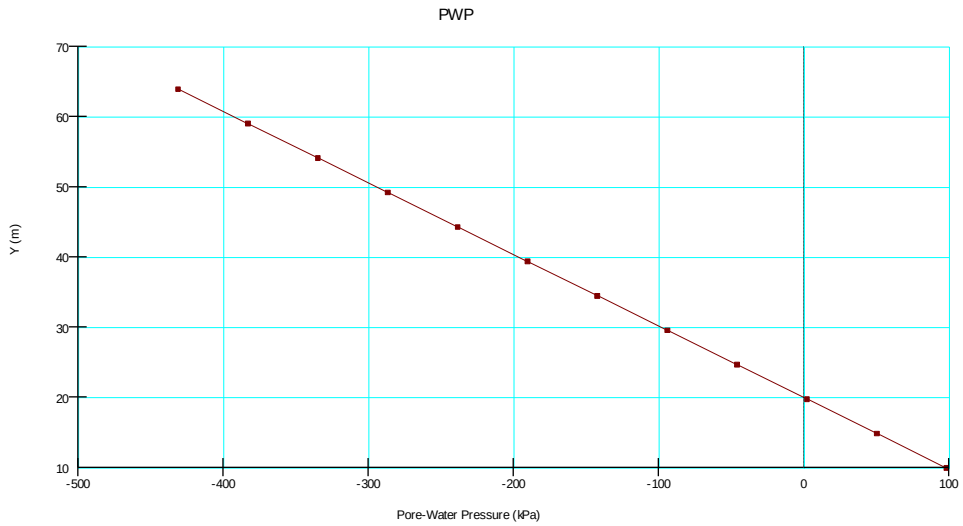
Gambar 4. 33 Pilihan *Geometry Items* dan *Show Graph*



Gambar 4. 34 *Draw Geometri Items* pada Core Dam



Gambar 4. 35 Option untuk menampilkan Grafik yang diinginkan



Gambar 4. 36 Contoh Hasil Output Grafik Elevasi vs. PWP pada SEEP/W Steady State

Adapun langkah-langkah untuk melakukan analisis dan pemodelan seepage transien pada SEEP/W adalah sebagai berikut

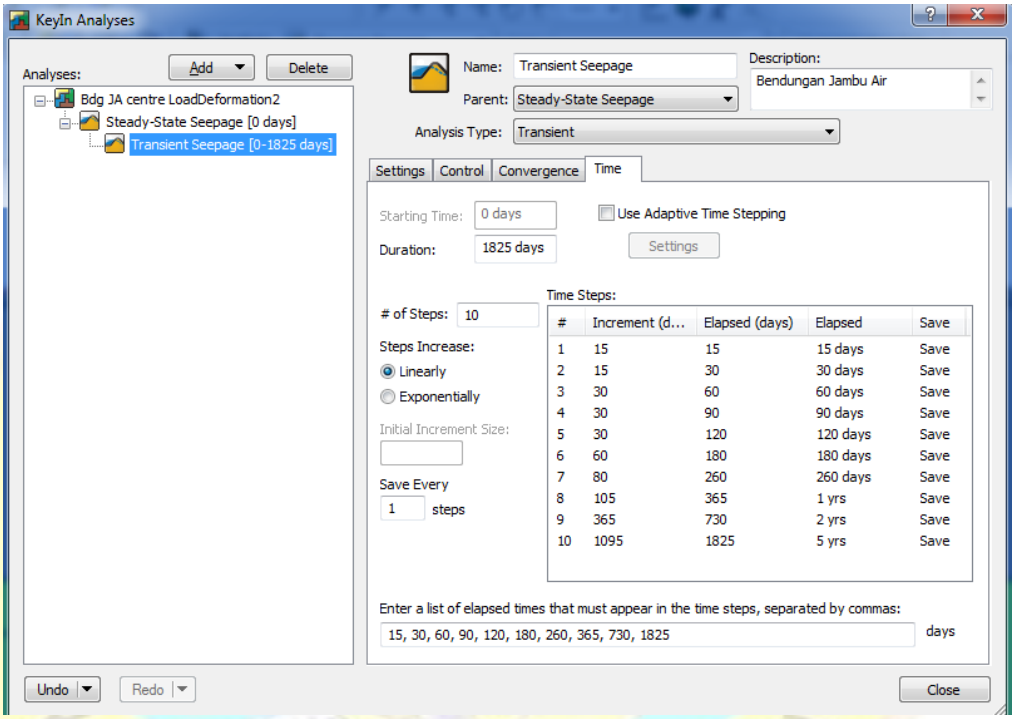
1. Menambahkan Analisis Transien pada Key In Analusis

   Analisis Transien dapat ditambahkan melalui Add → SEEP/W Analysis → Transient

   Pada analisis transien perlu ditetapkan durasi pengamatan bendungan. Pada studi ini durasi dilakukan selama 1825 hari (5 tahun). Dengan jumlah pengamatan sebanyak 10 kali yaitu:

   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

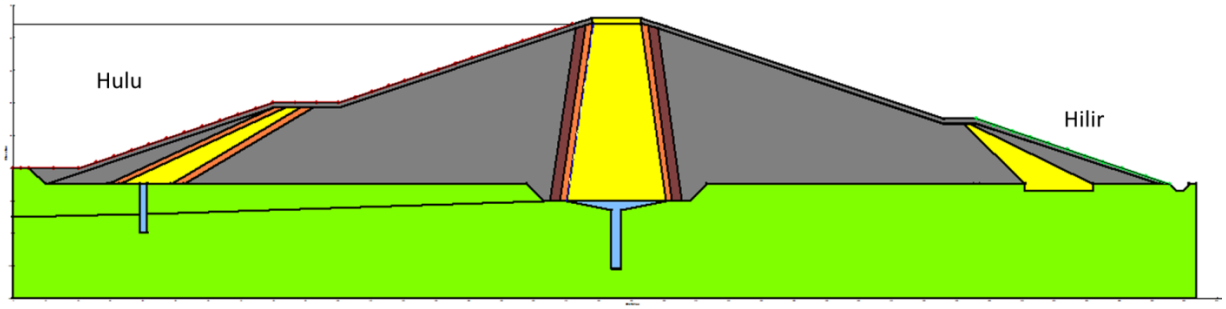
9. 365 hari (1 tahun) dari hari H pengisian (H + 365), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi
10. 730 hari (2 tahun) dari hari H pengisian (H + 730), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi
11. 1835 hari (5 tahun) dari hari H pengisian (H + 1825), dengan tinggi muka air 64 m dari fondasi



Gambar 4. 37 Key In Analysis SEEP/W Transient

2. Set Boundary Condition

   Boundary Condition untuk transien analisis kondisi hulu adalah "upstream" sedangkan kondisi hilir adalah "downstream".



Gambar 4. 38 Boundary Condition pada Analisis Transien

3. Melakukan verify/Optimize

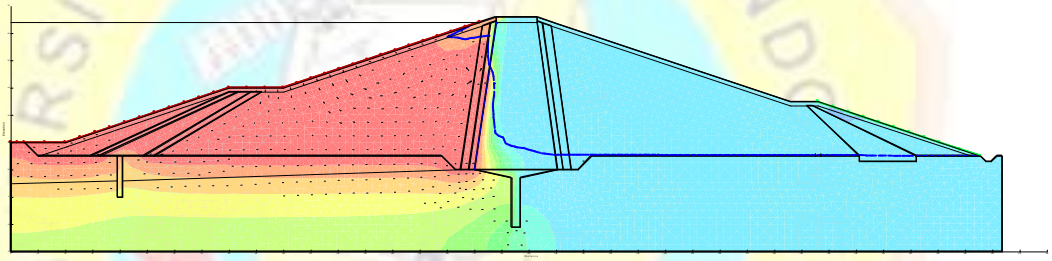
   Langkah verify/Optimize sama dengan yang dilakukan pada SEEP/W Steady State

4. Solve analysis

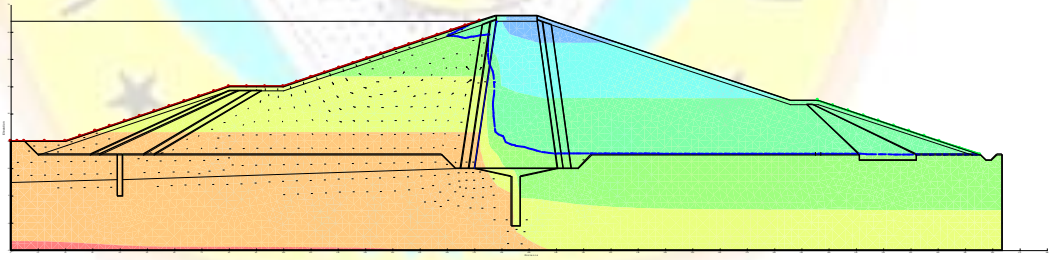
   Langkah melakukan Solve Analysis juga sama dengan yang dilakukan pada SEEP/W Steady State

5. Menampilkan hasil analisis transien

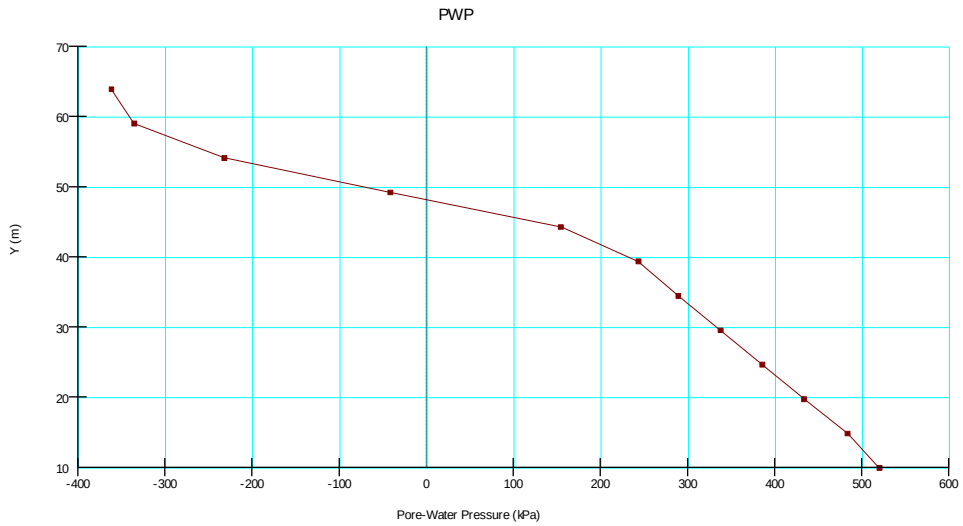
   Hasil yang didapat dari analisis transien adalah hasil dengan rentang waktu yang telah diset. Analisis tansien juga dapat menampilkan kontur Total Stress, kontur PWP, debit rembesan, dan grafik Elevation vs. PWP untuk tiap rentang waktu yang diamati. Untuk menampilkan hasil adalah sama dengan langkah-langkah pada SEEP/W Steady State. Berikut akan ditampilan contoh hasil pada saat hari H + 260:



Gambar 4. 39 Contoh Output kontur Total Stress Analisis Transien H+260



Gambar 4. 40 Contoh Output kontur Pore Water Pressure Analisis Transien H+260



Gambar 4. 41 Contoh Hasil Output Grafik Elevasi vs. PWP pada SEEP/W Transien

4.3 Pemodelan Tegangan dengan SIGMA/W

4.3.1 Pendahuluan

SIGMA/W adalah program komputer yang dapat digunakan untuk analisis tegangan dan deformasi pada struktur bangunan. Beberapa hal yang dapat dianalisis dengan menggunakan SIGMA/W adalah sebagai berikut:

1. Analisis Deformasi
2. Konstruksi bertahap
3. Tekanan air pori berlebih
4. Interaksi struktur dan tanah
5. Analisis konsolidasi

4.3.2 Pemodelan dan Sifat Material pada SIGMA/W

Model material pada SIGMA/W dibagi menjadi:

1. Model Linear-Elastik (*Elastic Linear Model*)
2. Model Non Linear / Hiperbolik (*Hyperbolic E-B Model*)
3. Model Elastik Plastik (*Elastic Plastic Model*)
4. Model Cam Clay (*Critical State Model / Hardening Elastic Plastic Model*)

Selain model material diatas, SIGMA/W juga membagi material ke dalam beberapa sifat. Untuk setiap model tanah, sifat akan berbeda bergantung kepada

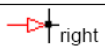
apakah model yang ditetapkan itu adalah **tegangan total** (*Total stress*), **tegangan efektif tanpa perubahan tekanan** (*Effective stress with no pressure change*), atau **tegangan efektif dengan perubahan tekanan air pori** (*Effective stress with pore-water pressure change*).

Pada kasus konstruksi tanggul atau bendungan, yielding dan deformasi dapat ditoleransi tanpa mempengaruhi kegunaan (serviceability) dari struktur. Analisis dengan model non-linear dapat memberikan perkiraan yang realistik untuk potensi pergeseran.

4.3.3 Kondisi Batas (Boundary Condition) pada SIGMA/W

Beberapa kondisi batas yang dapat diterapkan pada SIGMA/W dapat dilihat pada Tabel 4. 3 dan Tabel 4. 4.

Tabel 4. 3 Kondisi Batas dan Simbol yang digunakan

Type	Value	Symbol X-Direction	Symbol Y-Direction	Description
(none)	--------	--------	--------	none
Displacement	positive (+)			hollow arrow
Displacement	negative (-)			hollow arrow
Displacement	zero (0)			hollow triangle
Force	positive (+)			solid arrow
Force	negative (-)			solid arrow
Force	zero (0)	--------	--------	none
Spring	not applicable	 left or right	 up or down	springs
Spring	zero (0)	--------	--------	none
Rotation	zero (0)		--------	hollow circle

Tabel 4. 4 Kondisi Batas yang digunakan pada bagian tepi Model

Type	Value	Symbol	Description
(none)	--------	none	--------
Normal Stress	positive (+)		line along edge, arrow perpendicular towards edge
Normal Stress	negative (-)		line along edge, arrow perpendicular away from edge
Tangential Stress	positive (+)		line along edge along edge, arrow in counter-clockwise direction around an element
Tangential Stress	negative (-)		line along edge along edge, arrow in clockwise direction around an element
X-Stress	positive (+)		line along edge, arrow pointing right
X-Stress	negative (-)		line along edge, arrow pointing left
X-Stress	zero (0)		line along edge
Y-Stress	positive (+)		line along edge, arrow pointing up
Y-Stress	negative (-)		line along edge, arrow pointing down
Y-Stress	zero (0)		line along edge
Fluid Elevation	greater than min. edge *y*-coordinate		line along edge, arrow perpendicular towards edge
Fluid Elevation	less than min. edge *y*-coordinate		line along edge

4.3.4 Tipe Analisis pada SIGMA/W

Ada beberapa tipe analisis pada SIGMA/W yaitu:

1. Initial Insitu Stress

Sebagian besar analisis masalah membutuhkan tegangan-tegangan awal (*initial stresses*) sebelum dilanjutkan ke tahap analisis pembebanan-deformasi (*load-deformation analysis*) atau Tegangan-Regangan Coupled (*Coupled stress-strain*) dan analysis rembesan (*seepage analysis*) sebagai contoh adalah masalah konstruksi bertahap. *Initial Stresses* hanya memberikan hasil dari gaya gravitasi dan kesetimbangan tanah tak terganggu (*undisturbed soil*) atau batuan

2. Load/Deformation Analysis

Analisis Pembebanan/Deformasi adalah tipe analisis yang digunakan bilamana Anda ingin mengaplikasikan pembebanan dan mencari perubahan tegangan dan pergeseran yang dihasilkan.

3. Dynamic Deformation Analysis

Analisis deformasi dinamik (Dynamic deformation analysis) menghubungkan SIGMA/W dengan QUAKE/W yang digunakan untuk menghitung deformasi akibat beban gempa. Analisis ini membutuhkan analisis dengan QUAKE/W terlebih dahulu.

4. Stress Retribution Analysis

Ada banyak masalah dimana perhitungan tegangan lebih besar daripada kekuatan tanah; ini dinamakan over-stressed pada tanah. Umumnya, ini terjadi pada model Linear Elastik dimana tegangan dihitung tanpa pertimbangan kekuatan tanah. Masalah umum yang lain adalah dimana ada kenaikan tekanan pori sementara tegangan total tetap konstan seperti kasus infiltrasi air ke dalam tanah.

Stress Retribution Analysis adalah tipe analisis yang dapat digunakan untuk analisis stabilits reduksi kekuatan (strenght reduction stability analysis)

5. Coupled Analysis

Pada coupled analisis dibutuhkan tegangan-deformasi dan persamaan rembesan untuk diselesaikan secara bersamaan. Dengan coupled analisis tidak lagi dibutuhkan analisis menggunakan SEEP/W dan SIGMA/W secara bersamaan. Semua property hidrolis dan kondisi batas dapat langsung dikembangkan dan diaplikasikan dari dalam SIGMA/W.

Pada analisis coupled, terdapat 3 persamaan yaitu: 2 persamaan kesetimbangan (pergeseran) dan yang ketiga adalah persamaan kontinuitas (aliran). Penyelesaian tiga persamaan secara serentak memberikan pergeseran dan perubahan tekanan air-pori.

Pada perhitungan parameter material, untuk tanah unsaturated SIGMA/W untuk analisis *coupled* terdapat kerumitan perhitungan yang kompleks dan SIGMA/W belum mencapai tahap kerumitan ini. Analisis coupled pada tanah *unsaturated* kadangkala dapat menyebabkan masalah perhitungan numerik yang konvergen, seperti ketika Volumetric Water Content memiliki fungsi yang terlalu curam seperti pada tanah berpasir. (Geostudio, 2013).

Menurut hasil penelitian Vu dan Fredlund (2006), hasil analisis *coupled* dan *uncoupled* memberikan hasil yang tidak jauh berbeda. Oleh karena kerumitan perhitungan parameter tanah unsaturated yang kompleks dan masalah perhitungan

numerik yang konvergen pada analisis *coupled*, maka analisis yang dipakai pada studi ini adalah analisis SIGMA/W Uncoupled.

6. Uncoupled Analysis

Coupled analisis menyelesaikan persamaan kesetimbangan dan persamaan kontinuitas rembesan secara serentak. Kadangkala daripada menyelesaikan 2 persamaan secara bersamaan , secara numeric lebih baik menyelesaikan persamaan aliran transien SEEP/W terlebih dahulu dan kemudian menggunakan hasil SEEP/W pada analisis persamaan coupled dengan kondisi batas yang sudah diketahui. Perubahan tekanan air-pori dihitung terlebh dulu dan perubahan volume dihitung dari tekanan air pori yang sudah dihitung. Ini dikenal sebagai analisis uncoupled.

Analisis uncoupled dapat dilakukan dengan memilih tipe Volume Change analisis pada SIGMA/W.

4.3.5 Langkah-Langkah Pemodelan dengan Menggunakan SIGMA/W 2007

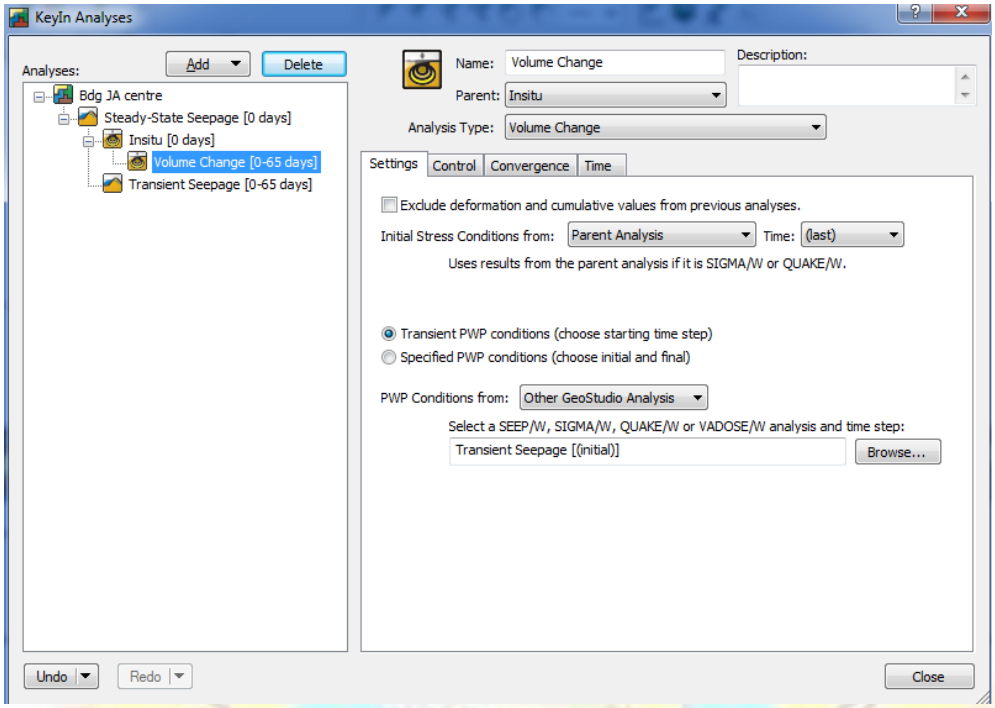
Berikut akan dijelaskan tahapan-tahapan pemodelan dengan menggunakan SIGMA/W 2007 dengan analisis uncoupled:

1. Key In Analysis

Dalam tahap ini kita menentukan analisis apa yang akan dijalankan dan hubungan antar analisis. Pada studi ini digunakan 2 tipe analisis yaitu analisis Insitu dan analisis uncoupled yang diasosiasikan dengan SEEP/W.

Analisis Uncoupled membutuhkan analisis Insitu sebagai awalan. Untuk menginput analisis uncoupled adalah melalui Add → SIGMA/W Analysis → Volume Change. Pada settingan PWP (Pore Water Pressure) pilihlah Analisis Transient Seepage (initial) yang telah dianalisis menggunakan SEEP/W

Pada bagian durasi waktu, tidak perlu lagi diedit, karena sudah akan mengikuti analisis transien seepage pada SEEP/W.



Gambar 4. 42 Key In Uncoupled Analysis

Oleh karena analisis SEEP/W merupakan Parent Analysis dari SIGMA/W, maka SIGMA/W akan secara otomatis menggambil settingan yang sudah diterapkan pada SEEP/W seperti sketsa model dan region yang telah dibagi-bagi. Tetapi karena SIGMA/W dan SEEP/W memiliki property material dan kondisi batas yang berbeda berbeda maka SIGMA tidak akan memasukkan property material dan kondisi batas dari SEEP/W, sehingga pada analisis kita perlu untuk menginput property material dan kondisi batas terlebih dahulu.

2. Key In Material Properties

Tahap selanjutnya adalah input material properties untuk analisis dengan SIGMA/W. Kategori material (*Material Category*) yang digunakan pada studi ini adalah pendekatan parameter efektif karena pada kondisi pengisian waduk diasumsikan proses pembebanan lebih lambat daripada keluarnya air pori (analisis jangka panjang /long term). Model material yang dipakai untuk inti bendungan dan filter bendungan adalah model material *non-linear elastic hyperbolic* sedangkan untuk rockfill adalah *linear-elastic* (Djawardi, 2012). Tetapi oleh karena model material untuk kategori material efektif dengan perubahan air pori (*Effective Parameter w/ PWP change*) tidak terdapat model material *non-linear*

elastic hyperbolic maka untuk inti bendungan digunakan model material *Elastic-Plastic* dan untuk filter bendungan mengikuti model material *rockfill* bendungan yaitu *Linear-elastic.* Adapun input material adalah sebagai berikut:

a. Blended Clay Core

Material Category : Effective Parameter w/ PWP change
Material Model : Elastic Plastic
Total E Modulus : Function → Estimate : High Plasticity Clay
Effective Cohesion : 18,47 kPa
Unit Weight : 18 kN/m^3
Effective Phi : 27,84 ^{0}
Poisson Ration : 0.334
Dilation Angle : 0^0

b. Fine Filter

Material Category : Effective Parameter w/ PWP change
Material Model : Linear-Elastic
Total E Modulus : Function→Estimate:SiltySand, density 21.2 kN/m^3
Unit Weight : 20 kN/m^3
Poisson Ration : 0.334

c. Coarse Filter

Material Category : Effective Parameter w/ PWP change
Material Model : Linear Elastic
Total E Modulus : Function → Estimate: Silty Sand, density 22kN/m^3
Unit Weight : 20 kN/m^3
Poisson Ration : 0.334

d. Gravel Fill

Material Category : Effective Parameter w/ PWP change
Material Model : Linear Elastic
Total E Modulus : Function → Estimate : Sand/Gravel, density 23.6
Unit Weight : 22 kN/m^3
Poisson Ration : 0.334

e. Foundation

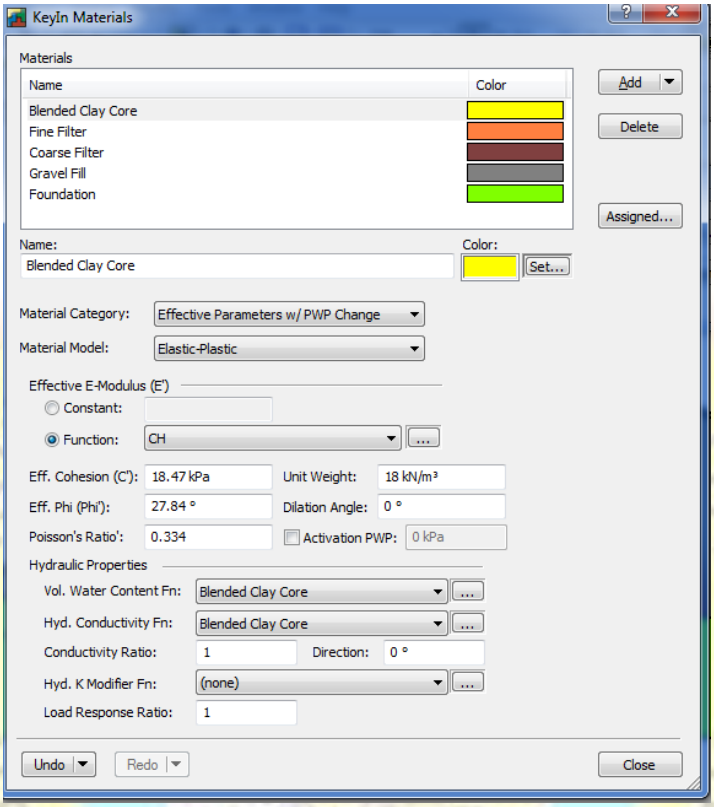
Material Category : Effective Drained Parameter

Material Model : Linear-Elastic

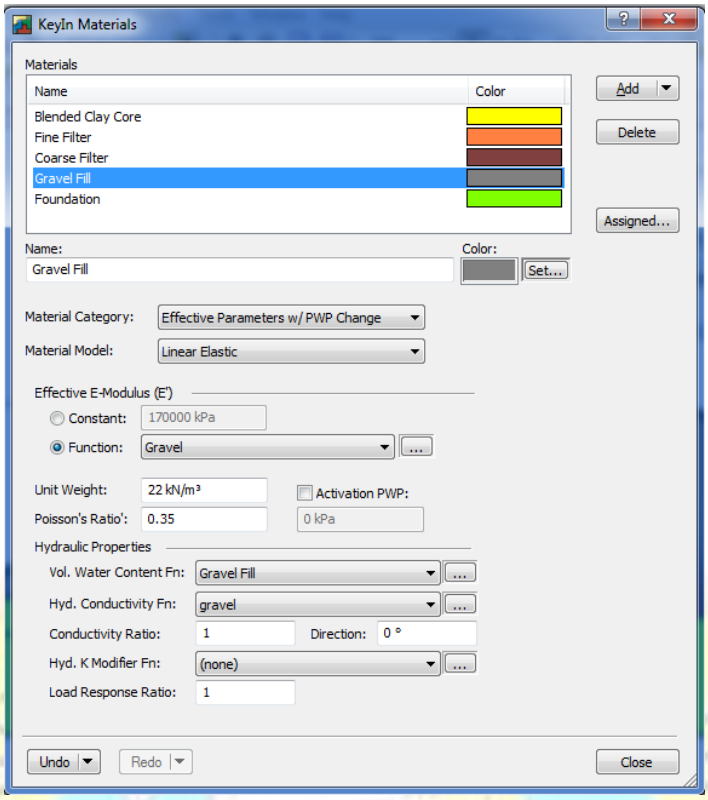
Total E Modulus : Function → Estimate : Sand/Gravel, density 21.2

Poisson Ration : 0.334

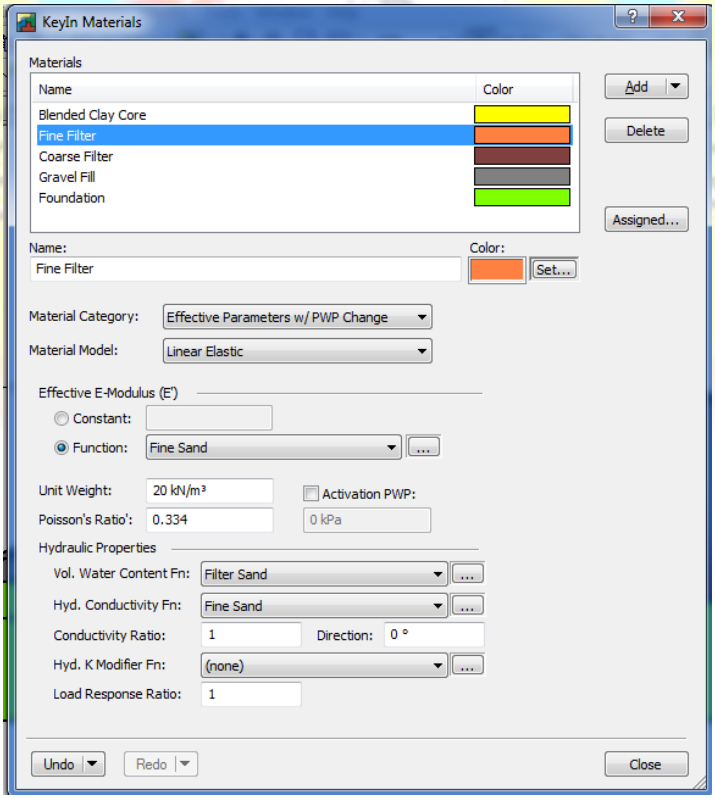
Unit Weight : 20 kN/m^3



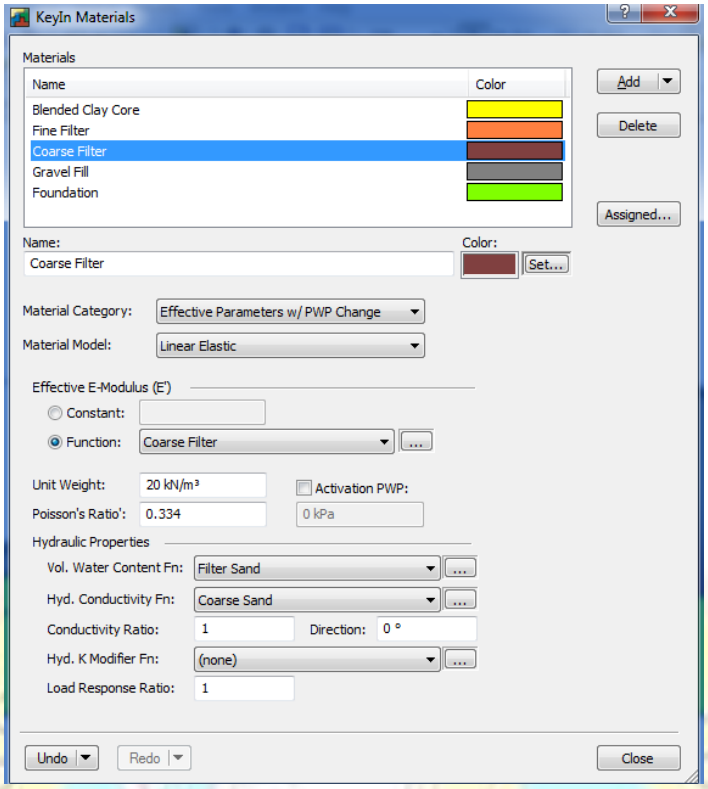
Gambar 4. 43 Key In Material Properties SIGMA/W Blended Clay Core



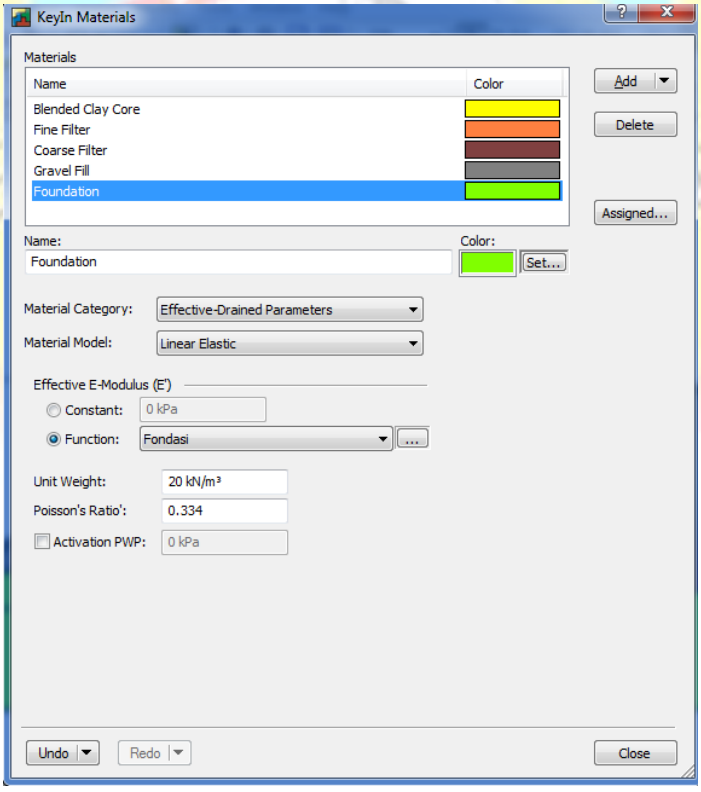
Gambar 4. 44 Key In Material Properties SIGMA/W Gravel Fill



Gambar 4. 45 Key In Material Properties SIGMA/W Fine Filter



Gambar 4. 46 Key In Material Properties SIGMA/W Coarse Filter

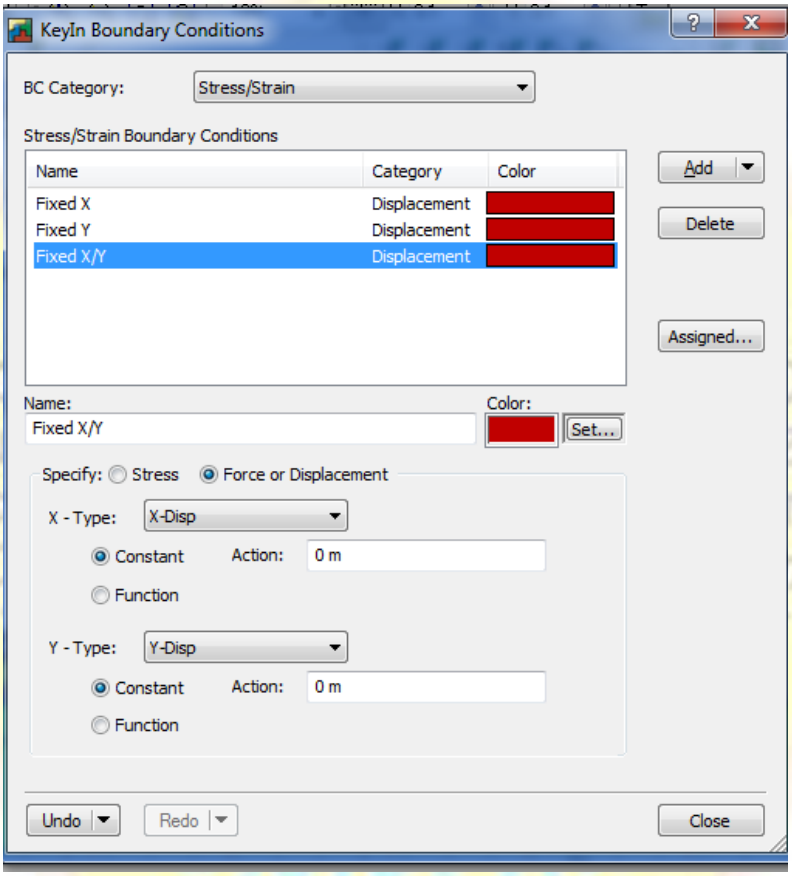


Gambar 4. 47 Key In Material Properties SIGMA/W Foundation

3. Key In: Boundary Condition

Kondisi batas pada SIGMA/W untuk Skripsi ini dibagi menjadi 2 yaitu sebagai berikut:

1. **Fixed X**, untuk mengunci kondisi batas arah horizontal (X) sehingga tidak terjadi pergeseran arah X, pergeseran yang diijinkan hanya arah vertikal (Y).
2. **Fixed X/Y**, untuk mengunci kondisi batas arah horizontal (X) dan vertikal (Y) sehingga tidak terjadi pergeseran ke arah horizontal maupun arah vertikal

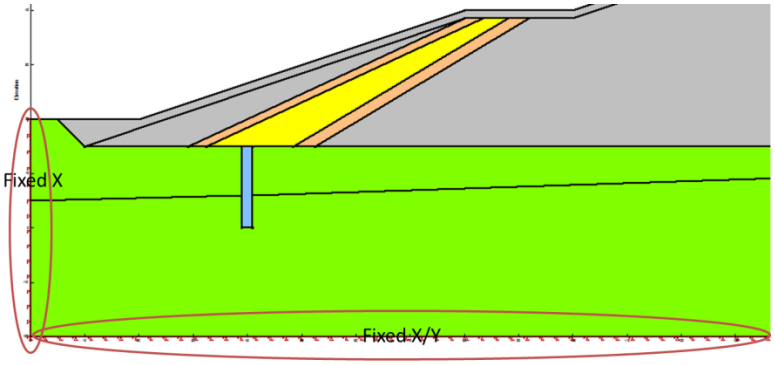


Gambar 4. 48 Key In Boundary Condition Stress SIGMA/W

4. Draw: Boundary Condition

Pada analisis Uncoupled Boundary Condition adalah sebagai berikut:

Fixed X adalah pada tepi bendungan bagian kiri dan kanan bendungan, Fixed X/Y adalah pada dasar fondasi bendungan, dan Upstream Stress adalah pada hulu bendungan seperti pada Gambar 4. 49.



Gambar 4. 49 Draw Boundary Condition pada SIGMA/W Analysis

5. Melakukan Verify/Optimize

Langkah selanjutnya adalah melakukan verifikasi (Verify/Optimize). Tahap verifikasi sama dengan verifikasi pada SEEP/W.

6. Solve Analysis

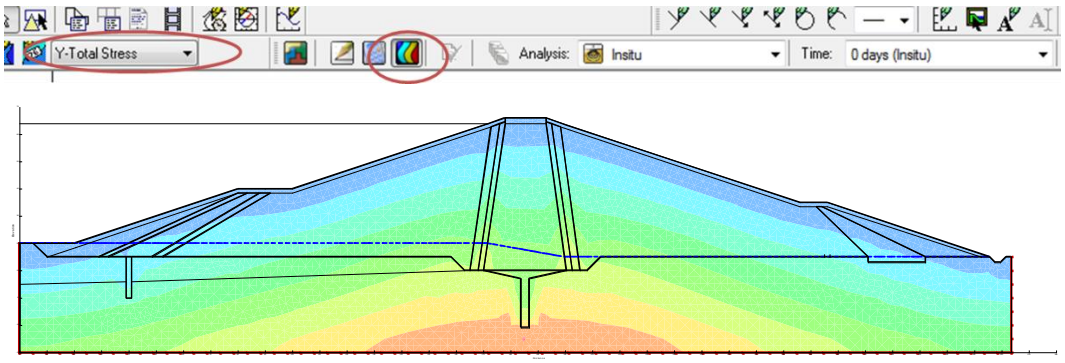
Malakukan analisis untuk mendapatkan hasil berupa grafik tegangan efektif vs. elevasi dan tekanan air pori vs. elevasi. Sebelum melakukan analisis, pemodelan harus terlebih dahulu disimpan (save). Setelah disimpan maka analisis dapat segera dilakukan. Solve analisis sama dengan langkah pada SEEP/W.

7. Menampilkan Hasil Analisis

Setelah analisis dihitung, hasil dapat dikeluarkan. Pada studi ini hasil yang akan ditampilkan berupa kontur Total Stress, kontur tekanan air pori, grafik elevation vs. PWP, grafik elevation vs. Effective Stress dan grafik elevation vs. Total Stress

a. Kontur Total Stress

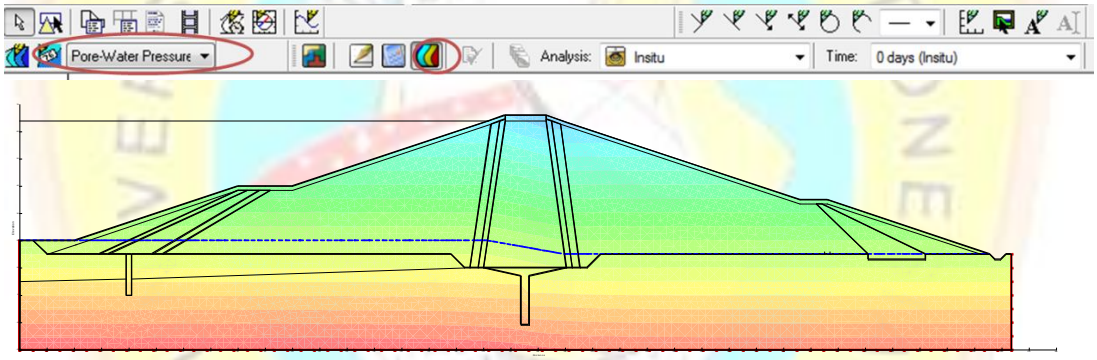
   Kontur Total Stress dapat ditampilkan melalui klik Contour kemudian pilih option Y-Total Stress



Gambar 4. 50 Contoh Output Kontur Y-Total Stress SIGMA/W

b. Kontur Total Stress

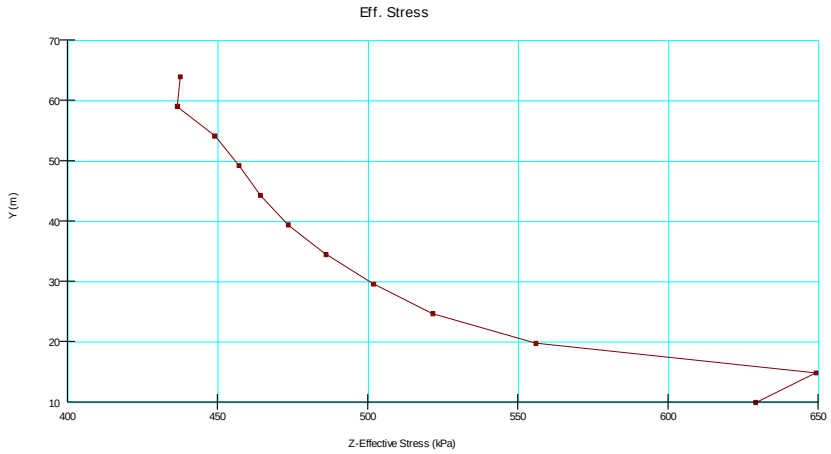
Kontur Total Stress dapat ditampilkan melalui klik Contour kemudian pilih option Y-Total Stress



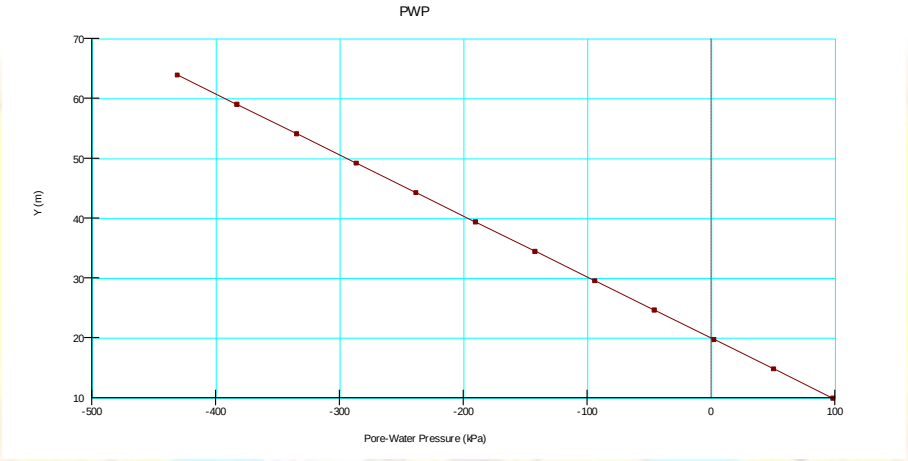
Gambar 4. 51 Contoh Output Kontur Pore Water Pressure SIGMA/W

c. Grafik Elevasi vs. Tegangan

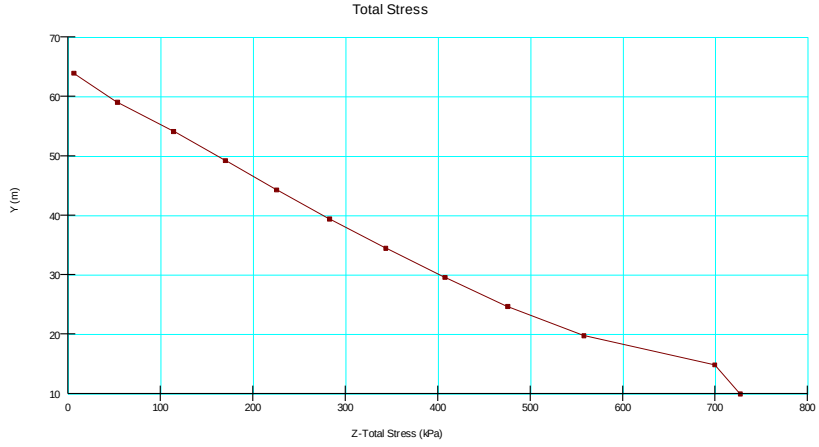
Langkah untuk menampilkan grafik elevasi vs. tegangan (tekanan air pori, tegangan efektif, tegangan total) sama dengan langkah-langkah pada SEEP/W



Gambar 4. 52 Contoh Output Berupa Grafik Tegangan Efektif vs. Elevation SIGMA/W

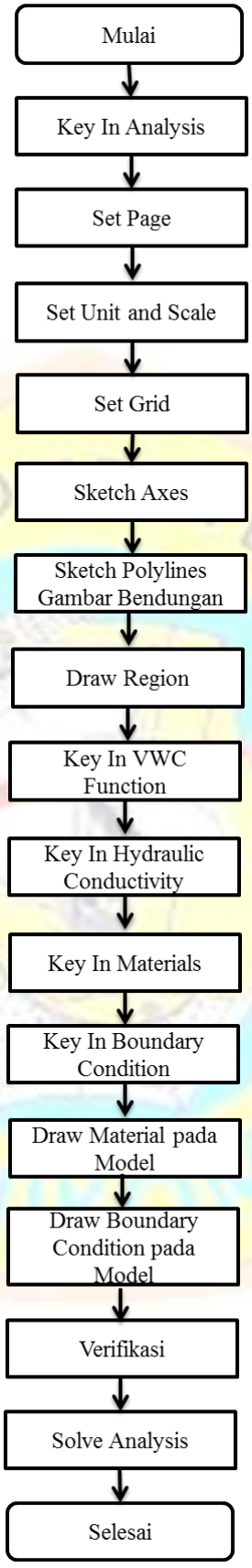


Gambar 4. 53 Contoh Output Berupa Grafik Pore Water Pressure vs. Elevation SIGMA/W

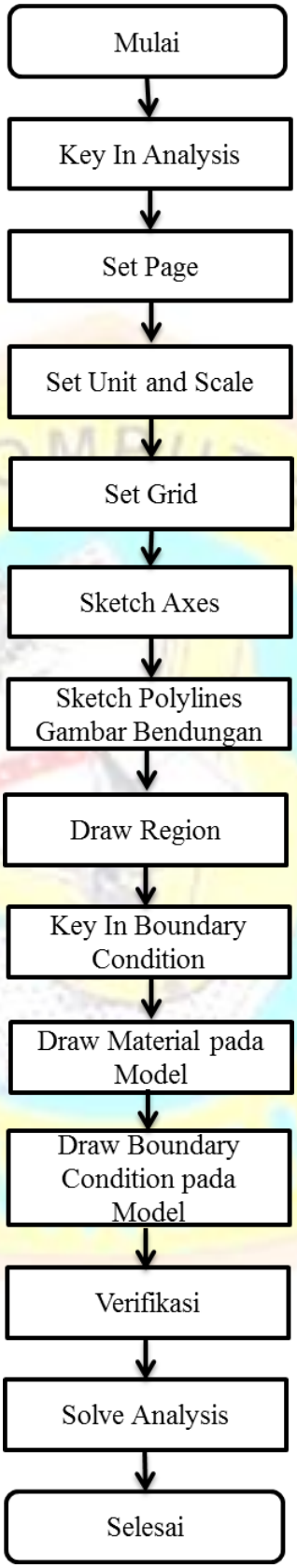


Gambar 4. 54 Contoh Output Berupa Grafik Pore Water Pressure vs. Elevation SIGMA/W

Untuk lebih jelasnya pemodelan SEEP/W dan SIGMA/W secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 4. 55 dan 4. 56 berikut:



Gambar 4. 55 Diagram Alir Pemodelan dengan SEEP/W



Gambar 4. 56 Diagram Alir Pemodelan dengan SIGMA/W

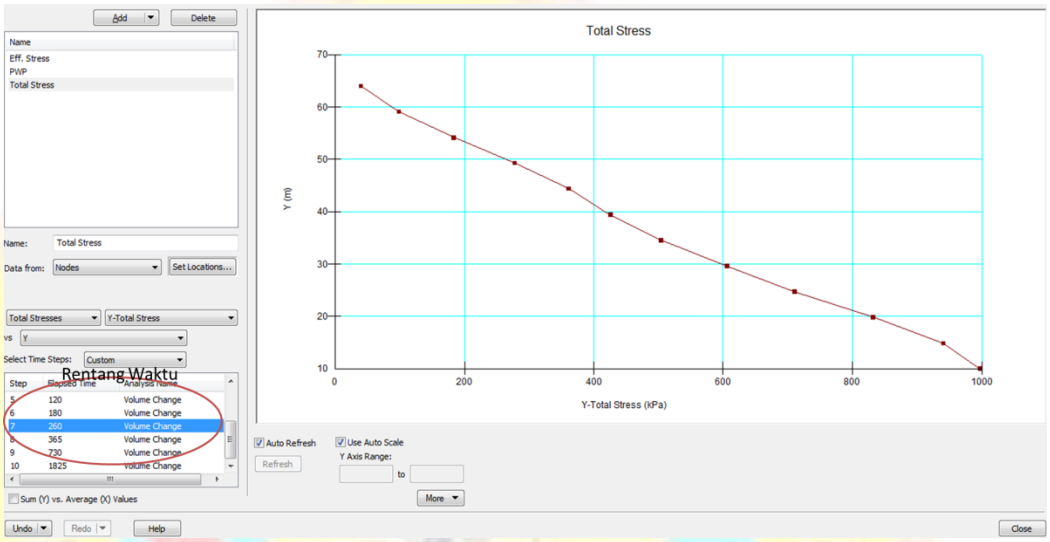
4.4 Pemodelan Hydraulic Fracture

Langkah-langkah untuk melakukan pemodelan hydraulic fracture adalah sebagai berikut:

1. Copy Graph data dari SIGMA/W

   Setelah melakukan analisis dengan SIGMA/W dan menampilkan Grafik, langkah selanjutnya adalah melalui More → Copy graph data

   Copy-kan data-data grafik Effective Stress, PWP, dan Total Stress terhadap tiap rentang waktu.



Gambar 4. 57 Copy Graph Data dari SIGMA/W

2. Paste-kan ke dalam Microsoft Excel

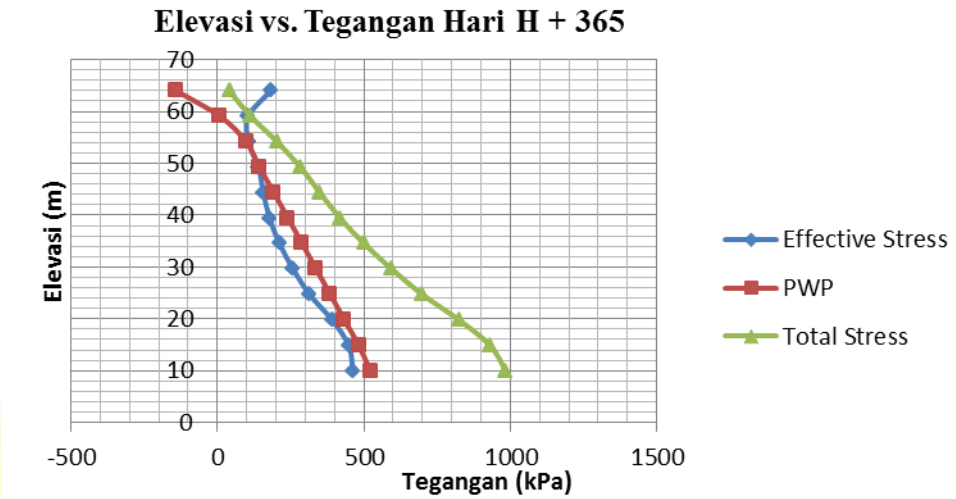
   Setelah dicopy-kan graph data-nya langkah selanjutnya adalah paste ke dalam Microsoft Excel. Contoh dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Graph Data berupa Tegangan dari SIGMA/W

	Eff. Stress : 365 days	PWP : 365 days	Total Stress : 365 days
Y (m)	kPa	kPa	kPa
10	463.21	521.63	984.83
14.91	447.83	482.60	930.43
19.82	391.11	433.11	824.22
24.73	314.28	385.16	699.44
29.64	258.06	336.99	595.05
34.55	211.58	288.86	500.44
39.45	177.83	240.68	418.51
44.36	156.67	192.75	349.41
49.27	139.97	143.17	283.14
54.18	106.01	97.68	203.70
59.09	104.86	8.52	113.38
64	181.58	-140.82	40.77

3. Insert Chart → Scatter

   Dari tabel hasil tegangan efektif, PWP, dan tegangan total diplotlah kembali grafik Elevasi vs. Tegangan. Hasil contoh plot grafik adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 58 Contoh plot grafik Elevasi vs. Tegangan pada Microsoft Excel

4. Menentukan potensi *Hydraulic Fracture*

   Potensi hydraulic fracture terjadi pada saat tegangan air pori melebihi tegangan efektif. Dari Gambar 4.58 dapat diketahui potensi *hydraulic fracture* terjadi pada elevasi 10 m pada inti bendungan (dasar inti bendungan) sampai elevasi 54 m pada inti bendungan.