BAB IV
METODE PERHITUNGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE

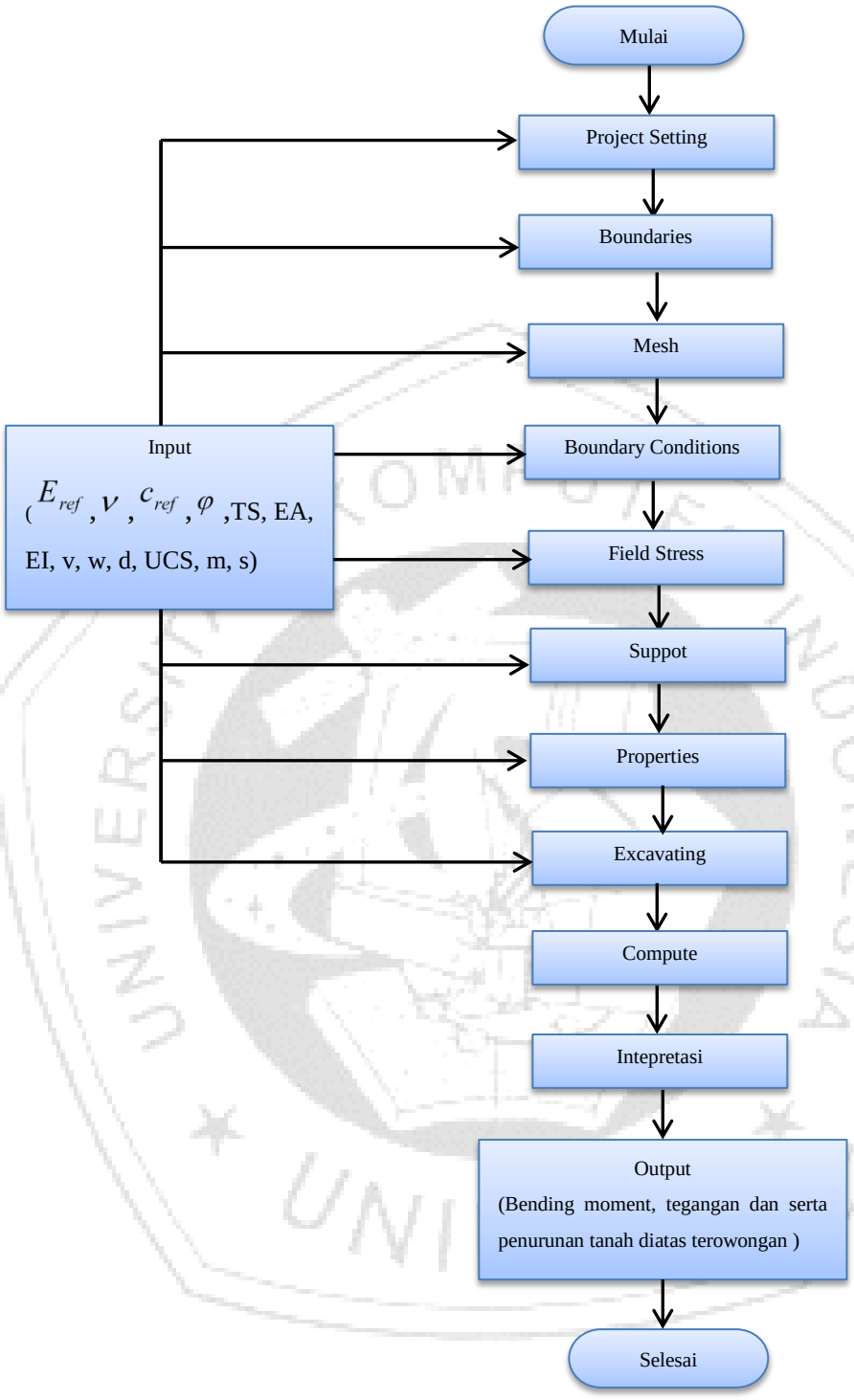
4.1 Umum

Analisis desain tunnel pada studi ini akan dilakukan dengan menggunakan program komputer *finite elemant* . Adapun program komputer yang digunakan adalah Phase2 dan Plaxis 3D Tunnel. Phase2 digunakan untuk menganalisis bending momen yang terjadi pada lining, gaya aksial yang terjadi pada rockbolt, tegangan dan deformasi yang terjadi disekitar terowongan serta penurunan tanah diatas terowongan dalam bentuk dua dimensi. Pada Phase2 pemodelan tanah yang digunakan adalah Mohr-Coulumb dan Hoek-Brown. Sedangkan Program komputer Plaxis 3D Tunnel digunakan untuk menganalisis bending momen yang terjadi pada lining, tegangan dan deformasi yang terjadi disekitar terowongan serta penurunan tanah diatas terowongan dalam bentuk tiga dimensi. Pada Plaxis 3D Tunnel pemodelan tanah yang digunakan adalah Mohr-Coulumb.

4.2 Program Komputer Phase2

4.2.1 Pendahuluan

PHASE2 adalah bagian dari Rocscience yang menggunakan analisis 2D elasto-plastik dengan analisis tegangan elemen hingga untuk penggalian bawah tanah atau permukaan batuan maupun tanah. Hal ini dapat digunakan untuk berbagai proyek rekayasa dan termasuk support design, stabilitas lereng elemen hingga, rembesan air tanah dan analisis probabilistik. Program PHASE2 ini dapat menyajikan hasil output berupa tabel dan grafik berdasarkan hasil analisis input Berikut adalah diagram alir analisis desain terowongan menggunakan PHASE2.



Gambar 4. 1 Diagram alir PHASE2

4.2.2 Model (Input Data)

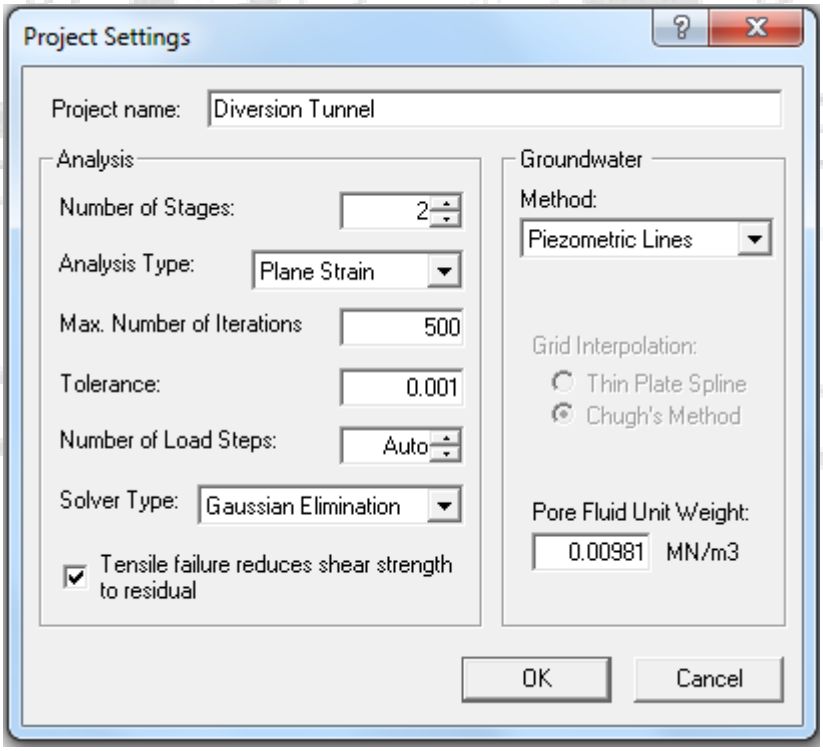
4.2.2.1 Project Setting

Setting project tersedia pada menu file atau toolbar. Project setting harus dipilih pada awal pemodelan, karena beberapa pengaturan mempengaruhi ketersediaan dan operasi beberapa model.

- Pada umumnya *The Number of Stages, Analysis Type, and Groundwater Method* selalu dipilih pada awal pemodelan.
- Pengaturan lain seperti *Tolerance and Solver Type* dapat dirubah selama pemodelan maupun pada saat menjalankan compute.

Tahapan setting project adalah sebagai berikut:

–  Klik Project Settings pada toolbar. Setelah itu jendela project setting akan mucul. Tampilan *project setting* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



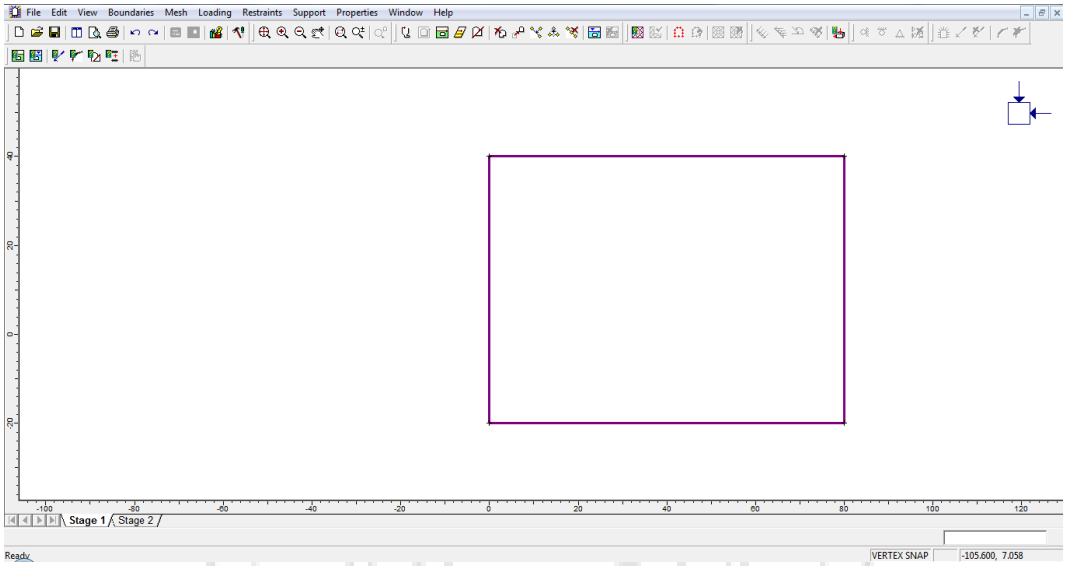
Gambar 4. 2 Tampilan project setting

- Project name dapat diisi sesuai keinginan pengguna.
- Number of Stages. PHASE2 memungkinkan analisis multi-stage finite element pada penggalian hingga 50 stage. Pada studi ini stage yang di masukkan adalah 2.
- Analysis Type. Dua jenis model dapat dibuat dan dianalisis dalam PHASE2. Pilih *Plane Strain*.
- Maximum Number of Iterations. Nilai default adalah 500.
- Tolerance. Nilai yang disarankan untuk tolerance adalah 0,01 - 0,001. Standarnya adalah 001.
- Number of Load Steps. Secara default, *The Number of Load Steps* digunakan oleh COMPUTE pada setiap tahap secara otomatis ditentukan oleh PHASE2 (*Number of Load Steps : Auto*)
- Solver Type. Opsi ini menentukan bagaimana COMPUTE memecahkan matriks mewakili sistem persamaan yang didefinisikan oleh model yang telah dibuat. Metode default adalah *Eliminasi Gaussian*.
- Groundwater. Pada PHASE2, pengaruh air tanah dapat dimasukkan. Pilih Piezometric Lines.

4.2.2.2 Boundaries

Untuk memasukkan *geometry model*, Anda dapat menggunakan keyboard, mouse, atau kombinasi dari keduanya untuk memasukkan koordinat. Semua batas dimodelkan oleh serangkaian segmen garis lurus didefinisikan oleh koordinat x-y. Sistem koordinat menggunakan konvensi x adalah horisontal dan y adalah vertikal. Gunakan spasi sebagai pemisah untuk tiap koordinat. Tahapan untuk input boundaries adalah sebagai berikut:

 Pilih *Boundaries* → *Add External*. Masukkan koordinat titik (0;-20), (80;-20), (80;40) dan (0;40). Tampilan *Add External* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 3 Tampilan *Add External*

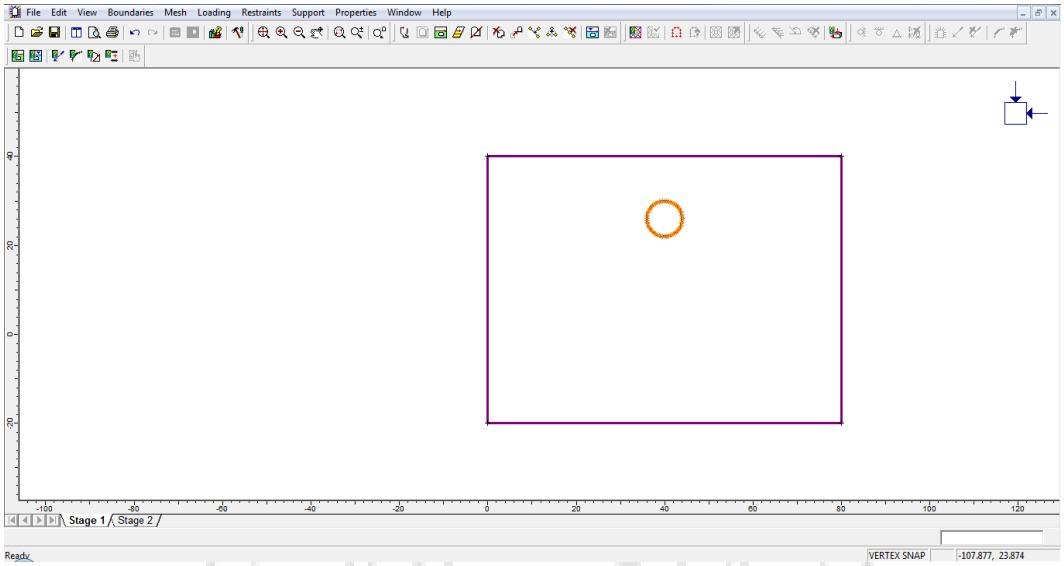


Pilih *Boundaries* → *Add Excavation*. Masukkan koordinat untuk penampang terowongan. Diameter terowongan adalah 8 m. Untuk membuat terowongan dengan bentuk penampang lingkaran yaitu masukkan koordinat pada pormpt line yang berada dikanan bawah. Koordinat yang dimasukan dapat dilihat pada data berikut:

Tabel 4. 1 Koordinat penampang terowongan

```
Enter vertex [a=arc,esc=quit]: a
Number of segments in arc <36>: enter 60
Enter first arc point[esc=quit]: 36 26
Enter second arc point[u=undo, esc=quit]: 44 26
Enter third arc point[u=undo, esc=quit]: c
```

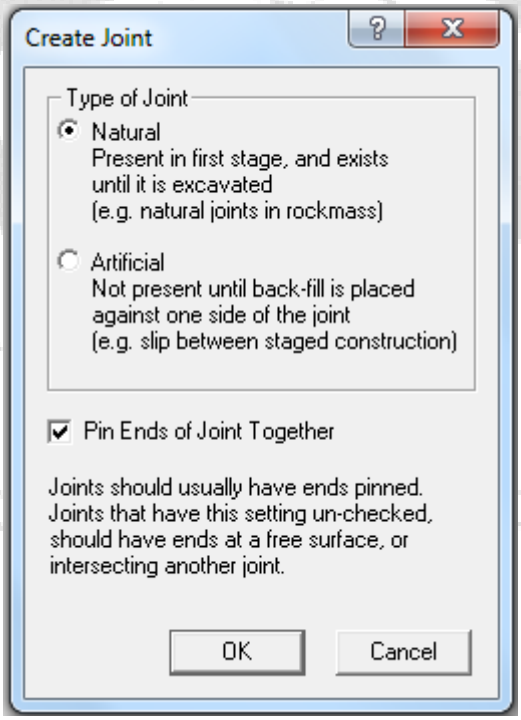
Tampilan *Add Excavation* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 4 Tampilan *Add Excavation*

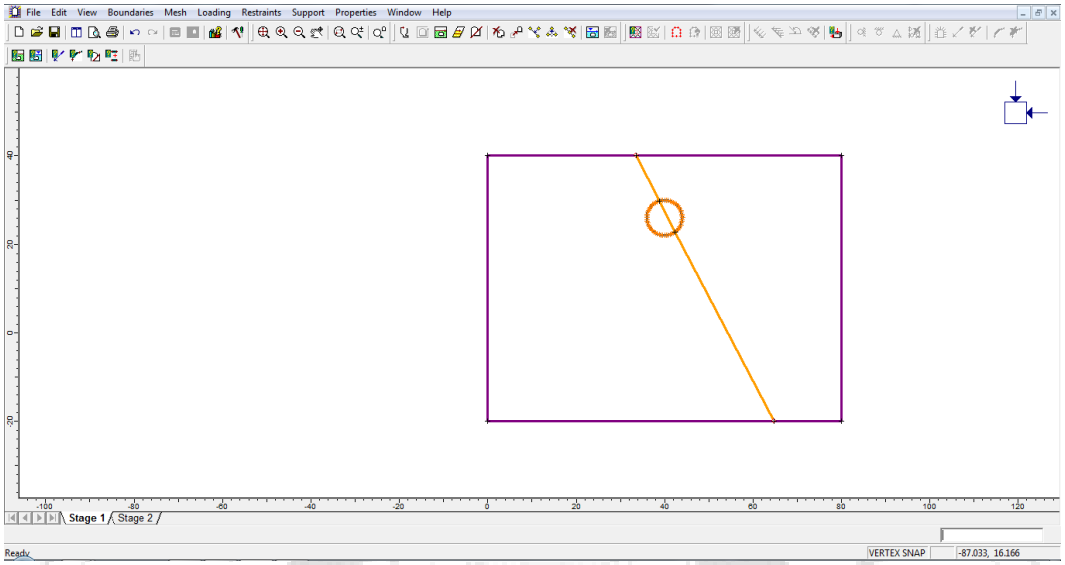


Pilih *Boundaries* → *Add Joint.* Setelah klik add joint maka akan muncul jendela *create joint* seperti gambar dibwah ini:



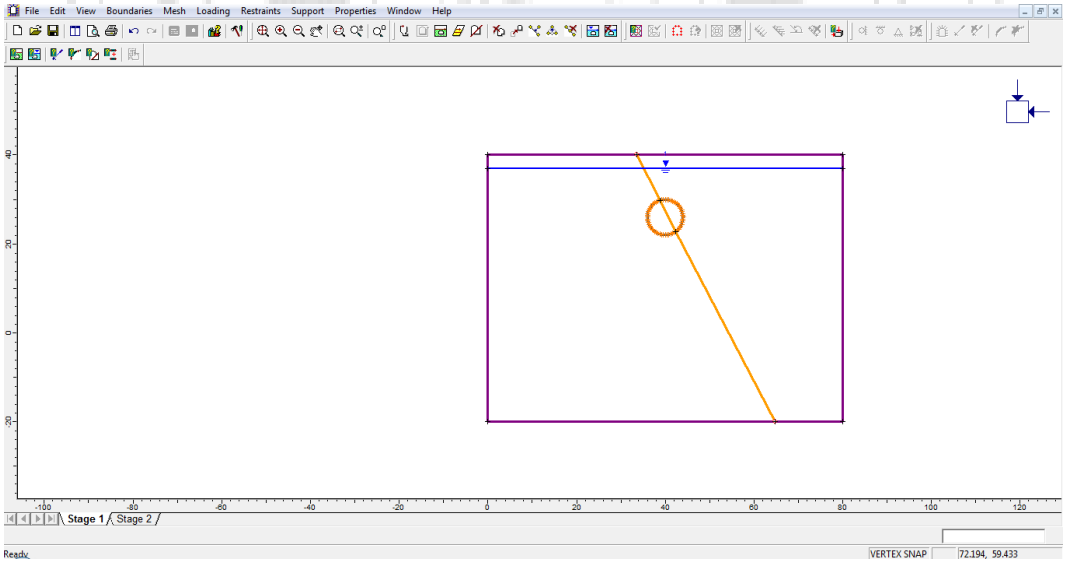
Gambar 4. 5 Tampilan *Creat Joint*

Terima default dari program kemudian klik OK. Seteah itu masukkan koodinat titik sesuai dengan letak joint. Tampilan *Add Joint* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



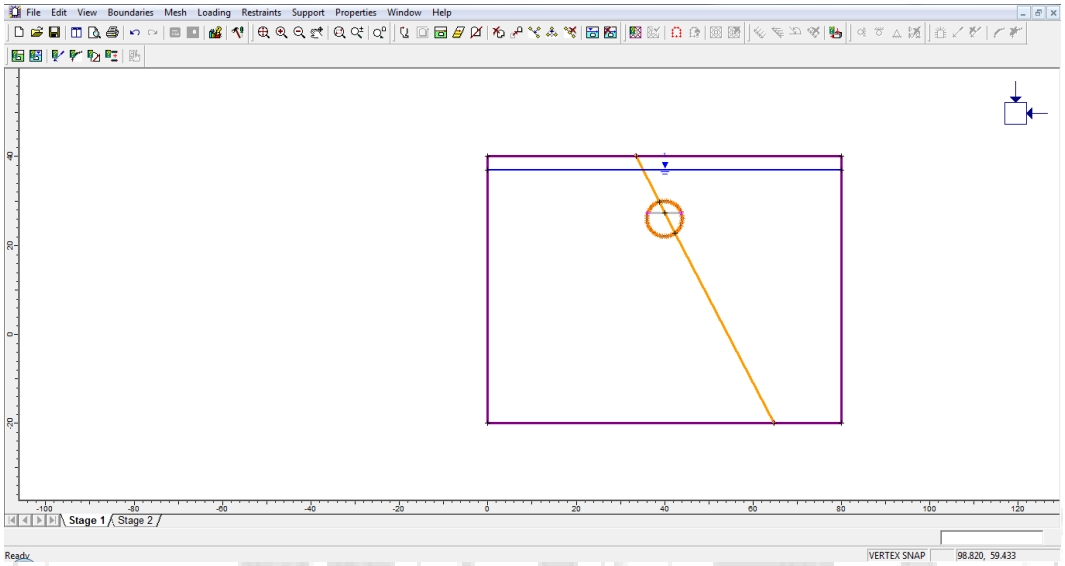
Gambar 4. 6 Tampilan *add joint*

Pilih *Boundaries* → *Add Piezometric Line.* Masukkan koodinat titik (0:36.9)-(80;36.9) untuk muka air tanah. Tampilan *add piezometric line* dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 7 Tampilan a*dd piezometric line*

 Pilih *Boundaries* → *Add Stage*. Masukkan koordinat yang sesuai dengan proses penggalian yang akan dilakukan. Tampilan *Add Stage* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 8 Tampilan *Add Stage*

4.2.2.3 Mesh

Setelah mendefinisikan semua boundaries (batas), langkah selanjutnya adalah membuat mesh elemen hingga. Secara umum prosedur mesh generation dilakukan dalam dua langkah:

– Discretize.

  Anda harus terlebih dahulu discretize batas-batas dengan memilih opsi *discretize*. Proses ini membagi segmen garis batas ke discretizations yang akan membentuk kerangka jaring elemen hingga.

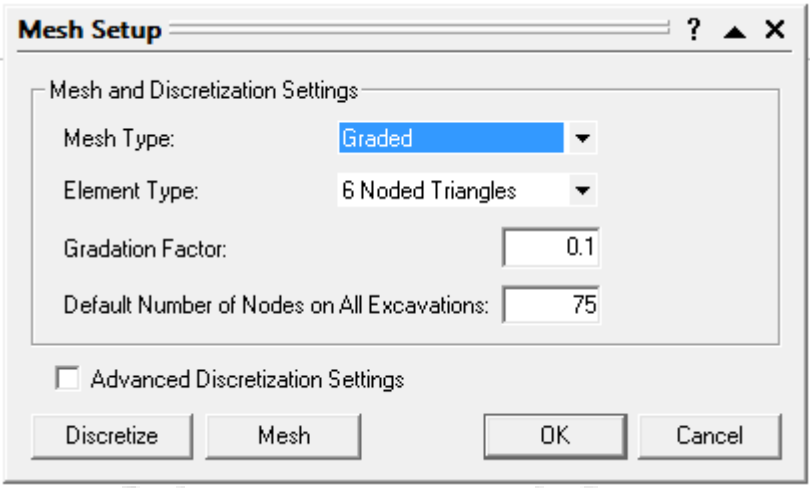
– Mesh.

  Setelah diskretisasi, pilih opsi *Mesh*, untuk menghasilkan mesh elemen hingga, yang akan didasarkan pada diskritisasi, dan jenis mesh serta elemen pada opsi *Mesh Setup*.

Mesh dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

–  Pilih *Mesh* → *Mesh Setup*

  Tampilan *mesh setup* dilihat pada gambar berikut ini.



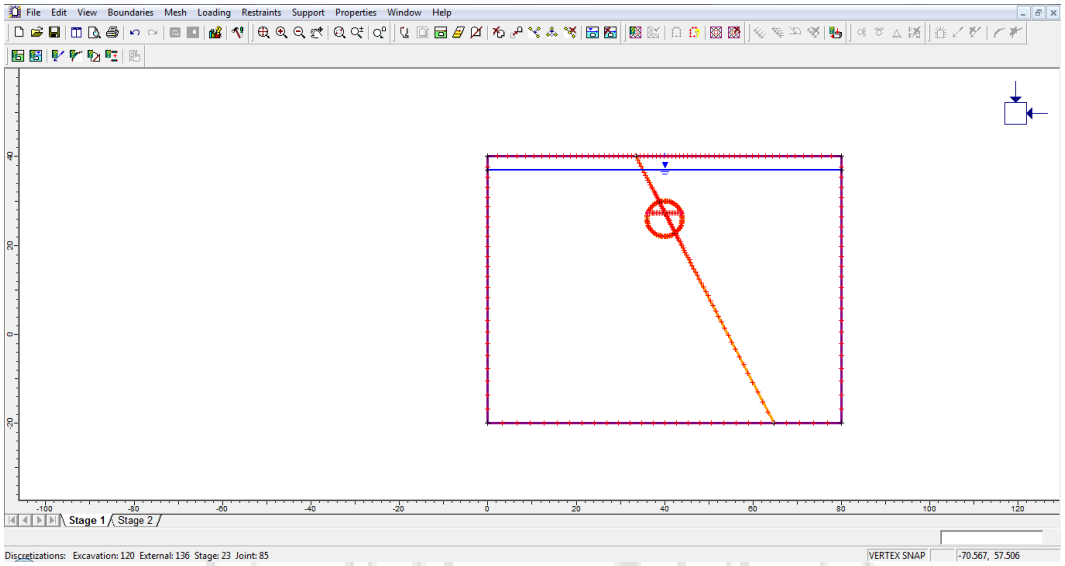
Gambar 4. 9 Tampilan mesh setup

- Mesh Type. Pilih Graded sebab pada kebanyakan kasus yang digunakan adalah tipe mesh Graded.
- Element Type. Pilih 6 Noded Triangles.
- Gradation Factor. Dalam hubungannya dengan *Number of Excavation Nodes*, menentukan diskritisasi dari semua batas-batas dalam model. Terima nilai default yaitu 0.1.
- Default Number of Nodes on All Excavtion. Ini menentukan diskritisasi dari batas GALIAN. Terima nilai default yaitu 75.
- Klik Ok.



Pilih *Mesh* → *Discretize*

Diskritisasi dari boundaries ditandai dengan *plus* (+) merah, akan membentuk kerangka kerja untuk mesh elemen hingga. Anda harus selalu memilih discretize sebelum Anda dapat menghasilkan mesh. Tampilan *discretize* dilihat pada gambar berikut ini.

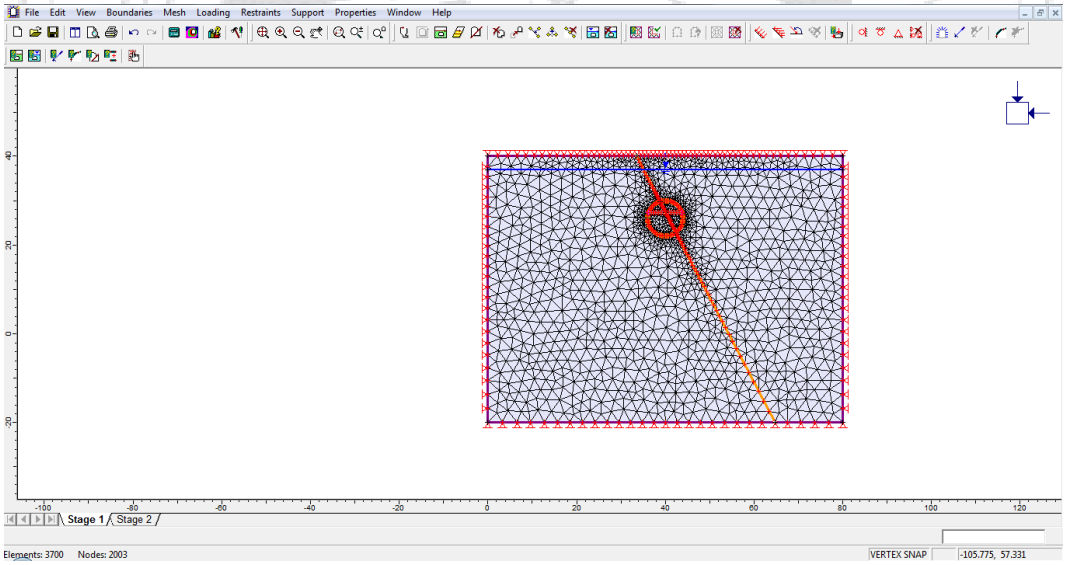


Gambar 4. 10 Tampilan discretize



Pilih *Mesh* → *Mesh*

Mesh akan dihasilkan sesuai dengan Mesh Type dan Element Type pada dialog Setup Mesh. Tampilan *mesh* dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 11 Tampilan *mesh*

4.2.2.4 Boundary Condition

Secara default, ketika mesh dihasilkan, semua node di external boundary diberikan fixed, perpindahan boundary condition adalah nol. Hal ini ditunjukkan dengan segitiga "*Pin*" simbol yang dapat Anda lihat di setiap node dari external boundary.

Pada studi ini kita akan melihat besarnya penurunan tanah di atas terowongan oleh sebab itu *boundary condition* harus ditentukan. *Boundary condition*-nya yaitu *free* untuk permukaan tanah, *fixed x* untuk menahan gaya yang bekerja dalam arah x pada bagian kanan dan kiri *boundary*, serta *fixed xy* untuk menahan gaya yang bekerja dalam arah x dan y pada bagian bawah *boundary*. Berikut adalah cara untuk menentukan boundary condition.

 Pilih *Displacements* → *Free*

Pilih segmen batas untuk *free* [enter = dilakukan, esc = membatalkan]: Gunakan mouse (klik kiri) untuk memilih segmen permukaan tanah. Setelah selesai, klik kanan dan pilih *done selection*, atau tekan *Enter*.

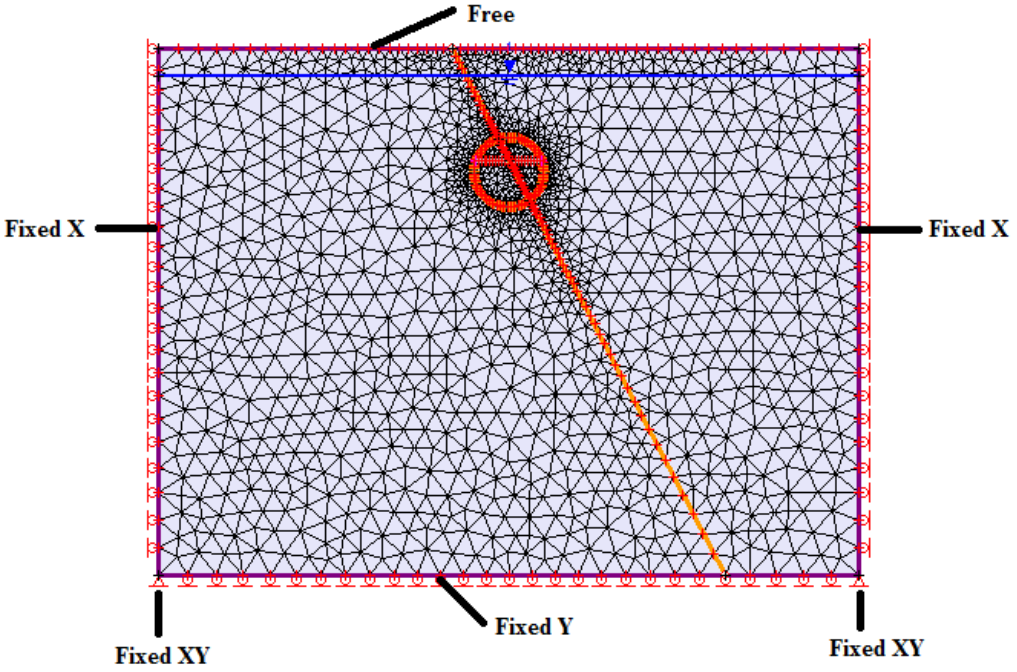
 Pilih: Displacements → Restrain X

Pilih segmen batas untuk menahan gaya arah X [enter = dilakukan, esc = membatalkan]: Gunakan mouse (klik kiri) untuk memilih tepi kiri dan kanan dari batas eksternal. Klik kanan dan pilih *done selection*, atau tekan *Enter*.

 Pilih: Displacements → Restrain X,Y

Pilih segmen batas untuk menahan gaya arah X dan Y [enter = dilakukan, esc = membatalkan]: Gunakan mouse untuk memilih tepi bawah batas eksternal. Klik kanan dan pilih *done selection*, atau tekan *Enter*.

Berikut ini adalah tampilan *boundary condition*.



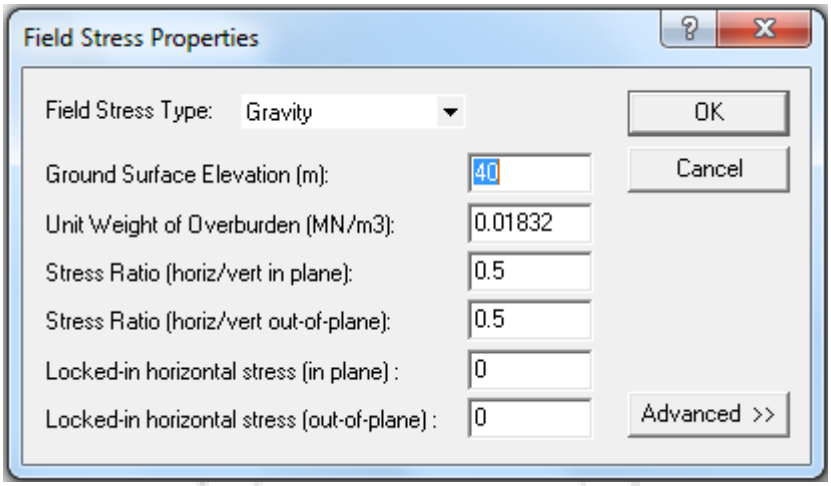
Gambar 4. 12 Tampilan boundary condition

4.2.2.5 Field Stress

Field Stres memungkinkan pengguna untuk mendefinisikan in-situ kondisi stres sebelum penggalian. Dua pilihan yang tersedia untuk mendefinisikan stres lapangan di PHASE2, *Constant* atau *Gravity field stress*. *Constant field stress* digunakan untuk pemodelan penggalian yang dalam. Sedangkan *Gravity field stress* digunakan untuk pemodelan penggalian dipermukaan atau yang dekat permukaan.

 Pilih *Loading* → *Field Stress*

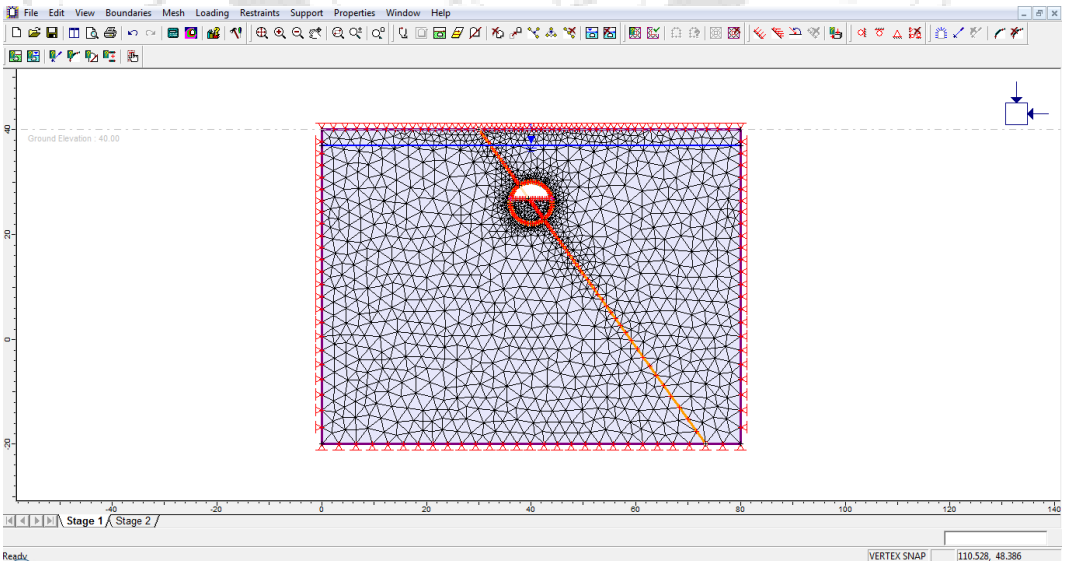
Tampilan *field stress properties* dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 13 Tampilan field stress properties

- Field Stress Type. Pilih *Gravity*.
- *Ground Surface Elevation* ditandai dengan garis putus-putus abu-abu horisontal, dan sesuai dengan y-koordinat dari permukaan atas batas eksternal (40 meter).
- *Unit Weight of Overbuden* adalah nilai rata-rata dari total *unit weight.*
- *Stress Ratio* adalah 0.5 *dan Locked in Horizontal Stress* adalah 0.
- Klik Ok.

Berikut adalah tampilan *Field Stress:*



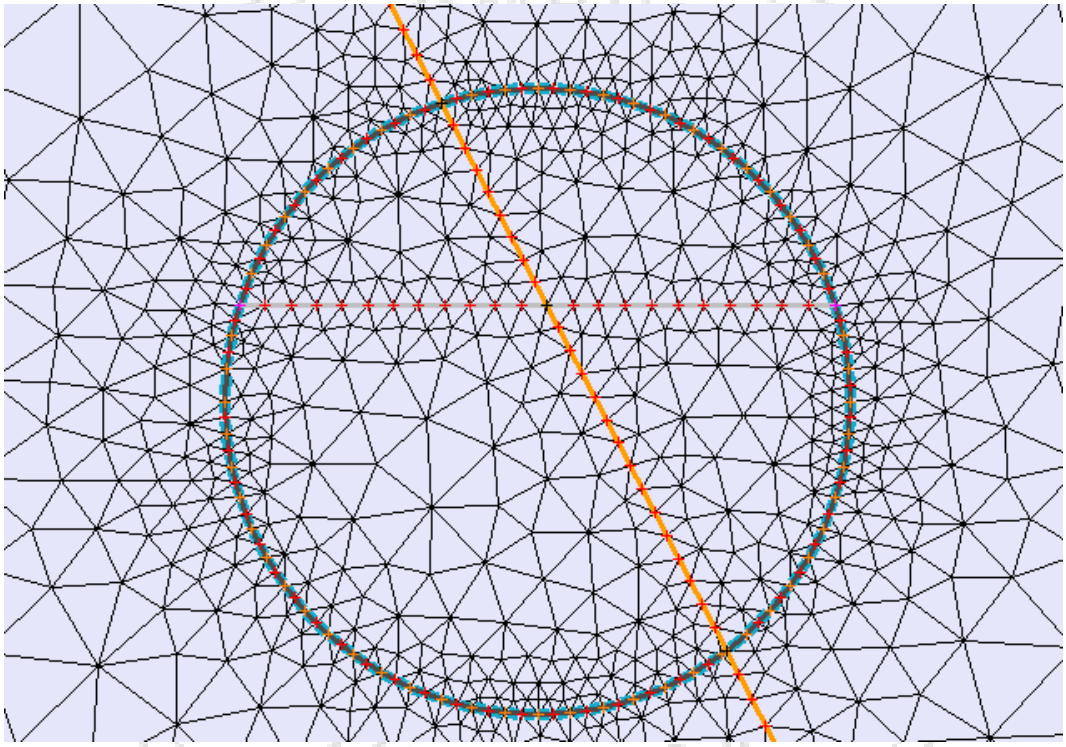
Gambar 4. 14 Tampilan *Field Stress*

4.2.2.6 Support

Bolt ditambahkan pada sebuah model menggunakan pilihan *Add Liner*.

Pilih Support → *Add Liner*.

Pilih segmen garis batas yang ingin Anda liner. Liners ditambahkan ke *excavation*. Ketika Anda selesai memilih, tekan Enter atau klik kanan dan pilih Done Selection. Semua segmen yang dipilih akan menampilkan segmen garis biru tebal di sepanjang *excavation*. Tampilan *add iner* dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 15 Tampilan add iner

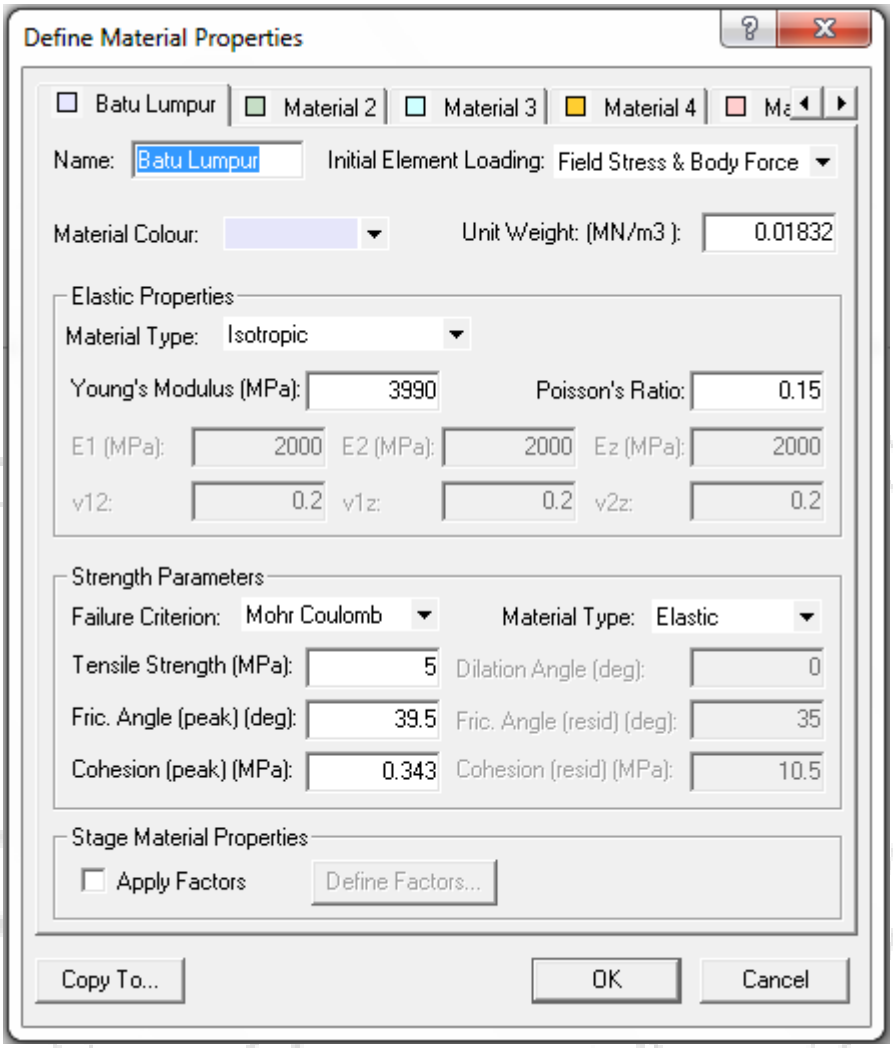
4.2.2.7 Propeties

Properti didefinisikan menggunakan pilhan Define pada toolbar atau menu Properties. Parameter tanah, bolt dan lining akan di di input dalam sub menu *difine material*, *define bolth* dan *define liner*. Langkahnya adalah sebagai berikut:

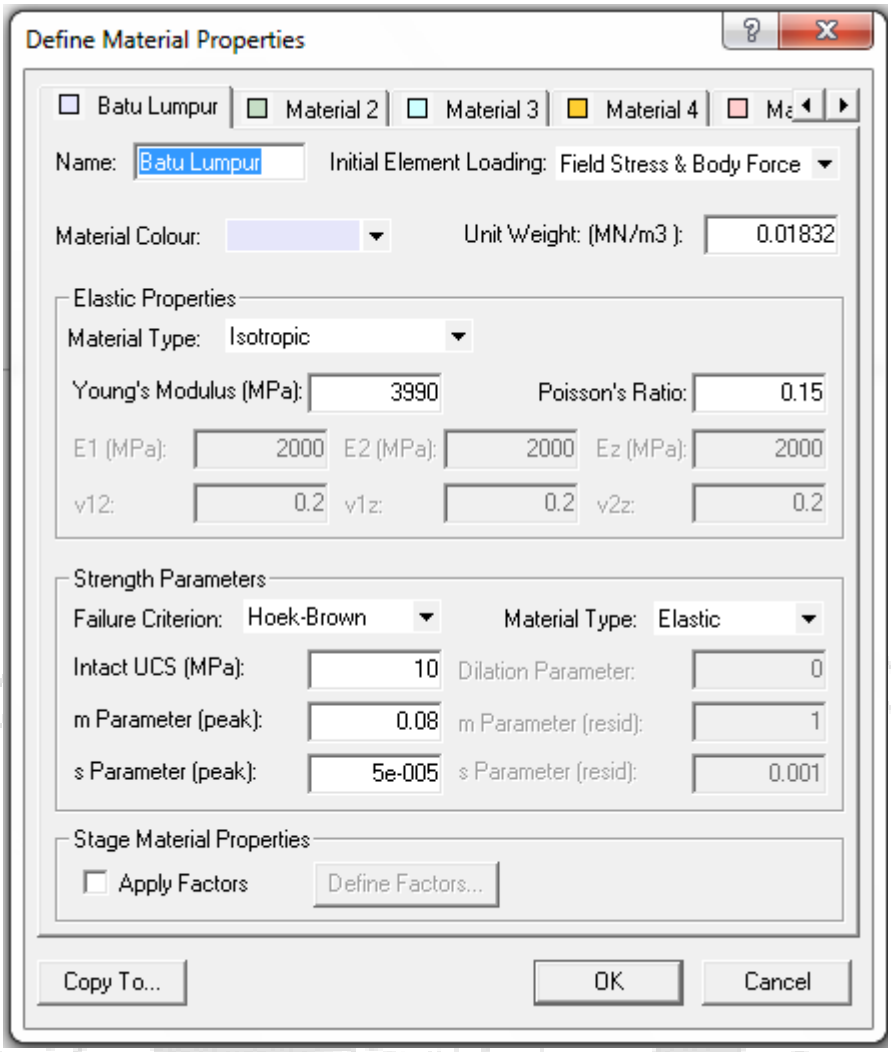
Define Material Properties

Pilih Properties → Define Materials

Setelah itu jendela define material properties akan muncul. Tampilan *Tampilan define material properties* untuk model *Mohr Coulumb* dan *Hoek-Brown* dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 16 Tampilan define material properties batuan untuk model *Mohr Coulumb*



Gambar 4. 17 Tampilan define material properties batuan untuk model *Hoek-Brown*

- Material Name. Nama Materi yang Anda masukkan di Define Material Properties dialog akan muncul di assign dialog ketika menempatkan sifat material.
- Material Colour. Material Warna yang Anda pilih di Define Material Properties dialog akan muncul di assign dialog, di samping Material Name
- Initial Element Loading. Pilih Field Stress Only.
- Elastic Properties. Pilih Isotropic. Isotropic hanya membutuhkan Young's Modulus and Poisson's Ratio.
- Strength Parameters. Pada studi ini kita akan membandingkan failure criteria Mohr-Coulumb dengan Hoek-Brown. Parameter batuan untuk kedua tipe keruntuhan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 2 Parameter batuan untuk kedua tipe keruntuhan

Parameter	Nilai		Satuan
	Batu Lumpur		
Material model	Morh Coulumb	Hoek Brown	
Initial Element Loading	Field Stress Only	Field Stress Only	-
Unit Weight	0.01832	0.01832	MN/m³
Elastic Properties			
Material Type	Isotropic	Isotropic	-
Young's Modulus	3990	3990	Mpa
Poisson's Ratio	0.15	0.15	-
Strength Parameter			
Material Type	Elastic	Elastic	-
Tensile Strenght	5	-	Mpa
Friction Angle	39.5	-	°
Cohesi	0.343	-	Mpa
Intac UCS	-	1.61	Mpa
m Parameter	-	0.00	-
s Parameter	-	0.00001	-

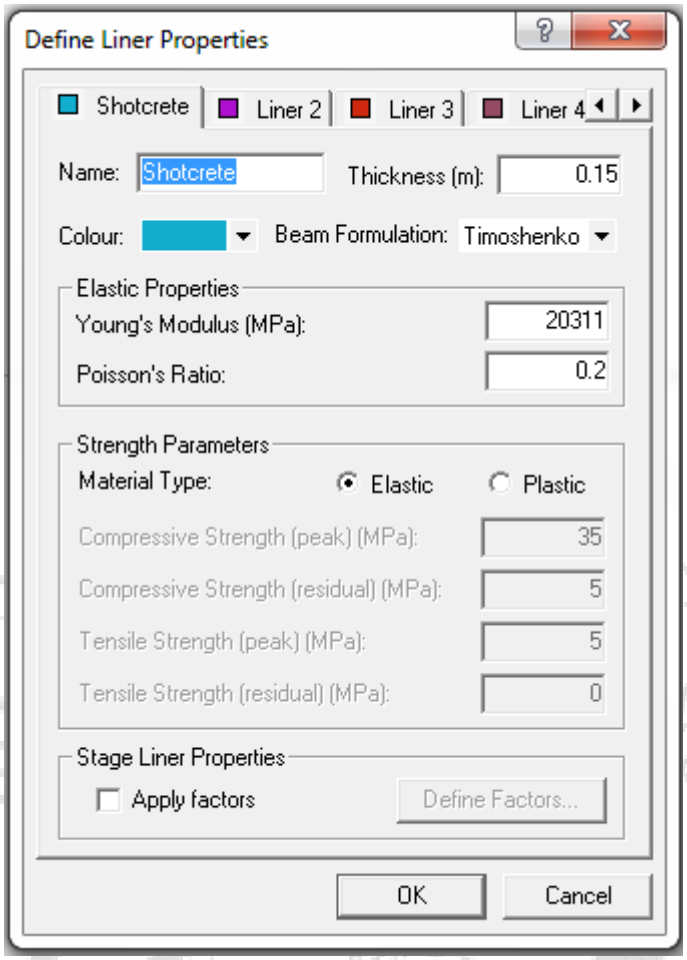
Setelah input material properties maka langkah berikutnya adalah input material liner.

Define Material Liner

Liners biasanya digunakan untuk model shotcrete. Namun, liners juga dapat digunakan untuk model beton atau baja pelapis.

 Pilih Properties → Define Liner

Tampilan define liner properties dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 18 Tampilan define liner properties

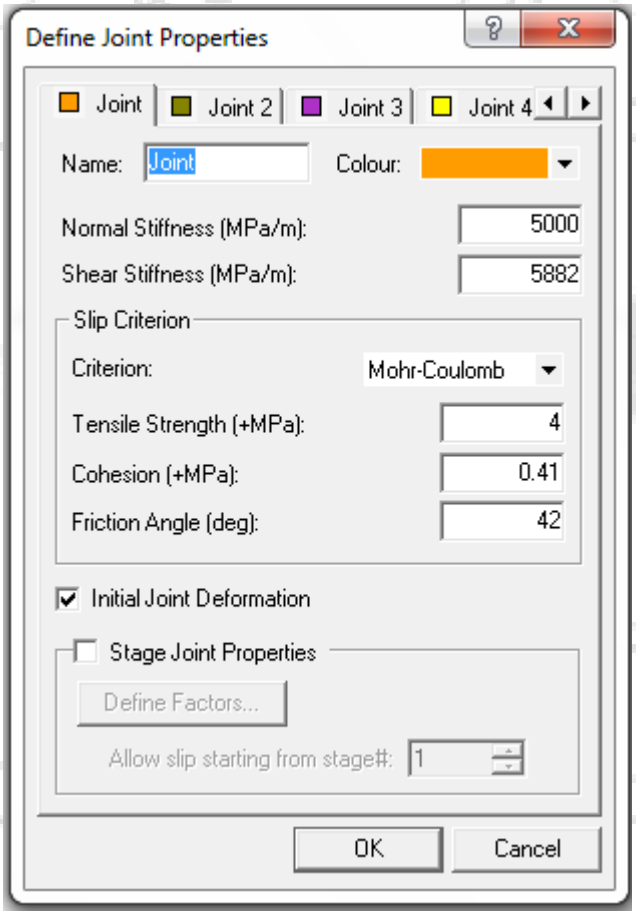
- Name. Nama yang Anda masukkan di Define Material Properties dialog akan muncul di assign dialog ketika menempatkan sifat material.
- Material Colour. Material Warna yang Anda pilih di Define Material Properties dialog akan muncul di assign dialog, di samping Material Name.
- Beam formulation. Pilih Timoshenko. Timoshenko memungkinkan untuk efek deformasi geser transversal.
- Liner Elastic Properties. Liners diasumsikan memiliki sifat elastis isotropik, karena itu hanya satu Young modulus dan rasio Poisson tunggal yang dapat dimasukkan. Parameter liner dapat dilihat pada tabel beikut:

Tabel 4. 3 Parameter liner

Parameter	Nilai	Satuan
Name	Liner	-
Thickness	0.15	m
Beam Formulation	Timoshenko	-
Young's Modulus	20311	MPa
Pisson's Ratio	0.2	-
Material Type	Elastic	-

 Pilih Properties → Define Joint

Tampilan define joint properties dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 19 Tampilan Define Joint Properties

Tabel 4. 4 Parameter Joint

Parameter	Nilai	Satuan
Normal Stiffness	5000	MPa/m
Shear Stiffness	5882	MPa/m
Criterion	Mohr Coulumb	-
Tensile Strength	4	MPa
Cohesion	0.41	MPa
Friction Angle	42	°

Setelah proses define material selesai maka proses selajutnya adalah excavating.

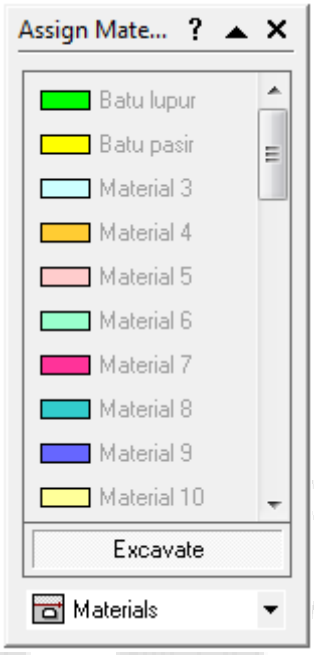
4.2.2.8 Excavating

Assign Properties digunakan untuk memasukkan lapisan batuan, menggali bahan dari dalam batas penggalian, memasukkan rockbolt dan liner, caranya adalah sebagai berikut:

 Pilih *Properties → Assign Propertie→ Assign Material*

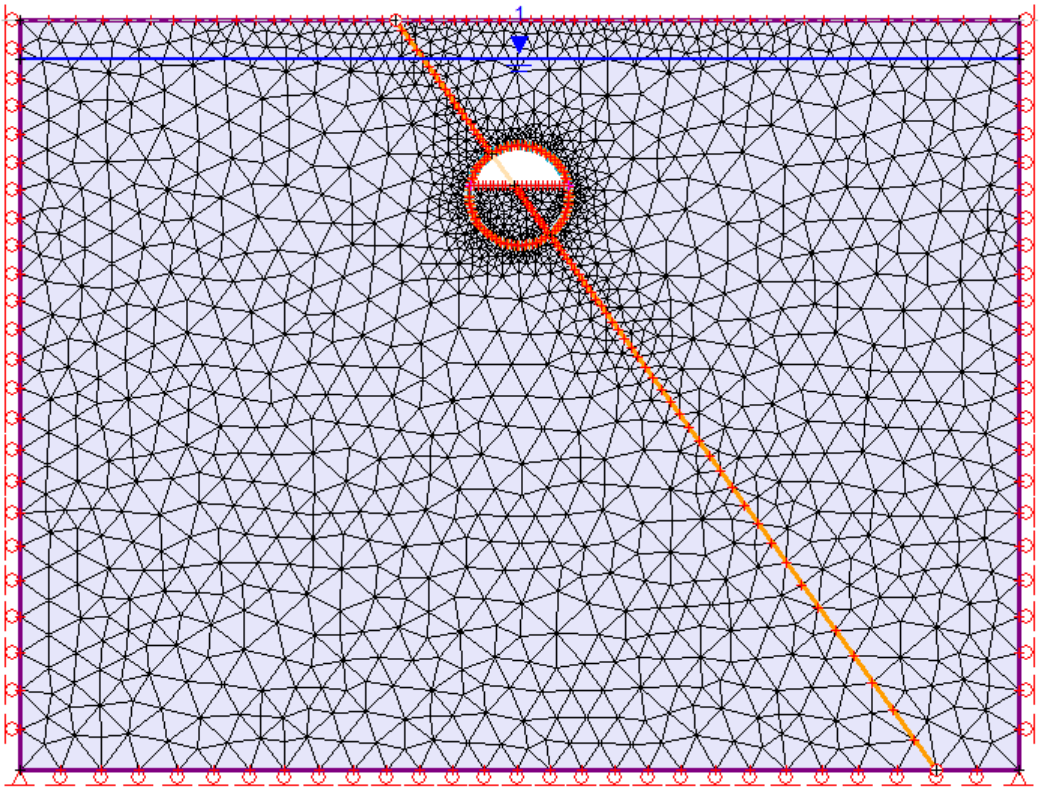
Untuk melakukan pada penggalian ikuti langkah berikut:

- Pilih jenis batuan yang berada pada jendela assign material kemudian klik kiri pada lapisan batuan yang dimaksud. Karena pada studi ini lapisan tanah hanya satu maka secara otomatis program akan mengistall material tanah yang telah diinput sebelumnya.
- Untuk membuat galian pada terowongan maka menggunakan mouse untuk memilih tombol *excavation* yang berada di bagian bawah jendela Assign Properties. Tampilan excavate pada jendela assign material dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

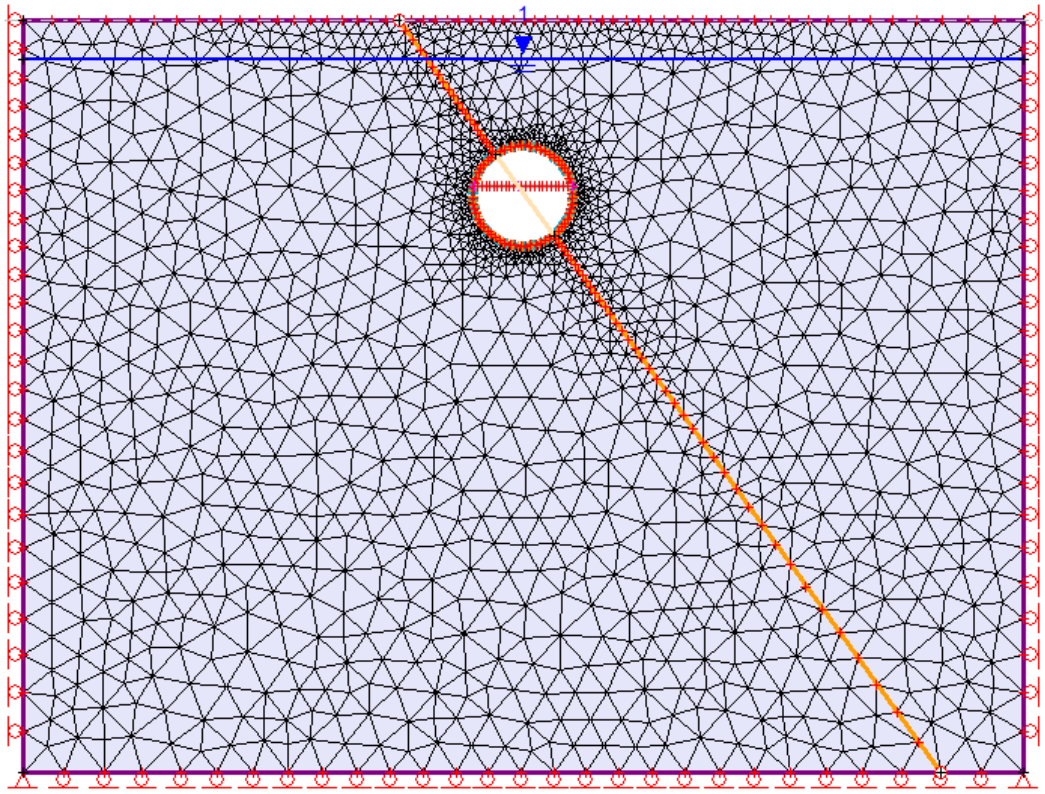


Gambar 4. 20 Tampilan excavate pada jendela assign material

– Setelah itu sebuah ikon cross-hair kecil (+) akan muncul pada akhir kursor. Tempatkan cross-hair pada bagian yang akan digali, dan klik tombol kiri mouse.
– Unsur-unsur dalam batas penggalian akan hilang, menunjukkan bahwa wilayah dalam batas sekarang "digali". Tampilan galian dapat dilihat pada gambar berikut. Pada studi ini metode penggalian yang digunakan adalah top heading bench, sehingga penggalian top heading di lakukan pada stage 1 dan bench pada stage 2. Berikut adalah gambar galian top heading bench:



Gambar 4. 21 Tampilan galian top heading PHASE2

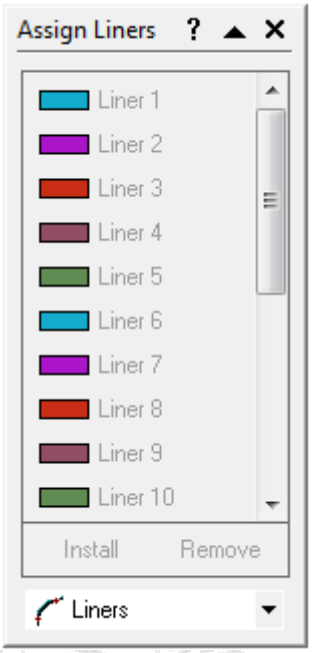


Gambar 4. 22 Tampilan galian bench PHASE2

Setelah assign material langkah selanjutnya adalah assign liner.

 Pilih *Properties* → *Assign Properties*→ *Assign Liners*

Tampilan assign liners dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 23 Tampilan assign liner

Untuk menginstall liner ikuti langkah berikut:

- Kilk liner yang dimaksud pada jendela assign bolth atau klik isntall.
- Kemudian klik kiri untuk memilih liner.
- Tekan enter untuk menginstall liner.

Setelah itu kilik tanda *x* yang berada disebelah kanan atas jendela assign material untuk menutup jendela assign. Langkah selanjutnya adalah compute.

4.2.3 Compute (Perhitungan dalam Phase2)

Simpan file terlebih dahulu sebelum menganalisis model yang telah dibuat.

 Pilih *File* → *Save*

Gunakan dialog Save As untuk menyimpan file. Sekarang siap untuk menjalankan analisis.

 Pilih *Analysis* → *Compute*

Compute Phase2 akan menjalankan analisis. Ketika selesai, maka hasil dapat dilihat dalam *Interpret.*

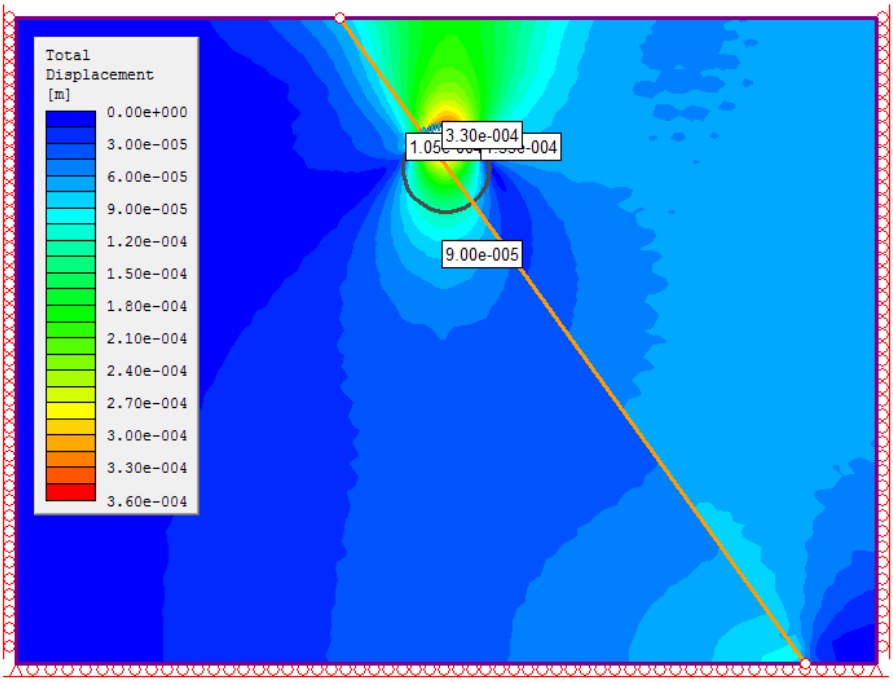
Setelah proses perhitungan maka output akan di tampilkan pada jendela *Interpret.*

4.2.4 Interpret (Output Data)

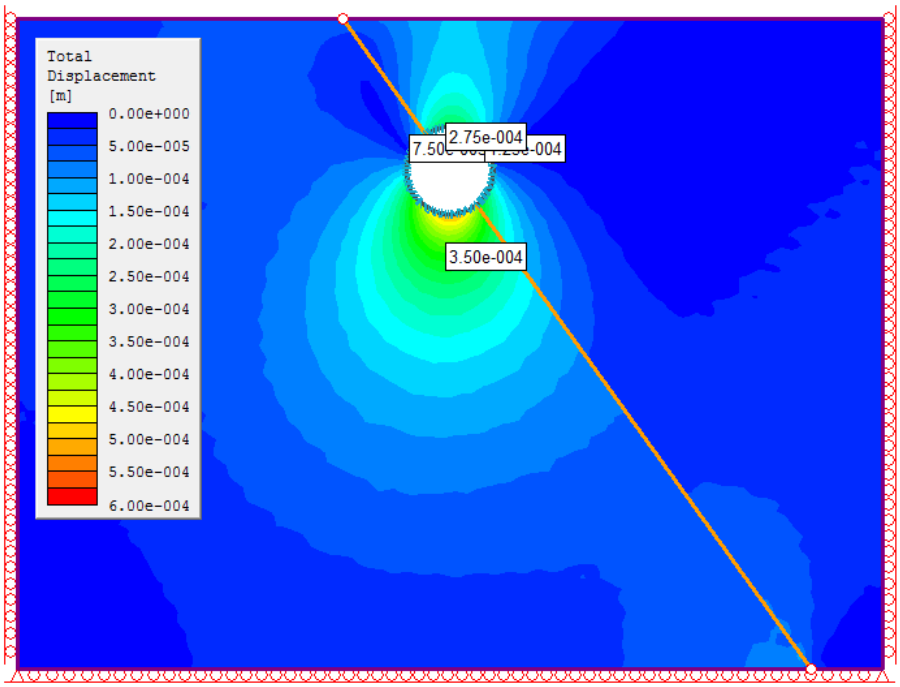
 Pilih *Analysis* → *Interpret*, Untuk melihat hasil analisis. Berikut adalah output phase2:

4.2.4.1 Total Displacement

Total displacement yang terjadi di sekitar terowongan dan tanah di atas terowongan dapat dilihat pada *total displacemen* pada *jendela interpret*. Tampilan *Total Displacement* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 24 Tampilan Total Displacement Top Heading PHASE2



Gambar 4. 25 Tampilan Total Displacement Bench PHASE2

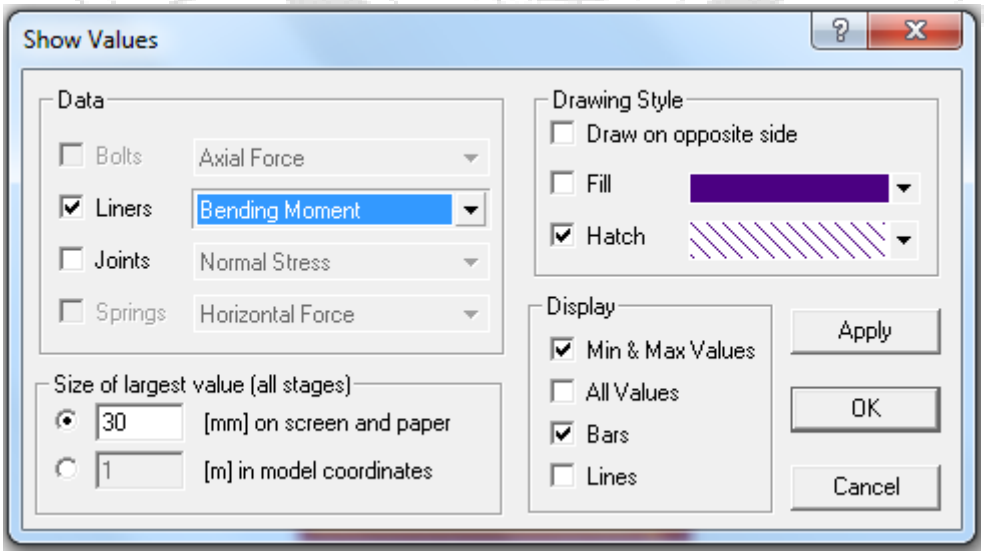
4.2.4.5 Lining/Shotcrete

Besarnya *Bending moment* dan *Shear force* dapat dilihat pada pada jendela *interpret*. Caranya adalah sebagai berikut:



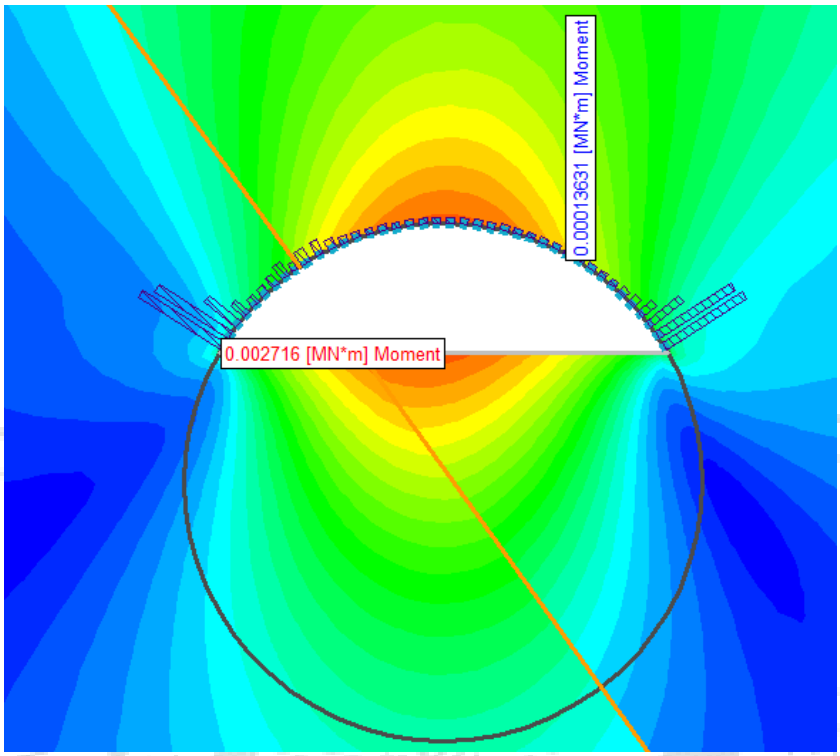
Pilih *Analysis* → *Show values*

Setelah itu akan muncul jendela show values seperti gambar di bawah ini:

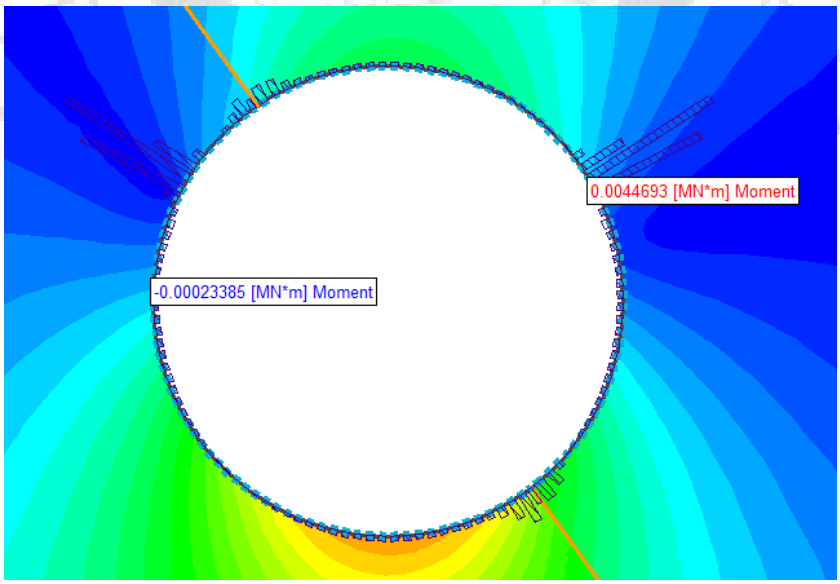


Gambar 4. 26 Tampilan *show values liner*

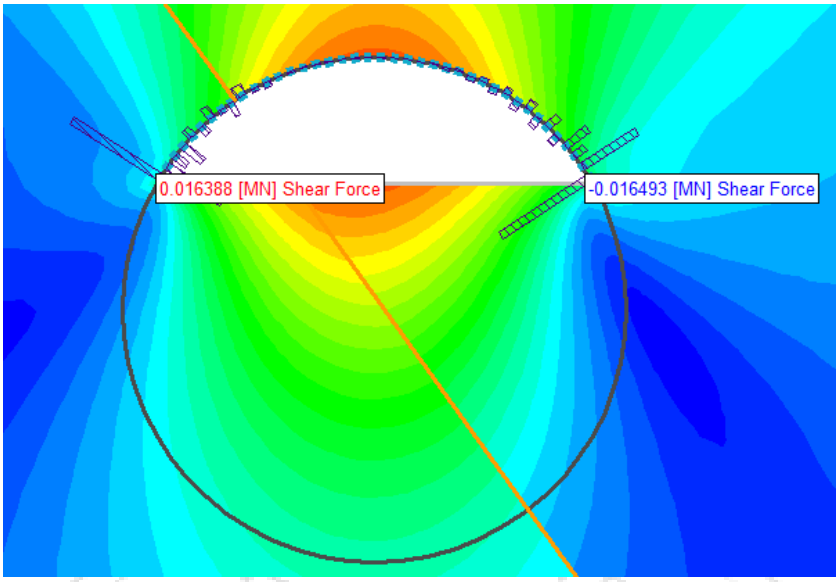
Check list *liner* dan pilih *bending moment*. Hal sama dapat dilakukan jika anda ingin melihat besarnya nilai *sheer force* pada *liner*. Berikut adalah tampilan dari *output bending moment* dan *sheer force* pada *liner*.



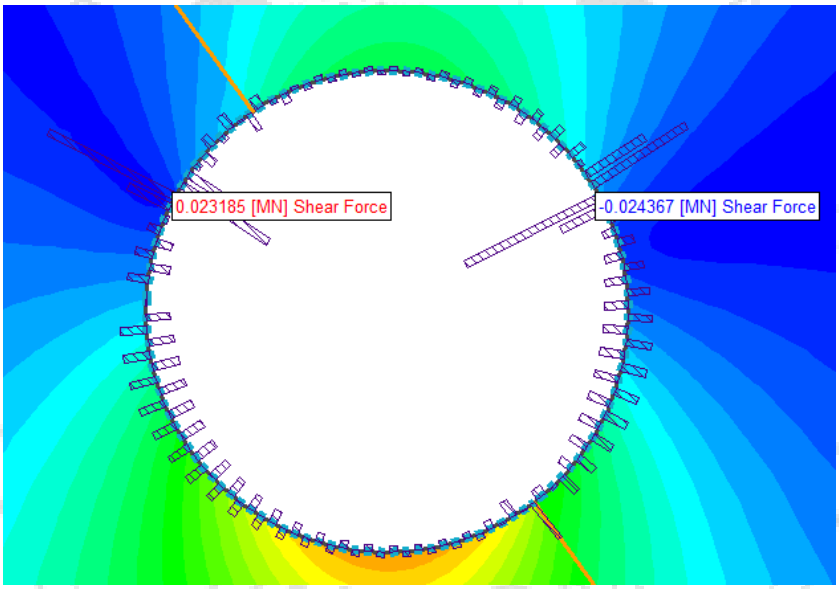
Gambar 4. 27 Tampilan *output bending moment liner top heading* PHASE2



Gambar 4. 28 Tampilan *output bending moment liner bench* PHASE2



Gambar 4. 29 Tampilan *output sheer force liner top heading* PHASE2



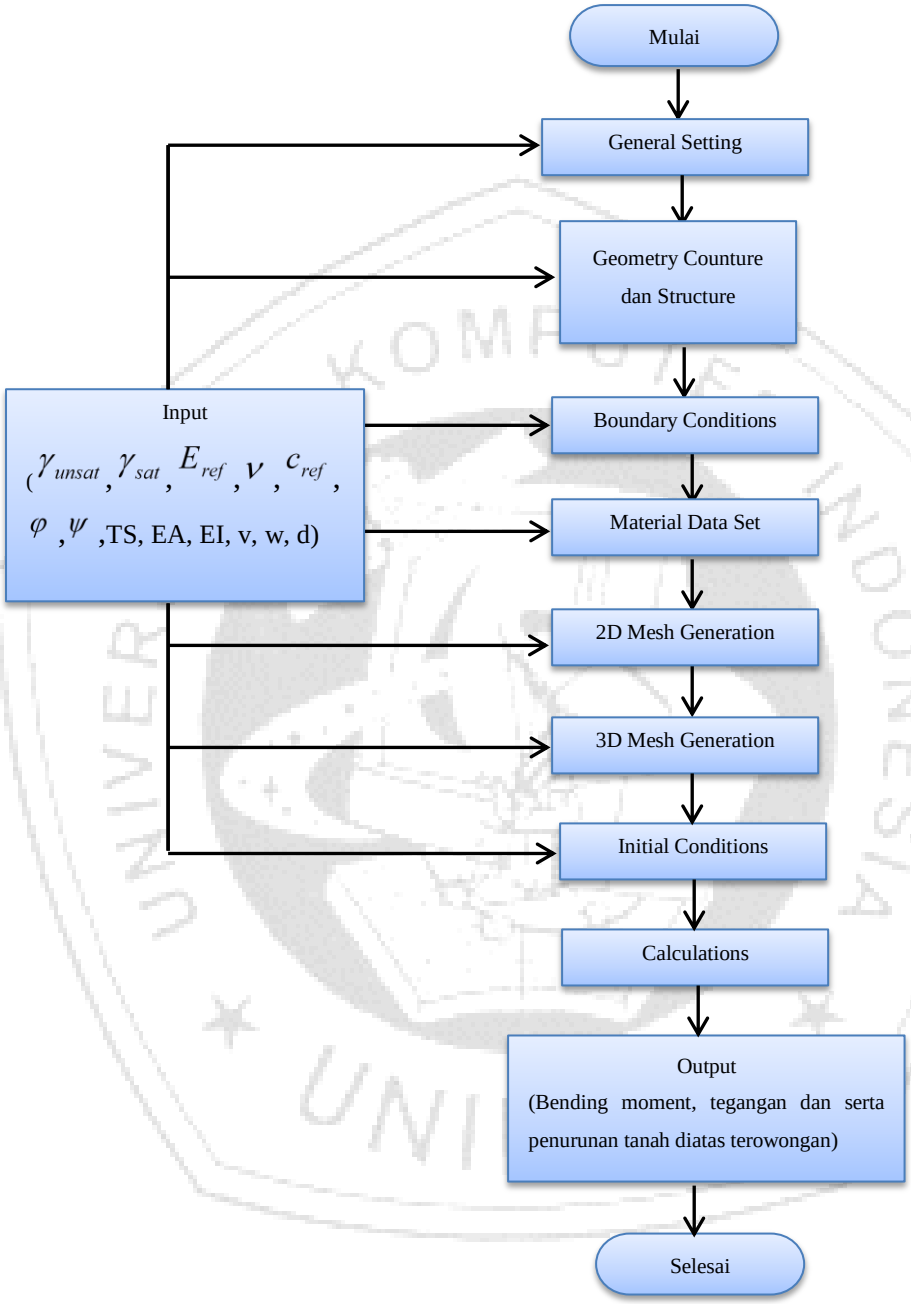
Gambar 4. 30 Tampilan *output sheer force liner bench* PHASE2

4.3 Program Komputer Plaxis 3D Tunnel

4.3.1 Pendahuluan

Program komputer Plaxis adalah program elemen hingga yang dikembangkan secara khusus untuk menganalisis masalah seputar deformasi, stabilitas tanah dan batuan. Program ini dikembangkan di Belanda tahun 1987 oleh Dr. R.B.J Brinkgreve (Plaxis B. V., Netherlands) dan Prof. Pieter A. Vermeer (University of

Stutgart, Germany). Ketika itu pemerintah Belanda memerlukan suatu pogram eleman hingga untuk menganalisis penggalian laut dan penimbunan sungai dipantai Belanda. Dalam mengaplikasikannya Plaxis sangatlah maju sehingga pada saat ini banyak digunakan untuk menganalisis masalah-masalah geoteknik yang ada, karena seringkali masalah geoteknik yang timbul sangatlah bervariasi. Pada awal tahun 2000 metode elemen hingga menjadi benar-benar diterima dalam rekayasa geoteknik dan pada saat itu Plaxis memperkenalkan Plaxis 3D Tunnel. Plaxis 3D Tunnel adalah program elemen hingga yang khusus digunakan untuk menganalisis masalah seputar defomasi, stabilitas tanah dan batuan pada terowongan dalam bentuk 3 dimensi. Program Plaxis 3D Tunnel ini dapat menyajikan hasil output berupa tabel dan grafik dari potongan melintang berdasarkan hasil analisis input. Dengan adanya pemodelan pertemuan elemen akan memberikan nilai tegangan yang lebih akurat. Berikut adalah diagram alir analisis desain terowongan menggunakan Plaxis 3D .



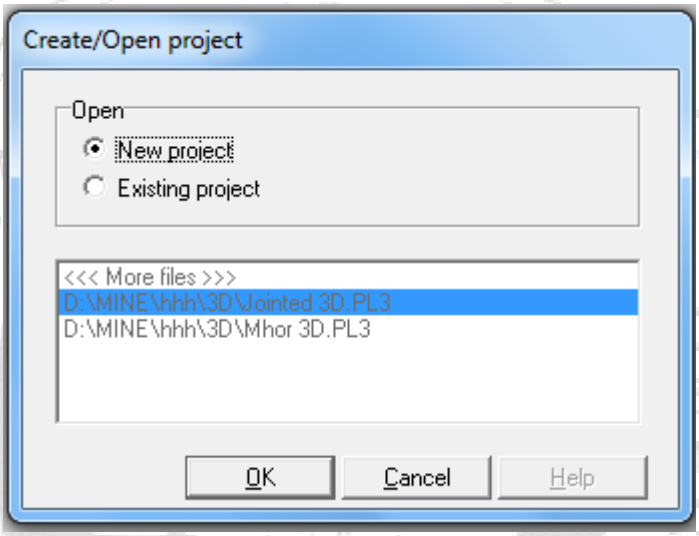
Gambar 4. 31 Diagram Alir Plaxis 3D

4.3.2 Input Data

Input data pada Plaxis 3D Tunnel di mulai dengan membuat suatu lembar kerja, Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

– Mulai PLAXIS 3D Tunnel dengan mengklik dua kali ikon dari program *Plaxis 3D Input*.

– Sebuah kotak dialog *Creat/Open project* akan muncul di mana kita dapat memilih project yang ada atau membuat yang baru. Tampilan *create/open* project dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 32 Tampilan Creat/Open Object

– Pilih *new project* baru dan klik pada tombol OK.

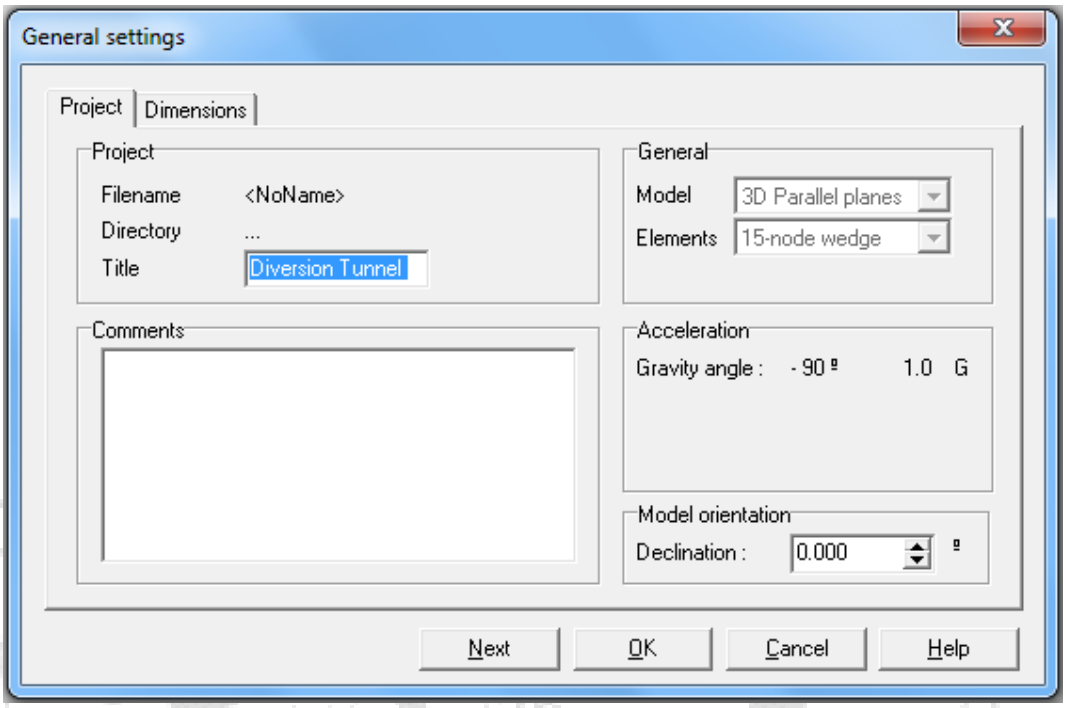
Setelah itu jendela *General Setting* akan muncul, yang terdiri dari dua lembar tab *Projec*t dan *Dimension*.

4.3.2.1 General Setting

Langkah pertama dalam setiap analisis adalah untuk mengatur parameter dasar dari model elemen hingga. Hal ini dilakukan dalam jendela *General Setting*. Pengaturan ini mencakup deskripsi masalah, orientasi model, unit dasar dan ukuran draw area. Untuk memasukkan pengaturan yang sesuai untuk perhitungan pijakan ikuti langkah berikut:

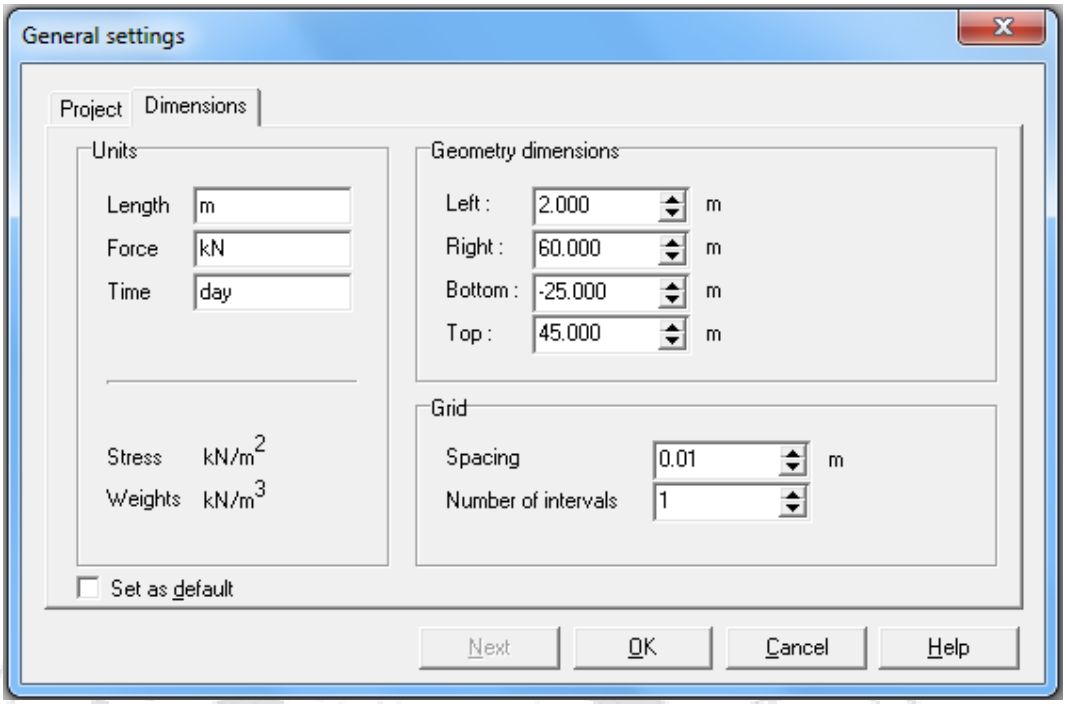
– Dalam lembar tab Project, masukkan "judul" di kotak *Tittl*e dan ketik “Diversion Tunnel”di kotak Komentar.

Dalam kotak *General* jenis analisis (*Model*) dan jenis elemen dasar (*Elements*) telah ditetapkan yaitu *3D parallel planes* dan *15-noded*. Tampilan general setting dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 33 Tampilan tab parameter general setting

- Kotak Acceleration menunjukkan sudut gravitasi tetap -90, yang berada dalam arah vertikal (ke bawah).
- Kotak Model orientation menunjukkan declination default 0.
- Klik pada tombol *Next* bawah lembaran tab atau klik pada tab *Dimensions*.
- Dalam lembar tab Dimensions, menggunakan unit default di kotak *Units* (Satuan Panjang = m; Satuan Force = kN; Satuan Waktu = hari).
- Dalam kotak *Geometry dimensions* ukuran draw area yang perlukan harus dimasukkan.
- Kotak Grid berisi nilai-nilai untuk mengatur jarak grid. Grid menyediakan matriks titik pada layar yang dapat digunakan sebagai titik acuan.
- Jarak antara titik-titik ditentukan oleh nilai Spasi.



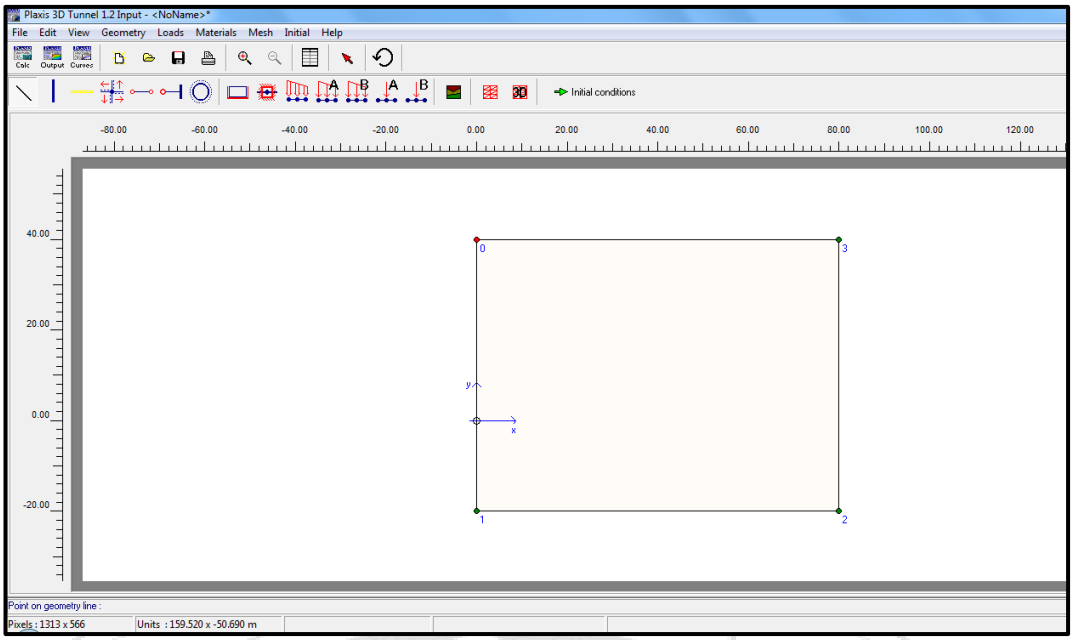
Gambar 4. 34 Tampilan tab dimension general setting

4.3.2.2 Geometry Contour and Structures

Setelah *General Setting* telah selesai, area draw muncul dengan sumbu-x menunjuk ke kanan dan sumbu y menunjuk ke atas. Z-arah tegak lurus ke daerah draw, menunjuk ke arah pengguna. Sebuah model penampang 2D dapat dibuat di mana saja dalam wilayah draw. Perpanjangan ke-arah z diasumsikan kemudian. Untuk membuat objek, seseorang bisa menggunakan tombol dari toolbar atau pilihan dari menu Geometry. Untuk proyek baru, tombol garis Geometry sudah aktif. Jika opsi ini dapat dipilih dari tombol blok pertama dengan objek geometri pada toolbar atau dari menu Geometry. Dalam rangka untuk membangun kontur geometri yang diusulkan, ikuti langkah berikut:

Geometry contour:

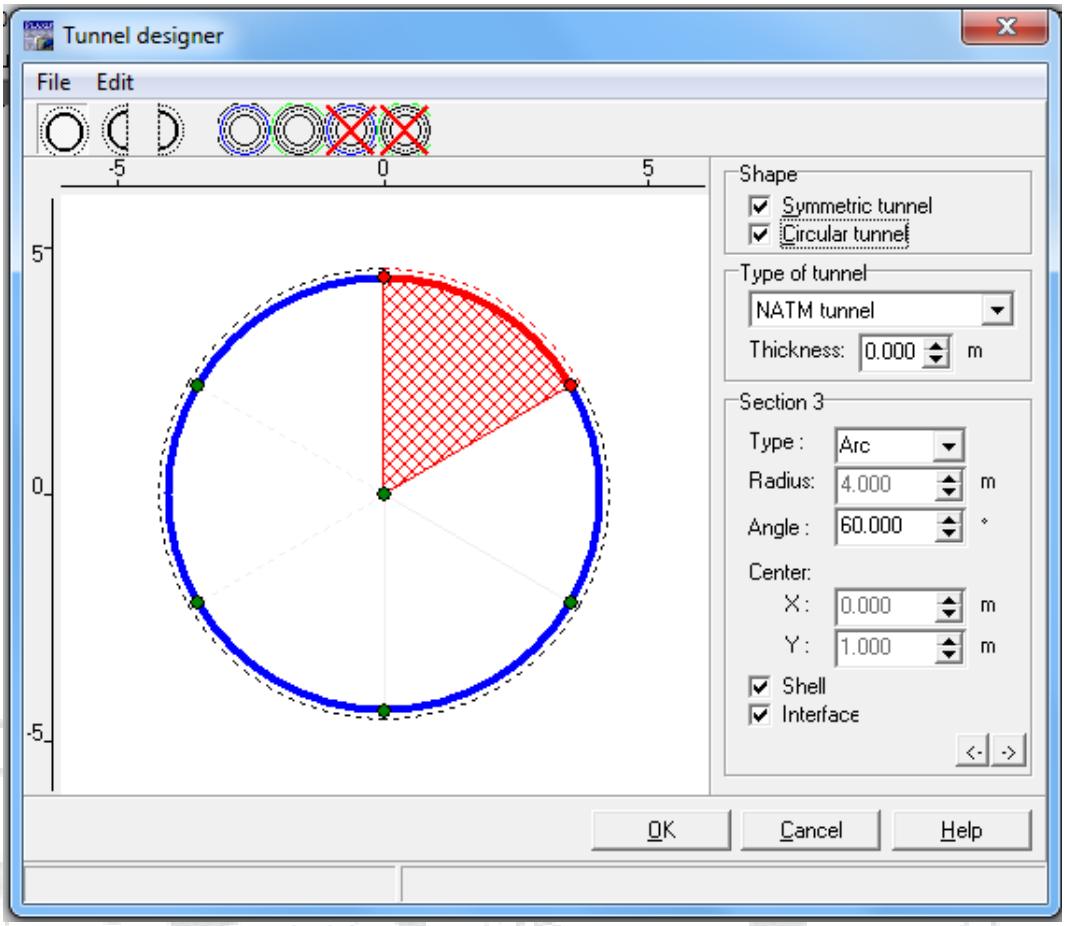
 Pilih *Geometry line.* Posisikan kursor (sekarang muncul sebagai pena) atau masukan koordinat titik berikut untuk membuat *geometry line* (0;-20), (80;-20), (80;40) dan (0;40). Klik kanan untuk berhenti menggambar. Tampilan geometry contour dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 35 Tampilan geometry contour

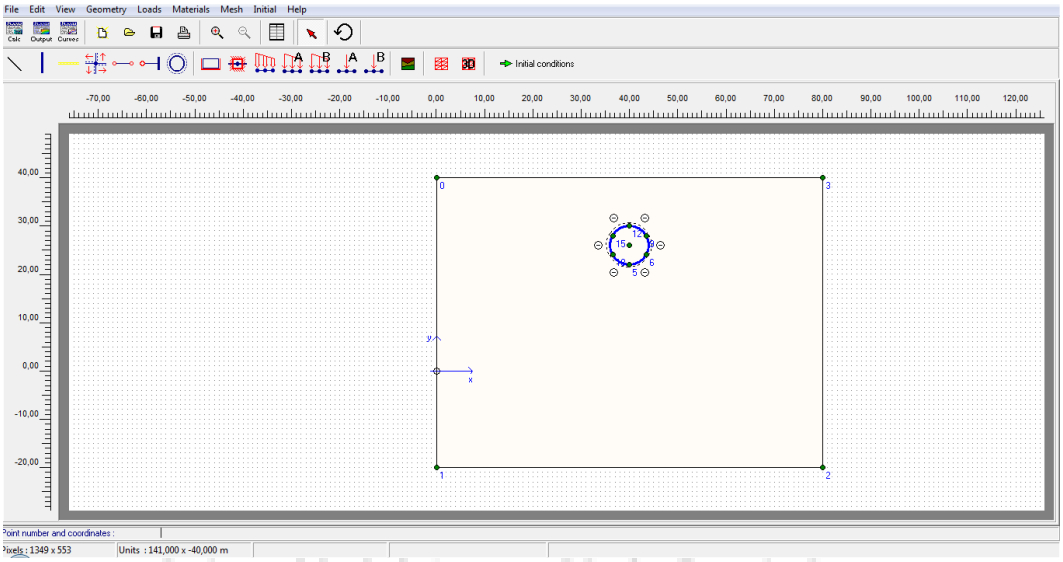
Geometry structure:

- Pilih *Tunnel designer* dan jendela *Tunnel designer* akan muncul.
- Pilih *Whole Tunnel tunnel*.
- Cek list *Symmetric tunnel* dan *Circular tunnel* shape pada jendela *Tunnel designer*.
- Pilih NATM Tunnel untuk *Type of tunnel*.
- Masukkan nilai radius 4 m di section 1 dan angle : 60°. Lanjutkan ke section 2. Radius secara otomatis diperbaharui sesuai nilai radius pada section 1. Angle harus tetap pada 60°. Pastikan section 3 sesuai dengan section sebelumnya.
- Pastikan *shell* dan *interface* telah di check list. Tampilan tunnel designer dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 36 Tampilan tunnel designer

- Klik Ok untuk menutup jendela *Tunnel designer*.
- Pindahkan kursor, yang muncul sebagai terowongan ke koordinat (40;26) dan klik sekali atau enter untuk memasukkan terowongan dalam model penampang melintang. Tampilan geometry structure dapat dilihat pada gambar berikut ini.



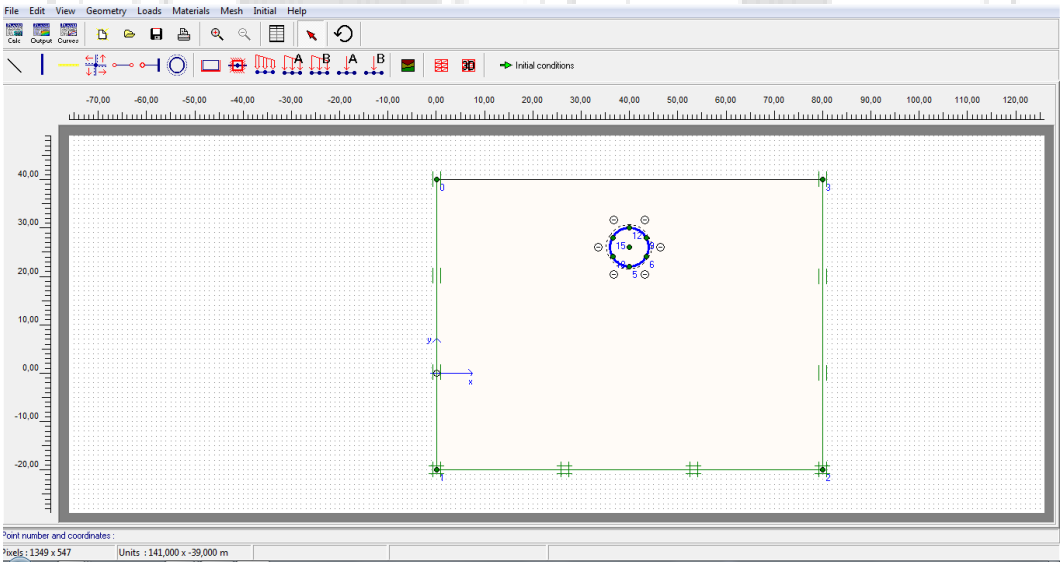
Gambar 4. 37 Tampilan geometry stucture

4.3.2.3 Boundary Conditions

Boundary conditions dilakukan sebagai berikut:



Klik ikon *standart fixities*, setelah *standart fixities* di klik maka akan muncul dua garis pararel untuk rol dan empat garis silang untuk jepit. Tampilan *standart fixities* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



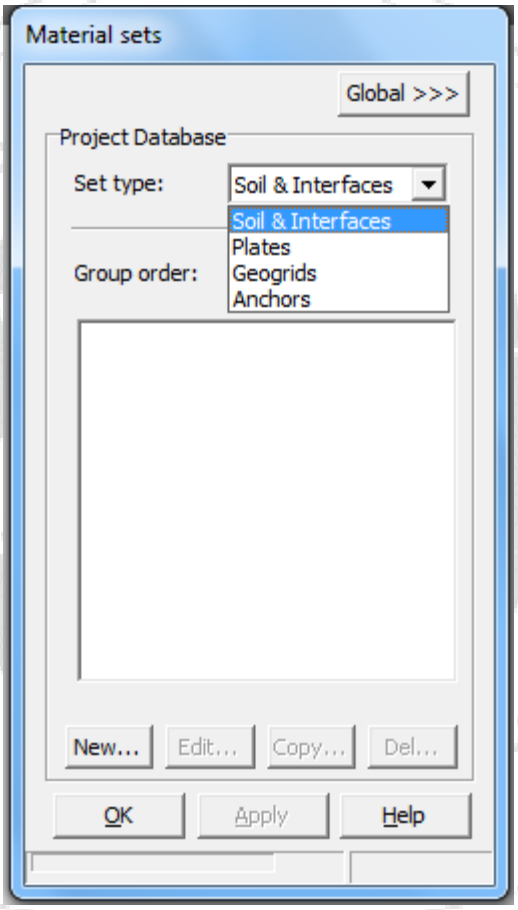
Gambar 4. 38 Tampilan *standart fixities*

4.3.2.4 Material Data Sets

Setelah masukan *boundary conditions* maka material data set dari kelompok tanah/batuan dan objek geometri lainnya dimasukkan dalam data set. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

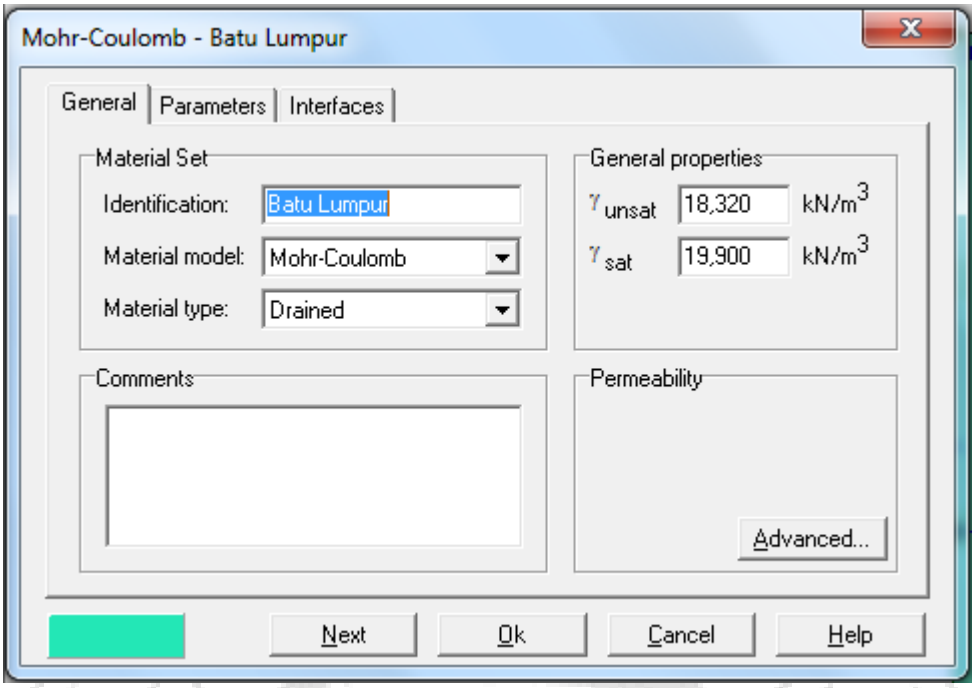
–  Klik pada *Material Sets* pada toolbar.

– Pilih *Soil & interfaces* sebagai tipe Set-nya. Tampilan *soil & interfaces* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

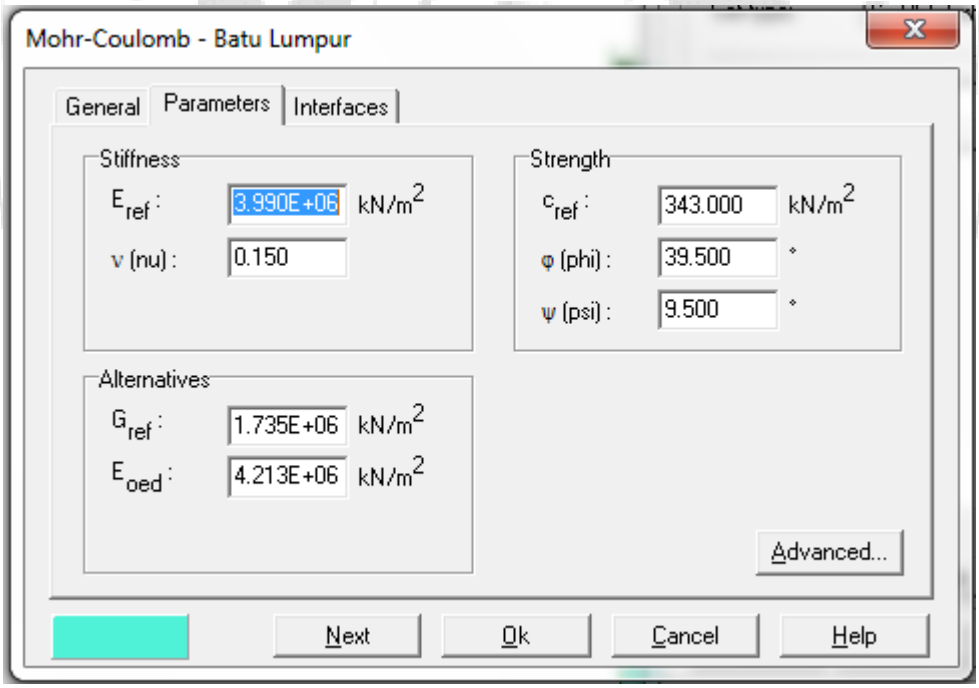


Gambar 4. 39 Tampilan soil & interfaces

– Klik pada *New* untuk membuat satu data set baru. Tampilan input parameter batuan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



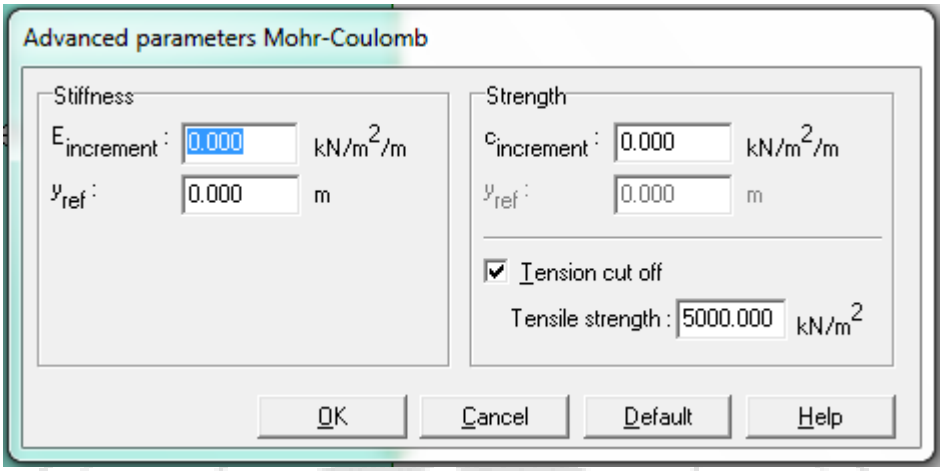
Gambar 4. 40 Tampilan input parameter bataun tabs general



Gambar 4. 41 Tampilan input parameter bataun tabs parameter

– Masukan data tanah yang diperlukan pada *tiga tabs* yang ada. Pertama pada tab *General*, kemudian klik *Next* untuk melanjutkan ke tab *Parameters.*

Untuk memasukkan nilai *Tensile strength (tension cut-off)* maka klik *advanced* pada tab *parameters*. Setelah itu jendela *advanced parameters Mohr Coulumb* akan muncul seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4. 42 Tampilan *advanced parameters Mohr Coulumb*

Masukkan nilai *Tensile strength (tension cut-off)* dan *Klik Ok* untuk menutup jendela ini.

Selanjutnya adalah tab *Interfaces*. Setelah selesai memasukan semua data tanah atau batuan klik *Ok*. Material tanah/batuan dapat lihat pada tabel berikut ini:

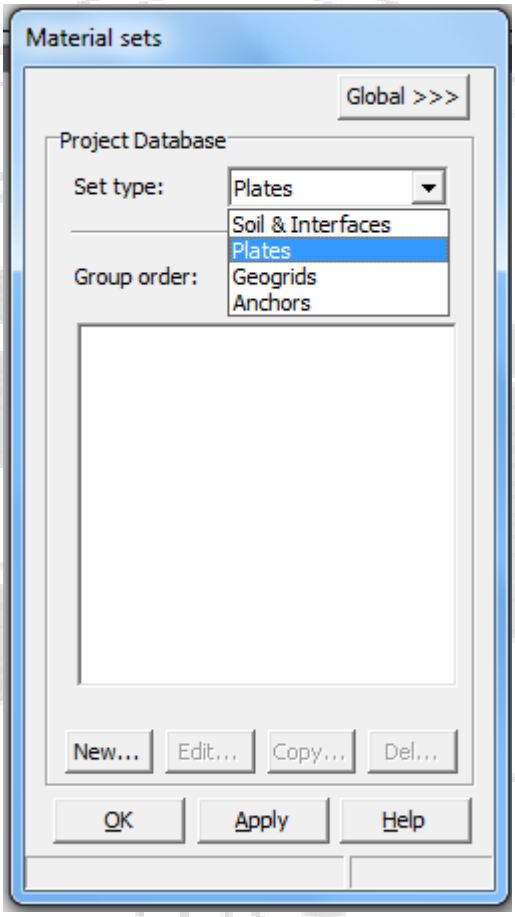
Tabel 4. 5 Parameter batuan Plaxis 3D Tunnel

Parameter	Nama	Batu Lumpur	Satuan
Material model	Model	Morh-Coulumb	-
Type of material behaviour	Type	Drained	-
Soil weight above phr. level	γ_{unsat}	18.32	kN/m³
Soil weight below phr. level	γ_{sat}	19.9	kN/m³
Young's modulus (constant)	E_{ref}	3990000	kN/m²
Poisson's ratio	ν	0.15	-
Cohesion (constant)	c_{ref}	342	kN/m²
Friction angle	φ	39.5	°
Dilatancy angle	ψ	9.5	°
Tensile strength (tension cut-off)	TS	5000	kN/m²

Jika terdapat lebih dari 1 lapisan tanah atau batuan maka perlu untuk memasukan material data set lagi. Material data data set dapat dilakukan seperti langkah di atas.

Selain Material data set untuk *soil dan interface*, data set dari tipe *plates* harus dibuat. Caranya adalah sebagai berikut:

– Pilih *Plates* pada windows Material sets. Tampilan *plates* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 43 Tampilan Plates

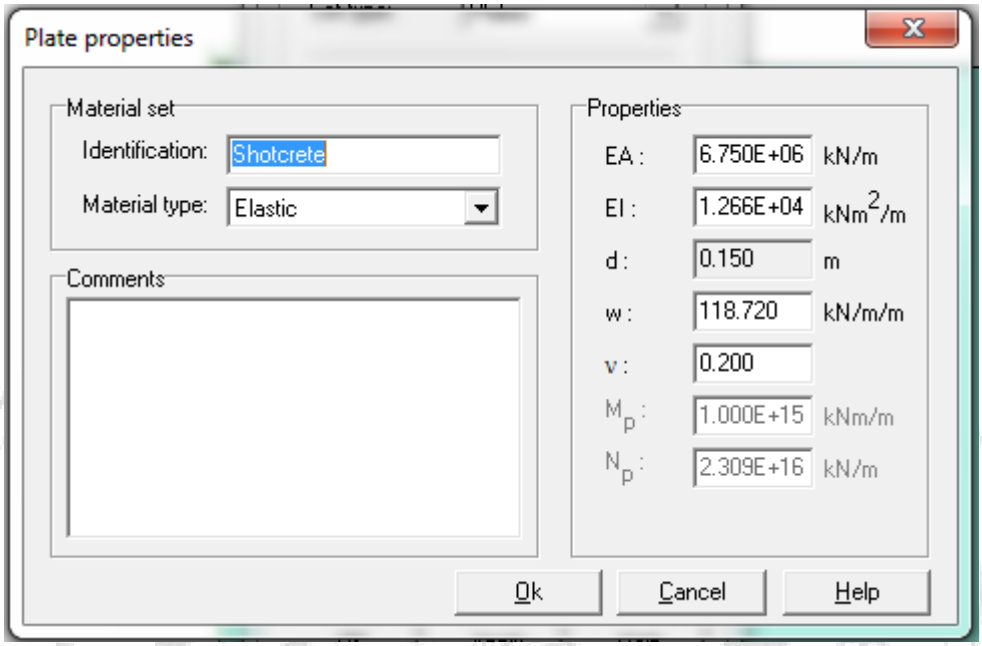
– Klik *New*. Masukan data lining terowongan yang diperlukan. Data lining dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 6 Parameter lining (plates) Plaxis 3D Tunnel

Parameter	Nama	Batu Pasir	Satuan
Type of behaviour	*Material type*	Elastic	-
Normal stiffness	EA	6750000	kN/m

Flexural rigidity	EI	12660	kNm³/m
Equivalent thickness	d	0.15	m
Weight	w	118.72	kN/m/m
Poisson's ratio	ν	0.2	-

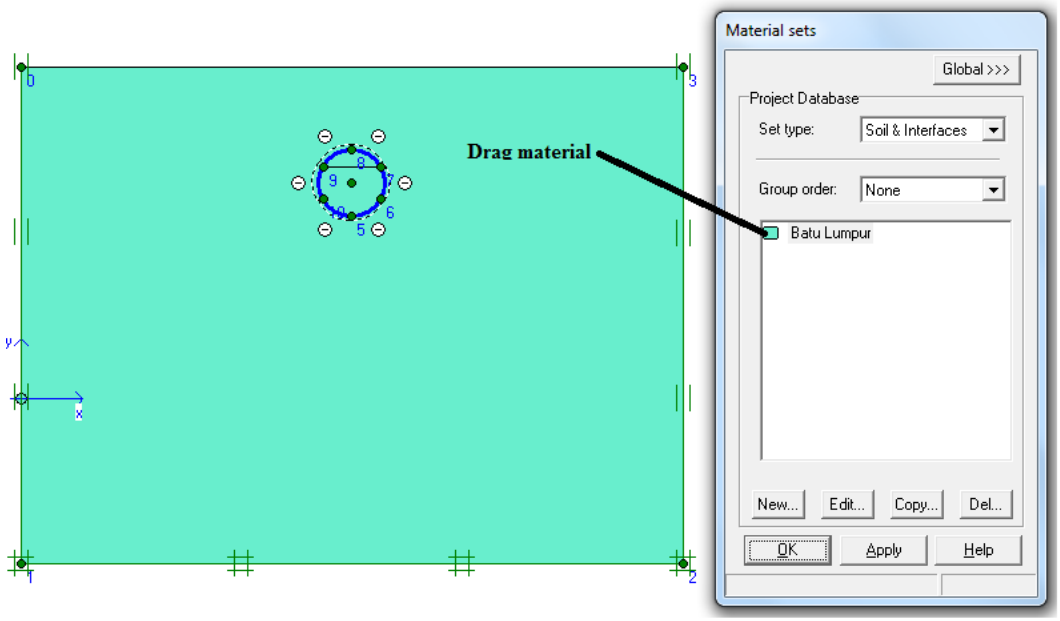
Tampilan plates properties dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 44 Tampilan plates properties

– Klik *Ok*, jika semua data selesai di masukkan.

Untuk memasukkan material pada lapisan tanah dan lining dapat dilakukan dengan drag dari material set kemudian lepaskan sampai pada area gambar yang dimaksud. Tampilan drag material dapat dilihat pada gambar di bawah ini



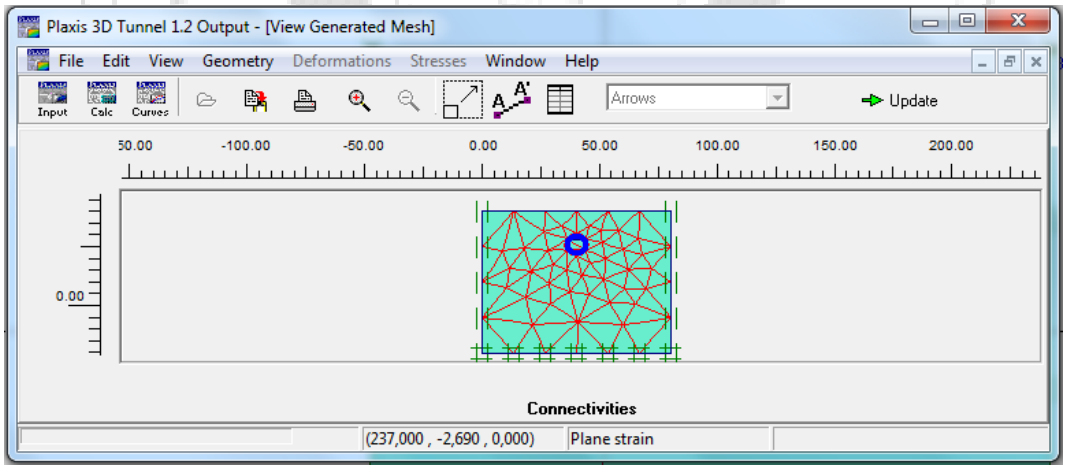
Gambar 4. 45 Tampilan drag material

4.3.2.5 2D Mesh Generation

Jika input data semua telah lengkap dimasukkan kemudian bisa dilakukan meshing 2D, yaitu membagi elemen. Caranya adalah sebagai berikut:



Klik *Generate mesh* pada toolbar. Setelah itu mesh akan ditampilkan pada jendela output. Kemudian kilik *update* untuk kembali ke *input geometry*. Tampilan 2D mesh generation dapat dilihat pada gambar di bawah ini



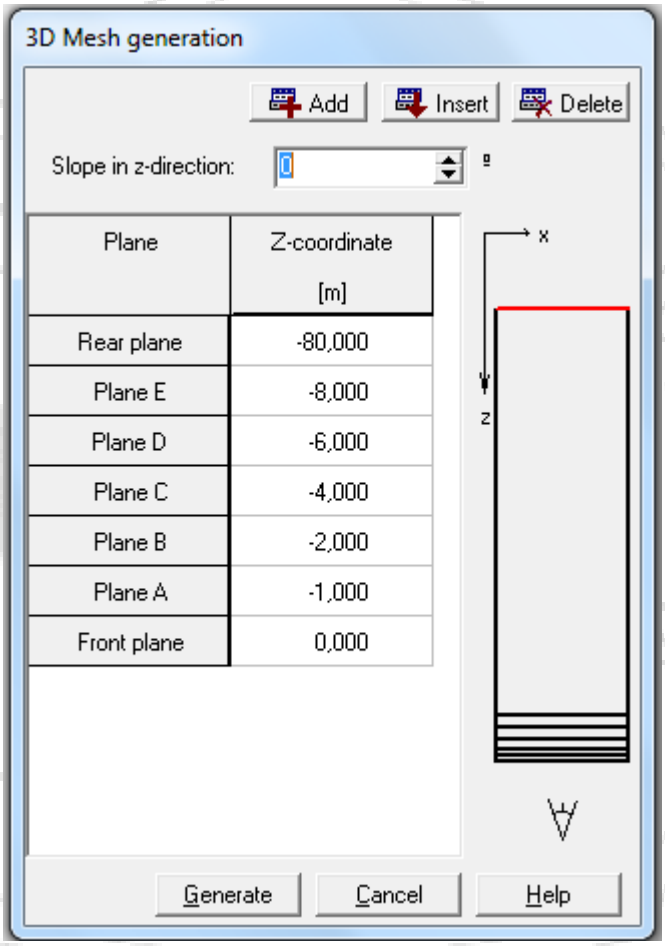
Gambar 4. 46 Tampilan 2D mesh generation

Untuk menambah jumlah mesh di sekitar terowongan dapat dilakukan dengan cara klik bagian di dalam terowongan kemudian klik *refine cluster* yang terdapat pada menu *Mesh.* Setelah itu akan muncul jendela baru kemudian klik *update*.

4.3.2.6 3D Mesh Generation

Massing 3D dapat dilakukan sebagai berikut:

–  Klik *Generate 3D mesh,* kemudian masukkan koordinat z-planes. Tampilan input koordinat z-plane dapat dilihat pada gambar di bawah ini

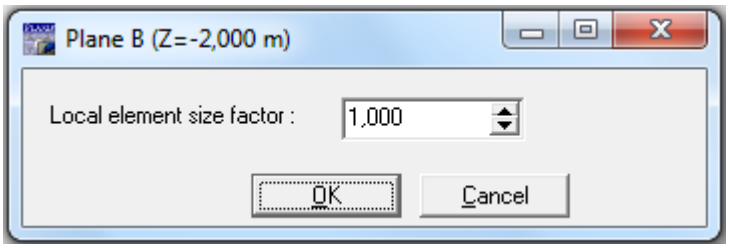


Gambar 4. 47 Tampilan input koodinat z-palne

– Klik *Insert* untuk memasukan semua koordinat pada z-plane.

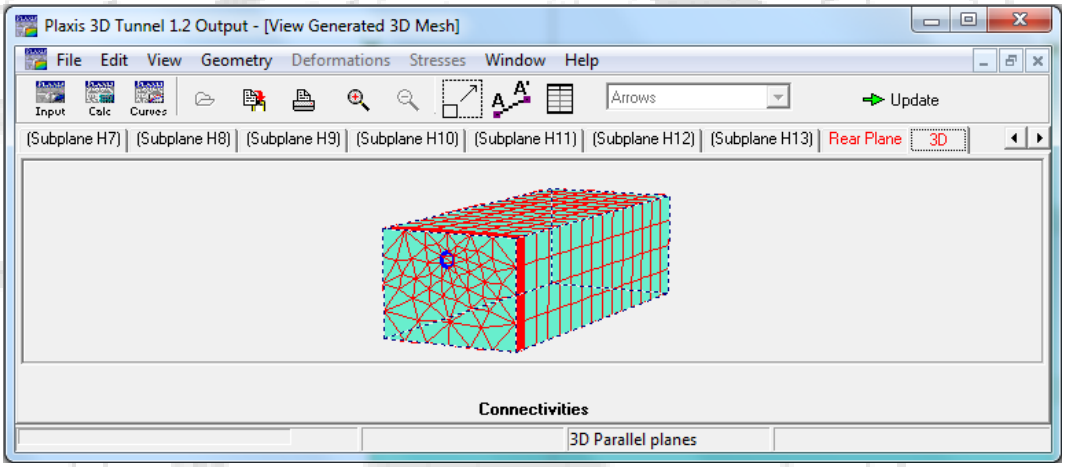
– Untuk menyempurnakan mesh di z-plane pada Plane A (bagian depan terowongan tersebut), maka pilih sebuah *plane* dan klik pada *garis merah*. Setelah itu sebuah jendela akan muncul di mana faktor ukuran elemen lokal

dapat dimasukkan, terima nilai *default* yang ada. Tampilan *rear plane* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 48 Tampilan rear plane

- Klik OK pada jendela *Rear Plane*.
- Klik Generate pada jendela 3D mesh generation, setelah itu 3d mesh akan ditampilkan dalam jendela output. Tampilan 3D mesh generation dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 49 Tampilan 3D mesh generation

- Klik *Update* untuk kembali ke mode input geometry.

4.3.2.7 Initial Condition

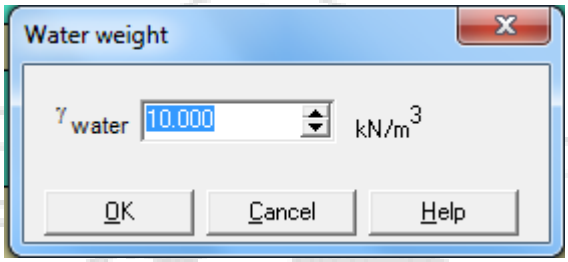
Setelah mesh telah dihasilkan, model elemen hingga selesai. Sebelum memulai perhitungan, kondisi awal harus dihasilkan. Secara umum, kondisi awal terdiri dari kondisi air awal, konfigurasi geometri awal dan keadaan tegangan efektif awal. Untuk lapisan pasir yang kering tidak perlu untuk memasukkan kondisi air. Analisis ini memerlukan tegangan efektif awal dengan cara K0-procedure.

Kondisi awal yang dimasukkan dalam mode yang terpisah dari Input Pogram. Untuk menghasilkan kondisi awal dengan benar, ikuti langkah berikut:

– 

Klik Initial conditions pada toolbar atau pilih opsi Initial conditions dari Initial menu.

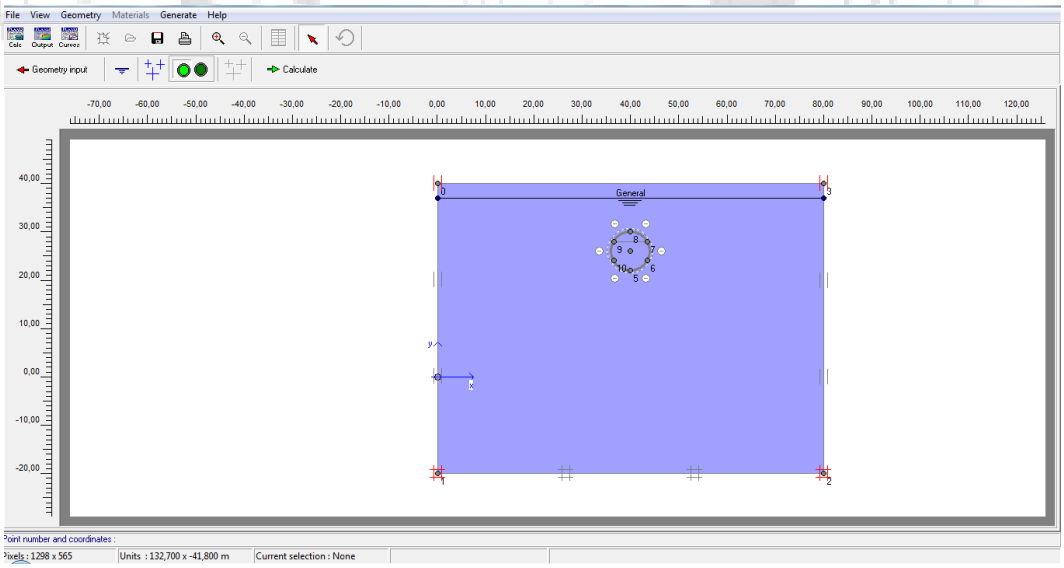
– Jendela kecil muncul menunjukkan nilai default dari berat unit air, yaitu 10 (kN/m³). Tampilan water weight dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 50 Tampilan water weight

– Klik OK untuk menerima nilai default.

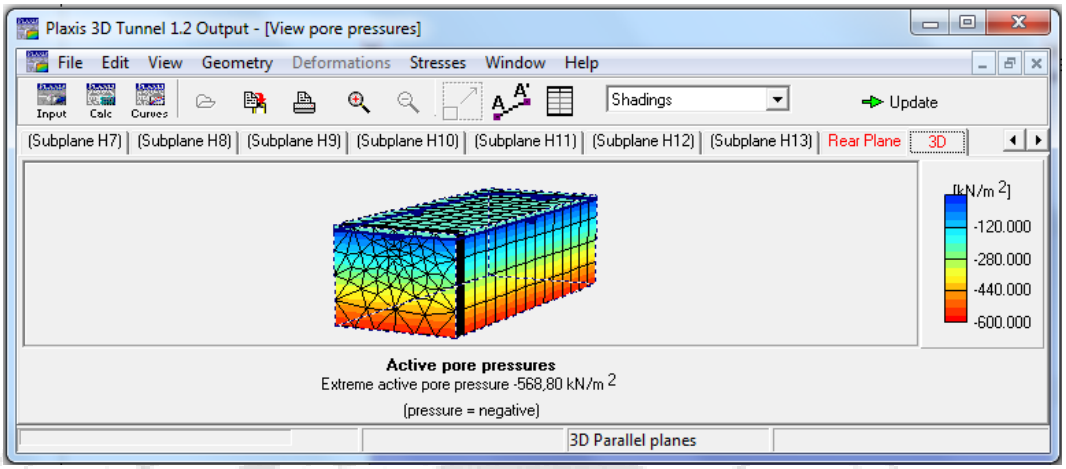
– Masukkan muka air tanah, dengan koordinat titik (0;36.9)-(100;36.9). Tampilan input muka air tanah dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 51 Tampilan input muka air tanah

–  Untuk memasukkan muka air tanah pastikan initial pore pressure pada ikon sebelah kiri telah aktif

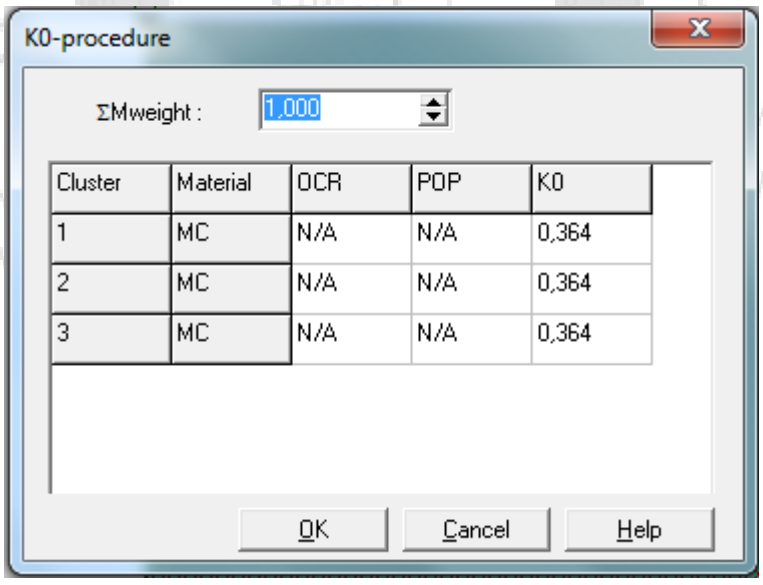
–  Klik generate water pressure setelah itu tampilan pore pressure akan muncul pada jendela output. Klik update untuk kembali ke jendela geometry input. Tampilan pore pressure dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 52 Tampilan pore pressure

–  Klik kanan pada ikon initial pore pressure.

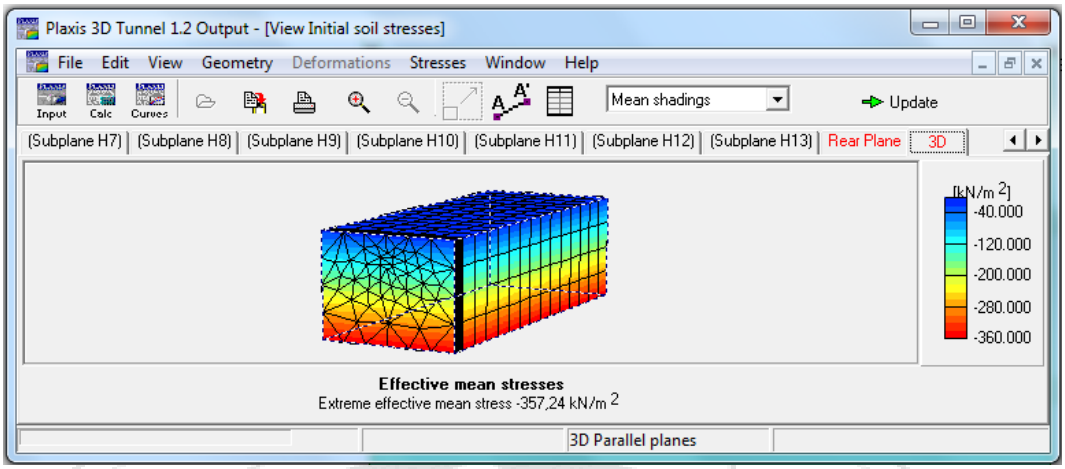
–  Klik Generate initial stress, setelah itu tampilan K0-procedure akan muncul. Tampilan K0-procedure dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 53 Tampilan K0-procedure

– Klik Ok untuk menerima nilai default.

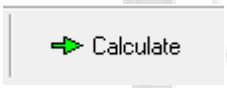
– Kemudian tampilan Initial soil stresses akan muncul pada jendela output. Tampilan Initial soil stresses dapat dilihat pada gambar berikut ini.



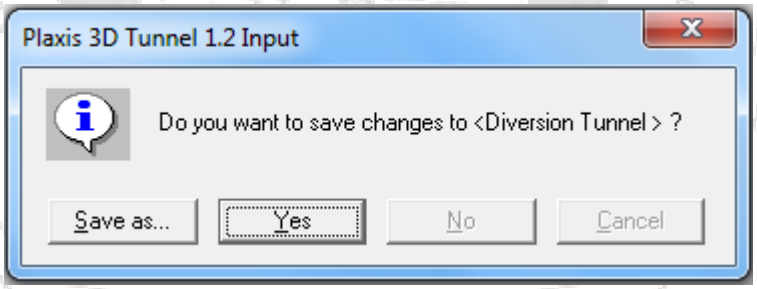
Gambar 4. 54 Tampilan initial soil stresses

– Klik update untuk kembali ke jendela *geometry line*.

Setelah itu masuk pada proses calculate atau perhitungan. Untuk melakukan calculate dapat mengikuti proses berikut:

– 

Klik calculate. Tampilan save project dapat dilihat pada gambar berikut ini.



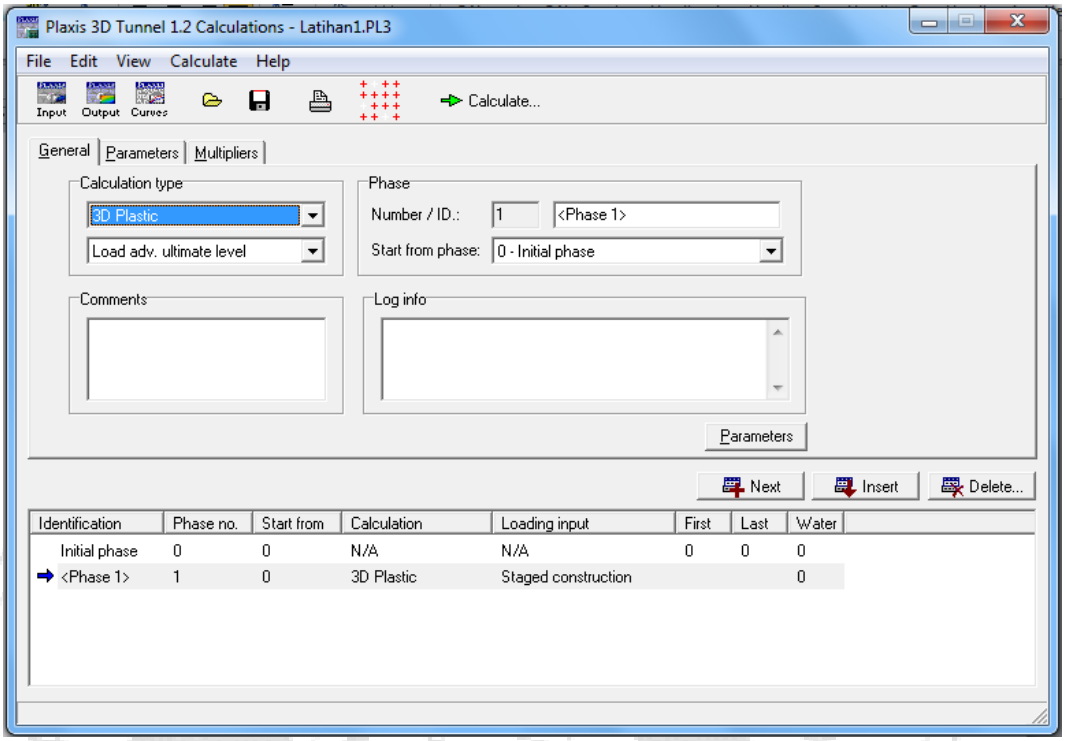
Gambar 4. 55 Tampilan save project

– Klik yes untuk menyimpan project yang telah dibuat.

4.3.3 Calculations (Perhitungan dalam Plaxis 3D Tunnel)

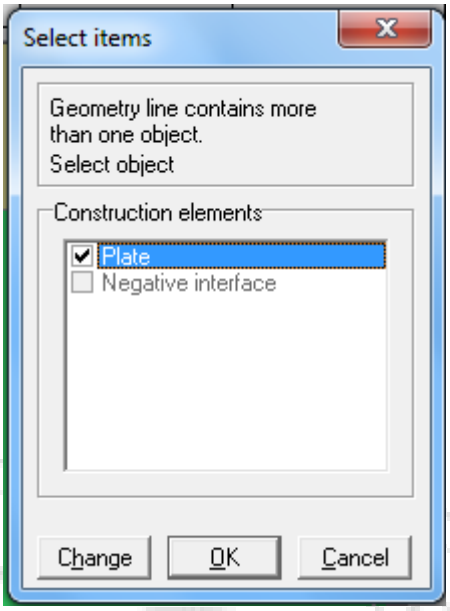
Berisikan phase untuk mengeksekusi kalkulasi. Cara melakukan calculate adalah sebagai berikut:

– Setelah di save maka jendela calculate akan muncul, tampilan calculation dapat dilihat pada gambar berikut ini.



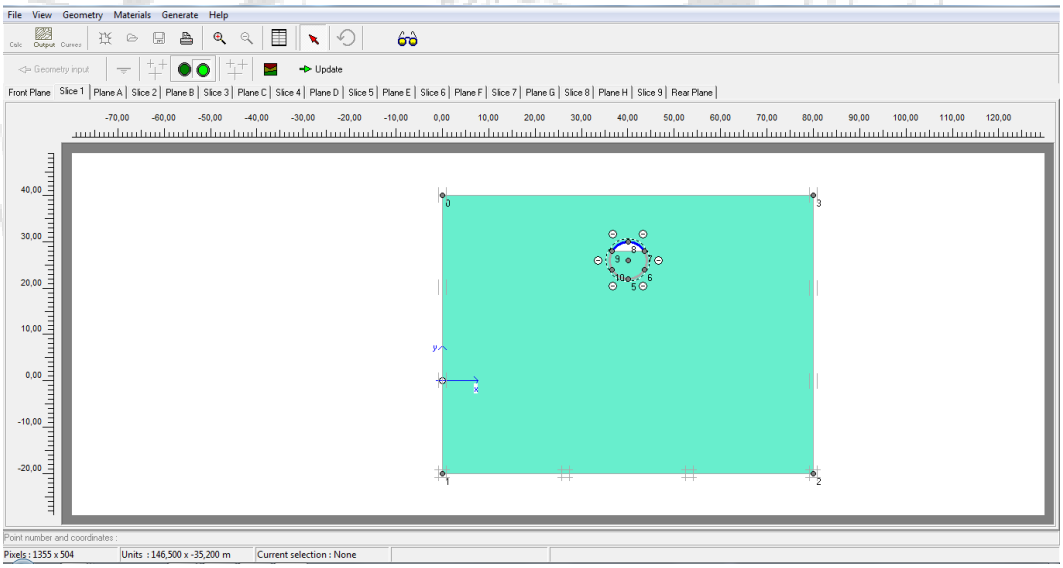
Gambar 4. 56 Tampilan calculation

– Pada tab *General* pilih *Plastic* untuk calculation type dan proses pembebanannya pilih *load adv. Ultimit level.*
– Klik tab *Parameter.*
– Pada tab Parameter terima nilai default (250) untuk *additional step*. Dan terima semua nilai default yang ada pada tab multipliers.
– Klik *define* pada tab parameter. Setelah itu akan muncul tampilan Phase 1 untuk melakukan proses konstruksi.
– Pilih tab slice 1. Untuk melakukan penggalian non-aktifkan tanah yang berada dalam terowongan dengan cara klik kiri pada tanah tersebut dan aktifkan lining pada terowongan dengan cara klik kiri pada lining. Tampilan input plate dapat dilihat pada gambar berikut ini

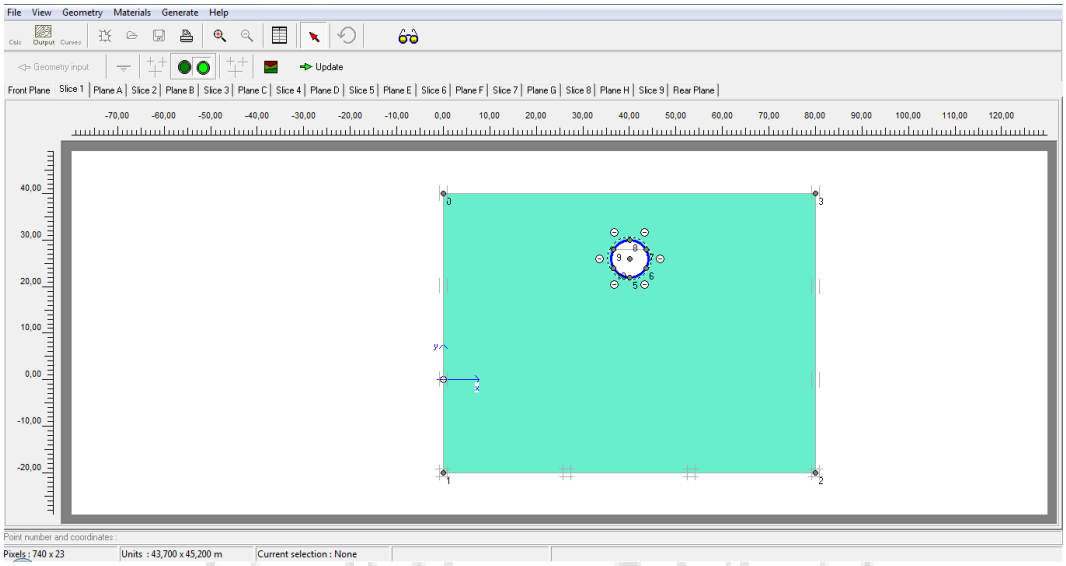


Gambar 4. 57 Tampilan input plate

– Pilih Plate dan klik ok atau enter untuk mengaktifkan lining pada terowongan. Setelah seluruh lining aktif maka klik update untuk kembali ke jendela calculate. Tampilan slice 1 dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 58 Tampilan slice 1 <Phase 1>



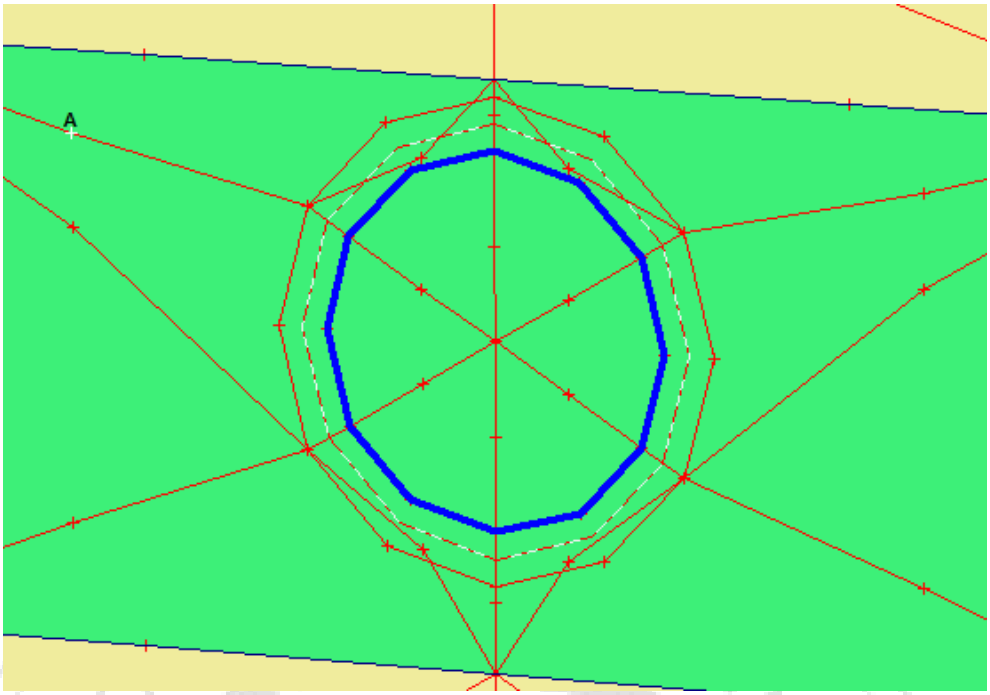
Gambar 4. 59 Tampilan slice 1 <Phase 2>

– 

Klik next untuk melakukan proses berikutnya. Lakukan hal yang sama seperti pada slice 1 untuk semua slice.

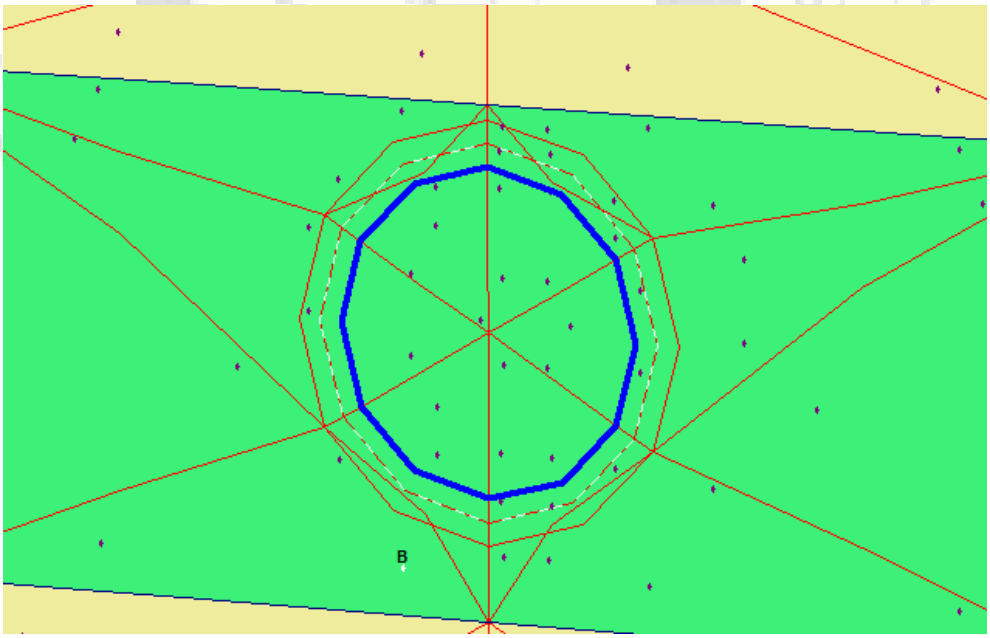
–  Klik *select point* sebagai sampel untuk analisa sebelum melakukan kalkulasi.

– Pastikan  Select node for displacement curve telah aktif kemudian Klik pada titik di sekitar terowongan. Tampilan Select node for displacement curve dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



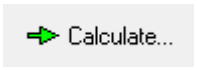
Gambar 4. 60 Tampilan select node for displacement curve

– Klik  select stress pint for stress/strain curve. Klik titik yang berada di sekitar terowongan. Tampilan select stress pint for stress/strain curve dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

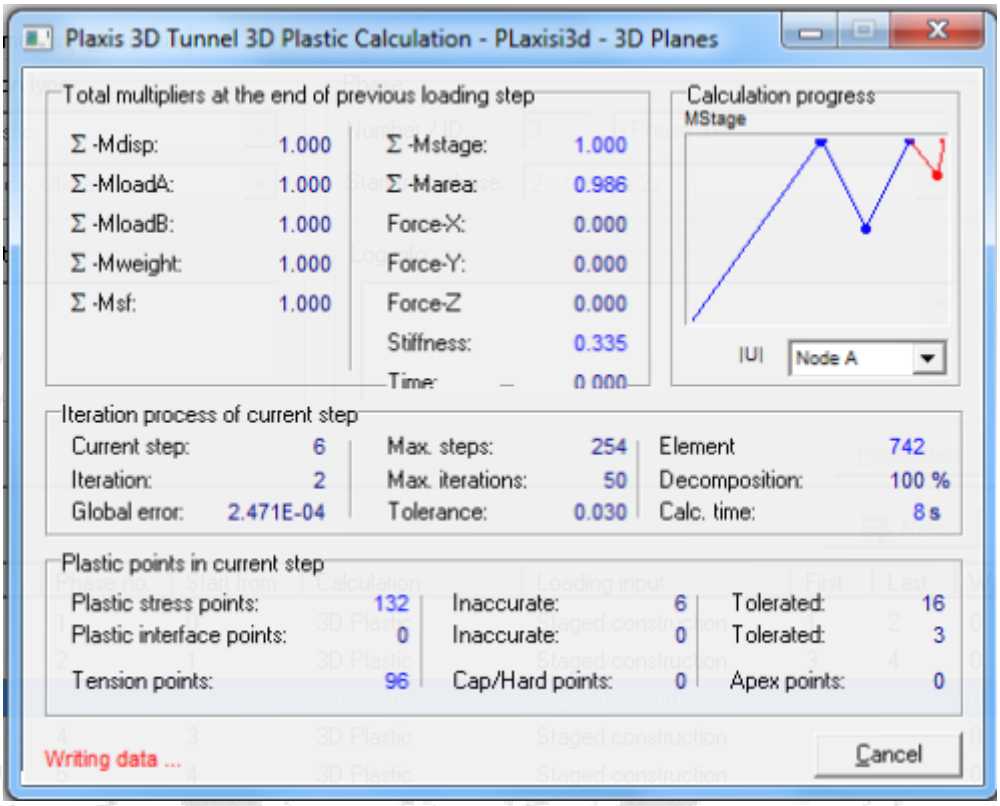


Gambar 4. 61 Tampilan select stress pint for stress/strain curve

– Klik *Update* untuk kembali ke jendela calculate.

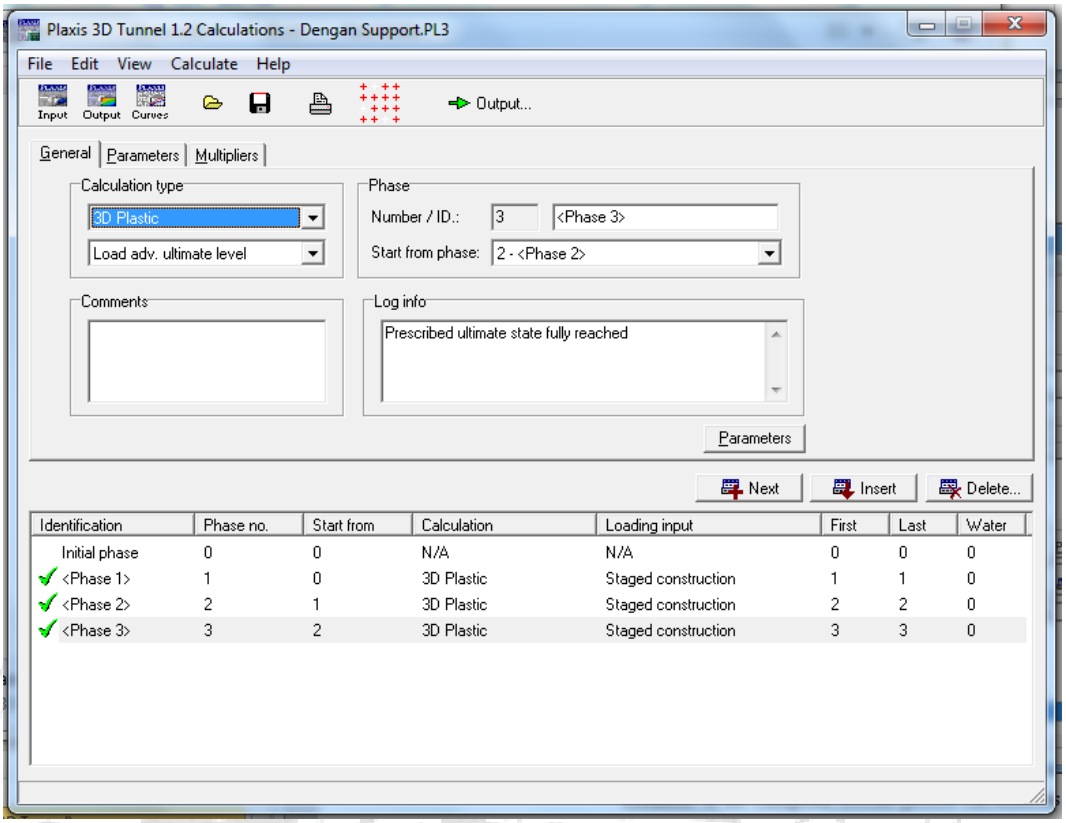
– 

Klik *calculate*. Setelah itu tampilan pada calculate akan muncul. Biarkan sampai proses kalkulasi selesai. Tampilan proses calculation dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 62 Tampilan proses calculation

Proses calculation dikatakan berhasil dapat dilihat dari tanda check list yang berwarna hijau pada kolom *identification*. Tampilan setelah proses calculation dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 63 Tampilan setelah proses calculations

Setelah proses kalkulasi selesai maka kita akan masuk pada proses output.

4.3.4 Output Data

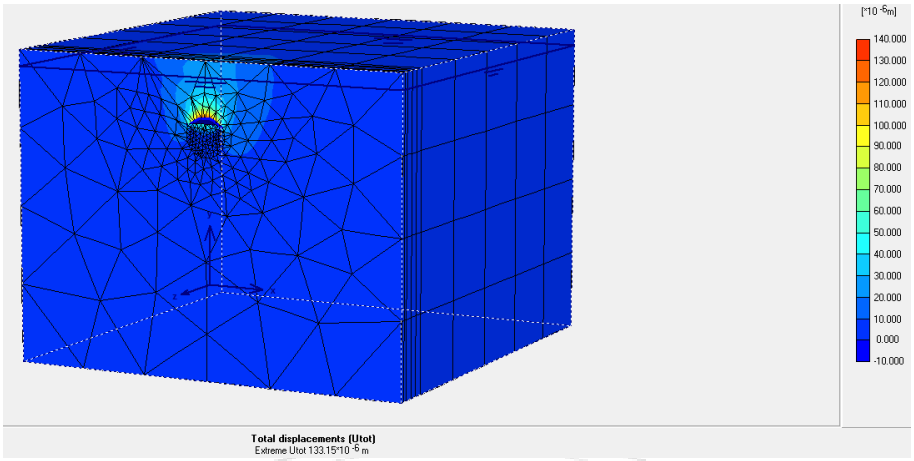
Setelah selesai perhitungan hasil dari setiap phase dapat dilihat pada jendela output. Untuk melihat hasil output adalah sebagai berikut:

– 

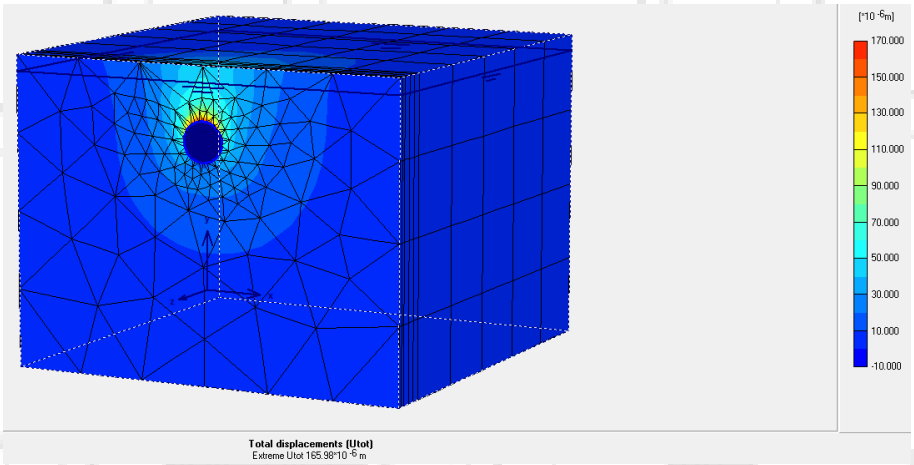
Klik ikon *Output*

4.3.4.1 Total Diplacement

Pilih *total diplacement* pada menu *Deformation.* Setelah itu total diplacement untuk setiap plane dan 3D dapat dilihat dengan memilih tab yang diinginkan. Tampilan *total diplacement 3D* dapat dilihat pada gambar berikut ini.

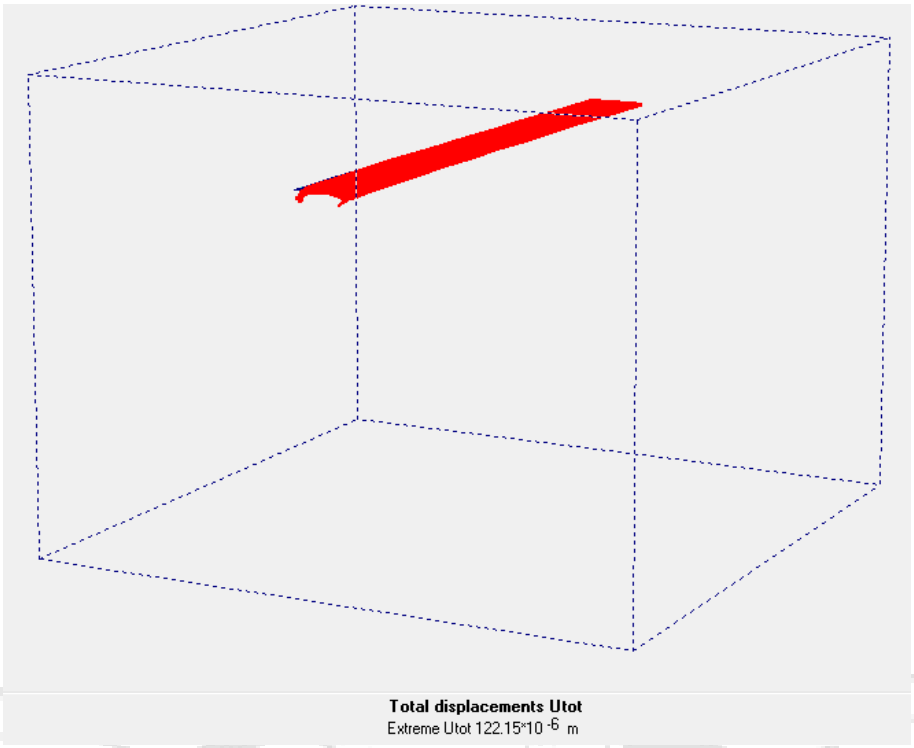


Gambar 4. 64 Tampilan *total diplacement 3D* top heading Plaxis 3D Tunnel

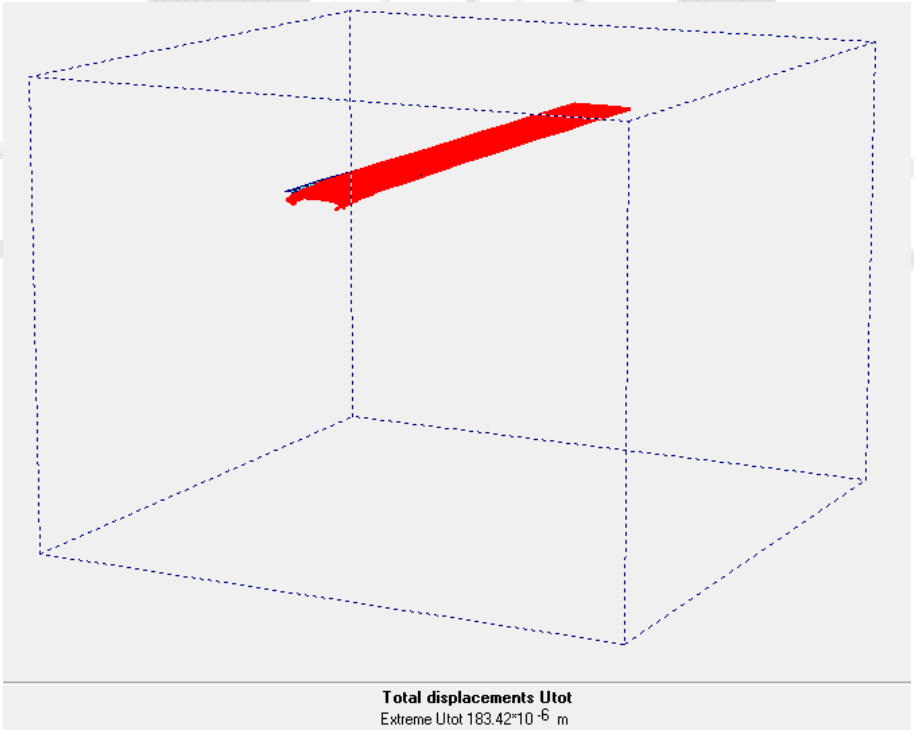


Gambar 4. 65 Tampilan *total diplacement 3D* bench Plaxis 3D Tunnel

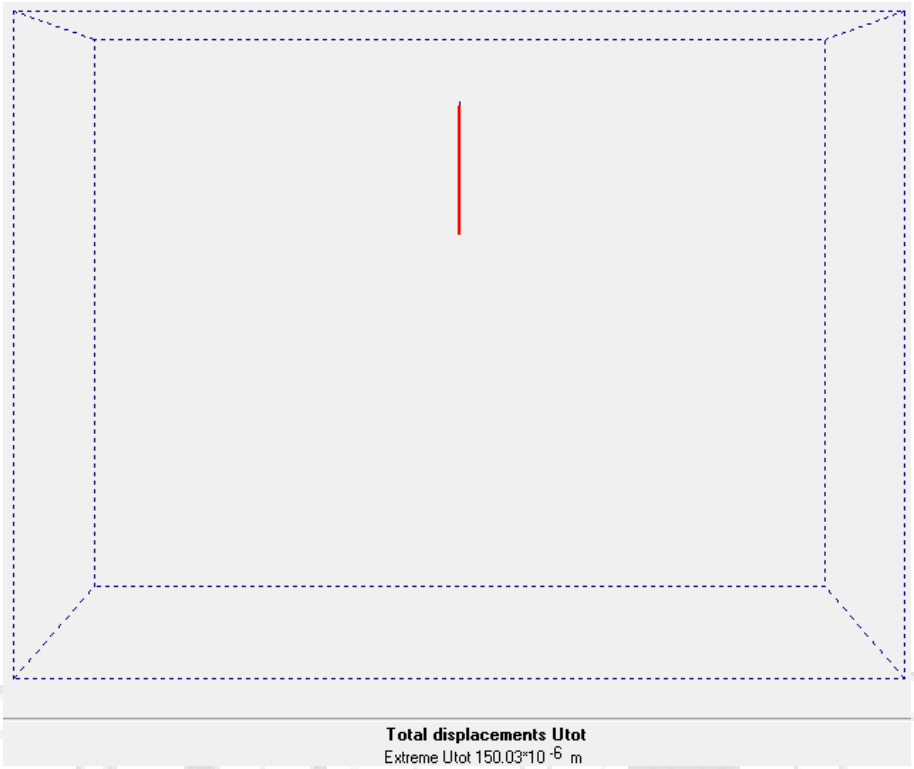
Tampilan *total diplacement* pada top heading dan bench untuk lokasi sebelah kanan, kiri, atas dan bawah dapat dilihat pada gambar berikut ini.



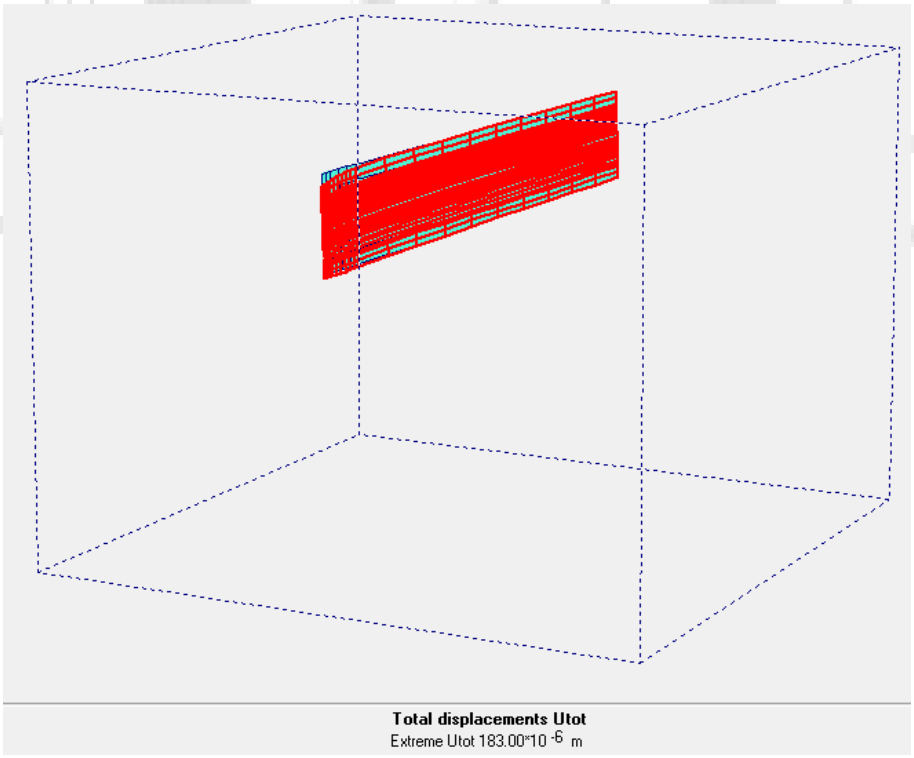
Gambar 4. 66 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel



Gambar 4. 67 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel



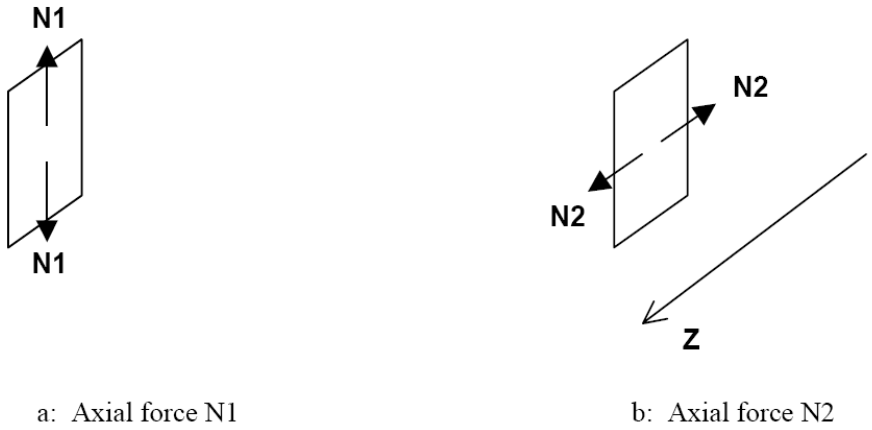
Gambar 4. 68 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel



Gambar 4. 69 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel

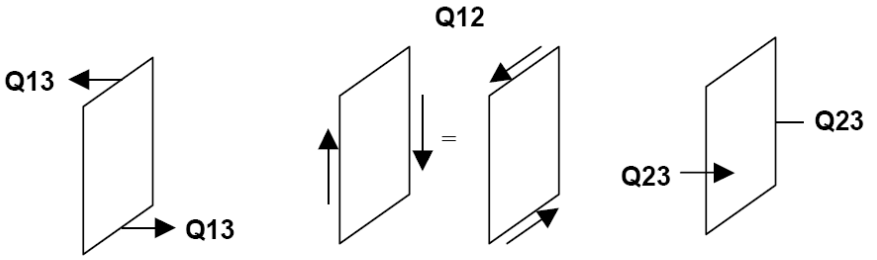
4.3.4.2 Lining/Shotcrete

Terdapat beberapa arah yang dapat ditinjau utuk mengetahui nilai gaya dalam, adapun arah tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini:



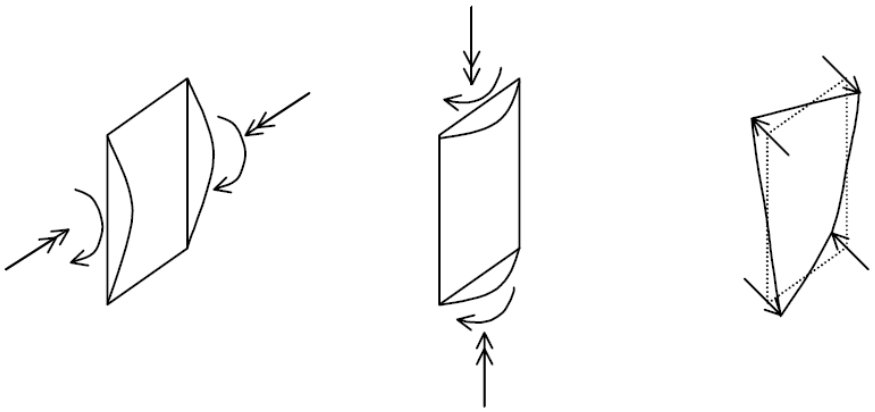
a: Axial force N1 b: Axial force N2

Gambar 4. 70 Arah Axial Force (manual Plaxis 3D Tunnel)



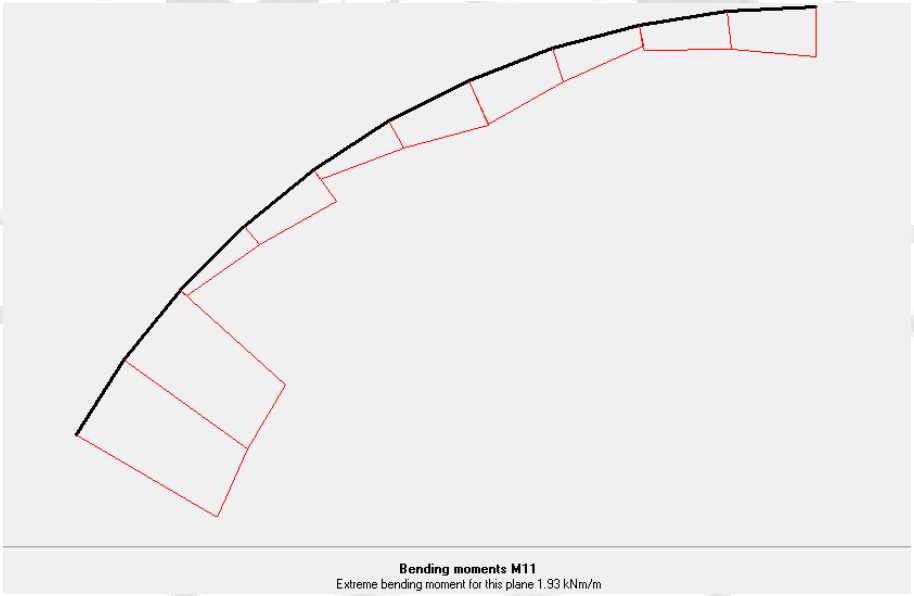
a: Shear force Q13 b: Shear force Q12 c: Shear force Q23

Gambar 4. 71 Arah Shear Force (manual Plaxis 3D Tunnel)

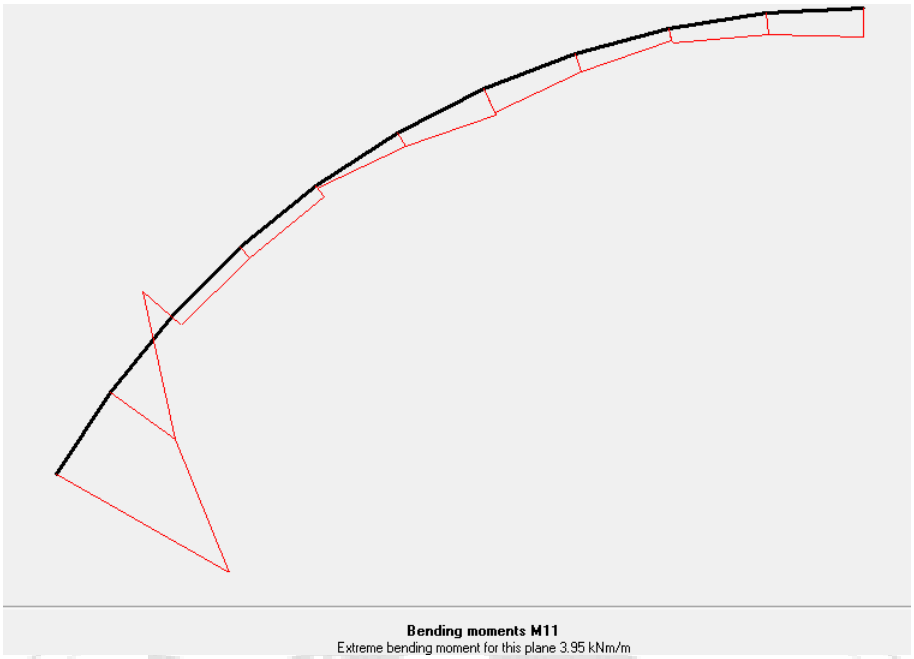


Gambar 4. 72 Arah Bending Moment (manual Plaxis 3D Tunnel)

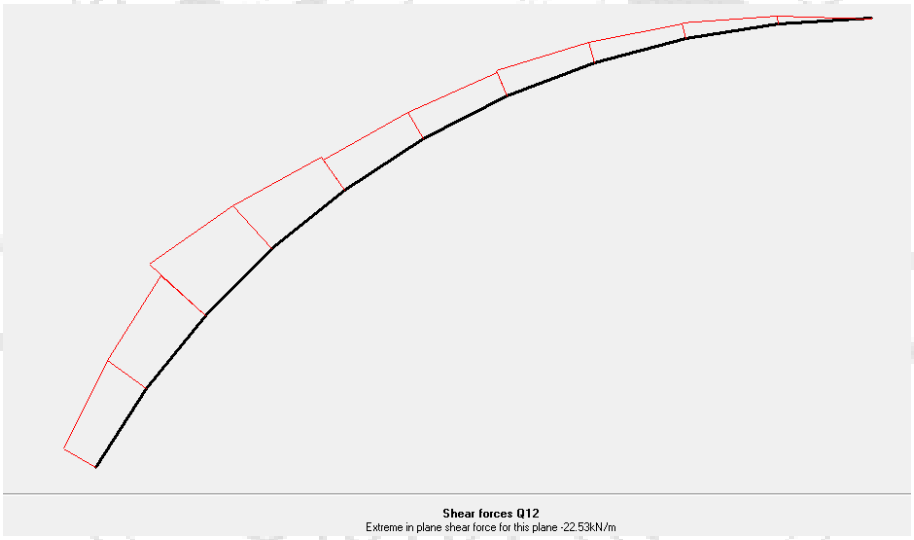
Nilai gaya dalam shotcrete dapat diketahui dengan cara klik pada shotcrete kemudian pilih *bending moment dan shear force* pada menu *Force.* Setelah itu *bending moment dan shear force* pada gambar berikut ini.



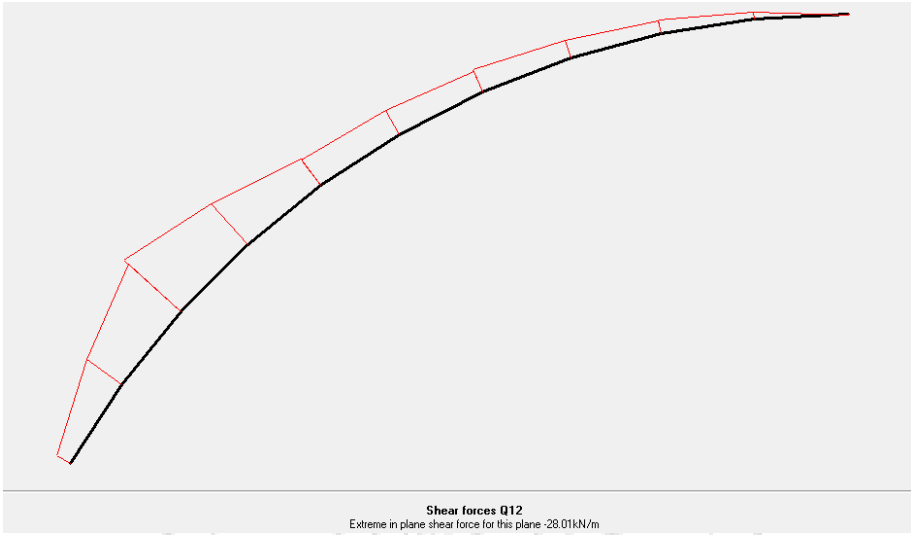
Gambar 4. 73 Bending Moment Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel



Gambar 4. 74 Bending Moment Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel



Gambar 4. 75 Shear Force Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel



Gambar 4. 76 Shear Force Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel