

## ANALISA TANAH PADA BUKAAN TEROWONGAN (Studi Kasus: Terowongan Kawasan Green Hill, Malendeng)

Sharon Victorya Rori

S. Balamba, Alva N. Sarajar

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: [victoryasharon@gmail.com](mailto:victoryasharon@gmail.com)

### ABSTRAK

Adanya konstruksi terowongan dapat menyebabkan penurunan tanah di permukaan atau di daerah sekitar konstruksi terowongan. Penurunan tanah akan dapat terjadi pada seluruh metode pelaksanaan konstruksi terowongan. Hal ini dapat mempengaruhi struktur bangunan yang ada di sekitar konstruksi terowongan, termasuk tanah yang ada di sekitarnya. Analisis dilakukan dengan meninjau tanah pada sekitaran Terowongan Kawasan Green Hill, Malendeng.

Analisa tanah pada bukaan terowongan studi kasus; Terowongan Kawasan Green Hill, Malendeng menggunakan program plaxis v8.2 yang dapat menghitung faktor keamanan dengan menggunakan metode elemen hingga. Pada perhitungan ini dibutuhkan beberapa parameter data antara lain : Young Modulus( $E$ ), Poisson's Ratio( $\nu$ ), Sudut Geser Dalam( $\phi$ ), Kohesi( $c$ ),  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ ,  $k_x, y$ .

Dari hasil perhitungan menggunakan metode elemen hingga dengan program plaxis v8.2 diperoleh nilai SF untuk tanah di daerah sekitar bukaan terowongan tanpa dipengaruhi beban sebesar 1.182, penurunan yang terjadi akibat adanya deformasi pada tanah sekitar  $110.82 \times 10^{-6}m$ . Nilai SF untuk tanah di daerah sekitar bukaan terowongan dipengaruhi beban 100kn sebesar 0.926, penurunan yang terjadi akibat adanya deformasi pada tanah sekitar  $11.69 \times 10^{-3}m$ . Nilai SF untuk tanah di daerah sekitar bukaan terowongan dipengaruhi beban 100kN (jarak diameter terowongan) sebesar 0.596 penurunan yang terjadi akibat adanya deformasi pada tanah sekitar  $185.78 \times 10^{-3}m$ .

**Kata Kunci:** Bukaan Terowongan, Analisa Tanah, Plaxis, Nilai SF, Penurunan

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Pada zaman yang sudah modern ini, proses pembangunan meningkat dengan sangat cepat, diikuti juga dengan peningkatan aktifitas yang banyak untuk kota-kota besar yang padat penduduknya. Seiring dengan padatnya lalu lintas terjadilah kemacetan terutama pada jam-jam sibuk. Untuk itu, dikembangkanlah suatu jaringan angkutan massal yang dibangun didalam atau diatas tanah. Jaringan angkutan massal di bawah tanah berupa pembuatan terowongan kereta bawah tanah atau subway.

Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. Beberapa ahli teknik sipil mendefinisikan terowongan sebagai sebuah tembusan di bawah permukaan yang memiliki panjang minimal 0.1 mil, dan yang lebih pendek dari itu lebih pantas disebut underpass.

Jalur terowongan ini biasanya berada di bawah permukaan jalan dengan kedalaman tertentu, yang biasanya dangkal. Kondisi tanah yang sering dijumpai dalam pembuatan terowongan di perkotaan adalah kondisi tanah

lunak. Pada saat penggalian terowongan akan terjadi settlement pada permukaan diatas terowongan. Settlement ini harus juga diperhitungkan karena dapat menimbulkan kerusakan terhadap struktur diatas terowongan.

#### Rumusan Masalah

Dalam proses pembuatan terowongan, sering kita dapati adanya penurunan karena terjadinya deformasi pada tanah pada daerah sekitar bukaan terowongan karena proses penggalian, proses pengeboran bukaan terowongan ataupun karena adanya pengaruh beban di atasnya yang dilakukan tergantung jenis tanah pada daerah tersebut. Untuk mengetahui faktor keamanan dan penurunan di daerah sekitar bukaan terowongan maka kita perlu meninjau kondisi tanah dan parameter tanah pada daerah sekitar bukaan terowongan sehingga bisa mendapatkan nilai faktor keamanan, dengan mengandaikan bahwa terowongan yang berada di kawasan Green Hill Malendeng belum di bangun.

#### Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai SF untuk kondisi tanah di sekitar bukaan terowongan

- Mengetahui penurunan dan kestabilan bukaan terowongan untuk kondisi tanah di daerah tersebut

**Batasan Masalah**

Penelitian dilakukan dengan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

- Pengambilan sampel tanah pada 2 titik lokasi penelitian.
- Pengambilan sampel tanah pada lokasi penelitian di Kawasan Green Hill, Malendeng.
- Menganalisis kestabilan dengan menggunakan ProgramPlaxis v8.2.
- Pemodelan Bentuk lining terowongan yang ditinjau adalah yang berbentuk lingkaran.
- Tidak memperhitungkan faktor gempa
- Terowongan Pada Tanah Lunak

**LANDASAN TEORI**

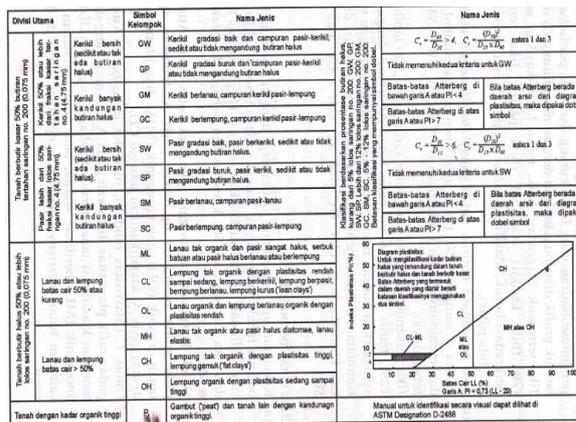
**Tanah dan sifat-sifatnya**

Ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar.Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt) atau lempung (clay) tergantung pada ukuran partikel tanah tersebut.

Kerikil (gravel) adalah kepingan-kepingan dari batuan yang kadang-kadang juga mengandung partikel-partikel mineral quartz, feldspar dan mineral-mineral lainnya. Pasir (sand) sebagian besar terdiri dari mineral quartz dan feldspar, butiran dari mineral yang lain juga mungkin masih ada.

Untuk lanau (silt) sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran quartz yang sangat halus dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika. Dan untuk lempung (clay) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dari submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung, dan mineral-mineral yang sangat halus lain.

Untuk ukuran Pasir butirannya dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm. sedangkan ukuran lanau butirannya dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm. dan lempung butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.



Gambar 1. Jenis Tanah USCS

**Terowongan**

Terowongan adalah struktur bawah tanah yang mempunyai panjang lebih dari lebar penampang galiannya, dan mempunyai gradien memanjang kurang dari 15%. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. Beberapa ahli teknik sipil mendefinisikan terowongan sebagai sebuah tembusan di bawah permukaan yang memiliki panjang minimal 0.1 mil (0.1609344 km), dan yang lebih pendek dari itu dinamakan *underpass*.

Secara umum terowongan adalah suatu konstruksi yang dibangun di bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode atau cara-cara penggalian tertentu tanpa mengganggu permukaan tanah di atasnya.

**Terowongan Tanah Lunak**

Terowongan pada tanah lunak telah dibedakan dari terowongan pada batuan berdasarkan perbedaan kondisi alami pada tanah serta jarak kedalaman dan besar tegangan di lapangan yang dapat terjadi saat konstruksi dilakukan. Terowongan pada tanah lunak juga merupakan pelajaran yang umum dalam teknik sipil, yang meliputi ragam ukuran terowongan dengan syarat-syarat tertentu untuk setiap sistem pendukung yang diterapkan, yang biasanya dibangun di bawah daerah perkotaan yang rentan terhadap kerusakan struktur di atasnya.

Perencanaan terowongan pada tanah lunak memiliki filosofi yang berbeda dengan terowongan pada batuan, dan memerlukan penjelasan yang berbeda untuk kedua pendekatan. Istilah tanah lunak yang digunakan meliputi lapisan tanah yang ada di dekat permukaan bumi. Dari tanah *non-cohesive* seperti pasir kering dan kerikil, sampai tanah *cohesive* terkonsolidasi normal dan tanah lempung terkonsolidasi lebih.

Juga termasuk lapisan tanah seperti *tills* (tanah lempung berbatu) yang bisa saja mengandung pecahan batu yang cukup besar, yang mana diketahui sebagai kasus khusus dalam konstruksi terowongan dan pendukungnya.

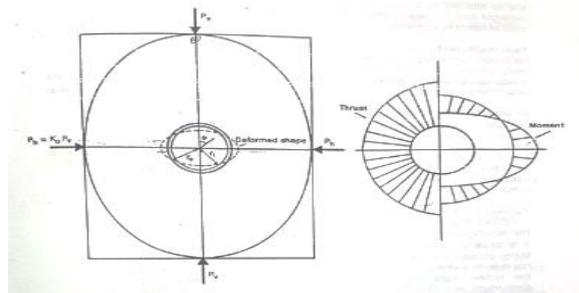
Efek yang ditimbulkan dari air tanah dalam stabilitas terowongan juga merupakan faktor penting dalam konstruksi terowongan pada tanah lunak, karena dalam menghadapi masalah stabilitas secara radikal dipengaruhi oleh tekanan air pori, apabila konstruksi terowongan berada di bawah muka air tanah. Hal ini tak sama seperti konstruksi terowongan pada batuan karena kekuatan tarik dari batuan biasanya tinggi dalam hubungannya dengan tekanan atmosfer.

Istilah tanah lunak yang digunakan dalam pembuatan terowongan yaitu suatu deposit tanah yang ditemukan pada atau dekat permukaan tanah dan mencakup tanah tidak berkoheesi seperti pasir dan kerikil sampai tanah kohesif seperti lempung dan lanau.

### Perubahan Tegangan

Penggalian terowongan mengubah kondisi tegangan terhadap keadaan awal pada tanah dan batuan yang semula berupa massa yang berada dalam keseimbangan dalam medan gravitasi. Akibat dari galian yang terjadi pelepasan tegangan (stress release) yang menyebabkan redistribusi tegangan mula-mula sehingga terjadi regangan dan deformasi baru. Pembuatan terowongan mengakibatkan perubahan secara kontinu atau bertahap sehingga mencapai keseimbangan yang lain. Kondisi final beruoa suatu kondisi hidrolik yang baru dan deformasi yang mengakibatkan perubahan tegangan awal. Pada penggalian terowongan umumnya timbul suatu zona teganga yang berubah. Umumnya akan ada peningkatan dari tegangan vertikal didepan galian yang bergerak maju pada proses penggalian.

Perubahan keadaan tegangan yang disebabkan oleh penggalian tidak dapat terjadi tanpa adanya deformasi pada massa tanah atau batuan. Meskipun digunakan lining, deformasi tetap akan terjadi. Deformasi ini umumnya berubah sebagai fungsi waktu dan merupakan kondisi yang amat kompleks. Terjadinya deformasi disekitar lubang galian akan dapat mengakibatkan penurunan dari tanah permukaan. Cara pelaksanaan, urutan pelaksanaan dan bentuk lubang galian memberikan pengaruh besar kepada tegangan–tegangan pada tanah.



Gambar 2. Penggambaran sifat umum pada desain terowongan dalam medan tegangan; deformasi dan momen lentur lapisan terowongan

### Stabilitas Terowongan

Stabilitas Terowongan berdasarkan Broms dan Bennemark (1967), Salah satu faktor yang penting untuk dipertimbangkan dalam penggalian terowongan adalah mempertahankan stabilitas lapisan tanah pada muka *shield machine* agar tidak runtuh. Memastikan stabilitas tersebut sangat berkaitan dengan keamanan pekerjaan penggalian terowongan. Broms dan Bennemark memberikan solusi persamaan untuk menentukan angka stabilitas *tunnel face* saat penggalian dilaksanakan pada persamaan berikut:

$$N = \frac{(qs + (C + R)\gamma - \sigma_T)}{C_u}$$

Dengan,

$C$  = kedalaman titik *crown* dari terowongan (m)

$R$  = jari-jari terowongan (m)

$\gamma$  = berat jenis tanah total (kN/m<sup>3</sup>)

$\sigma_T$  = *face pressure* (kN/m<sup>2</sup>), dan

$c_u$  = kuat geser tanah dalam kondisi *undrained* (kN/m<sup>2</sup>).

$qs$  = beban permukaan tanah (kN/m<sup>2</sup>)

Secara empiris, ketidakstabilan terjadi saat  $N > 6$ . Keruntuhan terowongan akan terjadi saat nilai  $N$  melebihi 6.

Menurut Davis et. al (1980), persamaan Broms dan Bennemark digunakan pada kasus terowongan dengan bukaan vertikal tanpa adanya *support pressure* untuk meningkatkan stabilitas *tunnel face*. Davis et. al. mengembangkan persamaan Broms dan Bennemark mengenai stabilitas *tunnel face* dengan memperhitungkan adanya *support* pada jarak  $P$  antara *face* dengan lokasi dimana *support pressure* diaplikasikan.

$$N = \frac{(qs - s + (C + R)\gamma - \sigma_T)}{C_u}$$

$s$  = *support pressure* (kN/m<sup>2</sup>)

Davis et. Al juga memberikan nilai  $N$  dengan menggunakan pendekatan radial (*spherical*) terhadap pola tegangan pada *tunnel face* pada persamaan

$$N = 4 \ln \left( \frac{C}{R} + 1 \right)$$

**Program Plaxis**

Finite elemen method atau cara elemen hingga adalah metode analisa numerik yang banyak digunakan untuk perencanaan embung terutama untuk perhitungan stabilitas konstruksi dan penurunan. Adapun prinsip perhitungannya adalah memecahkan persoalan yang rumit atau sukar dengan cara membagi-baginya menjadi bagian-bagian yang kecil sehingga menjadi lebih sederhana untuk penyelesaian.

**Finite Elemen Method**

Konsep dasar metode elemen hingga adalah ‘diskritasi’. Kita anggap bahwa distribusi deformasi  $u$  sulit dicari dengan cara konvensional dan kita perlu menggunakan FEM yang berdasarkan konsep diskretasi. Kita bagi suatu massa atau sejumlah daerah-daerah kecil yang disebut “finite element” atau elemen hingga yang merupakan pendekatan praktis dengan toleransi penyimpangan yang dapat diterima. Berdasarkan konsep elemen hingga, yaitu proses diskretisasi, maka suatu sistem akan dibagi-bagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Ada beberapa jenis elemen yang dapat dipakai dan dipilih berdasarkan jenis struktur dan keperluannya. Secara garis besar elemen dapat dibagi menjadi :

1. Elemen satu dimensi
2. Elemen dua dimensi
3. Elemen selaput
4. Elemen tiga dimensi
5. Elemen simetris axial

Perhitungan faktor keamanan dengan metode elemen hingga untuk analisis stabilitas menggunakan prosedur *phi-c reduction*. Dengan cara tersebut parameter kuat geser  $\tan \phi$  dan  $c$  tanah dikurangi secara menerus sehingga keruntuhan pada struktur terjadi. Faktor keamanan dihitung dengan persamaan berikut:

$$FS = \frac{\tan \phi_{input}}{\tan \phi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}}$$

**METODOLOGI PENELITIAN**

**Umum**

Untuk menganalisis bukaan terowongan menggunakan Program Plaxis v8.2 Standar yang digunakan dalam uji laboratorium adalah ASTM (*American Society for Testing Material*).

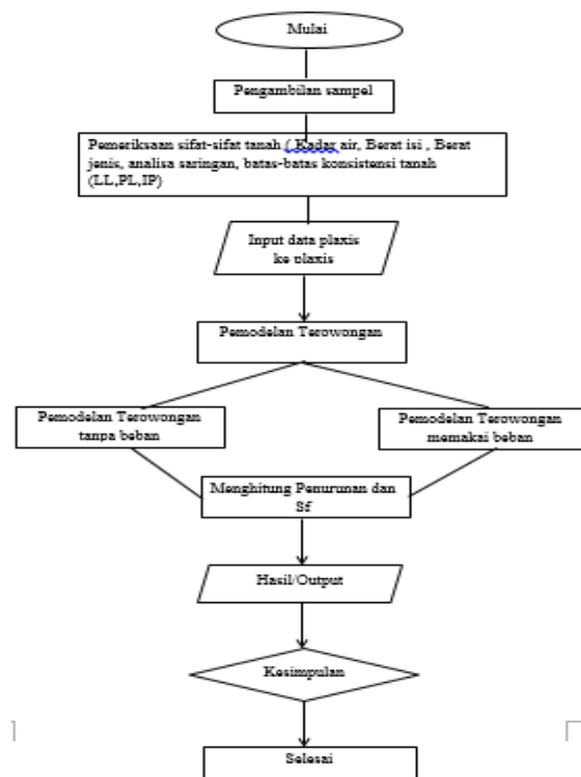
- a. Kadar air : D2216-92
- b. Berat jenis : D 854-92
- c. Distribusi ukuran butiran tanah: D 100-93
- d. Batas cair tanah: D4318-93
- e. Batas plastis dan indeks plastis tanah: D4318-93
- f. Pemadatan tanah: D 698-91
- g. Triaksial UU: D4767/D2664/D5311

**Pemodelan Material**

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

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

**Diagram Alir Penelitian**



Gambar 3. Diagram Alir Prosedur Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakteristik Tanah**

Hasil pengujian tanah di laboratorium di rangkum dalam tabel berikut :

Tabel 1. Hasil-Hasil Pengujian Tanah di Laboratorium

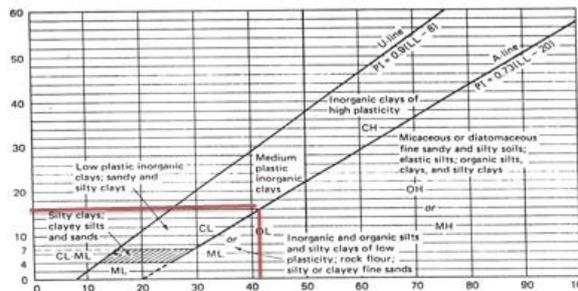
Karakteristik	Sampel 1	Sampel 2
Batas Cair (LL)	41.8 %	33.1%
Batas Plastis (PL)	25.97 %	-
Indeks Plastis (IP)	15.72 %	-
Berat Jenis	2.577	2.463
Lolos Saringan 200	15.565 %	5.887 %
Sudut Geser Dalam (Ø)	43.89	43.86
Kohesi ©	0.011 KN/m <sup>2</sup>	0.009 KN/m <sup>2</sup>
Gamma Dry	1.701 KN/m <sup>3</sup>	1.629 KN/m <sup>3</sup>

(Sumber : Hasil Penelitian Sharon, 2016)

**Klasifikasi Tanah Sampel 1**

NOMOR SARINGAN #	UKURAN LUBANG (mm)	BERAT TERTAHAN (gr)	PRESENTASI TERTAHAN (%)	PRESENTASI LOLOS (%)
4	4.760	0	0	100
8	2.380	17.68	15.374	84.626
10	2.000	3.51	3.052	81.574
12	1.680	5.67	4.930	76.643
16	1.190	7.06	6.139	70.504
18	1.000	5.92	5.148	65.357
30	0.590	10.73	9.330	56.026
40	0.425	8.48	7.374	48.652
50	0.297	7.95	6.913	41.739
80	0.177	10.67	9.278	32.461
100	0.149	5.49	4.774	27.687
200	0.075	13.94	12.122	15.565
PAN	-	17.90	15.565	0.000
Σ		115		

Berdasarkan system USCS, Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total tanah lolos ayakan no. 200 simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G untuk Gravel(Kerikil) atau tanah berkerikil, dan S untuk Sand (Pasir) atau tanah berpasir. Untuk menentukan apakah sampel tersebut kerikil atau pasir yaitu dengan meninjau presentase butiran lolos saringan #4, jika <50% maka klasifikasi tanah sebagai kerikil (*gravel*), sedangkan jika >50% maka klasifikasi tanah sebagai pasir (*sand*).



Jadi disimpulkan bahwa, sampel 1 yaitu memiliki tanah berbutir kasar dimana memperoleh presentase lolos ayakan no. 200 <50% dan masuk dalam kelompok pasir (*sand*) dimana memperoleh presentase lolos ayakan no. 4 >50%

NOMOR SARINGAN #	UKURAN LUBANG (mm)	BERAT TERTAHAN (gr)	PRESENTASI TERTAHAN (%)	PRESENTASI LOLOS (%)
4	4.760	0	0	100
200	0.075	13.94	12.122	15.565

**Klasifikasi Tanah Sampel 2**

NOMOR SARINGAN #	UKURAN LUBANG (mm)	BERAT TERTAHAN (gr)	PRESENTASI TERTAHAN (%)	PRESENTASI LOLOS (%)
4	4.760	0	0	100
8	2.380	3.67	3.191	96.809
10	2.000	1.92	1.670	95.139
12	1.680	1.46	1.270	93.870
16	1.190	3.38	2.939	90.930
18	1.000	5.21	4.530	86.400
30	0.590	18.40	16.000	70.400
40	0.425	22.01	19.139	51.261
50	0.297	19.99	17.383	33.878
80	0.177	18.74	16.296	17.583
100	0.149	4.47	3.887	13.696
200	0.075	8.98	7.809	5.887
PAN	-	6.77	5.887	0.000
Σ		115		



Gambar 4. Grafik Analisa Saringan

Berdasarkan system USCS, Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total tanah lolos ayakan no. 200 simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G untuk Gravel(Kerikil) atau tanah berkerikil, dan S untuk Sand (Pasir) atau tanah berpasir. Untuk menentukan apakah sampel tersebut kerikil atau pasir yaitu dengan meninjau presentase butiran lolos saringan #4, jika <50% maka klasifikasi tanah sebagai kerikil (*gravel*), sedangkan jika >50% maka klasifikasi tanah sebagai pasir (*sand*).

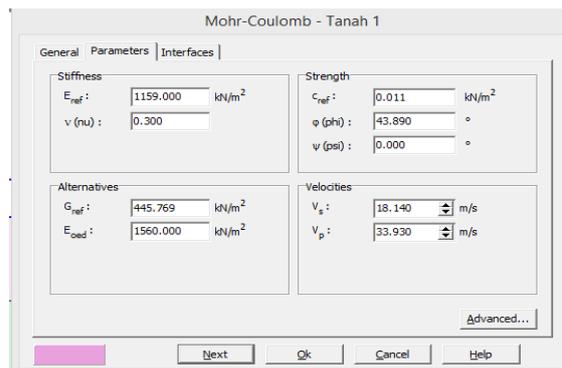
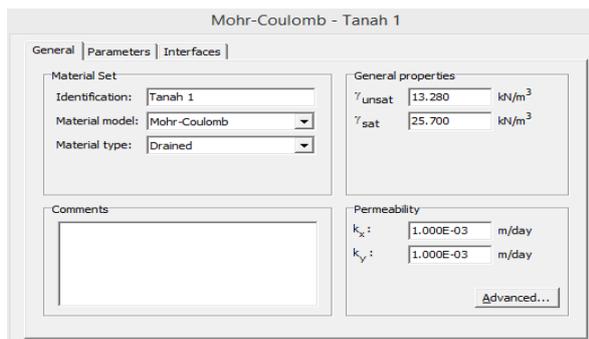
Jadi disimpulkan bahwa, sampel 2 yaitu memiliki tanah berbutir kasar dimana memperoleh presentase lolos ayakan no. 200 <50% dan masuk dalam kelompok pasir (*sand*) dimana memperoleh presentase lolos ayakan no. 4 >50%

NOMOR SARINGAN #	UKURAN LUBANG (mm)	BERAT TERTAHAN (gr)	PRESENTASI TERTAHAN (%)	PRESENTASI LOLOS (%)
4	4.760	0	0	100
0.075	8.98	7.809	5.887	0.075

### Menghitung Kestabilan Terowongan menggunakan program PLAXIS

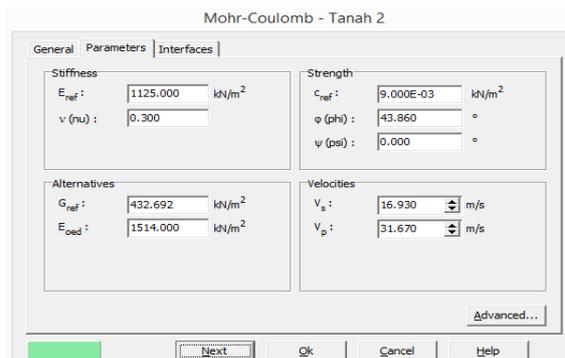
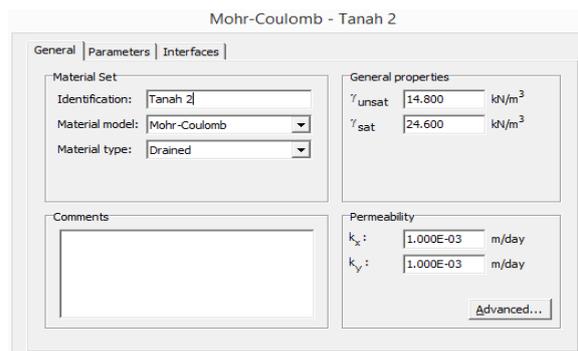
Untuk menganalisis kestabilan bukaan terowongan, digunakan bantuan program PLAXIS yang membutuhkan beberapa parameter. Tanah yang diambil dari lokasi penelitian (Terowongan Kawasan Green Hill, Malendeng-Manado) kemudian dibawa ke laboratorium Mekanika Tanah untuk diuji. Berikut ini beberapa data yang diperoleh dari hasil laboratorium dan dibutuhkan oleh penginputan data untuk program PLAXIS :

- Tanah A
  - $\gamma_{sat}$  : 25.7 KN/m<sup>3</sup>
  - $\gamma_{unsat}$  : 13.28 KN/m<sup>3</sup>
  - $K_{x,y}$  : 10E+3 m/day
  - $v$  : 0.1
  - $c$  : 0.011 KN/m<sup>2</sup>
  - $\phi$  : 43.89°



Gambar 5. Input Tanah A

- Tanah B
  - $\gamma_{sat}$  : 24.6 KN/m<sup>3</sup>
  - $\gamma_{unsat}$  : 14.8 KN/m<sup>3</sup>
  - $K_{x,y}$  : 10E+3 m/day
  - $v$  : 0,1
  - $c$  : 0.009 KN/m<sup>2</sup>
  - $\phi$  : 43.86°

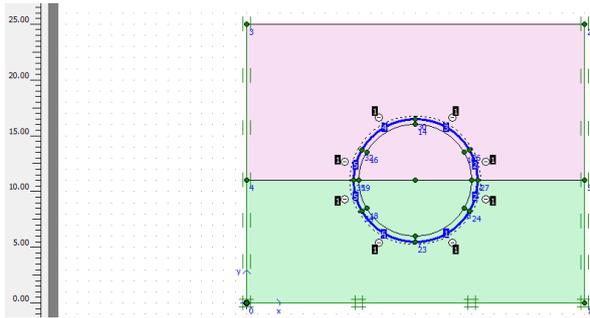


Gambar 6. Input Tanah B

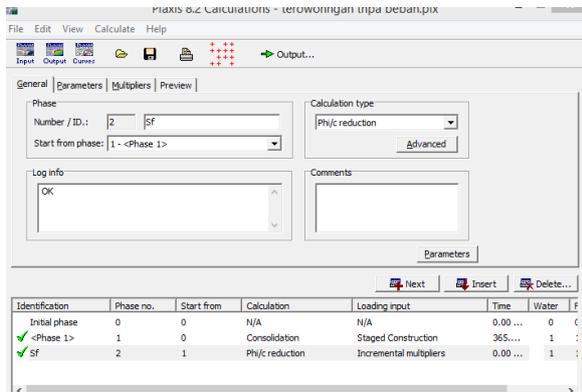
### Hasil-Hasil Perhitungan Plaxis v8.2

Berdasarkan dari data-data yang telah diketahui diatas, dan di masukan data-data tersebut kedalam program plaxis v8.2 maka diperoleh hasil sebagai berikut :

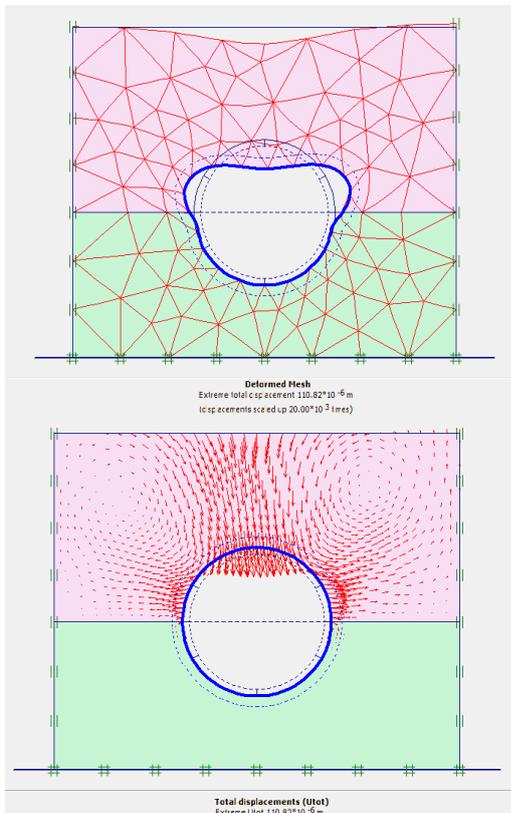
**A. Analisis Bukaan Terowongan Tanpa Beban**



Gambar 7. Pemodelan Tanah dan Bukaan Terowongan Tanpa Beban



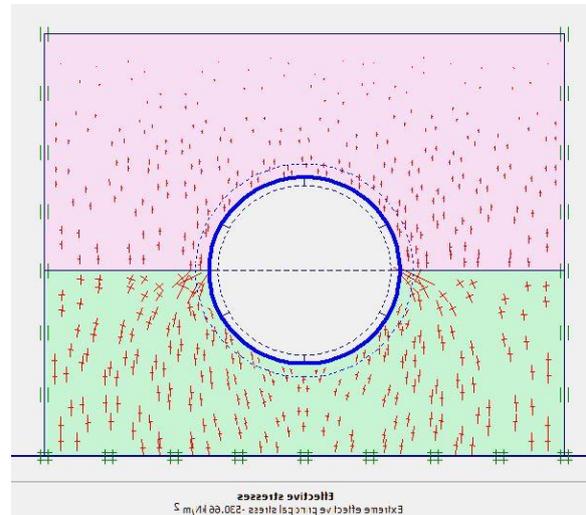
Gambar 8. Proses Perhitungan



Gambar 9. Output Perhitungan (a) (b) Total Displacements

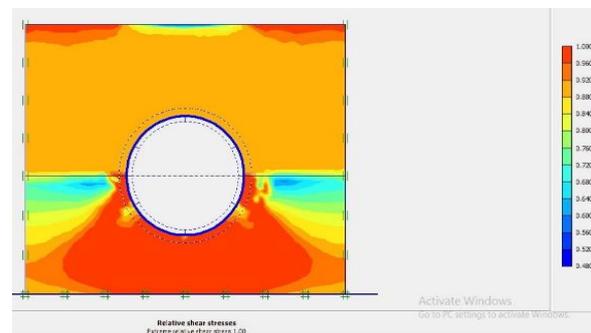
Gambar-gambar tersebut memperlihatkan adanya *Displacements* pada tanah di daerah sekitar bukaan terowongan. *Displacements* ini juga menjadi faktor yang menunjukkan adanya penurunan tanah, dan penurunan tersebut terjadi pada lapisan tanah diatas bukaan terowongan. Sesuai dengan Output yang dihasilkan oleh Program Plaxis, Penurunan Total pada tanah di sekitar bukaan terowongan tanpa beban adalah  $110.82 \times 10^{-6}$ m.

Berikut ini adalah gambar-gambar dari Output perhitungan yang juga dikeluarkan oleh program Plaxis, diantaranya sebagai berikut :



Gambar 10. Output Perhitungan *Effective Stresses*

Gambar ini menunjukkan Output perhitungan Tegangan Efektif dari dua lapisan tanah pada bukaan terowongan, dan sesuai dengan output yang dihasilkan oleh Program Plaxis, nilai Tegangan Efektif dua lapisan tanah pada bukaan terowongan tanpa beban adalah  $-530.66 \text{ kN/m}^2$

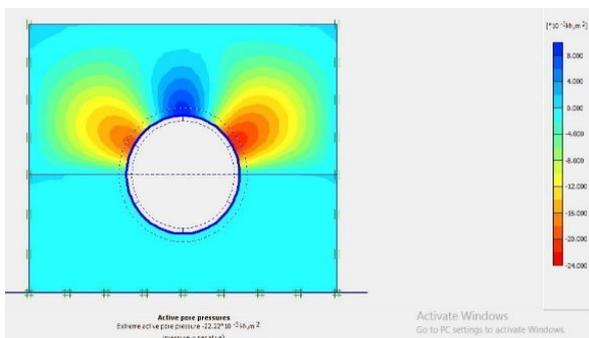
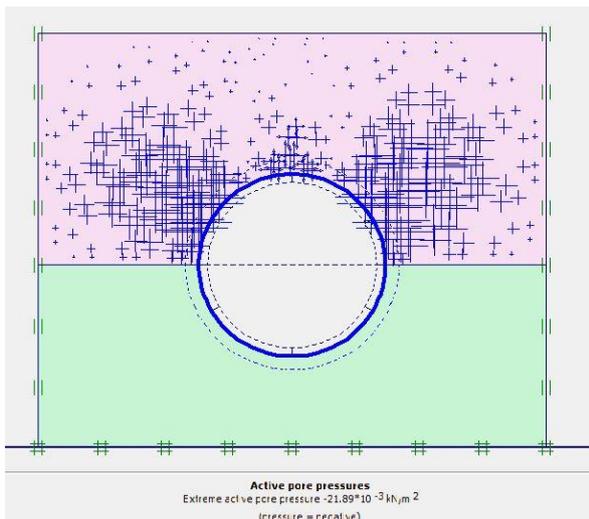


Gambar 11. Output Perhitungan *Relative shear stresses*

Gambar ini menunjukkan Output perhitungan Tegangan Geser Relatif dari dua lapisan tanah pada bukaan terowongan, dan sesuai dengan output yang dihasilkan oleh Program

Plaxis, Nilai Tegangan Geser Relatif dua lapisan tanah pada bukaan terowongan tanpa beban adalah 1.

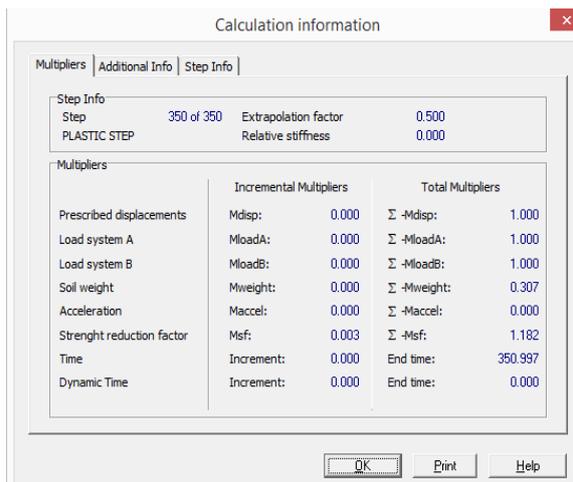
Warna-warna pada gambar ini menunjukkan Nilai Tegangan Geser Relatif sesuai dengan daerahnya masing-masing. Dimana nilai terendah dimulai dengan angka 0.40 dan ditandai dengan warna biru seterusnya sampai pada nilai terekstrim pada angka 1 yang ditandai dengan warna merah.



Gambar 12. Output Perhitungan (a) (b) Active Pore Pressures

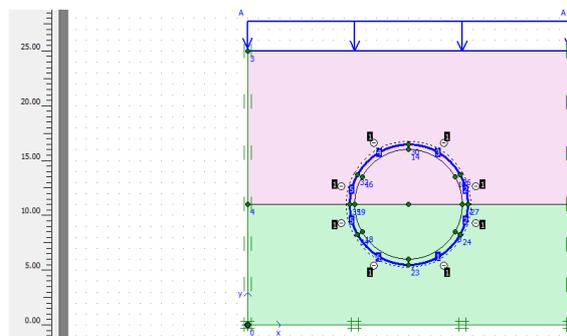
Kedua gambar ini menunjukkan Output perhitungan Tekanan Pori Aktif dari dua lapisan tanah pada bukaan terowongan, dan sesuai dengan output yang dihasilkan oleh Program Plaxis, Nilai Tekanan Pori Aktif dua lapisan tanah pada bukaan terowongan tanpa beban adalah  $-21.89 \times 10^{-3} \text{ Kn/m}^2$ .

Warna-warna pada gambar ini menunjukkan nilai Tekanan Pori Aktif sesuai dengan daerahnya masing-masing. Dimana nilai terendah dimulai dengan angka 8 dan ditandai dengan warna biru seterusnya sampai pada nilai terekstrim pada angka -24 yang ditandai dengan warna merah.

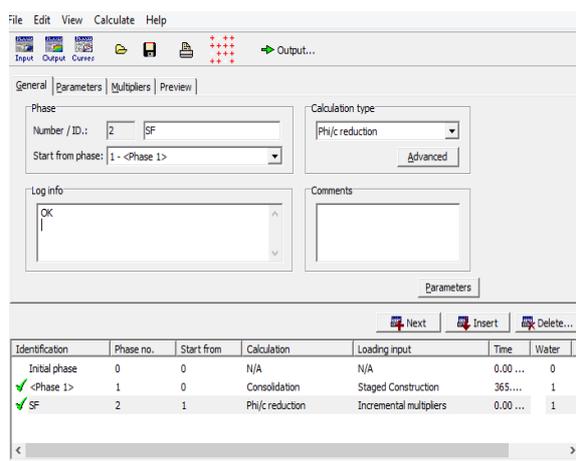


Gambar 13. Hasil Perhitungan

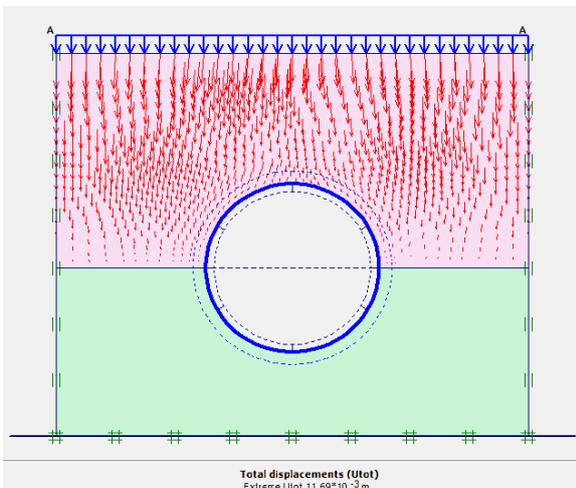
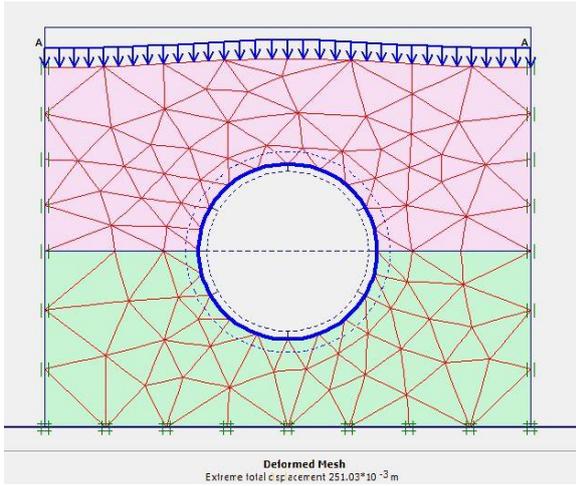
### B. Analisis Bukaan Terowongan Menggunakan Beban



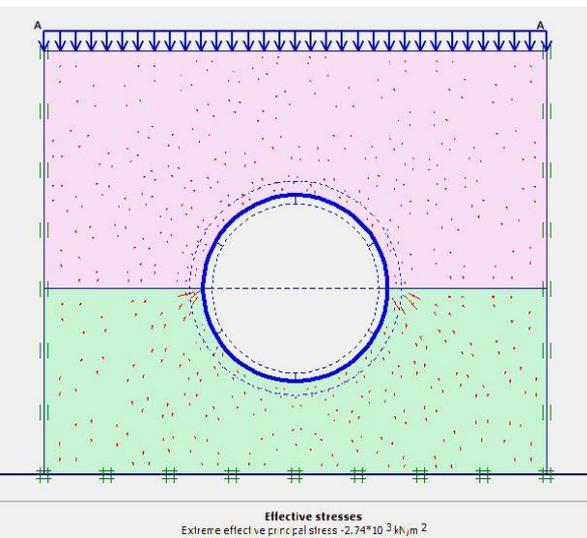
Gambar 14. Pemodelan Tanah Dan Bukaan Terowongan Dengan Menggunakan Beban Merata 100 kN/m<sup>2</sup>



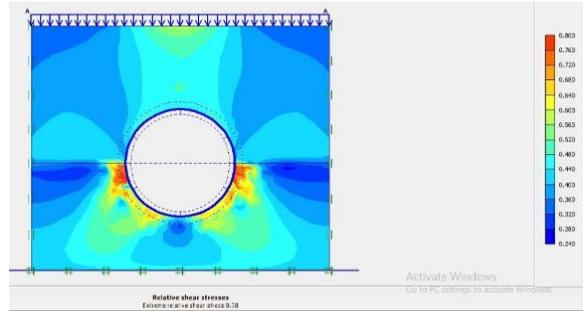
Gambar 15. Proses Perhitungan



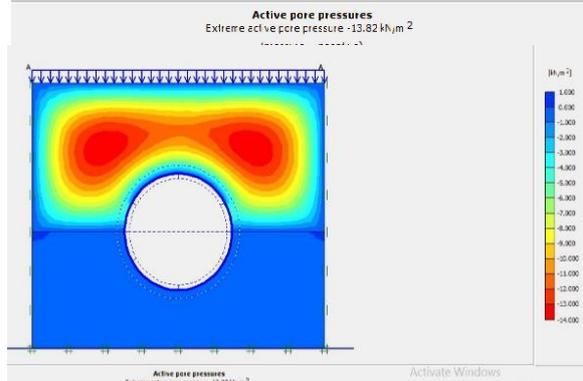
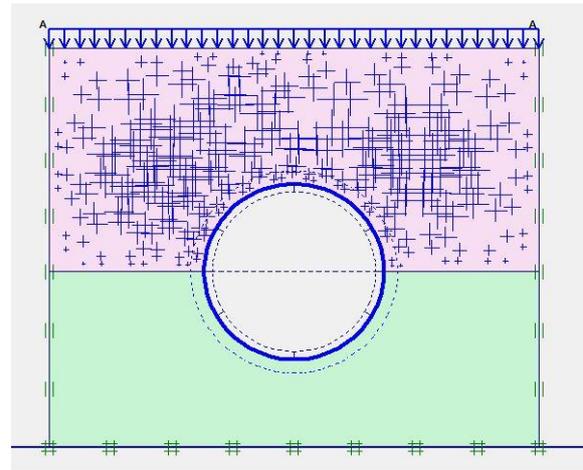
Gambar 16. Output Perhitungan (a) (b) *Total Displacements*



Gambar 17. Output Perhitungan *Effective Stresses*



Gambar 18. Output Perhitungan *Relative shear stresses*

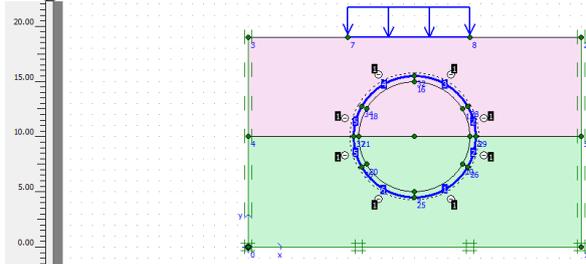


Gambar 19. Output Perhitungan (a) (b) *Active Pore Pressures*

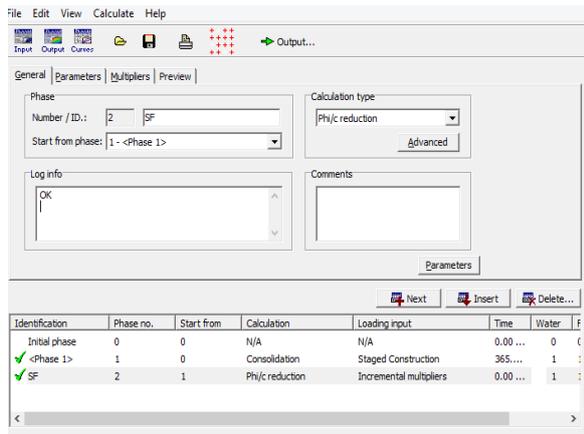
Calculation information			
Multipliers   Additional Info   Step Info			
Step Info		Step	350 of 350
Step		PLASTIC STEP	Extrapolation factor 0.500
			Relative stiffness 0.865
Multipliers			
	Incremental Multipliers	Total Multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp: 0.000	Σ -Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA: 0.000	Σ -MloadA:	1.000
Load system B	MloadB: 0.000	Σ -MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight: 0.000	Σ -Mweight:	0.307
Acceleration	Maccel: 0.000	Σ -Maccel:	0.000
Strenght reduction factor	Msf: 0.000	Σ -Msf:	0.635
Time	Increment: 0.000	End time:	179.809
Dynamic Time	Increment: 0.000	End time:	0.000

Gambar 20. Hasil Perhitungan

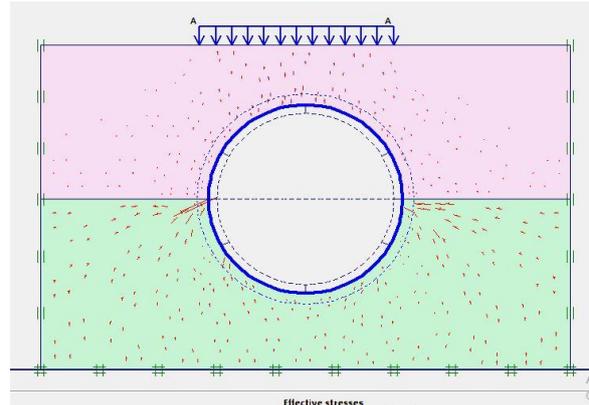
**C. Analisis Buakan Terowongan Menggunakan Beban**



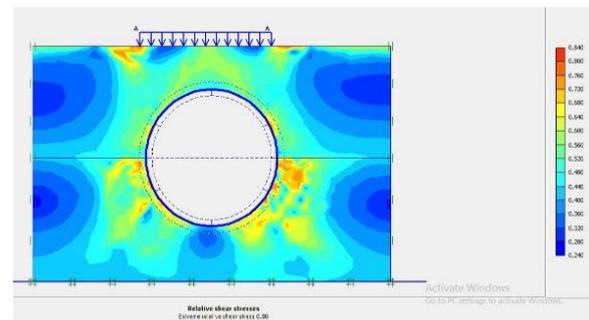
Gambar 21. Pemodelan Tanah Dan Buakan Terowongan Dengan Menggunakan Beban



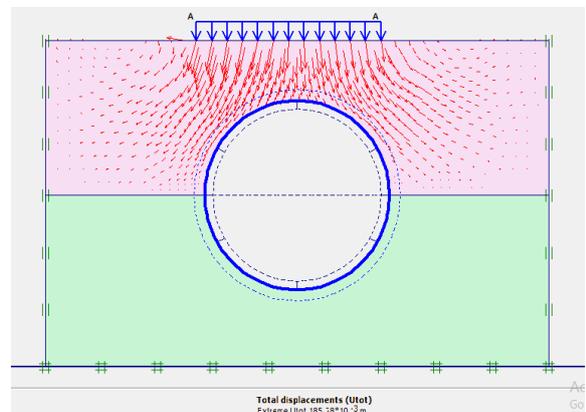
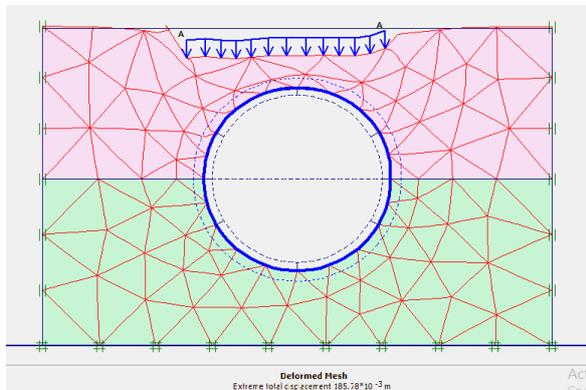
Gambar 22. Proses Perhitungan



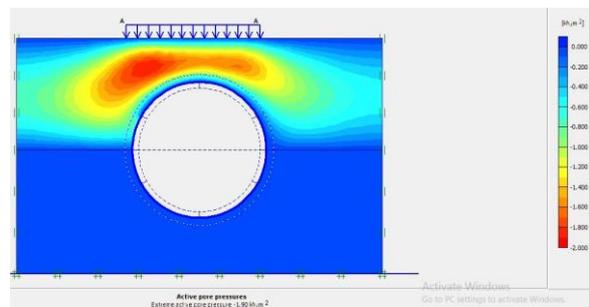
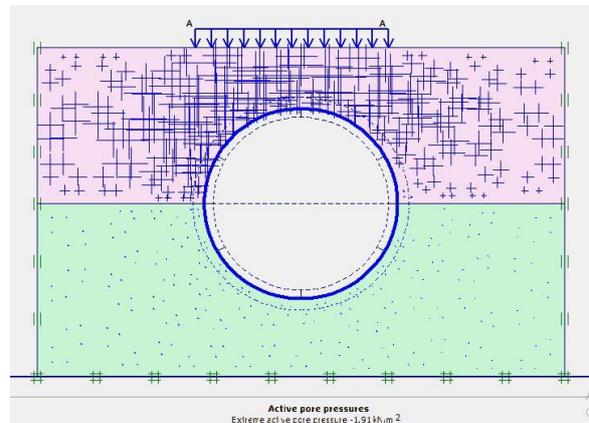
Gambar 24. Output Perhitungan *Effective Stresses*



Gambar 25. Output Perhitungan *Relative shear stresses*



Gambar 23. Output Perhitungan (a) (b) *Total Displacements*



Gambar 26. Output Perhitungan (a) (b) *Active Pore Pressures*

Calculation information

Multipliers		Additional Info		Step Info	
Step Info					
Step	350 of 350	Extrapolation factor	1.000		
PLASTIC STEP					
		Relative stiffness	0.879		
Multipliers					
		Incremental Multipliers		Total Multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ -Mdisp:	1.000	
Load system A	MloadA:	0.000	Σ -MloadA:	1.000	
Load system B	MloadB:	0.000	Σ -MloadB:	1.000	
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ -Mweight:	0.307	
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ -Maccel:	0.000	
Strenght reduction factor	Msf:	0.000	Σ -Msf:	0.596	
Time	Increment:	0.000	End time:	42.922	
Dynamic Time	Increment:	0.000	End time:	0.000	

Gambar 27. Hasil Perhitungan

## PENUTUP

### Kesimpulan

1. Tanah di daerah sekitar bukaan terowongan adalah tergolong dalam butir kasar, yaitu Pasir (lolos ayakan #200 < 50% dan lolos ayakan #4 > 50%) dimana lapisan tanah 1 adalah jenis tanah Pasir Berlempung (SC), dan tanah lapisan 2 adalah jenis tanah Pasir Berlanau (SP-SM)
2. Angka aman yang dihasilkan oleh Program Komputasi Plaxis untuk tanah di daerah

bukaan terowongan yang tidak dipengaruhi beban adalah sebesar 1.182, yang dipengaruhi beban 100kN adalah sebesar 0.926, dan yang dipengaruhi beban (jarak diameter terowongan) 100kn adalah sebesar 0.596

3. Penurunan yang dihasilkan oleh Program Komputasi Plaxis untuk tanah di daerah bukaan terowongan yang tidak dipengaruhi beban adalah sebesar  $110.82 \times 10^{-6}m$ , yang dipengaruhi beban 100kn adalah sebesar  $11.69 \times 10^{-3}m$ , dan yang dipengaruhi beban ( jarak diameter terowongan ) 100kN adalah sebesar  $185.78 \times 10^{-3}m$
4. Walaupun dalam Program Komputasi Plaxis tidak memperlihatkan perhitungan kestabilan, tetapi kita bisa melihat kondisi dan keadaan bukaan terowongan tanpa atau adanya beban dengan output-output yang dihasilkan oleh Program Komputasi Plaxis

### Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut, tentang proses pengerjaan pembuatan bukaan terowongan pada tanah lunak.
2. Untuk menghitung SF, penurunan dan kestabilan pada bukaan terowongan, plaxis belum memiliki tingkat keakuratan, dan hanya bersifat membantu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfredo Joseph Yulianto, *Studi Perilaku Terowongan Bor Di Bawah Fondasi Tiang Rakit Menggunakan Plaxis 8.6*, Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada
- Das. Braja. M. 1993, *Mekanika Tanah*, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ramadani, 2012. *Analisa Stabilitas dan Deformasi Tunnel Subway Ruas Bendungan Hilir – Dukuh Atas Menggunakan Plaxis 3D Tunnel*, Jakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pendidikan Indonesia
- Wahani, Ronny, 1999. *Analisa Lining Terowongan Pada Tanah Lunak Akibat Beban Gempa*, Manado: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.