

## PENGARUH MUKA AIR TANAH TERHADAP BUKAAN TEROWONGAN (STUDI KASUS: TEROWONGAN JALAN UTAMA RING ROAD)

Hariaty Kurnia Rares

Sjachrul Balamba, Jack H. Ticoh

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: [hariatyrares19@gmail.com](mailto:hariatyrares19@gmail.com)

### ABSTRAK

Pemanfaatan air untuk memenuhi kebutuhan sektor rumah tangga, industri dan jasa masih mengandalkan air tanah secara berlebihan dan hal ini menimbulkan dampak negatif terhadap sumber daya air tanah maupun lingkungan, salah satunya adalah penurunan muka air tanah. Tinggi rendahnya muka air tanah sangat berpengaruh terhadap bukaan terowongan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh apa saja yang ditimbulkan akibat tinggi rendahnya muka air tanah yang berada di lokasi yang dipersiapkan sebagai tempat yang akan dibangun bangunan terowongan. Aplikasi geoteknik yang digunakan dalam perhitungan yaitu aplikasi Plaxis v8.2 dengan mengetahui terlebih dahulu parameter-parameter tanah yang didapat dengan melakukan penelitian di laboratorium. Untuk sampel tanah diambil di lokasi penelitian pada kedalaman 50 cm. Selanjutnya dimodelkan kedalam program Plaxis v8.2 untuk mendapatkan tegangan efektif dan tegangan total tanah, perpindahan tanah baik perpindahan tanah total, Vertikal maupun horizontal, dan juga untuk mendapatkan nilai angka aman tanah dengan memvariasikan tinggi muka air tanah dalam 3 keadaan yaitu tinggi muka air tanah pada kedalaman 2 meter, 7 meter dan 12 meter di bawah permukaan tanah. Lokasi penelitian di Terowongan Jalan Utama Ring Road Manado. Hasilnya adalah sebagai berikut: Tinggi muka air pada kedalaman 2 meter dibawah permukaan tanah menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-494.90 \text{ kN/m}^2$ , tegangan total sebesar  $-633.12 \text{ kN/m}^2$ , perpindahan tanah total sebesar 0.02082 meter, perpindahan tanah horizontal sebesar 0.01802 meter, perpindahan tanah vertikal sebesar 0.02046 meter, dan factor keamanan tanah 0.054. Sedangkan tinggi muka air pada kedalaman 7 meter, menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-284.80 \text{ kN/m}^2$ , tegangan efektif sebesar  $-363.99 \text{ kN/m}^2$ , perpindahan sebesar 0.01481 meter, perpindahan tanah horizontal sebesar 0.01422 meter, perpindahan tanah vertikal sebesar 0.01472 meter dan factor keamanan tanah 0.801. Dan tinggi muka air pada kedalaman 12 meter, menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-249.76 \text{ kN/m}^2$ , tegangan efektif sebesar  $-278.95 \text{ kN/m}^2$ , perpindahan tanah total sebesar sebesar 0.01493 meter, perpindahan tanah horizontal sebesar sebesar 0.01417 meter, perpindahan tanah horizontal sebesar sebesar 0.01482 meter dan factor keamanan tanahnya 1.

Kata kunci : Terowongan, Plaxis v8.2, tegangan efektif, perpindahan, safety factor

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Di zaman yang semakin modern ini sarana transportasi baik udara, laut maupun darat semakin banyak karena sudah merupakan suatu kebutuhan untuk menunjang aktifitas masyarakat yang jumlahnya juga meningkat sangat signifikan setiap tahunnya. Sehingga mengharuskan adanya pembuatan sarana penunjang seperti jalan, rel kereta api, bandara dan juga terowongan. Dalam hal ini akan dikaji lebih mendalam mengenai terowongan.

Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan terowongan adalah tinggi renahnya permukaan air tanah. Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau bebatuan di bawah permukaan bumi. Tinggi muka air tanah setiap wilayah tentu berbeda-beda disesuaikan dengan kondisi di mana daerah tersebut berada. Tinggi rendahnya muka air tanah sangat berpengaruh pada konstruksi bangunan yang akan dibangun diatas tanah salah satunya adalah terowongan. Tinggi rendahnya air tanah berpengaruh terhadap tegangan efektif, perpindahan tanah dan nilai

factor keamanan tanah di sekitar bukaan terowongan.

### Rumusan Masalah

Tinggi atau rendahnya permukaan air dalam tanah merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan terowongan. Sehingga perlu diketahui pengaruh yang ditimbulkan akibat tinggi atau rendahnya muka air terutama terhadap tegangan efektif, perpindahan tanah dan nilai angka aman tanah. Untuk mengetahuinya maka kita perlu meninjau kondisi tanah dan parameter tanah pada daerah sekitar bukaan terowongan di jalan utama Ring Road. Selanjutnya dihitung dengan menggunakan program Plaxis v8.2.

### Batasan Masalah

Penelitian dilakukan dengan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel tanah pada 2 titik lokasi penelitian di terowongan yang terletak di jalan utama Ring Road
2. Pemeriksaan sifat-sifat fisik tanah di laboratorium
3. Menganalisis kestabilan dan pengaruh muka air tanah pada bukaan terowongan dengan menggunakan Program Plaxis v8.2.
4. Pemodelan Bentuk lining terowongan yang ditinjau adalah yang berbentuk lingkaran.
5. Tidak memperhitungkan faktor gempa
6. Terowongan Pada Tanah Lunak

### Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini untuk:

1. Mengetahui tegangan efektif dan tegangan total tanah yang terjadi disekitar bukaan terowongan dengan variasi tinggi muka air tanah.
2. Mengetahui Perpindahan Tanah / deformasi yang terjadi baik secara vertikal maupun horizontal dengan variasi tinggi muka air tanah.
3. Mengetahui Mengetahui nilai *Safety Factor* untuk kondisi tanah di sekitar bukaan terowongan dengan variasi tinggi muka air tanah.

### Manfaat Penulisan

Dengan adanya penulisan ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. Sebagai referensi untuk ilmu pengetahuan dibidang Geoteknik
2. Dapat menyimpulkan perbedaan terhadap tegangan efektif, deformasi tanah dan nilai

angka keamanan tanah dengan variasi tinggi muka air yang berbeda. Dalam hal ini, penulis melakukan penelitian dengan variasi tinggi muka air 2 meter, 7 meter dan 12 meter dibawah permukaan tanah.

## LANDASAN TEORI

### Tanah dalam teknik sipil

Tanah merupakan bahan bangunan yang berasal dari alam, berupa bumi ini, yang terdiri dari air, udara dan butir-butir tanah yang padat, dimana bagian yang berisi dengan air dan udara disebut dengan rongga atau pori. Perbandingan isi air dengan udara dalam pori ini menentukan kondisi tanah tersebut, yaitu apabila tanah tersebut kering, maka volume udara dalam pori lebih sedikit dibanding volume udara, maka tanah tersebut dikatakan basah. Apabila pori penuh diisi air, sehingga tidak ada udara di dalamnya, maka tanah dikatakan sebagai tanah jenuh.

Pandangan Teknik Sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya.

### Proses terjadinya tanah.

Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah.

Proses pembentukan tanah dari batuan induknya: proses fisik maupun proses kimia.

- a. Proses secara fisik : proses batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, dapat terjadi akibat adanya pengaruh erosi, angin, air, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel dapat berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk di antaranya.
- b. Proses secara kimia : proses pelapukan terjadi oleh pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain.

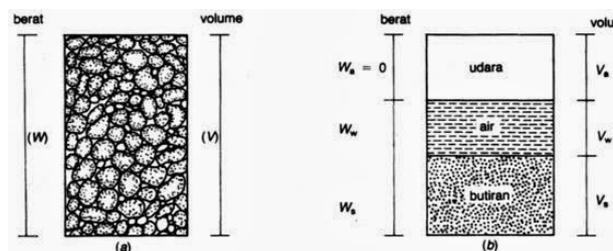
Dalam kondisi alam, kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar dari 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm.

**Fase tanah**

Secara umum, tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian, kemungkinan tersebut adalah:

- a) Tanah kering, hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara.
- b) Tanah jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori.
- c) Tanah tidak jenuh terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat atau butiran, pori-pori udara, dan air pori.

Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram fase tanah

Gambar 1(a) memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat total  $W$ , sedang Gambar 1(b) memperlihatkan hubungan berat dan volumenya. Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W_s + W_w \tag{1}$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \tag{2}$$

$$V_v = V_w + V_a \tag{3}$$

dengan :

- $W_s$  = berat butiran padat
- $V_s$  = volume butiran padat
- $V_w$  = volume air

**Klasifikasi tanah**

Klasifikasi tanah sangat diperlukan untuk memberikan gambaran sepintas mengenai sifat-sifat tanah didalam perencanaan dan pelaksanaan suatu konstruksi. Dalam mekanika tanah telah banyak dibuat metode pengklasifikasian sesuai dengan dasar yang dipakai untuk mendasari metode yang dibuat. Walaupun terdapat beberapa system pengklasifikasian tanah, tetapi tidak satupun dari system tersebut yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya.

**Klasifikasi Tanah Sistem USCS (Unified soil classification system)**

Sistem ini paling banyak digunakan pada hasil percobaan di laboratorium. USCS (*Unified Soil Classification System*) dikembangkan oleh Casagrande selama perang dunia ke 2. Nah pada tahun 1969 sistem ini diadopsi oleh ASTM sebagai metode klasifikasi tanah (ASTM D 2487).

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Coarse-Grained Soils:					USCS Symbol	USCS Name
% passing #200	% of C.F. passing #4	% passing #60				
>50%	>50%	0-5%	$c_u > 6$ and $1 < c_c < 3$ ?	yes	SW	Well-graded sand
				no	SP	Poorly-graded sand
					SP-SM	Poorly-graded sand with silt
					SP-SC	Poorly-graded sand with clay
					SW-SM	Well-graded sand with silt
					SW-SC	Well-graded sand with clay
					SC	Clayey sand
					SM	Silty sand
					GW	Well-graded gravel
					GP	Poorly-graded gravel
<50%	<50%	0-5%	$c_u > 4$ and $1 < c_c < 3$ ?	yes	GP-GM	Poorly-graded gravel with silt
				no	GP-GC	Poorly-graded gravel with clay
					GW-GM	Well-graded gravel with silt
					GW-GC	Well-graded gravel with clay
					GC	Clayey gravel
					GM	Silty gravel
					SC	Clayey sand
					SM	Silty sand
					GW	Well-graded gravel
					GP	Poorly-graded gravel

Sumber : Bowles

**Tegangan efektif tanah**

Tanah yang mengalami tekanan mengakibatkan angka pori berkurang dan merubah sifat-sifat mekanik tanah yang lain, seperti menambah tahanan geser. Tanah yang berada dalam air akan dipengaruhi oleh gaya hidrostatis. Berat tanah yang terendam disebut berat tanah efektif, dan tegangan yang terjadi disebut tegangan efektif. Tegangan efektif merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Penurunan muka air tanah akan menyebabkan kenaikan tegangan efektif pada tanah, dan apabila besarnya tegangan efektif melampaui tegangan yang diterima tanah sebelumnya maka tanah akan mengalami konsolidasi dan kompaksi yang mengakibatkan amblesan tanah pada daerah konsolidasi normal.

Prinsip tegangan efektif menurut Terzaghi hanya berlaku pada tanah yang jenuh sempurna, yaitu:

1. Tegangan normal total ( $\sigma$ ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan akibat berat tanah total termasuk air dalam ruang pori, per satuan luas yang arahnya tegak lurus.

2. Tekanan pori (**u**), disebut juga dengan tekanan netral yang bekerja ke segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang mengisi rongga di dalam butiran padat.
3. Tegangan normal efektif ( $\sigma'$ ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat butiran tanah per satuan luas bidangnya.

Tegangan yang bekerja pada tanah dapat dibagi menjadi:

- Tegangan Total  $\rightarrow \sigma$  [kN/m<sup>2</sup>]
- Tegangan Efektif  $\rightarrow \sigma'$  [kN/m<sup>2</sup>]
- Tegangan Netral / Tekanan Air  $\rightarrow u$  [kN/m<sup>2</sup>]

Hubungan dari ketiganya adalah:

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$\sigma = \gamma \cdot h, \text{ dan } u = \gamma_w \cdot h$$

dimana:

$$\gamma = \text{Berat Jenis tanah [kN/m}^3\text{]}$$

$$\gamma_w = \text{Berat Jenis air [kN/m}^3\text{]}$$

$$h = \text{tebal lapisan [m]}$$

### Pengertian terowongan

Terowongan adalah struktur bawah tanah yang mempunyai panjang lebih dari lebar penampang galiannya, dan mempunyai gradien memanjang kurang dari 15 %. Terowongan umumnya tertutup diseluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar.

### 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.

### Pengertian air tanah

Air tanah adalah semua air yang terdapat pada lapisan pengandung air (akuifer) di bawah permukaan tanah, termasuk mata air yang muncul di permukaan tanah. Peranan air tanah semakin lama semakin penting karena air tanah

menjadi sumber air utama untuk memenuhi kebutuhan pokok hajat hidup orang banyak, seperti air minum, rumah tangga, industri, irigasi, pertambangan, perkotaan dan lainnya, serta sudah menjadi komoditi ekonomis bahkan di beberapa tempat sudah menjadi komoditi strategis. Diperkirakan 70% kebutuhan air bersih penduduk dan 90% kebutuhan air industri berasal dari air tanah.

### 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.

## METODE PENELITIAN

### Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian diambil langsung dari lokasi penelitian yaitu terowongan jalan utama Ring Road Kota Manado, Sulawesi Utara pada kedalaman 50 cm dibawah permukaan tanah.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Sampel tanah diambil pada 2 titik berbeda. Sampel tanah yang diambil yaitu 2 jenis. Sampel tanah terganggu dan sampel tanah tidak terganggu. Untuk sampel tanah terganggu cara pengambilannya yaitu membersihkan terlebih dahulu daerah sekitar titik yang tanahnya akan diambil. Setelah itu gali tanah sampai kedalaman sekitar 50 cm. keruk tanah dan langsung dimasukkan kedalam karung. Dan untuk tanah tidak terganggu, diambil dengan cara menumbuk secara perlahan pipa berdiameter 3 inci sampai kedalaman kira-kira 30 cm lalu ditarik perlahan keluar bersama tanah dalam pipa.



Gambar 3. Lokasi penelitian sampel I



Gambar 4. Lokasi penelitian sampel II

### Analisis dengan Program Plaxis V8.2

Untuk menganalisis bukaan terowongan menggunakan Program Plaxis v8.2, akan mendapatkan hasil-hasil yang sesuai tujuan penelitian.

Standar yang digunakan dalam uji laboratorium adalah ASTM (*American Society for Testing Material*).

- a. Kadar air
- b. Berat jenis
- c. Distribusi ukuran butiran tanah
- d. Batas cair tanah
- e. Batas plastis dan indeks plastis tanah
- f. Pemadatan tanah
- g. Triaksial UU

Dalam melakukan analisa digunakan program plaxisv8.2 dengan pemodelan Mohr-Coloumb yang membutuhkan beberapa data seperti  $E$ ,  $\nu$ ,  $\phi$ ,  $c$ ,  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ ,  $k_x$ ,  $y$ . Nilai Young modulus ( $E$ ), Poison ratio ( $\nu$ ), Permeabilitas ( $k_x$ ,  $y$ ), dapat diketahui dengan mengetahui jenis tanah, nilai  $\phi$ ,  $c$  dengan triaxial UU,  $\gamma_{unsat}$  dengan melakukan percobaan pemadatan tanah,  $\gamma_{sat}$  dengan melakukan percobaan perhitungan berat jenis dengan rumus :  $\gamma_{sat} = W_s / V_s$

### Pemodelan material

Perilaku tanah dan batuan dibawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, diantaranya *Linearelastic model*, *MohrCoulomb 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 :

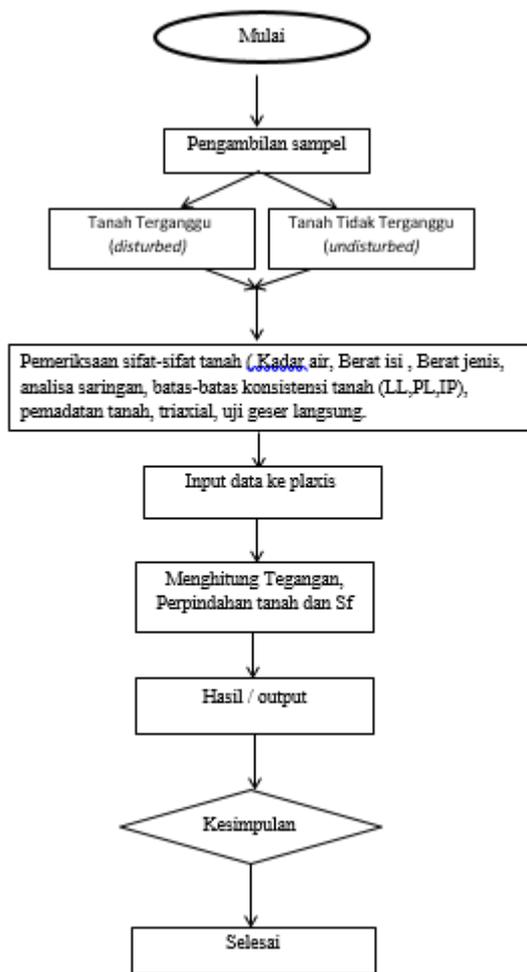
- Kohesi ( $c$ )
- Sudut geser dalam ( $\phi$ )
- Modulus Young ( $E_{ref}$ )
- *Poisson's ratio* ( $\nu$ )

### Tahap perhitungan Plaxis 8.2

Pada perhitungan dengan Plaxis 8.2 tahap-tahapnya adalah:

- *Plaxis input*
- *Plaxis calculation*
- *Plaxis output*

**Bagan Alir Penelitian**



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakteristik Tanah**

Hasil pengujian tanah di laboratorium di rangkum dalam tabel berikut :

Tabel 2. Hasil-Hasil Pengujian Tanah di Laboratorium

Karakteristik	Sampel 1	Sampel 2
Lolos Saringan 200	22,06 %	14,52 %
Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )	13 °	18,13 °
Kohesi $c$	0,52 KN/m <sup>2</sup>	0,11 KN/m <sup>2</sup>
$\gamma$ Sat	22.77 KN/m <sup>3</sup>	24.63 KN/m <sup>3</sup>
$\gamma$ Unsat	15.99 KN/m <sup>3</sup>	14.568 Kn/ m <sup>3</sup>

Sumber: Hasil Penelitian Hariaty Rares

**Pembahasan**

Klasifikasi tanah

Klasifikasi sampel I

Tabel 3. Persentase Jumlah Tertahan dan Lolos Saringan

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4,750	0,00	0	0,00	100,00
8	2,360	0,00	0	0,00	100,00
10	2,000	1,43	1,43	1,24	98,76
12	1,680	2,92	4,35	3,78	96,22
16	1,180	7,62	11,97	10,41	89,59
18	0,840	6,07	18,04	15,69	84,31
30	0,600	12,93	30,97	26,93	73,07
40	0,424	8,92	39,89	34,69	65,31
50	0,300	8,29	48,18	41,90	58,10
80	0,180	18,70	66,88	58,16	41,84
100	0,150	5,98	72,86	63,36	36,64
200	0,075	16,77	89,63	77,94	22,06
pan	-	25,37	115	100,00	0,00
		115			

Berdasarkan system USCS, ada 2 pembagian jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Tanah digolongkan dalam butiran kasar jika lebih dari 50% tertahan di atas saringan no. 200. Sementara itu tanah digolongkan berbutir halus jika lebih dari 50% lolos dari saringan no. 200.

Tabel 4. Klasifikasi tanah sampel 1

% passing #200	% of C.F. passing #4	% passing #200	USCS		USCS Name		
			Symbol	Classification			
<50%	>50%	0-5%	yes	SW	Well-graded sand		
			no	SP	Poorly-graded sand		
		5-12%	Dual classification	yes	SP-SM	Poorly-graded sand with silt	
				no	SP-SC	Poorly-graded sand with clay	
			12-50%	PI-0.73(LL-20)%?	yes	SW-SM	Well-graded sand with silt
					no	SW-SC	Well-graded sand with clay
	<50%	0-5%	yes	SC	Clayey sand		
			no	SM	Silty sand		
		5-12%	Dual classification	yes	GW	Well-graded gravel	
				no	GP	Poorly-graded gravel	
			12-50%	PI-0.73(LL-20)%?	yes	GP-GM	Poorly-graded gravel with silt
					no	GP-GC	Poorly-graded gravel with clay
12-50%	PI-0.73(LL-20)%?	yes	GW-GM	Well-graded gravel with silt			
		no	GW-GC	Well-graded gravel with clay			
			yes	GC	Clayey gravel		
			no	GM	Silty gravel		

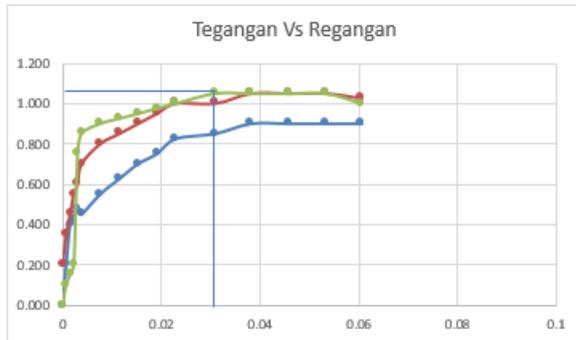
Oleh karena itu maka sampel tanah I termasuk tanah jenis **Silty Sand (SM)**. Karena Preesentase lolos saringan #200 < 50%, lolos saringan #4 > 50%, lolos Saringan #200 antara 12-50%, PI (7,072 %) < 0,73\*(LL-20) %.

Tabel 5. Hubungan antara jenis tanah dengan poisson ratio sampel 1

Jenis Tanah	Poisson Ratio ( $\mu$ )
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

Sumber: Daz, 2001

Untuk penetapan Poisson Ratio pada program Plaxis v.82 diambil nilai 0.1. Karena nilai Poisson Ratio 0.1 juga termasuk dalam nilai Poisson Ratio pada jenis tanah Silty Clay.



Gambar 5. Tegangan Vs regangan sampel 1

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas } E &= \tau_{50} * 50 / \epsilon \\ &= ( (1,05/2) * 50 ) / 0,031 \\ &= 846,77 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 83039,770 \text{ Kn/m}^2 \end{aligned}$$

Tabel 6. Hubungan antara jenis tanah dengan koefisien permeabilitas

JENIS TANAH	k (cm/det)	NAMA
Kerikil	$> 10^{-1}$	High permeability
kerikil halus/pasir	$10^{-1} - 10^{-3}$	Medium permeability
pasir sangat halus pasir lanau lanau tidak padat	$10^{-3} - 10^{-5}$	Low permeability
lanau padat lanau lempung lanau tidak murni	$10^{-5} - 10^{-7}$	Very low permeability
Lempung	$< 10^{-7}$	Impervious (rapatair)

Sumber: Santosa, 1998

Untuk koefisien permeabilitas, menggunakan  $k = 10^{-5}$  cm/det.

Klasifikasi Sampel 2

Tabel 7. Persentase jumlah tertahan dan lolos saringan

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4,750	0	0	0,00	100,00
8	2,360	0,00	0	0,00	100,00
10	2,000	5,28	5,28	4,59	95,41
12	1,680	7,40	12,68	11,03	88,97
16	1,180	16,32	29	25,22	74,78
18	0,840	8,89	37,89	32,95	67,05
30	0,600	18,15	56,04	48,73	51,27
40	0,424	11,03	67,07	58,32	41,68
50	0,300	2,64	69,71	60,62	39,38
80	0,180	15,34	85,05	73,96	26,04
100	0,150	4,14	89,19	77,56	22,44
200	0,075	9,11	98,3	85,48	14,52
pan	0	16,70	115	100,00	0,00

Berdasarkan system USCS, ada 2 pembagian jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Tanah digolongkan dalam butiran kasar jika lebih dari 50% tertahan di atas saringan no. 200. Sementara itu tanah digolongkan berbutir halus jika lebih dari 50% lolos dari saringan no. 200.

Tabel 8. Klasifikasi tanah sampel 2

Coarse-Grained Soil:				USCS Symbol	USCS Name	
>50%	0-5%	$c_u > 6$ and $1 < c_u < 3?$	yes	SW	Well-graded sand	
			no	SP	Poorly-graded sand	
	5-12%	Dual classification	yes	SP-SM	Poorly-graded sand with silt	
			no	SP-SC	Poorly-graded sand with clay	
			yes	SW-SM	Well-graded sand with silt	
			no	SW-SC	Well-graded sand with clay	
	12-50%	PI-0.73(LL-20)%?	yes	SC	Clayey sand	
			no	SM	Silty sand	
	<50%	0-5%	$c_u > 4$ and $1 < c_u < 3?$	yes	GW	Well-graded gravel
				no	GP	Poorly-graded gravel
5-12%		Dual classification	yes	GP-GM	Poorly-graded gravel with silt	
			no	GP-GC	Poorly-graded gravel with clay	
			yes	GW-GM	Well-graded gravel with silt	
			no	GW-GC	Well-graded gravel with clay	
12-50%		PI-0.73(LL-20)%?	yes	GC	Clayey gravel	
			no	GM	Silty gravel	

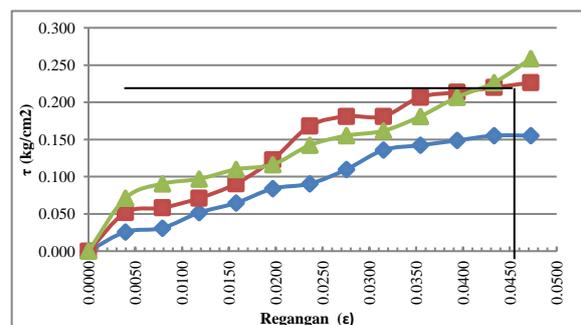
Oleh karena itu maka sampel tanah I termasuk tanah jenis **Silty Sand**. Karena Persentase lolos saringan #200  $< 50\%$ , lolos saringan #4  $> 50\%$ , lolos Saringan #200 antara 12-50%, PI (7.146 %)  $> 0,73 * (LL-20) \%$ .

Tabel 9. Hubungan antara jenis tanah dengan poisson ratio sampel 2

Jenis Tanah	Poisson Ratio ( $\mu$ )
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

Sumber : Das, 2001

Untuk penetapan Poisson Ratio pada program Plaxis v.82 diambil nilai 0.1. Karena nilai Poisson Ratio 0.1 juga termasuk dalam nilai Poisson Ratio pada jenis tanah Lempung Berpasir.



Gambar 6. Tegangan Vs regangan Sampel 2

Modulus Elastisitas

$$E = \tau_{50} * 50 / \epsilon$$

$$= ((0.252/2) * 50) / 0.0475$$

$$E = 132.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 13006,560 \text{ Kn/m}^2$$

Tabel 10. Hubungan Antara Jenis Tanah dengan Koefisien Permeabilitas Sampel 2

JENIS TANAH	k (cm/det)	NAMA
Kerikil	$> 10^{-1}$	High permeability
kerikil halus/pasir	$10^{-1} - 10^{-3}$	Medium permeability
<b>pasir sangat halus</b> <b>pasir lanau</b> <b>lanau tidak padat</b>	$10^{-3} - 10^{-5}$	Low permeability
lanau padat lanau lempung lanau tidak murni	$10^{-5} - 10^{-7}$	Very low permeability
Lempung	$< 10^{-7}$	Impervious (rapat air)

Sumber : Santosa, 1998

Untuk koefisien permeabilitas dipilih  $10^{-5}$  cm/det.

### Menghitung Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Bukaan Terowongan

Untuk menganalisis kestabilan bukaan terowongan, digunakan bantuan program PLAXIS yang membutuhkan beberapa parameter. Tanah yang diambil dari lokasi penelitian (Terowongan Jalan Utama Ring-Road 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 1

$$\gamma_{sat} : 22.771 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{unsat} : 14.1 \text{ KN/m}^3$$

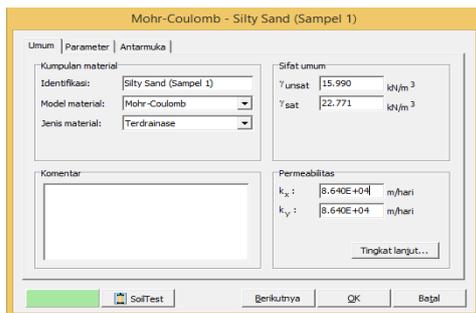
$$K_{x,y} : 10^{-5} \text{ cm/det} = 86400 \text{ m/hari}$$

$$v : 0.1$$

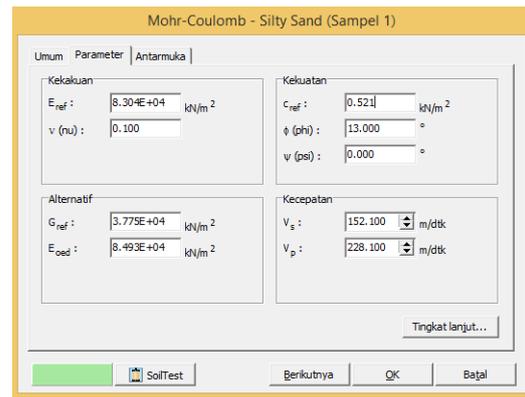
$$c : 0,5207 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi : 13^\circ$$

$$E : 83039,770 \text{ Kn/m}^2$$



Gambar 7. Tampilan umum input data pada program plaxis untuk sampel 1



Gambar 8. Tampilan input data parameter tanah untuk sampel 1

- Tanah 2

$$\gamma_{sat} : 31,528 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{unsat} : 14,519 \text{ KN/m}^3$$

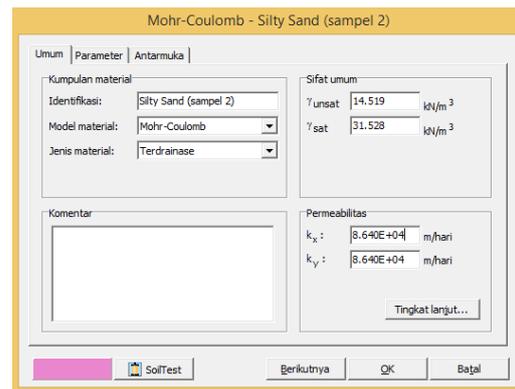
$$K_{x,y} : 10^{-5} \text{ cm/det} = 86400 \text{ m/hari}$$

$$v : 0.1$$

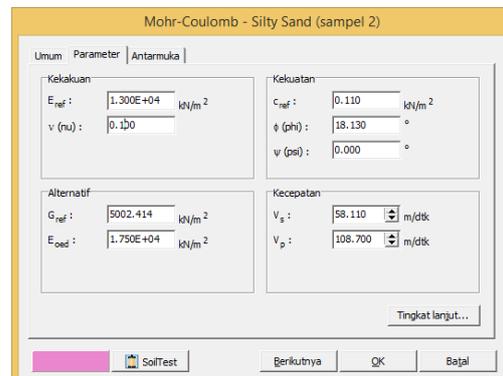
$$c : 0,110 \text{ KN/m}^2$$

$$E : 13006,5599 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi : 18,13^\circ$$



Gambar 9 Tampilan umum input data pada program plaxis untuk sampel 2

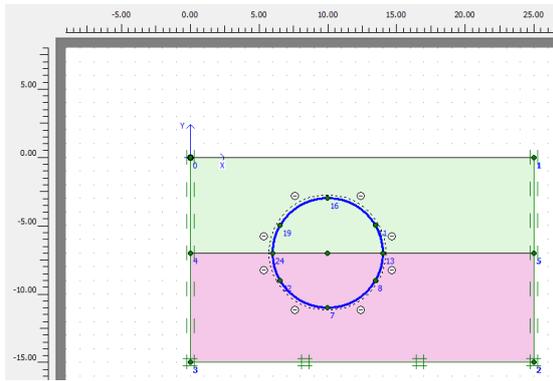


Gambar 10. Tampilan input data parameter tanah untuk sampel 2

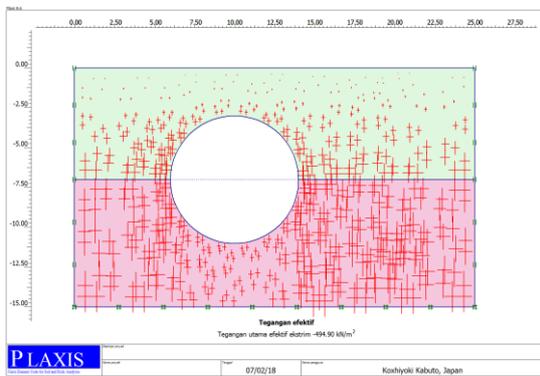
### Hasil Perhitungan

Berdasarkan dari data-data yang telah diketahui diatas, dan dimasukkan data-data

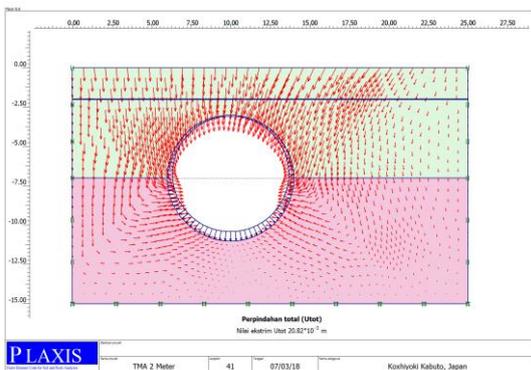
tersebut kedalam program plaxis v8.2 maka diperoleh hasil sebagai berikut:



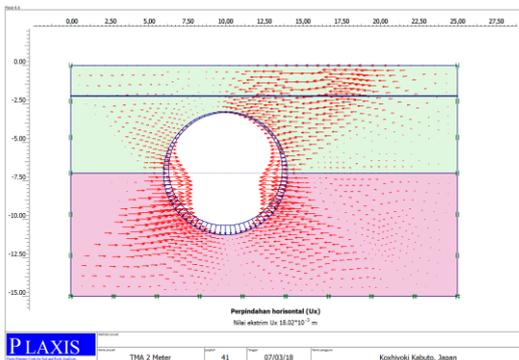
Gambar 11. Pemodelan tanah dan bukaan terowongan



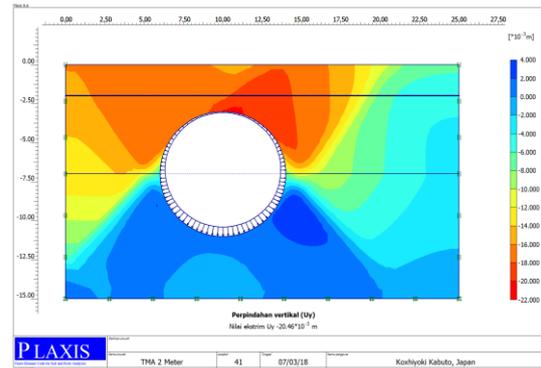
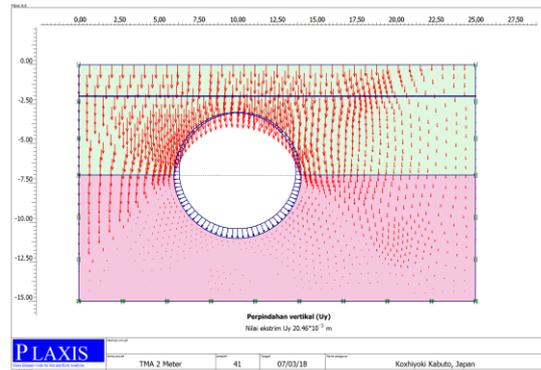
Gambar 12. Tegangan efektif



Gambar 13. Perpindahan total



Gambar 14. Perpindahan horizontal



Gambar 15. Perpindahan vertikal

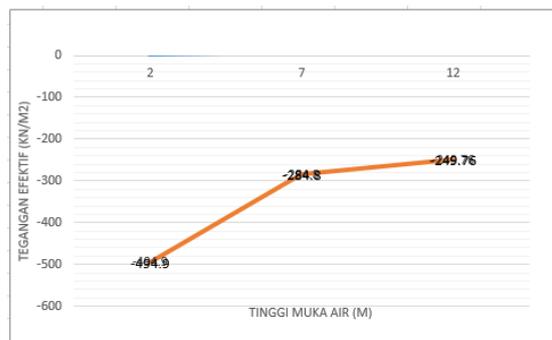


Gambar 16. Angka keamanan tanah

### Rekapitulasi Hasil

Rekapitulasi pengaruh muka air tanah pada bukaan terowongan

1. Tegangan efektif tanah dipengaruhi oleh tinggi muka air tanah.



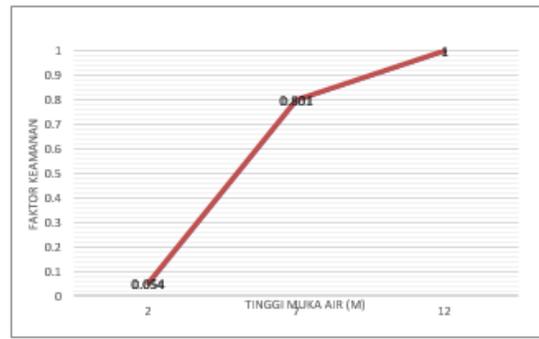
Gambar 17. Tegangan efektif Vs Tinggi muka air

2. Tegangan Total



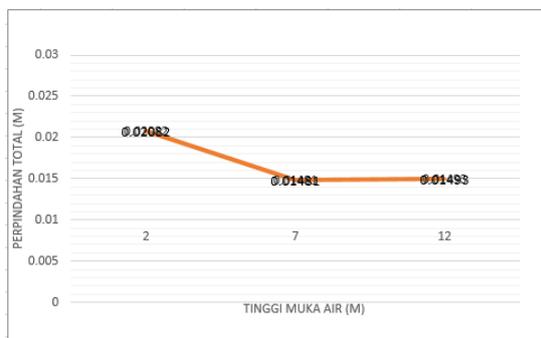
Gambar 18. Tegangan total vs tinggi muka air

6. Faktor keamanan



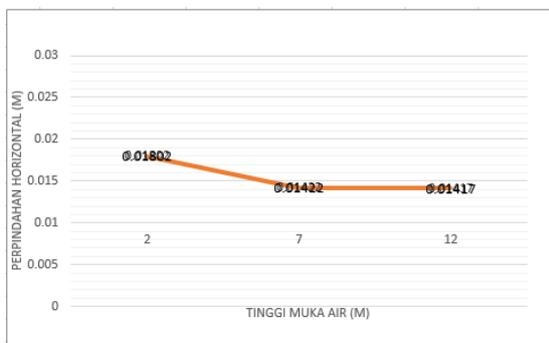
Gambar 22. Faktor keamanan vs tinggi muka air

3. Perpindahan Total



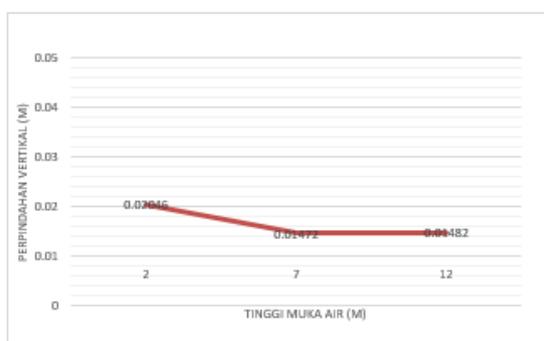
Gambar 19. Perpindahan total vs tinggi muka air

4. Perpindahan Horizontal



Gambar 20. Perpindahan horizontal vs tinggi muka air

5. Perpindahan Vertikal



Gambar 21. Perpindahan vertikal vs tinggi muka air

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Tegangan
2. Tinggi muka air pada kedalaman 2 meter dibawah permukaan tanah menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-494.90 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan tinggi muka air pada kedalaman 7 meter, menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-284.80 \text{ kN/m}^2$ . Dan tinggi muka air pada kedalaman 12 meter, menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-249.76 \text{ kN/m}^2$ . Tinggi muka air pada kedalaman 2 meter dibawah permukaan tanah menghasilkan tegangan total sebesar  $-633.12 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan tinggi muka air pada kedalaman 7 meter, menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-363.99 \text{ kN/m}^2$ . Dan tinggi muka air pada kedalaman 12 meter, menghasilkan tegangan efektif sebesar  $-278.95 \text{ kN/m}^2$ .
3. Perpindahan
  - Tinggi muka air pada kedalaman 2 meter dibawah permukaan tanah menghasilkan perpindahan tanah total sebesar 0.02082 meter. Sedangkan tinggi muka air pada kedalaman 7 meter, mengakibatkan perpindahan sebesar 0.01481 meter. Dan tinggi muka air pada kedalaman 12 meter, mengakibatkan perpindahan tanah sebesar 0.01493 meter
  - Tinggi muka air pada kedalaman 2 meter dibawah permukaan tanah menghasilkan perpindahan tanah horizontal sebesar 0.01802 meter. Sedangkan tinggi muka air pada kedalaman 7 meter, mengakibatkan perpindahan tanah horizontal sebesar 0.01422 meter. Dan tinggi muka air pada kedalaman 12 meter, mengakibatkan

perpindahan tanah horizontal sebesar sebesar 0.01417 meter.

- Tinggi muka air pada kedalaman 2 meter dibawah permukaan tanah menghasilkan perpindahan tanah vertical sebesar 0.02046 meter. Sedangkan tinggi muka air pada kedalaman 7 meter, mengakibatkan perpindahan tanah vertical sebesar 0.01472 meter. Dan tinggi muka air pada kedalaman 12 meter, mengakibatkan perpindahan tanah horizontal sebesar sebesar 0.01482 meter .
4. Faktor keamanan  
Tinggi muka air pada kedalaman 2 meter dibawah permukaan tanah factor keamanan tanahnya yaitu 0.054. Sedangkan tinggi muka air pada kedalaman 7 meter, factor keamanan tanahnya yaitu 0.801 meter. Dan tinggi muka air pada kedalaman 12 meter, factor keamanan tanahnya yaitu 1 meter.

#### Saran

1. Ketika merencanakan suatu pekerjaan teknik sipil terlebih khusus bangunan terowongan, harus terlebih dahulu dilakukan uji tanah untuk mengetahui keadaan tanah yang hendak dibangun terowongan. Agar dapat perencanaan bangunan yang cocok dengan keadaan tanah dilokasi. Termasuk tinggi-rendahnya muka air tanah. Mengingat tinggi-rendahnya muka air tanah sangat berpengaruh terhadap bukaan terowongan dan angka keamanan tanah.
2. Dalam perhitungan pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Bukaan Terowongan dengan Program Geoteknik Khususnya Plaxis V.8.2, hendaknya dilakukan dengan sangat teliti dan memperhatikan langkah-langkah penggunaan program yang benar agar dapat diperoleh nilai-nilai yang benar.

#### DAFTAR PUSTAKA

Budi Santosa Budi, 1998. *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*.

Das B. M.2001. *Principles Of Foundation Engineering*. Global engineering. Satmford

Hardiyatmo H .C., 2012. *Mekanika Tanah 1*. Bandung. Gadjah Mada University Press

Hardiyatmo H. C., 2010. *Mekanika Tanah 2*. Bandung. Gadjah Mada University Press

Rai Made Astawa, 1988. *Teknik Terowongan*

Rori, S. V., 2017. *Analisis Tanah pada Bukaan Terowongan*. Jurnal Sipil Statik, Vol 5 No.6 (91-95) ISSN: 2337-6732.

Terzaghi dan Peck, 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*, Jilid 1 Edisi ke-2, Penerbit Erlangga Jakarta.

Wahani Roni,1999. *Analisis Lining Terowongan pada Tanah Lunak Akibat Beban Gempa*. Manado, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.

Halaman ini sengaja dikosongkan