



## **PROPOSAL TUGAS AKHIR – VC 181819**

# **ANALISA STABILITAS TUNNEL MRT-JAKARTA CP105-4 (STA 12+699 – STA 12+900) DENGAN PROGRAM BANTU PLAXIS 2D DAN GEO 5**

Disusun Oleh:  
Dhia Khalis Aditya  
NRP. 10111610013003

Dosen Pembimbing  
Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19740626 200312 1 001

PROGRAM SARJANA TERAPAN  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020



## **TUGAS AKHIR TERAPAN – VC 181819**

**ANALISA STABILITAS TUNNEL MRT- JAKARTA (CP105-4)**

**STA 12+699 – STA 12+900**

**DENGAN PROGRAM BANTU PLAXIS 2D DAN GEOS**

**Disusun Oleh:**

Dhia Khalis Aditya

NRP. 10111610013003

Dosen Pembimbing

Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D.

NIP. 19740626 200312 1 001

**PROGRAM SARJANA TERAPAN**  
**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL**  
**FAKULTAS VOKASI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA 2020**

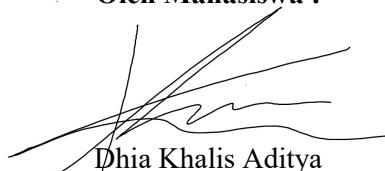
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISA STABILITAS TUNNEL MRT - JAKARTA (CP105-4)**  
**STA 12+699 – STA 12+900**  
**DENGAN PROGRAM BANTU PLAXIS 2D DAN GEO 5**

**TUGAS AKHIR TERAPAN**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Terapan  
Pada  
Program Studi Diploma 4 Teknik Sipil  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 21 Agustus 2020

**Oleh Mahasiswa :**



Dhia Khalis Aditya

NRP. 10111610013003

Disetujui Oleh:  
**Dosen Pembimbing**



**ANALISA STABILITAS TUNNEL MRT  
CP 105-4 (STA 12+699 – STA 12+900)  
DENGAN BANTUAN SOFTWARE PLAXIS DAN GEO 5**

Nama Mahasiswa : Dhia Khalis Aditya  
NRP : 10111610013003  
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS  
Dosen Pembimbing : Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D.  
NIP : 19740626 200312 1 001

**ABSTRAK**

Sebagai kota besar, DKI Jakarta banyak mengalami permasalahan, mulai dari pertumbuhan yang tinggi, kesenjangan sosial, hingga kurangnya sarana dan prasarana yang menunjang pembangunan. Kemacetan termasuk salah satu masalah yang harus segera diselesaikan di DKI Jakarta. Kebutuhan akan transportasi umum di Kota Jakarta menuntut pemerintah untuk mengembangkan sistem transportasi masal yang cepat, aman dan murah. Pembangunan angkutan cepat terpadu atau *Mass Rapid Transit* (Moda Raya Terpadu) merupakan solusi yang dipilih untuk menangani kemacetan di DKI Jakarta. Beberapa struktur bangunan pada MRT ini berupa struktur bawah tanah, yaitu berupa terowongan persegi dan terowongan lingkaran. Struktur bawah tanah bersifat unik dan berbeda bila dibandingkan dengan struktur yang berada di atas tanah terkait dengan beban dan kondisi seismiknya. Penelitian ini dilakukan pada struktur Stasiun MRT Senayan yang merupakan struktur terowongan persegi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis keruntuhan dan mengetahui gaya gaya yang menekan struktur *tunnel* saat pekerjaan pengeboran *tunnel* MRT dilakukan. Deformasi di sekitar struktur *tunnel* dan pada struktur *tunnel* pun ditinjau saat pelaksanaan tahap konstruksi dilakukan. Begitu pula *settlement* dan gaya *uplift* akibat pengeboran saat proyek berlangsung.

Penelitian dilakukan dengan pengumpulan data milik kontraktor, perhitungan beban-beban yang bekerja, penentuan kondisi batas, dan analisis struktur tanah. Analisis dilakukan menggunakan program

bantu Plaxis untuk mendapatkan gaya-gaya dalam pada elemen tanah dan perhitungan stabilitas terowongan menggunakan metode analisa batas. Untuk CP 105 terdapat empat section, section yang ditinjau penulis untuk proyek akhir ini adalah MRT CP 105 – 4.

**Keyword :** (*TBM* , *TUNNEL*, *MRT-J*, *PLAXIS*, *MRT JAKARTA*, *VOLUME LOSS*, *DEFLECTION*, *LINING*, *UPLIFT*)

***STABILITY ANALYSIS OF TUNNEL MRT-J***  
**CP 105-4 (STA 12+699 – STA 12+900)**  
**WITH PLAXIS 2D DAN GEO 5 SPFTWARE**

Name	:	Dhia Khalis Aditya
NRP	:	10111610013003
Department	:	Bachelor Of Applied Engineering Department Of Civil
Supervisor	:	Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D.
NIP	:	19740626 200312 1 001

**ABSTRACT**

As a big city, DKI Jakarta experiences many problems, ranging from high growth, social inequality, to the lack of facilities and infrastructure that support development. Congestion is one of the problems that must be resolved immediately in DKI Jakarta. The need for public transportation in the city of Jakarta requires the government to develop a mass transportation system that is fast, safe and inexpensive. The development of integrated rapid transit or Mass Rapid Transit (Moda Raya Integrated) is the solution chosen to deal with congestion in DKI Jakarta. Some of the building structures in the MRT are underground structures, which are square and circular tunnels. Underground structures are unique and different when compared to structures above the ground related to their seismic loads and conditions. This research was conducted at the Senayan MRT Station structure which is a square tunnel structure. This study aims to analyze the collapse and determine the forces that suppress the tunnel structure when the MRT tunnel drilling work is carried out. Deformation around the tunnel structure and on the tunnel structure is also reviewed when the construction phase is carried out. Likewise, settlement and uplift force due to drilling during the project.

The study was conducted by collecting contractor's data, calculating work loads, determining boundary conditions, and analyzing soil structure. The analysis was performed using the Plaxis assist program to obtain internal forces on the soil elements and the

calculation of tunnel stability using the boundary analysis method. For CP 105 there are four sections, the section reviewed by the author for this final project is the CP 105 MRT.

**Keyword : (TBM , TUNNEL, MRT-J, PLAXIS, MRT JAKARTA, VOLUME LOSS, DEFLECTION, LINING, UPLIFT**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusunan Proposal Tugas Akhir Terapan dapat terselesaikan dengan baik.

Melalui tugas akhir ini, penulis dapat mengajukan judul dan literatur untuk penyusunan tugas akhir sebagai syarat kelulusan bagi mahasiswa Program Studi Diploma 4, Teknik Infrastruktur Sipl, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam pembuatan proposal ini , data-data yang diperoleh penulis adalah melalui data sekunder yang diperoleh langsung dari pihak proyek. Dalam penyusunan proposal tugas akhir ini, penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, antara lain :

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran, petunjuk dan hikmah dalam menyelesaikan tugas akhir terapan ini
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tiada henti
3. Bapak Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV ITS Surabaya
4. Bapak Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D. sebagai dosen pembimbing proyek akhir terapan yang memberikan banyak bantuan, saran dan kritik selama penyusunan proyek akhir
5. Bapak dan Ibu dosen Program Diploma yang telah membantu serta membimbing dalam proses perkuliahan selama ini
6. Keluarga serta rekan - rekan penulis
7. PT. MRT Jakarta yang telah membantu memberikan data untuk tugas akhir ini
8. Rekan-rekan KMM yang telah memberikan dukungan dan pengalaman berharga
9. DS37 2016 selaku angkatan saya yang selalu memberikan dukungan dan selalu menemani saya selama penyusunan proyek akhir
10. Serta pihak-pihak lainnya yang belum disebutkan oleh penulis

Penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari pihak pembaca sebagai masukan agar penyusunan tugas akhir nantinya dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai harapan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa lainnya dan dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 20 Agustus 2020

Penulis

## **DAFTAR ISI**

BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Terowongan.....	4
2.1.1 Klasifikasi Terowongan.....	4
2.1.2 Berdasarkan Lokasi Terowongan .....	5
2.2 Tunnel Boring Machine.....	6
2.2.1 Slurry Shield Boring Machine .....	7
2.2.2 EPB Shield Boring Machine.....	7
2.2.3 Spesifikasi TBM MRT .....	8
2.3 Proses Kerja TBM .....	8
2.3.1 Pemberangkatan <i>Shaft</i> .....	8
2.3.2 Pembuatan <i>Shaft</i> dan Perakitan TBM.....	9
2.3.3 Penggerusan Tanah.....	11
2.3.4 Pemasangan Segment <i>Lining</i> .....	12
2.3.5 Grouting.....	14
2.4 Tanah dan Sifat-sifatnya .....	14
2.4.1 Klasifikasi Tanah Unified.....	15

2.4.2 Korelasi Cu dengan N-SPT .....	16
2.4.3 Modulus Young .....	16
2.4.4 Koefisien Tekanan Tanah Diam ( $K_0$ ) .....	17
2.5 Keruntuhan Mohr-Coulomb .....	17
2.6 <i>Lining</i> Terowongan .....	19
2.7 Pembebaan Terowongan .....	20
2.6.1 Tekanan tanah vertikal dan horizontal.....	20
2.6.2 Beban Tambahan (Shurcharge) .....	22
2.6.3 Beban Mati.....	22
2.6.4 Beban Gempa.....	22
2.6.5 Grouting.....	23
2.8 Plaxis 2D v20 .....	24
2.7.1 Model Geometri.....	24
2.7.2 Program Masukan.....	25
2.7.3 Permodelan Geometri Tanah .....	25
2.7.4 Permodelan Struktur .....	29
2.7.5 Permodelan Jaring Elemen .....	30
2.7.6 Permodelan Kondisi Muka Air .....	30
2.7.7 Tahap Konstruksi Struktur dan Perhitungan.....	31
2.9 Geo 5 .....	31
2.9.1 Tab Pengaturan .....	32
2.9.2 Permodelan Struktur <i>Lining</i> .....	32
2.9.3 Model Geometri Tanah ( <i>Interface</i> ).....	33
2.9.4 Lokasi Kedalaman Struktur .....	34
2.9.5 Model Tanah.....	34

2.9.6 Model Muka Air Tanah .....	35
2.9.7 Model Perletakan .....	35
2.9.8 Permodelan Beban .....	36
2.10 Kriteria Desain.....	36
2.10.1 Gaya <i>Uplift</i> (Buoyancy).....	36
2.10.2 Pengaruh Muka Air Tanah .....	37
2.10.3 Volume <i>Loss</i> .....	38
2.10.4 Deformasi .....	39
2.10.5 Pertimbangan Perencanaan Terowongan.....	41
BAB III METODE PENELITIAN .....	44
3.1 Prosedur Penelitian .....	44
3.2 Studi Literatur.....	45
3.3 Data Penelitian.....	46
3.4 Prosedur Analisis Data .....	46
BAB IV ANALISA DATA DAN PERMODELAN .....	48
4.1 Data Sekunder Proyek .....	48
4.2 Klasifikasi Karakteristik Tanah .....	49
4.2.1 Klasifikasi Parameter Tanah Berdasarkan Data Proyek ..	49
4.2.2 Data Tanah <i>CP 105-4</i> .....	50
4.2.3 Analisa Tanah Menurut Jenis dan N-SPT .....	52
4.2.4 Analisa Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ).....	53
4.2.5 Hasil Analisa Sudut Geser ( $\phi$ ).....	53
4.2.6 Kuat Geser <i>Undrained</i> ( $c_u$ ) .....	54
4.2.7 Kuat Geser Efektif ( $c'$ ) .....	54

4.2.8 Modulus Young (Eu) .....	55
4.2.9 Hasil Analisa Modulus Young Efektif (E') .....	56
4.2.10 Nilai Koefisien Permeabilitas .....	57
4.3 Hasil Analisa Parameter Tanah .....	58
4.4 Data Struktur <i>Lining</i> .....	59
4.5 Hasil Analisa Parameter <i>Lining</i> .....	60
4.6 Data Pembebanan .....	63
4.7 Kondisi Muka Air.....	65
4.8 Permodelan Cross Section .....	65
4.8.1 Permodelan Lapisan Tanah .....	66
4.8.2 Permodelan Struktur <i>Lining</i> .....	67
4.8.3 Permodelan Beban Permukaan .....	69
4.8.4 Pengaturan Jaring Elemen .....	70
4.8.5 Permodelan Kondisi Muka Air.....	70
4.8.6 Permodelan Tahapan Konstruksi.....	71
4.8.7 Hasil Analisa Program Bantu Plaxis 2D .....	71
4.8.8 Hasil Analisa Gaya Dalam .....	76
4.9 Permodelan Longitudinal Section .....	80
4.9.1 Geometri <i>Tunnel</i> .....	81
4.9.2 Permodelan Geometri Tanah .....	82
4.9.3 Permodelan Material Tanah.....	82
4.9.4 Kondisi Muka Air Tanah .....	84
4.9.5 Permodelan Jenis Perletakan .....	84
4.9.6 Permodelan <i>Load Case</i> .....	85
4.9.7 Tahap Perhitungan .....	85

4.9.8 Hasil Analisa Geo5 .....	86
4.9.9 Cek Uplift .....	86
4.10 Resume Analisa .....	89
4.10.1 <i>Settlement</i> .....	89
4.10.2 <i>Settlement</i> Memanjang .....	90
4.10.3 Deformasi dan Defleksi .....	91
4.10.4 <i>Safety Factor</i> .....	92
4.10.5 Gaya Dalam .....	93
4.10.6 Gaya <i>Uplift</i> .....	93
BAB V .....	95
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran .....	96
DAFTAR PUSTAKA.....	1
BIODATA PENULIS .....	3
LAMPIRAN .....	4

## DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Tabel Klasifikasi Tanah (USCS) .....	16
Tabel II-2 <b>Minimum Surcharge Loads</b> .....	22
Tabel II-3 Korelasi <i>Volume Loss</i> dan cara penggalian dan kondisi tanah (FHWA, 2004) .....	38
<b>Tabel II-4 Klasifikasi pernurunan dan kemiringan bangunan maksimum</b> .....	39
Tabel IV-1 Jenis tanah menurut stratanya (MRTJ, 2013) .....	49
Tabel IV-2 Parameter Lempung/Lanau (MRTJ, 2013) .....	49
Tabel IV-3 Parameter Pasir (MRTJ, 2013).....	50
Tabel IV-4 Data Bor Log 105-11 (MRTJ, 2013) .....	50
Tabel IV-5 Klasifikasi Tanah BorLog 105-11.....	52
Tabel IV-6 Hasil Analisa Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ) .....	53
Tabel IV-7 Hasil analisa sudut geser BorLog 105-11 .....	53
Tabel IV-8 Hasil analisa $c_u$ BorLog 105-11.....	54
Tabel IV-9 Hasil Analisa ( $c'$ ) BorLog 105-11 .....	54
Tabel IV-10 Modulus young BorLog 105-11 .....	55
Tabel IV-11 Hasil Analisa ( $E'$ ) BorLog 105-11 .....	56
Tabel IV-12 Hasil Analisis $k_x$ dan $k_v$ BorLog105-11 .....	57
Tabel IV-13 Hasil Analisa Parameter Tanah BorLog 105-11 .....	58
Tabel IV-14 Radial Segmen (MRTJ, 2013) .....	60
Tabel IV-15 Data Pembebanan (MRTJ, 2013).....	63
Tabel IV-16 Data Grouting (MRTJ, 2013).....	64

Tabel IV-17 Kondisi Muka Air (MRTJ, 2013) .....	70
Tabel IV-18 Iput Permodelan Tahapan Konstruksi.....	71
Tabel IV-19 Hasil Analisa <i>Settlement LWL</i> .....	72
Tabel IV-20 Hasil Analisa <i>Settlement HWL</i> .....	72
Tabel IV-21 Hasil Analisa <i>Settlement FWL</i> .....	73
Tabel IV-22 Hasil Analisa Deformasi LWL .....	73
Tabel IV-23Hasil Analisa Deformasi HWL.....	74
Tabel IV-24 Hasil Analisa Deformasi FWL.....	74
Tabel IV-25 Hasil Analisa Deformasi <i>Tunnel HWL</i> .....	75
Tabel IV-26 Hasil Analisa Deformasi <i>Tunnel LWL</i> .....	75
Tabel IV-27 Hasil Analisa Deformasi <i>Tunnel FWL</i> .....	76
Tabel IV-28 Hasil Analisa FWL .....	76
Tabel IV-29 Hasil Analisa LWL .....	78
Tabel IV-30 Hasil Analisa HWL.....	79
Tabel IV-31 Rekap Hasil Analisa Geo5 CP 105-4 FWL .....	86
Tabel IV-32 Hasil Analisa menurut ketentuan .....	90
Tabel IV-33 Hasil Analisa S Horizontal.....	90
Tabel IV-34 Hasil Analisa Defleksi .....	91
Tabel IV-35 Deformasi Terjadi di Bawah <i>Tunnel</i> .....	91
Tabel IV-36 Nilai SF kondisi M.A.T (LWL) .....	92
Tabel IV-37 Nilai SF kondisi M.A.T (HWL).....	92
Tabel IV-38 Nilai SF kondisi M.A.T (FWL) .....	93

Tabel IV-39 Gaya Dalam yang Terjadi Pada <i>Lining</i> .....	93
Tabel IV-40 Cek R/U berdasarkan <i>Civil Design Criteria</i> .....	94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1Peta Pelaksanaan Proyek MRT-Jakarta Fase 1 (MRTJ, 2013).....	1
Gambar I-2Kondisi Konstruksi Tunnel MRT (MRTJ, 2014).....	2
Gambar II-1 <b>Fitur Tunnel Boring Machine</b> (MRTJ, 2013) .....	6
Gambar II-2 <i>Shaft</i> terowongan perisai (JSCE,2016) .....	9
Gambar II-3 Lokasi <i>Shaft</i> di dalam tanah.....	9
Gambar II-4 Lokasi TBM di Dalam <i>Shaft</i> .....	10
Gambar II-5 Komponen Komponen TBM .....	10
Gambar II-6 Penggerusan Tanah oleh <i>Cutter Head</i> dan Kontraksi <i>Thrust Cylinder</i> .....	11
Gambar II-7 Proses Pembuangan Tanah Gerusan Oleh TBM.....	12
Gambar II-8 <i>Lining Precast</i> MRT (Sumber : Proyek MRT).....	12
Gambar II-9 <i>Lining Terinstall</i> .....	13
Gambar II-10 Setting Segment Pada <i>Gripper Shoe</i> .....	13
Gambar II-11 Instalasi Segment Oleh <i>Gripper Shoe</i> .....	13
Gambar II-12 <i>TBM</i> menggurus.....	14
Gambar II-13 Tab lembar “ <i>Setting</i> ” .....	32
Gambar II-14 Tab menu “ <i>geometry</i> ” .....	33
Gambar II-15 Menu “ <i>Interface</i> ” .....	33
Gambar II-16 Menu “ <i>Location</i> ” .....	34
Gambar II-17 Menu “ <i>Water</i> ” GEO 5.....	35

Gambar II-18 Menu "support" .....	35
Gambar II-19 Menu "Load" GEO5 .....	36
Gambar IV-1 Geological Profiles BorLog 105-11 .....	52
Gambar IV-2 Detail <i>Lining</i> .....	59
Gambar IV-3 Gambar Lokasi Section CP 105-4 .....	64
Gambar IV-4 Jalan Jenderal Sudirman Diatas <i>Tunnel</i> .....	65
Gambar IV-5 Permodelan <i>Cross Section</i> Plaxis 2D (Dokum.Pribadi) .....	65
Gambar IV-6 Permodelan Tebal lapisan tanah (Dokum.Pribadi) ....	66
Gambar IV-7 Input parameter tanah (Dokum.Pribadi).....	67
Gambar IV-8 Permodelan <i>Lining</i> Plaxis 2D (Dokum.Pribadi) .....	67
Gambar IV-9 Tab Lokasi <i>Lining</i> (Dokum.Pribadi) .....	68
Gambar IV-10 <i>Joint Segment</i> (Dokum.Pribadi) .....	68
Gambar IV-11 Menu <i>Create Line Load</i> (Dokum.Pribadi) .....	69
Gambar IV-12 Input beban (Dokum.Pribadi).....	69
Gambar IV-13 <i>Generate Mesh</i> (Dokum.Pribadi) .....	70
Gambar IV-14 Pengaturan Kondisi Muka Air (Dokum.Pribadi) .....	70
Gambar IV-15 N yang bekerja pada downtrack dan Uptrack .....	76
Gambar IV-16 Displacement pada Downtrack dan Uptrack .....	77
Gambar IV-17 M yang bekerja pada Downtrack dan Uptrack.....	77
Gambar IV-18 Q yang bekerja pada Downtrack dan Uptack .....	77
Gambar IV-19 N yang bekerja pada Downtrack dan Uptack .....	78

Gambar IV-20 M yang bekerja pada Downtack dan Uptack .....	78
Gambar IV-21 Q yang bekerja pada Downtack dan Uptack.....	78
Gambar IV-22 Displacement pada Downtack dan Uptack .....	79
Gambar IV-23 N yang bekerja pada Downtack dan Uptack .....	79
Gambar IV-24 Displacement pada Downtack dan Uptack .....	80
Gambar IV-25 M yang bekerja pada Downtack dan Uptack .....	80
Gambar IV-26 Q yang bekerja pada Downtack dan Uptack.....	80
Gambar IV-27 Input Geometri <i>Lining</i> .....	81
Gambar IV-28 <i>Input</i> kedalaman <i>tunnel</i> dengan menu "location" ....	81
Gambar IV-29 <i>Input</i> permodelan pada menu <i>Interface</i> .....	82
Gambar IV-30 <i>Input</i> material tanah dengan menu "Asign" .....	83
Gambar IV-31 <i>Input</i> permodelan pada menu "Soils".....	83
Gambar IV-32 Permodelan kondisi muka air tanah .....	84
Gambar IV-33Permodelan Jenis Perletakan.....	84
Gambar IV-34 <i>Input</i> permodelan nilai <i>Load Factor</i> .....	85
Gambar IV-35 <i>Input</i> nilai beban.....	85
Gambar IV-36 <i>Menu "Analysis"</i> program bantu Geo5.....	85
Gambar IV-37 Pergerakan Tanah di sekeliling tunnel .....	92

*(lembar Ini Sengaja Dikosongkan)*

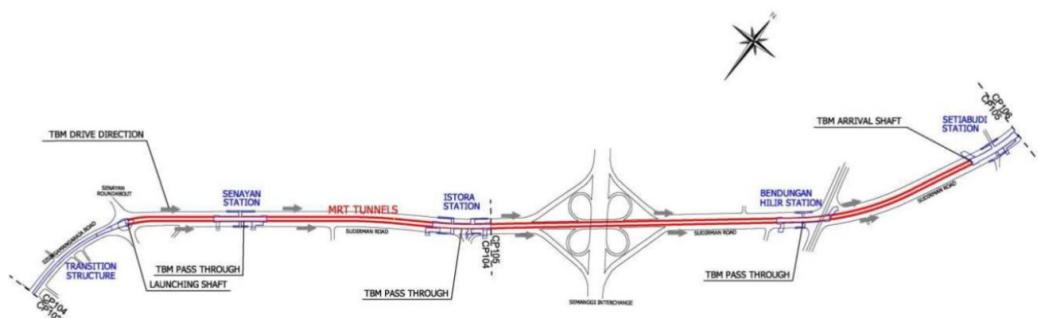


## BAB I

# PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Mass Rapid Transit-Jakarta* adalah proyek transportasi umum yang menggunakan kereta dan terletak di titik-titik penting di Kota Jakarta. Proyek MRT Jakarta yang sedang berlangsung saat ini sudah mencapai fase 1. Proyek MRT Jakarta fase 1 ini terdiri dari jalur *elevated* dan juga *tunnel* bawah tanah. Jalur *elevated* terdiri dari CP101 meliputi Stasiun Lebak Bulus, CP102 meliputi Stasiun Fatmawati – Stasiun Cipete Raya, CP103 meliputi Stasiun Haji Nawi – Stasiun Blok A – Stasiun Blok M – Stasiun Sisingamangaraja. Jalur bawah tanah terdiri dari CP104 meliputi Stasiun Senayan – Stasiun Istora, CP105 meliputi Stasiun Bendung Hilir – Stasiun Setia Budi. CP merupakan kode paket kontrak yang merujuk pada stasiun yang dibangun dan dikerjakan oleh kontraktor yang berbeda.

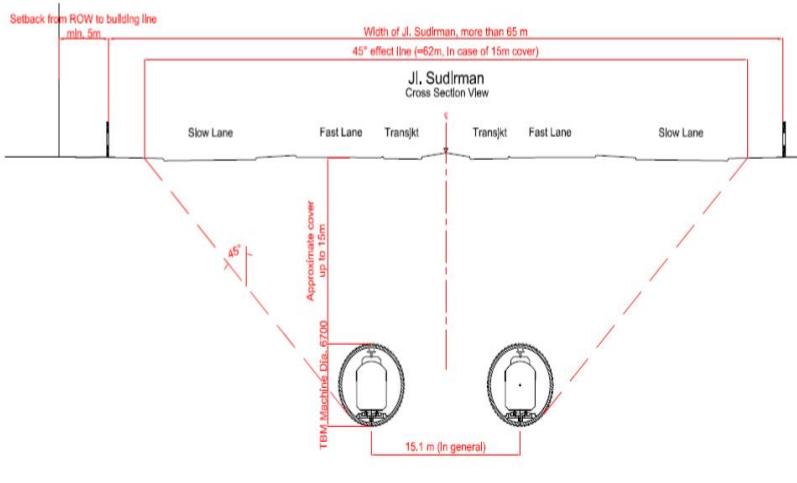


Gambar I-1 Peta Pelaksanaan Proyek MRT-Jakarta Fase 1 (MRTJ, 2013) CP104-CP105 yang direncanakan untuk moda transportasi bawah tanah tentunya akan berbeda perilaku strukturnya dibanding struktur-struktur gedung pada umumnya. Struktur bangunan proyek MRT Jakarta CP104-CP105 ini terdiri dari stasiun dan *tunnel*. Oleh sebab itu, untuk mengetahui perilaku struktur serta gaya-gaya yang bekerja

pada struktur, dilakukan analisi struktur tanah terhadap *tunnel* yang menghubungkan Stasiun Bendung Hilir – Stasiun Setia Budi.

MRT CP104 – CP105 memiliki 2 jalur yang dibangun di bawah Jl.

Figure 5 below illustrates the condition of the construction against the surrounding area.



Gambar I-2 Kondisi Konstruksi Tunnel MRT (MRTJ, 2014)

Sudirman yang memiliki bentang lebih dari 65 meter. Dengan kedalaman *tunnel* mencapai 15 meter dan jarak antar *tunnel* 15.1 meter.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada proyek akhir ini, rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan gaya-gaya yang menekan *tunnel* terhadap kapasitas dukung *lining tunnel*
2. Bagaimana deformasi vertikal dan horizontal di permukaan tanah
3. Bagaimana deformasi vertikal dan horizontal di dalam tanah di sekitar *tunnel*

### **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui permodelan gaya gaya yang menekan *tunnel* terhadap kapasitas dukung *lining tunnel*
- b. Mengetahui deformasi vertikal dan horizontal yang terjadi di permukaan tanah
- c. Mengetahui deformasi vertikal dan horizontal yang terjadi di dalam tanah di sekitar *tunnel*

### **1.4 Manfaat**

Manfaat dalam penulisan proyek akhir ini adalah sebagai referensi untuk mengetahui struktur *tunnel* yang dikerjakan dengan (*Tunnel Boring Machine*) TBM terhadap gaya gaya yang terjadi pada struktur *tunnel* tersebut.

### **1.5 Batasan Masalah**

Dalam penulisan proyek akhir ini, penulis membatasi beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Tidak membahas mengenai masalah pembebasan lahan
2. Tidak meninjau detail pelaksanaan *Tunnel Boring Machine*
3. Tidak meninjau tulangan struktur
4. Tidak membahas tentang saluran drainase pada lokasi proyek yang ditinjau
5. Perhitungan simulasi gempa mengikuti batasan permodelan program bantu plaxis 2d
6. Permodelan bentuk *lining tunnel* yang ditinjau adalah bentuk lingkaran dengan perencanaan pihak kontraktor pelaksana

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Terowongan

Terowongan adalah struktur bawah tanah yang menembus dibawah permukaan tanah atau gunung. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. Beberapa ahli teknik sipil mendefinisikan terowongan sebagai sebuah tembusan dibawah permukaan yang memiliki panjang minimal 150 meter, dan yang lebih pendek dari itu lebih pantas disebut underpass.

##### 2.1.1 Klasifikasi Terowongan

Ditinjau berdasarkan kegunaan terowongan, Made Astawa Rai (1988) membagi terowongan menjadi :

###### Terowongan lalu-lintas (trafik tunnel)

- Terowongan kereta api
  - Adalah terowongan yang merupakan terowongan paling penting diantara terowongan lalu-lintas
- Terowongan jalan raya
  - Terowongan yang dibangun untuk kendaraan bermotor karena pesatnya pertambahan lalu-lintas jalan raya bersamaan dengan berkembangnya industry kendaraan bermotor.
- Terowongan pejalan kaki
  - Terowongan ini termasuk dalam grup terowongan jalan (*road tunnel*) tetapi penampangnya lebih kecil, jari – jari belokannya pendek dan kemiringannya besar (lebih besar dari 10%). Terowongan ini biasanya digunakan dibawah jalan raya yang ramai atau dibawah sungai dan kanal sebagai tempat menyebrang bagi pejalan kaki.
- Terowongan navigasi
  - Terowongan ini dibuat untuk kepentingan lalu-lintas air di kanal-kanal dan sungai-sungai yang menghubungkan satu kanal atau sungai ke kanal lainnya. Disamping itu juga dibuat untuk

menembus daerah pegunungan untuk memperpendek jarak dan memperlancar lalu – lintas air.

- Terowongan tranportasi di tambang bawah tanah

Terowongan ini dibuat sebagai jalan masuk kedalam tambang bawah tanah yang digunakan untuk lalu – lintas para pekerja tambang, mengangkut peralatan tambang, mengangkut batuan dan bijih hasil penambangan.

### 2.1.2 Berdasarkan Lokasi Terowongan

Berdasarkan material yang dipakai, Paulus P Rahardjo (2004) menjelaskan terdapat 3 jenis terowongan yaitu :

- Terowongan Batuan (*Rock Tunnels*)

Terowongan batuan dibuat langsung pada batuan massif dengan cara pemboran atau peledakan. Terowongan batuan umumnya lebih mudah dikonstruksikan daripada terowongan melalui tanah lunak karena pada umumnya batuan dapat berdiri sendiri kecuali pada batuan yang mengalami *fracture*.

- Terowongan melalui tanah lunak (*Soft Ground Tunnels*)

Terowongan melalui tanah lunak dibuat melalui tanah lempung atau pasir atau batuan lunak (*soft rock*). Karena jenis material ini runtuh bila digali, maka dibutuhkan suatu dinding atau atap yang kuat sebagai penahan bersamaan dengan proses penggalian. Umumnya digunakan *shield* (pelindung) untuk memproteksi galian tersebut agar tidak runtuh. Teknik yang umum digunakan pada saat ini adalah *shield tunneling*. Pada terowongan melalui tanah lunak ini, *lining* langsung dipasang dibelakang *shield* bersamaan dengan pergerakan maju dari mesin pembor terowongan (*Tunnel Boring Machine*).

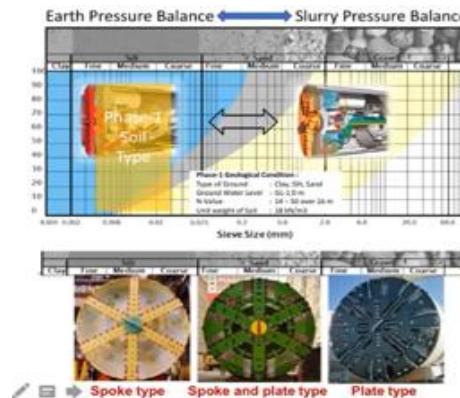
- Terowongan gali-timbun (*Cut and Cover Tunnel*)

Terowongan ini dibuat dengan cara menggali sebuah *trench* pada tanah, kenudian dinding dan atap terowongan dikonstruksikan di dalam galian. Sesudah itu galian ditimbun kembali dan seluruh struktur berada dibawah timbunan tanah. (*Sumber : Rai Made Astawa Rai : Teknik Terowongan: 1988*)

## 2.2 Tunnel Boring Machine

*Tunnel Boring Machine* atau disebut juga dengan *Shield Machine* merupakan alat utama yang diperlukan dalam pekerjaan penggalian dengan metode *Shield Tunneling* yang ditemukan oleh Sr.Marc Brunnel pada tahun 1818. Proses penggalian pada metode *Shield Tunneling* dibagi beberapa tahapan pekerjaan, yaitu penggalian, pemasangan *lining*, pembuangan lumpur galian, dan pergerakan *TBM*. Metode ini didefinisikan sebagai metode untuk membangun terowongan dengan penggalian dan pemasangan struktur dinding terowongan (*lining*) dilaksanakan didalam suatu sisi pelindung (*shield*) yang berfungsi untuk mencegah runtuhnya tanah disekitar terowongan.

Sebelum memulai penggalian, diperlukan sebuah bukaan vertikal dari permukaan tanah untuk menempatkan *TBM* yang disebut sebagai shaft. Pada umumnya *TBM* akan bergerak dari shaft keberangkatan dan tiba di shaft tujuan. *TBM* bergerak menggunakan rangkaian pompa hidraulik (*shield jack*) yang mendorong seluruh bagian mesin menembus lapisan tanah yang akan digali. Saat *TBM* bergerak, mata bor *TBM* akan berotasi dengan kecepatan tertentu, dan *shield jack* akan mendorong penampang *lining* ke arah berlawanan untuk menimbulkan resultan yang berfungsi sebagai gaya dorong untuk *TBM* (*thrust force*). Fitur dari *TBM* sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar II-1 Fitur *Tunnel Boring Machine* (MRTJ, 2013)

Dengan ditemukannya berbagai kasus dimana penggalian menghadapi kondisi geologis yang tidak lazim, *TBM* mengalami pekembangan teknologi hingga seperti sekarang. Berbagai variasi *TBM* telah diciptakan untuk dapat menyediakan solusi untuk penggalian terowongan pada kondisi tanah yang sulit dan butuh penanganan khusus.

### **2.2.1 Slurry Shield Boring Machine**

Mesin bor jenis slurry shield ini menggunakan campuran bentonit dan air (slurry) yang bertekanan untuk menyeimbangkan tekanan tanah dan air tanah pada muka galian. Mesin ini menyalurkan tekanan secara hidraulik melalui lumpur kental yang terbentuk dari hasil galian yang terperangkap dalam cutter face dan bercampur dengan bentonit dan air. Dalam kasus ini, besarnya tekanan yang disalurkan dapat diatur dari pengukur tekanan dan keran kontrol dalam sistem pemipaan. Metode ini membutuhkan pengaturan tekanan yang lebih teliti dan hati-hati. Kekurangan dari metode ini adalah, perlunya instalasi pemisahan yang harus dibangun dan dioperasikan di permukaan untuk memisahkan *slurry* dari lumpur hasil galian.

### **2.2.2 EPB Shield Boring Machine**

Prinsip kerja dari *Earth Pressure Balance* (EPB) adalah dengan menyeimbangkan antara tekanan tanah (*earth pressure*) dan air tanah pada muka galian dengan tekanan di dalam *pressure chamber*. Berbeda dengan *slurry shield*, tekanan disalurkan secara mekanis melalui butir-butir tanah dan mengalami reduksi akibat gesekan pada sepanjang *screw conveyor*. *Earth pressure* pada *cutter chamber* dikontrol dengan mengatur kecepatan pergerakan TBM dan kecepatan rotasi *screw conveyor* yang berbanding dengan jumlah lumpur galian yang dihisap untuk dikeluarkan dari *cutter chamber*. Mesin EPB dapat digunakan untuk menggali tanah lanau lunak dan lempung lunak, namun mesin ini tidak dapat menggali tanah dengan viskositas rendah. Untuk menyesuaikan kondisi tersebut sehingga penggalian dapat dilaksanakan. Mesin EPB harus dilengkapi dengan sistem injeksi cairan untuk merubah hasil galian menjadi lumpur yang plastis dapat mengalir. Sistem ini menginjeksi campuran air, bentonite, dan *foam* ke dalam *cutter*.

*chamber*. Hasil galian dan cairan injeksi bercampur secara mekanis menjadi lumpur didalam *cutter chamber* dengan menggunakan *cutter face* yang berotasi.

### 2.2.3 Spesifikasi TBM MRT

Dalam pengerjaan penggalian terowongan proyek MRT Jakarta fase 1, *Tunnel Boring Machine* (TBM) yang digunakan berjenis *Earth Pressure Balance* (EPB). Mesin Bor ini responsif terhadap kondisi mayoritas tanah di sepanjang koridor 1 yang setelah diteliti berjenis *silty clay*. Berikut adalah spesifikasi TBM yang dipakai untuk pengeboran MRT Jakarta fase 1

(Sumber: <https://www.jakartamrt.co.id/edukasi/infografik/>) :

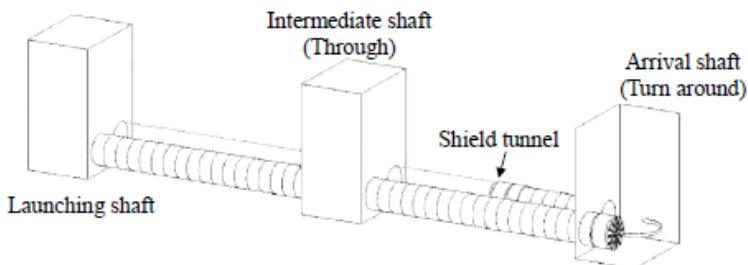
- *Shield Diameter* : 6.69 m
- Diameter dalam : 6.050m
- Panjang Shield: 11.955m
- Panjang TBM : ± 43m
- Tekanan Silinder : 1500kN x 2100mm x 22sets
- Kecepatan rotasi : 0.96 rpm
- Kemajuan pengeboran per hari : 12-18m/hari

## 2.3 Proses Kerja TBM

*Tunnel* MRT-Jakarta dibangun melalui beberapa tahap. Proses pengeboran *tunnel* pada proyek MRT-Jakarta dengan menggunakan TBM EPB (*Earth Pressure Balance*). Pada CP 105-4 *tunnel* dibangun sepanjang 201m dimulai dari STA 12+699 – STA 12+900. Adapun beberapa tahapan pada *tunnel* MRT-Jakarta seperti dijelaskan pada sub. sub. bab berikut.

### 2.3.1 Pemberangkatan *Shaft*

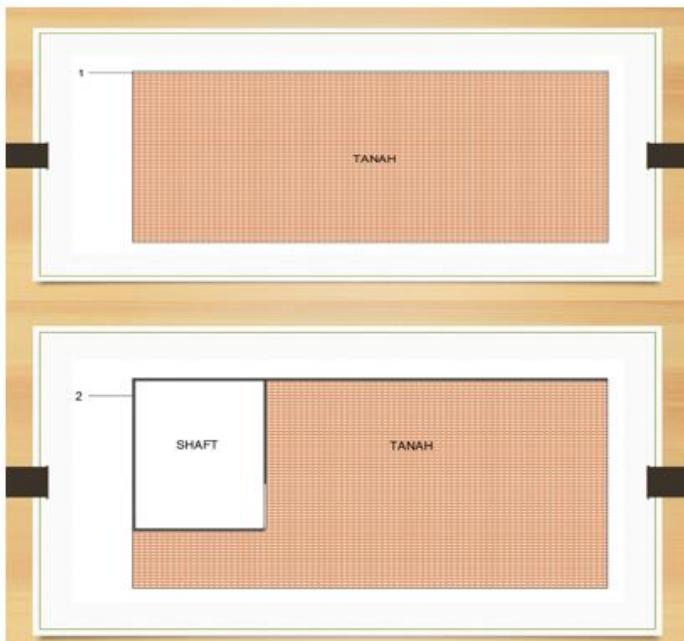
*Tunnel* MRT-Jakarta dibangun dibawah permukaan tanah, dalam pelaksanaanya TBM harus dibawa dulu ke elevasi tanah pada rencana pengeboran *tunnel*. Tempat TBM EPB pertama kali dibawa masuk dinamakan *Shaft*, yaitu bukaan vertikal pada titik pengeboran dimulai. Adapun guna *shaft* yaitu untuk akses keluar-masuk proyek serta akses membawa buangan material tanah hasil pengeboran. *Shaft* diklasifikasikan berdasar tujuan yaitu keberangkatan (*launching shaft*), perantara (*intermediate shaft*), kedatangan (*arrival shaft*).



Gambar II-2 *Shaft* terowongan perisai (JSCE,2016)

### 2.3.2 Pembuatan *Shaft* dan Perakitan TBM

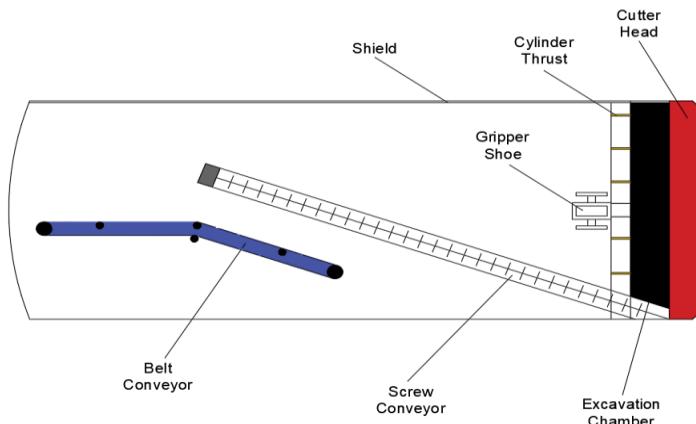
Pembuatan *Shaft* dilakukan untuk mobilisasi TBM dan pekerja kontruksi serta tempat pembuangan tanah hasil gerusan sebelum akhirnya diangkut ke area disposal.



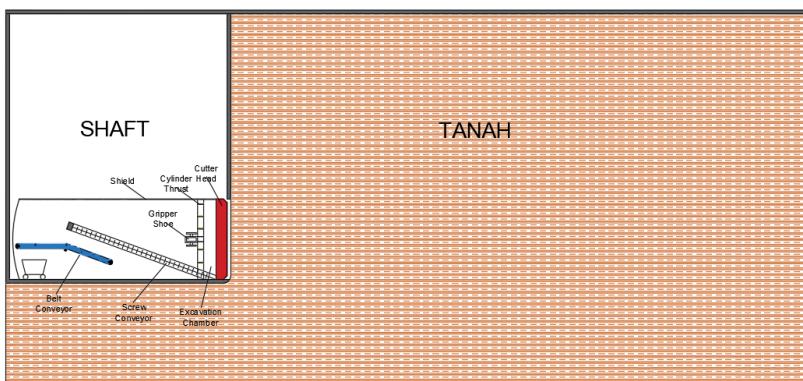
Gambar II-3 Lokasi *Shaft* di dalam tanah

Setelah *shaft* dibuat TBM di rakit dan di mobilisasi kedalam *Shaft*. Adapun komponen komponen TBM sebagai berikut :

- *Shield*
- *Cutter Head*
- *Excavation Chamber*
- *Screw Conveyor*
- *Belt Conveyor*
- *Thrust Cylinder*
- *Gripper Shoe*



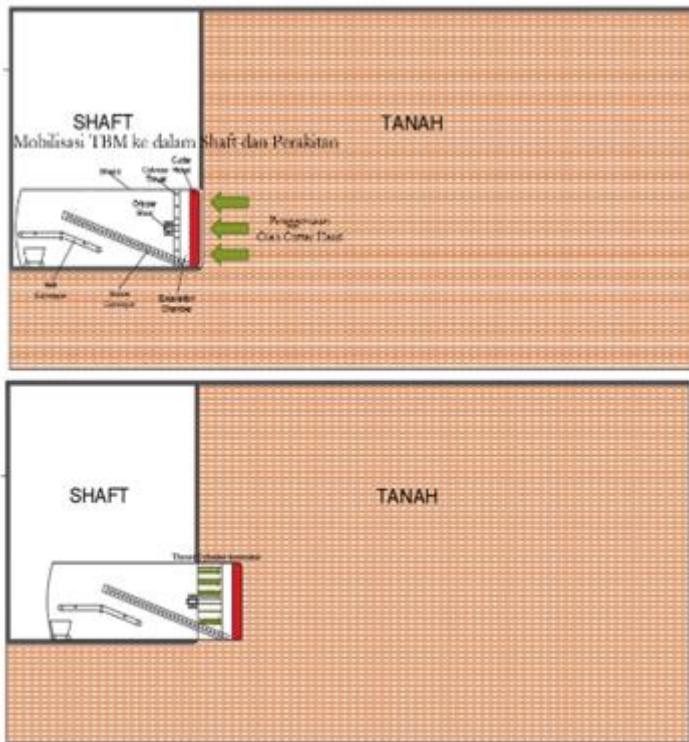
Gambar II-5 Komponen Komponen TBM



Gambar II-4 Lokasi TBM di Dalam *Shaft*

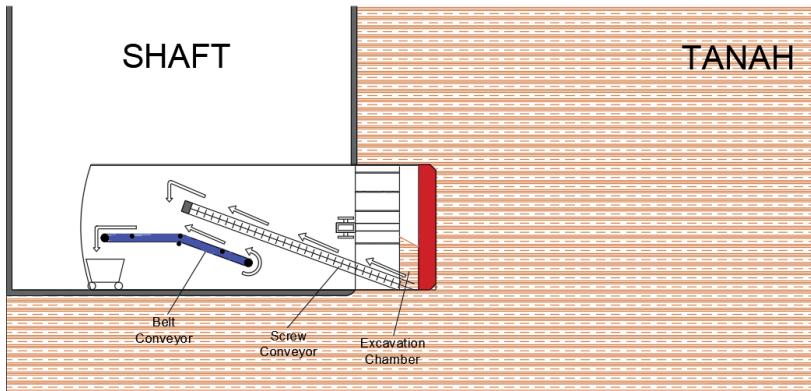
### 2.3.3 Penggerusan Tanah

Penggerusan tanah pada TBM dilakukan oleh *Cutter Head*, tanah yang telah digerus *Cutter Head* kemudian ditampung pada *Excavation Chamber*. *Thrust Cylinder* berkontraksi menahan tekanan tanah dari luar.



Gambar II-6 Penggerusan Tanah oleh *Cutter Head* dan Kontraksi *Thrust Cylinder*

Tanah yang suda ditampung di dalam *Excavation Chamber* diangkut oleh *Screw Conveyor* dan diteruskan menuju *Belt Conveyor* untuk kemudian diangkut menuju *arrival shaft* dan dibuang ke *disposal area*.



Gambar II-7 Proses Pembuangan Tanah Gerusan Oleh TBM

#### 2.3.4 Pemasangan Segment *Lining*

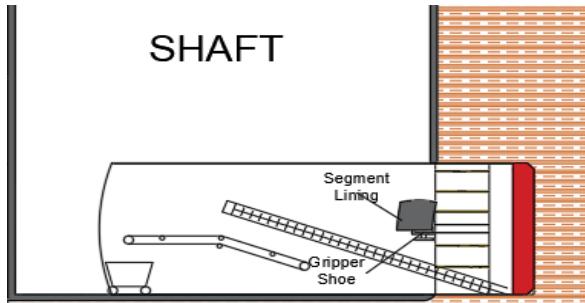
Segment *lining* pada proyek MRT-Jakarta menggunakan beton precast dengan konfigurasi dan mutu sesuai perencanaan.



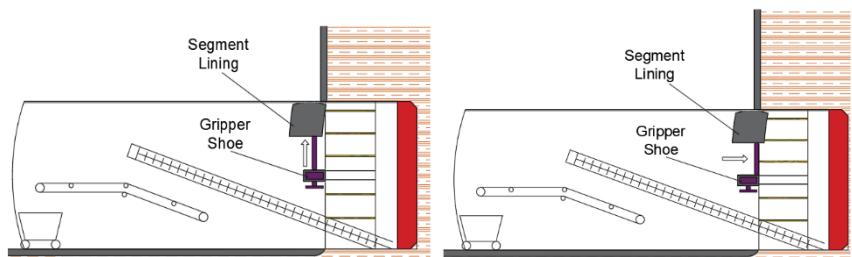
Gambar II-8 *Lining Precast* MRT

(Sumber : Proyek MRT)

Mobilisasi segment *lining* dilakukan lewat *arrival shaft*. Pada proses instalasi segment *lining*, segment di setting terlebih dahulu pada *gripper shoe*. Kemudian *gripper shoe* melakukan instalasi segment *lining*.

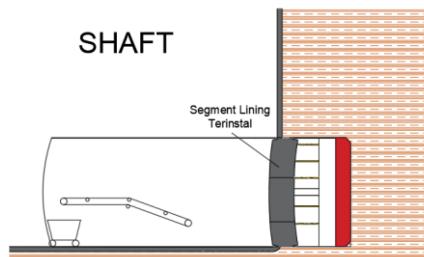


Gambar II-10 Setting Segment Pada Gripper Shoe

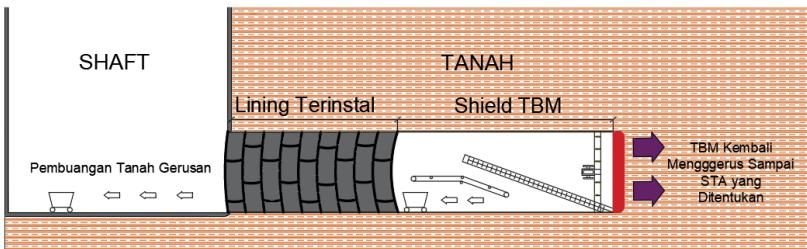


Gambar II-11 Instalasi Oleh Gripper Shoe

Setelah *lining* terinstal TBM kembali melakukan pengeboran sampai STA yang ditentukan.



Gambar II-9 Lining Terinstall



Gambar II-12 *TBM* menggurus

### 2.3.5 Grouting

*Grouting* adalah pekerjaan memasukan bahan yang masih dalam keadaan cair untuk perbaikan tanah, dengan cara tekanan sehingga bahan tersebut akan mengisi gap antar struktur dan tanah dan mengisi retak dan lubang kemudian beberapa saat bahan akan mengeras dan menjadi satu kesatuan dengan tanah yang ada. *Grouting* pada analisa ini ditentukan lewat *trial and error*.

## 2.4 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.

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 butiranya dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm. dan lempung butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.

#### 2.4.1 Klasifikasi Tanah Unified

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya.

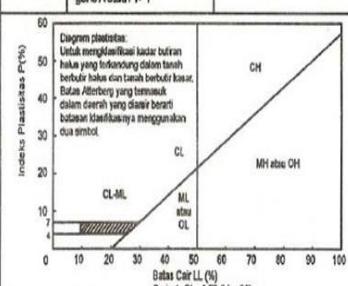
Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang. Sistem Klasifikasi *Unified* mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini mulai dengan huruf awal G atau S.  
G untuk kerikil (*gravel*) dan S untuk pasir (*sand*).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-oragnik dan lempung-organik. Simbol PT di gunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organic yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah :

- W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)
- P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)
- L = *low plasticity* (plastisitas rendah) (LL < 50)
- H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) (LL > 50)

Tabel II-1 Tabel Klasifikasi Tanah (USCS)

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih terdiri dari pasir no. 200 (0,075 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_s = \frac{D_{10}}{D_{60}} > 4, C_c = \frac{(D_{10})^3}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $Pl < 4$
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $Pl > 7$
Pasir lembut dan 50% fraksi kasar lebih dari 1,75 mm	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_s = \frac{D_{10}}{D_{60}} > 6, C_c = \frac{(D_{10})^3}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $Pl < 4$
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $Pl > 7$
Tanah berbutir halus 50% atau lebih loios saringan no. 200 (0,075 mm)	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serupa batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus:          Kurang dari 5%: loios saringan no. 200: GM, GP, SVA, SP.          Lebih dari 12%: loios saringan no. 200: GM, GP, SVA, SP, SM, SC, 5% - 12%: loios saringan no. 200: GM, GP, SVA, SP, SM, SC, yang mempunyai simbol dibawah.</p> 
	CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("flood clay")	
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah.	
	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasta.	
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gumpuk ("flood clay")	
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi	P <sub>t</sub>	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi.	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2489

#### 2.4.2 Korelasi Cu dengan N-SPT

Terzaghi dan Peck (1967) memberikan sebuah pendekatan untuk memperkirakan nilai kuat geser *undrained* untuk tanah lempung berdasar nilai N-SPT.

$$Cu (\text{kN/m}^2) \approx K N$$

Dimana nilai K adalah 6 dan nilai N merupakan nilai dari N-SPT desain

#### 2.4.3 Modulus Young

Modulus Young atau modulus elastisitas untuk tanah lempung merupakan sebuah nilai yang menunjukkan besarnya nilai elastisitas

tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Bowles (1998) memberikan rentan nilai modulus elastisitas tanah berdasarkan jenis tanah, namun karena jarak antar nilai yang terlalu besar maka nilai modulus elastisitas tanah dapat di estimasi menggunakan nilai N-SPT atau nilai Cu, Bowles (1998) memberikan pendekatan empiris untuk mencari nilai E dengan menggunakan parameter Cu dapat dilihat pada persamaan (1)

*Normally Consolidated clay*

$$E_u = (200 \text{ to } 500) \times Cu \text{ (kPa)} \quad (1)$$

Sedangkan untuk modulus young pada kondisi *drained* dapat dilihat pada persamaan (2)

$$E' = \frac{E_u}{1.2} \text{ (kPa)} \quad (2)$$

Sedangkan untuk mencari nilai Modulus Young *Drained* untuk pasir, Stroud (1974) memberikan pendekatan empiris untuk mencari nilai Modulus Young yang dapat dilihat pada persamaan (3)

$$E' = 2N \text{ (MPa)} \quad (3)$$

#### 2.4.4 Koefisien Tekanan Tanah Diam ( $K_0$ )

Koefisien tekanan tanah diam ( $K_0$ ) adalah kondisi ketika struktur tidak bergerak saat mendapatkan tekanan lateral dari tanah. Jaky (1948) memberikan persamaan untuk mencari nilai koefisien tanah diam seperti persamaan berikut.

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (4)$$

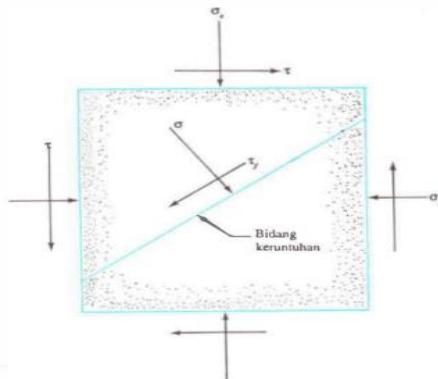
Dimana  $\phi$  merupakan nilai sudut geser tanah

#### 2.5 Keruntuhan Mohr-Coulomb

Mohr (1980) menyuguhkan sebuah teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Hubungan antara tegangan normal dan geser pada

sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam bentuk berikut.  
Gambar 2.2

$$\tau = f(\sigma) \quad (5)$$



Gambar 2.2 Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser  
(M.Das, 1995)

Garis keruntuhan yang dinyatakan oleh persamaan 5 di atas sebenarnya berbentuk garis lengkung seperti terlihat pada Gambar 2.3 Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser (Coulomb, 1776). Persamaan itu dapat kita tulis sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma \tan\phi \quad (6)$$

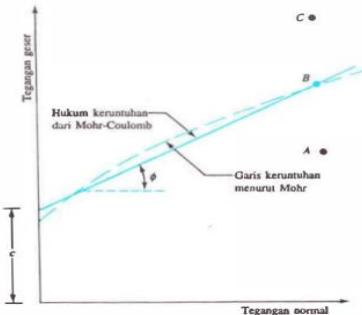
dengan

$\phi$  = sudut gesek tanah ( $^{\circ}$ )

$c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kN/m}^2$ )

$\tau$  = kuat geser tanah ( $\text{kN/m}^2$ )



Gambar 2.3 Garis Keruntuhan Pada Bidang Tanah (M.Das, 1995)

Bila tegangan normal dan geser pada sebuah bidang dalam suatu massa tanah sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan tersebut dapat digambarkan sebagai titik A dalam Gambar 2.3 maka keruntuhan geser tidak akan terjadi pada bidang tersebut. Tetapi bila tegangan normal dan geser yang bekerja pada suatu bidang lain dapat digambarkan sebagai titik B, maka keruntuhan geser akan terjadi dibidang tersebut. Suatu keadaan kombinasi tegangan yang berwujud titik C tidaklah mungkin terjadi karena bila titik tersebut tergambar diatas garis keruntuhan, keruntuhan geser pasti sudah terjadi sebelumnya

## 2.6 Lining Terowongan

Menurut Kolymbas (2005) *lining* adalah sebuah struktur berupa cangkang yang terbuat dari beton bertulang yang dipasang segera setelah dilakukan penggalian terowongan. Ada berbagai macam jenis *lining* terowongan berdasarkan cara pembuatannya adan material yang digunakan, salah satunya adalah beton pra-cetak.

Dalam pemasangannya, *lining* dipisah menjadi berberapa segment, untuk memudahkan mobilisasinya. Segmen dipasang satu per satu menggunakan *bolt* pada *radial joint* dan *circumferential joint*. Pada umumnya *lining* pada terowongan memiliki tiga titik acuan.

- Crown yang merupakan bagian puncak dari *lining* terowongan

- *Spring Line* yang merupakan garis horizontal pada pusat *lining terowongan*
- *Invert* yang merupakan bagian dasar dari *lining* terowongan

## 2.7 Pembebanan Terowongan

Dalam perencanaan *tunnel* terdapat beberapa beban yang harus diperhitungkan, berikut adalah beban-beban yang diperhitungkan dalam perencanaan *tunnel*:

- Tekanan tanah vertikal dan horizontal
- Tekanan air
- Beban mati
- Beban tambahan
- Beban Gempa

### 2.6.1 Tekanan tanah vertikal dan horizontal

Menurut Terzaghi Pada terowongan dalam nilai tekanan tanah vertikal dapat ditentukan menggunakan persamaan (7) dan tekanan tanah horizontal menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$P_{e1} = P_0 + \Sigma \gamma_i H_i + \Sigma \gamma_j H_j \quad (7)$$

Dengan :

$P_{e1}$  = Tekanan tanah vertical pada *Crown*

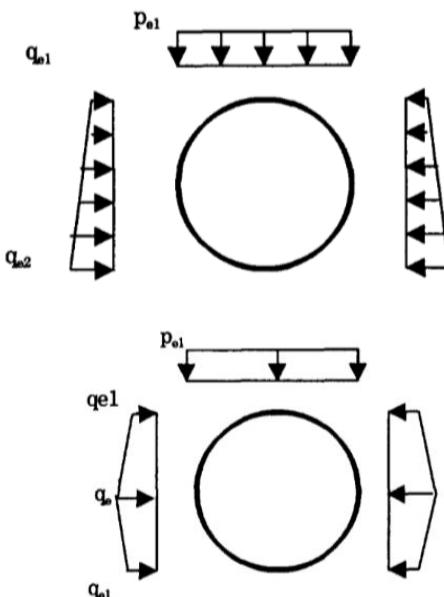
$P_0$  = Beban tambahan (*Surcharge*)

$\gamma_i$  = Berat jenis tanah pada lapisan ke-*i* yang terletak diatas muka air

$H_i$  = Tebal lapisan tanah ke-*i* yang terletak diatas muka air

$\gamma_j$  = Berat jenis tanah pada lapisan ke-*i* yang terletak dibawah muka air

$H_j$  = Tebal lapisan tanah ke-*i* yang terletak dibawah muka air



Gambar 2.4 Tekanan tanah di sekitar *tunnel* (Terzaghi)

$$\begin{aligned}
 q_{e1} &= \lambda(p_{e1} + \gamma \times t/2) && = \text{Tunnel berada dibawah muka air} \\
 q_{e1} &= \lambda(p_{e1} + \gamma' \times t/2) && = \text{Tunnel berada diatas muka air} \\
 q_{e2} &= \lambda(p_{e1} + \gamma \times (2R_0 - t/2)) && = \text{Tunnel berada dibawah muka air} \\
 q_{e2} &= \lambda(p_{e1} + \gamma \times (2R_0 - t/2)) && = \text{Tunnel berada diatas muka air} \\
 q_e &= (q_{e1} + q_{e2})/2 && (8)
 \end{aligned}$$

Dengan :

- $q_{e1}$  = Tekanan tanah horizontal pada *crown*
- $q_{e2}$  = Tekanan tanah horizontal pada *lining* bawah
- $\lambda$  = Koefisien tanah lateral
- $R_0$  = Radius luar terowongan
- $t$  = Tebal

## 2.6.2 Beban Tambahan (Surcharge)

Berdasarkan (*Civil Design Criteria Standards Chapter 3.7.1*) beban tambahan harus di aplikasikan pada permukaan tanah, dengan minimum beban dapat dilihat pada tabel II.2 berikut :

Tabel II-2 Minimum Surcharge Loads  
(Civil Design Criteria Standards Chapter 3.7.1)

	Minimum Surcharge Loads (kN/m <sup>2</sup> )
Bored Tunnels	75
Temporary Works including earth retaining structures in temporary condition	20 #
Earth retaining structures in the permanent condition	25
All other structures	25

## 2.6.3 Beban Mati

Beban mati merupakan beban dari *lining tunnel* terencana yang berada pada arah vertikal dan terdistribusi sepanjang sentroid dinding terowongan.

$$w = \frac{W_{tot}}{2\pi R} \quad (9)$$

dengan,

$w$  = Berat segmen *lining* terowongan (kN/m)

$W_{tot}$  = Berat total *lining* terowongan (kN)

$R$  = Jari-jari luar terowongan (m)

## 2.6.4 Beban Gempa

Desain beban gempa dibagi menjadi dua, yaitu:

- *Operating Design Earthquake* (ODE) yaitu beban gempa dengan periode ulang gempa 100 tahun
- *Maximum Design Earthquake* (MDE) yaitu beban gempa dengan periode ulang gempa 1000 tahun

Menurut SNI 8460 Tahun 2017 Persyaratan Gempa tentang Perancangan Geoteknik untuk masing-masing jenis bangunan ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut:

Peruntukan	Umur rencana (tahun)	Probabilitas terlampaui (%)	Periode ulang (tahun)	Kriteria keamanan	Referensi
Bangunan gedung dan non-gedung	50	2	2.500	-	SNI 1726:2012
Jembatan konvensional	75	7	1.000	-	SNI 2833:201x AASHTO (2012)
Dinding penahan Abutmen Jembatan	75	7	1.000	FK>1,5 (terhadap geser saat mengalami beban statik) FK>2 (terhadap guling saat mengalami beban statik) FK<1,1 (terhadap beban pseudostatik)	WSDOT, FHWA-NJ-2005-002
Timbunan oprit				FI>1,1	
Bendungan	100	1	10.000, Safety Evaluation Earthquake (SEE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tidak terjadi aliran air yang tidak terkendali</li> <li>Deformasi tidak melebihi 0,5 dari tinggi jagaan</li> <li>Deformasi pada filter tidak boleh melebihi 0,5 tebal filter</li> <li>Spillway tetap berfungsi setelah terjadi gempa rencana</li> </ul> Kerusakan minor setelah terjadi gempa rencana	ICOLD No 148, 2016,
Bangunan pelengkap bendungan	50	2	2500	-	
Terowongan	100	10	1.000 tahun		

Gambar 2.11 Persyaratan Gempa Berdasarkan Peruntukan Infrastruktur SNI 8460:2017

Perencanaan beban gempa untuk struktur terowongan adalah beban gempa dengan periode ulang 1000 tahun (MDE) dengan rencana bangunan struktur terowongan 100 tahun.

Perhitungan pembebanan gempa untuk terowongan disederhanakan dengan perhitungan pembebanan statis (pseudo-static) yang ditunjukkan pada Persamaan 10 berikut :

$$Q_E = k \times Q_o \quad (10)$$

dengan,

$Q_E$  = Beban akibat gempa ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ),

$k$  = Koefisien percepatan gempa,

$Q_o$  = Beban luar ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

## 2.6.5 Grouting

*Grouting* merupakan proses memasukan bahan yang masih dalam bentuk cairan untuk perbaikan tanah, dengan cara injeksi.

Injeksi cairan tersebut berfungsi mengisi retak dan lubang pada celah antar *lining* dan tanah disekitar *lining*. Cairan yang di injeksi tersebut kemudian akan mengeras dalam jangka waktu tertentu dan menjadi satu kesatuan dengan tanah yang ada.

Pada proyek MRT di gunakan 2 jenis cairan *grouting* yaitu cairan *cement* dan cairan *sodium silicate*. Cairan *cement* berfungsi untuk mengisi celah antara *lining* dengan tanah, sedangkan *sodium silicate* berfungsi untuk mencegah aliran air dan mempercepat proses pengerasan beton agar penurunan tanah dapat diminimalisir. Tekanan *grouting* yang digunakan merupakan hasil *trial and error*.

## 2.8 Plaxis 2D v20

PLAXIS 2D adalah program komputer untuk analisis geoteknis berdasarkan metode elemen hingga 2D yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara axi-simetri. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat membuat model geometri dan jaring elemen dengan mudah berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang dianalisis. Dibawah ini akan diberikan penjelasan singkat mengenai karakteristik program PLAXIS 2D v20 secara umum.

### 2.7.1 Model Geometri

Dalam memodelkan sebuah model elemen hingga dimulai dengan membuat geometri dari model, yang merupakan representasi dari masalah yang ingin dianalisis. Sebuah model geometri terdiri dari titik-titik, garis-garis, dan cluster. Titik dan garis dimasukkan oleh pengguna, sedangkan cluster dibentuk oleh program. Selain komponen-komponen dasar tersebut, obyek-obyek struktural atau kondisi khusus dapat diterapkan pada model geometri untuk memodelkan terowongan, dinding, pelat, interaksi antara tanah dengan struktur bangunan dan pembebanan. Plaxis 2D v20

PLAXIS 2D v20 adalah program komputer untuk analisis geoteknis berdasarkan metode elemen hingga 2D yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya

dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara axi-simetri. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat membuat model geometri dan jaring elemen dengan mudah berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang dianalisis. Dibawah ini akan diberikan penjelasan singkat mengenai karakteristik program PLAXIS 2D v20 secara umum.

### **2.7.2 Program Masukan**

Dalam proses permodelan PLAXIS 2D v20, permodelan dibagi menjadi 5 tahapan. Tahapan tahapan permodelan Plaxis Tersebut di antaranya adalah :

- Permodelan Geometri Tanah
- Permodelan Struktur
- Permodelan Beban
- Permodelan Kondisi Muka Air
- Tahap Konstruksi Struktur

### **2.7.3 Permodelan Geometri Tanah**

Sifat-sifat material dan parameter dari model untuk klaster tanah dimasukkan dalam kumpulan data material. Sifat-sifat material dari elemen antar muka akan selalu berhubungan dengan sifat-sifat tanah dan dimasukkan dalam kumpulan data yang sama dengan sifat-sifat tanah. Sebuah kumpulan data untuk tanah dan antarmuka secara umum menggambarkan suatu lapisan tanah tertentu dan dapat diterapkan pada klaster-klaster yang berkaitan dalam model geometri.

Dalam permodelan geometri tanah pada Plaxis 2D v20, yang harus diperhatikan untuk input pada permodelan yaitu :

#### **1. Model Material Mohr-Coulomb**

Model Mohr-Coulomb merupakan model linear elastik dan plastik sempurna, dalam memodelkan tanah sesuai material pada Mohr-Coulomb. Perlu diketahui beberapa parameter dari tanah yaitu :

- Modulus *Young* ( $E$ )

Modulus *Young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Dalam mekanika tanah kemiringan awal dari kurva tegangan-regangan pada umumnya dinotasikan sebagai  $E_0$  dan modulus sekan pada 50% kekuatan regangan dinotasikan sebagai  $E_{50}$ . Untuk material dengan rentang elastisitas linear yang lebar maka penggunaan  $E_0$  adalah relatif, namun untuk pembebanan pada tanah umumnya digunakan  $E_{50}$ .

- Angka Poisson ( $\nu$ )

Uji triaksial terdrainase dapat menghasilkan perubahan volume yang signifikan pada awal pemberian beban aksial, yang menghasilkan konsekuensi berupa angka Poisson awal ( $\nu_0$ ) yang rendah. Dalam model Mohr-Coulomb secara umum direkomendasikan menggunakan angka Poisson dengan nilai yang tinggi. Nilai  $K_0$  sangat bergantung dari asumsi angka Poisson, karena itu penting untuk menentukan angka Poisson yang dapat menghasilkan nilai  $K_0$  yang realistik. Hubungan  $K_0$  dan angka Poisson ditunjukkan pada persamaan (11) berikut:

$$\nu = \frac{K_0}{1+K_0} \quad (11)$$

- Sudut Geser Tanah ( $\phi$ )

Nilai sudut geser tanah ( $\phi$ ) diperlukan untuk parameter yang menentukan kuat geser dari tanah. Sudut geser tanah yang tinggi, seperti pada pasir padat, akan mengakibatkan peningkatan beban komputasi plastis. Sudut geser yang tinggi (biasanya lebih besar dari 35 derajat) saat melakukan perhitungan awal, cenderung menjadikan waktu komputasi semakin panjang. Oleh karena itu sudut geser tanah yang tinggi sebaiknya dihindari saat melakukan perhitungan awal dalam permodelan Plaxis.

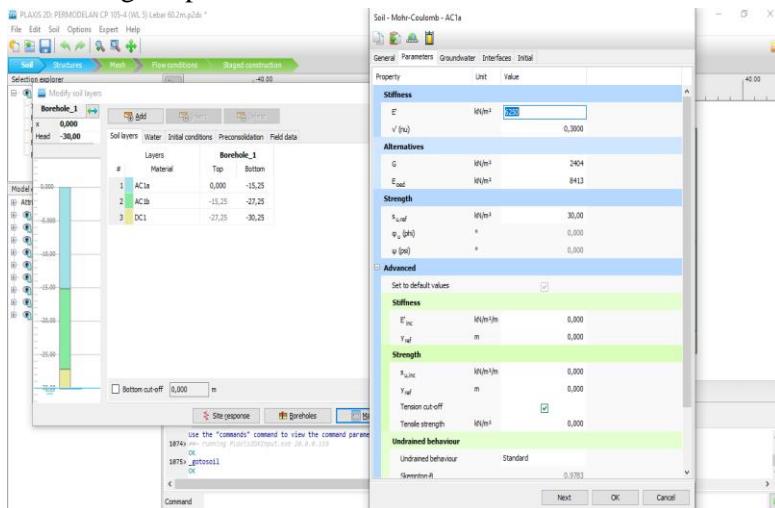
- Kohesi (c)

Kohesi adalah kemampuan mengikat antar partikel, dalam mekanika tanah kohesi sendiri adalah kemampuan tanah dalam mengikat antar butir tanah. Kekuatan berupa

kohesi mempunyai dimensi tegangan. PLAXIS dapat menangani pasir non-kohesif dengan besar  $c = 0$ . Dalam memodelkan PLAXIS agar berjalan dengan baik disarankan untuk memeasukan nilai kohesi  $> 0.2 \text{ kN/m}^2$ .

- Sudut Dilatansi ( $\psi$ )

Sudut dilatansi adalah pengembangan volume tanah saat dikenai tegangan geser. Pada tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatansi sama sekali ( $\psi = 0$ ). Sedangkan dilantasi dari tanah pasir bergantung pada kepadatan serta sudut gesernya. Biasanya sudut dilantasi juga dianggap 0 untuk sudut geser dalam kurang dari  $30^\circ$ . Nilai pada sudut dilatansi tanah hanya memungkinkan untuk pasir yang sangat lepas.



Gambar 2. 7 Lembaran Tab Model Mohr-Coulomb  
(Dokum.Pribadi)

## 2. Model Perilaku Drainase Tanah

Dalam Plaxis 2D v.20, permodelan perilaku drainase tanah ada dua, yaitu permodelan tanah terdrainase (*drained*) dan permodelan tanah tak-terdrainase (*undrained*). Dalam permodelan perilaku drainase tanah pada Plaxis 2D v20,

permodelan tanah yang tak terdrainase (*undrained*) dibedakan menjadi 3 kondisi yaitu :

- *Undrained A*

Metode analisa *Undrained A* sebagai berikut :

- Menggunakan analisa tegangan efektif
- Menggunakan parameter kuat geser tegangan efektif ( $c'$ ,  $\phi'$ ,  $\psi'$ )
- Menggunakan parameter kekakuan tanah efektif ( $E'$ ,  $v'$ )
- Dihasilkan tegangan air pori. Tepat tidaknya perhitungan tergantung kepada pilihan model dan parameter tanah
- Kuat geser *undrained* ( $c_u$ ) bukan merupakan parameter masukan, tetapi merupakan hasil dari model konstitutif yang digunakan
- Dapat dilakukan analisa konsolidasi setelah perhitungan *undrained*
- Perhitungan menghasilkan peningkatan kuat geser *undrained* ( $c_u$ )

- *Undrained B*

Metode analisa *Undrained B* sebagai berikut :

- Menggunakan analisa tegangan efektif
- Menggunakan parameter kuat geser tanah tegangan total ( $c = c_u$ ,  $\phi = 0$ ,  $\psi = 0$ )
- Menggunakan parameter kekakuan tanah efektif ( $E'$ ,  $v'$ )
- Dihasilkan tegangan air pori, namun sangat tidak akurat
- Kuat geser *undrained* ( $c_u$ ) merupakan parameter masukan, sehingga tidak menghasilkan kesalahan dalam perhitungan kestabilan *undrained*.
- Walaupun perhitungan konsolidasi dapat dilakukan disarankan untuk tidak melakukan analisa konsolidasi, karena tegangan air pori yang dihitung bisa sangat menyimpang
- Perhitungan tidak akan menghasilkan peningkatan kuat geser *undrained* ( $c_u$ ), artinya jika dipaksakan melakukan analisa konsolidasi, nilai kuat geser *undrained* ( $c_u$ ) pada tahap berikutnya harus diubah secara manual.

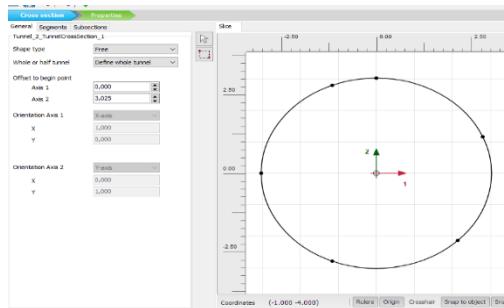
- *Undrained C*

Metode analisa *Undrained C* sebagai berikut :

- Menggunakan analisa tegangan total
- Menggunakan parameter kuat geser tegangan total ( $c = c_u$ ,  $\phi = 0$ ,  $\psi = 0$ )
- Menggunakan parameter kekakuan tanah efektif ( $E_u$ ,  $v_u = 0,495$ )
- Secara prinsip model *Undrained C* sama dengan *Undrained B*, yang membedakan adalah parameter kekakuan tanah efektif yang digunakan, pada pemodelan *Undrained C* menggunakan parameter modulus elastisitas tanah *undrained* ( $E_u$ ).

#### 2.7.4 Permodelan Struktur

Dalam melakukan permodelan untuk program Plaxis2D diperlukan juga permodelan untuk struktur yang akan di ditinjau. Struktur – struktur yang dapat dimodelkan diantaranya adalah dinding, terowongan, dan pancang. Permodelan Struktur terdiri dari permodelan geometri struktur, tipe struktur, parameter struktur, perilaku struktur.

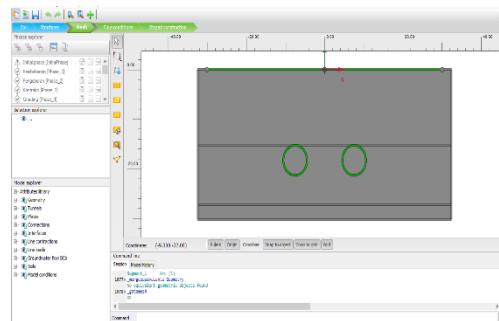


Gambar 2.8 Tab Permodelan Struktur

(Dokum.Pribadi) *Linning*

## 2.7.5 Permodelan Jaring Elemen

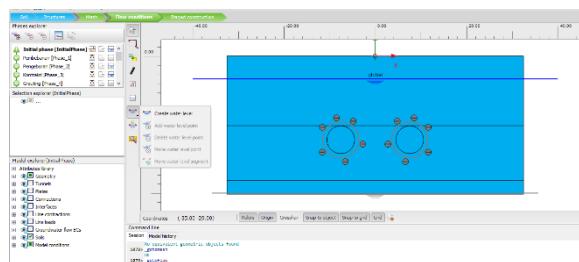
Jenis elemen dasar dari suatu jaring elemen adalah segitiga dengan lima belas titik nodal atau elemen segitiga dengan enam titik nodal. Penyusunan jaring elemen didasarkan pada suatu prosedur triangulasi yang handal. Setelah model geometri didefinisikan secara lengkap dan sifat material telah diaplikasikan ke seluruh *cluster* dan obyek struktural, maka geometri harus dibagi-bagi untuk melakukukan perhitungan elemen hingga. Komposisi dari elemen-elemen hingga ini disebut sebagai jaringan elemen hingga.



Gambar 2.9 Tab Permodelan Jaring Elemen  
(Dokum.Pribadi)

## 2.7.6 Permodelan Kondisi Muka Air

Setelah permodelan elemen jaring dilakukan, tahap selanjutnya adalah menentukan kondisi muka air tanah untuk perhitungan tekanan air pori tanah. Yang harus diperhatikan dalam

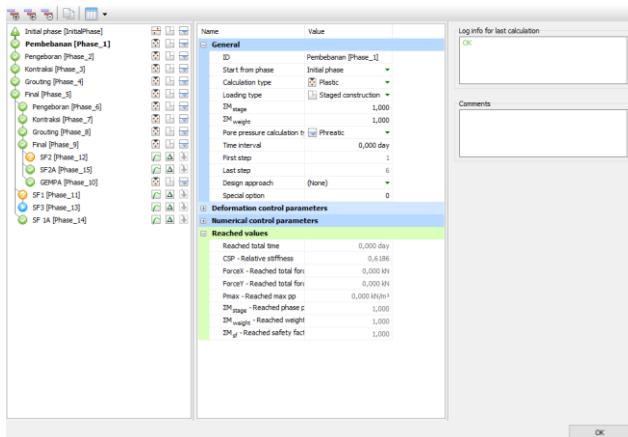


Gambar 2.10 Tab Kondisi Muka Air Tanah  
(Dokum.Pribadi)

memodelkan kondisi muka air tanah adalah elevasi muka air tanah di kondisi permodelan yang akan ditinjau.

### 2.7.7 Tahap Konstruksi Struktur dan Perhitungan

Setelah permodelan geometri tanah, permodelan struktur, elemen jaringan, dan kondisi muka air tanah telah selesai dilakukan. Tahap selanjutnya adalah memodelkan tahapan konstruksi struktur yang akan ditinjau, tahapan konstruksi struktur perlu diperhatikan untuk mendefinisikan jenis perhitungan yang akan dilakukan. Dalam memodelkan tahapan konstruksi yang perlu diperhatikan adalah jenis beban yang diaktifkan dalam tahap tahap konstruksi, serta kondisi tanah yang dimodelkan saat tahapan konstruksi tersebut untuk perhitungan program Plaxis 2D v20. Dalam perhitungan setelah perhitungan selesai, program akan menampilkan hasil perhitungan berupa tegangan, deformasi, gaya-gaya dalam, dan lainnya.



Gambar 2. 11 Lembar Tab Tahapan Konstruksi (Dokum.Pribadi)

## 2.9 Geo 5

Geo5 merupakan salah satu program komputer dalam melakukan analisa geoteknik yang memudahkan pengguna mengetahui deformasi dan gaya dalam dari struktur dan tanah yang ditinjau. Geo5 dapat membantu dalam mengerjakan perhitungan-perhitungan stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser,

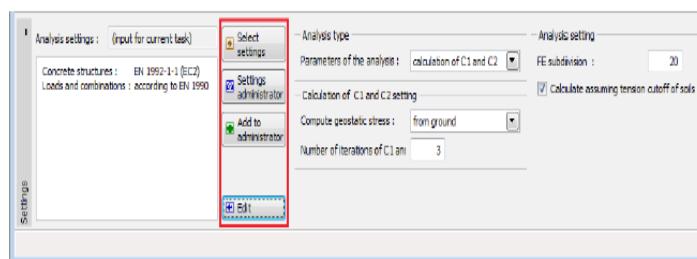
tekanan tanah (*overburden pressure*), tekanan *Uplift*, analisis dimensi dinding penahan tanah serta analisis stabilitas terowongan. Dari program aplikasi geoteknik lainnya Geo5 lebih mudah untuk digunakan, karena dari tampilan yang disajikan oleh software ini lebih komunikatif dan mudah untuk dipahami. (Sadono, 2017).

### 2.9.1 Tab Pengaturan

Untuk memulai pengaturan pada program bantu GEO 5 digunakan menu *setting*, yang memungkinkan menentukan dasar pengaturan program, seperti standar dan teori analisis, cara analisa struktur dan koefisien-koefisien analisis.

Dalam melakukan analisa, ada tiga cara mendefinisikan parameter lapisan tanah Winkler-Pasternak seperti berikut:

- Perhitungan  $C1$  dan  $C2$   
Parameter lapisan tanah Winkler-Pasternak ( $C1$  &  $C2$ ) dihitung oleh program dari parameter yang di *input*. Tegangan geostatik dihitung dari tanah yang sudah dideskripsikan.
- *Input C1 dan C2*  
Parameter lapisan tanah Winkler-Pasternak ditentukan secara langsung (manual) sebagai parameter masukan.
- *Input Parameter Tanah (Edef, v, hz)*  
Parameter lapisan tanah dihitung dari modulus deformasi (*Edef*), rasio Poisson (*v*), dan kedalaman (*hz*)

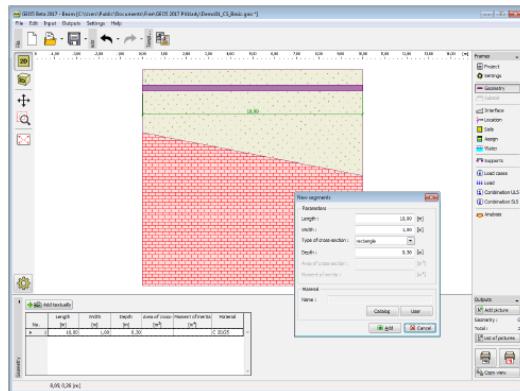


Gambar II-13 Tab lembar “Setting”

### 2.9.2 Permodelan Struktur *Lining*

Permodelan struktur *lining* di modelkan dengan menu *geometry* pada program bantu GEO 5. Pada lembar ini dibutuhkan

parameter model struktur yang di anggap balok. Program ini memungkinkan untuk mendefinisikan luas penampang dan momen

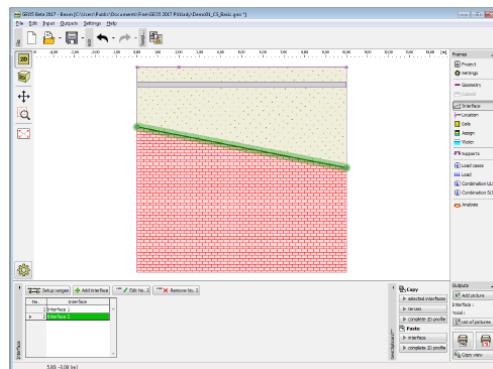


Gambar II-14 Tab menu “geometry”

inersia pada balok yang dimodelkan. Parameter material juga diperlukan untuk input plaxis seperti modulus elastisitas ( $E$ ), modulus geser ( $G$ ), berat material ( $w$ ).

### 2.9.3 Model Geometri Tanah (*Interface*)

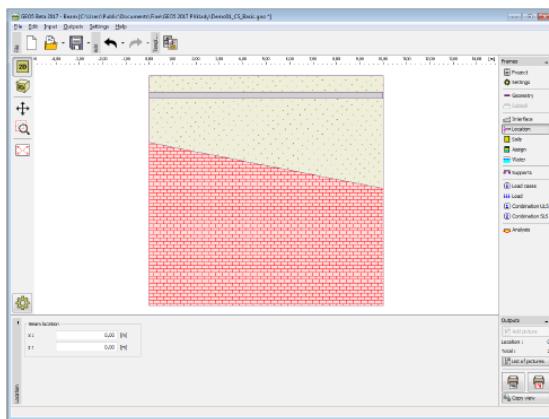
Dalam memodelkan geometri tanah digunakan menu *interface*. Kondisi geometri tanah dimodelkan sesuai data BorLog yang didapat. Baik kedalaman jumlah lapisannya.



Gambar II-15 Menu "Interface"

#### 2.9.4 Lokasi Kedalaman Struktur

Lokasi kedalaman struktur kemudian diatur pada menu *location*, menu tersebut berfungsi untuk mengatur kedalaman struktur



Gambar II-16 Menu "Location"

serta panjang struktur menggunakan setting koordinat sesuai geometri yang dimodelkan.

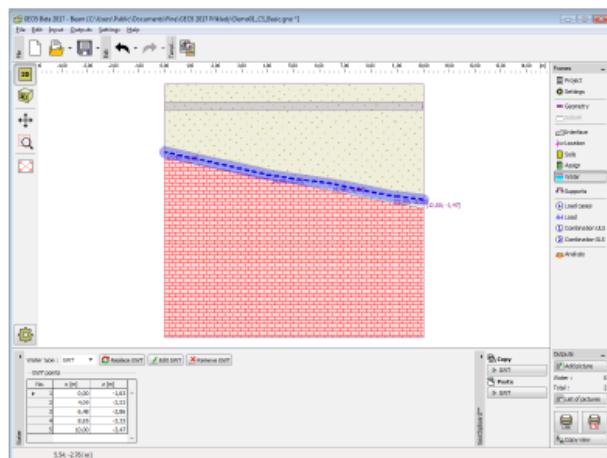
#### 2.9.5 Model Tanah

Material tanah di tiap lapisan juga harus dimodelkan sesuai data BorLog yang didapat. Material dimodelkan menggunakan menu "soil". Dalam input menu *soil* diperlukan beberapa parameter seperti berikut :

- Berat Volume Tanah ( $\gamma$ )
- Rasio Poisson ( $\nu$ )
- Modulus Young / Modulus Deformasi Tanah ( $E_{def}$ )
- Koefisien Kekuatan Struktural ( $m$ )
- Koefisien kekuatan struktural ( $m$ ) merupakan koefisien kekuatan struktural tanah yang mewakili ketahanan tanah terhadap deformasi akibat beban yang bekerja. Untuk nilai koefisien kekuatan struktural ( $m$ ).

## 2.9.6 Model Muka Air Tanah

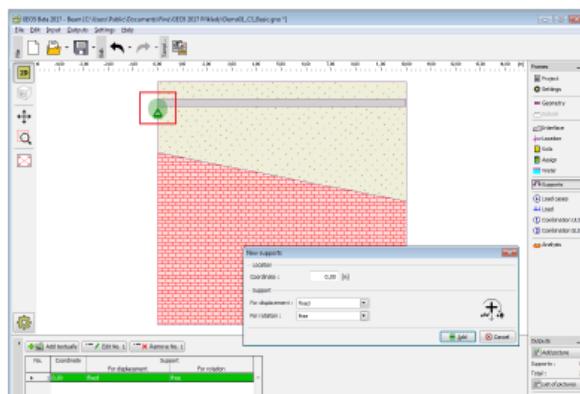
Dalam memodelkan kondisi tanah dan struktur, diperlukan juga permodelan kondisi muka air tanah. Permodelan kondisi muka air tanah dilakukan dengan menu “water” pada program bantu GEO 5.



Gambar II-17 Menu "Water" GEO 5

## 2.9.7 Model Perletakan

Dalam memodelkan struktur, perlu juga di atur bentuk perletakkan dari struktur tersebut. Dalam program bantu GEO 5

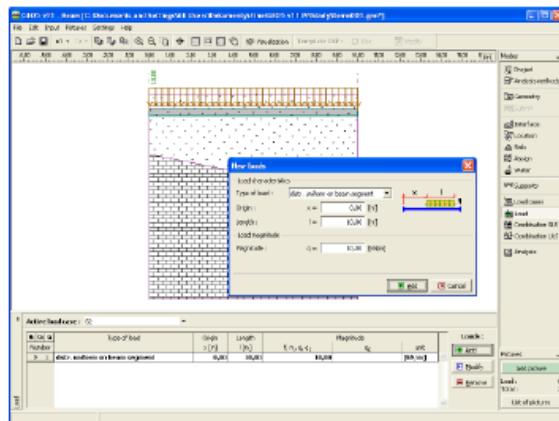


Gambar II-18 Menu "support"

perletakan tersebut diatur pada menu “*support*”. Dengan kondisi perletakan *free*, *deformation*, *fixed*, dan *spring*.

### 2.9.8 Permodelan Beban

Dalam program bantu GEO 5, permodelan pembebanan dapat diatur menjadi beberapa jenis. Yaitu beban gaya, beban terpusat, beban momen terpusat, dan beban distribusi. Pembebanan dalam program bantu GEO 5 dapat digunakan menggunakan menu “*Load*”.



Gambar II-19 Menu ”*Load*” GEO5

## 2.10 Kriteria Desain

Kriteria desain yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah persamaan-persamaan yang dikeluarkan oleh *U.S Department of Transportation Federal Highway Administration* dan *Standard Specifications for Tunneling* yang dikeluarkan oleh *Japanese Society Civil Engineers (JSCE) 2016*. Kriteria desain tersebut antara lain:

### 2.10.1 Gaya Uplift (Buoyancy)

*JSCE-ShieldTunneling\_(2016)* Saat pengeboran *tunnel* dilakukan, berat air di dalam *tunnel* yang hilang menyebabkan gaya dorong oleh air dibawah struktur *tunnel* sebesar berat air yang hilang.

Jika total beban yang bekerja pada *crown tunnel* selama dan setelah konstruksi, ditambah beban *lining* sendiri serta beban di dalam *lining* lebih kecil dari tekanan air dibawah *lining*. Akan menyebabkan terangkatnya struktur *lining* oleh tekanan air dibawah *lining tunnel*. Untuk menghitung gaya tekan ke atas oleh air tanah yang dapat menyebabkan *uplift* pada terowongan harus dihitung rasio besar gaya angkat/*uplift* ( $U$ ) dengan gaya penahan ( $R$ ). *Civil Design Criteria – Revision A4* menyarankan ratio antara  $R/U$  tidak boleh berada dibawah 1,2. Nilai  $U$  bisa dihitung dengan persamaan (12) dan persamaan (13) untuk menghitung nilai  $R$ .

$$U = \left( \gamma_w \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (12)$$

$$R = W + \gamma' D \left( Z - h_w - \frac{\pi D}{8} \right) + (\gamma_b D h_w) + 2SZ \quad (13)$$

$W$  merupakan berat total dari terowongan (kN/m),  $S$  merupakan rata-rata kuat geser tanah dari titik tenah terowongan hingga permukaan.

## 2.10.2 Pengaruh Muka Air Tanah

Air tanah memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap beban yang diterima oleh terowongan. Hal ini disebabkan air tidak mengalami reduksi tegangan seperti halnya tegangan *overburden*, namun adanya air tanah dapat mengurangi tegangan efektif akibat gaya apung. Persamaan (14) dan (15) menunjukkan nilai tegangan vertikal dan lateral pada titik tertentu akibat pengaruh air, tanah, sedangkan persamaan (16) dan (17) menunjukkan nilai tegangan vertikal dan lateral pada titik tertentu tanpa pengaruh air tanah

$$K_0 \leq 1$$

$$\sigma_v = (\gamma_{tanah} - \gamma_{air})h + \gamma_{air}(h) \quad (14)$$

$$\sigma_h = K_0(\gamma_{tanah} - \gamma_{air}) + \gamma_{air}(h) \quad (15)$$

$$\sigma_v = \gamma_{tanah}(h) \quad (16)$$

$$\sigma_h = K_0(\gamma_{tanah})xh \quad (17)$$

### **2.10.3 Volume Loss**

Seperti dijelaskan dalam *U.S Department of Transportation Federal Highway Administration : Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnel – Civil Elements* bahwa penurunan yang terjadi pada permukaan tanah pada pekerjaan terowongan pada tanah lunak besarnya diasumsikan dengan jumlah kehilangan tanah pada saat proses penggalian. Dalam praktek pengkerjaan terowongan dengan menggunakan *Tunnel Boring Machine* (TBM) volume kehilangan tanah akan semakin kecil dikarenakan prinsip kerja TBM yang menekan permukaan tanah. Pekerjaan penggalian dengan menggunakan alat-alat modern akan semakin memperkecil nilai kehilangan tanah akibat proses penggalian. Menurut Thomas Telford (2004) TBM dengan tipe EPB (*Earth Pressure Balance*) dapat mereduksi kehilangan volume pada tanah sampai kurang dari 0.5% pada beberapa kondisi tanah. Kondisi tanah tersebut dijelaskan lebih lanjut dalam korelasi kehilangan volume tanah dengan kondisi tanah ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel II-3 Korelasi *Volume Loss* dan cara penggalian dan kondisi tanah  
(FHWA, 2004)

Case	$V_L (\%)$
Good practice in firm ground; tight control of face pressure within closed face machine in slowly raveling or squeezing ground	0.5
Usual practice with closed face machine in slowly raveling or squeezing ground	1.0
Poor practice with closed face in raveling ground	2
Poor practice with closed face machine in poor (fast raveling) ground	3
Poor practice with little face control in running ground	4.0 or more

## 2.10.4 Deformasi

Dalam merencanakan alinyemen terowongan perlu diperhatikan pengaruh terowongan terhadap bangunan sekitar. Maka perlu juga ditinjau nilai-nilai risiko pada tahap perencanaan dengan persyaratan pengaruh pada bangunan sekitar yang terdiri atas kemiringan dan penurunan bangunan sekitar terowongan yang direncanakan. Nilai risiko tersebut dapat diatur pada tabel (II.4) berikut.

**Tabel II-4 Klasifikasi pernurunan dan kemiringan bangunan maksimum  
(CIRIA PR30,199)**

<b>Kategori Risiko</b>	<b>Kemiringan Bangunan Maksimum</b>	<b>Penurunan Bangunan Maksimum (mm)</b>	<b>Deskripsi Risiko</b>
1	< 1/500	< 10	Diabaikan: kerusakan dangkal tidak mungkin terjadi
2	1/500 hingga 1/200	10 hingga 50	Kecil: kerusakan dangkal dapat terjadi namun buan kerusakan struktural yang signifikan
3	1/200 hingga 1/50	50 hingga 75	Sedang: kerusakan dangkal dengan kerusakan struktural pada bangunan diperkirakan terjadi, kemungkinan

			kerusakan pipa yang relatif kaku
4	> 1/50	> 75	Tinggi: kerusakan struktural bangunan dan pipa kaku atau pipa lainya

Sedangkan dalam *USSR code* ketentuan deformasi yang terjadi di muka tanah diatas terowongan tidak boleh melebih 10 mm sedangkan untuk deformasi dinding terowongan dibatasi hingga 6% dari besar diameter terowongan.

sesuai dengan *USSR code*. Adapun untuk perhitungan penurunan terowongan di formulasikan dengan Persamaan (18). (Schmidt, 1974)

$$W = W_{max} \cdot \exp\left(\frac{-x^2}{2i^2}\right) \quad (18)$$

Dengan,

$W$  = Penurunan,  $x$  adalah jarak dari titik tengah terowongan

$I$  = Jarak ke titik belok pada penurunan

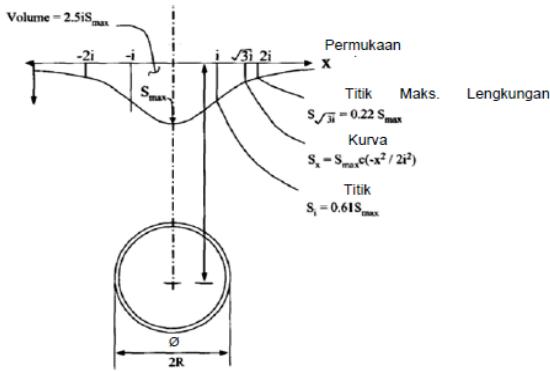
Hubungan Penurunan maksimum didapatkan dengan Persamaan (19) berikut.

$$W_{max} = \frac{V}{2,5 i} \cdot \frac{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}{L} \quad (19)$$

Dengan,

$V$  = Kehilangan tanah saat penggalian

$D$  = Diameter terowongan



Gambar 2.10 Prediksi penurunan di atas terowongan (SNI 8460) 2017

## **2.10.5 Pertimbangan Perencanaan Terowongan**

Dalam merencanakan *Tunnel* dibawah tanah ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan, beberapa faktor tersebut adalah :

1. Berdasarkan *Japanese Society Civil Engineers* (JSCE) 2016 tentang *Shield Tunnels* perencanaan kedalam terowongan perisal (*shield tunnel*) sebagai berikut:
    - *Overburden* adalah jarak antara permukaan tanah pada *ground level* dengan bagian atas terowongan (*crown*)
    - Minimal kedalaman *overburden* adalah 1 D – 1.5 D dengan D adalah diameter terluar dari terowongan
    - Kedalaman maksimum pengeboran terowongan yaitu pada kedalaman 200m (tekanan air 0.69 Mpa). Pada umumnya pengeboran terowongan pada tanah berpasir yang tidak terkonsolidasi yaitu kurang dari 100m.
  2. Dalam merencanakan terowongan dibawah tanah perlu juga dipertimbangkan dampak dampak saat dan sesudah terowongan dibangun, berikut adalah beberapa faktor yang harus dipertimbangkan saat perencanaan terowongan :
    - Dalam merencanakan terowongan, harus diketahui baik kekuatan, karakteristik deformasi, stabilitas bidang

terowongan, dan aliran alir pada media media yang dilewati terowongan

- Harus mempertimbangkan dampak pada lingkungan sekitar, seperti suara bising dan getaran, gangguan lalu lintas, penurunan muka air di sungai dan air tanah, perubahan dan polusi pada kualitas air, penurunan muka tanah, serta pengaruh lainnya.
  - Efek akibat pada struktur yang berdekeatan dengan lokasi terowongan, area dan tingkat dampak harus dikaji dan dipertimbangkan dalam perencanaan dan pelaksanaan pengeboran terowongan.
3. Selain kedalaman dan pengaruh struktur sekitar, perlu juga dipertimbangkan beberapa faktor untuk alinemen horizontal atau memanjang dari terowongan, beberapa faktor tersebut adalah:
- Alinemen horizontal dan memanjang terowongan harus selurus mungkin, dan lengkungan harus memiliki radius sebesar mungkin
  - Gradien alinemen horizontal terutama ditentukan sesuai dengan tujuan terowongan dan harus semoderat mungkin. Jika dibutuhkan adanya drainase, diperlukan kemiringan (sekitar 0,2%) untuk memungkinkan aliran gravitasi.
  - Apabila ada kemungkinan gradien berubah dimasa mendatang karena adanya deformasi, maka perubahan tersebut harus didasarkan pada perubahan yang telah diperkirakan dan perimbangan diperlukan sehingga perubahan gradien seperti itu tidak akan mengganggu fungsi terowongan.
  - Pada umumnya gradien alinemen vertikal atau arah memanjang sebesar 5%.

Menurut *International Tunneling Association* (ITA) tentang konstruksi terowongan pada tanah lunak dengan menggunakan metode *shield tunneling* harus memerhatikan karakteristik fisik tanah sebagai beriku :

$$N \leq 50 \quad (20)$$

$$E = 2.5 \times N \leq 125 \quad (21)$$

$$q_u = \frac{N}{80} \leq 0.6 \quad (22)$$

dengan,

$N$  = Nilai *standard penetration test* (*blow/ft*)

$E$  = Modulus elastisitas tanah (MPa)

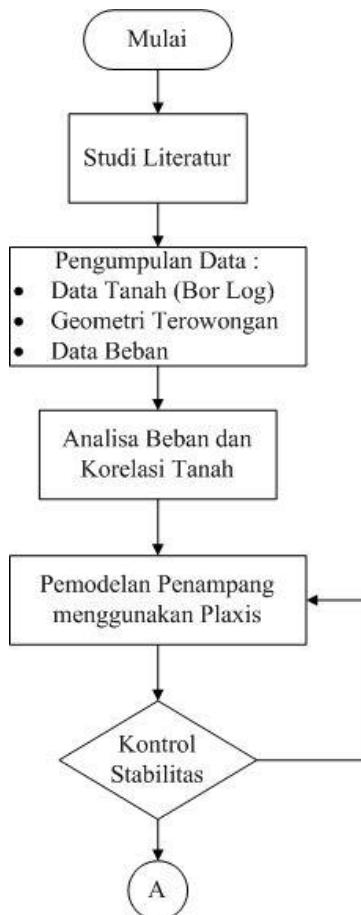
$q_u$  = *Unconfined compressive strength* (MPa)

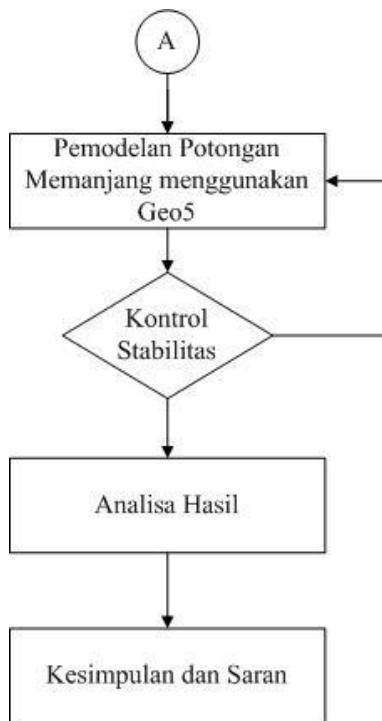
## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Prosedur Penelitian

Dalam analisis untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada terowongan bor MRT Jakarta ini dilakukan permodelan dan analisis struktur dengan bantuan *software* PLAXIS 8.6. Tahapan dalam analisis tersebut ditampilkan dalam Gambar 3.1





### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur yang gunakan pada Proyek Akhir ini dilakukan dengan mengumpulkan referensi geoteknik khususnya yang membahas tentang ketentuan ketentuan dalam membangun terowongan di bawah tanah dengan kondisi tanah lunak. Ketentuan ketentuan tersebut diambil dari peraturan peraturan, buku, serta jurnal nasional maupun internasional.

Berikut adalah referensi yang digunakan sebagai penunjang studi literatur penulis :

1. *Geotechnical Interpretative Report*, SOWJ
2. *Bored Tunnel Design for Design Section CP 105-4*, SOWJ
3. SNI 8460-2017, Persyaratan Perencanaan Geoteknik
4. Buku Terjemahan Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1 dan 2, Braja M. Das

5. *Civil Design Criteria for Road And Rail Transit Systems*
6. *Guidelines for the Design of Shield Tunnel Lining Official Report of the International Tunneling Association*
7. *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels-Civil Elements, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*
8. *Standard Specifications for Tunneling-2006 : Shield Tunnels, Japan Society of Civil Engineers*
9. *Tunnel Lining Design Guide*, Thomas Telford
10. *Tunnel Face Stability Analysis in Soft Ground in Urban Tunneling by EPB Shield*, Javad Mohammadi

### **3.3 Data Penelitian**

Penelitian untuk studi perilaku terowongan bor ini menggunakan data terowongan bor MRT Jakarta yang didapat dari pihak SOWJ-JV (Shimizu-Obayashi-WIKA-Jaya Konstruksi Joint Venture) melalui surat permohonan pengajuan data.

Data yang digunakan dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini adalah sebagai berikut :

- Data Bor Log CP 105-4
- Data Statigraphy tanah CP 105-4
- Gambar Desain Kedalaman Terowongan
- Gambar Geometri *Lining* Terowongan
- Data Pembebanan

### **3.4 Prosedur Analisis Data**

Analisis data dilakukan dengan bantuan *software* maupun metode analitis. Analisi ditujukan untuk mendapat *output* sebagai jawaban terkait rumusan masalah proyek akhir ini. Berikut adalah prosedur untuk analisis data :

1. *Review* dan pengolahan data yang akan digunakan  
Data sekunder yang diberikan oleh pihak SOWJ-JV dilakukan studi literatur mengenai korelasi antara data lapangan dengan karakteristik fisik dari material tersebut. Data juga diolah untuk disesuaikan dengan input ke dalam *software*
2. Permodelan lapisan tanah

Semua jenis tanah akan dimodelkan ke dalam model Mohr-Coulomb dan dianalisis dengan perilaku terdrainase. Parameter – parameter yang diperlukan dalam memodelkan tanah tersebut yaitu E,v,c,dan  $\Phi$

3. Permodelan Terowongan

Dalam meodelkan terowongan pada PLAXIS 8.6 memiliki sub-menu khusus untuk memodelkan geometri dari terowongan untuk karakteristik fisik di golongkon sebagai pelat (*plate*).

4. Permodelan Pembebanan

Beban yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari peraturan (*Civil Design Criteria Standards Chapter 3.7.1*) dengan beban minimum 75 kN/m<sup>2</sup>.

5. Penetapan Kondisi Batas

Kondisi batas yang digunakan merupakan Jepit Standar, dimana akan ditetapkan automatis kondisi batasnya oleh *software* PLAXIS

6. Penyusunan Jaring Elemen

Jaring elemen dimodelkan dengan kekasaran yang sedang sehingga waktu penyelesaian analisis didapat lebih singkat.

7. Penetapan Kondisi Awal

Analisis tekananan air pori dan analisis prosedur  $K_0$  harus dilakukan terlebih dahulu. Penentuan tekanan air pori ditetapkan berdasarkan kedalaman muka air tanah.  $K_0$  dianalisis lewat tegangan efektif awal pada model. Plaxis dapat menganalisis secara otomatis menggunakan  $K_0$  yang tersedia

8. Hasil Analisis

Hasil analisis dari permodelan yang didapat adalah deformasi dan gaya-gaya dalam yang bekerja pada *lining* terowongan.

Berdasarkan (*Civil Design Criteria Standards for Road and Rail Transit System Chapter 6.3*) deformasi yang terjadi tidak boleh melebihi 15mm dan beda penurunan tidak lebih dari 1:1000 pada setiap segmen dimana tiap segmen dibagi setiap 3 meter,

9. Analisis Stabilitas Terowongan

Analisis ini dapat dilakukan dengan persamaan yang tertera pada Sub-Bab 2.11, Sub-Bab 2.12, Sub-Bab 2.13, Sub-Bab 2.14

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PERMODELAN**

#### **4.1 Data Sekunder Proyek**

Data yang digunakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini terdiri dari :

##### 1. Data Geoteknik

- Data Tanah

Dalam Proyek Akhir ini digunakan data tanah dasar (*Boring Log*) *Bore Hole 105-11* yang terletak pada STA 12k+819. Data *Boring Log* tersebut berisi deskripsi tanah di tiap kedalaman baik karakteristik tanah, elevasi muka air tanah serta nilai uji SPT (*Standart Penetration Test*) sedalam titik uji *Bor Log*.

- Kedalaman Terowongan

Dalam Proyek Akhir ini kedalaman terowongan pada titik CP 105-11 direncanakan pada elevasi -18,325m dari muka tanah. Titik perencanaan terowongan mengacu pada *Axis Tunnel* yang direncanakan dengan karakteristik tanah AC1b yang merupakan lempung kaku.

##### 2. Data Struktur

Data struktur berisi mengenai spesifikasi *lining tunnel* untuk proyek MRT. *Lining Tunnel* terdiri dari beton precast yang terdiri dari 5 segmen dan 1 segmen kunci dengan bentang 1,5 meter.

##### 3. Data Pembebaan

- Beban Jalan

Sepanjang section 105-4 dimulai dari STA 12+699 – STA12+900 dibebani Jl. Jenderal Sudirman diatas permukaan tanah diatas *Tunnel* dengan lebar 65m yang diasumsikan sebagai perkerasan kaku.

- Beban Gempa

Beban gempa yang di gunakan diasumsikan sebagai beban jalan dikali dengan koefisien gempa pada daerah Jakarta

## 4.2 Klasifikasi Karakteristik Tanah

Berdasarkan data yang didapat dari *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta, karakteristik geologi tanah di klasifikasikan sebagai berikut :

Tabel IV-1 Jenis tanah menurut stratanya (MRTJ, 2013)

Geologi	Klasifikasi	Karakteristik	
Strata Atas	Lempung dan Lanau Aluvial	AC1ax	Lempung atau Lanau sangat lunak
		AC1a	Lempung atau Lanau lunak
		AC1b	Lempung atau Lanau kaku
	Pasir Aluvial	AS1a	Pasir halus
		AS1b	Pasir padat sedang
	Lempung dan Lanau Diluvial	DC1	Lempung atau Lanau sangat kaku
		DC2	Lempung atau Lanau Keras
		DS1	Pasir padat
		DS2	Pasir sangat padat

### 4.2.1 Klasifikasi Parameter Tanah Berdasarkan Data Proyek

Berdasarkan data tanah yang didapat *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta. Parameter tanah di generalisasikan berdasarkan jenis tanah seperti tabel berikut :

Tabel IV-2 Parameter Lempung/Lanau (MRTJ, 2013)

Jenis Tanah	Klasifikasi	N-SPT	Berat Jenis	Sudut Geser	Cu	c'	Eu	E'	k	Ko
			kN/m <sup>3</sup>	(φ)	kPa	kPa	Mpa	Mpa	m/s	
Lempung/ Lanau	AC1ax	1-4 (2)	16	22	12	1	150.Cu	Eu/ 1.2	1,E-07	1
	AC1a	5-9 (5)	16	28	30	5	250.Cu	Eu/ 1.2	1,E-07	0,7
	AC1b	10-19 (15)	16	28	80	10	400.Cu	Eu/ 1.2	1,E-07	0,7

	DC1	20-40 (25)	18	32	150	15	400.Cu	Eu/ 1.2	1,E- 07	0,7
	DC2	>40 (45)	18	34	270	30	400.Cu	Eu/ 1.2	1,E- 07	0,6

Tabel IV-3 Parameter Pasir (MRTJ, 2013)

Jenis Tanah	Klasifikasi	N-SPT	Berat Jenis	Sudut Geser	Cu	c'	Eu	E'	k	Ko
			kN/m <sup>3</sup>	(φ)	kPa	kPa	Mpa	Mpa	m/s	
Pasir	AS1a	1-9 (5)	18	30	0	0		2.N	1,E-05	0,5
	AS1b	10-19 (13)	18	32	0	0		2.N	1,E-05	0,5
	DS1	20-40 (25)	18	34	0	0		2.N	1,E-05	0,5
	DS2	>40 (50)	18,5	37	0	5		2.N	1,E-05	0,5

#### 4.2.2 Data Tanah CP 105-4

Berdasarkan data tanah yang didapat *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta. Data tanah pada Bor Log 105-11 didapat seperti berikut :

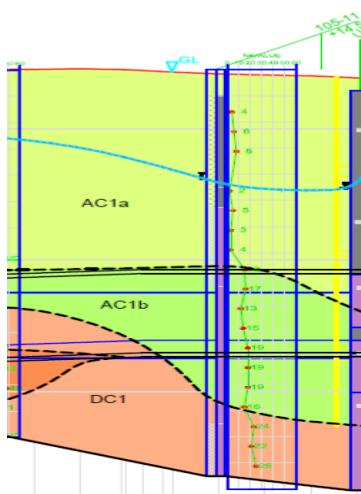
Tabel IV-4 Data Bor Log 105-11 (MRTJ, 2013)

Layer	Depth (m)	Soil Type	Soil Description	SPT	
					N
0	0.00 - 3.00		Test Pit		
1	2.00 - 9.00	silty Clay	silty CLAY trace of sand, homogeneous, light brown, medium plasticity, soft , moist		1-8
2	9.00 - 10.5	silty Clay	silty CLAY ,homogeneous, reddish brown, high plasticity, soft		2

3	10.5 - 16.5	clayey <b>Silt</b>	clayey SILT trace of sand, homogeneous, brown, low - medium plasticity, soft, moist	3-16
4	16.5 - 25.5	<b>Silt</b>	SILT, homogeneous, dark brown, low- medium plasticity, medium stiff, moist	13-19
5	25.5 - 27.00	<b>Silt</b>	siltston, homogeneous, dark brown, moderate	16
6	27.00 - 30.25	clayey <b>Silt</b>	clayey SILT trace of sand, homogeneous, light gray, low - medium plasticity, very stiff	24-26

#### 4.2.3 Analisa Tanah Menurut Jenis dan N-SPT

Berdasarkan N-SPT dan jenis tanah yang di dapat dari Bor-Log 105-11 dapat di ketahui parameter tanah di Bor-Log 105-11. Mengacu pada data *Geological Profiles* yang didapat dari *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta. Klasifikasi tanah dapat di sederhanakan sesuai gambar 4.1 berikut :



Gambar IV-1 Geological Profiles BorLog 105-11  
(Geotechnical Interpretative Report MRT Jakarta)

Menurut *Geological Profiles* seperti gambar 4.1, tanah di BorLog 105-11 dapat diklasifikasikan seperti tabel 9 berikut :

Tabel IV-5 Klasifikasi Tanah BorLog 105-11

Layer	Depth	N-SPT	N-SPT	Jenis Tanah	Description
No.	(m)	(range)	Design		
1	0.00 - 15.25	1-9	5	AC1a	<i>Very Soft Clay or Silt</i>
2		10-19	15	AC1b	<i>Firm to Stiff Clay or Silt</i>

	15.25 - 27.25				
3	27.25 - 30.25	20-40	25	DC1	<i>Stiff to Very Stiff Clay or Silt</i>

#### 4.2.4 Analisa Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ )

Dari klasifikasi yang sudah didapat pada Tabel 9, parameter berat jenis tanah dapat diketahui menggunakan klasifikasi yang telah di berikan *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta pada tabel 6 dan tabel 7, seperti tabel 10 berikut:

Tabel IV-6 Hasil Analisa Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ )

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	$\gamma$ sat	$\gamma$ unsat
		Design	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
0.00 - 15.25	AC1a	5	16	16
15.25 - 27.25	AC1b	15	16	16
27.25 - 30.25	DC1	25	18	18

#### 4.2.5 Hasil Analisa Sudut Geser ( $\phi$ )

Dari klasifikasi yang sudah didapat pada Tabel 9, parameter sudut geser tanah dapat diketahui menggunakan klasifikasi yang telah di berikan *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta pada tabel 6 dan tabel 7, seperti tabel 11 berikut :

Tabel IV-7 Hasil analisa sudut geser BorLog 105-11

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Sudut Geser
		Design	( $\phi$ )
0.00 - 15.25	AC1a	5	28
	AC1b	15	28

15.25 - 27.25			
27.25 - 30.25	DC1	25	32

#### 4.2.6 Kuat Geser *Undrained* ( $c_u$ )

Dari klasifikasi yang sudah didapat pada Tabel 9, parameter kuat geser *undrained* tanah ( $c_u$ ) dapat diketahui menggunakan klasifikasi yang telah di berikan *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta pada tabel 6 dan tabel 7, seperti tabel 12 berikut :

Tabel IV-8 Hasil analisa  $c_u$  BorLog 105-11

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Cu
		Design	kPa
0.00 - 15.25	AC1a	5	30
15.25 - 27.25	AC1b	15	80
27.25 - 30.25	DC1	25	150

#### 4.2.7 Kuat Geser Efektif ( $c'$ )

Dari klasifikasi yang sudah didapat pada Tabel 9, parameter kuat geser efektif tanah ( $c'$ ) dapat diketahui menggunakan klasifikasi yang telah di berikan *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta pada tabel 6 dan tabel 7, seperti tabel 13 berikut :

Tabel IV-9 Hasil Analisa ( $c'$ ) BorLog 105-11

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	$c'$
		Design	kPa
0.00 - 15.25	AC1a	5	5

15.25 - 27.25	AC1b	15	10
27.25 - 30.25	DC1	25	15

#### 4.2.8 Modulus Young (Eu)

Dari klasifikasi yang sudah didapat pada Tabel 13, parameter modulus young (Eu) dapat diketahui menggunakan klasifikasi yang telah di berikan *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta pada tabel 6 . Modulus young dapat di hitung dengan persamaan berikut:

1. Modulus Young :

a) AC1a

$$\begin{aligned} Eu &= 250 \times Cu \\ &= (250 \times 30)/100 \\ &= \\ &= 7.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) AC1b

$$\begin{aligned} Eu &= 400 \times Cu \\ &= 400 \times 80 \\ &= 32000 \text{ kPa} \\ &= 32 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c) DC1

$$\begin{aligned} Eu &= 400 \times Cu \\ &= 400 \times 150 \\ &= 60000 \text{ kPa} \\ &= 60 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Modulus young BorLog 105-11 direkap dalam tabel 14 berikut:

Tabel IV-10 Modulus young BorLog 105-11

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Eu
		Design	Mpa
0.00 - 15.25	AC1a	5	7,5

15.25 - 27.25	AC1b	15	32
27.25 - 30.25	DC1	25	60

#### 4.2.9 Hasil Analisa Modulus Young Efektif (E')

Dari klasifikasi yang sudah didapat pada Tabel 14, parameter modulus young efektif (E') dapat diketahui menggunakan klasifikasi yang telah di berikan *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta pada tabel 6. Modulus young dapat di hitung dengan persamaan berikut:

1. Perhitungan Modulus Young Efektif :

a) AC1a

$$\begin{aligned} E' &= Eu/1.2 \\ &= 7.5/1.2 \\ &= 6.25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) AC1b

$$\begin{aligned} E' &= Eu/1.2 \\ &= 32/1.2 \\ &= 26.67 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c) DC1

$$\begin{aligned} E' &= Eu/1.2 \\ &= 60/1.2 \\ &= 50 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Modulus young efektif (E') BorLog 105-11 direkap pada tabel berikut:

Tabel IV-11 Hasil Analisa (E') BorLog 105-11

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	E'
		Design	Mpa
	AC1a	5	6,25

0.00 - 15.25			
15.25 - 27.25	AC1b	15	26,6667
27.25 - 30.25	DC1	25	50

#### 4.2.10 Nilai Koefisien Permeabilitas

Nilai koefisien permeabilitas, berdasarkan *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta didapatkan sebesar 1,E-0,7 m/s. Nilai k tersebut kemudian diubah menjadi satuan m/hari seperti hitungan berikut :

$$\begin{aligned}
 1) \quad k &= 0,0000001 \text{ m/s} \\
 \bullet \quad 1 \text{ hari} &= 86400 \text{ detik} \\
 1 \text{ detik} &= 0,00001157 \text{ hari} \\
 k &= 0,0000001/0,00001157 \\
 &= 0,00864 \text{ m/hari}
 \end{aligned}$$

Tabel IV-12 Hasil Analisis kx dan kv BorLog105-11

Depth (m)	Jenis Tanah	N-SPT	kv (m/hari)	kx (m/hari)
		Design		
0.00 - 15.25	AC1a	5	0,00864	0,00864
15.25 - 27.25	AC1b	15	0,00864	0,00864
27.25 - 30.25	DC1	25	0,00864	0,00864

### 4.3 Hasil Analisa Parameter Tanah

Sesuai parameter tanah yang sudah didapat dari data *Geotechnical Interpretative Report* MRT Jakarta. Analisa parameter tanah pada borlog 105-11 untuk design *tunnel* pada section 105-4 di tunjukan dengan tabel x berikut :

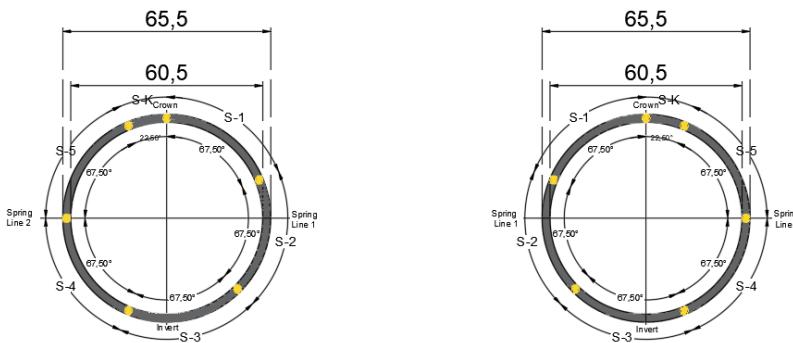
Tabel IV-13 Hasil Analisa Parameter Tanah BorLog 105-11

Parameter	Satuan	Lapis 1	Lapis 2	Lapis 3
Kedalaman	(m)	0-15,25	15,25-27,25	27,25-30,25
Tebal	(m)	15,25	12	3
Jenis Tanah	-	AC1a	AC1b	DC1
Tipe Perilaku Material	-	Undrained	Undrained	Undrained
N-SPT	-	5	15	25
$\gamma_{unsat}$	(kN/m <sup>3</sup> )	16	16	18
$\gamma_{sat}$	(kN/m <sup>3</sup> )	16	16	18
Koef. Permeabilitas Horizontal ( $k_x$ )	(m/hari)	0,00864	0,00864	0,00864
Koef. Permeabilitas Vertikal ( $k_v$ )	(m/hari)	0,00864	0,00864	0,00864
Modulus Young ( $E_{ref}$ )	(MPa)	7,5	32	60
Modulus Young Efektif ( $E'$ )	(MPa)	6,25	26,67	50
Kuat Geser Undrained ( $c_u$ )	(kN/m <sup>2</sup> )	29	88	146

Rasio Poisson's	-	0,3	0,3	0,3
( $c_{ref}$ )	(kN/m <sup>2</sup> )	5	10	15
Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ )	°	28	28	32
Sudut Dilatansi	°	0	0	0
Modulus Geser (G)	(kN/m <sup>2</sup> )	2812,5	13500	22500
Koef. Tekanan tanah lateral ( $K_0$ )	-	0,530528437	0,530528437	0,470080736

#### 4.4 Data Struktur *Lining*

Struktur *Lining* merupakan struktur terowongan yang berfungsi menahan adanya tekanan tanah baik vertikal maupun horizontal, *Bored Tunnel Design for Design Section CP 105-4, SOWJ*. Data Parameter *Lining* dapat diketahui seperti berikut :



Gambar IV-2 Detail *Lining*  
(MRTJ, 2013)

Tabel IV-14 Radial Segmen (MRTJ, 2013)

Diskontinuitas	<i>Downtrack</i>	<i>Uptrack</i>
	$\theta$	$\theta$
S1 - SK	337,5	0
SK - S5	270	292,5
S5 - S4	202,5	225
S4 - S3	135	157,5
S3 - S2	67,5	90
S2 - S1	0	22,5

- Diameter dalam = 6.05m
- Diameter luar = 6.55m
- Tebal per segmen = 250mm
- Panjang per segmen = 1.5m
- Konfigurasi segmen = 5+1 key
- Kuat Tekan Beton = 60 MPa
- Modulus Young = 32000 MPa
- Kelas Beton (fcu) = 60 N/mm<sup>2</sup>
- Kelas Tulangan Baja (fy) = 390 N/mm<sup>2</sup>
- Bolts (p<sub>t</sub>) = 560 N/mm<sup>2</sup>
- Kedalaman Tunnel Z<sub>0</sub> = 18,325 m

#### 4.5 Hasil Analisa Parameter *Lining*

Sesuai data *Bored Tunnel Design for Design Section 105-4, SOWJ*. Parameter parameter *lining* dapat diketahui sebagai berikut :

- Dalam program bantu Plaxis 2D, parameter parameter *lining* seperti EA, EI, v dan w diperlukan. Parameter parameter tersebut dapat di cari melalui perhitungan seperti berikut :
  - a. Mutu beton dikonversikan dari kubus menjadi silinder  

$$f_c = 0.83 \times f_{cu}$$

$$= 0.83 \times 60$$

$$= 49.8 \text{ MPa}$$

- b. Luas *Lining* (A) per satuan jarak, dimana jarak (b) = 1 m.

$$\begin{aligned} A &= b \times t_s \\ &= 1 \times 0.25 \\ &= 0.25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- c. Momen inersia awal (*gross*) per satuan jarak, dimana jarak (b) = 1 m

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{1}{12} \times b \times t_s^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1 \times 0.25^3 \\ &= 0.001302 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- d. Momen inersia pada *joint*

$$I_j = 0.000382 \text{ m}^4 \text{ (dari data proyek)}$$

- e. Momen inersia efektif, lihat Persamaan x.

$$\begin{aligned} I_e &= I_j + I_s \left( \frac{4}{n} \right)^2 \\ &= 0.000382 + 0.001302 \left( \frac{4}{5} \right)^2 \\ &= 0.001215 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- f. Modulus elastisitas beton

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{49.8} \\ &= 33167484 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- g. Modulus kekakuan aksial (EA)

$$\begin{aligned} EA &= E_c \times A \\ &= 33167484 \times 0.25 \\ &= 8291871 \text{ kN/m}^2/\text{m} \end{aligned}$$

- h. Modulus kekakuan lentur (EI)

$$\begin{aligned} EI &= E_c \times I_e \\ &= 33167484 \times 0.001215 \\ &= 40295.3 \text{ kN/m}^2/\text{m} \end{aligned}$$

- i. Volume total lining per satuan panjang, dimana panjang (L) = 1 m

$$\begin{aligned} V &= (A_l - A_d) \times 1 \\ A_l &= 0.25 \times \pi \times D_l^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.25 \times \pi \times 6.55^2 \\
 &= 33.695 \text{ m}^2 \\
 A_d &= 0.25 \times \pi \times D_d^2 \\
 &= 0.25 \times \pi \times 6.05^2 \\
 &= 28.748 \text{ m}^2 \\
 V &= (33.695 - 28.748) \times 1 \\
 &= 4.948 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- j. Berat total *lining*

$$\begin{aligned}
 w_{tot} &= BJ \text{ beton} \times V \\
 &= 24 \times 4.948 \\
 &= 118.752 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- k. Karena dalam parameter Plaxis 2D adalah berat *lining* per satuan panjang, maka berat total harus dibagi dengan keliling terowongan

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{w_{tot}}{\pi \times D} \\
 &= \frac{118.752}{\pi \times 6.55} \\
 &= 5.77 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Dalam program bantu GEO5 parameter parameter *lining* yang diperlukan adalah :
  - Panjang balok  
 $L = 201 \text{ m}$  (panjang segmen memanjang terowongan)
  - Luas *lining*  
 $A = A_l - A_d$   
 $= 33.695 - 28.748$   
 $= 4.948 \text{ m}^2$
  - Tinggi balok  
 $H = \text{Diameter luar terowongan}$   
 $= 6.55 \text{ m}$
  - Lebar balok  
 $B = \frac{A}{H}$   
 $B = \frac{4.948}{6.55}$   
 $B = 0.755 \text{ m}$
  - Modulus elastisita beton

$$E_c = 33167.484 \text{ MPa}$$

f. Modulus Geser

$$\begin{aligned} G &= \frac{E_c}{2(1+\nu)} \\ &= \frac{33167.484}{2(1+0.2)} \\ &= 13819.785 \text{ MPa} \end{aligned}$$

g. Momen inersia lingkaran (*lining*)

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{4} \times \pi \times (r_l^4 - r_d^4) \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (3.275^4 - 3.025^4) \\ &= 24.587 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

#### 4.6 Data Pembebanan

Dari data yang di dapat dalam *Bored Tunnel Design for Design Section CP 105-4, SOWJ*. Data pembebanan untuk input beban Plaxis di section CP 105-4 didapat seperti berikut :

- Beban Permanen**

Beban Permanen pada section CP 105-4 adalah beban yang bekerja pada *lining tunnel* baik selama dan sesudah pengerjaan *tunnel* di section CP 105-4, beban beban tersebut adalah :

Tabel IV-15 Data Pembebanan (MRTJ, 2013)

<b>Beban Permanen</b>			
<b>BEBAN</b>	<b>KETERANGAN</b>	<b>DETAIL</b>	<b>SATUAN</b>
Beban Tanah	Berat Jenis Tanah	Berat Tanah di Atas <i>Lining</i>	kN/m <sup>3</sup>
Beban Air	Berat Jenis Air	10	kN/m <sup>3</sup>
Beban Tambahan	Beban dari Atas Muka Tanah	Minimum 10	kN/m <sup>2</sup>

- Beban Sementara**

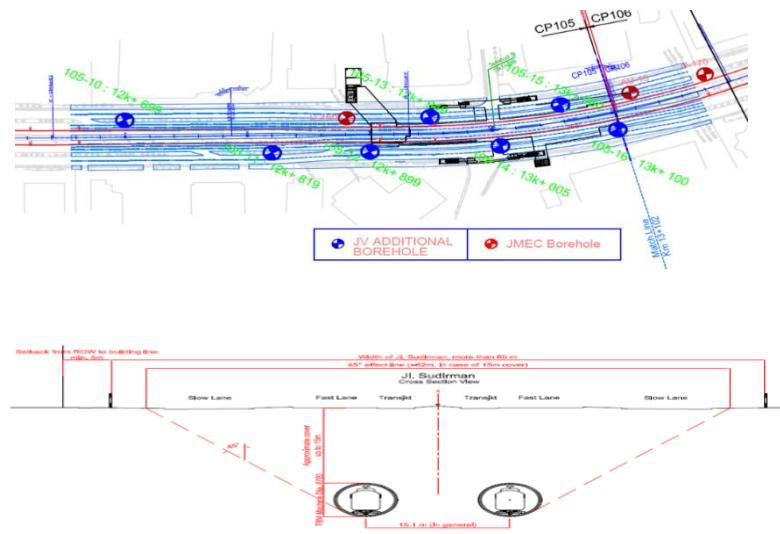
Beban Sementara adalah beban yang hanya bekerja saat proses konstruksi *lining tunnel* CP 105-4, beban tersebut menurut data yang didapat adalah sebagai berikut :

Tabel IV-16 Data Grouting (MRTJ, 2013)

Beban Sementara			
BEBAN	KETERANGAN	DETAIL	SATUAN
<i>Grouting Pressure</i>	<i>Maximum Grouting Pressure</i>	600	kN/m <sup>2</sup>

- Beban Diatas Permukaan Tanah**

Beban diatas permukaan tanah pada section CP 105-4 menurut data yang didapat dari *Bored Tunnel for Design Section CP 105-4, SOWJ. CP 105-4* dibangun sepanjang 201 m dimulai dari STA 12+699 – STA 12+900. CP 105-4 di bangun di bawah JL. Jenderal Sudirman dengan lebar jalan 65m.



Gambar IV-3 Gambar Lokasi Section CP 105-4

Beban diatas permukaan tanah tersebut dihitung selebar jalan sudirman dengan menggunakan acuan SNI 1725:(2016) dengan besar beban  $79,167\text{kN/m}^2$ , yang memenuhi kirteria besar beban sesuai LTA Singapura (2019) yaitu  $> 75 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4.7 Kondisi Muka Air

Mengingat tingkat hujan dan frekuensi banjir yang dijumpai di Jakarta, desai lapisan terowongan harus diperiksa melalui beberapa

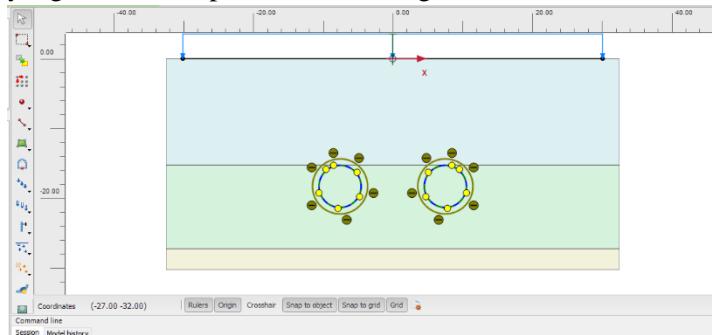
Gambar IV-4 Jalan Jenderal Sudirman Diatas *Tunnel*

kondisi muka air. Kondisi muka air yang di analisa pada *tunnel CP 105-4* di bagi dalam 3 kondisi elevasi muka air yang dibagi berdasarkan tabel x berikut :

Case	Description	Kedalaman
1	High Water Level	2m dibawah muka tanah
2	Low Water Level	5m dibawah muka tanah
3	Flood Water Level	pada muka tanah

#### 4.8 Permodelan Cross Section

Setelah data parameter tanah dan *lining tunnel* sudah didapatkan, tahapan selanjutnya adalah permodelan *cross section* menggunakan program bantu Plaxis 2D. Dalam kasus yang dianalisa penulis, terowongan kembar bawah tanah



Gambar IV-5 Permodelan *Cross Section* Plaxis 2D  
(Dokum.Pribadi)

sedalam 18.325 meter sesuai data yang didapat untuk design *CP 105-4* dengan jarak antar terowongan 15.5m. Permodelan *cross section* tersebut digambarkan dalam program Plaxis 2D v20 seperti berikut.

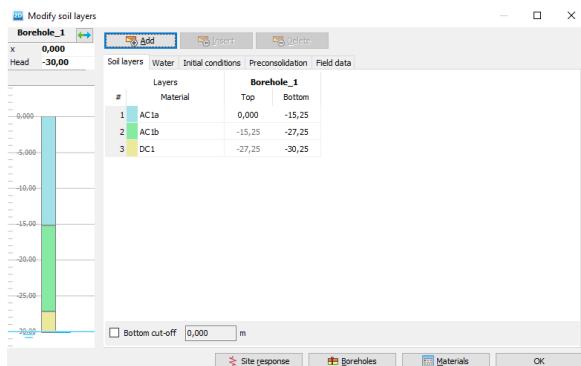
Dengan segment *lining precast* yang terdiri dari 5 segmen + 1key. Pada permodelan *tunnel CP 105-4*, tanah pada *cross section* diketahui memiliki kedalaman 30.25 meter dengan kondisi tanah dimulai dari muka tanah yaitu, 15.25 meter tanah AC1a, 12 meter tanah AC1b, dan 3 meter tanah DC1.

#### 4.8.1 Permodelan Lapisan Tanah

Dari data parameter yang didapat pada tabel IV.13, permodelan tanah dapat dilakukan dengan program bantu Plaxis 2D. Permodelan tersebut dapat dilakukan melalui tahapan berikut :

- Tebal Lapisan Tanah dan Material Tanah

Tebal lapisan tanah dimodelkan berdasarkan kondisi BorLog yang ditinjau, tebal lapisan tanah diatur seperti pada gambar berikut :



Gambar IV-6 Permodelan Tebal lapisan tanah  
(Dokum.Pribadi)

Setelah tebal tanah di modelkan parameter parameter tanah yang sudah didapat pada tabel IV.13 juga harus diinput,

penginput-an material tanah tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :

General			Parameters	Groundwater	Interfaces	Initial
Property	Unit	Value				
<b>Stressless</b>						
$E'$	kN/m <sup>2</sup>	6.250				
$\nu$ (n.s.)		0,3000				
<b>Alternatives</b>						
$G$	kN/m <sup>2</sup>	2404				
$E_{ed}$	kN/m <sup>2</sup>	8413				
<b>Strength</b>						
$\sigma_{u,ref}$	kN/m <sup>2</sup>	30,00				
$\phi_u$ (phi)	=	0,000				
$\psi$ (ps)	=	0,000				
<input checked="" type="checkbox"/> Advanced			Set to default values			
<b>Stiffness</b>						
$E'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000				
$Y_{ref}$	m	0,000				
<b>Strength</b>						
$\sigma_{u,inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000				
$Y_{ref}$	m	0,000				
Tension cut-off			<input checked="" type="checkbox"/>			
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000				
<b>Undrained behaviour</b>						
Undrained behaviour			Standard			
Skempton-B		0,9783				
...		n. atten				

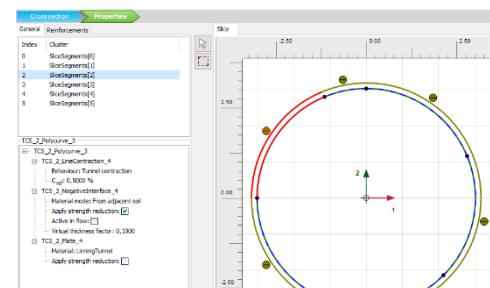
Gambar IV-7 Input parameter tanah  
(Dokum.Pribadi)

#### 4.8.2 Permodelan Struktur *Lining*

Tahap permodelan selanjutnya setelah memodelkan tebal lapisan tanah adalah memodelkan struktur *lining*. *Lining* yang dimodelkan memiliki 6 segmen *precast* dengan jarak antar *lining* 15.1m. *Lining* CP 105-4 berada di kedalaman 18.325m dibawah muka tanah. Tahap tahap permodelan *lining* dapat dilihat seperti tahapan berikut :

##### 1) Input Parameter dan Permodelan *Lining*

*Lining* dimodelkan sesuai kondisi *lining* yang terpasang pada CP 105-4 sebagai pelat yang kemudian diberi *negative*



Gambar IV-8 Permodelan *Lining* Plaxis 2D  
(Dokum.Pribadi)

*interface* dimana struktur dan tanah berinteraksi secara langsung pada sisi luar *lining*. Untuk mengatur *volume loss* pelat pada *lining* diberi *line contraction*. Permodelan *Lining* disesuaikan dengan kondisi *lining* terpasang pada CP 105-4, Permodelan *lining* dapat dilihat seperti tabel berikut:

2) Mengatur Kedalaman *Lining*

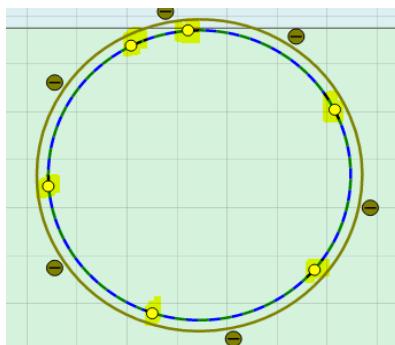
Setelah memodelkan *Lining* sesuai kondisi gambar IV.5, kedalaman *lining* dan jarak antar *lining* kemudian di atur dengan kedalaman *lining* 18.325m dan jarak antar *lining* 15.5m Pengaturan kedalaman dan jarak *lining* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar IV-9 Tab Lokasi *Lining* (Dokum.Pribadi)

3) Mengatur *Joint Segment*

Setelah geometri dan letak terowongan sudah di modelkan, tahap berikutnya adalah mengatur *joint segment lining*. *Joint Segment* pada *lining* di譬akan sebagai sendi yang dapat dilihat pada gambar berikut:



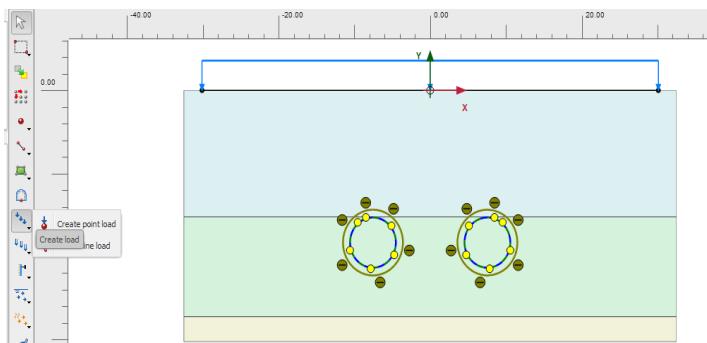
Gambar IV-10 *Joint Segment*  
(Dokum.Pribadi)

#### 4.8.3 Permodelan Beban Permukaan

Beban di permukaan di modelkan dengan kondisi beban berupa beban merata sepanjang 60,2 meter. Permodelan beban permukaan dapat dilihat seperti tahap berikut :

##### 1) *Create Line Load*

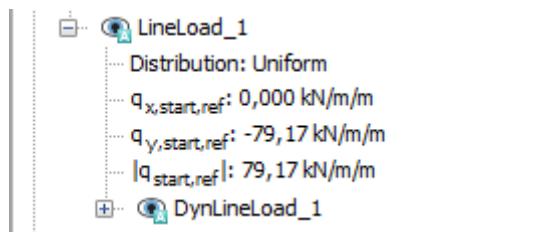
Untuk membuat beban merata di atas permukaan di gunakan menu *create line load* pada program bantu Plaxis. Beban kemudian dibuat sepanjang garis beban dengan lokasi sesuai dengan kondisi yang ingin dimodelkan.



Gambar IV-11 Menu *Create Line Load* (Dokum.Pribadi)

##### 2) Pengaturan Besar Beban

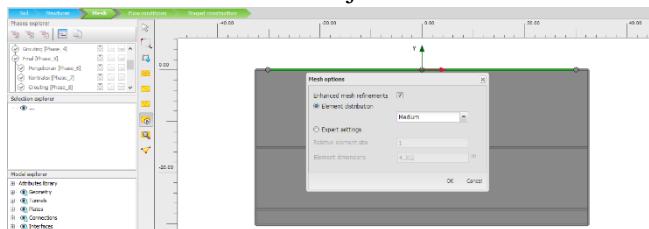
Besar beban merata sesuai hitungan kemudian di masukan, dengan nilai (-) adalah beban ke arah bawah sedangkan (+) adalah beban ke arah atas.



Gambar IV-12 Input beban (Dokum.Pribadi)

#### 4.8.4 Pengaturan Jaring Elemen

Setelah permodelan tanah dan struktur telah selesai maka tahap selanjutnya adalah penyusunan jaring elemen. Permodelan jaring elemen dapat diatur pada menu *Mesh* setelah itu pilih *Generate Mesh* dan pilih *Element Distribution* menjadi *Medium*.



Gambar IV-13 *Generate Mesh* (Dokum.Pribadi)

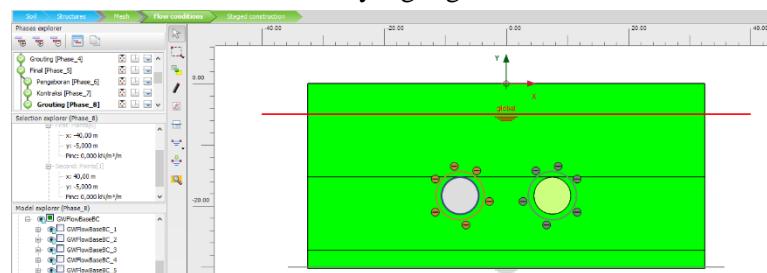
#### 4.8.5 Permodelan Kondisi Muka Air

Mengingat kondisi curah hujan di lokasi CP 105-4. Muka air di modelkan dalam 3 kondisi seperti tabel berikut:

Tabel IV-17 Kondisi Muka Air (MRTJ, 2013)

Case	Description	Elevasi M.A.T
1	High Water Level	2m dibawah muka tanah
2	Low Water Level	5m dibawah muka tanah
3	Flood Water Level	pada muka tanah

Kondisi muka air di modelkan dengan menu *Flow Condition* yang kemudian diatur elevasi muka air yang ingin dimodelkan.



Gambar IV-14 Pengaturan Kondisi Muka Air (Dokum.Pribadi)

#### 4.8.6 Permodelan Tahapan Konstruksi

Setelah semua permodelan diatas diselesaikan, tahap selanjutnya adalah mengatur permodelan tahapan konstruksi dengan menu *Stage Construction*. Tahap tahap konstruksi dapat dilihat sesuai tabel IV.16 berikut.

Tabel IV-18 Iput Permodelan Tahapan Konstruksi

No	Calculation Phase	Description	Calculation Type
1	Initial Phase	Initial Condition	Plastic
2	Existing Load	Activate Surcharge Load	Plastic
3	Pengeboran Downtrack	Activate Tunnel Lining	Plastic
4	Nilai Kontraksi	Input Contraction Increment (0,5%)	Plastic
5	Grouting Downtrack	Input Grouting Pressure (315 kN/m <sup>2</sup> )	Plastic
6	Final Downtrack	Final Output of Downtrack Tunnel	Plastic
7	Pengeboran Uptrack	Activate Tunnel Lining	Plastic
8	Nilai Kontraksi	Input Contraction Increment (0,5%)	Plastic
9	Grouting Uptrack	Input Grouting Pressure (315 kN/m <sup>2</sup> )	Plastic
10	Final Uptrack	Final Output of Uptrack Tunnel	Plastic
11	SF of Downtrack Tunnel	Safety Factor of Downtrack Tunnel	Safety
12	SF of Uptrack Tunnel	Safety Factor of Uptrack Tunnel	Safety

#### 4.8.7 Hasil Analisa Program Bantu Plaxis 2D v20

Analisa permodelan yang telah dibuat pada program bantu Plaxis 2D kemudian ditinjau. Berikut adalah beberapa output yang ditinjau dari program bantu Plaxis 2D:

1) *Settlement*

*Settlement* adalah penurunan pada muka tanah eksisting, penurunan dari 3 kondisi muka air tanah yang di modelkan kemudian ditinjau per-tahap konstruksinya:

- Hasil Analisa *Settlement* pada kondisi LWL

Tabel IV-19 Hasil Analisa *Settlement* LWL

	Tahap	x	y	Settlement
LWL 5m Grouting 315	Pengeboran Dt	-6,451	0	0,005
	Kontraksi	-6,183	0	0,009
	Grouting	-	30,705	0,007
	Final	-	30,705	0,008
	Pengeboran Ut	30,705	0	0,009
	Kontraksi	-0,806	0	0,011
	Grouting	-	30,705	0,01
	Final	-	30,705	0,01

- Hasil Analisa *Settlement* pada kondisi HWL

Tabel IV-20 Hasil Analisa *Settlement* HWL

	Tahap	x	y	Settlement
HWL 2m Grouting 315	Pengeboran Dt	-8,064	0	0,004
	Kontraksi	-7,258	0	0,008
	Grouting	-30,705	0	0,005
	Final	-8,871	0	0,006
	Pengeboran Ut	-30,705	0	0,007
	Kontraksi	-1,075	0	0,01
	Grouting	-30,705	0	0,007
	Final	-30,705	0	0,008

- Hasil Analisa *Settlement* pada kondisi FWL

Tabel IV-21 Hasil Analisa *Settlement* FWL

	Tahap	x	y	Settlement
FWL 0m Grouting 315	Pengeboran Dt	-7,796	0	0,004
	Kontraksi	-7,258	0	0,008
	Grouting	-8,602	0	0,005
	Final	-8,602	0	0,006
	Pengeboran Ut	-2,419	0	0,006
	Kontraksi	-1,075	0	0,009
	Grouting	-0,806	0	0,007
	Final	-0,269	0	0,007

## 2) Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk dengan dimensi posisi maupun materialnya. Deformasi dari tiap kondisi muka air tanah dimodelkan dan di analisa kondisi deformasi maksimalnya per-tahap konstruksi permodelan.

- Hasil Analisa Deformasi LWL

Tabel IV-22 Hasil Analisa Deformasi LWL

	Tahap	x	y	Deformasi
LWL 5m Grouting 315	Pengeboran Dt	-7,55	-15,3	0,022
	Kontraksi	-7,55	-15,3	0,038
	Grouting	-6,657	15,435	0,018
	Final	-6,764	15,404	0,02
	Pengeboran Ut	-8,249	15,382	0,019
	Kontraksi	7,501	-15,3	0,032
	Grouting	-8,327	15,401	0,02

	Final	-8,327	-	0,02
	Gempa	18,279	0	0,076

- Hasil Analisa Deformasi HWL

Tabel IV-23 Hasil Analisa Deformasi HWL

	Tahap	x	y	Deformasi
HWL 2m Grouting 315	Pengeboran Dt	-7,55	-15,3	0,018
	Kontraksi	-7,55	-15,3	0,034
	Grouting	-6,657	-15,435	0,015
	Final	-7,444	-14,516	0,017
	Pengeboran Ut	-8,249	-15,382	0,017
	Kontraksi	7,501	-15,3	0,03
	Grouting	-8,249	-15,382	0,017
	Final	-8,249	-15,382	0,017
	Gempa	18,01	0	0,076

- Hasil Analisa Deformasi FWL

Tabel IV-24 Hasil Analisa Deformasi FWL

	Tahap	x	y	Deformasi
FWL 0m Grouting 315	Pengeboran T1	-7,543	-15,275	0,016
	Kontraksi	-7,55	-15,3	0,031
	Grouting	-7,601	-14,516	0,013
	Final	-7,601	-14,516	0,016
	Pengeboran T2	-7,444	-14,516	0,015
	Kontraksi	7,501	-15,3	0,028
	Grouting	-8,17	-15,364	0,015
	Final	-8,17	-15,364	0,015
	Gempa	17,473	0	0,073

3) Deformasi *Tunnel*

Selain deformasi pada tanah disekitar *lining*, deformasi maks pada *lining* juga ditinjau sesuai kondisi muka air tanah yang ditinjau per-tahapan konstruksi yang dimodelkan.

- Hasil Analisa Deformasi *Tunnel* HWL

Tabel IV-25 Hasil Analisa Deformasi *Tunnel* HWL

	Tahap	x	y	Deformasi	Downtrack	x	y	Deformasi	Uptrack
HWL 2m Grouting 315	Pengeboran T	-7,55	-15,3	0,0186	SK				
	Kontraksi	-7,55	-15,3	0,034	SK				
	Grouting								
	Final	-6,764	-15,404	0,0176	\$1				
	Pengeboran T	-8,249	-15,382	0,017	SK	7,55	-15,3	0,015	\$1
	Kontraksi	-6,764	-15,404	0,018	\$1	7,55	-15,3	0,03	\$1
	Grouting	-8,249	-15,382	0,017	SK				
	Final	-8,249	-15,382	0,017	SK	8,17	-15,364	0,016	SK
	Gempa	-7,55	-15,3	0,029	SK	7,55	-15,3	0,031	\$1

- Hasil Analisa Deformasi *Tunnel* LWL

Tabel IV-26 Hasil Analisa Deformasi *Tunnel* LWL

	Tahap	x	y	Deformasi	Downtrack	x	y	Deformasi	Uptrack
LWL 5m Grouting 315	Pengeboran T	-7,55	-15,3	0,022	\$1				
	Kontraksi	-7,55	-15,3	0,039	\$1				
	Grouting								
	Final	-6,764	-15,404	0,02	\$1				
	Pengeboran T	-8,249	-15,382	0,0198	SK	7,55	-15,3	0,01775	\$1
	Kontraksi	-6,764	-15,404	0,02	\$1	7,55	-15,3	0,032	\$1
	Grouting	-9,415	-15,944	0,02	\$5				
	Final	-9,415	-15,944	0,021	\$5	9,415	-15,944	0,019	\$5
	Gempa	-7,55	-15,3	0,03	\$1	7,55	-15,3	0,033	\$1

- Hasil Analisa Deformasi *Tunnel FWL*

Tabel IV-27 Hasil Analisa Deformasi *Tunnel FWL*

	Tahap	x	y	Deformasi	Downtrack	x	y	Deformasi	Uptrack
FWL 0m Grouting 315	Pengeboran T	-7,55	-15,3	0,016	SK				
	Kontraksi	-7,55	-15,3	0,032	SK				
	Grouting								
	Final	-6,764	-15,404	0,0158	S1				
	Pengeboran T	-8,17	-15,364	0,015	SK	7,55	-15,3	0,0136	SK
	Kontraksi	-6,764	-15,404	0,017	S1	7,55	-15,3	0,028	SK
	Grouting	-8,17	-15,364	0,0157	SK				
	Final	-8,249	-15,382	0,0157	SK	8,17	-15,364	0,015	SK
	Gempa	-7,55	-15,3	0,029	SK	7,55	-15,3	0,031	SK

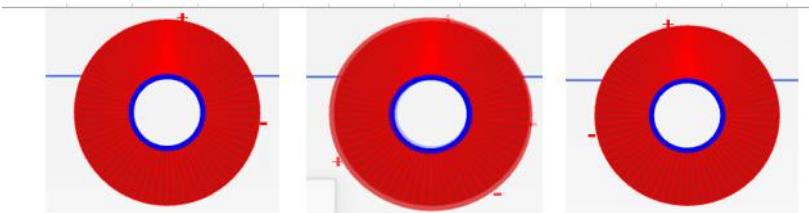
#### 4.8.8 Hasil Analisa Gaya Dalam

Hasil analisa gaya dalam oleh program bantu Plaxis 2D didapatkan berupa momen ( $M$ ), shear ( $Q$ ) , stress ( $N$ ). Hasil analisa dapat dilihat seperti berikut.

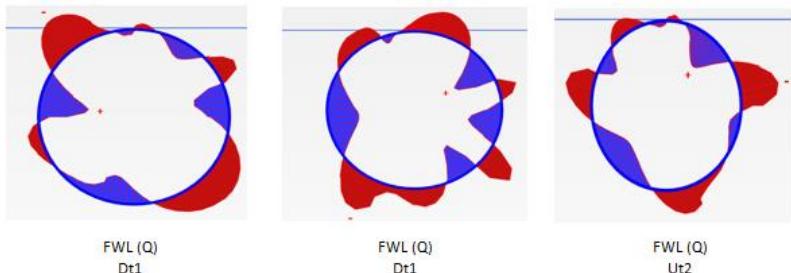
- Hasil analisa ditinjau pada kondisi muka air banjir (FWL) yaitu di muka tanah dengan  $M$ ,  $N$  , $Q$  yang ditinjau pada kondisi 1 dimana ditinjau pada final konstruksi *downtrack* (Dt) dan 2 ditinjau pada final konstruksi *uptrack* (Ut)

Tabel IV-28 Hasil Analisa FWL

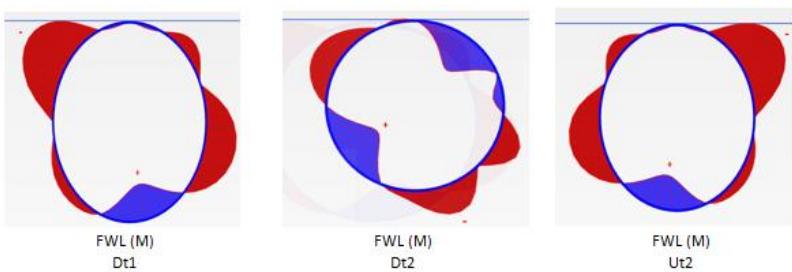
FWL	M Min	M max	N	Nmax	Q min	Qmax
Dt1	-3,428	2,227	-961,1	-956	-2,488	3,136
Dt2	-2,105	2,904	-980,7	-963	-2,625	2,814
Ut2	-3,473	2,243	-961,2	-956,1	-3,133	2,534



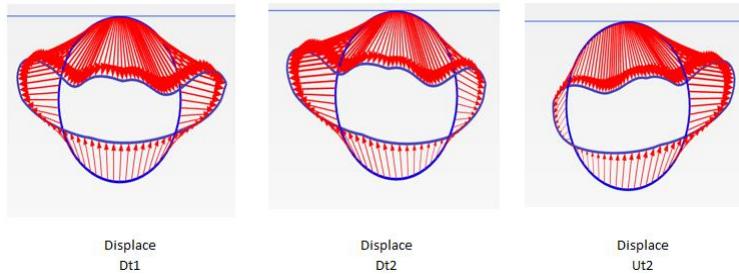
Gambar IV-15 N yang bekerja pada downtrack dan Uptrack



Gambar IV-18 Q yang bekerja pada Downtrack dan Uptack



Gambar IV-17 M yang bekerja pada Downtrack dan Uptrack

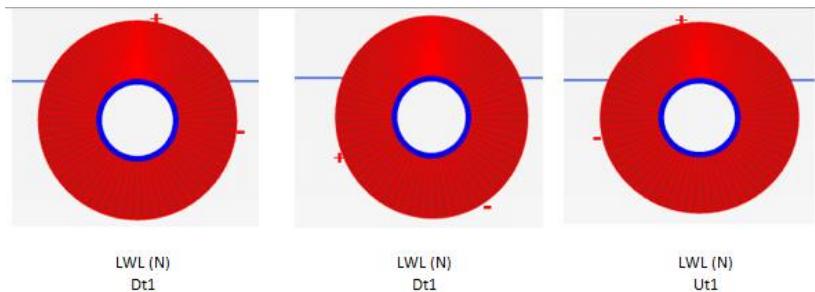


Gambar IV-16 Displacement pada Downtrack dan Uptrack

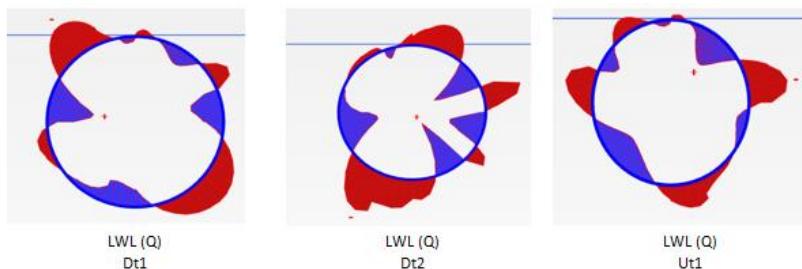
- Hasil analisa ditinjau pada kondisi muka air banjir (LWL) yaitu di kedalaman 5 meter dari muka tanah dengan  $M$ ,  $N$ ,  $Q$  yang ditinjau pada kondisi 1 dimana ditinjau pada final konstruksi *downtrack* (Dt) dan 2 ditinjau pada final konstruksi *uptrack* (Ut)

Tabel IV-29 Hasil Analisa LWL

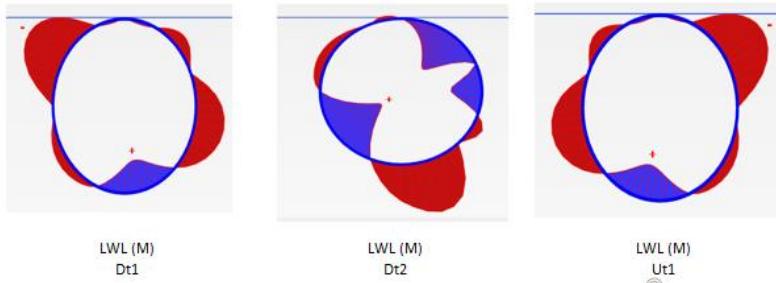
LWL	M Min	M max	N	Nmax	Q min	Qmax
Dt1	-3,466	2,215	-961,1	-956	-2,513	3,164
Dt2	-4,359	4,235	-989,3	-965	-3,885	4,803
Ut2	-3,419	2,277	-961,2	-956	-3,096	2,491



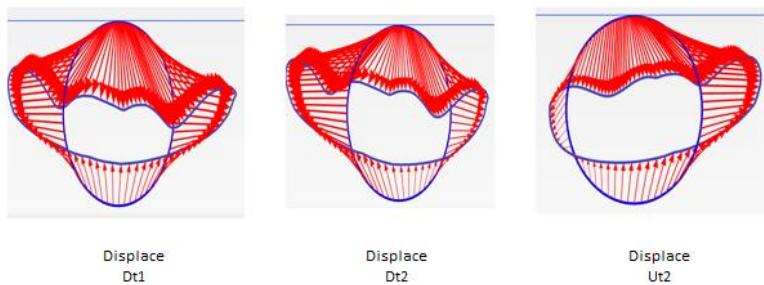
Gambar IV-19 N yang bekerja pada Downtrack dan Uptack



Gambar IV-21 Q yang bekerja pada Downtrack dan Uptack



Gambar IV-20 M yang bekerja pada Downtrack dan Uptack

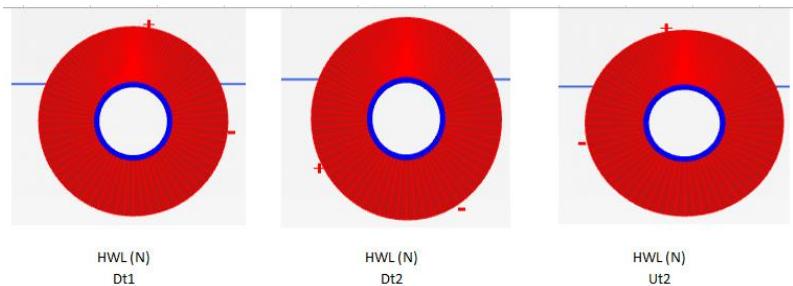


Gambar IV-22 Displacement pada Downtrack dan Uptack

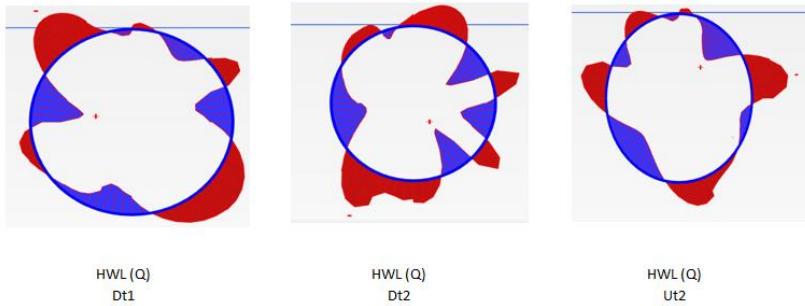
- Hasil analisa ditinjau pada kondisi muka air banjir (HWL) yaitu di kedalaman 2m dari muka tanah dengan  $M$ ,  $N$ ,  $Q$  yang ditinjau pada kondisi 1 dimana ditinjau pada final konstruksi *downtrack* (Dt) dan 2 ditinjau pada final konstruksi *uptrack* (Ut)

Tabel IV-30 Hasil Analisa HWL

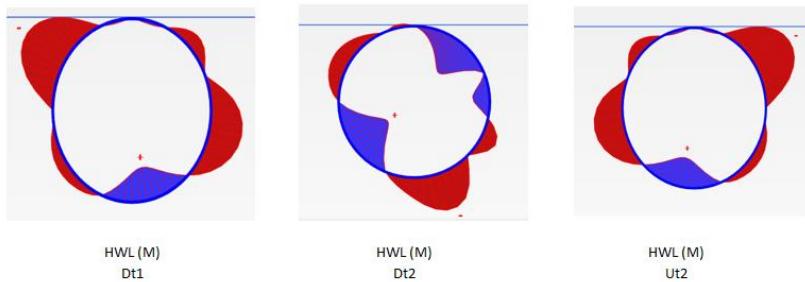
HWL	M Min	M max	N	Nmax	Q min	Qmax
Dt1	-3,438	2,229	-961,1	-956	-2,497	3,139
Dt2	-3,022	3,427	-984	-963,8	-3,128	3,503
Ut2	-3,443	2,242	-961,1	-956	-3,117	2,509



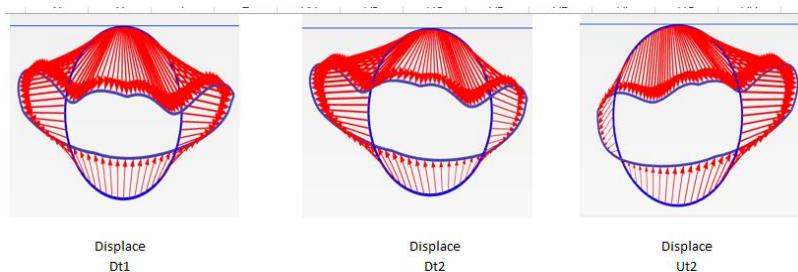
Gambar IV-23 N yang bekerja pada Downtrack dan Uptack



Gambar IV-26 Q yang bekerja pada Downtrack dan Uptack



Gambar IV-25 M yang bekerja pada Downtrack dan Uptack



Gambar IV-24 Displacement pada Downtrack dan Uptack

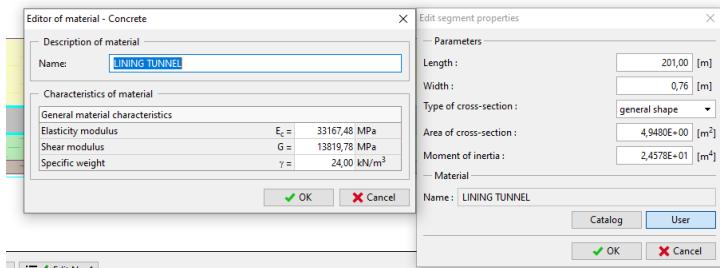
#### 4.9 Permodelan Longitudinal Section

Pada penyelesaian Tugas Akhir ini, permodelan *long section* dari terowongan dilakukan menggunakan program bantu GEO5 beam.

Terowongan dimodelkan dengan balok sepanjang 201m dengan kedalaman titik *axis lining* 18.325 meter.

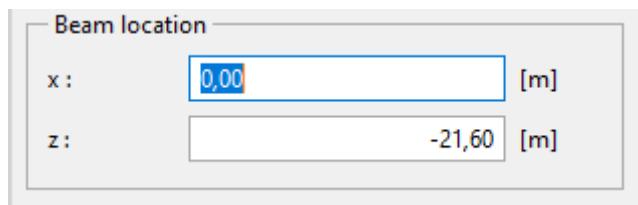
#### 4.9.1 Geometri Tunnel

Karena keterbatasan pada menu geometri, terowongan dimodelkan sebagai balok dengan luas *lining* dan menggunakan momen inersia dari lingkaran (terowongan). Panjang terowongan yang dimodelkan disesuaikan dengan panjang terowongan pada CP 105-4 sepanjang 201 m.



Gambar IV-27 Input Geometri *Lining*

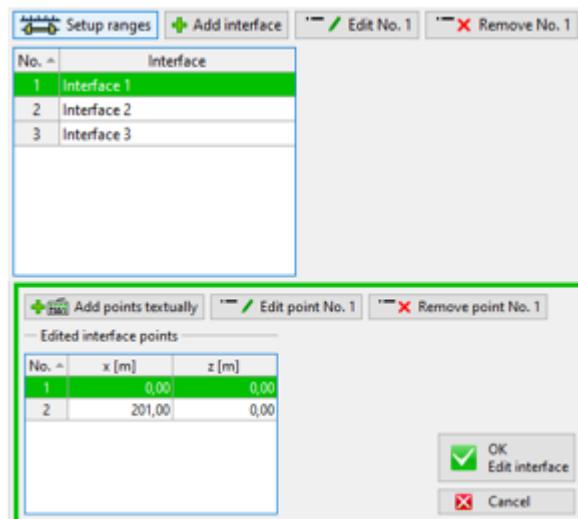
Kemudian kedalaman terowongan dapat dimodelkan dengan menu bantu “*Location*”. Pada menu ini kedalaman terowongan yang dimodelkan yang dimasukan adalah kedalaman *invert* terowongan yaitu sebesar 21.6m.



Gambar IV-28 Input kedalaman *tunnel* dengan menu "*location*"

#### 4.9.2 Permodelan Geometri Tanah

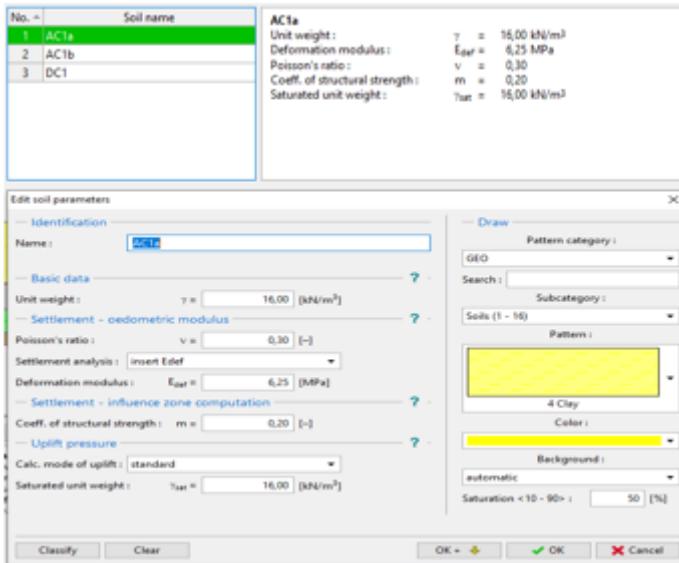
Dalam memodelkan geometri tanah dengan program bantu Geo5, digunakan menu “*Interface*”. Pada menu “*Interface*” kedalaman tiap lapisan tanah serta panjang lapisan tanah dapat diatur dengan mudah dengan koordinat bantu. Lapisan tanah dibagi menjadi 3 lapisan dengan kedalaman sesuai parameter tanah pada tabel IV.3.



Gambar IV-29 Input permodelan pada menu *Interface*

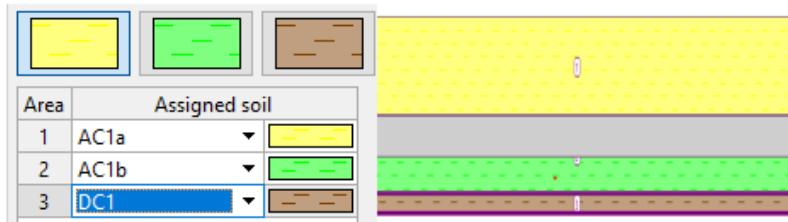
#### 4.9.3 Permodelan Material Tanah

Permodelan material tanah pada program bantu Geo 5 dapat dilakukan dengan bantuan menu “*Soils*”. Material yang dimasukkan sesuai dengan parameter tanah yang sudah direkap dalam Tabel IV.3. Tanah pada BorLog 105-11 diklasifikasikan menjadi 3 lapis tanah dengan lapisan tanah 1 yaitu AC1a, AC1b, dan DC1 dengan kedalaman sesuai geometri yang sudah dimodelkan.



Gambar IV-31 Input permodelan pada menu "Soils"

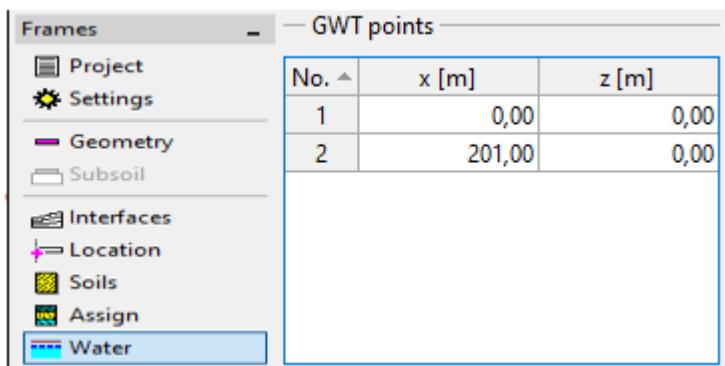
Setelah material tanah dimodelkan, lapisan tanah di modelkan seusai kondisi BorLog dengan material yang telah di modelkan. Input material pada lapisan tanah tersebut dapat di lakukan dengan menu bantu "Asign" pada Geo 5.



Gambar IV-30 Input material tanah dengan menu "Asign"

#### 4.9.4 Kondisi Muka Air Tanah

Tahap permodelan selanjutnya adalah permodelan kondisi muka air tanah. Kondisi muka air tanah yang dimodelkan adalah kondisi muka air banjir dengan elevasi +0.00m dari muka tanah eksisting. Permodelan kondisi muka air tanah tersebut dapat dimodelkan dengan menu bantu “Water”.



Gambar IV-32 Permodelan kondisi muka air tanah

#### 4.9.5 Permodelan Jenis Perletakan

Permodelan jenis perletakan pada program bantu Geo5, dapat dilakukan dengan menu bantu “Support”. Pada terowongan CP 105-4, terowongan dimodelkan sepanjang 201m, menyesuaikan kondisi lapangan. Dengan kondisi di akhir section CP 105-4 adalah stasiun. Perletakan terowongan dengan stasiun di umpanakan sendi.



Gambar IV-33 Permodelan Jenis Perletakan

#### 4.9.6 Permodelan Load Case

Dalam permodelan *load case* dengan program bantu Geo 5, pembebanan di modelkan dengan 3 kasus yaitu beban mati terowongan, beban diatas permukaan tanah dan beban gempa. Dengan *load factor* di sesuaikan dengan desain pembebanan proyek yang mengacu pada *British Standard BS 8110 : Part 1 1985*, sedangkan kondisi seismik mengacu pada metode yang di usulkan Wang (1993)

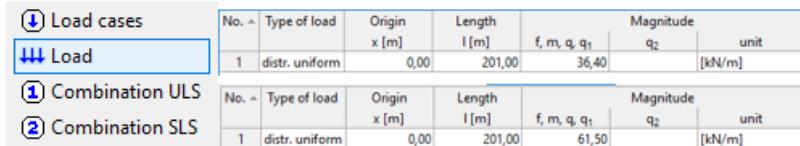


Number	Load case		Load factor				Active
	Name	Type	$\gamma_{Sf}$	$\gamma_{rf}$	$V_0$	$V_1$	
1	G1 Berat Lingin	Self-weight	Permanent	1,50	1,00		
2	G2 Beban permukaan	Force	Permanent	1,60	1,00		
3	G3 Gempa	Force	Accidental/impulse	1,00	1,00	1,00	#

Gambar IV-34 Input permodelan nilai *Load Factor*

dalam *Seismic Design of Tunnel*. Input nilai *Load Factor* dapat diatur dengan menu bantu “*Load Casses*”.

Sedangkan beban yang dimasukan adalah nilai distribusi tegangan total di atas *crown tunnel*. Input nilai distribusi tegangan total tersebut dapat dibantu dengan menu “*Load*”.



No.	Type of load	Origin x [m]	Length l [m]	f, m, q, q <sub>1</sub>	Magnitude q <sub>2</sub>	unit
1	distr. uniform	0,00	201,00		36,40	[kN/m]

No.	Type of load	Origin x [m]	Length l [m]	f, m, q, q <sub>1</sub>	Magnitude q <sub>2</sub>	unit
1	distr. uniform	0,00	201,00		61,50	[kN/m]

#### 4.9.7 Tahap Perhitungan

Setelah permodelan telah selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan menu bantu “*Analysis*”. Hasil perhitungan dari program bantu Geo5 berupa displacements, shear forces, stress, moment.



Gambar IV-36 Menu “*Analysis*” program bantu Geo5

#### 4.9.8 Hasil Analisa Geo5

Hasil dari permodelan Geo5 yang telah dimodelkan berupa *displacement*, *shear*, *moment*, dan *stress* yang terjadi sepanjang *tunnel*. Hasil analisa di ketahui seperti berikut.

Tabel IV-31 Rekap Hasil Analisa Geo5 CP 105-4 FWL

Load Case	Displacement	Displacement	Shear	Stress	M
	Min	Max	kN	kPa	kNm
ULS	13,4	14,9	2993,08	394,7	19066,62
Gempa	11	12,2	2453,23	323,51	15627,67
SLS	8,7	9,7	1951,01	257,28	12428,39

#### 4.9.9 Cek Uplift

Setelah permodelan Geo 5 dan Plaxis 2D dapat di cek pengaruh *uplift* terhadap struktur *tunnel* terpasang. Berdasarkan *Civil Design Criteria 7.5.4.1* R/U tidak boleh kurang dari 1.2 cek stabilitas terhadap *uplift* dapat dihitung seperti berikut :

- Kondisi LWL pada muka air 5 meter dibawah muka tanah:

- Perhitungan U pada kondisi LWL :

$$U = \left( \gamma w \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$U = \left( 10kN/m^2 \frac{\pi(6.05m)^2}{4} \right)$$

$$U = 287.3296 kN$$

- Perhitungan R downtrack pada kondisi LWL :

Pada perhitungan R diperlukan nilai S yaitu rata rata *shear force* yang terjadi pada muka tanah sampai *crown tunnel*, rata rata *shear force* didapat lewat program bantu Plaxis 2D.

$$R_{downtrack} = W + \gamma' D \left( Z - h_w - \frac{\pi D}{8} \right) + (\gamma_b D h_w) + 2SZ$$

$$R_{downtrack} = 5.77kN/m^2 + 16kN/m^2 \left( 18.325m - 5m - \frac{\pi 6.05m}{8} \right) + \\ (16kN/m^2 \times 6.05m - 5m) + (2 \times 1.6945 \times 18.325m)$$

$$R_{downtrack} = 1611.87 kN/m^2$$

- Cek uplift terjadi pada downtrack kondisi muka air LWL ( $\frac{R}{U} \geq 1.2$ )

$$R_{downtrack} = 1611.87 \text{ kN/m}^2$$

$$U = 287.3296 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{downtrack}}{U} = \frac{1611.87}{287.3296}$$

$$\frac{R_{downtrack}}{U} = 5.609828$$

- Perhitungan R *uptrack* pada kondisi LWL :

Pada perhitungan R diperlukan nilai S yaitu rata rata *shear force* yang terjadi pada muka tanah sampai *crown tunnel*, rata rata *shear force* didapat lewat program bantu Plaxis 2D.

$$R_{uptrack} = W + \gamma' D \left( Z - h_w - \frac{\pi D}{8} \right) + (\gamma_b D h_w) + 2SZ$$

$$R_{uptrack} = 5,77 \text{ kN/m}^2 + 16 \text{ kN/m}^2 \left( 18.325m - 5m - \frac{\pi 6.05m}{8} \right) + (16 \text{ kN/m}^2 \times 6.05m - 5m) + (2x 0.8115x 18.325m)$$

$$R_{uptrack} = 1579.508 \text{ kN/m}^2$$

- Cek *uplift* terjadi pada *uptrack* kondisi muka air LWL ( $\frac{R}{U} \geq 1.2$ )

$$R_{uptrack} = 1579.508 \text{ kN/m}^2$$

$$U = 287.3296 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{uptrack}}{U} = \frac{1579.508}{287.3296}$$

$$\frac{R_{uptrack}}{U} = 5.497198$$

- Kondisi HWL pada muka air 2 meter dibawah muka tanah:

- Perhitungan U pada kondisi LWL :

$$U = \left( \gamma w \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$U = \left( 10 \text{ kN/m}^2 \frac{\pi (6.05 \text{ m}^2)}{4} \right)$$

$$U = 287.3296 \text{ kN}$$

- Perhitungan R *downtrack* pada kondisi HWL :

Pada perhitungan R diperlukan nilai S yaitu rata rata *shear force* yang terjadi pada muka tanah sampai *crown tunnel*, rata rata *shear force* didapat lewat program bantu Plaxis 2D.

$$R_{downtrack} = W + \gamma' D \left( Z - h_w - \frac{\pi D}{8} \right) + (\gamma_b D h_w) + 2SZ$$

$$R_{downtrack} = 5,77 \text{ kN/m}^2 + 16 \text{ kN/m}^2 \left( 18.325m - 2m - \frac{\pi 6.05m}{8} \right) + (16 \text{ kN/m}^2 \times 6.05m - 2m) + (2x 1.5695x 18.325m)$$

$$R_{downtrack} = 1607.288 \text{ kN/m}^2$$

- Cek uplift terjadi pada *downtrack* kondisi muka air HWL ( $\frac{R}{U} \geq 1.2$ )

$$R_{downtrack} = 1607.288 \text{ kN/m}^2$$

$$U = 287.3296 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{downtrack}}{U} = \frac{1607.288}{287.3296}$$

$$\frac{R_{downtrack}}{U} = 5.593884$$

- Perhitungan R *uptrack* pada kondisi HWL :

Pada perhitungan R diperlukan nilai S yaitu rata rata *shear force* yang terjadi pada muka tanah sampai *crown tunnel*, rata rata *shear force* didapat lewat program bantu Plaxis 2D.

$$R_{uptrack} = W + \gamma' D \left( Z - h_w - \frac{\pi D}{8} \right) + (\gamma_b D h_w) + 2SZ$$

$$R_{uptrack} = 5,77 \text{ kN/m}^2 + 16 \text{ kN/m}^2 \left( 18.325m - 2m - \frac{\pi 6.05m}{8} \right) + (16 \text{ kN/m}^2 \times 6.05m - 2m) + (2x0.7255x18.325m)$$

$$R_{uptrack} = 1576.356 \text{ kN/m}^2$$

- Cek uplift terjadi pada *uptrack* kondisi muka air LWL ( $\frac{R}{U} \geq 1.2$ )

$$R_{uptrack} = 1576.356 \text{ kN/m}^2$$

$$U = 287.3296 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{uptrack}}{U} = \frac{1576.356}{287.3296}$$

$$\frac{R_{uptrack}}{U} = 5.486228$$

- Kondisi FWL pada muka air tepat di elevasi muka tanah:

- Perhitungan U pada kondisi LWL :

$$U = \left( \gamma w \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$U = \left( 10 \text{ kN/m}^2 \frac{\pi (6.05 \text{ m}^2)}{4} \right)$$

$$U = 287.3296 \text{ kN}$$

- Perhitungan R *downtrack* pada kondisi FWL :

Pada perhitungan R diperlukan nilai S yaitu rata rata *shear force* yang terjadi pada muka tanah sampai *crown tunnel*, rata rata *shear force* didapat lewat program bantu Plaxis 2D.

$$R_{downtrack} = W + \gamma' D \left( Z - h_w - \frac{\pi D}{8} \right) + (\gamma_b D h_w) + 2SZ$$

$$R_{downtrack} = 5,77kN/m^2 + 16kN/m^2 \left( 18.325m - 0m - \frac{\pi 6.05m}{8} \right) + \\ (16kN/m^2 \times 6.05m - 0m) + (2x0.945 \times 18.325m)$$

$$R_{downtrack} = 1584.401 \text{ kN/m}^2$$

- Cek uplift terjadi pada *downtrack* kondisi muka air HWL ( $\frac{R}{U} \geq 1.2$ )

$$R_{downtrack} = 1584.401 \text{ kN/m}^2$$

$$U = 287.3296 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{downtrack}}{U} = \frac{1584.401}{287.3296}$$

$$\frac{R_{downtrack}}{U} = 5.514226$$

- Perhitungan R *uptrack* pada kondisi FWL :

Pada perhitungan R diperlukan nilai S yaitu rata rata *shear force* yang terjadi pada muka tanah sampai *crown tunnel*, rata rata *shear force* didapat lewat program bantu Plaxis 2D.

$$R_{uptrack} = W + \gamma' D \left( Z - h_w - \frac{\pi D}{8} \right) + (\gamma_b D h_w) + 2S$$

$$R_{uptrack} = 5,77kN/m^2 + 16kN/m^2 \left( 18.325m - 0m - \frac{\pi 6.05m}{8} \right) + (16kN/m^2 \times 6.05m - 0m) + (2x0.327 \times 18.325m)$$

$$R_{uptrack} = 1561.751 \text{ kN/m}^2$$

- Cek uplift terjadi pada *uptrack* kondisi muka air LWL ( $\frac{R}{U} \geq 1.2$ )

$$R_{uptrack} = 1561.751 \text{ kN/m}^2$$

$$U = 287.3296 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{uptrack}}{U} = \frac{1561.751}{287.3296}$$

$$\frac{R_{uptrack}}{U} = 5.43539$$

## 4.10 Resume Analisa

Dari hasil permodelan diatas, diketahui hasil hasil dari gaya dalam dan distribusi tanah di sekeliling *tunnel*. Hasil tersebut dapat dianalisa dan di lakukan cek berdasarkan kriteria desain seperti berikut.

### 4.10.1 Settlement

Dalam proses penggerjaan *tunnel* MRT-Jakarta CP 105-4, terjadi *settlement* pada muka tanah eksisting akibat volume loss. Menurut

*Bored Tunnel Design for Design Section CP 105-4, SOWJ(2015).*  
Ketentuan maksimal *settlement* diatur  $\leq 10\text{mm}$

Tabel IV-32 Hasil Analisa menurut ketentuan

Kondisi M.A.T	Settlement Final (m)	STATUS $\leq 10\text{mm}$
LWL (-5m dari muka tanah)	0,01	OK
HWL (-2m dari muka tanah)	0,008	OK
FWL (di muka tanah)	0,007	OK

Dari tabel diatas dapat disimpulkan semakin tinggi kondisi muka air maka semakin kecil penurunan yang terjadi. Penurunan yang terjadi juga di pengaruhi oleh gaya *uplift*.

Menurut SNI 8460, 2017 klasifikasi dampak pengaruh bangunan diatas tanah berdasarkan besar penurunan yang terjadi. Besar penurunan pada Tabel V.2 dapat diklasifikasikan berdasarkan Tabel II.4 dengan tingkat dampak penurunan pada bangunan di sekitar dengan maksimal 10mm pada kondisi muika air tanah (LWL) dengan kategori “kerusakan dangkal tidak mungkin terjadi”.

#### 4.10.2 Settlement Memanjang

Berdasarkan LTA Singapura (2019) penurungan horizontal pada *tunnel* tidak boleh melebihi 1:2000. Penurunan horizontal tersebut dapat dibantu dengan output dari program Geo5.

Tabel IV-33 Hasil Analisa S Horizontal

Displacement	Displacement	Settlement	Status
Min	Max	$(S_{\text{Max}} - S_{\text{Min}})/L$	$\leq 1:2000$
15,6	17,4	0,000009	OK

Dari tabel analisa tersebut dapat dilihat bahwa *settlement* memanjang pada CP105-4 memenuhi kriteria berdasarkan LTA Singapura (2019).

#### 4.10.3 Deformasi dan Defleksi

Deformasi yang terjadi pada terowongan perisai diatur dalam *Civil Design Criteria 7.5.6* dengan defleksi pada terowongan  $\leq 25\text{mm}$ .

Tabel IV-34 Hasil Analisa Defleksi

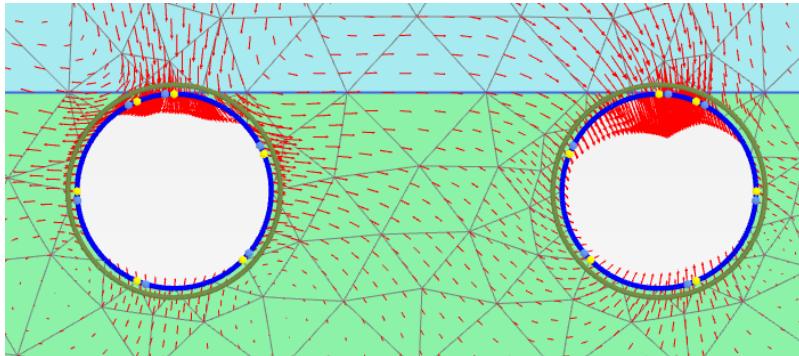
Kondisi M.A.T	Deflection Max (m)	Lokasi	STATUS $\leq 25\text{mm}$
LWL (-5m dari muka tanah)	0,021	Downtrack Segmen 5	OK
HWL (-2m dari muka tanah)	0,0186	Downtrack Segmen Kunci	OK
FWL (di muka tanah)	0,016	Downtrack Segmen Kunci	OK

Dari hasil analisa diatas dapat disimpulkan semakin tinggi kondisi muka air tanah maka semakin kecil defleksi yang terjadi pada *lining*.\\ Sementara deformasi yang terjadi dibawah *tunnel* dari hasil analisa didapat seperti berikut.

Tabel IV-35 Deformasi Terjadi di Bawah *Tunnel*

Deformasi di bawah Tunnel		
Kondisi M.A.T	Downtrack	Uptrack
	(m)	(m)
LWL (-5m)	0,0116	0,0105
HWL (-2m)	0,0112	0,0103
FWL (0m)	0,0109	0,0099

Pada proses pengeboran, menyebabkan tanah dibawah *tunnel* naik naik ke atas karna adanya pengaruh tekanan air tanah dibawah *tunnel*, sedangkan tanah diatas *tunnel* mengalami penurunan akibat beban diatas *tunnel*.



Gambar IV-37 Pergerakan Tanah di sekeliling tunnel

#### 4.10.4 Safety Factor

Nilai *Safety Factor* dihitung lewat program Plaxis 2D dengan menggunakan *safety analysis (phi/c-reduction)*. Nilai *Safety Factor* dihitung berdasarkan kuat asli tanah dibandingkan dengan kuat minimum tanah pada saat konstruksi berlangsung.

Tabel IV-36 Nilai SF kondisi M.A.T (LWL)

M.A.T	Nilai SF
LWL (-5m)	
SF Downtrack	1,963
SF Uptrack	1,961

Tabel IV-37 Nilai SF kondisi M.A.T (HWL)

M.A.T	Nilai SF
HWL (-2m)	

SF Downtrack	1,962
SF Uptrack	1,961

Tabel IV-38 Nilai SF kondisi M.A.T (FWL)

M.A.T	Nilai SF
FWL (0m)	
SF Downtrack	1,963
SF Uptrack	1,957

#### 4.10.5 Gaya Dalam

Dari hasil analisa pada tabel IV.28, IV.29, IV.30 yang dimodelkan sesuai kondisi muka air tanah. Diketahui gaya gaya dalam yang bekerja paling besar pada struktur *lining* berada di kondisi muka air tanah -5m dari muka tanah asli (LWL). Dengan Dt sebagai Downtrack, dan Ut adalah Uptrack. Kondisi 1 dan 2 pada Dt dan Ut melambangkan tahap pengeboran.

Tabel IV-39 Gaya Dalam yang Terjadi Pada *Lining*

LWL	M Min	M max	N	Nmax	Q min	Qmax
Dt1	-3,466	2,215	-961,1	-956	-2,513	3,164
Dt2	-4,359	4,235	-989,3	-965	-3,885	4,803
Ut2	-3,419	2,277	-961,2	-956	-3,096	2,491

Dt 1 adalah kondisi Downtrack pada pengeboran pertama, dan Dt2 adalah kondisi Downtrack pada pengeboran ke dua. Gaya dalam yang terjadi pada Downtrack menjadi lebih besar setelah konstruksi Uptrack selesai.

#### 4.10.6 Gaya Uplift

Berdasarkan *Civil Design Criteria 7.5.4.1* R/U tidak boleh kurang dari 1.2 . Nilai *Uplift* terjadi terhadap *lining tunnel* terpasang dapat di analisa berdasarkan *Civil Design Criteria 7.5.4.1* seperti berikut :

Tabel IV-40 Cek R/U berdasarkan *Civil Design Criteria*

Kondisi M.A.T	R/U		Status $\geq 1.2$
Dibawah Muka Tanah	Downtrack	Uptrack	
LWL (-5m)	5,61	5,50	OK
HWL (-2m)	5,59	5,49	OK
FWL (0m)	5,51	5,44	OK

Dari hasil analisa diatas diketahui R/U pada 3 kondisi M.A.T memenuhi kriteria.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada permodelan *tunnel* MRT-Jakarta CP 105-4 dengan program bantu Plaxis 2D dan GEO 5. Dapat diketahui beberapa akibat proses konstruksi yang berlangsung. Dari hasil hasil yang ditinjau dapat diambil kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut :

1. Pergerakan tanah saat pengeboran *tunnel* dilakukan dapat dilihat seperti Gambar IV-37 dengan deformasi tanah kebawah diatas *tunnel*, dan deformasi tanah ke atas dibawah *tunnel*. Tanah dibawah *tunnel* bergerak keatas karna adanya pengaruh *uplift*.
2. Penurunan muka tanah paling besar terjadi pada kondisi muka air (LWL) dengan besar *settlement* 10mm. Berdasarkan SNI 8460, 2017 dampak penurunan dikategorikan “kerusakan dangkal tidak mungkin terjadi”.
3. Penurunan akibat pengeboran *tunnel MRT-Jakarta* arah memanjang ditinjau dari ketentuan LTA Singapura (2019) sudah memenuhi standar yaitu dibawah 1:2000.
4. Defleksi yang terjadi pada *tunnel MRT-Jakarta CP105-4* sudah memenuhi standar dari *Civil Design Criteria 7.5.6* dengan defleksi pada terowongan  $\leq 25\text{mm}$ . Dengan defleksi terbesar terjadi di area sekitar segmen kunci pada *lining*, yaitu di segmen *liining* bagian atas.
5. *Lining Uptrack* mempengaruhi gaya dalam yang bekerja pada *lining Downtrack*, yang mengakibatkan gaya dalam yang bekerja pada *lining Downtrack* menjadi lebih besar. Gaya dalam pada *Downtrack* di sisi yang berdekatan dengan *Uptrack* di menjadi lebih kecil, sementara gaya dalam pada sisi luar *Downtrack* menjadi lebih besar, yaitu pada segmen 5.
6. Elevasi muka air tanah mempengaruhi besar defleksi, deformasi, dan gaya dalam yang bekerja pada *lining*.

Semakin rendah elevasi muka air, maka semakin besar defleksi, deformasi, dan gaya dalam pada *lining*.

7. *Uplift* yang terjadi pada *lining tunnel* dapat di cek sesuai *Civil Design Criteria 7.5.4.1 R/U* tidak boleh kurang dari 1.2. Pada tabel IV-40 dapat diketahui *R/U* pada *tunnel MRT-Jakarta CP 105-4* sudah memenuhi kriteria.

## 5.2 Saran

Dari penulisan akhir ini penulis ingin menyampaikan saran sebagai berikut :

1. Beban gempa dihitung detail
2. Beban permukaan dihitung detail, peninjauan secara langsung dilapangan agar data yang di dapat akurat
3. Untuk mendapatkan hasil secara detail, baiknya tulangan pada struktur *lining* dihitung sesuai kondisi asli.
4. Karena keterbatasan program bantu Plaxis 2D yang di peruntukan untuk analisa arah melintang dan Geo5 untuk analisa arah memanjang, untuk analisa yang lebih mendetail pada arah memanjang dan melintang dapat dilakukan dengan program bantu Plaxis 3D

## **DAFTAR PUSTAKA**

Charles W. W. NG, Noel Simons and Bruce Menzies. (2004). *Soil Structure Engineering of Deep Foundations, Excavations and Tunnels*. London

Ameratunga, J. (2016). *Correlation of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*.

Broere, W. (2001). *Tunnel face Stability and New CPT Applications*. Netherlands: Delft

*University Press*.

*Civil Design Criteria For Road And Rail Transit Systems*. (2019). E/GD/09/106/A2. England

BSI. (1994). Patent No. BS 8002. England.

Bowless, J. (1975). *Foundation Analysis and Design 4<sup>th</sup> Edition*. Singapore

Hung, J. (2009). *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels - Civil*

Elements. New York: US Department of Transportation Federal Highway Administration.

Kolymbas, D. (2005). *Tunneling and Tunnel Mechanics*. Germany: Springer.

Carranza-Torres, C., Reich, T dan Saftner, D. (2013). *Stability of shallow circular tunnels in soils using analytical and numerical models*, Proceedings of the 61st Minnesota Annual Geotechnical Engineering Conference. United States..

Kuesel, T. R. (1969). *Earthquake Design Criteria for Subways*. Journal of the Structure

*Divisions ASCE , 1213-1231.*

O'Rourke, T. D. (1984). *Guidelines for Tunnel Lining Design*. ASCE.

SOWJ. (2015). *Bored Tunnel Design for Design Section CP105*. Jakarta: PT.MRT Jakarta.

SOWJ. (2013). *Geotechnical Interpretative Report*. Jakarta: PT. MRT Jakarta.

FHWA. (2009). *Techincal Manual for Design and Construcion of Road Tunnels – Civil Elements*

*SNI 8460.(2017), Persyaratan Perancangan Geoteknik*

*JSCE. (2016). Standard Specifications For Tunneling : Shield Tunnels*

Szechy. (1967). *The Art of Tunneling*. Budapest: Akademiai Kiado.

LTA. (2019). *Civil Design Criteria . Singapore*

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama lengkap Dhia Khalis Aditya. Dilahirkan di Jakarta, 8 September 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Indria Depok, SDN Beji 6 Depok, SMPN 2 Depok, SMA Dwiwarna Parung Kab. Bogor. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan DIV Teknik Sipil, Fakultas Vokasi ITS dengan NRP 10111610013003. Penulis aktif dalam kegiatan – kegiatan UKM kampus. Penulis dapat dihubungi via email [dhiakhalisaditya@gmail.com](mailto:dhiakhalisaditya@gmail.com).

## LAMPIRAN

### DATA GEOTEKNIK DAN LINNING TUNNEL

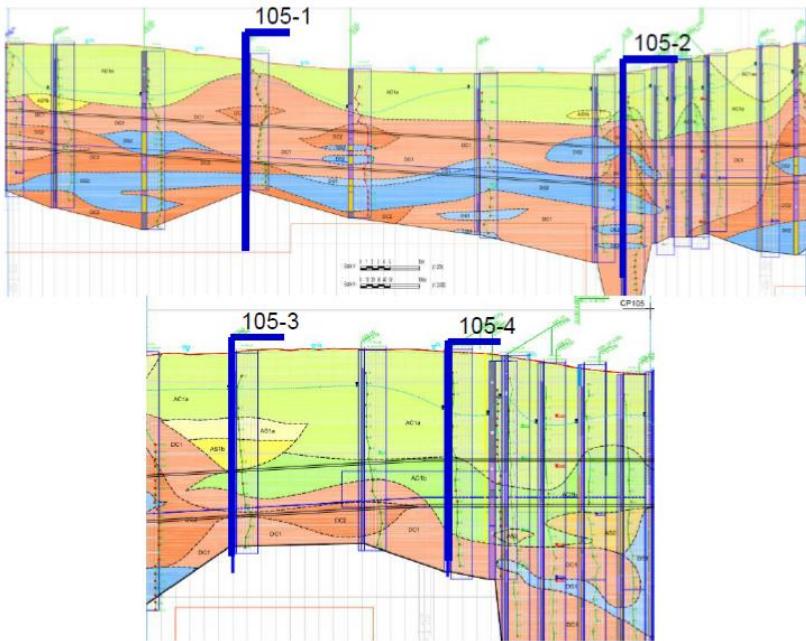
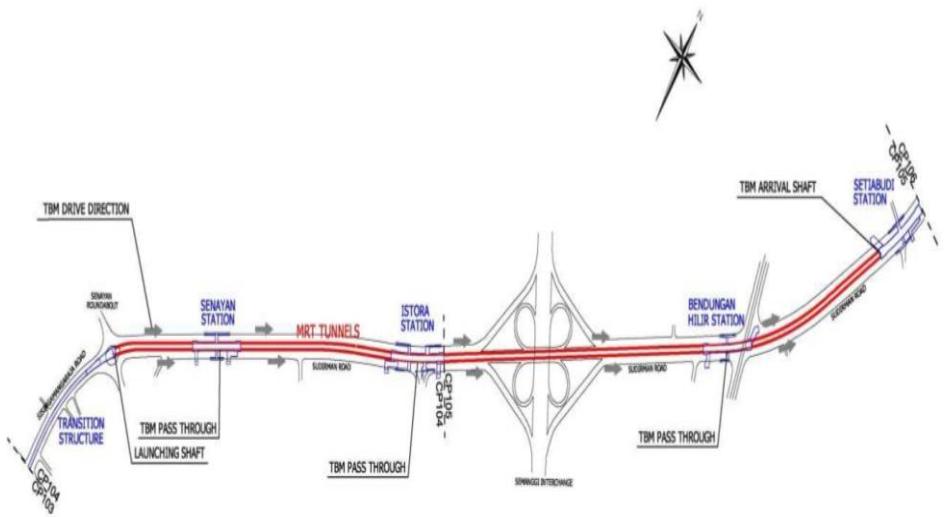
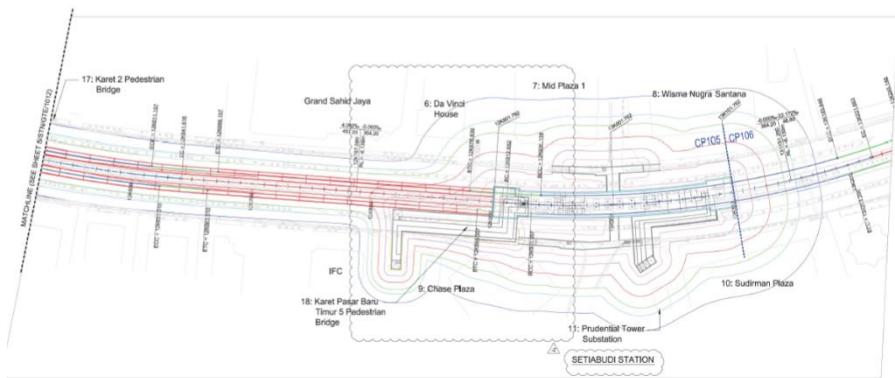


Figure 1-1 Location of Design Section CP105

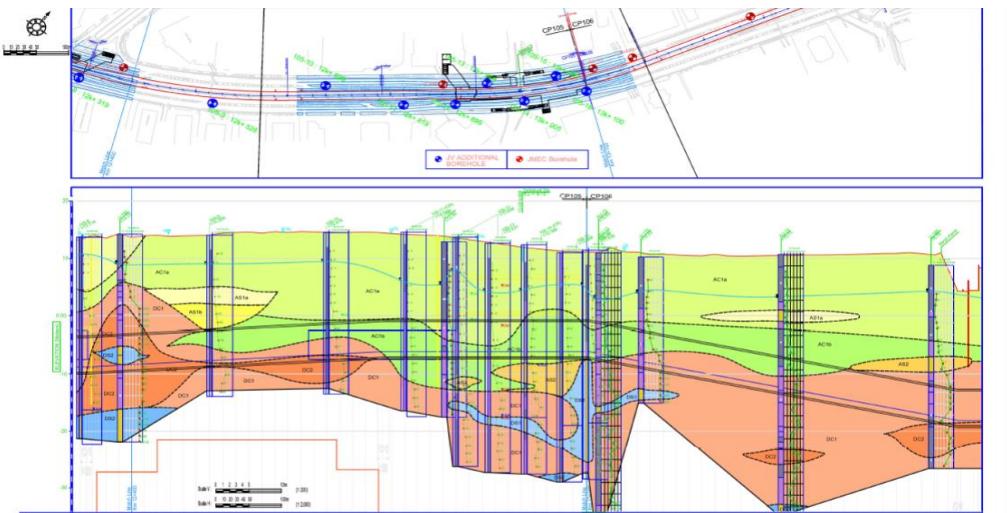
Lampiran 1 Geological Condition



Lampiran 3 Route for CP 105

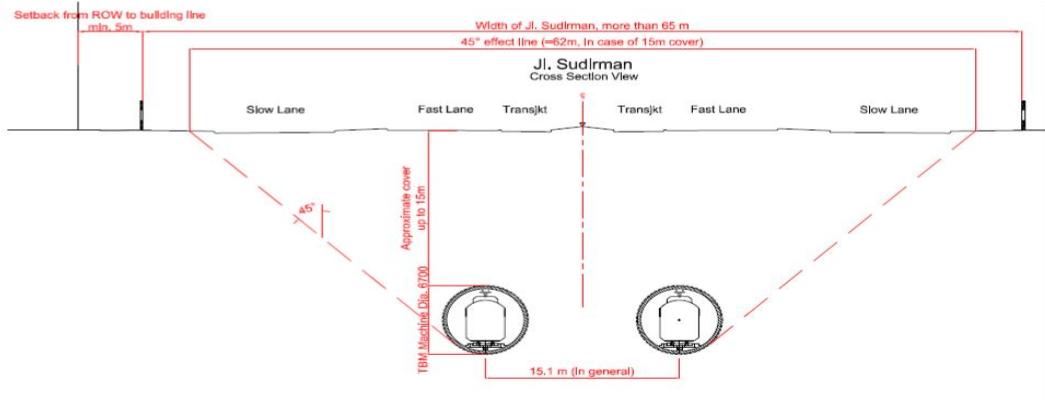


Lampiran 2 CP 105-4



Lampiran 4 Geological Profiles CP 105

Figure 5 below illustrates the condition of the construction against the surrounding area.



*Figure 5 - Construction Condition*

#### Lampiran 5 Geimetry Tunnel

**Table 1-1 Design Sections CP105**

Design Section	Chainage (m)		Design Chainage (m)	Overburden Depth (m)	Ref. Borehole	Soil Type at Tunnel Face
	From	To				
105-1	11+043	12+090	11+430	11.7	AU-10	DC2, DC1
105-2	12+090	12+403	12+090	11.6	U-140	DC2, DS2
105-3	12+403	12+699	12+528	16.1	105-9	AS1b, AC1b, DC1
105-4	12+699	12+900	12+819	15.3	105-11	AC1b

#### Lampiran 6 Desain CP 105

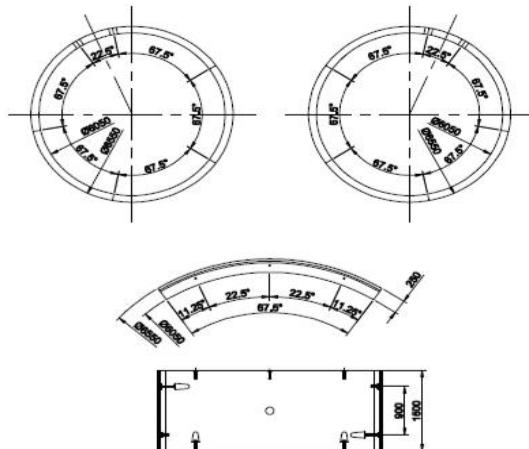


Figure 1-2 Tunnel Geometry and Lining Schematic Drawings

### Lampiran 8 Lining Detail

#### **1.2. TUNNEL GEOMETRY AND DETAILS**

Tunnel geometry and details are summarized in Table 1-2 and shown in Figure 1-2 below:

Table 1-2 Tunnel Geometry and Lining Details

Items	Details
Internal Diameter	6.050m
Segment Length	1.5m
Segment Thickness	250mm
Segment Configuration	5 + 1 key

### Lampiran 7 Lining Geometry and Details

### **3.7. MATERIAL PROPERTIES**

The material properties of the lining are summarized in Table 3-7 below.

**Table 3-7 Tunnel Material Properties**

Material	Details
Concrete Grade	C60 ( $f_{cu} = 60 \text{ N/mm}^2$ )

Material	Details
Steel Reinforcement Grade	BJTS40 ( $f_y = 390 \text{ N/mm}^2$ )
Bolts	M24 Grade 8.8 ( $p_t = 560 \text{ N/mm}^2$ )

### **3.6. MATERIAL FACTORS**

The design strength of materials is obtained by dividing the characteristic strength by the material factors as shown in Table 3-6 below.

**Table 3-6 Summary of Material Factors**

Materials	ULS (Based on BS8110: Part 1 1985)/ MDE (Wang, 1993) /ODE (Wang, 1993)	SLS (Based on BS8110: Part 1 1985)
Concrete	1.50	1.0
Reinforcement	1.15	1.0
Bolt	1.00	-

Lampiran 9 Lining Concrete Detail

#### 4. DESIGN LOADS

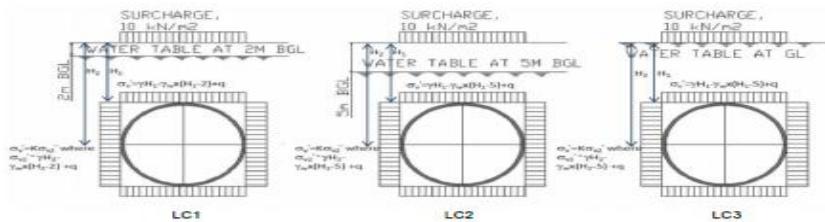
The design loadings and earth pressures to be used in the calculations (non-seismic and seismic design) are summarized in Table 4-1 below.

**Table 4-1 Design Loadings**

Permanent Loadings		
Ground Loads	Bulk Density of soil	Refer to Table 3-2
Water Loads	Density of Water	10 kN/m <sup>3</sup>
Surcharge Load (Ground surface)	Surcharge Load	10 kN/m <sup>2</sup>
Temporary Loadings		
Maximum TBM ram loads	1500kN x 22 rams	33000 kN
Grouting Pressures (refer to OCS 9.13.1)	Grout Load, selfweight of one regular segment (67.5°)	600kN/m <sup>2</sup> (Design Pressure of Secondary Grouting) Refer to Table 4-4 for loading patterns

#### 4.1. PERMANENT LOADINGS

A graphical representation of the design loads is given in Figure 4-1 and the design earth pressures are summarized in Table 4-2 as shown below:



**Figure 4-1 Design Load Cases 1, 2 and 3 (with varying water levels)**

Lampiran 10 Loads Design



# BORING NUMBER 105-11

PAGE 1 OF 2



PT. Tigence Graha Persada  
Jl. Pahlawan Revolusi 1008 Jakarta Timur 14340  
Telephone: (62) 21 86600710

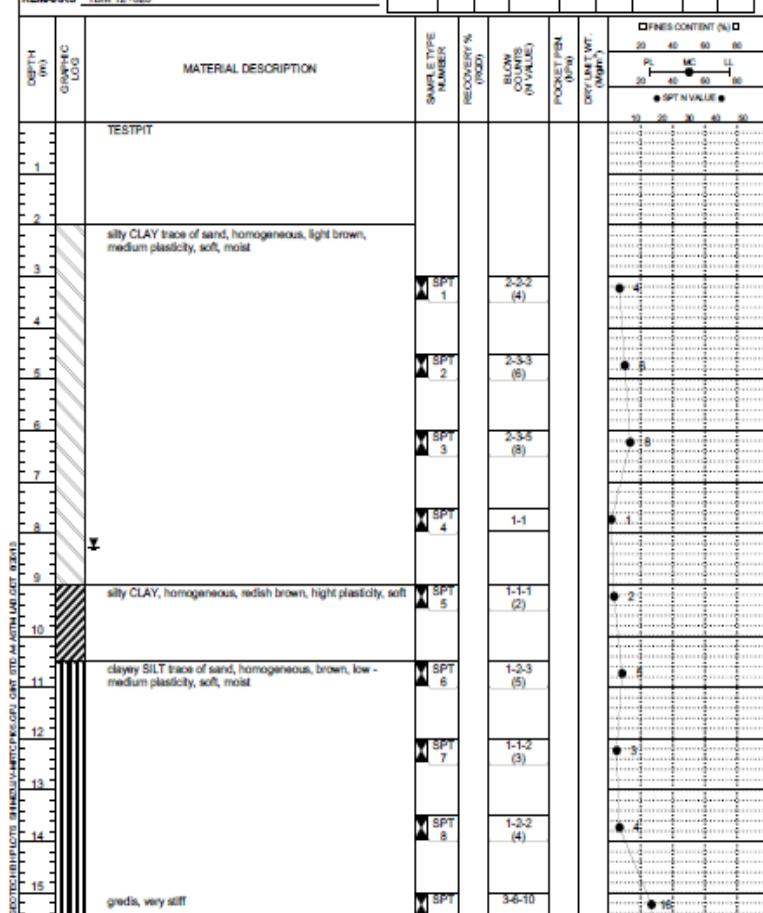
PROJECT Additional Soil Investigation for CP-105  
LOCATION Semanggi - Setiabudi  
CLIENT SHIMIZU - OBAYASHI - WKA - JAYA KONSTRUKSI JV  
DATE STARTED \_\_\_\_\_ COMPLETED \_\_\_\_\_  
DRILLER sukiro  
DRILLING METHOD Continuous Coring  
LOGGED BY Wahyu Cahyono CHECKED BY Andrianto  
REMARKS TBM 124820

--	--	--	--	--	--	--	--

NORTHING,EASTING,ELEV. 9313148.635 , 701490.113 , 14.541 m

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: 8.27

DATE	START	END	DATE	START	END	DATE	START	END
1999/02/10	0.00 m	NIA.m	1999/02/10	0.00 m	NIA.m	1999/02/10	0.00 m	NIA.m



(Continued Next Page)

Lampiran 11BorLog 105-11

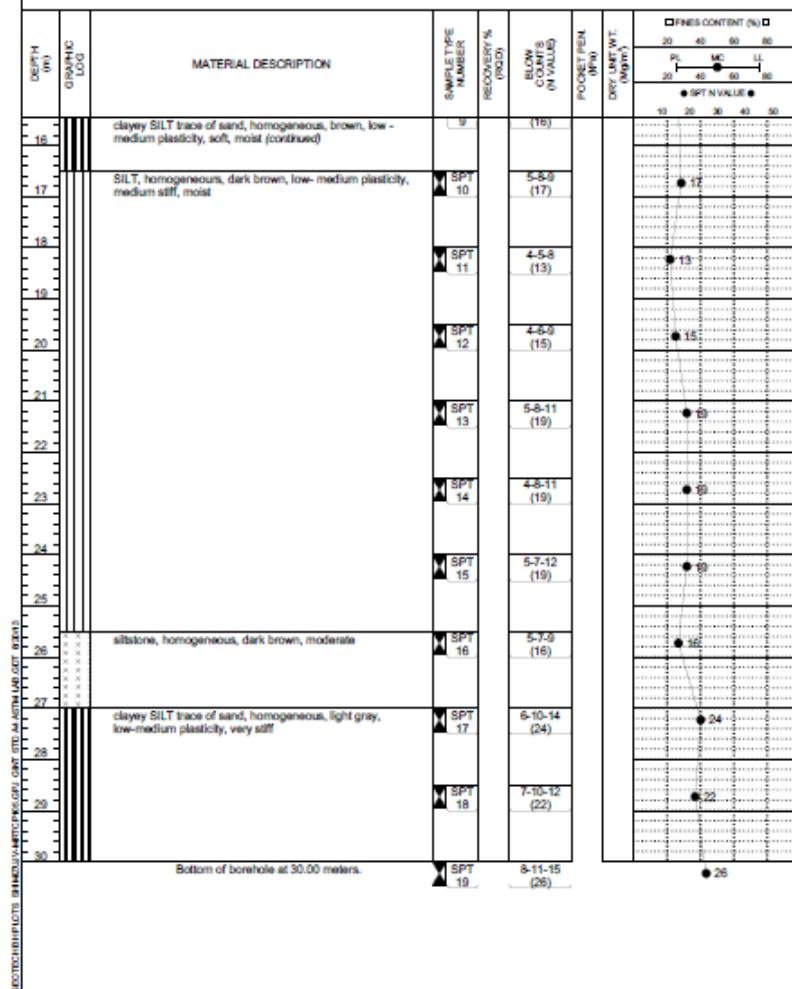
## BORING NUMBER 105-11

PAGE 2 OF 2

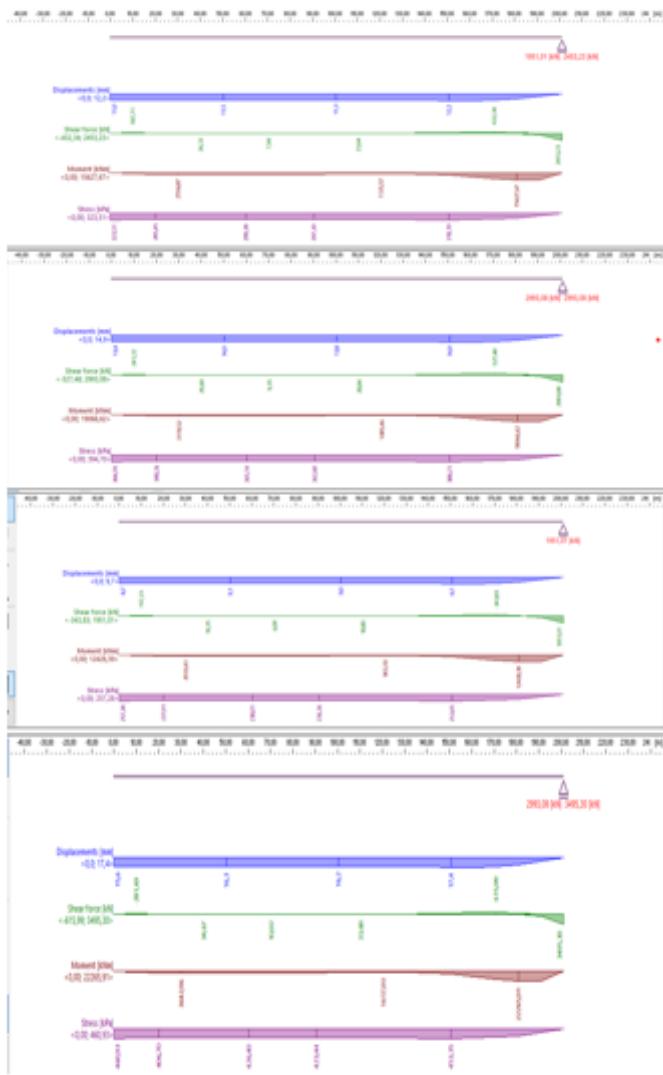


PT. Tigenco Graha Persada  
Jl. Pahlawan Revolusi 100B Jakarta Timur 14340  
Telephone: (62) 21 886600710

PROJECT Additional Soil Investigation for CP-105  
LOCATION Semanggi - Setabudi  
CLIENT SHIMIZU - OBAYASHI - WIKA - JAYA KONSTRUKSI JV



Lampiran 12 BorLog 105-11



Lampiran 13 Hasil Geo 5

### Geometri dan Detail Lining Terowongan

Diameter Dalam	=	6,05	m
Panjang Segment	=	1,5	m
Tebal Segment	=	250	mm
Konfigurasi Segment	=	5+1 key	
Selimut Beton	=	40	mm

### Detail Material Terowongan

Kuat Tekan Beton ( $f_c u$ )	=	60	N/mm <sup>2</sup>
Kuat Tarik Baja ( $f_y$ )	=	390	N/mm <sup>2</sup>
Penyangga pt	=	560 1500 x	N/mm <sup>2</sup>
Maksimum Beban ram TBM	=	22	rams
Grouting Pressures	=	600	kN/m <sup>2</sup>

### Kondisi Air Tanah

High Water Level	2m di bawah muka tanah
Low Water Level	5m di bawah muka tanah
Flood Water Level	di muka tanah

### Lining Properties

Modulus Young	$E_c$	=	4700	x	$\sqrt{f_c'}$
		=	33167477		
Luas Lining	A	=	0,25		
Momen Inersia Awal	$I_x$	=	0,001302		
Momen Inersia Lining Joint	$I_j$	=	0,0003816		
Jumlah Segmen	n	=	5		
Momen Inersia Efektif	$I_c$	=	0,0012149		
Kekuatan Aksial	EA	=	8291869,3		
Kekakuan Flexural	Eic	=	40295,168		
Angka Poisson Beton	v	=	0,3		
Berat Lining Terowongan	w				
Kedalaman Axis Terowongan	$z_0$	=	18,325		

**Perhitungan Struktur Beton Lining Terowongan :**

Mutu Beton (SK SNI T-15-1991-03)	(fcu)	=	60	Mpa
	(fc')	=	0,83	x K
		=	0,83	x 60
		=	49,8	Mpa

Luas Lining Tunnel	(A)	=	b	x	ts	b=1m
		=	1	x	0,25	
		=	0,25			

Modulus Young	(Ec)	=	4700	x	$\sqrt{fc'}$	
		=	4700	x	7,0569	
		=	33167484			

**Lampiran 14. Perhitungan *Lining***

$$\text{Berat Lining Terowongan (w)} = \frac{W_{total}}{\pi D}$$

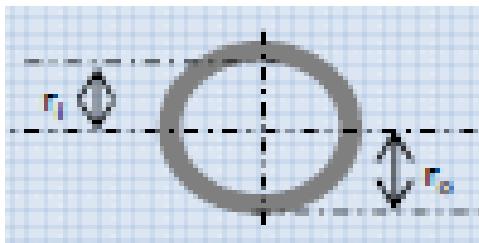
b. Berat

Untuk menghitung berat total dari *lining* secara akurat, maka berat total dari *lining* harus dibagi dengan keliling terowongan, karena berat terowongan dalam masukan properti adalah satuan berat per satuan panjang pada arah sumbu horizontal per satuan panjang pada arah luar bidang.

$$w_{lining} = \frac{W_{total}}{\pi D} \quad (4.11)$$

dengan,

$D$  = diameter terowongan (m)



$$\text{Volume Lining (V)} = (A_0 - A_1) \times L$$

$$\begin{aligned} A_0 &= 0.25 \pi D_o^2 \\ &= 33,695545 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= 0.25 \pi D_1^2 \\ &= 28,747536 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= (A_0 - A_1) \\ &= 4,9480084 \end{aligned}$$

Berat Total Lining (Wtot)	=	$BJ_{\text{beton}}$	x	Volume
	=	24	x	4,948008
	=	118,7522	kN	

Berat Lining	$w = \frac{W_{\text{tot}}}{\pi D_0}$	
	= $\frac{118,7522}{20,577432}$	
	= 5,7709924 kN/m	

### Lampiran 15. Perhitungan Berat Lining

**Data Geometri Jalan :**

● Nama Bangunan	=	Bangunan Jalan Raya (Jl. Jendral Sudirman)	
● Jenis Lapisan Jalan	=	Perkerasan Kaku	
● Lebar Jalan (B)	=	31,5	m
● Lebar Jalan per 1 m (b)	=	1	m
● Tebal Lapisan Jalan	:	(Asumsi)	
- Tebal Lapis Aspal ( $t_a$ )	=	7	cm
- Tebal Lapis Beton ( $t_b$ )	=	15	cm
- Tebal Lapis Pondasi ( $t_p$ )	=	10	cm

(Lapis pondasi jalan diasumsikan menggunakan Material Beton Kurus)

**Data Material Jalan :**

● Mutu Beton Lapis Jalan ( $f'_c$ )	=	35	MPa
● Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ )	=	400	MPa
● Mutu Beton Lapis Pondasi ( $f'_c$ )	=	5	MPa
● Berat Jenis Beton ( $\gamma_{beton}$ )	=	24	kN/m <sup>3</sup>
● Berat Jenis Aspal ( $\gamma_{aspal}$ )	=	22	kN/m <sup>3</sup>

**Pembebatan Jalan :**

(Mengacu pada SNI 1725:2016 - Pembebatan Untuk Jembatan)

**● Faktor Pembebatan :**

- Beton Cor di Tempat	$\gamma_{u_{MS}}$	=	1,3
	$\gamma_{s_{MS}}$	=	1,0
- Beban Mati tambahan	$\gamma_{u_{MA}}$	=	1,4
	$\gamma_{s_{MA}}$	=	1,0

- Beban Lalu Lintas "D"	$\gamma_{u_{TD}}$	=	1,8
	$\gamma_{s_{TD}}$	=	1,0
<b>● Beban Sendiri Pekerasan Kaku :</b>			
- Berat Lapisan Kaku	$q_D$	=	$\gamma_{beton}$
		=	24
		=	3,6
Beban Mati Ultimit		=	$\gamma_{u_{MS}}$
		=	1,3
		=	4,68
Beban Mati Layan		=	$\gamma_{s_{MS}}$
		=	1,0
		=	3,6
<b>● Beban Mati Tambahan :</b>			
- Berat Aspal	$q_{SD}$	=	$\gamma_{aspal}$
		=	22
		=	1,54
Beban Mati Ultimit		=	$\gamma_{u_{MA}}$
		=	1,4
		=	2,156
Beban Mati Layan		=	$\gamma_{s_{MA}}$
		=	1,0

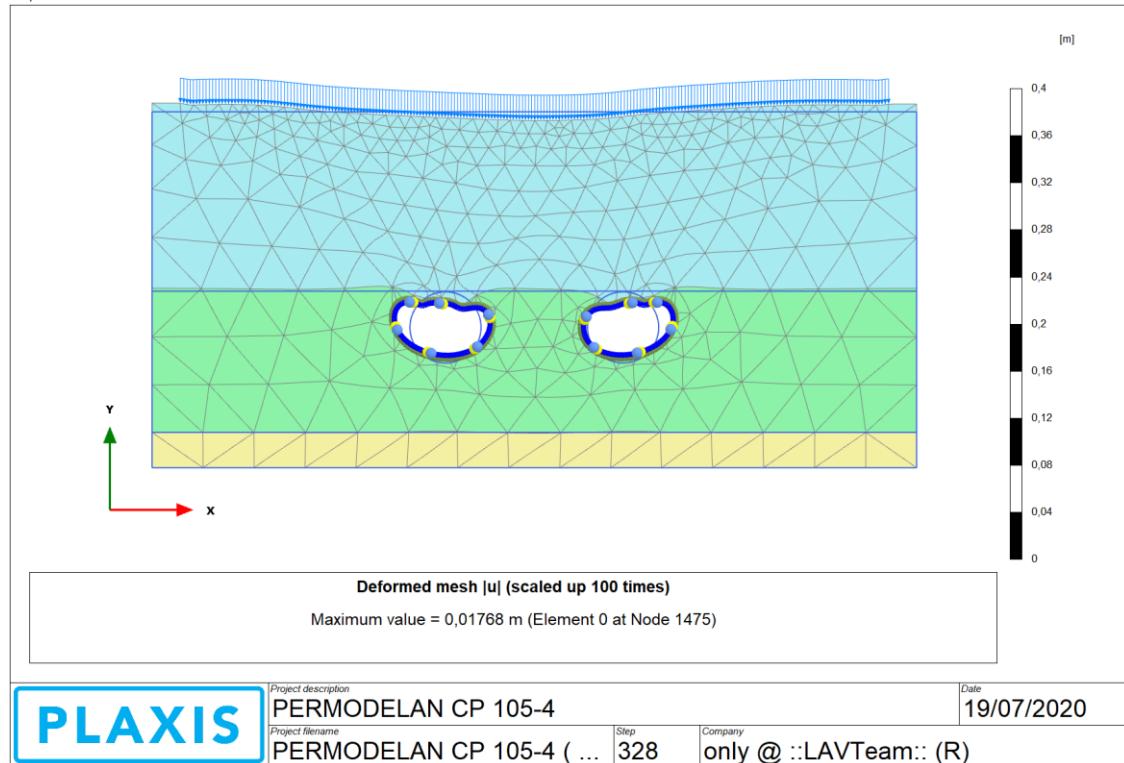
		=	1,54
<b>• Beban Lalu Lintas "D" :</b>			
Bentang Jalan	L	=	201
- Beban Terbagi Rata	$q_{BTR}$	=	$9 \times [ 0,5 + (15/L) ]$
		=	5,172
Beban Ultimit BTR		=	$q_{BTR}$
		=	5,172
		=	9,3090
Beban Layan BTR		=	$q_{BTR}$
		=	5,172
		=	5,172
- Beban Garis Terpusat	$q_{BGT}$	=	FBD
Faktor Beban Dinamis	FBD	=	1,4
Intensitas $p_{BGT}$	$p_{BGT}$	=	49
	$q_{BGT}$	=	FBD
		=	1,4
		=	68,6
		=	24,95
Beban Ultimit BGT		=	$q_{BGT}$
		=	24,9
		=	44,90
Beban Layan BGT		=	$q_{BGT}$

		=	24,945
		=	24,9
● <b>Beban Bus :</b>			
- Beban Bus Bermuatan	$q_{bus}$	=	15
Total Beban Lalu Lintas Ultimit		=	69,2
Total Beban Lalu Lintas Layan		=	45,1
● <b><u>Total Beban Jalan (Ultimit) :</u></b>			
- Total Beban Mati		=	4,680
- Total Beban Mati Tambahan		=	2,156
- Total Beban Lalu Lintas		=	69,211
<b>Total Beban Ultimit</b>		=	<b>76,047</b>
● <b><u>Total Beban Jalan (Layan) :</u></b>			
- Total Beban Mati		=	3,600
- Total Beban Mati Tambahan		=	1,540
- Total Beban Lalu Lintas		=	45,117
<b>Total Beban Layan</b>		=	<b>50,257</b>
● <b>Beban Sendiri Lapis Pondasi:</b>			
- Berat Lapisan Kaku	$q_p$	=	$\gamma_{beton}$

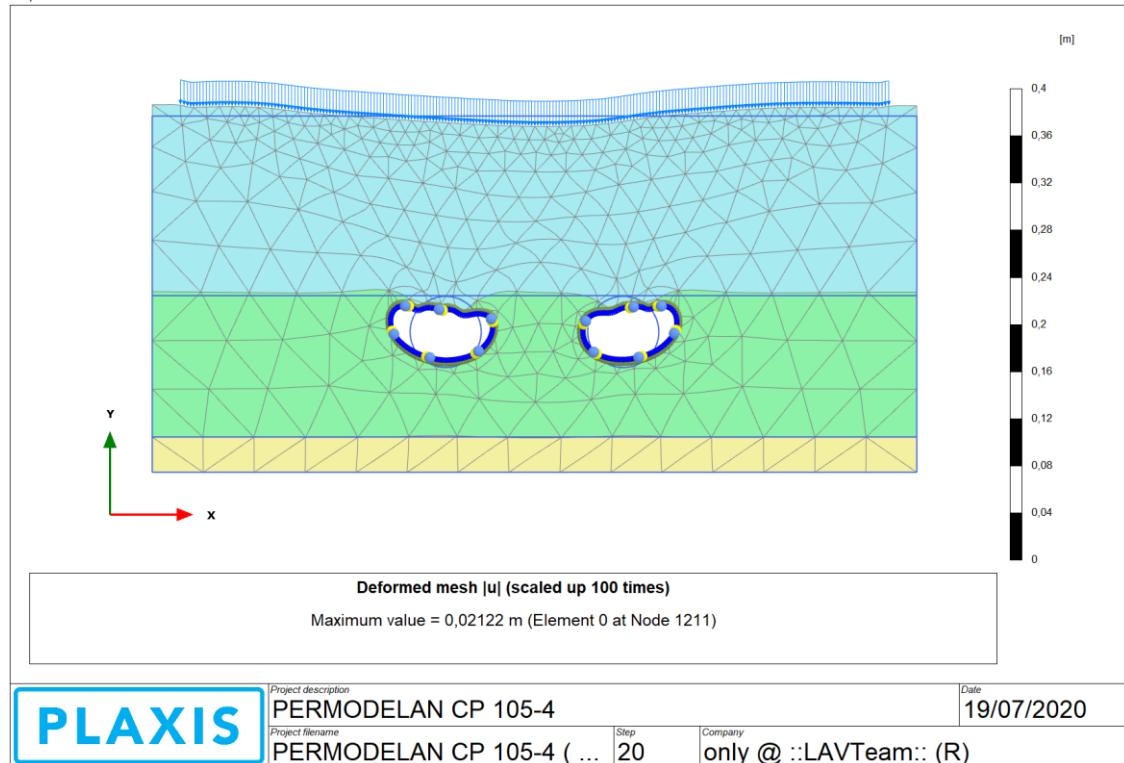
	=	24
	=	2,4
Beban Mati Ultimit	=	$\gamma_{u_{MS}}$
	=	1,3
	=	3,12
Beban Mati Layan	=	$\gamma_{S_{MS}}$
	=	1,0
	=	2,4
• <b><u>Total Pembebanan (Ultimit) :</u></b>		
- Total Beban Jalan	=	76,047
- Total Beban Sendiri Lapis Pondasi Jalan	=	3,120
<b>Total Pembebanan Ultimit</b>	=	<b>79,167</b>
• <b><u>Total Pembebanan (Layan) :</u></b>		
- Total Beban Jalan	=	50,257
- Total Beban Sendiri Lapis Pondasi Jalan	=	2,400
<b>Total Pembebanan Layan</b>	=	<b>52,657</b>

### Lampiran17. Perhitungan Beban

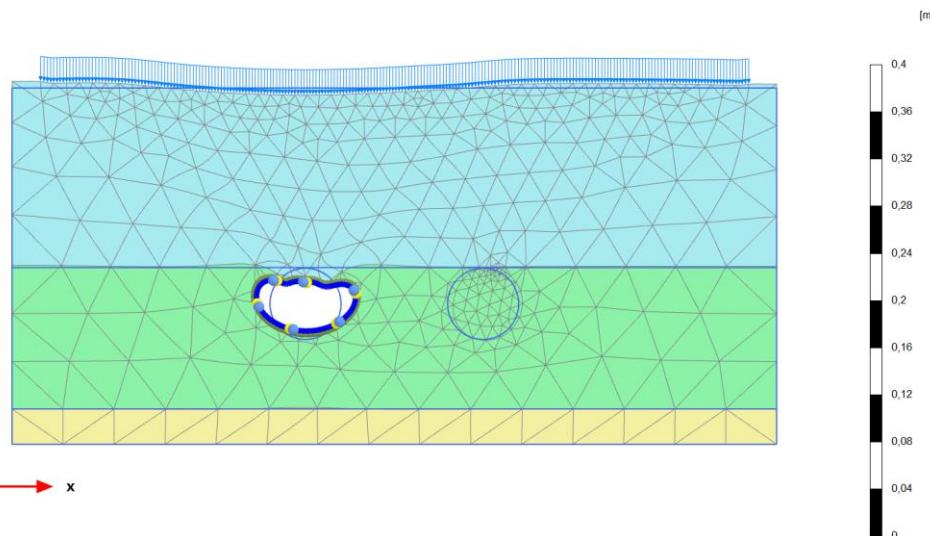
Output Version 20.0.0.119



Output Version 20.0.0.119

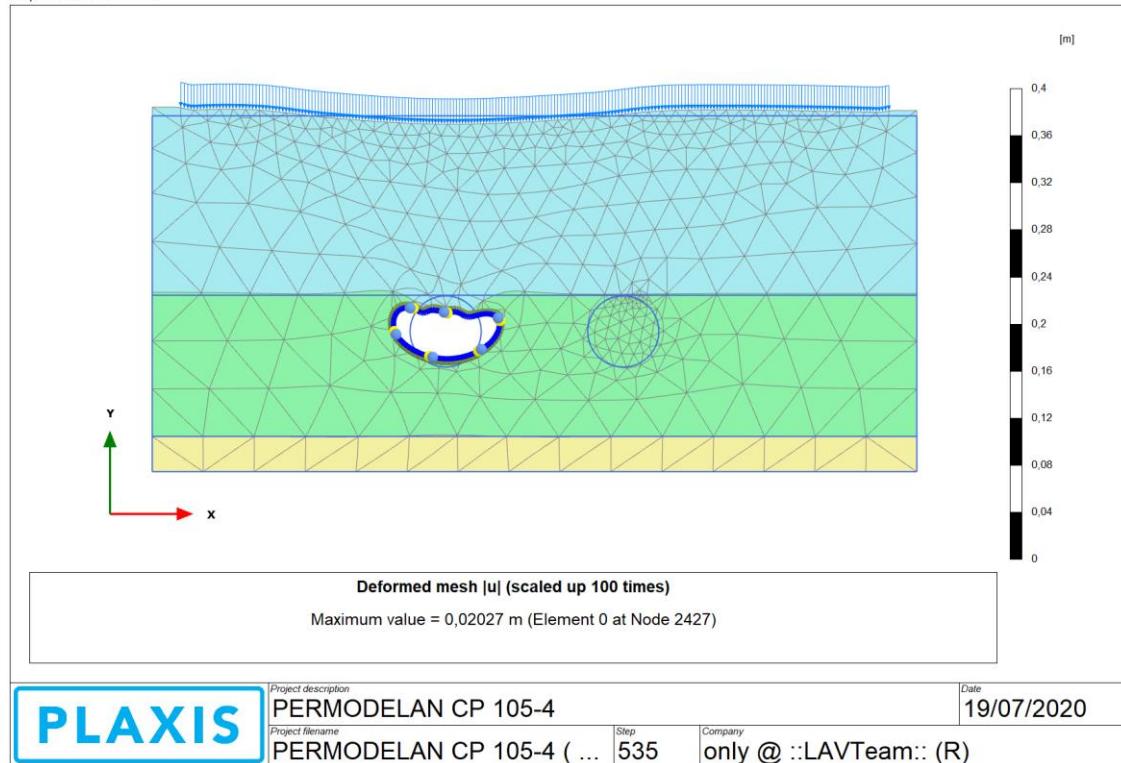


Output Version 20.0.0.119

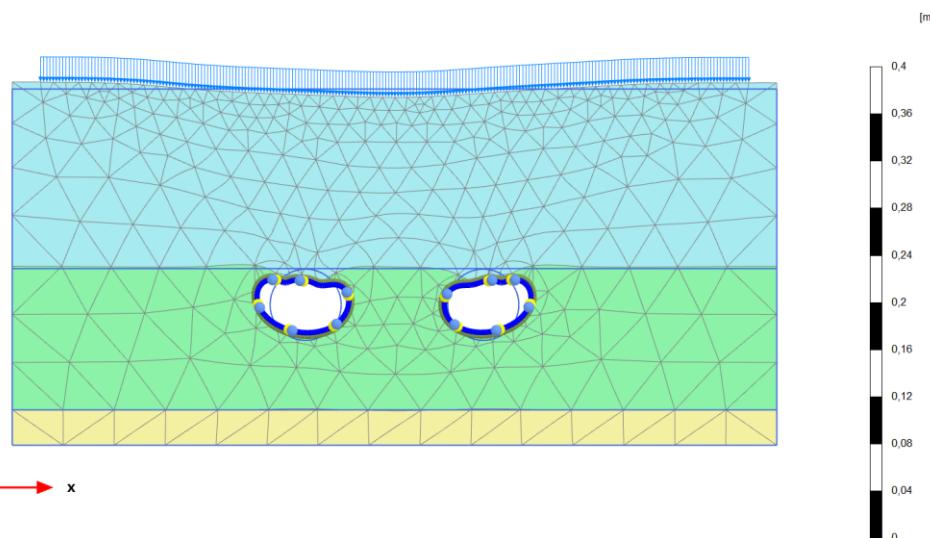


<b>PLAXIS</b>	<small>Project description</small>	PERMODELAN CP 105-4	<small>Date</small>	19/07/2020
<small>Project filename</small>	PERMODELAN CP 105-4 ( ...	Step 12	<small>Company</small>	only @ ::LAVTeam:: (R)

Output Version 20.0.0.119



Output Version 20.0.0.119



<b>PLAXIS</b>	<small>Project description</small>	PERMODELAN CP 105-4	<small>Date</small>	19/07/2020
<small>Project filename</small>	PERMODELAN CP 105-4 ( ...	<small>Step</small>	330	<small>Company</small> only @ ::LAVTeam:: (R)





