



TUGAS AKHIR – RC18-4803

**PERENCANAAN TEROWONGAN BAWAH LAUT  
SISTEM *IMMERSED TUNNEL* DI TELUK  
BALIKPAPAN**

FITRIYAH ULFA  
NRP. 0311154000068

Dosen Pembimbing I  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc. Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T. M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019





TUGAS AKHIR – RC18-4803

**PERENCANAAN TEROWONGAN BAWAH LAUT  
SISTEM *IMMERSED TUNNEL* DI TELUK  
BALIKPAPAN**

FITRIYAH ULFA  
NRP. 0311154000068

Dosen Pembimbing I  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc. Ph.D

Dosen Pembimbing II  
Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T. M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019





FINAL PROJECT – RC18-4803

**DESIGN OF IMMERSED TUNNEL SYSTEM  
UNDERSEA TUNNEL DEVELOPMENT AT  
BALIKPAPAN BAY**

FITRIYAH ULFA  
NRP. 0311154000068

Academic Supervisor I  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc. Ph.D

Academic Supervisor II  
Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T. M.T

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering, Environment, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019



**PERENCANAAN TEROWONGAN BAWAH LAUT  
SISTEM *IMMERSED TUNNEL* DI TELUK  
BALIKPAPAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Reguler Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FITRIYAH ULFA**

NRP. 03111540000068

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



1. Prof. Ir. Indrasurya B. M. M.Sc. Ph.D. .... (Pembimbing I)

2. Dr. Trihanyndio Rendy S. S.T. M.T. .... (Pembimbing II)



**SURABAYA, JULI 2019**





# **PERENCANAAN TEROWONGAN BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN**

**Nama** : Fitriyah Ulfa  
**NRP** : 0311154000068  
**Departemen** : Teknik Sipil FTSLK-ITS  
**Dosen Pembimbing I** : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,  
M.Sc. Ph.D  
**Dosen Pembimbing II** : Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T. M.T

## **Abstrak**

*Teluk Balikpapan merupakan salah satu perairan di Provinsi Kalimantan Timur yang memisahkan Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam Paser Utara (PPU). Lama perjalanan dari atau menuju Kabupaten PPU-Balikpapan membutuhkan waktu yang lama baik melalui jalur darat maupun jalur laut. Hal tersebut mampu menghambat kegiatan ekonomi antara Kota Balikpapan dan Kabupaten PPU. Sehingga dibutuhkan infrastruktur baru yang dapat mempersingkat waktu perjalanan tersebut. Infrastruktur yang akan dibangun antara Penajam-Balikpapan diharapkan tidak hanya dapat digunakan kendaraan roda dua dan roda empat, tapi juga kereta api. Sehingga jika dilakukan perencanaan jembatan akan mahal, dan tidak efisien.*

*Immersed tunnel adalah balok beton hollow yang ditenggelamkan dibawah laut dan digabungkan agar membentuk terowongan. Immersed tunnel digunakan untuk melewati perairan sebagai alternatif jembatan. Immersed tunnel adalah jenis lintasan transportasi bawah laut diantara sungai, terusan, teluk, atau selat. Pembangunan immersed tunnel sudah banyak dilakukan di beberapa negara maju karena biaya konstruksi yang dibutuhkan lebih murah dibandingkan biaya konstruksi jembatan, dan pelaksanaan konstruksi immersed tunnel lebih mudah daripada pelaksanaan konstruksi jenis terowongan bawah laut*

*lainnya. Selain itu, material yang dibutuhkan untuk membangun immersed tunnel juga dapat diperoleh secara lokal.*

*Dari hasil perencanaan yang telah dilakukan, immersed tunnel pada Teluk Balikpapan berada pada kedalaman -15 m dibawah air laut, dengan panjang  $\pm 5$  km dibagi menjadi beberapa segmen dengan panjang per segmen adalah 131 m, 150 meter, 164 meter, dan 163,5 m, lebar segmen adalah 43,8 m. Immersed tunnel memiliki 2 ruang jalan raya, 2 ruang jalan rel, dan 2 ruang darurat. Segmen terowongan telah dilakukan kontrol berat sehingga segmen ini dapat mengambang di permukaan air pada pelaksanaan dan tetap berada di bawah laut dengan bantuan timbunan backfill.*

*Pada bagian approach di Balikpapan akan direncanakan menggunakan metode cut and cover. Metode ini akan menggunakan dinding penahan tanah pada proses penggalian. Dinding penahan tanah yang digunakan adalah secant pile dengan kedalaman dinding mencapai 30 m untuk model 1, dan 45 m untuk model 2.*

***Kata kunci : immersed tunnel, backfill, foundation bed, buoyancy, Teluk Balikpapan, approach***

# DESIGN OF IMMERSED TUNNEL SYSTEM UNDERSEA TUNNEL DEVELOPMENT AT BALIKPAPAN BAY

**Name** : Fitriyah Ulfa  
**Student's Number** : 0311154000068  
**Department** : Civil Engineering FTSLK-ITS  
**Academic Supervisor I**: Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,  
M.Sc. Ph.D  
**Academic Supervisor II** : Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T. M.T

## ***Abstract***

*Indonesia is the biggest archipelago country in the world. Because of this, sea transportation infrastructure has an important role in improving inter-island connectivity in Indonesia. Balikpapan Bay is one of the waters in East Kalimantan Province that separates Balikpapan City and Penajam Paser Utara Regency (PPU). The length of the trip from or to PPU-Balikpapan Regency takes a long time either by land or sea route. This can hamper economic activities between the City of Balikpapan and the PPU Regency. So that new infrastructure is needed that can shorten the travel time. The infrastructure that will be built between Penajam-Balikpapan is expected to not only be used by two-wheeled vehicles and four-wheeled vehicles, but also trains. So if planning the bridge will be expensive, and inefficient. The height of the bridge to be built can also disrupt shipping activities in Balikpapan Bay and flight activities at Sultan Aji Muhammad International Airport, Sulaiman Sepingan.*

*Immersed tunnel is a block of hollow concrete that is submerged under the sea and combined to form a tunnel. Immersed tunnel is used to pass waters as an alternative bridge. Immersed tunnel is a type of submarine transportation path between rivers, canals, bays, or straits. Immersed tunnel construction has been carried out in several developed countries*

*because the construction costs needed are cheaper than the cost of bridge construction, and the implementation of immersed tunnel construction is easier than the implementation of other underwater tunnel construction types. In addition, the material needed to build an immersed tunnel can also be obtained locally.*

*From the results of the planning that has been done, the immersed tunnel in Balikpapan Bay is at a depth of -15 m below sea water, with a length of  $\pm$  5 km divided into several segments with lengths per segment is 131 m, 150 meter, 164 meter, and 163,5 m, the segment width is 43.8 m. The Immersed tunnel has 2 highway spaces, 2 railroad halls, and 2 emergency rooms. The tunnel segment has been subjected to heavy control so that this segment can float on the surface of the water at implementation and remain under the sea with the help of backfill.*

*Approach section at Balikpapan City will planned by using cut and cover method. This method is using retaining wall during its construction process. The retaining wall is using secant pile with depth of 30 m for model 1, and 45 m for model 2. Each model's structure can resist buoyancy force during hidrostatis condition.*

***Keywords : immersed tunnel, backfill, foundation bed, buoyancy, Balikpapan Bay***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Perencanaan Terowongan Bawah Laut Sistem Immersed Tunnel di Teluk Balikpapan**” tepat pada waktunya.

Adapun Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Sarjana 1 Departemen Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dalam bidang ketekniksipilan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi atas terselesainya laporan Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc. Ph.D dan Bapak Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T. M.T selaku dosen pembimbing yang telah bersedia memberikan ilmu dan waktunya untuk membimbing penulis,
2. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA selaku dosen wali yang turut membantu kelancaran proses perwalian dan administrasi sejak awal masa perkuliahan
3. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Sipil FTSLK-ITS pada khususnya yang telah membekali penulis dengan ilmu yang sangat bermanfaat,
4. Teman – teman keluarga besar S-58 yang telah bersedia memberikan bantuan saat dibutuhkan

Penulis menyadari, Tugas Akhir ini masih banyak kelemahan dan kekurangannya. Karena itu segala bentuk kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan senang hati.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

## LEMBAR TERIMAKASIH

Terimakasih sebanyak-banyaknya dan sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Encik Imron dan Ibu Lasiati Solikha selaku orang tua penulis, yang telah bersedia memberikan seluruh doa restu, dukungan, nasihat, dan motivasinya baik secara moral maupun materi setiap saat,
2. Mudrikah Khasanah, M. F. Abbas, dan Tri Suwandi selaku saudara penulis, yang telah memberi semangat dan dukungan setiap saat penulis membutuhkan,
3. Nur Fajar Aprilia Sari, S.T. sebagai sahabat, rekan tubes tercinta dan rekan segala hal sejak awal hingga akhir kuliah, yang telah bersedia ketika penulis membutuhkan,
4. Sukorini Ayu .A sebagai sahabat sejak SMA, yang selalu bersedia mendengar keluh kesah penulis dengan sabar,
5. Annisa, Novi, Widia, dan Rani sebagai sahabat yang selalu bersedia memberi bantuan kapanpun dibutuhkan, ♥♥♥
6. Monica, dan Isna sebagai sahabat yang selalu mengajarkan hal positif dan pentingnya membaca buku,
7. Naura Assyifa, sahabat kos-Bu-Nur tercinta, yang selalu bersedia meminjamkan motornya dan barang-barang lainnya,
8. Vita, Aldilla, Arum, dan Robik sebagai sahabat pelipur laraku, I♥U
9. Teman-teman bidang tanah sekalian yang selalu bersedia saling membantu dan berbagi ilmu tanah kepada penulis,
10. Semua orang yang pernah memberi tebengan dari/ke kos-kampus kepada penulis dari awal masa kuliah hingga terselesaikannya masa kuliah, kalian semua berHati Mulia
11. Keluarga Besar S58 selaku teman-teman mahasiswa seperjuangan Teknik Sipil FTSLK-ITS 2015, yang telah bersedia direpotkan dan memberi pertolongan dalam bentuk apapun selama ini,
12. Para mahasiswa senior dan junior Teknik Sipil ITS FTSLK-ITS sekalian.

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	
<i>Title Page</i>	
Halaman Pengesahan	
Abstrak .....	i
<i>Abstract</i> .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
LEMBAR TERIMAKASIH.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Batasan Masalah .....	6
1.4. Tujuan Perencanaan .....	7
1.5. Manfaat Perencanaan .....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>9</b>
2.1. Tanah dan Data Tanah .....	9
2.2. Daya Dukung Tanah .....	12
2.3. Konstruksi Terowongan .....	15
2.3.1. Jenis Terowongan .....	16
2.3.2. Terowongan Bawah Laut Sistem <i>Immersed Tunnel</i> .....	18
2.4. Perencanaan <i>Immersed Tunnel</i> .....	24
2.4.1. Perencanaan Alinemen.....	24
2.4.2. Perencanaan Segmen.....	25
2.5. Perencanaan <i>Secant Pile</i> .....	33
2.6. Tiang Tarik.....	37
<b>BAB III METODE PERENCANAAN.....</b>	<b>39</b>
3.1. Bagan Alir .....	39
3.1. Rincian Tahapan Perencanaan .....	41
<b>BAB IV DATA PERENCANAAN .....</b>	<b>43</b>
4.1. Data Batimetri .....	43

4.2.	Data Tanah Dasar .....	45
4.3.	Data Beban .....	49
<b>BAB V PERHITUNGAN DAN PERENCANAAN.....</b>		<b>51</b>
5.1.	Perencanaan Rute <i>Immersed Tunnel</i> .....	51
5.2.	Perencanaan Alinemen <i>Immersed Tunnel</i> .....	52
5.3.	Perencanaan Struktur Bagian Utama <i>Immersed Tunnel</i> ...	54
5.3.1.	Pembagian Segmen .....	54
5.3.2.	Perencanaan Dimensi .....	54
5.3.3.	Penggunaan Material .....	60
5.3.4.	Perencanaan Penulangan Segmen <i>Immersed Tunnel</i> .....	60
5.4.	Perencanaan <i>Backfill Immersed Tunnel</i> .....	66
5.5.	Kontrol Gaya Angkat Air Laut Terhadap <i>Immersed Tunnel</i> dan Daya Dukung Tanah.....	68
5.5.1.	Kontrol Gaya Angkat Air Laut.....	68
5.5.2.	Kontrol Daya Dukung Tanah .....	74
5.6.	Perencanaan <i>Approach Immersed Tunnel</i> .....	76
5.6.1.	Pemilihan Segmen <i>Approach</i> .....	76
5.6.2.	Perencanaan Struktur Penahan Tanah .....	78
5.6.3.	Perhitungan Tulangan Komponen <i>Approach</i> .....	128
5.6.4.	Analisa <i>Buoyancy</i> .....	137
5.7.	Tahapan Pelaksanaan Konstruksi <i>Immersed Tunnel</i> .....	142
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>147</b>
6.1	Kesimpulan .....	147
6.2	Saran.....	148
DAFTAR PUSTAKA.....		149
<i>Lampiran 1 : Data Borlog dan Hasil Laboratorium</i>		
<i>Lampiran 2 : Tabel Analisa Data Tanah</i>		
<i>Lampiran 3 : Perhitungan Iterasi</i>		
<i>Lampiran 4 : Gambar Perencanaan</i>		
BIODATA PENULIS		



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Letak Teluk Balikpapan, Kota Balikpapan, dan Kabupaten Penajam di Kalimantan Timur .....	2
<b>Gambar 1.2</b> Akses dari atau menuju Balikpapan – Penajam melalui jalur darat dan laut.....	3
<b>Gambar 1.3</b> (a) Alur pelayaran Pelabuhan Dermaga Fery Penajam dan lokasi perencanaan akses penghubung baru Balikpapan-Penajam dan (b) Lokasi Bandara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang.....	5
<b>Gambar 2.1</b> Dasar teori beban eksentris .....	15
<b>Gambar 2.2</b> Jenis dan letak backfill pada <i>immersed tunnel</i> .....	20
<b>Gambar 2.3</b> Perbandingan antara panjang <i>immersed tunnel</i> , <i>bored tunnel</i> , dan jembatan .....	20
<b>Gambar 2.4</b> Bentuk potongan melintang <i>immersed tunnel</i> .....	21
<b>Gambar 2.5</b> Pembuatan elemen <i>immersed tunnel</i> di atas dok yang kering.....	23
<b>Gambar 2.6</b> Proses pengapungan elemen <i>immersed tunnel</i> .....	23
<b>Gambar 2.7</b> Elemen <i>immersed tunnel</i> pada lokasi proyek dan saat penenggelaman.....	24
<b>Gambar 2.8</b> Tipe potongan melintang <i>immersed tunnel</i> ( <i>structural concrete</i> , <i>open space</i> , dan <i>ballast concrete</i> ).....	24
<b>Gambar 2.9</b> Peraturan ruang bebas kereta api dengan jarak rel 1435 mm.....	26
<b>Gambar 2.10</b> Struktur <i>gauge</i> pada terowongan .....	27
<b>Gambar 2.11</b> <i>Safety concept</i> pada terowongan .....	27
<b>Gambar 2.12</b> Sketsa sederhana penampang melintang terowongan.....	32
<b>Gambar 2.13</b> Gaya tekanan lateral tanah .....	34
<b>Gambar 2.14</b> Perhitungan tekanan lateral tanah metode <i>stress and deformation</i> .....	35
<b>Gambar 3.1</b> Bagan alir perencanaan terowongan bawah laut sistem <i>immersed tunnel</i> .....	40
<b>Gambar 4.1</b> Peta batimetri perairan Teluk Balikpapan.....	43

<b>Gambar 4.2</b> Penampang melintang profil dasar laut pada rute <i>immersed tunnel</i> .....	44
<b>Gambar 4.3.a</b> Lokasi data tanah dan lokasi perencanaan <i>approach immersed tunnel</i> di Kota Balikpapan .....	45
<b>Gambar 4.3.b</b> Titik lokasi data borlog .....	46
<b>Gambar 4.4</b> Grafik gabungan data borlog di 6 titik bor .....	47
<b>Gambar 4.5</b> Grafik hubungan antara kedalaman dan NSPT, dan konsistensi lapisan tanah .....	48
<b>Gambar 5.1</b> Rute alternatif perencanaan <i>immersed tunnel</i> .....	51
<b>Gambar 5.2</b> Elevasi segmen <i>immersed tunnel</i> .....	53
<b>Gambar 5.3</b> Pembagian segmen terowongan <i>immersed tunnel</i> .....	57
<b>Gambar 5.4</b> Potongan melintang segmen <i>immersed tunnel</i> .....	58
<b>Gambar 5.5</b> Letak titik berat penampang melintang segmen.....	59
<b>Gambar 5.6</b> Beban yang bekerja pada segmen <i>immersed tunnel</i> .....	60
<b>Gambar 5.7</b> Permodelan segmen dengan program SAP2000 ....	63
<b>Gambar 5.8</b> Susunan lapisan <i>backfill</i> dengan elevasi dasar laut - 26,00 meter .....	67
<b>Gambar 5.9</b> Luas penampang <i>bulkheads</i> .....	72
<b>Gambar 5.10</b> Letak <i>approach</i> pada perencanaan <i>immersed tunnel</i> .....	77
<b>Gambar 5.11.a</b> Penampang melintang model 1 .....	77
<b>Gambar 5.11.b</b> Penampang melintang model 2 .....	77
<b>Gambar 5.12</b> Bidang momen permodelan SAP2000 .....	80
<b>Gambar 5.13</b> Defleksi dinding pada iterasi terakhir .....	95
<b>Gambar 5.14</b> Defleksi dinding pada iterasi terakhir penggalian kedua .....	103
<b>Gambar 5.15</b> Bidang momen permodelan SAP2000 .....	104
<b>Gambar 5.16</b> Grafik deformasi tiang pada iterasi terakhir.....	119
<b>Gambar 5.17</b> Defleksi dinding pada iterasi terakhir penggalian kedua .....	127
<b>Gambar 5.18</b> Bidang momen pada dinding model 1 .....	129
<b>Gambar 5.19</b> Penampang <i>bored pile</i> pada permodelan menggunakan SpColumn.....	129
<b>Gambar 5.20</b> Penulangan pelat bawah model 1 .....	133

<b>Gambar 5.21</b>	Bidang momen pada dinding model 2 .....	134
<b>Gambar 5.22</b>	Penampang <i>bored pile</i> pada permodelan SpColumn .....	134
<b>Gambar 5.23</b>	Bidang momen yang terjadi pada plat lantai atas tumpuan (kiri) dan lapangan (kanan) .....	136
<b>Gambar 5.24</b>	Besar beban axial pelat di akhir penggalian.....	136
<b>Gambar 5.25</b>	Proses pabrikasi segmen <i>immersed tunnel</i> .....	142
<b>Gambar 5.26</b>	Segmen terowongan setelah dipasang <i>bulkheads</i> .....	143
<b>Gambar 5.27</b>	Proses pembanjiran segmen sebelum transportasi .....	143
<b>Gambar 5.28</b>	Proses transportasi segmen .....	144
<b>Gambar 5.29</b>	Proses penenggelaman segmen terowongan .....	144
<b>Gambar 5.30</b>	Proses penyambungan antar segmen dengan <i>rubber gaskets</i> .....	145
<b>Gambar 5.31</b>	Detail sambungan <i>rubber gaskets</i> .....	145

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Tabel Korelasi Konsistensi Tanah dengan Data N-SPT Untuk Tanah Dominan Lanau atau Lempung .....	10
<b>Tabel 2.2</b> Tabel Korelasi Data N-SPT Dengan $\gamma_{sat}$ Untuk Tanah Dominan Lempung.....	11
<b>Tabel 2.3</b> Tabel Korelasi Konsistensi Tanah dengan Data N-SPT Untuk Tanah Dominan Pasir .....	11
<b>Tabel 2.4</b> Tabel Korelasi <i>Coefficient of Subgrade Reaction</i> .....	12
<b>Tabel 2.5</b> Tabel Korelasi Modulus Elastisitas Tanah .....	12
<b>Tabel 2.6</b> Faktor Daya Dukung Untuk Persamaan Terzaghi .....	14
<b>Tabel 2.7</b> Tipe Pembebanan Dalam Kondisi Layan Potongan Melintang <i>Immersed Tunnel</i> .....	28
<b>Tabel 2.8</b> Tipe Pembebanan Dalam Kondisi <i>Ultimate</i> Potongan Melintang <i>Immersed Tunnel</i> .....	29
<b>Tabel 4.1</b> Rekapitulasi Data Tanah yang Digunakan .....	49
<b>Tabel 5.1</b> Luas Penampang Terowongan.....	56
<b>Tabel 5.2</b> Perhitungan Titik Berat Segmen.....	56
<b>Tabel 5.3</b> Perhitungan Tekanan Air Pori .....	80
<b>Tabel 5.4</b> Perhitungan Tekanan Horizontal di Belakang Dinding .....	81
<b>Tabel 5.5</b> Perhitungan Tekanan Horizontal di Depan Dinding...	81
<b>Tabel 5.6</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Belakang Dinding .....	82
<b>Tabel 5.6</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Belakang Dinding (Lanjutan) .....	82
<b>Tabel 5.6</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Belakang Dinding (Lanjutan) .....	83
<b>Tabel 5.7</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Depan Dinding.....	84
<b>Tabel 5.7</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Depan Dinding (Lanjutan).....	84
<b>Tabel 5.8</b> Perhitungan Tekanan Air Pori .....	85

<b>Tabel 5.9</b> Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Aktif Minimum di Belakang Dinding .....	86
<b>Tabel 5.10</b> Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding .....	86
<b>Tabel 5.11</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding .....	88
<b>Tabel 5.12</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Belakang Dinding .....	88
<b>Tabel 5.13</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama .....	89
<b>Tabel 5.14</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Kedua.....	90
<b>Tabel 5.15</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Kedua.....	91
<b>Tabel 5.16</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Kedua.....	92
<b>Tabel 5.17</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Terakhir .....	93
<b>Tabel 5.18</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir .....	94
<b>Tabel 5.19</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Terakhir .....	95
<b>Tabel 5.20</b> Perhitungan Tekanan Air Pori .....	96
<b>Tabel 5.21</b> Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding .....	97
<b>Tabel 5.22</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua.....	98
<b>Tabel 5.23</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua.....	99
<b>Tabel 5.24</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua.....	100

<b>Tabel 5.25</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maksimum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir Penggalian Kedua .....	101
<b>Tabel 5.26</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Terakhir Penggalian Kedua .....	102
<b>Tabel 5.27</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Terakhir Penggalian Kedua.....	103
<b>Tabel 5.28</b> Perhitungan Tekanan Horizontal di Belakang Dinding .....	105
.....	105
<b>Tabel 5.29</b> Perhitungan Tekanan Horizontal di Depan Dinding .....	105
<b>Tabel 5.30</b> Perhitungan Tekanan Air Pori .....	106
<b>Tabel 5.31</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Belakang Dinding .....	106
<b>Tabel 5.31</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Belakang Dinding (Lanjutan) .....	106
<b>Tabel 5.31</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Belakang Dinding (Lanjutan) .....	107
<b>Tabel 5.32</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Depan Dinding.....	108
<b>Tabel 5.32</b> Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi <i>Atrest</i> dan ks di Depan Dinding (Lanjutan) .....	108
<b>Tabel 5.33</b> Perhitungan Tekanan Air Pori .....	109
<b>Tabel 5.34</b> Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Aktif Minimum di Belakang Dinding.....	110
<b>Tabel 5.35</b> Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding .....	110
<b>Tabel 5.36</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding.....	112
<b>Tabel 5.37</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Belakang Dinding.....	112
<b>Tabel 5.38</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama.....	113

<b>Tabel 5.39</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Kedua.....	114
<b>Tabel 5.40</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Kedua.....	115
<b>Tabel 5.41</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Kedua.....	116
<b>Tabel 5.42</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir .....	117
<b>Tabel 5.43</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Terakhir .....	118
<b>Tabel 5.44</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Terakhir .....	119
<b>Tabel 5.45</b> Perhitungan Tekanan Air Pori .....	120
<b>Tabel 5.46</b> Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding .....	121
<b>Tabel 5.47</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua.....	122
<b>Tabel 5.48</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua.....	123
<b>Tabel 5.49</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua.....	124
<b>Tabel 5.50</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Pasif Maksimum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir Penggalan Kedua .....	125
<b>Tabel 5.51</b> Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi <i>Atrest</i> , Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Terakhir Penggalan Kedua .....	126
<b>Tabel 5.52</b> Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Terakhir Penggalan Kedua.....	127
<b>Tabel 5.53</b> Qs Tiang Bagian A (Depan Dinding yang Tegali) .	139



<b>Tabel 5.54</b> Qs Tiang Bagian B (Belakang Dinding yang Tidak Tegali) .....	139
<b>Tabel 5.55</b> Qs Tiang Bagian A (Depan Dinding yang Tegali) .	141
<b>Tabel 5.56</b> Qs Tiang Bagian B (Belakang Dinding yang Tidak Tegali) .....	141

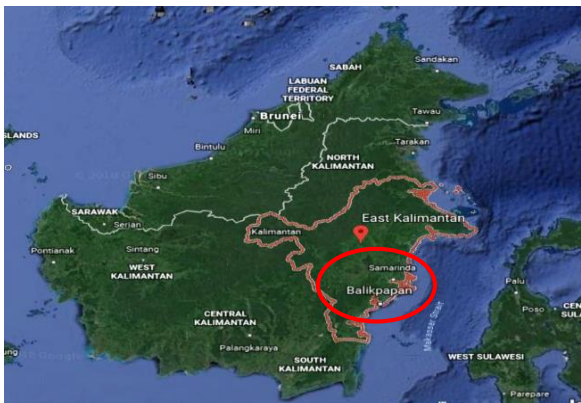
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Tiga perempat wilayah Indonesia adalah laut (5,9 juta km<sup>2</sup>), dengan panjang garis pantai 95.161 km, terpanjang kedua setelah Kanada (Lasabuda, 2013). Oleh karena hal tersebut infrastruktur perhubungan laut memiliki peranan penting untuk meningkatkan konektivitas antarpulau di Indonesia. Teluk Balikpapan merupakan salah satu perairan di Provinsi Kalimantan Timur yang memisahkan Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam seperti pada **Gambar 1.1.**

Kabupaten Penajam Paser Utara (Kabupaten PPU) dengan ibukota Penajam adalah kabupaten termuda di Provinsi Kalimantan Timur. Kabupaten ini terbentuk pada tahun 2002 dan merupakan pemekaran dari Kabupaten Paser. Oleh karena hal tersebut, Kabupaten PPU sedang berupaya mengembangkan pemerintahannya dengan membangun beberapa infrastruktur agar pelayanan pemerintah terhadap masyarakat dapat berjalan maksimal. Salah satu infrastruktur yang perlu dikembangkan adalah sarana transportasi dari atau menuju Kabupaten PPU-Kota Balikpapan.



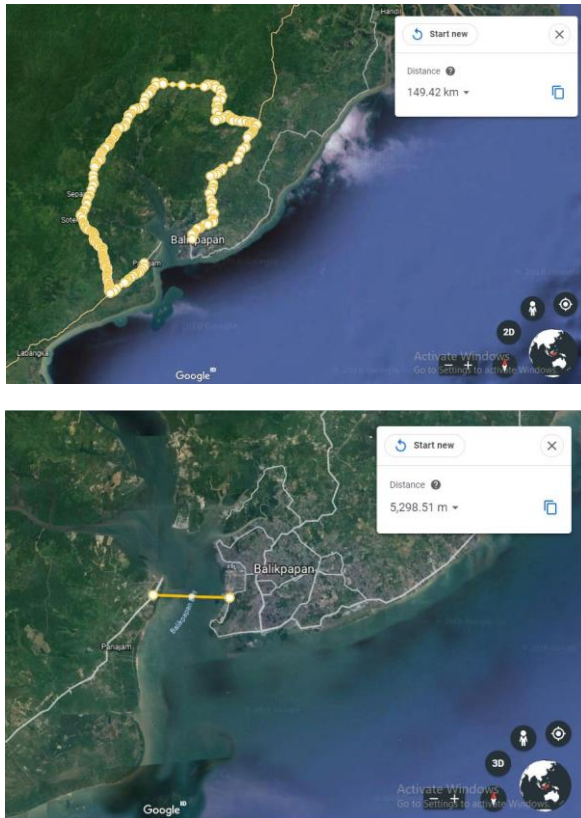


**Gambar 1.1** Letak Teluk Balikpapan, Kota Balikpapan, dan Kabupaten Penajam di Kalimantan Timur

Sumber : Google Earth (<https://earth.google.com/web/>)

Pintu gerbang masuk ke Kabupaten PPU dari arah utara dapat dilalui dengan jalan darat melalui jalan km 38 Balikpapan (wilayah kab. Kutai Kartanegara) ke arah kecamatan Sepaku, atau dengan kapal Feri melalui pelabuhan Penajam ke pelabuhan Kariangau (Balikpapan). Hingga sampai saat ini peranan kapal Feri untuk mengangkut penumpang, kendaraan dan barang dari dan ke arah Penajam-Balikpapan sangat vital. Arus transportasi sangat padat, dan bahkan antrian kendaraan sering panjang dan memerlukan waktu lama untuk diangkut oleh Feri. Tidak kurang sekitar 3 – 5 kapal Feri tiap hari beroperasi selama 24 jam, yang dikelola oleh BUMN di bawah ASDP, Departemen Perhubungan (Pemerintah Kabupaten Penajam Paser Utara Provinsi Kalimantan Timur, 2011). Sedangkan pada **Gambar 1.2** menunjukkan bahwa jarak yang ditempuh melalui jalur darat lebih panjang daripada jalur laut. Kondisi tersebut menjelaskan bahwa lama perjalanan dari atau menuju Kabupaten PPU-Balikpapan membutuhkan waktu yang lama baik melalui jalur darat maupun jalur laut. Sehingga dibutuhkan infrastruktur baru yang dapat mempersingkat waktu perjalanan tersebut. Namun dalam pembangunan infrastruktur tersebut, pemerintah juga harus

memperhatikan biaya yang dikeluarkan. Karena pengembangan dalam bidang lain seperti pendidikan dan kesehatan juga membutuhkan biaya yang tidak sedikit.



**Gambar 1.2** Akses dari atau menuju Balikpapan – Penajam melalui jalur darat dan laut

*Sumber : Google Earth (<https://earth.google.com/web/>)*

Walaupun usia terbentuknya Kabupaten PPU tergolong muda, namun sektor pertanian pangan Kabupaten PPU cukup potensial untuk dikembangkan terutama untuk komoditas padi dan jagung. Hal tersebut disebabkan oleh tersebarnya pertanian

padi dan jagung di semua wilayah kecamatan, sehingga Kabupaten PPU dapat diandalkan sebagai pemasok untuk skala lokal maupun regional. Meskipun demikian, pengembangan sektor pertanian masih dirasakan belum optimal disebabkan masih banyaknya kendala seperti terbatasnya jaringan pemasaran. Dalam hal ini, Kota Balikpapan memiliki peran penting dalam meningkatkan kegiatan ekonomi Kabupaten PPU, karena Balikpapan merupakan satu-satunya kawasan perkotaan yang berbatasan dengan Kabupaten PPU. Lamanya perjalanan dari atau menuju Kabupaten PPU-Kota Balikpapan akan menghambat kegiatan ekonomi sehingga salah satu rencana pengembangan jaringan jalan di Kabupaten Penajam Paser Utara antara lain pembangunan jembatan antara Penajam-Balikpapan (Pemerintah Kabupaten Penajam Paser Utara Provinsi Kalimantan Timur, 2011).

Infrastruktur yang akan dibangun antara Penajam-Balikpapan diharapkan tidak hanya dapat digunakan kendaraan roda dua dan roda empat, tapi juga kereta api. Kereta api memiliki kecepatan melebihi kendaraan roda empat. Selain itu kereta api juga mampu mengangkut muatan lebih banyak daripada transportasi lain, sehingga kegiatan ekspor impor menggunakan kereta api lebih efisien. Jembatan memang menjadi infrastruktur yang seringkali digunakan sebagai akses penghubung. Akan tetapi, jembatan hanya mampu dilewati oleh kendaraan roda dua dan roda empat untuk membangun jembatan yang juga dapat dilalui kereta api dan jalan raya akan menghasilkan perencanaan struktur yang besar dan mahal.

Selain mahal, tinggi jembatan yang akan dibangun juga dapat mengganggu kegiatan pelayaran di Teluk Balikpapan dan kegiatan penerbangan di Bandara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggian (**Gambar 1.3**). Pada awalnya ketinggian bentang panjang mencapai 50 m saat air laut pasang tertinggi juga sempat menjadi pertentangan, karena dinilai akan mengganggu arus pelayaran di Teluk Balikpapan (Samir, 2018). Kondisi tanah pada wilayah sekitar Teluk Balikpapan juga cukup

lunak (data tanah terlampir (Ivan, Perdana, & Sipil, 2017)), sehingga dibutuhkan infrastruktur yang sesuai dengan segala kondisi tanah.

Infrastruktur lain yang dapat direncanakan selain jembatan adalah terowongan. Terowongan dapat dibangun dibawah tanah atau dibawah laut. Sebagai akses yang menghubungkan antara Kota Balikpapan-Kabupaten PPU, terowongan bawah laut akan lebih efektif jika dibandingkan dengan terowongan bawah tanah. Hal tersebut disebabkan oleh jarak antara Kota Balikpapan dan Kabupaten PPU akan lebih dekat jika ditempuh melalui lautan daripada daratan, sehingga panjang terowongan bawah laut yang direncanakan akan lebih pendek daripada terowongan bawah tanah, dan biaya perencanaan juga lebih murah.



**Gambar 1.3** (a) Alur pelayaran Pelabuhan Dermaga Fery Penajam dan lokasi perencanaan akses penghubung baru Balikpapan-Penajam dan (b) Lokasi Bandara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan

Sumber : Google Earth (<https://earth.google.com/web/>)

Terdapat 3 jenis terowongan bawah laut, yaitu *submerged floating tunnel*, *undersea tunnel* dan *immersed tunnel*. Dari tiga jenis terowongan ini, pembangunan terowongan sistem *immersed*

*tunnel* paling banyak dilakukan di beberapa negara maju karena biaya konstruksi yang dibutuhkan lebih murah dibandingkan biaya konstruksi jembatan, dan pelaksanaan konstruksi *immersed tunnel* lebih mudah daripada pelaksanaan konstruksi jenis terowongan bawah laut lainnya.

Oleh karena sebab diatas, perencanaan terowongan bawah laut jenis *immersed tunnel* yang menghubungkan Kota Balikpapan dan Kabupaten PPU ini perlu untuk dilakukan. Terowongan ini direncanakan agar dapat mengakomodasi kendaraan roda empat, roda dua, dan kereta api sehingga mampu mempercepat waktu tempuh dari atau menuju Balikpapan – Penajam.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Bagaimana perencanaan terowongan bawah laut jenis *immersed tunnel* antara Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam Paser Utara :

1. Dimana rute alternatif untuk terowongan bawah laut jenis *immersed tunnel* dapat dibangun?
2. Bagaimana alinemen segmen utama terowongan bawah laut jenis *immersed tunnel*?
3. Bagaimana perencanaan struktur pada bagian utama *immersed tunnel*?
4. Bagaimana perencanaan *backfill* terowongan?
5. Bagaimana kontrol gaya angkat air laut terhadap *immersed tunnel* dan daya dukung tanah?
6. Bagaimana perencanaan *approach* di salah satu sisi terowongan?
7. Bagaimana tahapan pelaksanaan pembuatan terowongan?

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan dari tugas akhir ini adalah :

1. Data yang digunakan berupa data sekunder
2. *Rubber gaskets* dan *concrete shear keys* tidak direncanakan



3. Perencanaan *stressing* segmen tidak direncanakan

#### **1.4. Tujuan Perencanaan**

Dari rumusan masalah di atas, dapat dirumuskan tujuan dari tugas akhir ini adalah menghasilkan perencanaan terowongan bawah laut jenis *immersed tunnel* yang menghubungkan antara Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam Paser Utara.

#### **1.5. Manfaat Perencanaan**

Manfaat penulisan tugas akhir ini antara lain :

1. Bagi peneliti dan perencana : adanya perkembangan teknologi maupun perencanaan terowongan bawah laut di Balikpapan.
2. Bagi masyarakat : mempercepat waktu tempuh dari Kota Balikpapan menuju Kabupaten Penajam Paser Utara atau sebaliknya menggunakan terowongan ini
3. Bagi pemerintahan : adanya referensi baru yang lebih baik untuk menghubungkan Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam Paser Utara

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tanah dan Data Tanah**

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara ilmiah) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah juga berfungsi sebagai pendukung pondasi bangunan (Das, Endah, & Mochtar, 1995).

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Pondasi dapat digolongkan berdasarkan dimana beban itu ditopang oleh tanah yang menghasilkan pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dinamakan alas, telapak, telapak tersebar, atau pondasi rakit (mats). Kedalamannya pada umumnya  $D/B \leq 1$  tetapi mungkin agak lebih. Sedangkan pondasi dalam dinamakan tiang pancang, tembok atau tiang yang dibor, atau kaisan yang dibor dengan  $D/B \geq 4$  (Bowles, 1987).

Sifat-sifat fisis dan rekayasa tanah yang menjadi perhatian utama untuk analisa dan desain elemen pondasi dalam lapangan antara lain (Bowles, 1987) :

1. Parameter kekuatan : modulus tegangan regangan ( $E_s$ ), modulus geser ( $G'$ ), rasio Poisson ( $\mu$ ), sudut gesekan dalam ( $\phi$ ), kohesi tanah ( $c$ )
2. Penetapan kompresibilitas untuk sejumlah dan laju penurunan :
  - a. Kompresi : indeks  $C_c$  dan rasio  $C_c'$

- b. Rekompresi : indeks Cr dan rasio Cr'
  - c. Koefisien konsolidasi ( $C_v$ )
  - d. Koefisien *secondary compression* ( $C_s$ )
3. Data gravimetrik volumetrik mencakup : berat satuan ( $\gamma$ ), berat spesifik ( $G_s$ ), angka pori ( $e$ ), porositas ( $n$ ), kandungan air ( $i$ , dimana  $=L$  untuk alami,  $=L$  untuk batas cair,  $=P$  untuk batas plastis)
  4. Permeabilitas ( $k$  = koefisien permeabilitas)

Kebanyakan faktor-faktor utama yang mempengaruhi sifat-sifat rekayasa pada tanah melibatkan proses-proses geologis yang bekerja pada kurun waktu yang sangat lama seperti sementasi dan penebaran alami, konsolidasi berlebihan, cara pembentukan deposit, mutu lempung, dan air tanah (Bowles, 1987).

Analisis data tanah akan digunakan untuk menentukan data – data apa saja yang dirasa kurang untuk perencanaan dan tidak ada dalam data tanah tersebut. Sehingga diperlukan korelasi – korelasi dari tabel – tabel penelitian yang telah dilakukan. Pada tugas ini beberapa korelasi harus dilakukan, yaitu meliputi konsistensi tanah lunak, konsistensi tanah berpasir, coefficient of subgrade reaction dan modulus elastisitas tanah. Seluruh tabel yang digunakan dalam dilihat pada **Tabel 2.1** hingga **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.1** Tabel Korelasi Konsistensi Tanah dengan Data N-SPT Untuk Tanah Dominan Lanau atau Lempung  
(Mochtar, 2012)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, $C_u$		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, $q_c$ (dari Sondir)	
	kPa	ton/ m <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000–2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.	5 – 10	20– 40	2000–4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10.	10 – 20	40 –75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10. – 20.	20 – 40	75– 150	7500 – 15000
Keras (hard)	> 200	> 20.	> 40	> 150	> 15000

Sumber : Mochtar (2006), revised (2012)

**Tabel 2.2** Tabel Korelasi Data N-SPT Dengan  $\gamma_{sat}$  Untuk Tanah Dominan Lempung  
*Sumber : (Mochtar, 2012)*

N-SPT blows-feet	Konsistensi	Qu (unconfined compressive strength) tons/ft <sup>2</sup>	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>
< 2	Very Soft	< 0.25	16 - 19
2 - 4	Soft	0.25 - 0.50	16 - 19
4 - 8	Medium	0.50 - 1.00	17 - 20
8 - 15	Stiff	1.00 - 2.00	19 - 22
15 - 30	Very Stiff	2.00 - 4.00	19 - 22
> 30	Hard	> 4.00	19 - 22

**Tabel 2.3** Tabel Korelasi Konsistensi Tanah dengan Data N-SPT Untuk Tanah Dominan Pasir  
*Sumber : (Mochtar, 2009)*

Kondisi kepadatan	Relative Density (kepadatan relatif) Rd	Perkiraan Harga $N_{SPT}$	Perkiraan harga $\phi$ (°)	Perkiraan berat volume jenuh, $\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )
Very loose (sangat gembur)	0 % s/d 15 %	0 s/d 4	0 s/d 28	< 1.60
Loose (gembur)	15 % s/d 35 %	4 s/d 10	28 s/d 30	1.50 – 2.0
Medium (menengah)	35% s/d 65 %	10 s/d 30	30 s/d 36	1.75 – 2.10
Dense (padat)	65% s/d 85 %	30 s/d 50	36 s/d 41	1.75 – 2.25
Very dense (sangat padat)	85% s/d 100 %	> 50	41*	

\* Perkiraan oleh Mochtar (2009)

**Tabel 2.4** Tabel Korelasi *Coefficient of Subgrade Reaction*  
(Bowles, 1996)

Soil	$k_s, \text{kN/m}^3$
Loose sand	4800 - 16000
Medium dense-sand	9600 - 80000
Dense-sand	64000 - 128000
Clayey medium dense-sand	32000 - 80000
Silty medium dense-sand	24000 - 48000
Clayey soil	
$q_u \leq 200 \text{ kPa}$	12000 - 24000
$200 < q_u \leq 800 \text{ kPa}$	24000 - 48000
$q_u > 800 \text{ kPa}$	>48000

**Tabel 2.5** Tabel Korelasi Modulus Elastisitas Tanah  
(Braja M. Das, 1984)

Type of soil	Modulus of elasticity, $E_s$	
	( $\text{MN/m}^2$ )	Poisson's ratio, $\mu_s$
Loose sand	10.5–24.0	0.20–0.40
Medium dense sand	17.25–27.60	0.25–0.40
Dense sand	34.50–55.20	0.30–0.45
Silty sand	10.35–17.25	0.20–0.40
Sand and gravel	69.00–172.50	0.15–0.35
Soft clay	4.1–20.7	
Medium clay	20.7–41.4	0.20–0.50
Stiff clay	41.4–96.6	

## 2.2. Daya Dukung Tanah

Menurut (Bowles, 1987) Tanah harus mampu memikul beban dari setiap konstruksi teknik yang diletakkan pada tanah tersebut tanpa kegagalan (*shear failure*) geser dan dengan penurunan (*settlement*) yang dapat ditolerir untuk konstruksi tersebut. Kegagalan geser tanah dapat menimbulkan distorsi bangunan yang berlebihan dan bahkan keruntuhan. Dalam banyak

hal, kriteria penurunan akan menentukan daya dukung yang diijinkan; akan tetapi, pada beberapa kasus gaya geser dasar membatasi daya dukung ijin.

Menurut (Badan Standarisasi Nasional, 2017) Pasal 9.2.3, daya dukung izin tanah dimana pondasi tersebut akan dibangun akibat beban kerja harus diambil yang terkecil dari :

- a. Kapasitas ultimate tanah dengan faktor keamanan yang cukup terhadap kemungkinan terjadinya keruntuhan, atau
- b. Suatu nilai yang memberikan deformasi fondasi akibat beban yang bekerja masih dalam batas-batas yang diizinkan oleh bangunan tersebut, atau bangunan di sekitarnya

Metode untuk mendapatkan daya dukung izin lapisan tanah fondasi dapat dilihat pada SNI 8460-2017 Pasal 9.2.3.1 dan Pasal 9.2.3.2.

Menurut (Badan Standarisasi Nasional, 2017) Pasal 9.2.3.1, metode rasional yang digunakan untuk menghitung kapasitas ultimate fondasi harus dilakukan berdasarkan data-data tanah yang diperoleh dari penyelidikan lapangan maupun laboratorium pada lokasi pekerjaan menggunakan :

- a) Metode analitik yang sudah baku (misalnya Terzaghi, Meyerhoff, Hansen, Vesic, Reese) yang memperhitungkan kondisi lapisan tanah yang ada serta geometri dari fondasi
- b) Metode empiris yang sudah baku (terbukti).

Daya dukung izin fondasi diperoleh dari daya dukung ultimate fondasi tersebut dibagi dengan suatu faktor keamanan yang besarnya minimum 3 untuk fondasi dangkal atau minimum 2,5 untuk fondasi dalam.

Persamaan daya dukung Terzaghi dimaksudkan untuk pondasi-pondasi dangkal dimana  $D \leq B$ . Persamaan daya dukung tersebut yaitu (Bowles, 1987) :

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot S_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B N_\gamma \cdot S_\gamma$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$a = e^{(0,75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_y = \frac{\tan \phi}{2} \left( \frac{K_{py}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

Dengan :

	menerus	bundar	bujur sangkar
Sc	1,0	1,3	1,3
Sy	1,0	0,6	0,8

**Tabel 2.6** Faktor Daya Dukung Untuk Persamaan Terzaghi  
(Bowles, 1987)

Nilai-nilai  $N_y$  untuk  $\phi$  sebesar  $34^\circ$  dan  $48^\circ$  adalah nilai Terzaghi yang asli dan digunakan untuk menghitung balik  $K_{py}$

$\phi$ , deg	$N_c$	$N_q$	$N_y$	$K_{py}$
0	5,7†	1,0	0,0	10,8
5	7,3	1,6	0,5	12,2
10	9,6	2,7	1,2	14,7
15	12,9	4,4	2,5	18,6
20	17,7	7,4	5,0	25,0
25	25,1	12,7	9,7	35,0
30	37,2	22,5	19,7	52,0
34	52,6	36,5	36,0	
35	57,8	41,4	42,4	82,0
40	95,7	81,3	100,4	141,0
45	172,3	173,3	297,5	298,0
48	258,3	287,9	780,1	
50	347,5	415,1	1153,2	800,0

$$\dagger = 1,5\pi + 1.$$

Persamaan daya dukung dengan beban vertikal eksentris seperti pada persamaan berikut :

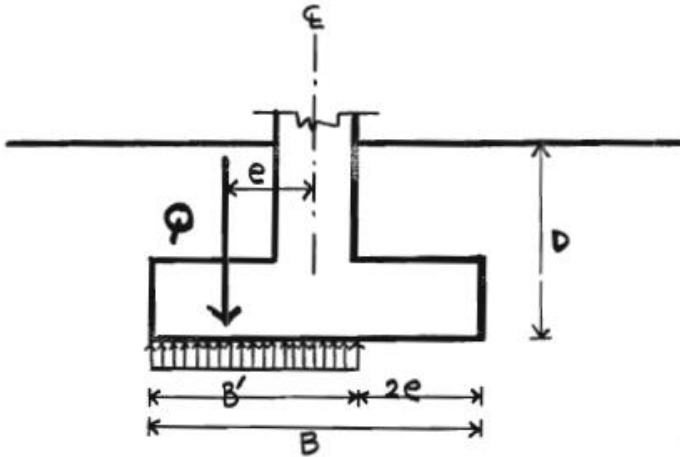
$$Q = (B-2e) [(1/2 \cdot \gamma \cdot (B-2e) \cdot N_y) + (C \cdot N_c) + (\gamma \cdot D \cdot N_q)]$$

dan



$$q = (1 - 2e_1)^2 \cdot \gamma \cdot \frac{B}{2} \cdot N\gamma + (1 - 2e_1) \cdot (\gamma \cdot D \cdot Nq + C \cdot Nc)$$

dimana  $e_1 = e/B$



**Gambar 2.1** Dasar teori beban eksentris

*Sumber : (Wahyudi, 1999)*

Menurut Pasal (Badan Standarisasi Nasional, 2017) 9.2.3.2, daya dukung izin fondasi dapat juga diperoleh dari hasil uji pembebanan fondasi pada lokasi pekerjaan. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:

- efek penskalaan dari uji pembebanan terhadap dimensi fondasi yang sebenarnya;
- variasi lapisan tanah tempat dilakukannya uji pembebanan terhadap lokasi fondasi yang sebenarnya;
- durasi pembebanan pada uji pembebanan dibandingkan dengan umur fondasi.

### 2.3. Konstruksi Terowongan

Terowongan merupakan bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai jalur lalu lintas (Menteri Pekerjaan Umum, 2011). Terowongan adalah lubang bukaan mendatar atau sedikit

miring yang dibuat di bawah tanah, gunung, sungai, laut, daerah industri, bahkan permukiman padat penduduk (Tampubolon, 2007). Terowongan jalan adalah jalan yang terletak di dalam tanah dan/ atau di dalam air (Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia, 2015).

### 2.3.1. Jenis Terowongan

Dalam (Afifi, 2018) ditinjau berdasarkan kegunaan terowongan, Made Astawa Rai (1988) membagi terowongan menjadi 2 bagian, yaitu :

1. Terowongan lalu – lintas ( *traffic tunnel* ) antara lain :
  - Terowongan kereta api adalah terowongan yang merupakan terowongan paling penting diantara terowongan lalu – lintas.
  - Terowongan jalan raya adalah terowongan yang dibangun untuk kendaraan bermotor karena pesatnya pertambahan lalu – lintas jalan raya bersamaan dengan berkembangnya industri kendaraan bermotor.
  - Terowongan pejalan kaki adalah terowongan yang 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 adalah terowongan yang 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 transportasi dibawah kota
  - Terowongan transportasi ditambang bawah tanah adalah terowongan yang 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. Terowongan angkutan

- Terowongan stasiun pembangkit listrik air.  
Air dialihkan atau dialirkan dari sungai atau reservoir untuk digunakan sebagai pembangkit listrik disebuah stasiun pembangkit yang letaknya lebih rendah. Terowongan ini dapat dikategorikan pada suatu grup utama berdasarkan kegunaannya.
- Terowongan penyediaan air  
Terowongan ini hampir sama dengan terowongan stasiun pembangkit listrik air, perbedaannya hanya pada fungsi kedua terowongan tersebut. Fungsi dari terowongan penyediaan air adalah menyalurkan air dari mata air ketempat penyimpanan air di dalam kota atau membelokkan air ke tempat penyimpanan tersebut.
- Terowongan untuk saluran air kotor  
Terowongan ini dibuat untuk membuang air kotor dari kota atau pusat industri ke tempat pembuangan yang sudah disediakan.
- Terowongan yang digunakan untuk kepentingan umum  
Terowongan ini biasanya dibuat di daerah perkotaan untuk menyalurkan kabel listrik dan telepon, pipa gas dan air, dan juga pipa – pipa lainnya yang penting, dibuat dibawah saluran air, jalan raya, jalan kereta api, blok bangunan untuk memudahkan inspeksi secara kontinyu, pemeliharaan dan perbaikan sewaktu – waktu kalau ada kerusakan.

Berdasarkan lokasinya terowongan dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut:

### 1. *Underwater Tunnels*

Terowongan yang dibangun dibawah dasar muka air. Pada umumnya dibangun dibawah dasar dan sungai atau laut. Perhitungannya lebih kompleks, selain ada tekanan tanah, juga terdapat tekanan air yang besar.

## 2. *Mountain Tunnels*

Terowongan jenis ini adalah salah satu terowongan yang mempunyai peran penting ketika suatu daerah memiliki topografi yang beragam, sehingga perlu adanya terowongan yang dibangun menembus sebuah bukit maupun gunung.

## 3. *Tunnels at Shallow Depth and Water City Streets*

Jaringan transportasi di Negara-negara maju seperti Amerika, Inggris, dan Jepang banyak yang menerapkan tipe terowongan ini. Terowongan jenis ini sangat cocok untuk dibangun di perkotaan. Baik itu untuk transportasi maupun saluran drainase kota.

### 2.3.2. Terowongan Bawah Laut Sistem *Immersed Tunnel*

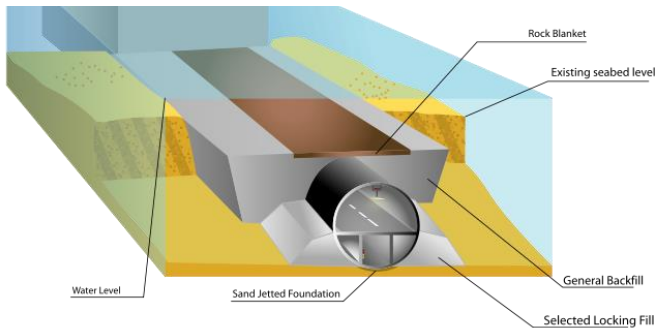
*Immersed tunnel* adalah balok beton hollow yang ditenggelamkan dibawah laut dan digabungkan agar membentuk terowongan. *Immersed tunnel* digunakan untuk melewati perairan sebagai alternatif jembatan (Kar & Saini, 2015). Di dalam (*Journal of Hydrodynamics*, 2009) menjelaskan bahwa *immersed tunnel* adalah jenis lintasan transportasi bawah laut diantara sungai, terusan, teluk, atau selat. Lintasan tersebut dibangun dengan menggali sebuah trench diatas dasar sungai atau laut, melayangkan elemen pracetak terowongan satu persatu keatas trench, menghubungkan elemen, melakukan proses backfilling (menimbun kembali) trench, dan memasang peralatan terowongan didalamnya..

Berdasarkan buku (*Tunnel Engineering Handbook*, 1982), *immersed tunnel* terdiri dari beberapa bagian penting yaitu :

- Segmen : terbuat dari material beton dan baja. Segmen terowongan akan dibuat terlebih dahulu pada *dry dock* sehingga diperlukan perhitungan kontrol berat segmen agar segmen dapat dipindah dari *dry dock* menuju lokasi proyek dengan cara diapungkan dalam keadaan kosong. Segmen yang terbuat dari beton perlu diperhatikan kemampuan *waterproofingnya* karena segmen harus kedap air
- Pondasi : hanya berupa pondasi lajur yang terdiri dari batu *gravel* yang diratakan. Kegunaannya untuk memastikan

bahwa tanah dibawah terowongan dapat memampat secara bersama – sama. Selain itu, terdapat pondasi tiang. Namun pondasi tiang sangat jarang digunakan karena dinilai kurang efisien dari segi biaya

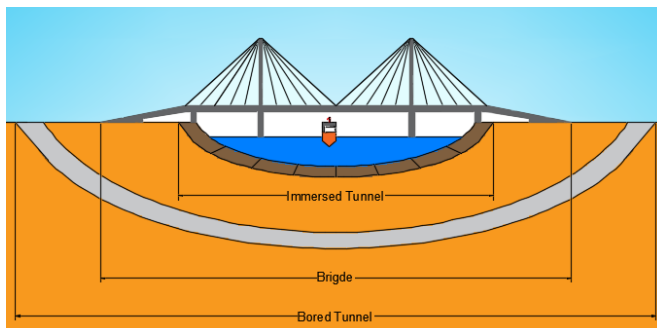
- *Backfill* : bagian terowongan yang sangat penting untuk menjaga dan melindungi segmen terowongan dari arus laut dan gaya angkat air. Segmen didesain untuk tidak tenggelam saat proses pemindahan ke lokasi proyek. Untuk meletakkannya secara permanen, *backfill* harus diletakkan diatas segmen sehingga beratnya melebihi kemampuan air untuk mengangkat segmen. Berdasarkan fungsinya (**Gambar 2.2**), *backfill* dibedakan menjadi :
  - *Locking backfill* merupakan urugan yang digunakan untuk mengunci terowongan pada tempatnya. Tanah yang digunakan dapat berupa tanah pasir, namun lebih disarankan menggunakan material yang memiliki butiran yang lebih besar
  - *Ordinary backfill* merupakan urugan yang berada ditengah – tengah, fungsinya untuk menambah berat terowongan. Jenis *backfill* ini harus padat dan materialnya tidak mengandung lempung dan tanah lunak yang melebihi 20% dari berat totalnya
  - *Protective backfill* merupakan lapisan yang digunakan untuk menghindari adanya pengikisan pada segmen terowongan. Material yang digunakan terdiri dari batuan yang besar. *Backfill* harus ditimbun 30 m dari as terowongan



**Gambar 2.2** Jenis dan letak backfill pada *immersed tunnel*

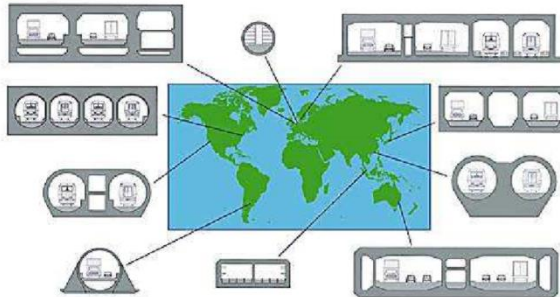
Immersed tunnel tidak selalu cocok disegala sesuatu. Namun jika terdapat perairan yang akan dilewati atau dibangun sebuah media transportasi, immersed tunnel memberikan alternatif yang lebih layak daripada jembatan atau terowongan dalam segi biaya. Adapun keuntungan immersed tunnel antara lain (J. C. W. . de Wit & Putten, 2014) :

1. Immersed tunnel memiliki keuntungan khusus daripada terowongan galian untuk melewati perairan pada beberapa lokasi karena immersed tunnel terletak tidak jauh dari dasar laut sehingga pendekatan cukup pendek. Jika dibandingkan dengan jembatan atau terowongan galian secara keseluruhan, panjang immersed tunnel lebih pendek (**Gambar 2.3**)



**Gambar 2.3** Perbandingan antara panjang *immersed tunnel*, *bored tunnel*, dan jembatan

2. Penampang immersed tunnel tidak harus berbentuk lingkaran seperti terowongan galian (**Gambar 2.4**). Hal ini menjadikan immersed tunnel lebih atraktif untuk jalan raya yang lebar dan dapat dikombinasikan dengan terowongan rel kereta api.



**Gambar 2.4** Bentuk potongan melintang *immersed tunnel*

3. Immersed tunnel memiliki dampak yang lebih sedikit terhadap lingkungan daripada jembatan dan hubungannya dengan jalan atau rel eksisting lebih mudah daripada jembatan yang tinggi dan terowongan galian yang lebih rendah
4. Immersed tunnel cocok untuk sebagian besar alinemen vertikal dan horizontal. Juga dapat didesain untuk kondisi tahan gempa
5. Immersed tunnel melibatkan beberapa aktivitas konstruksi yang dapat dilakukan dalam satu lokasi secara bersamaan sehingga dapat mempercepat rencana proyek. Hal tersebut menyebabkan pembangunan immersed tunnel lebih cepat dibandingkan terowongan galian
6. Bagian pekerjaan desain dan konstruksi sekitar 80% hingga 90% dapat dilakukan oleh desain dan perusahaan konstruksi lokal. Penggunaan ahli desain dan konstruksi internasional juga perlu tapi terbatas

Menurut (Zijlstra, 2014), beberapa kelebihan *immersed tunnel* lainnya adalah dapat dibangun di semua jenis perairan dan cocok untuk beragam kondisi tanah yang relatif lunak.

Sedangkan kekurangan immersed tunnel, antara lain :

1. Menyebabkan gangguan lingkungan pada dasar laut yang berdampak pada habitat ikan, ekologi, keadaan dan kekeruhan air
2. Berdampak pada navigasi alur laut. Walaupun terkadang diasumsikan bahwa pelaksanaan immersed tunnel tidak mengganggu kegiatan laut secara praktis, beberapa terowongan berhasil dibangun pada beberapa pengecualian alur sibuk laut tanpa masalah, namun adanya komunikasi dengan pihak pelabuhan juga penting dilakukan

Menurut (J. C. W. . de Wit & Putten, 2014), *Immersed tunnel* terdiri dari elemen beton pracetak yang besar atau elemen baja dengan isian beton yang diproduksi didaratkan, kemudian dipasang dibawah laut. Elemen terowongan dibuat diatas dok yang kering, atau pada basin yang dapat dibanjiri (**Gambar 2.5**). Elemen tersebut disegel dengan *bulkheads* pada tiap ujungnya, kemudian diapungkan ke lokasi terowongan yang telah direncanakan (**Gambar 2.6**), ditenggelamkan diatas galian yang telah disiapkan (**Gambar 2.7**), dan digabungkan dengan elemen terowongan yang sebelumnya diletakkan. Elemen terowongan dapat diletakkan diatas bantalan gravel yang telah disediakan sebelumnya, atau diatas bantalan pasir yang dipasang dibawah elemen terowongan yang masih harus ditahan oleh penahan sementara menggunakan metode *sand flow*. Kemudian *trench* disekitar *immersed tunnel* akan diisi kembali (*backfilled*).

Elemen immersed tunnel biasanya diapungkan ke lokasi menggunakan kemampuan buoyant state dari elemen tersebut. Ujung elemen terowongan dilengkapi dengan *bulkheads* untuk melindungi bagian dalam terowongan agar tetap kering selama proses floating dan immersing. Terdapat ruang toleransi saat proses perletakan hanya sekitar 1m diantara *bulkhead* dari elemen yang berdekatan, ruang ini akan dikongsongkan saat awal proses penggabungan elemen. Sambungan elemen dilengkapi dengan rubber gaskets sebagai segel antara elemen yang berdekatan. Elemen terowongan akan ditenggelamkan menuju lokasinya



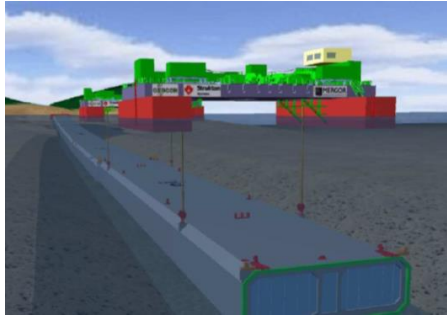
dibawah laut setelah penambahan air ballast sementara dalam tank air ballast yang telah disediakan. Setelah pemasangan backfill, air ballast akan diganti dengan beton ballast, biasanya dipasang diatas slab dasar terowongan (**Gambar 2.8**). Kemudian dilakukan proses finishing seperti pekerjaan paving, instalasi peralatan terowongan.



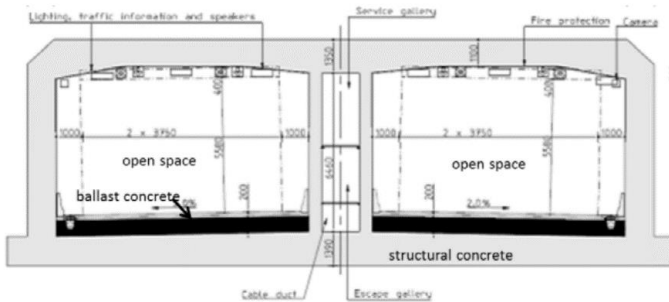
**Gambar 2.5** Pembuatan elemen *immersed tunnel* di atas dok yang kering



**Gambar 2.6** Proses pengapungan elemen *immersed tunnel*



**Gambar 2.7** Elemen *immersed tunnel* pada lokasi proyek dan saat penenggelaman



**Gambar 2.8** Tipe potongan melintang *immersed tunnel* (*structural concrete*, *open space*, dan *ballast concrete*)

## 2.4. Perencanaan *Immersed Tunnel*

Menurut (H. de Wit, 2014), dalam merencanakan *immersed tunnel* terdapat beberapa aspek penting yang harus dipertimbangkan yaitu ruangan yang disyaratkan dalam perencanaan terowongan dan desain alinemen, desain, *water tightness*, dan pemilihan pondasi.

### 2.4.1. Perencanaan Alinemen

Menurut (H. de Wit, 2014), dalam perencanaan alinemen *immersed tunnel* standar desain lokal menentukan kriteria desain untuk gradient vertikal, kecepatan rencana, kurva vertikal dan

horizontal demi keamanan, sambungan dengan infrastruktur yang sudah ada, ketentuan lain dari kondisi geoteknik dan kondisi gempa wilayah setempat, pendekatan lingkungan, dan peraturan setempat. Untuk perencanaan alinemen horizontal harus memperhatikan batas layan, struktur atau fasilitas yang sudah ada atau sudah direncanakan. Untuk alinemen vertikal harus memperhatikan *navigation channel*, efek *hydraulics blockage*, lokasi *seabed* saat ini atau saat yang akan datang, perlindungan dan potongan melintang terowongan, kemiringan minimum untuk sistem drainase adalah 0,3%-0,5%, kemiringan maksimum untuk terowongan jalan 3%-5% dan untuk terowongan kereta api 2%-3%, panjang elemen, dan parameter tanah.

#### **2.4.2. Perencanaan Segmen**

##### *1. Preliminary Design Segmen*

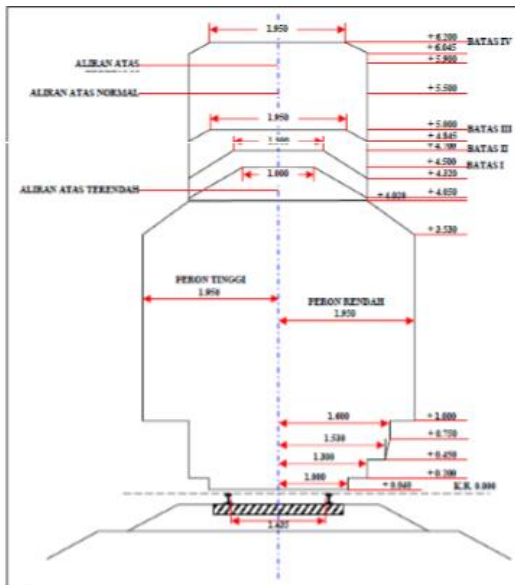
Ketentuan jalan di dalam terowongan menurut Peraturan Kementerian PU Nomor 19/PRT/M/2011 pasal 15, pasal 20, dan pasal 48 yang berbunyi :

1. Kelandaian dari jalur lalu lintas di dalam terowongan maksimum 3%
2. Terowongan dibangun untuk masing-masing arah lalu lintas
3. Di kedua sisi badan jalan harus disediakan trotoar untuk pejalan kaki dan akses untuk petugas pemeliharaan dengan lebar minimum sebesar 50 cm
4. Lebar minimum badan jalan di dalam terowongan adalah 8 m
5. Tinggi ruang bebas minimum adalah setinggi 5,1 m di atas permukaan perkerasan jalan

Sedangkan untuk ketentuan jalan rel didasarkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 60 Tahun 2012 (**Gambar 2.9**).

Menurut (Zhigang, Wei, Hai, & Xiaudong, 2016), *immersed tunnel* adalah struktur yang banyak disarankan untuk menghubungkan laut atau sungai. Struktur ini melibatkan beberapa teknis konstruksi. Pemilihan layout potongan melintang dan tipe struktur adalah salah satu teknik dan desain potongan

melintang adalah masalah awal yang harus dihadapi desainer immersed tunnel. Potongan melintang *immersed tunnel* mempengaruhi skala terowongan, kesulitan teknik yang digunakan, tingkat pelayanan, dan biaya konstruksi. Semakin kompleks perencanaan maka semakin penting desain potongan melintang terowongan dilakukan. Faktor yang mempengaruhi desain potongan melintang terowongan adalah geometri internal terowongan berdasarkan desain kriteria jalan setempat, ventilasi dan penyaring asap, ruang untuk peralatan semacam pipa dan kabel.



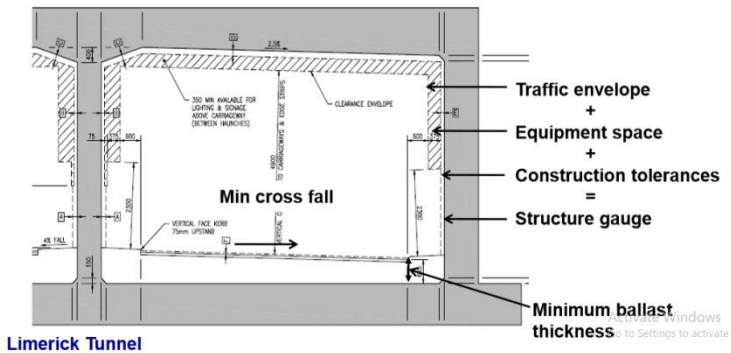
Keterangan :

- Batas I = Untuk jembatan dengan kecepatan sampai 60 km/jam
- Batas II = Untuk 'viaduk' dan terowongan dengan kecepatan sampai 60km/jam dan untuk jembatan tanpa pembatasan kecepatan.
- Batas III = Untuk 'viaduk' baru dan bangunan lama kecuali terowongan dan jembatan
- Batas IV = Untuk lintas kereta listrik

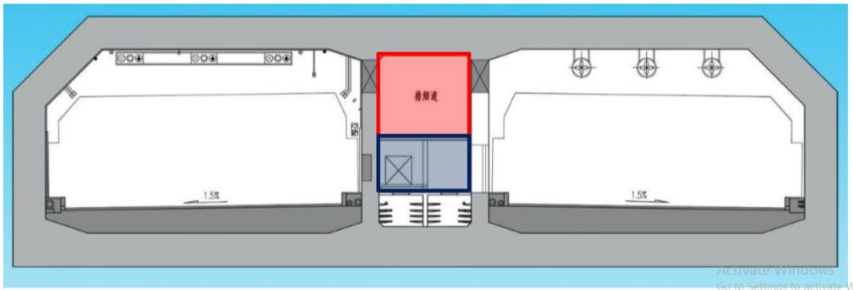
**Gambar 2.9** Peraturan ruang bebas kereta api dengan jarak rel 1435 mm

*Sumber : (Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 60 Tahun 2012)*

Menurut (H. de Wit, 2014), dalam merencanakan geometri potongan melintang terowongan harus terdapat struktur *gauge* (**Gambar 2.10**) yang menutupi terowongan, jalur dan lajur kendaraan ditentukan oleh peraturan setempat, terdapat *safety concept* (**Gambar 2.11**), terdapat sistem informasi lalu lintas, kipas ventilasi, dan lampu, terdapat dimensi *ballast*, dan terdapat toleransi konstruksi



**Gambar 2.10** Struktur *gauge* pada terowongan  
Sumber : (H. de Wit, 2014)



**Gambar 2.11** *Safety concept* pada terowongan

- penyaring asap saat terjadi kebakaran
- ruangan terpisah antara *escape cell* dan pejalan kaki

Sumber : (H. de Wit, 2014)

Sedangkan dalam perencanaan potongan melintang, terowongan harus mampu mengampung, terowongan harus memiliki *safety*

*factor* yang cukup untuk melawan gaya angkat air laut setelah ditenggelamkan baik saat konstruksi atau sudah beroperasi, dan struktur terowongan harus didesain menggunakan peraturan. Komponen terpenting saat merencanakan potongan melintang terowongan adalah ruangan dalam terowongan, beton struktural, dan beton atau air *ballast*. Pembebanan *immersed tunnel* dapat dilihat berdasarkan tabel berikut :

**Tabel 2.7** Tipe Pembebanan Dalam Kondisi Layan Potongan Melintang *Immersed Tunnel*

SERVICEABILITY LIMIT STATE			
Load	Load Combinations <sup>(1)</sup>		
	I	II	III <sup>(2)</sup>
	Temporary	In-Service	Accidental / Seismic
<b>Permanent Loads (G)</b>			
Self Weight of Structure	1.0	1.0	1.0
Ballast Concrete	1.0	1.0	1.0
Road Pavement, furniture		1.0	1.0
Hydrostatic Load (MWL)	1.0	1.0	1.0
Earth Pressure	1.0	1.0	1.0
Settlements	1.0	1.0	1.0
Prestressing, creep and shrinkage	1.0	1.0	1.0
<b>Variable Loads (Q)</b>			
Earth Pressure (surcharge)	1.0	1.0	1.0
Road Traffic		1.0	1.0
Wind		1.0	1.0
Water Level Variation	1.0	1.0	1.0
Temperature	1.0	1.0	1.0
Wave & Current Loads	1.0		
Temporary Construction Loads	1.0		
<b>Accidental Loads (A): one of the following</b>			
Explosion			1.0
Collision from Road Traffic			1.0
Sunken Ship			1.0
Falling Anchor			1.0
Earthquake			1.0
Tunnel Flooding			1.0
Extreme High Water & Waves			1.0

**Notes**

- 1) For all loads, the factors given in the column are to be multiplied by the corresponding load in all load combinations. If no value is given, the load shall not be taken into account.
- 2) These combinations are considered for stress limitations of structural concrete only. Steel reinforcement stress is limited to the yield stress,  $f_{yk}$ . Crack width and deflections are not considered.

**Tabel 2.8** Tipe Pembebanan Dalam Kondisi *Ultimate* Potongan Melintang *Immersed Tunnel*

ULTIMATE LIMIT STATE				
Load	Load Combinations <sup>(1)</sup>			
	I	IIa	IIb	III
	Temporary	In-Service		Accidental / Seismic
<b>Permanent Loads (G)</b>				
Self Weight of Structure	1.2	0.9 / 1.25	1.0 / 1.35	1.0
Ballast Concrete	1.2	0.9 / 1.25	1.0 / 1.35	1.0
Road Pavement, furniture		0.9 / 1.25	1.0 / 1.35	1.0
Hydrostatic Load (MWL)	1.2	1.0/ 1.25	0.9 / 1.35	1.0
Earth Pressure	1.2	1.0/ 1.25	0.9 / 1.4	1.0
Settlements	1.2	1.0/ 1.25	0.9 / 1.4	1.0
Prestressing, creep & shrinkage <sup>(2)</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>Variable Loads (Q)</b>				
Earth Pressure (surcharge)	1.35	1.5		1.0
Road Traffic		1.5		1.0
Wind	1.35	1.5		1.0
Water Level Variation	1.2	1.2		1.0
Temperature				
Wave & Current Loads	1.35			
Temporary Construction Loads	1.35			
<b>Accidental Loads (A): one of the following actions</b>				
Explosion				1.0
Collision from Road Traffic				1.0
Sunken Ship				1.0
Falling Anchor				1.0
Earthquake				1.0
Tunnel Flooding				1.0
Extreme High Water & Waves				1.0

**Notes**

- 1) For all loads, the factors given in the column are to be multiplied by the corresponding load in all load combinations. If no value is given, the load shall not be taken into account.
- 2) Effects of creep and shrinkage only included if these create an unfavourable effect for the element under consideration.

## 2. Perhitungan Jumlah Tulangan

Beton adalah material yang sangat sering digunakan sebagai material utama suatu struktur. Material ini sangat mudah dicari dan memiliki banyak sekali kelebihan, mulai dari bahan dasar yang mudah didapatkan dan mudah untuk dibentuk menjadi bentuk sesuai dengan keinginan. Akan tetapi, material beton tidak dapat menahan beban tarik yang terjadi pada suatu struktur tertentu. Sehingga akan diperlukan tambahan perkuatan dari tulangan sehingga tulangan ini yang akan menerima keseluruhan beban tarik yang terjadi. Perencanaan penulangan struktur akan direncanakan dengan menggunakan (Badan Standarisasi Nasional, 2013) untuk bangunan beton.

Tulangan yang direncanakan adalah tulangan lentur, sebab lentur sendiri terdiri dari dua gaya kopel yaitu gaya tekan dan tarik. Dimana gaya tarik akan ditahan oleh tulangan yang akan direncanakan. Persamaan yang digunakan untuk merencanakan tulangan lentur adalah sebagai berikut :

$$R_n = \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$\rho = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{\min} = 1.4 F_y$$

$$\rho_{\min} = 0.25 \sqrt{\frac{f'_c}{f_y}}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_{\text{balance}}$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

Untuk menghindarkan kerusakan tulangan karena adanya air masuk kedalam tanah, kemampuan penampang beton tersebut untuk menerima beban momen hingga retak terjadi harus dikontrol. Diharapkan besar momen yang terjadi melebihi besar momen retak yang terjadi. Untuk mengetahui besar momen retak yang mampu diterima oleh penampang adalah

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f'_c}$$



### 3. Perencanaan *Foundation Bed* Segmen

Menurut (H. de Wit, 2014), *foundation bed* yang dipasang sebagai penghubung antara struktur terowongan dengan tanah asli ketika kondisi *dredging* tidak mampu menerima pondasi langsung. *Immersed tunnel* mampu menahan *settlement* seragam yang relatif besar (sekitar 5cm-20cm). Penahan terowongan dan beban yang seragam akan membatasi distribusi beban ke arah melintang. *Settlement* tidak merata atau penahan terowongan yang tidak rata akan menyebabkan tegangan geser arah memanjang dan momen torsi. Terjadinya *settlement* dapat dianalisa menggunakan analisa perhitungan *settlement* pada struktur geoteknik pada umumnya, seperti metode perhitungan tradisional (Terzaghi, Bjerrum) termasuk *settlement* dengan efek waktu (pemampatan konsolidasi) dan beban distribusi (Boussinesq, Jurgenson).

### 4. Perhitungan Gaya Angkat Air Laut

Menurut (H. de Wit, 2014), dalam perhitungan gaya angkat air laut saaf fase operasional terowongan harus mampu menahan *uplift* dan harus terdapat keseimbangan antara ruang berongga, beton, beton *ballast*, beban mati, dan beban *backfill*. Sedangkan pada saat fase konstruksi terowongan harus mampu tetap terapung saat transport dan sebelum ditenggelamkan, juga harus mampu menahan gaya angkat air laut saat sebelum diapungkan dan setelah ditenggelamkan.

*Safety factor* pada saat fase operasi dan terowongan harus menahan *uplift* adalah 1,06-1,10 atau tekanan tanah lebih dari 5 kN/m<sup>2</sup>. Dimana  $SF \geq 1,06$  hanya untuk beton dan beton *ballast*,  $SF \geq 1,075$  termasuk beban mati dan beban tanah pada tapak, serta  $SF \geq 1,10$  termasuk *backfill* diatas terowongan. *Safety factor* pada saat fase konstruksi ketika terowongan harus tetap terapung ditentukan dengan menyeimbangkan antara desain optimal *ballast* yang terkecil dan *safe floating situation* yang terbesar. *Safety factor* saat fase konstruksi ketika terowongan menahan gaya *uplift* ditentukan berdasarkan apakah sungai atau lepas pantai. Sebelum diapungkan digunakan  $SF = 1,015$  atau tekanan tanah minimal 1 kN/m<sup>2</sup>, setelah ditenggelamkan pada sungai biasa  $SF = 1,025$  atau

tekanan tanah minimal 1–2 kN/m<sup>2</sup>, dan setelah ditenggelamkan pada lepas pantai SF = 1,05 atau tekanan tanah minimal 3-4 kN/m<sup>2</sup>.

Analisa daya apung terdapat pendekatan analitis menggunakan tiga kriteria antara lain :

1. Terowongan memiliki landasan yang memenuhi kriteria

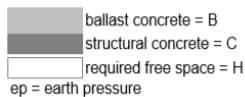
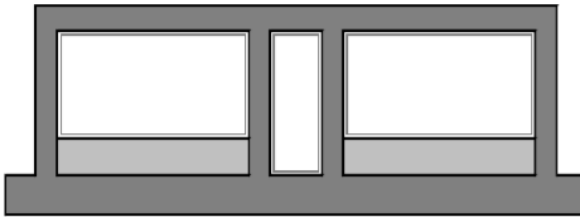
$$(H+B+C) \times \left(\frac{h-fb}{h}\right) \times \gamma_w = C \times \gamma_{sc} + B_{cd} \times \gamma_{bb} + N$$

2. Terowongan memiliki tekanan tanah yang cukup (*safety factor* saat melawan gaya angkat) saat masa konstruksi setelah ditenggelamkan

$$(H+B+C) \times \gamma_w + ep \times b = C \times \gamma_{sc} + B_{cd} \times \gamma_{bb} + B_w \times \gamma_w + N$$

3. Saat terowongan dalam masa operasi memiliki tekanan tanah yang cukup (*safety factor* saat melawan gaya angkat)

$$(H+B+C) \times \gamma_w + ep \times b = C \times \gamma_{sc} + B_{cd} \times \gamma_{bb} + G \times \gamma_g + DL$$



**Gambar 2.12** Sketsa sederhana penampang melintang terowongan

Dimana :

h = tinggi terowongan (m)

b = lebar terowongan (m)

fb = *freeboard*

Bbb = volume beton *ballast* pada *dock* konstruksi

Bw = volume air *ballast*

$\gamma_{sc}$  = *density* struktur beton

$\gamma_{bb}$  = *density* beton *ballast*

$\gamma_g$  = *density* tanah

G = beban tanah diatas *toes*

N = beban akibat peralatan *immersion* (*bulkheads, towers, tanks*)

#### 5. Perencanaan *Backfill* Terowongan

Pada umumnya penggunaan kembali material galian yang sesuai diperbolehkan jika tidak ada persyaratan khusus. Untuk berjaga-jaga jika terjadi gempa atau gelombang pasang maka *locking fill* akan dibutuhkan. *Locking fill* terdiri dari material batu atau *gravel* (H. de Wit, 2014).

### 2.5. Perencanaan *Secant Pile*

*Secant pile* sudah sangat sering digunakan sebagai struktur dinidng penahan tanah dalam pekerjaan penggalian. Struktur ini dapat digunakan sebagai struktur yang sementara ataupun permanen. Pada perencanaannya, *secant pile* dapat direncanakan dengan adanya lagging di antara pile-nya. Pemasangan *secant pile* dapat dilakukan dengan memasukan atau dilakukan pengeboran kemudian diisi kembali dengan *backfill* (seperti beton). Metode perencanaan *secant pile* akan sama seperti perencanaan dari turap, yang menggunakan tekanan tanah lateral untuk menentukan kedalamannya.

#### a. Tekanan Lateral Tanah

Pada perencanaan dari dinding penahan tanah vertikal, perlu diketahui beban apa saja yang berkerja di struktur tersebut, yaitu, Tekanan lateral tanah. Tekanan lateral tanah terjadi karena terjadi beban luar dan beban vertikal yang terjadi pada titik tersebut. Besar dari gaya ini akan dipengaruhi dari kedalam titik yang ditinjau, fisik tanah, termasuk kohesi dan sudut geser tanah, friksi tanah dan kemiringan tanah terhadap bentuk struktur penahan tanah. Tekanan tanah lateral memiliki 3 jenis beban jika dilihat dari pergerakan struktur yang menahan tanah tersebut. **Gambar 2.12** menunjukkan grafik tekanan lateral tanah. Tekanan tanah yang pertama adalah tekanan lateral tanah dalam kondisi

diam/at-rest. Tekanan tanah lateral ini terjadi bila tidak ada pergerakan di struktur penahan tanah. Penyebab dari pergerakan struktur adalah kegiatan penggalian di salah satu sisi dari struktur. Persamaan dibawah akan menunjukkan menghitung tekanan lateral tanah dalam kondisi diam.

$$k_0 = 1 - \sin(\phi)$$

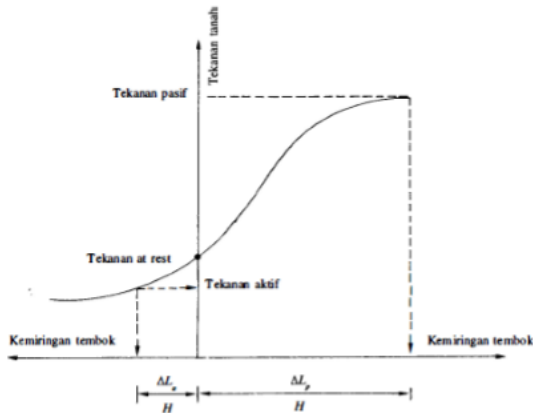
$$\sigma_0 = \sigma_v \times k_0$$

dimana:

$\sigma_0$  = tegangan horisontal tanah at-rest

$k_0$  = coefficient of earth pressure at-rest

$\phi$  = sudut geser tanah



**Gambar 2.13** Gaya tekanan lateral tanah

*Sumber : (Das, 1993)*

Dua jenis yang lain adalah tekanan tanah lateral aktif dan pasif. Dua jenis tekanan ini memiliki kesamaan akan terjadi pada saat struktur yang menahan tanah tersebut sudah mengalami pergerakan. Tekanan tanah aktif akan terjadi bila dinding bergerak meninggalkan tanah, sedangkan untuk tekanan lateral tanah pasif dinding bergerak ke arah massa tanah. Dua tekanan tanah lateral ini memiliki kondisi maksimum / kondisi plastis / tanah dalam kondisi runtuh. Persamaan yang digunakan untuk

menentukan besar tekanan runtuh akan digunakan persamaan dari Rankine

$$ka = \tan^2(45 - \phi)$$

$$\sigma_{hmin} = \sigma_v \times ka - 2 \times c \times \sqrt{Ka}$$

$$kp = \tan^2(45 + \phi)$$

$$\sigma_{hmax} = \sigma_v \times kp + 2 \times c \times \sqrt{Kp}$$

dimana:

$\sigma_{ha}$  = tegangan horisontal tanah aktif (minimum)

$\sigma_{hp}$  = tegangan horisontal tanah pasif (maksimum)

$\sigma_h$  = tegangan horisontal tanah yang timbul

$\sigma_v$  = tegangan vertikal tanah

$ka$  = koefisien tekanan tanah tanah aktif

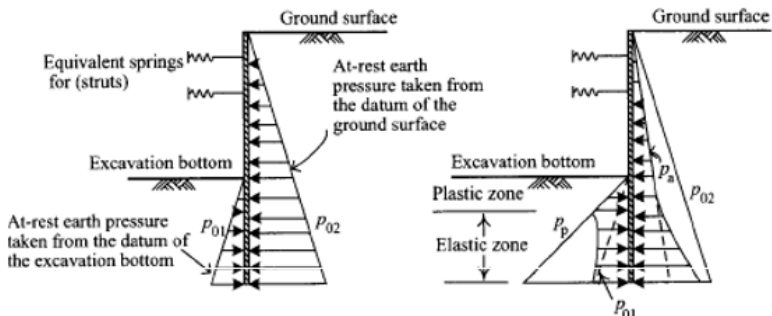
$kp$  = koefisien tekanan tanah tanah pasif

$c$  = nilai kohesivitas tanah

$\phi$  = sudut geser tanah

b. *Stress and Deformation: Beam on Elastic Foundation*

Metode analisis ini susunan dari struktur tanah akan diasumsikan sebagai susunan pegas. Besar pegas adalah konstan. Besar kekakuan dari pegas akan diambil dari nilai coefficient of subgrade reaction. Proses perhitungan dari metode ini ditunjukkan pada **Gambar 2.13**



**Gambar 2.14** Perhitungan tekanan lateral tanah metode *stress and deformation*

Sumber : (*Deep Excavation and Practice, 2006*)

Pada **Gambar 2.13** menunjukkan pada awal penggalian perhitungan akan diasumsikan tekanan tanah di kedua sisi dinding sebesar dari beban tekanan tanah dalam kondisi at-rest. Pada kondisi ini terjadi ketidakseimbangan tekanan di kedua sisi dinding. ketidaksetimbangan ini akan menyebabkan dinding penahan tanah akan mengalami deformasi. Sehingga besar tekanan tersebut akan berubah berdasarkan deformasinya menuju ke sisi aktif maupun ke sisi pasif. Deformasi ini akan mengakibatkan tekanan horizontal tanah akan membesar maupun mengecil sesuai dengan deformasi pada dinding yang terjadi. Persamaan yang digunakan adalah

$$Ph = P_0 \pm ks \times \delta \rightarrow \text{bila } A = 1m^2$$

$$\sigma h \times A = \sigma_0 \times A + ks \times \delta \times A \rightarrow \text{bila } A = 1m^2$$

$$\sigma h = \sigma_0 \pm ks \times \delta > \sigma h$$

$$\sigma_a \text{ min} < \sigma h < \sigma_p \text{ max}$$

dimana:

Ph = Gaya Lateral Tanah

$\sigma_a$  = Tekanan Tanah dinding aktif

$\sigma_p$  = Tekanan Tanah dinding pasif

ks = coefficient of subgrade reaction

$\delta$  = Deformasi dari Dinding

Pada metode ini memungkinkan perhitungan terjadi pada saat tanah berada di kondisi elastis, dimana besar dari beban tanah lateral yang terjadi tidak mencapai kondisi plastis, dimana  $\sigma h > \sigma_a$  maupun  $\sigma h < \sigma_p$ . Dalam perhitungannya, bila tekanan tanah dalam kondisi elastis maka akan diberikan pegas tanah yang akan membantu memberikan tanahanan, yang didapatkan dari estimasi dengan bantuan tabel dari bowles pada Tabel 2.2. Akan tetapi bila tekanan tanah telah melebihi kondisi plastis maka besar tekanan akan berhenti berkurang / bertambah, dan pegas tanah sudah tidak memberikan perlawanan.

### c. Penentuan Dimensi *Secant Pile*

Penentuan dimesi dari secant pile akan melalui proses *trial and error*. Proses ini perlu dilakukan karena perhitungannya akan mempertimbangkan kekakuan dari penampang dinding yang

digunakan. Semakin besar penampang akan menghasilkan deformasi yang kecil yang menimbulkan tekanan tanahnya akan semakin besar untuk dibelakang dinding dan semakin kecil untuk di depan dinding. Selain itu, ada batasan besar deformasi maksimum yang terjadi, besar deformasi yang terjadi akan dibatasi sebesar 1 inch.

## 2.6. Tiang Tarik

Tiang tarik dapat terjadi apabila ada suatu gaya angkat keatas akibat adanya *uplift force* pada suatu struktur dan gaya lainnya yang menyebabkan tiang terangkat. Pada perencanaannya, daya dukung tanah melawan gaya tarik ini adalah dari gesekan antara tiang tersebut dengan tanah yang ada. Beberapa perumusan yang dapat digunakan untuk mengetahui besar dari kekuatan tanah dalam menahan beban tarik.

Pada tanah berkohesi

$$Q_u = (2LH + 2BH) \times C_u + W$$

$$Q_u = JHP \times H \times O + W$$

dimana

L : panjang group

B : Lebar Group

H : Kedalaman Tiang

Cu : Kohesi Tanah

W : kombinasi berat kelompok Tiang dan struktur lainnya

JHP : Jumlah Hambatan Pelekat (hasil sondir)

O : Keliling Tiang panjang

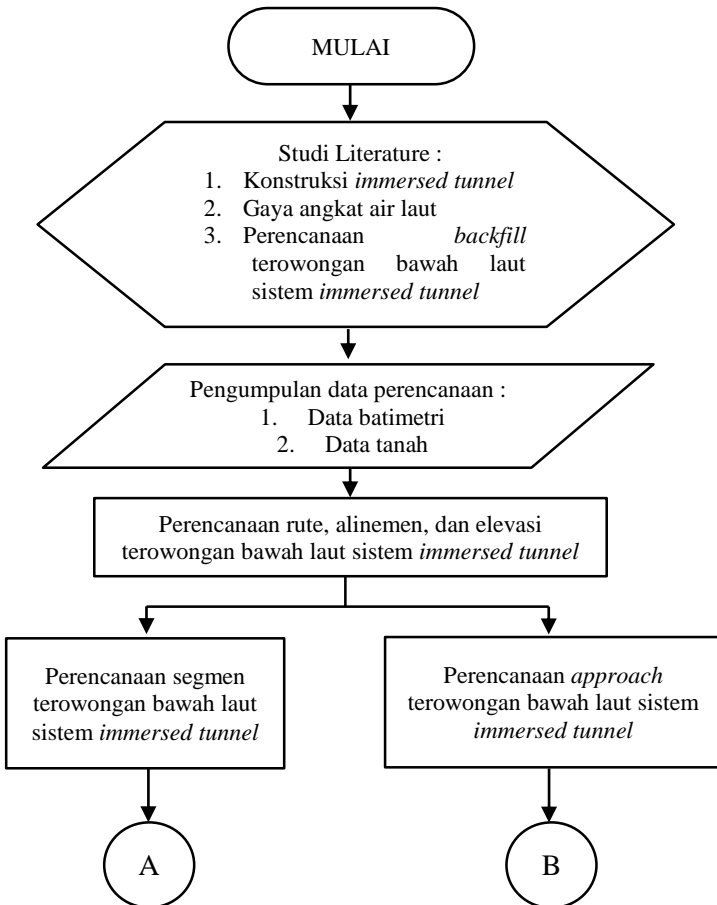
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

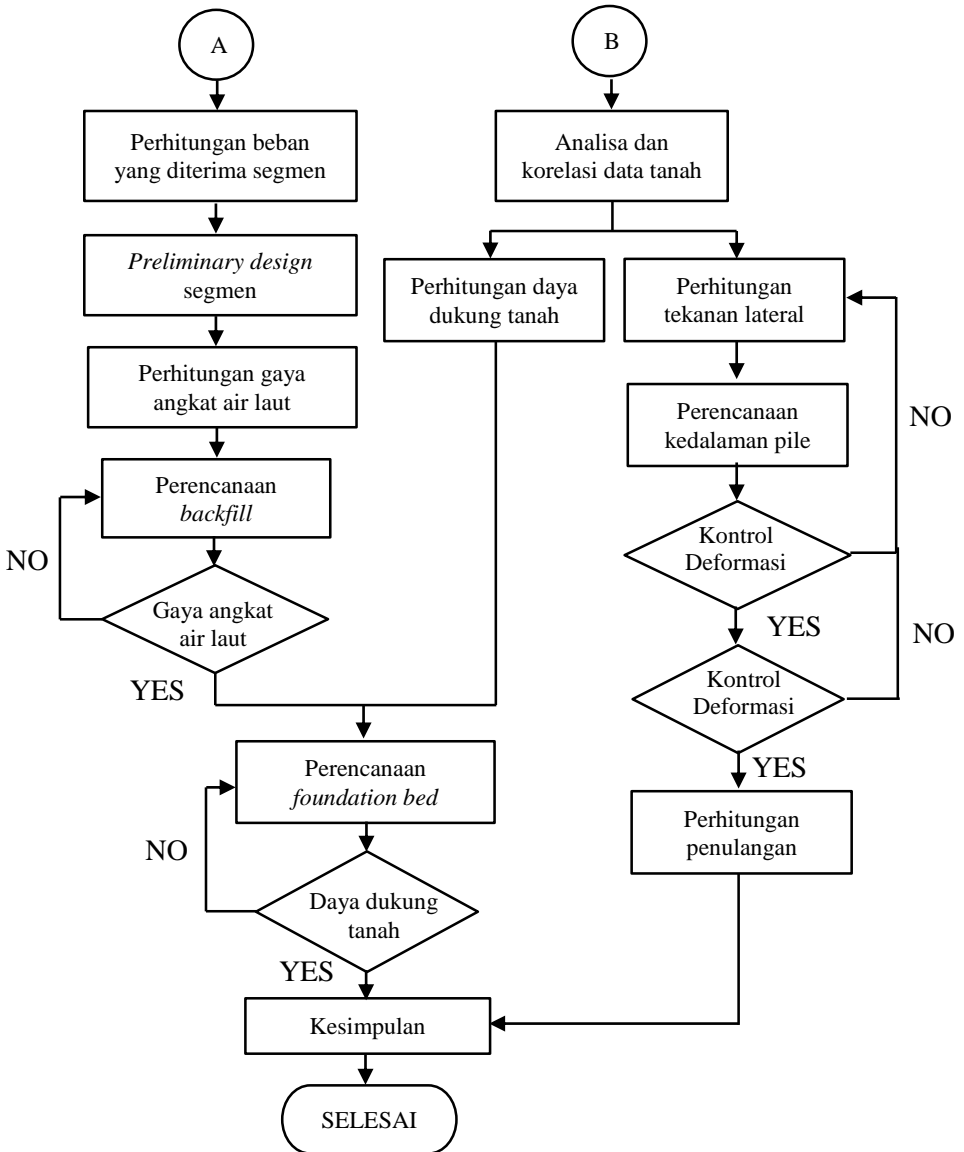


## BAB III METODE PERENCANAAN

### 3.1. Bagan Alir

Secara garis besar, tahapan perencanaan terowongan bawah laut sistem *immersed tunnel* dapat dilihat pada **Gambar 3.1**





**Gambar 3.1** Bagan alir perencanaan terowongan bawah laut sistem *immersed tunnel*

### 3.1. Rincian Tahapan Perencanaan

Berikut merupakan penjelasan **Gambar 3.1** :

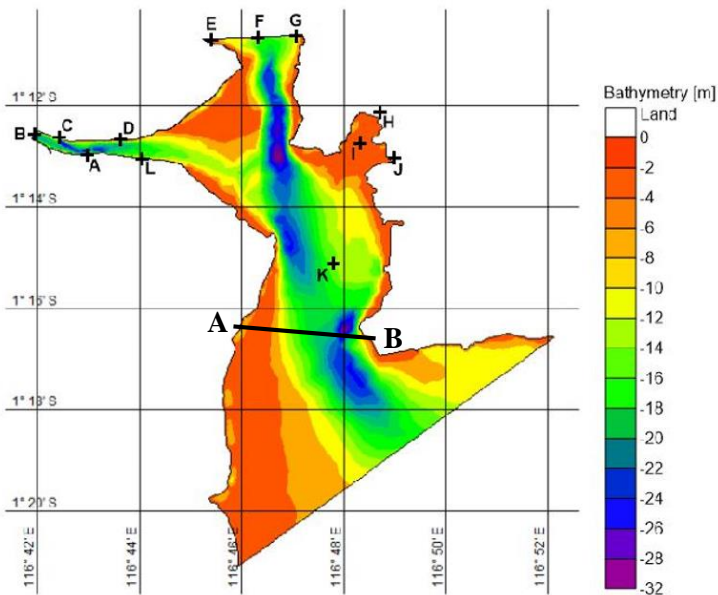
1. Studi literature : berupa pengumpulan teori-teori yang digunakan sebagai acuan untuk merencanakan terowongan bawah laut
2. Pengumpulan data yang digunakan untuk perencanaan
  - Data batimetri (gambar kontur bawah laut) : digunakan untuk perencanaan alinemen, dan elevasi terowongan bawah laut sistem *immersed tunnel*
  - Data tanah : digunakan untuk perencanaan daya dukung tanah dan *secant pile*
3. Perencanaan segmen terowongan bawah laut sistem *immersed tunnel* antara lain sebagai berikut :
  - a. Perhitungan beban yang akan diterima segmen seperti :
    - Beban sendiri
    - Beban beton *ballast*
    - Beban tekanan air
    - Beban *backfill*
    - Beban hidup
  - b. *Preliminary design* : untuk menentukan
    - Dimensi segmen
    - Dimensi beton *ballast*
  - c. Perhitungan gaya angkat air laut
  - d. Perencanaan ketebalan lapisan *backfill*
  - e. Analisa dan korelasi data tanah untuk menghitung daya dukung tanah
  - f. Perencanaan ketebalan *foundation bed*
  - g. Cek daya dukung
4. Perencanaan *approach*
  - a. Perencanaan perkuatan tanah pondasi yang akan digunakan pada saat proses penggalian
  - b. Perencanaan penulangan struktur *pile*
5. Kesimpulan

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV DATA PERENCANAAN

### 4.1. Data Batimetri

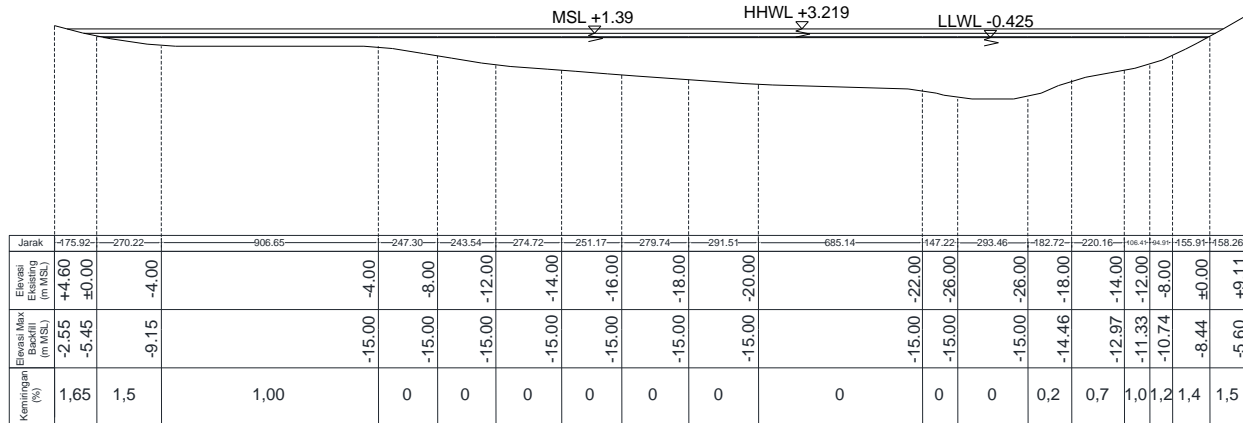
Data batimetri yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data sekunder yang berupa peta batimetri. Sumber data adalah Jurnal Oseanografi dan Limnologi Volume 3 Nomor 1 Tahun 2018 Halaman 63-72. Peta batimetri terdapat pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Peta batimetri perairan Teluk Balikpapan

Sumber : (Soeyanto & Arifiyana, 2018)

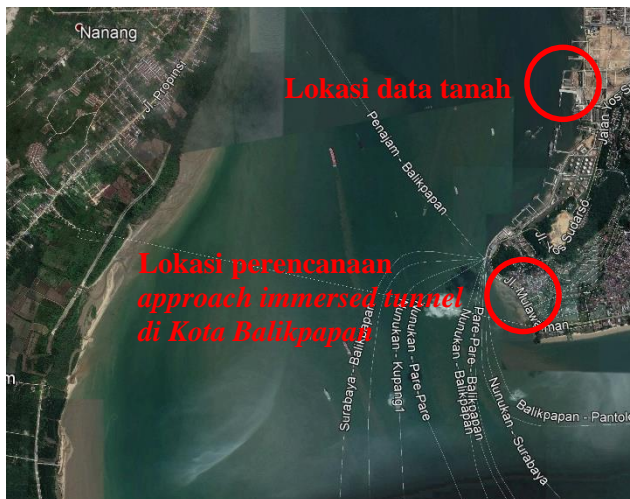
Rute *immersed tunnel* digambarkan oleh garis A-B. Sedangkan koordinat rute *immersed tunnel* diperoleh dari *Google Earth*. Kemudian koordinat dan peta batimetri digabungkan dengan program bantu Autocad 2018 sehingga penampang melintang profil dasar laut pada rute *immersed tunnel* seperti pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.2** Penampang melintang profil dasar laut pada rute *immersed tunnel*  
 Sumber : (Hasil Analisa)

#### 4.2. Data Tanah Dasar

Dikarenakan data tanah dasar pada lokasi perencanaan *immersed tunnel* tidak tersedia, maka data tanah dasar yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah data sekunder berupa *borlog*, *standar penetration test*, dan hasil tes laboratorium pada Proyek RDMP RU V Balikpapan yang diasumsikan sama. Sumber data adalah buku *Interim Report Geotechnical Study* Jasa Konsultasi *Port Facilities Subsea Pipeline Route Study and Site Assessment* Proyek RDMP RU V Balikpapan, yang dilakukan oleh LPPM-ITS pada tahun 2016 dalam tugas akhir Ivan, Perdana, 2017. Titik lokasi data SPT dapat dilihat pada **Gambar 4.3** meliputi 6 titik bor yaitu titik A1, A2, A3, A4, A5, dan A6; pengetestan dilakukan hingga kedalaman 60 m. berdasarkan hasil data bor, setiap titik memiliki lapisan tanah mampu mampat yang bervariasi. Data borlog SPT dan hasil laboratorium dari 6 titik bor tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.



**Gambar 4.3.a** Lokasi data tanah dan lokasi perencanaan *approach immersed tunnel* di Kota Balikpapan  
 Sumber : (Google Earth)

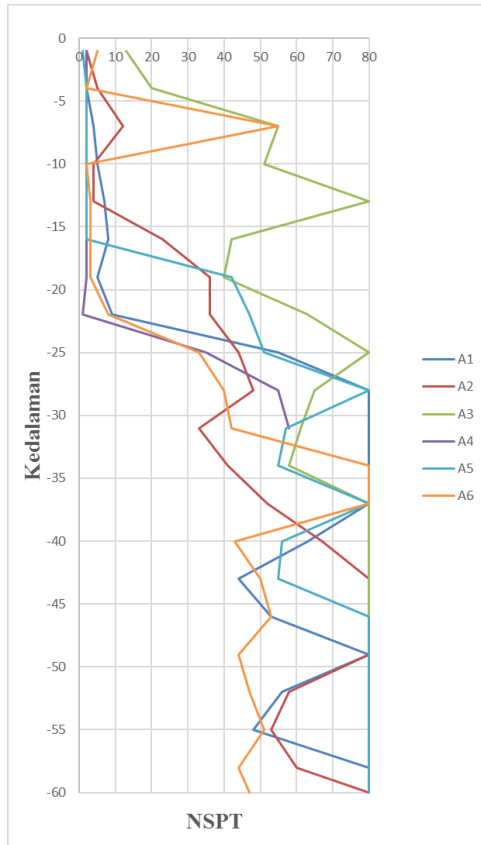


**Gambar 4.3.b** Titik lokasi data borlog

*Sumber : (Google Earth)*

Berdasarkan data borlog SPT dan hasil laboratorium dari 6 titik bor yang ada, digunakan data borlog SPT yang memiliki NSPT paling rendah yaitu pada titik borlog A4 seperti pada **Gambar 4.4**.

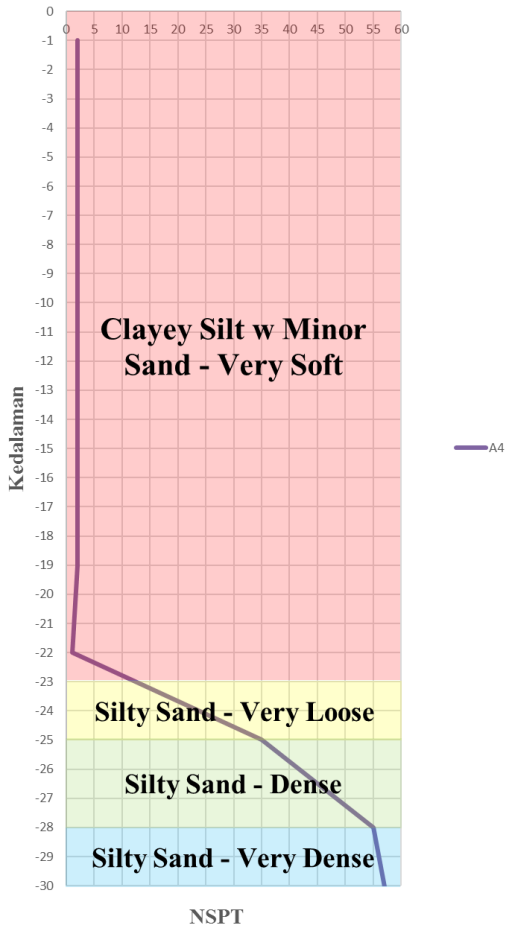




**Gambar 4.4** Grafik gabungan data borlog di 6 titik bor

*Sumber : (Hasil Analisis)*

Untuk mengetahui konsistensi tanah dilakukan korelasi menggunakan **Tabel 2.1** dan **Tabel 2.3**. Perbedaan nilai NSPT pada kedalaman 23 m – 25 m sangat jauh dengan ketebalan hanya 2 m yaitu dari nilai NSPT 1 pada kedalaman 23 m dan nilai NSPT 35 pada kedalaman 25 m, sehingga konsistensi tanah diasumsikan *very loose*. Hubungan kedalaman dan NSPT, dan lapisan tanah terdapat pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Grafik hubungan antara kedalaman dan NSPT, dan konsistensi lapisan tanah

*Sumber : (Hasil Analisis)*

Parameter tanah dasar yang diperoleh dari laboratorium yaitu kadar air ( $w_c$ ), berat jenis tanah kering ( $\gamma_d$ ), *Specific Gravity* ( $G_s$ ), Porositas ( $n$ ), *Void Ratio* ( $e$ ), *Undrained cohesion* ( $C_u$ ), dan sudut geser dalam ( $\phi$ ), dan dibutuhkan parameter tanah lain

berupa berat jenis tanah dalam keadaan jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), *coefficient of subgrade reaction* ( $k_s$ ), dan modulus elastisitas tanah ( $E_s$ ). Untuk melengkapi parameter tanah dasar yang dibutuhkan, maka dilakukan metode korelasi. Nilai berat jenis tanah dalam keadaan jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk tanah lempung menggunakan **Tabel 2.2** dan untuk tanah pasir menggunakan **Tabel 2.3**, nilai *coefficient of subgrade reaction* ( $k_s$ ) menggunakan **Tabel 2.4**, dan nilai modulus elastisitas tanah menggunakan **Tabel 2.5**.

Untuk parameter *Undrained cohesion* ( $C_u$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ), selain telah diketahui berdasarkan data laboratorium juga akan dilakukan korelasi menggunakan **Tabel 2.1**. Kemudian nilai parameter yang akan digunakan adalah nilai yang terkritis antara data laboratorim dan hasil korelasi. Sedangkan untuk parameter berat jenis tanah dalam keadaan jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), selain telah dilakukan korelasi juga akan ditentukan menggunakan perhitungan dengan persamaan berikut :

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \times \gamma_w}{1 + e}$$

Kemudian nilai parameter yang akan digunakan adalah nilai yang terkritis antara hasil korelasi dan hasil perhitungan. Untuk hasil korelasi dan perhitungan data tanah terdapat pada lampiran, sedangkan rekapitulasi data tanah yang digunakan terdapat dalam **Tabel 4.1**

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Data Tanah yang Digunakan  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

depth bor (m)	NSPT	$C_u$ (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$k_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_s$ (kPa)
0 - 23	1	0,5	0,00	1,576	25,000	12000	20700,0
23 - 25	4	0	28,00	1,600	0	24000	10900,0
25 - 28	35	0	37,25	1,875	0	24000	15180,0
28 - 30	55	0'	41,00	2,190	0	24000	17250,0

### 4.3. Data Beban

Pembebanan struktur utama *immersed tunnel* yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada standar pembebanan untuk jembatan dan rel kereta yang mencakup :

1. Beban mati :

- a.  $\gamma$  beton : 2,40 t/m<sup>3</sup>
  - b.  $\gamma$  baja : 7,85 t/m<sup>3</sup>
  - c.  $\gamma$  rigid pavement : 2,00 t/m<sup>3</sup>
  - d.  $\gamma$  aspal : 2,20 t/m<sup>3</sup>
  - e.  $\gamma$  air laut : 1,03 t/m<sup>3</sup>
  - f.  $\gamma$  gravel : 2,00 t/m<sup>3</sup>
  - g. Beban Jet Fan : 0,029 t/m<sup>2</sup> (brosur terlampir)
  - h. Berat rel tipe R60 : 0,6034 kN/m (PM Perhubungan RI No.60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api)
2. Beban hidup :
- a. Berat truck : 112,5 kN (SNI 1725 Tahun 2016 Tentang Pembebanan Untuk Jembatan)
  - b. Berat pejalan kaki : 5 kPa (SNI 1725 Tahun 2016 Tentang Pembebanan Untuk Jembatan)
  - c. Berat gandar rel : 22,5 ton (PM Perhubungan RI No.60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api)

## BAB V PERHITUNGAN DAN PERENCANAAN

### 5.1. Perencanaan Rute *Immersed Tunnel*

Tujuan perencanaan *immersed tunnel* ini adalah sebagai infrastruktur penghubung alternatif antara Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam sehingga jarak yang di tempuh lebih pendek dan waktu yang diperlukan dari atau ke Kota Balikpapan – Kabupaten Penajam pun lebih singkat, aman, dan tanpa mengganggu kegiatan pelayaran.

Teluk Balikpapan merupakan wilayah perairan dengan kegiatan pelayaran yang cukup padat. Sehingga dalam menentukan rute *immersed tunnel* ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti panjang rute, lokasi keluar masuk *immersed tunnel*, dan hubungannya dengan jalan eksisting. Dengan beberapa pertimbangan tersebut maka digunakan rute seperti pada **Gambar 5.1**.



**Gambar 5.1** Rute alternatif perencanaan *immersed tunnel*  
Sumber : (Google Earth)

Jalur masuk *immersed tunnel* rute ini terletak pada Jalan Penajam-Kuaro pada bagian Penajam dan tikungan Jalan Mulawarman pada bagian Balikpapan. Jalan Mulawarman merupakan jalan raya yang terdekat dengan Teluk Balikpapan dan yang berhubungan langsung jalan akses Bandar Udara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan.

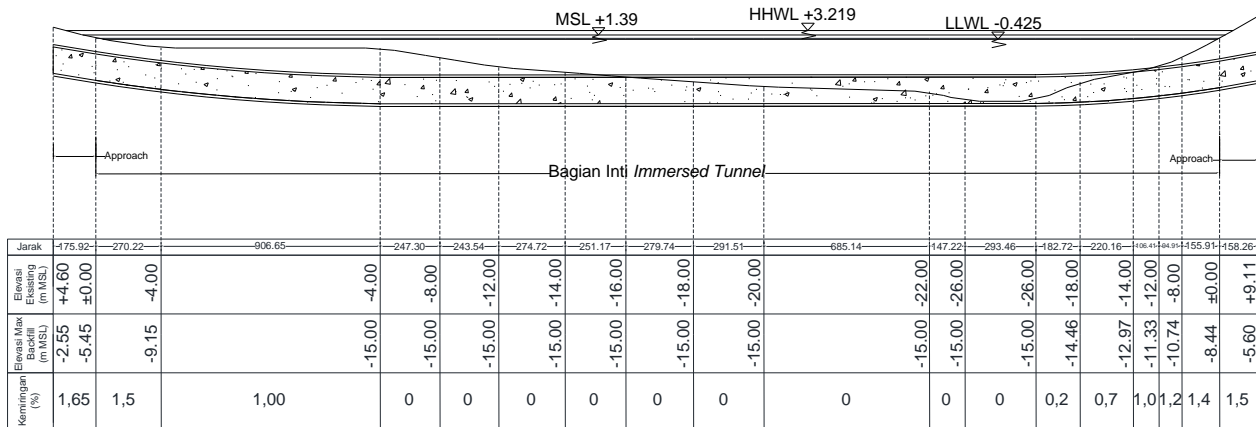
Bandara ini merupakan satu-satunya bandara di Balikpapan sehingga jalan raya yang berhubungan dengan jalan akses bandara ini banyak dilewati oleh kendaraan bermotor. Hal tersebut menyebabkan lokasi jalur masuk *immersed tunnel* di Balikpapan mudah diakses.

## 5.2. Perencanaan Alinemen *Immersed Tunnel*

Perencanaan alinemen *immersed tunnel* yang akan dilakukan adalah alinemen vertikal. Perencanaan alinemen ini penting untuk dilakukan agar kelandaian *immersed tunnel* sesuai dengan standar kelandaian yang telah ditentukan sehingga aman digunakan. Standar kelandaian ditentukan berdasarkan standar kelandaian untuk jalan raya dan jalan rel, kemudian digunakan kelandaian yang paling maksimum. Standar kelandaian untuk jalan raya didalam terowongan akan diambil dari Peraturan Kementerian PU Nomor 19/PRT/M/2011 Pasal 20, yaitu sebesar 3%. Sedangkan standar kelandaian untuk jalan rel menggunakan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012 Pasal 3.1.1.2, yaitu untuk kelas 3 adalah 20%.

Hal lainnya yang perlu diperhatikan dalam perencanaan alinemen *immersed tunnel* adalah elevasi rencana *immersed tunnel*. *Immersed tunnel* direncanakan berada didasar Teluk Balikpapan dimana kegiatan pelayaran masih aktif dan terbilang padat. Untuk melindungi *immersed tunnel* agar tidak terhantam oleh kapal maka harus diberi jarak antara puncak *backfill immersed tunnel* dan draft kapal terbesar yang berlayar di Teluk Balikpapan. Sehingga *immersed tunnel* direncanakan sedikit dibawah dasar laut.

Dari peta batimetri diketahui bahwa elevasi dasar laut terdalam adalah -26 m (**Gambar 4.2**). Berdasarkan *website* Pelindo 4, kedalaman kolam maksimum pada Pelabuhan Balikpapan adalah -13,06 m. Dari beberapa data tersebut maka direncanakan elevasi puncak maksimum adalah -15,00 m. Perencanaan alinemen dan elevasi segmen *immersed tunnel* dapat dilihat pada **Gambar 5.2**.



**Gambar 5.2** Elevasi segmen *immersed tunnel*  
 Sumber : (Hasil Analisis)

### 5.3. Perencanaan Struktur Bagian Utama *Immersed Tunnel*

Bagian utama dari *immersed tunnel* adalah bagian yang berada di dasar laut. Pembuatan bagian utama *immersed tunnel* dilakukan di daratan yang dekat dengan lokasi perencanaan. Setelah bagian utama *immersed tunnel* selesai dibuat maka akan diapungkan, kemudian ditarik menuju lokasi perencanaan. Untuk mempermudah proses perpindahan tersebut maka bagian utama *immersed tunnel* akan dibuat menjadi beberapa segmen.

#### 5.3.1. Pembagian Segmen

Bagian segmen *immersed tunnel* akan dibagi menjadi 33 segmen seperti pada **Gambar 5.3**. Pembagian segmen ini dilakukan agar membantu proses pabrikasi transportasi segmen. Segmen akan direncanakan menjadi 4 panjang segmen yang berbeda yaitu 132,5 m, 150 meter, 164 meter, dan 165,5 m.

#### 5.3.2. Perencanaan Dimensi

*Immersed tunnel* akan direncanakan sebagai akses moda jalan raya dan jalan rel. Kendaraan yang direncanakan untuk melewati jalan raya dalam *immersed tunnel* adalah mobil pribadi dan truk sehingga perencanaan jalan di dalam terowongan didasarkan pada Peraturan Kementerian PU Nomor 19/PRT/M/2011 pasal 15, pasal 20, dan pasal 48. Akan direncanakan 2 ruang untuk jalan raya, masing-masing ruang untuk satu jalur, dan tiap jalur terdiri dari dua lajur. Berikut adalah rincian dimensi untuk setiap ruang jalan raya :

Lebar lajur	: 3,5 m
Lebar jalur	: 7,0 m
Lebar lajur tepi	: 1,0 m
Lebar trotoar	: 1,0 m
Tinggi ruang jetfan	: 1,0 m
Tinggi bebas vertikal	: 6,5 m

Sedangkan kereta api yang direncanakan melintasi *immersed tunnel* memiliki lebar rel 1435 mm sehingga ketentuan



ruang bebas kereta api berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 60 Tahun 2012.

Selain ruang untuk kendaraan, di dalam terowongan juga harus disediakan ruang darurat. Ruang ini akan digunakan sebagai tempat berjalan kaki oleh pengendara transportasi saat terjadi kondisi darurat. Ruang darurat ini diletakkan diantara jalur kereta api dan jalur jalan raya. Secara keseluruhan bentuk dan dimensi segmen dapat dilihat pada **Gambar 5.4**.

Berdasarkan bentuk dan dimensi segmen terowongan yang direncanakan, akan dicek apakah titik berat dari segmen ini berada pada tengah penampang. Pengecekan ini dilakukan untuk menghindari olengnya segmen terowongan pada saat segmen terapung pada proses transportasi. Titik berat akan dihitung pada titik tengah segmen dengan bentuk sesuai pada **Gambar 5.4**. Luas dan titik berat akan dihitung dengan bantuan program Autocad yang ditunjukkan pada **Tabel 5.1** untuk perhitungan luas beton dan **Tabel 5.2** untuk perhitungan titik beratnya. Titik berat segmen seperti pada **Gambar 5.5**.

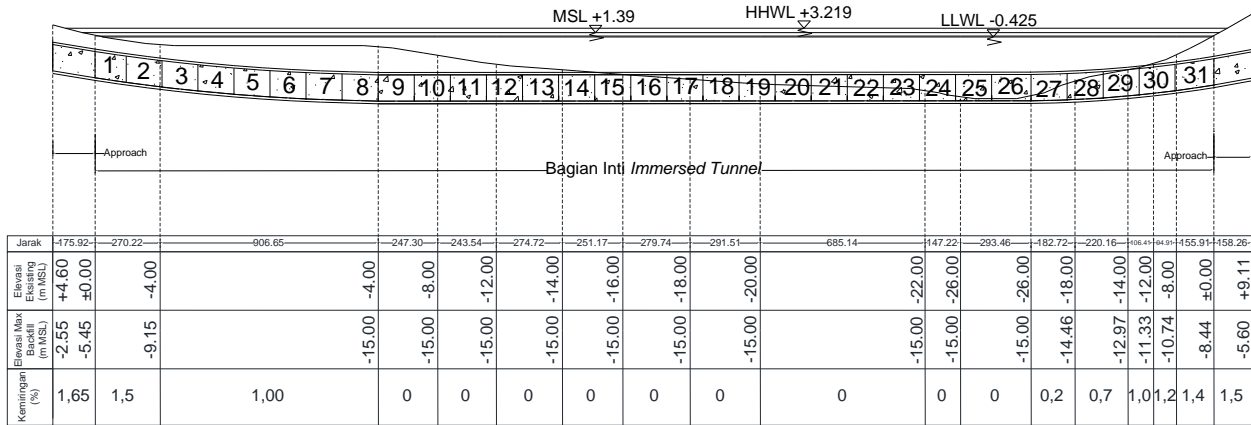
$$\begin{aligned}
 \text{Titik berat} &= \frac{\Sigma(AxX)}{\Sigma A} \\
 &= \frac{3233,976}{151,04} \\
 &= 21,41 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas} &= \frac{1}{2} B - 21,41 \\
 &= 21,9 - 21,41 \\
 &= 0,489 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.1** Luas Penampang Terowongan  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

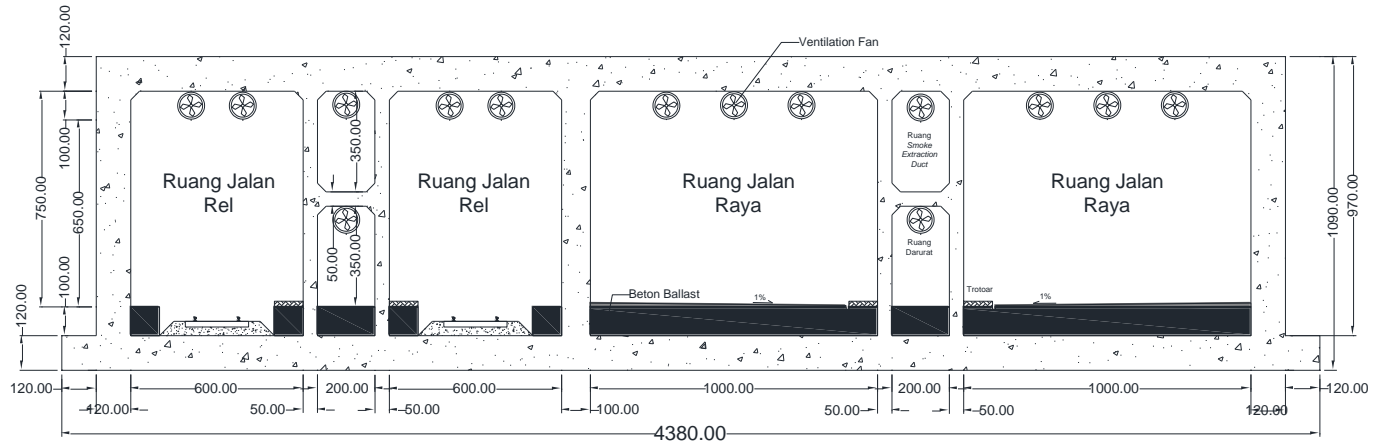
Bagian	A	
	(cm <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
Luas total	4541400	454,14
Ruang Jalan Rel 1	-509100	-50,91
Ruang Smoke Extraction 1	-68200	-6,82
Ruang Darurat 1	-89100	-8,91
Ruang Jalan Rel 2	-509100	-50,91
Ruang Jalan Raya 1	-849100	-84,91
Ruang Smoke Extraction 2	-68200	-6,82
Ruang Darurat 2	-89100	-8,91
Ruang Jalan Raya 2	-849100	-84,91
Total	1510400	151,04

**Tabel 5.2** Perhitungan Titik Berat Segmen  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

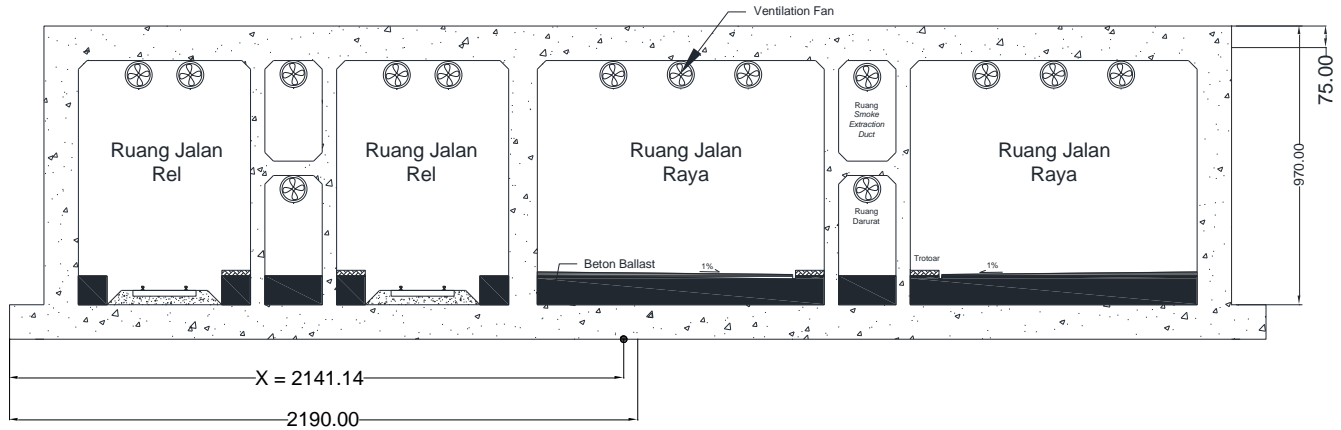
Bagian	A	X	A x X
	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )
Luas total	454,14	21,90	9945,666
Ruang Jalan Rel 1	-50,91	5,40	-274,914
Ruang Smoke Extraction 1	-6,82	9,90	-67,518
Ruang Darurat 1	-8,91	9,90	-88,209
Ruang Jalan Rel 2	-50,91	14,40	-733,104
Ruang Jalan Raya 1	-84,91	23,40	-1986,894
Ruang Smoke Extraction 2	-6,82	29,90	-203,918
Ruang Darurat 2	-8,91	29,90	-266,409
Ruang Jalan Raya 2	-84,91	36,40	-3090,724
Total	151,04		3233,976



**Gambar 5.3** Pembagian segmen terowongan *immersed tunnel*  
 Sumber : (Hasil Analisis)



**Gambar 5.4** Potongan melintang segmen *immersed tunnel*  
 Sumber : (Hasil Analisis)



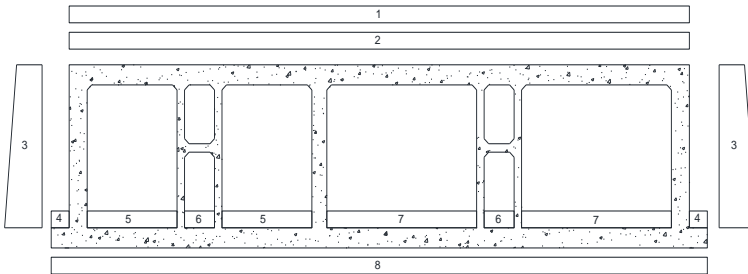
**Gambar 5.5** Letak titik berat penampang melintang segmen  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

### 5.3.3. Penggunaan Material

Material yang digunakan untuk segmen *immersed tunnel* adalah beton bertulang dengan mutu beton ( $f'c$ ) = 40 MPa dan mutu baja ( $f_y$ ) = 410 MPa. Struktur beton bertulang dipilih karena dapat dibentuk seperti apapun sehingga lebih mudah untuk menentukan dimensi dan bentuk segmen sesuai dengan rencana.

### 5.3.4. Perencanaan Penulangan Segmen *Immersed Tunnel*

Struktur beton akan sangat berbahaya dalam menahan beban tarik. Salah satu beban tarik yang terjadi adalah momen yang disebabkan oleh beban-beban luar. Beban luar yang diperhitungkan adalah beban yang terjadi pada segmen setelah berada di dalam laut dan telah ditutup oleh *backfill*. Oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan penulangan segmen. Beban yang bekerja pada segmen *immersed tunnel* seperti pada **Gambar 5.6**.



**Gambar 5.6** Beban yang bekerja pada segmen *immersed tunnel*

Sumber : (Hasil Analisis)

Berikut adalah perhitungan beban yang terjadi pada segmen *immersed tunnel* :

1. Beban akibat tekanan air laut

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{air laut}} &= 1,03 \text{ t/m}^3 \\ d \text{ max } \textit{backfill} &= 16,398 \text{ m dari MSL} \\ q_{\text{air laut}} &= \gamma_{\text{air laut}} \times d \text{ max } \textit{backfill} \\ &= 16,889 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban akibat *protective backfill*

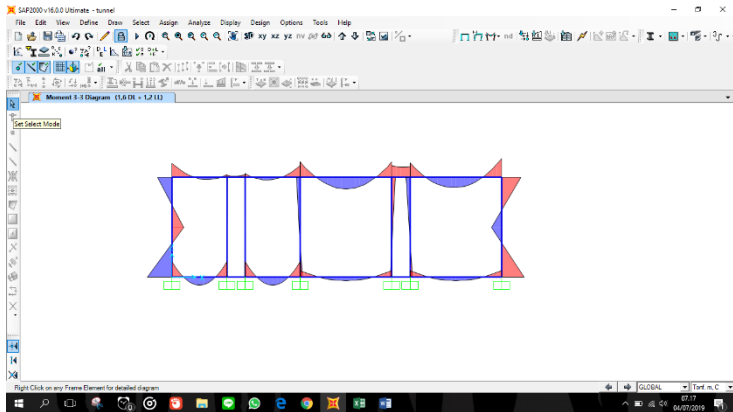
$$\gamma_{\text{gravel}} \text{ (asumsi)} = 2,00 \text{ t/m}^3$$

- $$t_{backfill} = 1,00 \text{ m}$$
- $$q_{backfill} = \gamma_{gravel} \times t_{backfill}$$
- $$= 2,00 \text{ t/m}^2$$
3. Beban akibat tekanan air laut
- $$d \text{ plat atas} = 17,398 \text{ m (-MSL)}$$
- $$d \text{ plat bawah} = 27,098 \text{ m (-MSL)}$$
- $$q \text{ plat atas} = 17,919 \text{ t/m}^2$$
- $$q \text{ plat bawah} = 28,448 \text{ t/m}^2$$
4. Beban akibat *locking backfill* dan *ordinary backfill*
- $$\gamma_{gravel} \text{ (asumsi)} = 2,00 \text{ t/m}^3$$
- $$t_{locking \ backfill} = 2,00 \text{ m}$$
- $$\gamma_{pasir} \text{ (asumsi)} = 1,90 \text{ t/m}^3$$
- $$t_{locking \ backfill} = 7,70 \text{ m}$$
- $$q_{backfill} = (2,00 \times 2,00) + (1,90 \times 7,70)$$
- $$= 18,438 \text{ t/m}^2$$
5. Beban kereta api
- a. Beban mati
- $$\text{Beban beton } ballast = t_{ballast} \times \gamma_{beton}$$
- $$= 0,8 \text{ t/m}^2$$
- $$\text{Beban kerb} = t_{kerb} \times \gamma_{beton} \times 1,3$$
- $$= 0,104 \text{ t/m}^2$$
- $$\text{Beban plat dinding} = h_{plat} \times t_{plat} \times \gamma_{beton}$$
- $$= 6,596 \text{ t/m}^2$$
- $$\text{Beban rel} = 2 \times \text{berat rel} \times \text{jarak bantalan}$$
- $$= 0,012 \text{ t/m}^2$$
- $$\text{Beban bantalan} = \text{berat bantalan} \times n$$
- $$= 0,056 \text{ t/m}^2$$
- $$\text{Beban } ballast \text{ rel} = (\text{vol}_{ballast} - \text{vol}_{bantalan}) \times \gamma_{beton}$$
- $$= 41,99 \text{ t/m}^2$$
- b. Beban hidup
- $$\text{Beban gandar} = 22,5 \text{ ton}$$
- $$V_{max} = 160 \text{ km/jam}$$
- $$I_p \text{ (faktor dinamis)} = 1 + 0,01 \left( \left( \frac{V_{max}}{1,609} \right) - 5 \right)$$
- $$= 1,944$$

- Gaya dinamis = Beban gandar x  $I_p$   
= 437,491 kN
- Beban hidup kereta = Gaya dinamis x 54%  
= 236,245 kN  
= 23,625 ton  
= 3,937 t/m<sup>2</sup>
6. Beban ruang darurat
- a. Beban mati
- Beban beton *ballast* =  $t_{ballast} \times \gamma_{beton}$   
= 2,400 t/m<sup>2</sup>
- Beban plat dinding =  $h_{plat} \times t_{plat} \times \gamma_{beton}$   
= 11,64 t/m<sup>2</sup>
- Beban lantai mesin =  $(t_{plat} \times \gamma_{beton}) + \text{berat jetfan}$   
= 1,739 t/m<sup>2</sup>
- b. Beban hidup
- Beban manusia berjalan = 5 t/m<sup>2</sup>
7. Beban jalan raya
- a. Beban mati
- Beban beton *ballast* =  $t_{ballast} \times \gamma_{beton}$   
= 2,400 t/m<sup>2</sup>
- Beban aspal =  $t_{aspal} \times \gamma_{aspal} \times 1,3$   
= 0,272 t/m<sup>2</sup>
- Beban kerb =  $t_{kerb} \times \gamma_{beton} \times 1,3$   
= 0,0624 t/m<sup>2</sup>
- Beban plat dinding =  $h_{plat} \times t_{plat} \times \gamma_{beton}$   
= 3,958 t/m<sup>2</sup>
- b. Beban hidup
- Beban merata =  $9,0 \times (0,5 + 1,5/L) \times \gamma_{UTD}$   
= 10,788 t/m<sup>2</sup>
- Beban garis =  $p \times \gamma_{UTD}$   
= 0,980 t/m<sup>2</sup>
- Beban truck =  $W_{truck} \times (1+DLA) \times \gamma_{UTD}$   
= 2,925 t/m<sup>2</sup>
8. Gaya angkat air laut = 11,28 t/m<sup>2</sup> (perhitungan pada 5.4.1)



Segmen *immersed tunnel* diasumsikan terdiri atas plat atas, plat dinding, dan bawah. *Preliminary design* segmen sesuai dengan **Gambar 5.4**. Permodelan struktur segmen dilakukan dengan memasukkan data perencanaan sesuai dengan pembahasan Bab IV. Permodelan SAP2000 segmen ditunjukkan dalam **Gambar 5.7**.



**Gambar 5.7** Permodelan segmen dengan program SAP2000  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

Perhitungan kebutuhan tulangan segmen menggunakan SNI 2847-2013 sebagai dasaran utama. Berikut merupakan contoh perhitungan tulangan pada plat atas segmen.

- Perhitungan penulangan plat atas segmen :
 
$$\begin{aligned} L_y/L_x &= 1000/1000 \\ &= 1 \\ L_y/L_x &< 2 \text{ (plat 1 arah)} \\ dx &= t_{\text{plat}} - \text{cover} - \frac{1}{2} dt_{\text{tul}} \\ &= 1200 - 100 - (\frac{1}{2} \times 32) \\ &= 1084 \text{ mm} \\ dy &= t_{\text{plat}} - \text{cover} - dt_{\text{tul}} - \frac{1}{2} dt_{\text{tul}} \\ &= 1200 - 100 - 32 - (\frac{1}{2} \times 32) \\ &= 1052 \text{ mm} \\ \rho_{\text{min}} &= 1,4 / f_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0034 \\
 \rho_{\min} &= \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \\
 &= 0,0043 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)} \\
 \rho_{\min} &= 0,002 \\
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \left( \frac{f'c - 280}{70} \right) \geq 0,65 \text{ (}f'c > 280 \text{ kg/cm}^2\text{)} \\
 &= 0,85 - 0,05 \left( \frac{400 - 280}{70} \right) \\
 &= 0,693 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f'c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,0718 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,0539 \\
 \rho_{\max} &= 0,025 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)} \\
 m &= \frac{f'c}{0,85 \times f'c} \\
 &= 9,647
 \end{aligned}$$

- Penulangan arah X lapangan :

$$\text{Mu} = 2058930000 \text{ N.mm (Permodelan SAP 2000)}$$

$$\text{Cover} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{dtul} = 32 \text{ mm}$$

$$\text{Atul} = 804,571 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\
 &= 1,947
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'c}} \right) \\
 &= 0,00486
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,00486$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Asperlu} &= \rho \times b \times dx \\
 &= 0,00486 \times 1000 \times 1084 \\
 &= 5271,006 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= \text{Asperlu} / \text{Atul} \\
 &= 5271,006 / 804,571
 \end{aligned}$$

$$= 6,551 \text{ buah}$$

$$= 7 \text{ buah}$$

$$\text{Aspasang} = \text{Jumlah tulangan} \times \text{Atul}$$

$$= 7 \times 804,571$$

$$= 5632,00 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aspasang} > \text{Asperlu (OK)}$$

$$5632,00 \text{ mm}^2 > 5271,006 \text{ mm}^2$$

- Penulangan arah X tumpuan :

$$\text{Mu} = 2865450000 \text{ N.mm (Permodelan SAP 2000)}$$

$$\text{Cover} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{dtul} = 32 \text{ mm}$$

$$\text{Atul} = 804,571 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mu}}{\phi b d^2}$$

$$= 2,710$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times \text{Rn}}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= 0,00683$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,00683$$

Sehingga didapatkan :

$$\text{Asperlu} = \rho \times b \times dx$$

$$= 0,00683 \times 1000 \times 1084$$

$$= 7407,885 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \text{Asperlu} / \text{Atul}$$

$$= 7407,885 / 804,571$$

$$= 9,207 \text{ buah}$$

$$= 10 \text{ buah}$$

$$\text{Aspasang} = \text{Jumlah tulangan} \times \text{Atul}$$

$$= 10 \times 804,571$$

$$= 8045,7143 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aspasang} > \text{Asperlu (OK)}$$

$$8045,7143 \text{ mm}^2 > 7407,885 \text{ mm}^2$$

- Perhitungan tulangan bagi

$$\text{dtul} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Atul} = 380,286 \text{ mm}^2$$

$$\text{Asperlu} = 40\% \times 7407,885$$

$$= 2963,154 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan = Asperlu/Atul  
 $= 2963,154 / 380,286$   
 $= 7,792 \text{ buah}$   
 $= 8 \text{ buah}$

Aspasang = Jumlah tulangan x Atul  
 $= 8 \times 380,286$   
 $= 3042,286 \text{ mm}^2$

Aspasang > Asperlu (OK)

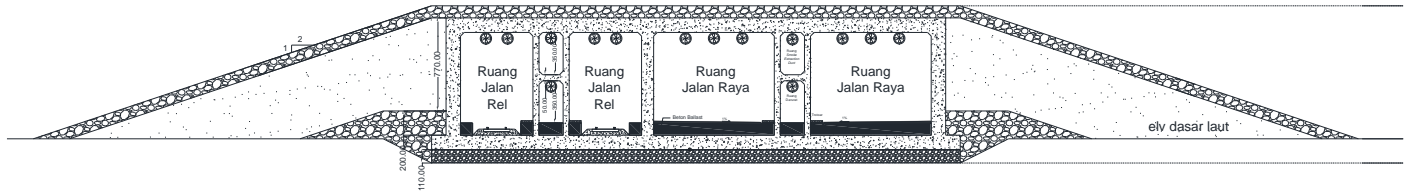
Dari perencanaan penulangan segmen yang telah dilakukan, maka rekapitulasi kebutuhan tulangan segmen adalah sebagai berikut :

- Plat Atas
  - Tulangan arah X (Lapangan) : D32 – 100 mm
  - Tulangan arah X (Tumpuan) : D32 – 100 mm
  - Tulangan bagi : D22 – 100 mm
- Plat Bawah
  - Tulangan arah X (Lapangan) : D32 – 160 mm
  - Tulangan arah X (Tumpuan) : D32 – 100 mm
  - Tulangan bagi : D22 – 100 mm

#### 5.4. Perencanaan *Backfill Immersed Tunnel*

Terdapat 3 jenis *backfill* yang akan ditimbun diatas segmen yaitu *locking backfill*, *ordinary backfill*, dan *protective backfill*. Susunan *backfill* pada potongan melintang dengan elevasi dasar laut -26,00 meter seperti pada **Gambar 5.8**. Sedangkan untuk potongan melintang dengan elevasi lainnya terdapat pada *Lampiran*.

*Locking backfill* dan *protective backfill* merupakan lapisan batu yang diasumsikan memiliki  $\gamma_{\text{batu}} = 2 \text{ t/m}^3$ , sedangkan *ordinary backfill* merupakan tanah galian yang diasumsikan memiliki  $\gamma_{\text{galian}} = 1,9 \text{ t/m}^3$ .



**Gambar 5.8** Susunan lapisan *backfill* dengan elevasi dasar laut -26,00 meter  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

## 5.5. Kontrol Gaya Angkat Air Laut Terhadap *Immersed Tunnel* dan Daya Dukung Tanah

Dalam perencanaan *immersed tunnel*, ada beberapa kontrol yang perlu dilakukan untuk memastikan bahwa konstruksi *immersed tunnel* tidak mengalami amblas dan mampu menahan uplift. Adapun kontrol tersebut yaitu kontrol terhadap gaya angkat air laut, dan kontrol daya dukung tanah.

### 5.5.1. Kontrol Gaya Angkat Air Laut

Kontrol gaya angkat air laut dalam perencanaan *immersed tunnel* merupakan hal yang sangat penting. Hal ini disebabkan karena segmen tidak difabrikasi langsung pada lokasi perencanaan, melainkan disebuah tempat kering, kemudian segmen tersebut ditenggelamkan. Kontrol gaya angkat air laut yang perlu diperhitungkan adalah pada fase operasional *immersed tunnel*, pada fase konstruksi *immersed tunnel* setelah ditenggelamkan, dan pada fase konstruksi *immersed tunnel* sebelum ditenggelamkan.

#### 1. Fase Operasional *Immersed Tunnel*

Pada fase ini, *immersed tunnel* menahan beban sendiri, beban beton *ballast*, beban *backfill*, dan beban mati seperti lapisan aspal, trotoar, *ballast* kereta api, dan jetfan. Berikut adalah perhitungan pada segmen dengan panjang 154,5 m. Pada fase ini, SF perlawanan *uplift* sebesar  $\geq 1,10$  atau diasumsikan *immersed tunnel* menerima *earth pressure* (ep) sebesar  $> 0,5 \text{ t/m}^2$ . Perhitungan luas penampang menggunakan program bantu Autocad.

A ruang kosong	= 275,10 m <sup>2</sup>
A beton ballast	= 28,00 m <sup>2</sup>
A beton segmen	= 151,04 m <sup>2</sup>
A total	= 454,14 m <sup>2</sup>
<i>Earth pressure</i> (ep)	= 0,6 t/m <sup>2</sup>
Lebar segmen (b)	= 43,8 m
Panjang segmen	= 154,5 m

$$\gamma_{\text{air laut}} = 1,03 \text{ t/m}^3$$

Sehingga gaya angkat air laut yang terjadi sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Gaya angkat air laut} &= (A_{\text{total}} \times \gamma_{\text{air laut}}) + (e_p \times b) \\ &= (454,14 \times 1,03) + (0,6 \times 43,8) \\ &= 76329,83 \text{ ton} \\ &= 11,28 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

Gaya angkat air laut terhadap segmen ini akan diimbangi dengan beban – beban yang terjadi pada segmen seperti berat struktur, berat beton *ballast*, berat lapisan *backfill*, dan berat beban *superdead*. Beban *superdead* merupakan beban mati diluar beban sendiri struktur. Berikut adalah contoh perhitungan beban yang terjadi pada segmen :

- Beban sendiri struktur
  - A beton segmen = 151,04 m<sup>2</sup>
  - Panjang segmen = 154,5 m<sup>2</sup>
  - $\gamma_{\text{beton}}$  = 2,4 t/m<sup>3</sup>
  - W<sub>struktur</sub> = 56005,632 ton
- Beban beton *ballast*
  - A beton ballast = 28,00 m<sup>2</sup>
  - Panjang segmen = 154,5 m<sup>2</sup>
  - $\gamma_{\text{beton}}$  = 2,4 t/m<sup>3</sup>
  - W<sub>ballast</sub> = 10382,400 ton
- Beban lapisan *backfill*
  - *Locking backfill*
    - Tebal *backfill* = 2,00 m
    - $\gamma_{\text{gravel}}$  = 2,00 t/m<sup>2</sup>
    - Lebar *toes* = 1,20 m
    - Panjang segmen = 154,5 m
    - W<sub>locking backfill</sub> = 1483,200 ton
  - *Ordinary backfill*
    - Tebal *backfill* = 7,70 m
    - $\gamma_{\text{pasir}}$  = 1,90 t/m<sup>2</sup>
    - Lebar *toes* = 1,20 m
    - Panjang segmen = 154,5 m
    - W<sub>ordinary backfill</sub> = 5424,804 ton

- *Protective backfill*
  - Tebal *backfill* = 1,00 m
  - $\gamma_{\text{gravel}}$  = 2,00 t/m<sup>2</sup>
  - Lebar segmen = 43,80 m
  - Panjang segmen = 154,5 m
  - $W_{\text{protective backfill}}$  = 13534,200 ton
- **Beban *superdeadload***
  - **Beban jetfan**
    - Berat 1 jetfan = 61 kg (brosur terlampir)
    - = 0,061 ton
    - n jetfan/segmen = 210 buah (terdapat 14 jetfan  
tiap 10 m)
    - $W_{\text{jetfan}}$  = 12,810 ton
  - **Beban kerb**
    - Tebal kerb = 0,200 m
    - Lebar kerb = 1,000 m
    - n kerb = 4 buah
    - $W_{\text{kerb}}$  = 296,640 ton
  - **Beban rel**
    - Berat rel = 0,603 kN/m
    - n rel = 2 buah
    - jarak bantalan = 60 cm
    - $W_{\text{rel}}$  = 11,187 ton
  - **Beban bantalan rel**
    - Berat bantalan = 0,2 ton/buah
    - n bantalan = 258 buah (terdapat 1 bantalan  
setiap 60 cm)
    - $W_{\text{bantalan}}$  = 51,50 ton
  - **Beban *ballast* rel**
    - A penampang = 1,898 m<sup>2</sup>
    - Panjang segmen = 154,5 m
    - Vol bantalan = 41,55 m<sup>3</sup>
    - $W_{\text{ballast rel}}$  = 605,887 ton
  - **Beban aspal**
    - Tebal aspal = 0,320 m



$$\begin{aligned} \text{Kums} &= 1,3 \text{ (dicor ditempat)} \\ \text{Waspal} &= 282,797 \text{ ton} \end{aligned}$$

Sehingga total beban yang bekerja pada segmen adalah

$$\begin{aligned} W_{\text{Total}} &= 88091,057 \text{ ton} \\ &= 13,018 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

### Kontrol Gaya Angkat Air Laut

$$\begin{aligned} \text{SF} &= 1,10 \\ \text{SF} &\leq \frac{W_{\text{total}}}{\text{Gaya Angkat Air Laut}} \\ \frac{W_{\text{total}}}{\text{SF}} &\geq \text{Gaya Angkat Air Laut} \\ 80082,779 \text{ ton} &\geq 76329,83 \text{ ton (OK)} \end{aligned}$$

## 2. Fase Konstruksi *Immersed Tunnel* (Setelah Ditenggelamkan)

Setelah semua segmen ditenggelamkan, masih terdapat beberapa kegiatan konstruksi didalam segmen seperti mengganti *water ballast* dengan beton *ballast*, *finishing immersion joint*, melepaskan penutup *bulkheads*, dan pekerjaan konstruksi lainnya. Untuk mengetahui volume air yang dibutuhkan sebagai pemberat ketika segmen ditenggelamkan, maka gaya angkat air laut harus dihitung dengan asumsi gaya angkat air laut hanya mengangkat berat struktur segmen, berat *bulkheads*, dan *water ballast*. SF yang digunakan sebesar 1,05 atau diasumsikan segmen akan menerima *earth pressure* sebesar 3 – 4 kN/m<sup>2</sup>.

Berikut perhitungan gaya angkat air laut pada fase konstruksi *immersed tunnel* (setelah ditenggelamkan) :

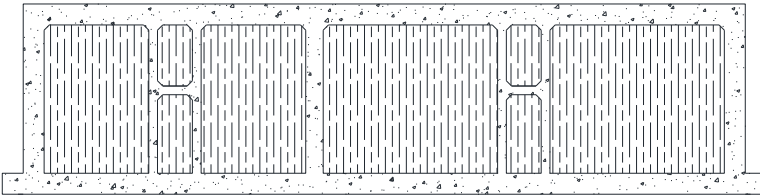
$$\begin{aligned} \text{A ruang kosong} &= 275,10 \text{ m}^2 \\ \text{A beton ballast} &= 28,00 \text{ m}^2 \\ \text{A beton segmen} &= 151,04 \text{ m}^2 \\ \text{A total} &= 454,14 \text{ m}^2 \\ \text{Earth pressure (ep)} &= 0,40 \text{ t/m}^2 \\ \text{Lebar segmen (b)} &= 43,8 \text{ m} \\ \text{Panjang segmen} &= 154,5 \text{ m} \\ \gamma_{\text{air laut}} &= 1,03 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga gaya angkat air laut yang terjadi sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya angkat air laut} &= (A \text{ total} \times \gamma_{\text{air laut}}) + (e p \times b) \\
 &= (454,14 \times 1,03) + (0,4 \times 43,8) \\
 &= 74976.409 \text{ ton} \\
 &= 11,08 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan beban yang bekerja pada segmen saat fase konstruksi *immersed tunnel* (setelah ditenggelamkan) :

- Beban sendiri struktur  
 $W_{\text{struktur}} = 56005,632 \text{ ton}$
- Beban *bulkheads*  
 Berat *bulkheads* =  $1,50 \text{ t/m}^2$  (asumsi)  
 $A \text{ bulkheads} = 303,10 \text{ m}^2$  (**Gambar 5.9**)  
 $n \text{ bulkheads} = 2 \text{ buah}$   
 $W_{\text{bulkheads}} = 909,30 \text{ ton}$



**Gambar 5.9** Luas penampang *bulkheads*

Sumber : (Hasil Analisis)

- Beban *ballast water*  
 $\text{Volume ballast water} = 21200 \text{ m}^3$   
 $\gamma_{\text{air}} = 1,03 \text{ t/m}^3$   
 $W_{\text{ballast water}} = 21836 \text{ ton}$

Sehingga total beban yang bekerja pada segmen sebesar :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total}} &= 78750,93 \text{ ton} \\
 &= 11,637 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

### Kontrol Gaya Angkat Air Laut

$$\begin{aligned}
 SF &= 1,05 \\
 SF &\leq \frac{W_{\text{total}}}{\text{Gaya Angkat Air Laut}}
 \end{aligned}$$

$$\frac{W_{total}}{SF} \geq \text{Gaya Angkat Air Laut}$$

$$75000,888 \text{ ton} \geq 74976,409 \text{ ton (OK)}$$

### 3. Fase Konstruksi *Immersed Tunnel* (Sebelum Ditenggelamkan)

Setelah segmen selesai dibuat pada lokasi pembuatan maka segmen akan dipindahkan ke lokasi perencanaan dengan diapungkan. Pada saat segmen diapungkan, terdapat tinggi jagaan (*freeboard*) sehingga tidak semua bagian segmen tercelup air. Ketika menentukan tinggi jagaan gaya angkat air laut diasumsikan mengangkat beban struktur segmen dan beban *bulkheads*. SF yang digunakan adalah 1,02 atau diasumsikan segmen menerima *earth pressure* 1 kN/m<sup>2</sup>.

Berikut perhitungan gaya angkat air laut pada fase konstruksi *immersed tunnel* (sebelum ditenggelamkan) :

A ruang kosong	= 275,10 m <sup>2</sup>
A beton ballast	= 28,00 m <sup>2</sup>
A beton segmen	= 151,04 m <sup>2</sup>
A total	= 454,14 m <sup>2</sup>
Lebar segmen (b)	= 43,8 m
fb (tinggi jagaan)	= 2,5 m
A tidak tercelup	= 103,500 m <sup>2</sup>
Panjang segmen	= 154,5 m
$\gamma_{\text{air laut}}$	= 1,03 t/m <sup>3</sup>

Sehingga gaya angkat air laut yang terjadi sebesar :

Gaya angkat air laut	= (A total – A tidak tercelup) x $\gamma_{\text{air laut}}$
	= (454,14 – 103,500) x 1,03
	= 55799,096 ton
	= 8,246 ton/m <sup>2</sup>

Berikut adalah perhitungan beban yang bekerja pada segmen saat fase konstruksi *immersed tunnel* (setelah ditenggelamkan) :

- Beban sendiri struktur  
 $W_{\text{struktur}} = 56005,632 \text{ ton}$
- Beban *bulkheads*

$$W_{bulkheads} = 909,30 \text{ ton}$$

Sehingga total beban yang bekerja pada segmen sebesar :

$$W_{total} = 56914,93 \text{ ton}$$

$$= 8,411 \text{ m}^2$$

### **Kontrol Gaya Angkat Air Laut**

$$SF = 1,02$$

$$SF \leq \frac{W_{total}}{\text{Gaya Angkat Air Laut}}$$

$$\frac{W_{total}}{SF} \leq \text{Gaya Angkat Air Laut}$$

$$55798,953 \text{ ton} \leq 55799,10 \text{ ton (OK)}$$

### **5.5.2. Kontrol Daya Dukung Tanah**

Salah satu kelebihan dari terowongan immersed tunnel adalah secara teori dapat diletakan di atas dasar laut seperti apapun. Hal ini disebabkan karena adanya gaya angkat air laut yang dapat membantu tanah untuk menahan segmen tersebut. Selain itu kebanyakan dari terowongan immersed tunnel biasanya akan digali dan diletakan dibawah elevasi dasar lautnya. Seperti pada tugas ini terowongan akan diletakan 2,0 meter dibawah dasar laut eksisting dengan elevasi -29,397 m MSL.

Dari analisa data tanah yang dilakukan pada subbab 4.2, digunakan data tanah pada titik bor A4 dikarenakan memiliki nilai NSPT yang paling kritis hingga kedalaman 22 m. Elevasi pengeboran titik A4 adalah -8,20 m LWS, sehingga pada elevasi -29,397 m MSL diperoleh data tanah sebagai berikut :

$$\text{Kedalaman bor} = -9,375 \text{ m LWS}$$

$$\phi' = 0^\circ$$

$$Cu = 0,5$$

$$\gamma_{sat} = 1,576 \text{ t/m}^3$$

Perhitungan besar daya dukung tanah pada tanah ini akan menggunakan persamaan Meyerhof dikarenakan berdasarkan perhitungan titik berat pada subbab 5.3.2, titik berat segmen tidak tepat berada ditengah-tengah dengan besar eksentrisitas adalah

0,489 m. SF yang digunakan adalah 2,0. Berikut adalah perhitungan daya dukung tanah :

$$B = 43,8 \text{ m}$$

$$N_c = 5,7 \text{ (Tabel 2.6)}$$

$$N_q = 1,0$$

$$N_\gamma = 0,0$$

$$Q = (B-2e) \times [(1/2 \cdot \gamma \cdot (B-2e) \cdot N_\gamma) + (C \cdot N_c) + (\gamma \cdot D \cdot N_q)] \\ = 168,839 \text{ t/m}$$

$$e_1 = e/B$$

$$= 0,011$$

$$q = (1 - 2e_1)^2 \cdot \gamma \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma + (1 - 2e_1) \times (\gamma \cdot D \cdot N_q + C \cdot N_c) \\ = 3,8547 \text{ t/m}^2$$

Tekanan pada tanah adalah tekanan akibat total beban yang ditahan tanah yang kemudian dikurangi oleh adanya gaya angkat air laut. Total beban yang ditahan tanah seperti beban *foundation bed*, beban struktur segmen, beban beton *ballast*, beban *backfill*, dan beban *superdead*. Berikut adalah perhitungan beban yang ditahan tanah :

- Beban struktur segmen  
 $W_{struktur} = 56005,632 \text{ ton}$
- Beban beton *ballast*  
 $W_{ballast} = 10382,400 \text{ ton}$
- Beban *backfill*  
 $W_{backfill} = 20442,204 \text{ ton}$
- Beban *superdead*  
 $W_{superdead} = 1260,821 \text{ ton}$
- Gaya angkat air laut = 76329,83 ton

Sehingga total beban yang harus ditahan tanah sebesar :

$$W_{total} = 11761,228 \text{ ton} \\ = 1,78 \text{ t/m}^2$$

Karena beban tidak eksentris, maka momen yang terjadi juga harus diperhitungkan seperti berikut :

$$P = W_{total} \\ = 11761,228 \text{ ton}$$

$$A = 6613,800 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 M &= P \times e \\
 &= 5746,681 \text{ ton.m} \\
 X &= \frac{1}{2} B \\
 &= 21,90 \text{ m} \\
 I_y &= \frac{1}{2} b^3 h \\
 &= 1057348,206 \text{ m}^4 \\
 \sigma &= \frac{P}{A} \pm \frac{Mx \times X}{I_y} \\
 \sigma_{\max} &= 1,897 \text{ t/m}^2 \\
 \sigma_{\min} &= 1,659 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

### **Kontrol Daya Dukung Tanah**

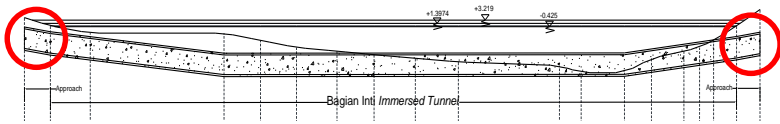
$$\begin{aligned}
 SF &= 2 \\
 SF &\leq \frac{q}{\sigma_{\max}} \\
 \frac{q}{SF} &\geq \sigma_{\max} \\
 1,927 &\geq 1,897 \text{ t/m}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

## **5.6. Perencanaan *Approach Immersed Tunnel***

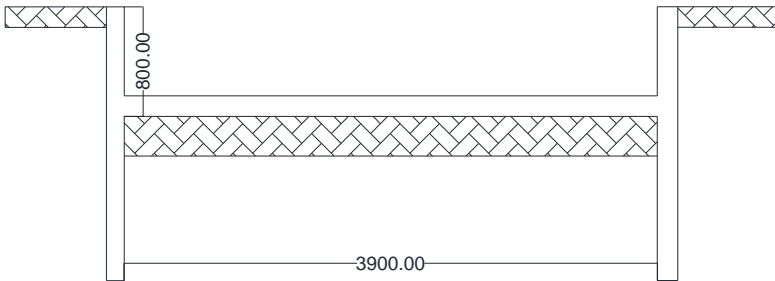
*Approach* disini adalah bagian keluar masuknya kendaraan menuju terowongan. Pada tugas akhir ini, penggalian tanah untuk *approach* akan direncanakan dengan metode *cut and cover*. Metode ini akan dilakukan penggalian lalu menutupnya kembali. Pada proses penggalian diperlukan perkuatan tanah sehingga dapat menahan beban tanah dan struktur disekitarnya.

### **5.6.1. Pemilihan Segmen *Approach***

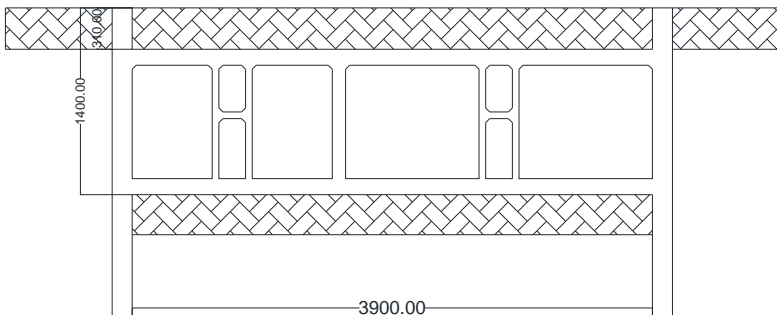
Sisi masuk dan keluar terowongan sangatlah panjang, sehingga tidak mungkin semua potongan *approach* akan memiliki struktur penahan tanah yang sama. Selain itu untuk memasuki terowongan yang telah terpasang di dasar laut, memerlukan jalan penghubung dibawah tanah. Oleh karena hal tersebut, dipilih 2 potongan *approach immersed tunnel* yang akan direncanakan struktur penahan tanahnya. **Gambar 5.10** menunjukkan letak *approach* pada perencanaan *immersed tunnel* dan **Gambar 5.11** menunjukkan potongan melintang model *approach* yang akan direncanakan.



**Gambar 5.10** Letak *approach* pada perencanaan *immersed tunnel*  
*Sumber : (Hasil Analisis)*



**Gambar 5.11.a** Penampang melintang model 1  
*Sumber : (Hasil Analisis)*



**Gambar 5.11.b** Penampang melintang model 2  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

### 5.6.2. Perencanaan Struktur Penahan Tanah

Struktur penahan tanah kedua model tersebut akan direncanakan menggunakan *secant pile*. Sedangkan proses perencanaannya akan menggunakan metode *stress and deflection*. Dimana besar dari gaya lateral tanah yang berkerja akan dipengaruhi oleh defleksi dari tiang yang telah terpasang. Sehingga diperlukan melakukan iterasi untuk mendapatkan besar dari gaya-gaya yang akan bekeja di *secant pile*. Karena gaya akan mempengaruhi defleksi dan sebaliknya maka perhitungan metode merupakan metode iterasi hingga perbedaan dari defleksi mendekati 0. Untuk membantu perhitungan defleksi akan dibantu dengan program bantu SAP2000.

Langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung perencanaan struktur penahan tanah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan *preliminary design* penahan tanah, termasuk panjang dan ukuran penampang
2. Mencari seluruh tekanan lateral tanah dalam kondisi *atrest*, *active* dan *passive* dengan persamaan dibawah.

$$\sigma_{at-rest} = \sigma v \times k_0$$

$$k_0 = 1 - \sin(\phi)$$

$$\sigma_{a-min} = \sigma v \times ka - 2c\sqrt{ka}$$

$$\sigma_{p-max} = \sigma v \times kp + 2c\sqrt{kp}$$

$$P(t) = \sigma h \times A \rightarrow A = 1m^2$$

Kemudian dari tekanan tersebut dijadikan menjadi beban terpusat yang berkerja terhadap *pile* di setiap meter serta koefisien pegas tanah yang dapat di ambil dari *coefficient of subgrade reaction* yang telah di korelasikan sebelumnya

3. Untuk memperkirakan kedalaman pada *secant pile*, mula-mula kedalaman *pile* dapat diasumsikan memiliki kedalaman yang sangat dalam. Kemudian gayagaya lateral tanah dalam kondisi *at-rest* ( $p_0$ ) dikerjakan dan pegas tanah ( $ks$ ) juga di inputkan kedalam program SAP2000 pada batang tersebut. Kemudian dilihat bentuk



bidang momennya. Panjang dinding dapat ditentukan pada saat bidang momen bored-pile sudah mendekati 0 di titik tertentu

4. Mengulang langkah sebelumnya dengan panjang *pile* yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya, dimana dinding akan dikenai beban sebesar gaya lateral tanah pada kondisi *at-rest* ( $p_0$ ) sesuai dengan perhitungan besar tekanan tanah pada panjang tersebut. Hasil dari SAP2000 yang diambil adalah defleksi di setiap titik titik beban
5. Dengan hasil defleksi dari langkah sebelumnya, beban *at-rest* yang ada di kalkulasikan kembali dengan persamaan dibawah ( $P_a$  dan  $P_p$  dalam ton;  $A$  adalah luas bidang kontak tekanan dan dinding)
 
$$P_a = P_{at-rest} - \delta \times ks < P_{a-min} ; A \approx 1m^2$$

$$P_p = P_{at-rest} + \delta \times ks > P_{p-max} ; A \approx 1m^2$$
 Bila telah melebihi batas maka besar  $P_a$  min dan  $P_p$  max akan digunakan dengan menghilangkan pegas tanah di titik tersebut. Lalu di-input kembali ke program SAP2000 dan dicari nilai defleksinya pada kondisi tersebut. Bila  $P_a < 0$  maka nilai  $p_a = 0$  dan pegas tanah juga dihilangkan;
6. Mengulang langkah sebelumnya hingga perbedaan defleksi mendekati 0.

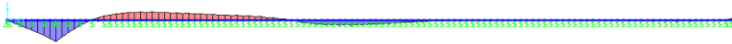
Berikut adalah perhitungan semua model potongan

#### 1. Model 1

Potongan model 1 terdapat pada **Gambar 5.10**. Pada perencanaan ini, penggalian akan dilaksanakan hingga kedalaman galian -8,0 m dengan menggunakan perkuatan *secant pile* sebagai struktur perkuatan galian. Data tanah yang digunakan terdapat pada **Tabel 4.1**.

Asumsi awal diameter *pile* adalah 1,4 m, kedalaman pile awal adalah 60 m, dan beban *surchage* tambahan sebesar 1,5 t/m<sup>2</sup>. Dengan menggunakan asumsi awal tersebut, perhitungan untuk mencari kedalaman *pile* dapat dilakukan.

Dalam menentukan kedalaman dinding, digunakan permodelan pada program bantu SAP2000 pada kedalaman 8 m dengan satu perletakan sendi pada elevasi 0 m. Beban yang terjadi pada dinding adalah tekanan lateral tanah pada kondisi *atrest* dan tekanan air pori. **Tabel 5.3** menunjukkan tekanan air pori. **Tabel 5.4** dan **Tabel 5.5** menunjukkan perhitungan tekanan horizontal di belakang dinding dan di depan dinding. Tekanan lateral *atrest* akan menjadi beban terpusat setiap meternya pada dinding penahan, sedangkan tekanan air pori sebagai beban trapezoidal, dan *coeficient of subgrade* (ks) sebagai nilai koefisien pegas. Rekapitulasi tekanan tanah lateral pada kondisi *atrest* dan ks di belakang dinding ditunjukkan pada **Tabel 5.6**, dan di depan dinding ditunjukkan pada **Tabel 5.7**. Kemudian panjang *secant pile* ditentukan dari bidang momen yang dihasilkan, ketika momen menunjukkan nilai mendekati 0 atau 0 maka pada titik tersebut merupakan panjang *secant pile*. Nilai momen mendekati 0 terletak pada kedalaman 23,449 m (**Gambar 5.12**) dan sebagai faktor keamanan, kedalaman dinding akan ditambah hingga kedalaman 30 meter.



**Gambar 5.12** Bidang momen permodelan SAP2000  
(*Sumber : Hasil Analisis*)

**Tabel 5.3** Perhitungan Tekanan Air Pori  
(*Sumber : Hasil Analisis*)

Titik	Ketebalan (m)	$\sigma_w$ (ton/m <sup>3</sup> )
1	0	0
2	8	8
3	60	0

**Tabel 5.4** Perhitungan Tekanan Horizontal di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisa)

Lapisan	depth bor (m)	ketebalan (m)	Titik	ysat (ton/m3)	y' (ton/m3)	σvaktif (t/m2)	σvpasif (t/m2)	Cu (t/m2)	φ (°)	K0	Ka	Kp	σh0 (t/m2)	σha (t/m2)	σhp (t/m2)
1	0	23	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0	0,5	0	1,000	1,000	1,000	1,500	0,500	1,000
	23		2 atas			14,756	13,256						14,756	13,756	14,256
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	14,756	13,256	0	28,000	0,531	0,361	2,770	7,829	5,328	36,718
	25		3 atas			15,956	14,456						8,465	5,761	40,042
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	15,956	14,456	0	37,250	0,395	0,246	4,067	6,298	3,923	58,795
	28		4 atas			18,581	17,081						7,334	4,569	69,471
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	18,581	17,081	0	41,000	0,344	0,208	4,815	6,391	3,859	82,246
	30		5 atas			20,962	19,462						7,210	4,354	93,709
5	30	30	5 bawah	2,190	1,190	20,962	19,462	0	41,000	0,344	0,208	4,815	7,210	4,354	93,709
	60		6 atas			56,671	55,171						19,492	11,770	265,646

**Tabel 5.5** Perhitungan Tekanan Horizontal di Depan Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

Lapisan	depth bor (m)	ketebalan (m)	Titik	ysat (ton/m3)	y' (ton/m3)	σvaktif (t/m2)	σvpasif (t/m2)	Cu (t/m2)	φ (°)	K0	Ka	Kp	σh0 (t/m2)	σha (t/m2)	σhp (t/m2)
1	8	15	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0	0,5	0,000	1,000	1,000	1,000	1,500	0,500	1,000
	23		2 atas			10,146	8,646						10,146	9,146	9,646
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	10,146	8,646	0	28,000	0,531	0,361	2,770	5,382	3,663	23,947
	25		3 atas			11,346	9,846						6,019	4,096	27,270
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	11,346	9,846	0	37,250	0,395	0,246	4,067	4,478	2,790	40,042
	28		4 atas			13,971	12,471						5,514	3,435	50,718
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	13,971	12,471	0	41,000	0,344	0,208	4,815	4,805	2,901	60,045
	30		5 atas			16,351	14,851						5,624	3,396	71,507
5	30	30	5 bawah	2,190	1,190	16,351	14,851	0	41,000	0,344	0,208	4,815	5,624	3,396	71,507
	60		6 atas			52,060	50,560						17,906	10,812	243,445

**Tabel 5.6** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan ks di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks (ton/m <sup>2</sup> )
	(ton)	
0	1,500	1200
1	2,076	1200
2	2,653	1200
3	3,229	1200
4	3,805	1200
5	4,382	1200
6	4,958	1200
7	5,535	1200
8	6,111	1200
9	6,687	1200
10	7,264	1200
11	7,840	1200
12	8,416	1200
13	8,993	1200
14	9,569	1200
15	10,146	1200
16	10,722	1200
17	11,298	1200
18	11,875	1200
19	12,451	1200
20	13,027	1200
21	13,604	1200
22	14,180	1200
23	14,756	1200
24	8,147	2400

**Tabel 5.6** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan ks di Belakang Dinding  
(Lanjutan)  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks (ton/m <sup>2</sup> )
	(ton)	
25	8,465	2400
26	6,643	3000
27	6,989	3000
28	7,334	3000
29	6,800	4800
30	7,210	4800
31	7,619	4800
32	8,029	4800
33	8,438	4800
34	8,847	4800
35	9,257	4800
36	9,666	4800
37	10,075	4800
38	10,485	4800
39	10,894	4800
40	11,304	4800
41	11,713	4800
42	12,122	4800
43	12,532	4800
44	12,941	4800
45	13,351	4800
46	13,760	4800
47	14,169	4800
48	14,579	4800

**Tabel 5.6** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan  
ks di Belakang Dinding (Lanjutan)  
(Sumber : Hasil Analisis)

<b>H (m)</b>	<b>P0</b>	<b>Ks (ton/m<sup>2</sup>)</b>
	<b>(ton)</b>	
49	14,988	4800
50	15,398	4800
51	15,807	4800
52	16,216	4800
53	16,626	4800
54	17,035	4800
55	17,445	4800
56	17,854	4800
57	18,263	4800
58	18,673	4800
59	19,082	4800
60	19,492	4800

**Tabel 5.7** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan ks di Depan Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks
	(ton)	(ton/m <sup>2</sup> )
8,5	1,788	1200
9,5	2,365	1200
10,5	2,941	1200
11,5	3,517	1200
12,5	4,094	1200
13,5	4,670	1200
14,5	5,246	1200
15,5	5,823	1200
16,5	6,399	1200
17,5	6,975	1200
18,5	7,552	1200
19,5	8,128	1200
20,5	8,705	1200
21,5	9,281	1200
22,5	9,857	1200
23,5	5,542	1800
24,5	5,860	2400
25,5	4,651	2700
26,5	4,996	3000
27,5	5,342	3000
28,5	5,687	3900
29,5	6,032	4800
30,5	6,378	4800
31,5	6,723	4800
32,5	7,068	4800
33,5	7,414	4800

**Tabel 5.7** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan ks di Depan Dinding (Lanjutan)  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks
	(ton)	(ton/m <sup>2</sup> )
34,5	7,759	4800
35,5	8,105	4800
36,5	8,450	4800
37,5	8,795	4800
38,5	9,141	4800
39,5	9,486	4800
40,5	9,831	4800
41,5	10,177	4800
42,5	10,522	4800
43,5	10,867	4800
44,5	11,213	4800
45,5	11,558	4800
46,5	11,904	4800
47,5	12,249	4800
48,5	12,594	4800
49,5	12,940	4800
50,5	13,285	4800
51,5	13,630	4800
52,5	13,976	4800
53,5	14,321	4800
54,5	14,666	4800
55,5	15,012	4800
56,5	15,357	4800
57,5	15,703	4800
58,5	16,048	4800
59,5	16,393	4800

Pada perhitungan dinding ini, fase penggalian *approach* akan dibagi menjadi dua. Pada fase pertama, output yang dihasilkan adalah defleksi yang nantinya akan diperhitungkan sebagai beban ground displacement pada penggalian fase kedua. Dinding penahan tanah yang direncanakan harus mampu menahan beban tanah pada proses penggalian dan masa operasionalnya.

a. Penggalian Pertama

Berdasarkan panjang yang didapatkan, tekanan lateral tanah dan tekanan pori air perlu dihitung ulang sesuai dengan kedalaman yang telah ditentukan. Pada perhitungan ini akan dihitung pula tekanan lateral tanah aktif minimum dan pasif maksimum yang menjadi batas atas atau bawah dari tekanan lateral tanah pada perhitungan iterasi. Besar tekanan air akan berubah pula, yang akan ditunjukkan oleh **Tabel 5.8**. Hasil perhitungan tekanan lateral tanah aktif minimum akan ditunjukkan oleh **Tabel 5.9** untuk sisi belakang dinding penahan tanah dan hasil perhitungan tekanan lateral tanah pasif maksimum ditunjukkan oleh **Tabel 5.10** untuk sisi didepan dinding penahan tanah.

**Tabel 5.8** Perhitungan Tekanan Air Pori  
(Sumber : Hasil Analisis)

Titik	Ketebalan (m)	$\sigma_w$ (ton/m <sup>3</sup> )
1	0	0
2	4	4
3	30	0

**Tabel 5.9** Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Aktif Minimum di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

Lapisan	H (m)	tebalan (m)	Titik	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{aktif}$ (t/m <sup>2</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	K <sub>0</sub>	K <sub>a</sub>	$\sigma_{h0}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{ha}$ (t/m <sup>2</sup> )
1	0	23	1 bawah	1,576	0,5764	1,500	0,5	0	1,000	1,000	1,500	0,500
	23		2 atas			14,756					14,756	13,756
2	23	2	2 bawah	1,600	0,6000	14,756	0	28,00	0,531	0,361	7,829	5,328
	25		3 atas			15,956					8,465	5,761
3	25	3	3 bawah	1,875	0,8750	15,956	0	37,25	0,395	0,246	6,298	3,923
	28		4 atas			18,581					7,334	4,569
4	28	2	4 bawah	2,190	1,1903	18,581	0	41,00	0,344	0,208	6,391	3,859
	30		5 atas			20,962					7,210	4,354

**Tabel 5.10** Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

Lapisan	H (m)	ketebalan (m)	Titik	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{aktif}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{pasif}$ (t/m <sup>2</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	K <sub>0</sub>	K <sub>a</sub>	K <sub>p</sub>	$\sigma_{h0}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hp}$ (t/m <sup>2</sup> )
1	4	19	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0,000	0,5	0,000	1,000	1,000	1,000	1,500	1,000
	23		2 atas			12,451	10,951						12,451	11,951
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	12,451	10,951	0	28,000	0,531	0,361	2,770	6,606	30,332
	25		3 atas			13,651	12,151						7,242	33,656
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	13,651	12,151	0	37,250	0,395	0,246	4,067	5,388	49,419
	28		4 atas			16,276	14,776						6,424	60,095
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	16,276	14,776	0	41,000	0,344	0,208	4,815	5,598	71,146
	30		5 atas			18,657	17,157						6,417	82,608



Pada proses perhitungan, besar tekanan lateral tanah akan dijadikan beban tiap meter kedalaman yang berkerja di tiang dinding. Rekapitulasi tekanan tanah pada kondisi *atrest*, batas gaya aktif minimum, dan ks di belakang dinding ditunjukkan oleh **Tabel 5.11**, sedangkan rekapitulasi tekanan tanah pada kondisi *atrest*, batas gaya pasif maksimum, dan ks di depan dinding ditunjukkan oleh **Tabel 5.12**. Pada perhitungan dengan SAP2000, beban air akan di-inputkan ke dalam program bantu dalam bentuk beban trapezoidal. Pada Iterasi pertama, Besar gaya  $P_0$  akan di-input-kan sebagai beban terpusat pada titik pegas, karena diasumsikan pada iterasi ini tiang belum mengalami pergerakan, sedangkan nilai ks akan di-input-kan sebagai koefisien pegas. Hasil yang diambil dari menjalan program ini adalah defleksi yang terjadi pada tiang bored pile.

**Tabel 5.11** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	Pa min (ton)	ks (t/m2)
0	1,500	0,500	1200
1	2,076	1,076	1200
2	2,653	1,653	1200
3	3,229	2,229	1200
4	3,805	2,805	1200
5	4,382	3,382	1200
6	4,958	3,958	1200
7	5,535	4,535	1200
8	6,111	5,111	1200
9	6,687	5,687	1200
10	7,264	6,264	1200
11	7,840	6,840	1200
12	8,416	7,416	1200
13	8,993	7,993	1200
14	9,569	8,569	1200
15	10,146	9,146	1200
16	10,722	9,722	1200
17	11,298	10,298	1200
18	11,875	10,875	1200
19	12,451	11,451	1200
20	13,027	12,027	1200
21	13,604	12,604	1200
22	14,180	13,180	1200
23	14,756	13,756	1200
24	8,147	5,544	2400
25	8,465	5,761	2400
26	6,643	4,138	3000
27	6,989	4,354	3000
28	7,334	4,569	3000
29	6,800	4,106	4800
30	7,210	4,354	4800

**Tabel 5.12** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	Pp max (ton)	ks (t/m2)
4,5	1,788	1,288	1200
5,5	2,365	1,865	1200
6,5	2,941	2,441	1200
7,5	3,517	3,017	1200
8,5	4,094	3,594	1200
9,5	4,670	4,170	1200
10,5	5,246	4,746	1200
11,5	5,823	5,323	1200
12,5	6,399	5,899	1200
13,5	6,975	6,475	1200
14,5	7,552	7,052	1200
15,5	8,128	7,628	1200
16,5	8,705	8,205	1200
17,5	9,281	8,781	1200
18,5	9,857	9,357	1200
19,5	10,434	9,934	1200
20,5	11,010	10,510	1200
21,5	11,586	11,086	1200
22,5	12,163	11,663	1200
23,5	6,765	31,163	1800
24,5	7,083	32,825	2400
25,5	5,561	51,198	2700
26,5	5,906	54,757	3000
27,5	6,252	58,316	3000
28,5	5,803	74,011	3900
29,5	6,212	79,743	4800

Setelah dilakukan proses perhitungan dalam program bantu SAP2000, akan diambil hasil defleksi yang terjadi seperti pada **Tabel 5.13** untuk iterasi pertama. Hasil defleksi ini akan

digunakan untuk menghitung gaya lateral tanah pada iterasi berikutnya.

**Tabel 5.13** Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama  
(Sumber : Hasil Analisis)

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,00000	4,5	0,00062
1	0,00016	5,5	0,00069
2	0,00031	6,5	0,00074
3	0,00045	7,5	0,00077
4	0,00057	8,5	0,00078
5	0,00066	9,5	0,00076
6	0,00072	10,5	0,00073
7	0,00076	11,5	0,00069
8	0,00078	12,5	0,00064
9	0,00077	13,5	0,00058
10	0,00075	14,5	0,00051
11	0,00071	15,5	0,00045
12	0,00066	16,5	0,00038
13	0,00061	17,5	0,00031
14	0,00055	18,5	0,00025
15	0,00048	19,5	0,00019
16	0,00041	20,5	0,00014
17	0,00035	21,5	0,00009
18	0,00028	22,5	0,00005
19	0,00022	23,5	0,00002
20	0,00017	24,5	-0,00001
21	0,00012	25,5	-0,00003
22	0,00007	26,5	-0,00004
23	0,00003	27,5	-0,00003
24	0,00000	28,5	-0,00002
25	-0,00002	29,5	0,00000
26	-0,00003		
27	-0,00003		
28	-0,00003		
29	-0,00001		
30	0,00000		

Pada perhitungan iterasi berikutnya, besar defleksi dari **Tabel 5.13** mempengaruhi besar gaya pada iterasi berikutnya. Besar gaya akan membesar atau mengecil berdasarkan defleksi yang terjadi. Perhitungan gaya yang menjadi iterasi ke-2 ditunjukkan oleh **Tabel 5.14** untuk sisi tanah di depan dinding dan **Tabel 5.15** untuk sisi tanah di belakang dinding. Contoh perhitungan dari besar tekanan lateral tanah:

$$Pa4m = P0 - ks \times \delta = 3,805 - 1200 \times 0,0019 = 1,553 t > 2,805 t$$

$$Ppm = P0 + ks \times \delta = 4,094 + 1200 \times 0,0030 = 7,723 > 3,594 t$$

Bila gaya yang didapatkan telah melebihi gaya aktif minimum dan gaya pasif maksimum maka pegas pada titik tersebut dihilangkan. Hal ini disebabkan karena tekanan pada lapisan tersebut telah melewati batas plastisnya yang menyebabkan gaya tersebut tidak berkurang ataupun bertambah lagi. Hasil defleksi iterasi 2 ditunjukkan oleh **Tabel 5.16**.

**Tabel 5.14** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (kN/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
4,5	1,788	0,0006	1200	1,288	2,5274	1,2882	NO
5,5	2,365	0,0007	1200	1,865	3,1962	1,8646	NO
6,5	2,941	0,0007	1200	2,441	3,8337	2,4409	NO
7,5	3,517	0,0008	1200	3,017	4,4413	3,0173	NO
8,5	4,094	0,0008	1200	3,594	5,0237	3,5937	NO
9,5	4,670	0,0008	1200	4,170	5,5832	4,1700	NO
10,5	5,246	0,0007	1200	4,746	6,1236	4,7464	NO
11,5	5,823	0,0007	1200	5,323	6,6484	5,3228	NO
12,5	6,399	0,0006	1200	5,899	7,1623	5,8991	NO
13,5	6,975	0,0006	1200	6,475	7,6667	6,4755	NO
14,5	7,552	0,0005	1200	7,052	8,1663	7,0519	NO
15,5	8,128	0,0004	1200	7,628	8,6622	7,6282	NO
16,5	8,705	0,0004	1200	8,205	9,1582	8,2046	NO
17,5	9,281	0,0003	1200	8,781	9,6566	8,7810	NO
18,5	9,857	0,0003	1200	9,357	10,1573	9,3573	NO
19,5	10,434	0,0002	1200	9,934	10,6629	9,9337	NO
20,5	11,010	0,0001	1200	10,510	11,1757	10,5101	NO
21,5	11,586	0,0001	1200	11,086	11,6944	11,0864	NO
22,5	12,163	0,0000	1200	11,663	12,2216	11,6628	NO
23,5	6,765	0,0000	1800	31,163	6,7918	6,7648	YES
24,5	7,083	0,0000	2400	32,825	7,0495	7,0831	YES
25,5	5,561	0,0000	2700	51,198	5,4771	5,5608	YES
26,5	5,906	0,0000	3000	54,757	5,7952	5,9062	YES
27,5	6,252	0,0000	3000	58,316	6,1585	6,2515	YES
28,5	5,803	0,0000	3900	74,011	5,7325	5,8027	YES
29,5	6,212	0,0000	4800	79,743	6,1883	6,2121	YES

**Tabel 5.15** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan *Ks* di Belakang Dinding Pada Iterasi Kedua

(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0002	1200	1,076	1,8844	2,0764	YES
2	2,653	0,0003	1200	1,653	2,2759	2,6527	YES
3	3,229	0,0005	1200	2,229	2,6867	3,2291	YES
4	3,805	0,0006	1200	2,805	3,1239	3,8055	YES
5	4,382	0,0007	1200	3,382	3,5922	4,3818	YES
6	4,958	0,0007	1200	3,958	4,0918	4,9582	YES
7	5,535	0,0008	1200	4,535	4,6226	5,5346	YES
8	6,111	0,0008	1200	5,111	5,1797	6,1109	YES
9	6,687	0,0008	1200	5,687	5,7621	6,6873	YES
10	7,264	0,0007	1200	6,264	6,3649	7,2637	YES
11	7,840	0,0007	1200	6,840	6,9856	7,8400	YES
12	8,416	0,0007	1200	7,416	7,6196	8,4164	YES
13	8,993	0,0006	1200	7,993	8,2632	8,9928	YES
14	9,569	0,0005	1200	8,569	8,9140	9,5692	YES
15	10,146	0,0005	1200	9,146	9,5695	10,1455	YES
16	10,722	0,0004	1200	9,722	10,2263	10,7219	YES
17	11,298	0,0003	1200	10,298	10,8819	11,2983	YES
18	11,875	0,0003	1200	10,875	11,5362	11,8746	YES
19	12,451	0,0002	1200	11,451	12,1846	12,4510	YES
20	13,027	0,0002	1200	12,027	12,8282	13,0274	YES
21	13,604	0,0001	1200	12,604	13,4657	13,6037	YES
22	14,180	0,0001	1200	13,180	14,0949	14,1801	YES
23	14,756	0,0000	1200	13,756	14,7169	14,7565	YES
24	8,147	0,0000	2400	5,544	8,1462	8,1470	YES
25	8,465	0,0000	2400	5,761	8,5206	8,4654	YES
26	6,643	0,0000	3000	4,138	6,7455	6,6435	YES
27	6,989	0,0000	3000	4,354	7,0908	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,4092	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,8483	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

**Tabel 5.16** Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	4,5	0,00118
1	0,0003	5,5	0,00136
2	0,0006	6,5	0,00150
3	0,0008	7,5	0,00160
4	0,0011	8,5	0,00166
5	0,0013	9,5	0,00168
6	0,0014	10,5	0,00167
7	0,0016	11,5	0,00164
8	0,0016	12,5	0,00157
9	0,0017	13,5	0,00148
10	0,0017	14,5	0,00138
11	0,0017	15,5	0,00126
12	0,0016	16,5	0,00113
13	0,0015	17,5	0,00100
14	0,0014	18,5	0,00086
15	0,0013	19,5	0,00072
16	0,0012	20,5	0,00058
17	0,0011	21,5	0,00046
18	0,0009	22,5	0,00034
19	0,0008	23,5	0,00023
20	0,0007	24,5	0,00014
21	0,0005	25,5	0,00007
22	0,0004	26,5	0,00002
23	0,0003	27,5	0,00000
24	0,0002	28,5	-0,00001
25	0,0001	29,5	0,00000
26	0,0000		
27	0,0000		
28	0,0000		
29	0,0000		
30	0,0000		

Iterasi ini akan dilakukan hingga perbedaan dari defleksi sebesar 0.1 mm. Seluruh hasil dari iterasi dapat dilihat di Lampiran. Pada Iterasi ke-5, perbedaan defleksi dan perbedaan gaya tersebut sudah kurang dari yang diinginkan, sehingga proses iterasi akan dihentikan pada iterasi ke-5. Hasil dari iterasi terakhir dapat dilihat pada **Tabel 5.17** dan **Tabel 5.18** untuk besar gaya yang terjadi, sedangkan **Tabel 5.19**, dan **Gambar 5.12** menunjukkan deformasi dinding yang terjadi.

**Tabel 5.17** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan  $K_s$  di Belakang Dinding Pada Iterasi Terakhir

(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	$k_s$ (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0007	1200	1,076	1,2544	2,0764	YES
2	2,653	0,0014	1200	1,653	1,0267	1,6527	NO
3	3,229	0,0020	1200	2,229	0,8363	2,2291	NO
4	3,805	0,0026	1200	2,805	0,7059	2,8055	NO
5	4,382	0,0031	1200	3,382	0,6534	3,3818	NO
6	4,958	0,0036	1200	3,958	0,6898	3,9582	NO
7	5,535	0,0039	1200	4,535	0,8270	4,5346	NO
8	6,111	0,0042	1200	5,111	1,0673	5,1109	NO
9	6,687	0,0044	1200	5,687	1,4157	5,6873	NO
10	7,264	0,0045	1200	6,264	1,8697	6,2637	NO
11	7,840	0,0045	1200	6,840	2,4280	6,8400	NO
12	8,416	0,0044	1200	7,416	3,0836	7,4164	NO
13	8,993	0,0043	1200	7,993	3,8280	7,9928	NO
14	9,569	0,0041	1200	8,569	4,6540	8,5692	NO
15	10,146	0,0038	1200	9,146	5,5495	9,1455	NO
16	10,722	0,0035	1200	9,722	6,5015	9,7219	NO
17	11,298	0,0032	1200	10,298	7,4991	10,2983	NO
18	11,875	0,0028	1200	10,875	8,5266	10,8746	NO
19	12,451	0,0024	1200	11,451	9,5698	11,4510	NO
20	13,027	0,0020	1200	12,027	10,6154	12,0274	NO
21	13,604	0,0016	1200	12,604	11,6501	12,6037	NO
22	14,180	0,0013	1200	13,180	12,6597	13,1801	NO
23	14,756	0,0009	1200	13,756	13,6309	13,7565	NO
24	8,147	0,0006	2400	5,544	6,5918	8,1470	YES
25	8,465	0,0004	2400	5,761	7,4790	8,4654	YES
26	6,643	0,0002	3000	4,138	5,9535	6,6435	YES
27	6,989	0,0001	3000	4,354	6,6708	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,2352	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,7885	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

**Tabel 5.18** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir  
(*Sumber : Hasil Analisis*)

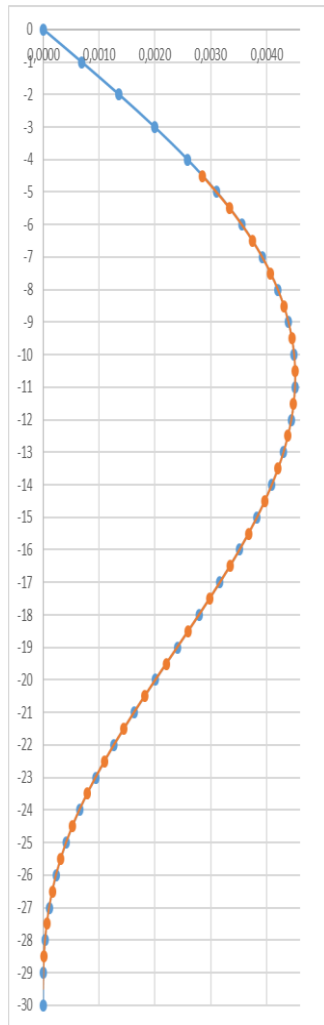
H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
4,5	1,788	0,0029	1200	1,288	5,2118	1,2882	NO
5,5	2,365	0,0033	1200	1,865	6,3738	1,8646	NO
6,5	2,941	0,0038	1200	2,441	7,4409	2,4409	NO
7,5	3,517	0,0041	1200	3,017	8,4061	3,0173	NO
8,5	4,094	0,0043	1200	3,594	9,2645	3,5937	NO
9,5	4,670	0,0045	1200	4,170	10,0148	4,1700	NO
10,5	5,246	0,0045	1200	4,746	10,6608	4,7464	NO
11,5	5,823	0,0045	1200	5,323	11,2060	5,3228	NO
12,5	6,399	0,0044	1200	5,899	11,6575	5,8991	NO
13,5	6,975	0,0042	1200	6,475	12,0239	6,4755	NO
14,5	7,552	0,0040	1200	7,052	12,3147	7,0519	NO
15,5	8,128	0,0037	1200	7,628	12,5406	7,6282	NO
16,5	8,705	0,0033	1200	8,205	12,7174	8,2046	NO
17,5	9,281	0,0030	1200	8,781	12,8558	8,7810	NO
18,5	9,857	0,0026	1200	9,357	12,9713	9,3573	NO
19,5	10,434	0,0022	1200	9,934	13,0773	9,9337	NO
20,5	11,010	0,0018	1200	10,510	13,1881	10,5101	NO
21,5	11,586	0,0014	1200	11,086	13,3180	11,0864	NO
22,5	12,163	0,0011	1200	11,663	13,4780	11,6628	NO
23,5	6,765	0,0008	1800	31,163	8,1796	6,7648	YES
24,5	7,083	0,0005	2400	32,825	8,3335	7,0831	YES
25,5	5,561	0,0003	2700	51,198	6,4032	5,5608	YES
26,5	5,906	0,0002	3000	54,757	6,3862	5,9062	YES
27,5	6,252	0,0001	3000	58,316	6,4405	6,2515	YES
28,5	5,803	0,0000	3900	74,011	5,8534	5,8027	YES
29,5	6,212	0,0000	4800	79,743	6,2013	6,2121	YES



**Tabel 5.19** Nilai Defleksi  
Tiap Titik Pada Iterasi  
Terakhir

(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	-4,5	0,00285
-1	0,0007	-5,5	0,00334
-2	0,0014	-6,5	0,00375
-3	0,0020	-7,5	0,00407
-4	0,0026	-8,5	0,00431
-5	0,0031	-9,5	0,00445
-6	0,0036	-10,5	0,00451
-7	0,0039	-11,5	0,00449
-8	0,0042	-12,5	0,00438
-9	0,0044	-13,5	0,00421
-10	0,0045	-14,5	0,00397
-11	0,0045	-15,5	0,00368
-12	0,0044	-16,5	0,00334
-13	0,0043	-17,5	0,00298
-14	0,0041	-18,5	0,00260
-15	0,0038	-19,5	0,00220
-16	0,0035	-20,5	0,00182
-17	0,0032	-21,5	0,00144
-18	0,0028	-22,5	0,00110
-19	0,0024	-23,5	0,00079
-20	0,0020	-24,5	0,00052
-21	0,0016	-25,5	0,00031
-22	0,0013	-26,5	0,00016
-23	0,0009	-27,5	0,00006
-24	0,0006	-28,5	0,00001
-25	0,0004	-29,5	0,00000
-26	0,0002		
-27	0,0001		
-28	0,0000		
-29	0,0000		
-30	0,0000		



**Gambar 5.13** Defleksi  
dinding pada iterasi terakhir  
(Sumber : Hasil Analisis)

b. Penggalian Kedua

Setelah penggalian pertama selesai, angkur akan dipasang sebelum melakukan penggalian kedua. Sehingga pada perencanaan dari penggalian fase kedua akan mempertimbangkan deformasi dari fase pertama dan penambahan angkur.

Penggalian kedua akan dimulai setelah angkur mampu untuk menahan beban sendiri, dan tekanan lateral tanah. Penggalian kedua akan dimulai pada elevasi -4,00 m hingga elevasi -8,00 m. Tekanan tanah di depan tanah dan tekanan air pori juga akan berubah pula. **Tabel 5.20** menunjukkan perubahan dari tekanan air pori yang terjadi sedangkan **Tabel 5.21** akan menunjukkan besar tekanan tanah yang terjadi didepan dinding. Tekanan tanah di belakang dinding tidak berubah karena tidak ada perubahan elevasi tanah dibelakang dinding seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 5.9**. Seperti pada perhitungan sebelumnya, tekanan tanah dijadikan beban terpusat tiap meternya serti yang ditunjukkan oleh **Tabel 5.22**.

**Tabel 5.20** Perhitungan Tekanan Air Pori  
(Sumber : Hasil Analisis)

Titik	Ketebalan (m)	$\sigma_w$ (ton/m <sup>3</sup> )
1	0	0
2	8	8
3	30	0

**Tabel 5.21** Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

Lapisan	H (m)	ketebalan (m)	Titik	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{vaktif}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{vpasif}$ (t/m <sup>2</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	K0	Ka	Kp	$\sigma_{h0}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hp}$ (t/m <sup>2</sup> )
1	8	15	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0,000	0,5	0,000	1,000	1,000	1,000	1,500	1,000
	23		2 atas			10,146	8,646						10,146	9,646
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	10,146	8,646	0	28,000	0,531	0,361	2,770	5,382	23,947
	25		3 atas			11,346	9,846						6,019	27,270
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	11,346	9,846	0	37,250	0,395	0,246	4,067	4,478	40,042
	28		4 atas			13,971	12,471						5,514	50,718
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	13,971	12,471	0	41,000	0,344	0,208	4,815	4,805	60,045
	30		5 atas			16,351	14,851						5,624	71,507
5	30	15	5 bawah	2,190	1,190	16,351	14,851	0	41,000	0,344	0,208	4,815	5,624	71,507
	45		6 atas			34,206	32,706						11,765	157,476

**Tabel 5.22** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalian Kedua  
(*Sumber : Hasil Analisis*)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
8,5	4,094	0,00431	1200	1,288	9,2645	1,2882	NO
9,5	4,670	0,00445	1200	1,865	10,0148	1,8646	NO
10,5	5,246	0,00451	1200	2,441	10,6608	2,4409	NO
11,5	5,823	0,00449	1200	3,017	11,2060	3,0173	NO
12,5	6,399	0,00438	1200	3,594	11,6575	3,5937	NO
13,5	6,975	0,00421	1200	4,170	12,0239	4,1700	NO
14,5	7,552	0,00397	1200	4,746	12,3147	4,7464	NO
15,5	8,128	0,00368	1200	5,323	12,5406	5,3228	NO
16,5	8,705	0,00334	1200	5,899	12,7174	5,8991	NO
17,5	9,281	0,00298	1200	6,475	12,8558	6,4755	NO
18,5	9,857	0,00260	1200	7,052	12,9713	7,0519	NO
19,5	10,434	0,00220	1200	7,628	13,0773	7,6282	NO
20,5	11,010	0,00182	1200	8,205	13,1881	8,2046	NO
21,5	11,586	0,00144	1200	8,781	13,3180	8,7810	NO
22,5	12,163	0,00110	1200	9,357	13,4780	9,3573	NO
23,5	6,765	0,00079	1800	24,778	8,1796	6,7648	YES
24,5	7,083	0,00052	2400	26,439	8,3335	7,0831	YES
25,5	5,561	0,00031	2700	41,822	6,4032	5,5608	YES
26,5	5,906	0,00016	3000	45,380	6,3862	5,9062	YES
27,5	6,252	0,00006	3000	48,939	6,4405	6,2515	YES
28,5	5,803	0,00001	3900	62,911	5,8534	5,8027	YES
29,5	6,212	0,00000	4800	68,642	6,2013	6,2121	YES

Dengan adanya beban terpusat dari 2 sisi dinding, analisis dinding dapat dilakukan. Pada analisis iterasi pertama penggalian terakhir, defleksi dinding di penggalian pertama iterasi terakhir akan diperhitungkan sebagai beban. Rekapitulasi beban terpusat yang terjadi pada iterasi pertama dilihat pada **Tabel 5.22** dan **Tabel 5.23** untuk beban di sisi depan dan belakang dinding.

**Tabel 5.23** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan *Ks* di Belakang Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua

(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0007	1200	1,076	1,2556	2,0764	YES
2	2,653	0,0014	1200	1,653	1,0291	1,6527	NO
3	3,229	0,0020	1200	2,229	0,8399	2,2291	NO
4	3,805	0,0026	1200	2,805	0,7119	2,8055	NO
5	4,382	0,0031	1200	3,382	0,6594	3,3818	NO
6	4,958	0,0036	1200	3,958	0,6982	3,9582	NO
7	5,535	0,0039	1200	4,535	0,8354	4,5346	NO
8	6,111	0,0042	1200	5,111	1,0769	5,1109	NO
9	6,687	0,0044	1200	5,687	1,4253	5,6873	NO
10	7,264	0,0045	1200	6,264	1,8805	6,2637	NO
11	7,840	0,0045	1200	6,840	2,4400	6,8400	NO
12	8,416	0,0044	1200	7,416	3,0956	7,4164	NO
13	8,993	0,0043	1200	7,993	3,8412	7,9928	NO
14	9,569	0,0041	1200	8,569	4,6672	8,5692	NO
15	10,146	0,0038	1200	9,146	5,5627	9,1455	NO
16	10,722	0,0035	1200	9,722	6,5159	9,7219	NO
17	11,298	0,0032	1200	10,298	7,5123	10,2983	NO
18	11,875	0,0028	1200	10,875	8,5386	10,8746	NO
19	12,451	0,0024	1200	11,451	9,5818	11,4510	NO
20	13,027	0,0020	1200	12,027	10,6274	12,0274	NO
21	13,604	0,0016	1200	12,604	11,6609	12,6037	NO
22	14,180	0,0013	1200	13,180	12,6693	13,1801	NO
23	14,756	0,0009	1200	13,756	13,6393	13,7565	NO
24	8,147	0,0006	2400	5,544	6,6038	8,1470	YES
25	8,465	0,0004	2400	5,761	7,4886	8,4654	YES
26	6,643	0,0002	3000	4,138	5,9625	6,6435	YES
27	6,989	0,0001	3000	4,354	6,6768	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,2352	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,7895	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

Hasil yang diambil pada proses iterasi ini adalah besar defleksi dari tiap titik tangkap beban terpusat yang ada. Hasil defleksi ini akan mempengaruhi apakah spring tanah di titik tersebut masih berkerja atau tidak, serta akan mempengaruhi besar tekanan tanah aktif dan pasifnya. Hasil dari defleksi pada Iterasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 5.24**.

**Tabel 5.24** Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama  
Penggalian Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	8,5	0,00559
1	0,0003	9,5	0,00699
2	0,0004	10,5	0,00828
3	0,0004	11,5	0,00938
4	0,0000	12,5	0,01026
5	0,0009	13,5	0,01088
6	0,0020	14,5	0,01123
7	0,0034	15,5	0,01129
8	0,0049	16,5	0,01108
9	0,0063	17,5	0,01060
10	0,0077	18,5	0,00988
11	0,0089	19,5	0,00896
12	0,0099	20,5	0,00787
13	0,0106	21,5	0,00667
14	0,0111	22,5	0,00542
15	0,0113	23,5	0,00418
16	0,0112	24,5	0,00303
17	0,0109	25,5	0,00203
18	0,0103	26,5	0,00122
19	0,0094	27,5	0,00061
20	0,0084	28,5	0,00021
21	0,0073	29,5	0,00002
22	0,0060		
23	0,0048		
24	0,0036		
25	0,0025		
26	0,0016		
27	0,0009		
28	0,0004		
29	0,0001		
30	0,0000		

Dengan hasil diatas, proses perhitungan untuk iterasi berikutnya dapat dilakukan. Hasil iterasi terakhir akan ditunjukkan oleh **Tabel 5.25** dan **Tabel 5.26** untuk tekanan lateral tanah yang menjadi beban terpusat dinding, sedangkan **Tabel 5.27** dan **Gambar 5.14**.

**Tabel 5.25** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maksimum, dan  $K_s$  di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir Penggalan Kedua

(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
8,5	4,094	0,00492	1200	1,288	9,9941	1,2882	NO
9,5	4,670	0,00616	1200	1,865	12,0560	1,8646	NO
10,5	5,246	0,00729	1200	2,441	13,9884	2,4409	NO
11,5	5,823	0,00826	1200	3,017	15,7324	3,0173	NO
12,5	6,399	0,00903	1200	3,594	17,2399	3,5937	NO
13,5	6,975	0,00959	1200	4,170	18,4799	4,1700	NO
14,5	7,552	0,00990	1200	4,746	19,4319	4,7464	NO
15,5	8,128	0,00997	1200	5,323	20,0910	5,3228	NO
16,5	8,705	0,00980	1200	5,899	20,4586	5,8991	NO
17,5	9,281	0,00939	1200	6,475	20,5502	6,4755	NO
18,5	9,857	0,00878	1200	7,052	20,3909	7,0519	NO
19,5	10,434	0,00799	1200	7,628	20,0169	7,6282	NO
20,5	11,010	0,00705	1200	8,205	19,4701	8,2046	NO
21,5	11,586	0,00601	1200	8,781	18,8020	8,7810	NO
22,5	12,163	0,00492	1200	9,357	18,0704	9,3573	NO
23,5	6,765	0,00384	1800	24,778	13,6714	6,7648	YES
24,5	7,083	0,00282	2400	26,439	13,8391	7,0831	YES
25,5	5,561	0,00191	2700	41,822	10,7232	5,5608	YES
26,5	5,906	0,00116	3000	45,380	9,3952	5,9062	YES
27,5	6,252	0,00059	3000	48,939	8,0275	6,2515	YES
28,5	5,803	0,00021	3900	62,911	6,6256	5,8027	YES
29,5	6,212	0,00002	4800	68,642	6,3177	6,2121	YES

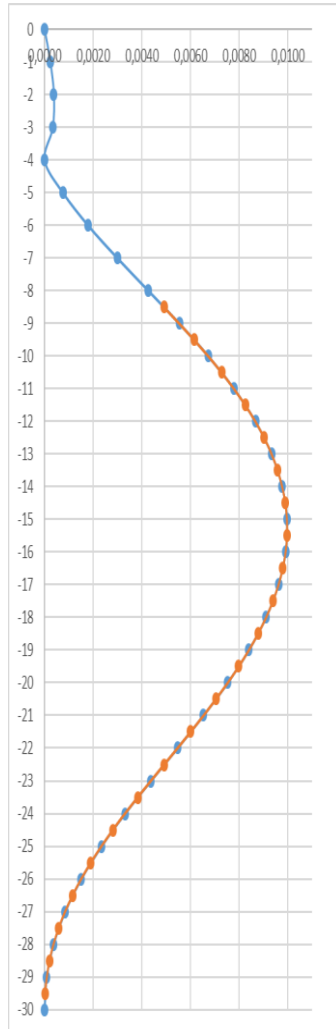
**Tabel 5.26** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*,  
 Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada  
 Iterasi Terakhir Penggalan Kedua  
 (Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0002	1200	1,076	1,7896	2,0764	YES
2	2,653	0,0004	1200	1,653	2,1943	2,6527	YES
3	3,229	0,0003	1200	2,229	2,8271	3,2291	YES
4	3,805	0,0000	1200	2,805	3,8055	3,8055	YES
5	4,382	0,0008	1200	3,382	3,4698	4,3818	YES
6	4,958	0,0018	1200	3,958	2,8042	3,9582	NO
7	5,535	0,0030	1200	4,535	1,9358	4,5346	NO
8	6,111	0,0043	1200	5,111	0,9785	5,1109	NO
9	6,687	0,0055	1200	5,687	0,0321	5,6873	NO
10	7,264	0,0067	1200	6,264	-0,8219	6,2637	NO
11	7,840	0,0078	1200	6,840	-1,5128	6,8400	NO
12	8,416	0,0087	1200	7,416	-1,9912	7,4164	NO
13	8,993	0,0093	1200	7,993	-2,2152	7,9928	NO
14	9,569	0,0098	1200	8,569	-2,1608	8,5692	NO
15	10,146	0,0100	1200	9,146	-1,8137	9,1455	NO
16	10,722	0,0099	1200	9,722	-1,1725	9,7219	NO
17	11,298	0,0096	1200	10,298	-0,2469	10,2983	NO
18	11,875	0,0091	1200	10,875	0,9426	10,8746	NO
19	12,451	0,0084	1200	11,451	2,3662	11,4510	NO
20	13,027	0,0075	1200	12,027	3,9854	12,0274	NO
21	13,604	0,0065	1200	12,604	5,7533	12,6037	NO
22	14,180	0,0055	1200	13,180	7,6125	13,1801	NO
23	14,756	0,0044	1200	13,756	9,5029	13,7565	NO
24	8,147	0,0033	2400	5,544	0,1910	5,5442	NO
25	8,465	0,0023	2400	5,761	2,8302	5,7608	NO
26	6,643	0,0015	3000	4,138	2,0925	4,1385	NO
27	6,989	0,0009	3000	4,354	4,4238	6,9888	YES
28	7,334	0,0004	3000	4,569	6,2002	7,3342	YES
29	6,800	0,0001	4800	4,106	6,3539	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES



**Tabel 5.27** Nilai Defleksi  
Tiap Titik Pada Iterasi  
Terakhir Penggalan Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	-8,5	0,004917
-1	0,0002	-9,5	0,006155
-2	0,0004	-10,5	0,007285
-3	0,0003	-11,5	0,008258
-4	0,0000	-12,5	0,009034
-5	0,0008	-13,5	0,009587
-6	0,0018	-14,5	0,0099
-7	0,0030	-15,5	0,009969
-8	0,0043	-16,5	0,009795
-9	0,0055	-17,5	0,009391
-10	0,0067	-18,5	0,008778
-11	0,0078	-19,5	0,007986
-12	0,0087	-20,5	0,00705
-13	0,0093	-21,5	0,006013
-14	0,0098	-22,5	0,004923
-15	0,0100	-23,5	0,003837
-16	0,0099	-24,5	0,002815
-17	0,0096	-25,5	0,001912
-18	0,0091	-26,5	0,001163
-19	0,0084	-27,5	0,000592
-20	0,0075	-28,5	0,000211
-21	0,0065	-29,5	0,000022
-22	0,0055		
-23	0,0044		
-24	0,0033		
-25	0,0023		
-26	0,0015		
-27	0,0009		
-28	0,0004		
-29	0,0001		
-30	0,0000		



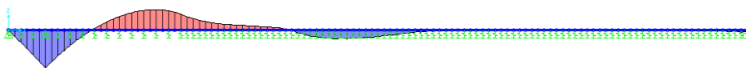
**Gambar 5.14** Defleksi  
dinding pada iterasi terakhir  
penggalan kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

## 2. Model 2

Potongan model 2 terdapat pada **Gambar 5.11**. Pada perencanaan ini, penggalian akan dilaksanakan hingga elevasi -14,00 meter. Fase penggalian akan dibagi menjadi 2, penggalian pertama pada elevasi -3,00 meter, dan penggalian kedua pada elevasi -14,00 meter. Data tanah yang digunakan terdapat pada **Tabel 4.1**.

Asumsi awal diameter *pile* adalah 1,5 m, kedalaman pile awal adalah 60 m, dan beban *surcharge* tambahan sebesar 1,5 t/m<sup>2</sup>. Dengan menggunakan asumsi awal tersebut, perhitungan untuk mencari kedalaman *pile* dapat dilakukan.

Dalam menentukan kedalaman dinding, digunakan permodelan pada program bantu SAP2000 pada kedalaman 14 m dengan dua perletakan sendi pada elevasi 0 meter dan 3 meter. Beban yang terjadi pada dinding adalah tekanan lateral tanah pada kondisi *atrest* dan tekanan air pori. **Tabel 5.28** dan **Tabel 5.29** menunjukkan perhitungan tekanan horizontal di belakang dinding dan di depan dinding. **Tabel 5.30** menunjukkan tekanan air pori. Tekanan lateral *atrest* akan menjadi beban terpusat setiap meternya pada dinding penahan, sedangkan tekanan air pori sebagai beban trapezoidal, dan *coeficient of subgrade* (ks) sebagai nilai koefisien pegas. Rekapitulasi tekanan lateral tanah pada kondisi *atrest* dan ks di belakang dinding ditunjukkan pada **Tabel 5.31**, dan di depan dinding ditunjukkan pada **Tabel 5.32**. Kemudian panjang *secant pile* ditentukan dari bidang momen yang dihasilkan, ketika momen menunjukkan nilai mendekati 0 atau 0 maka pada titik tersebut merupakan panjang *secant pile*. Nilai momen mendekati 0 terletak pada kedalaman 35,804 m (**Gambar 5.15**) dan sebagai faktor keamanan, kedalaman dinding akan ditambah hingga kedalaman 45 meter.



**Gambar 5.15** Bidang momen permodelan SAP2000  
(Sumber : Hasil Analisis)

**Tabel 5.28** Perhitungan Tekanan Horizontal di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisa)

Lapisan	depth bor (m)	ketebalan (m)	Titik	ysat (ton/m3)	$\gamma'$ (ton/m3)	$\sigma_{aktif}$ (t/m2)	$\sigma_{pasif}$ (t/m2)	Cu (t/m2)	$\phi$ (°)	K0	Ka	Kp	$\sigma_h$ (t/m2)	$\sigma_a$ (t/m2)	$\sigma_p$ (t/m2)
1	0	23	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0	0,5	0	1,000	1,000	1,000	1,500	0,500	1,000
	23		2 atas			14,756	13,256						14,756	13,756	14,256
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	14,756	13,256	0	28,000	0,531	0,361	2,770	7,829	5,328	36,718
	25		3 atas			15,956	14,456						8,465	5,761	40,042
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	15,956	14,456	0	37,250	0,395	0,246	4,067	6,298	3,923	58,795
	28		4 atas			18,581	17,081						7,334	4,569	69,471
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	18,581	17,081	0	41,000	0,344	0,208	4,815	6,391	3,859	82,246
	30		5 atas			20,962	19,462						7,210	4,354	93,709
5	30	30	5 bawah	2,190	1,190	20,962	19,462	0	41,000	0,344	0,208	4,815	7,210	4,354	93,709
	60		6 atas			56,671	55,171						19,492	11,770	265,646

**Tabel 5.29** Perhitungan Tekanan Horizontal di Depan Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

Lapisan	depth bor (m)	ketebalan (m)	Titik	ysat (ton/m3)	$\gamma'$ (ton/m3)	$\sigma_{aktif}$ (t/m2)	$\sigma_{pasif}$ (t/m2)	Cu (t/m2)	$\phi$ (°)	K0	Ka	Kp	$\sigma_h$ (t/m2)	$\sigma_a$ (t/m2)	$\sigma_p$ (t/m2)
1	14	9	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0	0,5	0	1,000	1,000	1,000	1,500	0,500	1,000
	23		2 atas			6,687	5,187						6,687	5,687	6,187
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	6,687	5,187	0	28	0,531	0,361	2,770	3,548	2,414	14,368
	25		3 atas			7,887	6,387						4,184	2,848	17,692
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	7,887	6,387	0	37	0,395	0,246	4,067	3,113	1,939	25,978
	28		4 atas			10,512	9,012						4,149	2,585	36,654
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	10,512	9,012	0	41	0,344	0,208	4,815	3,616	2,183	43,394
	30		5 atas			12,893	11,393						4,434	2,678	54,856
5	30	30	5 bawah	2,190	1,190	12,893	11,393	0	41	0,344	0,208	4,815	4,434	2,678	54,856
	60		6 atas			48,602	47,102						16,716	10,094	226,704

**Tabel 5.30** Perhitungan Tekanan Air Pori  
(Sumber : Hasil Analisis)

Titik	Ketebalan (m)	$\sigma_w$ (ton/m <sup>3</sup> )
1	0	0
2	14	14
3	60	0

**Tabel 5.31** Rekapitulasi  
Tekanan Lateral Pada  
Kondisi *Atrest* dan ks di  
Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks
	(ton)	(ton/m <sup>2</sup> )
0	1,500	1200
1	2,076	1200
2	2,653	1200
3	3,229	1200
4	3,805	1200
5	4,382	1200
6	4,958	1200
7	5,535	1200
8	6,111	1200
9	6,687	1200
10	7,264	1200
11	7,840	1200
12	8,416	1200
13	8,993	1200
14	9,569	1200
15	10,146	1200
16	10,722	1200
17	11,298	1200

**Tabel 5.31** Rekapitulasi  
Tekanan Lateral Pada  
Kondisi *Atrest* dan ks di  
Belakang Dinding  
(Lanjutan)  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks
	(ton)	(ton/m <sup>2</sup> )
18	11,875	1200
19	12,451	1200
20	13,027	1200
21	13,604	1200
22	14,180	1200
23	14,756	1200
24	8,147	2400
25	8,465	2400
26	6,643	3000
27	6,989	3000
28	7,334	3000
29	6,800	4800
30	7,210	4800
31	7,619	4800
32	8,029	4800
33	8,438	4800
34	8,847	4800

**Tabel 5.31** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan  
 ks di Belakang Dinding (Lanjutan)  
 (Sumber : Hasil Analisis)

<b>H (m)</b>	<b>P0</b>	<b>Ks</b>
	<b>(ton)</b>	<b>(ton/m<sup>2</sup>)</b>
35	9,257	4800
36	9,666	4800
37	10,075	4800
38	10,485	4800
39	10,894	4800
40	11,304	4800
41	11,713	4800
42	12,122	4800
43	12,532	4800
44	12,941	4800
45	13,351	4800
46	13,760	4800
47	14,169	4800
48	14,579	4800
49	14,988	4800
50	15,398	4800
51	15,807	4800
52	16,216	4800
53	16,626	4800
54	17,035	4800
55	17,445	4800
56	17,854	4800
57	18,263	4800
58	18,673	4800
59	19,082	4800
60	19,492	4800

**Tabel 5.32** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan ks di Depan Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks
	(ton)	(ton/m <sup>2</sup> )
14,5	1,788	1200
15,5	2,365	1200
16,5	2,941	1200
17,5	3,517	1200
18,5	4,094	1200
19,5	4,670	1200
20,5	5,246	1200
21,5	5,823	1200
22,5	6,399	1200
23,5	3,707	1800
24,5	4,025	2400
25,5	3,286	2700
26,5	3,631	3000
27,5	3,977	3000
28,5	3,820	3900
29,5	4,230	4800
30,5	4,639	4800
31,5	5,048	4800
32,5	5,458	4800
33,5	5,867	4800
34,5	6,277	4800
35,5	6,686	4800
36,5	7,095	4800

**Tabel 5.32** Rekapitulasi Tekanan Lateral Pada Kondisi *Atrest* dan ks di Depan Dinding (Lanjutan)  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0	Ks
	(ton)	(ton/m <sup>2</sup> )
37,5	7,505	4800
38,5	7,914	4800
39,5	8,324	4800
40,5	8,733	4800
41,5	9,142	4800
42,5	9,552	4800
43,5	9,961	4800
44,5	10,371	4800
45,5	10,780	4800
46,5	11,189	4800
47,5	11,599	4800
48,5	12,008	4800
49,5	12,418	4800
50,5	12,827	4800
51,5	13,236	4800
52,5	13,646	4800
53,5	14,055	4800
54,5	14,465	4800
55,5	14,874	4800
56,5	15,283	4800
57,5	15,693	4800
58,5	16,102	4800
59,5	16,512	4800

Pada perhitungan dinding ini, fase penggalian *approach* akan dibagi menjadi dua. Pada fase pertama, output yang dihasilkan adalah defleksi yang nantinya akan diperhitungkan sebagai beban *ground displacement* pada penggalian fase kedua. Dinding penahan tanah yang direncanakan harus mampu menahan beban tanah pada proses penggalian dan masa operasionalnya.

a. Penggalian Pertama

Berdasarkan panjang yang didapatkan, tekanan lateral tanah dan tekanan pori air perlu dihitung ulang sesuai dengan kedalaman yang telah ditentukan. Pada perhitungan ini akan dihitung pula tekanan lateral tanah aktif minimum dan pasif maksimum yang menjadi batas atas atau bawah dari tekanan lateral tanah pada perhitungan iterasi. Besar tekanan air akan berubah pula, yang akan ditunjukkan oleh **Tabel 5.33**. Hasil perhitungan tekanan lateral tanah aktif minimum akan ditunjukkan oleh **Tabel 5.34** untuk sisi belakang dinding penahan tanah dan hasil perhitungan tekanan lateral tanah pasif maksimum ditunjukkan oleh **Tabel 5.35** untuk sisi didepan dinding penahan tanah.

**Tabel 5.33** Perhitungan Tekanan Air Pori  
(Sumber : Hasil Analisis)

Titik	Ketebalan (m)	$\sigma_w$ (ton/m <sup>2</sup> )
1	0	0
2	3	3
3	45	0

**Tabel 5.34** Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Aktif Minimum di Belakang Dinding*Sumber : (Hasil Analisis)*

Lapisan	H (m)	ketebalan (m)	Titik	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{vaktif}$ (t/m <sup>2</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	K <sub>0</sub>	K <sub>a</sub>	$\sigma_{h0}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{ha}$ (t/m <sup>2</sup> )
1	0	23	1 bawah	1,576	0,5764	1,500	0,5	0	1,000	1,000	1,500	0,500
	23		2 atas			14,756					14,756	13,756
2	23	2	2 bawah	1,600	0,6000	14,756	0	28,00	0,531	0,361	7,829	5,328
	25		3 atas			15,956					8,465	5,761
3	25	3	3 bawah	1,875	0,8750	15,956	0	37,25	0,395	0,246	6,298	3,923
	28		4 atas			18,581					7,334	4,569
4	28	2	4 bawah	2,190	1,1903	18,581	0	41,00	0,344	0,208	6,391	3,859
	30		5 atas			20,962					7,210	4,354
5	30	15	5 bawah	2,190	1,1903	20,962	0	41,00	0,344	0,208	7,210	4,354
	45		6 atas			38,817					13,351	8,062

**Tabel 5.35** Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding*Sumber : (Hasil Analisis)*

Lapisan	H (m)	ketebalan (m)	Titik	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{vaktif}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{vpasif}$ (t/m <sup>2</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	K <sub>0</sub>	K <sub>a</sub>	K <sub>p</sub>	$\sigma_{h0}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hp}$ (t/m <sup>2</sup> )
1	3	20	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0,000	0,5	0,000	1,000	1,000	1,000	1,500	1,000
	23		2 atas			13,027	11,527						13,027	12,527
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	13,027	11,527	0	28,000	0,531	0,361	2,770	6,911	31,929
	25		3 atas			14,227	12,727						7,548	35,253
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	14,227	12,727	0	37,250	0,395	0,246	4,067	5,616	51,763
	28		4 atas			16,852	15,352						6,652	62,439
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	16,852	15,352	0	41,000	0,344	0,208	4,815	5,796	73,921
	30		5 atas			19,233	17,733						6,615	85,383
5	30	15	5 bawah	2,190	1,190	19,233	17,733	0	41,000	0,344	0,208	4,815	6,615	85,383
	45		6 atas			37,087	35,587						12,756	171,352



Pada proses perhitungan, besar tekanan lateral tanah akan dijadikan beban tiap meter kedalaman yang berkerja di tiang dinding. Rekapitulasi tekanan tanah pada kondisi *atrest*, batas gaya aktif minimum, dan ks di belakang dinding ditunjukkan oleh **Tabel 5.36**, sedangkan rekapitulasi tekanan tanah pada kondisi *atrest*, batas gaya pasif maksimum, dan ks di depan dinding ditunjukkan oleh **Tabel 5.37**. Pada perhitungan dengan SAP2000, beban air akan di-inputkan ke dalam program bantu dalam bentuk beban trapezoidal. Pada iterasi pertama, besar gaya  $P_0$  akan di-inputkan sebagai beban terpusat pada titik pegas, karena diasumsikan pada iterasi ini tiang belum mengalami pergerakan, sedangkan nilai ks akan di-inputkan sebagai koefisien pegas. Hasil yang diambil dari menjalan program ini adalah defleksi yang terjadi pada tiang bored pile.

**Tabel 5.36** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	Pa min (ton)	ks (t/m2)
0	1,500	0,500	1200
1	2,076	1,076	1200
2	2,653	1,653	1200
3	3,229	2,229	1200
4	3,805	2,805	1200
5	4,382	3,382	1200
6	4,958	3,958	1200
7	5,535	4,535	1200
8	6,111	5,111	1200
9	6,687	5,687	1200
10	7,264	6,264	1200
11	7,840	6,840	1200
12	8,416	7,416	1200
13	8,993	7,993	1200
14	9,569	8,569	1200
15	10,146	9,146	1200
16	10,722	9,722	1200
17	11,298	10,298	1200
18	11,875	10,875	1200
19	12,451	11,451	1200
20	13,027	12,027	1200
21	13,604	12,604	1200
22	14,180	13,180	1200
23	14,756	13,756	1200
24	8,147	5,544	2400
25	8,465	5,761	2400
26	6,643	4,138	3000
27	6,989	4,354	3000
28	7,334	4,569	3000
29	6,800	4,106	4800
30	7,210	4,354	4800
31	7,619	4,601	4800
32	8,029	4,848	4800
33	8,438	5,095	4800
34	8,847	5,342	4800
35	9,257	5,590	4800
36	9,666	5,837	4800
37	10,075	6,084	4800
38	10,485	6,331	4800
39	10,894	6,578	4800
40	11,304	6,826	4800
41	11,713	7,073	4800
42	12,122	7,320	4800
43	12,532	7,567	4800
44	12,941	7,814	4800
45	13,351	8,062	4800

**Tabel 5.37** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Belakang Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	Pp max (ton)	ks (t/m2)
3,5	1,788	1,288	1200
4,5	2,365	1,865	1200
5,5	2,941	2,441	1200
6,5	3,517	3,017	1200
7,5	4,094	3,594	1200
8,5	4,670	4,170	1200
9,5	5,246	4,746	1200
10,5	5,823	5,323	1200
11,5	6,399	5,899	1200
12,5	6,975	6,475	1200
13,5	7,552	7,052	1200
14,5	8,128	7,628	1200
15,5	8,705	8,205	1200
16,5	9,281	8,781	1200
17,5	9,857	9,357	1200
18,5	10,434	9,934	1200
19,5	11,010	10,510	1200
20,5	11,586	11,086	1200
21,5	12,163	11,663	1200
22,5	12,739	12,239	1200
23,5	7,071	32,760	1800
24,5	7,389	34,422	2400
25,5	5,788	53,542	2700
26,5	6,134	57,101	3000
27,5	6,479	60,660	3000
28,5	6,001	76,786	3900
29,5	6,410	82,518	4800
30,5	6,820	88,249	4800
31,5	7,229	93,980	4800
32,5	7,638	99,711	4800
33,5	8,048	105,443	4800
34,5	8,457	111,174	4800
35,5	8,867	116,905	4800
36,5	9,276	122,636	4800
37,5	9,685	128,368	4800
38,5	10,095	134,099	4800
39,5	10,504	139,830	4800
40,5	10,914	145,561	4800
41,5	11,323	151,293	4800
42,5	11,732	157,024	4800
43,5	12,142	162,755	4800
44,5	12,551	168,486	4800

Setelah dilakukan proses perhitungan dalam program bantu SAP2000, akan diambil hasil defleksi yang terjadi seperti pada **Tabel 5.38** untuk iterasi pertama. Hasil defleksi ini akan digunakan untuk menghitung gaya lateral tanah pada iterasi berikutnya.

**Tabel 5.38** Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama

(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,00000	3,5	0,00006
1	0,00002	4,5	0,00007
2	0,00004	5,5	0,00007
3	0,00005	6,5	0,00007
4	0,00006	7,5	0,00006
5	0,00007	8,5	0,00005
6	0,00007	9,5	0,00003
7	0,00006	10,5	0,00001
8	0,00005	11,5	-0,00001
9	0,00004	12,5	-0,00003
10	0,00002	13,5	-0,00005
11	0,00001	14,5	-0,00007
12	-0,00002	15,5	-0,00009
13	-0,00004	16,5	-0,00011
14	-0,00006	17,5	-0,00013
15	-0,00008	18,5	-0,00015
16	-0,00010	19,5	-0,00016
17	-0,00012	20,5	-0,00017
18	-0,00014	21,5	-0,00019
19	-0,00015	22,5	-0,00020
20	-0,00017	23,5	-0,00021
21	-0,00018	24,5	-0,00022
22	-0,00019	25,5	-0,00024
23	-0,00020	26,5	-0,00025
24	-0,00022	27,5	-0,00027
25	-0,00023	28,5	-0,00028
26	-0,00025	29,5	-0,00028
27	-0,00026	30,5	-0,00029
28	-0,00027	31,5	-0,00030
29	-0,00028	32,5	-0,00030
30	-0,00029	33,5	-0,00030
31	-0,00029	34,5	-0,00030
32	-0,00030	35,5	-0,00030
33	-0,00030	36,5	-0,00029
34	-0,00030	37,5	-0,00027
35	-0,00030	38,5	-0,00025
36	-0,00029	39,5	-0,00022
37	-0,00028	40,5	-0,00018
38	-0,00026	41,5	-0,00013
39	-0,00023	42,5	-0,00008
40	-0,00020	43,5	-0,00004
41	-0,00015	44,5	-0,00001
42	-0,00011		
43	-0,00006		
44	-0,00002		
45	0,00000		

Pada perhitungan iterasi berikutnya, besar deformasi dari **Tabel 5.38** mempengaruhi besar gaya pada iterasi berikutnya. Besar gaya akan membesar atau mengecil berdasarkan defleksi yang terjadi. Perhitungan gaya yang menjadi iterasi kedua ditunjukkan oleh **Tabel 5.39** untuk sisi tanah di depan dinding dan **Tabel 5.40** untuk sisi tanah di belakang dinding. Hasil defleksi dari SAP2000 ditunjukkan oleh **Tabel 5.41**.

**Tabel 5.39** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (kN/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
3.5	1,788	0.0001	1200	1,288	1,8578	1,2882	NO
4.5	2,365	0.0001	1200	1,865	2,4426	1,8646	NO
5.5	2,941	0.0001	1200	2,441	3,0225	2,4409	NO
6.5	3,517	0.0001	1200	3,017	3,5965	3,0173	NO
7.5	4,094	0.0001	1200	3,594	4,1645	3,5937	NO
8.5	4,670	0.0000	1200	4,170	4,7264	4,1700	NO
9.5	5,246	0.0000	1200	4,746	5,2848	4,7464	NO
10.5	5,823	0.0000	1200	5,323	5,8396	5,3228	NO
11.5	6,399	0.0000	1200	5,899	6,3927	5,8991	NO
12.5	6,975	0.0000	1200	6,475	6,9431	6,4755	NO
13.5	7,552	0.0000	1200	7,052	7,4943	7,0519	NO
14.5	8,128	-0.0001	1200	7,628	8,0442	7,6282	NO
15.5	8,705	-0.0001	1200	8,205	8,5954	8,2046	NO
16.5	9,281	-0.0001	1200	8,781	9,1478	8,7810	NO
17.5	9,857	-0.0001	1200	9,357	9,7025	9,3573	NO
18.5	10,434	-0.0001	1200	9,934	10,2597	9,9337	NO
19.5	11,010	-0.0002	1200	10,510	10,8181	10,5101	NO
20.5	11,586	-0.0002	1200	11,086	11,3788	11,0864	NO
21.5	12,163	-0.0002	1200	11,663	11,9408	11,6628	NO
22.5	12,739	-0.0002	1200	12,239	12,5028	12,2392	NO
23.5	7,071	-0.0002	1800	32,760	6,6943	7,0705	YES
24.5	7,389	-0.0002	2400	34,422	6,8513	7,3889	YES
25.5	5,788	-0.0002	2700	53,542	5,1430	5,7883	YES
26.5	6,134	-0.0003	3000	57,101	5,3747	6,1337	YES
27.5	6,479	-0.0003	3000	60,660	5,6840	6,4790	YES
28.5	6,001	-0.0003	3900	76,786	4,9284	6,0009	YES
29.5	6,410	-0.0003	4800	82,518	5,0471	6,4103	YES
30.5	6,820	-0.0003	4800	88,249	5,4229	6,8197	YES
31.5	7,229	-0.0003	4800	93,980	5,8035	7,2291	YES
32.5	7,638	-0.0003	4800	99,711	6,1937	7,6385	YES
33.5	8,048	-0.0003	4800	105,443	6,5887	8,0479	YES
34.5	8,457	-0.0003	4800	111,174	7,0029	8,4573	YES
35.5	8,867	-0.0003	4800	116,905	7,4363	8,8667	YES
36.5	9,276	-0.0003	4800	122,636	7,8937	9,2761	YES
37.5	9,685	-0.0003	4800	128,368	8,3847	9,6855	YES
38.5	10,095	-0.0002	4800	134,099	8,9092	10,0948	YES
39.5	10,504	-0.0002	4800	139,830	9,4674	10,5042	YES
40.5	10,914	-0.0002	4800	145,561	10,0688	10,9136	YES
41.5	11,323	-0.0001	4800	151,293	10,6942	11,3230	YES
42.5	11,732	-0.0001	4800	157,024	11,3340	11,7324	YES
43.5	12,142	0.0000	4800	162,755	11,9498	12,1418	YES
44.5	12,551	0.0000	4800	168,486	12,5105	12,5512	YES

**Tabel 5.40** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0000	1200	1,076	2,0536	2,0764	YES
2	2,653	0,0000	1200	1,653	2,6083	2,6527	YES
3	3,229	0,0001	1200	2,229	3,1667	3,2291	YES
4	3,805	0,0001	1200	2,805	3,7311	3,8055	YES
5	4,382	0,0001	1200	3,382	4,3002	4,3818	YES
6	4,958	0,0001	1200	3,958	4,8766	4,9582	YES
7	5,535	0,0001	1200	4,535	5,4590	5,5346	YES
8	6,111	0,0001	1200	5,111	6,0461	6,1109	YES
9	6,687	0,0000	1200	5,687	6,6381	6,6873	YES
10	7,264	0,0000	1200	6,264	7,2349	7,2637	YES
11	7,840	0,0000	1200	6,840	7,8333	7,8400	YES
12	8,416	0,0000	1200	7,416	8,4344	8,4164	YES
13	8,993	0,0000	1200	7,993	9,0360	8,9928	YES
14	9,569	-0,0001	1200	8,569	9,6388	9,5692	YES
15	10,146	-0,0001	1200	9,146	10,2403	10,1455	YES
16	10,722	-0,0001	1200	9,722	10,8419	10,7219	YES
17	11,298	-0,0001	1200	10,298	11,4411	11,2983	YES
18	11,875	-0,0001	1200	10,875	12,0378	11,8746	YES
19	12,451	-0,0002	1200	11,451	12,6334	12,4510	YES
20	13,027	-0,0002	1200	12,027	13,2254	13,0274	YES
21	13,604	-0,0002	1200	12,604	13,8173	13,6037	YES
22	14,180	-0,0002	1200	13,180	14,4069	14,1801	YES
23	14,756	-0,0002	1200	13,756	14,9977	14,7565	YES
24	8,147	-0,0002	2400	5,544	8,6654	8,1470	YES
25	8,465	-0,0002	2400	5,761	9,0198	8,4654	YES
26	6,643	-0,0002	3000	4,138	7,3815	6,6435	YES
27	6,989	-0,0003	3000	4,354	7,7658	6,9888	YES
28	7,334	-0,0003	3000	4,569	8,1442	7,3342	YES
29	6,800	-0,0003	4800	4,106	8,1395	6,8003	YES
30	7,210	-0,0003	4800	4,354	8,5825	7,2097	YES
31	7,619	-0,0003	4800	4,601	9,0255	7,6191	YES
32	8,029	-0,0003	4800	4,848	9,4589	8,0285	YES
33	8,438	-0,0003	4800	5,095	9,8875	8,4379	YES
34	8,847	-0,0003	4800	5,342	10,3017	8,8473	YES
35	9,257	-0,0003	4800	5,590	10,6967	9,2567	YES
36	9,666	-0,0003	4800	5,837	11,0725	9,6661	YES
37	10,075	-0,0003	4800	6,084	11,4147	10,0755	YES
38	10,485	-0,0003	4800	6,331	11,7281	10,4849	YES
39	10,894	-0,0002	4800	6,578	12,0031	10,8943	YES
40	11,304	-0,0002	4800	6,826	12,2396	11,3036	YES
41	11,713	-0,0002	4800	7,073	12,4474	11,7130	YES
42	12,122	-0,0001	4800	7,320	12,6312	12,1224	YES
43	12,532	-0,0001	4800	7,567	12,8150	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0372	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

**Tabel 5.41** Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Kedua  
*Sumber : (Hasil Analisis)*

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	3,5	0,00024
1	0,0001	4,5	0,00030
2	0,0001	5,5	0,00034
3	0,0002	6,5	0,00037
4	0,0003	7,5	0,00039
5	0,0003	8,5	0,00040
6	0,0004	9,5	0,00039
7	0,0004	10,5	0,00038
8	0,0004	11,5	0,00036
9	0,0004	12,5	0,00034
10	0,0004	13,5	0,00030
11	0,0004	14,5	0,00027
12	0,0004	15,5	0,00023
13	0,0003	16,5	0,00018
14	0,0003	17,5	0,00014
15	0,0002	18,5	0,00010
16	0,0002	19,5	0,00005
17	0,0002	20,5	0,00001
18	0,0001	21,5	-0,00003
19	0,0001	22,5	-0,00007
20	0,0000	23,5	-0,00011
21	0,0000	24,5	-0,00015
22	-0,0001	25,5	-0,00019
23	-0,0001	26,5	-0,00022
24	-0,0001	27,5	-0,00025
25	-0,0002	28,5	-0,00027
26	-0,0002	29,5	-0,00028
27	-0,0002	30,5	-0,00029
28	-0,0003	31,5	-0,00030
29	-0,0003	32,5	-0,00031
30	-0,0003	33,5	-0,00031
31	-0,0003	34,5	-0,00031
32	-0,0003	35,5	-0,00030
33	-0,0003	36,5	-0,00029
34	-0,0003	37,5	-0,00028
35	-0,0003	38,5	-0,00025
36	-0,0003	39,5	-0,00022
37	-0,0003	40,5	-0,00018
38	-0,0003	41,5	-0,00013
39	-0,0002	42,5	-0,00008
40	-0,0002	43,5	-0,00004
41	-0,0002	44,5	-0,00001
42	-0,0001		
43	-0,0001		
44	0,0000		
45	0,0000		

Iterasi ini akan dilakukan hingga perbedaan dari defleksi sebesar 0.1 mm. Seluruh hasil dari iterasi dapat dilihat di *Lampiran 3*. Ketika perbedaan defleksi sudah mendekati 0,1 mm maka proses iterasi dapat dihentikan. Hasil dari iterasi terakhir penggalan pertama dapat dilihat pada **Tabel 5.42** dan **Tabel 5.43** untuk besar gaya yang terjadi, sedangkan **Tabel 5.44**, dan **Gambar 5.16** menunjukkan deformasi dinding yang terjadi setelah dilakukan penggalan pertama.

**Tabel 5.42** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir  
(*Sumber : Hasil Analisis*)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
3,5	1,788	0,0002	1200	1,288	2,0786	1,2882	NO
4,5	2,365	0,0003	1200	1,865	2,7186	1,8646	NO
5,5	2,941	0,0003	1200	2,441	3,3453	2,4409	NO
6,5	3,517	0,0004	1200	3,017	3,9589	3,0173	NO
7,5	4,094	0,0004	1200	3,594	4,5581	3,5937	NO
8,5	4,670	0,0004	1200	4,170	5,1440	4,1700	NO
9,5	5,246	0,0004	1200	4,746	5,7180	4,7464	NO
10,5	5,823	0,0004	1200	5,323	6,2812	5,3228	NO
11,5	6,399	0,0004	1200	5,899	6,8335	5,8991	NO
12,5	6,975	0,0003	1200	6,475	7,3787	6,4755	NO
13,5	7,552	0,0003	1200	7,052	7,9167	7,0519	NO
14,5	8,128	0,0003	1200	7,628	8,4486	7,6282	NO
15,5	8,705	0,0002	1200	8,205	8,9770	8,2046	NO
16,5	9,281	0,0002	1200	8,781	9,5018	8,7810	NO
17,5	9,857	0,0001	1200	9,357	10,0265	9,3573	NO
18,5	10,434	0,0001	1200	9,934	10,5501	9,9337	NO
19,5	11,010	0,0001	1200	10,510	11,0737	10,5101	NO
20,5	11,586	0,0000	1200	11,086	11,5984	11,0864	NO
21,5	12,163	0,0000	1200	11,663	12,1244	11,6628	NO
22,5	12,739	-0,0001	1200	12,239	12,6516	12,2392	NO
23,5	7,071	-0,0001	1800	32,760	6,8671	7,0705	YES
24,5	7,389	-0,0002	2400	34,422	7,0217	7,3889	YES
25,5	5,788	-0,0002	2700	53,542	5,2780	5,7883	YES
26,5	6,134	-0,0002	3000	57,101	5,4737	6,1337	YES
27,5	6,479	-0,0002	3000	60,660	5,7410	6,4790	YES
28,5	6,001	-0,0003	3900	76,786	4,9635	6,0009	YES
29,5	6,410	-0,0003	4800	82,518	5,0567	6,4103	YES
30,5	6,820	-0,0003	4800	88,249	5,4133	6,8197	YES
31,5	7,229	-0,0003	4800	93,980	5,7795	7,2291	YES
32,5	7,638	-0,0003	4800	99,711	6,1601	7,6385	YES
33,5	8,048	-0,0003	4800	105,443	6,5599	8,0479	YES
34,5	8,457	-0,0003	4800	111,174	6,9741	8,4573	YES
35,5	8,867	-0,0003	4800	116,905	7,4075	8,8667	YES
36,5	9,276	-0,0003	4800	122,636	7,8697	9,2761	YES
37,5	9,685	-0,0003	4800	128,368	8,3655	9,6855	YES
38,5	10,095	-0,0003	4800	134,099	8,8948	10,0948	YES
39,5	10,504	-0,0002	4800	139,830	9,4626	10,5042	YES
40,5	10,914	-0,0002	4800	145,561	10,0640	10,9136	YES
41,5	11,323	-0,0001	4800	151,293	10,6894	11,3230	YES
42,5	11,732	-0,0001	4800	157,024	11,3292	11,7324	YES
43,5	12,142	0,0000	4800	162,755	11,9498	12,1418	YES
44,5	12,551	0,0000	4800	168,486	12,5104	12,5512	YES

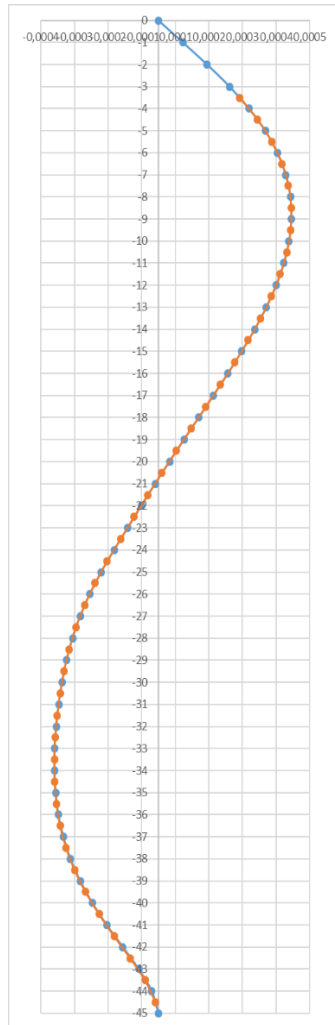
**Tabel 5.43** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Terakhir  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0001	1200	1,076	1,9888	2,0764	YES
2	2,653	0,0001	1200	1,653	2,4787	2,6527	YES
3	3,229	0,0002	1200	2,229	2,9747	3,2291	YES
4	3,805	0,0003	1200	2,805	3,4815	3,8055	YES
5	4,382	0,0003	1200	3,382	4,0002	4,3818	YES
6	4,958	0,0004	1200	3,958	4,5334	4,9582	YES
7	5,535	0,0004	1200	4,535	5,0798	5,5346	YES
8	6,111	0,0004	1200	5,111	5,6393	6,1109	YES
9	6,687	0,0004	1200	5,687	6,2121	6,6873	YES
10	7,264	0,0004	1200	6,264	6,7969	7,2637	YES
11	7,840	0,0004	1200	6,840	7,3912	7,8400	YES
12	8,416	0,0004	1200	7,416	7,9952	8,4164	YES
13	8,993	0,0003	1200	7,993	8,6076	9,0928	YES
14	9,569	0,0003	1200	8,569	9,2248	9,5692	YES
15	10,146	0,0002	1200	9,146	9,8479	10,1455	YES
16	10,722	0,0002	1200	9,722	10,4735	10,7219	YES
17	11,298	0,0002	1200	10,298	11,1015	11,2983	YES
18	11,875	0,0001	1200	10,875	11,7306	11,8746	YES
19	12,451	0,0001	1200	11,451	12,3598	12,4510	YES
20	13,027	0,0000	1200	12,027	12,9878	13,0274	YES
21	13,604	0,0000	1200	12,604	13,6154	13,6037	YES
22	14,180	-0,0001	1200	13,180	14,2413	14,1801	YES
23	14,756	-0,0001	1200	13,756	14,8657	14,7565	YES
24	8,147	-0,0001	2400	5,544	8,4638	8,1470	YES
25	8,465	-0,0002	2400	5,761	8,8734	8,4654	YES
26	6,643	-0,0002	3000	4,138	7,2555	6,6435	YES
27	6,989	-0,0002	3000	4,354	7,6878	6,9888	YES
28	7,334	-0,0003	3000	4,569	8,1022	7,3342	YES
29	6,800	-0,0003	4800	4,106	8,1155	6,8003	YES
30	7,210	-0,0003	4800	4,354	8,5873	7,2097	YES
31	7,619	-0,0003	4800	4,601	9,0447	7,6191	YES
32	8,029	-0,0003	4800	4,848	9,4877	8,0285	YES
33	8,438	-0,0003	4800	5,095	9,9211	8,4379	YES
34	8,847	-0,0003	4800	5,342	10,3305	8,8473	YES
35	9,257	-0,0003	4800	5,590	10,7255	9,2567	YES
36	9,666	-0,0003	4800	5,837	11,0965	9,6661	YES
37	10,075	-0,0003	4800	6,084	11,4339	10,0755	YES
38	10,485	-0,0003	4800	6,331	11,7425	10,4849	YES
39	10,894	-0,0002	4800	6,578	12,0127	10,8943	YES
40	11,304	-0,0002	4800	6,826	12,2492	11,3036	YES
41	11,713	-0,0002	4800	7,073	12,4522	11,7130	YES
42	12,122	-0,0001	4800	7,320	12,6312	12,1224	YES
43	12,532	-0,0001	4800	7,567	12,8150	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0372	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES



**Tabel 5.44** Nilai Defleksi  
Tiap Titik Pada Iterasi  
Terakhir  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	-3,5	0,00024
-1	0,0001	-4,5	0,00030
-2	0,0001	-5,5	0,00034
-3	0,0002	-6,5	0,00037
-4	0,0003	-7,5	0,00039
-5	0,0003	-8,5	0,00040
-6	0,0004	-9,5	0,00039
-7	0,0004	-10,5	0,00038
-8	0,0004	-11,5	0,00036
-9	0,0004	-12,5	0,00034
-10	0,0004	-13,5	0,00030
-11	0,0004	-14,5	0,00027
-12	0,0004	-15,5	0,00023
-13	0,0003	-16,5	0,00018
-14	0,0003	-17,5	0,00014
-15	0,0002	-18,5	0,00010
-16	0,0002	-19,5	0,00005
-17	0,0002	-20,5	0,00001
-18	0,0001	-21,5	-0,00003
-19	0,0001	-22,5	-0,00007
-20	0,0000	-23,5	-0,00011
-21	0,0000	-24,5	-0,00015
-22	-0,0001	-25,5	-0,00019
-23	-0,0001	-26,5	-0,00022
-24	-0,0001	-27,5	-0,00025
-25	-0,0002	-28,5	-0,00027
-26	-0,0002	-29,5	-0,00028
-27	-0,0002	-30,5	-0,00029
-28	-0,0003	-31,5	-0,00030
-29	-0,0003	-32,5	-0,00031
-30	-0,0003	-33,5	-0,00031
-31	-0,0003	-34,5	-0,00031
-32	-0,0003	-35,5	-0,00030
-33	-0,0003	-36,5	-0,00029
-34	-0,0003	-37,5	-0,00028
-35	-0,0003	-38,5	-0,00025
-36	-0,0003	-39,5	-0,00022
-37	-0,0003	-40,5	-0,00018
-38	-0,0003	-41,5	-0,00013
-39	-0,0002	-42,5	-0,00008
-40	-0,0002	-43,5	-0,00004
-41	-0,0002	-44,5	-0,00001
-42	-0,0001		
-43	-0,0001		
-44	0,0000		
-45	0,0000		



**Gambar 5.16** Grafik  
deformasi tiang pada iterasi  
terakhir  
Sumber : (Hasil Analisis)

b. Penggalian Kedua

Setelah penggalian pertama selesai, pelat lantai akan dibangun sebelum melakukan penggalian kedua. Lantai kendaraan akan berfungsi juga sebagai penahan dari dinding pada saat penggalian kedua dilakukan. Sehingga pada perencanaan dari penggalian fase kedua akan mempertimbangkan deformasi dari fase pertama dan penambahan strut karena adanya pelat lantai.

Penggalian kedua akan dimulai pada setelah pelat lantai cukup kuat untuk menahan beban sendiri, dan tekanan lateral tanah. Penggalian kedua akan dimulai pada elevasi -3,00 m hingga elevasi -14,00 m. Tekanan tanah di depan tanah dan tekanan air pori juga akan berubah pula. **Tabel 5.45** menunjukkan perubahan dari tekanan air pori yang terjadi sedangkan **Tabel 5.46** akan menunjukkan besar tekanan tanah yang terjadi didepan dinding. Tekanan tanah di belakang dinding tidak berubah karena tidak ada perubahan elevasi tanah dibelakang dinding seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 5.34**. Seperti pada perhitungan sebelumnya, tekanan tanah dijadikan beban terpusat tiap meternya serti yang ditunjukkan oleh **Tabel 5.47**.

**Tabel 5.45** Perhitungan Tekanan Air Pori  
(*Sumber : Hasil Analisis*)

Titik	Ketebalan (m)	$\sigma_w$ (ton/m <sup>2</sup> )
1	0	0
2	14	14
3	45	0

**Tabel 5.46** Perhitungan Tekanan Lateral Tanah Pasif Maksimum di Depan Dinding  
(Sumber : Hasil Analisis)

Lapisan	H (m)	ketebalan (m)	Titik	$\gamma_{sat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{vaktif}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{vpasif}$ (t/m <sup>2</sup> )	Cu (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	K0	Ka	Kp	$\sigma_{h0}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{hp}$ (t/m <sup>2</sup> )
1	14	9	1 bawah	1,576	0,576	1,500	0,000	0,5	0,000	1,000	1,000	1,000	1,500	1,000
	23		2 atas			6,687	5,187						6,687	6,187
2	23	2	2 bawah	1,600	0,600	6,687	5,187	0	28,000	0,531	0,361	2,770	3,548	14,368
	25		3 atas			7,887	6,387						4,184	17,692
3	25	3	3 bawah	1,875	0,875	7,887	6,387	0	37,250	0,395	0,246	4,067	3,113	25,978
	28		4 atas			10,512	9,012						4,149	36,654
4	28	2	4 bawah	2,190	1,190	10,512	9,012	0	41,000	0,344	0,208	4,815	3,616	43,394
	30		5 atas			12,893	11,393						4,434	54,856
5	30	15	5 bawah	2,190	1,190	12,893	11,393	0	41,000	0,344	0,208	4,815	4,434	54,856
	45		6 atas			30,747	29,247						10,575	140,825

**Tabel 5.47** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maximum, dan *Ks* di Depan Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua  
(*Sumber : Hasil Analisis*)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,00024	1200	1,288	2,0786	1,2882	NO
15,5	2,365	0,00030	1200	1,865	2,7186	1,8646	NO
16,5	2,941	0,00034	1200	2,441	3,3453	2,4409	NO
17,5	3,517	0,00037	1200	3,017	3,9589	3,0173	NO
18,5	4,094	0,00039	1200	3,594	4,5581	3,5937	NO
19,5	4,670	0,00040	1200	4,170	5,1440	4,1700	NO
20,5	5,246	0,00039	1200	4,746	5,7180	4,7464	NO
21,5	5,823	0,00038	1200	5,323	6,2812	5,3228	NO
22,5	6,399	0,00036	1200	5,899	6,8335	5,8991	NO
23,5	3,707	0,00034	1800	15,199	4,3118	3,7070	NO
24,5	4,025	0,00030	2400	16,861	4,7549	4,0253	NO
25,5	3,286	0,00027	2700	27,757	4,0068	3,2859	NO
26,5	3,631	0,00023	3000	31,316	4,3122	3,6312	NO
27,5	3,977	0,00018	3000	34,874	4,5286	3,9766	NO
28,5	3,820	0,00014	3900	46,259	4,3702	3,8203	NO
29,5	4,230	0,00010	4800	51,991	4,6953	4,2297	NO
30,5	4,639	0,00005	4800	57,722	4,8935	4,6391	NO
31,5	5,048	0,00001	4800	63,453	5,0962	5,0485	NO
32,5	5,458	-0,00003	4800	69,184	5,3043	5,4579	NO
33,5	5,867	-0,00007	4800	74,916	5,5169	5,8673	NO
34,5	6,277	-0,00011	4800	80,647	5,7343	6,2767	YES
35,5	6,686	-0,00015	4800	86,378	5,9517	6,6861	YES
36,5	7,095	-0,00019	4800	92,109	6,1883	7,0955	YES
37,5	7,505	-0,00022	4800	97,841	6,4489	7,5049	YES
38,5	7,914	-0,00025	4800	103,572	6,7334	7,9142	YES
39,5	8,324	-0,00027	4800	109,303	7,0468	8,3236	YES
40,5	8,733	-0,00028	4800	115,034	7,3794	8,7330	YES
41,5	9,142	-0,00029	4800	120,766	7,7360	9,1424	YES
42,5	9,552	-0,00030	4800	126,497	8,1022	9,5518	YES
43,5	9,961	-0,00031	4800	132,228	8,4828	9,9612	YES
44,5	10,371	-0,00031	4800	137,959	8,8826	10,3706	YES

Dengan adanya beban terpusat dari 2 sisi dinding, analisis dinding dapat dilakukan. Pada analisis iterasi pertama penggalan terakhir, defleksi dinding di penggalan pertama iterasi terakhir akan diperhitungkan sebagai beban. Rekapitulasi beban terpusat yang terjadi pada iterasi pertama dilihat pada **Tabel 5.39** dan **Tabel 5.48** untuk beban di sisi depan dan belakang dinding.

**Tabel 5.48** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Pertama Penggalan Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0001	1200	1,076	1,9888	2,0764	YES
2	2,653	0,0001	1200	1,653	2,4787	2,6527	YES
3	3,229	0,0002	1200	2,229	2,9747	3,2291	YES
4	3,805	0,0003	1200	2,805	3,4815	3,8055	YES
5	4,382	0,0003	1200	3,382	4,0002	4,3818	YES
6	4,958	0,0004	1200	3,958	4,5334	4,9582	YES
7	5,535	0,0004	1200	4,535	5,0798	5,5346	YES
8	6,111	0,0004	1200	5,111	5,6393	6,1109	YES
9	6,687	0,0004	1200	5,687	6,2121	6,6873	YES
10	7,264	0,0004	1200	6,264	6,7969	7,2637	YES
11	7,840	0,0004	1200	6,840	7,3912	7,8400	YES
12	8,416	0,0004	1200	7,416	7,9952	8,4164	YES
13	8,993	0,0003	1200	7,993	8,6076	8,9928	YES
14	9,569	0,0003	1200	8,569	9,2248	9,5692	YES
15	10,146	0,0002	1200	9,146	9,8479	10,1455	YES
16	10,722	0,0002	1200	9,722	10,4735	10,7219	YES
17	11,298	0,0002	1200	10,298	11,1015	11,2983	YES
18	11,875	0,0001	1200	10,875	11,7306	11,8746	YES
19	12,451	0,0001	1200	11,451	12,3598	12,4510	YES
20	13,027	0,0000	1200	12,027	12,9878	13,0274	YES
21	13,604	0,0000	1200	12,604	13,6154	13,6037	YES
22	14,180	-0,0001	1200	13,180	14,2413	14,1801	YES
23	14,756	-0,0001	1200	13,756	14,8657	14,7565	YES
24	8,147	-0,0001	2400	5,544	8,4638	8,1470	YES
25	8,465	-0,0002	2400	5,761	8,8734	8,4654	YES
26	6,643	-0,0002	3000	4,138	7,2555	6,6435	YES
27	6,989	-0,0002	3000	4,354	7,6878	6,9888	YES
28	7,334	-0,0003	3000	4,569	8,1022	7,3342	YES
29	6,800	-0,0003	4800	4,106	8,1155	6,8003	YES
30	7,210	-0,0003	4800	4,354	8,5873	7,2097	YES
31	7,619	-0,0003	4800	4,601	9,0447	7,6191	YES
32	8,029	-0,0003	4800	4,848	9,4877	8,0285	YES
33	8,438	-0,0003	4800	5,095	9,9211	8,4379	YES
34	8,847	-0,0003	4800	5,342	10,3305	8,8473	YES
35	9,257	-0,0003	4800	5,590	10,7255	9,2567	YES
36	9,666	-0,0003	4800	5,837	11,0965	9,6661	YES
37	10,075	-0,0003	4800	6,084	11,4339	10,0755	YES
38	10,485	-0,0003	4800	6,331	11,7425	10,4849	YES
39	10,894	-0,0002	4800	6,578	12,0127	10,8943	YES
40	11,304	-0,0002	4800	6,826	12,2492	11,3036	YES
41	11,713	-0,0002	4800	7,073	12,4522	11,7130	YES
42	12,122	-0,0001	4800	7,320	12,6312	12,1224	YES
43	12,532	-0,0001	4800	7,567	12,8150	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0372	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

Hasil yang diambil pada proses iterasi ini adalah besar defleksi dari tiap titik tangkap beban terpusat yang ada. Hasil defleksi ini akan mempengaruhi apakah spring tanah di titik tersebut masih bekerja atau tidak, serta akan mempengaruhi besar tekanan tanah aktif dan pasifnya. Hasil dari defleksi pada Iterasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 5.49**.

**Tabel 5.49** Nilai Defleksi Tiap Titik Pada Iterasi Pertama  
Penggalian Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	14,5	0,0096
1	0,0001	15,5	0,0098
2	0,0002	16,5	0,0098
3	0,0000	17,5	0,0096
4	0,0005	18,5	0,0092
5	0,0013	19,5	0,0087
6	0,0022	20,5	0,0080
7	0,0033	21,5	0,0071
8	0,0044	22,5	0,0063
9	0,0055	23,5	0,0053
10	0,0065	24,5	0,0044
11	0,0075	25,5	0,0035
12	0,0083	26,5	0,0028
13	0,0090	27,5	0,0021
14	0,0095	28,5	0,0015
15	0,0097	29,5	0,0011
16	0,0098	30,5	0,0008
17	0,0097	31,5	0,0005
18	0,0094	32,5	0,0003
19	0,0090	33,5	0,0002
20	0,0083	34,5	0,0001
21	0,0076	35,5	0,0001
22	0,0067	36,5	0,0001
23	0,0058	37,5	0,0000
24	0,0049	38,5	0,0000
25	0,0040	39,5	0,0000
26	0,0031	40,5	0,0000
27	0,0024	41,5	0,0000
28	0,0018	42,5	0,0000
29	0,0013	43,5	0,0000
30	0,0009	44,5	0,0000
31	0,0006		
32	0,0004		
33	0,0003		
34	0,0002		
35	0,0001		
36	0,0001		
37	0,0000		
38	0,0000		
39	0,0000		
40	0,0000		
41	0,0000		
42	0,0000		
43	0,0000		
44	0,0000		
45	0,0000		

Dengan hasil diatas, proses perhitungan untuk iterasi berikutnya dapat dilakukan. Hasil iterasi terakhir akan ditunjukkan oleh **Tabel 5.50** dan **Tabel 5.51** untuk tekanan lateral tanah yang menjadi beban terpusat dinding, sedangkan **Tabel 5.52** dan **Gambar 5.17**.

**Tabel 5.50** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Pasif Maksimum, dan Ks di Depan Dinding Pada Iterasi Terakhir Penggalan Kedua

(*Sumber : Hasil Analisis*)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,02961	1200	1,288	37,3190	1,2882	NO
15,5	2,365	0,03061	1200	1,865	39,0906	1,8646	NO
16,5	2,941	0,03102	1200	2,441	40,1625	2,4409	NO
17,5	3,517	0,03085	1200	3,017	40,5313	3,0173	NO
18,5	4,094	0,03010	1200	3,594	40,2125	3,5937	NO
19,5	4,670	0,02882	1200	4,170	39,2492	4,1700	NO
20,5	5,246	0,02705	1200	4,746	37,7016	4,7464	NO
21,5	5,823	0,02486	1200	5,323	35,6536	5,3228	NO
22,5	6,399	0,02234	1200	5,899	33,2095	5,8991	NO
23,5	3,707	0,01960	1800	15,199	38,9852	15,1989	NO
24,5	4,025	0,01675	2400	16,861	44,2325	16,8608	NO
25,5	3,286	0,01393	2700	27,757	40,8861	27,7569	NO
26,5	3,631	0,01123	3000	31,316	37,3302	31,3156	NO
27,5	3,977	0,00877	3000	34,874	30,2776	3,9766	YES
28,5	3,820	0,00659	3900	46,259	29,5213	3,8203	YES
29,5	4,230	0,00474	4800	51,991	26,9817	4,2297	YES
30,5	4,639	0,00323	4800	57,722	20,1383	4,6391	YES
31,5	5,048	0,00204	4800	63,453	14,8453	5,0485	YES
32,5	5,458	0,00115	4800	69,184	10,9683	5,4579	YES
33,5	5,867	0,00051	4800	74,916	8,3249	5,8673	YES
34,5	6,277	0,00009	4800	80,647	6,6943	6,2767	YES
35,5	6,686	0,00017	4800	86,378	7,5021	6,6861	YES
36,5	7,095	0,00030	4800	92,109	8,5547	7,0955	YES
37,5	7,505	0,00035	4800	97,841	9,1801	7,5049	YES
38,5	7,914	0,00034	4800	103,572	9,5270	7,9142	YES
39,5	8,324	0,00029	4800	109,303	9,7060	8,3236	YES
40,5	8,733	0,00022	4800	115,034	9,7986	8,7330	YES
41,5	9,142	0,00015	4800	120,766	9,8768	9,1424	YES
42,5	9,552	0,00009	4800	126,497	9,9790	9,5518	YES
43,5	9,961	-0,00004	4800	132,228	9,7788	9,9612	YES
44,5	10,371	-0,00001	4800	137,959	10,3375	10,3706	YES

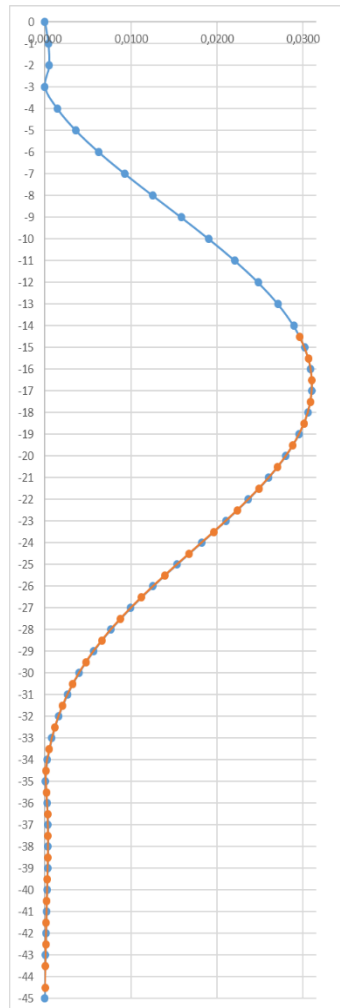
**Tabel 5.51** Rekapitulasi Tekanan Tanah Pada Kondisi *Atrest*, Batas Gaya Aktif Minimum, dan Ks di Belakang Dinding Pada Iterasi Terakhir Penggalan Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0004	1200	1,076	1,6132	2,0764	YES
2	2,653	0,0005	1200	1,653	2,0743	2,6527	YES
3	3,229	0,0000	1200	2,229	3,2291	3,2291	YES
4	3,805	0,0014	1200	2,805	2,0703	2,8055	NO
5	4,382	0,0036	1200	3,382	0,0762	3,3818	NO
6	4,958	0,0063	1200	3,958	-2,5502	3,9582	NO
7	5,535	0,0093	1200	4,535	-5,6134	4,5346	NO
8	6,111	0,0125	1200	5,111	-8,9263	5,1109	NO
9	6,687	0,0158	1200	5,687	-12,3099	5,6873	NO
10	7,264	0,0191	1200	6,264	-15,5999	6,2637	NO
11	7,840	0,0221	1200	6,840	-18,6488	6,8400	NO
12	8,416	0,0248	1200	7,416	-21,3208	7,4164	NO
13	8,993	0,0271	1200	7,993	-23,5056	7,9928	NO
14	9,569	0,0289	1200	8,569	-25,1108	8,5692	NO
15	10,146	0,0302	1200	9,146	-26,0693	9,1455	NO
16	10,722	0,0309	1200	9,722	-26,3413	9,7219	NO
17	11,298	0,0310	1200	10,298	-25,9077	10,2983	NO
18	11,875	0,0305	1200	10,875	-24,7770	10,8746	NO
19	12,451	0,0295	1200	11,451	-22,9766	11,4510	NO
20	13,027	0,0280	1200	12,027	-20,5594	12,0274	NO
21	13,604	0,0260	1200	12,604	-17,5963	12,6037	NO
22	14,180	0,0236	1200	13,180	-14,1843	13,1801	NO
23	14,756	0,0210	1200	13,756	-10,4351	13,7565	NO
24	8,147	0,0182	2400	5,544	-35,4898	5,5442	NO
25	8,465	0,0153	2400	5,761	-28,3290	5,7608	NO
26	6,643	0,0126	3000	4,138	-31,0305	4,1385	NO
27	6,989	0,0100	3000	4,354	-22,9182	4,3536	NO
28	7,334	0,0076	3000	4,569	-15,5888	4,5688	NO
29	6,800	0,0056	4800	4,106	-20,1997	4,1063	NO
30	7,210	0,0039	4800	4,354	-11,7215	4,3535	NO
31	7,619	0,0026	4800	4,601	-4,8465	4,6007	NO
32	8,029	0,0016	4800	4,848	0,5357	4,8480	NO
33	8,438	0,0008	4800	5,095	4,5883	5,0952	NO
34	8,847	0,0003	4800	5,342	7,5177	8,8473	YES
35	9,257	0,0001	4800	5,590	8,9735	9,2567	YES
36	9,666	0,0002	4800	5,837	8,4709	9,6661	YES
37	10,075	0,0003	4800	6,084	8,4723	10,0755	YES
38	10,485	0,0003	4800	6,331	8,8193	10,4849	YES
39	10,894	0,0003	4800	6,578	9,3871	10,8943	YES
40	11,304	0,0003	4800	6,826	10,0796	11,3036	YES
41	11,713	0,0002	4800	7,073	10,8202	11,7130	YES
42	12,122	0,0001	4800	7,320	11,5560	12,1224	YES
43	12,532	0,0001	4800	7,567	12,2438	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0276	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES



**Tabel 5.52** Nilai Defleksi  
Tiap Titik Pada Iterasi  
Terakhir Penggalan Kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	-14,5	0,0296
-1	0,0004	-15,5	0,0306
-2	0,0005	-16,5	0,0310
-3	0,0000	-17,5	0,0308
-4	0,0014	-18,5	0,0301
-5	0,0036	-19,5	0,0288
-6	0,0063	-20,5	0,0270
-7	0,0093	-21,5	0,0249
-8	0,0125	-22,5	0,0223
-9	0,0158	-23,5	0,0196
-10	0,0191	-24,5	0,0168
-11	0,0221	-25,5	0,0139
-12	0,0248	-26,5	0,0112
-13	0,0271	-27,5	0,0088
-14	0,0289	-28,5	0,0066
-15	0,0302	-29,5	0,0047
-16	0,0309	-30,5	0,0032
-17	0,0310	-31,5	0,0020
-18	0,0305	-32,5	0,0011
-19	0,0295	-33,5	0,0005
-20	0,0280	-34,5	0,0001
-21	0,0260	-35,5	0,0002
-22	0,0236	-36,5	0,0003
-23	0,0210	-37,5	0,0003
-24	0,0182	-38,5	0,0003
-25	0,0153	-39,5	0,0003
-26	0,0126	-40,5	0,0002
-27	0,0100	-41,5	0,0002
-28	0,0076	-42,5	0,0001
-29	0,0056	-43,5	0,0000
-30	0,0039	-44,5	0,0000
-31	0,0026		
-32	0,0016		
-33	0,0008		
-34	0,0003		
-35	0,0001		
-36	0,0002		
-37	0,0003		
-38	0,0003		
-39	0,0003		
-40	0,0003		
-41	0,0002		
-42	0,0001		
-43	0,0001		
-44	0,0000		
-45	0,0000		



**Gambar 5.17** Defleksi  
dinding pada iterasi terakhir  
penggalan kedua  
(Sumber : Hasil Analisis)

### 5.6.3. Perhitungan Tulangan Komponen *Approach*

Seperti yang direncanakan seluruh bagian dari *approach* terowongan akan terbuat dari material beton. Beton adalah material yang kuat untuk menahan beban tekan akan tetapi tidak cukup kuat untuk menahan beban tarik. Salah satu yang membantu agar beton dapat menahan beban tarik tersebut adalah tulangan beton, yang nantinya akan berkerja bersama sama membentuk struktur beton bertulang.

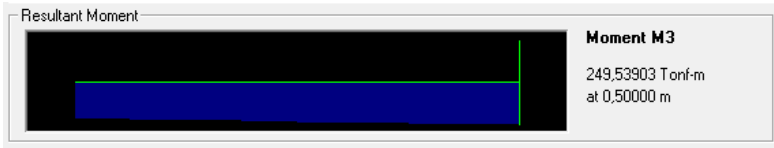
Dua model yang telah diperhitungkan di atas, memiliki banyak sekali komponen yang menerima beban yang menimbulkan momen. Salah satu yang menerima beban momen adalah komponen dinding yang terbuat dari bored pile. Dimana bored pile akan menerima beban tekanan lateral tanah yang cukup besar dari belakang dinding. Selain itu, komponen yang diperlukan menahan beban momen dan tekanan yang lainnya adalah struktur pelat kendaraan.

#### 1. Model 1

Pada *approach* model 1, terdapat 2 komponen struktur yang akan direncanakan penulangannya yaitu dinding *bored pile* dan pelat lantai bawah. Dinding *bored pile* akan direncanakan memiliki diameter 1,4 m dan pelat lantai bawah akan direncanakan memiliki tebal 1,2 m.

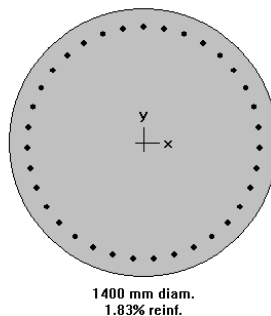
##### a. Penulangan *Pile*

Pada perhitungan sebelumnya, dinding pada model 1 akan menahan beban tekanan lateral tanah, dan tekan air pori yang menyebabkan dinding terguling. Dari seluruh rangkaian perhitungan sebelumnya, salah satu hasil SAP2000 yang dapat diambil untuk perhitungan tulangan pada *bored pile* adalah hasil bidang momen. Bidang momen dari bored pile pada model 1 seperti pada **Gambar 5.18**.



**Gambar 5.18** Bidang momen pada dinding model 1  
(Sumber : Hasil Analisis)

Untuk membantu perhitungan perencanaan tulangan *bored pile*, digunakan program bantu SpColumn. Program ini akan membantu menentukan banyak tulangan yang dibutuhkan dengan input besar momen yang terjadi pada perhitungan sebelumnya. Hasil *output* dari SpColumn ditunjukkan oleh **Gambar 5.19** dengan tulangan yang digunakan adalah 35D32.



**Gambar 5.19** Penampang *bored pile* pada permodelan menggunakan SpColumn  
(Sumber : Hasil Analisis)

Hasil pada **Gambar 5.19** menunjukkan bahwa penulangan *Secant Pile* dengan tulangan 35D32 memenuhi persyaratan  $\rho = 1\% - 6\%$  sesuai syarat SNI, dimana nilai  $\rho = 1,83\%$ .

b. Penulangan Plat Lantai

Untuk desain penulangan pada pelat lantai kendaraan harus diketahui beban yang akan terjadi. Pelat lantai kendaraan direncanakan menggunakan tebal pelat setebal 1,2 meter. Seperti pada penjelasan pada BAB 2, beban yang mendorong pelat lantai

adalah beban angkat air. Gaya angkat air baru terjadi pada saat air tanah di daerah penggalian ini telah kembali hidrostatik. Artinya besar dari gaya angkat tersebut adalah perbedaan tinggi antara muka air dibelakang dinding dan dibawah pelat. Pada model ini, tinggi muka air tanah adalah 8 meter. Besar gaya yang terjadi adalah

$$F = 8 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 = 8 \text{ t/m}^2$$

Keadaan paling kritis dari pelat lantai bawah adalah pada saat terowongan tidak dilalui oleh kendaraan apapun, sehingga seluruh gaya angkat air akan diterima seluruhnya oleh pelat lantai. Beban yang mempengaruhi besar dari momen pelat adalah beban angkat air dan beban sendiri dari pelat. Dengan asumsi hubungan antara pelat dan dinding tidak terjepit dengan sempurna maka besar momen maksimum yang terjadi pada pelat adalah sebesar :

$$\begin{aligned} M &= 1/8 \times q \times l^2 \\ &= 1/8 \times (8 - (2,4 \times 1,2)) \times 23^2 \\ &= 338,56 \text{ tm} \end{aligned}$$

Direncanakan pelat dengan material berikut :

$$f'_c = 50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$\text{Momen} = 338,56 \text{ tm}$$

$$B_w = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$d_{tul} = 32 \text{ mm}$$

$$A_s = 803,84 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cover} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1134 \text{ mm}$$

- Perhitungan tulangan lentur plat

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\ &= 2,612 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= 9,647 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= 0,00658$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y$$

$$= 0,0034$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y}$$

$$= 0,0039 \text{ (}\rho_{\min} \text{ pakai)}$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,048$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (}\rho_{\max} \text{ pakai)}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,00658$$

Sehingga didapatkan :

$$\text{Asperlu} = \rho \times b \times d_x$$

$$= 0,00658 \times 1000 \times 1134$$

$$= 7462,224 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \text{Asperlu} / \text{Atul}$$

$$= 7462,224 / 803,84$$

$$= 9,283 \text{ buah}$$

$$= 10 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan} = 1000 / n \text{ tul}$$

$$= 1000/10$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$\text{Aspasang} = \text{Jumlah tulangan} \times \text{Atul}$$

$$= 10 \times 803,84$$

$$= 8038,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aspasang} > \text{Asperlu (OK)}$$

$$8038,4 \text{ mm}^2 > 7462,224 \text{ mm}^2$$

OK

Digunakan D32 – 100

- Perhitungan tulangan bagi

$$d_{\text{tul}} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Atul} = 380,286 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tplat} = 1200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Asperlu} &= 40\% \times \text{Asperlu tulangan utama} \\ &= 40\% \times 7462,224 \text{ mm}^2 \\ &= 2984,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan} &= \text{Asperlu} / \text{Atul} \\ &= 2984,89 / 380,286 \\ &= 7,849 \text{ buah} \\ &= 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan} &= 1000 / n \text{ tul} \\ &= 1000/8 \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Aspasang} &= \text{Jumlah tulangan} \times \text{Atul} \\ &= 8 \times 380,286 \\ &= 3042,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aspasang} &> \text{Asperlu} \\ 3042,286 \text{ mm}^2 &> 2984,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga untuk penulangan pelat arah X lapangan digunakan D22 – 100

- Perhitungan tulangan susut

$$dtul = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Atul} = 200,96 \text{ mm}^2$$

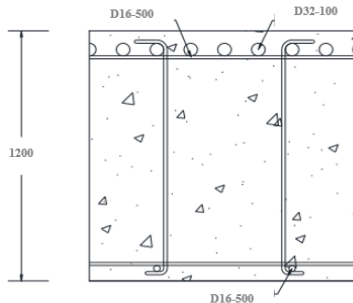
$$psusut = 0,0002$$

$$\begin{aligned} \text{As} &= 0,0002 \times b \times d \\ &= 226,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \text{As}/\text{Atul} \\ &= 1,129 \end{aligned}$$

Digunakan D16 – 500

Berdasarkan perhitungan diatas, maka detail penulangan dari plat ini ditunjukkan ada **Gambar 5.20**.



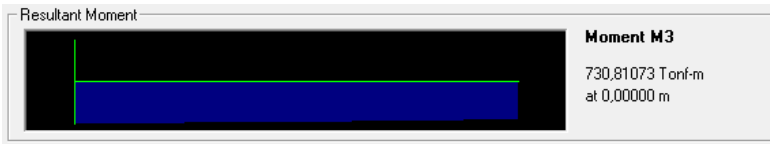
**Gambar 5.20** Penulangan pelat bawah model 1

## 2. Model 2

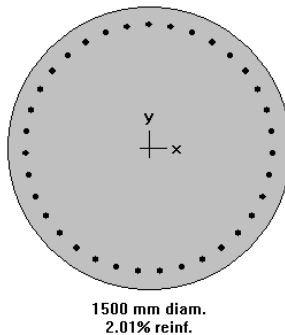
Pada *approach* model 2, terdapat 3 komponen struktur yang akan direncanakan penulangannya yaitu dinding *bored pile*, pelat lantai atas, dan pelat lantai bawah. Dinding *bored pile* akan direncanakan memiliki diameter 1,5 m, sedangkan pelat lantai atas dan pelat lantai bawah akan direncanakan memiliki tebal 1,2 m.

### a. Penulangan *Pile*

Penulangan *bored pile* pada dinding ini akan direncanakan untuk menahan beban dari tekanan lateral tanah dan air pori. Pada perencanaan ini pelat lantai kendaraan akan diasumsikan tidak memberikan tambahan momen kepada dinding, sehingga momen dinding hanya akan terpengaruh dari beban lateral dan tekanan air saja. Penulangan *bored pile* ini juga akan direncanakan dengan program bantu spColumn. **Gambar 5.21** menunjukkan momen yang terjadi pada *bored pile*. Dengan input dari momen terbesar pada **Gambar 5.21**, maka akan didapatkan konfigurasi dan perencanaan tulangan. Hasil dari spColumn adalah dengan menggunakan tulangan 35D36 dengan rasio tulangan 2,01% sesuai syarat SNI ( $\rho = 1\% - 6\%$ ). Konfigurasi tulangan *bored pile* ditunjukkan oleh **Gambar 5.22**.



**Gambar 5.21** Bidang momen pada dinding model 2  
(Sumber : Hasil Analisis)



**Gambar 5.22** Penampang *bored pile* pada permodelan SpColumn  
(Sumber : Hasil Analisis)

b. Penulangan Plat Lantai Bawah

Desain penulangan pelat lantai kendaraan bawah akan direncanakan pada saat pelat telah dibangun dan belum ada yang melintasi. Pelat lantai ini akan direncanakan dengan tebal 1,2 meter. Sehingga beban yang dominan terjadi hanya beban angkat air. Beban angkat air akan direncanakan pada saat air tanah telah dalam kondisi hidrostatis, yang berarti besar tekanan angkat air akan sangat dipengaruhi perbedaan elevasi muka air tanah. Besar gaya angkat yang terjadi adalah.

$$F = 14 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 = 14 \text{ t/m}^2$$

Keadaan paling kritis dari pelat lantai bawah adalah pada saat terowongan tidak dilalui oleh kendaraan apapun, sehingga seluruh gaya angkat air akan diterima seluruhnya oleh pelat lantai. Beban yang mempengaruhi besar dari momen pelat adalah beban beban angkat air dan beban sendiri dari pelat. Dengan asumsi hubungan antara pelat dan dinding tidak terjepit dengan sempurna



maka besar momen maksimum yang terjadi pada pelat adalah sebesar :

$$\begin{aligned} M &= 1/8 \times q \times l^2 \\ &= 1/8 \times (14 - (2,4 \times 1,2)) \times 23^2 \\ &= 735,31 \text{ tm} \end{aligned}$$

Direncanakan pelat dengan material berikut :

$$f'_c = 50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 410 \text{ MPa}$$

$$\text{Momen} = 735310 \text{ kgm}$$

$$B_w = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$dtul = 36 \text{ mm}$$

$$A_s = 1017,36 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cover} = 50 \text{ mm}$$

$$d = 1132 \text{ mm}$$

Perhitungan tulangan lentur plat sama dengan penulangan tulangan lentur plat bawah pada model 1. Sehingga digunakan D36 – 60 sebagai tulangan lentur plat dan D32 – 100 sebagai tulangan bagi. Untuk perhitungan tulangan susut direncanakan :

$$dtul = 16 \text{ mm}$$

$$Atul = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$psusut = 0,0002$$

$$A_s = 0,0002 \times b \times d$$

$$= 226,4 \text{ mm}^2$$

$$n = A_s / Atul$$

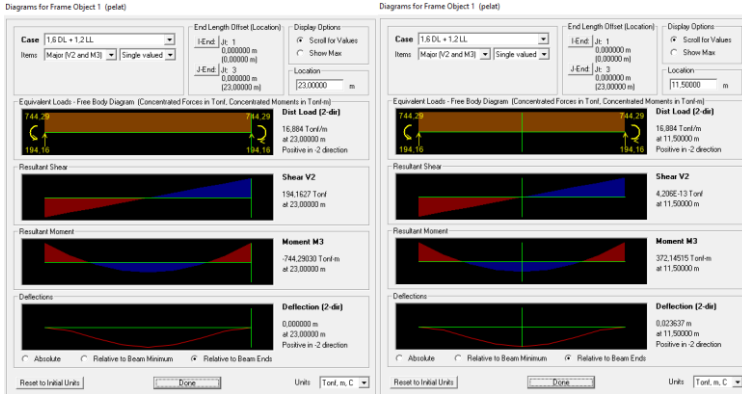
$$= 1,127$$

Sehingga digunakan D16 – 500.

### c. Penulangan Plat Lantai Atas

Beban-beban yang bekerja pada pelat teratas adalah berat tanah, air dan traffic di atasnya serta beban aksial pada dinding akibat dari tekanan tanah dan air pada perhitungan sebelumnya. Perhitungan bidang momen pada pelat ini menggunakan program bantu SAP2000 yang akan ditunjukkan pada **Gambar 5.23** dan beban aksial yang terjadi ditunjukkan pada **Gambar 5.24** dimana

besar beban aksial yang terjadi diambil dari hasil perhitungan pada permodelan penggalan kedua iterasi terakhir.



**Gambar 5.23** Bidang momen yang terjadi pada plat lantai atas tumpuan (kiri) dan lapangan (kanan)  
(Sumber : Hasil Analisis)



**Gambar 5.24** Besar beban aksial pelat di akhir penggalan  
(Sumber : Hasil Analisis)

Perencanaan penulangan pelat dapat dilakukan setelah mengetahui nilai momen dan aksial yang terjadi. Kontrol aksial diasumsikan bahwa seluruh penampang terbuat dari material beton. *Preliminary design* untuk penulangan pelat adalah sebagai berikut :

- $f'c = 50 \text{ MPa}$
- $f_y = 410 \text{ MPa}$
- $B_w = 1000 \text{ mm}$
- $h = 1200 \text{ mm}$
- $dt_{ul} = 32 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} As &= 803,84 \text{ mm} \\ \text{Cover} &= 50 \text{ mm} \\ d &= 1134 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan lentur plat sama dengan penulangan tulangan lentur plat sebelumnya. Sehingga digunakan D36 – 60 pada tumpuan dan D32 – 100 pada lapangan sebagai tulangan lentur plat. Untuk perhitungan tulangan susut direncanakan :

$$\begin{aligned} dtul &= 16 \text{ mm} \\ Atul &= 200,96 \text{ mm}^2 \\ psusut &= 0,0002 \\ As &= 0,0002 \times b \times d \\ &= 226,4 \text{ mm}^2 \\ n &= As/Atul \\ &= 1,127 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan D16 – 500.

#### 5.6.4. Analisa Buoyancy

*Buoyancy* adalah tekanan air keatas akibat adanya perbedaan tinggi permukaan air tanah karena penggalian. Pada perencanaan ini, perbedaan tinggi muka air terjadi karena letak permukaan tanah akan berubah karena kegiatan penggalian. Ada kemungkinan gaya buoyancy akan menyebabkan seluruh segmen terowongan terangkat. Untuk menghindari itu maka kontrol beban buoyancy yang terjadi harus diperhitungkan dalam menghitung struktur penahannya.

Kontrol besar gaya buoyancy akan direncanakan pada saat pelat lantai bawah telah terpasang dan muka air tanah telah hidrostatis kembali. Artinya muka air tanah setelah dilakukan ekskavasi maka akan berada tepat dibawah pelat lantai kendaraan. Besar dari gaya yang akan terjadi merupakan beban luas yang besar gaya sebesar perbedaan tinggi muka air tanah dikali dengan berat volume dari air tanah tersebut.

Seluruh beban tekanan air ini akan ditahan oleh berat total dari *approach* dan friksi dari *bored pile* yang dipasang sebelum dilakukan penggalian. Pada perhitungan ini, bentuk dari *bored*

*pile* yang seharusnya lingkaran akan diasumsikan dengan bentuk segi-empat, panjang salah satu sisinya sebesar diameter dari *bored pile* yang terpasang dan sisi yang lain memiliki panjang 1 meter. Asumsi ini diambil karena jarak antar bored pile sangat kecil. Friksi akan dihitung sesuai dengan keadaan bored pile yang telah terpasang.

#### 1. Model 1

Pada model potongan ini, kedalaman galian adalah 8 m dari permukaan dengan lebar jalan raya adalah 39 m dan tebal plat lantai adalah 1,2 m. Untuk *bored pile* kedalaman rencana adalah 30 m dengan diameter *bored pile* 1,4 m. Besar dari beban buoyancy adalah perbedaan tinggi muka air dikalikan dengan berat volume air, sehingga besar dari yang mengangkat seluruh bagian terowongan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F &= 8 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 \\ &= 8 \text{ t/m}^2 \\ \Sigma F &= 8 \times 39 \\ &= 312 \text{ t/m} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, beban yang harus ditahan oleh *approach* adalah sebesar 312 t/m. Seluruh bagian terowongan akan membantu menahan gaya *buoyancy* yang terjadi, *secant pile* akan menahan gaya ini dengan friksi antara *secant pile* dan tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 5.53** dan **Tabel 5.54** serta pelat lantai yang akan membantu dengan berat pelat tersebut. Perhitungan untuk menahan gaya angkat air adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tinggi dinding diatas tanah} &= 8 \text{ m} \\ \text{Tinggi dinding tertanam} &= 30 - 8 = 22 \text{ m} \\ \text{Berat pile} &= 2 \times (2,4 \times V_{\text{pile}} \times L) = 221,558 \text{ t/m} \\ \text{Berat plat lantai} &= 2,4 \times 1,2 \times 39 = 112,32 \text{ t/m} \end{aligned}$$

Friksi tanah

**Tabel 5.53** Qs Tiang Bagian A (Depan Dinding yang Tegali)  
(Sumber : Hasil Analisis)

Depth (m)	h (m)	Cu (t/m <sup>2</sup> )	QsA (ton)	Qtot (ton)
0 - 1	1	0,5	0,6	0,60
1 - 2	1	0,5	0,6	1,20
2 - 3	1	0,5	0,6	1,80
3 - 4	1	0,5	0,6	2,40
4 - 5	1	0,5	0,6	3,00
5 - 6	1	0,5	0,6	3,60
6 - 7	1	0,5	0,6	4,20
7 - 8	1	0,5	0,6	4,80

**Tabel 5.54** Qs Tiang Bagian B (Belakang Dinding yang Tidak Tegali)  
(Sumber : Hasil Analisis)

Depth (m)	h (m)	Cu (t/m <sup>2</sup> )	QsA (ton)	Qtot (ton)
8 - 9	1	0,5	0,6	0,60
9 - 10	1	0,5	0,6	1,20
10 - 11	1	0,5	0,6	1,80
11 - 12	1	0,5	0,6	2,40
12 - 13	1	0,5	0,6	3,00
13 - 14	1	0,5	0,6	3,60
14 - 15	1	0,5	0,6	4,20
15 - 16	1	0,5	0,6	4,80
16 - 17	1	0,5	0,6	5,40
17 - 18	1	0,5	0,6	6,00
18 - 19	1	0,5	0,6	6,60
19 - 20	1	0,5	0,6	7,20
20 - 21	1	0,5	0,6	7,80
21 - 22	1	0,5	0,6	8,40
22 - 23	1	0,5	0,6	9,00
23 - 24	1	0	0	9,00
24 - 25	1	0	0	9,00
25 - 26	1	0	0	9,00
26 - 27	1	0	0	9,00
27 - 28	1	0	0	9,00
28 - 29	1	0	0	9,00
29 - 30	1	0	0	9,00

$$\begin{aligned}\Sigma Q_u &= 221,558 + 112,32 + (2 \times (4,8 + (2 \times 9))) \\ &= 379,478 \text{ t/m} \\ Q_{all} &= \Sigma Q_u / 1,2 \\ &= 316,232 \text{ t/m} > 312 \text{ t/m (ok)}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa seluruh komponen dari approach mampu menahan gaya buoyancy yang terjadi.

## 2. Model 2

Pada model potongan ini, kedalaman galian adalah 14 m dari permukaan dengan lebar jalan raya adalah 39 m dan tebal plat lantai adalah 1,2 m. Untuk *bored pile* kedalaman rencana adalah 45 m dengan diameter *bored pile* 1,5 m. Besar dari beban buoyancy adalah perbedaan tinggi muka air dikalikan dengan berat volume air, sehingga besar dari yang mengangkat seluruh bagian terowongan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}F &= (14-3) \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 \\ &= 11 \text{ t/m}^2 \\ \Sigma F &= 11 \times 39 \\ &= 429 \text{ t/m}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, beban yang harus ditahan oleh *approach* adalah sebesar 429 t/m. Seluruh bagian terowongan akan membantu menahan gaya *buoyancy* yang terjadi, *secant pile* akan menahan gaya ini dengan friksi antara *secant pile* dan tanah yang dapat dilihat pada **Tabel 5.55** dan **Tabel 5.56** serta pelat lantai yang akan membantu dengan berat pelat tersebut. Perhitungan untuk menahan gaya angkat air adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Tinggi dinding diatas tanah} &= 14 \text{ m} \\ \text{Tinggi dinding tertanam} &= 45 - 8 = 31 \text{ m} \\ \text{Berat pile} &= 2 \times (2,4 \times V_{pile} \times L) = 381,510 \text{ t/m} \\ \text{Berat plat lantai bawah} &= 2,4 \times 1,2 \times 39 = 112,32 \text{ t/m} \\ \text{Berat plat lantai atas} &= 2,4 \times 1,2 \times 39 = 112,32 \text{ t/m} \\ \text{Berat tanah} &= 1,576 \times 39 \times 3 = 184,392 \text{ t/m} \\ \text{Friksi tanah}\end{aligned}$$

**Tabel 5.55** Qs Tiang Bagian A (Depan Dinding yang Tegali)  
(Sumber : Hasil Analisis)

Depth (m)	h (m)	Cu (t/m2)	QsA (ton)	Qtot (ton)
0 - 1	1	0,5	0,6	0,60
1 - 2	1	0,5	0,6	1,20
2 - 3	1	0,5	0,6	1,80
3 - 4	1	0,5	0,6	2,40
4 - 5	1	0,5	0,6	3,00
5 - 6	1	0,5	0,6	3,60
6 - 7	1	0,5	0,6	4,20
7 - 8	1	0,5	0,6	4,80
8 - 9	1	0,5	0,6	5,40
9 - 10	1	0,5	0,6	6,00
10 - 11	1	0,5	0,6	6,60
11 - 12	1	0,5	0,6	7,20
12 - 13	1	0,5	0,6	7,80
13 - 14	1	0,5	0,6	8,40

**Tabel 5.56** Qs Tiang Bagian B (Belakang Dinding yang Tidak Tegali)  
(Sumber : Hasil Analisis)

Depth (m)	h (m)	Cu (t/m2)	QsA (ton)	Qtot (ton)
14 - 15	1	0,5	0,6	0,60
15 - 16	1	0,5	0,6	1,20
16 - 17	1	0,5	0,6	1,80
17 - 18	1	0,5	0,6	2,40
18 - 19	1	0,5	0,6	3,00
19 - 20	1	0,5	0,6	3,60
20 - 21	1	0,5	0,6	4,20
21 - 22	1	0,5	0,6	4,80
22 - 23	1	0,5	0,6	5,40
23 - 24	1	0	0	5,40
24 - 25	1	0	0	5,40
25 - 26	1	0	0	5,40
26 - 27	1	0	0	5,40
27 - 28	1	0	0	5,40
28 - 29	1	0	0	5,40
29 - 30	1	0	0	5,40
30 - 31	1	0	0	5,40
31 - 32	1	0	0	5,40
32 - 33	1	0	0	5,40
33 - 34	1	0	0	5,40
34 - 35	1	0	0	5,40
35 - 36	1	0	0	5,40
36 - 37	1	0	0	5,40
37 - 38	1	0	0	5,40
38 - 39	1	0	0	5,40
39 - 40	1	0	0	5,40
40 - 41	1	0	0	5,40
41 - 42	1	0	0	5,40
42 - 43	1	0	0	5,40
43 - 44	1	0	0	5,40
44 - 45	1	0	0	5,40

$$\begin{aligned}\Sigma Q_u &= 381,510 + 112,32 + 112,32 + 184,392 + (2 \times \\ &(8,4 + (2 \times 5,4))) \\ &= 894,94 \text{ t/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{all} &= \Sigma Q_u / 3 \\ &= 298,31 \text{ t/m} > 253 \text{ t/m (ok)}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa seluruh komponen dari *approach* mampu menahan gaya *buoyancy* yang terjadi.

### 5.7. Tahapan Pelaksanaan Konstruksi *Immersed Tunnel*

Berikut adalah tahapan pelaksanaan konstruksi terowongan bawah laut sistem *immersed tunnel* :

#### 1. Melakukan pabrikasi segmen

Segmen terowongan akan dibuat terlebih dahulu pada *dry dock* sehingga diperlukan perhitungan kontrol berat segmen agar segmen dapat dipindah dari *dry dock* menuju lokasi proyek dengan cara diapungkan dalam keadaan kosong, sehingga pada saat proses transportasinya air laut dapat membanjiri *dry dock* dan dapat mengangkat seluruh segmen terowongan. Proses Pabrikasi segmen terowongan dapat dilihat pada **Gambar 5.25**



**Gambar 5.25** Proses pabrikasi segmen *immersed tunnel*

Sumber : (<http://insights.wsp-pb.com>)

#### 2. *Dredging* tempat untuk peletakan segmen

Pada saat proses pabrikasi segmen terowongan, persiapan untuk tempat peletakan segmen didasar laut dapat dilakukan. Persiapan tempat ini akan memerlukan proses *dredging* di sepanjang rute terowongan akan dibangun hingga elevasi rencana alinemen *immersed tunnel*

#### 3. Pembuatan *foundation bed* di lokasi segmen

Setelah proses *dredging* dilakukan sesuai elevasi dasar *foundation bed* yang direncanakan, dilakukan pembuatan *foundation bed* berupa pondasi dangkal dari material gravel dengan tebal kurang lebih 1,1 m. Pada pekerjaan ini, dilakukan hanya dengan meratakan permukaan lapisan gravel, sehingga



tidak akan merusak segmen terowongan. Tujuannya peletakan pondasi ini adalah untuk meratakan beban yang disebabkan oleh segmen terowongan ke dasar laut yang telah digali

4. Penutupan segmen dan transportasi segmen sebelum dibawa ke lokasi perencanaan

Setelah pembuatan *foundation bed* selesai segmen telah siap untuk dipindahkan dari tempat pabrikan ke atas *foundation bed* yang direncanakan. Sebelum lokasi pabrikan segmen dibanjiri dengan air laut, Seluruh lubang yang telah dibuat dari segmen akan ditutup dengan (*bulkheads*), sehingga dapat kedap air. Penutupan ini dapat menyebabkan bagian dalam segmen akan terisi oleh udara sehingga tidak ada pemberat selain berat struktur dari segmen itu sendiri yang dapat membuat seluruh segmen dapat mengambang di permukaan air laut, yang prosesnya ditunjukkan oleh **Gambar 5.26** dan **Gambar 5.27**.



**Gambar 5.26** Segmen terowongan setelah dipasang *bulkheads*  
Sumber : (Wikipedia.com)



**Gambar 5.27** Proses pembanjiran segmen sebelum transportasi

*Sumber : (<http://www.popularmechanics.com>)*

Setelah dipastikan segmen terowongan telah tidak mengalami kebocoran air, maka segmen telah siap untuk dipindahkan. Pemindahan segmen akan dibantu oleh setidaknya 4 kapal yang akan menarik segmen terowongan ini. **Gambar 5.28** segmen akan dipindahkan menuju rute terowongan.



**Gambar 5.28** Proses transportasi segmen

*Sumber : (<http://blog.ramboll.com>)*

5. Peletakan segmen diatas *foundation bed*

Saat segmen akan ditenggelamkan, untuk membantu menenggelamkan segmen akan ditambah pemberat berupa air laut dengan volume setara dengan volume beton *ballast*. **Gambar 5.29** menunjukkan proses penenggelaman segmen.



**Gambar 5.29** Proses penenggelaman segmen terowongan

Sumber : (<http://blog.ramboll.com>)

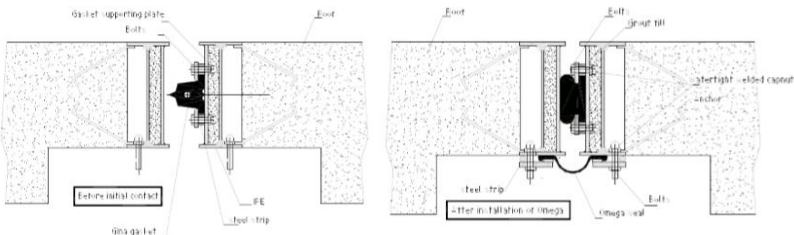
6. Proses penghubungan sambungan antar segmen

Proses ini akan dilakukan setelah 2 segmen telah di atur letak segmennya. Pada bagian hubungan antar segmen ada bagian yang sengaja di kosongkan sehingga dapat terisi oleh air. Proses penyambungannya adalah dengan meletakkan 2 segmen sangat berdekatan sehingga sambungan karet antar segmen dapat terhubung. Kemudian, air yang berada diruang tersebut akan dipompa keluar sehingga sambungan karet yang telah terhubung sebelumnya akan menyatu dengan sempurna. **Gambar 5.30** menunjukkan proses penghubungan sambungan karet dan **Gambar 5.31** menunjukkan detail dari sambungan karet jenis *rubber gaskets* pada ujung segmen yang sering digunakan pada sambungan segmen terowongan.



**Gambar 5.30** Proses penyambungan antar segmen dengan *rubber gaskets*

Sumber : (Gina Gasket, Trelleborg)



**Gambar 5.31** Detail sambungan *rubber gaskets*

Sumber : (Gina Gasket, Trelleborg)

#### 7. Penimbunan kembali dengan *backfill*

Segmen yang telah terpasang akan ditimbun setelah segmen telah terhubung dengan sempurna. Timbunan segmen terowongan akan ditimbun sehingga akan terlindungi dari arus laut yang terjadi pada didasar laut. selain itu, tidak memungkinkan membiarkan air laut tetap berada didalam segmen terowongan untuk memberikan pemberat, sehingga perlu dicarikan material lain yang dapat memberikan pemberat pada segmen dari luar terowongan. Sehingga bagian luar segmen akan ditimbun untuk memberikan berat tambahan kepada segmen terowongan sehingga dapat berada didalam secara permanen. Backfill ini akan mayoritas terdiri dari lapisan batu dan pasir.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan untuk menutup laporan tugas akhir ini, sebagai berikut :

1. Rute perencanaan *immersed tunnel* yang bertujuan menghubungkan Kota Balikpapan dan Kabupaten Penajam Paser Utara terdapat pada **Gambar 5.1**
2. Alinemen pada bagian utama terowongan bawah laut sistem *immersed tunnel* seperti pada **Gambar 5.2**
3. Struktur pada bagian utama *immersed tunnel* berupa segmen beton bertulang dengan panjang setiap segmen adalah 154,5 m dan 150 m, lebar segmen 43,8 m, dimensi penampang melintang segmen terdapat pada **Gambar 5.4**, material yang digunakan adalah beton dengan kuat tekan ( $f'c$ ) = 50 MPa dan tulangan BJ 55 dengan kuat tarik ( $f_y$ ) = 410 MPa
4. Susunan lapisan *locking backfill*, *ordinary backfill*, *protective backfill* terdapat pada **Gambar 5.8**
5. Gaya angkat air laut terhadap *immersed tunnel* sebesar 74976,41 ton
6. *Approach* terowongan di sisi Kota Balikpapan akan menggunakan *secant pile* sebagai dinding penahan tanah dengan kedalaman 30 meter pada model 1, dan 45 meter pada model 2. Model-model *approach* yang direncanakan dapat dilihat pada **Gambar 5.10** hingga **Gambar 5.11**.
7. Proses pelaksanaan dari pembuatan terowongan yang berada dibawah laut akan adalah sebagai berikut:
  1. Melakukan pabriasi dari segmen terowongan dan pengecekan kebocoran
  2. *Dredging* di dasa laut untuk untuk peletakan segmen terowongan
  3. Peletakan *foundation bed* di tempat segmen;

4. Transportasi segmen ke lokasi
5. Peletakan segmen di tempat yang telah disiapkan
6. Proses penghubungan sambungan antar segmen
7. Penimbunan kembali dengan *backfill*.

## 6.2 Saran

Berdasarkan proses perencanaan dan pembuatan laporan ini, penulis menyarankan untuk :

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai perencanaan terowongan bawah laut sistem *immersed tunnel*
2. Data tanah untuk perencanaan dinding penahan tanah ini diharapkan memiliki parameter data tanah yang lengkap sehingga perencanaan dapat dilakukan sesuai dengan kondisi sebenarnya
3. Diperlukan pembuatan program iterasi dari metode perhitungan dinding penahan tanah dengan *stress and deflection: Beam on Elastic Foundation* dengan gap yang lebih kecil

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifi, A. (2018). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pemilihan Alternatif Pembangunan Terowongan Jalan di Indonesia. *Jurnal Infrastruktur*, 4, 1–1.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 2847-2013*. , (2013).
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 8460-2017*. , (2017).
- Bowles, J. E. (1987). *Foundation Analysis and Design*. Singapura: McGraw Hill Book Company.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ivan, M., Perdana, A. D. I., & Sipil, D. T. (2017). *PELABUHAN DAN PENGGUNAAN MATERIAL DREDGING SEBAGAI MATERIAL TIMBUNAN PADA AREA PERLUASAN DERMAGA STUDI KASUS PROYEK RDMP-RU V PT . PERTAMINA PADA AREA PERLUASAN DERMAGA STUDI KASUS PROYEK RDMP-RU V PT* . Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kar, S., & Saini, V. (2015). *Immersed Tunnel an Innovation to Cross a Water-Body*. India.
- Lasabuda, R. (2013). Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan Dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, I-2, 92–101.
- Menteri Pekerjaan Umum. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011*. , (2011).
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 41/PRT/M/2015*. , (2015).
- Pemerintah Kabupaten Penajam Paser Utara Provinsi Kalimantan Timur. (2011). *Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah Kabupaten Penajam Paser Utara*. Kabupaten Penajam Paser Utara.
- Samir. (2018). No Title.
- Soeyanto, E., & Arifiyana. (2018). Dinamika Proses Sedimentasi

di Perairan Muara Sungai Riko, Teluk Balikpapan. *OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA*, 3(1), 63–72.

- Tampubolon, A. H. (2007). *Studi Analisis Pengaruh Pembangunan Terowongan MRT Terhadap Lingkungan Sekitar Dengan Metode Elemen Hingga*. Institut Teknologi Bandung.
- Wahyudi, H. (1999). *Pondasi Dangkal*.
- Wit, H. de. (2014). Immersed Tunnel Design and Construction Aspects. *National Seminar Immersed Tunnel*. Surakarta.
- Wit, J. C. W. . de, & Putten, E. Van. (2014). The Immersed Tunnel as Fixed Link - A Successful Alternative Pushed by Innovation. *Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 – Tunnels for a Better Life. Foz Do Iguaçu, Brazil*. Brazil.
- Zhigang, Z., Wei, L., Hai, J., & Xiaudong, L. (2016). Layout and Design Techniques of Cross Section for the Large Immersed Tunnel. *Procedia Engineering*, 166, 37–44.
- Zijlstra, R. (2014). Immersed Tunnel General Introduction. *National Seminar Immersed Tunnel*. Surakarta.



***Lampiran 1 : Data Borlog dan Hasil Laboratorium***

Lampiran 1 : Data Borlog dan Hasil Laboratorium

1. Data Borlog dan Hasil Laboratorium di Titik A1

Bore No : A1  
 Project : ACCELERATION RDMP RU V BALKAPAPAN  
 Location : NEW CONSTRUCTION JETTY  
 Elevation : -0,20 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0479366  
 Y = 9861317  
 Diameter of Bore : 73 mm  
 Diameter of Casing : 89 mm

**BORE LOG**

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties			
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( $g/cm^3$ )	Specific Gravity G <sub>s</sub>	Porosity n	Void Ratio e	Direct Shear Test			
															c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ ( $^\circ$ )		
0				White														
1			Silty Sand		1 + 1,00 - 1,50 m <sup>2</sup>	1.06	58.26	40.68	0.00	31.56	1.460	2.665	0.457	0.841	0.35	13		
2																		
4							1 + 4,00 - 4,50 m <sup>2</sup>	3,10	59,15	37,75	0,00	30,77	1,452	2,667	0,451	0,821	0,31	15
5																		
6																		
7					1 + 7,00 - 7,50 m <sup>4</sup>	0,56	80,81	18,62	0,00	20,41	1,677	2,682	0,354	0,547	0,29	16		
8			Clayey Silt with Sand	Grey Black														
9																		
10							1 + 10,00 - 10,50 m <sup>5</sup>	0,15	2,18	60,86	36,81	44,40	1,193	2,614	0,537	1,161	0,42	8
11																		
12																		
13					2 + 13,00 - 13,50 m <sup>7</sup>	0,66	22,64	50,08	26,62	42,67	1,238	2,622	0,528	1,119	0,40	9		
14																		
15																		
16			Sand & Silt with Clay	Brown	3 + 16,00 - 16,50 m <sup>8</sup>	0,00	41,12	35,58	23,30	15,20	1,903	2,648	0,287	0,403	0,37	11		
17																		
18							2 + 19,00 - 19,50 m <sup>5</sup>	0,00	39,73	45,28	14,98	17,46	1,793	2,633	0,315	0,460	0,39	10
19																		
20					2 + 22,00 - 22,50 m <sup>9</sup>	0,00	49,52	31,34	19,13	18,66	1,768	2,652	0,331	0,495	0,36	12		
21																		
22			Silty Sand	White														
23																		
24							18 + 25,00 - 30 25,50 m <sup>55</sup>	2,16	90,22	7,62	0,00	19,85	1,546	2,682	0,347	0,532	0,32	15
25																		
26																		
27																		
28					20 + 28,00 - 30 / 11 cm 28,50 m <sup>80</sup>	0,63	91,03	8,33	0,00	21,16	1,534	2,673	0,361	0,566	0,34	14		
29																		
30																		
31					23 + 31,00 - 28 / 10 cm 31,50 m <sup>80</sup>	0,00	96,96	3,04	0,00	21,13	1,520	2,729	0,366	0,577	0,25	20		

Bore No : A1  
 Project : ACCELERATION RDMP RU V BALIKPAPAN  
 Location : NEW CONSTRUCTION JETTY  
 Elevatio : -0,20 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0479366  
 Y = 9861317  
 Diameter of Bore : 73 mm  
 Diameter of Casing : 89 mm

**BORE LOG**

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample ( Blow / 30 cm )	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties			
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( $g/cm^3$ )	Specific Gravity GS	Porosity n	Void Ratio e	Direct Shear Test			
															c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ ( $^\circ$ )		
30																		
31				White	23 + 36 / 31,00 - 28 / 31,50 = 80 m	0,00	96,96	3,04	0,00	21,13	1,520	2,729	0,366	0,577	0,25	20		
32				White														
34				White	28 + 36 / 34,00 - 30 / 34,50 = 80 m	0,14	97,04	2,82	0,00	13,33	1,433	2,742	0,268	0,366	0,15	26		
35				White														
36				White														
37				White	32 + 40 / 37,00 - 20 / 37,50 = 80 m	0,12	98,91	0,97	0,00	15,44	1,483	2,738	0,297	0,423	0,17	25		
38				White														
39				White														
40				White														
41				Grey Brown	12 + 28 / 40,00 - 36 / 40,50 = 63 m	0,00	97,02	2,98	0,00	13,90	1,451	2,724	0,275	0,379	0,23	22		
42				Grey Brown														
43				Grey Brown														
44				Grey Brown	20 + 21 / 43,00 - 23 / 43,50 = 44 m	0,46	95,67	3,87	0,00	19,76	1,482	2,714	0,349	0,536	0,26	19		
45				Grey Brown														
46				Grey Brown														
47			Grey Brown	23 + 23 / 46,00 - 30 / 46,50 = 53 m	0,12	95,68	4,20	0,00	21,25	1,482	2,706	0,365	0,575	0,28	17			
48			Grey Brown															
49			Grey Brown	60 / 49,00 - 9 / 49,50 = 80 m	0,24	39,06	46,44	14,25	22,18	1,539	2,641	0,369	0,586	0,37	11			
50			Grey Brown															
51			Grey Brown															
52			Brown Grey	16 + 22 / 52,00 - 34 / 52,50 = 56 m	0,00	97,09	2,91	0,00	20,86	1,513	2,727	0,363	0,569	0,20	23			
53			Brown Grey															
54			Brown Grey															
55			Brown Grey	18 + 23 / 55,00 - 25 / 55,50 = 48 m	0,00	97,60	2,40	0,00	18,30	1,581	2,731	0,333	0,500	0,18	24			
56			Brown Grey															
57			Brown Grey															
58			Brown Grey	25 + 30 / 58,00 - 30 / 58,50 = 80 m	0,00	96,57	3,43	0,00	21,53	1,499	2,713	0,369	0,584	0,24	21			
59			Brown Grey															
60			Brown Grey	30 + 41 / 60,00 - 20 / 60,50 = 80 m	0,00	95,34	4,66	0,00	22,32	1,502	2,702	0,376	0,603	0,27	18			





### 3. Data Borlog dan Hasil Laboratorium di Titik A3

Bore No : A3  
 Project : ACCELERATION RAMP RU V BALIKPAPAN  
 Location : EXISTING JETTY B  
 Elevatio : -0,20 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0479232  
 Y = 9861212  
 Diameter of Bore : 73 mm  
 Diameter of Casing : 89 mm

#### BORE LOG

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties		
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( $g/cm^3$ )	Specific Gravity G <sub>s</sub>	Porosity n	Void Ratio e	Direct Shear Test		
															c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ ( $^\circ$ )	
0																	
1				Grey	3 + 5 - 8 = 13 1,00 - 1,50 m	0.00	85.11	14.89	0.00	18.90	1.605	2.663	0.335	0.503	0.36	15	
2				Grey White													
4				Grey White	5 + 9 - 11 = 20 4,00 - 4,50 m	0.13	98.77	1.10	0.00	20.12	1.486	2.735	0.355	0.550	0.14	26	
5																	
7					15 + 24 - 31 = 55 7,00 - 7,50 m	0.00	97.92	2.08	0.00	20.15	1.532	2.775	0.359	0.559	0.16	25	
8																	
10					12 + 21 - 30 = 51 10,00 - 10,50 m	0.00	97.03	2.97	0.00	19.45	1.514	2.726	0.346	0.530	0.18	23	
11																	
13					17 + 30 - 30 / 13 cm = 80 13,00 - 13,50 m	0.00	96.87	3.13	0.00	21.60	1.462	2.712	0.369	0.586	0.20	22	
14																	
15			Silty Sand														
16					10 + 18 - 24 = 42 15,00 - 15,50 m	0.00	96.61	3.39	0.00	21.32	1.460	2.706	0.366	0.577	0.21	22	
17																	
19				White	10 + 16 - 24 = 40 19,00 - 19,50 m	0.00	96.14	3.86	0.00	21.30	1.487	2.691	0.364	0.573	0.23	21	
20																	
22					17 + 28 - 35 = 63 22,00 - 22,50 m	0.00	97.35	2.65	0.00	22.53	1.457	2.722	0.380	0.613	0.17	24	
23																	
24																	
25					21 + 33 - 30 / 8 cm = 80 25,00 - 25,50 m	0.00	97.32	2.68	0.00	20.84	1.503	2.716	0.361	0.566	0.19	23	
26																	
27																	
28					18 + 30 - 35 = 65 28,00 - 28,50 m	0.41	94.21	5.39	0.00	19.66	1.525	2.671	0.344	0.525	0.34	16	
29																	
30																	
31					15 + 27 - 34 = 61 31,00 - 31,50 m	0.00	97.43	2.57	0.00	20.46	1.457	2.718	0.357	0.556	0.18	24	

Bore No : A3  
 Project : ACCELERATION RDMP RU V BALIKPAPAN  
 Location : EXISTING JETTY 6  
 Elevation : -6,20 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0479252  
 Y = 9861212  
 Diameter of Bore : 75 mm  
 Diameter of Casing : 89 mm

**BORE LOG**

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties Direct Shear Test			
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( $g/cm^3$ )	Specific Gravity G <sub>s</sub>	Porosity n	Void Ratio e	c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ (°)		
30																		
31		15	+ 27 31,00	+ 34 31,50	= 51 m	0,00	97,43	2,57	0,00	20,46	1,457	2,718	0,357	0,556	0,18	24		
32																		
34		15	+ 25 34,00	+ 33 34,50	= 58 m	0,00	95,65	4,35	0,00	20,35	1,478	2,684	0,353	0,546	0,29	17		
35																		
37		21	+ 32 37,00	+ 28 / 7 cm 37,50	= 80 m	0,15	95,69	4,16	0,00	21,12	1,504	2,688	0,362	0,568	0,30	17		
38																		
40		21	+ 35 40,00	+ 25 / 5 cm 40,50	= 80 m	0,11	96,20	3,69	0,00	18,91	1,422	2,694	0,337	0,509	0,28	19		
41																		
43		25	+ 36 43,00	+ 25 / 5 cm 43,50	= 80 m	0,00	96,46	3,54	0,00	24,09	1,429	2,701	0,394	0,651	0,25	20		
44																		
45		Silty Sand			White Grey													
46																		
47		28	+ 41 46,00	+ 20 / 3 cm 46,50	= 80 m	0,00	95,89	4,11	0,00	22,42	1,499	2,692	0,376	0,603	0,30	18		
48																		
49	30	+ 43 49,00	+ 17 / 3 cm 49,50	= 80 m	0,77	95,27	3,97	0,00	23,33	1,467	2,691	0,386	0,628	0,26	20			
50																		
51																		
52	22	+ 34 52,00	+ 30 / 8 cm 52,50	= 80 m	0,00	95,68	4,32	0,00	21,67	1,506	2,686	0,368	0,582	0,31	18			
53																		
54																		
55	31	+ 40 55,00	+ 20 / 4 cm 55,50	= 80 m	0,00	96,56	3,44	0,00	22,52	1,442	2,703	0,378	0,609	0,29	21			
56																		
57																		
58	25	+ 37 58,00	+ 25 / 5 cm 58,50	= 80 m	0,00	96,34	3,66	0,00	21,03	1,493	2,696	0,362	0,567	0,27	19			
59																		
60	18	+ 30 60,00	+ 35 / 10 cm 60,50	= 80 m	0,00	95,02	4,98	0,00	20,29	1,483	2,682	0,352	0,544	0,32	16			

#### 4. Data Borlog dan Hasil Laboratorium di Titik A4

Bore No : A4  
 Project : ACCELERATION RDMP RU V BALIKPAPAN  
 Location : EXISTING JETTY 7  
 Elevatio : -8,20 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0470261  
 Y = 0861456  
 Diameter of Bore : 73 mm  
 Diameter of Casing : 80 mm

#### BORE LOG

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties		
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( $g/cm^3$ )	Specific Gravity G <sub>s</sub>	Porosity n	Void Ratio e	Direct Shear Test		
															c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ ( $^\circ$ )	
0																	
1					1 + 1 - 1,50 = 2	19,37	6,87	46,76	27,00	79,48	0,845	2,646	0,678	2,103	0,25	14	
2																	
3																	
4					1 + 4,00 - 4,50 = 2	0,18	1,47	52,87	45,48	52,13	1,057	2,619	0,577	1,366	0,33	9	
5																	
6																	
7					1 + 7,00 - 7,50 = 2	0,54	27,27	36,43	35,75	73,13	0,899	2,637	0,659	1,928	0,26	12	
8																	
9																	
10					1 + 10,00 - 10,50 = 2	0,17	1,48	55,02	43,33	69,05	0,929	2,613	0,643	1,805	0,31	10	
11			Clayey Silt with minor Sand	Brown Grey													
12																	
13					1 + 13,00 - 13,50 = 2	0,35	1,26	55,54	42,85	72,61	0,888	2,608	0,654	1,894	0,39	8	
14																	
15					1 + 16,00 - 16,50 = 2	1,05	0,60	55,05	43,30	61,02	1,008	2,622	0,615	1,600	0,36	7	
16																	
17					0 + 19,00 - 19,50 = 2	1,13	1,49	53,90	43,49	71,56	0,880	2,633	0,653	1,884	0,28	11	
18																	
19																	
20																	
21																	
22					0 + 22,00 - 22,50 = 1	0,37	1,16	53,93	44,55	52,59	1,110	2,604	0,578	1,370	0,38	6	
23																	
24																	
25																	
26					12 + 15 - 20 = 35	0,25	95,26	4,49	0,00	19,15	1,566	2,713	0,342	0,520	0,19	22	
27																	
28					14 + 20 - 35 = 55	0,23	95,80	3,96	0,00	19,01	1,507	2,721	0,341	0,517	0,17	24	
29																	
30					15 + 21 - 37 = 58	6,88	86,64	6,48	0,00	18,41	1,581	2,683	0,331	0,494	0,21	18	



### 5. Data Borlog dan Hasil Laboratorium di Titik A5

Bore No : A5  
 Project : ACCELERATION RDMP RU V BALIKPAPAN  
 Location : NEW CONSTRUCTION JETTY  
 Elevation : -7,20 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0479249  
 Y = 0861284  
 Diameter of Bore : 73 mm  
 Diameter of Casing : 89 mm

#### BORE LOG

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties	
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( $g/cm^3$ )	Specific Gravity G <sub>s</sub>	Porosity n	Void Ratio e	Direct Shear Test	
															c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ ( $^\circ$ )
0			Silt, Sand, Gravel	Black	0 + 0 + 1 - 1 1,00 - 1,50 m	21,30	32,64	46,06	0,00	65,74	0,950	2,664	0,637	1,751	0,31	10
1			Silty Sand		1 + 1 + 1 - 2 4,00 - 4,50 m	0,00	77,11	22,89	0,00	26,34	1,521	2,673	0,413	0,704	0,29	12
2					1 + 1 + 1 - 2 7,00 - 7,50 m	0,15	2,06	58,21	39,58	54,76	1,050	2,631	0,590	1,441	0,40	6
3			Clayey Silt with minor Sand	Brown Grey	1 + 1 + 1 - 2 10,00 - 10,50 m	0,44	4,44	57,80	37,32	61,60	0,995	2,643	0,619	1,628	0,38	7
4					1 + 1 + 1 - 2 13,00 - 13,50 m	0,09	5,69	57,41	36,81	54,28	1,074	2,648	0,590	1,438	0,35	8
5					1 + 1 + 1 - 2 16,00 - 16,50 m	0,68	11,35	54,24	33,73	52,42	1,077	2,654	0,582	1,391	0,33	9
6					8 + 20 + 42 - 42 19,00 - 19,50 m	0,80	96,66	2,54	0,00	20,81	1,535	2,717	0,361	0,565	0,26	15
7			Silty Sand	White	18 + 22 + 47 - 47 22,00 - 22,50 m	0,00	96,40	3,60	0,00	21,55	1,506	2,724	0,370	0,587	0,24	17
8					13 + 24 + 51 - 51 25,00 - 25,50 m	0,18	95,85	3,97	0,00	21,86	1,493	2,711	0,372	0,593	0,27	16
9					20 + 30 + 80 - 80 28,00 - 30 / 12 cm 28,50 m	0,00	98,16	1,84	0,00	21,44	1,473	2,735	0,370	0,586	0,15	26
10					20 + 27 + 57 - 57 31,00 - 30 31,50 m	0,00	96,89	3,11	0,00	22,87	1,477	2,726	0,384	0,624	0,17	23

Bore No : A5  
 Project : ACCELERATION RAMP RU V BALIKPAPAN  
 Location : NEW CONSTRUCTION JETTY  
 Elevation : -7,20 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0479249  
 Y = 9861284  
 Diameter of Bore : 73 mm  
 Diameter of Casing : 89 mm

**BORE LOG**

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample ( Blow / 30 cm )	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties		
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( g/cm <sup>3</sup> )	Specific Gravity G <sub>s</sub>	Porosity n	Void Ratio e	Direct Shear Test		
															c kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ (°)	
30		0 20 40 60 80															
31		20	+ 27 31,00	+ 30 31,50	= 57 m	0,00	96,89	3,11	0,00	22,87	1,477	2,726	0,384	0,624	0,17	23	
32																	
34		20	+ 24 34,00	+ 31 34,50	= 55 m	0,30	86,36	13,34	0,00	7,80	1,701	2,682	0,173	0,209	0,25	16	
35																	
36																	
37		25	+ 30 37,00	+ 33 / 10 cm 37,50	= 80 m	0,00	96,66	3,34	0,00	19,98	1,523	2,722	0,352	0,544	0,20	21	
38																	
39																	
40		21	+ 26 40,00	+ 30 40,50	= 56 m	0,29	96,13	3,58	0,00	20,57	1,509	2,691	0,356	0,554	0,23	18	
41																	
42																	
43		18	+ 23 43,00	+ 32 43,50	= 55 m	1,06	95,91	3,03	0,00	21,11	1,508	2,728	0,365	0,576	0,18	22	
44																	
45																	
46	21	+ 30 46,00	+ 31 / 10 cm 46,50	= 80 m	0,00	97,71	2,29	0,00	20,83	1,495	2,731	0,363	0,569	0,16	25		
47																	
48																	
49	31	+ 60 / 13 cm 49,00	+ 49,50	= 80 m	0,12	82,94	16,95	0,00	20,80	1,497	2,679	0,358	0,557	0,28	13		
50																	
51																	
52	33	+ 60 / 12 cm 52,00	+ 52,50	= 80 m	0,00	96,40	3,60	0,00	19,99	1,522	2,702	0,351	0,540	0,22	19		
53																	
54																	
55	20	+ 32 55,00	+ 35 / 10 cm 55,50	= 80 m	0,00	96,81	3,19	0,00	20,29	1,504	2,714	0,355	0,551	0,19	21		
56																	
57																	
58	30	+ 36 58,00	+ 30 / 6 cm 58,50	= 80 m	0,00	96,41	3,59	0,00	20,63	1,488	2,706	0,358	0,558	0,21	20		
59																	
60	35	+ 43 60,00	+ 20 / 4 cm 60,50	= 80 m	0,00	96,10	3,90	0,00	22,14	1,486	2,695	0,374	0,597	0,27	15		

## 6. Data Borlog dan Hasil Laboratorium di Titik A6

Bore No : A6  
 Project : ACCELERATION RDMP RU V BALIKPAPAN  
 Location : NEW CONSTRUCTION JETTY  
 Elevation : +1,44 m LWS  
 of sea bed

Coordinates of GPS (UTM) X = 0479408  
 Y = 9861265  
 Diameter of Bore : 73 mm  
 Diameter of Casing : 89 mm

### BORE LOG

DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm	DESCRIPTION	COLOUR	S P T Value Depth sample (Blow / 30 cm)	Grain Size Analysis (%)				Physical Properties					Mechanical Properties			
						Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water Content (%)	Dry Density ( $\gamma_d$ ) ( $g/cm^3$ )	Specific Gravity GS	Porosity n	Void Ratio e	Direct Shear Test			
											c	$\phi$						
											kg/cm <sup>2</sup>	(°)						
0																		
1			Silty Sand		2 + 2 = 3 = 5 1,00 - 1,50 m	1.62	76.48	21.90	0.00	23.25	1.556	2.685	0.384	0.624	0.32	15		
2																		
3																		
4					1 + 1 = 2 = 2 4,00 - 4,50 m	1.70	14.39	50.85	33.06	69.27	1.521	2.652	0.648	1.837	0.36	11		
5																		
6																		
7					15 + 24 = 39 = 55 7,00 - 7,50 m	0.20	4.55	51.25	43.99	69.86	0.916	2.631	0.648	1.838	0.41	7		
8																		
9																		
10					1 + 1 = 2 = 2 10,00 - 10,50 m	0.30	49.70	34.23	15.77	36.72	1.366	1.972	0.420	0.724	0.34	13		
11																		
12																		
13				Grey														
14			Clayey Silt with Sand		1 + 1 = 2 = 3 13,00 - 13,50 m	0.79	9.39	50.95	38.86	49.38	1.074	2.648	0.567	1.308	0.37	10		
15																		
16					1 + 1 = 2 = 3 16,00 - 16,50 m	0.40	26.39	51.70	21.51	54.23	1.098	2.657	0.590	1.441	0.35	12		
17																		
18																		
19					1 + 1 = 2 = 3 19,00 - 19,50 m	0.51	5.19	57.80	36.50	20.81	0.968	2.635	0.354	0.548	0.40	8		
20																		
21																		
22					2 + 3 = 5 = 8 22,00 - 22,50 m	0.49	7.86	52.20	39.45	52.04	1.086	2.642	0.579	1.375	0.38	9		
23																		
24																		
25																		
26					13 + 15 = 28 = 33 25,00 - 25,50 m	0.00	97.31	2.69	0.00	19.76	1.567	2.728	0.350	0.539	0.21	23		
27																		
28																		
29					14 + 17 = 31 = 40 28,00 - 28,50 m	0.00	97.09	2.91	0.00	19.72	1.529	2.714	0.349	0.535	0.25	21		
30																		
31					14 + 16 = 30 = 42 31,00 - 31,50 m	0.00	96.52	3.48	0.00	19.57	1.532	2.708	0.346	0.530	0.27	19		



***Lampiran 2 : Tabel Analisa Data Tanah***

Lampiran 2 : Tabel Analisa Data Tanah

2.1. Tabel Hasil Korelasi

depth bor (m)	NSPT	Jenis Tanah	Konsistensi	Cu (t/m2)	Dr (%)	φ (°)	γsat (ton/m3)	qu		Es		μs	ks (kN/m2)
								(kN/m2)	(t/m2)	(MN/m2)	(kPa)		
0 - 23	1	Clayey Silt with Minor Sand	Very Soft	0,5	0	0,00	1,600	12,500	1250	7,42	7420	0,190	12000
23 - 25	4	Silty Sand	Very Loose	0	15	28,00	1,600	0	0	10,35	10350	0,200	24000
25 - 28	35	Silty Sand	Dense	0	70	37,25	1,875	0	0	12,08	12075	0,250	30000
28 - 30	55	Silty Sand	Very Dense	0	85	41,00	2,250	0	0	17,25	17250	0,400	48000

2.2. Tabel Perbandingan Data Laboratorium, Hasil Korelasi, dan Perhitungan

depth bor (m)	ketebalan (m)	NSPT	Jenis Tanah	Konsistensi	γsat (t/m3)			Cu		qu (kN/m2)	Es (kPa)	μs	ks (kN/m3)	ks (kN/m2)	φ (°)	Wc (%)	γd (t/m3)	Gs	n	e	
								(ton/m2)	(kg/cm2)												(ton/m2)
1	1	1,000	Clayey Silt with Minor Sand	Very Soft	1,600	1,576	0,25	2,500	12,50	7420,000	0,190	5131,929	12000,00	0	14,000	79,480	0,845	2,646	0,678	2,103	
4	3		Clayey Silt with Minor Sand			1,735	0,33	3,300							9,000	52,130	1,057	2,619	0,577	1,366	
7	3		Clayey Silt with Minor Sand			1,606	0,26	2,600							12,000	73,130	0,899	2,637	0,659	1,928	
10	3		Clayey Silt with Minor Sand			1,622	0,31	3,100							10,000	69,050	0,929	2,613	0,643	1,805	
13	3		Clayey Silt with Minor Sand			1,602	0,39	3,900							8,000	72,610	0,888	2,608	0,654	1,894	
16	3		Clayey Silt with Minor Sand			1,673	0,36	3,600							7,000	61,020	1,008	2,622	0,615	1,600	
19	3		Clayey Silt with Minor Sand			1,613	0,28	2,800							11,000	71,560	0,880	2,633	0,653	1,884	
23	4		Clayey Silt with Minor Sand			1,727	0,38	3,800							6,000	52,590	1,110	2,604	0,578	1,370	
25	2	35,000	Silty Sand	Very Loose	1,600	2,191	0	0,19	1,900	0	10350,000	0,200	7187,500	24000,00	28,000	22,000	19,150	1,566	2,713	0,342	0,520
28	3	55,000	Silty Sand	Dense	1,875	2,199	0	0,17	1,700	0	12075,000	0,250	8586,667	30000,00	37,250	24,000	19,010	1,507	2,721	0,341	0,517
30	2	58,000	Silty Sand	Very Dense	2,250	2,190	0	0,21	2,100	0	17250,000	0,400	13690,476	48000,00	41,000	18,000	18,410	1,581	2,683	0,331	0,494

***Lampiran 3 : Perhitungan Iterasi***

1. Model 1

a. Galian 1 sedalam 4 m dengan 1 buah strut

Iterasi 1

- Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	Pa min (ton)	ks (t/m2)
0	1,500	0,500	1200
1	2,076	1,076	1200
2	2,653	1,653	1200
3	3,229	2,229	1200
4	3,805	2,805	1200
5	4,382	3,382	1200
6	4,958	3,958	1200
7	5,535	4,535	1200
8	6,111	5,111	1200
9	6,687	5,687	1200
10	7,264	6,264	1200
11	7,840	6,840	1200
12	8,416	7,416	1200
13	8,993	7,993	1200
14	9,569	8,569	1200
15	10,146	9,146	1200
16	10,722	9,722	1200
17	11,298	10,298	1200
18	11,875	10,875	1200
19	12,451	11,451	1200
20	13,027	12,027	1200
21	13,604	12,604	1200
22	14,180	13,180	1200
23	14,756	13,756	1200
24	8,147	5,544	2400
25	8,465	5,761	2400
26	6,643	4,138	3000
27	6,989	4,354	3000
28	7,334	4,569	3000
29	6,800	4,106	4800
30	7,210	4,354	4800

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	Pp max (ton)	ks (t/m2)
4,5	1,788	1,288	1200
5,5	2,365	1,865	1200
6,5	2,941	2,441	1200
7,5	3,517	3,017	1200
8,5	4,094	3,594	1200
9,5	4,670	4,170	1200
10,5	5,246	4,746	1200
11,5	5,823	5,323	1200
12,5	6,399	5,899	1200
13,5	6,975	6,475	1200
14,5	7,552	7,052	1200
15,5	8,128	7,628	1200
16,5	8,705	8,205	1200
17,5	9,281	8,781	1200
18,5	9,857	9,357	1200
19,5	10,434	9,934	1200
20,5	11,010	10,510	1200
21,5	11,586	11,086	1200
22,5	12,163	11,663	1200
23,5	6,765	31,163	1800
24,5	7,083	32,825	2400
25,5	5,561	51,198	2700
26,5	5,906	54,757	3000
27,5	6,252	58,316	3000
28,5	5,803	74,011	3900
29,5	6,212	79,743	4800



- Deformasi iterasi 1

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,00000	4,5	0,00062
1	0,00016	5,5	0,00069
2	0,00031	6,5	0,00074
3	0,00045	7,5	0,00077
4	0,00057	8,5	0,00078
5	0,00066	9,5	0,00076
6	0,00072	10,5	0,00073
7	0,00076	11,5	0,00069
8	0,00078	12,5	0,00064
9	0,00077	13,5	0,00058
10	0,00075	14,5	0,00051
11	0,00071	15,5	0,00045
12	0,00066	16,5	0,00038
13	0,00061	17,5	0,00031
14	0,00055	18,5	0,00025
15	0,00048	19,5	0,00019
16	0,00041	20,5	0,00014
17	0,00035	21,5	0,00009
18	0,00028	22,5	0,00005
19	0,00022	23,5	0,00002
20	0,00017	24,5	-0,00001
21	0,00012	25,5	-0,00003
22	0,00007	26,5	-0,00004
23	0,00003	27,5	-0,00003
24	0,00000	28,5	-0,00002
25	-0,00002	29,5	0,00000
26	-0,00003		
27	-0,00003		
28	-0,00003		
29	-0,00001		
30	0,00000		

## Iterasi 2

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0002	1200	1,076	1,8844	2,0764	YES
2	2,653	0,0003	1200	1,653	2,2759	2,6527	YES
3	3,229	0,0005	1200	2,229	2,6867	3,2291	YES
4	3,805	0,0006	1200	2,805	3,1239	3,8055	YES
5	4,382	0,0007	1200	3,382	3,5922	4,3818	YES
6	4,958	0,0007	1200	3,958	4,0918	4,9582	YES
7	5,535	0,0008	1200	4,535	4,6226	5,5346	YES
8	6,111	0,0008	1200	5,111	5,1797	6,1109	YES
9	6,687	0,0008	1200	5,687	5,7621	6,6873	YES
10	7,264	0,0007	1200	6,264	6,3649	7,2637	YES
11	7,840	0,0007	1200	6,840	6,9856	7,8400	YES
12	8,416	0,0007	1200	7,416	7,6196	8,4164	YES
13	8,993	0,0006	1200	7,993	8,2632	8,9928	YES
14	9,569	0,0005	1200	8,569	8,9140	9,5692	YES
15	10,146	0,0005	1200	9,146	9,5695	10,1455	YES
16	10,722	0,0004	1200	9,722	10,2263	10,7219	YES
17	11,298	0,0003	1200	10,298	10,8819	11,2983	YES
18	11,875	0,0003	1200	10,875	11,5362	11,8746	YES
19	12,451	0,0002	1200	11,451	12,1846	12,4510	YES
20	13,027	0,0002	1200	12,027	12,8282	13,0274	YES
21	13,604	0,0001	1200	12,604	13,4657	13,6037	YES
22	14,180	0,0001	1200	13,180	14,0949	14,1801	YES
23	14,756	0,0000	1200	13,756	14,7169	14,7565	YES
24	8,147	0,0000	2400	5,544	8,1462	8,1470	YES
25	8,465	0,0000	2400	5,761	8,5206	8,4654	YES
26	6,643	0,0000	3000	4,138	6,7455	6,6435	YES
27	6,989	0,0000	3000	4,354	7,0908	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,4092	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,8483	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (kN/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
4,5	1,788	0,0006	1200	1,288	2,5274	1,2882	NO
5,5	2,365	0,0007	1200	1,865	3,1962	1,8646	NO
6,5	2,941	0,0007	1200	2,441	3,8337	2,4409	NO
7,5	3,517	0,0008	1200	3,017	4,4413	3,0173	NO
8,5	4,094	0,0008	1200	3,594	5,0237	3,5937	NO
9,5	4,670	0,0008	1200	4,170	5,5832	4,1700	NO
10,5	5,246	0,0007	1200	4,746	6,1236	4,7464	NO
11,5	5,823	0,0007	1200	5,323	6,6484	5,3228	NO
12,5	6,399	0,0006	1200	5,899	7,1623	5,8991	NO
13,5	6,975	0,0006	1200	6,475	7,6667	6,4755	NO
14,5	7,552	0,0005	1200	7,052	8,1663	7,0519	NO
15,5	8,128	0,0004	1200	7,628	8,6622	7,6282	NO
16,5	8,705	0,0004	1200	8,205	9,1582	8,2046	NO
17,5	9,281	0,0003	1200	8,781	9,6566	8,7810	NO
18,5	9,857	0,0003	1200	9,357	10,1573	9,3573	NO
19,5	10,434	0,0002	1200	9,934	10,6629	9,9337	NO
20,5	11,010	0,0001	1200	10,510	11,1757	10,5101	NO
21,5	11,586	0,0001	1200	11,086	11,6944	11,0864	NO
22,5	12,163	0,0000	1200	11,663	12,2216	11,6628	NO
23,5	6,765	0,0000	1800	31,163	6,7918	6,7648	YES
24,5	7,083	0,0000	2400	32,825	7,0495	7,0831	YES
25,5	5,561	0,0000	2700	51,198	5,4771	5,5608	YES
26,5	5,906	0,0000	3000	54,757	5,7952	5,9062	YES
27,5	6,252	0,0000	3000	58,316	6,1585	6,2515	YES
28,5	5,803	0,0000	3900	74,011	5,7325	5,8027	YES
29,5	6,212	0,0000	4800	79,743	6,1883	6,2121	YES

- Deformasi iterasi 2

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	4,5	0,00118
1	0,0003	5,5	0,00136
2	0,0006	6,5	0,00150
3	0,0008	7,5	0,00160
4	0,0011	8,5	0,00166
5	0,0013	9,5	0,00168
6	0,0014	10,5	0,00167
7	0,0016	11,5	0,00164
8	0,0016	12,5	0,00157
9	0,0017	13,5	0,00148
10	0,0017	14,5	0,00138
11	0,0017	15,5	0,00126
12	0,0016	16,5	0,00113
13	0,0015	17,5	0,00100
14	0,0014	18,5	0,00086
15	0,0013	19,5	0,00072
16	0,0012	20,5	0,00058
17	0,0011	21,5	0,00046
18	0,0009	22,5	0,00034
19	0,0008	23,5	0,00023
20	0,0007	24,5	0,00014
21	0,0005	25,5	0,00007
22	0,0004	26,5	0,00002
23	0,0003	27,5	0,00000
24	0,0002	28,5	-0,00001
25	0,0001	29,5	0,00000
26	0,0000		
27	0,0000		
28	0,0000		
29	0,0000		
30	0,0000		

### Iterasi 3

#### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0003	1200	1,076	1,7272	2,0764	YES
2	2,653	0,0006	1200	1,653	1,9651	2,6527	YES
3	3,229	0,0008	1200	2,229	2,2247	2,2291	NO
4	3,805	0,0011	1200	2,805	2,5179	2,8055	NO
5	4,382	0,0013	1200	3,382	2,8554	3,3818	NO
6	4,958	0,0014	1200	3,958	3,2386	3,9582	NO
7	5,535	0,0016	1200	4,535	3,6710	4,5346	NO
8	6,111	0,0016	1200	5,111	4,1513	5,1109	NO
9	6,687	0,0017	1200	5,687	4,6761	5,6873	NO
10	7,264	0,0017	1200	6,264	5,2441	6,2637	NO
11	7,840	0,0017	1200	6,840	5,8504	6,8400	NO
12	8,416	0,0016	1200	7,416	6,4892	7,4164	NO
13	8,993	0,0015	1200	7,993	7,1568	7,9928	NO
14	9,569	0,0014	1200	8,569	7,8484	8,5692	NO
15	10,146	0,0013	1200	9,146	8,5591	9,1455	NO
16	10,722	0,0012	1200	9,722	9,2843	9,7219	NO
17	11,298	0,0011	1200	10,298	10,0191	10,2983	NO
18	11,875	0,0009	1200	10,875	10,7598	10,8746	NO
19	12,451	0,0008	1200	11,451	11,5030	12,4510	YES
20	13,027	0,0007	1200	12,027	12,2438	13,0274	YES
21	13,604	0,0005	1200	12,604	12,9785	13,6037	YES
22	14,180	0,0004	1200	13,180	13,7037	14,1801	YES
23	14,756	0,0003	1200	13,756	14,4169	14,7565	YES
24	8,147	0,0002	2400	5,544	7,7102	8,1470	YES
25	8,465	0,0001	2400	5,761	8,2230	8,4654	YES
26	6,643	0,0000	3000	4,138	6,5175	6,6435	YES
27	6,989	0,0000	3000	4,354	6,9675	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,3551	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,8306	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
4,5	1,788	0,0012	1200	1,288	3,2006	1,2882	NO
5,5	2,365	0,0014	1200	1,865	3,9930	1,8646	NO
6,5	2,941	0,0015	1200	2,441	4,7385	2,4409	NO
7,5	3,517	0,0016	1200	3,017	5,4337	3,0173	NO
8,5	4,094	0,0017	1200	3,594	6,0833	3,5937	NO
9,5	4,670	0,0017	1200	4,170	6,6896	4,1700	NO
10,5	5,246	0,0017	1200	4,746	7,2552	4,7464	NO
11,5	5,823	0,0016	1200	5,323	7,7848	5,3228	NO
12,5	6,399	0,0016	1200	5,899	8,2831	5,8991	NO
13,5	6,975	0,0015	1200	6,475	8,7551	6,4755	NO
14,5	7,552	0,0014	1200	7,052	9,2067	7,0519	NO
15,5	8,128	0,0013	1200	7,628	9,6402	7,6282	NO
16,5	8,705	0,0011	1200	8,205	10,0618	8,2046	NO
17,5	9,281	0,0010	1200	8,781	10,4762	8,7810	NO
18,5	9,857	0,0009	1200	9,357	10,8869	9,3573	NO
19,5	10,434	0,0007	1200	9,934	11,2965	9,9337	NO
20,5	11,010	0,0006	1200	10,510	11,7109	10,5101	NO
21,5	11,586	0,0005	1200	11,086	12,1336	11,0864	NO
22,5	12,163	0,0003	1200	11,663	12,5672	11,6628	NO
23,5	6,765	0,0002	1800	31,163	7,1770	6,7648	YES
24,5	7,083	0,0001	2400	32,825	7,4143	7,0831	YES
25,5	5,561	0,0001	2700	51,198	5,7444	5,5608	YES
26,5	5,906	0,0000	3000	54,757	5,9692	5,9062	YES
27,5	6,252	0,0000	3000	58,316	6,2420	6,2515	YES
28,5	5,803	0,0000	3900	74,011	5,7681	5,8027	YES
29,5	6,212	0,0000	4800	79,743	6,1927	6,2121	YES

- Deformasi iterasi 3

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	3,5	0,00000
1	0,0006	4,5	0,00258
2	0,0012	5,5	0,00302
3	0,0018	6,5	0,00338
4	0,0023	7,5	0,00366
5	0,0028	8,5	0,00385
6	0,0032	9,5	0,00396
7	0,0035	10,5	0,00399
8	0,0038	11,5	0,00395
9	0,0039	12,5	0,00383
10	0,0040	13,5	0,00364
11	0,0040	14,5	0,00340
12	0,0039	15,5	0,00312
13	0,0037	16,5	0,00280
14	0,0035	17,5	0,00246
15	0,0033	18,5	0,00211
16	0,0030	19,5	0,00176
17	0,0026	20,5	0,00142
18	0,0023	21,5	0,00111
19	0,0019	22,5	0,00082
20	0,0016	23,5	0,00058
21	0,0013	24,5	0,00037
22	0,0010	25,5	0,00021
23	0,0007	26,5	0,00010
24	0,0005	27,5	0,00003
25	0,0003	28,5	0,00000
26	0,0001	29,5	0,00000
27	0,0001		
28	0,0000		
29	0,0000		
30	0,0000		

## Iterasi 4

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0006	1200	1,076	1,3312	2,0764	YES
2	2,653	0,0012	1200	1,653	1,1779	1,6527	NO
3	3,229	0,0018	1200	2,229	1,0595	2,2291	NO
4	3,805	0,0023	1200	2,805	0,9987	2,8055	NO
5	4,382	0,0028	1200	3,382	1,0098	3,3818	NO
6	4,958	0,0032	1200	3,958	1,1086	3,9582	NO
7	5,535	0,0035	1200	4,535	1,2998	4,5346	NO
8	6,111	0,0038	1200	5,111	1,5917	5,1109	NO
9	6,687	0,0039	1200	5,687	1,9833	5,6873	NO
10	7,264	0,0040	1200	6,264	2,4757	6,2637	NO
11	7,840	0,0040	1200	6,840	3,0640	6,8400	NO
12	8,416	0,0039	1200	7,416	3,7436	7,4164	NO
13	8,993	0,0037	1200	7,993	4,5036	7,9928	NO
14	9,569	0,0035	1200	8,569	5,3356	8,5692	NO
15	10,146	0,0033	1200	9,146	6,2287	9,1455	NO
16	10,722	0,0030	1200	9,722	7,1687	9,7219	NO
17	11,298	0,0026	1200	10,298	8,1423	10,2983	NO
18	11,875	0,0023	1200	10,875	9,1362	10,8746	NO
19	12,451	0,0019	1200	11,451	10,1350	11,4510	NO
20	13,027	0,0016	1200	12,027	11,1230	12,0274	NO
21	13,604	0,0013	1200	12,604	12,0893	12,6037	NO
22	14,180	0,0010	1200	13,180	13,0257	13,1801	NO
23	14,756	0,0007	1200	13,756	13,9213	14,7565	YES
24	8,147	0,0005	2400	5,544	7,0262	8,1470	YES
25	8,465	0,0003	2400	5,761	7,7838	8,4654	YES
26	6,643	0,0001	3000	4,138	6,1965	6,6435	YES
27	6,989	0,0001	3000	4,354	6,8058	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,2952	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,8123	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES



- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
4,5	1,788	0,0026	1200	1,288	4,8866	1,2882	NO
5,5	2,365	0,0030	1200	1,865	5,9862	1,8646	NO
6,5	2,941	0,0034	1200	2,441	6,9945	2,4409	NO
7,5	3,517	0,0037	1200	3,017	7,9069	3,0173	NO
8,5	4,094	0,0039	1200	3,594	8,7173	3,5937	NO
9,5	4,670	0,0040	1200	4,170	9,4268	4,1700	NO
10,5	5,246	0,0040	1200	4,746	10,0392	4,7464	NO
11,5	5,823	0,0039	1200	5,323	10,5568	5,3228	NO
12,5	6,399	0,0038	1200	5,899	10,9891	5,8991	NO
13,5	6,975	0,0036	1200	6,475	11,3435	6,4755	NO
14,5	7,552	0,0034	1200	7,052	11,6331	7,0519	NO
15,5	8,128	0,0031	1200	7,628	11,8674	7,6282	NO
16,5	8,705	0,0028	1200	8,205	12,0610	8,2046	NO
17,5	9,281	0,0025	1200	8,781	12,2282	8,7810	NO
18,5	9,857	0,0021	1200	9,357	12,3833	9,3573	NO
19,5	10,434	0,0018	1200	9,934	12,5409	9,9337	NO
20,5	11,010	0,0014	1200	10,510	12,7141	10,5101	NO
21,5	11,586	0,0011	1200	11,086	12,9148	11,0864	NO
22,5	12,163	0,0008	1200	11,663	13,1504	11,6628	NO
23,5	6,765	0,0006	1800	31,163	7,7998	6,7648	YES
24,5	7,083	0,0004	2400	32,825	7,9687	7,0831	YES
25,5	5,561	0,0002	2700	51,198	6,1278	5,5608	YES
26,5	5,906	0,0001	3000	54,757	6,2002	5,9062	YES
27,5	6,252	0,0000	3000	58,316	6,3445	6,2515	YES
28,5	5,803	0,0000	3900	74,011	5,8081	5,8027	YES
29,5	6,212	0,0000	4800	79,743	6,1954	6,2121	YES

- Deformasi iterasi 4

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	-4,5	0,00285
-1	0,0007	-5,5	0,00334
-2	0,0014	-6,5	0,00374
-3	0,0020	-7,5	0,00407
-4	0,0026	-8,5	0,00430
-5	0,0031	-9,5	0,00445
-6	0,0036	-10,5	0,00450
-7	0,0039	-11,5	0,00448
-8	0,0042	-12,5	0,00437
-9	0,0044	-13,5	0,00420
-10	0,0045	-14,5	0,00396
-11	0,0045	-15,5	0,00367
-12	0,0044	-16,5	0,00333
-13	0,0043	-17,5	0,00297
-14	0,0041	-18,5	0,00259
-15	0,0038	-19,5	0,00219
-16	0,0035	-20,5	0,00181
-17	0,0032	-21,5	0,00143
-18	0,0028	-22,5	0,00109
-19	0,0024	-23,5	0,00078
-20	0,0020	-24,5	0,00052
-21	0,0016	-25,5	0,00031
-22	0,0013	-26,5	0,00016
-23	0,0009	-27,5	0,00006
-24	0,0006	-28,5	0,00001
-25	0,0004	-29,5	0,00000
-26	0,0002		
-27	0,0001		
-28	0,0000		
-29	0,0000		
-30	0,0000		

## Iterasi 5

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0007	1200	1,076	1,2556	2,0764	YES
2	2,653	0,0014	1200	1,653	1,0291	1,6527	NO
3	3,229	0,0020	1200	2,229	0,8399	2,2291	NO
4	3,805	0,0026	1200	2,805	0,7119	2,8055	NO
5	4,382	0,0031	1200	3,382	0,6594	3,3818	NO
6	4,958	0,0036	1200	3,958	0,6982	3,9582	NO
7	5,535	0,0039	1200	4,535	0,8354	4,5346	NO
8	6,111	0,0042	1200	5,111	1,0769	5,1109	NO
9	6,687	0,0044	1200	5,687	1,4253	5,6873	NO
10	7,264	0,0045	1200	6,264	1,8805	6,2637	NO
11	7,840	0,0045	1200	6,840	2,4400	6,8400	NO
12	8,416	0,0044	1200	7,416	3,0956	7,4164	NO
13	8,993	0,0043	1200	7,993	3,8412	7,9928	NO
14	9,569	0,0041	1200	8,569	4,6672	8,5692	NO
15	10,146	0,0038	1200	9,146	5,5627	9,1455	NO
16	10,722	0,0035	1200	9,722	6,5159	9,7219	NO
17	11,298	0,0032	1200	10,298	7,5123	10,2983	NO
18	11,875	0,0028	1200	10,875	8,5386	10,8746	NO
19	12,451	0,0024	1200	11,451	9,5818	11,4510	NO
20	13,027	0,0020	1200	12,027	10,6274	12,0274	NO
21	13,604	0,0016	1200	12,604	11,6609	12,6037	NO
22	14,180	0,0013	1200	13,180	12,6693	13,1801	NO
23	14,756	0,0009	1200	13,756	13,6393	13,7565	NO
24	8,147	0,0006	2400	5,544	6,6038	8,1470	YES
25	8,465	0,0004	2400	5,761	7,4886	8,4654	YES
26	6,643	0,0002	3000	4,138	5,9625	6,6435	YES
27	6,989	0,0001	3000	4,354	6,6768	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,2352	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,7895	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
4,5	1,788	0,0028	1200	1,288	5,2070	1,2882	NO
5,5	2,365	0,0033	1200	1,865	6,3678	1,8646	NO
6,5	2,941	0,0037	1200	2,441	7,4337	2,4409	NO
7,5	3,517	0,0041	1200	3,017	8,3965	3,0173	NO
8,5	4,094	0,0043	1200	3,594	9,2537	3,5937	NO
9,5	4,670	0,0044	1200	4,170	10,0040	4,1700	NO
10,5	5,246	0,0045	1200	4,746	10,6500	4,7464	NO
11,5	5,823	0,0045	1200	5,323	11,1940	5,3228	NO
12,5	6,399	0,0044	1200	5,899	11,6455	5,8991	NO
13,5	6,975	0,0042	1200	6,475	12,0107	6,4755	NO
14,5	7,552	0,0040	1200	7,052	12,3003	7,0519	NO
15,5	8,128	0,0037	1200	7,628	12,5274	7,6282	NO
16,5	8,705	0,0033	1200	8,205	12,7042	8,2046	NO
17,5	9,281	0,0030	1200	8,781	12,8438	8,7810	NO
18,5	9,857	0,0026	1200	9,357	12,9593	9,3573	NO
19,5	10,434	0,0022	1200	9,934	13,0653	9,9337	NO
20,5	11,010	0,0018	1200	10,510	13,1773	10,5101	NO
21,5	11,586	0,0014	1200	11,086	13,3072	11,0864	NO
22,5	12,163	0,0011	1200	11,663	13,4696	11,6628	NO
23,5	6,765	0,0008	1800	31,163	8,1688	6,7648	YES
24,5	7,083	0,0005	2400	32,825	8,3239	7,0831	YES
25,5	5,561	0,0003	2700	51,198	6,3951	5,5608	YES
26,5	5,906	0,0002	3000	54,757	6,3802	5,9062	YES
27,5	6,252	0,0001	3000	58,316	6,4375	6,2515	YES
28,5	5,803	0,0000	3900	74,011	5,8495	5,8027	YES
29,5	6,212	0,0000	4800	79,743	6,2010	6,2121	YES

- Deformasi 5

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	-4,5	0,00285
-1	0,0007	-5,5	0,00334
-2	0,0014	-6,5	0,00375
-3	0,0020	-7,5	0,00407
-4	0,0026	-8,5	0,00431
-5	0,0031	-9,5	0,00445
-6	0,0036	-10,5	0,00451
-7	0,0039	-11,5	0,00449
-8	0,0042	-12,5	0,00438
-9	0,0044	-13,5	0,00421
-10	0,0045	-14,5	0,00397
-11	0,0045	-15,5	0,00368
-12	0,0044	-16,5	0,00334
-13	0,0043	-17,5	0,00298
-14	0,0041	-18,5	0,00260
-15	0,0038	-19,5	0,00220
-16	0,0035	-20,5	0,00182
-17	0,0032	-21,5	0,00144
-18	0,0028	-22,5	0,00110
-19	0,0024	-23,5	0,00079
-20	0,0020	-24,5	0,00052
-21	0,0016	-25,5	0,00031
-22	0,0013	-26,5	0,00016
-23	0,0009	-27,5	0,00006
-24	0,0006	-28,5	0,00001
-25	0,0004	-29,5	0,00000
-26	0,0002		
-27	0,0001		
-28	0,0000		
-29	0,0000		
-30	0,0000		

## Iterasi 6

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0007	1200	1,076	1,2544	2,0764	YES
2	2,653	0,0014	1200	1,653	1,0267	1,6527	NO
3	3,229	0,0020	1200	2,229	0,8363	2,2291	NO
4	3,805	0,0026	1200	2,805	0,7059	2,8055	NO
5	4,382	0,0031	1200	3,382	0,6534	3,3818	NO
6	4,958	0,0036	1200	3,958	0,6898	3,9582	NO
7	5,535	0,0039	1200	4,535	0,8270	4,5346	NO
8	6,111	0,0042	1200	5,111	1,0673	5,1109	NO
9	6,687	0,0044	1200	5,687	1,4157	5,6873	NO
10	7,264	0,0045	1200	6,264	1,8697	6,2637	NO
11	7,840	0,0045	1200	6,840	2,4280	6,8400	NO
12	8,416	0,0044	1200	7,416	3,0836	7,4164	NO
13	8,993	0,0043	1200	7,993	3,8280	7,9928	NO
14	9,569	0,0041	1200	8,569	4,6540	8,5692	NO
15	10,146	0,0038	1200	9,146	5,5495	9,1455	NO
16	10,722	0,0035	1200	9,722	6,5015	9,7219	NO
17	11,298	0,0032	1200	10,298	7,4991	10,2983	NO
18	11,875	0,0028	1200	10,875	8,5266	10,8746	NO
19	12,451	0,0024	1200	11,451	9,5698	11,4510	NO
20	13,027	0,0020	1200	12,027	10,6154	12,0274	NO
21	13,604	0,0016	1200	12,604	11,6501	12,6037	NO
22	14,180	0,0013	1200	13,180	12,6597	13,1801	NO
23	14,756	0,0009	1200	13,756	13,6309	13,7565	NO
24	8,147	0,0006	2400	5,544	6,5918	8,1470	YES
25	8,465	0,0004	2400	5,761	7,4790	8,4654	YES
26	6,643	0,0002	3000	4,138	5,9535	6,6435	YES
27	6,989	0,0001	3000	4,354	6,6708	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,2352	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,7885	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
4,5	1,788	0,0029	1200	1,288	5,2118	1,2882	NO
5,5	2,365	0,0033	1200	1,865	6,3738	1,8646	NO
6,5	2,941	0,0038	1200	2,441	7,4409	2,4409	NO
7,5	3,517	0,0041	1200	3,017	8,4061	3,0173	NO
8,5	4,094	0,0043	1200	3,594	9,2645	3,5937	NO
9,5	4,670	0,0045	1200	4,170	10,0148	4,1700	NO
10,5	5,246	0,0045	1200	4,746	10,6608	4,7464	NO
11,5	5,823	0,0045	1200	5,323	11,2060	5,3228	NO
12,5	6,399	0,0044	1200	5,899	11,6575	5,8991	NO
13,5	6,975	0,0042	1200	6,475	12,0239	6,4755	NO
14,5	7,552	0,0040	1200	7,052	12,3147	7,0519	NO
15,5	8,128	0,0037	1200	7,628	12,5406	7,6282	NO
16,5	8,705	0,0033	1200	8,205	12,7174	8,2046	NO
17,5	9,281	0,0030	1200	8,781	12,8558	8,7810	NO
18,5	9,857	0,0026	1200	9,357	12,9713	9,3573	NO
19,5	10,434	0,0022	1200	9,934	13,0773	9,9337	NO
20,5	11,010	0,0018	1200	10,510	13,1881	10,5101	NO
21,5	11,586	0,0014	1200	11,086	13,3180	11,0864	NO
22,5	12,163	0,0011	1200	11,663	13,4780	11,6628	NO
23,5	6,765	0,0008	1800	31,163	8,1796	6,7648	YES
24,5	7,083	0,0005	2400	32,825	8,3335	7,0831	YES
25,5	5,561	0,0003	2700	51,198	6,4032	5,5608	YES
26,5	5,906	0,0002	3000	54,757	6,3862	5,9062	YES
27,5	6,252	0,0001	3000	58,316	6,4405	6,2515	YES
28,5	5,803	0,0000	3900	74,011	5,8534	5,8027	YES
29,5	6,212	0,0000	4800	79,743	6,2013	6,2121	YES

- Deformasi 6

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	-4,5	0,00285
-1	0,0007	-5,5	0,00334
-2	0,0014	-6,5	0,00375
-3	0,0020	-7,5	0,00407
-4	0,0026	-8,5	0,00431
-5	0,0031	-9,5	0,00445
-6	0,0036	-10,5	0,00451
-7	0,0039	-11,5	0,00449
-8	0,0042	-12,5	0,00438
-9	0,0044	-13,5	0,00421
-10	0,0045	-14,5	0,00397
-11	0,0045	-15,5	0,00368
-12	0,0044	-16,5	0,00334
-13	0,0043	-17,5	0,00298
-14	0,0041	-18,5	0,00260
-15	0,0038	-19,5	0,00220
-16	0,0035	-20,5	0,00182
-17	0,0032	-21,5	0,00144
-18	0,0028	-22,5	0,00110
-19	0,0024	-23,5	0,00079
-20	0,0020	-24,5	0,00052
-21	0,0016	-25,5	0,00031
-22	0,0013	-26,5	0,00016
-23	0,0009	-27,5	0,00006
-24	0,0006	-28,5	0,00001
-25	0,0004	-29,5	0,00000
-26	0,0002		
-27	0,0001		
-28	0,0000		
-29	0,0000		
-30	0,0000		



- b. Galian 2 sedalam 8 m dengan 2 angkur  
Iterasi 1  
- Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0007	1200	1,076	1,2556	2,0764	YES
2	2,653	0,0014	1200	1,653	1,0291	1,6527	NO
3	3,229	0,0020	1200	2,229	0,8399	2,2291	NO
4	3,805	0,0026	1200	2,805	0,7119	2,8055	NO
5	4,382	0,0031	1200	3,382	0,6594	3,3818	NO
6	4,958	0,0036	1200	3,958	0,6982	3,9582	NO
7	5,535	0,0039	1200	4,535	0,8354	4,5346	NO
8	6,111	0,0042	1200	5,111	1,0769	5,1109	NO
9	6,687	0,0044	1200	5,687	1,4253	5,6873	NO
10	7,264	0,0045	1200	6,264	1,8805	6,2637	NO
11	7,840	0,0045	1200	6,840	2,4400	6,8400	NO
12	8,416	0,0044	1200	7,416	3,0956	7,4164	NO
13	8,993	0,0043	1200	7,993	3,8412	7,9928	NO
14	9,569	0,0041	1200	8,569	4,6672	8,5692	NO
15	10,146	0,0038	1200	9,146	5,5627	9,1455	NO
16	10,722	0,0035	1200	9,722	6,5159	9,7219	NO
17	11,298	0,0032	1200	10,298	7,5123	10,2983	NO
18	11,875	0,0028	1200	10,875	8,5386	10,8746	NO
19	12,451	0,0024	1200	11,451	9,5818	11,4510	NO
20	13,027	0,0020	1200	12,027	10,6274	12,0274	NO
21	13,604	0,0016	1200	12,604	11,6609	12,6037	NO
22	14,180	0,0013	1200	13,180	12,6693	13,1801	NO
23	14,756	0,0009	1200	13,756	13,6393	13,7565	NO
24	8,147	0,0006	2400	5,544	6,6038	8,1470	YES
25	8,465	0,0004	2400	5,761	7,4886	8,4654	YES
26	6,643	0,0002	3000	4,138	5,9625	6,6435	YES
27	6,989	0,0001	3000	4,354	6,6768	6,9888	YES
28	7,334	0,0000	3000	4,569	7,2352	7,3342	YES
29	6,800	0,0000	4800	4,106	6,7895	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
8,5	4,094	0,00431	1200	1,288	9,2645	1,2882	NO
9,5	4,670	0,00445	1200	1,865	10,0148	1,8646	NO
10,5	5,246	0,00451	1200	2,441	10,6608	2,4409	NO
11,5	5,823	0,00449	1200	3,017	11,2060	3,0173	NO
12,5	6,399	0,00438	1200	3,594	11,6575	3,5937	NO
13,5	6,975	0,00421	1200	4,170	12,0239	4,1700	NO
14,5	7,552	0,00397	1200	4,746	12,3147	4,7464	NO
15,5	8,128	0,00368	1200	5,323	12,5406	5,3228	NO
16,5	8,705	0,00334	1200	5,899	12,7174	5,8991	NO
17,5	9,281	0,00298	1200	6,475	12,8558	6,4755	NO
18,5	9,857	0,00260	1200	7,052	12,9713	7,0519	NO
19,5	10,434	0,00220	1200	7,628	13,0773	7,6282	NO
20,5	11,010	0,00182	1200	8,205	13,1881	8,2046	NO
21,5	11,586	0,00144	1200	8,781	13,3180	8,7810	NO
22,5	12,163	0,00110	1200	9,357	13,4780	9,3573	NO
23,5	6,765	0,00079	1800	24,778	8,1796	6,7648	YES
24,5	7,083	0,00052	2400	26,439	8,3335	7,0831	YES
25,5	5,561	0,00031	2700	41,822	6,4032	5,5608	YES
26,5	5,906	0,00016	3000	45,380	6,3862	5,9062	YES
27,5	6,252	0,00006	3000	48,939	6,4405	6,2515	YES
28,5	5,803	0,00001	3900	62,911	5,8534	5,8027	YES
29,5	6,212	0,00000	4800	68,642	6,2013	6,2121	YES

- Deformasi iterasi 1

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	8,5	0,00559
1	0,0003	9,5	0,00699
2	0,0004	10,5	0,00828
3	0,0004	11,5	0,00938
4	0,0000	12,5	0,01026
5	0,0009	13,5	0,01088
6	0,0020	14,5	0,01123
7	0,0034	15,5	0,01129
8	0,0049	16,5	0,01108
9	0,0063	17,5	0,01060
10	0,0077	18,5	0,00988
11	0,0089	19,5	0,00896
12	0,0099	20,5	0,00787
13	0,0106	21,5	0,00667
14	0,0111	22,5	0,00542
15	0,0113	23,5	0,00418
16	0,0112	24,5	0,00303
17	0,0109	25,5	0,00203
18	0,0103	26,5	0,00122
19	0,0094	27,5	0,00061
20	0,0084	28,5	0,00021
21	0,0073	29,5	0,00002
22	0,0060		
23	0,0048		
24	0,0036		
25	0,0025		
26	0,0016		
27	0,0009		
28	0,0004		
29	0,0001		
30	0,0000		

## Iterasi 2

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0003	1200	1,076	1,7488	2,0764	YES
2	2,653	0,0004	1200	1,653	2,1295	2,6527	YES
3	3,229	0,0004	1200	2,229	2,7707	3,2291	YES
4	3,805	0,0000	1200	2,805	3,8055	3,8055	YES
5	4,382	0,0009	1200	3,382	3,3462	3,3818	NO
6	4,958	0,0020	1200	3,958	2,5114	3,9582	NO
7	5,535	0,0034	1200	4,535	1,4450	4,5346	NO
8	6,111	0,0049	1200	5,111	0,2789	5,1109	NO
9	6,687	0,0063	1200	5,687	-0,8751	5,6873	NO
10	7,264	0,0077	1200	6,264	-1,9223	6,2637	NO
11	7,840	0,0089	1200	6,840	-2,7860	6,8400	NO
12	8,416	0,0099	1200	7,416	-3,4036	7,4164	NO
13	8,993	0,0106	1200	7,993	-3,7308	7,9928	NO
14	9,569	0,0111	1200	8,569	-3,7376	8,5692	NO
15	10,146	0,0113	1200	9,146	-3,4073	9,1455	NO
16	10,722	0,0112	1200	9,722	-2,7397	9,7219	NO
17	11,298	0,0109	1200	10,298	-1,7445	10,2983	NO
18	11,875	0,0103	1200	10,875	-0,4458	10,8746	NO
19	12,451	0,0094	1200	11,451	1,1218	11,4510	NO
20	13,027	0,0084	1200	12,027	2,9114	12,0274	NO
21	13,604	0,0073	1200	12,604	4,8677	12,6037	NO
22	14,180	0,0060	1200	13,180	6,9249	13,1801	NO
23	14,756	0,0048	1200	13,756	9,0073	13,7565	NO
24	8,147	0,0036	2400	5,544	-0,4570	5,5442	NO
25	8,465	0,0025	2400	5,761	2,4510	5,7608	NO
26	6,643	0,0016	3000	4,138	1,8525	4,1385	NO
27	6,989	0,0009	3000	4,354	4,3248	4,3536	NO
28	7,334	0,0004	3000	4,569	6,1762	7,3342	YES
29	6,800	0,0001	4800	4,106	6,3539	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
8,5	4,094	0,00559	1200	1,288	10,7981	1,2882	NO
9,5	4,670	0,00699	1200	1,865	13,0628	1,8646	NO
10,5	5,246	0,00828	1200	2,441	15,1788	2,4409	NO
11,5	5,823	0,00938	1200	3,017	17,0788	3,0173	NO
12,5	6,399	0,01026	1200	3,594	18,7075	3,5937	NO
13,5	6,975	0,01088	1200	4,170	20,0303	4,1700	NO
14,5	7,552	0,01123	1200	4,746	21,0231	4,7464	NO
15,5	8,128	0,01129	1200	5,323	21,6762	5,3228	NO
16,5	8,705	0,01108	1200	5,899	21,9958	5,8991	NO
17,5	9,281	0,01060	1200	6,475	21,9974	6,4755	NO
18,5	9,857	0,00988	1200	7,052	21,7121	7,0519	NO
19,5	10,434	0,00896	1200	7,628	21,1797	7,6282	NO
20,5	11,010	0,00787	1200	8,205	20,4505	8,2046	NO
21,5	11,586	0,00667	1200	8,781	19,5880	8,7810	NO
22,5	12,163	0,00542	1200	9,357	18,6608	9,3573	NO
23,5	6,765	0,00418	1800	24,778	14,2798	6,7648	YES
24,5	7,083	0,00303	2400	26,439	14,3431	7,0831	YES
25,5	5,561	0,00203	2700	41,822	11,0337	5,5608	YES
26,5	5,906	0,00122	3000	45,380	9,5542	5,9062	YES
27,5	6,252	0,00061	3000	48,939	8,0815	6,2515	YES
28,5	5,803	0,00021	3900	62,911	6,6334	5,8027	YES
29,5	6,212	0,00002	4800	68,642	6,3129	6,2121	YES

- Deformasi iterasi 2

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	8,5	0,004909
1	0,0002	9,5	0,006146
2	0,0004	10,5	0,007276
3	0,0003	11,5	0,008248
4	0,0000	12,5	0,009024
5	0,0008	13,5	0,009577
6	0,0018	14,5	0,009891
7	0,0030	15,5	0,009959
8	0,0043	16,5	0,009786
9	0,0055	17,5	0,009383
10	0,0067	18,5	0,008771
11	0,0078	19,5	0,00798
12	0,0087	20,5	0,007044
13	0,0093	21,5	0,006008
14	0,0098	22,5	0,004919
15	0,0100	23,5	0,003833
16	0,0099	24,5	0,002813
17	0,0096	25,5	0,00191
18	0,0091	26,5	0,001162
19	0,0084	27,5	0,000591
20	0,0075	28,5	0,00021
21	0,0065	29,5	0,000022
22	0,0055		
23	0,0044		
24	0,0033		
25	0,0023		
26	0,0015		
27	0,0009		
28	0,0004		
29	0,0001		
30	0,0000		

### Iterasi 3

#### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0002	1200	1,076	1,7908	2,0764	YES
2	2,653	0,0004	1200	1,653	2,1955	2,6527	YES
3	3,229	0,0003	1200	2,229	2,8283	3,2291	YES
4	3,805	0,0000	1200	2,805	3,8055	3,8055	YES
5	4,382	0,0008	1200	3,382	3,4734	4,3818	YES
6	4,958	0,0018	1200	3,958	2,8102	3,9582	NO
7	5,535	0,0030	1200	4,535	1,9430	4,5346	NO
8	6,111	0,0043	1200	5,111	0,9869	5,1109	NO
9	6,687	0,0055	1200	5,687	0,0417	5,6873	NO
10	7,264	0,0067	1200	6,264	-0,8111	6,2637	NO
11	7,840	0,0078	1200	6,840	-1,5020	6,8400	NO
12	8,416	0,0087	1200	7,416	-1,9792	7,4164	NO
13	8,993	0,0093	1200	7,993	-2,2044	7,9928	NO
14	9,569	0,0098	1200	8,569	-2,1500	8,5692	NO
15	10,146	0,0100	1200	9,146	-1,8029	9,1455	NO
16	10,722	0,0099	1200	9,722	-1,1617	9,7219	NO
17	11,298	0,0096	1200	10,298	-0,2373	10,2983	NO
18	11,875	0,0091	1200	10,875	0,9510	10,8746	NO
19	12,451	0,0084	1200	11,451	2,3746	11,4510	NO
20	13,027	0,0075	1200	12,027	3,9926	12,0274	NO
21	13,604	0,0065	1200	12,604	5,7593	12,6037	NO
22	14,180	0,0055	1200	13,180	7,6185	13,1801	NO
23	14,756	0,0044	1200	13,756	9,5077	13,7565	NO
24	8,147	0,0033	2400	5,544	0,1982	5,5442	NO
25	8,465	0,0023	2400	5,761	2,8374	5,7608	NO
26	6,643	0,0015	3000	4,138	2,0955	4,1385	NO
27	6,989	0,0009	3000	4,354	4,4268	6,9888	YES
28	7,334	0,0004	3000	4,569	6,2002	7,3342	YES
29	6,800	0,0001	4800	4,106	6,3539	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
8,5	4,094	0,00491	1200	1,288	9,9845	1,2882	
9,5	4,670	0,00615	1200	1,865	12,0452	1,8646	NO
10,5	5,246	0,00728	1200	2,441	13,9776	2,4409	NO
11,5	5,823	0,00825	1200	3,017	15,7204	3,0173	NO
12,5	6,399	0,00902	1200	3,594	17,2279	3,5937	NO
13,5	6,975	0,00958	1200	4,170	18,4679	4,1700	NO
14,5	7,552	0,00989	1200	4,746	19,4211	4,7464	NO
15,5	8,128	0,00996	1200	5,323	20,0790	5,3228	NO
16,5	8,705	0,00979	1200	5,899	20,4478	5,8991	NO
17,5	9,281	0,00938	1200	6,475	20,5406	6,4755	NO
18,5	9,857	0,00877	1200	7,052	20,3825	7,0519	NO
19,5	10,434	0,00798	1200	7,628	20,0097	7,6282	NO
20,5	11,010	0,00704	1200	8,205	19,4629	8,2046	NO
21,5	11,586	0,00601	1200	8,781	18,7960	8,7810	NO
22,5	12,163	0,00492	1200	9,357	18,0656	9,3573	NO
23,5	6,765	0,00383	1800	24,778	13,6642	6,7648	YES
24,5	7,083	0,00281	2400	26,439	13,8343	7,0831	YES
25,5	5,561	0,00191	2700	41,822	10,7178	5,5608	YES
26,5	5,906	0,00116	3000	45,380	9,3922	5,9062	YES
27,5	6,252	0,00059	3000	48,939	8,0245	6,2515	YES
28,5	5,803	0,00021	3900	62,911	6,6217	5,8027	YES
29,5	6,212	0,00002	4800	68,642	6,3177	6,2121	YES



- Deformasi iterasi 3

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	8,5	0,0049
1	0,0002	9,5	0,0062
2	0,0004	10,5	0,0073
3	0,0003	11,5	0,0083
4	0,0000	12,5	0,0090
5	0,0008	13,5	0,0096
6	0,0018	14,5	0,0099
7	0,0030	15,5	0,0100
8	0,0043	16,5	0,0098
9	0,0055	17,5	0,0094
10	0,0067	18,5	0,0088
11	0,0078	19,5	0,0080
12	0,0087	20,5	0,0071
13	0,0093	21,5	0,0060
14	0,0098	22,5	0,0049
15	0,0100	23,5	0,0038
16	0,0099	24,5	0,0028
17	0,0096	25,5	0,0019
18	0,0091	26,5	0,0012
19	0,0084	27,5	0,0006
20	0,0075	28,5	0,0002
21	0,0065	29,5	0,0000
22	0,0055		
23	0,0044		
24	0,0033		
25	0,0023		
26	0,0015		
27	0,0009		
28	0,0004		
29	0,0001		
30	0,0000		

## Iterasi 4

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0002	1200	1,076	1,7896	2,0764	YES
2	2,653	0,0004	1200	1,653	2,1943	2,6527	YES
3	3,229	0,0003	1200	2,229	2,8271	3,2291	YES
4	3,805	0,0000	1200	2,805	3,8055	3,8055	YES
5	4,382	0,0008	1200	3,382	3,4698	4,3818	YES
6	4,958	0,0018	1200	3,958	2,8042	3,9582	NO
7	5,535	0,0030	1200	4,535	1,9358	4,5346	NO
8	6,111	0,0043	1200	5,111	0,9785	5,1109	NO
9	6,687	0,0055	1200	5,687	0,0321	5,6873	NO
10	7,264	0,0067	1200	6,264	-0,8219	6,2637	NO
11	7,840	0,0078	1200	6,840	-1,5128	6,8400	NO
12	8,416	0,0087	1200	7,416	-1,9912	7,4164	NO
13	8,993	0,0093	1200	7,993	-2,2152	7,9928	NO
14	9,569	0,0098	1200	8,569	-2,1608	8,5692	NO
15	10,146	0,0100	1200	9,146	-1,8137	9,1455	NO
16	10,722	0,0099	1200	9,722	-1,1725	9,7219	NO
17	11,298	0,0096	1200	10,298	-0,2469	10,2983	NO
18	11,875	0,0091	1200	10,875	0,9426	10,8746	NO
19	12,451	0,0084	1200	11,451	2,3662	11,4510	NO
20	13,027	0,0075	1200	12,027	3,9854	12,0274	NO
21	13,604	0,0065	1200	12,604	5,7533	12,6037	NO
22	14,180	0,0055	1200	13,180	7,6125	13,1801	NO
23	14,756	0,0044	1200	13,756	9,5029	13,7565	NO
24	8,147	0,0033	2400	5,544	0,1910	5,5442	NO
25	8,465	0,0023	2400	5,761	2,8302	5,7608	NO
26	6,643	0,0015	3000	4,138	2,0925	4,1385	NO
27	6,989	0,0009	3000	4,354	4,4238	6,9888	YES
28	7,334	0,0004	3000	4,569	6,2002	7,3342	YES
29	6,800	0,0001	4800	4,106	6,3539	6,8003	YES
30	7,210	0,0000	4800	4,354	7,2097	7,2097	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
8,5	4,094	0,00492	1200	1,288	9,9941	1,2882	NO
9,5	4,670	0,00616	1200	1,865	12,0560	1,8646	NO
10,5	5,246	0,00729	1200	2,441	13,9884	2,4409	NO
11,5	5,823	0,00826	1200	3,017	15,7324	3,0173	NO
12,5	6,399	0,00903	1200	3,594	17,2399	3,5937	NO
13,5	6,975	0,00959	1200	4,170	18,4799	4,1700	NO
14,5	7,552	0,00990	1200	4,746	19,4319	4,7464	NO
15,5	8,128	0,00997	1200	5,323	20,0910	5,3228	NO
16,5	8,705	0,00980	1200	5,899	20,4586	5,8991	NO
17,5	9,281	0,00939	1200	6,475	20,5502	6,4755	NO
18,5	9,857	0,00878	1200	7,052	20,3909	7,0519	NO
19,5	10,434	0,00799	1200	7,628	20,0169	7,6282	NO
20,5	11,010	0,00705	1200	8,205	19,4701	8,2046	NO
21,5	11,586	0,00601	1200	8,781	18,8020	8,7810	NO
22,5	12,163	0,00492	1200	9,357	18,0704	9,3573	NO
23,5	6,765	0,00384	1800	24,778	13,6714	6,7648	YES
24,5	7,083	0,00282	2400	26,439	13,8391	7,0831	YES
25,5	5,561	0,00191	2700	41,822	10,7232	5,5608	YES
26,5	5,906	0,00116	3000	45,380	9,3952	5,9062	YES
27,5	6,252	0,00059	3000	48,939	8,0275	6,2515	YES
28,5	5,803	0,00021	3900	62,911	6,6256	5,8027	YES
29,5	6,212	0,00002	4800	68,642	6,3177	6,2121	YES

- Deformasi iterasi 4

<b>H (m)</b>	<b>δ (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>δ (m)</b>
0	0,0000	-8,5	0,004917
-1	0,0002	-9,5	0,006155
-2	0,0004	-10,5	0,007285
-3	0,0003	-11,5	0,008258
-4	0,0000	-12,5	0,009034
-5	0,0008	-13,5	0,009587
-6	0,0018	-14,5	0,0099
-7	0,0030	-15,5	0,009969
-8	0,0043	-16,5	0,009795
-9	0,0055	-17,5	0,009391
-10	0,0067	-18,5	0,008778
-11	0,0078	-19,5	0,007986
-12	0,0087	-20,5	0,00705
-13	0,0093	-21,5	0,006013
-14	0,0098	-22,5	0,004923
-15	0,0100	-23,5	0,003837
-16	0,0099	-24,5	0,002815
-17	0,0096	-25,5	0,001912
-18	0,0091	-26,5	0,001163
-19	0,0084	-27,5	0,000592
-20	0,0075	-28,5	0,000211
-21	0,0065	-29,5	0,000022
-22	0,0055		
-23	0,0044		
-24	0,0033		
-25	0,0023		
-26	0,0015		
-27	0,0009		
-28	0,0004		
-29	0,0001		
-30	0,0000		

## 2. Model 2

### a. Galian 1 sedalam 3 m dengan 1 strut

#### Iterasi 1

- Tekanan tanah di belakang dinding
- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	Pa min (ton)	ks (t/m2)
0	1,500	0,500	1200
1	2,076	1,076	1200
2	2,653	1,653	1200
3	3,229	2,229	1200
4	3,805	2,805	1200
5	4,382	3,382	1200
6	4,958	3,958	1200
7	5,535	4,535	1200
8	6,111	5,111	1200
9	6,687	5,687	1200
10	7,264	6,264	1200
11	7,840	6,840	1200
12	8,416	7,416	1200
13	8,993	7,993	1200
14	9,569	8,569	1200
15	10,146	9,146	1200
16	10,722	9,722	1200
17	11,298	10,298	1200
18	11,875	10,875	1200
19	12,451	11,451	1200
20	13,027	12,027	1200
21	13,604	12,604	1200
22	14,180	13,180	1200
23	14,756	13,756	1200
24	8,147	5,544	2400
25	8,465	5,761	2400
26	6,643	4,138	3000
27	6,989	4,354	3000
28	7,334	4,569	3000
29	6,800	4,106	4800
30	7,210	4,354	4800
31	7,619	4,601	4800
32	8,029	4,848	4800
33	8,438	5,095	4800
34	8,847	5,342	4800
35	9,257	5,590	4800
36	9,666	5,837	4800
37	10,075	6,084	4800
38	10,485	6,331	4800
39	10,894	6,578	4800
40	11,304	6,826	4800
41	11,713	7,073	4800
42	12,122	7,320	4800
43	12,532	7,567	4800
44	12,941	7,814	4800
45	13,351	8,062	4800

H (m)	P0 (ton)	Pp max (ton)	ks (t/m2)
3,5	1,788	1,288	1200
4,5	2,365	1,865	1200
5,5	2,941	2,441	1200
6,5	3,517	3,017	1200
7,5	4,094	3,594	1200
8,5	4,670	4,170	1200
9,5	5,246	4,746	1200
10,5	5,823	5,323	1200
11,5	6,399	5,899	1200
12,5	6,975	6,475	1200
13,5	7,552	7,052	1200
14,5	8,128	7,628	1200
15,5	8,705	8,205	1200
16,5	9,281	8,781	1200
17,5	9,857	9,357	1200
18,5	10,434	9,934	1200
19,5	11,010	10,510	1200
20,5	11,586	11,086	1200
21,5	12,163	11,663	1200
22,5	12,739	12,239	1200
23,5	7,071	32,760	1800
24,5	7,389	34,422	2400
25,5	5,788	53,542	2700
26,5	6,134	57,101	3000
27,5	6,479	60,660	3000
28,5	6,001	76,786	3900
29,5	6,410	82,518	4800
30,5	6,820	88,249	4800
31,5	7,229	93,980	4800
32,5	7,638	99,711	4800
33,5	8,048	105,443	4800
34,5	8,457	111,174	4800
35,5	8,867	116,905	4800
36,5	9,276	122,636	4800
37,5	9,685	128,368	4800
38,5	10,095	134,099	4800
39,5	10,504	139,830	4800
40,5	10,914	145,561	4800
41,5	11,323	151,293	4800
42,5	11,732	157,024	4800
43,5	12,142	162,755	4800
44,5	12,551	168,486	4800

- Deformasi iterasi 1

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,00000	3,5	0,00006
1	0,00002	4,5	0,00007
2	0,00004	5,5	0,00007
3	0,00005	6,5	0,00007
4	0,00006	7,5	0,00006
5	0,00007	8,5	0,00005
6	0,00007	9,5	0,00003
7	0,00006	10,5	0,00001
8	0,00005	11,5	-0,00001
9	0,00004	12,5	-0,00003
10	0,00002	13,5	-0,00005
11	0,00001	14,5	-0,00007
12	-0,00002	15,5	-0,00009
13	-0,00004	16,5	-0,00011
14	-0,00006	17,5	-0,00013
15	-0,00008	18,5	-0,00015
16	-0,00010	19,5	-0,00016
17	-0,00012	20,5	-0,00017
18	-0,00014	21,5	-0,00019
19	-0,00015	22,5	-0,00020
20	-0,00017	23,5	-0,00021
21	-0,00018	24,5	-0,00022
22	-0,00019	25,5	-0,00024
23	-0,00020	26,5	-0,00025
24	-0,00022	27,5	-0,00027
25	-0,00023	28,5	-0,00028
26	-0,00025	29,5	-0,00028
27	-0,00026	30,5	-0,00029
28	-0,00027	31,5	-0,00030
29	-0,00028	32,5	-0,00030
30	-0,00029	33,5	-0,00030
31	-0,00029	34,5	-0,00030
32	-0,00030	35,5	-0,00030
33	-0,00030	36,5	-0,00029
34	-0,00030	37,5	-0,00027
35	-0,00030	38,5	-0,00025
36	-0,00029	39,5	-0,00022
37	-0,00028	40,5	-0,00018
38	-0,00026	41,5	-0,00013
39	-0,00023	42,5	-0,00008
40	-0,00020	43,5	-0,00004
41	-0,00015	44,5	-0,00001
42	-0,00011		
43	-0,00006		
44	-0,00002		
45	0,00000		

## Iterasi 2

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	δ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0000	1200	1,076	2,0536	2,0764	YES
2	2,653	0,0000	1200	1,653	2,6083	2,6527	YES
3	3,229	0,0001	1200	2,229	3,1667	3,2291	YES
4	3,805	0,0001	1200	2,805	3,7311	3,8055	YES
5	4,382	0,0001	1200	3,382	4,3002	4,3818	YES
6	4,958	0,0001	1200	3,958	4,8766	4,9582	YES
7	5,535	0,0001	1200	4,535	5,4590	5,5346	YES
8	6,111	0,0001	1200	5,111	6,0461	6,1109	YES
9	6,687	0,0000	1200	5,687	6,6381	6,6873	YES
10	7,264	0,0000	1200	6,264	7,2349	7,2637	YES
11	7,840	0,0000	1200	6,840	7,8333	7,8400	YES
12	8,416	0,0000	1200	7,416	8,4344	8,4164	YES
13	8,993	0,0000	1200	7,993	9,0360	8,9928	YES
14	9,569	-0,0001	1200	8,569	9,6388	9,5692	YES
15	10,146	-0,0001	1200	9,146	10,2403	10,1455	YES
16	10,722	-0,0001	1200	9,722	10,8419	10,7219	YES
17	11,298	-0,0001	1200	10,298	11,4411	11,2983	YES
18	11,875	-0,0001	1200	10,875	12,0378	11,8746	YES
19	12,451	-0,0002	1200	11,451	12,6334	12,4510	YES
20	13,027	-0,0002	1200	12,027	13,2254	13,0274	YES
21	13,604	-0,0002	1200	12,604	13,8173	13,6037	YES
22	14,180	-0,0002	1200	13,180	14,4069	14,1801	YES
23	14,756	-0,0002	1200	13,756	14,9977	14,7565	YES
24	8,147	-0,0002	2400	5,544	8,6654	8,1470	YES
25	8,465	-0,0002	2400	5,761	9,0198	8,4654	YES
26	6,643	-0,0002	3000	4,138	7,3815	6,6435	YES
27	6,989	-0,0003	3000	4,354	7,7658	6,9888	YES
28	7,334	-0,0003	3000	4,569	8,1442	7,3342	YES
29	6,800	-0,0003	4800	4,106	8,1395	6,8003	YES
30	7,210	-0,0003	4800	4,354	8,5825	7,2097	YES
31	7,619	-0,0003	4800	4,601	9,0255	7,6191	YES
32	8,029	-0,0003	4800	4,848	9,4589	8,0285	YES
33	8,438	-0,0003	4800	5,095	9,8875	8,4379	YES
34	8,847	-0,0003	4800	5,342	10,3017	8,8473	YES
35	9,257	-0,0003	4800	5,590	10,6967	9,2567	YES
36	9,666	-0,0003	4800	5,837	11,0725	9,6661	YES
37	10,075	-0,0003	4800	6,084	11,4147	10,0755	YES
38	10,485	-0,0003	4800	6,331	11,7281	10,4849	YES
39	10,894	-0,0002	4800	6,578	12,0031	10,8943	YES
40	11,304	-0,0002	4800	6,826	12,2396	11,3036	YES
41	11,713	-0,0002	4800	7,073	12,4474	11,7130	YES
42	12,122	-0,0001	4800	7,320	12,6312	12,1224	YES
43	12,532	-0,0001	4800	7,567	12,8150	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0372	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	δ (m)	ks (kN/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
3,5	1,788	0,0001	1200	1,288	1,8578	1,2882	NO
4,5	2,365	0,0001	1200	1,865	2,4426	1,8646	NO
5,5	2,941	0,0001	1200	2,441	3,0225	2,4409	NO
6,5	3,517	0,0001	1200	3,017	3,5965	3,0173	NO
7,5	4,094	0,0001	1200	3,594	4,1645	3,5937	NO
8,5	4,670	0,0000	1200	4,170	4,7264	4,1700	NO
9,5	5,246	0,0000	1200	4,746	5,2848	4,7464	NO
10,5	5,823	0,0000	1200	5,323	5,8396	5,3228	NO
11,5	6,399	0,0000	1200	5,899	6,3927	5,8991	NO
12,5	6,975	0,0000	1200	6,475	6,9431	6,4755	NO
13,5	7,552	0,0000	1200	7,052	7,4943	7,0519	NO
14,5	8,128	-0,0001	1200	7,628	8,0442	7,6282	NO
15,5	8,705	-0,0001	1200	8,205	8,5954	8,2046	NO
16,5	9,281	-0,0001	1200	8,781	9,1478	8,7810	NO
17,5	9,857	-0,0001	1200	9,357	9,7025	9,3573	NO
18,5	10,434	-0,0001	1200	9,934	10,2597	9,9337	NO
19,5	11,010	-0,0002	1200	10,510	10,8181	10,5101	NO
20,5	11,586	-0,0002	1200	11,086	11,3788	11,0864	NO
21,5	12,163	-0,0002	1200	11,663	11,9408	11,6628	NO
22,5	12,739	-0,0002	1200	12,239	12,5028	12,2392	NO
23,5	7,071	-0,0002	1800	32,760	6,6943	7,0705	YES
24,5	7,389	-0,0002	2400	34,422	6,8513	7,3889	YES
25,5	5,788	-0,0002	2700	53,542	5,1430	5,7883	YES
26,5	6,134	-0,0003	3000	57,101	5,3747	6,1337	YES
27,5	6,479	-0,0003	3000	60,660	5,6840	6,4790	YES
28,5	6,001	-0,0003	3900	76,786	4,9284	6,0009	YES
29,5	6,410	-0,0003	4800	82,518	5,0471	6,4103	YES
30,5	6,820	-0,0003	4800	88,249	5,4229	6,8197	YES
31,5	7,229	-0,0003	4800	93,980	5,8035	7,2291	YES
32,5	7,638	-0,0003	4800	99,711	6,1937	7,6385	YES
33,5	8,048	-0,0003	4800	105,443	6,5887	8,0479	YES
34,5	8,457	-0,0003	4800	111,174	7,0029	8,4573	YES
35,5	8,867	-0,0003	4800	116,905	7,4363	8,8667	YES
36,5	9,276	-0,0003	4800	122,636	7,8937	9,2761	YES
37,5	9,685	-0,0003	4800	128,368	8,3847	9,6855	YES
38,5	10,095	-0,0002	4800	134,099	8,9092	10,0948	YES
39,5	10,504	-0,0002	4800	139,830	9,4674	10,5042	YES
40,5	10,914	-0,0002	4800	145,561	10,0688	10,9136	YES
41,5	11,323	-0,0001	4800	151,293	10,6942	11,3230	YES
42,5	11,732	-0,0001	4800	157,024	11,3340	11,7324	YES
43,5	12,142	0,0000	4800	162,755	11,9498	12,1418	YES
44,5	12,551	0,0000	4800	168,486	12,5105	12,5512	YES



- Deformasi iterasi 2

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	3,5	0,00024
1	0,0001	4,5	0,00030
2	0,0001	5,5	0,00034
3	0,0002	6,5	0,00037
4	0,0003	7,5	0,00039
5	0,0003	8,5	0,00040
6	0,0004	9,5	0,00039
7	0,0004	10,5	0,00038
8	0,0004	11,5	0,00036
9	0,0004	12,5	0,00034
10	0,0004	13,5	0,00030
11	0,0004	14,5	0,00027
12	0,0004	15,5	0,00023
13	0,0003	16,5	0,00018
14	0,0003	17,5	0,00014
15	0,0002	18,5	0,00010
16	0,0002	19,5	0,00005
17	0,0002	20,5	0,00001
18	0,0001	21,5	-0,00003
19	0,0001	22,5	-0,00007
20	0,0000	23,5	-0,00011
21	0,0000	24,5	-0,00015
22	-0,0001	25,5	-0,00019
23	-0,0001	26,5	-0,00022
24	-0,0001	27,5	-0,00025
25	-0,0002	28,5	-0,00027
26	-0,0002	29,5	-0,00028
27	-0,0002	30,5	-0,00029
28	-0,0003	31,5	-0,00030
29	-0,0003	32,5	-0,00031
30	-0,0003	33,5	-0,00031
31	-0,0003	34,5	-0,00031
32	-0,0003	35,5	-0,00030
33	-0,0003	36,5	-0,00029
34	-0,0003	37,5	-0,00028
35	-0,0003	38,5	-0,00025
36	-0,0003	39,5	-0,00022
37	-0,0003	40,5	-0,00018
38	-0,0003	41,5	-0,00013
39	-0,0002	42,5	-0,00008
40	-0,0002	43,5	-0,00004
41	-0,0002	44,5	-0,00001
42	-0,0001		
43	-0,0001		
44	0,0000		
45	0,0000		

### Iterasi 3

#### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0001	1200	1,076	1,9888	2,0764	YES
2	2,653	0,0001	1200	1,653	2,4787	2,6527	YES
3	3,229	0,0002	1200	2,229	2,9747	3,2291	YES
4	3,805	0,0003	1200	2,805	3,4815	3,8055	YES
5	4,382	0,0003	1200	3,382	4,0002	4,3818	YES
6	4,958	0,0004	1200	3,958	4,5334	4,9582	YES
7	5,535	0,0004	1200	4,535	5,0798	5,5346	YES
8	6,111	0,0004	1200	5,111	5,6393	6,1109	YES
9	6,687	0,0004	1200	5,687	6,2121	6,6873	YES
10	7,264	0,0004	1200	6,264	6,7969	7,2637	YES
11	7,840	0,0004	1200	6,840	7,3912	7,8400	YES
12	8,416	0,0004	1200	7,416	7,9952	8,4164	YES
13	8,993	0,0003	1200	7,993	8,6076	8,9928	YES
14	9,569	0,0003	1200	8,569	9,2248	9,5692	YES
15	10,146	0,0002	1200	9,146	9,8479	10,1455	YES
16	10,722	0,0002	1200	9,722	10,4735	10,7219	YES
17	11,298	0,0002	1200	10,298	11,1015	11,2983	YES
18	11,875	0,0001	1200	10,875	11,7306	11,8746	YES
19	12,451	0,0001	1200	11,451	12,3598	12,4510	YES
20	13,027	0,0000	1200	12,027	12,9878	13,0274	YES
21	13,604	0,0000	1200	12,604	13,6154	13,6037	YES
22	14,180	-0,0001	1200	13,180	14,2413	14,1801	YES
23	14,756	-0,0001	1200	13,756	14,8657	14,7565	YES
24	8,147	-0,0001	2400	5,544	8,4638	8,1470	YES
25	8,465	-0,0002	2400	5,761	8,8734	8,4654	YES
26	6,643	-0,0002	3000	4,138	7,2555	6,6435	YES
27	6,989	-0,0002	3000	4,354	7,6878	6,9888	YES
28	7,334	-0,0003	3000	4,569	8,1022	7,3342	YES
29	6,800	-0,0003	4800	4,106	8,1155	6,8003	YES
30	7,210	-0,0003	4800	4,354	8,5873	7,2097	YES
31	7,619	-0,0003	4800	4,601	9,0447	7,6191	YES
32	8,029	-0,0003	4800	4,848	9,4877	8,0285	YES
33	8,438	-0,0003	4800	5,095	9,9211	8,4379	YES
34	8,847	-0,0003	4800	5,342	10,3305	8,8473	YES
35	9,257	-0,0003	4800	5,590	10,7255	9,2567	YES
36	9,666	-0,0003	4800	5,837	11,0965	9,6661	YES
37	10,075	-0,0003	4800	6,084	11,4339	10,0755	YES
38	10,485	-0,0003	4800	6,331	11,7425	10,4849	YES
39	10,894	-0,0002	4800	6,578	12,0127	10,8943	YES
40	11,304	-0,0002	4800	6,826	12,2492	11,3036	YES
41	11,713	-0,0002	4800	7,073	12,4522	11,7130	YES
42	12,122	-0,0001	4800	7,320	12,6312	12,1224	YES
43	12,532	-0,0001	4800	7,567	12,8150	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0372	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
3,5	1,788	0,0002	1200	1,288	2,0786	1,2882	NO
4,5	2,365	0,0003	1200	1,865	2,7186	1,8646	NO
5,5	2,941	0,0003	1200	2,441	3,3453	2,4409	NO
6,5	3,517	0,0004	1200	3,017	3,9589	3,0173	NO
7,5	4,094	0,0004	1200	3,594	4,5581	3,5937	NO
8,5	4,670	0,0004	1200	4,170	5,1440	4,1700	NO
9,5	5,246	0,0004	1200	4,746	5,7180	4,7464	NO
10,5	5,823	0,0004	1200	5,323	6,2812	5,3228	NO
11,5	6,399	0,0004	1200	5,899	6,8335	5,8991	NO
12,5	6,975	0,0003	1200	6,475	7,3787	6,4755	NO
13,5	7,552	0,0003	1200	7,052	7,9167	7,0519	NO
14,5	8,128	0,0003	1200	7,628	8,4486	7,6282	NO
15,5	8,705	0,0002	1200	8,205	8,9770	8,2046	NO
16,5	9,281	0,0002	1200	8,781	9,5018	8,7810	NO
17,5	9,857	0,0001	1200	9,357	10,0265	9,3573	NO
18,5	10,434	0,0001	1200	9,934	10,5501	9,9337	NO
19,5	11,010	0,0001	1200	10,510	11,0737	10,5101	NO
20,5	11,586	0,0000	1200	11,086	11,5984	11,0864	NO
21,5	12,163	0,0000	1200	11,663	12,1244	11,6628	NO
22,5	12,739	-0,0001	1200	12,239	12,6516	12,2392	NO
23,5	7,071	-0,0001	1800	32,760	6,8671	7,0705	YES
24,5	7,389	-0,0002	2400	34,422	7,0217	7,3889	YES
25,5	5,788	-0,0002	2700	53,542	5,2780	5,7883	YES
26,5	6,134	-0,0002	3000	57,101	5,4737	6,1337	YES
27,5	6,479	-0,0002	3000	60,660	5,7410	6,4790	YES
28,5	6,001	-0,0003	3900	76,786	4,9635	6,0009	YES
29,5	6,410	-0,0003	4800	82,518	5,0567	6,4103	YES
30,5	6,820	-0,0003	4800	88,249	5,4133	6,8197	YES
31,5	7,229	-0,0003	4800	93,980	5,7795	7,2291	YES
32,5	7,638	-0,0003	4800	99,711	6,1601	7,6385	YES
33,5	8,048	-0,0003	4800	105,443	6,5599	8,0479	YES
34,5	8,457	-0,0003	4800	111,174	6,9741	8,4573	YES
35,5	8,867	-0,0003	4800	116,905	7,4075	8,8667	YES
36,5	9,276	-0,0003	4800	122,636	7,8697	9,2761	YES
37,5	9,685	-0,0003	4800	128,368	8,3655	9,6855	YES
38,5	10,095	-0,0003	4800	134,099	8,8948	10,0948	YES
39,5	10,504	-0,0002	4800	139,830	9,4626	10,5042	YES
40,5	10,914	-0,0002	4800	145,561	10,0640	10,9136	YES
41,5	11,323	-0,0001	4800	151,293	10,6894	11,3230	YES
42,5	11,732	-0,0001	4800	157,024	11,3292	11,7324	YES
43,5	12,142	0,0000	4800	162,755	11,9498	12,1418	YES
44,5	12,551	0,0000	4800	168,486	12,5104	12,5512	YES

- Deformasi iterasi 3

<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\delta</math> (m)</b>
0	0,0000	3,5	0,00024
1	0,0001	4,5	0,00030
2	0,0001	5,5	0,00034
3	0,0002	6,5	0,00037
4	0,0003	7,5	0,00039
5	0,0003	8,5	0,00040
6	0,0004	9,5	0,00039
7	0,0004	10,5	0,00038
8	0,0004	11,5	0,00036
9	0,0004	12,5	0,00034
10	0,0004	13,5	0,00030
11	0,0004	14,5	0,00027
12	0,0004	15,5	0,00023
13	0,0003	16,5	0,00018
14	0,0003	17,5	0,00014
15	0,0002	18,5	0,00010
16	0,0002	19,5	0,00005
17	0,0002	20,5	0,00001
18	0,0001	21,5	-0,00003
19	0,0001	22,5	-0,00007
20	0,0000	23,5	-0,00011
21	0,0000	24,5	-0,00015
22	-0,0001	25,5	-0,00019
23	-0,0001	26,5	-0,00022
24	-0,0001	27,5	-0,00025
25	-0,0002	28,5	-0,00027
26	-0,0002	29,5	-0,00028
27	-0,0002	30,5	-0,00029
28	-0,0003	31,5	-0,00030
29	-0,0003	32,5	-0,00031
30	-0,0003	33,5	-0,00031
31	-0,0003	34,5	-0,00031
32	-0,0003	35,5	-0,00030
33	-0,0003	36,5	-0,00029
34	-0,0003	37,5	-0,00028
35	-0,0003	38,5	-0,00025
36	-0,0003	39,5	-0,00022
37	-0,0003	40,5	-0,00018
38	-0,0003	41,5	-0,00013
39	-0,0002	42,5	-0,00008
40	-0,0002	43,5	-0,00004
41	-0,0002	44,5	-0,00001
42	-0,0001		
43	-0,0001		
44	0,0000		
45	0,0000		

## Iterasi 4

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0001	1200	1,076	1,9888	2,0764	YES
2	2,653	0,0001	1200	1,653	2,4787	2,6527	YES
3	3,229	0,0002	1200	2,229	2,9747	3,2291	YES
4	3,805	0,0003	1200	2,805	3,4815	3,8055	YES
5	4,382	0,0003	1200	3,382	4,0002	4,3818	YES
6	4,958	0,0004	1200	3,958	4,5334	4,9582	YES
7	5,535	0,0004	1200	4,535	5,0798	5,5346	YES
8	6,111	0,0004	1200	5,111	5,6393	6,1109	YES
9	6,687	0,0004	1200	5,687	6,2121	6,6873	YES
10	7,264	0,0004	1200	6,264	6,7969	7,2637	YES
11	7,840	0,0004	1200	6,840	7,3912	7,8400	YES
12	8,416	0,0004	1200	7,416	7,9952	8,4164	YES
13	8,993	0,0003	1200	7,993	8,6076	8,9928	YES
14	9,569	0,0003	1200	8,569	9,2248	9,5692	YES
15	10,146	0,0002	1200	9,146	9,8479	10,1455	YES
16	10,722	0,0002	1200	9,722	10,4735	10,7219	YES
17	11,298	0,0002	1200	10,298	11,1015	11,2983	YES
18	11,875	0,0001	1200	10,875	11,7306	11,8746	YES
19	12,451	0,0001	1200	11,451	12,3598	12,4510	YES
20	13,027	0,0000	1200	12,027	12,9878	13,0274	YES
21	13,604	0,0000	1200	12,604	13,6154	13,6037	YES
22	14,180	-0,0001	1200	13,180	14,2413	14,1801	YES
23	14,756	-0,0001	1200	13,756	14,8657	14,7565	YES
24	8,147	-0,0001	2400	5,544	8,4638	8,1470	YES
25	8,465	-0,0002	2400	5,761	8,8734	8,4654	YES
26	6,643	-0,0002	3000	4,138	7,2555	6,6435	YES
27	6,989	-0,0002	3000	4,354	7,6878	6,9888	YES
28	7,334	-0,0003	3000	4,569	8,1022	7,3342	YES
29	6,800	-0,0003	4800	4,106	8,1155	6,8003	YES
30	7,210	-0,0003	4800	4,354	8,5873	7,2097	YES
31	7,619	-0,0003	4800	4,601	9,0447	7,6191	YES
32	8,029	-0,0003	4800	4,848	9,4877	8,0285	YES
33	8,438	-0,0003	4800	5,095	9,9211	8,4379	YES
34	8,847	-0,0003	4800	5,342	10,3305	8,8473	YES
35	9,257	-0,0003	4800	5,590	10,7255	9,2567	YES
36	9,666	-0,0003	4800	5,837	11,0965	9,6661	YES
37	10,075	-0,0003	4800	6,084	11,4339	10,0755	YES
38	10,485	-0,0003	4800	6,331	11,7425	10,4849	YES
39	10,894	-0,0002	4800	6,578	12,0127	10,8943	YES
40	11,304	-0,0002	4800	6,826	12,2492	11,3036	YES
41	11,713	-0,0002	4800	7,073	12,4522	11,7130	YES
42	12,122	-0,0001	4800	7,320	12,6312	12,1224	YES
43	12,532	-0,0001	4800	7,567	12,8150	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0372	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
3,5	1,788	0,0002	1200	1,288	2,0786	1,2882	NO
4,5	2,365	0,0003	1200	1,865	2,7186	1,8646	NO
5,5	2,941	0,0003	1200	2,441	3,3453	2,4409	NO
6,5	3,517	0,0004	1200	3,017	3,9589	3,0173	NO
7,5	4,094	0,0004	1200	3,594	4,5581	3,5937	NO
8,5	4,670	0,0004	1200	4,170	5,1440	4,1700	NO
9,5	5,246	0,0004	1200	4,746	5,7180	4,7464	NO
10,5	5,823	0,0004	1200	5,323	6,2812	5,3228	NO
11,5	6,399	0,0004	1200	5,899	6,8335	5,8991	NO
12,5	6,975	0,0003	1200	6,475	7,3787	6,4755	NO
13,5	7,552	0,0003	1200	7,052	7,9167	7,0519	NO
14,5	8,128	0,0003	1200	7,628	8,4486	7,6282	NO
15,5	8,705	0,0002	1200	8,205	8,9770	8,2046	NO
16,5	9,281	0,0002	1200	8,781	9,5018	8,7810	NO
17,5	9,857	0,0001	1200	9,357	10,0265	9,3573	NO
18,5	10,434	0,0001	1200	9,934	10,5501	9,9337	NO
19,5	11,010	0,0001	1200	10,510	11,0737	10,5101	NO
20,5	11,586	0,0000	1200	11,086	11,5984	11,0864	NO
21,5	12,163	0,0000	1200	11,663	12,1244	11,6628	NO
22,5	12,739	-0,0001	1200	12,239	12,6516	12,2392	NO
23,5	7,071	-0,0001	1800	32,760	6,8671	7,0705	YES
24,5	7,389	-0,0002	2400	34,422	7,0217	7,3889	YES
25,5	5,788	-0,0002	2700	53,542	5,2780	5,7883	YES
26,5	6,134	-0,0002	3000	57,101	5,4737	6,1337	YES
27,5	6,479	-0,0002	3000	60,660	5,7410	6,4790	YES
28,5	6,001	-0,0003	3900	76,786	4,9635	6,0009	YES
29,5	6,410	-0,0003	4800	82,518	5,0567	6,4103	YES
30,5	6,820	-0,0003	4800	88,249	5,4133	6,8197	YES
31,5	7,229	-0,0003	4800	93,980	5,7795	7,2291	YES
32,5	7,638	-0,0003	4800	99,711	6,1601	7,6385	YES
33,5	8,048	-0,0003	4800	105,443	6,5599	8,0479	YES
34,5	8,457	-0,0003	4800	111,174	6,9741	8,4573	YES
35,5	8,867	-0,0003	4800	116,905	7,4075	8,8667	YES
36,5	9,276	-0,0003	4800	122,636	7,8697	9,2761	YES
37,5	9,685	-0,0003	4800	128,368	8,3655	9,6855	YES
38,5	10,095	-0,0003	4800	134,099	8,8948	10,0948	YES
39,5	10,504	-0,0002	4800	139,830	9,4626	10,5042	YES
40,5	10,914	-0,0002	4800	145,561	10,0640	10,9136	YES
41,5	11,323	-0,0001	4800	151,293	10,6894	11,3230	YES
42,5	11,732	-0,0001	4800	157,024	11,3292	11,7324	YES
43,5	12,142	0,0000	4800	162,755	11,9498	12,1418	YES
44,5	12,551	0,0000	4800	168,486	12,5104	12,5512	YES

- Deformasi iterasi 4

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	-3,5	0,00024
-1	0,0001	-4,5	0,00030
-2	0,0001	-5,5	0,00034
-3	0,0002	-6,5	0,00037
-4	0,0003	-7,5	0,00039
-5	0,0003	-8,5	0,00040
-6	0,0004	-9,5	0,00039
-7	0,0004	-10,5	0,00038
-8	0,0004	-11,5	0,00036
-9	0,0004	-12,5	0,00034
-10	0,0004	-13,5	0,00030
-11	0,0004	-14,5	0,00027
-12	0,0004	-15,5	0,00023
-13	0,0003	-16,5	0,00018
-14	0,0003	-17,5	0,00014
-15	0,0002	-18,5	0,00010
-16	0,0002	-19,5	0,00005
-17	0,0002	-20,5	0,00001
-18	0,0001	-21,5	-0,00003
-19	0,0001	-22,5	-0,00007
-20	0,0000	-23,5	-0,00011
-21	0,0000	-24,5	-0,00015
-22	-0,0001	-25,5	-0,00019
-23	-0,0001	-26,5	-0,00022
-24	-0,0001	-27,5	-0,00025
-25	-0,0002	-28,5	-0,00027
-26	-0,0002	-29,5	-0,00028
-27	-0,0002	-30,5	-0,00029
-28	-0,0003	-31,5	-0,00030
-29	-0,0003	-32,5	-0,00031
-30	-0,0003	-33,5	-0,00031
-31	-0,0003	-34,5	-0,00031
-32	-0,0003	-35,5	-0,00030
-33	-0,0003	-36,5	-0,00029
-34	-0,0003	-37,5	-0,00028
-35	-0,0003	-38,5	-0,00025
-36	-0,0003	-39,5	-0,00022
-37	-0,0003	-40,5	-0,00018
-38	-0,0003	-41,5	-0,00013
-39	-0,0002	-42,5	-0,00008
-40	-0,0002	-43,5	-0,00004
-41	-0,0002	-44,5	-0,00001
-42	-0,0001		
-43	-0,0001		
-44	0,0000		
-45	0,0000		

- b. Galian 2 sedalam 14 m dengan 2 strut  
 Iterasi 1  
 - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0001	1200	1,076	1,9888	2,0764	YES
2	2,653	0,0001	1200	1,653	2,4787	2,6527	YES
3	3,229	0,0002	1200	2,229	2,9747	3,2291	YES
4	3,805	0,0003	1200	2,805	3,4815	3,8055	YES
5	4,382	0,0003	1200	3,382	4,0002	4,3818	YES
6	4,958	0,0004	1200	3,958	4,5334	4,9582	YES
7	5,535	0,0004	1200	4,535	5,0798	5,5346	YES
8	6,111	0,0004	1200	5,111	5,6393	6,1109	YES
9	6,687	0,0004	1200	5,687	6,2121	6,6873	YES
10	7,264	0,0004	1200	6,264	6,7969	7,2637	YES
11	7,840	0,0004	1200	6,840	7,3912	7,8400	YES
12	8,416	0,0004	1200	7,416	7,9952	8,4164	YES
13	8,993	0,0003	1200	7,993	8,6076	8,9928	YES
14	9,569	0,0003	1200	8,569	9,2248	9,5692	YES
15	10,146	0,0002	1200	9,146	9,8479	10,1455	YES
16	10,722	0,0002	1200	9,722	10,4735	10,7219	YES
17	11,298	0,0002	1200	10,298	11,1015	11,2983	YES
18	11,875	0,0001	1200	10,875	11,7306	11,8746	YES
19	12,451	0,0001	1200	11,451	12,3598	12,4510	YES
20	13,027	0,0000	1200	12,027	12,9878	13,0274	YES
21	13,604	0,0000	1200	12,604	13,6154	13,6037	YES
22	14,180	-0,0001	1200	13,180	14,2413	14,1801	YES
23	14,756	-0,0001	1200	13,756	14,8657	14,7565	YES
24	8,147	-0,0001	2400	5,544	8,4638	8,1470	YES
25	8,465	-0,0002	2400	5,761	8,8734	8,4654	YES
26	6,643	-0,0002	3000	4,138	7,2555	6,6435	YES
27	6,989	-0,0002	3000	4,354	7,6878	6,9888	YES
28	7,334	-0,0003	3000	4,569	8,1022	7,3342	YES
29	6,800	-0,0003	4800	4,106	8,1155	6,8003	YES
30	7,210	-0,0003	4800	4,354	8,5873	7,2097	YES
31	7,619	-0,0003	4800	4,601	9,0447	7,6191	YES
32	8,029	-0,0003	4800	4,848	9,4877	8,0285	YES
33	8,438	-0,0003	4800	5,095	9,9211	8,4379	YES
34	8,847	-0,0003	4800	5,342	10,3305	8,8473	YES
35	9,257	-0,0003	4800	5,590	10,7255	9,2567	YES
36	9,666	-0,0003	4800	5,837	11,0965	9,6661	YES
37	10,075	-0,0003	4800	6,084	11,4339	10,0755	YES
38	10,485	-0,0003	4800	6,331	11,7425	10,4849	YES
39	10,894	-0,0002	4800	6,578	12,0127	10,8943	YES
40	11,304	-0,0002	4800	6,826	12,2492	11,3036	YES
41	11,713	-0,0002	4800	7,073	12,4522	11,7130	YES
42	12,122	-0,0001	4800	7,320	12,6312	12,1224	YES
43	12,532	-0,0001	4800	7,567	12,8150	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0372	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES



- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,00024	1200	1,288	2,0786	1,2882	NO
15,5	2,365	0,00030	1200	1,865	2,7186	1,8646	NO
16,5	2,941	0,00034	1200	2,441	3,3453	2,4409	NO
17,5	3,517	0,00037	1200	3,017	3,9589	3,0173	NO
18,5	4,094	0,00039	1200	3,594	4,5581	3,5937	NO
19,5	4,670	0,00040	1200	4,170	5,1440	4,1700	NO
20,5	5,246	0,00039	1200	4,746	5,7180	4,7464	NO
21,5	5,823	0,00038	1200	5,323	6,2812	5,3228	NO
22,5	6,399	0,00036	1200	5,899	6,8335	5,8991	NO
23,5	3,707	0,00034	1800	15,199	4,3118	3,7070	NO
24,5	4,025	0,00030	2400	16,861	4,7549	4,0253	NO
25,5	3,286	0,00027	2700	27,757	4,0068	3,2859	NO
26,5	3,631	0,00023	3000	31,316	4,3122	3,6312	NO
27,5	3,977	0,00018	3000	34,874	4,5286	3,9766	NO
28,5	3,820	0,00014	3900	46,259	4,3702	3,8203	NO
29,5	4,230	0,00010	4800	51,991	4,6953	4,2297	NO
30,5	4,639	0,00005	4800	57,722	4,8935	4,6391	NO
31,5	5,048	0,00001	4800	63,453	5,0962	5,0485	NO
32,5	5,458	-0,00003	4800	69,184	5,3043	5,4579	NO
33,5	5,867	-0,00007	4800	74,916	5,5169	5,8673	NO
34,5	6,277	-0,00011	4800	80,647	5,7343	6,2767	YES
35,5	6,686	-0,00015	4800	86,378	5,9517	6,6861	YES
36,5	7,095	-0,00019	4800	92,109	6,1883	7,0955	YES
37,5	7,505	-0,00022	4800	97,841	6,4489	7,5049	YES
38,5	7,914	-0,00025	4800	103,572	6,7334	7,9142	YES
39,5	8,324	-0,00027	4800	109,303	7,0468	8,3236	YES
40,5	8,733	-0,00028	4800	115,034	7,3794	8,7330	YES
41,5	9,142	-0,00029	4800	120,766	7,7360	9,1424	YES
42,5	9,552	-0,00030	4800	126,497	8,1022	9,5518	YES
43,5	9,961	-0,00031	4800	132,228	8,4828	9,9612	YES
44,5	10,371	-0,00031	4800	137,959	8,8826	10,3706	YES

- Deformasi iterasi 1

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	14,5	0,0096
1	0,0001	15,5	0,0098
2	0,0002	16,5	0,0098
3	0,0000	17,5	0,0096
4	0,0005	18,5	0,0092
5	0,0013	19,5	0,0087
6	0,0022	20,5	0,0080
7	0,0033	21,5	0,0071
8	0,0044	22,5	0,0063
9	0,0055	23,5	0,0053
10	0,0065	24,5	0,0044
11	0,0075	25,5	0,0035
12	0,0083	26,5	0,0028
13	0,0090	27,5	0,0021
14	0,0095	28,5	0,0015
15	0,0097	29,5	0,0011
16	0,0098	30,5	0,0008
17	0,0097	31,5	0,0005
18	0,0094	32,5	0,0003
19	0,0090	33,5	0,0002
20	0,0083	34,5	0,0001
21	0,0076	35,5	0,0001
22	0,0067	36,5	0,0001
23	0,0058	37,5	0,0000
24	0,0049	38,5	0,0000
25	0,0040	39,5	0,0000
26	0,0031	40,5	0,0000
27	0,0024	41,5	0,0000
28	0,0018	42,5	0,0000
29	0,0013	43,5	0,0000
30	0,0009	44,5	0,0000
31	0,0006		
32	0,0004		
33	0,0003		
34	0,0002		
35	0,0001		
36	0,0001		
37	0,0000		
38	0,0000		
39	0,0000		
40	0,0000		
41	0,0000		
42	0,0000		
43	0,0000		
44	0,0000		
45	0,0000		

## Iterasi 2

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0001	1200	1,076	1,9084	2,0764	YES
2	2,653	0,0002	1200	1,653	2,4427	2,6527	YES
3	3,229	0,0000	1200	2,229	3,2291	3,2291	YES
4	3,805	0,0005	1200	2,805	3,1743	3,8055	YES
5	4,382	0,0013	1200	3,382	2,8290	3,3818	NO
6	4,958	0,0022	1200	3,958	2,2750	3,9582	NO
7	5,535	0,0033	1200	4,535	1,5890	4,5346	NO
8	6,111	0,0044	1200	5,111	0,8429	5,1109	NO
9	6,687	0,0055	1200	5,687	0,1017	5,6873	NO
10	7,264	0,0065	1200	6,264	-0,5795	6,2637	NO
11	7,840	0,0075	1200	6,840	-1,1468	6,8400	NO
12	8,416	0,0083	1200	7,416	-1,5592	7,4164	NO
13	8,993	0,0090	1200	7,993	-1,7796	7,9928	NO
14	9,569	0,0095	1200	8,569	-1,7816	8,5692	NO
15	10,146	0,0097	1200	9,146	-1,5509	9,1455	NO
16	10,722	0,0098	1200	9,722	-1,0813	9,7219	NO
17	11,298	0,0097	1200	10,298	-0,3741	10,2983	NO
18	11,875	0,0094	1200	10,875	0,5598	10,8746	NO
19	12,451	0,0090	1200	11,451	1,7038	11,4510	NO
20	13,027	0,0083	1200	12,027	3,0350	12,0274	NO
21	13,604	0,0076	1200	12,604	4,5233	12,6037	NO
22	14,180	0,0067	1200	13,180	6,1293	13,1801	NO
23	14,756	0,0058	1200	13,756	7,8097	13,7565	NO
24	8,147	0,0049	2400	5,544	-3,5026	5,5442	NO
25	8,465	0,0040	2400	5,761	-1,0386	5,7608	NO
26	6,643	0,0031	3000	4,138	-2,7795	4,1385	NO
27	6,989	0,0024	3000	4,354	-0,2772	4,3536	NO
28	7,334	0,0018	3000	4,569	1,8982	4,5688	NO
29	6,800	0,0013	4800	4,106	0,4979	4,1063	NO
30	7,210	0,0009	4800	4,354	2,7841	4,3535	NO
31	7,619	0,0006	4800	4,601	4,6095	7,6191	YES
32	8,029	0,0004	4800	4,848	6,0365	8,0285	YES
33	8,438	0,0003	4800	5,095	7,1563	8,4379	YES
34	8,847	0,0002	4800	5,342	8,0361	8,8473	YES
35	9,257	0,0001	4800	5,590	8,7479	9,2567	YES
36	9,666	0,0001	4800	5,837	9,3445	9,6661	YES
37	10,075	0,0000	4800	6,084	9,8643	10,0755	YES
38	10,485	0,0000	4800	6,331	10,3409	10,4849	YES
39	10,894	0,0000	4800	6,578	10,7983	10,8943	YES
40	11,304	0,0000	4800	6,826	11,2412	11,3036	YES
41	11,713	0,0000	4800	7,073	11,6768	11,7130	YES
42	12,122	0,0000	4800	7,320	12,1070	12,1224	YES
43	12,532	0,0000	4800	7,567	12,5297	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	12,9437	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,00963	1200	1,288	13,3418	1,2882	NO
15,5	2,365	0,00982	1200	1,865	14,1438	1,8646	NO
16,5	2,941	0,00981	1200	2,441	14,7081	2,4409	NO
17,5	3,517	0,00960	1200	3,017	15,0385	3,0173	NO
18,5	4,094	0,00921	1200	3,594	15,1493	3,5937	NO
19,5	4,670	0,00866	1200	4,170	15,0608	4,1700	NO
20,5	5,246	0,00796	1200	4,746	14,7996	4,7464	NO
21,5	5,823	0,00715	1200	5,323	14,3992	5,3228	NO
22,5	6,399	0,00625	1200	5,899	13,9027	5,8991	NO
23,5	3,707	0,00532	1800	15,199	13,2812	3,7070	YES
24,5	4,025	0,00440	2400	16,861	14,5829	4,0253	YES
25,5	3,286	0,00354	2700	27,757	12,8412	3,2859	YES
26,5	3,631	0,00277	3000	31,316	11,9352	3,6312	YES
27,5	3,977	0,00210	3000	34,874	10,2826	3,9766	YES
28,5	3,820	0,00155	3900	46,259	9,8575	3,8203	YES
29,5	4,230	0,00110	4800	51,991	9,5289	4,2297	YES
30,5	4,639	0,00076	4800	57,722	8,3015	4,6391	YES
31,5	5,048	0,00051	4800	63,453	7,5013	5,0485	YES
32,5	5,458	0,00033	4800	69,184	7,0563	5,4579	YES
33,5	5,867	0,00021	4800	74,916	6,8849	5,8673	YES
34,5	6,277	0,00013	4800	80,647	6,9151	6,2767	YES
35,5	6,686	0,00008	4800	86,378	7,0845	6,6861	YES
36,5	7,095	0,00005	4800	92,109	7,3499	7,0955	YES
37,5	7,505	0,00004	4800	97,841	7,6729	7,5049	YES
38,5	7,914	0,00002	4800	103,572	8,0246	7,9142	YES
39,5	8,324	0,00002	4800	109,303	8,3956	8,3236	YES
40,5	8,733	0,00001	4800	115,034	8,7763	8,7330	YES
41,5	9,142	0,00000	4800	120,766	9,1615	9,1424	YES
42,5	9,552	0,00000	4800	126,497	9,5534	9,5518	YES
43,5	9,961	0,00000	4800	132,228	9,9536	9,9612	YES
44,5	10,371	0,00000	4800	137,959	10,3621	10,3706	YES

- Deformasi iterasi 2

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	14,5	0,0262
1	0,0004	15,5	0,0269
2	0,0004	16,5	0,0270
3	0,0000	17,5	0,0266
4	0,0013	18,5	0,0257
5	0,0033	19,5	0,0243
6	0,0057	20,5	0,0225
7	0,0085	21,5	0,0203
8	0,0114	22,5	0,0179
9	0,0144	23,5	0,0154
10	0,0173	24,5	0,0129
11	0,0199	25,5	0,0105
12	0,0223	26,5	0,0082
13	0,0242	27,5	0,0063
14	0,0257	28,5	0,0046
15	0,0266	29,5	0,0032
16	0,0270	30,5	0,0021
17	0,0269	31,5	0,0012
18	0,0262	32,5	0,0006
19	0,0251	33,5	0,0002
20	0,0234	34,5	0,0001
21	0,0214	35,5	0,0002
22	0,0192	36,5	0,0003
23	0,0167	37,5	0,0003
24	0,0141	38,5	0,0002
25	0,0116	39,5	0,0002
26	0,0093	40,5	0,0002
27	0,0072	41,5	0,0001
28	0,0054	42,5	0,0001
29	0,0038	43,5	0,0000
30	0,0026	44,5	0,0000
31	0,0016		
32	0,0009		
33	0,0004		
34	0,0000		
35	0,0002		
36	0,0003		
37	0,0003		
38	0,0003		
39	0,0002		
40	0,0002		
41	0,0001		
42	0,0001		
43	0,0000		
44	0,0000		
45	0,0000		

### Iterasi 3

#### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0004	1200	1,076	1,6504	2,0764	YES
2	2,653	0,0004	1200	1,653	2,1211	2,6527	YES
3	3,229	0,0000	1200	2,229	3,2291	3,2291	YES
4	3,805	0,0013	1200	2,805	2,2095	2,8055	NO
5	4,382	0,0033	1200	3,382	0,4278	3,3818	NO
6	4,958	0,0057	1200	3,958	-1,9238	3,9582	NO
7	5,535	0,0085	1200	4,535	-4,6594	4,5346	NO
8	6,111	0,0114	1200	5,111	-7,6015	5,1109	NO
9	6,687	0,0144	1200	5,687	-10,5819	5,6873	NO
10	7,264	0,0173	1200	6,264	-13,4459	6,2637	NO
11	7,840	0,0199	1200	6,840	-16,0544	6,8400	NO
12	8,416	0,0223	1200	7,416	-18,2860	7,4164	NO
13	8,993	0,0242	1200	7,993	-20,0352	7,9928	NO
14	9,569	0,0257	1200	8,569	-21,2240	8,5692	NO
15	10,146	0,0266	1200	9,146	-21,7937	9,1455	NO
16	10,722	0,0270	1200	9,722	-21,7141	9,7219	NO
17	11,298	0,0269	1200	10,298	-20,9781	10,2983	NO
18	11,875	0,0262	1200	10,875	-19,6002	10,8746	NO
19	12,451	0,0251	1200	11,451	-17,6222	11,4510	NO
20	13,027	0,0234	1200	12,027	-15,1054	12,0274	NO
21	13,604	0,0214	1200	12,604	-12,1315	12,6037	NO
22	14,180	0,0192	1200	13,180	-8,8047	13,1801	NO
23	14,756	0,0167	1200	13,756	-5,2511	13,7565	NO
24	8,147	0,0141	2400	5,544	-25,7578	5,5442	NO
25	8,465	0,0116	2400	5,761	-19,4802	5,7608	NO
26	6,643	0,0093	3000	4,138	-21,3135	4,1385	NO
27	6,989	0,0072	3000	4,354	-14,6712	4,3536	NO
28	7,334	0,0054	3000	4,569	-8,8238	4,5688	NO
29	6,800	0,0038	4800	4,106	-11,6221	4,1063	NO
30	7,210	0,0026	4800	4,354	-5,1791	4,3535	NO
31	7,619	0,0016	4800	4,601	-0,0705	4,6007	NO
32	8,029	0,0009	4800	4,848	3,8141	4,8480	NO
33	8,438	0,0004	4800	5,095	6,6523	8,4379	YES
34	8,847	0,0000	4800	5,342	9,0441	8,8473	YES
35	9,257	0,0002	4800	5,590	8,5175	9,2567	YES
36	9,666	0,0003	4800	5,837	8,4613	9,6661	YES
37	10,075	0,0003	4800	6,084	8,7315	10,0755	YES
38	10,485	0,0003	4800	6,331	9,2081	10,4849	YES
39	10,894	0,0002	4800	6,578	9,8047	10,8943	YES
40	11,304	0,0002	4800	6,826	10,4540	11,3036	YES
41	11,713	0,0001	4800	7,073	11,1130	11,7130	YES
42	12,122	0,0001	4800	7,320	11,7528	12,1224	YES
43	12,532	0,0000	4800	7,567	12,7142	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	12,9940	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,02621	1200	1,288	33,2342	1,2882	NO
15,5	2,365	0,02689	1200	1,865	34,6338	1,8646	NO
16,5	2,941	0,02703	1200	2,441	35,3781	2,4409	NO
17,5	3,517	0,02663	1200	3,017	35,4697	3,0173	NO
18,5	4,094	0,02570	1200	3,594	34,9385	3,5937	NO
19,5	4,670	0,02430	1200	4,170	33,8348	4,1700	NO
20,5	5,246	0,02249	1200	4,746	32,2296	4,7464	NO
21,5	5,823	0,02033	1200	5,323	30,2188	5,3228	NO
22,5	6,399	0,01793	1200	5,899	27,9139	5,8991	NO
23,5	3,707	0,01540	1800	15,199	31,4216	15,1989	NO
24,5	4,025	0,01287	2400	16,861	34,9085	16,8608	NO
25,5	3,286	0,01046	2700	27,757	31,5144	27,7569	NO
26,5	3,631	0,00824	3000	31,316	28,3422	3,6312	YES
27,5	3,977	0,00627	3000	34,874	22,7776	3,9766	YES
28,5	3,820	0,00457	3900	46,259	21,6589	3,8203	YES
29,5	4,230	0,00317	4800	51,991	19,4553	4,2297	YES
30,5	4,639	0,00206	4800	57,722	14,5127	4,6391	YES
31,5	5,048	0,00121	4800	63,453	10,8565	5,0485	YES
32,5	5,458	0,00060	4800	69,184	8,3379	5,4579	YES
33,5	5,867	0,00019	4800	74,916	6,7601	5,8673	YES
34,5	6,277	0,00007	4800	80,647	6,6223	6,2767	YES
35,5	6,686	0,00021	4800	86,378	7,7133	6,6861	YES
36,5	7,095	0,00027	4800	92,109	8,4059	7,0955	YES
37,5	7,505	0,00028	4800	97,841	8,8393	7,5049	YES
38,5	7,914	0,00025	4800	103,572	9,1094	7,9142	YES
39,5	8,324	0,00020	4800	109,303	9,3028	8,3236	YES
40,5	8,733	0,00015	4800	115,034	9,4626	8,7330	YES
41,5	9,142	0,00010	4800	120,766	9,6272	9,1424	YES
42,5	9,552	0,00006	4800	126,497	9,8302	9,5518	YES
43,5	9,961	-0,00002	4800	132,228	9,8460	9,9612	YES
44,5	10,371	0,00000	4800	137,959	10,3474	10,3706	YES

- Deformasi iterasi 3

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	14,5	0,0293
1	0,0004	15,5	0,0303
2	0,0005	16,5	0,0307
3	0,0000	17,5	0,0305
4	0,0014	18,5	0,0297
5	0,0036	19,5	0,0284
6	0,0062	20,5	0,0266
7	0,0092	21,5	0,0244
8	0,0124	22,5	0,0219
9	0,0157	23,5	0,0192
10	0,0189	24,5	0,0164
11	0,0219	25,5	0,0136
12	0,0246	26,5	0,0109
13	0,0268	27,5	0,0085
14	0,0286	28,5	0,0063
15	0,0299	29,5	0,0045
16	0,0305	30,5	0,0031
17	0,0306	31,5	0,0019
18	0,0302	32,5	0,0011
19	0,0291	33,5	0,0005
20	0,0276	34,5	0,0001
21	0,0256	35,5	0,0002
22	0,0232	36,5	0,0003
23	0,0206	37,5	0,0003
24	0,0178	38,5	0,0003
25	0,0149	39,5	0,0003
26	0,0122	40,5	0,0002
27	0,0096	41,5	0,0001
28	0,0074	42,5	0,0001
29	0,0054	43,5	0,0000
30	0,0038	44,5	0,0000
31	0,0025		
32	0,0015		
33	0,0007		
34	0,0002		
35	0,0001		
36	0,0003		
37	0,0003		
38	0,0003		
39	0,0003		
40	0,0002		
41	0,0002		
42	0,0001		
43	0,0001		
44	0,0000		
45	0,0000		



## Iterasi 4

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0004	1200	1,076	1,6168	2,0764	YES
2	2,653	0,0005	1200	1,653	2,0779	2,6527	YES
3	3,229	0,0000	1200	2,229	3,2291	3,2291	YES
4	3,805	0,0014	1200	2,805	2,0823	2,8055	NO
5	4,382	0,0036	1200	3,382	0,1062	3,3818	NO
6	4,958	0,0062	1200	3,958	-2,4974	3,9582	NO
7	5,535	0,0092	1200	4,535	-5,5330	4,5346	NO
8	6,111	0,0124	1200	5,111	-8,8147	5,1109	NO
9	6,687	0,0157	1200	5,687	-12,1635	5,6873	NO
10	7,264	0,0189	1200	6,264	-15,4175	6,2637	NO
11	7,840	0,0219	1200	6,840	-18,4268	6,8400	NO
12	8,416	0,0246	1200	7,416	-21,0604	7,4164	NO
13	8,993	0,0268	1200	7,993	-23,2068	7,9928	NO
14	9,569	0,0286	1200	8,569	-24,7736	8,5692	NO
15	10,146	0,0299	1200	9,146	-25,6961	9,1455	NO
16	10,722	0,0305	1200	9,722	-25,9345	9,7219	NO
17	11,298	0,0306	1200	10,298	-25,4709	10,2983	NO
18	11,875	0,0302	1200	10,875	-24,3138	10,8746	NO
19	12,451	0,0291	1200	11,451	-22,4918	11,4510	NO
20	13,027	0,0276	1200	12,027	-20,0578	12,0274	NO
21	13,604	0,0256	1200	12,604	-17,0863	12,6037	NO
22	14,180	0,0232	1200	13,180	-13,6719	13,1801	NO
23	14,756	0,0206	1200	13,756	-9,9287	13,7565	NO
24	8,147	0,0178	2400	5,544	-34,5082	5,5442	NO
25	8,465	0,0149	2400	5,761	-27,3954	5,7608	NO
26	6,643	0,0122	3000	4,138	-29,9505	4,1385	NO
27	6,989	0,0096	3000	4,354	-21,9552	4,3536	NO
28	7,334	0,0074	3000	4,569	-14,7668	4,5688	NO
29	6,800	0,0054	4800	4,106	-19,1149	4,1063	NO
30	7,210	0,0038	4800	4,354	-10,8671	4,3535	NO
31	7,619	0,0025	4800	4,601	-4,1985	4,6007	NO
32	8,029	0,0015	4800	4,848	1,0061	4,8480	NO
33	8,438	0,0007	4800	5,095	4,9099	5,0952	NO
34	8,847	0,0002	4800	5,342	7,7145	8,8473	YES
35	9,257	0,0001	4800	5,590	8,8679	9,2567	YES
36	9,666	0,0003	4800	5,837	8,4277	9,6661	YES
37	10,075	0,0003	4800	6,084	8,4723	10,0755	YES
38	10,485	0,0003	4800	6,331	8,8481	10,4849	YES
39	10,894	0,0003	4800	6,578	9,4255	10,8943	YES
40	11,304	0,0002	4800	6,826	10,1180	11,3036	YES
41	11,713	0,0002	4800	7,073	10,8490	11,7130	YES
42	12,122	0,0001	4800	7,320	11,5752	12,1224	YES
43	12,532	0,0001	4800	7,567	12,2582	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0228	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,02931	1200	1,288	36,9638	1,2882	NO
15,5	2,365	0,03028	1200	1,865	38,6994	1,8646	NO
16,5	2,941	0,03067	1200	2,441	39,7401	2,4409	NO
17,5	3,517	0,03047	1200	3,017	40,0801	3,0173	NO
18,5	4,094	0,02970	1200	3,594	39,7385	3,5937	NO
19,5	4,670	0,02840	1200	4,170	38,7548	4,1700	NO
20,5	5,246	0,02662	1200	4,746	37,1952	4,7464	NO
21,5	5,823	0,02443	1200	5,323	35,1412	5,3228	NO
22,5	6,399	0,02192	1200	5,899	32,6995	5,8991	NO
23,5	3,707	0,01918	1800	15,199	38,2346	15,1989	NO
24,5	4,025	0,01635	2400	16,861	43,2701	16,8608	NO
25,5	3,286	0,01355	2700	27,757	39,8709	27,7569	NO
26,5	3,631	0,01089	3000	31,316	36,3012	31,3156	NO
27,5	3,977	0,00847	3000	34,874	29,3806	3,9766	YES
28,5	3,820	0,00634	3900	46,259	28,5463	3,8203	YES
29,5	4,230	0,00454	4800	51,991	26,0169	4,2297	YES
30,5	4,639	0,00307	4800	57,722	19,3847	4,6391	YES
31,5	5,048	0,00193	4800	63,453	14,2885	5,0485	YES
32,5	5,458	0,00107	4800	69,184	10,5795	5,4579	YES
33,5	5,867	0,00046	4800	74,916	8,0705	5,8673	YES
34,5	6,277	0,00006	4800	80,647	6,5503	6,2767	YES
35,5	6,686	0,00019	4800	86,378	7,5741	6,6861	YES
36,5	7,095	0,00031	4800	92,109	8,5691	7,0955	YES
37,5	7,505	0,00035	4800	97,841	9,1609	7,5049	YES
38,5	7,914	0,00033	4800	103,572	9,4934	7,9142	YES
39,5	8,324	0,00028	4800	109,303	9,6676	8,3236	YES
40,5	8,733	0,00022	4800	115,034	9,7650	8,7330	YES
41,5	9,142	0,00015	4800	120,766	9,8480	9,1424	YES
42,5	9,552	0,00009	4800	126,497	9,9598	9,5518	YES
43,5	9,961	-0,00004	4800	132,228	9,7884	9,9612	YES
44,5	10,371	-0,00001	4800	137,959	10,3387	10,3706	YES

- Deformasi iterasi 4

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	14,5	0,0296
1	0,0004	15,5	0,0306
2	0,0005	16,5	0,0310
3	0,0000	17,5	0,0308
4	0,0014	18,5	0,0301
5	0,0036	19,5	0,0288
6	0,0063	20,5	0,0270
7	0,0093	21,5	0,0249
8	0,0125	22,5	0,0223
9	0,0158	23,5	0,0196
10	0,0191	24,5	0,0168
11	0,0221	25,5	0,0139
12	0,0248	26,5	0,0112
13	0,0271	27,5	0,0088
14	0,0289	28,5	0,0066
15	0,0302	29,5	0,0047
16	0,0309	30,5	0,0032
17	0,0310	31,5	0,0020
18	0,0305	32,5	0,0011
19	0,0295	33,5	0,0005
20	0,0280	34,5	0,0001
21	0,0260	35,5	0,0002
22	0,0236	36,5	0,0003
23	0,0210	37,5	0,0003
24	0,0182	38,5	0,0003
25	0,0153	39,5	0,0003
26	0,0126	40,5	0,0002
27	0,0100	41,5	0,0002
28	0,0076	42,5	0,0001
29	0,0056	43,5	0,0000
30	0,0039	44,5	0,0000
31	0,0026		
32	0,0016		
33	0,0008		
34	0,0003		
35	0,0001		
36	0,0002		
37	0,0003		
38	0,0003		
39	0,0003		
40	0,0003		
41	0,0002		
42	0,0001		
43	0,0001		
44	0,0000		
45	0,0000		

## Iterasi 5

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m <sup>2</sup> )	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0004	1200	1,076	1,6132	2,0764	YES
2	2,653	0,0005	1200	1,653	2,0743	2,6527	YES
3	3,229	0,0000	1200	2,229	3,2291	3,2291	YES
4	3,805	0,0014	1200	2,805	2,0703	2,8055	NO
5	4,382	0,0036	1200	3,382	0,0762	3,3818	NO
6	4,958	0,0063	1200	3,958	-2,5502	3,9582	NO
7	5,535	0,0093	1200	4,535	-5,6134	4,5346	NO
8	6,111	0,0125	1200	5,111	-8,9263	5,1109	NO
9	6,687	0,0158	1200	5,687	-12,3099	5,6873	NO
10	7,264	0,0191	1200	6,264	-15,5999	6,2637	NO
11	7,840	0,0221	1200	6,840	-18,6488	6,8400	NO
12	8,416	0,0248	1200	7,416	-21,3208	7,4164	NO
13	8,993	0,0271	1200	7,993	-23,5056	7,9928	NO
14	9,569	0,0289	1200	8,569	-25,1108	8,5692	NO
15	10,146	0,0302	1200	9,146	-26,0693	9,1455	NO
16	10,722	0,0309	1200	9,722	-26,3413	9,7219	NO
17	11,298	0,0310	1200	10,298	-25,9077	10,2983	NO
18	11,875	0,0305	1200	10,875	-24,7770	10,8746	NO
19	12,451	0,0295	1200	11,451	-22,9766	11,4510	NO
20	13,027	0,0280	1200	12,027	-20,5594	12,0274	NO
21	13,604	0,0260	1200	12,604	-17,5963	12,6037	NO
22	14,180	0,0236	1200	13,180	-14,1843	13,1801	NO
23	14,756	0,0210	1200	13,756	-10,4351	13,7565	NO
24	8,147	0,0182	2400	5,544	-35,4898	5,5442	NO
25	8,465	0,0153	2400	5,761	-28,3290	5,7608	NO
26	6,643	0,0126	3000	4,138	-31,0305	4,1385	NO
27	6,989	0,0100	3000	4,354	-22,9182	4,3536	NO
28	7,334	0,0076	3000	4,569	-15,5888	4,5688	NO
29	6,800	0,0056	4800	4,106	-20,1997	4,1063	NO
30	7,210	0,0039	4800	4,354	-11,7215	4,3535	NO
31	7,619	0,0026	4800	4,601	-4,8465	4,6007	NO
32	8,029	0,0016	4800	4,848	0,5357	4,8480	NO
33	8,438	0,0008	4800	5,095	4,5883	5,0952	NO
34	8,847	0,0003	4800	5,342	7,5177	8,8473	YES
35	9,257	0,0001	4800	5,590	8,9735	9,2567	YES
36	9,666	0,0002	4800	5,837	8,4709	9,6661	YES
37	10,075	0,0003	4800	6,084	8,4723	10,0755	YES
38	10,485	0,0003	4800	6,331	8,8193	10,4849	YES
39	10,894	0,0003	4800	6,578	9,3871	10,8943	YES
40	11,304	0,0003	4800	6,826	10,0796	11,3036	YES
41	11,713	0,0002	4800	7,073	10,8202	11,7130	YES
42	12,122	0,0001	4800	7,320	11,5560	12,1224	YES
43	12,532	0,0001	4800	7,567	12,2438	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0276	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,02961	1200	1,288	37,3190	1,2882	NO
15,5	2,365	0,03061	1200	1,865	39,0906	1,8646	NO
16,5	2,941	0,03102	1200	2,441	40,1625	2,4409	NO
17,5	3,517	0,03085	1200	3,017	40,5313	3,0173	NO
18,5	4,094	0,03010	1200	3,594	40,2125	3,5937	NO
19,5	4,670	0,02882	1200	4,170	39,2492	4,1700	NO
20,5	5,246	0,02705	1200	4,746	37,7016	4,7464	NO
21,5	5,823	0,02486	1200	5,323	35,6536	5,3228	NO
22,5	6,399	0,02234	1200	5,899	33,2095	5,8991	NO
23,5	3,707	0,01960	1800	15,199	38,9852	15,1989	NO
24,5	4,025	0,01675	2400	16,861	44,2325	16,8608	NO
25,5	3,286	0,01393	2700	27,757	40,8861	27,7569	NO
26,5	3,631	0,01123	3000	31,316	37,3302	31,3156	NO
27,5	3,977	0,00877	3000	34,874	30,2776	3,9766	YES
28,5	3,820	0,00659	3900	46,259	29,5213	3,8203	YES
29,5	4,230	0,00474	4800	51,991	26,9817	4,2297	YES
30,5	4,639	0,00323	4800	57,722	20,1383	4,6391	YES
31,5	5,048	0,00204	4800	63,453	14,8453	5,0485	YES
32,5	5,458	0,00115	4800	69,184	10,9683	5,4579	YES
33,5	5,867	0,00051	4800	74,916	8,3249	5,8673	YES
34,5	6,277	0,00009	4800	80,647	6,6943	6,2767	YES
35,5	6,686	0,00017	4800	86,378	7,5021	6,6861	YES
36,5	7,095	0,00030	4800	92,109	8,5547	7,0955	YES
37,5	7,505	0,00035	4800	97,841	9,1801	7,5049	YES
38,5	7,914	0,00034	4800	103,572	9,5270	7,9142	YES
39,5	8,324	0,00029	4800	109,303	9,7060	8,3236	YES
40,5	8,733	0,00022	4800	115,034	9,7986	8,7330	YES
41,5	9,142	0,00015	4800	120,766	9,8768	9,1424	YES
42,5	9,552	0,00009	4800	126,497	9,9790	9,5518	YES
43,5	9,961	-0,00004	4800	132,228	9,7788	9,9612	YES
44,5	10,371	-0,00001	4800	137,959	10,3375	10,3706	YES

- Deformasi iterasi 5

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	-14,5	0,0296
-1	0,0004	-15,5	0,0306
-2	0,0005	-16,5	0,0310
-3	0,0000	-17,5	0,0308
-4	0,0014	-18,5	0,0301
-5	0,0036	-19,5	0,0288
-6	0,0063	-20,5	0,0270
-7	0,0093	-21,5	0,0249
-8	0,0125	-22,5	0,0223
-9	0,0158	-23,5	0,0196
-10	0,0191	-24,5	0,0168
-11	0,0221	-25,5	0,0139
-12	0,0248	-26,5	0,0112
-13	0,0271	-27,5	0,0088
-14	0,0289	-28,5	0,0066
-15	0,0302	-29,5	0,0047
-16	0,0309	-30,5	0,0032
-17	0,0310	-31,5	0,0020
-18	0,0305	-32,5	0,0011
-19	0,0295	-33,5	0,0005
-20	0,0280	-34,5	0,0001
-21	0,0260	-35,5	0,0002
-22	0,0236	-36,5	0,0003
-23	0,0210	-37,5	0,0003
-24	0,0182	-38,5	0,0003
-25	0,0153	-39,5	0,0003
-26	0,0126	-40,5	0,0002
-27	0,0100	-41,5	0,0002
-28	0,0076	-42,5	0,0001
-29	0,0056	-43,5	0,0000
-30	0,0039	-44,5	0,0000
-31	0,0026		
-32	0,0016		
-33	0,0008		
-34	0,0003		
-35	0,0001		
-36	0,0002		
-37	0,0003		
-38	0,0003		
-39	0,0003		
-40	0,0003		
-41	0,0002		
-42	0,0001		
-43	0,0001		
-44	0,0000		
-45	0,0000		

## Iterasi Terakhir

### - Tekanan tanah di belakang dinding

H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pa min (ton)	Pa (ton)	Pa actual (ton)	Spring
0	1,500	0,0000	1200	0,500	1,5000	1,5000	YES
1	2,076	0,0004	1200	1,076	1,6132	2,0764	YES
2	2,653	0,0005	1200	1,653	2,0743	2,6527	YES
3	3,229	0,0000	1200	2,229	3,2291	3,2291	YES
4	3,805	0,0014	1200	2,805	2,0703	2,8055	NO
5	4,382	0,0036	1200	3,382	0,0762	3,3818	NO
6	4,958	0,0063	1200	3,958	-2,5502	3,9582	NO
7	5,535	0,0093	1200	4,535	-5,6134	4,5346	NO
8	6,111	0,0125	1200	5,111	-8,9263	5,1109	NO
9	6,687	0,0158	1200	5,687	-12,3099	5,6873	NO
10	7,264	0,0191	1200	6,264	-15,5999	6,2637	NO
11	7,840	0,0221	1200	6,840	-18,6488	6,8400	NO
12	8,416	0,0248	1200	7,416	-21,3208	7,4164	NO
13	8,993	0,0271	1200	7,993	-23,5056	7,9928	NO
14	9,569	0,0289	1200	8,569	-25,1108	8,5692	NO
15	10,146	0,0302	1200	9,146	-26,0693	9,1455	NO
16	10,722	0,0309	1200	9,722	-26,3413	9,7219	NO
17	11,298	0,0310	1200	10,298	-25,9077	10,2983	NO
18	11,875	0,0305	1200	10,875	-24,7770	10,8746	NO
19	12,451	0,0295	1200	11,451	-22,9766	11,4510	NO
20	13,027	0,0280	1200	12,027	-20,5594	12,0274	NO
21	13,604	0,0260	1200	12,604	-17,5963	12,6037	NO
22	14,180	0,0236	1200	13,180	-14,1843	13,1801	NO
23	14,756	0,0210	1200	13,756	-10,4351	13,7565	NO
24	8,147	0,0182	2400	5,544	-35,4898	5,5442	NO
25	8,465	0,0153	2400	5,761	-28,3290	5,7608	NO
26	6,643	0,0126	3000	4,138	-31,0305	4,1385	NO
27	6,989	0,0100	3000	4,354	-22,9182	4,3536	NO
28	7,334	0,0076	3000	4,569	-15,5888	4,5688	NO
29	6,800	0,0056	4800	4,106	-20,1997	4,1063	NO
30	7,210	0,0039	4800	4,354	-11,7215	4,3535	NO
31	7,619	0,0026	4800	4,601	-4,8465	4,6007	NO
32	8,029	0,0016	4800	4,848	0,5357	4,8480	NO
33	8,438	0,0008	4800	5,095	4,5883	5,0952	NO
34	8,847	0,0003	4800	5,342	7,5177	8,8473	YES
35	9,257	0,0001	4800	5,590	8,9735	9,2567	YES
36	9,666	0,0002	4800	5,837	8,4709	9,6661	YES
37	10,075	0,0003	4800	6,084	8,4723	10,0755	YES
38	10,485	0,0003	4800	6,331	8,8193	10,4849	YES
39	10,894	0,0003	4800	6,578	9,3871	10,8943	YES
40	11,304	0,0003	4800	6,826	10,0796	11,3036	YES
41	11,713	0,0002	4800	7,073	10,8202	11,7130	YES
42	12,122	0,0001	4800	7,320	11,5560	12,1224	YES
43	12,532	0,0001	4800	7,567	12,2438	12,5318	YES
44	12,941	0,0000	4800	7,814	13,0276	12,9412	YES
45	13,351	0,0000	4800	8,062	13,3506	13,3506	YES

- Tekanan tanah di depan dinding

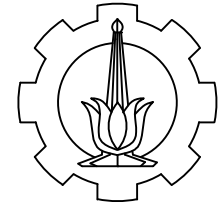
H (m)	P0 (ton)	$\delta$ (m)	ks (t/m2)	Pp max (ton)	Pp (ton)	Pp actual (ton)	Spring
14,5	1,788	0,02961	1200	1,288	37,3190	1,2882	NO
15,5	2,365	0,03061	1200	1,865	39,0906	1,8646	NO
16,5	2,941	0,03102	1200	2,441	40,1625	2,4409	NO
17,5	3,517	0,03085	1200	3,017	40,5313	3,0173	NO
18,5	4,094	0,03010	1200	3,594	40,2125	3,5937	NO
19,5	4,670	0,02882	1200	4,170	39,2492	4,1700	NO
20,5	5,246	0,02705	1200	4,746	37,7016	4,7464	NO
21,5	5,823	0,02486	1200	5,323	35,6536	5,3228	NO
22,5	6,399	0,02234	1200	5,899	33,2095	5,8991	NO
23,5	3,707	0,01960	1800	15,199	38,9852	15,1989	NO
24,5	4,025	0,01675	2400	16,861	44,2325	16,8608	NO
25,5	3,286	0,01393	2700	27,757	40,8861	27,7569	NO
26,5	3,631	0,01123	3000	31,316	37,3302	31,3156	NO
27,5	3,977	0,00877	3000	34,874	30,2776	3,9766	YES
28,5	3,820	0,00659	3900	46,259	29,5213	3,8203	YES
29,5	4,230	0,00474	4800	51,991	26,9817	4,2297	YES
30,5	4,639	0,00323	4800	57,722	20,1383	4,6391	YES
31,5	5,048	0,00204	4800	63,453	14,8453	5,0485	YES
32,5	5,458	0,00115	4800	69,184	10,9683	5,4579	YES
33,5	5,867	0,00051	4800	74,916	8,3249	5,8673	YES
34,5	6,277	0,00009	4800	80,647	6,6943	6,2767	YES
35,5	6,686	0,00017	4800	86,378	7,5021	6,6861	YES
36,5	7,095	0,00030	4800	92,109	8,5547	7,0955	YES
37,5	7,505	0,00035	4800	97,841	9,1801	7,5049	YES
38,5	7,914	0,00034	4800	103,572	9,5270	7,9142	YES
39,5	8,324	0,00029	4800	109,303	9,7060	8,3236	YES
40,5	8,733	0,00022	4800	115,034	9,7986	8,7330	YES
41,5	9,142	0,00015	4800	120,766	9,8768	9,1424	YES
42,5	9,552	0,00009	4800	126,497	9,9790	9,5518	YES
43,5	9,961	-0,00004	4800	132,228	9,7788	9,9612	YES
44,5	10,371	-0,00001	4800	137,959	10,3375	10,3706	YES



- Deformasi iterasi terakhir

H (m)	$\delta$ (m)	H (m)	$\delta$ (m)
0	0,0000	-14,5	0,0296
-1	0,0004	-15,5	0,0306
-2	0,0005	-16,5	0,0310
-3	0,0000	-17,5	0,0308
-4	0,0014	-18,5	0,0301
-5	0,0036	-19,5	0,0288
-6	0,0063	-20,5	0,0270
-7	0,0093	-21,5	0,0249
-8	0,0125	-22,5	0,0223
-9	0,0158	-23,5	0,0196
-10	0,0191	-24,5	0,0168
-11	0,0221	-25,5	0,0139
-12	0,0248	-26,5	0,0112
-13	0,0271	-27,5	0,0088
-14	0,0289	-28,5	0,0066
-15	0,0302	-29,5	0,0047
-16	0,0309	-30,5	0,0032
-17	0,0310	-31,5	0,0020
-18	0,0305	-32,5	0,0011
-19	0,0295	-33,5	0,0005
-20	0,0280	-34,5	0,0001
-21	0,0260	-35,5	0,0002
-22	0,0236	-36,5	0,0003
-23	0,0210	-37,5	0,0003
-24	0,0182	-38,5	0,0003
-25	0,0153	-39,5	0,0003
-26	0,0126	-40,5	0,0002
-27	0,0100	-41,5	0,0002
-28	0,0076	-42,5	0,0001
-29	0,0056	-43,5	0,0000
-30	0,0039	-44,5	0,0000
-31	0,0026		
-32	0,0016		
-33	0,0008		
-34	0,0003		
-35	0,0001		
-36	0,0002		
-37	0,0003		
-38	0,0003		
-39	0,0003		
-40	0,0003		
-41	0,0002		
-42	0,0001		
-43	0,0001		
-44	0,0000		
-45	0,0000		

***Lampiran 4 : Gambar Perencanaan***



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Penampang Melintang Profil Dasar  
Laut Pada Rute *Immersed Tunnel*

**SKALA GAMBAR**

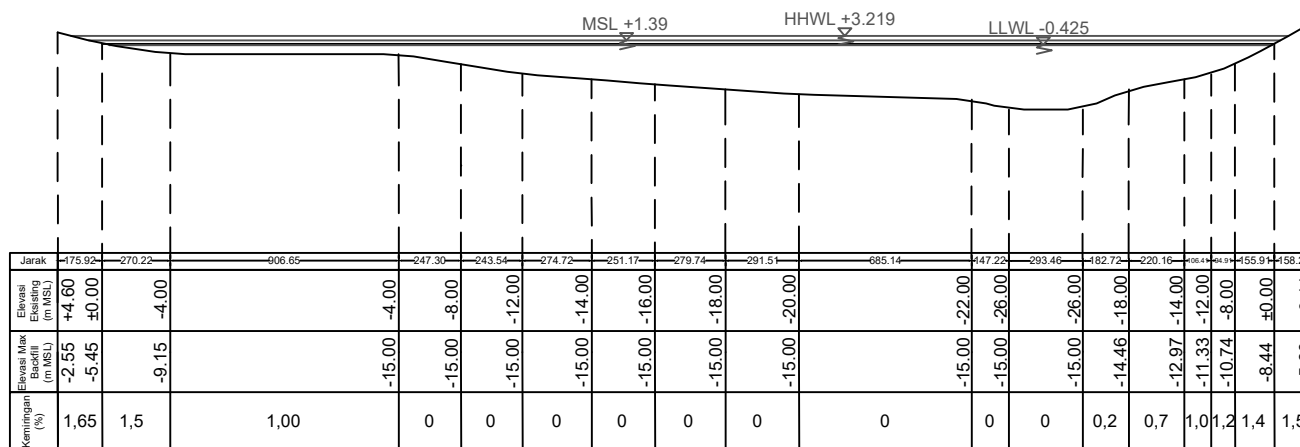
1 : 30000

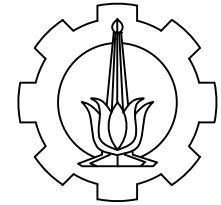
**NO. URUT**

01

**JUMLAH  
GAMBAR**

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Elevasi Segmen *Immersed Tunnel*

**SKALA GAMBAR**

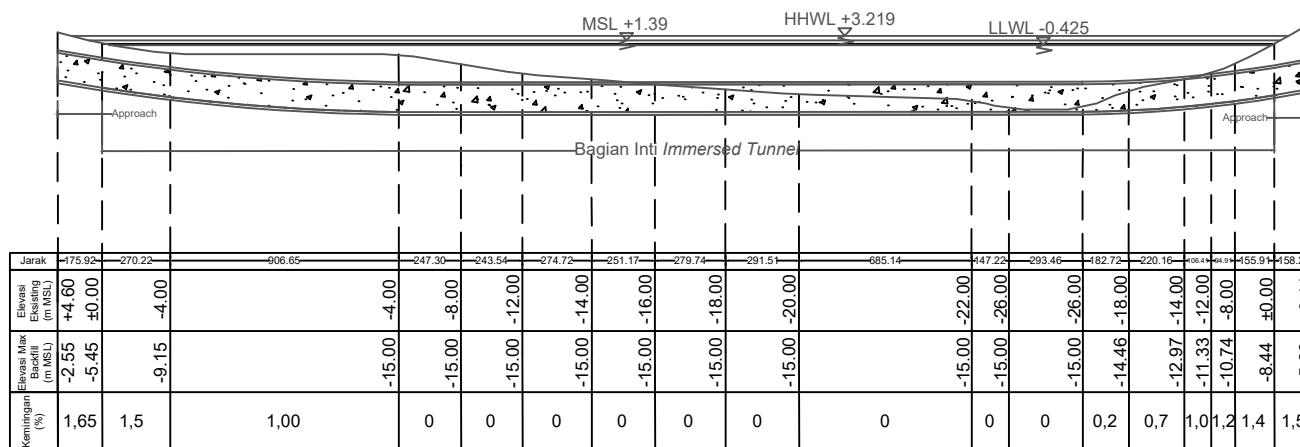
1 : 30000

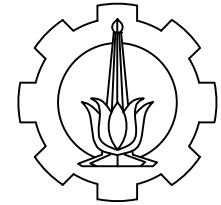
**NO. URUT**

02

**JUMLAH  
GAMBAR**

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Pembagian Segmen *Immersed Tunnel*

**SKALA GAMBAR**

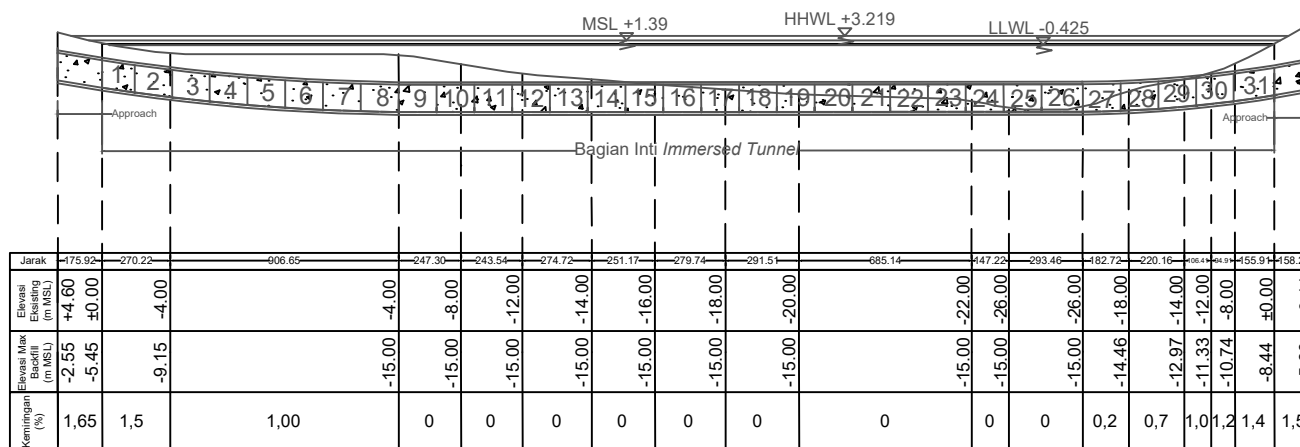
1 : 30000

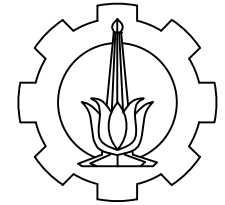
**NO. URUT**

03

**JUMLAH  
GAMBAR**

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
TUNNEL DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D.,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Potongan Melintang Segmen  
*Immersed Tunnel*

**SKALA GAMBAR**

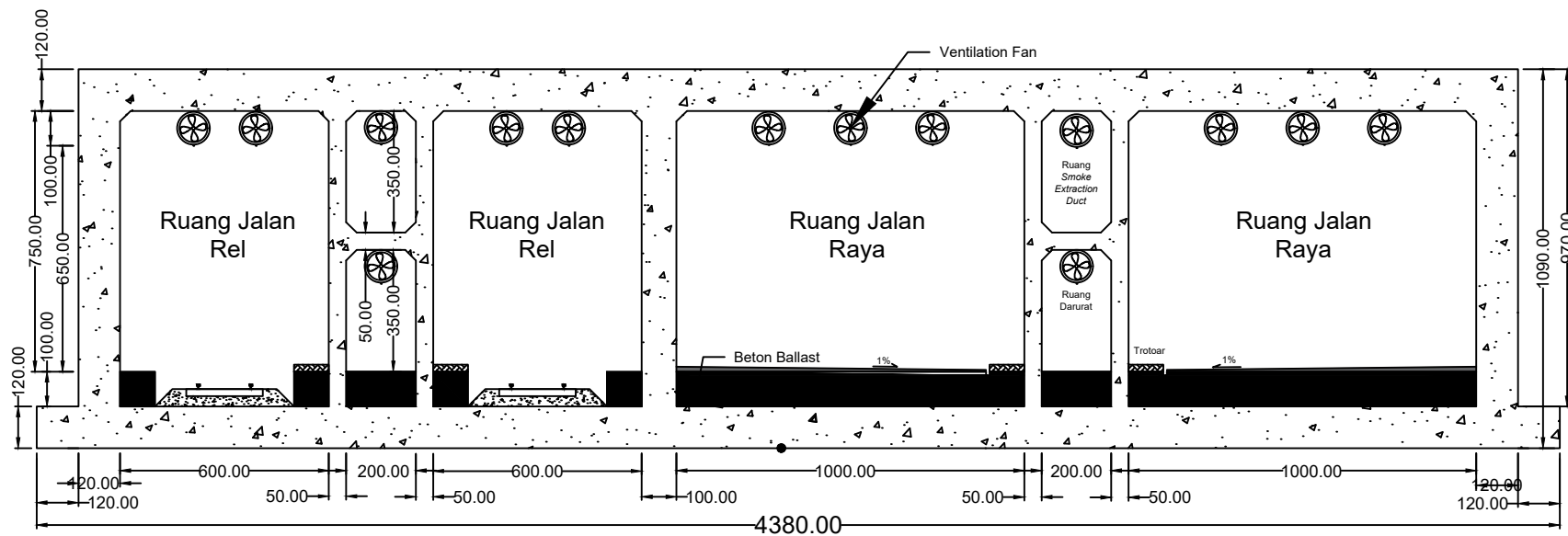
1 : 200

NO. URUT

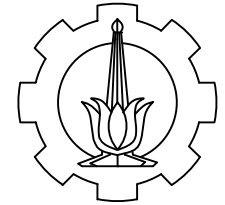
04

JUMLAH  
GAMBAR

14



(satuan dalam cm)



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
TUNNEL DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Letak Titik Berat Penampang  
Melintang Segmen *Immersed Tunnel*

**SKALA GAMBAR**

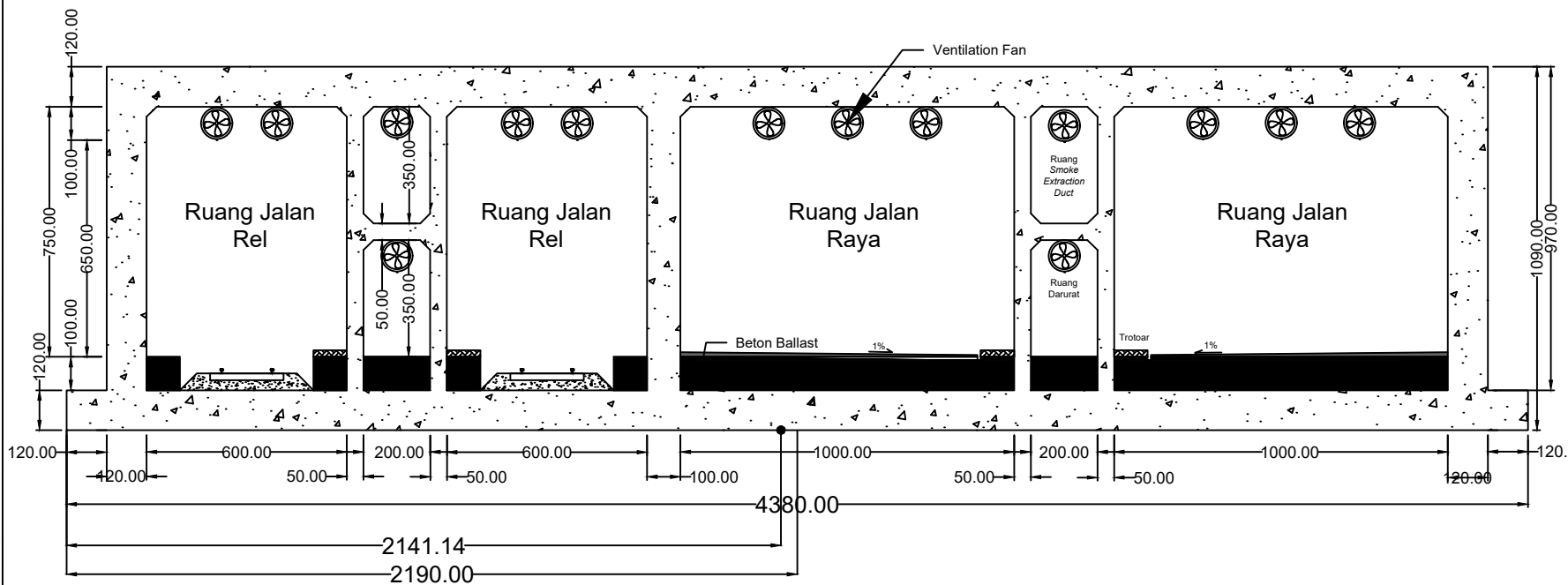
1 : 200

**NO. URUT**

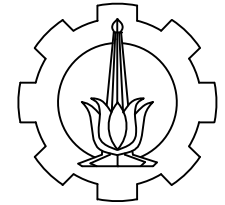
05

**JUMLAH  
GAMBAR**

14



(satuan dalam cm)



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Potongan Memanjang Susunan  
Lapisan *Backfill*

**SKALA GAMBAR**

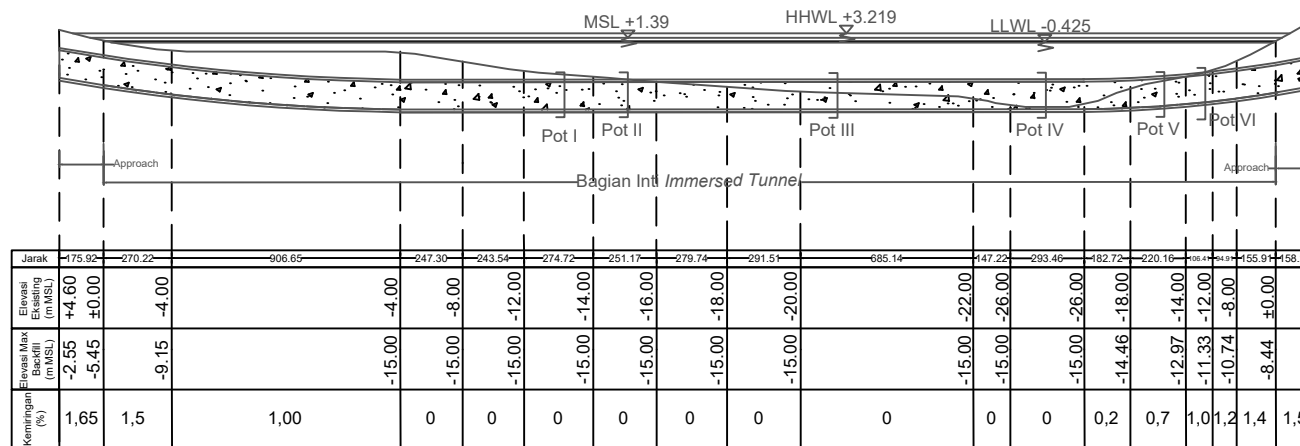
1 : 30000

**NO. URUT**

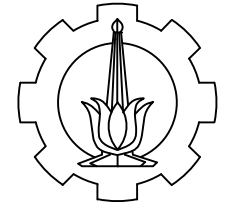
06

**JUMLAH  
GAMBAR**

14







DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D.

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Potongan Melintang I Susunan  
Lapisan *Backfill*

**SKALA GAMBAR**

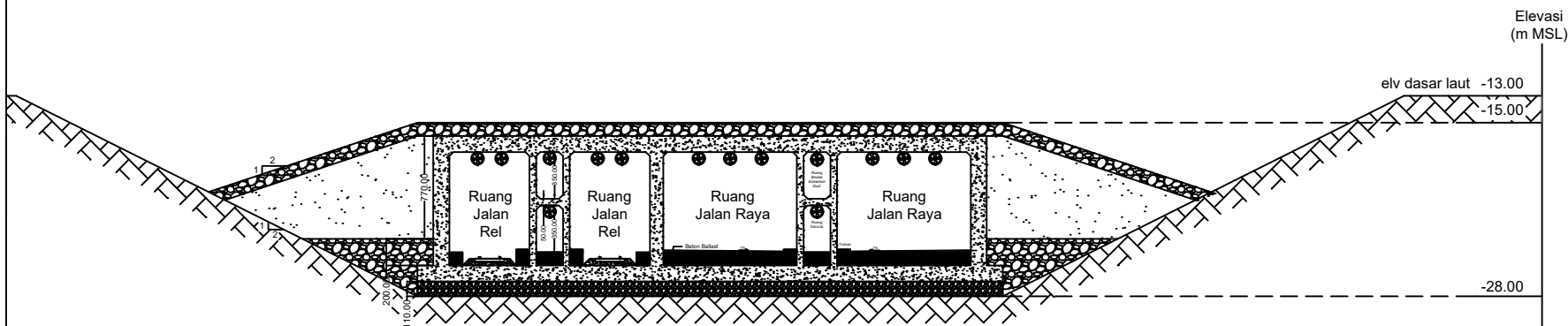
1 : 500

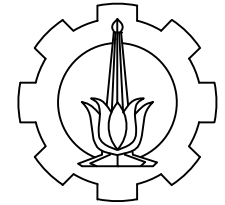
**NO. URUT**

07

**JUMLAH  
GAMBAR**

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Potongan Melintang II Susunan  
Lapisan *Backfill*

**SKALA GAMBAR**

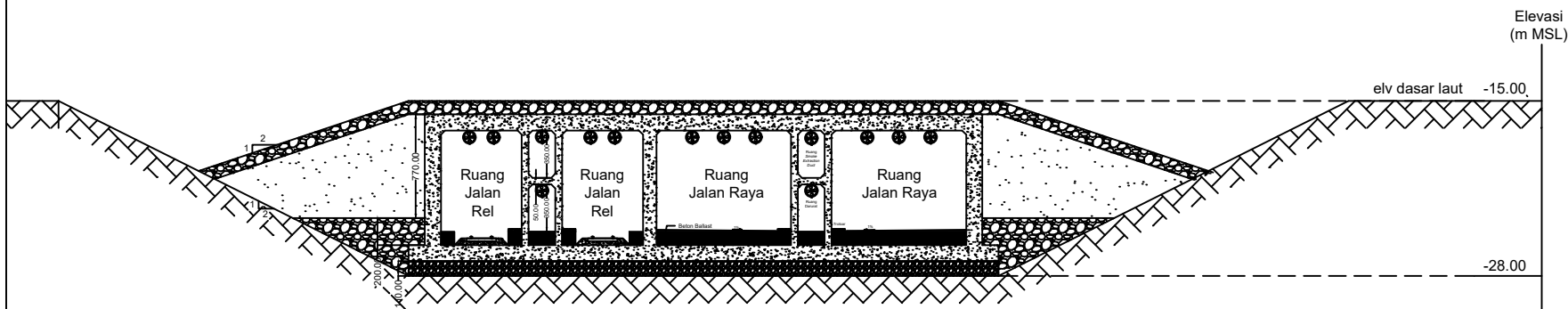
1 : 500

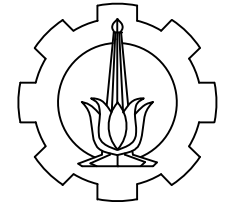
NO. URUT

JUMLAH  
GAMBAR

08

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumhian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D.

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Potongan Melintang III Susunan  
Lapisan *Backfill*

**SKALA GAMBAR**

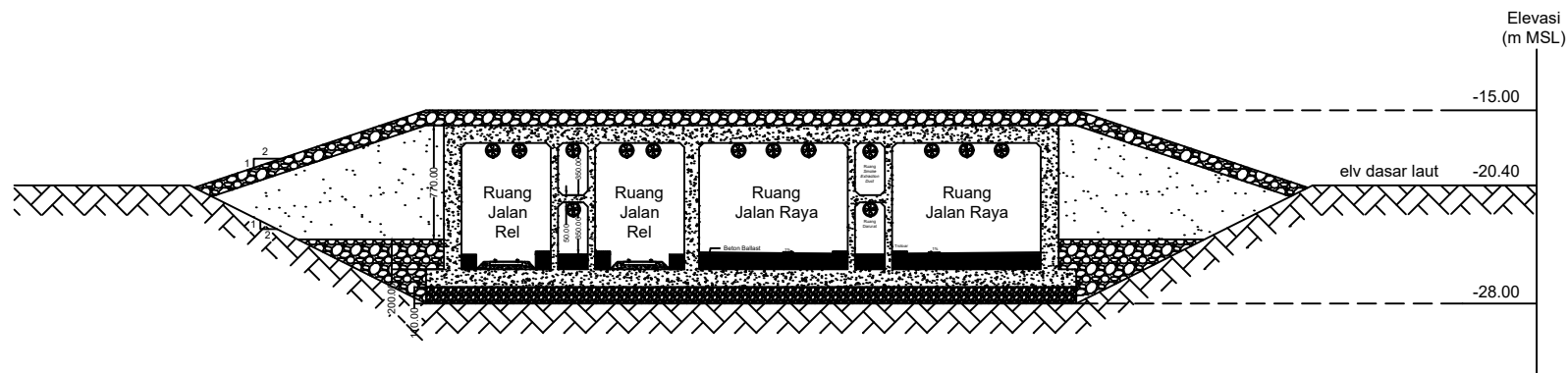
1 : 500

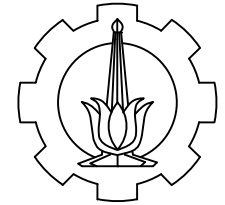
NO. URUT

JUMLAH  
GAMBAR

09

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Potongan Melintang IV Susunan  
Lapisan *Backfill*

**SKALA GAMBAR**

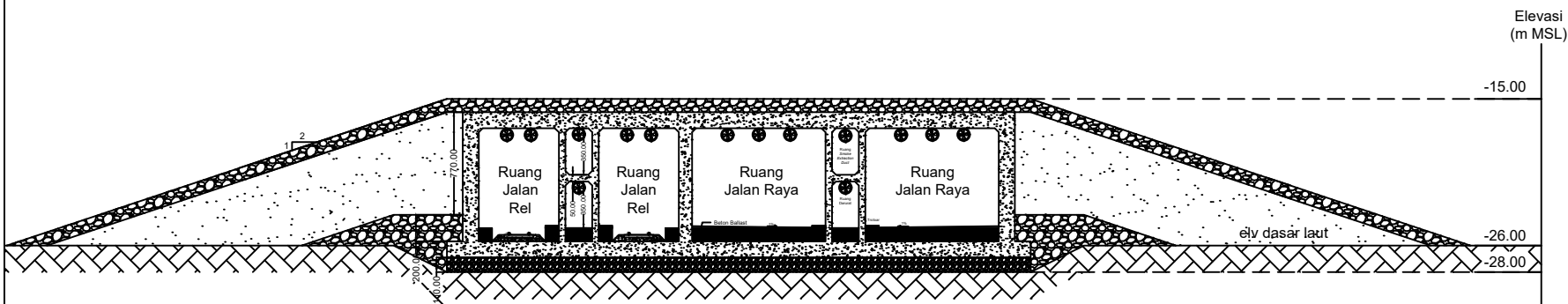
1 : 500

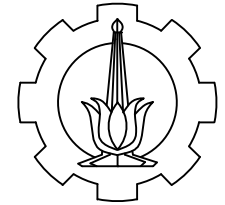
**NO. URUT**

10

**JUMLAH  
GAMBAR**

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Potongan Melintang V Susunan  
Lapisan *Backfill*

**SKALA GAMBAR**

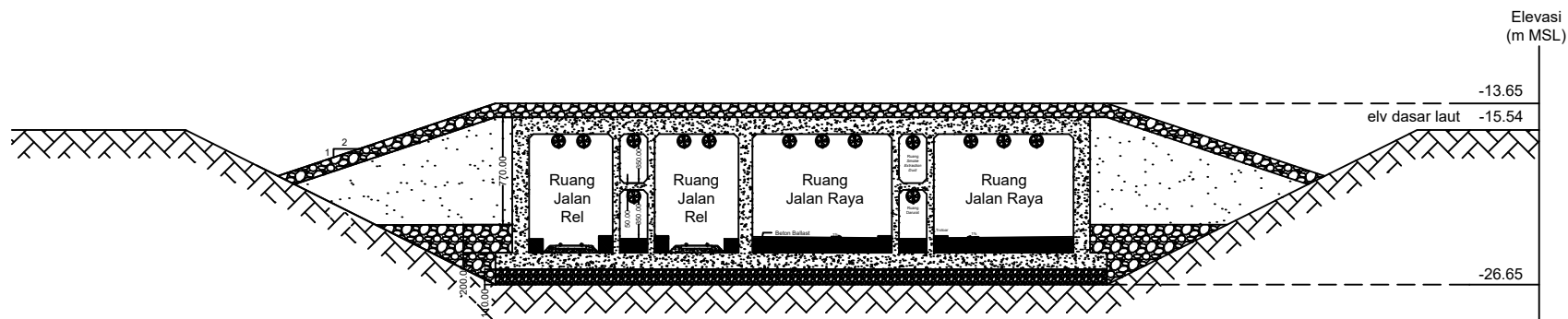
1 : 500

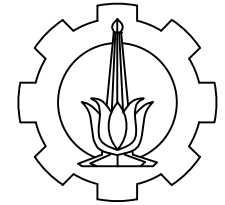
**NO. URUT**

11

**JUMLAH  
GAMBAR**

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
TUNNEL DI TELUK BALIKPAPAN

### NAMA / NRP

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

### DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

### DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

### JUDUL GAMBAR

Potongan Melintang VI Susunan  
Lapisan *Backfill*

### SKALA GAMBAR

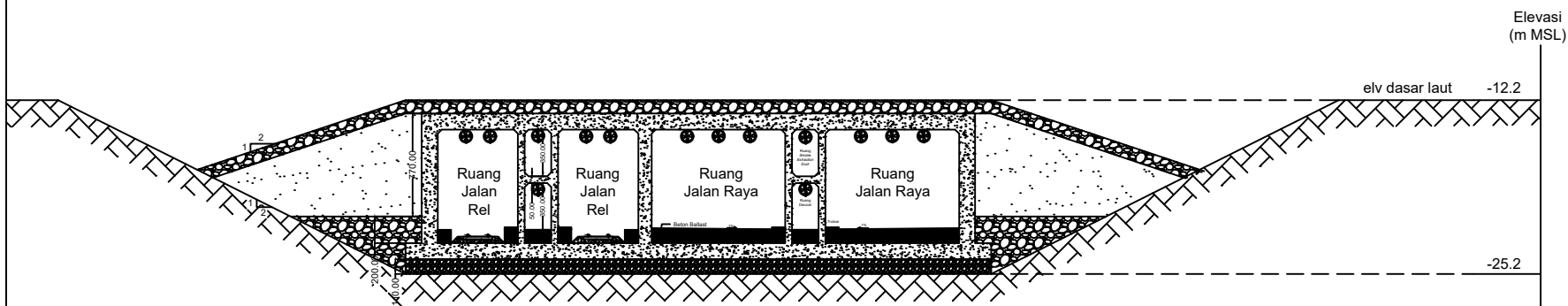
1 : 500

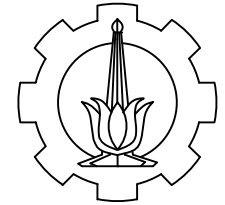
NO. URUT

JUMLAH  
GAMBAR

12

14





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Penulangan Struktur  
*Approach* Model 1

**SKALA GAMBAR**

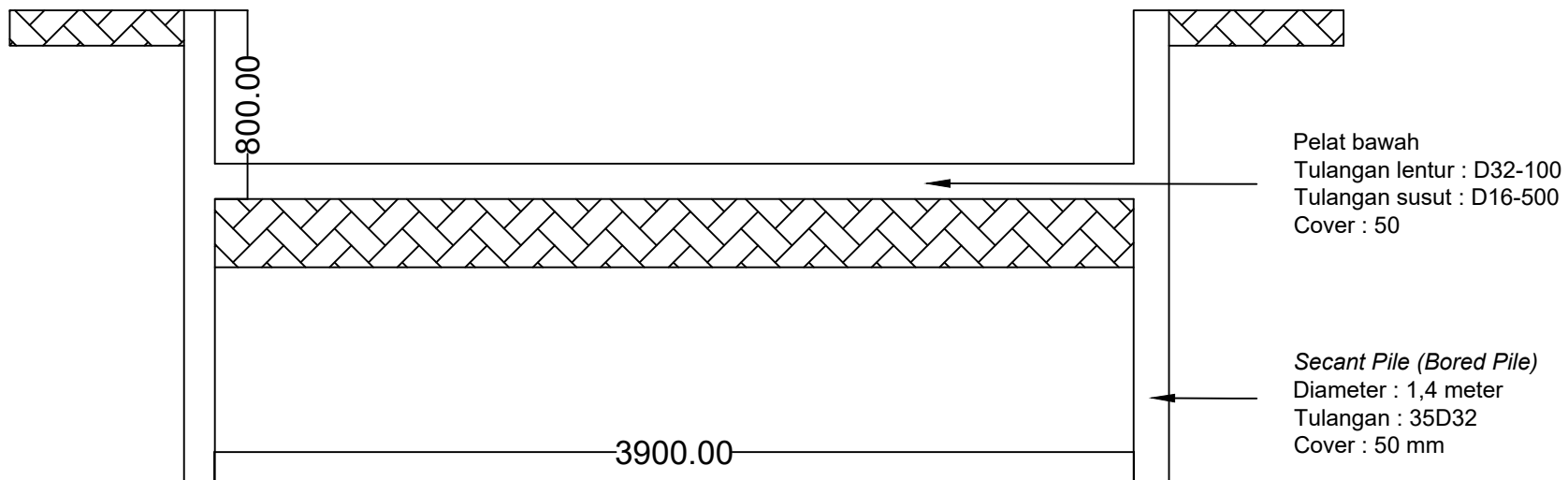
1 : 300

**NO. URUT**

13

**JUMLAH  
GAMBAR**

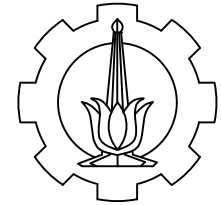
14



Pelat bawah  
Tulangan lentur : D32-100  
Tulangan susut : D16-500  
Cover : 50

*Secant Pile (Bored Pile)*  
Diameter : 1,4 meter  
Tulangan : 35D32  
Cover : 50 mm

(satuan dalam cm)



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan  
Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN TEROWONGAN  
BAWAH LAUT SISTEM *IMMERSED*  
*TUNNEL* DI TELUK BALIKPAPAN

**NAMA / NRP**

FITRIYAH ULFA  
0311154000068

**DOSEN PEMBIMBING I**

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc.,  
Ph.D.,

**DOSEN PEMBIMBING II**

Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.

**JUDUL GAMBAR**

Penulangan Struktur  
*Approach* Model 2

**SKALA GAMBAR**

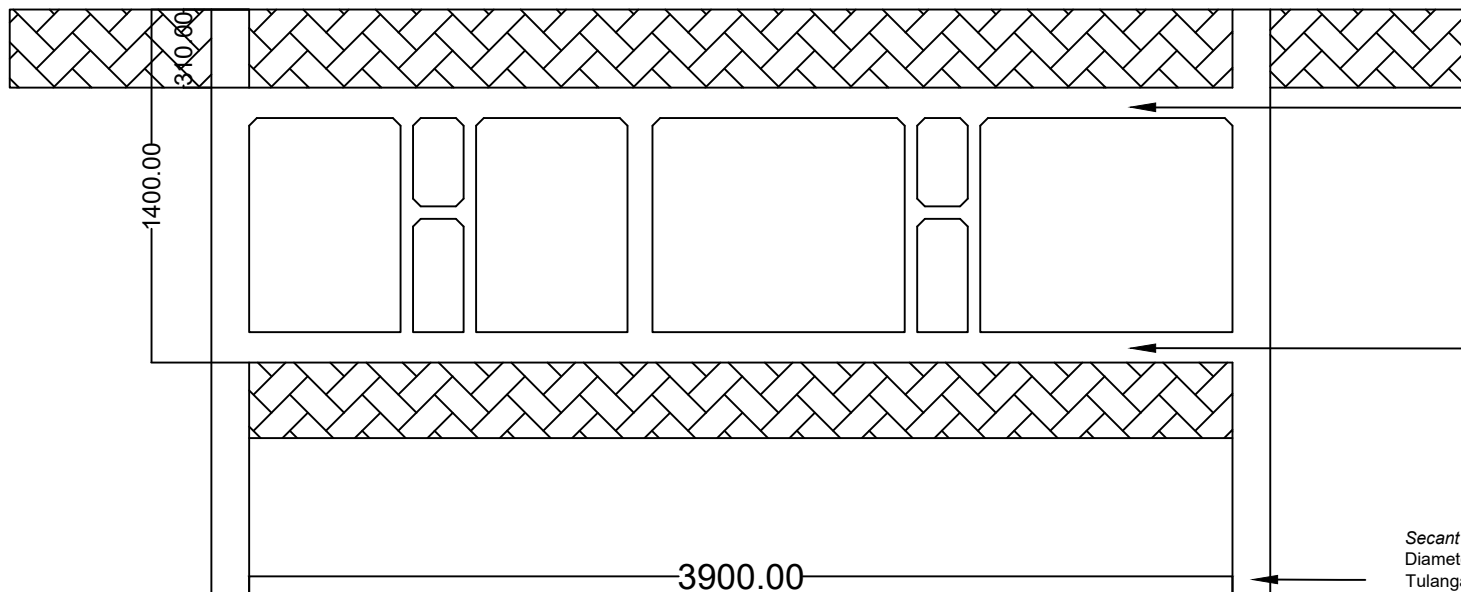
**1 : 300**

**NO. URUT**

**14**

**JUMLAH  
GAMBAR**

**14**



Pelat atas  
Tul arah tumpuan : D36 - 60  
Tul arah lapangan : D32 - 110  
Tulangan susut : D16 - 500  
Cover : 50

Pelat bawah  
Tulangan lentur : D36-60  
Tulangan susut : D16-500  
Cover : 50

*Secant Pile (Bored Pile)*  
Diameter : 1,5 meter  
Tulangan : 35D36  
Cover : 50 mm

(satuan dalam cm)





PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04  
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Fitriyah Ulfa
NRP	: 03111540000068
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Terowongan Bawah Laut Sistem Immersed Tunnel di Teluk Balikpapan
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	: 14609 / IT2.VI.4.1/PP.OS.02.00/2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	8-4-2019	Perencanaan rute alternatif, elevasi, dan alinemen terowongan	-elevasi diubah (tidal perlu tertalu dalam, krn draft kapal terbesar max. hanya ... m)	slm
2.	22-4-2019	Revisi elevasi max puncak backfill Data tanah Perencanaan segemen & pembagian segmen	-skala pendamping laut diubah: vertikal 10 m = 10 cm horizontal 100 m = 5 cm -panjang segmen diubah	slm
3.	13-5-2019	► Kontrol buoyancy ► Analisa data tanah ► Kontrol daya dukung ► Kontrol settlement	Revisi : - kontrol buoyancy - settlement tidak perlu dihitung - menghitung titik berat segmen - momen dimasukkan dalam perhitungan daya dukung	slm
4.	16-5-2019	Kontrol buoyancy Titik berat segmen Daya dukung	-Perhitungan daya dukung belum ditambah momen -Momen inersia salah	slm
5.	24-5-2019	-Analisa Data Tanah -Perhitungan dinding penahan		slm



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)  
Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Trihanyndio Rendy S., S.T., M.T.
NAMA MAHASISWA	: Fitriyah Ulfa
NRP	: 03111540000068
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan Terowongan Bawah Laut Sistem Immersed Tunnel di Teluk Balikpapan
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	: 14609 / LT.2. VI. 4.1 / PP. 05.02.00 / 2019

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	16-5-19	Analisa Data Tanah	Korelasi data tanah	
2.	21-5-19	Korelasi data tanah Daya dukung tanah	► Revisi : antara hasil korelasi dan perhitungan data lab, digunakan yang paling untkir	

## BIODATA PENULIS



Fitriyah Ulfa

Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 11 Februari 1997, merupakan anak kedua dari ketiga bersaudara dari pasangan Encik Imron dan Lasiati Solikha. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisyiyah Busthanul Athfal I Pasuruan, SDN Kebonsari Pasuruan, SMP Negeri 2 Pasuruan, dan SMA Negeri 1 Pasuruan. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan program sarjana (S1) di Departemen Teknik Sipil FTSLK – Institut

Teknik Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN. Penulis pernah aktif dalam berbagai kegiatan baik tingkat jurusan, fakultas maupun universitas. Selain itu, penulis juga aktif dalam berbagai organisasi dalam kampus ITS yaitu HMS-FTSP ITS.

Jika Pembaca ingin berdiskusi dengan penulis harap menghubungi melalui email : [fitriyahulfa110268@gmail.com](mailto:fitriyahulfa110268@gmail.com)