

TUGAS AKHIR

PENGARUH JARAK, WAKTU, DAN TINGGI TIMBUNAN DI DEKAT STRUKTUR *SLAB ON PILE*

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang**



Disusun Oleh :

Aurel Vashty Okta Giyanda

30202100268

Widya Nuraini

30202100278

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH JARAK, WAKTU, DAN TINGGI TIMBUNAN DI DEKAT
STRUKTUR *SLAB ON PILE*



Aurel Vashty Okta Giyanda

NIM : 30202100268



Widya Nuraini

NIM : 30202100278

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Ir. Rinda Karlinasari I., M.T.**

NIDN : 0623026901

2. **Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.**

NIDN : 0631128901

3. **Selvia Agustina, S.T., M.Eng.**

NIDN : 0609099001

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhammad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng

NIDN : 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No. : 14 / A.2 / SA – T / V / 2023

Pada hari ini tanggal Juli 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping :

1. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari I., M.T.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir.

Aurel Vashty Okta Giyanda
NIM : 30202100268

Widya Nuraini
NIM : 30202100278

Judul : PENGARUH JARAK, WAKTU, DAN TINGGI TIMBUNAN DI DEKAT STRUKTUR *SLAB ON PILE*

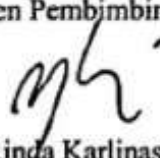
Dengan tahapan sebagai berikut :

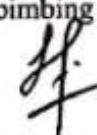
No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan dosen pembimbing	24 Maret 2023	
2.	Pengumpulan data	27 Maret 2023	
3.	Seminar proposal	17 Mei 2023	ACC
4.	Analisis data	22 Mei 2023	
5.	Penyusunan laporan	12 Juli 2023	
6.	Selesai laporan	21 Juli 2023	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

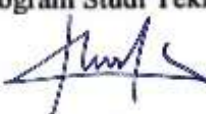
Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping


Dr. Ir. Rinda Karlinasari I., M.T.


Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhammad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Aurel Vashty Okta Giyanda

NIM : 30202100268

NAMA : Widya Nuraini

NIM : 30202100278

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Jarak, Waktu, dan Tinggi Timbunan di Dekat Struktur *Slab on Pile*” benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, _____/_____/_____

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,



Aurel Vashty Okta Giyanda

NIM : 30202100268



Widya Nuraini

NIM : 30202100278

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Aurel Vashty Okta Giyanda
NIM : 30202100268
NAMA : Widya Nuraini
NIM : 30202100278
JUDUL TUGAS AKHIR : Pengaruh Jarak, Waktu, dan Tinggi Timbunan di Dekat Struktur *Slab on Pile*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat,

Semarang, ____ / ____ / ____

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,



METERAI TEMPEL
370AKX504890838

Aurel Vashty Okta Giyanda
NIM : 30202100268



METERAI TEMPEL
71AKX504890843

Widya Nuraini
NIM : 30202100278

MOTTO

Artinya : “Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.”

(Q.S. Ali’Imran : 110)

Artinya : “Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah ; 286)

Artinya : “Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(Q.S Al-Mujadalah : 11)

Artinya : “Sesungguhnya ulama adalah pewaris para Nabi. Sungguh para Nabi tidak mewariskan dinar dan dirham, mereka hanya mewariskan ilmu, maka barang siapa mengambil warisan tersebut ia telah mengambil bagian yang banyak”

(HR Ahmad, Tirmidzi, dan Abu Daud)

Artinya : “Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain.”

(Q.S Al-Insyirah : 7-8)

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Ajak Giyanto dan Ibu saya Sri Endah Rejeki, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Saudara kandung saya Syafira Meidya Nurrahma Giyanda, serta keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari Indrayana, MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terima kasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Partner laporan tugas akhir saya Widya Nuraini beserta keluarga, terima kasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Mbak Fella yang telah membimbing kami selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Semua teman-teman kelas transfer Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2021, terima kasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Aurel Vashty Okta Giyanda

NIM : 30202100268

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Rohidi dan Ibu saya Diah Teguh Budi Astuti, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Saudara kandung saya Alifi'ah Retno Wulandari dan Siti Choriliyah Dian Fitriani, serta keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari Indrayana, M.T. dan Ibu Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terima kasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Partner laporan tugas akhir saya Aurel Vashty Okta Giyanda beserta keluarga, terima kasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Mbak Fella yang telah meluangkan waktu dan membimbing kami selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Vanio Argus Putra Rajendra, S.T., yang sudah memberikan waktu dan tenaga untuk membantu saya menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Semua teman-teman kelas transfer Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2021, terima kasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Widya Nuraini

NIM : 30202100278

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselasaikan dengan baik tentang “Pengaruh Jarak, Waktu, dan Tinggi Timbunan di Dekat Struktur *Slab on Pile*”. Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari Indrayana, MT., selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Kedua orang tua kami yang telah memberikan do'a dan motivasi.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya, semoga tugas akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembacanya.

Semarang, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Batasan Penulisan	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1. Pengertian Tanah	5
2.2. Tanah Lunak	6
2.3. Parameter Tanah	10
2.3.1. Berat Volume Tanah	10
2.3.2. Permeabilitas	11
2.3.3. Modulus Elastisitas (E_s)	13
2.3.4. <i>Poisson Ratio</i>	14
2.3.5. Kohesi	14
2.3.6. Sudut Geser Dalam	16
2.3.7. Angka Pori (e)	16
2.3.8. Sudut Dilatasi (ψ)	17
2.4. Beban Lateral	18

2.4.1.	Beban Gempa.....	18
2.4.2.	Beban Angin	19
2.4.3.	Tekanan Tanah Lateral.....	19
2.5.	<i>Slab On Pile</i>	20
2.5.1.	Pondasi Tiang Dengan Beban Lateral.....	20
2.6.	Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb	21
2.7.	Stabilitas dan Kinerja dari Lereng dan Timbunan.....	23
2.8.	Prinsip Dasar Plaxis	23
BAB III METODOLOGI.....		25
3.1.	Tinjauan Umum.....	25
3.2.	Studi Literatur	26
3.3.	Teknik Pengumpulan Data	27
3.3.1.	Pengumpulan Data	27
3.3.2.	Sumber Data.....	27
3.4.	Tahapan Pemodelan Menggunakan Program Plaxis	28
3.4.1.	Menentukan Input Data Plaxis.....	28
3.4.2.	Penginputan Data di Pemodelan	28
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1.	Data Analisis	32
4.2.	Proses Analisis	34
4.2.1.	Pemodelan Tanpa Timbunan	34
4.2.2.	Pemodelan dengan Timbunan.....	47
4.3.	Hasil Analisis	51
4.3.1.	Pemodelan Tanpa Timbunan	53
4.3.2.	Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 10 m ; Tinggi Timbunan (y) = 3 m	60
4.3.3.	Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 10 m ; Tinggi Timbunan (y) = 7 m	67
4.3.4.	Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 15 m ; Tinggi Timbunan (y) = 3 m	74
4.3.5.	Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 15 meter ; Tinggi Timbunan (y) = 7 m	81
4.3.6.	Titik Netral.....	88
4.4.	Pembahasan.....	99
4.4.1.	Total Displacement (Utot)	99

4.4.2.	<i>Excess Pore Pressure (P_{excess})</i>	100
4.4.3.	<i>Bending Moment (M)</i>	101
4.4.4.	<i>Shear Forces (Q)</i>	101
4.4.5.	<i>Axial Forces (N)</i>	102
4.4.6.	<i>Horizontal Displacement</i>	103
BAB V PENUTUP		104
5.1.	Kesimpulan.....	104
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN.....		108



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Tipikal c dan ϕ	7
Tabel 2. 2 Hubungan Antara γ_d , Nilai N-SPT, Tekanan Konus, dan Kepadatan ..	10
Tabel 2. 3 Korelasi Empiris antara Nilai N-SPT dengan Unconfined Compressive Strength (Q_u) dan Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Kohesif.....	11
Tabel 2. 4 Korelasi Berat Jenis (γ) untuk Tanah Kohesif dan Non Kohesif.....	11
Tabel 2. 5 Nilai Permeabilitas Tanah (k)	12
Tabel 2. 6 Nilai Modulus Elastisitas Tanah (E_s)	13
Tabel 2. 7 Nilai Modulus Elastisitas Tanah (E) untuk Kondisi Drained	13
Tabel 2. 8 Angka Poisson Berdasarkan Jenis Tanah	14
Tabel 2. 9 Variasi Korelasi N-SPT dengan c_u Tanah Lempung	15
Tabel 2. 10 Nilai N-SPT dengan Kohesi.....	15
Tabel 2. 11 Nilai Sudut Geser Dalam Berdasarkan Jenis Tanah	16
Tabel 2. 12 Hubungan antara Sudut Geser Dalam, Tingkat Plastisitas, dan Jenis Tanah.....	16
Tabel 2. 13 Nilai Angka Pori untuk Beberapa Tipe Tanah.....	17
Tabel 4. 1 Parameter Lapisan Tanah.....	32
Tabel 4. 2 Parameter Tanah Timbunan.....	33
Tabel 4. 3 Parameter Slab on Pile.....	33
Tabel 4. 4 Tahapan Calculation pada Plaxis.....	40
Tabel 4. 5 Hasil Output Pemodelan Tanpa Timbunan.....	53
Tabel 4. 6 Hasil Output Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	60
Tabel 4. 7 Hasil Output Pemodelan dengan Timbunan Tinggi (x) = 10 m ; Jarak (y) = 7 m.....	67
Tabel 4. 8 Hasil Output Pemodelan dengan Tanah Timbunan Tinggi (x) = 15 m ; Jarak (y) = 3 m.....	74
Tabel 4. 9 Perbandingan Nilai Total Displacement (U_{tot}) cm	99
Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai Excess Pore Pressure (P_{excess}) kN/m^2	100
Tabel 4. 11 Perbandingan Nilai Bending Moment (M) kNm	101
Tabel 4. 12 Perbandingan Nilai Shear Forces (Q) kN	102
Tabel 4. 13 Perbandingan Nilai Axial Forces (N) kN	102
Tabel 4. 14 Perbandingan Nilai Horizontal Displacement (U_x) cm.....	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Ilustrasi Masalah	2
Gambar 2. 1 Hubungan Nilai Kohesi dan N-SPT pada Tanah Kohesif (Terzaghi, 1943)	15
Gambar 2. 2 Struktur Slab on Pile pada Jalan Raya	20
Gambar 2. 3 Kondisi Pembebanan pada Pondasi Tiang	21
Gambar 2. 4 Lingkaran Mohr Hasil Pengujian Triaxial	21
Gambar 2. 5 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb dan Titik Keruntuhan (Mohr-Coulomb, 1776)	22
Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian	26
Gambar 3. 2 Bagan Alur Kalkulasi pada Plaxis	29
Gambar 4. 1 Ilustrasi Pemodelan	34
Gambar 4. 2 Pemberian Nama Project	34
Gambar 4. 3 Setting Tipe Pemodelan	35
Gambar 4. 4 Mengatur Lapisan dan Parameter Tanah	35
Gambar 4. 5 Penginputan Data Tanah	36
Gambar 4. 6 Penginputan Data Tanah	36
Gambar 4. 7 Menggambar Pemodelan Struktur Pile dan Slab	36
Gambar 4. 8 Mengatur Parameter Slab	37
Gambar 4. 9 Mengatur Parameter Pile	37
Gambar 4. 10 Penginputan Data Slab	37
Gambar 4. 11 Penginputan Data Pile	38
Gambar 4. 12 Pembuatan Beban Lalu Lintas	38
Gambar 4. 13 Penginputan Beban Lalu Lintas	38
Gambar 4. 14 Menyusun Elemen Mesh	39
Gambar 4. 15 Penginputan Muka Air Tanah	39
Gambar 4. 16 Input Initial Phase	41
Gambar 4. 17 Input Phase Instal Pile	41
Gambar 4. 18 Define Phase Instal Pile	42
Gambar 4. 19 Input Phase Instal Slab	42
Gambar 4. 20 Define Phase Instal Slab	43
Gambar 4. 21 Input Beban Lalu Lintas	43
Gambar 4. 22 Define Phase Beban Lalu Lintas	44
Gambar 4. 23 Input Konsolidasi 1 Tahun	44
Gambar 4. 24 Input Konsolidasi 3 Tahun	45
Gambar 4. 25 Input Konsolidasi 10 Tahun	45
Gambar 4. 26 Konsolidasi 15 Tahun	46
Gambar 4. 27 Input Phase Safety Factor	46
Gambar 4. 28 Input Titik Tinjau	47
Gambar 4. 29 Penginputan Material Tanah Timbunan	48

Gambar 4. 30 Penginputan Material Tanah Timbunan.....	48
Gambar 4. 31 Menggambar Pemodelan Tanah Timbunan	48
Gambar 4. 32 Input Material pada Gambar Pemodelan Tanah Timbunan	49
Gambar 4. 33 Menyusun Elemen Mesh.....	49
Gambar 4. 34 Hasil Mesh	49
Gambar 4. 35 Penginputan Muka Air Tanah	50
Gambar 4. 36 Input Calculation Tanah Timbunan	50
Gambar 4. 37 Define Phase Tanah Timbunan	51
Gambar 4. 38 Input Titik Tinjau	51
Gambar 4. 39 Ilustrasi Pemodelan Tanpa Timbunan.....	53
Gambar 4. 40 Total Displacement $ u $ Tanpa Timbunan	54
Gambar 4. 41 Excess Pore Pressure (p_{excess}) Tanpa Timbunan.....	55
Gambar 4. 42 Bending Moment (M) Tanpa Timbunan	56
Gambar 4. 43 Shear Forces (Q) Tanpa Timbunan	57
Gambar 4. 44 Axial Forces (N) Tanpa Timbunan	58
Gambar 4. 45 Horizontal Displacement (U_x) Tanpa Timbunan	59
Gambar 4. 46 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m	60
Gambar 4. 47 Total Displacement $ u $ dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	61
Gambar 4. 48 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	62
Gambar 4. 49 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	63
Gambar 4. 50 Shear Forces (Q) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	64
Gambar 4. 51 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	65
Gambar 4. 52 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	66
Gambar 4. 53 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m	67
Gambar 4. 54 Total Displacement $ u $ dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	68
Gambar 4. 55 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	69
Gambar 4. 56 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	70
Gambar 4. 57 Shear Forces (Q) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	71
Gambar 4. 58 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	72

Gambar 4. 59 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	73
Gambar 4. 60 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m	74
Gambar 4. 61 Total Displacement $ u $ dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	75
Gambar 4. 62 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	76
Gambar 4. 63 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	77
Gambar 4. 64 Shear Forces (Q) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	78
Gambar 4. 65 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	79
Gambar 4. 66 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	80
Gambar 4. 67 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m	81
Gambar 4. 68 Hasil Output Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (x) = 7 m.....	81
Gambar 4. 69 Total Displacement $ u $ dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	82
Gambar 4. 70 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	83
Gambar 4. 71 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	84
Gambar 4. 72 Shear Forces (Q) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	85
Gambar 4. 73 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	86
Gambar 4. 74 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	87
Gambar 4. 75 Titik Netral Tanpa Tanah Timbunan	89
Gambar 4. 76 Titik Netral Tanpa Tanah Timbunan	90
Gambar 4. 77 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	91
Gambar 4. 78 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	92
Gambar 4. 79 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	93
Gambar 4. 80 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	94

Gambar 4. 81 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	95
Gambar 4. 82 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m.....	96
Gambar 4. 83 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	97
Gambar 4. 84 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m.....	98



PENGARUH JARAK, WAKTU, DAN TINGGI TIMBUNAN DI DEKAT STRUKTUR *SLAB ON PILE*

Abstrak

Jalan tol merupakan akses jalan berbayar yang membantu penggunaanya dalam melakukan kegiatan mobilisasi, namun terbatas hanya untuk pengguna roda empat atau lebih. Seiring berkembangnya kawasan disekitar jalan tol, maka diperlukan pula akses jalan yang dapat digunakan untuk semua jenis kendaraan. Akses jalan tersebut dapat dibangun di sisi sekitar jalan tol, yang dalam pembangunannya memerlukan konstruksi timbunan. Konstruksi timbunan tersebut memiliki potensi untuk mempengaruhi struktur jalan tol yang sudah ada. Analisis tugas akhir ini digunakan untuk mengetahui pengaruh jarak, waktu, dan tinggi timbunan di dekat struktur *slab on pile*.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis menggunakan bantuan program *Plaxis V20* untuk mengetahui perbandingan mengenai jarak, waktu, dan tinggi timbunan di dekat struktur *slab on pile* dari variabel yang beragam. Terdapat lima pemodelan yang akan dibandingkan yaitu pemodelan tanpa timbunan, pemodelan jarak timbunan 10 meter dan tinggi timbunan 3 meter, pemodelan jarak timbunan 10 meter dan tinggi timbunan 7 meter, pemodelan jarak timbunan 15 meter dan tinggi timbunan 3 meter, dan pemodelan jarak timbunan 15 meter dan tinggi timbunan 7 meter.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan program *Plaxis V20* didapatkan hasil *output* berupa nilai *total displacement*, *excess pore pressure*, *bending moment*, *shear forces*, *axial forces*, dan *horizontal displacement*. Dari semua hasil *output* tersebut didapatkan variasi jarak timbunan dari struktur *slab on pile* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap struktur *slab on pile* dibandingkan dengan variasi tinggi timbunan. Untuk pengaruh waktu berdasarkan hasil *total displacement*, pada proses konsolidasi selama 15 tahun masih mengalami kenaikan dari proses konsolidasi 1 dan 10 tahun.

Kata Kunci : *Jarak, Slab On Pile, Timbunan, Tinggi, Plaxis V20, Waktu*

PENGARUH JARAK, WAKTU, DAN TINGGI TIMBUNAN DI DEKAT STRUKTUR SLAB ON PILE

Abstract

Highway is a paid access road that helps users to mobilise, but it is limited to four-wheelers or more. As the area around the toll road develops, an access road that can be used for all types of vehicles is also needed. The access road can be built on the side around the toll road, which requires embankment construction. The embankment construction has the potential to affect the existing toll road structure. This final project analysis is used to determine the effect of distance, time, and height of the embankment near the slab on pile structure.

In this final project, the analysis is carried out using the help of the Plaxis V20 programme to determine the comparison of the distance, time, and height of the embankment near the slab on pile structure from various variables. There are five modelling that will be compared, namely modelling without embankment, modelling 10 meters spacing and 3 meters height of embankment, modelling 10 meters spacing and 7 meters height of embankment, modelling 15 meters spacing and 3 meters height of embankment, and modelling 15 meters spacing and 7 meters height of embankment.

Based on the analysis results using the Plaxis V20 programme, the output results are obtained in the form of total displacement, excess pore pressure, bending moment, shear forces, axial forces, and horizontal displacement values. From all the output results, it is found that the variation of embankment spacing from the slab on pile structure does not have a significant effect on the slab on pile structure compared to the variation of embankment height. For the effect of time based on the total displacement results, the consolidation process for 15 years still increases from the consolidation process of 1 and 10 years.

Keywords : Distance, Slab On Pile, Embankment, Height, Plaxis V20, Time

BAB I

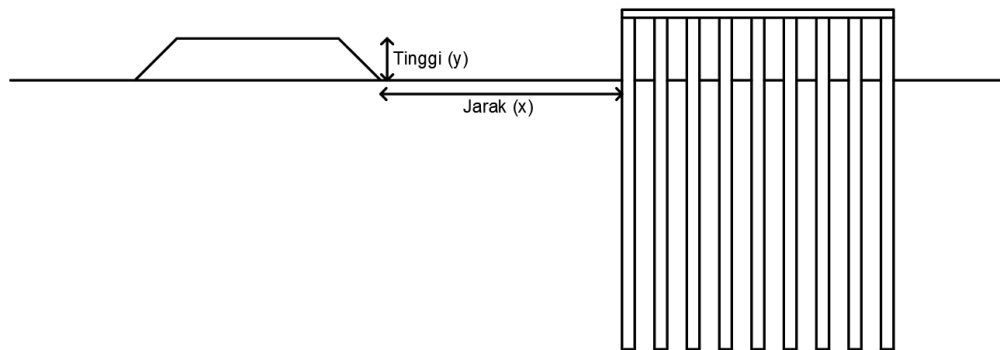
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Tangerang merupakan sebuah kota yang terletak di Provinsi Banten dengan jumlah populasi sekitar 2,274 jiwa dan luas wilayah 164,4 km². Kota Tangerang masuk ke dalam kategori kota tersibuk dan terpadat di Indonesia. Meningkatnya populasi secara signifikan juga menambah volume kendaraan bermotor di wilayah Kota Tangerang. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Kota Tangerang diperkirakan berada di kisaran 5-10% per tahun (Anisawitri et al, 2020). Kota ini juga menjadi salah satu pusat industri manufaktur di Indonesia, ditambah posisi Kota Tangerang yang berbatasan dengan Jakarta Barat membuat Kota Tangerang membutuhkan akses jalan yang memadai untuk kelancaran masyarakat dalam menjalankan pergerakan perekonomiannya. Dari penjabaran di atas maka dibutuhkan pembangunan akses seperti pembuatan jalan tol untuk memenuhi kebutuhan kelas jalan yang dibutuhkan. Jalan tol merupakan jalan yang dalam pengoperasiannya dikenakan biaya bagi penggunaannya dan hanya dapat dilalui oleh kendaraan roda empat atau lebih.

Pada perencanaan konstruksi jalan tol, salah satu aspek yang perlu direncanakan yaitu konstruksi struktur bawah. Salah satu konstruksi struktur bawah pada proyek jalan tol di Tangerang ini adalah *slab on pile* yang terdiri dari tiang pancang, *pile head*, dan *slab*. Alasan penggunaan struktur *slab on pile* pada perencanaan pembangunan tol ini karena kondisi tanah di Kota Tangerang memiliki sifat tanah lunak, yang membutuhkan pondasi cukup dalam untuk mencapai tanah keras. Tanah lunak juga mempengaruhi terhadap tanah timbunan yang berada di atasnya, timbunan akan menyebabkan deformasi pada tanah lunak dan rentan terhadap kelongsoran, hal ini dapat mempengaruhi tiang pancang apabila longsor tanah timbunan membenani tiang pancang, maka akan terjadi keretakan hingga tiang patah seperti pada kasus yang terjadi di jalan tol

Padalarang-Cileunyi.



Gambar 1. 1 Ilustrasi Masalah

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan penelitian mengenai tinggi dan jarak timbunan yang aman agar tidak menyebabkan tiang pancang mengalami kerusakan apabila terjadi penurunan atau kelongsoran.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh jarak dan tinggi timbunan terhadap keamanan struktur *slab on pile*?
2. Berapa besar perbandingan hasil *total displacement* pada struktur *slab on pile* berdasarkan variasi timbunan?
3. Bagaimana pengaruh waktu penurunan tanah terhadap struktur *slab on pile* setelah adanya struktur tanah timbunan?

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh jarak dan tinggi timbunan terhadap keamanan struktur *slab on pile*.
2. Mengetahui besar perbandingan hasil *total displacement* pada struktur *slab on pile* berdasarkan variasi timbunan.
3. Mengetahui pengaruh waktu penurunan tanah terhadap struktur *slab on pile* setelah adanya struktur tanah timbunan.

1.4. Batasan Penulisan

Batasan masalah guna membatasi ruang lingkup penelitian tugas akhir ini meliputi

1. Data yang digunakan yaitu data tanah yang diambil dari proyek jalan tol di daerah Tangerang Utara .
2. Analisis perencanaan jarak dan tinggi timbunan di dekat struktur *slab on pile* dengan permodelan Plaxis.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagi Ilmu Pengetahuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memajukan penelitian sebelumnya dengan menggabungkan kondisi yang ada di lapangan. Rekomendasi atau kesimpulan baru akan diambil dari hasil penelitian ini, yang akan dikembangkan lebih lanjut di masa mendatang.

2. Bagi Perusahaan

Perusahaan akan terbantu dengan penelitian ini karena mendapatkan hasil perhitungan perencanaan jarak dan tinggi timbunan di dekat struktur *slab on pile* yang aman dengan bantuan pemodelan Plaxis.

3. Bagi Peneliti

Penelitian ini sangat bermanfaat karena menambah wawasan dan pengetahuan baru dalam penggunaan *Plaxis* mengenai perhitungan perencanaan timbunan di dekat struktur *slab on pile*.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini terbagi menjadi lima bab sebagai berikut.

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi mengenai latar belakang penulisan Tugas Akhir, rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan penulisan, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai karakteristik tanah lunak, *slab on pile*, parameter tanah dari hasil penyelidikan tanah, serta materi yang berkaitan dengan topik tugas akhir.

BAB III : METODOLOGI

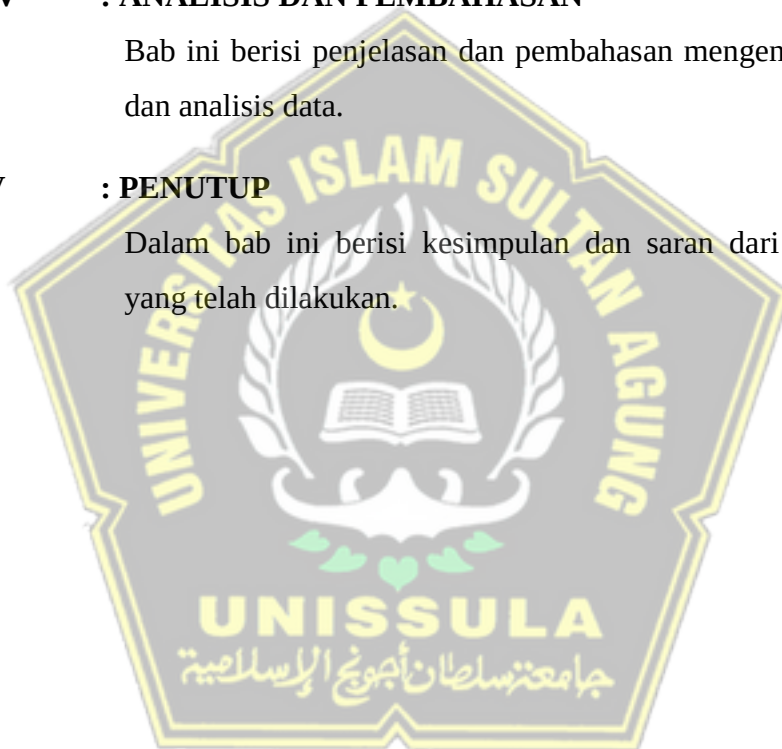
Dalam bab ini dibahas mengenai sumber data, metode pengumpulan data, teknik pengolahan data, dan bagan alur analisis data.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi penjelasan dan pembahasan mengenai pengolahan dan analisis data.

BAB V : PENUTUP

Dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tanah

Tanah merupakan lapisan kulit terluar bumi yang pembentukannya melalui tahapan pelapukan kimia maupun fisika dari hewan dan tumbuhan. Tanah terdiri dari mineral dan bahan organik yang dapat menjadi media tanam bagi tumbuhan jika mengandung air dan udara yang cukup. Setiap bangunan berdiri di atas tanah, sehingga tanah menjadi unsur penting dalam menentukan kualitas dan kekuatan bangunan.

Pengertian tanah menurut ahli bangunan dalam buku ilmu tanah karangan Abdul Kadir Salam (2020) pada saat menggunakan tanah sebagai tempat berdirinya sebuah bangunan atau oleh ahli lingkungan dalam mengelola berbagai unsur toksik yang ada di atau masuk ke dalam sistem tanah, baik yang berasal dari dalam maupun dari luar sistem tanah, baik yang bersifat alami maupun antropogenik. Tanah juga memiliki banyak sifat salah satunya sifat fisika, sifat fisika tanah dapat mencakup tekstur dan struktur tanah, agregasi tanah, kadar air tanah, konsistensi tanah, permeabilitas tanah, dan seterusnya.

Pengertian tanah menurut Bowles (1984), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

- a. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm.
- d. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm.

- e. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

2.2. Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah yang mempunyai sebagian besar ukuran butirnya sangat halus atau lolos ayakan nomor 200 (Holtz dan Kovacs, 1981). Menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) tanah lunak merupakan tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah, dan sangat, *compressible* serta merupakan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam ± 25 mm atau mempunyai kuat geser 40 kPa berdasarkan uji geser baling lapangan. Sedangkan dari sisi kekuatan tanah, Bina Marga (2010) mendefinisikan tanah lunak sebagai setiap jenis tanah yang mempunyai CBR lapangan < 2 .

Tanah yang tergolong dalam tanah lunak yaitu tanah gambut dan tanah lempung. Tanah gambut adalah tanah yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan dan berada dalam lingkungan pengendapan rawa yang memiliki angka pori dan kadar air yang tinggi. Pengertian tanah lempung adalah tanah yang memiliki kadar mineral tertentu dan partikel-partikel sangat halus yang bersifat plastis bila dicampur dengan air, mempunyai daya dukung rendah dan kepekaan terhadap perubahan kadar air cukup tinggi. Menurut Zaro, et al (2014) tanah lempung merupakan jenis tanah kohesif yang mempunyai potensi kembang susut yang tinggi dan memiliki daya dukung yang baik untuk kondisi tidak jenuh air dan daya dukung yang jelek untuk kondisi jenuh air.

2.2.1. Karakteristik Tanah Lunak

Tanah lunak memiliki sifat-sifat diantaranya :

1. Gaya Geser Kecil

Tanah lunak memiliki gaya geser yang kecil karena memiliki nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang rendah. Hal itu dikarenakan tanah lunak memiliki kerapatan antar butiran yang lemah.

Tabel 2. 1 Nilai Tipikal c dan ϕ

Kelompok Tanah	Tipikal Tanah	Parameter Tanah	
		c	ϕ
Buruk	Tanah lempung lunak dan teguh dengan plastisitas sedang ke tinggi; lempung berlanau; isian lempung bervariasi lepas; lanau berpasir lepas	0-5	1-25
Sedang	Lempung berpasir kaku; lempung berkerikil; pasir berlempung padat; lanau berpasir; isian lempung padat	0-10	26-32
Bagus	Pasir berkerikil; pasir padat; isian kerikil dan batu pasir pecah; pasir padat bergradasi baik	0-5	32-37
Sangat Bagus	Batu terlapukan lemah; isian lapis dasar jalan terkontrol; kerikil dan beton daur ulang	0-25	36-43

(Sumber : Australian Standards for retaining walls (AS 4678, 2002))

Kuat geser akan semakin rendah apabila kadar air tanah lunak bertambah. Kadar air tanah yang jenuh mengakibatkan daya tarik menarik antar partikel tanah akan melemah. Struktur tanah lunak yang terganggu juga dapat mengurangi kuat geser tanah. Menurut Toha (1989) tanah lempung memiliki kuat geser 20-40 kN/m².

2. Daya Dukung Rendah

Daya dukung tanah merupakan aspek penting yang harus diketahui sebelum melaksanakan pembangunan konstruksi, hal ini karena daya dukung tanah merupakan faktor utama dari kekuatan pondasi. Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan beban di atasnya. Tanah yang memiliki daya dukung yang baik akan membuat pondasi kuat dan stabil.

Sebaliknya, apabila daya dukung tanah rendah akan membuat pondasi mudah rusak dan dapat mengalami keruntuhan geser (*shear failure*). Untuk mengetahui pondasi akan mengalami keruntuhan atau penurunan yang berlebih maka dibutuhkan faktor keamanan (*safety factor*). Daya dukung tanah dinyatakan dalam rumus tegangan, untuk mengitung dapat menggunakan rumus:

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{SF} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

q_{all} = Daya dukung tanah (kg/cm^2)

q_{ult} = Daya dukung batas (kg/cm^2)

SF = Faktor keamanan

Mengitung daya dukung tanah dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya menggunakan metode Terzaghi (1943), metode ini dijabarkan oleh Terzaghi ketika tanah dalam kondisi *general shear failure*. Perhitungan ini dapat membantu untuk menemukan hasil yang tepat dalam perencanaan pondasi bangunan. Persamaan rumus perhitungan daya dukung tanah menurut Terzaghi (1943) :

$$q_{ult} = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

q_{ult} = Daya dukung ultimit / batas (kg/cm^2)

c = Kohesi (kg/cm^2)

D_f = Kedalaman pondasi (m)

B = Lebar pondasi (m)

γ = Berat volume tanah (kg/cm^2)

N_c = Faktor daya dukung tanah

N_q = Faktor daya dukung tanah

N_γ = Faktor daya dukung tanah

3. Kemampatan Tinggi

Proses pembangunan yang berada di atas tanah akan menyebabkan pemampatan. Pemampatan dikarenakan terjadinya pembebanan sehingga air pori tanah dan udara akan keluar dari dalam tanah. Akibat dari pemampatan ini maka tanah akan mengalami penurunan dari permukaan tanah sebelumnya.

Kemampatan tanah pada tanah lunak cenderung tinggi. Perlu dilakukan perbaikan tanah baik secara pemadatan tanah secara mekanis dan kimiawi. Tujuan perbaikan ini untuk menghindari setiap pembangunan konstruksi yang berada diatas tanah lunak tidak mengalami keruntuhan dan penurunan struktur bangunan yang signifikan.

4. Permeabilitas Tanah Rendah

Tanah lunak memiliki sifat permeabilitas tanah yang rendah. Permeabilitas adalah kemampuan air lolos di dalam tanah. Pada tanah lunak air sulit untuk melewati bagian tanah tersebut karena partikel pada tanah lunak sangat rapat sehingga membentuk penghalang bagi air untuk melakukan perjalanan.

2.2.2. Permasalahan Pada Tanah Lunak

Dalam struktur bangunan, tanah merupakan aspek penting sebagai dasar berdirinya bangunan tersebut. Daya dukung tanah dan penurunan pondasi berhubungan erat dengan beban struktur bangunan yang dibangun diatasnya (Fahriani & Apriyanti, 2015). Kondisi tanah dapat menjadi acuan bagi perencana untuk menentukan jenis pondasi yang digunakan sesuai dengan daya dukung tanah.

Tanah lunak menjadi salah satu masalah dalam bidang kontruksi pembangunan. Mengingat tanah lunak memiliki sifat yang sangat rentan terjadi penurunan dan kelongsoran apabila terdapat beban besar diatasnya. Hal itu karena tanah lunak memiliki kadar air yang tinggi, daya dukung yang rendah dan likuifaksi. Likuifaksi yaitu kondisi tanah yang kehilangan kekuatannya karena proses getaran akibat gempa bumi. Terdapat metode untuk mengatasi

permasalahan pada tanah lunak diantaranya melakukan pemadatan baik secara mekanis maupun kimiawi.

2.3. Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan nilai yang menunjukkan sifat dan karakteristik suatu tanah. Dari berbagai pengujian atau studi parameter tanah akan didapatkan nilai parameter tanah. Selain dari pengujian laboratorium maupun lapangan, parameter tanah juga bisa didapat dari korelasi data yang sudah ada. Parameter tanah digunakan untuk perhitungan dan analisis dalam program plaxis.

2.3.1. Berat Volume Tanah

Berat volume tanah adalah massa tanah yang mengisi ruangan di dalam lapisan tanah. Terdapat berat volume tanah kering dan berat volume tanah basah.

Berat volume tanah kering (*dry oil weight*) merupakan perbandingan antara berat kering tanah dengan volume tanah, dapat dirumuskan :

$$\gamma_d = \frac{w_s}{V} \dots\dots\dots (2.3)$$

Berat volume tanah basah (*wet soil weight*) merupakan perbandingan nilai berat tanah per volume tanah.

$$\gamma_w = \frac{w}{V} = \frac{w_s + w_w}{V} \dots\dots\dots (2.4)$$

Tabel 2. 2 Hubungan Antara γ_d , Nilai N-SPT, Tekanan Konus, dan Kepadatan

γ_d	N-SPT	Tekanan Konus (qc) kg/cm ²	Kepadatan
< 0,2	< 4	< 20	<i>Very Loose</i> (Sangat Lepas)
0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	<i>Loose</i> (Lepas)
0,4 – 0,6	10 – 30	40 – 120	<i>Medium Dense</i> (Agak Kompak)
0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	<i>Dense</i> (Kompak)
0,8 – 1,0	> 50	> 200	<i>Very Dense</i> (Sangat Kompak)

(Sumber : Mayerhof, 1965)

Tabel 2. 3 Korelasi Empiris antara Nilai N-SPT dengan *Unconfined Compressive Strength* (Q_u) dan Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Kohesif

N-SPT (blows/ft)	Konsistensi	q_u (ton/ft ²)	γ_d (kN/m ³)
<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	19 – 22

(Sumber : *Soil Mechanics, Lambe & Whitman, from Terzaghi and Peck 1948, International Edition 1969*)

Tabel 2. 4 Korelasi Berat Jenis (γ) untuk Tanah Kohesif dan Non Kohesif

Cohesionless Soil					
N	0 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50	
Unit Weight γ , kN/m ³	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23	
Angle of friction ϕ	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
Cohesive Soil					
N	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
Unit Weight γ , kN/m ³	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
Q_u , kPa	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

(Sumber : *Soil Mechanics, William T., Whitman, Robert V., 1962*)

2.3.2. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kualitas tanah untuk meloloskan air atau udara yang diukur berdasarkan besarnya aliran melalui satuan tanah yang telah dijenuhi terlebih dahulu per satuan waktu tertentu (Susanto, 1994). Sifat ini berasal dari sifat alami granular tanah, meskipun dapat dipengaruhi oleh faktor lain (seperti air terikat di tanah liat). Jadi, tanah yang berbeda akan memiliki permeabilitas yang berbeda (Das, 1995). Tanah dengan ukuran partikel dan ukuran pori kecil memiliki nilai *permeability* yang rendah.

Permeabilitas sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik tanah. Perubahan pada suhu air sedikit mempengaruhi permeabilitas. Dalam tanah yang jenuh air permeabilitas bervariasi diantara limit yang luas, mulai kurang dari 25 cm tiap tahun pada tanah liat yang padat sampai dengan beberapa ribu meter per tahun dalam formasi kerikil. Untuk tanah yang tak jenuh air kadar kelembaban (moisture content) adalah salah satu dari faktor dominan yang mempengaruhi nilai laju permeabilitas tanah (Israelsen dan Hansen, 1962).

Nilai rembesan air melalui tanah pada kondisi jenuh dapat dihitung berdasarkan hukum Darcy yang dirumuskan sebagai berikut (Israelsen dan Hansen, 1962).

$$k = \frac{QL}{Ah_L} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- k = Koefisien permeabilitas (cm/jam)
- Q = Debit air (cm³/jam)
- L = Tebal / kedalaman tanah (cm)
- A = Luas permukaan tanah (cm²)
- h_L = Tinggi muka air (cm)

Nilai permeabilitas berbagai jenis tanah dapat diartikan sebagai harga koefisien permeabilitas yang disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2. 5 Nilai Permeabilitas Tanah (k)

Jenis Tanah	k (m/s)
Pasir berlempung, pasir berlanau	5.10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴
Pasir halus	10 ⁻⁵ - 5.10 ⁻⁵
Pasir kelanauan	10 ⁻⁶ – 2.10 ⁻⁵
Lanau	10 ⁻⁷ – 5.10 ⁻⁶
Lempung	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻⁸

(Sumber : Wesley, 1997)

2.3.3. Modulus Elastisitas (Es)

Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan suatu material yang berarti bahwa apabila suatu material memiliki nilai modulus elastisitas yang besar, maka semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi tegangan tertentu (Albert, et al). Nilai modulus elastisitas atau *modulus young* merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan, dapat juga diperoleh dari uji beban (*plate load test*).

$$E_s = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.6)$$

Berikut nilai modulus elastisitas (Es) dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2. 6 Nilai Modulus Elastisitas Tanah (Es)

Jenis Tanah	E (kN/m ²)
Lempung	
Sangat Lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
Pasir dan kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak Padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
Loess	15000 – 60000
Serpih	140000 – 1400000

(Sumber : Bowles, 1977)

Tabel 2. 7 Nilai Modulus Elastisitas Tanah (E) untuk Kondisi *Drained*

Jenis Tanah	E (kg/cm ²)	E (kN/m ²)
<i>Clay</i>	3.5 q _c	700 N _{spt}
<i>Sand</i>	2 q _c	700 N _{spt}

(Sumber : Schmertmann, 1970)

Nilai modulus elastisitas tanah (E) untuk kondisi *undrained* (Sumber : Schmertmann, 1970) :

$$E = 1.5 \times E1 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

E = Modulus elastisitas (kN/m^2)

$E1$ = Nilai E dari kondisi *drained*

2.3.4. *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* (ν) yaitu rasio atau perbandingan antara regangan transversal (tegak lurus) terhadap regangan longitudinal pada saat mengalami tegangan aksial, baik tarik maupun tekan, di dalam kondisi elastis (Nur Ikhsan, et al, 2018). Berdasarkan jenis tanahnya, angka *poisson* dapat ditentukan seperti pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 8 Angka *Poisson* Berdasarkan Jenis Tanah

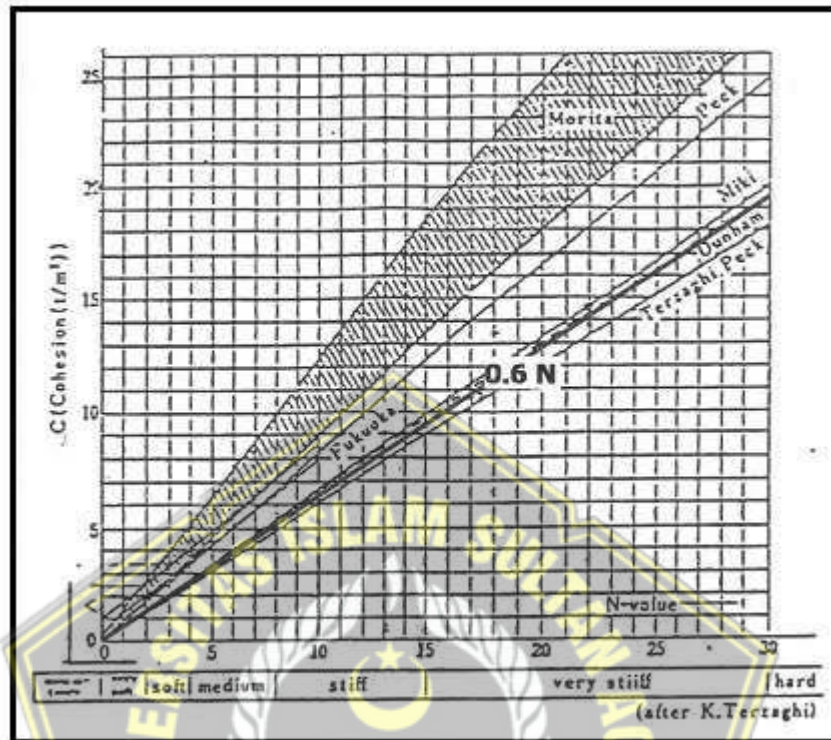
Jenis Tanah	Angka <i>Poisson</i>
Lempung Jenuh	0,4 – 0,5
Lempung Tak Jenuh	0,1 – 0,3
Lempung Berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2)

2.3.5. *Kohesi*

Gaya tarik menarik antar butiran dalam tanah yang dinyatakan dalam satuan berat per luas dinyatakan dalam nilai kohesi tanah. Semakin besar nilai kekuatan geser suatu tanah maka semakin besar pula nilai kohesi tanah, sehingga ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan juga semakin besar. Nilai kohesi didapatkan dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*) dan pengujian triaxial (*triaxial test*). Dari dua pengujian tersebut didapatkan juga nilai sudut geser dalam (ϕ). Parameter c dan ϕ merupakan variabel dalam menentukan nilai kuat geser. Nilai kohesi (c) dapat diperoleh berdasarkan data sondir (q_c) yang secara empiris dirumuskan sebagai berikut.

$$c = \frac{qc}{20} \dots\dots\dots(2.7)$$



Gambar 2. 1 Hubungan Nilai Kohesi dan N-SPT pada Tanah Kohesif (Terzaghi, 1943)

Tabel 2. 9 Variasi Korelasi N-SPT dengan c_u Tanah Lempung

Konsistensi	N	c_u (kN/m ²)
Sangat lunak	0 – 2	< 12
Lunak	2 – 4	12 – 25
Sedang	4 – 8	25 – 50
Kaku	8 – 15	50 – 100
Sangat kaku	15 – 30	100 – 200
Keras	> 30	> 200

(Sumber : Terzaghi dan Peck, 1967)

Tabel 2. 10 Nilai N-SPT dengan Kohesi

Soil Condition	N-SPT	Cohesion (kPa)
Loose	<10	<5
Medium stiff	10 – 30	5 – 48
Stiff	>30	>48

(Sumber : Kumar et al., 2016)

2.3.6. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan (Haris, V.T., et al, 2018). Besarnya nilai sudut geser dalam berpengaruh pada ketahanan tanah dalam menerima tegangan luar. Semakin besar nilai sudut geser dalam, semakin besar ketahanan tanahnya. Nilai sudut geser dalam dapat diperoleh dari hasil pengujian pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*) dan pengujian triaxial (*triaxial test*).

Tabel 2. 11 Nilai Sudut Geser Dalam Berdasarkan Jenis Tanah

Jenis Tanah	ϕ
Kerikil kepasiran	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Kerikil kerakal	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir padat	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^{\circ} - 30^{\circ}$
Lempung	$20^{\circ} - 25^{\circ}$

(Sumber : Das, 1998)

Tabel 2. 12 Hubungan antara Sudut Geser Dalam, Tingkat Plastisitas, dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tingkat Plastisitas	ϕ
Lanau	Rendah	$35^{\circ} - 37^{\circ}$
Lanau berlempung	Sedang	$31^{\circ} - 35^{\circ}$
Lempung	Tinggi	$< 31^{\circ}$

(Sumber : Bjerrum, 1960)

2.3.7. Angka Pori (e)

Angka pori tanah (e) adalah rasio antara volume rongga atau void (V_v) dengan volume partikel (V_s) padat dalam suatu massa tanah. Angka pori dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

e = Angka pori

V_v = Volume rongga

Tabel 2. 13 Nilai Angka Pori untuk Beberapa Tipe Tanah

Tipe Tanah	Angka Pori (e)
Pasir lepas dengan butiran seragam (<i>loose uniform sand</i>)	0.8
Pasi padat dengan butiran seragam (<i>dense uniform sand</i>)	0.45
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut (<i>loose angulargrained silty sand</i>)	0.65
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut (<i>dense angulargrained silty sand</i>)	0.4
Lempung kaku (<i>stiff clay</i>)	0.6
Lempung lembek (<i>soft clay</i>)	0.9 – 1.4
Tanah (<i>loose</i>)	0.9
Lempung organic lembek (<i>soft organic clay</i>)	2.5 – 3.2
<i>Glacial till</i>	0.3

(Sumber : Braja M. Das, 1988)

2.3.8. Sudut Dilatansi (ψ)

Sudut dilatansi yaitu perbandingan hubungan dari perubahan ketebalan sampel tanah dengan pergeseran tegangan lateral maksimum (Hans, et al, 2020). Sudut dilatansi dipengaruhi oleh kepadatan dan sudut geser tanah. Besarnya nilai sudut dilatansi berbanding terbalik dengan besar kekuatan tanah. Semakin besar sudut dilatansi, kekuatan tanah semakin lemah atau kurang stabil yang menyebabkan tanah rentan terhadap deformasi akibat tegangan dari luar. Sudut dilatansi biasanya tidak ditunjukkan pada tanah lempung, sedangkan pada tanah pasir sudut dilatansinya bergantung pada sudu geser. Namun sudut dilatansi pada sebagian besar kasus menunjukkan angka 0.

2.4. Beban Lateral

Setiap pembangunan konstruksi perencana harus menganalisa segala kemungkinan yang dapat mengakibatkan keruntuhan dan kegagalan yang diakibatkan oleh beban, salah satu beban yang akan diterima oleh suatu konstruksi adalah beban lateral. Beban lateral adalah beban yang memiliki arah horizontal pada suatu konstruksi. Beban ini bekerja tegak lurus tiang yang dapat mengakibatkan terjadinya pergeseran pada tiang apabila tidak dapat menahannya. Beban yang memiliki arah horizontal diantaranya yaitu beban gempa, beban angin, tekanan tanah lateral, dan lainnya.

Menurut Muto (1963) selama gempa bumi bangunan mengalami gerakan horizontal dan gerakan vertikal. Gaya gempa, baik dalam arah vertikal maupun horizontal akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya ini, gaya vertikal hanya menyebabkan sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Sehingga struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horizontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan langsung mengakibatkan keruntuhan/kegagalan (failure).

2.4.1. Beban Gempa

Gempa bumi menurut situs Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terkena gempa. Hal ini karena Indonesia memiliki banyak gunung berapi aktif yang dapat menyebabkan gempa vulkanik saat gunung berapi meletus dan erupsi sewaktu-waktu, aktivitas gunung berapi juga mengakibatkan gempa tektonik ketika mengalami pergerakan lempeng tektonik.

Pulau Jawa menjadi salah satu provinsi yang sering terjadi gempa, menurut Zakaria, et al (2011) pulau Jawa merupakan wilayah yang terjadi gempa dengan

kekuatan yang bervariasi. Gempa yang merusak umumnya berkekuatan lebih dari 5,6 skala richter, berupa gempa dangkal dengan kedalaman kurang dari 30 KM.

Gempa bumi yang terjadi akan mengakibatkan adanya gaya gempa pada proyek konstruksi. Gaya gempa merupakan gaya yang bekerja secara horizontal pada suatu struktur akibat getaran gempa. Terdapat dua metode untuk menganalisis beban gempa yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik.

Analisis statik ekuivalen menurut Sundari, et al (2020) yaitu analisis struktur yang mengansumsikan bahwa beban statik horizontal diperoleh dari pengaruh respon ragam getar gempa pertama. Getaran gempa menjadi gaya horizontal pada tiap-tiap lantai. Analisis dinamik berdasarkan Purnomo, Edy (2014) adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat, diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur.

2.4.2. Beban Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah. Perbedaan suhu udara juga menyebabkan terjadinya hembusan angin. Tekanan udara dapat dipengaruhi oleh perputaran rotasi bumi. Beban angin adalah beban yang bekerja pada konstruksi yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

Angin bergerak secara horizontal dan memberi tekanan kepada bidang permukaan struktur bangunan, intensitas ini disebut dengan beban angin.

2.4.3. Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral merupakan gaya yang timbul akibat adanya dorongan tanah di belakang penahan tanah. Menurut Agusty, Sinta Puja, et al (2020) tekanan tanah lateral adalah gaya tekan di belakang dinding tanah dan digunakan untuk merencanakan dinding penahan tanah dan struktur lainnya dengan meyakinkan keruntuhan total tidak akan terjadi.

2.5. Slab On Pile

Slab on pile merupakan struktur yang terdiri dari kombinasi tiang pancang, dan pelat beton dan memiliki jarak cenderung berdekatan. Pada umumnya struktur atas dan pondasi dihitung secara terpisah yang membuat perhitungan tidak optimal. Penggunaan struktur *slab on pile* yang terdiri dalam gabungan pelat beton dan pondasi dapat meminimalisir perhitungan yang tidak terinteraksi.

Struktur *slab on pile* sudah banyak digunakan pada pekerjaan pembangunan di Indonesia. Beberapa proyek jalan tol memilih menggunakan struktur *slab on pile* dalam perencanaannya. Struktur ini memiliki tingkat kestabilan yang baik diatas tanah rawa ataupun tanah jenuh air karena menggunakan jenis pondasi tiang pancang yang ditancapkan hingga titik kedalaman tanah keras. Proses pembuatan yang dilakukan di pabrik sehingga mutu dan keamanan terjamin. Perawatan dan pemeliharaan struktur *slab on pile* juga lebih mudah dan hemat biaya dibandingkan dengan metode konvensional. Pemasangan *slab on pile* juga lebih efisien waktu dan tenaga.

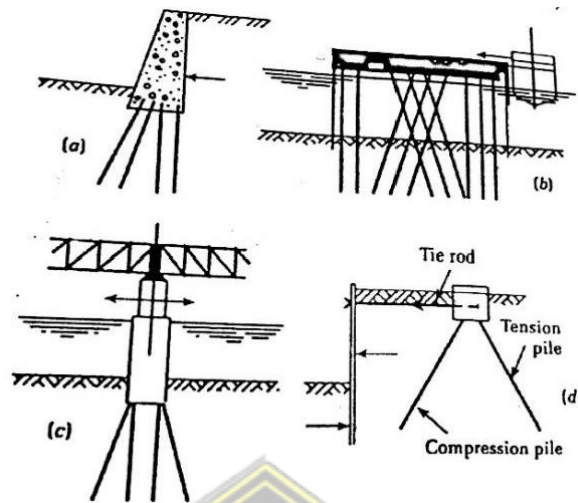


Gambar 2. 2 Struktur *Slab on Pile* pada Jalan Raya
(Sumber : UNTAG Surabaya)

2.5.1. Pondasi Tiang Dengan Beban Lateral

Beban lateral yang bekerja pada pondasi *pile* harus sesuai dengan salah satu dari dua kriteria berikut, sehingga memenuhi standar yang diijinkan.

1. Beban lateral diperoleh dengan membagi beban ultimit dengan suatu faktor keamanan.
2. Beban lateral ijin diperoleh berdasarkan defleksi maksimum yang diijinkan.

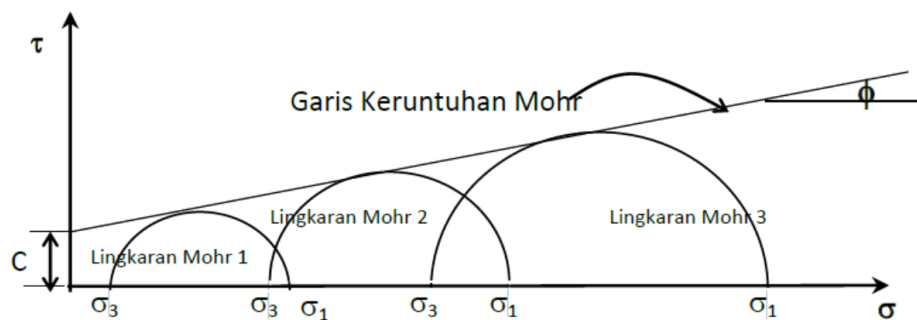


Gambar 2. 3 Kondisi Pembebanan pada Pondasi Tiang

(Tomlinson, 1994)

2.6. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Teori keruntuhan yang dikembangkan oleh Mohr menyatakan bahwa keruntuhan suatu material disebabkan oleh kombinasi kritis antara tegangan normal (σ_n) dan tegangan geser (τ) dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum saja. Menurut Mohr, keruntuhan (*failure*) tanah terjadi jika kombinasi tegangan normal dan geser maksimum yang menyebabkan keruntuhan dipresentasikan sebagai lingkaran yang kemudian dikenal dengan lingkaran Mohr (Das, 1988). Kondisi Coulomb didasarkan pada *failure envelope linier* untuk menentukan kombinasi kritis tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) yang akan menyebabkan *failure* pada beberapa bidang (Coulomb, 1776).



Gambar 2. 4 Lingkaran Mohr Hasil Pengujian Triaxial

(Yulindasari, et al, 2015)

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb ditunjukkan dengan garis lurus yang disebut Mohr-Coulomb *Failure Envelope*. Persamaan dari kriteria tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

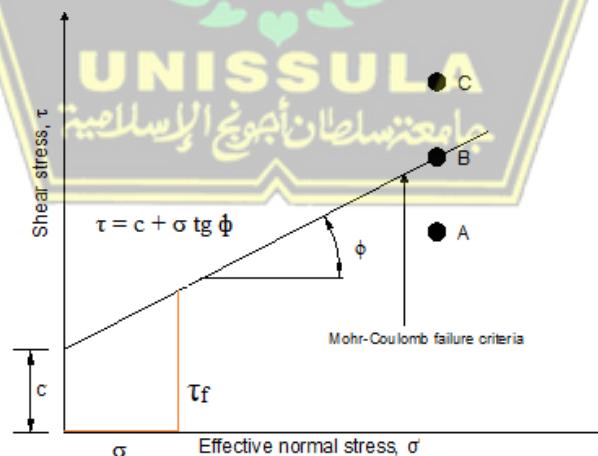
τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi (kN/m^2)

σ = Tegangan normal (kN/m^2)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

Garis keruntuhan Mohr-Coulomb merupakan batas kondisi stabil dari keruntuhan yang dapat dilihat pada gambar 2. Terdapat tiga kondisi kemungkinan yang dapat terjadi. Jika tegangan berada di bawah garis keruntuhan (titik A), maka bidang dalam keadaan stabil dan tidak akan terjadi keruntuhan. Bidang mengalami keruntuhan jika tegangan berada tepat di garis keruntuhan (titik B). Sedangkan tegangan yang berada di atas garis keruntuhan (titik C) tidak akan terjadi, karena sebelum tegangan mencapai titik C, bidang telah mengalami keruntuhan.



Gambar 2. 5 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb dan Titik Keruntuhan (Mohr-Coulomb, 1776)

2.7. Stabilitas dan Kinerja dari Lereng dan Timbunan

Timbunan dengan lereng yang dalam pengerjaannya diperlukan pemadatan sering dijumpai pada timbunan konstruksi jalan kereta api, jalan tol, bendungan atau waduk, *landfill*, dan konstruksi lainnya. Pada lereng dan *fills*/timbunan biasanya analisis stabilitasnya tidak serumit dan sesulit analisis stabilitas pada *slope* alami dan *cuts*. Hal tersebut dikarenakan material yang digunakan ditentukan sesuai dengan standar, seperti distribusi agregat dari material. Proses dan tingkat pemadatan serta metode konstruksi yang digunakan juga merupakan faktor penentu dari sifat material. Lereng timbunan secara umum dirancang berdasarkan parameter kekuatan geser yang didapatkan dari hasil pengujian sampel material yang dipadatkan sesuai kerapatan desain. Sedangkan untuk metode analisis kekuatan yang digunakan untuk menentukan stabilitas dari lereng timbunan yaitu metode analisis tegangan dan metode keseimbangan batas seperti metode blok geser, metode lingkaran, metode irisan, dan metode spiral logaritmik.

2.8. Prinsip Dasar Plaxis

Indonesia memiliki kondisi tanah yang beragam. Ada tanah lempung, tanah rawa bahkan tanah berkapur. Setiap tanah memiliki kelebihan dan daya dukung tanah yang berbeda pula, maka dari itu setiap pembangunan konstruksi tidak bisa dipatok menggunakan metode yang sama pada pelaksanaannya.

Menurut artikel Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2006), Balitbang melakukan kerja sama dengan Pemerintah Belanda untuk mengembangkan program deteksi kondisi tanah. Program tersebut adalah Plaxis yang bisa menganalisis kondisi tanah diberbagai tipe tanah sehingga dapat diketahui dengan pendekatan teknologi yang akan digunakan untuk membangun.

Plaxis (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) merupakan sebuah aplikasi yang digunakan untuk menganalisa deformasi dan menganalisa berbagai bentuk geoteknik. Program aplikasi ini bertujuan agar pengguna dapat memecahkan masalah dalam bidang geoteknik dalam perencanaan sipil dengan pendekatan elemen hingga. Plaxis juga mampu menganalisis penurunan tanah dan daya dukung pondasinya. Sehingga pengguna aplikasi ini mendapatkan gambaran

kegiatan konstruksi di lapangan. Pada program plaxis juga menyediakan analisa teknik mengenai tegangan yang terjadi pada tanah, displacement, dan lainnya.

Plaxis dapat menghitung dan mendeteksi hubungan antara beton dan tanah. Apabila beton bergeser akibat pergerakan atau penurunan tanah, plaxis dapat menganalisa kemungkinan longsor yang akan terjadi, plaxis juga dapat menghitung berapa banyak besaran pergeseran tanah, sehingga dapat diketahui bagi pengguna bagaimana cara penanganannya.



BAB III

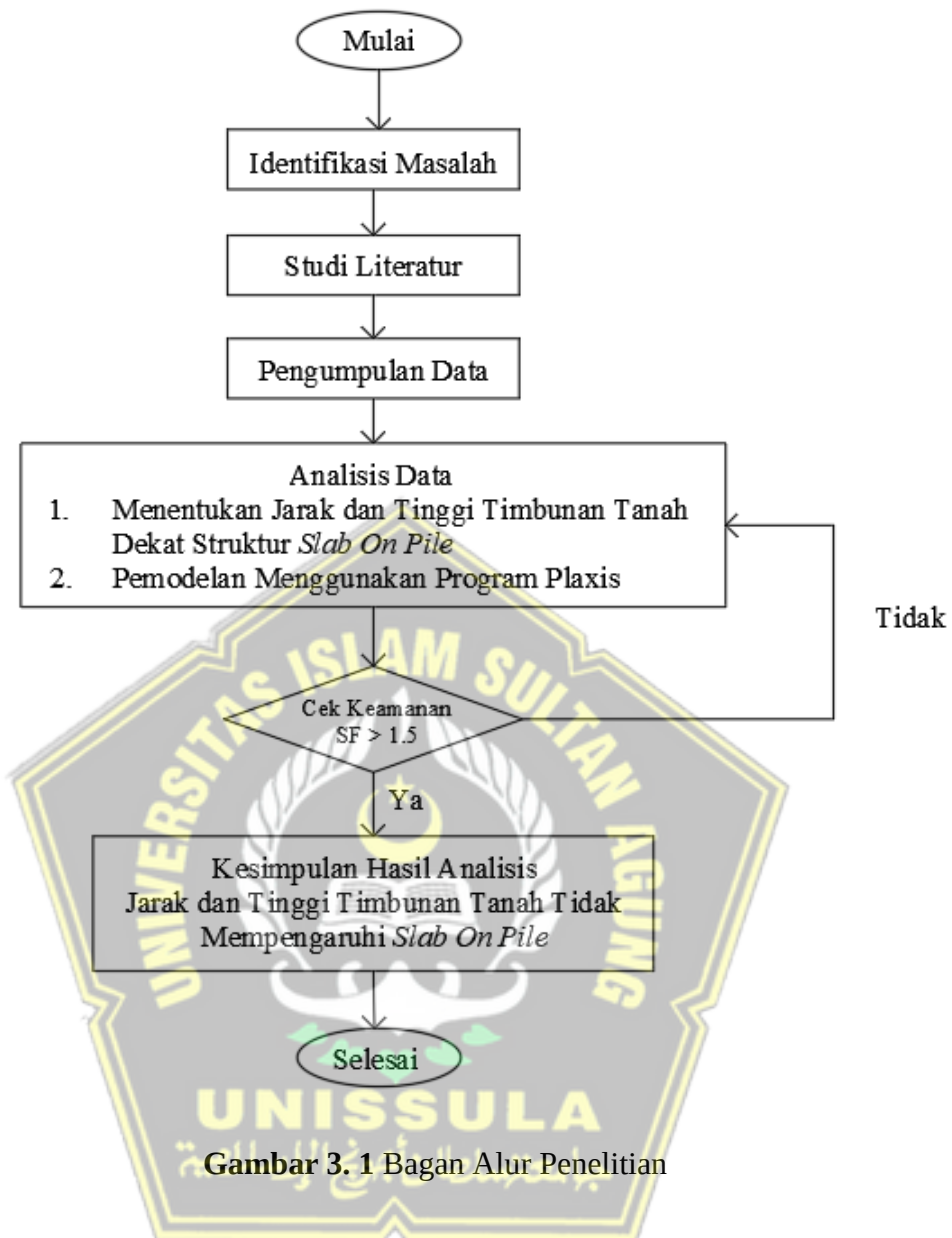
METODOLOGI

3.1. Tinjauan Umum

Metodologi merupakan langkah sistematis yang disusun untuk memecahkan permasalahan dalam melakukan suatu analisis penelitian. Tujuan metodologi adalah untuk memperoleh bentuk informasi yang dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya. Penyusunan metodologi ini diharapkan agar proses pengerjaan tugas akhir efektif dan efisien guna mendapatkan hasil yang sesuai.

Langkah awal penelitian dimulai dengan tahapan identifikasi masalah yang akan diteliti. Setelah itu mengumpulkan *literature* yang berhubungan dengan kasus yang dijadikan objek penelitian. Sumber *literature* berasal dari jurnal penelitian, buku teks, dan laporan penelitian terdahulu. Selanjutnya mengumpulkan data-data penunjang untuk nantinya menjadi sumber data penelitian baik secara primer maupun sekunder.

Tugas akhir ini merupakan perencanaan timbunan yang bekerja di sekitar struktur *slab on pile* pada jalan tol di daerah Tangerang Utara. Penelitian ini merupakan pemodelan yang digunakan untuk menghitung jarak dan tinggi timbunan di dekat struktur *slab on pile* agar aman, mengetahui lama waktu dan total penurunan pada struktur *slab on pile*, serta mengetahui besar *displacement*, *shear*, dan momen yang terjadi pada struktur *slab on pile*. Pemodelan dan proses analisis memanfaatkan program aplikasi *Plaxis*.



Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian

3.2. Studi Literatur

Pada suatu penelitian, studi literatur berfungsi sebagai landasan teori maupun sumber referensi yang dapat diperoleh dari jurnal, makalah, buku teks, pedoman peraturan-peraturan, laporan penelitian terdahulu, dan sumber lain yang terkait. Sumber referensi yang didapatkan digunakan untuk memahami dasar teori dan parameter-parameter sebagai penunjang dalam proses analisis mengenai mekanika tanah dan pemodelan suatu konstruksi menggunakan program *Plaxis*, terutama sifat-sifat timbunan di atas tanah lunak yang berada di sekitar struktur *slab on pile*.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

3.3.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini menurut cara pengumpulannya merupakan data sekunder. Data sekunder yaitu data yang sudah ada dan telah diolah oleh pihak lain dan biasanya telah dipublikasikan. Data-data sekunder yang digunakan untuk penelitian ini yaitu :

a. Data Tanah

1. Data Lapangan (Boring Log)

- Data N-SPT
- Muka air tanah
- Jenis Tanah

2. Data korelasi nilai N-SPT

- Berat volume tanah jenuh air (γ_{sat})
- Berat volume tanah tidak jenuh air (γ_{unsat})
- Permeabilitas arah horizontal (k_x)
- Permeabilitas arah vertikal (k_y)
- Modulus elastisitas (E)
- *Poisson rasio* (μ)
- Kohesi (c)
- Sudut geser (ϕ)
- Sudut dilatasi (Ψ)
- Angka Pori (e_{init})

b. Data *Slab on pile*

- Material
- Dimensi dan spesifikasi

3.3.2. Sumber Data

Proses penelitian tugas akhir ini menggunakan data penunjang yang berasal dari data sekunder Proyek Pembangunan Jalan Tol di daerah Tangerang Utara.

3.4. Tahapan Pemodelan Menggunakan Program Plaxis

3.4.1. Menentukan Input Data Plaxis

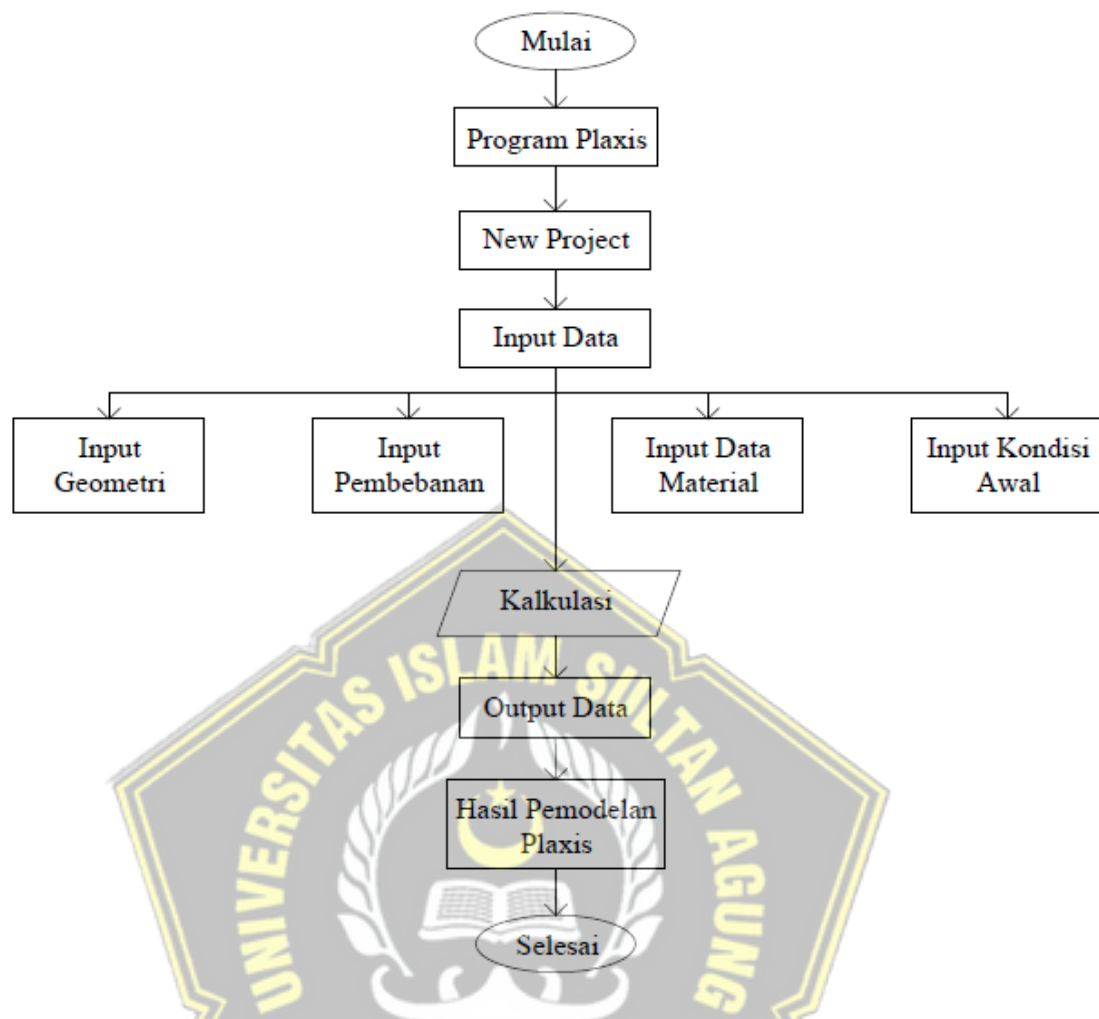
Setelah data terkumpul langkah yang perlu dilakukan yaitu mempelajari dan memahami data-data tersebut. Data sekunder dianalisis untuk mengetahui data apa saja yang belum diperoleh.

Untuk mendapatkan parameter-parameter yang belum diketahui dapat dilakukan korelasi terhadap data N-SPT. Proses analisis dan pengolahan data memanfaatkan program aplikasi Plaxis.

3.4.2. Penginputan Data di Pemodelan

Data-data yang sudah terkumpul diinput ke dalam program Plaxis sebagai asumsi tahapan pelaksanaan di lapangan, sehingga hasil dari analisis di program dapat dianggap sebagai cerminan kondisi yang sebenarnya di lapangan. Tahapan-tahapan dari kalkulasi data dapat dilihat pada bagan alur berikut.





Gambar 3. 2 Bagan Alur Kalkulasi pada Plaxis

1. Mulai Program *Plaxis*

Setelah membuka program *Plaxis* kemudian klik “*New Project*” untuk memulai pekerjaan

2. Input Data

Pada penginputan data ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya :

a. Input Geometri

- Pada jendela “*Project*”

Jendela ini digunakan untuk pemilihan node, semakin banyak titik node yang dipilih akan menghasilkan persamaan numerik yang semakin rumit.

- Pada jendela “*dimension*”

Laman ini digunakan untuk menentukan standar satuan yang akan digunakan. Hal ini bertujuan sebagai penentuan batas ruang kerja serta menggambarkan geometri penentuan grid dan interval. Semakin kecil spasi maka titik bantu semakin banyak.

Pembuatan objek geometri yang berupa garis-garis dan titik-titik pengaplikasiannya bisa menggunakan mouse pada bidang gambar atau dapat menggunakan menu pada *tool bar* yang disediakan.

b. Input Pembebanan

Penginputan pembebanan terbagi menjadi dua, yaitu pembebanan merata dan pembebanan pusat. Beban pada proses penginputan ini meliputi beban lalu lintas dan beban vakum.

c. Input Data Material

Untuk melakukan *generate mesh*, harus dipastikan jika semua geometri telah diinput materialnya menggunakan *material set*. Pemodelan tipe material harus ditentukan terlebih dahulu. Setelah itu menginput parameter tanah, diantaranya :

- Perbandingan berat tanah dengan isi tanah (γ_{sat})
- Perbandingan berat tanah dengan isi tanah tak jenuh air (γ_{unsat})
- Permeabilitas horizontal (proses meresapnya air ke dalam tanah melalui pori-pori tanah secara horizontal) (K_x)
- Permeabilitas vertikal (proses meresapnya air ke dalam tanah melalui pori-pori tanah secara vertikal) (K_y)
- *Poission ratio* (konstanta elastisitas yang dimiliki setiap material) (μ)
- Modulus elastisitas (ketahanan bahan) (E)
- Kohesi (gaya tarik menarik antar partikel tanah) (c)
- Sudut geser (sudut yang berasal dari hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada material tanah (ϕ))
- Sudut dilatasi (pemisah atau penghubung pada bangunan akibat suatu hal yang memiliki sistem struktur berbeda) (Ψ)

d. Input Kondisi Awal (*Initial Condition*)

e. Initial Condition adalah kondisi penentuan ketinggian muka air tanah dan kondisi hidrostatik pada pemodelan geometri yang telah dibuat pada Plaxis. Terdapat beberapa tahapan di kondisi awal ini yaitu :

- Penentuan tinggi muka air tanah
- Pengaktifan tekanan air pori
- Pengaktifan mode geometri
- Pengaktifan tekanan efektif tanah

3. Perhitungan (*Calculations*)

Tahap kalkulasi dapat dilakukan setelah penginputan model geometri, beban yang bekerja, dan data material yang digunakan telah selesai, serta mengatur *initial conditions*. Tahapannya adalah sebagai berikut.

- Untuk memulai perhitungan, klik *Calculate* dengan *calculation type* yaitu *plastic*. Terdapat empat tipe kalkulasi yaitu *plastic*, *consolidation*, *phi-c reduction*, *dynamic analysis*. Tipe kalkulasi *plastic* merupakan tipe perhitungan yang biasanya digunakan untuk mengkalkulasi proses konstruksi secara bertahap.
- Pada bagian parameters pilih *ignore undrained behavior* dan *reset displacements to zero* kemudian *define*.
- Setelah itu, menentukan tahapan-tahapan konstruksi yang akan dilakukan mulai dari penimbunan hingga pemasangan pondasi. Hal tersebut dikarenakan program Plaxis yang berbasis konstruksi bertahap.

4. Output Data

Setelah proses perhitungan selesai maka akan didapatkan hasil kalkulasi. *Output* dari program Plaxis ini antara lain waktu dan total konsolidasi pada tanah, *displacement*, *shear*, serta momen pada *slab on pile*.

5. Kesimpulan

Dari hasil *output* data yang telah diperoleh dapat ditarik kesimpulan mengenai penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan diambil dengan mengarah pada inti permasalahan yang didasarkan pada hasil analisis.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Analisis

Data analisis adalah data yang akan digunakan untuk proses analisis menggunakan *Plaxis*. Data yang digunakan yaitu data parameter lapisan tanah, data parameter timbunan, dan data desain *slab on pile*. Sumber data didapatkan dari data sekunder Proyek Pembangunan Jalan Tol di daerah Tangerang Utara dan korelasi untuk data yang belum tersedia.

Tabel 4. 1 Parameter Lapisan Tanah

GWL = 1.5 m

No	Kedalaman	Konsistensi	N-SPT	Model	Tipe	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	c (kN/m ²)	ϕ	ψ	k (m/day)	e_{min}
1	0 - 2	Medium stiff brown clay	5	MC	Undrained	16	18	5000	0.35	31	25	0	0.000864	0.6
2	2 - 5.5	Soft grey clay	2.5	MC	Undrained	16	17	3000	0.35	15	23	0	0.000864	1
3	5.5 - 8	Very soft brown clay	1.5	MC	Undrained	15	16	2000	0.35	6	20	0	0.000864	1.2
4	8 - 19	Very soft brown silt	1.6	MC	Undrained	15	16	2000	0.35	6	27	0	0.00864	1.2
5	19 - 20	Medium stiff brown sandy clay	5	MC	Undrained	16	18	5000	0.35	31	25	0	0.00432	0.6
6	20 - 35	Soft brown to dark brown clay (continued)	3	MC	Undrained	16	17	3000	0.35	15	23	0	0.000864	1
7	35 - 41.55	Soft grey clay	6	MC	Undrained	16	18	6000	0.35	15	23	0	0.000864	1
8	41.55 - 46	Loose to medium grey dense clayey sand	10.3	MC	Drained	14	19	7000	0.35	5	30	0	0.35	0.4
9	46 - 49	Dense grey clayey sand	31	MC	Drained	16	22	22000	0.35	48	37	0	0.35	0.4
10	49 - 60	Stiff to very stiff grey clay ; Found a layer of medium stiff grey at 53.00 - 54.00	14	MC	Undrained	18	20	15000	0.35	48	25	0	0.000864	0.6
11	60 - 62	Hard brown sandy clay	57	MC	Undrained	20	22	60000	0.35	48	25	0	0.00432	0.6

Dari tabel parameter tanah di atas dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah pada kedalaman 0-8 m merupakan tanah lempung, lapisan tanah pada kedalaman 8-19 m merupakan tanah lanau, kemudian pada tanah kedalaman 19-41.55 m berupa tanah lempung, pada lapisan tanah kedalaman 41.55-49 m merupakan jenis tanah pasir, dan yang terakhir pada tanah kedalaman 49-62 m merupakan jenis tanah lempung.

Tabel 4. 2 Parameter Tanah Timbunan

Konsistensi	Material Model	Drainage Type	Groundwater Soil Type	γ_{unsat}	γ_{sat}	Cc	Cs	c (kN/m ²)	Phi (°)	Ksat (m/day)	v	e _{init}	E kN/m ²
Timbunan	Mohr-Coulomb	Undrained (A)	Medium	16	18	-	-	10	25	1.00E-01	0.3	0.6	11000

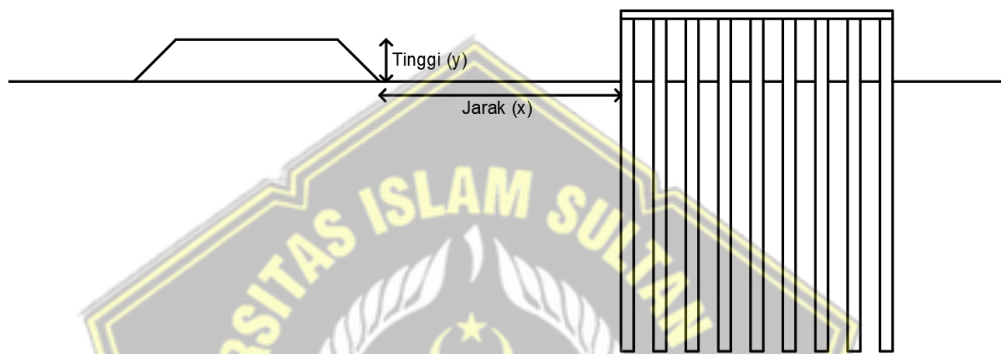
Tabel 4. 3 Parameter *Slab on Pile*

fc' = 52 Mpa

No.	Konsistensi	Kedalaman (m)	Tipe	E (kN/m)	γ_{batuan} (kN/m ³)	d (m)	L _{spacing} (m)	F _{max} (kN)
1	Pile	47	Elastic	33892182	24	0.6	3.50	8266

4.2. Proses Analisis

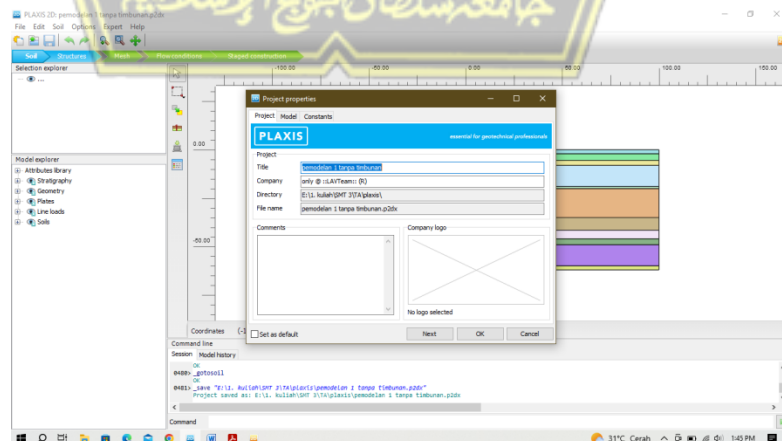
Analisis untuk menentukan jarak dan tinggi timbunan yang aman agar tidak terjadi kegagalan pada struktur *slab on pile* menggunakan bantuan aplikasi *Plaxis* V20. Pada analisis ini digunakan dua variable tinggi (x) dan dua variable jarak (y) timbunan sehingga terdapat empat pemodelan. Hasil dari analisis program *Plaxis* antara lain *total displacement*, *excess pore pressure*, dan *safety factor*. Selain itu, pada program *Plaxis* V20 juga dapat diperoleh *bending moment*, *shear force*, *axial force*, dan *total displacement* pada *pile* untuk menentukan kelayakan struktur *pile*.



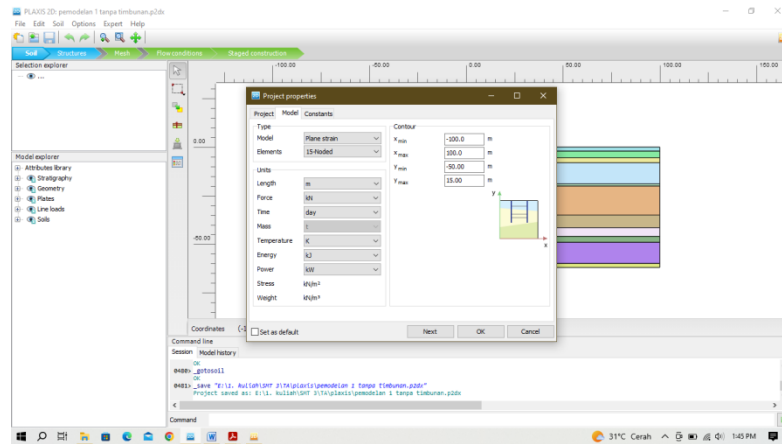
Gambar 4. 1 Ilustrasi Pemodelan

4.2.1. Pemodelan Tanpa Timbunan

1. Tahap awal pada pemodelan menggunakan *Plaxis* yaitu memberi nama file pada *tab project*, kemudian mengatur tipe pemodelan (*plane strain*), unit, serta *contour* pada *tab model*.

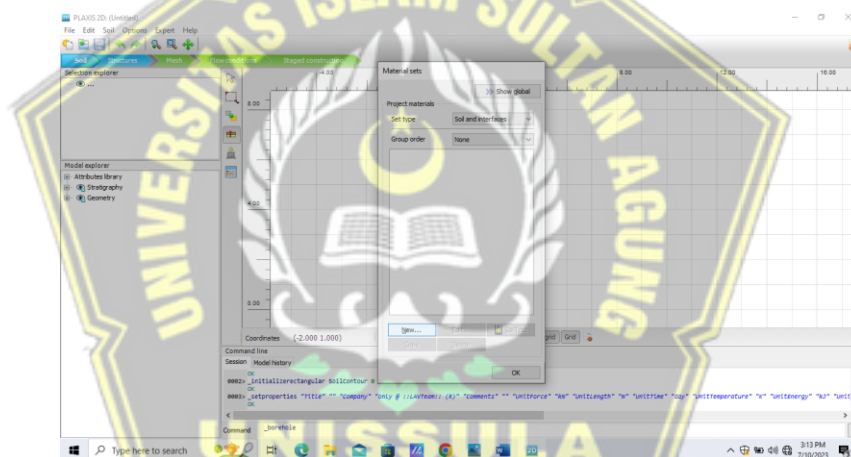


Gambar 4. 2 Pemberian Nama Project



Gambar 4. 3 Setting Tipe Pemodelan

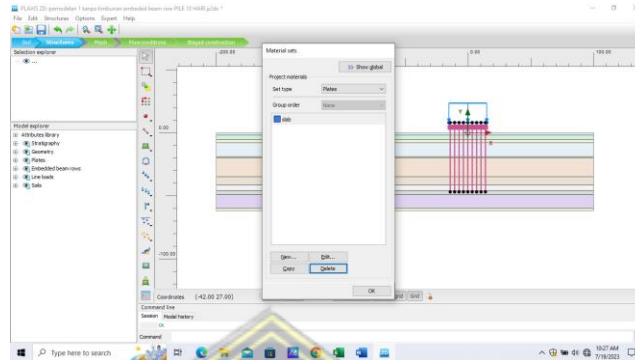
2. Pada *tab soil* klik ikon *borehole*  untuk membuat pemodelan lapisan tanah. Selanjutnya mengatur *material sets* dengan *set type soil and interface*, kemudian klik *new* untuk menambahkan parameter jenis tanah.



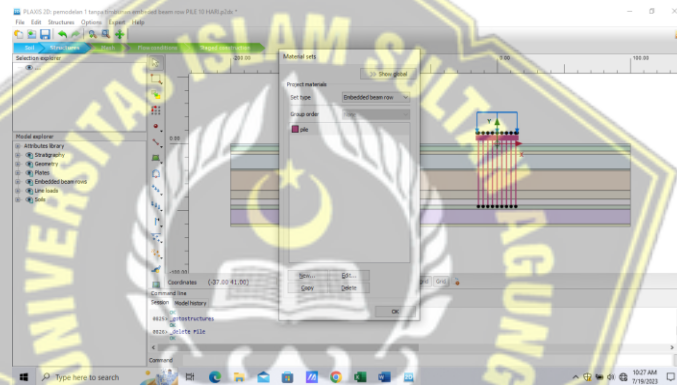
Gambar 4. 4 Mengatur Lapisan dan Parameter Tanah

3. Pada pengaturan parameter tanah, data yang diinputkan yaitu : γ_{unsat} , γ_{sat} , E , ν , c , ϕ , ψ , k , dan e_{init} . tipe pemodelannya *mohr-coulomb*, dan untuk *drainage type* pada tanah pasir menggunakan *drained* sedangkan pada tanah lempung menggunakan *undrained* (A).

5. Setelah melakukan pemodelan struktur *slab* dan *pile*, tahap selanjutnya mengatur *material set* dengan *set type Plates*, kemudian klik *new* untuk menambahkan parameter *slab*. Parameter *pile* dapat ditambahkan dengan mengatur *material set* dengan *set type embedded beam row*.

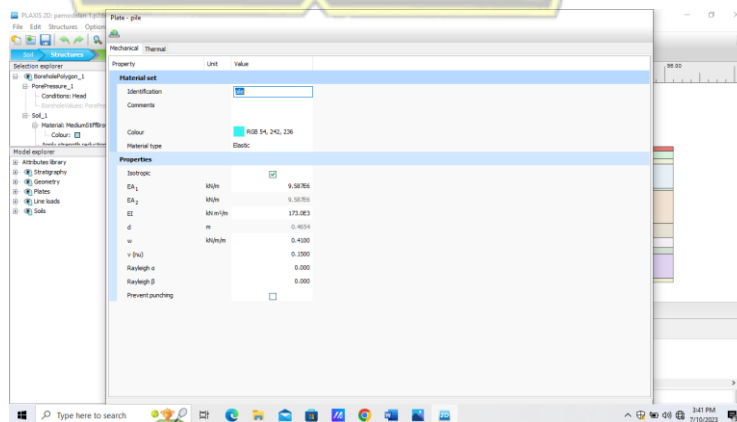


Gambar 4. 8 Mengatur Parameter Slab

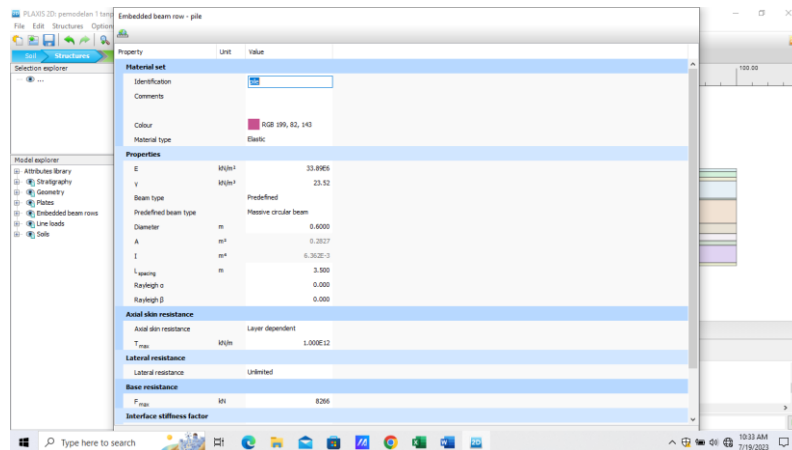


Gambar 4. 9 Mengatur Parameter Pile

6. Pada pengaturan parameter *slab*, data yang diinputkan yaitu : EA, EI, w, v, dan tipe pemodelannya *elastic*. Pada pengaturan parameter *pile*, data yang diinputkan yaitu : E, γ_{beton} , d, L_{spacing} , dan F_{max} .

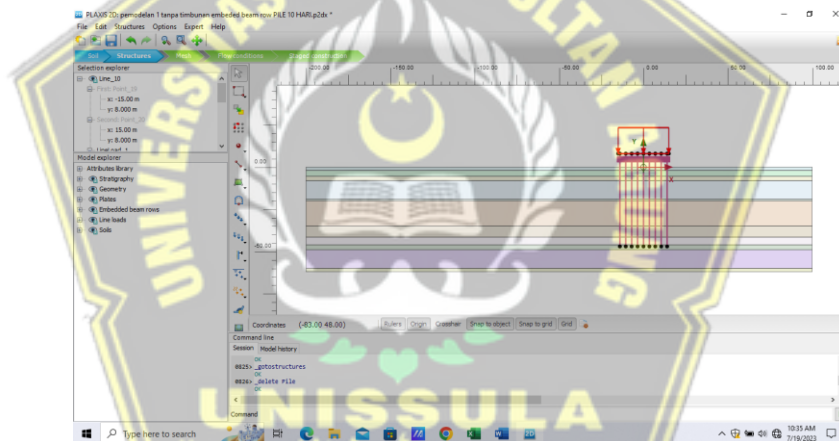


Gambar 4. 10 Penginputan Data Slab

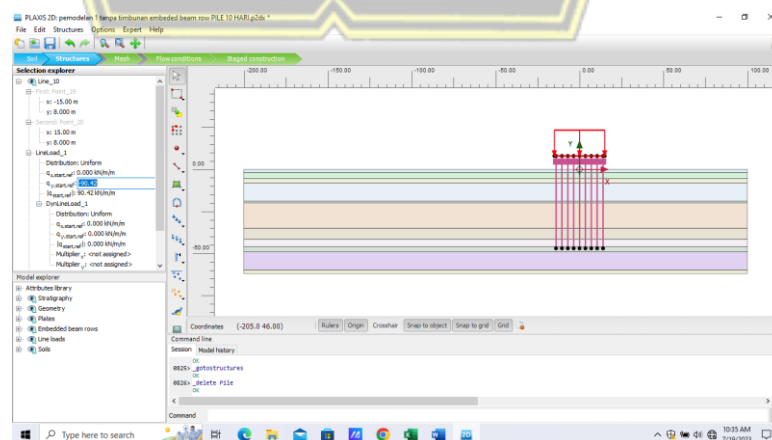


Gambar 4. 11 Penginputan Data Pile

7. Proses selanjutnya yaitu melakukan penginputan beban lalu lintas dengan klik ikon *create load* kemudian dilanjutkan klik *create line load*. Gambar beban lalu lintas sepanjang struktur *slab*. Beban lalu lintas yang diinputkan sebesar 90,42 kN/m.

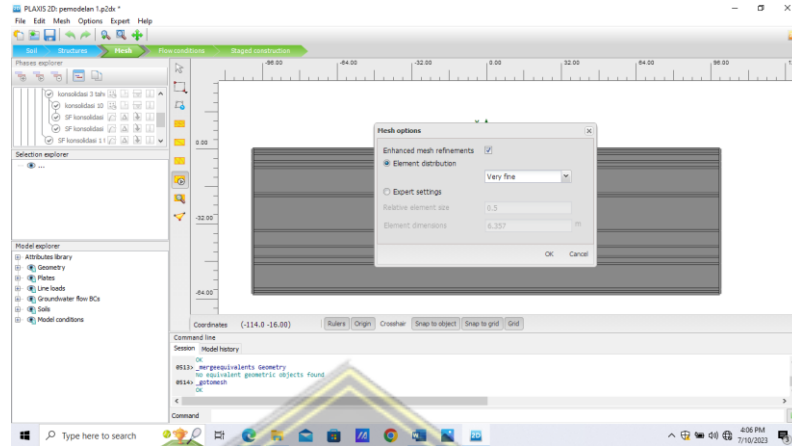


Gambar 4. 12 Pembuatan Beban Lalu Lintas



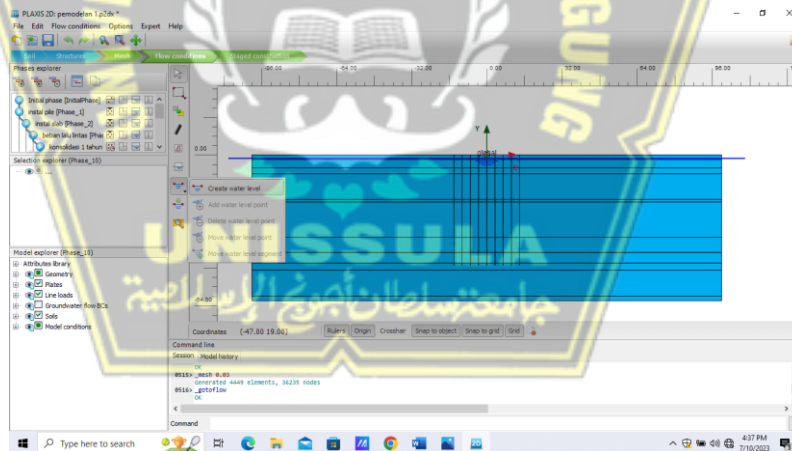
Gambar 4. 13 Penginputan Beban Lalu Lintas

8. Selesai menginput data-data pada *tab structure*, dilanjutkan pada tahapan *tab mesh*. Untuk mengatur elemen *mesh*, klik pada ikon *generate mesh*, kemudian *setting element distribution* menjadi *very fine*, kemudian klik OK.



Gambar 4. 14 Menyusun Elemen Mesh

9. Tahapan selanjutnya yaitu klik *tab flow condition* untuk mengatur kedalaman muka air tanah. Penggambaran garis muka air tanah dapat dilakukan dengan klik ikon *create water level*. Pada proyek ini kedalaman muka air tanah berdasarkan data *bor log* berada di kedalaman 1,5 m.



Gambar 4. 15 Penginputan Muka Air Tanah

10. Jika penginputan muka air tanah sudah dilakukan, selanjutnya masuk kedalam tahapan *tab staged construction* untuk menginput tahapan *calculation*. Tahapan *calculation* dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

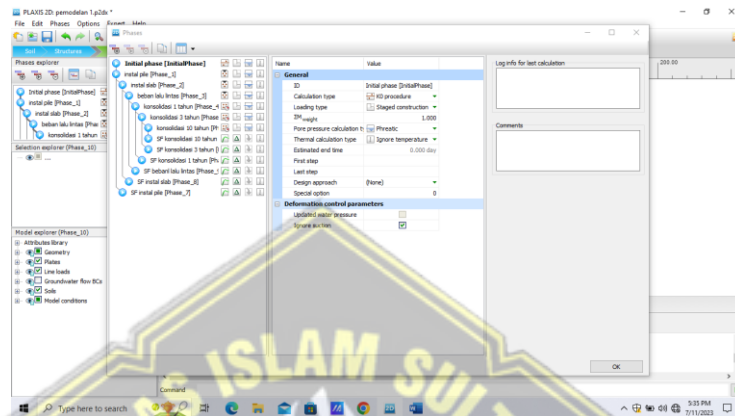
Tabel 4. 4 Tahapan Calculation pada Plaxis

<i>Identification</i>	<i>Phase</i>	<i>Start form</i>	<i>Calculation</i>	<i>Loading Type</i>	<i>Time (day)</i>
<i>Initial Phase</i>	0	0	N/A	N/A	0
<i>Instal Pile</i>	1	0	<i>Plastic</i>	<i>Staged Construction</i>	10
<i>Instal Slab</i>	2	1	<i>Plastic</i>	<i>Staged Construction</i>	28
Beban Lalu Lintas	3	2	<i>Plastic</i>	<i>Staged Construction</i>	1
Konsolidasi 1 Tahun	4	3	<i>Consolidation</i>	<i>Staged Construction</i>	365
Konsolidasi 3 Tahun	5	4	<i>Consolidation</i>	<i>Staged Construction</i>	730
Konsolidasi 10 Tahun	6	5	<i>Consolidation</i>	<i>Staged Construction</i>	2555
Konsolidasi 15 Tahun	7	6	<i>Consolidation</i>	<i>Staged Construction</i>	1825
<i>SF Instal Pile</i>	8	1	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>	0
<i>SF Instal Slab</i>	9	2	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>	0
<i>SF Beban Lalu Lintas</i>	10	3	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>	0
<i>SF Konsolidasi 1 Tahun</i>	11	4	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>	0
<i>SF Konsolidasi 3 Tahun</i>	12	5	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>	0
<i>SF Konsolidasi 10 Tahun</i>	13	6	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>	0
<i>SF Konsolidasi 15 Tahun</i>	14	7	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>	0

Tabel diatas adalah tahapan pekerjaan, berikut penjelasan pada tiap tahapan yang dikerjakan pada proses kalkulasi program *Plaxis*.

a. *Initial Phase*

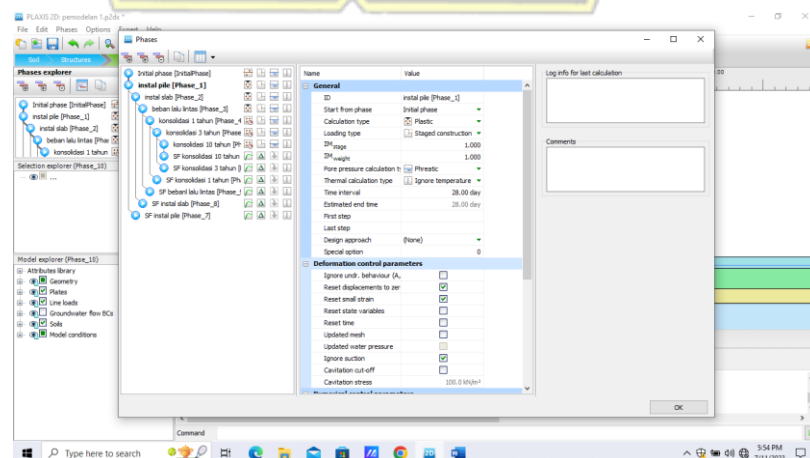
Initial Phase merupakan fase awal tanah sebelum ada pekerja konstruksi. Pada tahap *Initial Phase* digunakan untuk melakukan kalkulasi dengan pemberian nama awal ID *Initial Phase*, setelah itu atur tipe kalkulasi *K0 Procedure*, *Loading Type* menjadi *Stage Constuction*, dan *Pore Pressure Calculation Type* menjadi *Phreatic*.



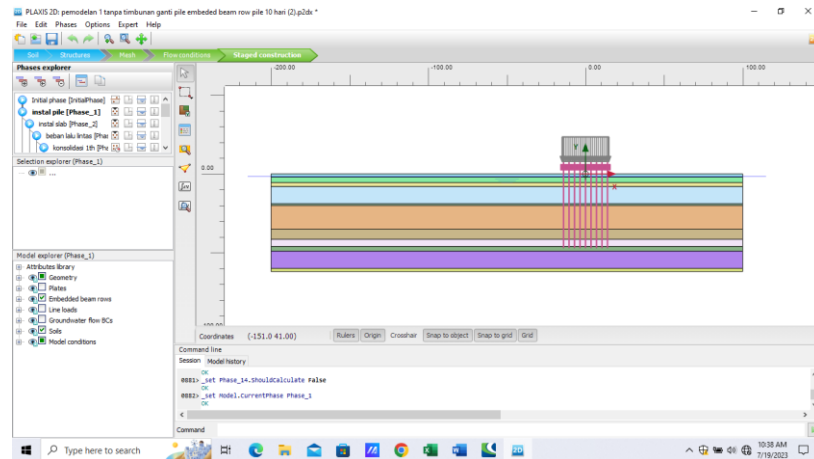
Gambar 4. 16 Input Initial Phase

b. *Instal Pile*

Pada tahapan ini dilakukan konstruksi pekerjaan pemancangan *pile*. Untuk menambahkan tahapan konstruksi *Instal Pile* klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada ID diberi nama *Instal Pile*, *start from phase* menjadi *Initial Phase*, pada *calculation type* menjadi *plastic*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, selanjutnya pada *Pore pressure calculation type* menjadi *Phreatic*. Atur lama waktu konstruksi selama 10 hari.



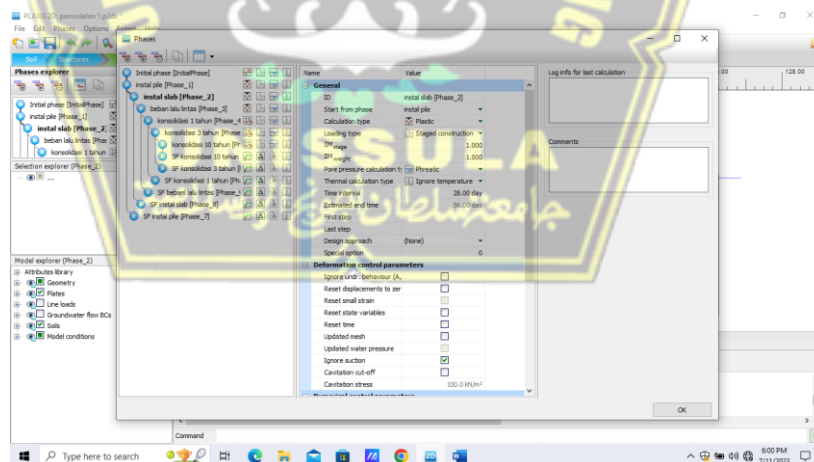
Gambar 4. 17 Input Phase Instal Pile



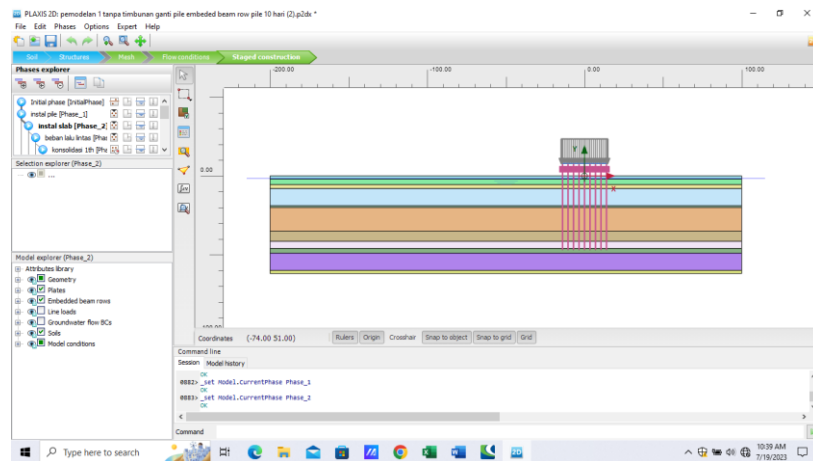
Gambar 4. 18 Define Phase Instal Pile

c. Instal Slab

Pada tahapan ini dilakukan konstruksi pekerjaan *slab*. Untuk menambahkan tahapan konstruksi *Instal Slab* klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada ID diberi nama *Instal Slab*, *start from phase* menjadi *Instal Pile*, pada *calculation type* menjadi *plastic*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, selanjutnya pada *Pore pressure calculation type* menjadi *Phreatic*. Atur lama waktu konstruksi selama 28 hari.



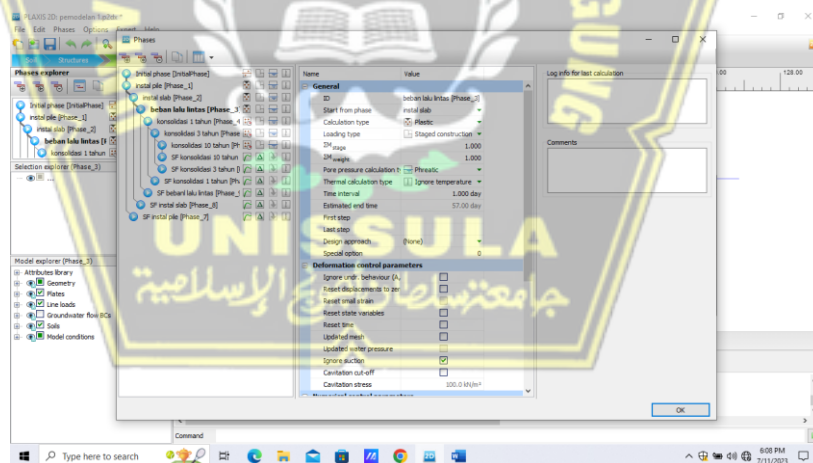
Gambar 4. 19 Input Phase Instal Slab



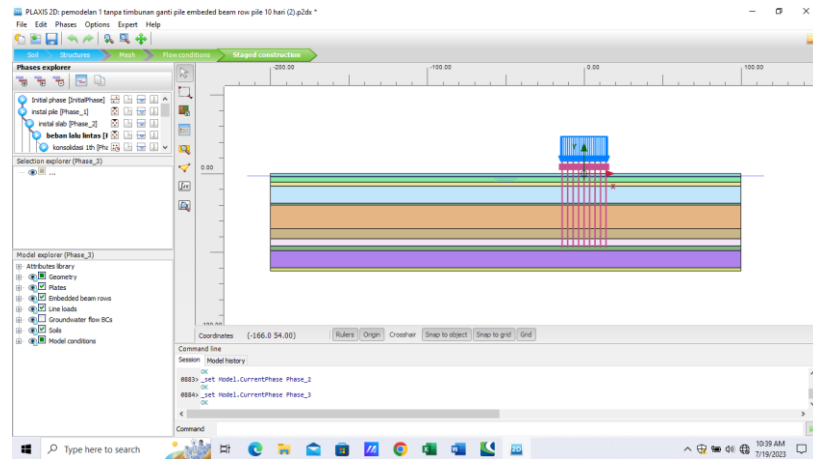
Gambar 4. 20 Define Phase Instal Slab

d. Beban Lalu Lintas

Pada tahapan ini dilakukan penginputan beban lalu lintas. Untuk menambahkan beban lalu lintas klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada ID diberi nama beban lalu lintas, *start from phase* menjadi *Instal Slab*, pada *calculation type* menjadi *plastic*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, selanjutnya pada *Pore pressure calculation type* menjadi *Phreatic*. Atur lama waktu konstruksi selama 1 hari.



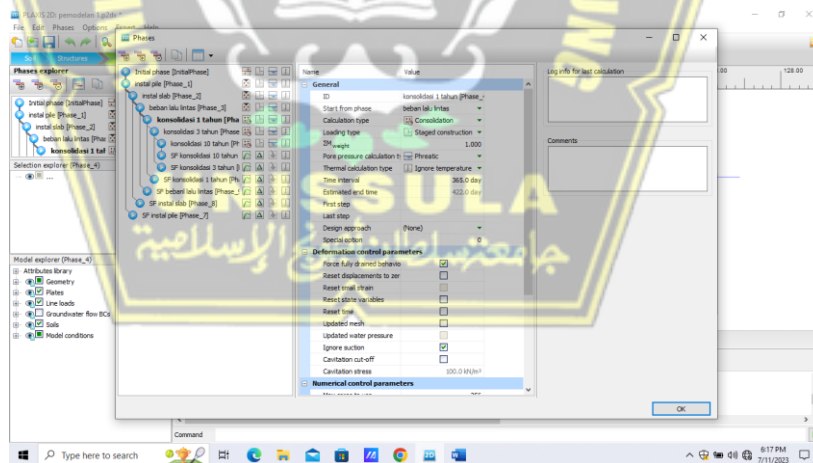
Gambar 4. 21 Input Beban Lalu Lintas



Gambar 4. 22 Define Phase Beban Lalu Lintas

e. Konsolidasi 1 Tahun

Pada tahapan ini dilakukan penginputan fase konsolidasi 1 tahun. Untuk menambahkan konsolidasi 1 tahun klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada ID diberi nama konsolidasi 1 tahun, *start from phase* menjadi beban lalu lintas, pada *calculation type* menjadi *consolidation*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, selanjutnya pada *Pore pressure calculation type* menjadi *Phreatic*. Atur lama waktu konstruksi selama 365 hari.

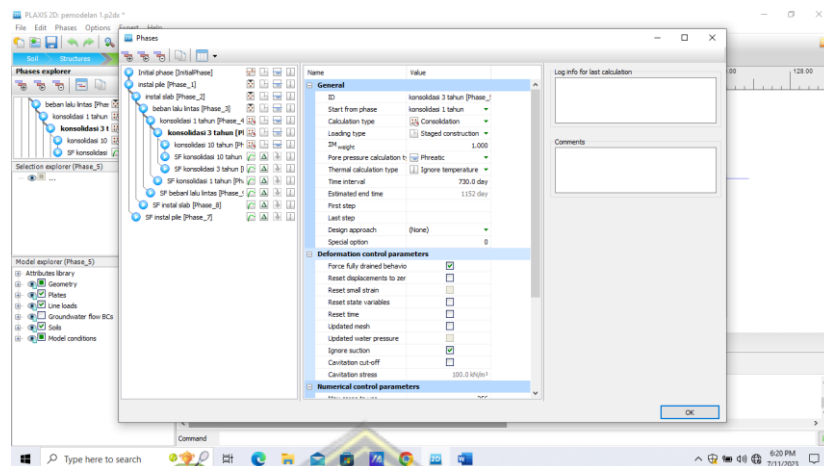


Gambar 4. 23 Input Konsolidasi 1 Tahun

f. Konsolidasi 3 Tahun

Pada tahapan ini dilakukan penginputan fase konsolidasi 3 tahun. Untuk menambahkan konsolidasi 3 tahun klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada ID diberi nama konsolidasi 3 tahun, *start from phase* menjadi konsolidasi 1 tahun, pada *calculation type* menjadi *consolidation*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, selanjutnya pada *Pore pressure*

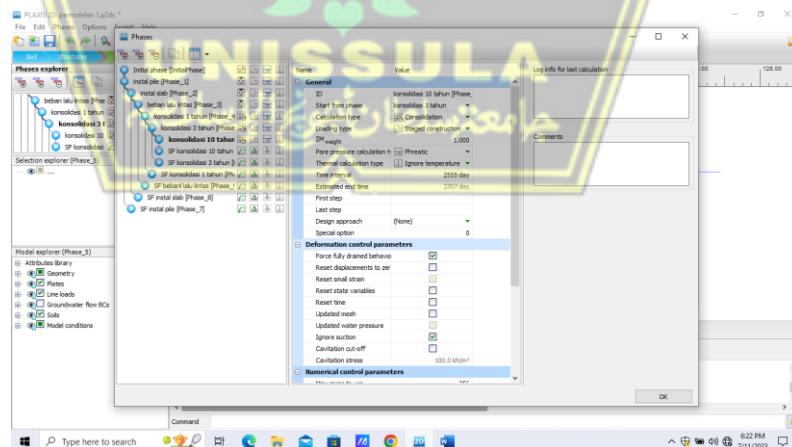
calculation type menjadi *Phreatic*. Atur lama waktu konstruksi selama 730 hari.



Gambar 4. 24 *Input Konsolidasi 3 Tahun*

g. Konsolidasi 10 Tahun

Pada tahapan ini dilakukan penginputan fase konsolidasi 10 tahun. Untuk menambahkan konsolidasi 10 tahun klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada ID diberi nama konsolidasi 10 tahun, *start from phase* menjadi konsolidasi 3 tahun, pada *calculation type* menjadi *consolidation*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, selanjutnya pada *Pore pressure calculation type* menjadi *Phreatic*. Atur lama waktu konstruksi selama 2555 hari.

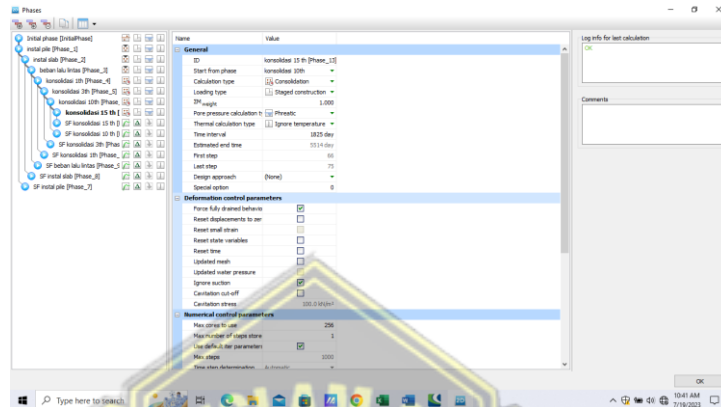


Gambar 4. 25 *Input Konsolidasi 10 Tahun*

h. Konsolidasi 15 Tahun

Pada tahapan ini dilakukan penginputan fase konsolidasi 15 tahun. Untuk menambahkan konsolidasi 15 tahun klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada

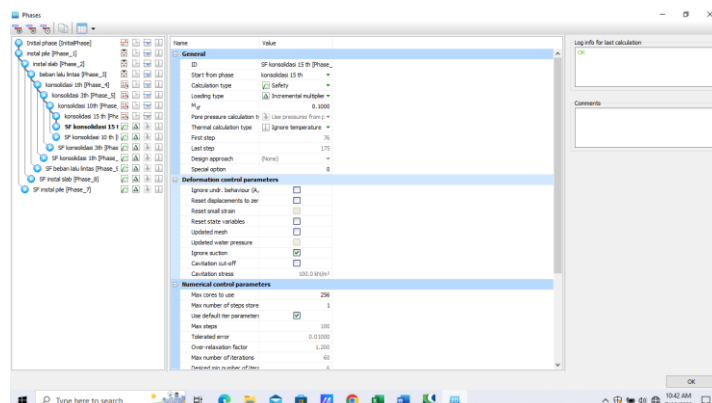
ID diberi nama konsolidasi 15 tahun, *start from phase* menjadi konsolidasi 10 tahun, pada *calculation type* menjadi *consolidation*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, selanjutnya pada *Pore pressure calculation type* menjadi *Phreatic*. Atur lama waktu konstruksi selama 1825 hari.



Gambar 4. 26 Konsolidasi 15 Tahun

i. Safety Factor (SF)

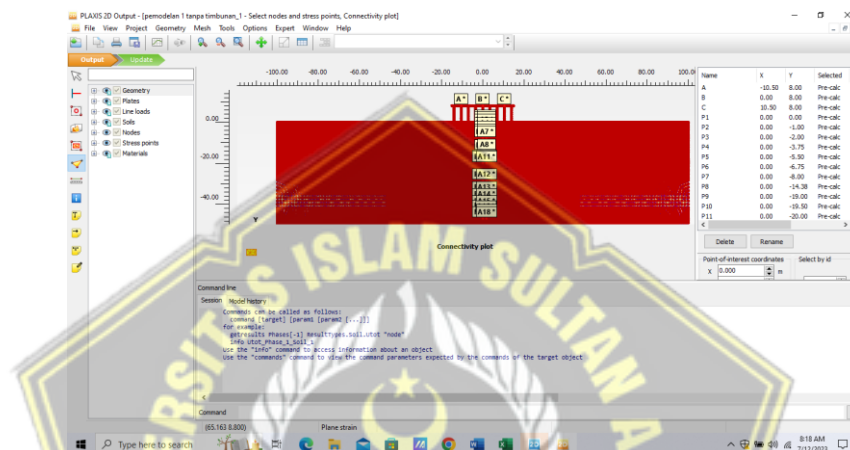
Setiap pekerjaan konstruksi yang menggunakan program *Plaxis* perlu dicek nilai *safety factor (SF)*. Hal ini dilakukan untuk memeriksa setiap pekerjaan sudah aman dan tidak terjadi kerusakan. Pemeriksaan *SF* dimulai dari pekerjaan pemasangan *pile* dan berakhir di fase konsolidasi 15 tahun. Untuk menambahkan nilai *SF* klik ikon *Add Phase*. Kemudian pada ID diberi nama *SF* (nama tahapan pekerjaan), *start from phase* menjadi tahap pekerjaan yang ingin dicek nilai *SF* nya, pada *calculation type* menjadi *safety*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Incremental Multiplier*.



Gambar 4. 27 Input Phase Safety Factor

11. Menentukan Titik Tinjau *Displacement*

Kurva antara *settlement* (penurunan tanah) dengan *depth* (kedalaman) dapat dilakukan dengan mengklik ikon *select point for curve* untuk menuju laman *output* dari program plaxis. Berikan titik *node* pada *slab* (ABC), sepanjang *pile* pada salah satunya (P1-P18), beri juga *node* pada lapisan tanah sepanjang tiang *pile* (A1-A18). Kemudian klik *update*, selanjutnya untuk memulai proses kalkulasi klik ikon *calculate*. Untuk melihat hasil kalkulasi klik ikon *view calculation result*.

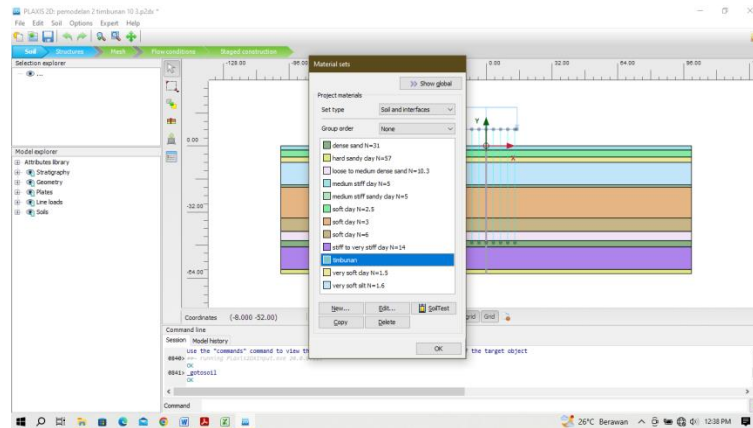


Gambar 4. 28 Input Titik Tinjau

4.2.2. Pemodelan dengan Timbunan

Pada pemodelan dengan timbunan terdapat empat pemodelan dengan variasi tinggi timbunan 3 m dan 7 m, dan jarak timbunan dari struktur *pile* yaitu 10 m dan 15 m. Konstruksi timbunan didesain per 1 m dengan kemiringan 1:2.

1. Langkah awal yang perlu dilakukan yaitu *input* parameter tanah timbunan pada *tab soil*. Pada *material sets* atur *set type* menjadi *soil and interface*, kemudian klik *new* untuk menambahkan parameter tanah timbunan. Pada pengaturan parameter tanah, data yang diinputkan yaitu : γ_{unsat} , γ_{sat} , E , ν , c , ϕ , k , dan e_{init} . tipe pemodelannya *mohr-coulomb*, dan untuk *drainage type* menggunakan *undrained* (A).

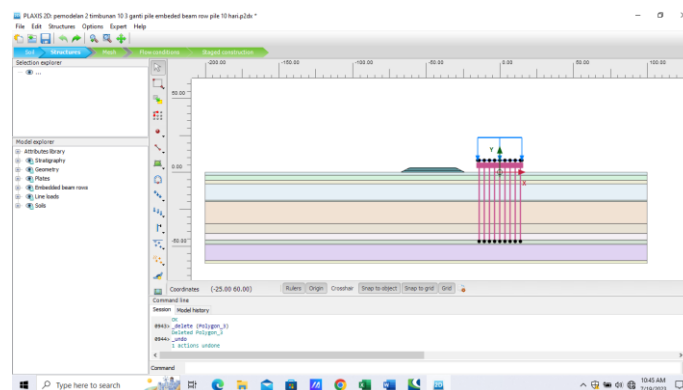


Gambar 4. 29 Penginputan Material Tanah Timbunan

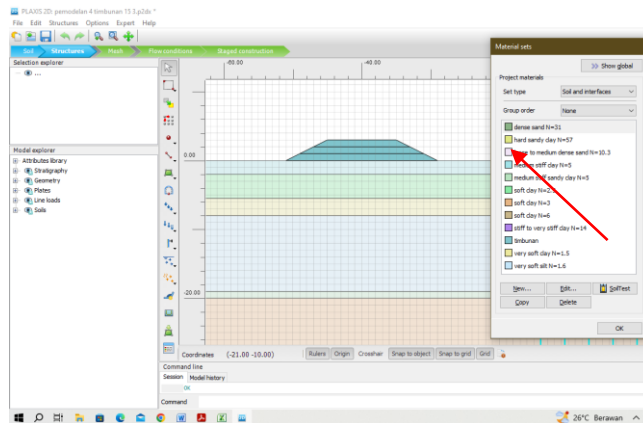


Gambar 4. 30 Penginputan Material Tanah Timbunan

2. Selanjutnya memodelkan tanah timbunan dengan menggambar tanah sesuai variasi jarak timbunan dari struktur *pile*. Kemudian pada *tab structure* klik ikon *create soil polygon*, dan gambar tinggi timbunan per lapisan (1 m) hingga tinggi timbunan sesuai dengan masing-masing variasi. Untuk menginputkan material pada pemodelan yang telah digambar, *drag* material timbunan pada *material sets* ke dalam gambar pemodelan.

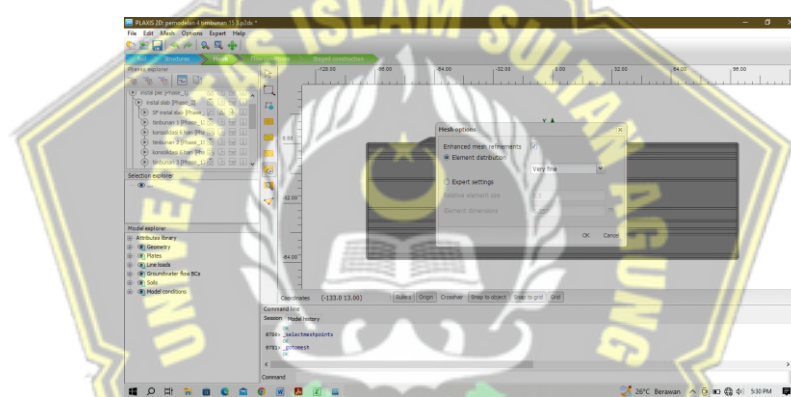


Gambar 4. 31 Menggambar Pemodelan Tanah Timbunan

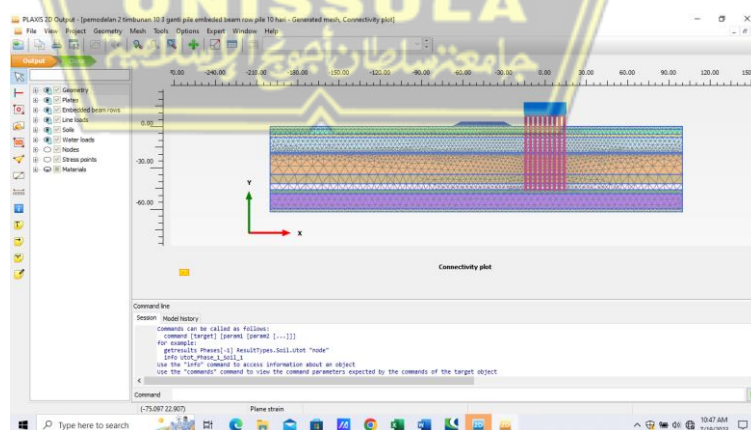


Gambar 4. 32 *Input Material pada Gambar Pemodelan Tanah Timbunan*

- Selesai menginput data-data pada *tab structure*, dilanjutkan pada tahapan *tab mesh*. Untuk mengatur elemen *mesh*, klik pada ikon *generate mesh*, kemudian *setting element distribution* menjadi *very fine*, kemudian klik OK.



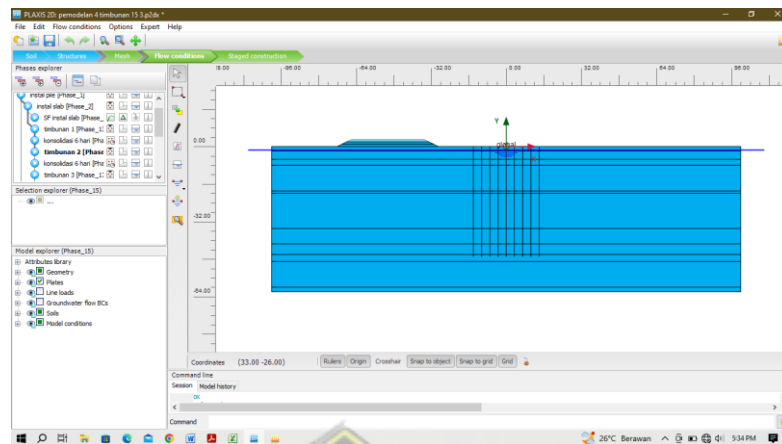
Gambar 4. 33 *Menyusun Elemen Mesh*



Gambar 4. 34 *Hasil Mesh*

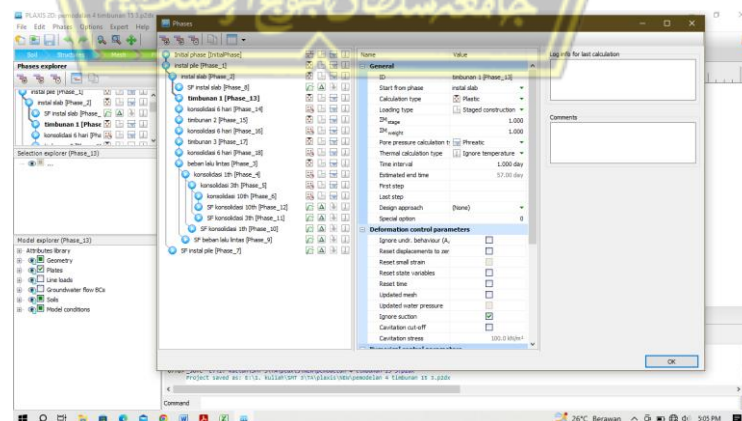
- Tahapan selanjutnya yaitu klik *tab flow condition* untuk mengatur kedalaman muka air tanah. Penggambaran garis muka air tanah dapat dilakukan dengan

klik ikon *create water level*. Pada proyek ini kedalaman muka air tanah berdasarkan data *bor log* berada di kedalaman 1,5 m.

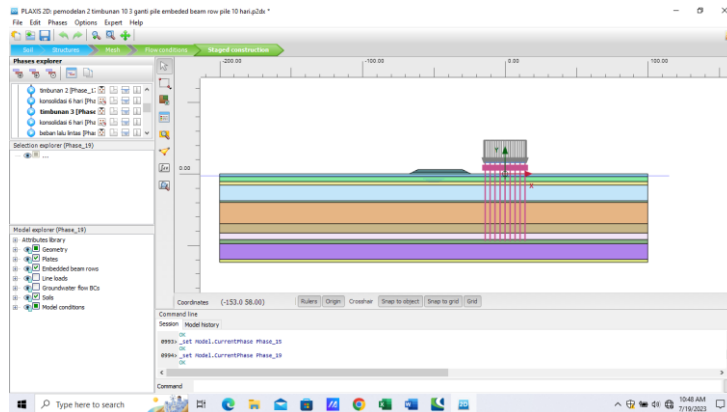


Gambar 4. 35 Penginputan Muka Air Tanah

5. Jika penginputan muka air tanah sudah dilakukan, selanjutnya masuk ke dalam tahapan *tab staged construction* untuk menginput tahapan *calculation*. Tahapan *calculation* tanah timbunan dimulai setelah akhir konstruksi (*install slab*). Proses kalkulasinya meliputi pekerjaan lapisan tanah per-1 m yang diikuti konsolidasi selama 6 hari per-lapisnya. Pada *phase* pekerjaan tanah timbunan, atur *calculation type* menjadi *plastic*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, dan lama waktu konstruksi selama 1 hari. Untuk *phase* konsolidasi tanah timbunan, atur *calculation type* menjadi *consolidation*, lalu pada *loading type* atur menjadi *Stage Construction*, dan lama waktu konstruksi selama 1 hari.



Gambar 4. 36 Input Calculation Tanah Timbunan



Gambar 4. 37 Define Phase Tanah Timbunan

6. Langkah selanjutnya memilih titik tinjau dengan cara klik *select point for curve* untuk menuju laman *output* dari program plaxis. Berikan titik node pada *slab* (ABC), sepanjang *pile* pada salah satunya (P1-P18), beri juga node pada lapisan tanah sepanjang tiang *pile* (A1-A18). Kemudian klik *update*, selanjutnya untuk memulai proses kalkulasi klik ikon *calculate*. Untuk melihat hasil kalkulasi klik ikon *view calculation result*.



Gambar 4. 38 Input Titik Tinjau

4.3. Hasil Analisis

Hasil analisis yang didapatkan dari pemodelan *Plaxis V20* yaitu *total displacement* tiap pekerjaan konstruksi, tekanan air pori berlebih (*excess pore pressure*), *bending moment*, *shear forces*, *axial forces*, dan *horizontal displacement pile*.

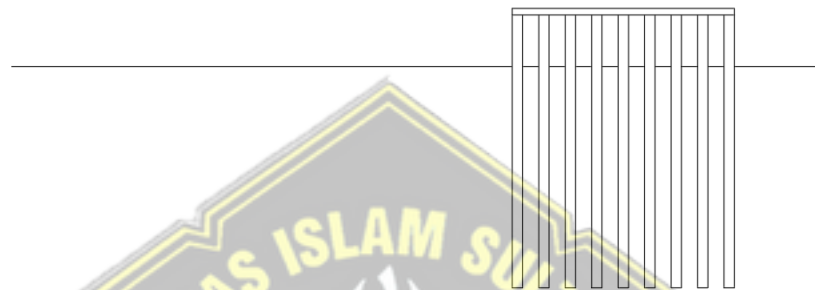
Total displacement adalah besar deformasi total yang terjadi pada struktur. *Excess pore pressure* adalah tekanan air tanah yang mengisi rongga di dalam

butiran tanah. *Bending moment* digunakan untuk mengontrol *crack* atau keretakan pada *pile*, pada konstruksi ini menggunakan *pile* berdiameter 60 cm kelas A1 berjenis *spun pile* yang memiliki nilai *bending moment* kondisi *crack* sebesar 170 kNm berdasarkan tabel PC Piles Wika Beton. Pengertian *shear forces* adalah gaya geser yang terjadi pada *pile*, sedangkan *axial forces* atau gaya aksial merupakan gaya yang bekerja pada pusat aksis dari elemen struktur. Terakhir pengertian *horizontal displacement* adalah besar deformasi lateral yang terjadi pada pondasi tiang, berdasarkan SNI 8460-2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, besar deformasi lateral izin tiang adalah 25 mm.



4.3.1. Pemodelan Tanpa Timbunan

Pemodelan tanpa timbunan adalah bentuk pemodelan struktur *slab on pile* tanpa adanya struktur timbunan.

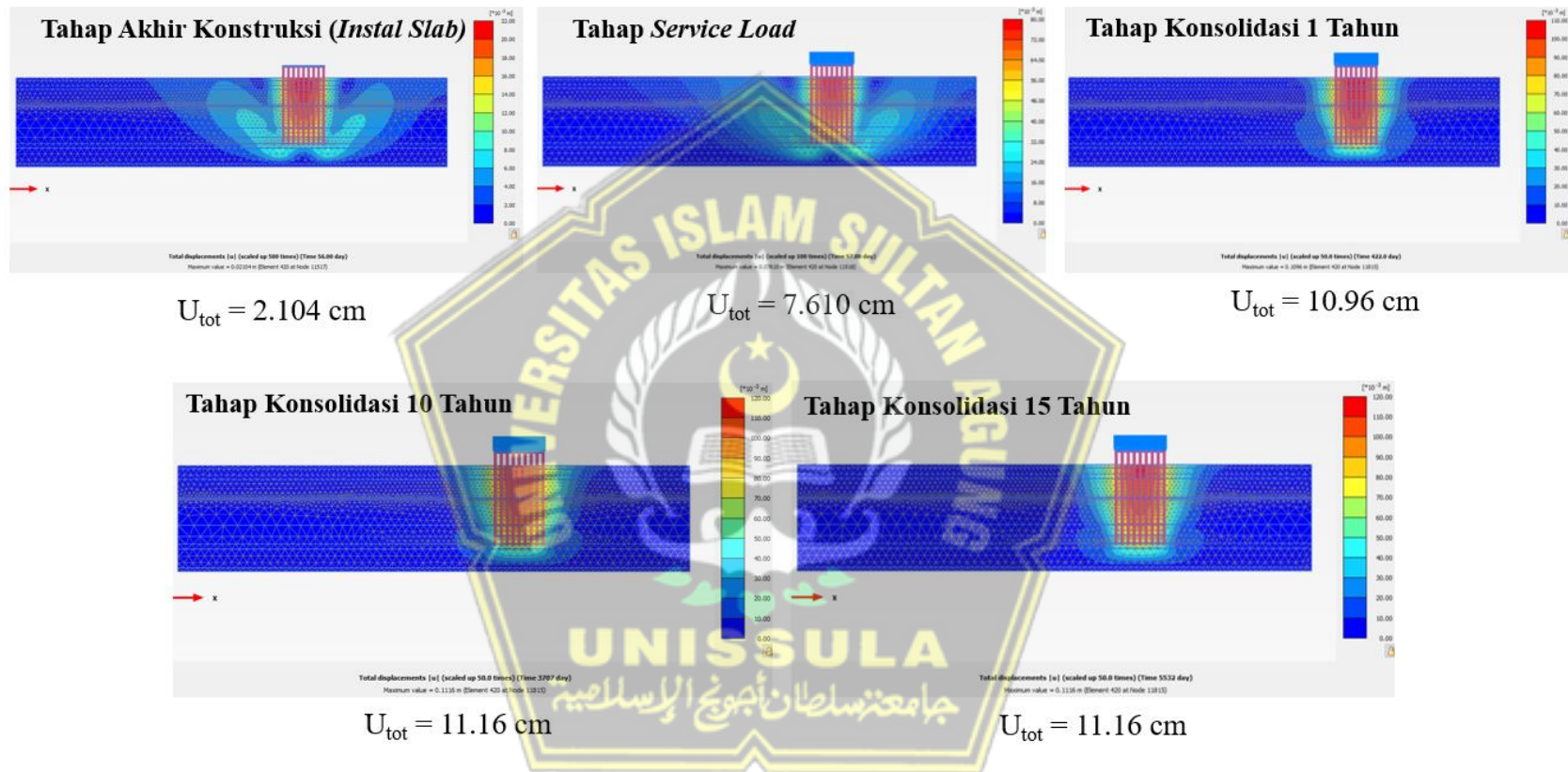


Gambar 4. 39 Pemodelan Tanpa Timbunan

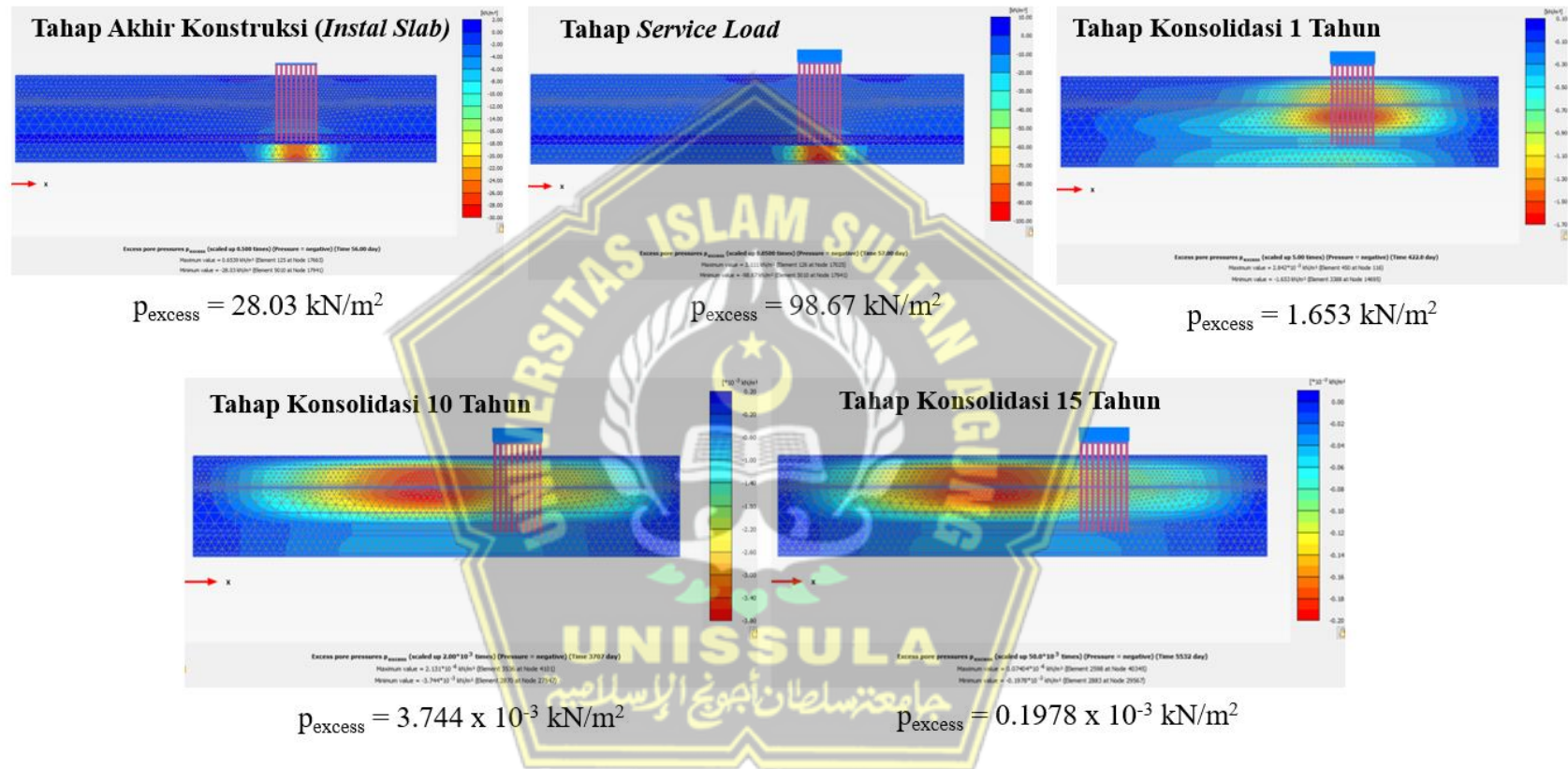
Hasil *output* menggunakan *plaxis* pada pemodelan tanpa timbunan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 5 Hasil *Output* Pemodelan Tanpa Timbunan

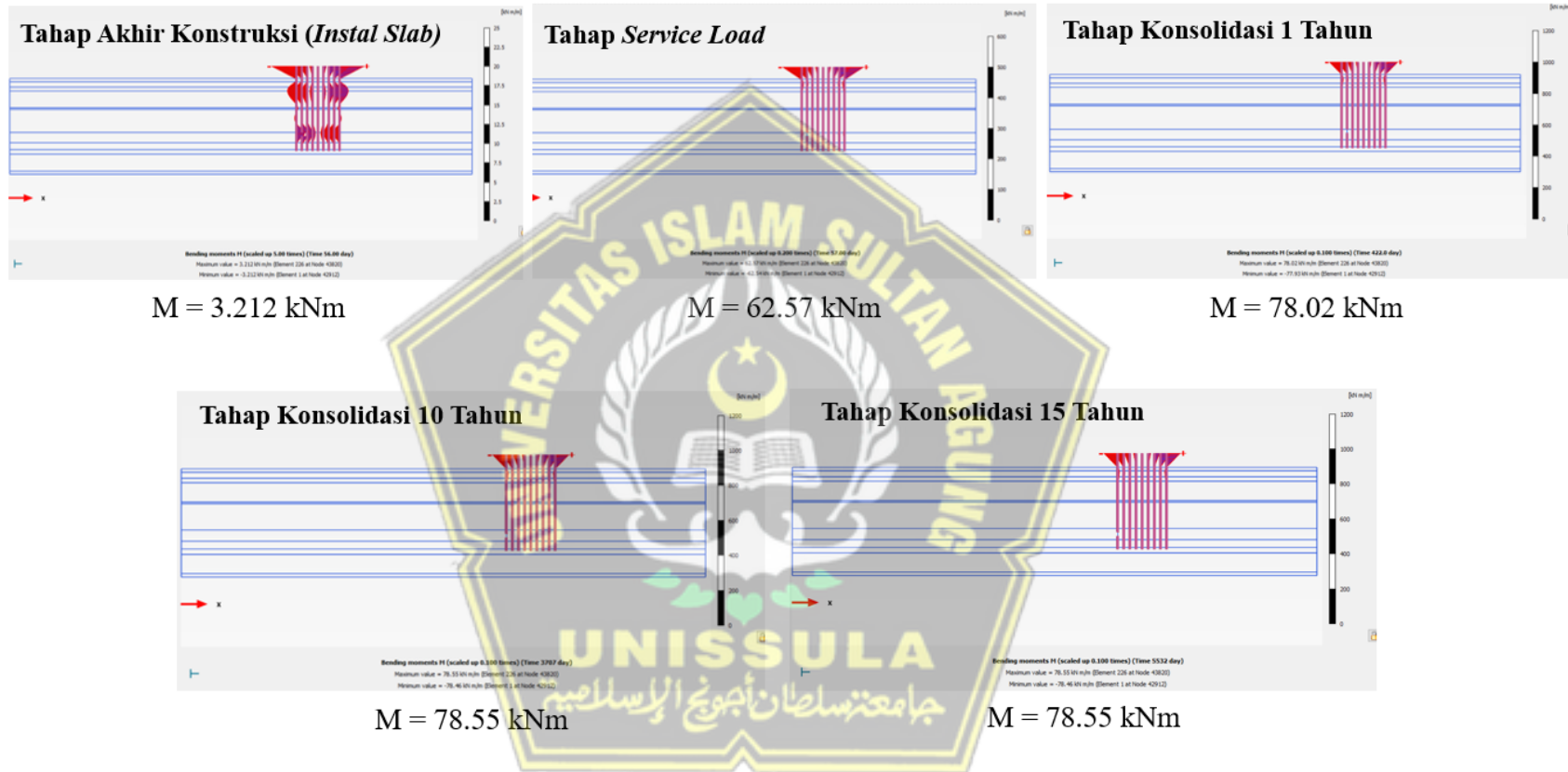
Tahapan Pelaksanaan	Hasil <i>Output</i>					
	<i>Total Displacement</i> (cm)	<i>Excess Pore Pressure</i> (kNm/m ²)	<i>Bending Moment</i> (kNm)	<i>Shear Forces</i> (kN)	<i>Axial Forces</i> (kN)	<i>Horizontal Displacement</i> (mm)
Akhir Konstruksi	2.104	28.03	3.212	0.3882	82.23	0.606
<i>Service Load</i>	7.610	98.67	62.57	7.567	362.6	2.111
Konsolidasi 1 Tahun	10.96	1.653	78.02	9.761	359.5	1.129
Konsolidasi 10 Tahun	11.16	3.744×10^{-3}	78.55	9.779	362.9	1.112
Konsolidasi 15 Tahun	11.16	0.1978×10^{-3}	78.55	9.779	357.5	1.112



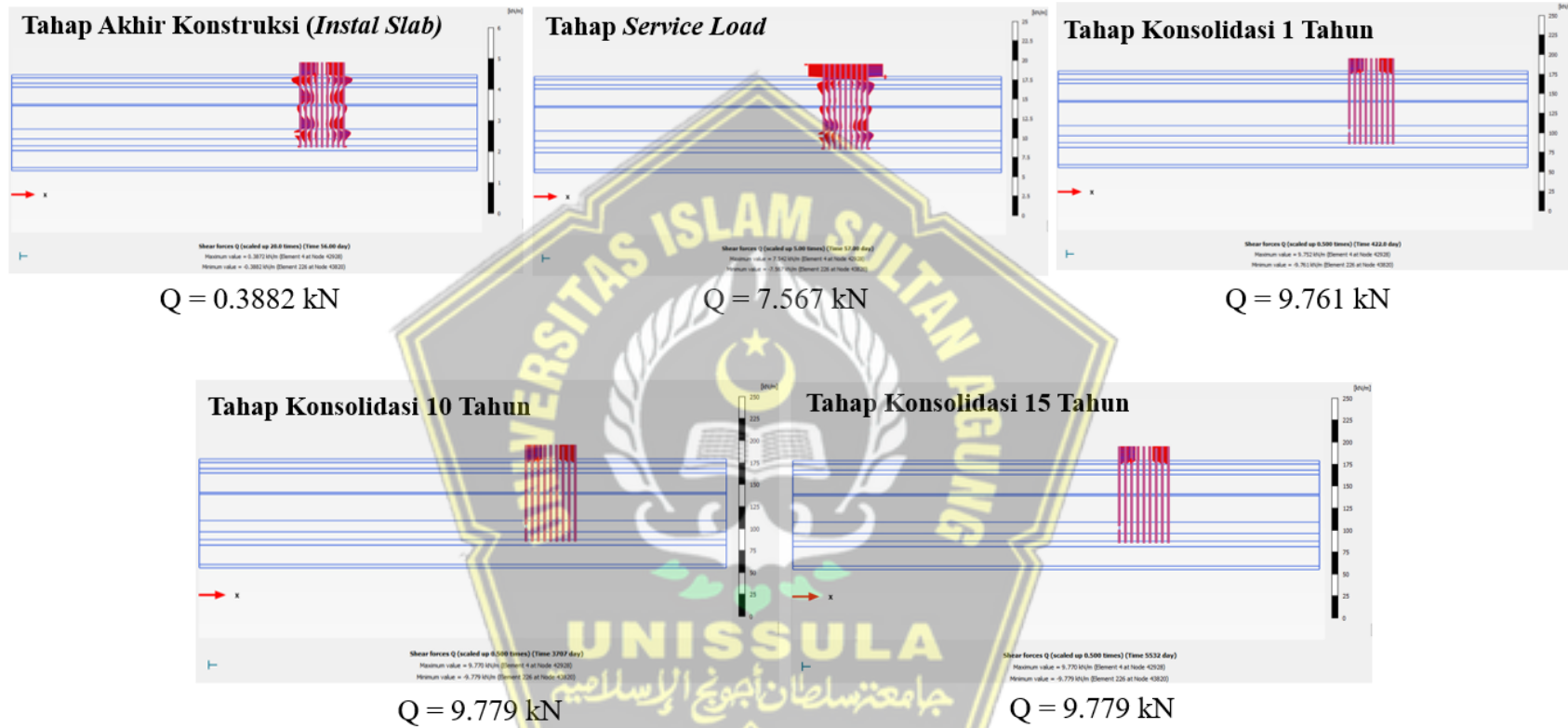
Gambar 4. 40 Total Displacement $|u|$ Tanpa Timbunan



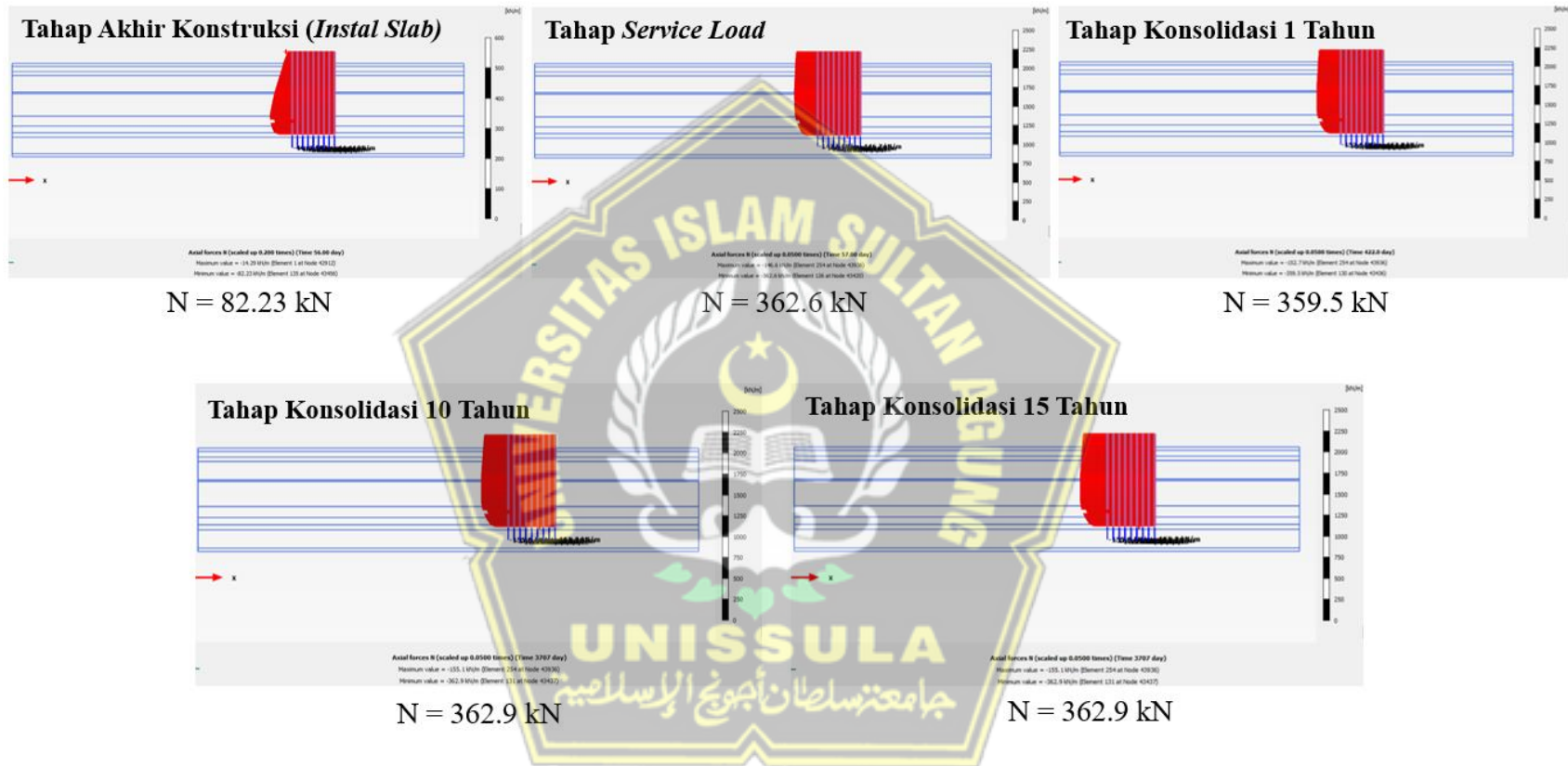
Gambar 4. 41 *Excess Pore Pressure (p_{excess}) Tanpa Timbunan*



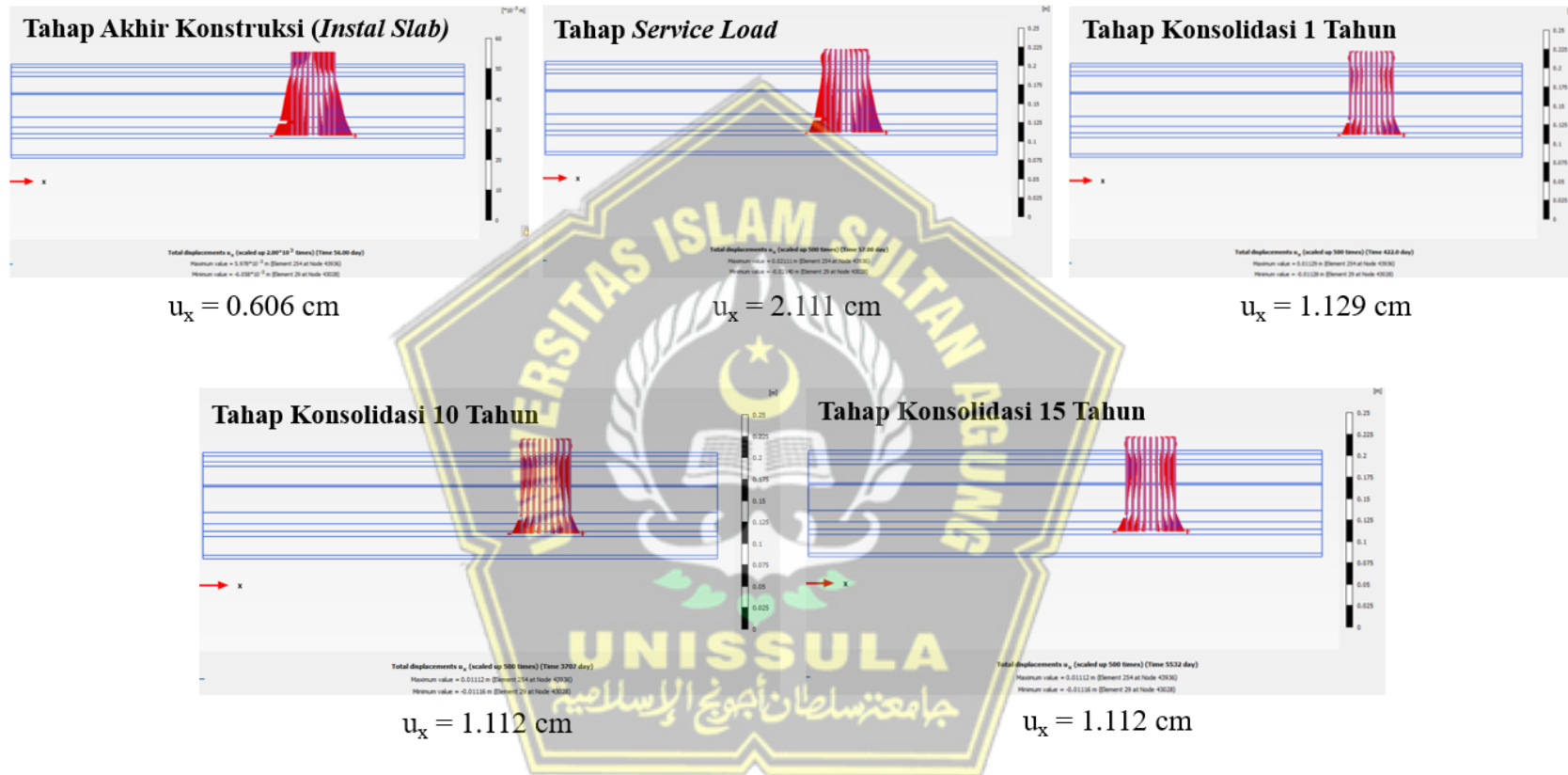
Gambar 4. 42 Bending Moment (M) Tanpa Timbunan



Gambar 4. 43 *Shear Forces (Q) Tanpa Timbunan*



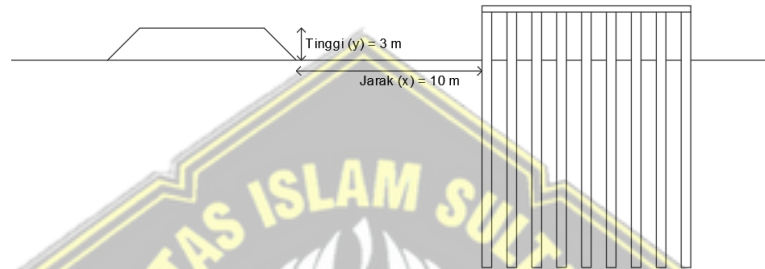
Gambar 4. 44 Axial Forces (N) Tanpa Timbunan



Gambar 4. 45 Horizontal Displacement (U_x) Tanpa Timbunan

4.3.2. Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 10 m ; Tinggi Timbunan (y) = 3 m

Pemodelan tanpa timbunan adalah bentuk pemodelan struktur *slab on pile* dengan adanya struktur timbunan jarak 10 meter dan tinggi timbunan 3 meter.

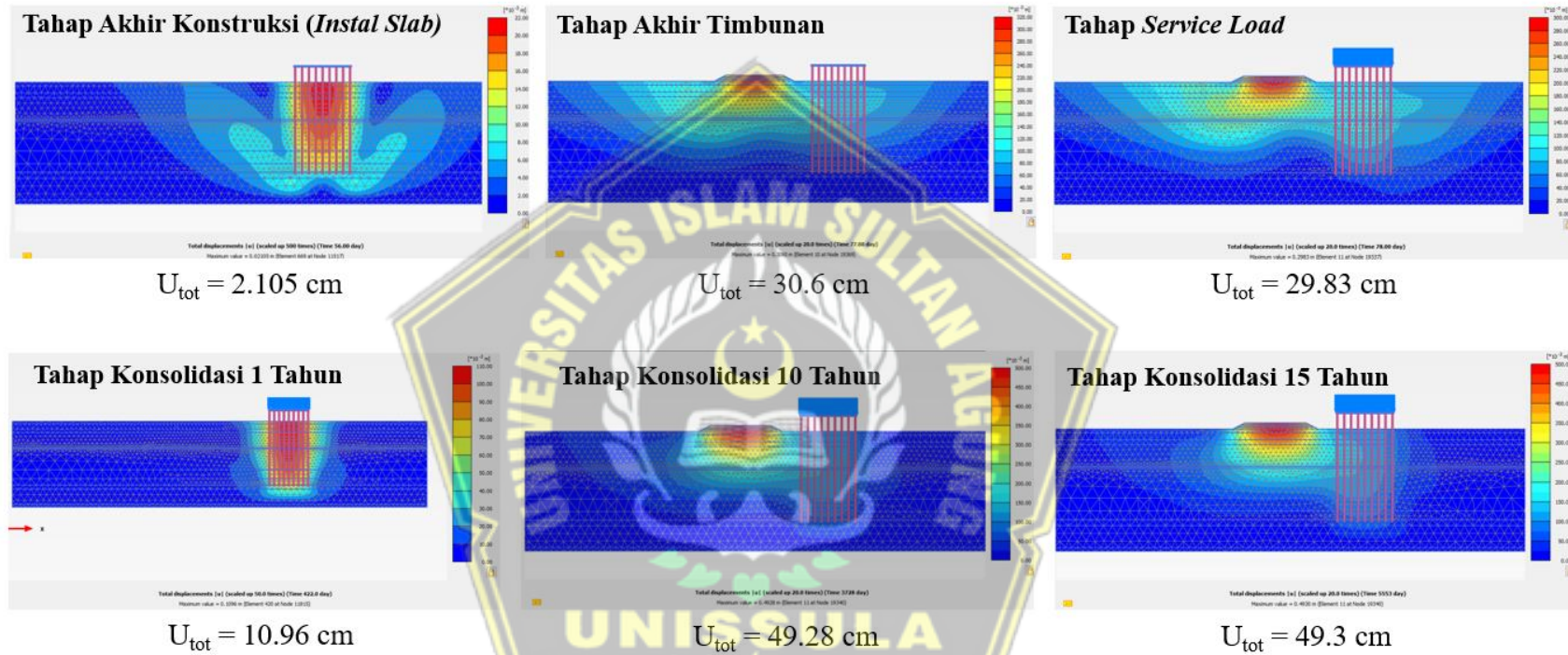


Gambar 4. 46 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m

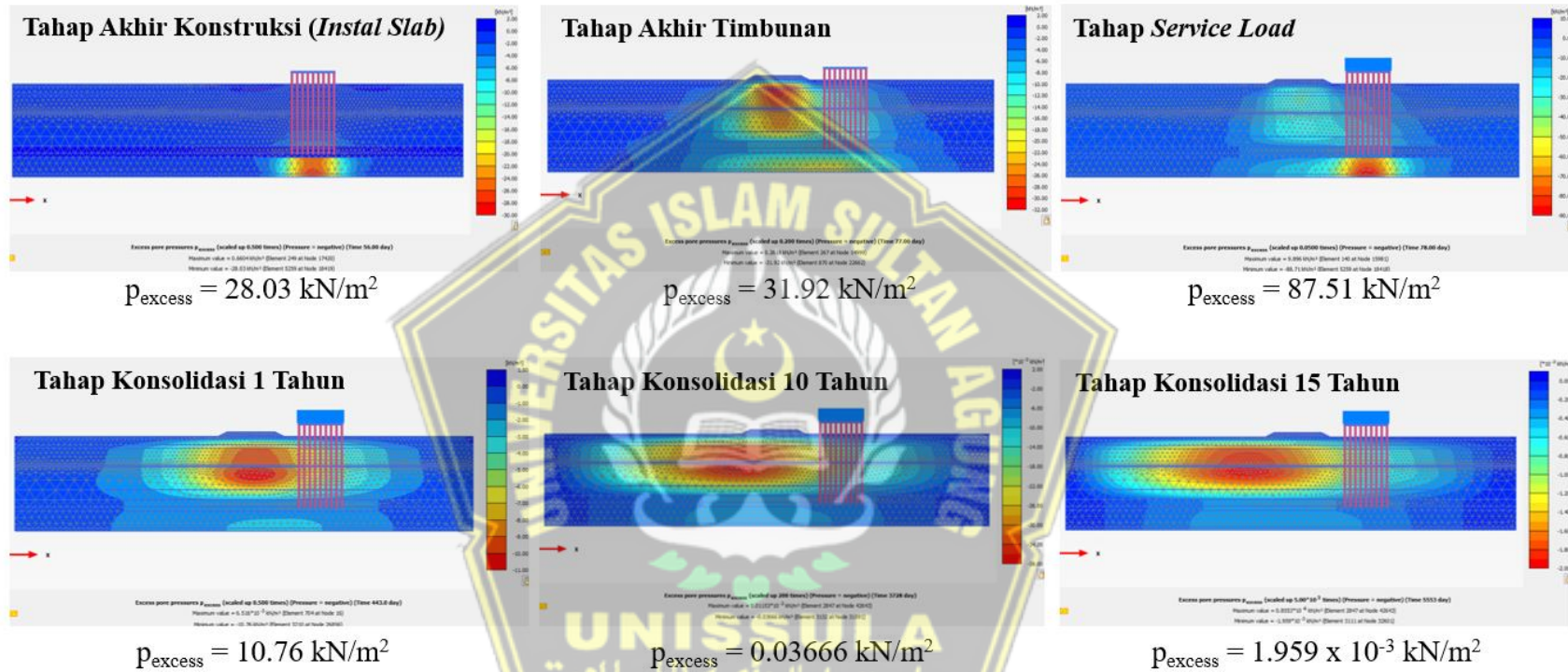
Hasil *output* menggunakan *plaxis* pada pemodelan timbunan ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 6 Hasil *Output* Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m

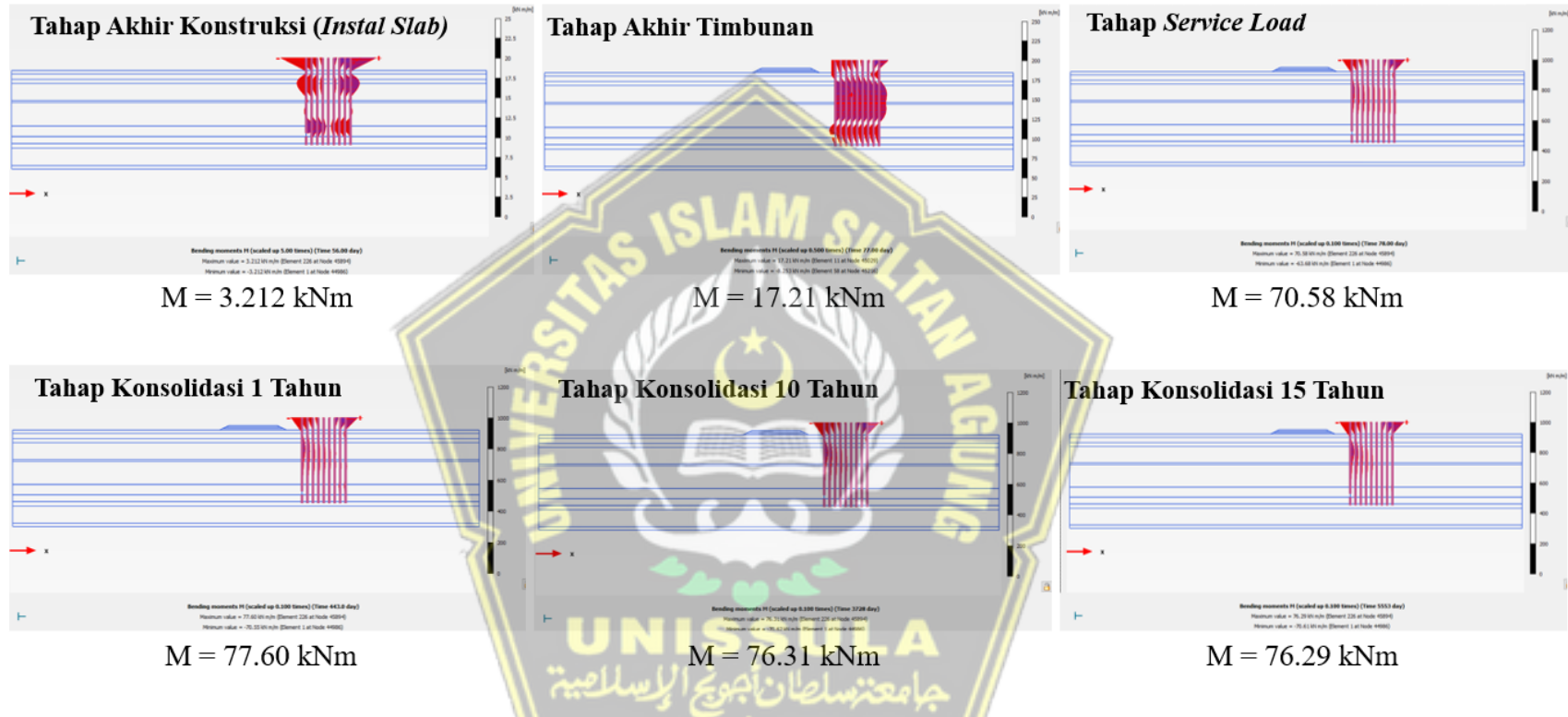
Tahapan Pelaksanaan	Hasil Output					
	Total Displacement (cm)	Excess Pore Pressure (kNm/m ²)	Bending Moment (kNm)	Shear Forces (kN)	Axial Forces (kN)	Horizontal Displacement (cm)
Akhir Konstruksi	2.105	28.03	3.212	0.3882	82.25	0.607
Akhir Timbunan	30.60	31.92	17.21	2.744	54.15	10.29
Service Load	29.83	87.51	70.58	9.230	347.6	9.866
Konsolidasi 1 Tahun	42.71	10.76	77.60	9.761	346.8	8.851
Konsolidasi 10 Tahun	49.28	0.03666	76.31	9.779	381	8.355
Konsolidasi 15 Tahun	49.30	1.959×10^{-3}	76.29	9.779	381.1	8.353



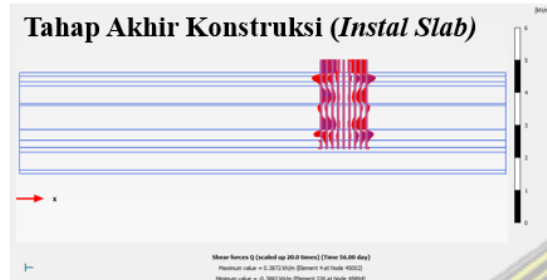
Gambar 4. 47 Total Displacement $|u|$ dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m



Gambar 4. 48 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m



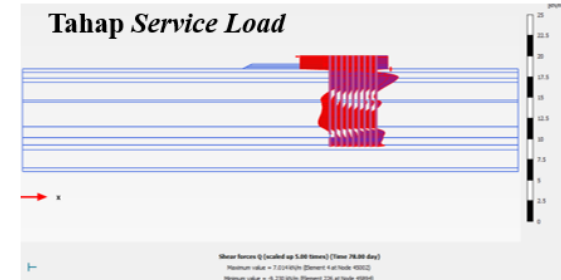
Gambar 4. 49 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m



$Q = 0.3882 \text{ kN}$



$Q = 2.744 \text{ kN}$



$Q = 9.230 \text{ kN}$



$Q = 9.946 \text{ kN}$

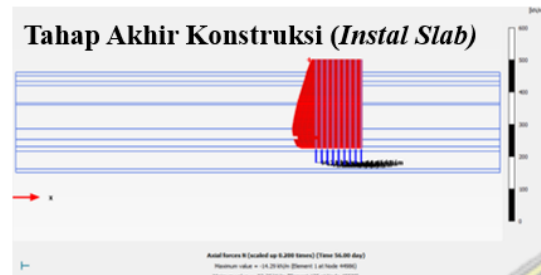


$Q = 9.523 \text{ kN}$



$Q = 9.520 \text{ kN}$

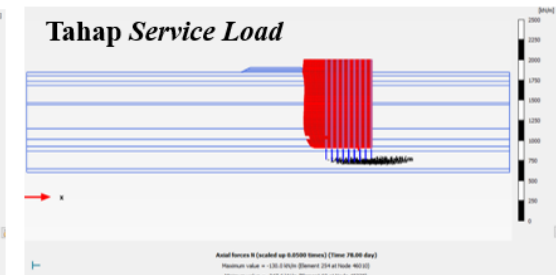
Gambar 4. 50 *Shear Forces (Q) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m*



N = 82.25 kN



N = 54.15 kN



N = 347.6 kN



N = 346.8 kN

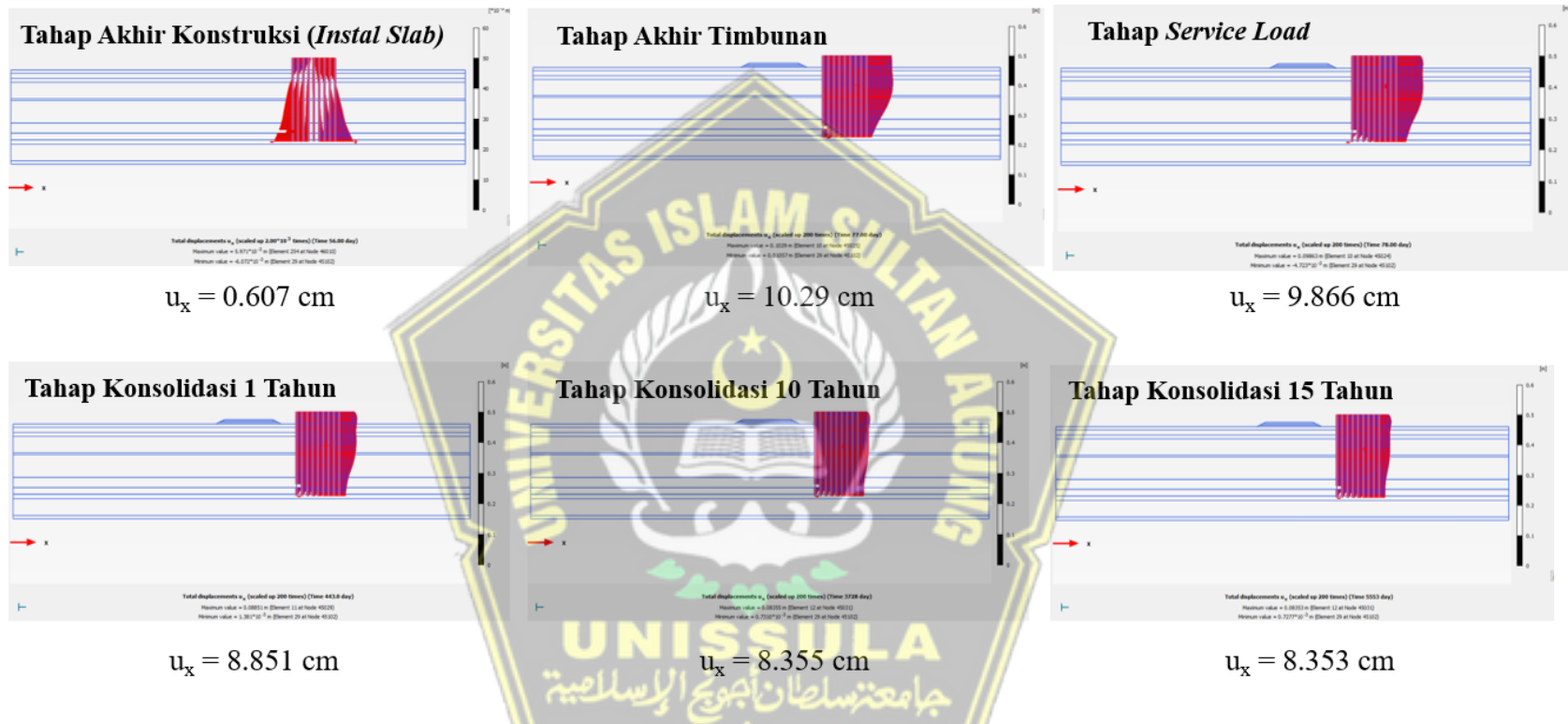


N = 381 kN



N = 381.1 kN

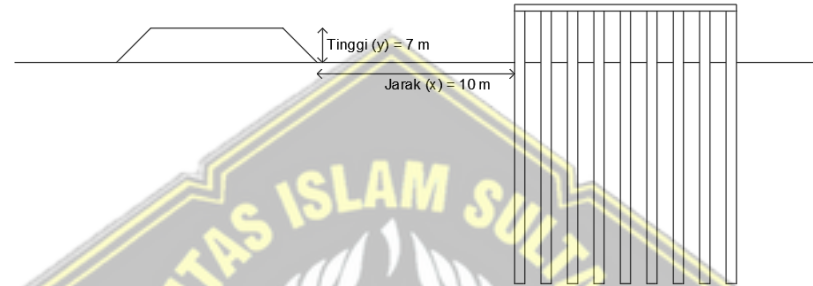
Gambar 4. 51 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m



Gambar 4. 52 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m

4.3.3. Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 10 m ; Tinggi Timbunan (y) = 7 m

Pemodelan tanpa timbunan adalah bentuk pemodelan struktur *slab on pile* dengan adanya struktur timbunan jarak 10 meter dan tinggi timbunan 7 meter.

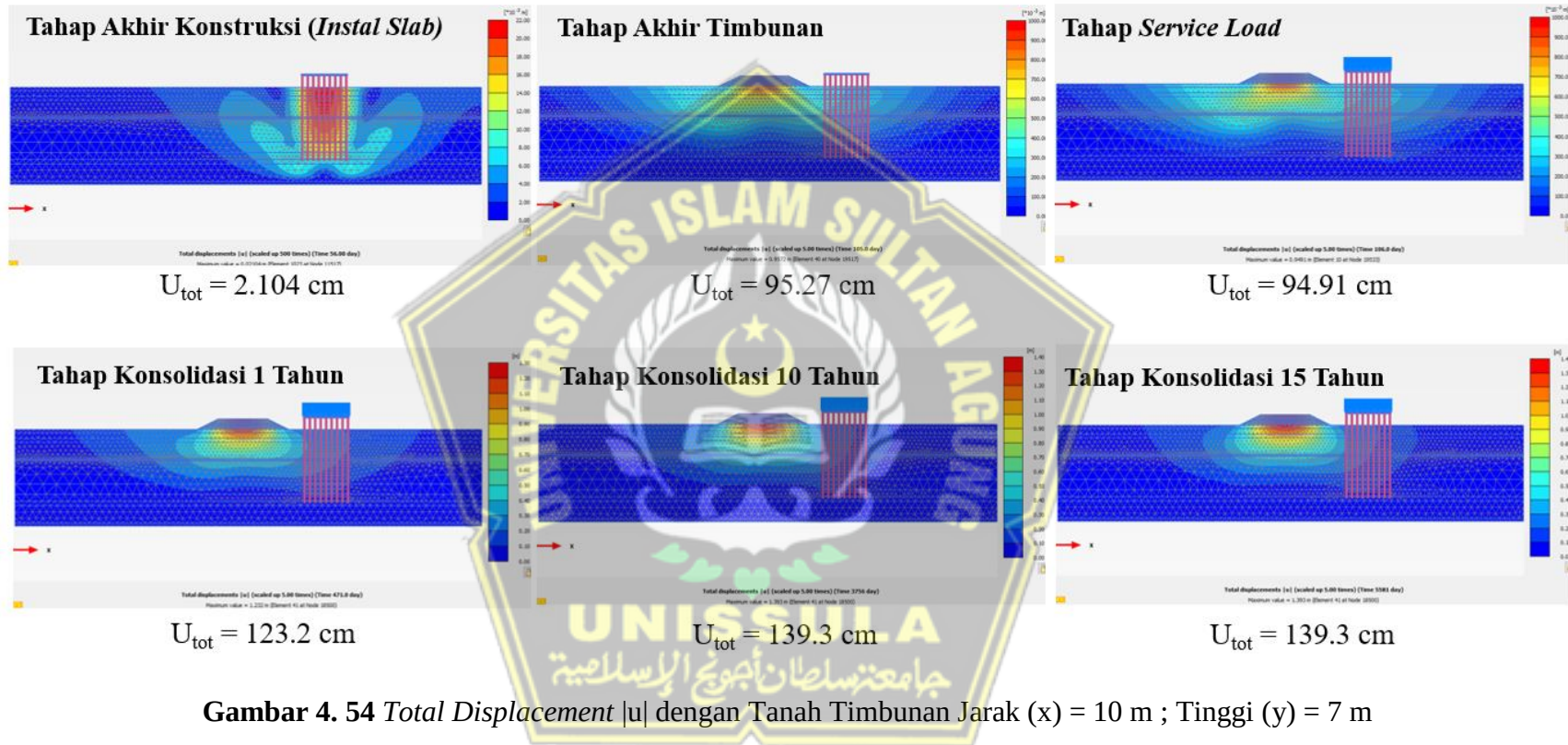


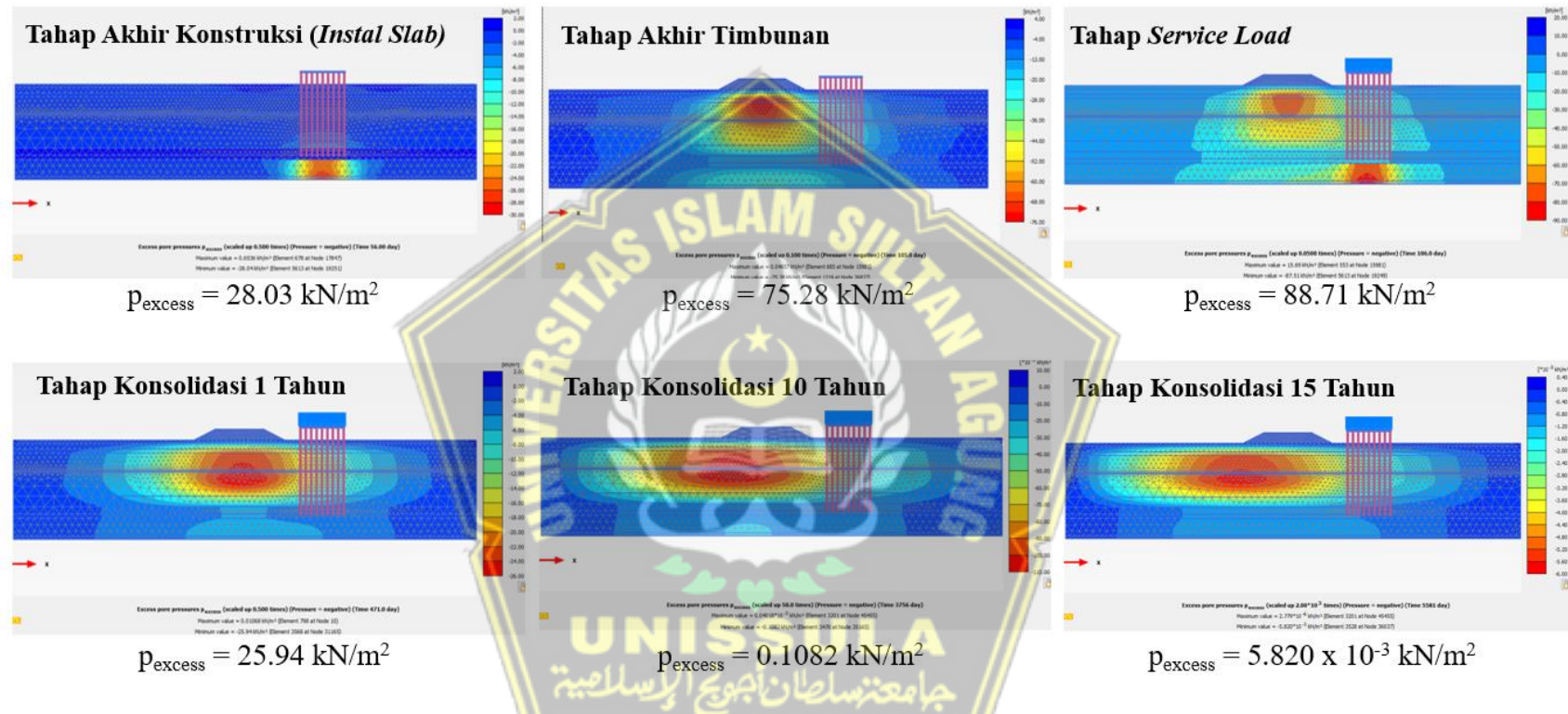
Gambar 4. 53 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m

Hasil *output* menggunakan *plaxis* pada pemodelan timbunan ini dapat dilihat pada tabel berikut :

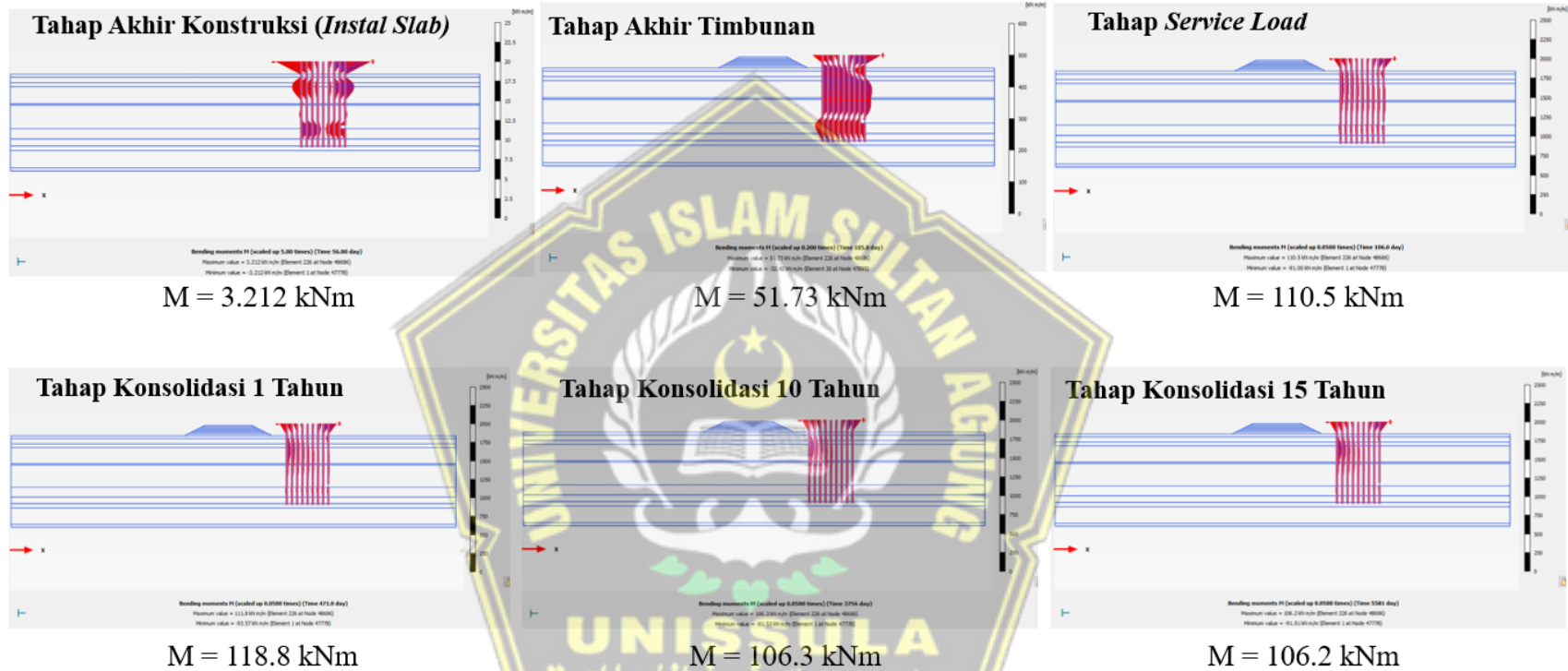
Tabel 4. 7 Hasil *Output* Pemodelan dengan Timbunan Tinggi (x) = 10 m ; Jarak (y) = 7 m

Tahapan Pelaksanaan	Hasil Output					
	Total Displacement (cm)	Excess Pore Pressure (kNm/m ²)	Bending Moment (kNm)	Shear Forces (kN)	Axial Forces (kN)	Horizontal Displacement (cm)
Akhir Konstruksi	2.104	28.03	3.212	0.3882	82.23	0.606
Akhir Timbunan	95.27	75.28	51.73	6.461	60.91	32.78
Service Load	94.91	88.71	110.5	16.00	343.8	32.25
Konsolidasi 1 Tahun	123.2	25.94	118.8	15.55	346.4	28.75
Konsolidasi 10 Tahun	139.3	0.1082	106.3	14.22	429.3	26.56
Konsolidasi 15 Tahun	139.3	5.977×10^{-3}	106.2	14.22	429.6	26.55

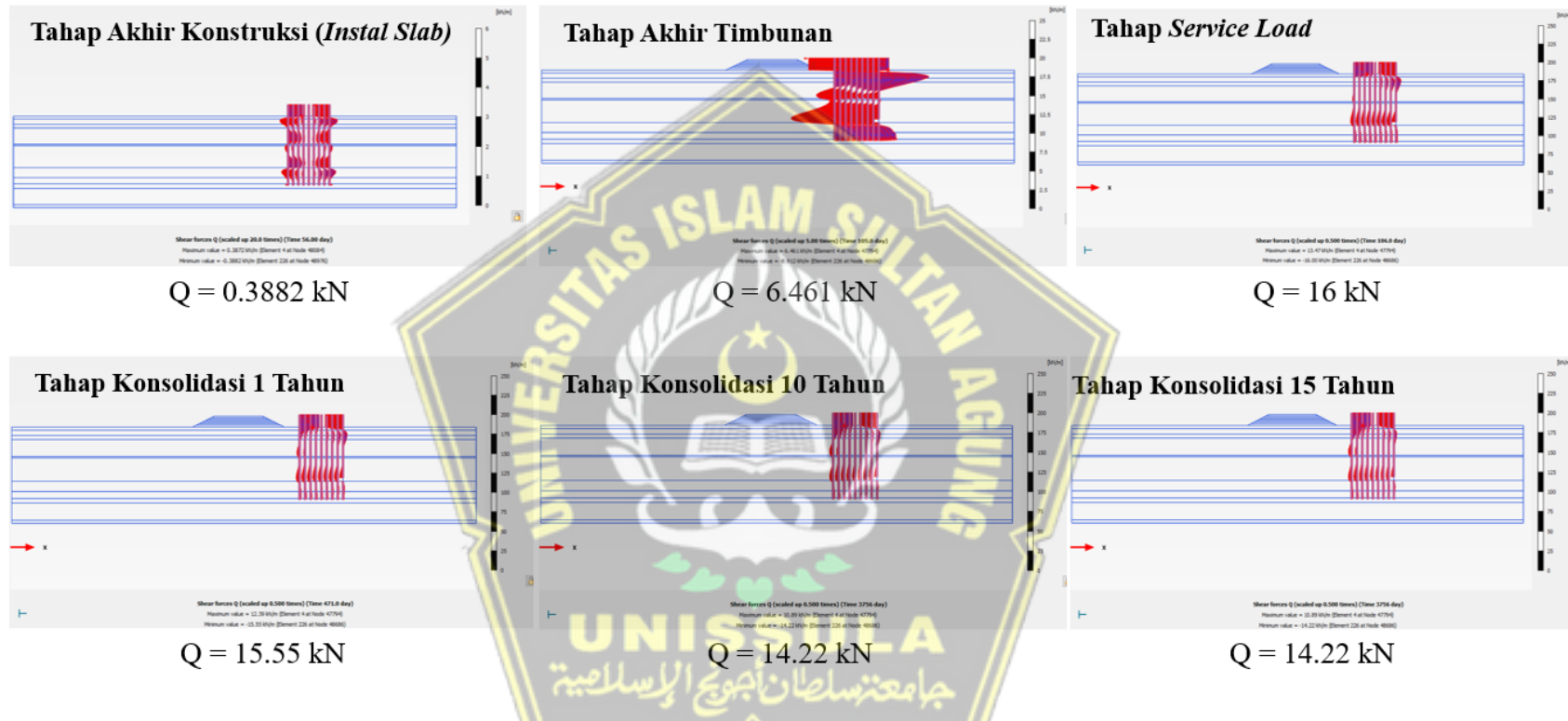




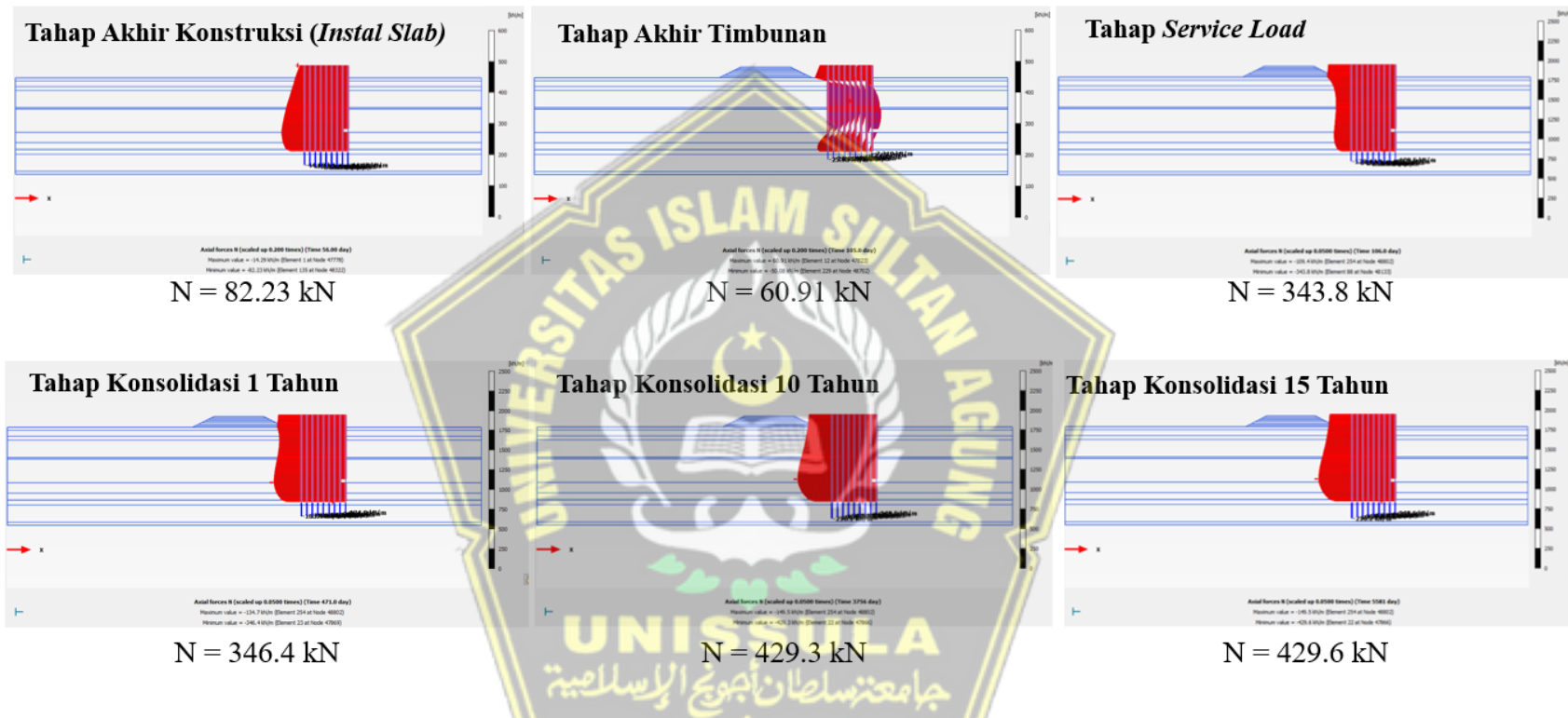
Gambar 4. 55 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m



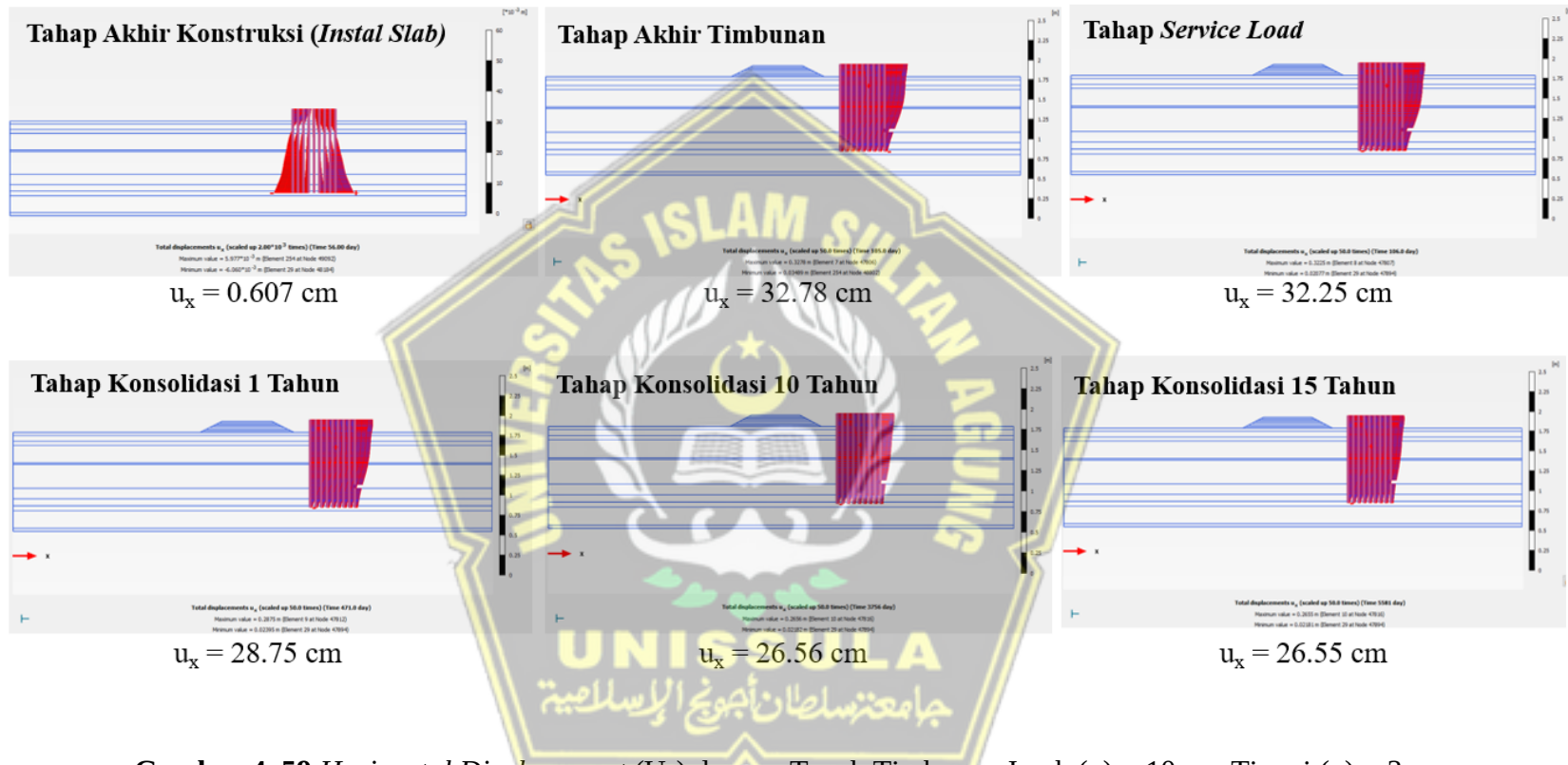
Gambar 4. 56 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m



Gambar 4. 57 *Shear Forces (Q)* dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m



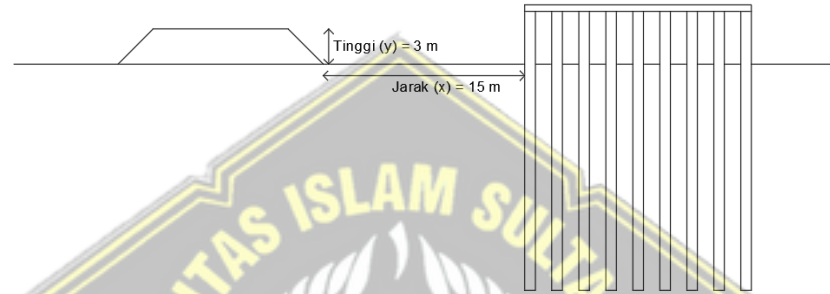
Gambar 4. 58 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m



Gambar 4. 59 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m

4.3.4. Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 15 m ; Tinggi Timbunan (y) = 3 m

Pemodelan tanpa timbunan adalah bentuk pemodelan struktur *slab on pile* dengan adanya struktur timbunan jarak 15 meter dan tinggi timbunan 3 meter.

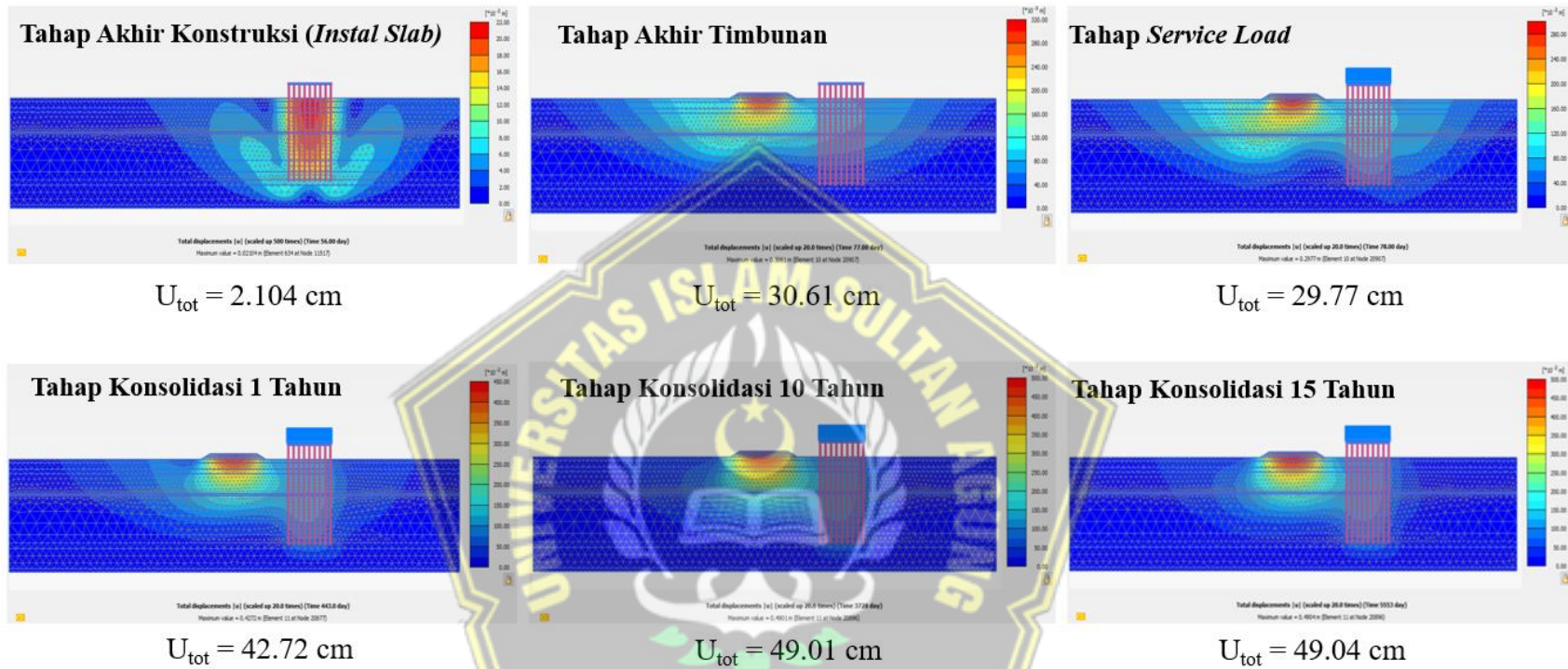


Gambar 4. 60 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m

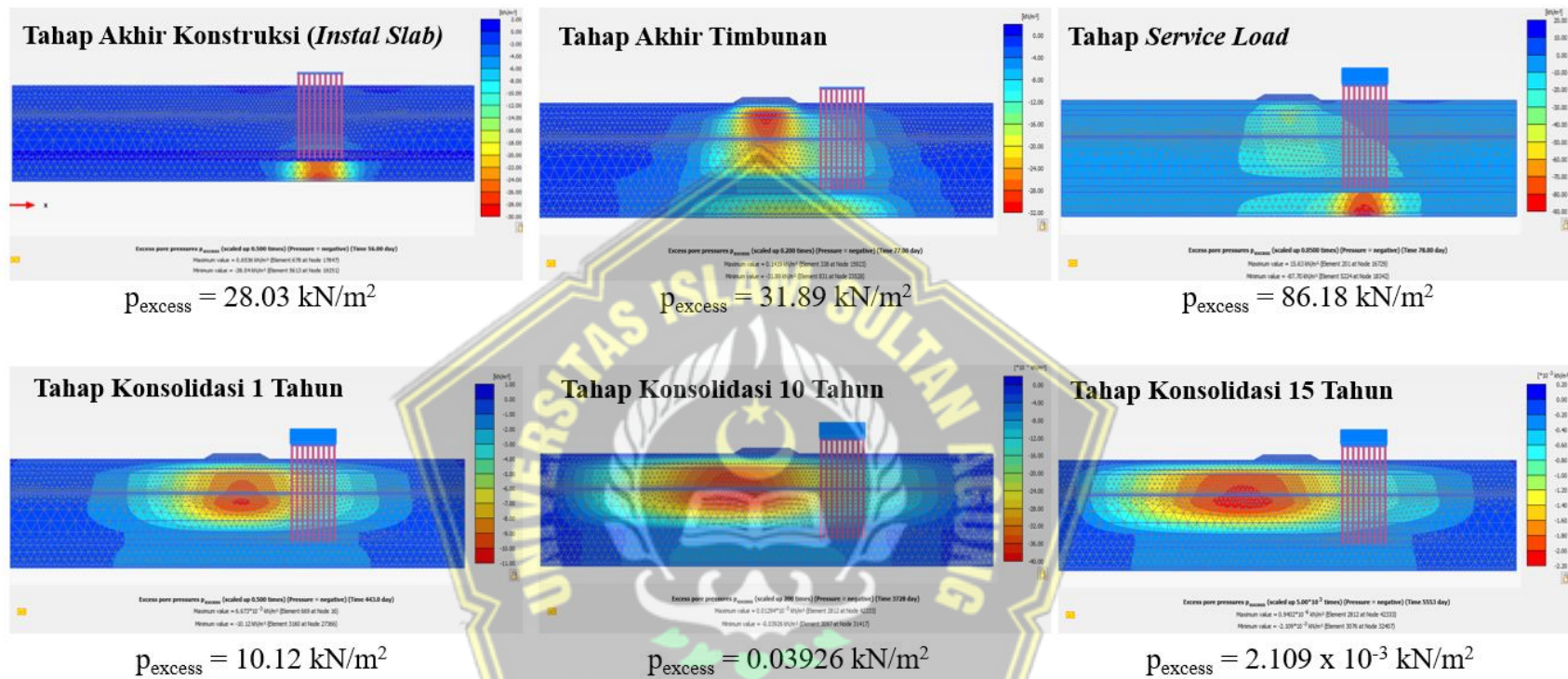
Hasil *output* menggunakan *plaxis* pada pemodelan timbunan ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 8 Hasil *Output* Pemodelan dengan Tanah Timbunan Tinggi (x) = 15 m ; Jarak (y) = 3 m

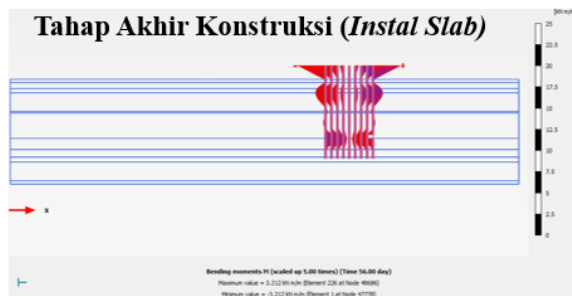
Tahapan Pelaksanaan	Hasil Output					
	Total Displacement (cm)	Excess Pore Pressure (kNm/m ²)	Bending Moment (kNm)	Shear Forces (kN)	Axial Forces (kN)	Horizontal Displacement (cm)
Akhir Konstruksi	2.104	28.03	3.212	0.3882	82.24	0.606
Akhir Timbunan	30.61	31.89	15.43	2.1	56.07	9.54
Service Load	29.77	86.18	74.49	9.801	346.5	9.134
Konsolidasi 1 Tahun	42.72	10.12	81.36	10.51	345.8	8.126
Konsolidasi 10 Tahun	49.01	0.03926	79.33	9.996	357.4	7.529
Konsolidasi 15 Tahun	49.04	2.109 x 10 ⁻³	79.31	9.993	357.5	7.526



Gambar 4. 61 Total Displacement $|u|$ dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m



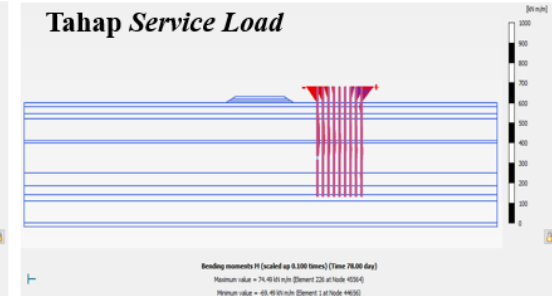
Gambar 4. 62 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m



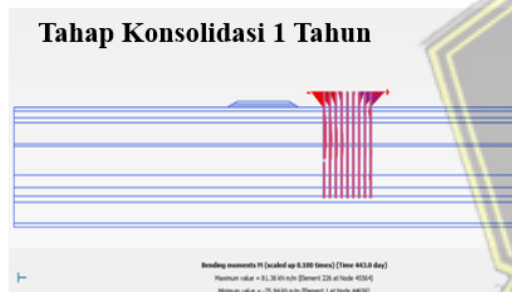
$M = 3.212 \text{ kNm}$



$M = 15.43 \text{ kNm}$



$M = 74.49 \text{ kNm}$



$M = 81.36 \text{ kNm}$

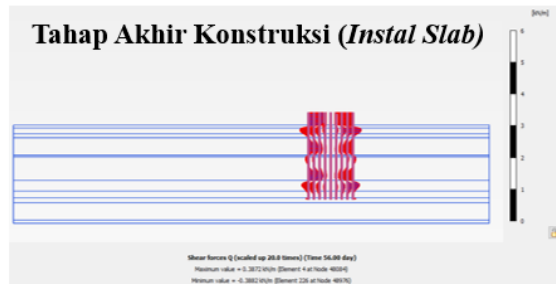


$M = 79.33 \text{ kNm}$



$M = 79.31 \text{ kNm}$

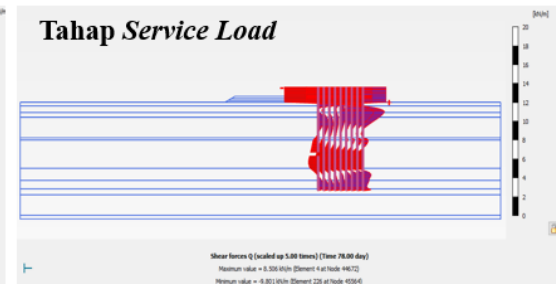
Gambar 4. 63 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m



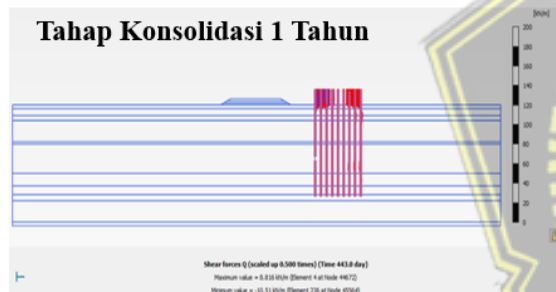
$Q = 0.3882 \text{ kN}$



$Q = 2.1 \text{ kN}$



$Q = 9.801 \text{ kN}$



$Q = 10.51 \text{ kN}$

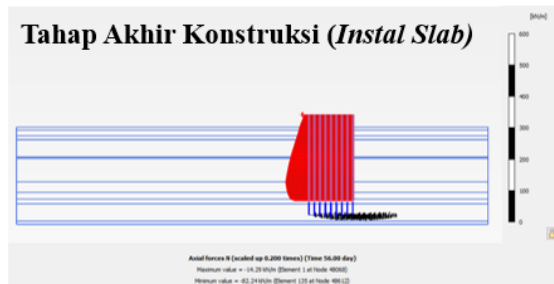


$Q = 9.996 \text{ kN}$

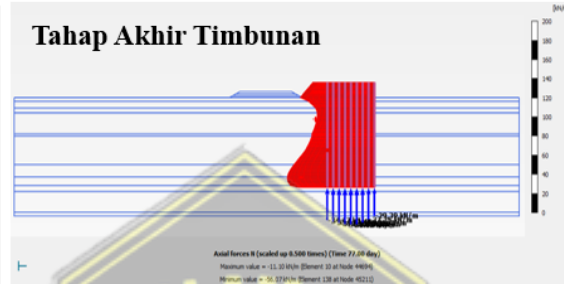


$Q = 9.993 \text{ kN}$

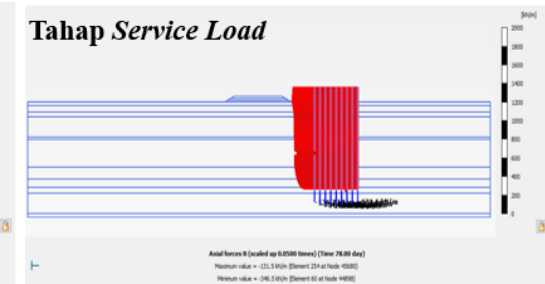
Gambar 4. 64 *Shear Forces (Q)* dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m



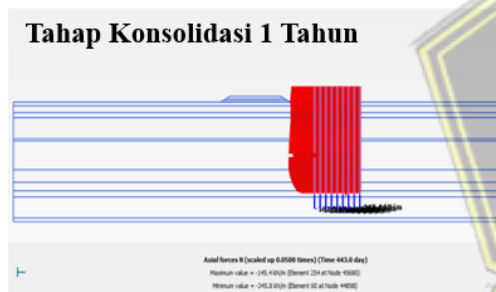
$N = 82.24 \text{ kN}$



$N = 56.07 \text{ kN}$



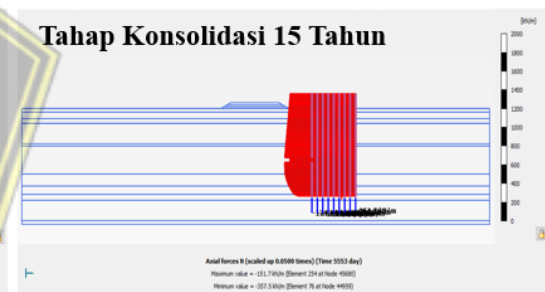
$N = 346.5 \text{ kN}$



$N = 345.8 \text{ kN}$



$N = 357.4 \text{ kN}$



$N = 357.5 \text{ kN}$

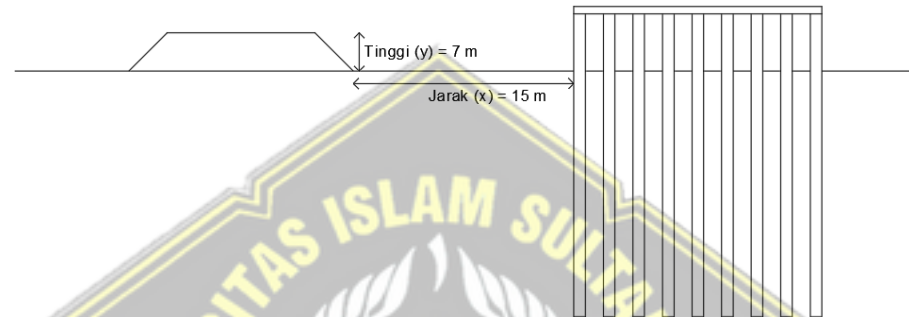
Gambar 4. 65 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m



Gambar 4. 66 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m

4.3.5. Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak Timbunan (x) = 15 meter ; Tinggi Timbunan (y) = 7 m

Pemodelan tanpa timbunan adalah bentuk pemodelan struktur *slab on pile* dengan adanya struktur timbunan jarak 15 meter dan tinggi timbunan 7 meter.

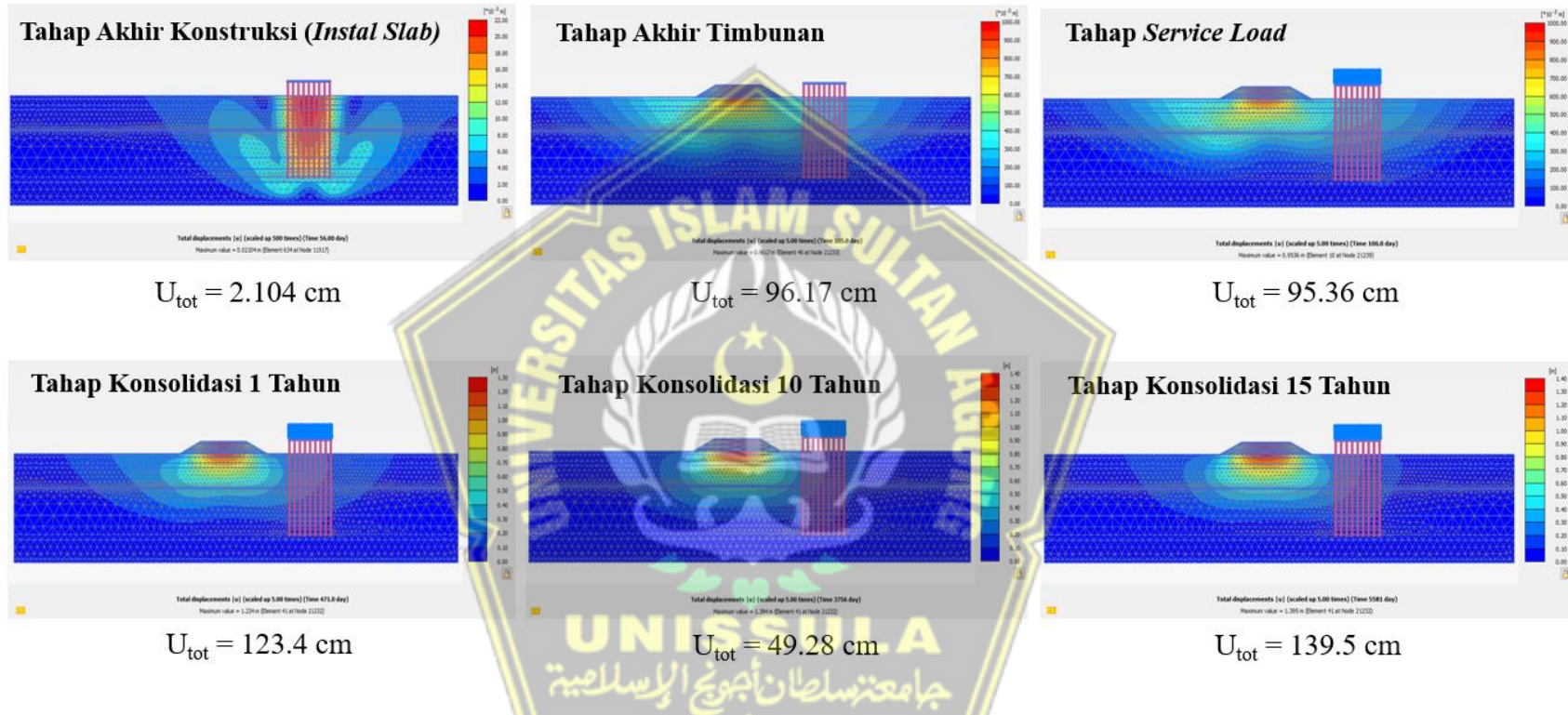


Gambar 4. 67 Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m

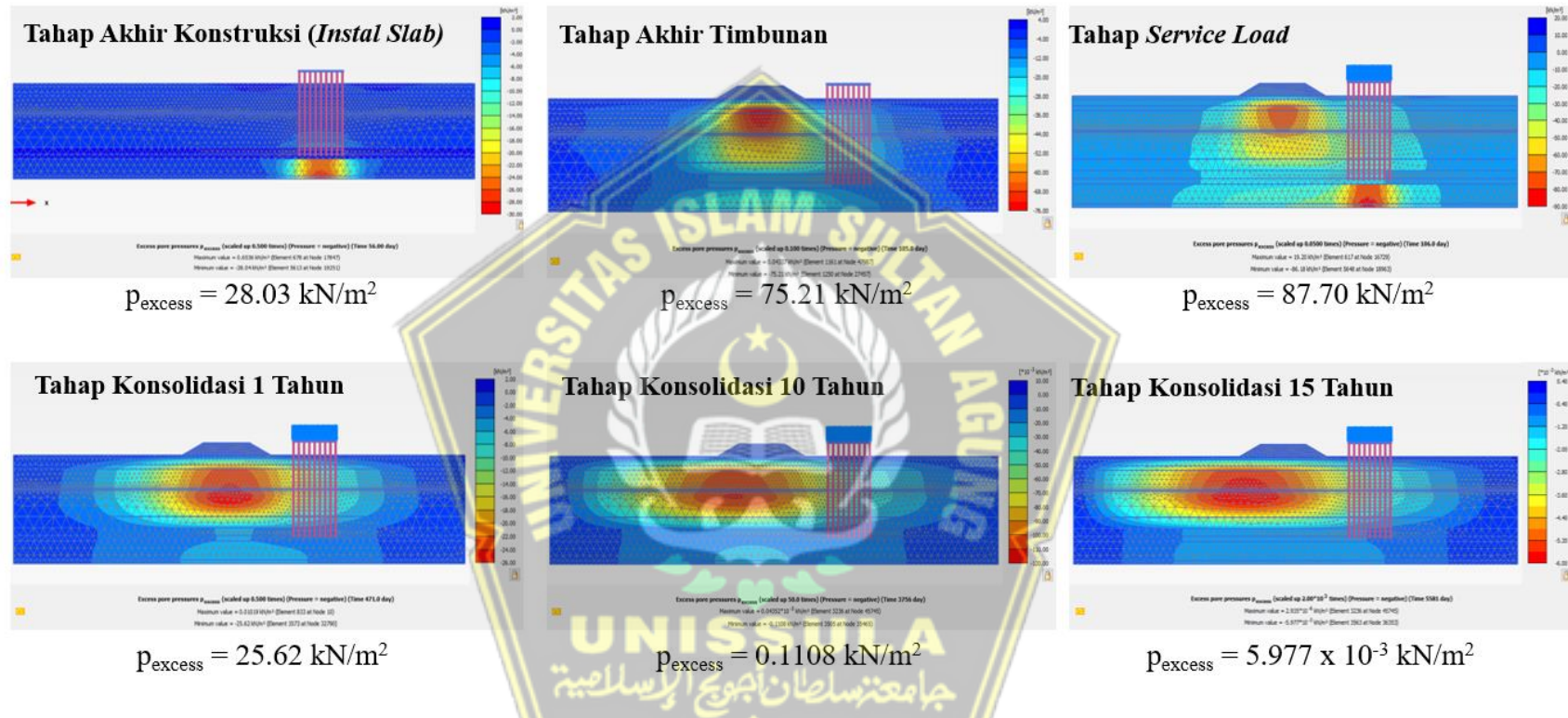
Hasil *output* menggunakan *plaxis* pada pemodelan timbunan ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Gambar 4. 68 Hasil *Output* Pemodelan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (x) = 7 m

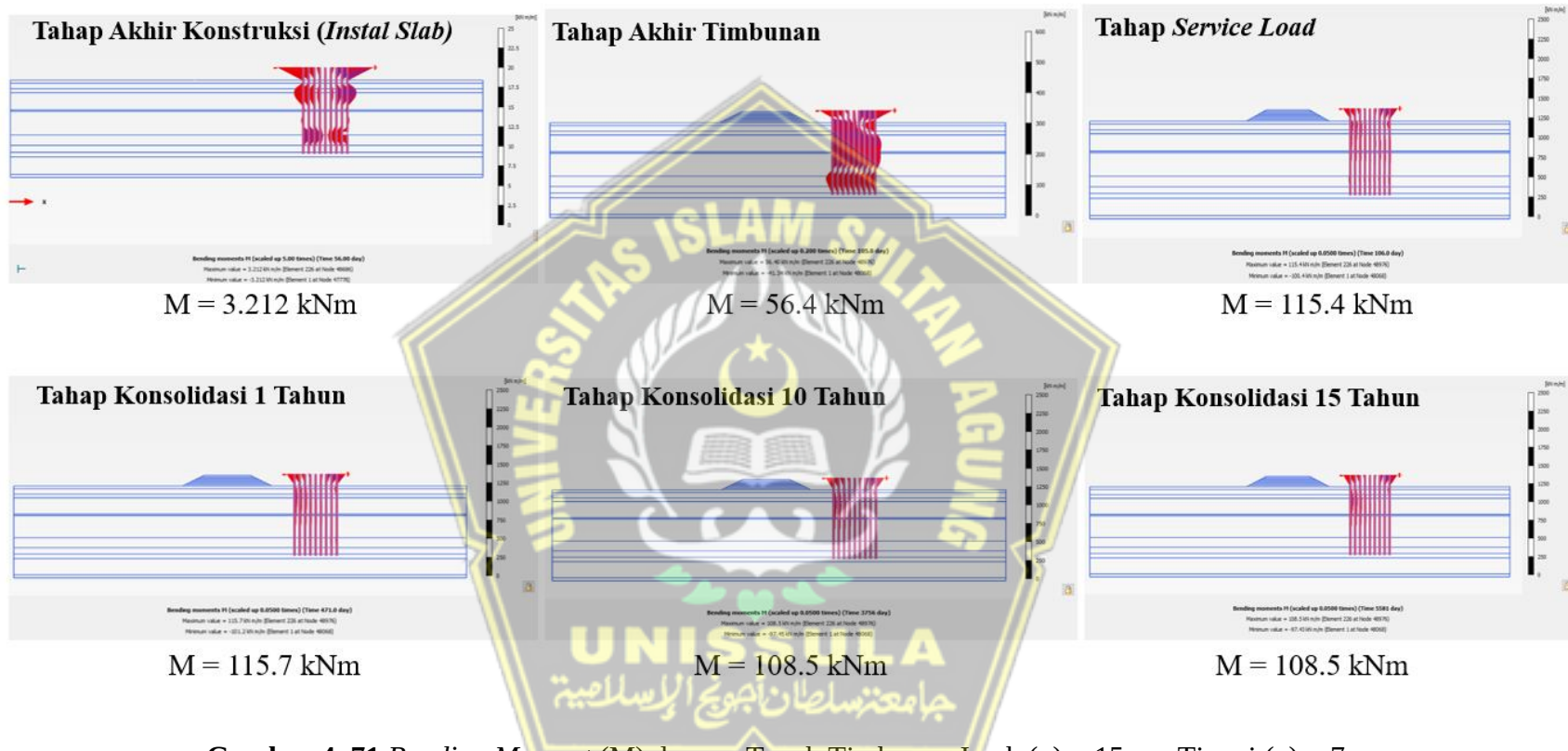
Tahapan Pelaksanaan	Hasil Output					
	Total Displacement (cm)	Excess Pore Pressure (kNm/m ²)	Bending Moment (kNm)	Shear Forces (kN)	Axial Forces (kN)	Horizontal Displacement (cm)
Akhir Konstruksi	2.104	28.03	3.212	0.3882	82.24	0.606
Akhir Timbunan	96.17	75.21	56.4	8.728	67.36	30.93
Service Load	95.36	87.70	115.4	16.67	343.2	30.38
Konsolidasi 1 Tahun	123.4	25.62	115.7	16.31	342.5	26.44
Konsolidasi 10 Tahun	139.4	0.1108	108.5	14.59	375.8	23.81
Konsolidasi 15 Tahun	139.5	5.977×10^{-3}	108.5	14.53	376.1	23.8



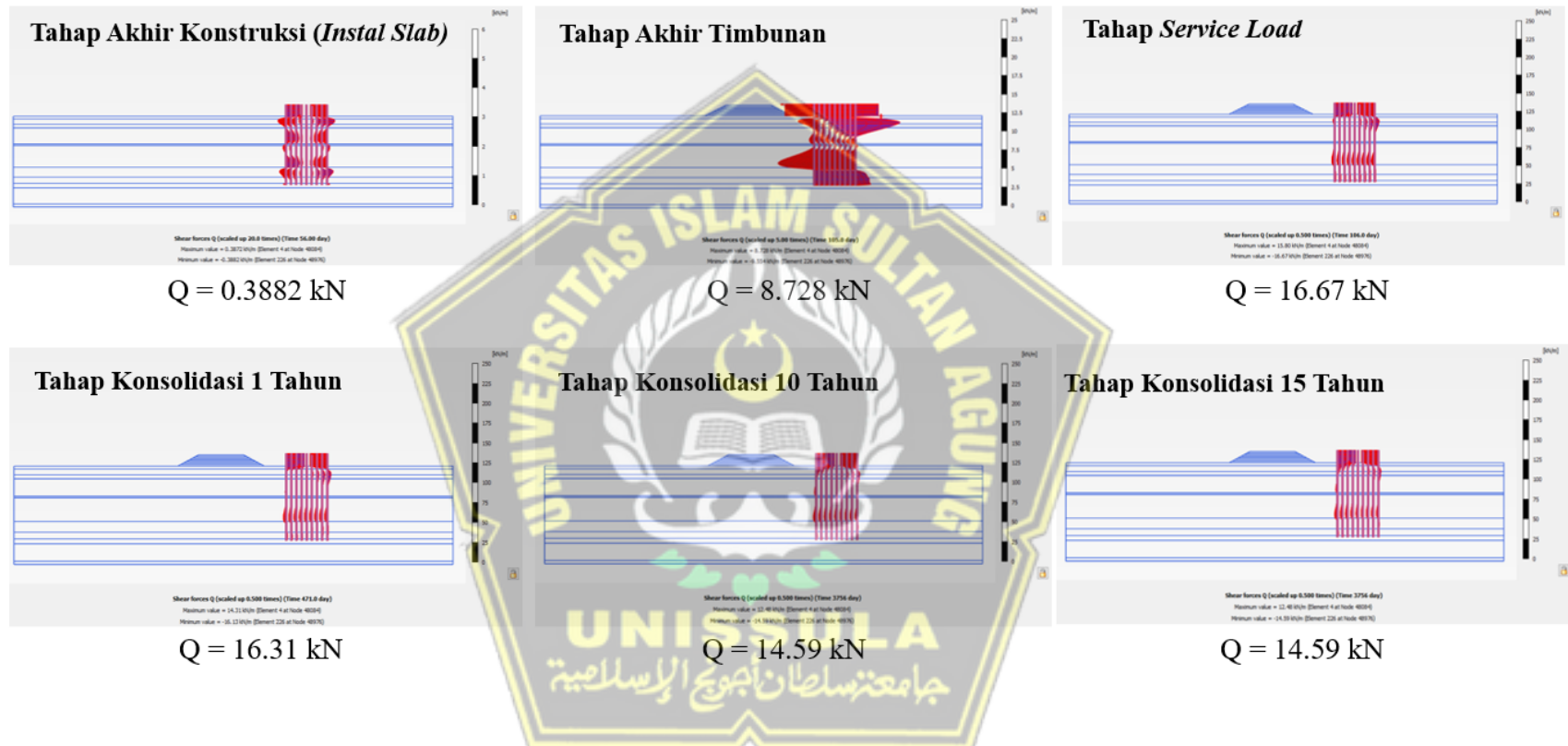
Gambar 4. 69 Total Displacement $|u|$ dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m



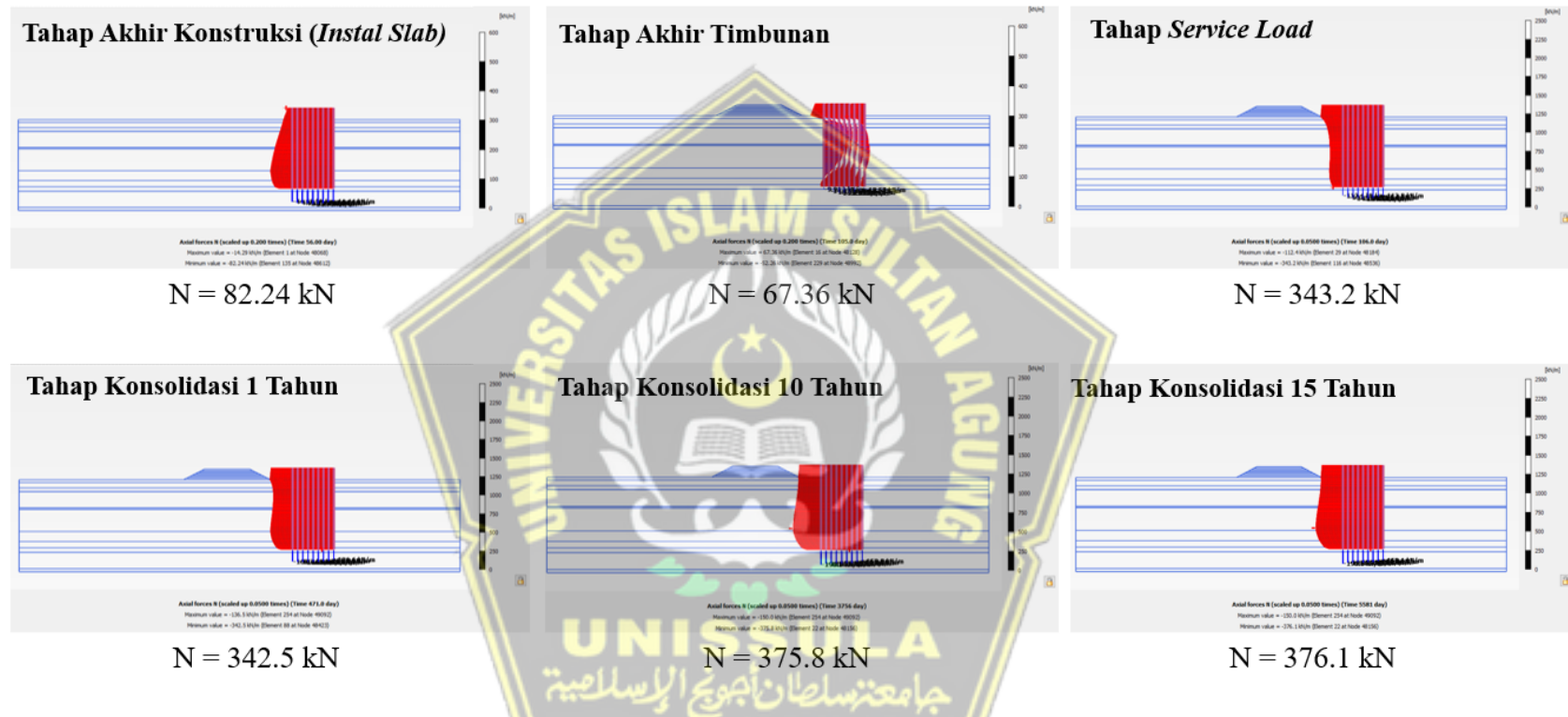
Gambar 4. 70 Excess Pore Pressure (p_{excess}) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m



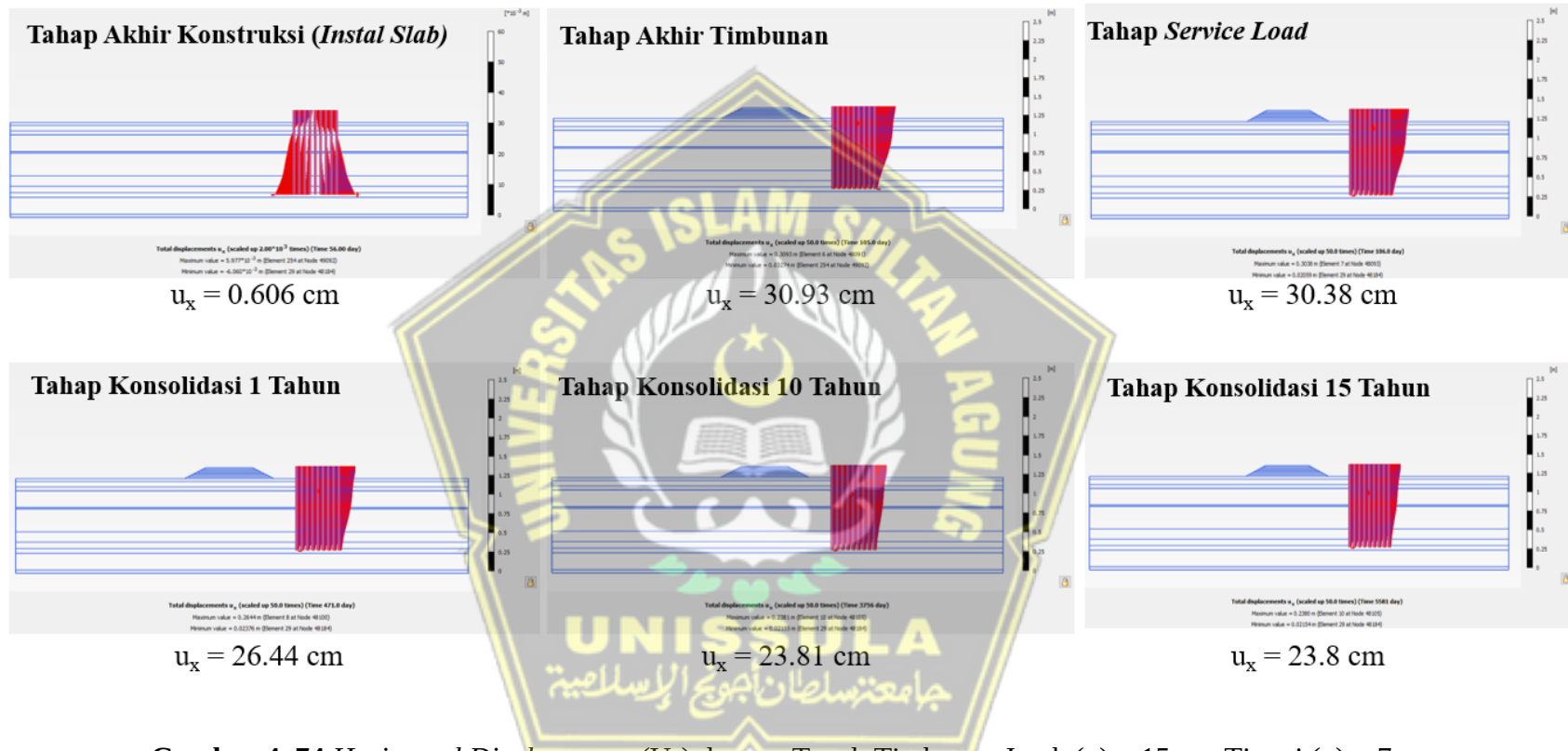
Gambar 4. 71 Bending Moment (M) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m



Gambar 4. 72 *Shear Forces (Q)* dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m



Gambar 4. 73 Axial Forces (N) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m

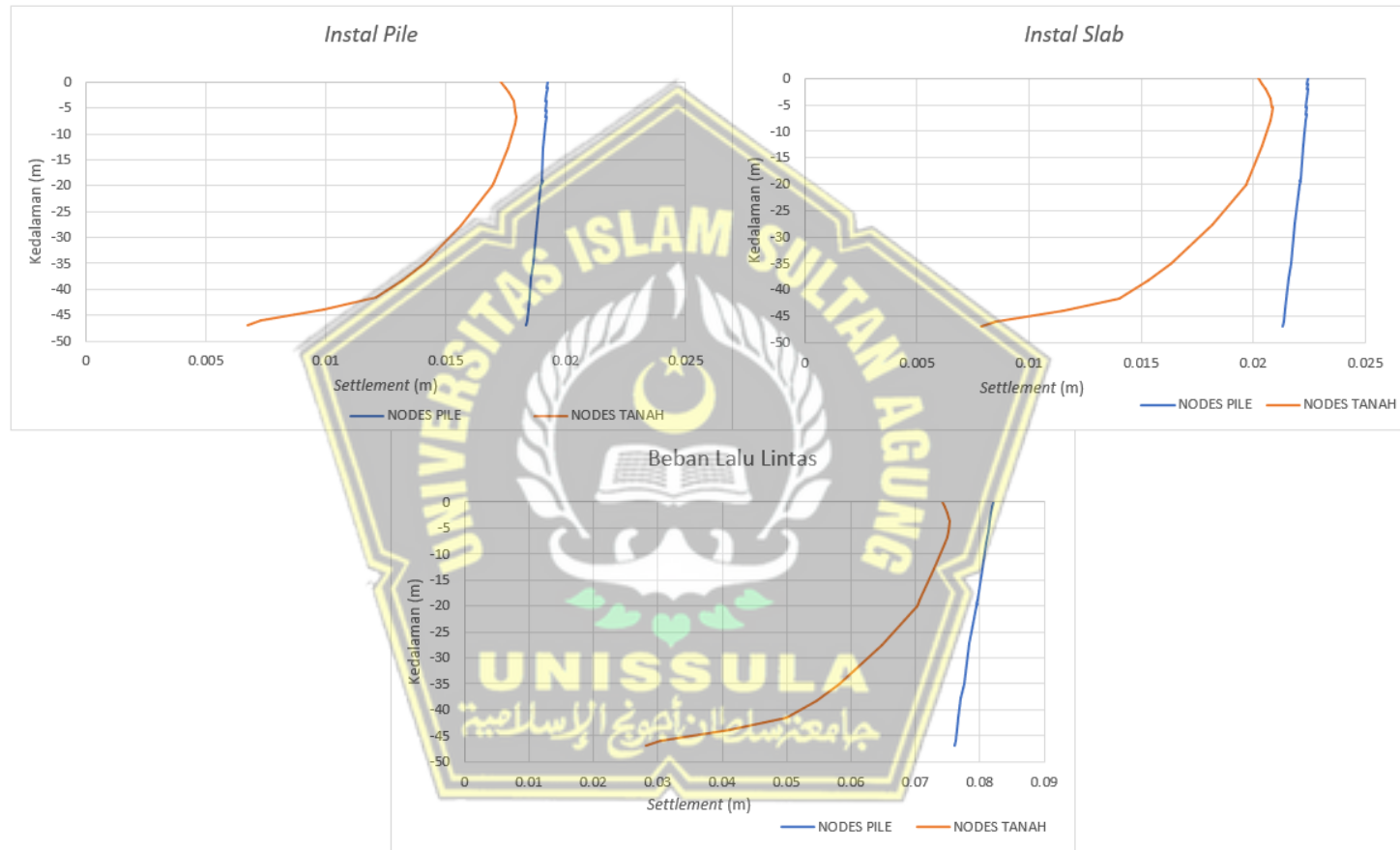


Gambar 4. 74 Horizontal Displacement (U_x) dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m

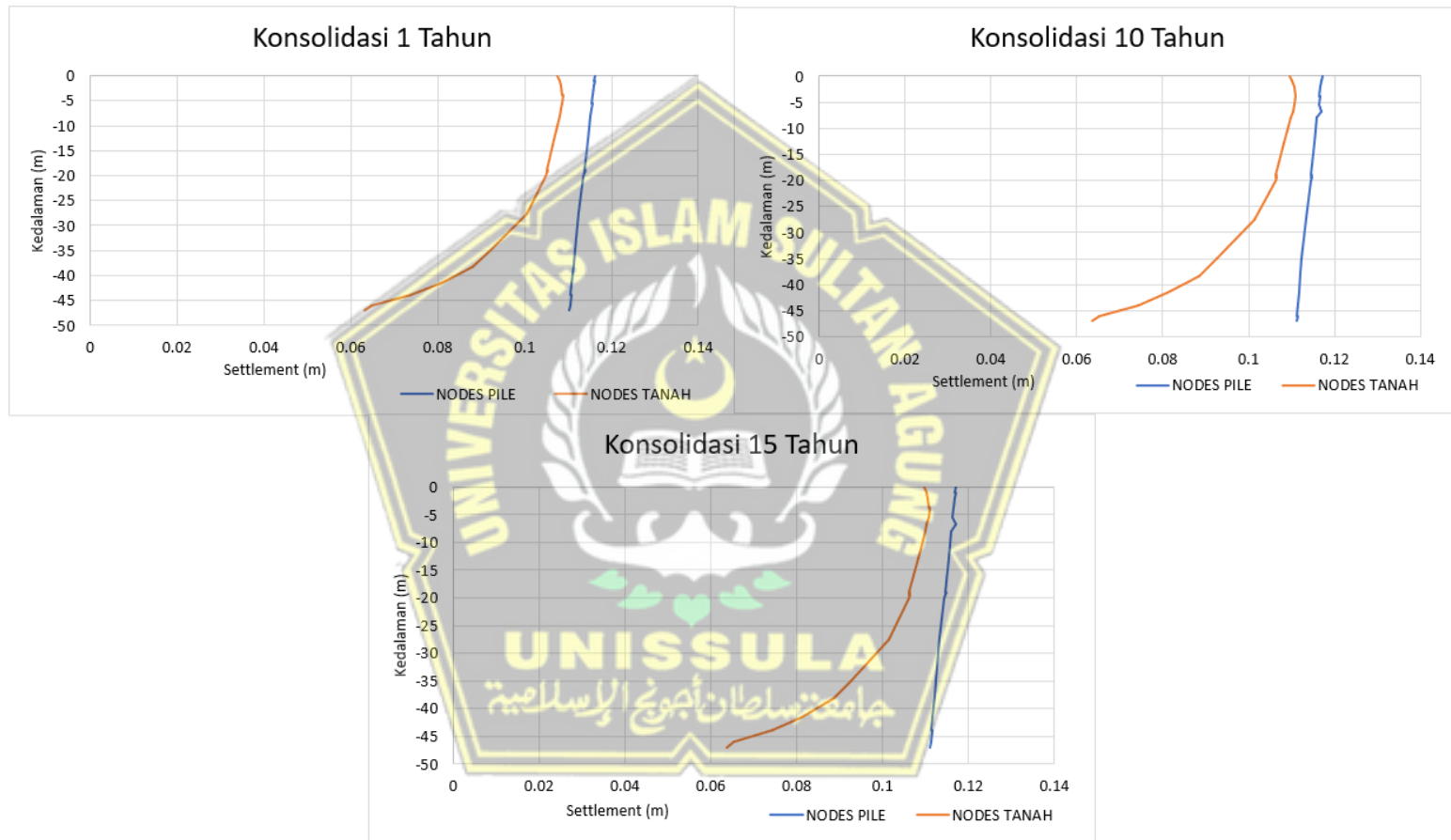
4.3.6. Titik Netral

Tahap selanjutnya adalah menganalisis hubungan antara *settlement* (m) pada tiap titik tinjau (*nodes*) dengan kedalaman (m) pada masing-masing tahap pelaksanaan pekerjaan sehingga dihasilkan *output* berupa kurva. Garis kurva antara titik tinjau pada *pile* dan titik tinjau pada tanah yang berpotongan merupakan titik netral. Titik netral yaitu lokasi dimana perbedaan peralihan tiang dan penurunan tanah relatif adalah sama dengan nol (Widjaja, 2006). Pada analisis ini tidak didapatkan titik netral karena *settlement* pada tanah lebih kecil dibandingkan dengan *settlement pile*. Kurva titik netral dapat dilihat pada gambar berikut :

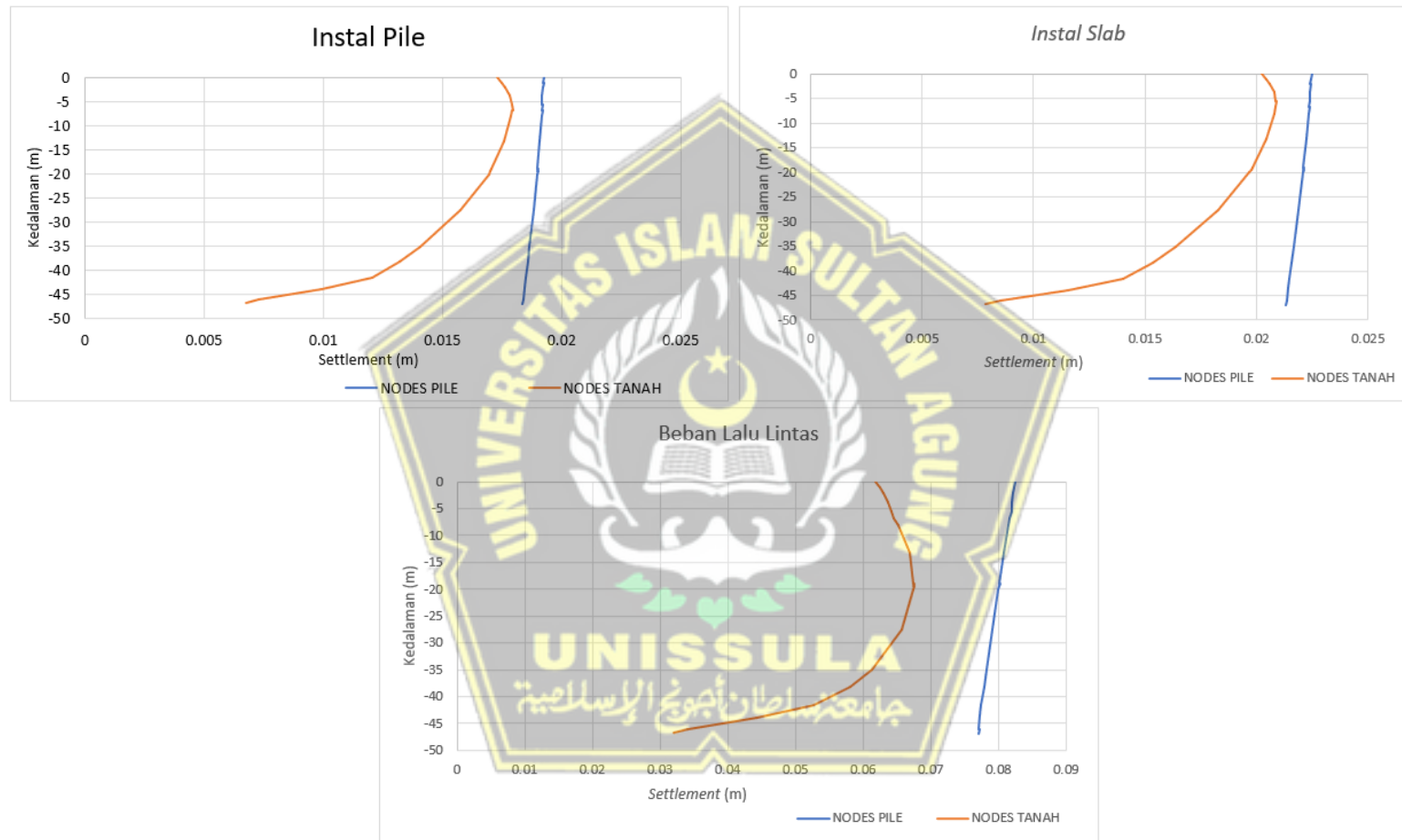




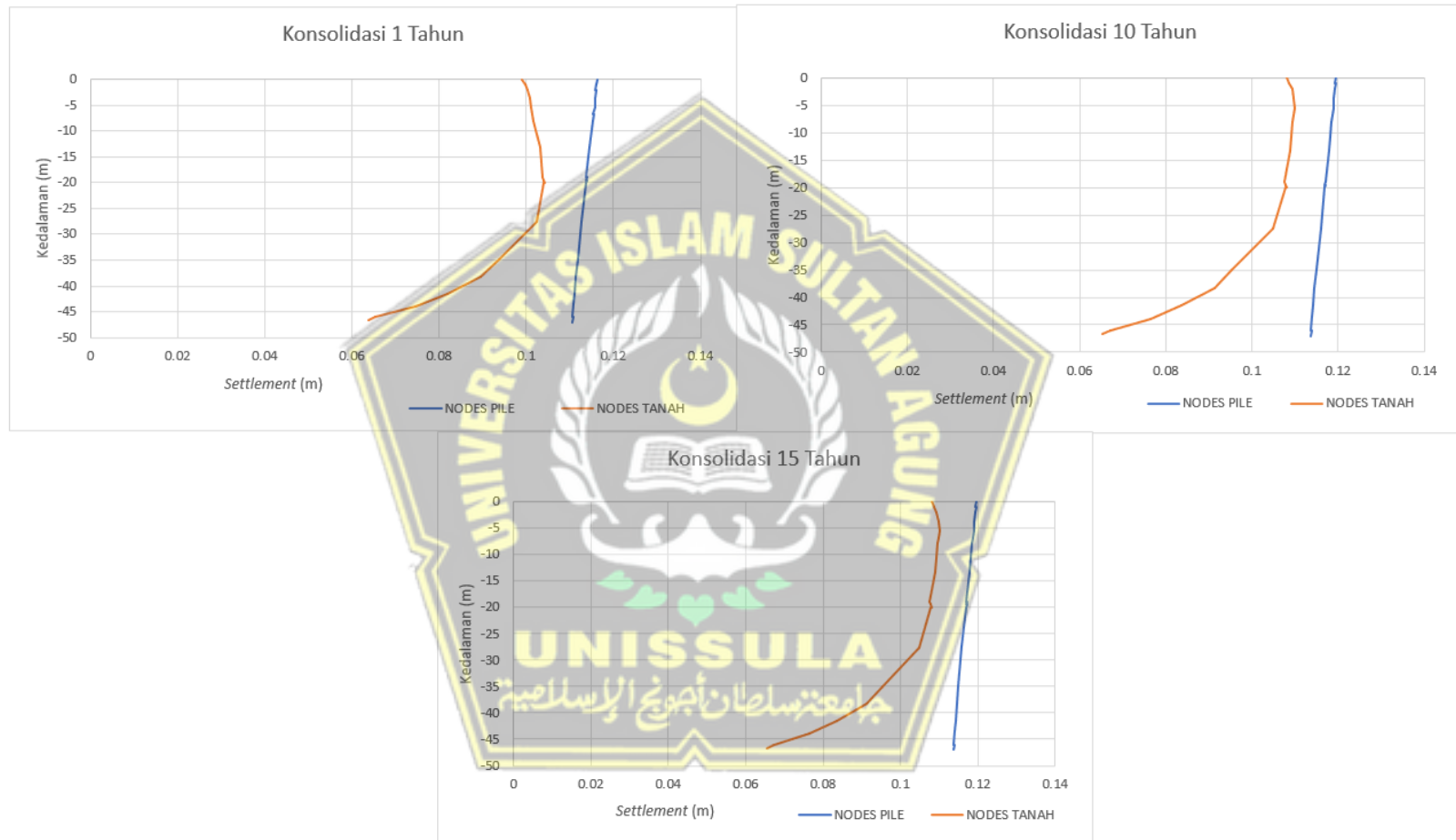
Gambar 4. 75 Titik Netral Tanpa Tanah Timbunan



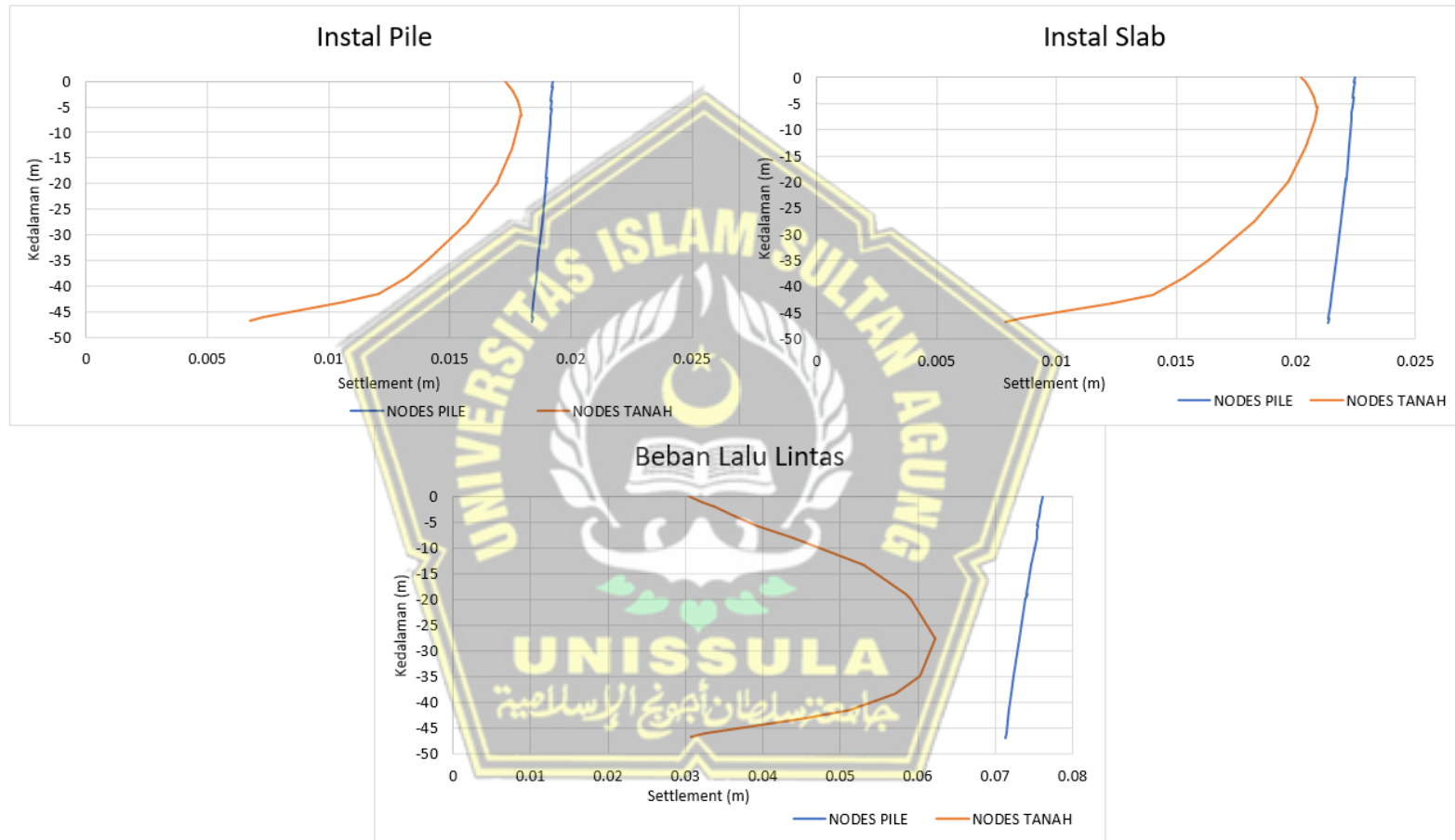
Gambar 4. 76 Titik Netral Tanpa Tanah Timbunan



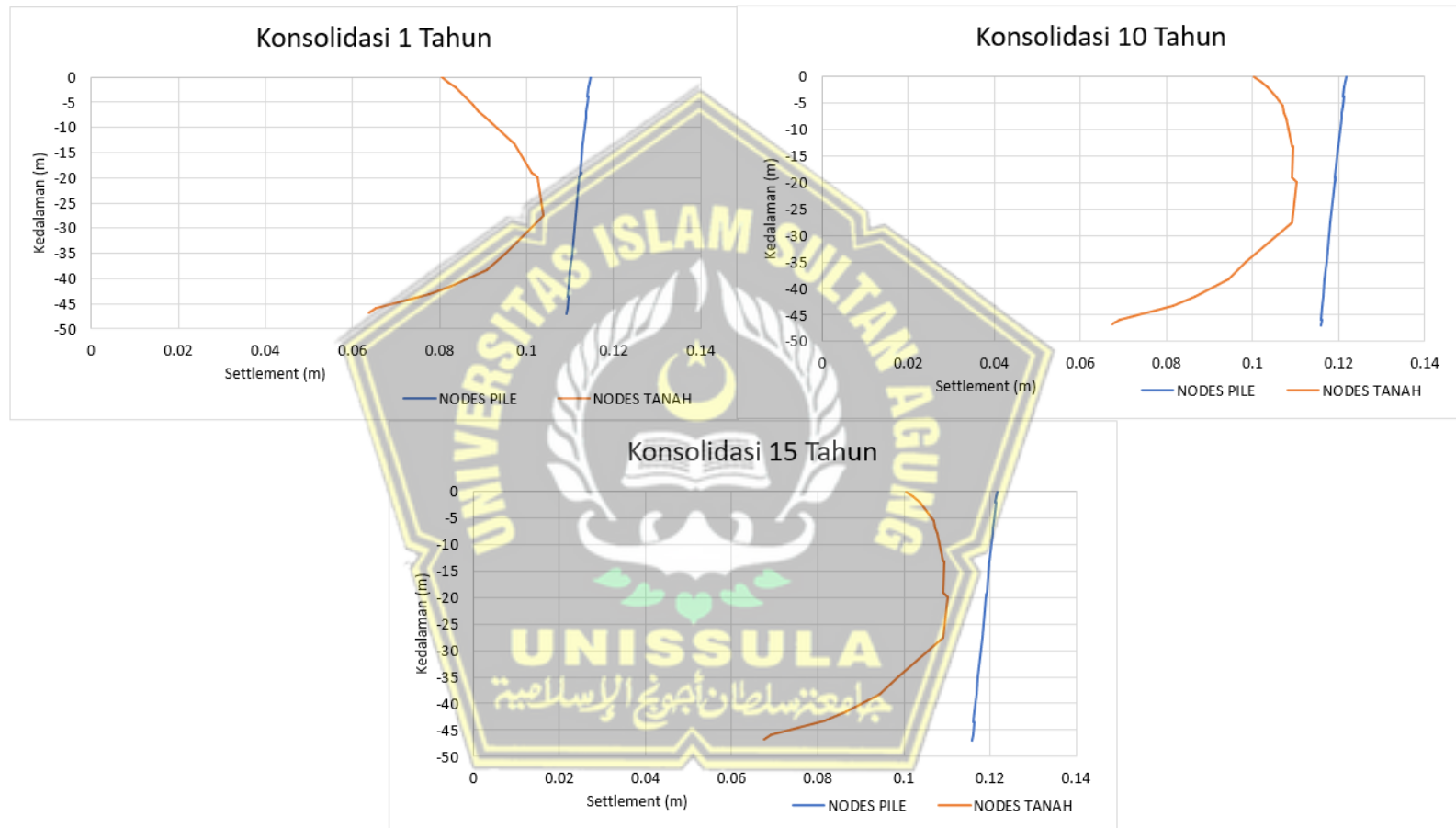
Gambar 4. 77 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m



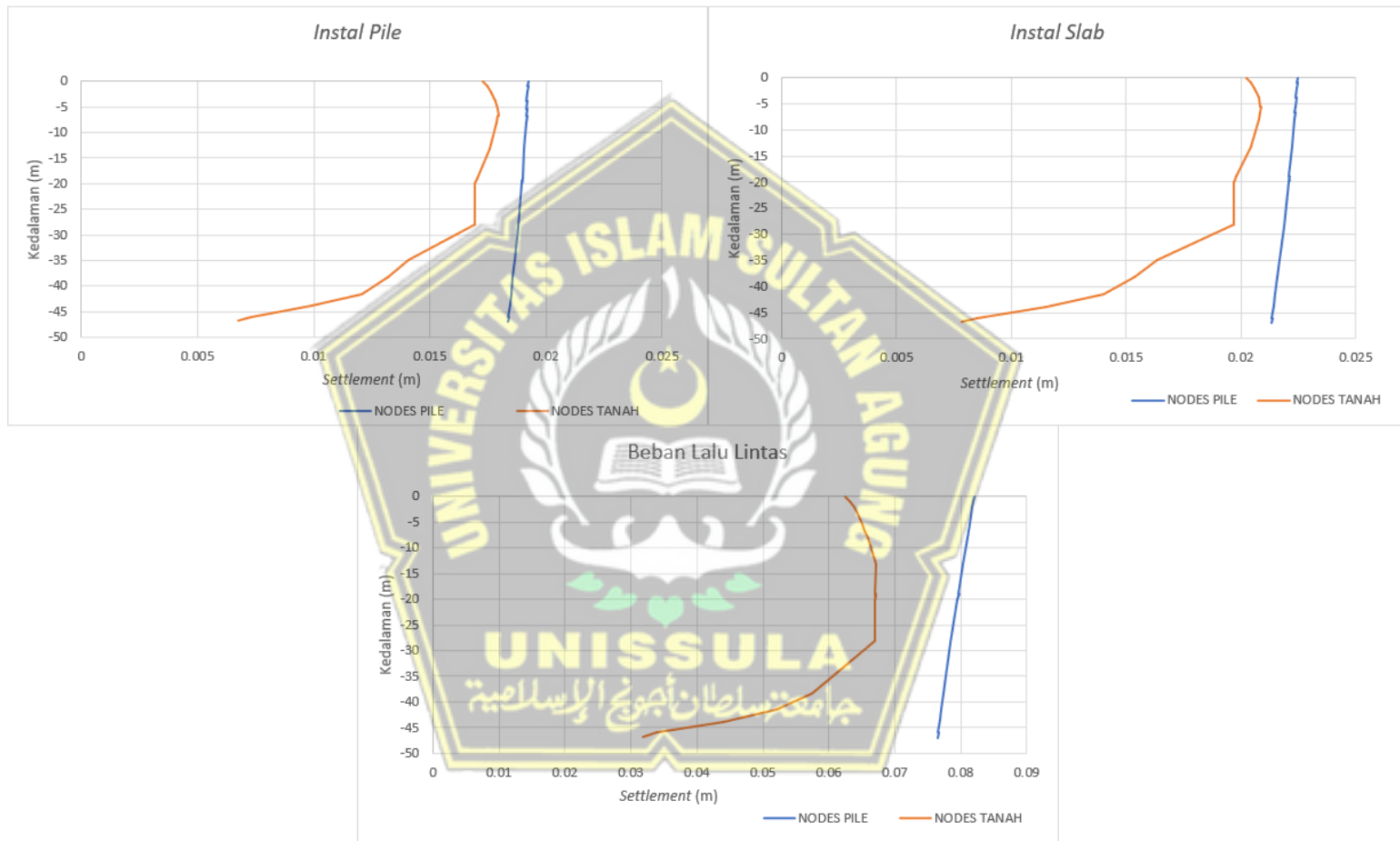
Gambar 4. 78 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 3 m



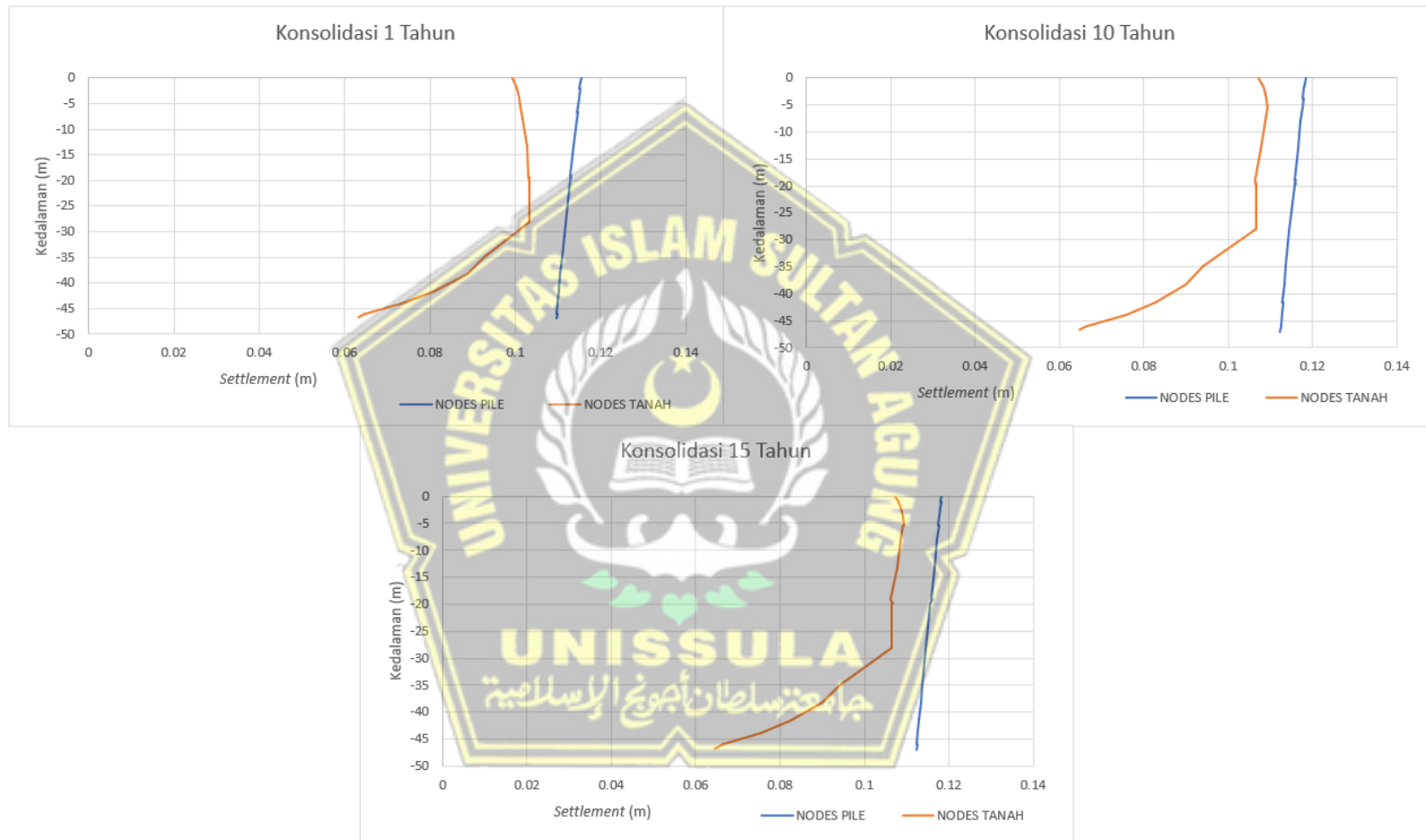
Gambar 4. 79 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m



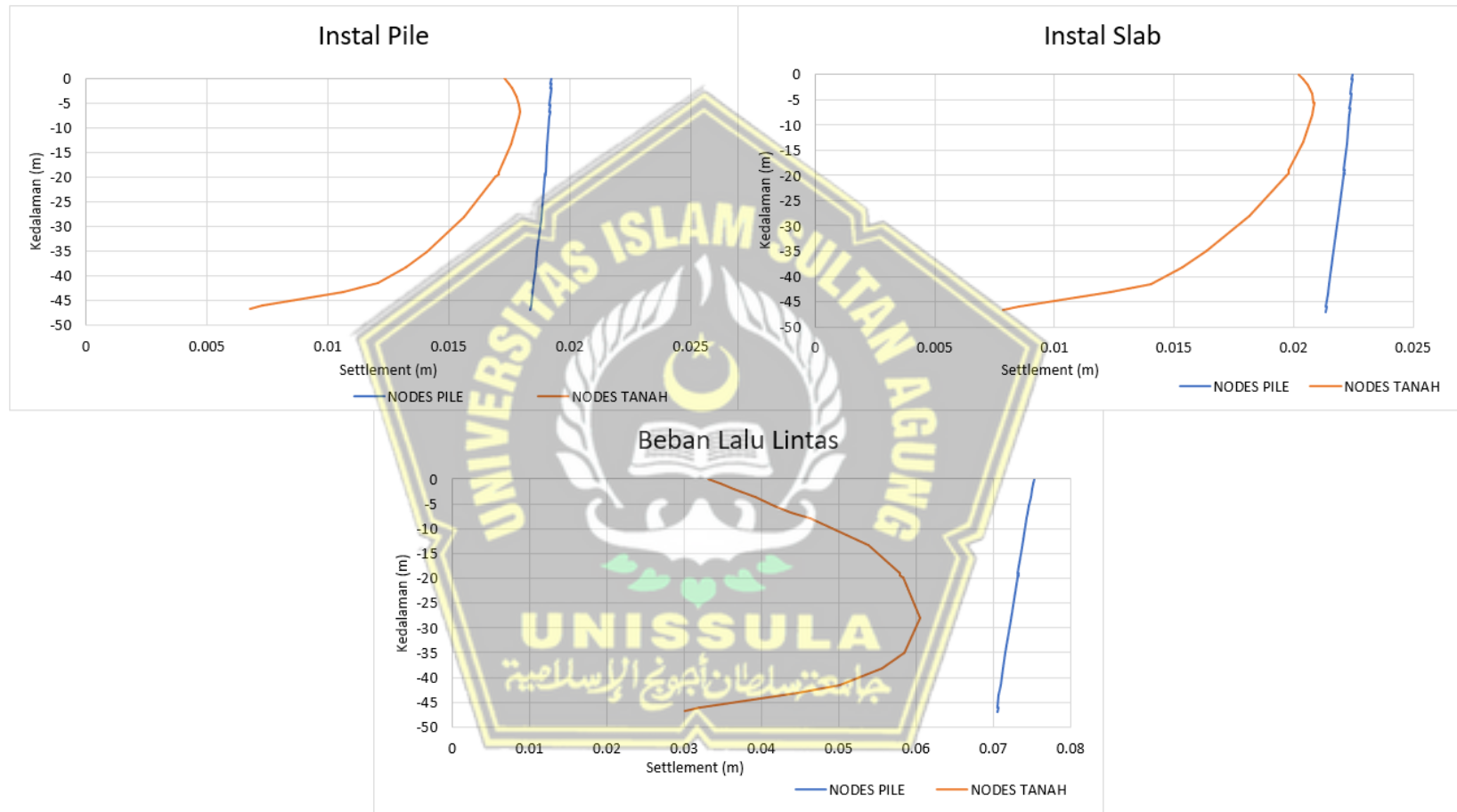
Gambar 4. 80 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 10 m ; Tinggi (y) = 7 m



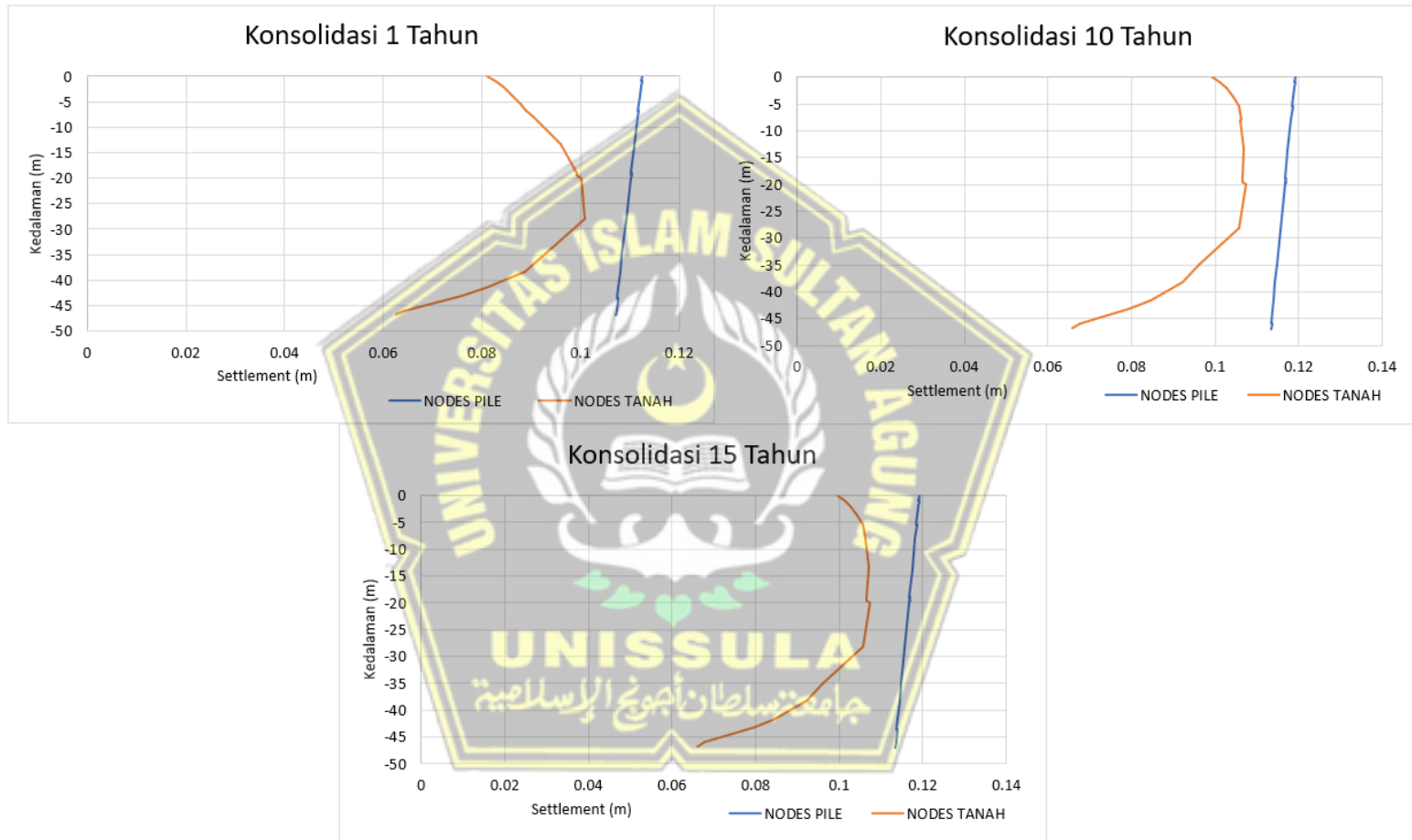
Gambar 4. 81 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m



Gambar 4. 82 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 3 m



Gambar 4. 83 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m



Gambar 4. 84 Titik Netral dengan dengan Tanah Timbunan Jarak (x) = 15 m ; Tinggi (y) = 7 m

4.4. Pembahasan

Setelah melakukan analisis menggunakan *plaxis* didapatkan hasil *output* yang dapat menjadi perbandingan dari variabel pemodelan yang telah dibuat. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu, jarak, dan tinggi timbunan. Berikut hasil perbandingan yang didapatkan :

4.4.1. Total Displacement (Utot)

Hasil *output* menunjukkan nilai *total displacement* pada tahap akhir konstruksi (*slab on pile*) memiliki nilai yang sama karena belum adanya konstruksi timbunan. Kemudian nilai *total displacement* pada akhir timbunan, *service load*, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 10 tahun, dan konsolidasi 15 tahun didapatkan hasil *output* (U_{tot}) tanah timbunan tinggi 7 meter lebih tinggi dibandingkan dengan tanah timbunan 3 meter. Semakin tinggi timbunan maka tanah akan semakin mengalami deformasi. Pada variabel jarak tidak didapatkan perubahan yang signifikan terhadap nilai *output* karena dengan adanya perubahan jarak tidak mempengaruhi distribusi beban yang menyebabkan *total displacement*. Sedangkan pada perbandingan waktu, hasil dari nilai *total displacement* akibat konsolidasi 15 tahun masih mengalami peningkatan dari waktu konsolidasi 1 tahun dan 10 tahun.

Tabel 4. 9 Perbandingan Nilai *Total Displacement* (U_{tot}) cm

Tahapan Pelaksanaan	Jenis Pemodelan				
	Tanpa Timbunan	Timbunan x= 10 m ; y= 3 m	Timbunan x= 10 m ; y= 7 m	Timbunan x= 15 m ; y= 3 m	Timbunan x= 15 m ; y= 7 m
Akhir Konstruksi	2,104	2,105	2,104	2,104	2,104
Akhir Timbunan	-	30,60	95,27	30,61	96,17
<i>Service Load</i>	7,610	29,83	94,81	29,77	95,36
Konsolidasi 1 Tahun	10,96	42,71	123,2	42,72	123,4
Konsolidasi 10 Tahun	11,16	49,28	139,3	49,01	139,4
Konsolidasi 15 Tahun	11,16	49,30	139,3	49,04	139,5

4.4.2. Excess Pore Pressure (P_{excess})

Nilai *Excess pore pressure* terbesar terjadi dibawah struktur *pile* yang dibedakan dengan perbedaan gradasi warna. Warna biru menunjukkan nilai keluarnya tekanan air pori kecil karena tidak terkena beban, sedangkan warna merah menunjukkan nilai keluarnya tekanan air pori tinggi yang disebabkan adanya beban dari struktur *slab on pile*. Pada tahap akhir konstruksi *slab on pile*, nilai *excess pore pressure* pada semua pemodelan menunjukkan nilai yang sama karena belum adanya konstruksi tanah timbunan. Setelah adanya konstruksi tanah timbunan, nilai *excess pore pressure* terbesar terjadi di bawah tanah timbunan. Pada gambar dapat dilihat gradasi warna merah di bawah tanah timbunan. Nilai *ouput excess pore pressure* pada akhir konstruksi, *service load*, *bending moment*, *shear forces*, *axial forces*, dan *horizontal displacement* pada pemodelan dengan tinggi timbunan 7 m lebih besar dibandingkan pemodelan dengan tinggi timbunan 3 m. Untuk pemodelan dengan jarak timbunan dari struktur *slab on pile* yang berbeda, nilai *excess pore pressure* menunjukkan nilai yang hampir sama sehingga tidak terlalu berpengaruh. Setelah struktur terkonsolidasi selama 15 tahun, nilai *excess pore pressure* semakin kecil karena tanah mengalami kemampatan.

Tabel 4. 10 Perbandingan Nilai *Excess Pore Pressure* (P_{excess}) kN/m^2

Tahapan Pelaksanaan	Jenis Pemodelan				
	Tanpa Timbunan	Timbunan x= 10 m ; y= 3 m	Timbunan x= 10 m ; y= 7 m	Timbunan x= 15 m ; y= 3 m	Timbunan x= 15 m ; y= 7 m
Akhir Konstruksi	28.03	28.03	28.03	28.03	28.03
Akhir Timbunan	-	31.92	75.28	31.89	75.21
<i>Service Load</i>	98.67	87.51	88.71	86.18	87.70
Konsolidasi 1 Tahun	1.653	10.76	25.94	10.12	25.62
Konsolidasi 10 Tahun	3.744×10^3	0.03666	0.1082	0.03926	0.1108
Konsolidasi 15 Tahun	0.1978×10^{-3}	1.959×10^{-3}	5.820×10^{-3}	2.109×10^{-3}	5.977×10^{-3}

4.4.3. *Bending Moment (M)*

Hasil *output* menunjukkan nilai *bending moment* pada tahap akhir konstruksi (*slab on pile*) memiliki nilai yang sama karena belum adanya konstruksi timbunan. Kemudian nilai *bending moment* pada akhir timbunan, *service load*, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 10 tahun, dan konsolidasi 15 tahun didapatkan hasil *output* (M) tanah timbunan tinggi 7 meter lebih tinggi dibandingkan dengan tanah timbunan 3 meter. Semakin tinggi timbunan maka *pile* semakin mendekati kondisi *crack*. Pada variabel jarak tidak didapatkan perubahan yang signifikan terhadap nilai *output* karena dengan adanya perubahan jarak tidak mempengaruhi distribusi beban yang menyebabkan *crack*. Sedangkan pada perbandingan waktu, hasil dari nilai *bending moment* akibat konsolidasi 15 tahun masih mengalami penurunan dari waktu konsolidasi 1 tahun dan 10 tahun.

Tabel 4. 11 Perbandingan Nilai *Bending Moment* (M) kNm

Tahapan Pelaksanaan	Jenis Pemodelan				
	Tanpa Timbunan	Timbunan x=10 m ; y=3 m	Timbunan x=10 m ; y=7 m	Timbunan x=15 m ; y=3 m	Timbunan x=15 m ; y=7 m
Akhir Konstruksi	3.212	3.212	3.212	3.212	3.212
Akhir Timbunan	-	17.21	51.73	15.43	56.40
<i>Service Load</i>	62.57	70.58	110.50	74.49	115.40
Konsolidasi 1 Tahun	78.02	77.60	118.80	81.36	115.7
Konsolidasi 10 Tahun	78.55	76.31	106.30	79.33	108.5
Konsolidasi 15 Tahun	78.55	76.29	106.2	79.31	108.5

4.4.4. *Shear Forces (Q)*

Hasil *output* menunjukkan nilai *shear forces* pada tahap akhir konstruksi (*slab on pile*) memiliki nilai yang sama karena belum adanya konstruksi timbunan. Kemudian nilai *shear forces* pada akhir timbunan, *service load*, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 10 tahun, dan konsolidasi 15 tahun didapatkan hasil *output* (Q) tanah timbunan tinggi 7 meter lebih tinggi dibandingkan dengan tanah timbunan 3 meter. Semakin tinggi timbunan maka semakin tinggi gaya geser yang diterima. Pada variabel jarak tidak didapatkan perubahan yang signifikan terhadap nilai

output karena dengan adanya perubahan jarak tidak mempengaruhi distribusi beban yang menyebabkan *shear forces*.

Tabel 4. 12 Perbandingan Nilai *Shear Forces* (Q) kN

Tahapan Pelaksanaan	Jenis Pemodelan				
	Tanpa Timbunan	Timbunan x=10 m ; y=3 m	Timbunan x=10 m ; y=7 m	Timbunan x=15 m ; y=3 m	Timbunan x=15 m ; y=7 m
Akhir Konstruksi	0.3882	0.3882	0.3882	0.3882	0.3882
Akhir Timbunan	-	2.744	6.461	2.1	8.728
<i>Service Load</i>	7.567	9.230	16.00	9.801	16.67
Konsolidasi 1 Tahun	9.861	9.946	15.55	10.51	16.31
Konsolidasi 10 Tahun	9.779	9.523	14.22	9.996	14.59
Konsolidasi 15 Tahun	9.779	9.520	14.22	9.993	14.59

4.4.5. Axial Forces (N)

Hasil *output* menunjukkan nilai *axial forces* pada tahap akhir konstruksi (*slab on pile*) memiliki nilai yang relatif sama karena belum adanya konstruksi timbunan. Pada tahap pelaksanaan akhir timbunan, timbunan dengan tinggi 7 m memiliki nilai *axial forces* lebih besar dibandingkan dengan nilai timbunan dengan tinggi 3 m. Untuk waktu konsolidasi 1 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun mengalami peningkatan nilai *axial forces* (N).

Tabel 4. 13 Perbandingan Nilai *Axial Forces* (N) kN

Tahapan Pelaksanaan	Jenis Pemodelan				
	Tanpa Timbunan	Timbunan x=10 m ; y=3 m	Timbunan x=10 m ; y=7 m	Timbunan x=15 m ; y=3 m	Timbunan x=15 m ; y=7 m
Akhir Konstruksi	82.23	82.25	82.23	82.24	82.24
Akhir Timbunan	-	14.01	60.91	56.07	67.36
<i>Service Load</i>	362.6	347.6	343.8	346.5	343.2
Konsolidasi 1 Tahun	359.5	346.8	346.4	345.8	342.5
Konsolidasi 10 Tahun	362.9	381	429.3	357.4	375.8
Konsolidasi 15 Tahun	362.9	381.1	429.6	357.5	376.1

4.4.6. Horizontal Displacement

Hasil *output* menunjukkan nilai *horizontal displacement* pada tahap akhir konstruksi (*slab on pile*) memiliki nilai yang sama karena belum adanya konstruksi timbunan. Kemudian nilai *horizontal displacement* pada akhir timbunan, *service load*, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 10 tahun, dan konsolidasi 15 tahun didapatkan hasil *output* (U_x) tanah timbunan tinggi 7 meter lebih tinggi dibandingkan dengan tanah timbunan 3 meter. Semakin tinggi timbunan maka *pile* akan semakin mengalami deformasi lateral. Pada variabel jarak timbunan dari struktur *slab on pile* tidak didapatkan perubahan yang signifikan terhadap nilai *output* karena dengan adanya perubahan jarak tidak terlalu mempengaruhi distribusi beban yang menyebabkan *horizontal displacement*. Sedangkan pada perbandingan waktu, hasil dari nilai *horizontal displacement* mengalami penurunan setelah terkonsolidasi selama 1 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun.

Tabel 4. 14 Perbandingan Nilai *Horizontal Displacement* (U_x) cm

Tahapan Pelaksanaan	Jenis Pemodelan				
	Tanpa Timbunan	Timbunan x=10 m ; y=3 m	Timbunan x=10 m ; y=7 m	Timbunan x=15 m ; y=3 m	Timbunan x=15 m ; y=7 m
Akhir Konstruksi	0.606	0.607	0.606	0.606	0.606
Akhir Timbunan	-	10.29	32.78	9.54	30.93
<i>Service Load</i>	2.111	9.866	32.25	9.134	30.38
Konsolidasi 1 Tahun	1.129	8.851	28.75	8.126	26.44
Konsolidasi 10 Tahun	1.112	8.355	26.56	7.529	23.811
Konsolidasi 15 Tahun	1.112	8.353	26.55	7.526	23.8

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis pengaruh tanah timbunan terhadap struktur *slab on pile* pada jalan tol menggunakan program *Plaxis V20* yang telah dibahas pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari proses analisis yang dilakukan didapatkan hasil jika jarak tidak begitu berpengaruh terhadap struktur *slab on pile*. Hal ini dibuktikan dengan hasil *output Plaxis V20* pada nilai *total displacement*, *excess pore pressure*, *shear forces*, *axial forces*, *bending moment*, dan *horizontal displacement*. Nilai output jarak 10 meter dan 15 meter tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Berbeda jika dibandingkan dengan hasil dari variasi tinggi timbunan, semakin tinggi timbunan yang diberikan maka akan semakin tinggi pula pengaruhnya terhadap *slab on pile*.
2. Berdasarkan kesimpulan dari hasil analisis, variasi jarak tidak menunjukkan perbedaan yang besar, maka variasi yang menjadi pembanding *total displacement* yaitu variasi tinggi timbunan. Tinggi timbunan yang semakin besar menyebabkan kenaikan nilai *total displacement* di setiap tahapan konstruksi.
3. Pengaruh waktu penurunan tanah terhadap struktur *slab on pile* setelah adanya struktur tanah timbunan berdasarkan hasil *output bending moment* dan *horizontal displacement* nilai terbesar terjadi pada konsolidasi 1 tahun dan selalu terjadi penurunan hingga konsolidasi 15 tahun. Hal ini dapat terjadi salah satunya karena dengan bertambahnya tahun air pori tanah akan berkurang (tabel *excess pore pressure*) sehingga tanah semakin padat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusty, S. P., Pramesti, T. A., Karlinasari, R., & Rochim, A. (2020). Analisis Perbandingan Koefisien Tanah Lateral Menggunakan Metode Perhitungan manual (Numerik) Dan Metode Elemen Hingga (Plaxis). *Prosiding Konstelasi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering*.
- Anisawitri, F., Budiono, A., Basid, A., & Nurhafsari, A. (2020). Analisis Kapasitas Jalan Maulana Yusuf Ditinjau dari Segi Lalu Lintas dan Jumlah Pengguna Jalan. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 1(1), 11-19.
- Bjerrum, L, dan Simons, N. E., (1960). *Comprisson of Shear Strenght Characteristic of Normaly Consolidated Clay*. Research Conference on Shear Strenght of Cohesive Soils.
- Bowles, J.E. (1984). "Physical and Geotechnical Properties of Soils", McGrawHill, Inc., USA.
- Bowles, J.E., 1997, Analisa dan Desain Pondasi, Jakarta: Erlangga.
- Cahyadinata, H. W., & Makarim, C. A. (2020). Analisis Tiang Pancang Sebagai Dinding Penahan Tanah Dengan Menggunakan Program Metode Elemen Hingga. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 889-896.
- Das, B.M. 1988. Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Erlangga : Jakarta.
- Das, B.M. 1995. Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Erlangga : Jakarta.
- Das, B.M. 1998. Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Erlangga : Jakarta.
- Fahriani, F., & Apriyanti, Y. (2015, December). Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Pondasi Pada Daerah Pesisir Pantai Utara Kabupaten Bangka. In *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)* (Vol. 3, No. 2, pp. 89-95).
- Fitrianingtyas, Dwi Hayu dan Nila Nikmatul M. 2018. "Analisis dan Penanganan Retakan dan Longsoran Menggunakan Program Plaxis V8.2 (Studi Kasus : Ruas Jalan Tol Semarang – Batang)". Tugas Akhir. Semarang. Universitas Sultan Agung Semarang.

- Hardiyatmo, G. C., 2002, Mekanika Tanah Jilid 1. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). Analisis dan Perancangan Fondasi I. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Haris, V. T., Lubis, F., & Winayati, W. (2018). Nilai Kohesi Dan Sudut Geser Tanah Pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning. *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 123-130.
- Holtz, D.R. and Kovacs, D.W. (1981) An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice-Hall, Inc.
- Ikhsan, N., Fahriani, F., & Apriyanti, Y. (2018, December). Pengaruh angka poisson dan modulus geser tanah terhadap amplitudo dan frekuensi pada pemodelan fondasi blok tidak tertanam untuk mesin diesel. In *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)* (Vol. 6, No. 2, pp. 88-96).
- Israelsen, O. W., and Hansen, V. E., 1962. Irrigation Principles and Practices. Willey, New York.
- Mayerhof, G.G. 1965. "Shallow Foundations." Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers Vol. 91, No. SM2: 21-32.
- Muto, K., Bailey, R. W., & Mitchell, K. J. (1963). Nominated Lecture: Special Requirements for the Design of Nuclear Power Stations to Withstand Earthquakes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 177(1), 155-203.
- Priadi, E. Analisa Modulus Elastisitas Dalam Memprediksi Besarnya Keruntuhan Lateral Dinding Penahan Tanah Pada Tanah Lunak. *Jelast: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 5(2).
- Purnomo, E. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel Di Semarang).
- Salam, Abdul Kadir. (2020). *Ilmu Tanah*. Global Madani Press.
- Standards Australia, (2002): Australian Standardtm : Earth Retaining Structures, Council of Australia, Sydney.

- Sundari, T., Amudi, A., Yulianto, T., & Ramadhani, R. (2020). Analisis Statik Beban Gempa Pada Perencanaan Struktur Gedung Rektorat Unhasy Tebuireng Jombang. *Rekayasa Sipil*, 14(3), 211-217.
- Susanto, 1994. Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.
- Terzaghi, K., (1943), Theoretical Soil Mechanics. New York: Wiley & Sons. Transportasi, WSP internasional jakatra, Indonesia.
- Toha, F. X. (1989). Karakteristik Konsolidasi Lempung Lunak Banjarmasin. In *National Symposium on Soft Soil and Landslides. HATTI. Bandung*.
- Zakaria, Z., Ismawan, I., & Haryanto, I. (2011). Identifikasi dan Mitigasi Pada Zona Rawan Gempa Bumi di Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 9(1), 35-41.
- Zaro, K., Nugroho, S. A., & Fatnanta, F. (2014). Pengaruh Kadar Lempung Dengan Kadar Air Di Atas OMC Terhadap Nilai CBR Dengan dan Tanpa Rendaman Pada Tanah Lempung Organik. *Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik dan Sains*, 1(2), 1-5.

