

TUGAS AKHIR

**ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK METODE *PRELOADING*
DENGAN VARIASI KETEBALAN *LOAD TRANSFER PLATFORM***

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Hanif Adam Al Faruqi

NIM : 30202000252

Umron Romzi

NIM : 30202000259

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK METODE *PRELOADING*
DENGAN VARIASI KETEBALAN *LOAD TRANSFER PLATFORM*



Hanif Adam Al-Faruqi
NIM : 30202000252



Umron Romzi
NIM : 30202000259

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 15 Agustus 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Abdul Rochim ST., MT.**
NIDN: 0608067601

2. **Selvia Agustina ST., M.Eng.**
NIDN: 0609099001

3. **Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D.**
NIDN: 0607046802

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Muhamad Rusli Ahyar'.

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No

Pada hari ini tanggal 05-08-2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping

1. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Selvia Agustina, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Hanif Adam Al Faruqi
NIM : 30202000252

Umron Romzi
NIM : 30202000259

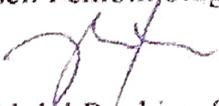
Judul : ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK METODE *PRELOADING*
DENGAN VARIASI KETEBALAN *LOAD TRANSFER PLATFORM*

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	04/10/2021	
2	Seminar Proposal	01/04/2022	ACC
3	Pengumpulan data	03/04/2022	
4	Analisis data	05/04/2022	
5	Penyusunan laporan	07/04/2022	
6	Selesai laporan	05/08/2022	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

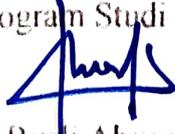

Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Dosen Pembimbing Pendamping


Selvia Agustina, ST., M.Eng.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Hanif Adam Al Faruqi

NIM : 30202000252

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

*Analisa Perbaikan Tanah Lunak Melalui Preloading dengan Variasi
Ketebalan Load Transfer Platform*

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, 17 / 08 / 2022

Yang membuat pernyataan,



Hanif Adam Al Faruqi

NIM : 30202000252

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Umron Romzi

NIM : 30202000259

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

Analisa Perbaikan Tambah Lunak Metode Preloading dengan Variasi Ketebalan Load Transfer Platforn

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, 17 / 08 / 2022

Yang membuat pernyataan,



Umron Romzi.

NIM : 30202000259



PERNYATAAN KEASLIAN

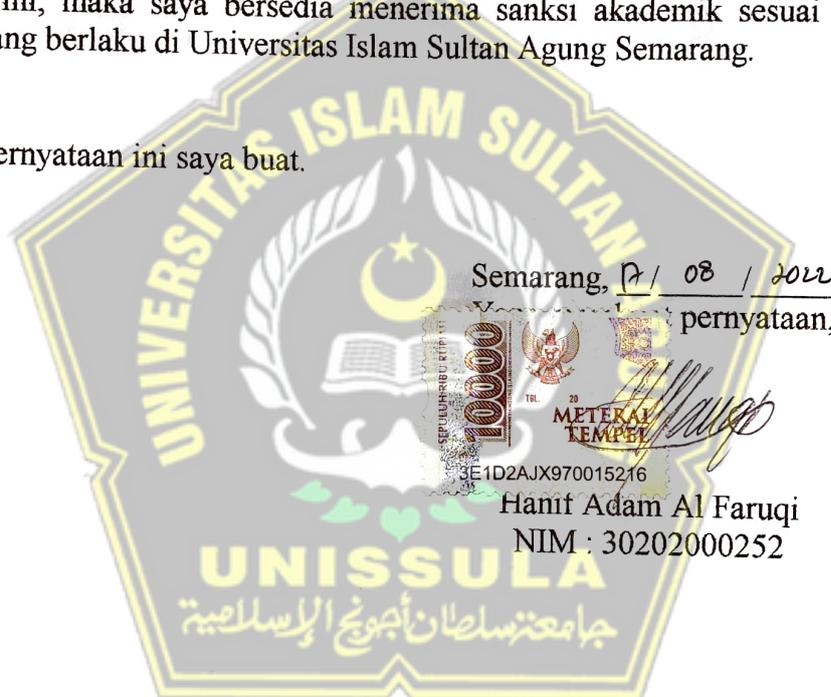
Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Hanif Adam Al Faruqi
NIM : 30202000252
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa Perbaikan Tanah Lunak Metode *Preloading* dengan Variasi Ketebalan *Load Transfer Platform*

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.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Umron Romzi
NIM : 30202000259
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa Perbaikan Tanah Lunak Metode *Preloading* dengan Variasi Ketebalan *Load Transfer Platform*

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, 17 / 08 / 2022
Materai 10000
pernyataan,

Umron Romzi
NIM : 30202000259

MOTTO

“Aku sudah pernah merasakan semua kepahitan dalam hidup dan yang paling pahit ialah berharap kepada manusia.”– Ali bin Abi Thalib.

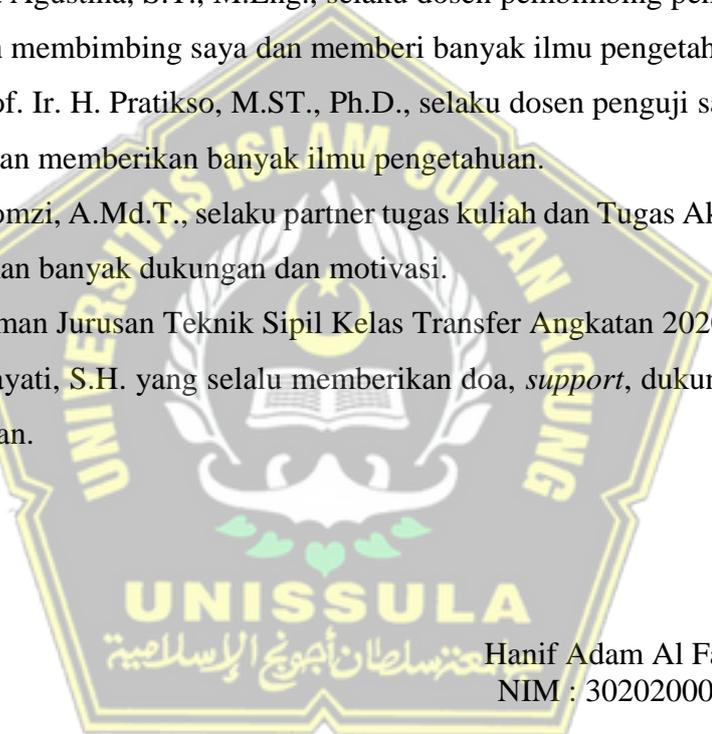
“There is a voice that doesn’t use words. Listen.” Jalāl ad-Dīn Mohammad Rūmī



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Bapak Suyanto dan Ibu Sri Mulyani, selaku ayah dan ibu saya yang selalu memberikan doa, *support*, dukungan, serta motivasi dalam bentuk apapun.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama saya yang telah membimbing saya dan memberi banyak ilmu pengetahuan.
3. Ibu Selvia Agustina, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing pendamping saya yang telah membimbing saya dan memberi banyak ilmu pengetahuan.
4. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D., selaku dosen penguji saya yang telah menguji dan memberikan banyak ilmu pengetahuan.
5. Umron Romzi, A.Md.T., selaku partner tugas kuliah dan Tugas Akhir yang telah memberikan banyak dukungan dan motivasi.
6. Teman-teman Jurusan Teknik Sipil Kelas Transfer Angkatan 2020
7. Siti Nurhayati, S.H. yang selalu memberikan doa, *support*, dukungan, motivasi dan bantuan.

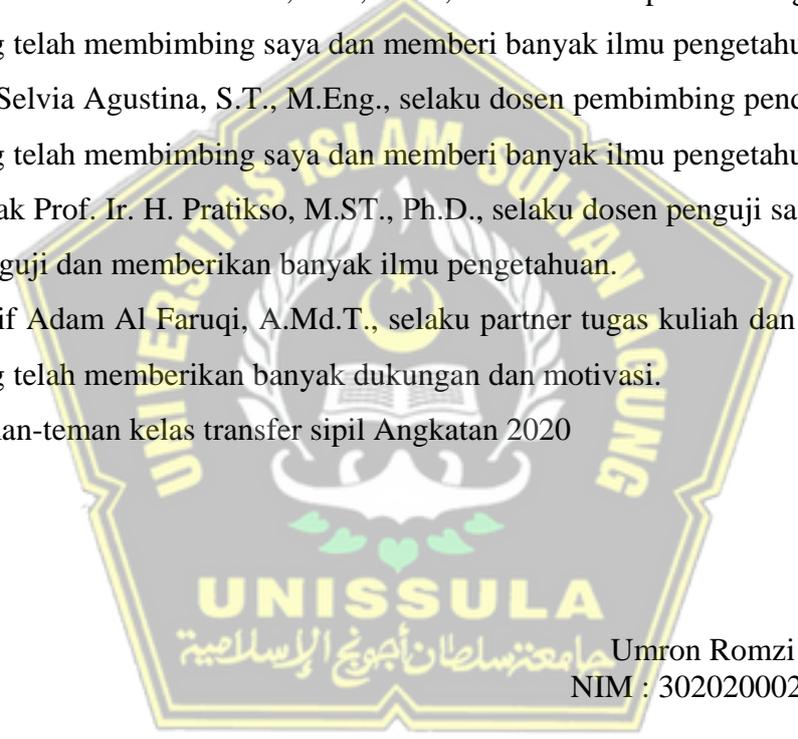


Hanif Adam Al Faruqi
NIM : 30202000252

PERSEMBAHAN

Berikan mukadimah sebelum menyampaikan nama orang-orang yang akan diberi persembahan atas laporan tugas akhir ini. Contohnya seperti : Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Bapak Imam Sumardjo dan Ibu Ellys Setyowati, selaku ayah dan ibu saya yang selalu memberikan doa, *support*, dukungan, serta motivasi dalam bentuk apapun.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama saya yang telah membimbing saya dan memberi banyak ilmu pengetahuan.
3. Ibu Selvia Agustina, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing pendamping saya yang telah membimbing saya dan memberi banyak ilmu pengetahuan.
4. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D., selaku dosen penguji saya yang telah menguji dan memberikan banyak ilmu pengetahuan.
5. Hanif Adam Al Faruqi, A.Md.T., selaku partner tugas kuliah dan Tugas Akhir yang telah memberikan banyak dukungan dan motivasi.
6. Teman-teman kelas transfer sipil Angkatan 2020



Umron Romzi
NIM : 30202000259

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Perbaikan Tanah Lunak Metode *Preloading* dengan Variasi Ketebalan *Load Transfer Platform*” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Selvia Agustina, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Agustus, 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Umum.....	5
2.2 Tanah Lunak.....	5
2.2.1 Deskripsi Tanah Lunak.....	5
2.2.2 Karakteristik Tanah Lunak	8
2.2.3 Masalah yang Terjadi pada Tanah Lunak.....	9
2.2.4 Penanganan Tanah Lunak.....	10
2.3 Parameter Tanah	10
2.3.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir.....	10
2.3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan SPT (Standart Penetration Test)	12
2.3.3 Permeabilitas (Permeability).....	14

2.3.4 Modulus Young dan Poisson Ratio (ν).....	14
2.3.5 Sudut Geser Dalam Tanah	15
2.3.6 Kohesi	16
2.4 Penurunan Tanah.....	16
2.4.1 Penurunan Seketika (Immediate Settlement – S_i)	17
2.4.2 Penurunan Konsolidasi/Primer (Primary Consolidation – S_c)	17
2.4.3 Konsolidasi Sekunder (Secondary Consolidation)	19
2.5 Konsolidasi Tanah.....	19
2.5.1 Definisi Konsolidasi Tanah	19
2.5.2 Penurunan Konsolidasi	20
2.5.3 Waktu Konsolidasi.....	21
2.5.4 Derajat Konsolidasi.....	21
2.5.5 Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (C_v)	22
2.6 Pembebanan Awal (Preloading).....	23
2.7 Load Transfer Platform	24
2.8 Material Granular	25
2.9 Penguatan Geosintetik.....	25
2.10 Desain Load Transfer Platform.....	25
2.11 Penguatan Total Desain Beban	26
2.11.1. <i>End Bearing Pile</i> (Tumpuan Ujung).....	27
2.11.2. <i>Friction Pile</i> (Tumpuan Geser/Sisi)	28
2.12 Analisis Menggunakan Plaxis v8.2.....	28
BAB III METODOLOGI	30
3.1 Pendahuluan.....	30
3.2 Identifikasi Masalah.....	31

3.3	Studi Literatur	32
3.4	Pemodelan dengan Program Plaxis 8.2	32
3.4.1	Teknik Pengolahan Data	32
3.4.2	Penginputan Data	40
3.4.3	Perhitungan	47
3.4.4	Hasil Analisis Pemodelan Menggunakan Program Plaxis 8.2.....	47
3.4.5	Kesimpulan dan Saran	47
3.4.6	Penyusunan Laporan.....	47
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		48
A.	Hasil Penelitian	48
4.1.	Parameter Desain	49
4.1.1.	Parameter Timbunan dan Perkerasan	49
4.1.2.	Parameter Kolom atau <i>Pile</i>	50
4.1.3.	Parameter Tanah	51
4.2.	Pemodelan Perbaikan Tanah dengan Variasi Ukuran Pile dan Tebal LTP.	52
4.3.	Pembebanan	52
4.4.	Tahap Perhitungan	54
4.5.	Hasil Perhitungan	76
4.5.1	Keluaran Setelah dilakukan Perkerasan Jalan	76
4.5.2	Keluaran akibat Beban Lalu Lintas	79
4.5.3	Keluaran Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun	81
4.5.4	Keluaran Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun	84
4.5.5	Keluaran Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun	86
4.5.6	Keluaran Setelah Terkonsolidasi 50 tahun	89
4.6	Hasil Perhitungan dengan Program Plaxis 8.2 Dalam Bentuk Tabel.....	92

4.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan menggunakan LTP (Load Transfer Platform).....	93
4.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan tanpa menggunakan LTP (Load Transfer Platform).....	94
B. Pembahasan	95
BAB V PENUTUP	96
5.1 Kesimpulan.....	96
5.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	98



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Grafik hubungan Tekanan Conus Dengan Perlawanan Geser.....	12
Gambar 2. 2	Tahap Penurunan Tanah (Ground Settlement)	19
Gambar 2. 3	Grafik Hubungan Faktor Waktu Dengan Derajat Konsolidasi.....	22
Gambar 2. 4	: Mekanisme Transfer Beban Metode Beam	26
Gambar 2. 5	Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang tipe End Bearing.....	27
Gambar 2. 6	Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang tipe End Bearing.....	28
Gambar 3. 1	Bagan Metodologi	30
Gambar 3. 2	Kotak Dialog Toolbar	38
Gambar 3. 3	Kotak Dialog General Settings – Tab Project.....	38
Gambar 3. 4	Kotak Dialog General Settings – Tab Dimensions.....	39
Gambar 3. 5	Model Geometri Penampang Melintang Jepit Standar (Standar Fixities)	39
Gambar 3. 6	Material Sets	41
Gambar 3. 7	Properties Lapisan Tanah – Tab General	41
Gambar 3. 8	Properties Lapisan Tanah – Tab Parameters	42
Gambar 3. 9	Properties Lapisan Tanah – Tab Interfaces	42
Gambar 3. 10	Materials Sets	43
Gambar 3. 11	Properties Material	43
Gambar 3. 12	Mesh Generation Penampang Melintang.....	44
Gambar 3. 13	Tinggi Permukaan Air Tanah (Phreatic Level)	44
Gambar 3. 14	Phreatic Level	45
Gambar 3. 15	Tekanan Air Aktif (Active Pore Water Pressure).....	45
Gambar 3. 16	Mengaktifkan Figurasi Geometri	46
Gambar 3. 17	K_0 – Procedure	46
Gambar 3. 18	Generate Initial Stress.....	47
Gambar 4. 1	Potongan Melintang.....	48
Gambar 4. 2	Lapisan Perkerasan	50
Gambar 4. 3	Besar Beban Tiap As Roda Truk	53
Gambar 4. 4	Besar Beban Tiap As Roda Truk	53
Gambar 4. 5	<i>Input Phase</i> Timbunan 1 Pada <i>Tab General</i> dan <i>Parameters</i>	59
Gambar 4. 6	Define Phase Timbunan 1.....	60
Gambar 4. 7	Input Phase Install Pile Pada Tab General dan Parameters (Plate) .60	
Gambar 4. 8	<i>Define Phase</i> Instal Kolom atau <i>Pile (Plate)</i>	61
Gambar 4. 9	<i>Input Phase</i> LTP (<i>Load Transfer Platform</i>) pada Tab <i>General</i> dan <i>Parameters</i>	61
Gambar 4. 10	Define Phase LTP (<i>Load Transfer Platform</i>).....	62
Gambar 4. 11	Input Phase Timbunan 2 pada Tab General.....	62
Gambar 4. 12	Define Phase Timbunan 2.....	63
Gambar 4. 13	Input Phase Timbunan 3 pada Tab General dan Parameters	64
Gambar 4. 14	Define Phase Timbunan 3.....	64

Gambar 4. 15 Input Phase konsolidasi pada Tab General dan Parameters	65
Gambar 4. 16 Input Phase Timbunan 4 pada Tab General dan Parameters	65
Gambar 4. 17 Define Phase Timbunan 4.....	66
Gambar 4. 18 Input Phase Timbunan 5 pada Tab General dan Parameters	66
Gambar 4. 19 Define Phase Timbunan 5.....	67
Gambar 4. 20 Input Phase Timbunan 6 pada Tab General dan Parameters	67
Gambar 4. 21 Define Phase Timbunan 6.....	68
Gambar 4. 22 Input Phase Timbunan 7 pada Tab General dan Parameters	68
Gambar 4. 23 Define Phase Timbunan 7.....	69
Gambar 4. 24 Input Phase konsolidasi pada Tab General	69
Gambar 4. 25 Input Phase Perkerasan Jalan pada Tab General dan Parameters..	70
Gambar 4. 26 Define Phase Perkerasan Jalan	70
Gambar 4. 27 Input Phase Beban Lalu Lintas pada Tab General dan Parameters	71
Gambar 4. 28 Define Phase Beban Lalu Lintas.....	71
Gambar 4. 29 Input Phase Konsolidasi 1 Tahun pada Tab General dan Parameters.....	72
Gambar 4. 30 Input Phase Konsolidasi 3 Tahun pada Tab General dan Parameters	73
Gambar 4. 31 Input Phase Konsolidasi 10 Tahun pada Tab General dan Parameters	73
Gambar 4. 32 Input Phase Konsolidasi 50 Tahun pada Tab General.....	74
Gambar 4. 33 Input Phase SF pada Tab General dan Parameters.....	75
Gambar 4. 34 Penentuan Titik Tinjauan Displacement.....	75
Gambar 4. 35 Penentuan Titik Tinjauan Stresses.....	76
Gambar 4. 36 Total Penurunan Tanah Saat Perkerasan Jalan pada LTP tebal 1 meter.....	76
Gambar 4. 37 Total Penurunan Tanah Saat Perkerasan Jalan pada LTP tebal 2 meter.....	77
Gambar 4. 38 Total Penurunan Tanah Saat Perkerasan Jalan pada LTP tebal 3 meter.....	77
Gambar 4. 39 Safety Factor Saat Perkerasan Jalan pada LTP 1 meter	78
Gambar 4. 40 Safety Factor Saat Perkerasan Jalan pada LTP 2 meter	78
Gambar 4. 41 Safety Factor Saat Perkerasan Jalan pada LTP 3 meter	78
Gambar 4. 42 Total Penurunan Tanah Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 1 meter	79
Gambar 4. 43 Total Penurunan Tanah Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 2 meter	79
Gambar 4. 44 Total Penurunan Tanah Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 3 meter	80
Gambar 4. 45 Safety Factor Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 1 meter.....	80
Gambar 4. 46 Safety Factor Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 2 meter.....	80
Gambar 4. 47 Safety Factor Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 3 meter.....	81
Gambar 4. 48 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 1 meter.....	81

Gambar 4. 49 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 2 meter.....	82
Gambar 4. 50 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 3 meter.....	82
Gambar 4. 51 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 1 meter	83
Gambar 4. 52 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 2 meter	83
Gambar 4. 53 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 3 meter	83
Gambar 4. 54 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 1 meter.....	84
Gambar 4. 55 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 2 meter.....	84
Gambar 4. 56 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 3 meter.....	85
Gambar 4. 57 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 1 meter	85
Gambar 4. 58 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 2 meter	86
Gambar 4. 59 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 3 meter	86
Gambar 4. 60 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 1 meter.....	87
Gambar 4. 61 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 2 meter.....	87
Gambar 4. 62 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 3 meter.....	88
Gambar 4. 63 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 1 meter.....	88
Gambar 4. 64 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 2 meter.....	89
Gambar 4. 65 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 3 meter.....	89
Gambar 4. 66 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 1 meter.....	90
Gambar 4. 67 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 2 meter.....	90
Gambar 4. 68 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 3 meter.....	91
Gambar 4. 69 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 2 meter.....	91
Gambar 4. 70 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 2 meter.....	92
Gambar 4. 71 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 3 meter.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Organik pada Tanah Lunak.....	6
Tabel 2. 2 Konsentrasi Tanah Berdasarkan Kuat Geser.....	8
Tabel 2. 3 Indikator Kuat Geser pada Lapangan.....	9
Tabel 2. 4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir	11
Tabel 2. 5 Hubungan antara kepadatan, berat jenis tanah kering, nilai N-SPT, q_c , dan ϕ	12
Tabel 2. 6 Hubungan antara nilai N-SPT dengan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) .	13
Tabel 2. 7 Hubungan Antara Nilai Tipikal Berat Volume Kering	13
Tabel 2. 8 Permeabilitas (k) dalam satuan (m/s).....	14
Tabel 2. 9 Hubungan Modulus Elastisitas (E_s) dan Nilai Poisson Ratio	14
Tabel 2. 10 Hubungan Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	15
Tabel 2. 11 Hubungan Sudut Geser Dalam, dengan Tingkat Plastisitas, dan Jenis Tanah.....	15
Tabel 2. 12 Hubungan Antara N-SPT, Kohesi, Sudut Geser Tanah	16
Tabel 3. 1 Deskripsi Data Tanah	32
Tabel 3. 2 Parameter Tanah.....	37
Tabel 4. 1 Tabel Parameter Timbunan dan Perkerasan.....	49
Tabel 4. 2 Tabel Parameter Kolom atau Pile.....	50
Tabel 4. 3 Parameter Tanah.....	51
Tabel 4. 4 Phase Perhitungan LTP tebal 1 meter	54
Tabel 4. 5 Phase perhitungan LTP tebal 2 meter.....	56
Tabel 4. 6 Phase perhitungan LTP tebal 3 meter.....	57
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan (Output) Analisis Pile Pada LTP dengan tebal 1 meter.....	92
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan (Output) Analisis Pile Pada LTP dengan tebal 2 meter.....	93
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan (Output) Analisis Pile Pada LTP dengan tebal 3 meter.....	93
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan menggunakan LTP (Load Transfer Platform).....	93
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan tanpa menggunakan LTP (Load Transfer Platform).....	94

DAFTAR NOTASI

PI	= Indeks Plastisitas
LL	= Batas Cair
qc	= Perlawanan Konus
γ_s	= Berat Volume (kN/m^3)
k	= Koefisien Permeabilitas (m/s)
E	= Modulus Elastisitas (MPa)
ν	= Angka Poisson
c	= Kohesi (kN/m^2)
c'	= Kohesi Hambatan pelekak (kg/cm)
Fr	= Perlawanan geser
Cu	= <i>Undrained Shear Strength</i> (kN/m)
Cc	= Kompresibilitas
ϕ	= Sudut Geser dalam Efektif ($^\circ$)
qu	= Kuat Geser Tekan Bebas (kg/cm^2)
γ_{sat}	= Berat Volume Jenuh Air (kN/m^3)
γ_{dry}	= Berat Volume Efektif (kN/m^2)
Si	= Penurunan Segera (m)
B	= Lebar atau diameter timbunan (m)
H	= Tebal Lapisan Tanah (m)
Ip	= <i>non – dimensional influence factor</i>
S	= Penurunan Total
Sc	= Penurunan Konsolidasi Primer (m)
Ss	= Penurunan Sekunder (m)
$\Delta\sigma$	= Perubahan Tegangan Total (kN/m^2)
Δu	= Perubahan Tekanan Air Pori (kN/m^2)
$\Delta\sigma'$	= Perubahan Tegangan Efektif (kN/m^2)
usoil	= Perpindahan Vertikal
δ_{soil}	= Penurunan Tanah (m)
SF	= Safety Factor
kx	= Koefisien Permeabilitas Arah Horizontal (m/hari)

- k_y = Koefisien Permeabilitas Arah Vertikal (m/hari)
 ψ = Sudut Dilantansi ($^{\circ}$)
 e = Angka Pori Sebelum Konsolidasi
 e_0 = Angka Pori Setelah Konsolidasi
 t = Waktu (hari)
 μ = Tegangan Air Pori (kN/m^2)
 w = Kadar Air (%)



ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK METODE *PRELOADING* DENGAN VARIASI KETEBALAN *LOAD TRANSFER PLATFORM*

Abstrak

Dalam beberapa kasus perencanaan dan pembangunan infrastruktur transportasi di lapangan memiliki beberapa masalah, umumnya terkait dengan *settlement* / penurunan tanah dasar dan stabilitas lereng timbunan. Untuk mengatasi penurunan tanah tersebut maka perlu adanya perbaikan tanah sehingga tidak ada penurunan tanah kembali saat konstruksi telah selesai. Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui penurunan tanah, *Safety Factor*, serta hubungan antara tebal *Load Transfer Platform* / LTP dan jarak tiang terhadap penurunan tanah setelah menggunakan *Load Transfer Platform* (LTP) dengan variasi tinggi timbunan / ketebalan LTP

Metode Perbaikan tanah ini menggunakan metode *Preloading* dengan tinggi yang direncanakan kemudian untuk memperkuat kondisi tanah timbunan digunakan Kolom *Grout Modular/ Pile* yang diinstall kedalam tanah dengan *auger* khusus sehingga dapat membentuk kolom dengan diameter yang telah direncanakan. Untuk dapat mendistribusikan beban, tegangan dapat ditransfer kedalam kolom yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan tanah, maka digunakan timbunan *Load Transfer Platform* (LTP) variasi 1 m, 2 m dan 3 m dengan material tanah granular diperkuat dengan *geotextile* pada timbunan LTP. Penelitian ini menggunakan permodelan software *Plaxis 2D v8.2* untuk mengetahui penurunan yang terjadi setelah digunakan *Preloading* dan LTP pada tanah yang menggunakan *pile*.

Penurunan terendah didapatkan pada variasi LTP = jarak *Pile* yaitu dengan tebal LTP sebesar 2 m dimana setelah terkonsolidasi selama 50 tahun didapatkan penurunan sebesar 0,53 m dan *safety factor* sebesar 2,1025.

Kata Kunci: *Column Support Embankment; Load Transfer Platform; Plaxis 2d v8.2; Settlement; Safety Factor*

PILE SOIL IMPROVEMENT ANALYSIS OF PRELOADING METHOD WITH VARIATIONS OF LOAD TRANSFER PLATFORM THICKNESS

Abstract

In some cases the planning and construction of transportation infrastructure in the field has several problems, generally related to the settlement / subsidence of the bottom land and the stability of the heap slopes. To overcome the land subsidence, it is necessary to improve the soil so that there is no land subsidence again when construction has been completed. This Final Project aims to determine the soil subsidence, Safety Factor, as well as the relationship between the thickness of the Load Transfer Platform / LTP and the distance of the pole to land subsidence after using the Load Transfer Platform (LTP) with variations in heap height / thickness of the LTP.

This soil improvement method uses the Preloading method with a height which is planned then to strengthen the condition of the heap soil, a Modular Grout Column / Pile is installed into the soil with a special auger so that it can form a column with a planned diameter. To be able to distribute the load, the voltage can be transferred into a column that can result in a decrease in soil stress, the Load Transfer Platform (LTP) uses 1m, 2m and 3m stockpile is used with granular soil material reinforced with geotextile on the LTP heap. This study used plaxis 2D v8.2 software modeling to determine the decrease that occurred after preloading and LTP were used on soils using piles.

The lowest decrease was obtained in the LTP variation = Pile distance, namely with an LTP thickness of 2 m where after consolidation for 50 years, a decrease of 0.53 m and a safety factor of 2.1025 was obtained.

Key Words: *Column Support Embankment; Load Transfer Platform; Plaxis 2d v8.2; Settlement; Safety Factor*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan di berbagai sektor di Indonesia sangat meningkat. Guna menunjang kelancaran dalam berjalannya berbagai sektor tersebut maka haruslah ditunjang dengan infrastruktur yang memadai. Salah satunya adalah infrastruktur yang sangat menunjang kemajuan Indonesia. Infrastruktur menurut *American Public Works Association* (Stone, 1974 Dalam Kodoatie, R., 2005), adalah fasilitas-fasilitas fisik yang dikembangkan atau dibutuhkan oleh agen-agen publik untuk fungsi-fungsi pemerintahan dalam penyediaan air, tenaga listrik, pembuangan limbah, transportasi dan pelayanan-pelayanan similar untuk memfasilitasi tujuan-tujuan sosial dan ekonomi. Ketersediaan infrastruktur yang memadai sangat diperlukan untuk mendukung mobilisasi ataupun kegiatan masyarakat sehari-hari. Sarana dan prasarana fisik, atau sering disebut dengan infrastruktur, merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem pelayanan masyarakat. Dalam pembangunan infrastruktur terutama dalam hal transportasi haruslah memiliki kualitas yang mumpuni sehingga tidak menghambat perkembangan tujuan sosial dan ekonomi.

Dalam beberapa kasus perencanaan dan pembangunan infrastruktur transportasi memiliki beberapa masalah, umumnya terkait dengan *settlement* tanah dasar dan stabilitas lereng timbunan. Solusi dari permasalahan tersebut diperlukan adanya perbaikan tanah salah satunya dengan metode Kolom Grout Modular (KGM) yang mana merupakan bagian dari CSE (Column-supported Embankments) kolom vertikal kaku, yang dirancang untuk mentransfer beban timbunan melalui lapisan tanah lunak ke pondasi yang kuat (British Standard BS 8006). Pemilihan jenis kolom yang digunakan untuk CSE akan tergantung pada beban desain, kualitas kolom saat dibangun, biaya dan faktor penyebab lain. Beban dari timbunan harus dipindahkan ke kolom untuk mencegah dorongan timbunan. Oleh sebab itu kolom harus ditempatkan secara berdekatan agar beban pada timbunan dapat ditransfer ke kolom. Untuk meminimalkan jumlah kolom yang akan digunakan untuk mendukung timbunan dan meningkatkan efisiensi desain, *Load Transfer Platform* (LTP) yang diperkuat dengan penguatan geosintetik akan digunakan agar dapat menyalurkan beban secara merata (Collin, 2004). LTP terdiri dari satu atau lebih lapisan penguat geosintetik yang

ditempatkan di antara bagian atas kolom dan juga pada bagian bawah timbunan. Pada saat ini Kolom Vertikal dapat berupa cerucuk kayu, kolom grout modular, *deep soil mixing*, *stone column*, pondasi tiang pancang beton ataupun baja yang penggunaannya disesuaikan dengan properties tanah dasar serta besaran beban vertikal. Sedangkan *Load Transfer Platform* (LTP) adalah material yang diletakkan di atas tiang cerucuk beton yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari atas ke tiang kolom. Desain *Load Transfer Platform* (Collin Methode, Collin, 2004) berdasar pada penggunaan lapisan yang digunakan sebagai perkuatan untuk dapat mengubah berat (massa) menjadi lebih kaku dari kondisi sebelumnya. Ada tiga jenis platform diantaranya adalah pelat beton, tanah granular yang diperkuat geosintetik dan tanah granular yang tidak diperkuat geosintetik (hanya dipadatkan).

Pada tugas akhir ini akan menggunakan permodelan software Plaxis 2D v8.2 untuk mengetahui penurunan tanah (*displacement*), angka factor keamanan (*safety factor*), serta penurunan pada *load transfer platform* atau LTP pada pengaplikasian perbaikan tanah lunak dengan daya dukung tanah yang sangat kurang, dimana metode yang dipilih adalah LTP (Load Transfer Platform) / Platform Transfer Beban yang berfungsi mentransfer beban timbunan melalui lapisan tanah lunak sehingga dapat menstabilkan tanah dan dapat memperbaiki daya dukung tanah dengan tinjauan variasi ketebalan timbunan LTP untuk mengetahui nilai *displacement* serta (*safety factor*) yang paling baik.

1.2 Rumusan Masalah

Pada kasus ini, timbunan pada tanah lunak tersebut dapat mengakibatkan penurunan tanah atau *settlement* sehingga diperlukan perbaikan tanah untuk meminimalisir adanya penurunan tanah. Salah satu metode untuk dapat menangani masalah tersebut yaitu dengan *Load Transfer Platform* (LTP) yang diperkuat dengan geosintetik. Untuk memprediksi besarnya penurunan tanah yang terjadi setelah penerapan *Load Transfer Platform* (LTP) maka perlu dilakukan pemodelan dan analisis menggunakan program numerik yaitu Plaxis 2D.

Dari penjelasan tersebut maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Berapa besar penurunan tanah (*displacement*) setelah digunakan LTP dengan variasi ketebalan LTP (*Load Transfer Platform*)?
- b. Berapa besar *Safety Factor* yang didapatkan dengan bantuan LTP ?
- c. Apakah terdapat hubungan antara tebal LTP dan jarak tiang terhadap penurunan pada tanah?

1.3 Tujuan

Tujuan Penulisan Tugas Akhir ini adalah :

- a. Mengetahui penurunan tanah setelah menggunakan *Load Transfer Platform* (LTP) dengan variasi tinggi timbunan / ketebalan LTP
- b. Mengetahui *Safety Factor* setelah menggunakan *Load Transfer Platform* (LTP) dengan variasi ketebalan LTP
- c. Mengetahui hubungan antara tebal *Load Transfer Platform* (LTP) dan jarak tiang terhadap penurunan pada tanah.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang menjadi objek analisis Tugas Akhir ini adalah :

- a. Pemilihan variasi ketebalan *Load Transfer Platform* (LTP) 1 meter dengan panjang *pile* yang dibuat konstan / tidak diubah .
- b. Pemilihan variasi ketebalan *Load Transfer Platform* (LTP) 2 meter dengan panjang *pile* yang dibuat konstan / tidak diubah .
- c. Pemilihan variasi ketebalan *Load Transfer Platform* (LTP) 3 meter dengan panjang *pile* yang dibuat konstan / tidak diubah .
- d. Analisa penurunan tanah dan *safety factor* pada variasi ketebalan *Load Transfer Platform* (LTP).

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam mempermudah penyusunan Tugas Akhir ini, penyusun membagi laporan dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II : STUDI PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan umum tanah, deskripsi tanah dasar dan tanah lunak, karakteristik tanah dasar dan tanah lunak, parameter tanah, penyelidikan tanah asli, penurunan pada tanah, konsolidasi pada tanah, dan metode perbaikan tanah menggunakan *Load Transfer Platform* (LTP).

BAB III : METODOLOGI PENULISAN

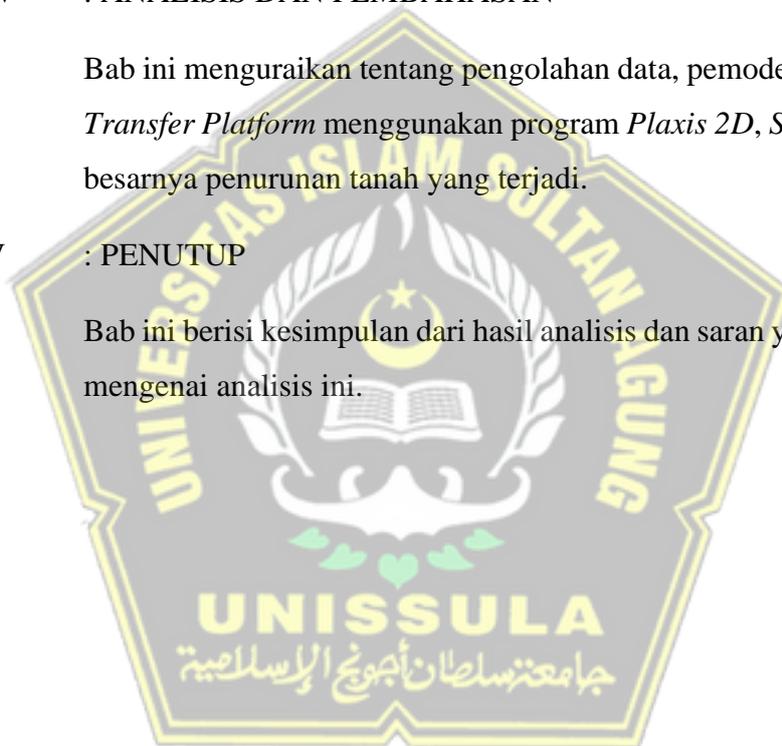
Bab ini menguraikan tentang pengumpulan data serta analisis data.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang pengolahan data, pemodelan metode *Load Transfer Platform* menggunakan program *Plaxis 2D*, *Safety Factor*, dan besarnya penurunan tanah yang terjadi.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis dan saran yang disampaikan mengenai analisis ini.



BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Definisi umum tanah merupakan kesatuan yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain yang berupa material organik atau sejenisnya, memiliki rongga-rongga yang berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Dalam ilmu Teknik Sipil, tanah merupakan suatu kesatuan dari mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang lepas yang berada pada posisi diatas batu dasar (Hardiyatmo, 1992). Tanah yang memiliki rongga berisi air dan udara, juga membentuk sifat pada tanah yaitu sifat fisis. Batu batuan yang ada pada permukaan bumi mengalami proses pelapukan yang kemudian membentuk tanah.

Tanah merupakan suatu susunan dari agregat atau mineral padat yang dimana tidak memiliki kandungan kimia yang mampu memadatkan dengan sendirinya, dari kumpulan bahan organik yang sudah lapuk, dan memiliki zat cair dan gas yang menempati ruang kosong di antara partikel tanah (Das, 1995). Dalam studi Teknik Sipil, tanah adalah salah satu material penting dalam pembangunan konstruksi yang berfungsi sebagai pendukung struktur pada bagian atas. Penyebab terjadinya kerusakan struktur pada bagian atas konstruksi di lapangan adalah dimana kondisi tanah yang tidak stabil dan tanah yang memiliki daya dukung yang rendah. Tanah yang stabil merupakan unsur yang penting dalam konstruksi bangunan. Sehingga supaya dapat menopang beban dan tidak merusak struktur bangunan, maka tanah harus terlebih dahulu dilakukan analisis dan pengujian sesuai standar.

2.2 Tanah Lunak

2.2.1 Deskripsi Tanah Lunak

Pada umumnya tanah lunak terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang kurang baik dikarenakan kadar airnya yang cukup tinggi, kompresibilitas yang tinggi, daya dukung tanah yang rendah dan permeabilitas yang rendah (Rachlan, 1986 dan Bina Marga, 1999). Dalam Panduan Geoteknik, penggunaan istilah tanah lunak sangat berkaitan dengan tanah yang dimana apabila tidak diteliti dengan hati-hati, maka tanah tersebut dapat menimbulkan permasalahan seperti kerusakan pada konstruksi yang dikarenakan tanah yang tidak stabil dan penurunan tanah yang besar. Sehingga jika dijadikan sebagai pondasi konstruksi bangunan atau jalan, maka harus terlebih dahulu dilakukan stabilisasi tanah atau perbaikan tanah lunak tersebut sehingga tanah akan

layak dan memenuhi persyaratan sebagai lapis pondasi atau lapisan tanah dasar untuk pembuatan konstruksi bangunan maupun jalan.

Tanah lunak termasuk kedalam jenis tanah kohesif. Dimana besar butir pada tanah kohesif memiliki ukuran butiran yang sangat kecil seperti lempung dan lanau. Jika dibanding dengan tanah lempung yang lain, tanah lunak memiliki sifat gaya geser yang cukup kecil, kemampatannya yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil, dan daya dukung tanah yang cukup rendah. Pada teori Terzaghi (1967), klasifikasi tanah lunak merupakan tanah yang memiliki nilai daya dukung lebih rendah dari $0,5 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai Standard Penetration Test (SPT) yang lebih rendah dari 4 ($N\text{-value} < 4$). Apabila di uji secara fisik di lapangan, maka tanah lunak sangat mudah diremas dengan tangan dan tidak mudah kembali ke bentuk semula. Saat di uji pada laboratorium, tanah lunak memiliki kadar air yaitu 80 - 100%, batas cair 80-110%, dan batas plastis 30-45%. Butiran tanah lunak akan lolos pada saringan No.200. Sehingga butiran yang lolos saringan adalah melebihi 90%, dan mempunyai kuat geser tanah sebesar $20\text{-}40 \text{ kN/m}^2$ (Toha, 1989).

Dikarenakan dari sifat tanah lunak yang memiliki kompresibilitas yang cukup besar maka mekanisme pada tanah lunak dan tidak mampu dalam memikul beban sehingga menyebabkan penurunan pada struktur bangunan maupun jalan. Beban yang ditopang pada lapisan tanah lunak akan terbatas dan menimbulkan berbagai masalah pada struktur bangunan maupun jalan yang ada di atasnya karena kuat geser yang cukup rendah. Sehingga dalam rekayasa geoteknik, berdasarkan kadar organiknya tanah lunak dijelaskan dalam Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1 Kandungan Organik pada Tanah Lunak

Jenis Tanah	Kadar Organik %
Lempung	< 25
Lempung Organik	25 – 75
Gambut	>75

Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

a. Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Partikel-partikel tanah berukuran yang lebih kecil dari 2 mikron ($=2\mu$), atau <5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya

berukuran koloid ($<1\mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung. ASTM D-653 memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm. Tanah lempung dalam kondisi kering maka tekstur akan menjadi keras. Ketika kadar air pada tanah lempung sedang, maka tanah akan bersifat plastis, dan mempunyai sifat permeabilitas yang cukup kecil. Tanah lempung merupakan suatu bahan silika hidraalumunium yang cukup kompleks dengan rumus kimia yaitu $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot kH_2O$ dimana n merupakan numerik molekul yang terikat dan k merupakan numerik molekul variasi untuk masa yang sama. Mineral tanah lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap sampai 100 kali volume dan kekuatan yang cukup besar. Partikel – partikel tanah lempung juga mempunyai tenaga tarik menarik antar partikel sangat kuat yang untuk sebagian menyebabkan kekuatan yang sangat tinggi pada bongkahan kering atau batu lempung. (Terzaghi, 1987)

Partikel mineral tertentu pada tanah lempung akan menjadi tanah yang bersifat plastis saat dicampurkan dengan air (Grim, 1953). Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi bisa juga bercampur dengan butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Konsistensi dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangatlah dipengaruhi oleh jumlah kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pada pengembangan. Karakteristik pada pengembangan hanya dapat diperkirakan dengan menggunakan indeks plastisitas (Holtz dan Gibbs, 1962). Sifat plastisitas dari suatu tanah disebabkan oleh air yang terserap di sekeliling permukaan partikel tanah lempung, maka dapat diharapkan bahwa tipe dan jumlah mineral lempung yang terkandung dalam suatu tanah akan mempengaruhi batas plastis dan batas cair tanah yang bersangkutan. Dalam rekayasa geoteknik, terdapat 2 jenis penggolongan tanah lempung yang dimana definisinya berdasarkan pada kuat geser yang dijelaskan pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2 Konsentrasi Tanah Berdasarkan Kuat Geser

Konsentrasi	Kuat Geser kN/m²
Lunak	12,5 – 25
Sangat Lunak	< 12,5

Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

2.2.2 Karakteristik Tanah Lunak

a. Karakteristik Tanah Lempung

Tanah merupakan partikel padat yang terdiri dari berbagai ukuran dari ukuran kecil hingga ukuran besar. Kandungan mineral yang ada pada lempung memiliki kadar air yang besar yang menjadikan kuat gesernya kecil. Diameter pada butir tanah lempung memiliki ukuran < 0,002 mm, dengan sifat plastis dan kohesif. Plastisitas adalah kemampuan butir-butir tanah halus untuk mengalami perubahan bentuk tanpa terjadi perubahan volume atau pecah. Sifat plastis pada tanah menunjukkan perilaku pada tanah yang dalam keadaan yang lunak, namun tidak juga dalam keadaan cair. Sifat plastisitas ini dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung pada tanah. Sedangkan sifat kohesi yaitu partikel tanah melekat satu sama lainnya. (Wesley, 1977 dalam Mirsa Susmarani 2012).

Secara umum, pada tanah lempung memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Rendahnya kuat geser pada tanah.
2. Berkurangnya kuat geser tanah saat tercampur air.
3. Kuat geser tanah akan menurun ketika struktur tanah bermasalah.
4. Kemampuan tinggi dan bersifat plastis
5. Mudah menyusut dan mengembang saat basah atau kering.
6. Daya tekan yang besar.
7. Jika waktu semakin lama, volume akan berubah berakibat rangkakan karena beban konstan.
8. Merupakan material kedap air.

Dalam rekayasa geoteknik karakteristik tanah lempung lunak didefinisikan pada ASTM D-653, bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm. Terdapat 2 jenis penggolongan tanah lempung lunak yang definisinya berdasarkan kuat geser yang terdapat pada Tabel 2.2. Dan indikasi kekuatan lempung di lapangan terdapat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Indikator Kuat Geser pada Lapangan

Konsistensi	Indikator saat di Lapangan
Lunak	Mudah digenggam dengan tangan
Sangat Lunak	Mampu keluar dari sela jari ketika digenggam dengan kuat.

Sumber : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

2.2.3 Masalah yang Terjadi pada Tanah Lunak

Tanah lunak mempunyai karakteristik daya dukung yang relatif rendah dan pemampatannya yang relatif besar serta berlangsung relatif lama. Sehingga apabila tanpa dilakukan perbaikan terlebih dahulu maka bangunan infrastruktur yang dibangun di atasnya berpotensi mengalami kerusakan sebelum mencapai umur konstruksi yang direncanakan. Karena daya dukung yang rendah, tanah lunak tidak mampu menahan gaya geser ataupun gaya aksial yang dihasilkan dari penekanan beban diatas tanah tersebut. Keseimbangan batas tanah yang terganggu menimbulkan distribusi keseimbangan horizontal yang tidak seimbang dan berdampak pada keruntuhan timbunan atau struktur bangunan yang ada di atas maupun di sekelilingnya.

Permasalahan yang timbul pada pekerjaan konstruksi di tanah lunak salah satunya adalah tanah dapat menurun sangat besar. Tanah lunak cenderung mengalami penurunan terlalu besar dan dapat mengakibatkan kerusakan pada konstruksi diatasnya. Karena tanah lunak memiliki karakteristik mekanis seperti kekuatan geser yang kecil dan permeabilitas (kemampuan mengalirkan air) juga rendah. Secara umum, penurunan tanah dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis penurunan, yaitu:

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*).
2. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*).
3. Penurunan Rangkak (*Creep/Secondary Settlement*).

Selain itu tanah lunak akan mengalami proses konsolidasi perlahan yang berakibat keluarnya air melalui pori – pori tanah ketika tanah lunak diberi beban. Oleh karena itu, dalam jangka waktu yang lama tanah lunak akan mengalami penurunan yang terus meningkat. Akibat dari penurunan tanah menimbulkan permukaan di sekeliling konstruksi naik atau turun, bahkan heaving atau pengangkatan tanah di sekelilingnya. Hal ini mengakibatkan kerusakan pada konstruksi di sekitarnya.

2.2.4 Penanganan Tanah Lunak

Sebagai pendukung dari infrastruktur suatu konstruksi, tanah lunak dengan spesifikasi mudah mampat dan daya dukung yang rendah memerlukan proses perbaikan tanah. Tujuan utama dari perbaikan tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan tanah terutama pada parameter kuat geser yang digunakan untuk mendukung struktur di atasnya dan mengurangi pemampatan yang mungkin terjadi, sehingga tanah tersebut dapat menahan beban atau konstruksi dengan stabil. Tujuan perbaikan dan perkuatan tanah lunak dilakukan untuk beberapa hal berikut:

1. Untuk meningkatkan daya dukung tanah dan kuat geser.
2. Meningkatkan modulus tanah.
3. Memperkecil sifat kompresibilitas tanah
4. Agar volume stabil (*shrinking dan swelling*).
5. Meningkatkan kualitas material pada pekerjaan di lapangan.
6. Menurunkan kerusakan sekeliling konstruksi (*heaving*).
7. Mengurangi kerentanan terhadap likuifaksi.

Pemilihan metode perbaikan tanah dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan serta kriteria yang telah ditentukan. Kriteria ini diantaranya jenis tanah dan struktur tanah serta kondisi aliran tanah, jenis dan tingkat perbaikan yang diinginkan, biaya proyek, waktu penyelesaian proyek, peralatan material yang tersedia, dan ketahanan material yang digunakan. Beberapa metode perbaikan tanah lunak adalah sebagai berikut:

1. Perkuatan dengan Geotekstil.
2. Perbaikan tanah dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*).
3. Perkuatan dengan Cermaton (Cerucuk Matras Beton)
4. Perkuatan tanah dengan *Pile*.
5. Perbaikan tanah dengan *Vacuum Preloading*.

2.3 Parameter Tanah

2.3.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Alat kerucut penetrometer *Cone Penetration Test* adalah sebuah alat yang ujungnya berbentuk kerucut yang digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap 20 mm/detik. Alat ini memberikan tekanan konus dengan atau tanpa hambatan pelekat (*friction resistance*) dengan megkorelasi parameter tanah pada

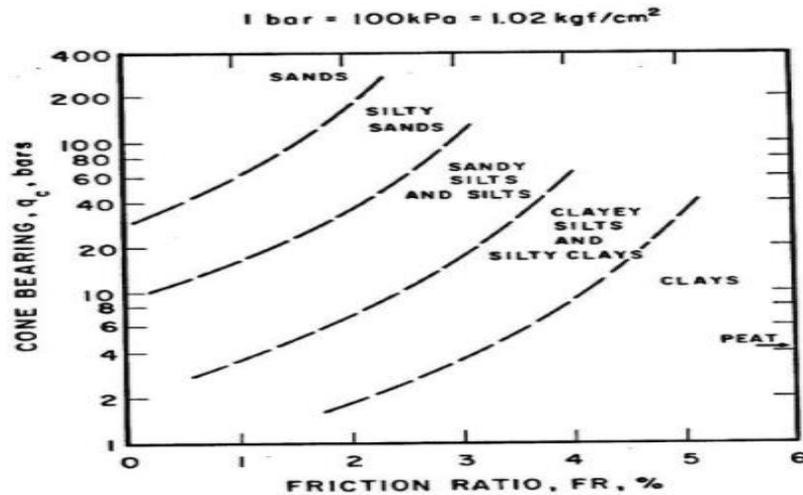
undrained shear strength, kompresibilitas yang dimiliki tanah dan jenis lapisan tanah yang dapat diperkirakan. Berdasarkan hasil pengujian sondir yang dilakukan di lapangan, data sondir memuat hasil dari alat manometer pada setiap interval di kedalaman per 20 cm hingga akhir konus. Yang dapat diketahui paling awal adalah angka konus (Q_c) dan pada bacaan selanjutnya yaitu perlawanan geser ($Q_c + F_s$) yang nantinya data dipergunakan untuk mengetahui jenis tanah yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
Q_c	F_s	
6,0	0,15-0,40	Tanah humus, tanah lempung yang lunak
6,0-10,0	0,20	Pasir lanau lepas
	0,20-0,60	Lempung lanau lembek
10,0-30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10-0,40	Pasir lepas
	0,40-0,80	lempung kelanauan
	0,80-2,00	Lempung sedikit kenyal
30-60	1,50	Pasir lanau, pasir sedikit padat
	1,0-3,0	lempung kelanauan kenyal
60-150	1,0	Kerikil pasir lepas
	1,0-3,0	pasir lanau atau lempung padat dan lempung lanau
	3,0	Lempung kerikil kenyal
150-300	1,0-2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar, pasir lanau padat

Sumber : Braja M. Das Jilid 1 (1998)

Dalam menentukan jenis tanah dapat menggunakan grafik hubungan antara tekanan conus (Q_c) dan perlawanan geser (F_r) seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Grafik hubungan Tekanan Conus Dengan Perlawanan Geser

2.3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan SPT (Standart Penetration Test)

SPT (*Standard Penetration Test*) adalah salah satu jenis uji tanah yang sering digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah selain CPT (*Cone Penetration Test*). Standart penguujian penetrasi pada lapangan dengan SPT yang ada di Indonesia ada pada SNI 4153-2008, yang mengacu dalam ASTM D 1586-84 “*Standard Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils*”.

Pengujian menggunakan Split tube sampler ditumbuk menggunakan hammer atau drive weight kedalam tanah dari ketinggian 75 cm dengan berat 63,5 kg. Split tube sampler ditumbuk 150 mm ke dalam tanah dan jumlah pukulan yang dibutuhkan tabung untuk menembus masing – masing 150 mm hingga 450 mm dicatat. Banyaknya tumbukan (30 cm terakhir) yang dibutuhkan untuk memasukkan Split tube sampler disebut nilai tahanan penetrasi (N-SPT).

Pada Tabel 2.5, Tabel 2.6, dan Tabel 2.7, menunjukkan hubungan antara kepadatan tanah, berat jenis tanah kering, berat jenis tanah jenuh, nilai N-SPT, q_c , dan ϕ adalah sebanding.

Tabel 2. 5 Hubungan antara kepadatan, berat jenis tanah kering, nilai N-SPT, q_c , dan ϕ

Kepadatan	Berat Jenis Tanah Kering (γ_d)	Nilai N SPT	Tekanan Conus q_c (kg/cm ²)	Sudut Geser (ϕ)
<i>Very loose</i>	< 0,2	< 4	< 20	< 30

Kepadatan	Berat Jenis Tanah Kering (γ_d)	Nilai N SPT	Tekanan Conus q_c (kg/cm ²)	Sudut Geser (ϕ)
<i>Loose</i>	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
<i>Medium Dense</i>	0,4 – 0,6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
<i>Dense</i>	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
<i>Very Dense</i>	0,8 – 1,0	> 50	> 200	> 45

Sumber: Mayerhof (1965)

Kemudian hubungan antara nilai N-SPT dengan berat jenis tanah jenuh dapat dilihat seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Hubungan antara nilai N-SPT dengan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat})

N-SPT (blows/ft)	Konsistensi	q_u (Unconfined Compressive Strength) ton/ft ²	γ_{sat} (kN/m ³)
< 2	Very soft	< 0,25	16 – 19
2 – 4	Soft	0,25 – 0,50	16 – 19
4 – 8	Medium	0,5 – 1,00	17 – 20
8 – 15	Stiff	1,00 – 2,00	19 – 22
15 – 30	Very stiff	2,00 – 4,00	19 – 22
> 30	Hard	>4,00	19 – 22

Sumber: Terzaghi and Peck (1948)

Kemudian, untuk mendapatkan nilai tipikal berat volume kering dapat diketahui pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Hubungan Antara Nilai Tipikal Berat Volume Kering

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN / m ³)	γ_{dry} (kN / m ³)
Kerikil	20 – 22	15 – 17
Pasir	18 – 20	13 – 16
Lanau	18 – 20	14 – 18
Lempung	16 – 22	14 – 21

Sumber: John Wiley and Sons (2000)

2.3.3 Permeabilitas (Permeability)

Kemampuan permeabilitas tanah merupakan kemampuan tanah untuk meneruskan air atau udara. Permeabilitas umumnya diukur sehubungan laju aliran air melalui tanah dalam suatu massa waktu dan dinyatakan sebagai cm/jam (Foth, 1984). Proses rembesan air ke tanah tersebut melalui pori – pori tanah ke arah horizontal maupun vertikal. Kecepatan perembesan air dipengaruhi oleh tekstur tanah.

Koefisien tanah bisa diketahui melalui penelitian yang sudah dilakukan Wesley pada tahun 1977 tentang koefisien kemampuan permeabilitas di beberapa jenis tanah. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2. 8 Permeabilitas (k) dalam satuan (m/s)

Ukuran Partikel	Koefisien Permeabilitas,k (m/s)
Pasir lempung dan pasir lanau	$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-4}$
Pasir halus	$1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$
Pasir agak lanau	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$
Lanau	$1 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-6}$
Lempung	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$

Sumber : Wesley (1977)

2.3.4 Modulus Young dan Poisson Ratio (ν)

Modulus Young merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan yang menunjukkan seberapa besar kemampuan elastisitas tanah. Modulus Elastisitas (E_s) dan poisson ratio bisa diketahui berdasarkan berbagai jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Hubungan Modulus Elastisitas (E_s) dan Nilai Poisson Ratio

<i>Type of soil</i>	<i>Young's modulus, E_s</i>		<i>Poisson's ratio</i>
	<i>MN/m²</i>	<i>lb/in²</i>	
<i>Loose sand</i>	10,35 – 24,15	1500 – 3500	0,20 – 0,40
<i>Medium dense sand</i>	17,25 – 27,60	2500 – 4000	0,25 – 0,40
<i>Dense sand</i>	34,50 – 55,20	5000 – 8000	0,30 – 0,45
<i>Silty sand</i>	10,35 – 17,25	1500 – 2500	0,2 – 0,40

<i>Type of soil</i>	<i>Young's modulus, Es</i>		<i>Poisson's ratio</i>
	<i>MN/m²</i>	<i>lb/in²</i>	
<i>Sand and Gravel</i>	69,00 – 172,50	10000 – 25000	0,15 – 0,35
<i>Soft clay</i>	2,07 – 5,18	300 – 750	0,20 – 0,50
<i>Medium clay</i>	5,18 – 10,35	750 – 1500	
<i>Stiff clay</i>	10,35 – 24,15	1500-3500	

Sumber: Mayerhof (1956)

2.3.5 Sudut Geser Dalam Tanah

Kuat geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Ketahanan tanah akibat tegangan dapat ditentukan oleh sudut geser dalam dan kohesif yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam, dilakukan dengan mengukur *engineering properties* tanah, pengujian *Direct Shear* dan pengujian *Triaxial*. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2. 10 Hubungan Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35-40
Kerikil kerakal	35-40
Pasir padat	35-40
Pasir lepas	30
Lempung kelanauan	25-30
Lempung kelanauan	20-25

Sumber: Braja M. Das (1998)

Hubungan antara sudut geser dalam dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah dapat dilihat seperti pada Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2. 11 Hubungan Sudut Geser Dalam, dengan Tingkat Plastisitas, dan Jenis Tanah

Jenis tanah	Tingkat plastisitas	Φ
Lanau	Rendah	35-37

Jenis tanah	Tingkat plastisitas	Φ
Lanau berlempung	Sedang	31-35
Lempung	Tinggi	<31

Sumber: Bjerrum, (1960)

2.3.6 Kohesi

Kohesi adalah kemampuan tarik menarik antar partikel yang ada dalam batuan, dapat dinyatakan dalam satuan berat persatuan luas. Semakin besarnya kuat gesernya maka nilai kohesinya juga besar. Nilai kohesi (c) didapatkan dari uji laboratorium yaitu uji kuat geser langsung dan uji triaxial. Secara empiris nilai kohesi dapat ditentukan dengan mengetahui nilai tegangan konus (Q_c) pada data sondir. Yang dapat dilihat pada persamaan 2.1

$$C = Q_c/20 \dots\dots\dots(2.1)$$

Hubungan kohesi, N-SPT serta sudut geser dalam dilihat pada Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2. 12 Hubungan Antara N-SPT, Kohesi, Sudut Geser Tanah

N – SPT	C	Φ
0 – 2	12,5	0
2 – 4	12,5 – 25	0
4 – 8	25 – 50	0
8 – 15	50 – 100	0
15 – 30	100 – 200	0
> 30	> 200	0

Sumber : *Article Stabilitation Project* (2000)

2.4 Penurunan Tanah

Masalah utama pada tanah lunak yaitu penurunan tanah yang dapat mengakibatkan kerusakan konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Penurunan ini muncul akibat berkurangnya rongga pori dalam tanah disertai dengan berkurangnya volume sehingga terjadi perubahan pada partikel tanah.

Dalam ilmu geoteknik menurut Hardiyatmo (2003) penurunan tanah dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis penurunan, yaitu:

2.4.1 Penurunan Seketika (Immediate Settlement – Si)

Ketika konstruksi berlangsung tanah akan mengalami turun. Penurunan seketika terjadi karena sifat elastisitas tanah. Dimana jika tanah lunak tersebut mempunyai elastisitas yang tinggi, maka penurunan akan berlangsung dengan segera (seketika), menyebabkan tanah bergerak ke arah horizontal, maka elevasi pada tanah dasar akan menurun (*settlement*). Penurunan ini tidak menyebabkan berkurangnya kadar air atau dalam kondisi *undrained* (tidak ada perubahan volume).

Nilai modulus elastisitas sangat berpengaruh pada besar penurunan segera beban yang ada di atasnya.. Berikut ini adalah persamaan 2.2 yang digunakan pada penurunan segera:

$$S_i = \Delta\sigma B \frac{1 - \mu_s}{E_s} I_p \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- Si = Penurunan segera (m)
- $\Delta\sigma$ = Beban pada timbunan (N)
- Es = Nilai Modulus elastisitas (N/m²)
- μ_s = angka poisson's ratio
- B = Lebar timbunan (m)
- I_p = faktor influesi non – dimensional

Schleicher (1926) menghasilkan faktor I_p pada persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$I_p = \frac{1}{\pi} \left[m_1 \ln \left(\frac{1 + \sqrt{m_1^2 + 1}}{m_1} \right) + \ln (m_1 + \sqrt{m_1^2 + 1}) \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana $m_1 = L/B$ (panjang/lebar beban yang bekerja)

2.4.2 Penurunan Konsolidasi/Primer (Primary Consolidation – Sc)

Penurunan pada saat proses konsolidasi atau primary consolidation merupakan suatu keadaan keluarnya air tanah yang mempengaruhi perubahan volume tanah sehingga terjadi penurunan. Lapisan tanah merupakan penyebab utama pada tahap proses konsolidasi. Bila tanah diberi beban atau suatu timbunan dan berkonsolidasi, maka penurunan tersebut berlangsung sebagai berikut:

a) Fase Awal (*Initial Compression*)

Setelah beban bekerja di atasnya, udara dalam rongga pori tanah akan keluar dan menyebabkan penurunan. Perubahan angka pori dan kurva waktu terhadap penurunan dapat dilihat untuk penurunan awal terhadap uji konsolidasi.

b) Fase Konsolidasi Primer

Pada saat konstruksi sudah selesai dibangun, maka akan terjadi konsolidasi primer dari beban di atasnya. Hal tersebut mengakibatkan keluarnya air pori dan udara dari rongga-rongga tanah saat konsolidasi.

Penyebab dari volume penurunan tanah adalah ketika air keluar dari dalam lapisan tanah. Jika suatu lapisan tanah diberi beban, maka beban tersebut akan menimbulkan tegangan menuju ke air pori dan butiran tanah. Jadi menurut pengertian tersebut, dapat diketahui bahwa tegangan akan terbagi ke tegangan efektif dan tegangan pada air pori. Rumus tegangan yang diberikan adalah pada persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\dots \Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$\Delta\sigma$ = Tegangan Total (kN/m²)

$\Delta\sigma'$ = Tegangan Efektif (kN/m²)

Δu = Tegangan Air Pori (kN/m²)

Karena tanah lempung daya rembesnya kecil, butiran tanahnya tidak bisa dimampatkan air. Penambahan tegangan akan dipikul oleh air ketika $t = 0$. Oleh karena itu ketika $t = 0$, pada seluruh penambahan tegangan ($\Delta\sigma$) yang bisa dipikul oleh air di setiap kedalaman lapisan pada tanah tanpa dibawa oleh butiran tanah ($\Delta\sigma' = 0$). Kemudian sesaat setelah tegangan bertambah ($\Delta\sigma$), maka air akan menuju keluar melalui rongga pori. Ketika proses ini berlangsung dapat diketahui bahwa ketika tekanan air pada rongga pori menurun, maka tegangan yang nantinya dipikul butiran tanah akan meningkat. Oleh karena itu, pada saat $0 < t < \infty$ $\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$ ($\Delta\sigma' > 0$ dan $\Delta u < \Delta\sigma$).

Ketika $t = \infty$, air pori yang berlebihan akan menghilang dari lapisan tanah lempung, maka dapat diketahui bahwa $\Delta u = 0$. Ketika tegangan total ($\Delta\sigma$) dipikul butiran tanah sehingga didapatkan $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$. Proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah, sebagai

akibat dari penambahan beban, yang disertai dengan pemindahan kelebihan tekanan air ke tegangan efektif akan menyebabkan terjadinya penurunan.

2.4.3 Konsolidasi Sekunder (Secondary Consolidation)

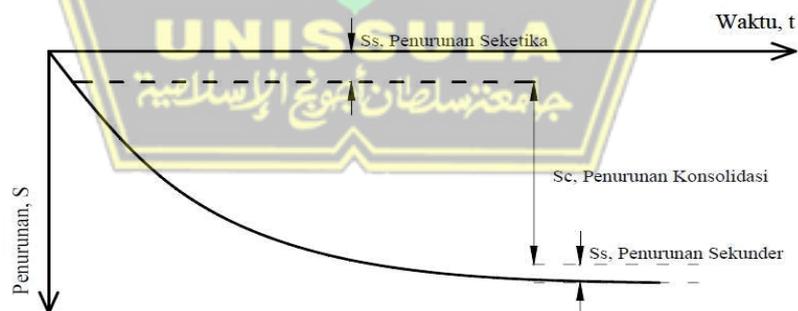
Merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, proses ini berjalan sangat lambat. Konsolidasi sekunder secara umum dapat disebut juga penurunan rangkax (*creep*). Kondisi setelah konsolidasi bisa mengakibatkan kemampatan di rongga pori dalam tanah. Ketika tekanan air pada pori berlebih terdisparsi, maka waktu yang akan diperlukan juga akan bertambah lama, namun tegangan efektif tetap konstan. Bila dinyatakan dalam persamaan 2.5 fase konsolidasi sekunder adalah sebagai berikut:

$$S = S_i + S_c + S_s \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

- S = Jumlah Penurunan (m)
- S_i = Penurunan segera (m)
- S_c = Penurunan pada konsolidasi primer (m)
- S_s = Penurunan pada konsolidasi sekunder (m)

Ketika penurunan konsolidasi selesai, maka tegangan air pori berlebih sama dengan ($u = 0$) atau terjadi penurunan konsolidasi sekunder. Tahapan penurunan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2 Tahap Penurunan Tanah (Ground Settlement) (Gouw, 2010)

2.5 Konsolidasi Tanah

2.5.1 Definisi Konsolidasi Tanah

Definisi dari konsolidasi merupakan kondisi dimana proses keluarnya air dalam tanah dan menurunnya volume di rongga pori pada tanah jenuh yang mempunyai

permeabilitas yang rendah akibat diberi beban. Proses tersebut akan terhenti ketika air berlebih pada tanah akan keluar semua. Air pori yang keluar dari rongga tanah disebabkan oleh tekanan air yang berbeda di tiap lapisan tanah. Hal tersebut bisa terjadi karena kecenderungan dari sifat air yang selalu mengalir ke tempat yang lebih rendah dan diikuti dengan penurunan tanahnya.

Pemberian tambahan beban timbunan pada tanah akan mengakibatkan proses pemampatan. Proses pemampatan dapat diakibatkan karena terdapat deformasi pada partikel tanah, berpindahnya partikel, hilangnya kadar air atau udara melalui rongga pori pada tanah, dan pula penyebab yang lain. (Hardiyatmo, 1995). Terdapat 3 definisi dasar konsolidasi tanah berdasarkan riwayat geologis, yaitu:

- a. *Normally Consolidated* (Terkonsolidasi secara normal) adalah jika tegangan efektif pada suatu titik dalam tanah lunak yang berlaku sekarang merupakan tegangan maksimumnya.
- b. *Overconsolidated* adalah tekanan pada suatu lapisan tanah pada waktu dahulu pernah mengalami pembebanan. Sehingga lapisan tanah tersebut pernah mengalami tekanan lebih tinggi dari pada tekanan yang berlaku di atasnya saat ini.
- c. *Underconsolidated* adalah tekanan pada suatu lapisan tanah yang dahulu telah mengalami pembebanan belum mencapai titik maksimum, sehingga konsolidasi masih berlangsung pada saat sample tanah diambil.

2.5.2 Penurunan Konsolidasi

Besarnya nilai penurunan yang terjadi akibat konsolidasi dipengaruhi oleh beberapa hal berikut:

1. Jenis tanah yang mengalami konsolidasi
2. Tebalnya lapisan tanah yang terkonsolidasi
3. Jumlah lapisan tanah yang mengalami konsolidasi
4. Besarnya kemampuan tanah
5. Besarnya beban yang diberikan
6. Lamanya proses konsolidasi telah berlangsung.

Penurunan maksimum yang ditentukan saat akhir proses konsolidasi (derajat konsolidasi 100%) dapat dihitung dengan persamaan 2.6 berikut:

$$S_{100\%} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_c H_i}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_{0,i} + \Delta\sigma_i}{\sigma_{0,i}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$S_{100\%}$ = Penurunan pada saat konsolidasi 100% selesai (m)

i = 1,...,n adalah jumlah lapisan tanah

H_i = Tebal lapisan tanah ke- i (yang terkonsolidasi) (m)

$\sigma_{0,I}$ = Tegangan normal tanah efektif awal (kN/m^2)

$\Delta\sigma_i$ = Tambahan tegangan normal tanah (akibat beban luar) (kN/m^2)

e_0 = Angka pori awal dari tanah

C_c = Koefisien pemampatan tanah (hasil uji konsolidasi di laboratorium).

2.5.3 Waktu Konsolidasi

Konsolidasi merupakan proses keluarnya air dan udara melalui pori pada tanah agar tanah daya dukungnya meningkat. Kecepatan air yang mengalir pada proses konsolidasi membutuhkan waktu yang berbeda pada setiap jenis tanah. Tanah pasir membutuhkan waktu yang singkat jika dilakukan konsolidasi karena tanah pasir sifatnya sangat porous. Namun pada tanah lempung, proses konsolidasi membutuhkan waktu yang cukup lama bahkan mencapai tahunan. Kecepatan aliran air untuk konsolidasi dalam ilmu mekanika tanah ditentukan dengan derajat kecepatan konsolidasi (c_v) (Sukiman,2017).

Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi ditentukan pada derajat konsolidasi 90%. Pada penurunan mencapai 90% dari total penurunan tersebut waktu yang diperlukan adalah pada persamaan 2.7 sebagai berikut.

$$T_{90} = \frac{0.848 H_{dr}}{C_v} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

H_d = Panjang aliran air pada tanah yang terkonsolidasi yang tergantung pada jenis lapisan tanah diatas/bawahnya (m)

C_v = Koefisien kecepatan konsolidasi yang nilainya didapat dari hasil uji konsolidasi di laboratorium

2.5.4 Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi pada tanah (U) merupakan perbandingan dari besarnya penurunan tanah dalam waktu tertentu dan diikuti oleh jumlah penurunan tanah total (Aldrian, 2016). Waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi rata-rata akibat aliran air pori dalam arah vertikal, U_v , dihitung menurut persamaan pendekatan yang diberikan oleh Terzaghi adalah sebagai berikut:

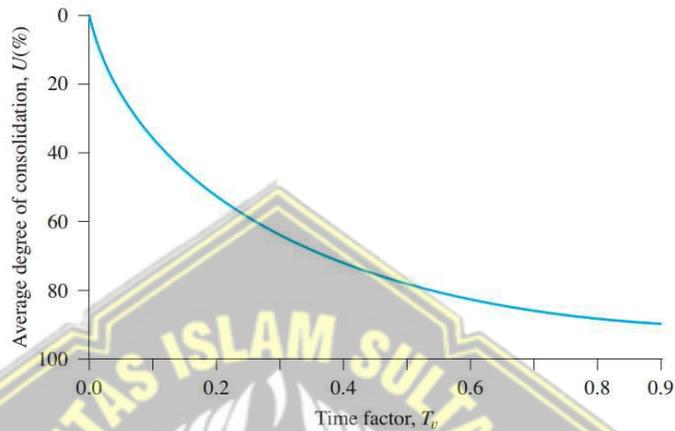
- Pada saat $U < 60\%$, maka persamaan 2.8 :

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

- Pada saat $U > 60\%$ menggunakan persamaan 2.9 :

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \dots\dots\dots(2.9)$$

Kemudian nilai Faktor waktu T_v dapat dilihat dari grafik berikut:



Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Faktor Waktu Dengan Derajat Konsolidasi (Braja, 2009)

2.5.5 Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (Cv)

Untuk menghitung berapa kecepatan pengaliran air, maka dapat dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi vertikal (Cv). Secara umum konsolidasi hanya mampu terjadi pada satu arah yaitu arah vertikal. Besarnya nilai Cv dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

Cv = Koefisien konsolidasi vertikal (cm²/detik)

Tv = Faktor waktu yang didapat dari derajat konsolidasi

t = Waktu tertentu untuk mencapai derajat konsolidasi U% (detik)

H = Tebal pada tanah (cm)

(Annisa M.H dan Made Dodiek A.W, 2008)

2.6 Pembebanan Awal (*Preloading*)

Preloading atau metode pembebanan awal merupakan suatu metode perbaikan tanah yang berupa penempatan timbunan pada lokasi perbaikan tanah dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat sekurang – kurangnya berat struktur yang akan digunakan dan akan dibuang jika konsolidasi telah tercapai (Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2004). Secara umum *preloading* atau pembebanan awal disebut juga proses kompresibilitas pada tanah dengan menambahkan tekanan arah vertikal ketika sebelum ditambahkan beban konstruksi yang nyata. Hal ini dilakukan agar tanah terjadi proses penurunan, sehingga tidak ada penurunan tanah kembali saat konstruksi telah selesai.

Pada penggunaan *preloading* menggunakan timbunan, beban timbunan direncanakan dengan ketinggian tertentu agar penurunan konsolidasi dapat tercapai. Penentuan tinggi timbunan agar tanah dapat dimanfaatkan untuk suatu pondasi dari suatu konstruksi, dapat dilakukan dengan menentukan tinggi timbunan tersebut sesuai dengan nilai penurunannya. Stamatopoulos (1985) dalam Yunias (2010) mengatakan tinggi timbunan umumnya berkisar antara 3 – 8 meter dengan penurunan yang akan terjadi umumnya 0,3 – 2 meter.

Ketinggian dari timbunan kritis beban *preloading* dapat diketahui dengan menghitung daya dukung tanah lunak atau lempung awal, dan tinggi timbunan yang dipergunakan dipengaruhi oleh kohesi tanah. Besarnya daya dukung tanah yang ada pada tanah lempung untuk merencanakan beban *preloading* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_u = 2 \cdot C_u \dots\dots\dots (2.11)$$

$$q_u = \gamma_{\text{timb}} \cdot H_{\text{cr}} \dots\dots\dots (2.11a)$$

$$\text{maka, } H_{\text{cr}} = \frac{2C_u}{\gamma_{\text{timb}}} \dots\dots\dots (2.11b)$$

Keterangan:

C_u = Kohesi tanah dasar (t/m^2)

γ_{timb} = Berat volume timbunan (t/m^3)

H_{cr} = Ketinggian timbunan kritis (m)

Ketika ketinggian timbunan saat diberi beban bertahap lebih besar dari H_{cr} , maka timbunannya nanti juga dipasang secara bertahap.

Pada umumnya metode *preloading* dengan timbunan untuk menurunkan membutuhkan waktu yang lama. Untuk mempercepat proses penurunan tanah, dapat menggunakan *vertical drain*, karena *vertical drain* berfungsi mempercepat keluarnya air dari dalam tanah. Sehingga pekerjaan konstruksi dapat selesai dengan tepat waktu.

2.7 Load Transfer Platform

Load Transfer Platform (LTP) adalah material yang diletakkan di atas tiang cerucuk beton / tiang pancang yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari atas ke tiang kolom. Desain *Load Transfer Platform* (Collin Methode, Collin, 2004) berdasar pada penggunaan lapisan yang digunakan sebagai perkuatan untuk bisa mengubah berat (massa) menjadi lebih kaku dari sebelumnya. Metode ini berasumsi bahwa massa tanah yang diperkuat seperti balok untuk mentransfer beban dari tanah timbunan menuju kolom-kolom dibawanya. Tebal LTP adalah 60 cm hingga 100 cm, tergantung dari jenis material, beban, dan sudut friksi.

Load Transfer Platform (LTP) digunakan untuk mentransfer timbunan dan muatan struktur ke dalam kolom sehingga deformasi berkurang. Ada tiga jenis *platform* diantaranya adalah pelat beton, tanah granular yang diperkuat geosintetik dan tanah granular yang tidak diperkuat geosintetik (hanya dipadatkan). Untuk tanah yang diperkuat geosintetik, ada 2 metode yang pertama adalah metode *Catenary*, dimana geosintetik hanya sebagai alas saja/diletakkan di atas lapisan *subgrade* dan kemudian di atasnya diberikan tanah granular. Geosintetik yang menjadi alas atau satu lapis saja harus dengan tensile tinggi. Metode yang kedua adalah metode balok, dimana metode ini menggunakan beberapa lapis dari geosintetik (3 lapis atau lebih). Perkuatan setiap lapis biasanya diberi spasi timbunan granular sekitar 20-40 cm. Kuat tarik dari geosintetik (*Geogrid* atau *Geotextile*) berfungsi untuk merencanakan dan menganalisis tipe dari *Load Transfer Platform*, jarak antar kolom dan tinggi timbunan. Dibawah *Load Transfer Platform* biasanya diberi bantalan berupa pasir halus atau *geotextile non woven* untuk mencegah gerusan dan mengurangi tekanan yang terjadi diantara ujung kolom dan perkuatan.

Load Transfer Platform yang tercakup dalam hal ini yaitu terdiri dari pilihan pengisi struktural granular baik yang diperkuat ataupun tanpa diperkuat dengan satu atau lebih lapisan penguat geosintetik.

2.8 Material Granular

Jika ada lapisan tanah di bawah permukaan tanah yang cukup kaku dan memiliki kedalaman yang memadai, lapisan ini bisa berguna sebagai *Load Transfer Platform*. Jika di tanah lokasi proyek pada permukaan tanahnya tidak memiliki sifat yang cukup memadai untuk bertindak sebagai *Load Transfer Platform* maka pengurukan bahan diperlukan untuk menciptakan *Load Transfer Platform*. Yang melengkung di tanah *Load Transfer Platform* di atas kolom dianggap sebagai komponen yang perlu untuk melengkapi dalam transfer stress dari tanggul ke kolom. Oleh karena itu, penting bahwa tanah di zona mana lengkungan akan dibentuk menjadi bahan gesekan dengan kekuatan geser yang tinggi. Oleh karena itu material granular yang mengisi dianggap sebagai bahan yang ideal untuk membangun *Load Transfer Platform*. Di atas *platform*, bahan pengisi lain dapat digunakan untuk membangun sisa tanggul.

2.9 Penguatan Geosintetik

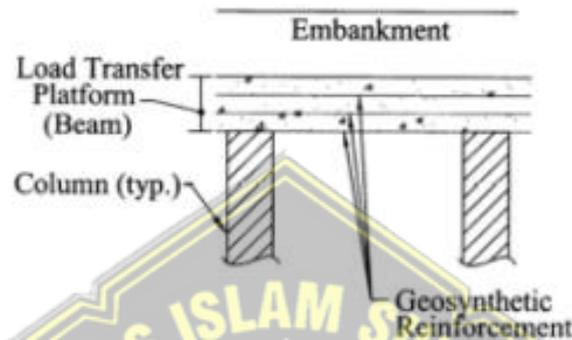
Bahan penguat Geosintetik digunakan untuk membuat *Load Transfer Platform* (LTP) yang salah satunya lapisan geotekstil kekuatan tinggi atau Geogrid, atau beberapa lapisan kekuatan yang lebih rendah yaitu *Geogrid Biaksial*. Jenis dan kekuatan penguatan Geosintetik adalah fungsi dari model desain yang digunakan untuk analisis *Load Transfer Platform* (yaitu, *catenary* atau balok), jarak antara kolom, dan tinggi tanggul. Banyak perancang yang mengharuskan mengisi lapisan bantalan di tempatkan di antara bagian atas kolom dan penguatan Geosintetik atau *Non Woven*, jarum akan menekan Geotekstil yang ditempatkan diantara bagian atas tumpukan *Geogrid*. Fungsi utama dari lapisan bantal atau dasar ini adalah untuk menghilangkan abrasi dan mengurangi konsentrasi tegangan yang kalau tidak akan terjadi antara bagian atas kolom dan penguatan. Selain itu, cap tumpukan seharusnya bulat, dan tidak tajam pada tepi.

2.10 Desain Load Transfer Platform

Desain *Load Transfer Platform* (LTP) (Collin Method, Collin, 2004) didasarkan pada penggunaan beberapa lapisan penguat untuk menciptakan massa tanah yang kuat. Metode Collin merupakan penyempurnaan dari metode yang disebut dengan Metode Guido dan mengasumsikan bahwa massa tanah yang diperkuat bertindak sebagai blok untuk mentransfer beban dari tanggul di atas platform ke kolom yang ada di bawah.

Asumsi utama untuk teori balok adalah :

- a) Minimal tiga lapis penguat yang digunakan untuk membuat platform.
- b) Jarak antar lapisan penguat adalah 20,32cm sampai 45,72cm.
- c) Ketebalan Platform lebih besar dari atau sama dengan satu setengah rentang yang jelas antara kolom.
- d) Lengkungan tanah sepenuhnya timbul dalam kedalaman platform.



Gambar 2. 4 : Mekanisme Transfer Beban Metode Beam (Collin, 2005)

2.11 Penguatan Total Desain Beban

Terpisah dari lapisan tulangan Geosintetik untuk lateral yang menyebar dan untuk *Load Transfer Platform* yang telah digunakan. Kekuatan tarik untuk lateral yang menyebar mungkin relatif tinggi dibandingkan dengan persyaratan tulangan untuk *Load Transfer Platform*. Selain itu, lateral menyebar ke arah beban tegak lurus terhadap tanggul, membutuhkan Geosintetik dengan kekuatan satu arah. Arah beban bagi penguatan dalam *Load Transfer Platform* adalah bi-directional yang membutuhkan *Geogrid Biaksial* atau Geotekstil. Untuk kasus ini, umumnya direkomendasikan untuk memilih pilihan terpisah yaitu digunakan untuk mengatasi lateral yang menyebar dan untuk *Load Transfer Platform* itu sendiri. Kekuatan tarik jangka panjang yang digunakan diijinkan dari Geosintetik yang digunakan dalam perhitungan penyebaran lateral. Kekuatan jangka panjang yang tersedia dihitung sebagai hasil bagi dari pengujian cepat atau jangka pendek tarik (misalnya, ASTM D6637).

Secara umum pemakaian pondasi tiang pancang dipergunakan apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban diatasnya, dan juga bila letak

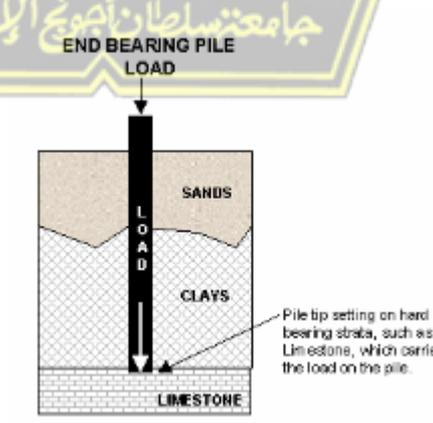
tanah keras yang memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul berat dari beban bangunan di atasnya terletak pada posisi yang sangat dalam.

Berdasarkan dari cara penyaluran beban tiang pancang dapat ditinjau atas :

2.11.1. *End Bearing Pile (Tumpuan Ujung)*

Sebagian besar daya dukungnya adalah akibat dari perlawanan tanah keras pada ujung tiang. Tiang yang dimasukan sampai lapisan tanah keras, secara teoritis dianggap bahwa seluruh beban tiang dipindahkan kelapisan keras melalui ujung tiang. Anggapan tanah keras yang dimaksudkan disini relatif dan tergantung dari beberapa faktor, antara lain seperti besar beban yang harus dipikul oleh tiang. Sehingga pada posisi dimana daya dukung tanahnya sudah mumpuni untuk mengimbangi besarnya beban yang dipikul tiang, maka disitu diasumsikan letak tanah keras berada. Agar tidak terjadi perbedaan yang tajam dalam perspektif, maka untuk dianggap sebagai lapisan tanah pendukung yang baik, dapat digunakan ketentuan sebagai berikut :

- Lapisan non kohesif (pasir, kerikil) mempunyai harga standard penetration test (SPT) $N > 35$
- Lapisan kohesif mempunyai harga kuat tekan bebas (*Unconfined compression strength*) q_u antara 3 s/d 4 Kg/cm^2 atau kira-kira $N > 15$ s/d 20 dari hasil sondir dapat dipakai kira-kira harga perlawanan konis $S \geq 150 \text{ kg/cm}^2$ untuk lapisan non kohesif, dan $S \geq 70 \text{ kg/cm}^2$ untuk lapisan kohesif

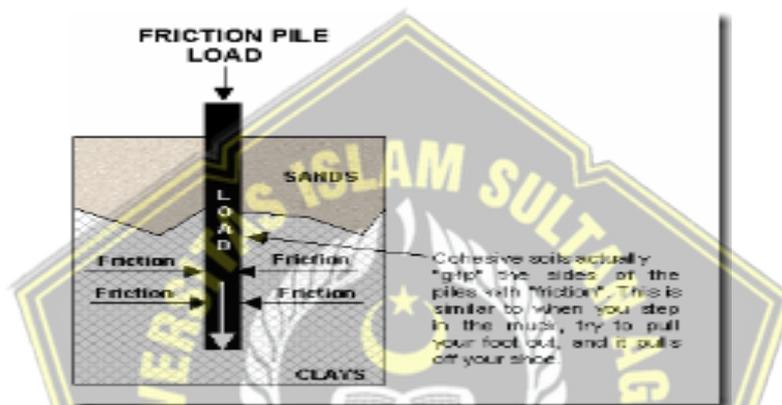


Gambar 2. 5 Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang tipe End Bearing

2.11.2. Friction Pile (Tumpuan Geser/Sisi)

Tipe Pondasi tiang pancang yang Sebagian besar daya dukungnya adalah akibat dari gesekan antara tanah dengan sisi-sisi tiang pancang, atau dengan kata lain kemampuan tiang pancang dalam menahan beban hanya mengandalkan gaya geseran antara tiang dengan tanah disekelilingnya.

Daya dukung yang didapat adalah dari gesekan antara sisi tiang dengan tanah disekelilingnya namun tidak berarti perlawanan diujungnya dianggap tidak ada, pada kenyataannya tumpuan diujung ini juga memiliki andil dalam memberikan sumbangan daya dukung walaupun tidak besar.



Gambar 2. 6 Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang tipe *End Bearing*

2.12 Analisis Menggunakan *Plaxis v8.2*

Program *Plaxis v8.2* merupakan suatu *software* yang digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas dalam pekerjaan geoteknik. *Properties* nya yang dimasukkan sederhana, sehingga memudahkan untuk membuat model elemen secara detail dan outputnya berupa hasil perhitungan dan kurva. Terdapat 4 (empat) program dalam *Plaxis*, dimana program - program tersebut mempunyai fungsi masing – masing, yaitu

1. *Plaxis input*

Adalah program *plaxis* yang berfungsi untuk membuat permodelan geometrid dan parameter tanah yang sudah diklasifikasikan dan digunakan secara dua dimensi.

2. *Plaxis calculation*

Adalah bagian dari program *plaxis* yang berfungsi untuk melakukan perhitungan setelah proses input data.

3. *Plaxis output*

Adalah program *Plaxis* yang berisi hasil keluaran dari perhitungan setelah proses input dan *calculation* berupa tabel dan grafik.

4. *Plaxis curve*

Plaxis curve program dapat digunakan sebagai penggambaran kurva berdasarkan hubungan beban dan waktu dengan penurunan tanah. Diagram tegangan – regangan dari tahap yang sebelumnya sudah ditentukan pada *calculation program*.

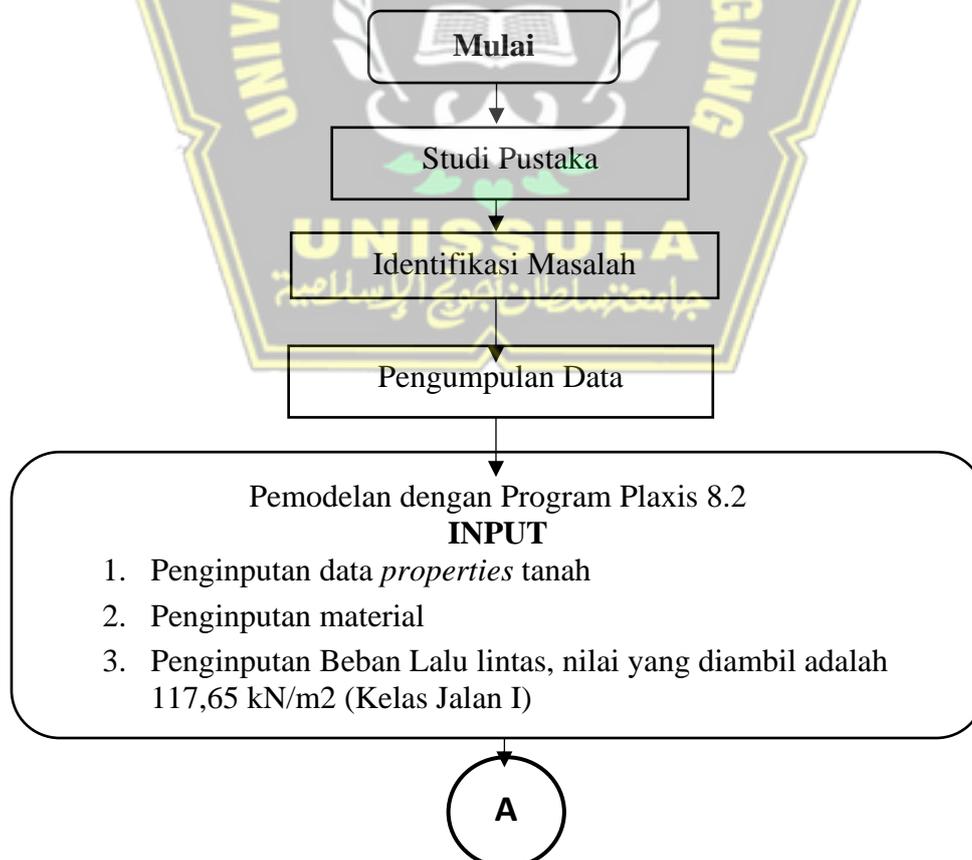


BAB III

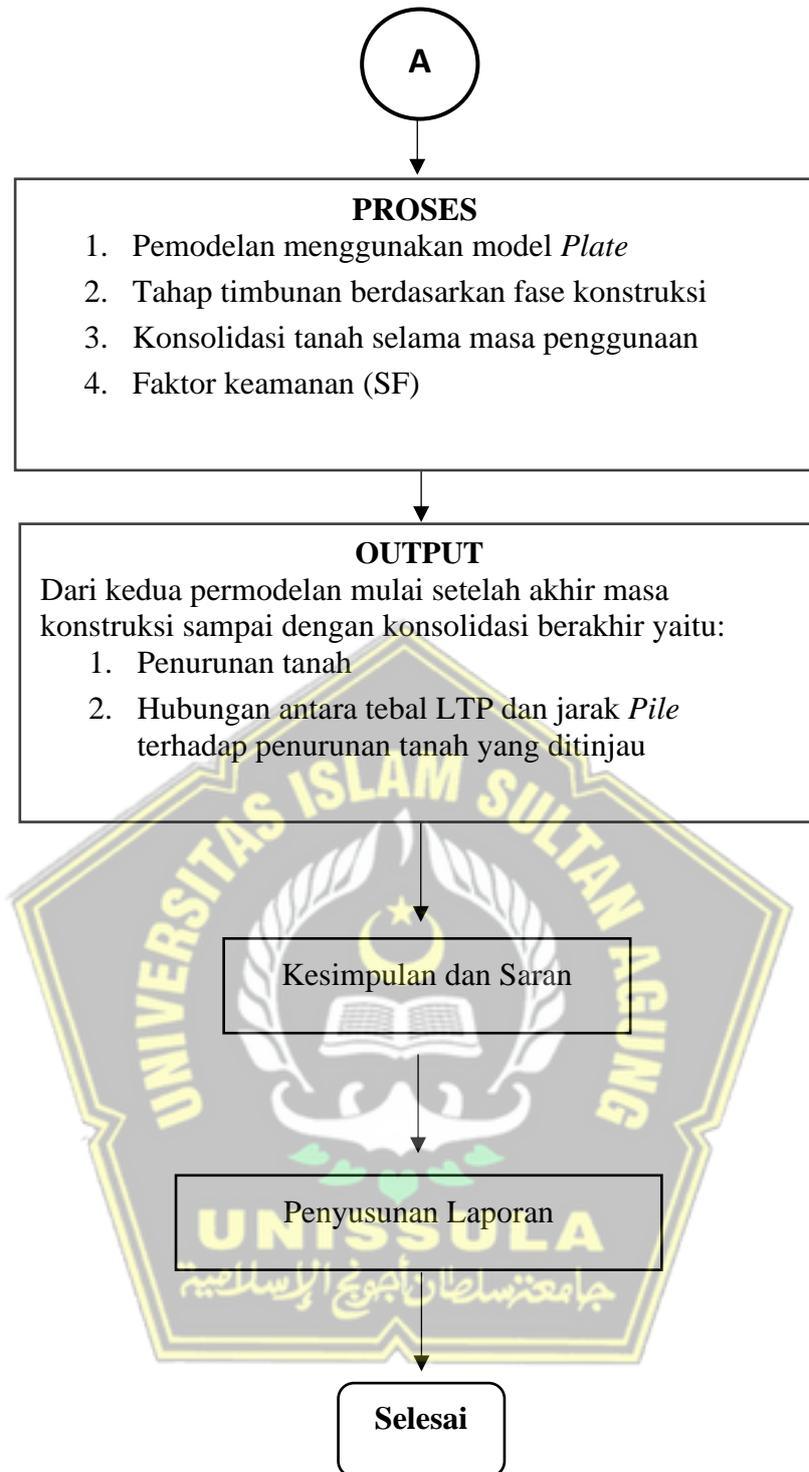
METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Metode penelitian ini diperlukan untuk mengetahui hasil analisis dari pengaruh penambahan *preloading* dan *Load Transfer Platform (LTP)* terhadap penurunan tanah pada proyek pembangunan jalan yang kemungkinan terjadi penurunan tanah. Timbunan *preloading* diletakkan pada tanah dasar sesuai dengan beban kerja dan beban konstruksi yang direncanakan, durasi pembebanan dilakukan sampai konsolidasi tanah dasar mencapai derajat konsolidasi yang direncanakan, apabila derajat konsolidasi telah tercapai maka *preload* dibongkar dan konstruksi dimulai pelaksanaannya. *Load Transfer Platform (LTP)* direncanakan untuk menghubungkan beban dan menyalurkan beban ke kolom Sistem transfer beban tinggi mengakibatkan penurunan biaya keseluruhan dan penurunan jumlah tumpukan atau kolom yang dibutuhkan. Perencanaan yang digunakan pada struktur ini adalah program *Plaxis 8.2*, dengan diagram alir penelitian sebagaimana pada bagan berikut.



Gambar 3. 1 Bagan Metodologi



Gambar 3.2 Bagan Metodologi (Lanjutan)

3.2 Identifikasi Masalah

Jenis pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui media perantara, terkait dengan informasi mengenai perencanaan *preloading* dan *Load Transfer*

Platform. Pada Tugas Akhir ini data - data yang digunakan termasuk data penyelidikan tanah didapatkan dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Batang.

3.3 Studi Literatur

Sumber literatur atau pustaka diperoleh dengan berpedoman dari berbagai sumber, diantaranya literatur, jurnal, referensi teori, dan buletin ilmiah dalam bidang teknik sipil yang relevan untuk memperoleh dasar – dasar teori yang diperlukan sebagai standar tolak ukur untuk memahami metode – metode perbaikan tanah lunak, mekanika tanah dan bentuk pemodelan tanah menggunakan program Plaxis.

3.4 Pemodelan dengan Program Plaxis 8.2

3.4.1 Teknik Pengolahan Data

Metode yang digunakan dalam mengolah data yang telah terkumpul adalah analisis deskriptif yakni dilakukan dengan menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya. Hasil besaran dan waktu penurunan tanah dapat diketahui dengan menguraikan data untuk kemudian disesuaikan dengan tetap mengacu pada data primer dan data sekunder.

Data Penyelidikan tanah berupa data *bor log* kemudian diuraikan menurut klasifikasinya yang di definisikan *depth* sebagai pengukur kedalaman pengeboran yang dilakukan, *qc* yang di sebut juga sebagai perlawanan konus, *fr* atau rasio hambatan kemudian mencari rata-rata *qc* dan *rf* dengan cara menjumlahkan semua *qc* maupun *fr* kedalam ketentuan *qc* dan *fr* yang ada pada data *bor log* yang telah di dapat, kemudian akan menghasilkan keluaran berupa NSPT dan menggolongkan jenis tanah itu sendiri. Hal ini bertujuan untuk mempermudah mengidentifikasi jenis dan sifat tanah pada setiap lapisan pada tanah dengan deskripsi yang dapat dilihat seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Deskripsi Data Tanah

Depth	qc	fr	Rata-rata qc	Rata-rata fr	NSPT		Jenis Tanah
0	0	0					
0,2	5,5	4,07			2		

Depth	qc	fr	Rata-rata qc	Rata-rata fr	NSPT		Jenis Tanah
0,4	5,5	2,97			2	Sandy silts and silt	Very Soft
0,6	5,5	2,97			2		
0,8	5,5	2,97	5,5	3,08	2		
1	5,5	2,42			2		
1,2	6	2,71			3	Clayey silts and silty clays	Very Soft
1,4	4	4,04			2		
1,6	4	4,04			2		
1,8	4	4,04	4,40	3,77	2		
2	4	4			2		
2,2	3,5	4,55			2	Clayey silts and silty clays	Very Soft
2,4	3,5	4,55			2		
2,6	3,5	4,55			2		
2,8	4	4	4,00	4,11	2		
3	5,5	2,92			3		
3,2	5,5	2,92			3	Clayey silts and silty clays	Very Soft
3,4	5,5	2,92			3		
3,6	6	2,68			3		
3,8	6	2,68	5,80	2,89	3		
4	6	3,23			3		
4,2	8	2,01			4	Clayey silts and silty clays	Very Soft
4,4	5	3,18			3		
4,6	4	3,94			2		
4,8	3	5,17	4,60	3,88	2		
5	3	5,11			2		
5,2	4,5	3,49			1,5	Sandy silts and silt	Very Soft
5,4	6	2,65			2		
5,6	6	2,65			2		
5,8	6	2,65	5,40	2,98	2		
6	4,5	3,46			1,5		
6,2	4,5	3,46			2	Sandy silts and silt	Very Soft
6,4	5,5	2,86			2		
6,6	5,5	3,47			2		
6,8	6,5	2,96	5,80	3,10	2		
7	7	2,74			2		
7,2	7	2,74			2	Sandy silts and silt	Very Soft
7,4	7	2,74			2		
7,6	8	2,41			3		
7,8	6	2,62	6,70	2,67	2		
8	5,5	2,83			2		
8,2	5,5	2,83			2	Sandy silts and silt	Very Soft
8,4	4	3,81			1		
8,6	4,5	3,41			2		

Depth	qc	fr	Rata-rata qc	Rata-rata fr	NSPT		Jenis Tanah
8,8	4,5	3,41	4,70	3,44	2		
9	5	3,73			2		
9,2	6	3,14			2	Sandy silts and silt	Very Soft
9,4	6	3,14			2		
9,6	6	3,14			2		
9,8	8	2,39	6,80	2,84	3		
10	8	2,38			3		
10,2	7	2,7			2		
10,4	7	2,7			2	Sandy silts and silt	Very Soft
10,6	7	3,58			2		
10,8	8	3,15	7,60	2,85	3		
11	9	2,12			3		
11,2	6	3,11			2	Sandy silts and silt	Very Soft
11,4	6	3,11			2		
11,6	6	3,11			2		
11,8	6	3,11	6,40	2,96	2		
12	8	2,36			3		
12,2	7	2,21			2		
12,4	5	3,02			2	Sandy silts and silt	Very Soft
12,6	5	3,65			2		
12,8	7	2,68	6,20	3,02	2		
13	7	3,53			2		
13,2	8	3,11			3	Sandy silts and silt	Soft
13,4	8	3,94			3		
13,6	9	3,52			3		
13,8	10	3,19	9,00	3,51	3		
14	10	3,79			3		
14,2	12	3,19			3		
14,4	14	2,75			4	Silty Sands	Soft
14,6	11	3,47			3		
14,8	15	2,16	12,40	2,95	4		
15	10	3,17			3		
15,2	11	2,89			3	Silty Sands	Soft
15,4	11	2,89			3		
15,6	12	2,66			3		
15,8	12	3,18	11,80	2,91	3		
16	13	2,94			3		
16,2	10	3,16			3		
16,4	9	3,49			3	Sand y silts and silt	Soft
16,6	9	3,49			3		
16,8	8	2,32	8,60	3,37	3		
17	7	4,38			2		
17,2	8	3,87			3		

Depth	qc	fr	Rata-rata qc	Rata-rata fr	NSPT		Jenis Tanah
17,4	9	3,47			3	silts and silt	Soft
17,6	9	4,15			3		
17,8	10	3,76	9,60	3,68	3		
18	12	3,15			4		
18,2	13	3,91			7	Clayey silts and silty clays	Medium
18,4	15	5,52			8		
18,6	10	5,62			5		
18,8	10	6,88	11,60	5,51	5		
19	10	5,6			5		
19,2	12	5,78			6	Clays Peat	Medium
19,4	15	6,78			8		
19,6	15	9,32			8		
19,8	13	10,21	13,80	7,05	7		
20	14	3,15			7		
20,2	14	4,07			5	Sandy silts and silt	Medium
20,4	17	4,14			6		
20,6	20	4,17			7		
20,8	22	3,8	19,00	4,00	7		
21	22	3,8			7		
21,2	22	4,39			7	Sandy silts and silt	Medium
21,4	25	3,88			8		
21,6	27	3,36			9		
21,8	23	3,09	23,40	3,65	8		
22	20	3,53			7		
22,2	20	4,8			7	Sandy silts and silt	Stiff
22,4	24	4,03			8		
22,6	27	3,59			9		
22,8	30	3,24	27,00	3,59	10		
23	34	2,3			11		
23,2	32	2,43			8	Silty Sands	Stiff
23,4	30	3,24			8		
23,6	35	2,97			9		
23,8	37	3,17	34,80	2,92	9		
24	40	2,78			10		
24,2	54	2,07			14	Sands	Medium Dense
24,4	67	1,86			17		
24,6	70	1,88			18		
24,8	73	1,81	68,40	1,86	18		
25	78	1,69			20		
25,2	85	1,79			21	Sands	Medium Dense
25,4	87	1,59			22		
25,6	94	1,9			24		
25,8	100	1,65	98,20	1,68	25		

Depth	qc	fr	Rata-rata qc	Rata-rata fr	NSPT		Jenis Tanah
26	125	1,48			31		
26,2	140	0					

Sumber : Data Tanah Proyek Tol Pemalang – Batang



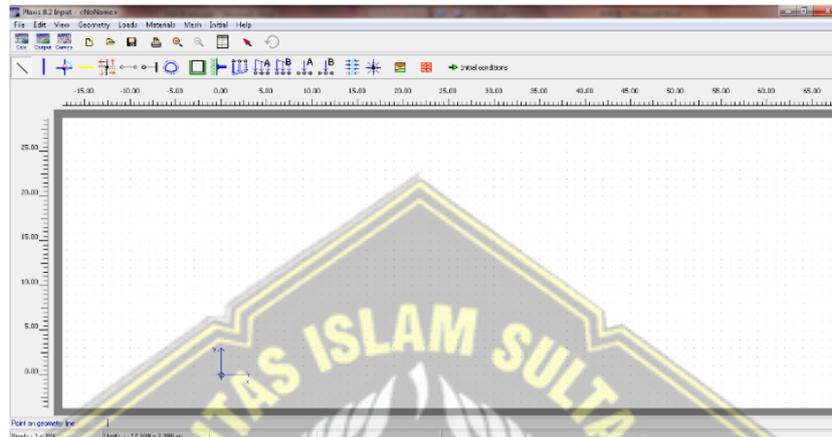
Tabel 3. 2 Parameter Tanah

NO	Konsistensi	Kedalaman (m)	N-SPT	Rata-rata N-SPT	Model	Type	γ_{Unsat}	γ_{sat}	k_x (m/day)	k_y (m/day)	E_{ref} (Kn/m ²)	ν	C_{ref} (Cu)	$\phi(^{\circ})$	Ψ	cc	cs
1	Very Soft	0-13	1-4	2	SSM	Undrained	14	16	4,50E-03	4,50E-03	-	-	10	8	0	0,704	0,0704
2	Soft	13,2-18	2-4	3	SSM	Undrained	15	17,5	4,50E-03	4,50E-03	-	-	12	10	0	0,4	0,04
3	Medium Clay	18,2-22	5-9	6	MC	Undrained	16	18,5	4,50E-03	4,50E-03	12000	0,334	18	16	0	-	-
4	Stiff	22,2-24	7-13	13	MC	Undrained	17	19,5	2,20E-05	2,20E-05	26000	0,334	65	30	0	-	-
5	Medium Dense	24,2-26	14-31	25	MC	Drained	17,5	20,5	8,60E-02	8,60E-02	50000	0,3	4	30	0	-	-

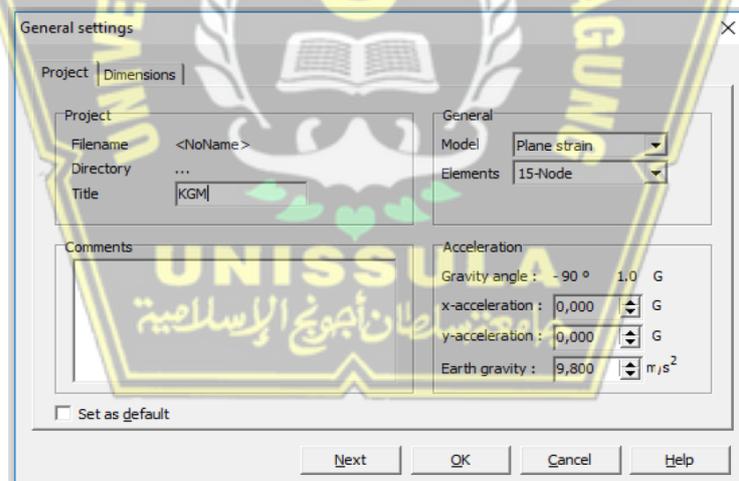
Sumber : Data Parameter Tanah Proyek Tol Pematang – Batang

Sebagaimana hasil analisis dengan menggunakan Program Plaxis v 8.2, maka diperoleh langkah - langkah sebagai berikut :

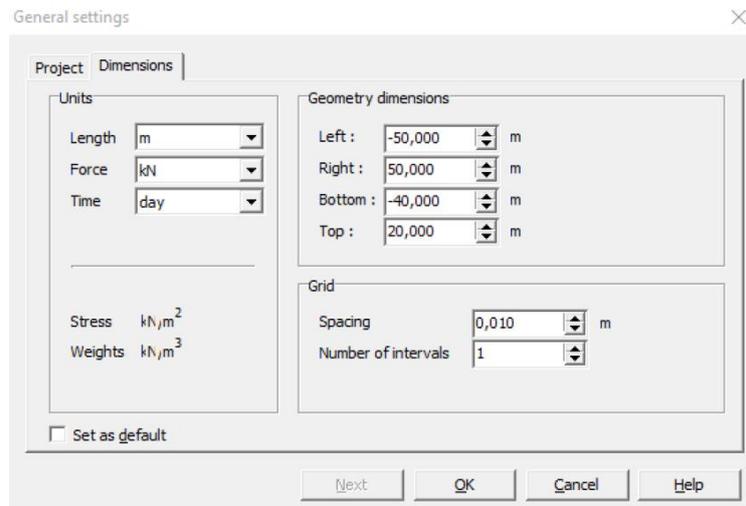
Dimulai dengan klik kanan, lalu pilih open pada ikon *Plaxis Input* Program version 8.2. Kemudian akan muncul menu *Create* atau *Open project*, pilih *New Project* pada *box Open* dan klik OK, maka jendela *General Settings* yang terdiri dari dua halaman *tab* yaitu *tab sheet Project* dan *dimensions* akan muncul, dapat dilihat pada Gambar 3.2, Gambar 3.3, dan Gambar 3.4. berikut ini;



Gambar 3. 2 Kotak Dialog *Toolbar*



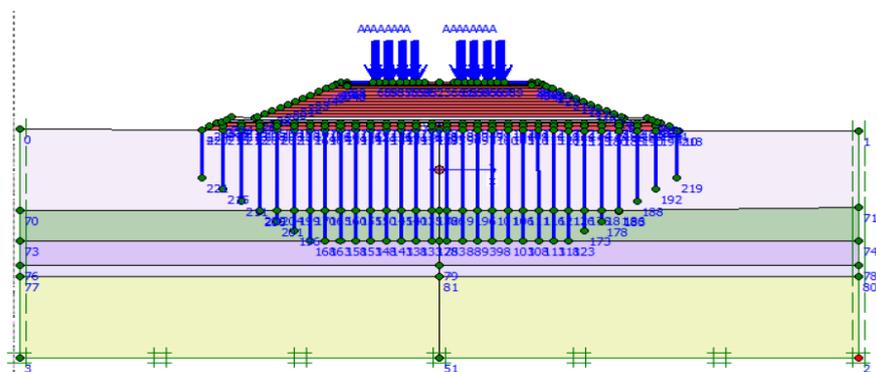
Gambar 3. 3 Kotak Dialog *General Settings – Tab Project*



Gambar 3. 4 Kotak Dialog *General Settings* – Tab *Dimensions*

Setelah melakukan pengisian material pada *General Setting*, maka akan muncul area gambar dengan koordinat arah horizontal dengan sumbu X dan arah vertikal dengan sumbu Y. Pilih tombol ikon pada *toolbar* atau dari menu *Geometry* untuk membuat objek gambar.

Sedangkan pembuatan pemodelan geometri penampang melintang dilakukan dengan menggunakan *toolbar Geometry Line* atau dengan memasukkan koordinat pada *point on geometry line* pada sisi bawah halaman tampilan Plaxis. Pemberian suatu kondisi batas disetiap sumbu pada hasil dari pemodelan penampang melintang menggunakan *Standard Fixities* (kekakuan standar) yang memodelkan lapisan tanah terjepit sempurna, sedangkan untuk bagian samping kanan-kiri memungkinkan untuk bergerak secara vertikal ($U_x = 0$; $U_y =$ bebas). Berikut bentuk pemodelan geometri sebagaimana pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Model Geometri Penampang Melintang Jepit Standar (*Standar Fixities*)

3.4.2. Penginputan Data

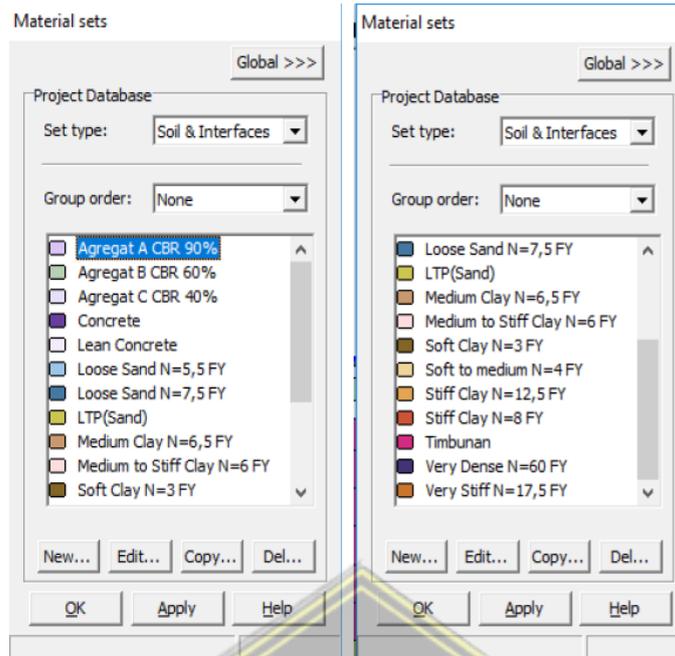
Data profil yang digunakan untuk mendapatkan analisis data pada penggunaan program *Plaxis 8.2* dilakukan melalui penginputan parameter pada *Material Sets* yaitu:

a. Tanah Asli, Timbunan dan LTP

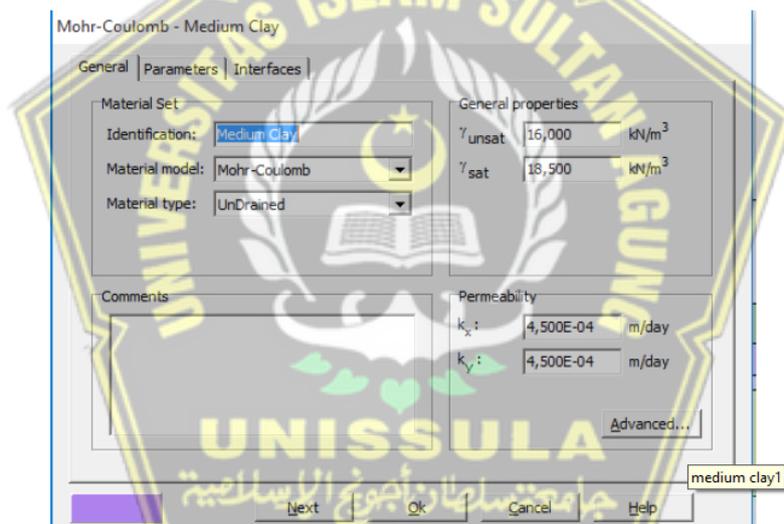
Model tanah yang dipilih adalah *Mohr-Coloumb* dengan parameter yang dibutuhkan:

- Berat volume tanah jenuh air (γ_{sat}), yaitu ruang pori terisi penuh oleh air
- Berat volume tanah tak jenuh air (γ_{unsat})
- Permeabilitas arah horizontal (k_s), yaitu Meresapnya air ke dalam tanah melalui pori-pori tanah ke arah horizontal
- Permeabilitas arah vertikal (k_y), yaitu meresapnya air kedalam tanah melalui pori-pori tanah ke arah vertikal
- Modulus elastisitas (E), yaitu angkat yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan
- *Poisson rasio* (μ) yaitu konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material
- Kohesi (c), yaitu gaya tarik menarik antara partikel sejenis
- Sudut geser (ϕ) yaitu dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser didalam material tanah atau batuan
- Sudut dilatasi (Ψ), yaitu sambungan atau pemisah pada bangunan karena sesuatu hal memiliki sistim struktur berbeda

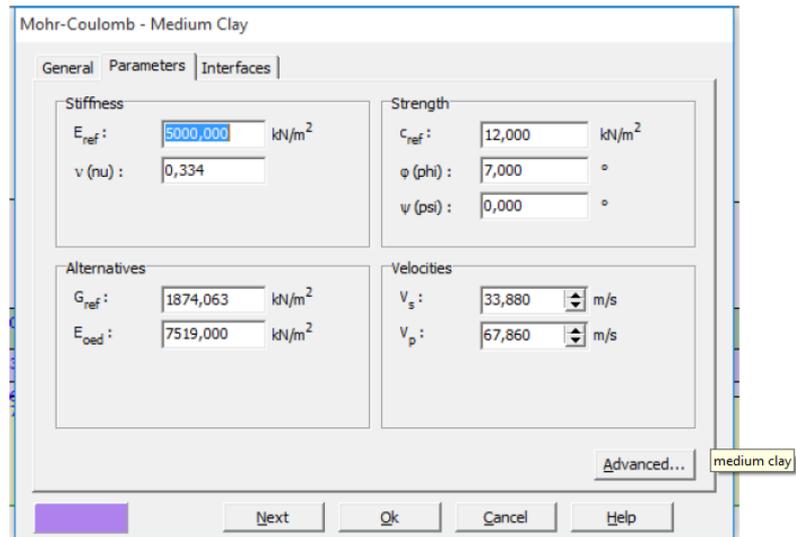
Pengisian material lapisan tanah sesuai yang telah ditentukan sebelumnya pada *Material Sets*. Kemudian seret data setiap lapisan dari jendela *Material Sets* ke area lapisan tanah sesuai dengan data yang didapatkan pada perencanaan jalan.



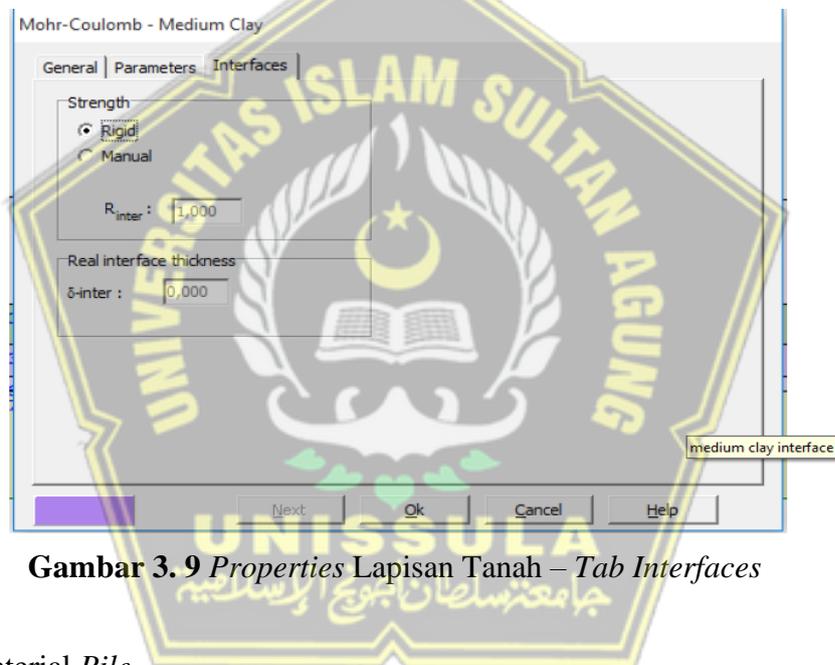
Gambar 3.6 Material Sets



Gambar 3.7 Properties Lapisan Tanah – Tab General



Gambar 3. 8 Properties Lapisan Tanah – *Tab Parameters*

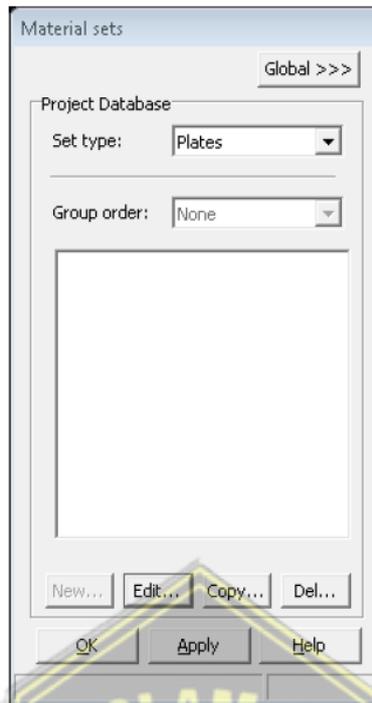


Gambar 3. 9 Properties Lapisan Tanah – *Tab Interfaces*

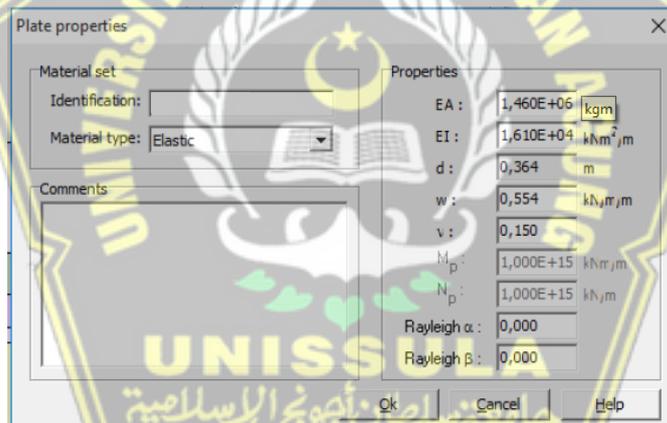
b. *Material Pile*

Untuk tipe *cluster* sama seperti penginputan kotak dialog *Soil & interfaces*, sedangkan untuk tipe *plate* menggunakan material beton dengan penginputan data berupa jenis dan sifat material pada kotak dialog *Plate*.

Berikut tampilan *Material Sets* dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11.



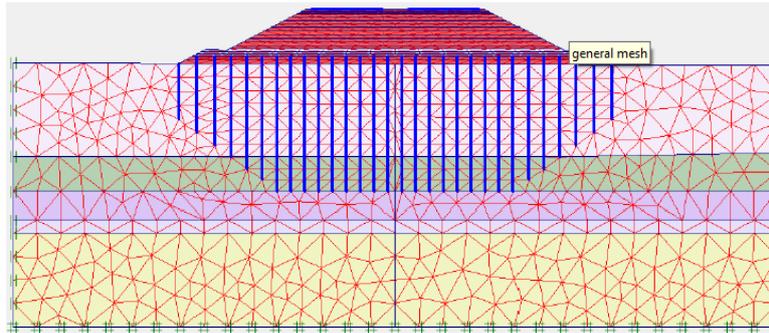
Gambar 3. 10 *Materials Sets*



Gambar 3. 11 *Properties Material*

c. Menyusun Jaringan Elemen (*Mesh Generation*) pada Program Plaxis

Fungsi tahap penyusunan jaringan elemen (*Mesh Generation*) adalah untuk membagi tanah ke dalam elemen - elemen diskret, dengan menggunakan *ytoolbar Generate Mesh*. Pada tahap ini, material di *mesh fine*, kemudian klik *update*. Berikut tampilan *General Mesh* sebagaimana pada Gambar 3.12.



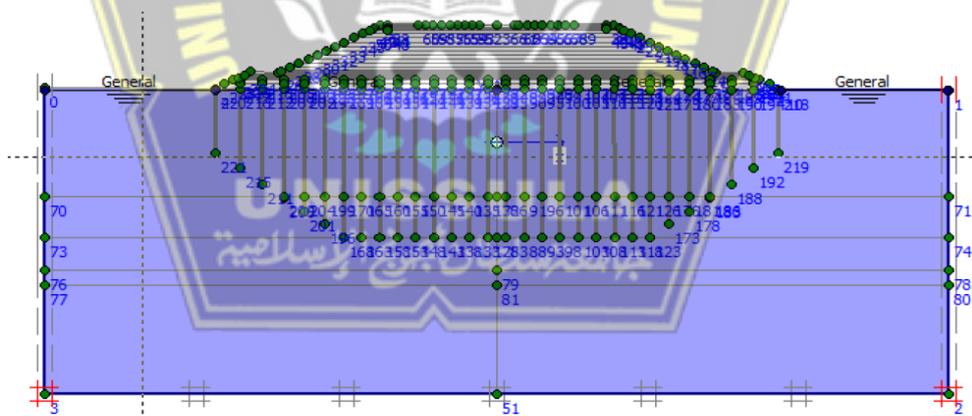
Gambar 3. 12 Mesh Generation Penampang Melintang

c. Kondisi Awal (*Initial Condition*)

Kondisi Awal (*Initial Condition*) adalah kondisi yang menentukan garis ketinggian muka air tanah (*phreatic line*) yang digunakan untuk menganalisis besarnya air tanah dengan berat jenis air tersebut 1 kN/m³. Penetapan Kondisi Awal (*Initial Condition*) harus dilakukan pada pemodelan geometri yang telah dibuat. Terdapat 4 (empat) tahap, yaitu :

- Tahap 1 penentuan muka air tanah (*Phreatic Level*)

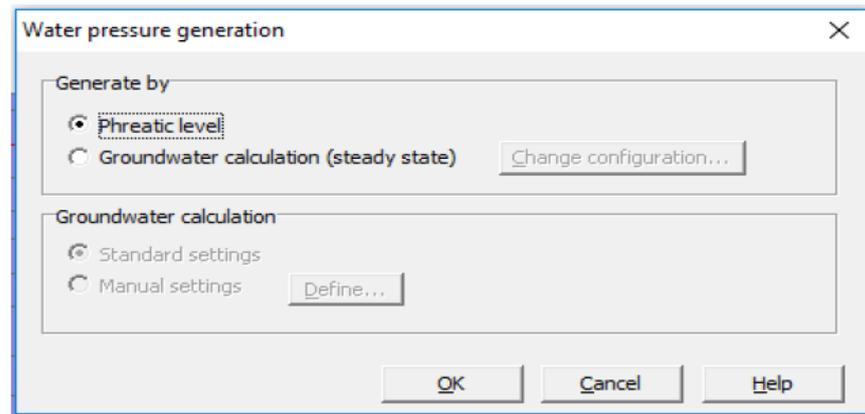
Tahap ini dimulai dengan klik ikon *toolbar* ,  maka akan muncul sebagaimana pada Gambar 3.13. Ketinggian muka air tanah sedalam 4,5 meter dibawah permukaan tanah asli.



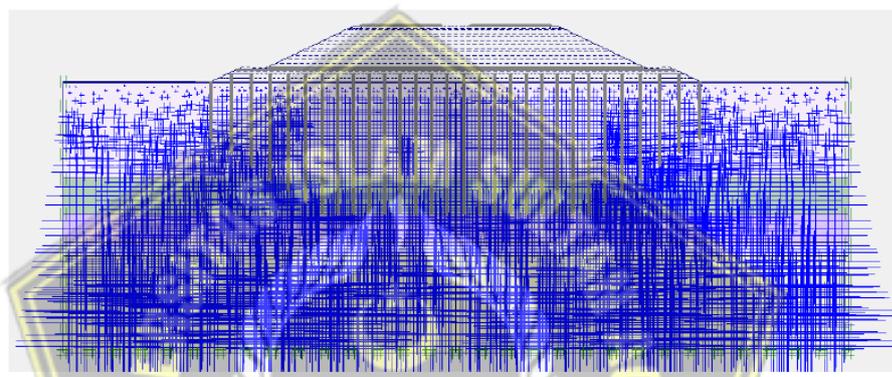
Gambar 3. 13 Tinggi Permukaan Air Tanah (*Phreatic Level*)

- Tahap 2 yaitu mengaktifkan tekanan air pori (*Generate Water Pressure*)

Dilakukan dengan klik ikon *toolbar* ,  maka akan muncul panel seperti Gambar 3.14 kemudian klik OK. Selanjutnya akan muncul Gambar 3.15 kemudian klik *Update*.

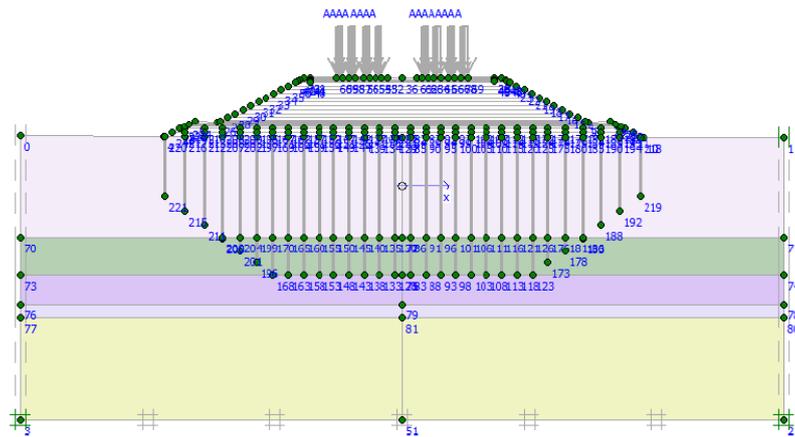


Gambar 3. 14 *Phreatic Level*



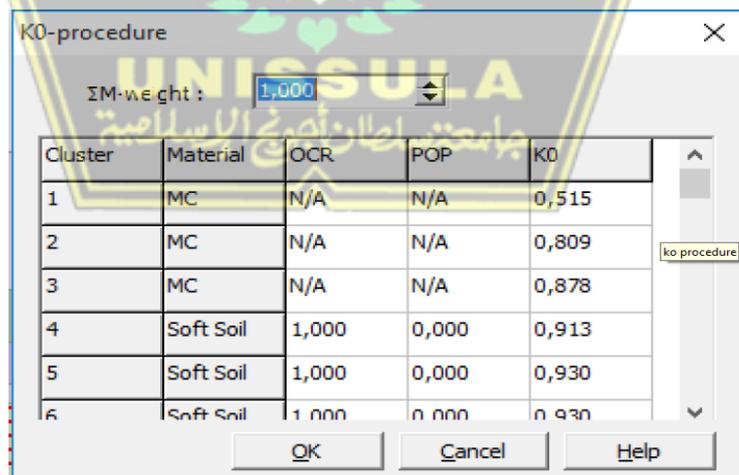
Gambar 3. 15 Tekanan Air Aktif (*Active Pore Water Pressure*)

- Tahap 3 aktifkan konfigurasi geometri (*activation geometry mode*)
 Secara *default* Plaxis menonaktifkan semua unsur model yang digariskan pada tahap persiapan geometri sebelumnya, sehingga beberapa unsur yang pada mode geometri ini pada awalnya memang tidak aktif harus diaktifkan terlebih dahulu. Konfigurasi diaktifkan dengan cara klik ikon *toolbar* ,  sedangkan untuk menonaktifkan klik timbunan dan agereat hingga berwarna putih seperti pada Gambar 3.16 berikut ini.

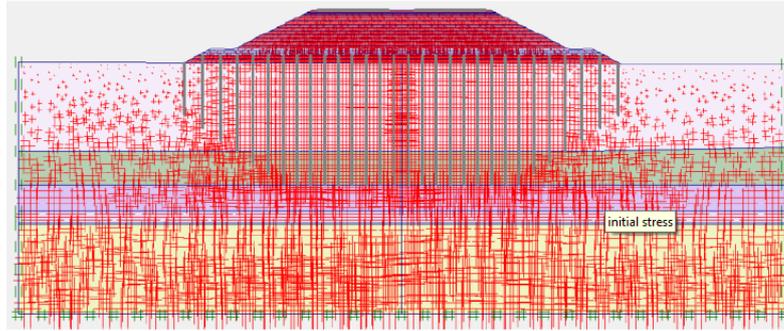


Gambar 3. 16 Mengaktifkan Figurasi Geometri

- Tahap 4 aktifkan tekanan efektif tanah (*Generate Initial Stress*)
 Tegangan awal dipengaruhi oleh berat material dan sejarah formasinya. Status tegangan umumnya ditandai dengan tegangan vertikal awal, $S_{n,0}$ yang dihubungkan oleh koefisien tekanan bumi lateral K_0 . Nilai default diberikan berdasarkan rumus Jaky ($1 - \sin \phi$). Untuk mengaktifkan tegangan awal (*Initial Stress Generation K_0 . Procedure*) yaitu dengan cara Diklik  ikon . Dengan K_0 -*Produce* yang ditunjukkan pada Gambar 3.17, dan untuk hasil *Generate Initial Stress* seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3. 17 K_0 – Procedure



Gambar 3. 18 *Generate Initial Stress*

3.4.3. Perhitungan

Perhitungan dilakukan diantaranya dengan konsolidasi, reduksi phi-c dan analisis plastis setelah semua pembuatan pemodelan geometri dan penginputan parameter – parameter selesai, Caranya dengan mengaktifkan perpindahan dan beban sebagai fungsi dari waktu dengan mengatur faktor – faktor pengali yang bersangkutan.

3.4.4. Hasil Analisis Pemodelan Menggunakan Program Plaxis 8.2

Tujuan dilakukan analisis pemodelan ini adalah untuk mengetahui besaran penurunan pada *Load Transfer Platform* (LTP), yang ke depannya akan mempengaruhi tanah timbunan dan lapisan perkerasan jalan di atasnya, sehingga perlu dilakukan analisis *total displacement*, angka keamanan, dan gaya-gaya yang terjadi. Setelah konstruksi dilaksanakan maupun pada masa konsolidasi.

3.4.5. Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan hasil analisis dari pemodelan konstruksi dengan singkat dan jelas berdasarkan pengolahan data dan mengacu pada pokok pembahasan.

3.4.6. Penyusunan Laporan

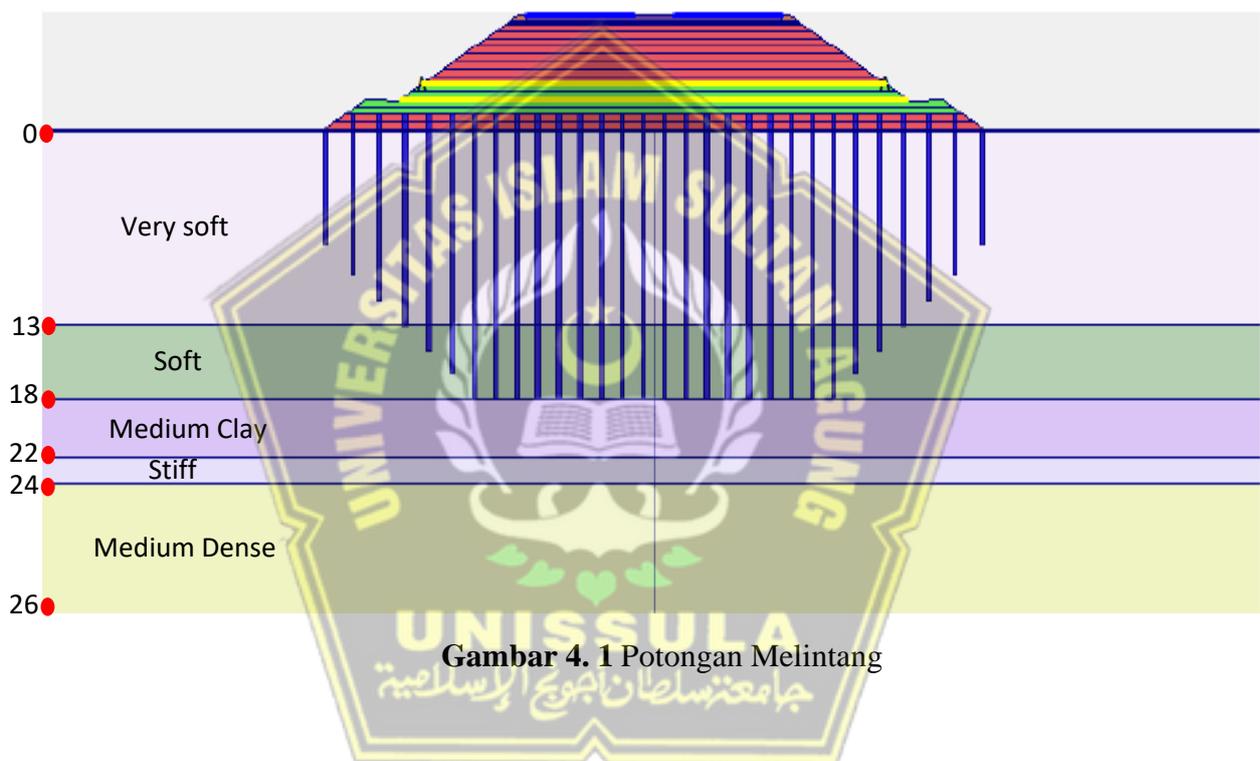
Penyusunan laporan dilakukan setelah memperoleh hasil data analisis. Laporan berisi tentang tahapan-tahapan pemodelan hingga hasil dari analisis pemodelan yang dilakukan. Hasil yang di peroleh merupakan *output* dari perhitungan program *Plaxis .8.2*.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Analisis perhitungan penurunan tanah menggunakan program *plaxis 8.2*. Analisis penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan tanah (*displacement*), serta angka factor keamanan (*Safety Factor*) dengan variasi ketebalan LTP yang direncanakan, bentuk pemodelan sebagaimana pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4. 1 Potongan Melintang

4.1. Parameter Desain

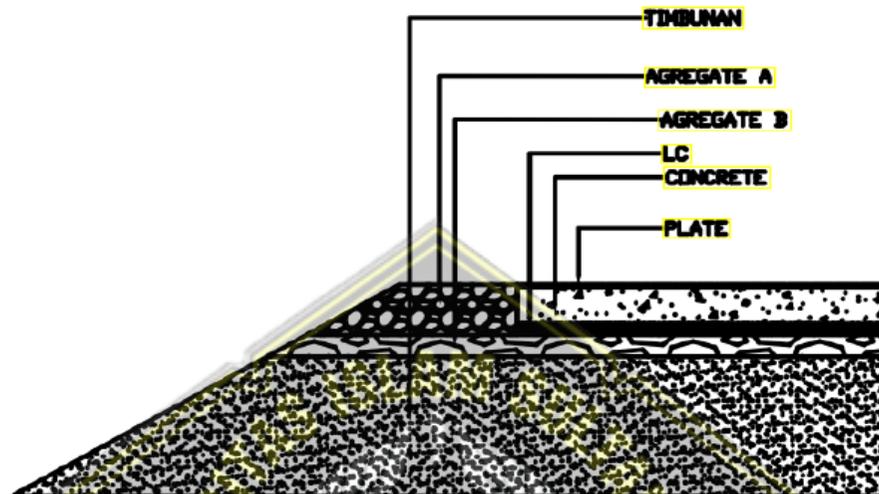
4.1.1. Parameter Timbunan dan Perkerasan

Parameter tanah timbunan dan material perkerasan serta parameter aspal untuk permodelan perbaikan tanah dapat ditunjukkan sebagaimana pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 1 Tabel Parameter Timbunan dan Perkerasan

NO	Jenis Material	Model	Type	γ_{Unsat}	Γ_{sat}	k_x (m/day)	k_y (m/day)	E_{ref} (Kn/m ²)	ν	C_{ref} (Cu)	ϕ (°)	Ψ
1	Agerat Class A 90%	MC	Drained	20,000	21,000	1,000	1,000	5,00E+04	0,200	1,000	35,000	0
2	Agregat Class B 60%	MC	Drained	18,000	20,000	0,806	0,806	3,50E+04	0,200	5,000	30,000	0,000
3	Concrete	LE	Non-porous	23,000	23,000	0	0	2,57E+07	0,150	-	-	-
4	Lean Concrete PBTR	LE	Non-porous	23,000	23,000	0	0	2,57E+06	0,150	-	-	-
5	LTP	MC	Drained	17,000	18,000	0,100	0,100	5,00E+04	0,334	-	-	-
6	Tanah Timbunan N 11 PBTR	MC	Drained	16,000	19,000	0,010	0,010	1,10E+04	0,300	10,000	25,000	0,000

Tanah Timbunan diatas *pile* direncanakan sebesar 2m menggunakan permodelan material *Mohr Coulomb* dengan tipe material *Drained*, pada Lapisan LTP (*Load Transfer Platform*) variasi ketebalan 1m, 2m, dan 3m digunakan material granular yang dibungkus geosintetik *non-woven*. Untuk lapisan atas perkerasan menggunakan material Agregat A CBR 90%, Agregat B CBR 60%, dan lapis perkerasan beton model material *Linear Elastic* dengan tipe material *Non-porous*.



Gambar 4. 2 Lapisan Perkerasan

4.1.2. Parameter Kolom atau *Pile*

Parameter untuk material *pile* tipe *Plate*, dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Tabel Parameter Kolom atau Pile

Jenis Material	ν	EA (kN/m)	EI (Kn/m ² /m)	d (m)	w (Kn/m)
<i>Plate</i>	0,2	1,06E+06	2648,394	0,200	2

4.1.3. Parameter Tanah

Parameter tanah dasar pada permodelan perbaikan tanah dapat dilihat pada pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Parameter Tanah

NO	Konsistensi	Kedalaman (m)	N-SPT	Rata-rata N-SPT	Model	Type	γ_{Unsat}	γ_{sat}	kx (m/day)	ky (m/day)	Eref (Kn/m ²)	V	Cref (Cu)	$\phi(^{\circ})$	Ψ	cc	cs	Cr
1	Very Soft	0-13	1-4	2	SSM	Undrained	14	16	4,50E-03	4,50E-03	-	-	10	8	0	0,704	0,0704	0,32
2	Soft	13,2-18	2-4	3	SSM	Undrained	15	17,5	4,50E-03	4,50E-03	-	-	12	10	0	0,4	0,04	0,2
3	Medium Clay	18,2-22	5-9	6	MC	Undrained	16	18,5	4,50E-03	4,50E-03	12000	0,334	18	16	0	-	-	-
4	Stiff	22,2-24	7-13	13	MC	Undrained	17	19,5	2,20E-05	2,20E-05	26000	0,334	65	30	0	-	-	-
5	Medium Dense	24,2-26	14-31	25	MC	Drained	17,5	20,5	8,60E-02	8,60E-02	25000	0,3	4	30	0	-	-	-

Tabel 4.3. menggunakan permodelan material *Mohr Coulomb* dengan tipe material *Drained* pada tanah yang berjenis pasir dan *Undrained* pada tanah berjenis lempung.



4.2. Permodelan Perbaikan Tanah dengan Variasi Ukuran Pile dan Tebal LTP

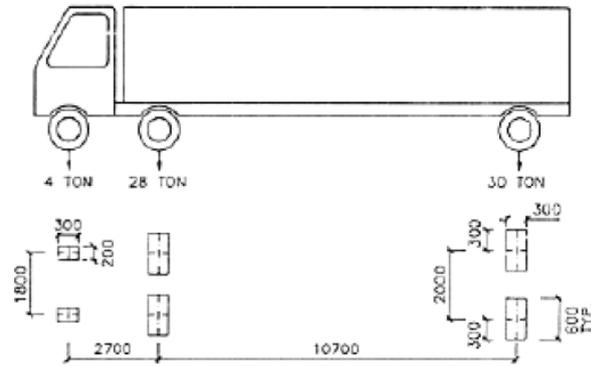
Permodelan perbaikan tanah dengan variasi ukuran pile dan tebal LTP adalah gambaran yang menerangkan tentang keberadaan situasi dan kondisi atau keadaan pembuatan kolom atau *pile* dalam tanah. Cara kerjanya hampir sama dengan cara kerja pada DSM (*Deep Soil Mixing*), perbedaannya hanya terdapat pada proses instalasinya. Proses instalasi dilakukan dengan auger khusus, sedangkan pada DSM material *grout* akan diinstal untuk mengisi lubang yang terbentuk oleh bor *auger*, hal ini dapat menyebabkan perubahan sifat mekanis yang ada pada tanah yang disebabkan oleh pencampuran material *grout* dengan material tanah asli. Sedangkan proses instalasi, pada saat *auger* diangkat ketika auger diinjeksi ke dalam tanah, maka tanah akan termampatkan ke arah samping sebagai akibat dari desakan auger, sehingga akan terbentuk lubang sesuai dengan diameter pada *auger*.

Pile diinstallkan kedalam tanah agar dapat menghasilkan material komposit yang terdiri dari *slurry* semen dan tanah. Proses install *pile* dilakukan dengan menggunakan matabor *auger* yang dirancang khusus guna menghasilkan kolom *displacement*. Sifat dari pile tersebut yaitu semi *rigid* dimana untuk memperkuat modulus kekakuan tanah asli (Esoil) maka pile dirancang dengan spesifik modulus kekakuan (Ecol). Sebelum diinstallkan, harus dilakukan perbaikan tanah dengan pile terlebih dahulu guna meningkatkan kepadatan tanah disekitarnya, agar kekuatan dan daya dukung tanah meningkat. Hasil dari perbaikan tanah dengan metode perbaikan ini lebih efisien karena akan memunculkan kolom dengan daya tampung yang tinggi dan tidak menghasilkan material buangan di lapangan.

Pemodelan ini menggunakan 2 tipe permodelan yaitu, permodelan dengan tipe *Plate* yang berdiameter 20 cm dan jarak antar titik yaitu 2 meter dan 2,1 – 2,6 meter untuk titik dibawah bidang longsor.

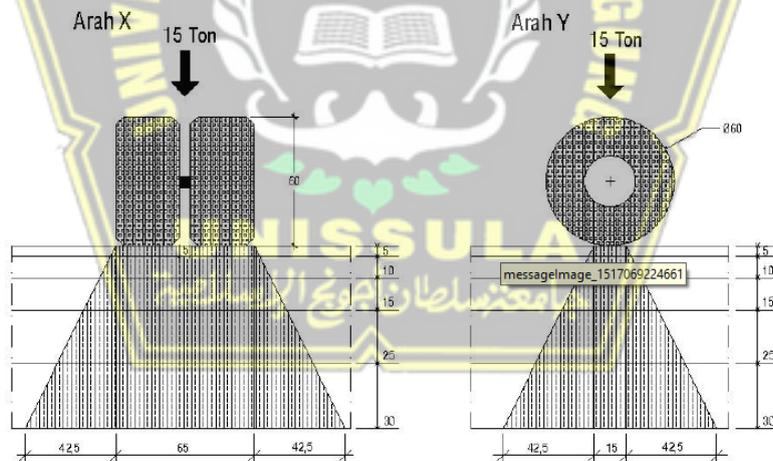
4.3. Pembebanan

Data beban lalu lintas adalah data pokok untuk melakukan perencanaan suatu jalan baik jalan baru maupun untuk peningkatan jalan lama. Pembebanan pada konstruksi jalan tol ini menggunakan beban terpusat dari beban lalu lintas terberat melalui data berupa truk peti kemas dengan 3 sumbu roda. Penjelasannya adalah sebagai berikut pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Besar Beban Tiap As Roda Truk

Pada bab ini kami menganalisa beban sumbu paling berat, yaitu beban sumbu roda belakang yaitu sebesar 30 ton. Perhitungan beban roda truk yang terdiri dari penampang melintang dan penampang memanjang sesuai dengan luas bidang kontak roda. Penjelasan mengenai beban lalu lintas dapat dilihat melalui penjelasan Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Besar Beban Tiap As Roda Truk

Beban Roda	: T	= 15 T	= 15000kg
Bidang roda	: tx	= 150 cm	= 1,5 m
	Ty	= 85 cm	= 0,85 m
Bidang kontak	: bxy	= 1,5 x 0,85	= 1,275 m ²

$$\text{Muatan T disembarkan} : T' = 15/1,275 = 11,765 \text{ ton/ m}^2$$

Jadi beban truk yang digunakan yaitu sebesar 11,765 ton/ m² atau sebesar 117,65 kN/ m².

4.4. Tahap Perhitungan

Tahap perhitungan selama masa konstruksi terdiri dari tahap konstruksi dan tahap Konsolidasi dengan jumlah tahap (*Phase*) terdiri atas 13 (tiga belas) tahap, hingga minimum porepressure. Pertama, pada tahap konstruksi timbunan dilakukan selama 7 hari dan 28 hari pada konstruksi perkerasan jalan, waktu konsolidasi konstruksi selama 1 tahun, 3 tahun, 10 tahun, dan 50 tahun tahapan dengan langkah-langkah hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4. 4 Phase Perhitungan LTP tebal 1 meter

Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0 day
Timbunan Awal	1	0	Plastic	Staged Construction	7 day
Install Pile	2	1	Plastic	Staged Construction	14 day
LTP & Geotextile	3	2	Plastic	Staged Construction	8 day
Timbunan 1	4	3	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 2	5	4	Plastic	Staged Construction	7 day
Konsolidasi 30 Hari	6	5	Consolidation	Staged Construction	30 day
Timbunan 3	7	6	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 4	8	7	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 5	9	8	Plastic	Staged Construction	7 day
Preloading 2m	10	9	Plastic	Staged Construction	7 day
Konsolidasi 30 Hari	11	10	Consolidation	Staged Construction	30 day
Unloading Preloading	12	11	Plastic	Staged Construction	7 day

Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
Install Perkerasan	13	12	Plastic	Staged Construction	28 day
Service Load	14	13	Plastic	Staged Construction	1 day
Konsolidasi 1 Tahun	15	14	Consolidation	Staged Construction	365 day
Konsolidasi 3 Tahun	16	15	Consolidation	Staged Construction	730 day
Konsolidasi 10 Tahun	17	16	Consolidation	Staged Construction	2555 day
Konsolidasi 50 Tahun	18	17	Consolidation	Staged Construction	14600 day
SF Timbunan Awal	19	1	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Install Pile	20	2	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF LTP & Geotextile	21	3	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 1	22	4	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 2	24	5	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 30 Hari	25	6	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 3	26	7	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 4	27	8	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 5	28	9	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Preloading 2m	29	10	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 30 Hari	30	11	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Unloading Preloading	31	12	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Install Perkerasan	32	14	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Service Load	32	14	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day

Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
SF Konsolidasi 1 Tahun	33	15	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 3 Tahun	34	16	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 10 Tahun	35	17	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 50 Tahun	36	18	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day

Tabel 4. 5 Phase perhitungan LTP tebal 2 meter

Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0 day
Timbunan Awal	1	0	Plastic	Staged Construction	7 day
Install Pile	2	1	Plastic	Staged Construction	14 day
LTP & Geotextile	3	2	Plastic	Staged Construction	8 day
Timbunan 1	4	3	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 2	5	4	Plastic	Staged Construction	7 day
Konsolidasi 30 Hari	6	5	Consolidation	Staged Construction	30 day
Timbunan 3	7	6	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 4	8	7	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 5	9	8	Plastic	Staged Construction	7 day
Preloading 2m	10	9	Plastic	Staged Construction	7 day
Konsolidasi 30 Hari	11	10	Consolidation	Staged Construction	30 day
Unloading Preloading	12	11	Plastic	Staged Construction	7 day
Install Perkerasan	13	12	Plastic	Staged Construction	28 day
Service Load	14	13	Plastic	Staged Construction	1 day
Konsolidasi 1 Tahun	15	14	Consolidation	Staged Construction	365 day
Konsolidasi 3 Tahun	16	15	Consolidation	Staged Construction	730 day

Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
Konsolidasi 10 Tahun	17	16	Consolidation	Staged Construction	2555 day
Konsolidasi 50 Tahun	18	17	Consolidation	Staged Construction	14600 day
SF Timbunan Awal	19	1	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Install Pile	20	2	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF LTP & Geotextile	21	3	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 1	22	4	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 2	24	5	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 30 Hari	25	6	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 3	26	7	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 4	27	8	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 5	28	9	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Preloading 2m	29	10	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 30 Hari	30	11	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Unloading Preloading	31	12	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Install Perkerasan	32	14	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Service Load	32	14	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 1 Tahun	33	15	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 3 Tahun	34	16	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 10 Tahun	35	17	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 50 Tahun	36	18	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day

Tabel 4. 6 Phase perhitungan LTP tebal 3 meter

Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0 day
Timbunan Awal	1	0	Plastic	Staged Construction	7 day

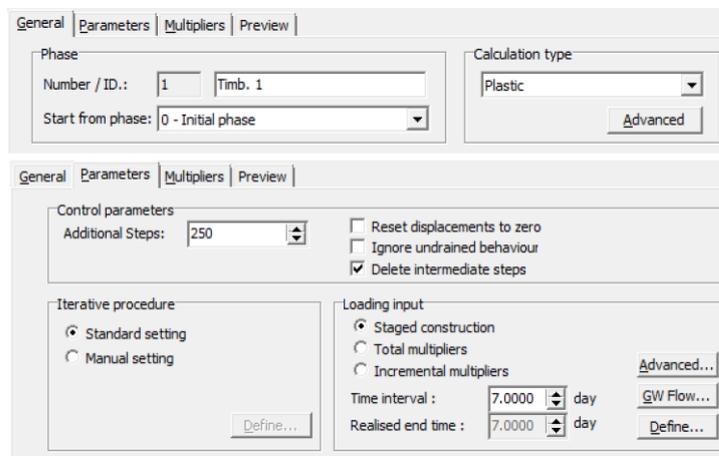
Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
Install Pile	2	1	Plastic	Staged Construction	14 day
LTP & Geotextile	3	2	Plastic	Staged Construction	8 day
Timbunan 1	4	3	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 2	5	4	Plastic	Staged Construction	7 day
Konsolidasi 30 Hari	6	5	Consolidation	Staged Construction	30 day
Timbunan 3	7	6	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 4	8	7	Plastic	Staged Construction	7 day
Timbunan 5	9	8	Plastic	Staged Construction	7 day
Preloading 2m	10	9	Plastic	Staged Construction	7 day
Konsolidasi 30 Hari	11	10	Consolidation	Staged Construction	30 day
Unloading Preloading	12	11	Plastic	Staged Construction	7 day
Install Perkerasan	13	12	Plastic	Staged Construction	28 day
Service Load	14	13	Plastic	Staged Construction	1 day
Konsolidasi 1 Tahun	15	14	Consolidation	Staged Construction	365 day
Konsolidasi 3 Tahun	16	15	Consolidation	Staged Construction	730 day
Konsolidasi 10 Tahun	17	16	Consolidation	Staged Construction	2555 day
Konsolidasi 50 Tahun	18	17	Consolidation	Staged Construction	14600 day
SF Timbunan Awal	19	1	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Install Pile	20	2	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF LTP & Geotextile	21	3	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 1	22	4	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 2	24	5	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 30 Hari	25	6	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 3	26	7	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 4	27	8	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Timbunan 5	28	9	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Preloading 2m	29	10	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 30 Hari	30	11	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Unloading Preloading	31	12	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day

Identification	Phase No	Starts from	Calculation	Loading Input	Time
SF Install Perkerasan	32	14	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Service Load	32	14	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 1 Tahun	33	15	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 3 Tahun	34	16	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 10 Tahun	35	17	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day
SF Konsolidasi 50 Tahun	36	18	Phic Reduction	Incremental Multipliers	0 day

Langkah-langkah kerja pada proses kalkulasi *Plaxis v.8.2* diantaranya:

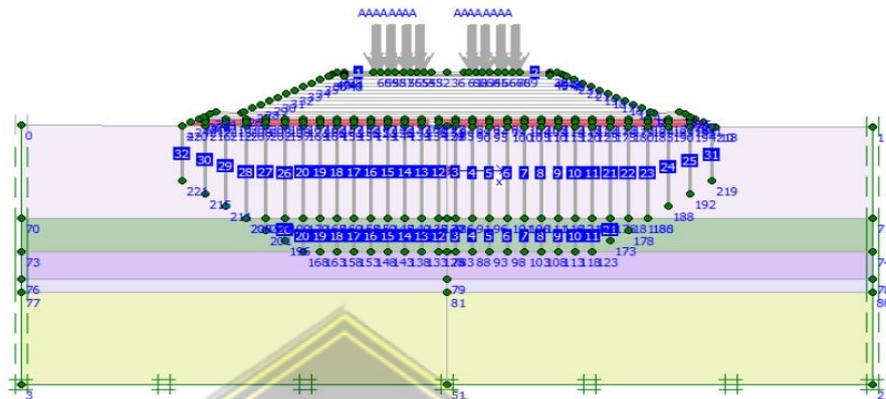
1. **Phase 0 : Tahap awal (*Initial Phase*)** adalah *default* dari program (**Phase 0**)
2. **Timbunan 1**

Tahapan pada timbunan 1 dengan ketinggian 1m dilakukan dengan interval waktu 7 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih *Initial Phase*. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 7 hari, lalu tentukan (*Define*), sebagaimana hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 *Input Phase* Timbunan 1 Pada Tab *General* dan *Parameters*

Selanjutnya klik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan 1 dengan meng-klik permodelan timbunan 1, setelah itu klik perbaharui (*Update*) sebagaimana pada Gambar 4.6 berikut ini.

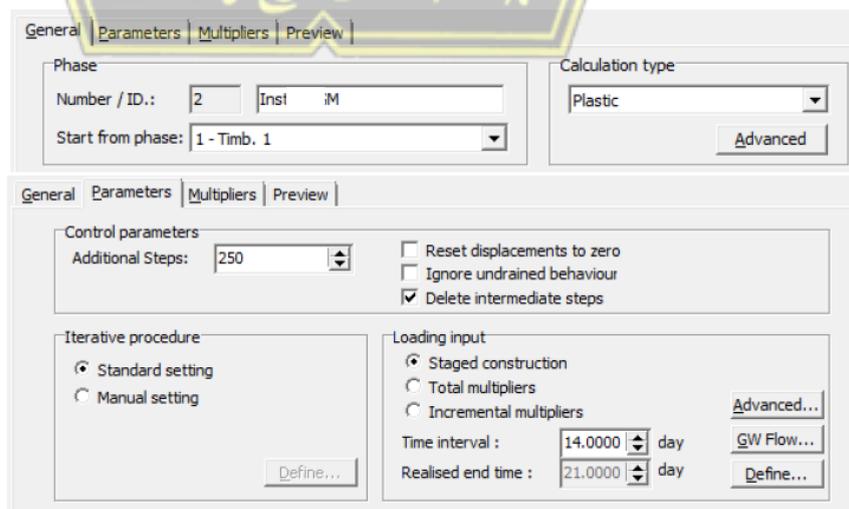


Gambar 4. 6 Define Phase Timbunan 1

3. *Install Pile*

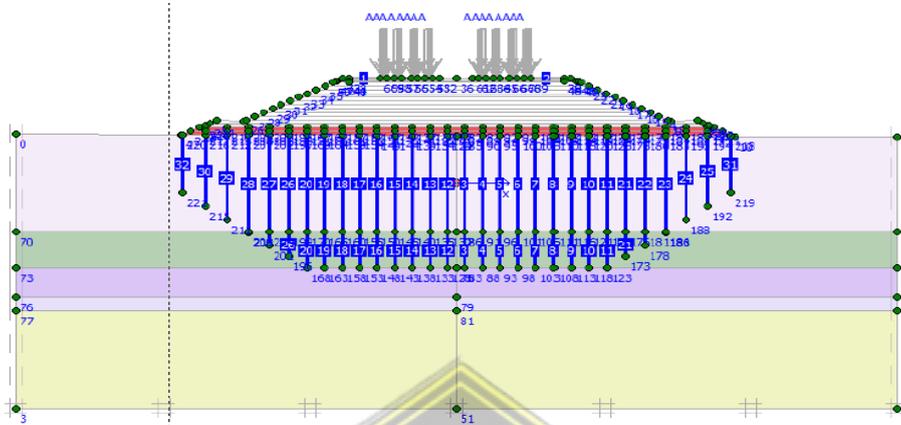
a. *Plate*

Tahapan *Install Pile* dilakukan dengan interval waktu 14 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Star from phase*) pilih timbunan 1. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 14 hari, lalu tentukan (*Define*), sebagaimana pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4. 7 Input Phase Install Pile Pada Tab General dan Parameters (*Plate*)

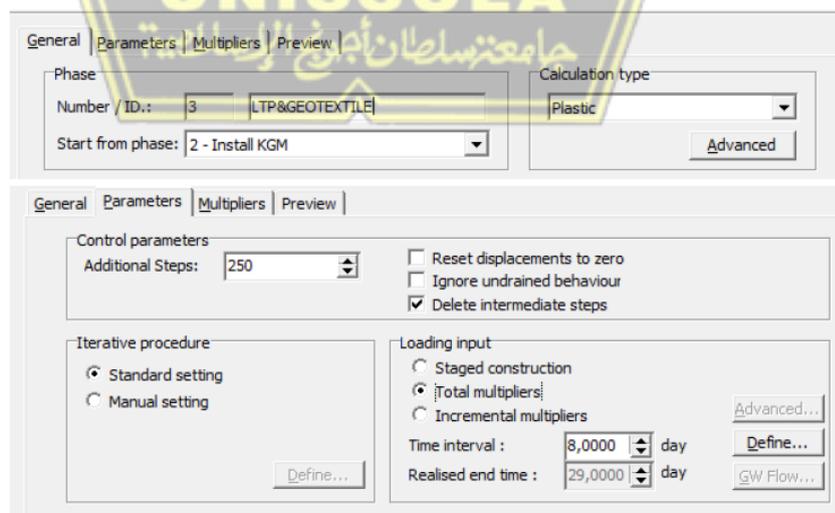
Selanjutnya klik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan *Install Pile* dengan meng-klik permodelan Kolom, setelah itu klik perbaharui (*Update*), sebagaimana pada Gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 *Define Phase* Instal Kolom atau *Pile (Plate)*

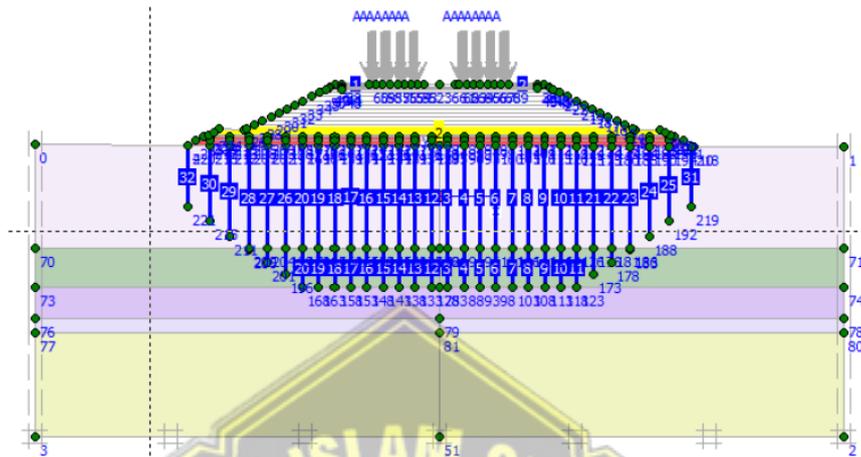
4. LTP (*Load Transfer Platform*) dan *GEOTEXTILE*

Tahapan timbunan LTP (*Load Transfer Platform*) dengan variasi ketinggian 1 m, 2 m dan 3 m pada pemodelan yang berbeda dan dilakukan selama 8 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih *Install Pile*. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 8 hari, lalu tentukan (*Define*). Sebagaimana pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 *Input Phase LTP (Load Transfer Platform)* pada Tab *General* dan *Parameters*

Selanjutnya diklik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan LTP (*Load Transfer Platform*) dengan meng-klik permodelan timbunan LTP (*Load Transfer Platform*), setelah itu klik perbaharui (*Update*), hal tersebut dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 4.10.



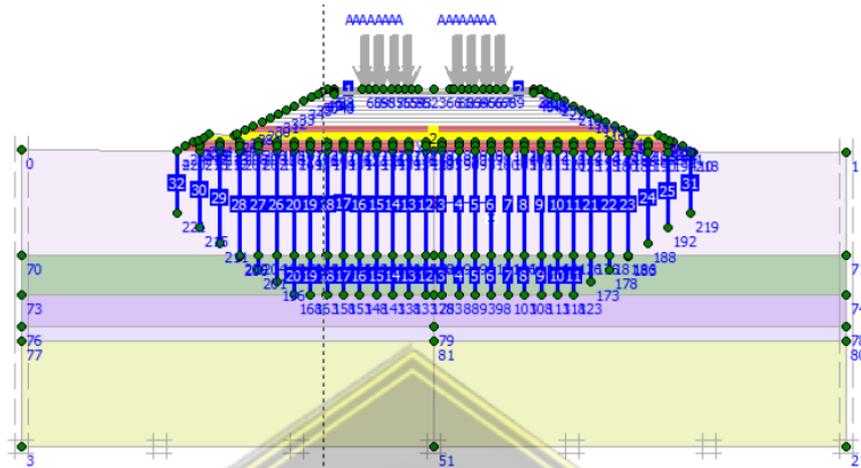
Gambar 4. 10 Define Phase LTP (*Load Transfer Platform*)

5. Timbunan 2

Tahapan timbunan 2 dengan ketinggian 1m dilakukan dengan interval waktu 7 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih LTP (*Load Transfer Platform*). Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Kemudian pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 7 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 4.11.

Gambar 4. 11 Input Phase Timbunan 2 pada Tab General

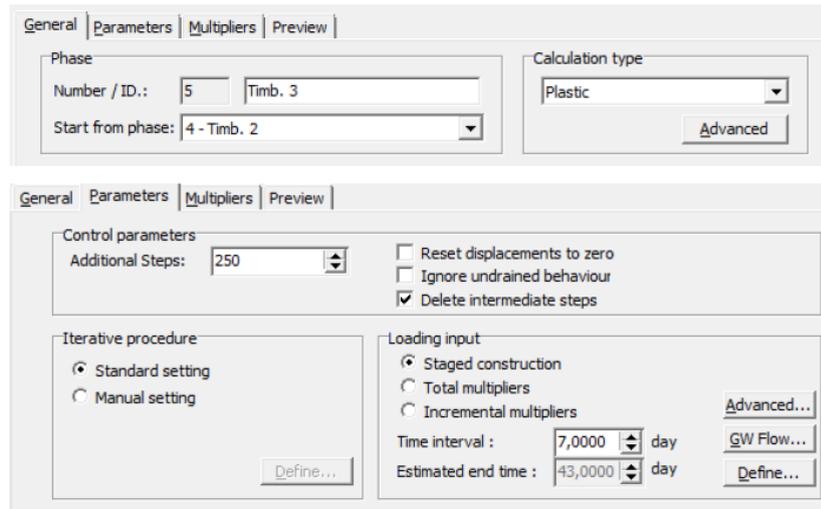
Selanjutnya diklik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan 2 dengan meng-klik permodelan timbunan 2, setelah itu klik perbaharui (*Update*), hal tersebut dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 *Define Phase* Timbunan 2

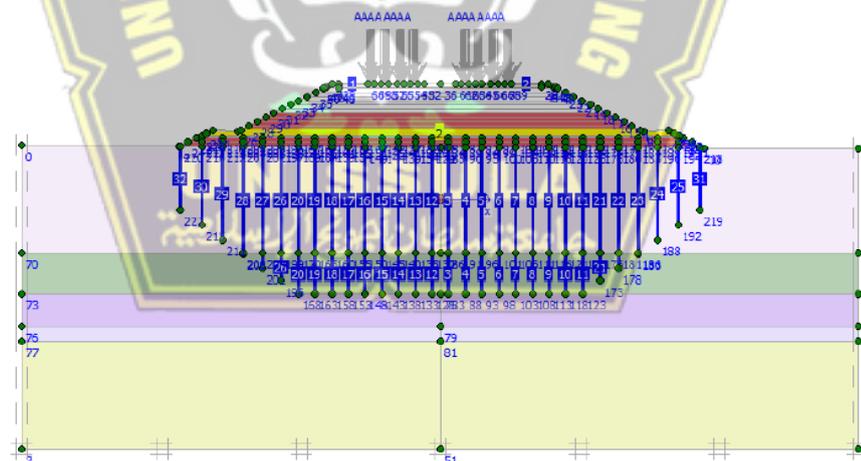
6. Timbunan 3

Tahapan timbunan 3 dengan ketinggian 1m dilakukan dengan interval waktu 7 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih Timbunan 2. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 7 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 4.13 berikut ini.



Gambar 4. 13 *Input Phase* Timbunan 3 pada *Tab General* dan *Parameters*

Selanjutnya diklik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan 3 dengan meng-klik permodelan timbunan 3, setelah itu klik perbaharui (*Update*), berikut hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.14 dibawah ini.

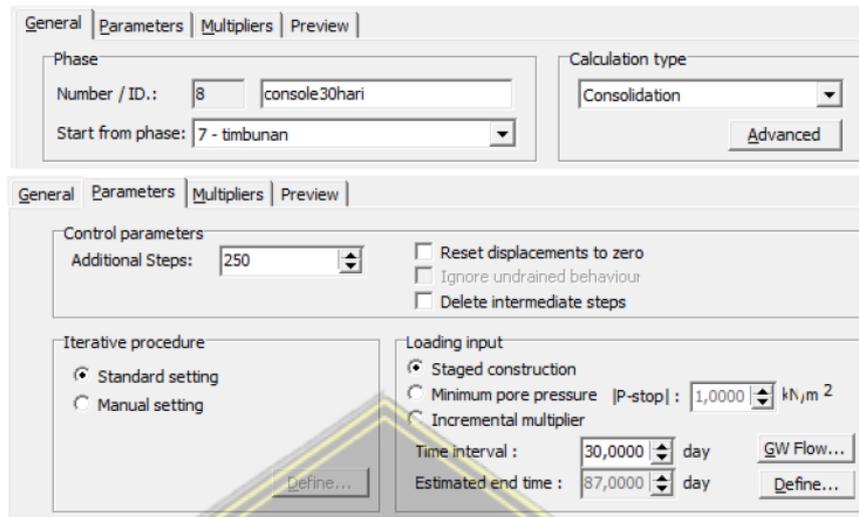


Gambar 4. 14 *Define Phase* Timbunan 3

7. Konsolidasi 30 (Tiga Puluh) Hari

Langkah-langkah tahapan konsolidasi 30 hari dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih konsolidasi 30 hari. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa

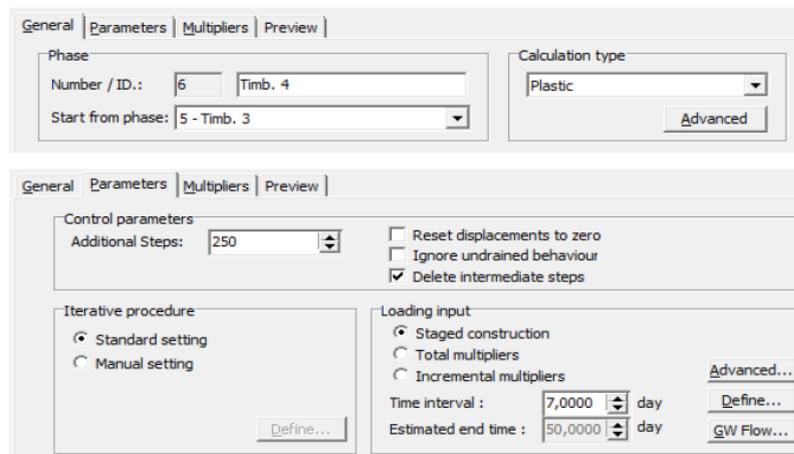
konsolidasi (*consolidation*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 30 hari.



Gambar 4. 15 *Input Phase konsolidasi pada Tab General dan Parameters*

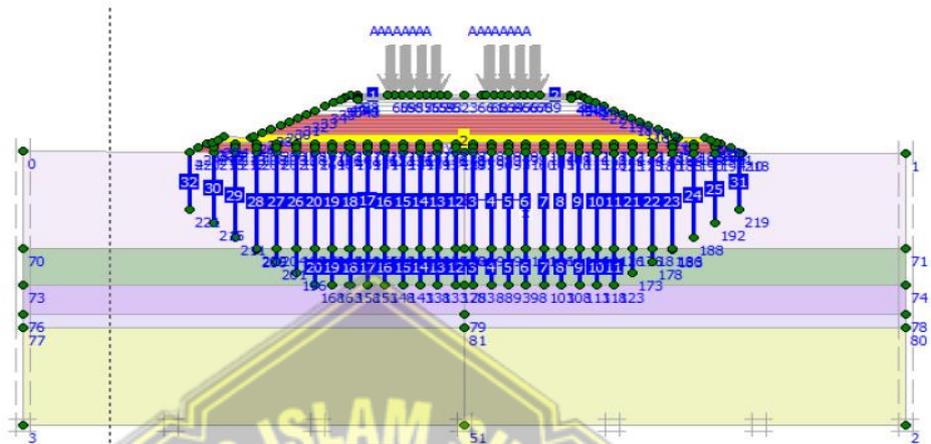
8. Timbunan 4

Tahapan timbunan 4 dengan ketinggian 1m dilakukan dengan interval waktu 7 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, pada pilihan mulai dari tahap (*Star from phase*) pilih Timbunan 2. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 7 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4. 16 *Input Phase Timbunan 4 pada Tab General dan Parameters*

Selanjutnya diklik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan 4 dengan meng-klik permodelan timbunan 3, setelah itu perbaharui (*Update*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17.



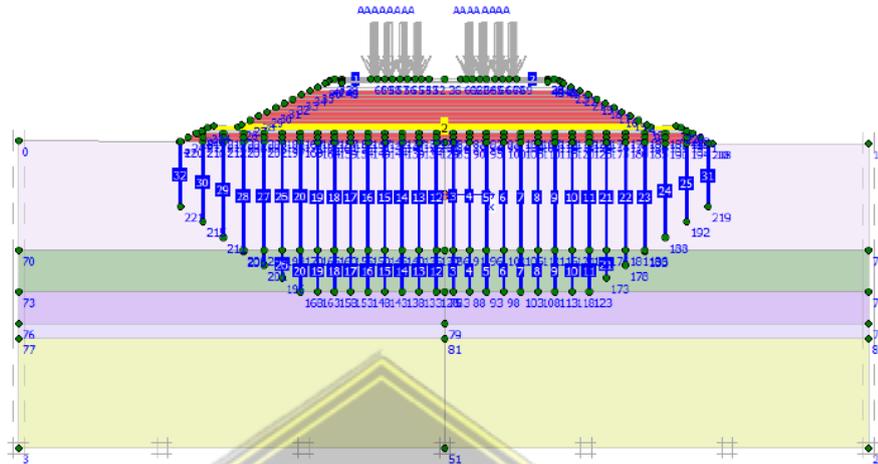
Gambar 4.17 Define Phase Timbunan 4

9. Timbunan 5

Tahapan timbunan 5 dengan ketinggian 1m dilakukan dengan interval waktu 7 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih Timbunan 2. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 7 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.18

Gambar 4.18 Input Phase Timbunan 5 pada Tab General dan Parameters

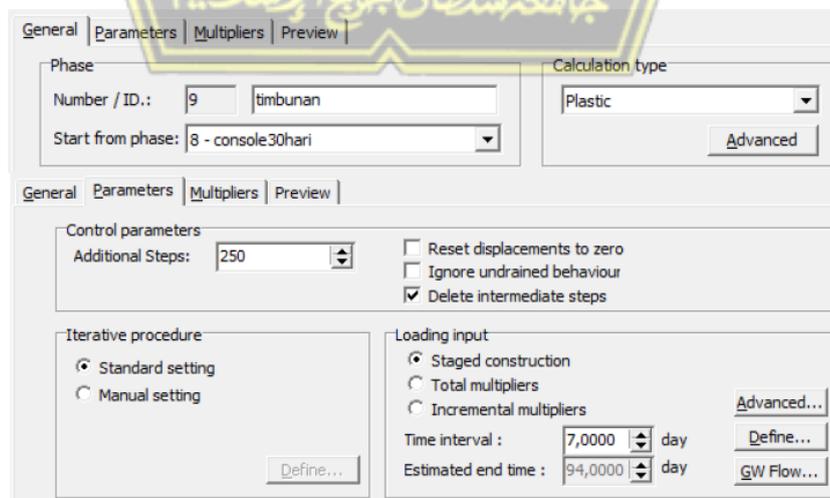
Selanjutnya diklik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan 5 dengan meng-klik permodelan timbunan 5, setelah itu perbaharui (*Update*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Define Phase Timbunan 5

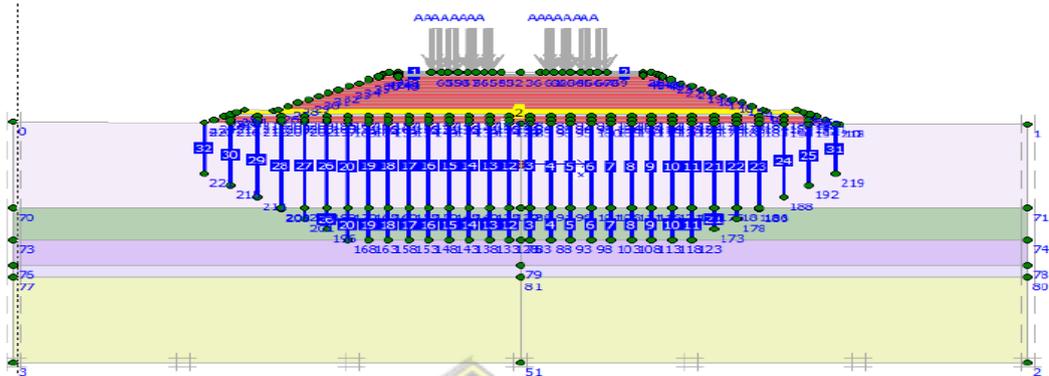
10. Timbunan 6

Tahapan timbunan 6 dengan ketinggian 1m dilakukan dengan interval waktu 7 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih Timbunan 2. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 7 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Input Phase Timbunan 6 pada Tab General dan Parameters

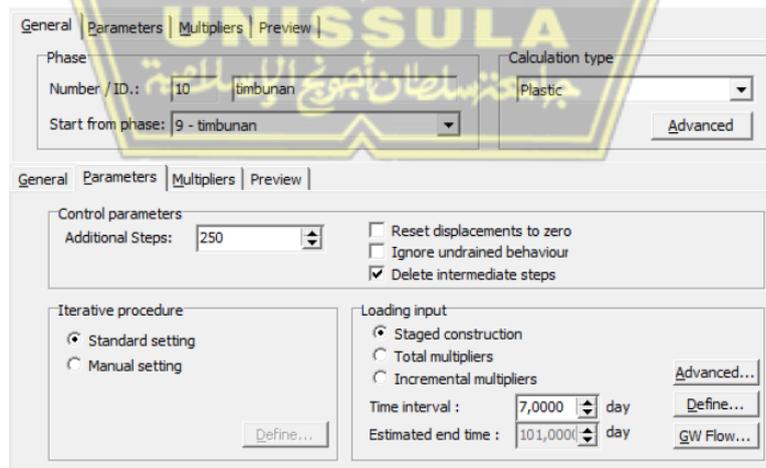
Selanjutnya diklik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan 6 dengan meng-klik permodelan timbunan 6, setelah itu perbaharui (*Update*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 *Define Phase* Timbunan 6

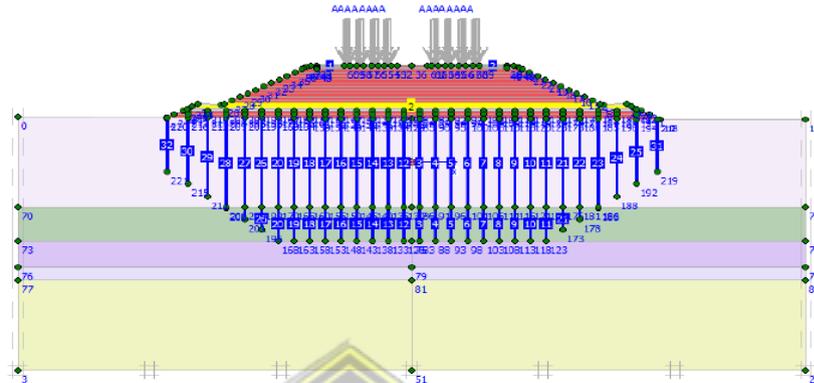
11. Timbunan 7

Tahapan timbunan 7 dengan ketinggian 1m dilakukan dengan interval waktu 7 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih Timbunan 2. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 7 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 *Input Phase* Timbunan 7 pada *Tab General* dan *Parameters*

Selanjutnya diklik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan 7 dengan meng-klik permodelan timbunan 7, setelah itu perbaharui (*Update*), berikut hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 *Define Phase* Timbunan 7

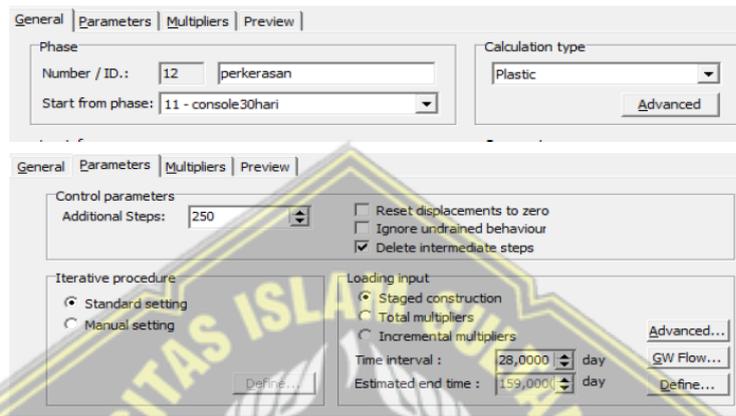
12. Konsolidasi Pda Top Timbunan

Langkah-langkah tahapan konsolidasi 30 hari pada Top Timbunan dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih konsolidasi 30 hari. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa konsolidasi (*consolidation*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 30hari, lalu klik *Next*. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.24.

Gambar 4. 24 *Input Phase* konsolidasi pada *Tab General*

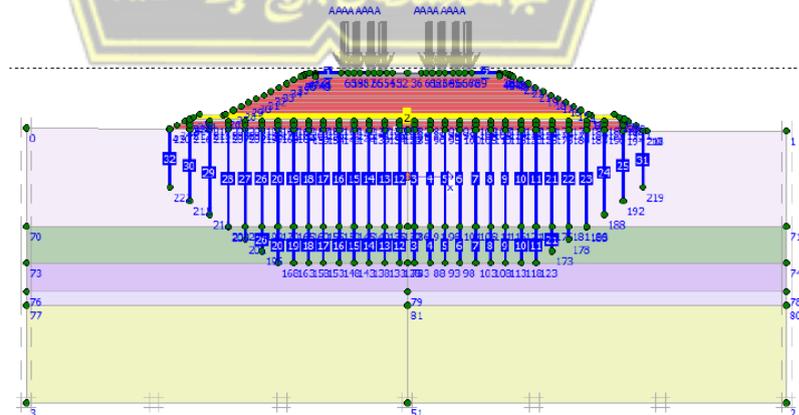
13. Perkerasan Jalan

Tahapan Perkerasan Jalan dilakukan dengan interval waktu 28 hari. Langkah-langkahnya dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih Timbunan 4. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 28 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 *Input Phase Perkerasan Jalan pada Tab General dan Parameters*

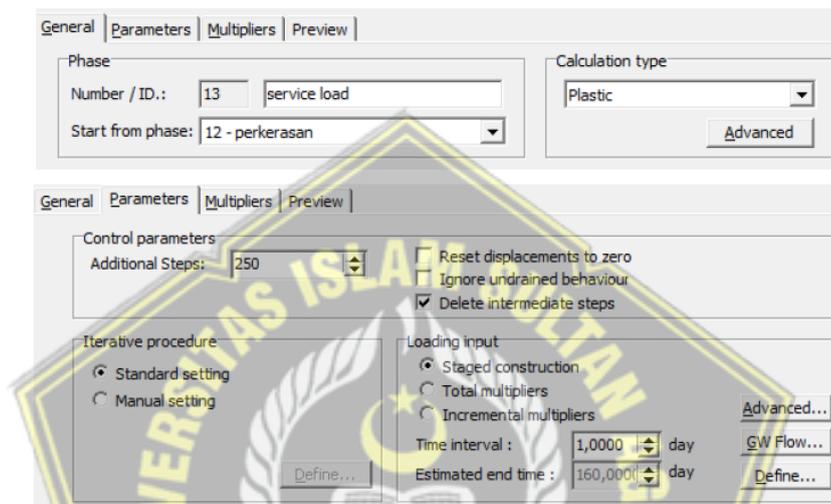
Selanjutnya klik *Define* dan aktifkan area yang akan dilakukan timbunan perkerasan jalan dengan klik permodelan perkerasan jalan, setelah itu perbaharui (*Update*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4. 26 *Define Phase Perkerasan Jalan*

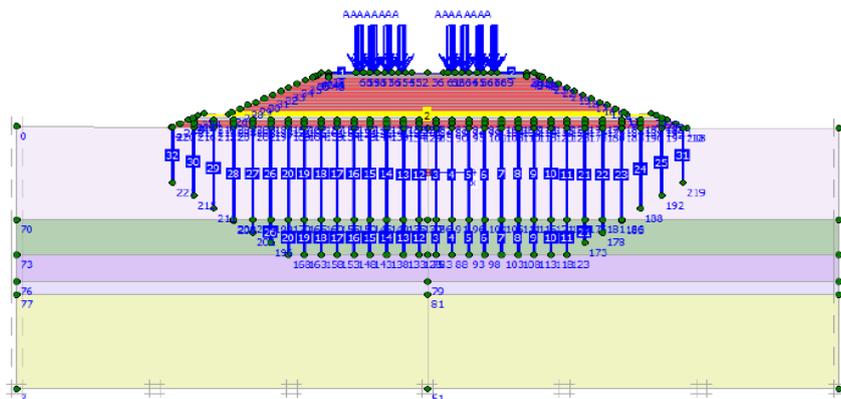
14. Beban Lalu Lintas

Langkah-langkah tahapan beban lalu lintas dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Start from phase*) pilih Timbunan Perkerasan Jalan. Pada jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa plastis (*Plastic*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 1 hari, lalu tentukan (*Define*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4. 27 *Input Phase* Beban Lalu Lintas pada *Tab General* dan *Parameters*

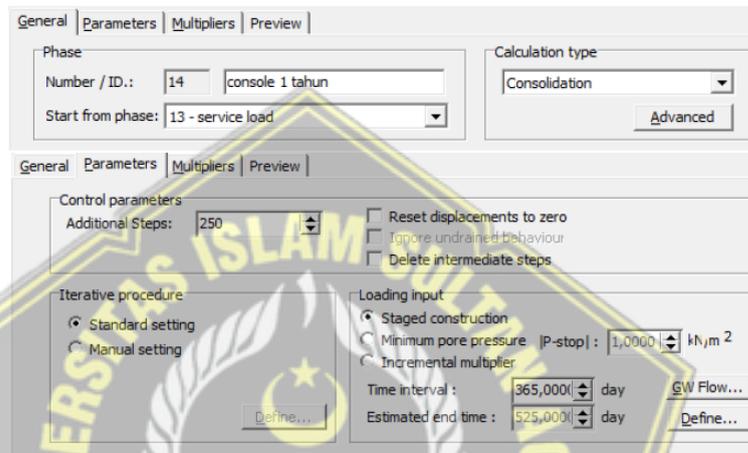
Selanjutnya klik *Define* dan aktifkan beban lalu lintas dengan klik permodelan beban lalu lintas, setelah itu perbaharui (*Update*), hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4. 28 *Define Phase* Beban Lalu Lintas

15. Konsolidasi 1 Tahun

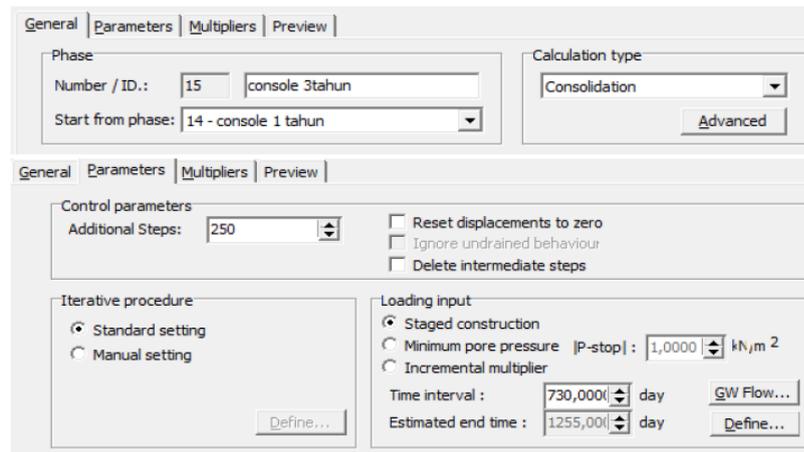
Langkah-langkah tahapan konsolidasi 1 tahun dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Star from phase*) pilih beban lalu lintas. Dengan jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa konsolidasi (*consolidation*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 365 hari, lalu Mengklik *Next*, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Input Phase Konsolidasi 1 Tahun pada Tab General dan Parameters.

16. Konsolidasi 3 Tahun

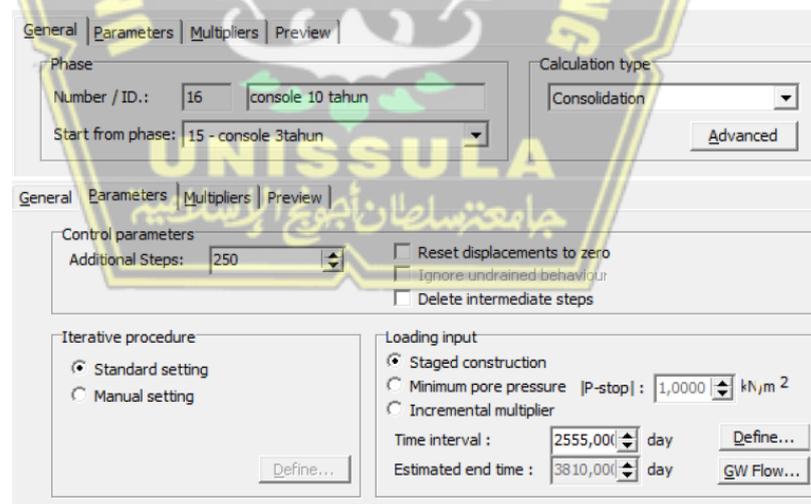
Langkah-langkah tahapan konsolidasi 3 tahun dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Star from phase*) pilih konsolidasi 1 tahun. Dengan jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa konsolidasi (*consolidation*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 730 hari, lalu Mengklik *Next*, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4. 30 *Input Phase Konsolidasi 3 Tahun pada Tab General dan Parameters*

17. Konsolidasi 10 Tahun

Langkah-langkah tahapan konsolidasi 10 tahun dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Star from phase*) pilih konsolidasi 3 tahun. Dengan jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa konsolidasi (*consolidation*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 2555 hari, lalu Mengklik *Next*, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.31.

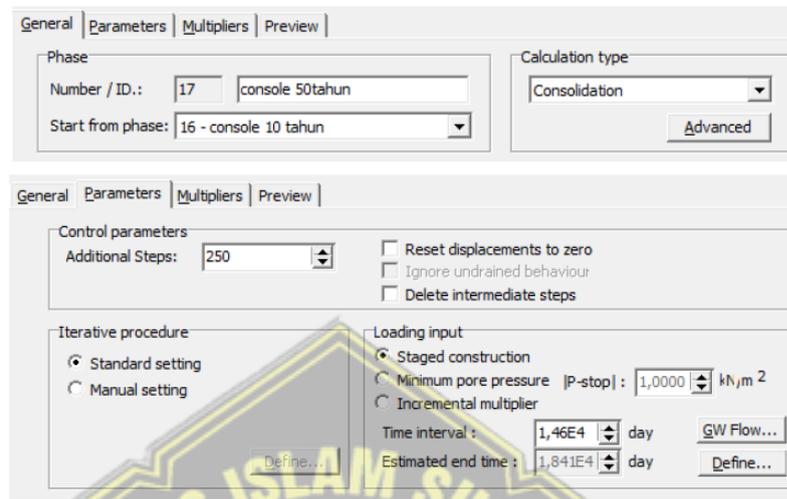


Gambar 4. 31 *Input Phase Konsolidasi 10 Tahun pada Tab General dan Parameters*

18. Konsolidasi 50 Tahun

Langkah-langkah tahapan konsolidasi dengan interval waktu 50 tahun dimulai dengan, beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan

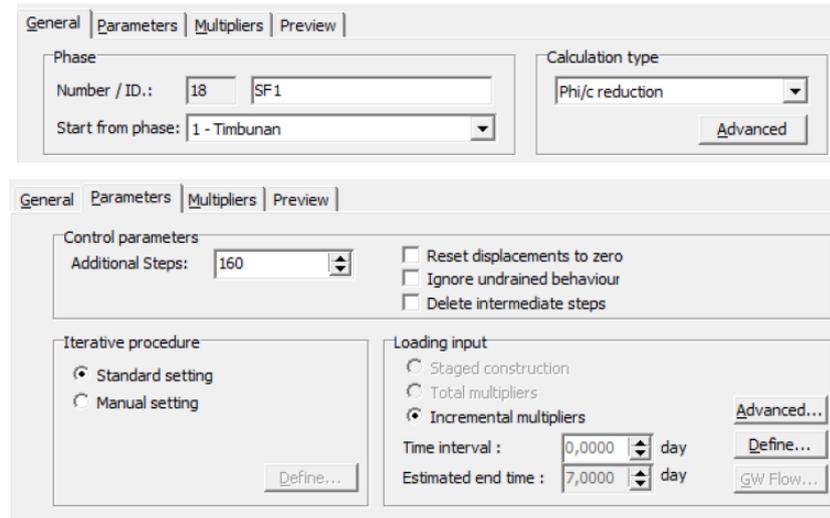
mulai dari tahap (*Star from phase*) pilih konsolidasi 10 tahun. Dengan jenis perhitungan (*Calculation type*) analisa konsolidasi (*consolidation*), lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, masukan interval waktu (*Time interval*) yaitu 14600 hari, lalu klik *Next*, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.32.



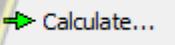
Gambar 4. 32 *Input Phase Konsolidasi 50 Tahun pada Tab General.*

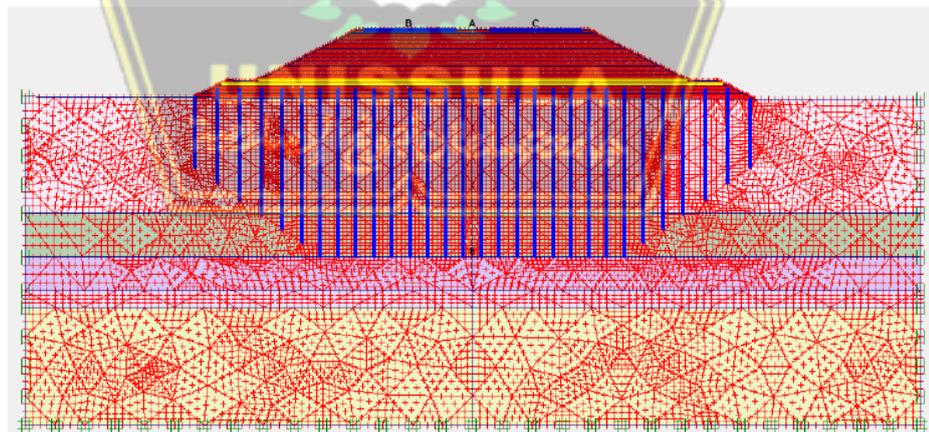
19. *Safety Factor (SF)*

Langkah-langkah tahapan SF (*Safety Factor*) pada SF timbunan 1, SF install KGM, dan sampai dengan pada SF Konsolidasi 50 Tahun memiliki tahapan yang sama dalam cara penginputan *phase* yaitu, dimulai dengan beri judul phase pada kolom nomor/id, kemudian pada pilihan mulai dari tahap (*Star from.phase*) pilih timbunana1. Dengan jenis perhitungan (*Calculation type*) *phi/c reduction*, lalu pilih *Parameters*. Pada kotak dialog *Parameters*, kemudianwpada perintah *tabwparameters – Loadingwinput* pilih *incrementalamultiplier*. Lalu mengklik *Next*, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.33.

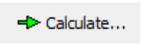


Gambar 4. 33 *Input Phase 'SF pada Tab General dan Parameters*

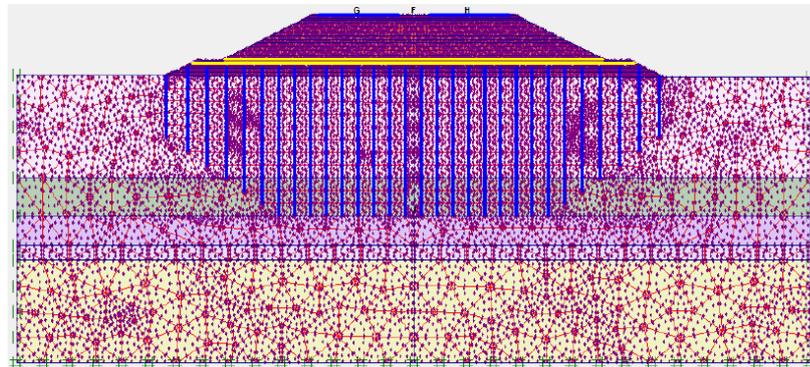
Menentukan area yang akan ditinjau untuk mengetahui curva hubungan antara penurunan dan waktu dapat dilakukan dengan klik toolbar  dan  lalu mengklik area yang akan ditinjau (A, B, dan C). Titik A merupakan dasar Load Transfer Platform (LTP), Titik B merupakan puncak elevasi tertinggi, dan Titik C merupakan lapisan perkesan lapis aspal. Kemudian Mengklik Update dan , hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4. 34 *Penentuan Titik Tinjauan Displacement*

Menentukan area yang akan ditinjau untuk mengetahui kurva hubungan antara tegangan dan waktu dapat dilakukan dengan mengklik toolbar  dan  lalu mengklik area yang akan di tinjau (A, B, dan C). Titik A merupakan ujung atas antar KGM, Titik B merupakan tengah antar KGM,  dan Titik C

merupakan ujung bawah antar KGM. Kemudian Mengklik Update dan hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4. 35 Penentuan Titik Tinjauan *Stresses*

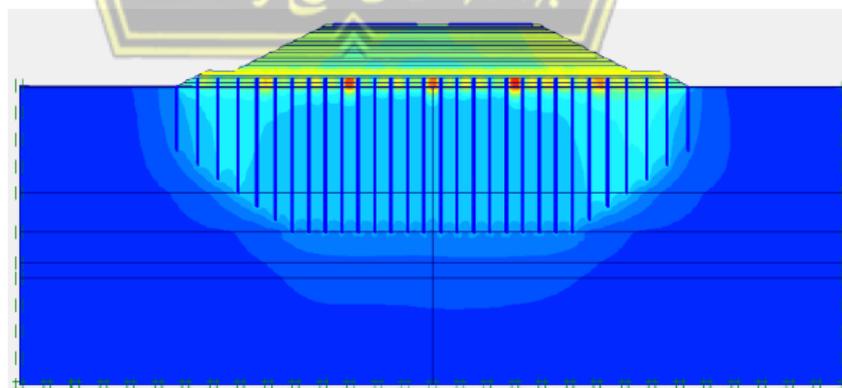
4.5. Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan dari program *Plaxis* 8.2 diperoleh berupa nilai total penurunan tanah, angka faktor keamanan, serta hubungan penurunan yang terjadi pada LTP.

4.5.1 Keluaran Setelah dilakukan Perkerasan Jalan

A. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 1 meter

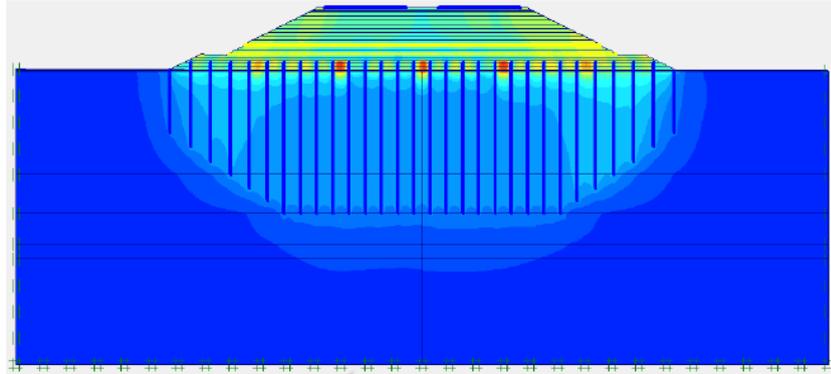
Setelah dilakukan perkerasan jalan, penurunan pada konstruksi sebesar $358,54 \times 10^{-3}$ meter, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.36 berikut.



Gambar 4. 36 Total Penurunan Tanah Saat Perkerasan Jalan pada LTP tebal 1 meter

B. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 2 meter

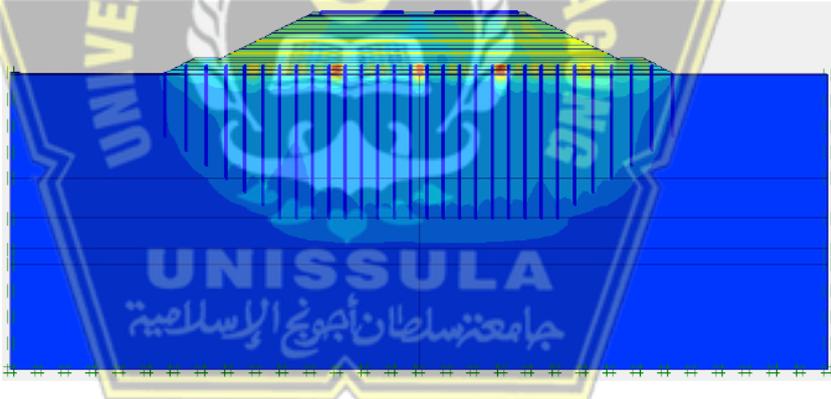
Setelah dilakukan perkerasan jalan, penurunan pada konstruksi sebesar $470,72 \times 10^{-3}$ meter, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.37.



Gambar 4. 37 Total Penurunan Tanah Saat Perkerasan Jalan pada LTP tebal 2 meter

C. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 3 meter

Setelah dilakukan perkerasan jalan, penurunan pada konstruksi sebesar $511,13 \times 10^{-3}$ meter, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.38 berikut



Gambar 4. 38 Total Penurunan Tanah Saat Perkerasan Jalan pada LTP tebal 3 meter

D. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 1 meter

Angka factor keamanan setelah dilakukan perkerasan jalan yaitu 2,1845, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.39.

Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,1845

Gambar 4. 39 *Safety Factor* Saat Perkerasan Jalan pada LTP 1 meter

E. *Safety Factor* untuk LTP dengan tebal 2 meter

Angka factor keamanan setelah dilakukan perkerasan jalan yaitu 2,4099, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.40.

Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,4099

Gambar 4. 40 *Safety Factor* Saat Perkerasan Jalan pada LTP 2 meter

F. *Safety Factor* untuk LTP dengan tebal 3 meter

Angka factor keamanan setelah dilakukan perkerasan jalan yaitu 2,2455, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.41.

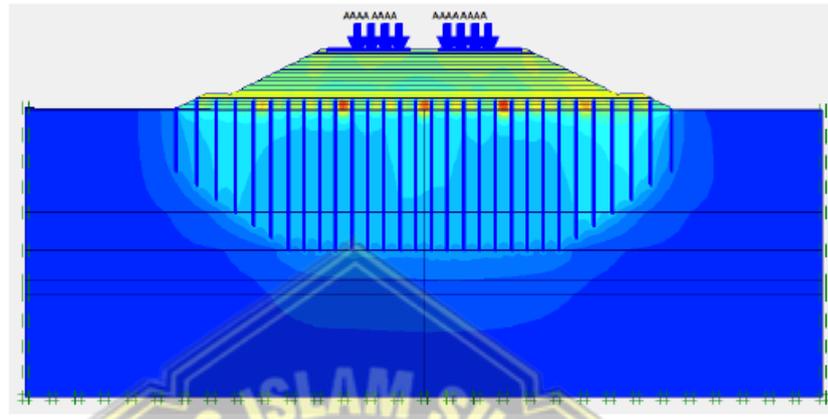
Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,2455

Gambar 4. 41 *Safety Factor* Saat Perkerasan Jalan pada LTP 3 meter

4.5.2 Keluaran akibat Beban Lalu Lintas

a. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 1 meter

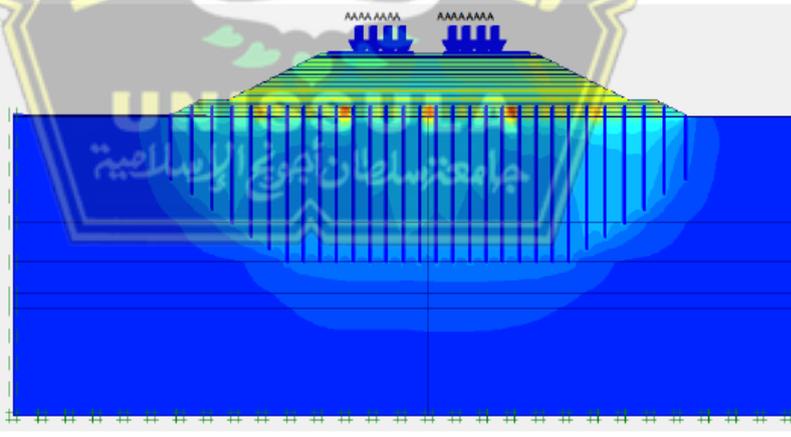
Setelah adanya beban lalu lintas, penurunan pada konstruksi sebesar $367,41 \times 10^{-3}$ meter, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.42.



Gambar 4. 42 Total Penurunan Tanah Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 1 meter

b. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 2 meter

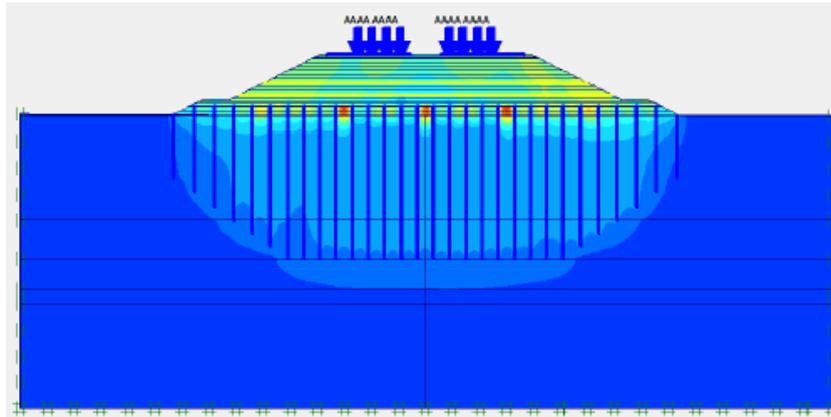
Setelah adanya beban lalu lintas, penurunan pada konstruksi sebesar $477,34 \times 10^{-3}$ meter, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.43.



Gambar 4. 43 Total Penurunan Tanah Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 2 meter

c. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 3 meter

Setelah adanya beban lalu lintas, penurunan pada konstruksi sebesar $517,53 \times 10^{-3}$ meter, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.44.



Gambar 4. 44 Total Penurunan Tanah Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 3 meter

d. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 1 meter

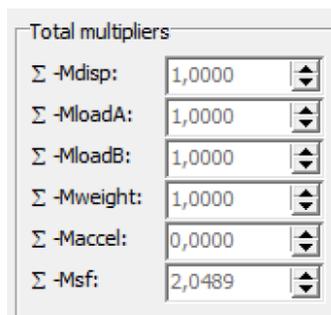
Angka faktor keamanan setelah adanya beban lalu lintas yaitu 1,8170, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.45.



Gambar 4. 45 Safety Factor Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 1 meter

e. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 2 meter

Angka faktor keamanan setelah adanya beban lalu lintas yaitu 2,0489, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.46.



Gambar 4. 46 Safety Factor Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 2 meter

f. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 3 meter

Angka faktor keamanan setelah adanya beban lalu lintas yaitu 1,9642, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.47.

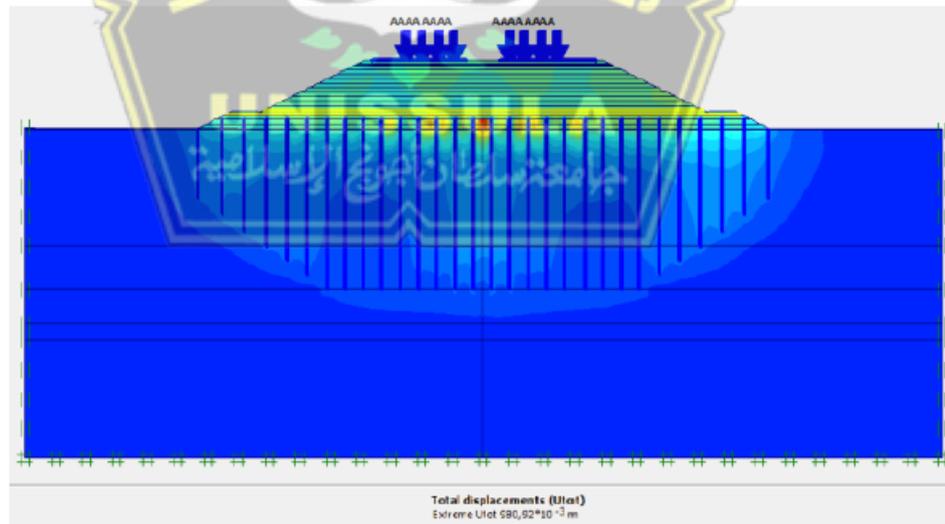
Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	1,9642

Gambar 4. 47 Safety Factor Saat Beban Lalu Lintas pada LTP 3 meter

4.5.3 Keluaran Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun

A. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 1 meter

Setelah terkonsolidasi 1 tahun, penurunan pada konstruksi 1 meter sebesar $980,92 \times 10^{-3}$ meter, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.48.

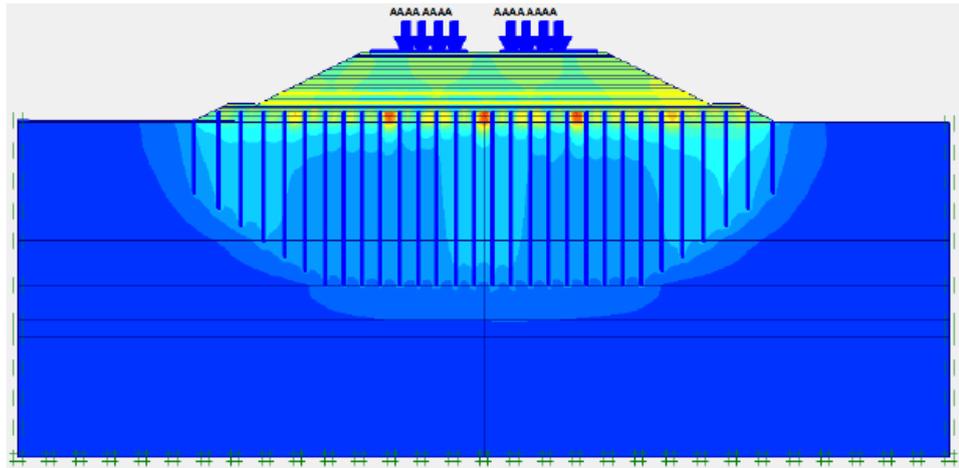


Gambar 4. 48 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 1 meter

B. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 2 meter

Setelah terkonsolidasi 1 tahun , penurunan pada konstruksi 2 meter

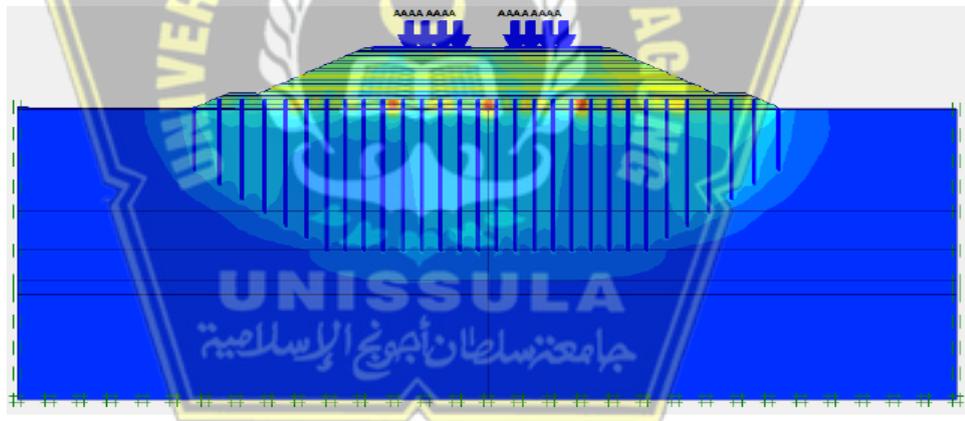
sebesar $535,49 \times 10^{-3}$ meter, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.49



Gambar 4. 49 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 2 meter

C. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 3 meter

Setelah terkonsolidasi 1 tahun , penurunan pada konstruksi 3 meter sebesar $575,33 \times 10^{-3}$ meter, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.50



Gambar 4. 50 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 3 meter

D. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 1 meter

Angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 1 tahun pada LTP dengan tebal 1 meter yaitu 1,9792, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.51.

Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	1,9792

Gambar 4. 51 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 1 meter

E. *Safety Factor* untuk LTP dengan tebal 2 meter

Angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 1 tahun pada LTP dengan tebal 2 meter yaitu 2,0945, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.52.

Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,0945

Gambar 4. 52 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 2 meter

F. *Safety Factor* untuk LTP dengan tebal 3 meter

Angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 1 tahun pada LTP dengan tebal 3 meter yaitu 2,0213, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.53.

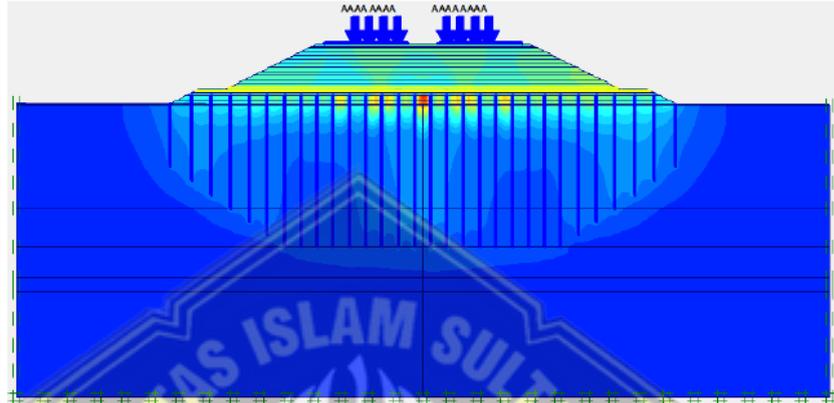
Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,0213

Gambar 4. 53 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 1 Tahun pada LTP 3 meter

4.5.4 Keluaran Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun

A. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 1 meter

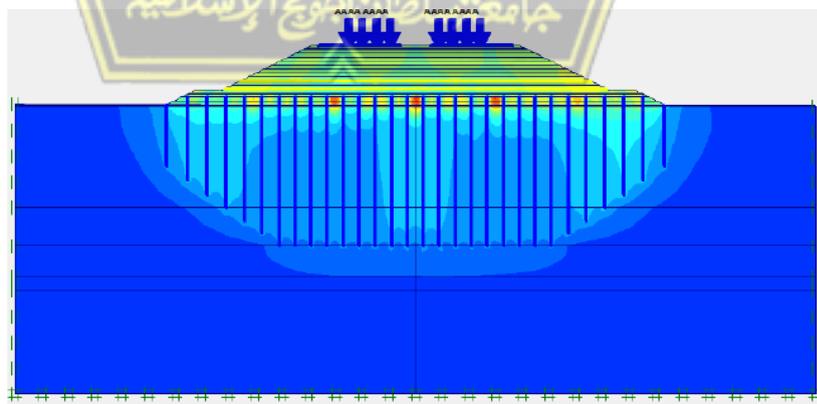
Setelah terkonsolidasi 3 tahun pada LTP dengan tebal 1 meter, penurunan terhadap konstruksi sebesar 0.98194 m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.54.



Gambar 4. 54 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 1 meter

B. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 2 meter

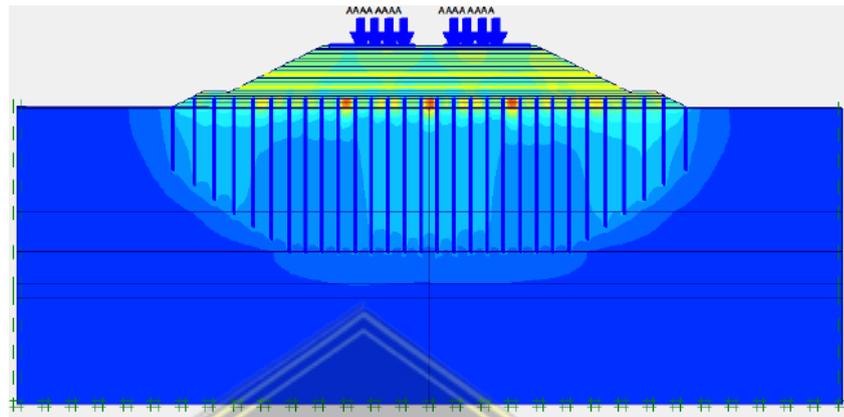
Setelah terkonsolidasi 3 tahun pada LTP dengan tebal 2 meter, penurunan terhadap konstruksi sebesar 0.53812 m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.55.



Gambar 4. 55 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 2 meter

C. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 3 meter

Setelah terkonsolidasi 3 tahun pada LTP dengan tebal 3 meter, penurunan terhadap konstruksi sebesar 0.57529 m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.56.



Gambar 4. 56 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 3 meter

D. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 1 meter

Pada LTP tebal 1 meter, angka faktor keamanan setelah konstruksi terkonsolidasi 3 tahun pada yaitu 1,9855, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.57.

Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	1,9855

Gambar 4. 57 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 1 meter

E. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 2 meter

Pada LTP tebal 2 meter, angka faktor keamanan setelah konstruksi terkonsolidasi 3 tahun pada yaitu 2,0976, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.58.

Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,0976

Gambar 4. 58 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 2 meter

F. *Safety Factor* untuk LTP dengan tebal 3 meter

Pada LTP tebal 3 meter, angka faktor keamanan setelah konstruksi terkonsolidasi 3 tahun pada yaitu 2,0049, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.59.

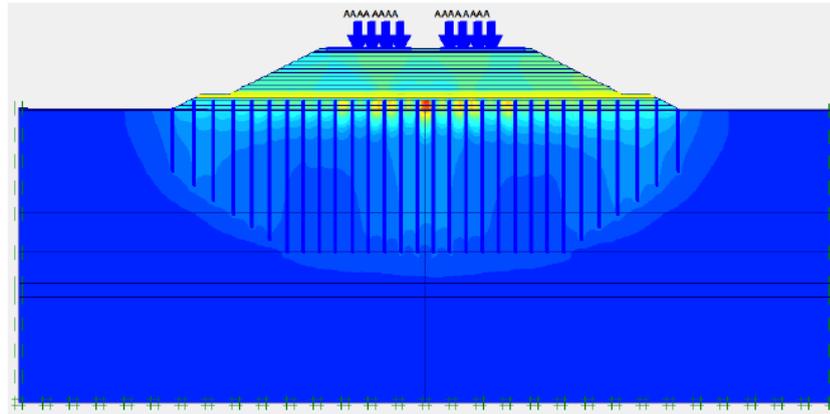
Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,0049

Gambar 4. 59 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 3 Tahun pada LTP 3 meter

4.5.5 Keluaran Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun

A. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 1 meter

Pada LTP dengan tebal 1 meter, setelah terkonsolidasi 10 tahun, penurunan pada konstruksi sebesar 0,98194 m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.60.



Gambar 4. 60 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 1 meter

B. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 2 meter

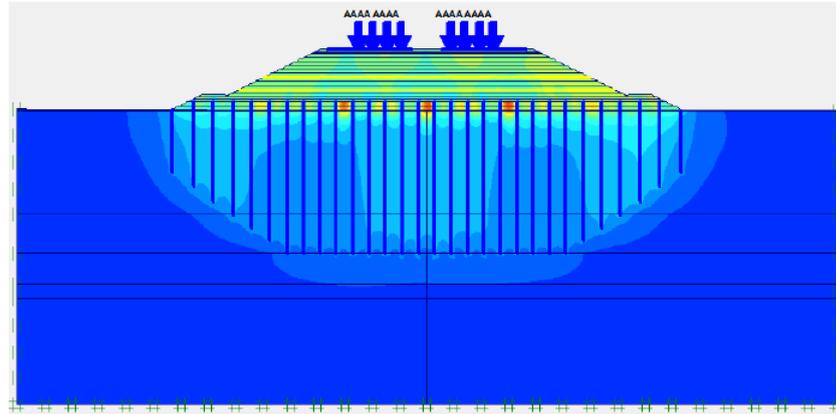
Pada LTP dengan tebal 2 meter, setelah terkonsolidasi 10 tahun, penurunan pada konstruksi sebesar $538,20 \times 10^{-3}$ m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.61.



Gambar 4. 61 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 2 meter

C. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 3 meter

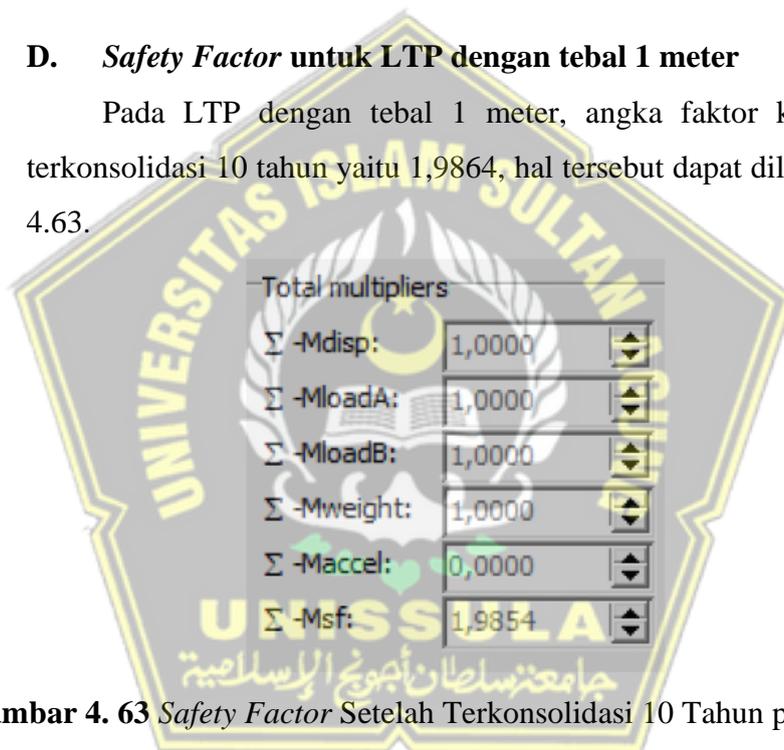
Pada LTP dengan tebal 3 meter, setelah terkonsolidasi 10 tahun, penurunan pada konstruksi sebesar $575,42 \times 10^{-3}$ m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.62.



Gambar 4. 62 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 3 meter

D. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 1 meter

Pada LTP dengan tebal 1 meter, angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 10 tahun yaitu 1,9864, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.63.



Gambar 4. 63 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 1 meter

E. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 2 meter

Pada LTP dengan tebal 2 meter, angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 10 tahun yaitu 2,1013, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.64.

Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,1013

Gambar 4. 64 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 2 meter

F. *Safety Factor* untuk LTP dengan tebal 3 meter

Pada LTP dengan tebal 3 meter, angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 10 tahun yaitu 2,0336, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.65.



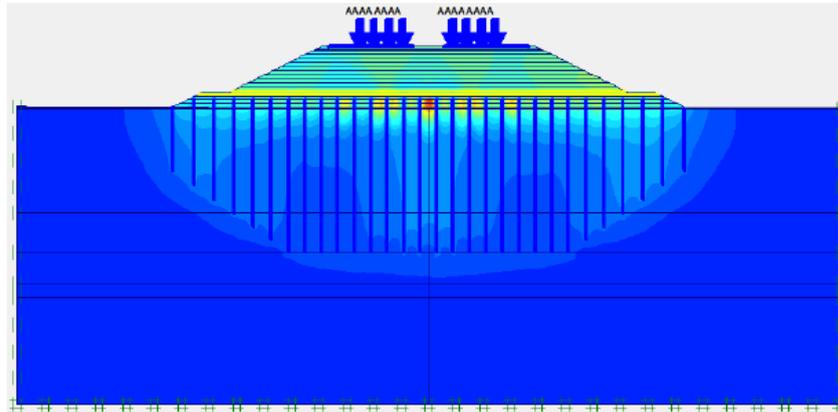
Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,0336

Gambar 4. 65 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 10 Tahun pada LTP 3 meter

4.5.6 Keluaran Setelah Terkonsolidasi 50 tahun

A. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 1 meter

Pada LTP dengan tebal 1 meter, setelah terkonsolidasi 50 tahun, penurunan pada konstruksi sebesar 0,98194 m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.66.



Gambar 4. 66 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 1 meter

B. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 2 meter

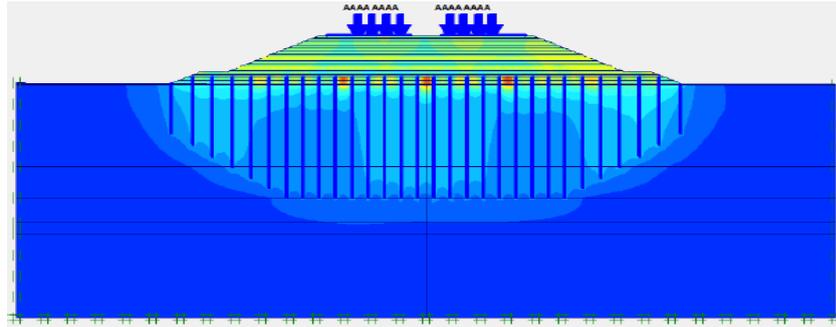
Pada LTP dengan tebal 2 meter, setelah terkonsolidasi 50 tahun, penurunan pada konstruksi sebesar 0,53819 m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.67.



Gambar 4. 67 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 2 meter

C. Total Penurunan Tanah untuk LTP dengan tebal 3 meter

Pada LTP dengan tebal 3 meter, setelah terkonsolidasi 50 tahun, penurunan pada konstruksi sebesar 0,57542 m, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.68.



Gambar 4. 68 Total Penurunan Tanah Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 3 meter

D. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 1 meter

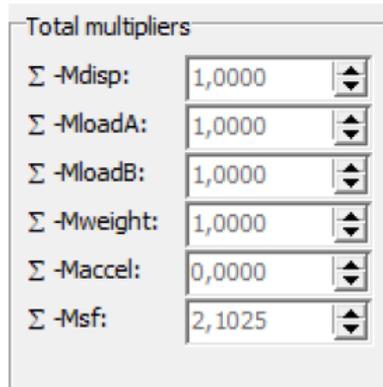
Pada LTP dengan tebal 1 meter, angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 50 tahun yaitu 1,9854 , hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.69.



Gambar 4. 69 Safety Factor Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 2 meter

E. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 2 meter

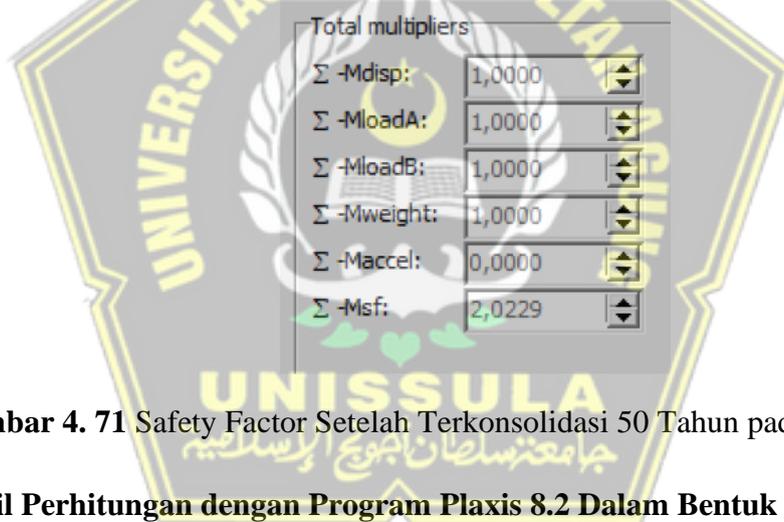
Pada LTP dengan tebal 2 meter, angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 50 tahun yaitu 2,1025, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.70.



Gambar 4. 70 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 2 meter

F. Safety Factor untuk LTP dengan tebal 3 meter

Pada LTP dengan tebal 3 meter, angka faktor keamanan setelah terkonsolidasi 50 tahun yaitu 2,0229, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.71.



Gambar 4. 71 *Safety Factor* Setelah Terkonsolidasi 50 Tahun pada LTP 3 meter

4.6 Hasil Perhitungan dengan Program Plaxis 8.2 Dalam Bentuk Tabel

Berdasarkan hasil perhitungan dengan Program *Plaxis 8.2* berdasarkan fase konstruksi, maka dapat ditabelkan sebagaimana pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 serta 4.9 berikut ini.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan (Output) Analisis Pile Pada LTP dengan tebal 1 meter

NO.	Tahapan	Total Penurunan (m)	<i>Safety Factor</i>
1	Perkerasan	0,35854	2,1845
2	Beban Lalu Lintas	0,36741	1,817
3	Konsolidasi 1 tahun	0,98092	1,9792

NO.	Tahapan	Total Penurunan (m)	Safety Factor
4	Konsolidasi 3 tahun	0,98194	1,9792
5	Konsolidasi 10 tahun	0,98194	1,9864
6	Konsolidasi 50 tahun	0,98194	1,9854

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan (Output) Analisis Pile Pada LTP dengan tebal 2 meter

NO.	Tahapan	Total Penurunan (m)	Safety Factor
1	Perkerasan	0,47072	2,4099
2	Beban Lalu Lintas	0,47734	2,0489
3	Konsolidasi 1 tahun	0,53549	2,0945
4	Konsolidasi 3 tahun	0,53812	2,0976
5	Konsolidasi 10 tahun	0,53820	2,1013
6	Konsolidasi 50 tahun	0,53819	2,1025

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan (Output) Analisis Pile Pada LTP dengan tebal 3 meter

NO.	Tahapan	Total Penurunan (m)	Safety Factor
1	Perkerasan	0,51113	2,2455
2	Beban Lalu Lintas	0,51753	1,9642
3	Konsolidasi 1 tahun	0,57533	2,0213
4	Konsolidasi 3 tahun	0,57529	2,0049
5	Konsolidasi 10 tahun	0,57542	2,0049
6	Konsolidasi 50 tahun	0,57542	2,0229

4.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan menggunakan LTP (*Load Transfer Platform*)

Berdasarkan hasil perhitungan dengan *Program Plaxis v. 8.2*, maka didapatkan rekapitulasi hasil penurunan tanah dan *safety factor* dengan menggunakan lapisan LTP (*Load Transfer Platform*) pada tabel 4.10

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan menggunakan LTP (*Load Transfer Platform*)

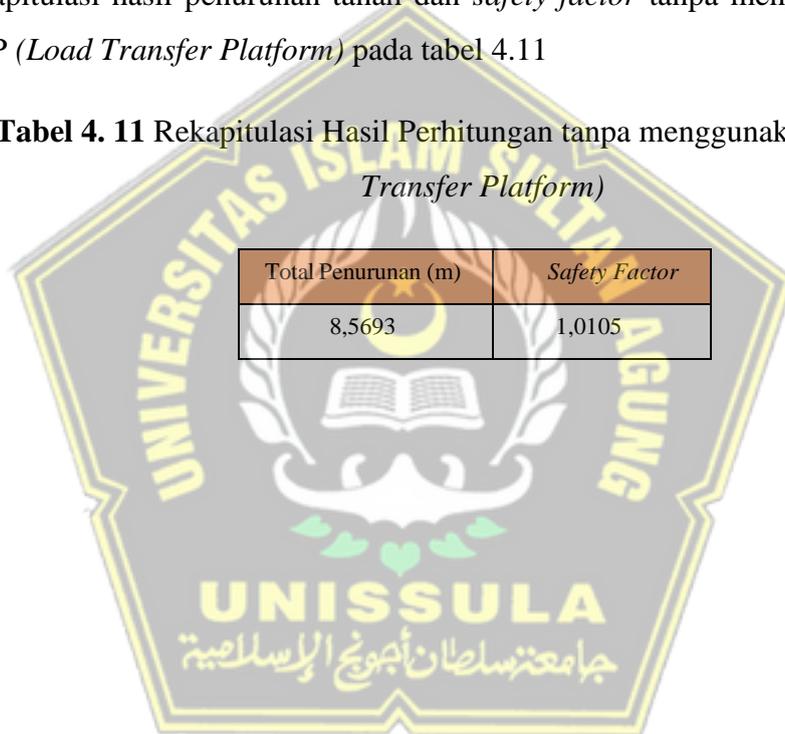
NO.	Tebal LTP	Total Penurunan (m)	Safety Factor
1	1 meter	0,98194	1,9854
2	2 meter	0,53819	2,1025
3	3 meter	0,57542	2,0229

4.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan tanpa menggunakan LTP (*Load Transfer Platform*)

Berdasarkan hasil perhitungan dengan *Program Plaxis v. 8.2*, maka didapatkan rekapitulasi hasil penurunan tanah dan *safety factor* tanpa menggunakan lapisan LTP (*Load Transfer Platform*) pada tabel 4.11

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan tanpa menggunakan LTP (*Load Transfer Platform*)

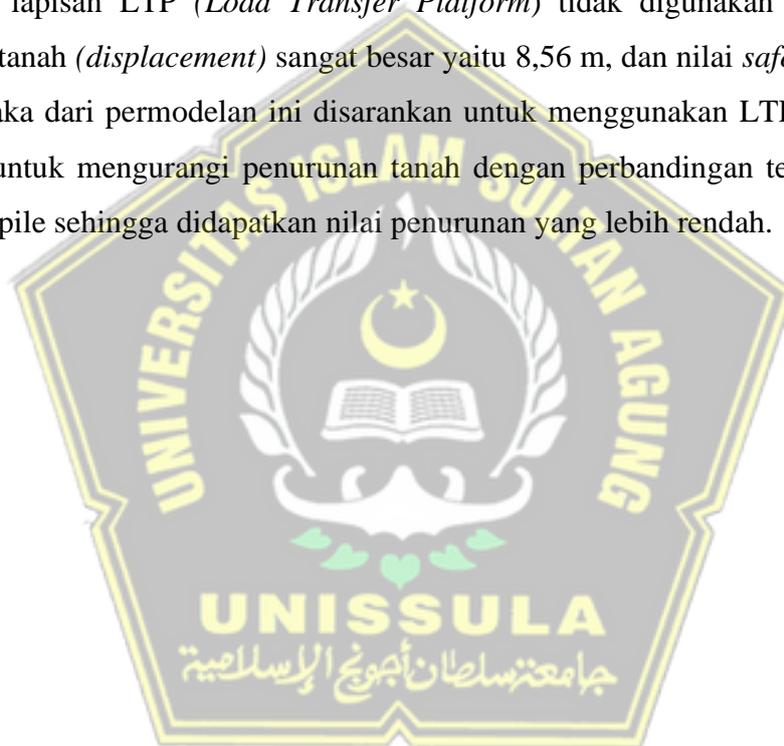
Total Penurunan (m)	Safety Factor
8,5693	1,0105



B. Pembahasan

Penggunaan variasi ketebalan LTP (*Load Transfer Platform*) dengan perbandingan tebal LTP < lebar jarak antar *pile*, tebal LTP = lebar jarak antar *pile*, dan tebal LTP > lebar jarak antar *pile* memperoleh kesimpulan bahwa penggunaan variasi ketebalan LTP dengan perbandingan tebal LTP = lebar jarak antar *pile* (tebal LTP 2 meter) dapat mengurangi penurunan tanah dibandingkan dengan perbandingan < / > lebar jarak antar *pile*. Pada pemodelan kolom atau *Pile* tipe *Plate*, mempunyai sifat yang lebih kaku dan tidak memiliki kemampuan daya rembas air.

Apabila lapisan LTP (*Load Transfer Platform*) tidak digunakan maka hasil dari penurunan tanah (*displacement*) sangat besar yaitu 8,56 m, dan nilai *safety factor* sebesar 5,0105. Maka dari permodelan ini disarankan untuk menggunakan LTP (*Load Transfer Platform*) untuk mengurangi penurunan tanah dengan perbandingan tebal LTP = lebar jarak antar *pile* sehingga didapatkan nilai penurunan yang lebih rendah.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya pada kedua pemodelan yaitu perbaikan tanah lunak menggunakan metode LTP variasi ketebalan LTP yang dianalisa melalui program *Software Plaxis 2D v8.2* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besar penurunan tanah setelah digunakan LTP (*Load Transfer Platform*) untuk tebal LTP (*Load Transfer Platform*) 1 meter sebesar 0,98194 m, untuk tebal LTP (*Load Transfer Platform*) 2 meter sebesar 0,53819 m, untuk tebal LTP (*Load Transfer Platform*) 3 meter sebesar 0,57542 m.
2. Besar *Safety Factor* yang didapatkan dengan bantuan LTP (*Load Transfer Platform*) untuk tebal LTP (*Load Transfer Platform*) 1 meter sebesar 1,9854, untuk tebal LTP (*Load Transfer Platform*) 2 meter sebesar 2,1025, untuk tebal LTP (*Load Transfer Platform*) 3 meter sebesar 2,0229.
3. Penggunaan variasi ketebalan LTP (*Load Transfer Platform*) dengan perbandingan tebal LTP < lebar jarak antar *pile*, tebal LTP = lebar jarak antar *pile*, dan tebal LTP > lebar jarak antar *pile* memperoleh kesimpulan bahwa penggunaan variasi ketebalan LTP dengan perbandingan tebal LTP = lebar jarak antar *pile* (tebal LTP 2 meter) dapat mengurangi penurunan tanah dibandingkan dengan perbandingan < / > lebar jarak antar *pile*. Apabila lapisan LTP (*Load Transfer Platform*) tidak digunakan maka hasil dari penurunan tanah (*displacement*) sangat besar. Maka dari permodelan ini disarankan untuk menggunakan LTP (*Load Transfer Platform*) untuk mengurangi penurunan tanah dengan perbandingan tebal LTP = lebar jarak antar *pile* sehingga didapatkan nilai penurunan yang lebih rendah.

5.2 Saran

Saran serta masukan dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan untuk perhitungan sumbernya harus jelas agar mendapatkan hasil yang akurat . Sebelum dilakukannya studi dan analisis pada sebuah pekerjaan konstruksi dengan menggunakan program numerik, maka usahakan data-data yang diperlukan sudah benar dan lengkap. Kurangnya data yang dibutuhkan akan menghambat dalam input data dan akan berakibat pada kesalahan dalam

perhitungan numerik. Data yang digunakan haruslah jelas dari mana sumbernya dan dapat dipertanggungjawabkan kebenaran atau keaslian data tersebut.

2. Saat melaksanakan perencanaan harus sesuai dengan prosedur dan persyaratan serta ketentuan yang sudah ditentukan.
3. Pemograman dalam program *plaxis 2D v.8* digunakan untuk memudahkan perhitungan, agar dapat mempermudah pada saat proses pengerjaan.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C.H., Edil, T.B., 2007, *Behaviour of Geogrid-Reinforced Load Transfer Platforms for Embankment on Rammed Aggregate Piers*, University of Wisconsin-Madison, Geosynthetics International, 2007.
- Arianto T, 2010. *Studi Kuat Geser Tanah Lunak dengan Metode Uji Geser Sudut Lapangan dan Uji Geser Sudut Laboratorium*. Jakarta, Universitas Indonesia.
- Bowles, J. E, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta, 1986.
- Carillo, N., *Single Two-and Three-Dimensional Cases in the Theory of Consolidation of Soils*, *Journal of Mathematics and Physics*, 21, 1942, pp. 1-5
- Collin, J.G, 2004, *Column Supported Embankment Design Considerations*, *Proceedings 52nd Annual Geotechnical Conference*, University of Minnesota, Minneapolis, February 27, 2004.
- Das, Braja, M. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1998.
- Das, Braja, M, 2002, *Principles of Geotechnical Engineering 5th Edition*, Pacific Grove: PWS Publishing.
- Dewi, Kharisma. 2017. *Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Akibat Pekerjaan PVD-PHD di Area Runway Bandara Supadio*. Pontianak. Jurnal Universitas Tanjungpura.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, 2009, *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*, Jakarta.
- Federal Highway Administration, Department of Transportation, U.S., 2017, *Ground Modification Methods Reference Manual – Volume II*, National Highway Institute.
- Hardiyatmo, Hary Cristiady. 2002. *Mekanika Tanah I*: Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Cristiady. 2003. *Mekanika Tanah II*: Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- J. Kaluder, M. Mulabdic, K. Minazek, 2015, *Load Transfer Platforms – Comparison of Design Methods*, University of Osijek, Faculty of Civil Engineering Osijek
- Pedoman Kimpraswil, 2002, *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak Pt T-8-2002-B*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.

- PLAXIS b. v. 2007. *PLAXIS Version 8 Material Models Manual*. Netherlands: A. A. Balkema Publishers.
- Pranata, D. P. 2019. *Perbaikan Tanah Lunak Berdasarkan Waktu dan Biaya Konstruksi Studi Kasus Jalan Tol Pemalang – Batang*. Semarang. Tugas Akhir Universitas Islam Sultan Agung.
- S. Varaksin, B. Hamidi, J. Racinais, 2014, *The Thin Line between Deep Foundations and Soil Improvement*, Curtin University, Menard.
- Terzaghi, K, 1950, *Mechanicsof Landslides in Aplication of Geology to Engineering Practice*, Berkey Volume, Geological Society of America.
- Terzaghi, Karl dan Peck Ralph B. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa, Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Tietjen, K., Kirstein, J.F., 2009, *Soiltec Geosystems Load Transfer Platforms of Geocell Stabilized Sand Placed Over CMC Columns*, Faculty at the Technical University of Munich.
- Wicaksono, Aditya Daniar. 2017. *Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar dan Perkuatan Stabilitas Timbunan Jalan Tol Pasuruan-Grati STA 30+100 s.d STA 31+500*. Teknik ITS, 6(2), 72-76.

