

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE KOLOM GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES *PICK UP* ZONE BANDARA JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan  
Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang**



**MUHAMMAD FAQIH ASSIDQI**  
30.2017.00.121

**MUHAMMAD FIKO PRAMESWARA**  
30.2017.00.123

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)  
SEMARANG**

**2021**

**USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR**

**ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE KOLOM  
GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES *PICK UP ZONE* BANDARA  
JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG**

Diajukan Oleh:

**Muhammad Faqih Assidqi**

30.2017.00.121

**Muhammad Fiko Prameswara**

30.2017.00.123

Disetujui Oleh:

Pembimbing 1

  
Dr. Abdul Rochim, ST., MT

Tanggal : .....

Pembimbing 2

  
Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT

Tanggal : .....

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



  
M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG ( UNISSULA )  
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp.(024)6583584 Ext.500 Semarang 50112  
e-mail : [ft@unissula.ac.id](mailto:ft@unissula.ac.id)

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE  
KOLOM GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES PICK UP  
ZONE BANDARA JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG

Oleh:



Muhammad Faqih Assidqi  
30.2017.00.121



Muhammad Fiko Prameswara  
30.2017.00.123

Telah disetujui dan disahkan di Semarang tanggal . . . . . Juli 2021

Oleh:

Tim Penguji

- 1 Dr. Abdul Rochim, ST., MT
- 2 Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
- 3 Selvia Agustina, ST., M.Eng

Tanda Tangan

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik UNISSULA



( M Rusli Ahyar, ST., M.Eng )



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG ( UNISSULA )  
FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054 Telp.(024)6583584 Ext.500 Semarang 50112  
e-mail : [ft@unissula.ac.id](mailto:ft@unissula.ac.id)

**BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI  
Nomor: 28 / A.2 / SA-T / III /2021**

Pada hari ini, Senin, tanggal 28 Maret 2021 berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.  
Jabatan Akedemik : Lektor Kepala
2. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT.  
Jabatan Akademik : Asisten Ahli

Dengan ini menyatakan bahwa Mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi:

1. Nama : Muhammad Faqih Assidqi
  2. Nama : Muhammad Fiko Prameswara
- Judul : Analisa Perbaikan Tanah Lunak dengan Metode Kolom Grout Modular Pada Jalan Akses *Pick Up Zone* Bandara Jenderal Ahmad Yani Semarang.

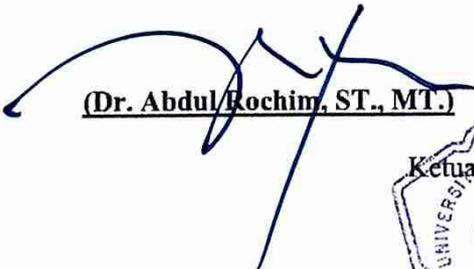
Dengan tahapan sebagai berikut:

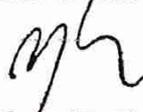
No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	28 Maret 2021	-
2	Proposal	12 April 2021	ACC
2	Pengumpulan Data	15 April 2021	-
3	Penyusunan Laporan	30 April 2021	-
4	Selesai Laporan	12 Juli 2021	ACC

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

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**(Dr. Abdul Rochim, ST., MT.)**

  
**(Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT.)**

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil



**(M Rusli Ahyar, ST., M.Eng)**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda dibawah ini:

1. NAMA : MUHAMMAD FAQIH ASSIDQI  
NIM : 30201700121
2. NAMA : MUHAMMAD FIKO PRAMESWARA  
NIM : 30201700123

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE KOLOM GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES PICK UP ZONE BANDARA JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG”** Benar bebas plagiasi, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Dengan surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Semarang, Juli 2021

Yang Membuat Pernyataan

Yang Membuat Pernyataan



Muhammad Faqih Assidqi



Muhammad Fiko Prameswara

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda dibawah ini:

1. NAMA : MUHAMMAD FAQIH ASSIDQI  
NIM : 30201700121
2. NAMA : MUHAMMAD FIKO PRAMESWARA  
NIM : 30201700123

JUDUL : ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN  
METODE KOLOM GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES  
PICK UP ZONE BANDARA JENDERAL AHMAD YANI  
SEMARANG

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan dan baha 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 kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketdak benaran 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, Juli 2021

Yang Membuat Pernyataan



METERAI TEMPEL  
F71AJX269149843

Muhammad Faqih Assidqi

Yang Membuat Pernyataan



METERAI TEMPEL  
C983AJX269149848

Muhammad Fiko Prameswara

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO:

**MUHAMMAD FAQIH ASSIDQI**

فَبَايَ الْآءِ رَبِّكُمْا تُكذِّبِينَ

“Maka Nikmat Tuhanmu yang Manakah yang Kamu Dustakan” (Q.S Ar Rahman : 13)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka Sesungguhnya Beserta Kesulitan Ada Kemudahan” (Q.S Al Insyirah : 5)

وَلِكُلِّ وَّجْهَةٍ هُوَ مَوْلِيهَا ۖ فَاسْتَبِقُوا الْخَيْرَاتِ ۗ أَيْنَ مَا تَكُونُوا يَأْتِ بِكُمْ اللَّهُ جَمِيعًا ۗ إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ

Dan setiap umat mempunyai kiblat yang dia menghadap kepadanya. Maka berlomba-lombalah kamu dalam kebaikan. Di mana saja kamu berada, pasti Allah akan mengumpulkan kamu semuanya (pada hari kiamat). Sungguh, Allah Mahakuasa atas segala sesuatu. (Q.S Al Baqarah : 148)

**MUHAMMAD FIKO PRAMESWARA**

وَلَا تَهِنُوا وَلَا تَحْزَنُوا وَأَنْتُمْ الْأَعْلَوْنَ إِنْ كُنْتُمْ مُؤْمِنِينَ

Dan janganlah kamu (merasa) lemah, dan jangan (pula) bersedih hati, sebab kamu paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang beriman (Q.S Ali' imran Ayat 139)

PERSEMBAHAN:

◆ **MUHAMMAD FAQIH ASSIDQI**

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- Kedua orang tua kandung saya yaitu bapak Mahfudl dan ibu Nurul Ngaini, yang telah memberikan dorongan semangat, material dan tiada henti menyebut namaku didalam setiap doanya.
- Kakak saya Fatihatun Nuroniyah Karimah, yang menjadi penyemangat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
- Adik saya Halimatus Sa'diyah dan Nur Malicha, yang menjadi penyemangat selama saya mengerjakan Tugas Akhir.
- Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan dorongan spiritual dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan dorongan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir Ini.
- Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan semangat.
- Dosen-dosen Fakultas Teknik Prodi Teknik Sipil yang telah membagikan ilmunya.
- Muhammad Fiko Prameswara selaku rekan yang telah bekerja keras, berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Teman-teman Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2017

PERSEMBAHAN:

♦ **MUHAMMAD FIKO PRAMESWARA**

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- Kedua orang tua kandung saya yaitu bapak Sutarman dan ibu Murniasih, yang telah memberikan dorongan semangat, material dan spiritual.
- Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan dorongan spiritual dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan dorongan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan semangat.
- Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil yang telah membagikan ilmunya.
- Muhammad Faqih Assidqi selaku rekan yang telah bekerja keras, berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Teman-teman Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2017

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE KOLOM GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES PICK UP ZONE BANDARA JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG”**. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Strata 1 (S-1) Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Selama menyelesaikan tugas akhir dan menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT Robbul ‘Izatti dan Rasulullah Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua kami tercinta.
3. Keluarga kami yang telah banyak memberikan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini serta senantiasa memberikan doa, semangat dan dukungan moral, material maupun spiritual dengan penuh kasih sayang dan pengorbanan.
4. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
5. Yth. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Yth. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
7. Yth. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
8. Organisasi Fakultas yang merupakan tempat penulis mengembangkan *softskill*.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Disadari, karena keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan, dan pengalaman yang dimiliki, dalam Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menjadikannya lebih baik dan lebih menuju pada kesempurnaan.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memenuhi syarat yang telah ditentukan. *Aamiin Yaa Robbal Aalamiin.*

Semarang, **Juli 2021**



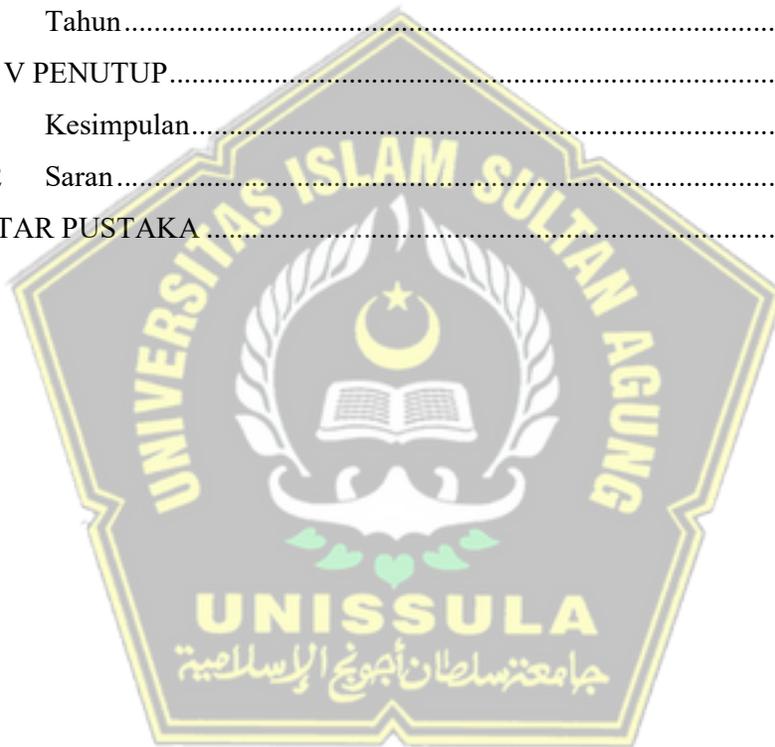
Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PRNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxii
ABSTRAK.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
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 Tugas Akhir.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Tinjauan Umum.....	5
2.2. Klasifikasi Tanah.....	5
2.3. Tanah Lunak.....	10
2.3.1. Deskripsi Tanah Lunak.....	10
2.3.2. Karakteristik Tanah Lunak.....	12
2.3.3. Permasalahan yang timbul pada Tanah Lunak.....	14
2.3.4. Penanganan Terhadap Tanah Lunak.....	14
2.4. Pick Up Zone.....	15
2.4.1 Deskripsi Pick Up Zone.....	15

2.4.2	Timbunan pada <i>Pick Up Zone</i> .....	16
2.4.3	Dampak Ketidakstabilan Timbunan <i>Pick Up Zone</i> .....	17
2.4.4	Penyelidikan Tanah Dasar Timbunan <i>Pick Up Zone</i> .....	17
2.5	Penurunan Tanah.....	20
2.5.1.	Penurunan Segera (Immediate Settlement).....	20
2.5.2.	Penurunan Konsolidasi (Consolidation Settlement) .....	21
2.6	Kolom Grout Modular.....	26
2.6.1	Definisi Kolom Grout Modular (KGM).....	26
2.6.2	Load Transfer Platform (LTP).....	28
2.6.3	Metode Pelaksanaan Kolom Grout Modular .....	28
2.6.4	Perbaikan Tanah Menggunakan Kolom Grout Modular.....	28
2.6.5	Pemodelan Kolom Grout Modular pada Program Numerik .....	30
BAB III METODOLOGI.....		32
3.1.	Pendahuluan .....	32
3.2.	Identifikasi Masalah .....	34
3.2.1.	Pengumpulan Data .....	34
3.2.2.	Sumber Data.....	34
3.3.	Studi Literatur.....	34
3.4.	Permodelan Program Plaxis 8.2 .....	34
3.4.1.	Teknik Pengolahan Data .....	34
3.4.2.	Penginputan Data .....	39
3.4.3.	Penghitungan.....	47
3.4.4.	Hasil Analisis Permodelan Menggunakan Plaxis 8.2 .....	47
3.5.	Kesimpulan dan Saran.....	47
3.6.	Penyusunan Laporan .....	48
BAB IV PEMBAHASAN.....		49
4.1.	Tinjauan Umum.....	49
4.2.	Parameter Desain.....	50
4.2.1.	Parameter Kolom <i>Grout</i> Modular .....	50
4.2.2.	Parameter Timbunan dan Perkerasan.....	50
4.2.3.	Parameter Tanah.....	51
4.3.	Gambaran Permodelan Kolom <i>Grout</i> Modular.....	52

4.4.	Tahap Perhitungan.....	52
4.5.	Hasil Perhitungan .....	74
4.5.1.	Hasil Setelah Dilakukan Perkerasan Jalan .....	75
4.5.2.	Hasil Setelah Dilakukan Beban Lalu lintas.....	81
4.5.3.	Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 1 Tahun.....	86
4.5.4.	Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 5 Tahun.....	93
4.5.5.	Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 10 Tahun .....	98
4.5.6.	Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 50 Tahun .....	104
4.6	Penurunan <i>Load Transfer Platform</i> (LTP) setelah Konsolidasi 10 Tahun.....	114
BAB V PENUTUP.....		115
5.1	Kesimpulan.....	115
5.2	Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA .....		xxiv



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Area <i>Pick Up Zone</i> Bandara Ahmad Yani Semarang .....	14
Gambar 2. 2 Diagram Alur Perencanaan Fondasi .....	18
Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Antara Penurunan .....	22
Gambar 2. 4 Prinsip Pemadatan Tanah .....	23
Gambar 2. 5 <i>Negative Skin Friction</i> yang Terjadi pada KGM .....	26
Gambar 2. 6 Instalasi KGM menggunakan Metode Lateral Displacement .....	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	31
Gambar 3. 3 Kotak Dialog General Setting – Tab Dimension .....	35
Gambar 3. 2: Kotak Dialog General Setting – Tab Project.....	35
Gambar 3. 4: Tampilan Jendela Plaxis v 8.2.....	36
Gambar 3. 5: Permodelan setelah Jepit Standar (Standard Fixties) .....	37
Gambar 3. 8: Material Sets.....	38
Gambar 3. 6: Properties Lapisan Tanah – Tab Parameter .....	38
Gambar 3. 7: Properties Lapisan Tanah – Tab General .....	38
Gambar 3. 9: Properties Lapisan Tanah – Tab Interface .....	39
Gambar 3. 10: Material Sets KGM .....	39
Gambar 3. 11: Properties KGM .....	40
Gambar 3. 12: Material Sets Geotekstil .....	40
Gambar 3. 13: Properties Geotekstil .....	41
Gambar 3. 14: Mesh Generation Potongan Melintang KGM .....	41
Gambar 3. 15: Ketinggian Permukaan Air Tanah (Phreatic Level).....	42
Gambar 3. 16: Phreatic Level.....	43
Gambar 3. 17: Tekanan Air Aktif (Active Pore Water Pressure) .....	43
Gambar 3. 18: Konfigurasi Geometri Aktif .....	44
Gambar 3. 20: Generate Initial Stress .....	45
Gambar 3. 19: $K_0$ – Procedure.....	45
Gambar 4.1: Potongan Melintang Kolom Grout Modular .....	47
Gambar 4.2: Input Phase Install KGM pada Tab General dan Parameters (Plate) .....	52
Gambar 4. 3: Define Phase Installl KGM (Plate) .....	52
Gambar 4. 4: Input Phase Install KGM pada Tab General dan Parameters (Plate) .....	53
Gambar 4. 5: Define Phase Installl KGM (Cluster).....	53

Gambar 4. 6: Input Phase LTP (Load Transfer Platform) pada Tab General dan Parameters.....	54
Gambar 4. 7: Define Phase LTP (Load Transfer Platform).....	54
Gambar 4. 8: Input Phase Timbunan 1 pada Tab General dan Parameters.....	55
Gambar 4. 9: Define Phase Timbunan 1 .....	55
Gambar 4. 10: Input Phase Timbunan 2 pada Tab General dan Parameters.....	56
Gambar 4. 11: Define Phase Timbunan 2 .....	56
Gambar 4. 12: Input Phase Timbunan 3 pada Tab General dan Parameters.....	57
Gambar 4. 13: Define Phase Timbunan 3 .....	57
Gambar 4. 14: Input Phase Perkerasan Jalan pada Tab General dan Parameters .....	58
Gambar 4. 15: Define Phase Perkerasan Jalan.....	58
Gambar 4. 16: Input Phase Beban Lalu Lintas pada Tab General dan Parameters .....	59
Gambar 4. 17: Define Phase Beban Lalu lintas .....	59
Gambar 4. 18: Input Phase Konsolidasi 1 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	60
Gambar 4. 19: Input Phase Konsolidasi 5 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	62
Gambar 4. 20: Input Phase Konsolidasi 10 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	61
Gambar 4. 21: Input Phase Konsolidasi 50 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	62
Gambar 4. 22: Input Phase Konsolidasi P=1 (Minimum Pore Pressure) pada Tab General dan Parameters.....	63
Gambar 4. 23: Input Phase SF KGM pada Tab General dan Parameters .....	63
Gambar 4. 24: Input Phase SF LTP pada Tab General dan Parameters .....	64
Gambar 4. 25: Input Phase SF Timbunan 1 pada Tab General dan Parameters .....	65
Gambar 4. 26: Input Phase SF Timbunan 2 pada Tab General dan Parameters .....	65
Gambar 4. 27: Input Phase SF Timbunan 3 pada Tab General dan Parameters .....	66
Gambar 4. 28: Input Phase SF Perkerasan Jalan pada Tab General dan Parameters .....	67
Gambar 4. 29: Input Phase SF Beban Lalu Lintas pada Tab General	

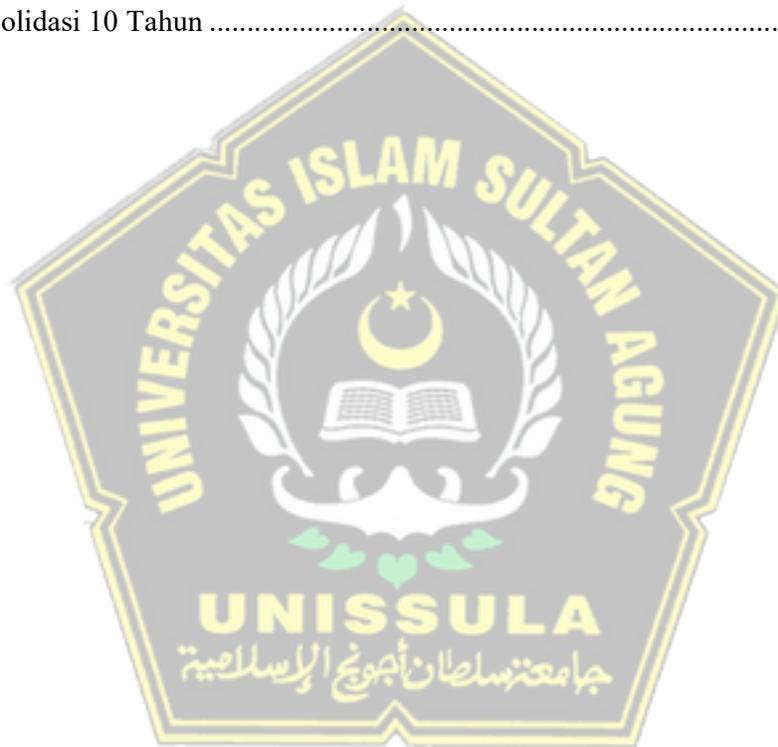
dan Parameters .....	68
Gambar 4. 30: Input Phase SF Konsolidasi 1 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	68
Gambar 4. 31: Input Phase SF Konsolidasi 5 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	69
Gambar 4. 32: Input Phase SF Konsolidasi 10 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	69
Gambar 4. 33: Input Phase SF Konsolidasi 50 Tahun pada Tab General dan Parameters .....	71
Gambar 4. 34: Input Phase SF Konsolidasi $P=1$ (Minimum Pore Pressure) pada Tab General dan Parameters .....	71
Gambar 4. 35: Penentuan Titik Tinjauan Kurva Displacement .....	72
Gambar 4. 36: Penentuan Titik Tinjauan Kurva Stress.....	72
Gambar 4. 37: Penurunan Total Tanah saat Perkerasan Jalan Tipe Plate.....	73
Gambar 4. 38: Penurunan Total Tanah saat Perkerasan Jalan Tipe Cluster .....	73
Gambar 4. 39: Tegangan Efektif Rata-Rata saat Perkerasan Jalan Tipe Plate.....	74
Gambar 4. 40: Tegangan Efektif Rata-Rata saat Perkerasan Jalan Tipe Cluster .....	74
Gambar 4. 41: Tekanan Air Pori Berlebih saat Perkerasan Jalan Tipe Plate.....	75
Gambar 4. 42: Tekanan Air Pori Berlebih saat Perkerasan Jalan .....	75
Gambar 4. 43: Safety Factor saat Perkerasan Jalan Tipe Plate .....	75
Gambar 4. 44: Safety Factor saat Perkerasan Jalan Tipe Cluster .....	76
Gambar 4. 45: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe Plate .....	76
Gambar 4. 46: : Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe Cluster.....	77
Gambar 4. 47: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe Plate .....	77
Gambar 4. 48: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe Cluster.....	78
Gambar 4. 49: Penurunan Total Tanah setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate .....	78
Gambar 4. 50: Penurunan Total Tanah setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster.....	79
Gambar 4. 51: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate .....	79

Gambar 4. 52: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster .....	80
Gambar 4. 53: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate .....	80
Gambar 4. 54: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster.....	81
Gambar 4. 55: Safety Factor setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate .....	81
Gambar 4. 56: Safety Factor setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster.....	82
Gambar 4. 57: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate .....	82
Gambar 4. 58: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster.....	83
Gambar 4. 59: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate .....	83
Gambar 4. 60: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster.....	84
Gambar 4. 61: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate .....	84
Gambar 4. 62: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster.....	85
Gambar 4. 63: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate .....	85
Gambar 4. 64: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster.....	86
Gambar 4. 65: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate .....	86
Gambar 4. 66: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster.....	87
Gambar 4. 67: Safety Factor setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate.....	87
Gambar 4. 68: Safety Factor setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster .....	88
Gambar 4. 69: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate .....	88
Gambar 4. 70: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster.....	89

Gambar 4. 71: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate .....	89
Gambar 4. 72: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster.....	90
Gambar 4. 73: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate .....	90
Gambar 4. 74: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster.....	91
Gambar 4. 75: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate .....	91
Gambar 4. 75: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate .....	91
Gambar 4. 76: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster.....	92
Gambar 4. 77: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate .....	92
Gambar 4. 78: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster.....	92
Gambar 4. 79: Safety Factor setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate.....	93
Gambar 4. 80: Safety Factor setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster .....	93
Gambar 4. 81: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate .....	94
Gambar 4. 82: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster.....	94
Gambar 4. 83: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate .....	95
Gambar 4. 84: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster.....	95
Gambar 4. 85: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate .....	96
Gambar 4. 86: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster.....	96
Gambar 4. 87: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate .....	97

Gambar 4. 88: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster.....	97
Gambar 4. 89: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate .....	98
Gambar 4. 90: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster.....	98
Gambar 4. 91: Safety Factor setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate.....	98
Gambar 4. 92: Safety Factor setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster .....	99
Gambar 4. 93: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate .....	99
Gambar 4. 94: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster.....	100
Gambar 4. 95: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate .....	100
Gambar 4. 96: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster.....	101
Gambar 4. 97: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate .....	101
Gambar 4. 98: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster.....	102
Gambar 4. 99: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate .....	102
Gambar 4. 100: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster.....	103
Gambar 4. 101: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate .....	103
Gambar 4. 102: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster.....	104
Gambar 4. 103: Safety Factor setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate.....	104
Gambar 4. 104: Safety Factor setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster .....	105
Gambar 4. 105: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate .....	105

Gambar 4. 106: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster.....	106
Gambar 4. 107: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate .....	106
Gambar 4. 108: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster.....	107
Gambar 4. 109: Penurunan Load Transfer Platform KGM Tipe Plate setelah Konsolidasi 10 Tahun .....	111
Gambar 4. 110: Penurunan Load Transfer Platform KGM Tipe Cluster setelah Konsolidasi 10 Tahun .....	111



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya .....	5
Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS .....	7
Tabel 2. 3 Sistem Klasifikasi Tanah USCS (lanjutan).....	8
Tabel 2. 4 Tipe Tanah lunak berdasarkan kadar organik.....	10
Tabel 2. 5 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak .....	10
Tabel 2. 6 Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase.....	10
Tabel 2. 7 Klasifikasi kompresibilitas Tanah.....	11
Tabel 2. 8 <i>Inluence Factors For Foundation</i> .....	19
Tabel 3. 1 Deskripsi Data Tanah.....	33
Tabel 3. 2 Parameter Tanah .....	34
Tabel 4. 1 Parameter Kolom Grout Modular .....	48
Tabel 4. 2 Parameter Timbunan dan Load Transfer Platform .....	48
Tabel 4. 3 Parameter Beton.....	49
Tabel 4. 4 Parameter Tanah Dasar .....	49
Tabel 4. 5 Phase Perhitungan.....	51
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Analisis KGM Tipe Plate .....	108
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Analisis KGM Tipe Cluster .....	109
Tabel 4. 8 Perbandingan Effective Stress dan Waktu pada Titik Tinjauan KGM Tipe Plate .....	110
Tabel 4. 9 Perbandingan Effective Stress dan Waktu pada Titik Tinjauan KGM Tipe Cluster.....	110
Tabel 4. 10 Perbandingan Penurunan dan Waktu pada Titik Tinjauan KGM Tipe Plate.....	111

## DAFTAR NOTASI

$\Delta\sigma'$	= Penambahan tegangan efektif
$\Delta u$	= Penambahan tegangan air pori
S	= Penurunan total
$S_i$	= Penurunan segera
$S_c$	= Penurunan konsolidasi primer
$S_s$	= Penurunan konsolidasi Sekunder
$q_c$	= tekanan
$f_s$	= Hambatan pelekat
$C_u$	= Kekuatan geser
$C_c$	= Kompresibilitas
$E_s$	= Elastisitas tanah



# ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE KOLOM GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES *PICK UP* ZONE BANDARA JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG

Oleh :

Muhammad Faqih Assidqi <sup>1)</sup>, Muhammad Fiko Prameswara <sup>1)</sup>  
Dr. Abdul Rochim, ST., MT. <sup>2)</sup>, Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT. <sup>2)</sup>

## ABSTRAK

Bandar udara menjadi salah satu moda transportasi yang penting bagi suatu daerah atau suatu negara. Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang, pada tahun 2018 telah memindahkan operasional bandara dari terminal lama ke terminal baru dengan kapasitas yang lebih besar. Namun, pada akses *pick up zone* mengalami penurunan. Tujuan penelitian berguna mengetahui hasil penurunan tanah, hasil tegangan efektif, dan hasil tekanan air pori berlebih.

Kajian ini dilakukan perbaikan tanah lunak dengan metode Kolom *Grout* Modular. Kolom *Grout* Modular yaitu metode perkuatan tanah menggunakan bahan air dan semen. Material campuran dimasukkan ke dalam tanah menggunakan auger khusus sehingga membentuk kolom dengan diameter tertentu. Timbunan *Load Transfer Platform* (LTP) diletakkan diatas KGM, berfungsi mendistribusikan beban. Tugas akhir ini menggunakan metode KGM dengan program numerik *plaxis* V.8.2. Permodelan KGM dengan 2 tipe *plate* dan *cluster*, sehingga dapat dibandingkan hasil penurunan total tekanan air pori berlebih, tegangan efektif dan penurunan pada LTP.

Konstruksi ini terkonsolidasi selama 50 tahun, mendapatkan hasil total penurunan konstruksi pada permodelan tipe *plate* sebesar 15,6 cm, dan tipe *cluster* sebesar 17,2 cm. Tekanan air pori berlebih KGM tipe *plate* sebesar  $8,88 \times 10^{-3} \text{ kN/m}^2$  sedangkan KGM tipe *cluster* memiliki tekanan air pori berlebih sebesar  $14,77 \times 10^{-6} \text{ kN/m}^2$ . Tipe *plate* mengalami tegangan efektif sebesar  $266,51 \text{ kN/m}^2$  dan tipe *cluster* memiliki tegangan efektif sebesar  $463,32 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan penurunan pada LTP setelah konstruksi terkonsolidasi 50 tahun untuk tipe *plate* sebesar 15,3 cm dan tipe *cluster* mengalami penurunan sebesar 16,8 cm.

**Kalimat Kunci :** *Kolom Grout Modular, pick up zone, plaxis,*

<sup>1)</sup> Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang

<sup>2)</sup> Dosen Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang

# SOFT SOIL IMPROVEMENT ANALYSIS WITH MODULAR GROUT COLUMN METHOD ON ACCESS ROAD PICK UP ZONE JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG AIRPORT

By:

Muhammad Faqih Assidqi <sup>1)</sup>, Muhammad Fiko Prameswara <sup>1)</sup>  
Dr. Abdul Rochim, ST., MT. <sup>2)</sup>, Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT. <sup>2)</sup>

## ABSTRACT

The airport is one of the important modes of transportation for an area or a country. Jenderal Ahmad Yani International Airport Semarang, in 2018 has moved airport operations from the old terminal to a new terminal with a larger capacity. However, the pick up zone access has settlement. The purpose of this research is to find out the results of soil settlement, the results of effective stresses, and the results of excess pore water pressure.

In this study, soft soil improvement was carried out using the Modular Column Grout method. Modular Grout Column is a soil reinforcement method using water and cement. The mixed material is inserted into the soil using a special auger to form a column with a certain diameter. The Load Transfer Platform (LTP) pile is placed on top of the KGM, which functions to distribute the load. This final project uses the KGM method with the numerical program Plaxis V.8.2. KGM modeling with 2 types of plate and cluster, so that the results of the reduction in the total excess pore water pressure, effective stress and decrease in LTP can be compared.

After 50 years of consolidated construction, the total reduction in construction on the plate type model is 15.6 cm, and the cluster type is 17.2 cm. The excess pore water pressure of plate type KGM is  $8.88 \times 10^{-3}$  kN/m<sup>2</sup> while the cluster type KGM has an excess pore water pressure of  $14.77 \times 10^{-6}$  kN/m<sup>2</sup>. The plate type has an effective stress of 266.51 kN/m<sup>2</sup> and the cluster type has an effective stress of 463.32. kN/m<sup>2</sup>. While the decrease in LTP after 50 years of consolidated construction for plate type is 15.3 cm and cluster type has decreased by 16.8 cm.

**Key Sentence: Modular Column Grout, Pick Up Zone, Plaxis,**

<sup>1)</sup> Civil Engineering Student of Sultan Agung Islamic University Semarang

<sup>2)</sup> Lecturer in Civil Engineering at Sultan Agung Islamic University Semarang

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Bandar udara memegang peranan yang sangat penting di dalam sistem transportasi udara. Semua kegiatan penerbangan berawal dan berakhir di tempat ini, sehingga Bandar udara dapat dikatakan sebagai area pelayanan bagi titik perpindahan system transportasi udara. Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani merupakan bandara yang terletak di Kota Semarang Provinsi Jawa Tengah. Pada tahun 2018 pemerintah Provinsi bekerja sama dengan PT. Angkasa Pura I melakukan pengembangan Bandara Jenderal Ahmad Yani Semarang dari terminal lama ke terminal yang baru dengan kapasitas yang lebih besar berguna untuk meningkatkan mobilitas arus manusia, barang dan jasa di Provinsi Jawa Tengah.

Bandara Internasional Jendral Ahmad Yani Semarang telah memiliki fasilitas baru baik sisi darat maupun sisi udara. Oleh karena itu, seharusnya kondisi fasilitas tersebut sudah sempurna. Akan tetapi, setelah dilakukan pengamatan dan penyelidikan, tanah dasar timbunan pada semua area masih belum mengalami penurunan tanah (*settlement*) dan memiliki daya dukung tanah yang rendah sehingga berdampak pada penurunan tanah yang masih berlangsung pada saat terminal baru bandara dan fasilitas sudah beroperasi. Penurunan tanah yang paling signifikan terjadi pada jalan akses *Pick Up Zone*. Pada saat dilakukan pengukuran menggunakan alat theodolite diperoleh penurunan 4-10 cm dalam kurun waktu 2 bulan. Beberapa alternatif untuk perbaikan tanah pada jalan akses *Pick Up Zone* diantaranya menggunakan metode Kolom *Grout* Modular (KGM).

Kolom *Grout* Modular (KGM) merupakan metode perbaikan tanah menggunakan bahan semen dan air yang diinjeksikan ke dalam tanah Prinsip dasar pada metode Kolom *Grout* Modular

(KGM) yaitu dengan memasukkan campuran material ke dalam tanah berbentuk kolom. Proses pemasangan KGM menggunakan auger khusus dimana pada saat auger dipasang ke dalam tanah, tanah akan terdesak dan termampatkan kearah samping dan menimbulkan lubang sebesar diameter auger. Pada saat auger diangkat secara bersamaan material *grout* dimasukkan ke dalam tanah yang telah dilubangi auger.

## 1.2. Rumusan Masalah

Pada jalan akses *Pick Up Zone* Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang terjadi penurunan tanah yang mengakibatkan kerusakan dan ketidakstabilan. Sehingga perlu adanya perbaikan tanah untuk meminimalisir penurunan tanah pada jalan akses *Pick Up Zone*. Salah satu metode perbaikan tanah yang digunakan untuk penanganan masalah diatas yaitu metode Kolom *Grout* Modular (KGM). Untuk mengetahui besarnya penurunan tanah yang terjadi setelah penerapan Kolom *Grout* Modular (KGM) maka perlu dilakukan permodelan dan analisis menggunakan program numerik yaitu *Plaxis*. Dalam Tugas Akhir ini ada 2 tipe permodelan Kolom *Grout* Modular (KGM), yaitu tipe *plate* dan tipe *cluster*.

Dari penjelasan diatas maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana hasil *total displacement* pada tanah setelah dilakukan perbaikan menggunakan Kolom *Grout* Modular (KGM)?
- b. Bagaimana hasil tegangan efektif tanah setelah dilakukan perbaikan menggunakan Kolom *Grout* Modular (KGM)?
- c. Bagaimana hasil tekanan air berpori berlebih pada tanah dan berapa besar tekanan air pori berlebih untuk tanah setelah dilakukan perbaikan menggunakan Kolom *Grout* Modular (KGM)?

- d. Bagaimana Penurunan *Load Transfer Platform* (LTP) tanah setelah dilakukan perbaikan menggunakan Kolom *Grout Modular* (KGM)?

### 1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui penurunan total setelah pemasangan Kolom *Grout Modular* (KGM) dengan menggunakan program numerik *plaxis*.
- b. Mengetahui hasil tegangan efektif setelah dilakukan perbaikan menggunakan Kolom *Grout Modular*
- c. Mengetahui perbandingan hasil analisis antara permodelan menggunakan tipe *cluster* dan tipe *plate* dengan menggunakan program *plaxis*.
- d. Mengetahui hasil penurunan *Load Transfer Platform* (LTP) untuk permodelan menggunakan program *plaxis*.

### 1.4. Batasan Masalah

Pokok bahasan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini hanya kajian batas pada besar total displacement pada tanah, tekanan air pori berlebih, tegangan efektif dan penurunan pada *Load Transfer Platform* (LTP) setelah perbaikan tanah menggunakan Kolom *Grout Modular* (KGM) pada permodelan menggunakan program *plaxis*.

### 1.5. Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Laporan Tugas Akhir ini memiliki sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, Batasan laporan dan sistematika penulisan.

BAB II : STUDI PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang

karakteristik tanah secara umum, klasifikasi dan parameter tanah tanah secara umum, pengertian dan karakteristik tanah lunak, pengertian *pick up zone* bandara, penurunan dan pemadatan tanah, metode perbaikan tanah menggunakan kolom *grout* modular.

BAB III : METODOLOGI PENULISAN

Pada bab ini menguraikan tentang pengumpulan data serta analisis data.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan tentang pengolahan data, permodelan metode kolom *grout* modular menggunakan program *plaxis*, pengecekan tekanan air berlebih, tegangan efektif, *safety factor*, dan besarnya penurunan tanah yang terjadi serta bentuk deformasi

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari analisis dan saran yang disampaikan mengenai analisis ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (berpartikel padat) disertai dengan yang cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M, 1995). Tanah berguna sebagai pendukung struktur bangunan atas, sehingga kondisi tanah harus stabil dan tidak mengalami penurunan yang mengakibatkan kegagalan konstruksi. Konstruksi jalan merupakan salah satu contoh bangunan yang bergantung pada kestabilan tanah. Permasalahan yang sering terjadi pada konstruksi jalan yaitu penurunan elevasi pada jalan karena penurunan tanah. Hal ini mengharuskan adanya perbaikan kestabilan tanah dalam konstruksi jalan supaya tidak terjadi kerusakan.

#### **2.2. Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah adalah suatu pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995). Sistem klasifikasi memberikan suatu Bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian sistem klasifikasi yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas.

Ada beberapa macam klasifikasi tanah diantaranya yaitu sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*).

A. Sistem Klasifikasi ASSHTO

ASSHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*). Pada sistem ini tanah diklasifikasikan ke dalam 7 kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan dalam A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah berbutir dimana 39% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos saringan No. 200. Tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos saringan No. 200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ASSHTO tersaji dalam Tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2. 1**  
**Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya**

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos saringan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa saringan (% lolos)							
No. 10	Maks 50						
No. 40	Maks 30	Maks 50	Maks 51				
No. 200	Maks 15	Maks 15	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat Fraksi yang lolos saringan No 40							
Batas cair ( <i>LL</i> )				Maks 40	Min 40	Maks 40	Maks 41
Index plasticitas ( <i>PI</i> )		Maks 6	NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau bertepung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos saringan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6 <sup>x</sup>
Klasifikasi kelompok				
Analisa saringan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos No. 4 Batas cair (LL) Index plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : Bowles, 1991

\*  $PI \leq LL - 30$

<sup>x</sup>  $PI \leq LL - 30$

#### B. Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) membagi tanah menjadi dua kelompok besar yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu presentase tanah yang tertahan pada saringan No. 200 lebih dari 50%. Simbol yang digunakan pada kelompok ini adalah G (*gravel* atau tanah berkerikil) dan S (*sand* atau tanah berpasir).
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu presentase tanah yang lolos pada saringan No. 200 50% atau lebih. Simbol yang digunakan pada kelompok ini adalah M (silt atau lanau), C (clay atau lempung), O (organic bisa berupa lempung organic atau lanau organik) dan PT digunakan untuk tanah gambut atau tanah yang memiliki nilai kadar organik tinggi.

Dalam klasifikasi USCS dikenal dengan symbol-simbol sebagai berikut: W (*well graded* atau tanah bergradasi baik), P (*poorly graded* atau bergradasi buruk), L (*low plasticity* atau tanah berplastisitas rendah) dan H (*high plasticity* atau tanah

berplastisitas tinggi). Untuk lebih jelas dalam pengklasifikasian tanah berdasarkan USCS.

**Tabel 2. 2**  
**Sistem Klasifikasi Tanah USCS**

Pembagian Jenis		Nama Jenis	Simbol
<b>Tanah Berbutir Kasar</b> Lebih dari setengah materialnya lebih kasar dari ayakan No. 200	<b>Kerikil</b> Lebih dari setengah fraksi kasah kasar dari ayaka No. 4	Kerikil bersih, (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)	GW
		Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	GP
		Kerikil lanauan, kerikil campur pasir atau lanau.	GM
		Kerikil lempungan, kerikil campur pasir atau lempung.	GC
	<b>Pasir</b> Lebih dari setengah fraksi kasah halus dari ayakan No. 4	Pasir bersih (tanpa atau dengan sedikit mengandung bahan halus)	SW
		Pasir, pasir kerikilan bergradasi baik tanpa atau dengan sediki bahan halus.	SP
		Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	SM
		Pasir kelanauan, pasir campur lanau.	SC
		Pasir kelempungan, pasir campur lempung.	
<b>Tanah Berbutir Halus</b> Lebih dari setengah materialnya lebih halus dari ayakan No. 200	<b>Lanau dan Lempung</b> Batas cair kurang dari 50%	Lanau organic dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus kelanauan atau kelempungan atau lanau kelempungan sedikit plastis.	ML
		Lempungn anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung kerikilan, lempung pasiran, lempung lanauan lempung humus.	CL

		Lempung organik dan lempung lanauan organik dengan palstisitas rendah.	OL
	Batas cair lebih dari 50%	Lempung anorganik, tanah pasiran halus atau tanah lanauan mengandung mika atau diatome laau elastis.	MH
		Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung expansif.	CH
		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, lanau organik.	OH
<b>Tanah Organik</b>		Gambut dan tanah organik	Pt

Sumber: Hendarsin, 2000

**Tabel 2. 3**  
**Sistem Klasifikasi Tanah USCS (lanjutan)**

KRITERIA KLASIFIKASI LABORATORIUM		
<p>Tentukan presentase krikil dan pasir dari kurva pembagian butir, berdasarkan pada presentas bahan halus (fraksi lebih halus dari ayakan No. 200). Tanah berbutir kasar diklasifikasikan sebagai berikut:</p> <p>Kurang dari 5% Lebih dari 12% 5% sampai 12%</p> <p>GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC pada garis batas menggunakan simbol ganda</p>	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 4 $Cu = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{30}}$ antara 1 dan 3	
	Tidak ditemukan semua persyaratan gradasi untuk GW	
	<p>Batas atterberg di bawah garis "A" atau IP kurang dari 4</p> <p>Batas atterberg di atas garis "A" atau IP lebih dari 7</p>	Di atas garis "A" dengan IP antara 4 dan 7 terdapat pada garis dan menggunakan symbol ganda GM-GC
	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 6 $Cu = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{30}}$ antara 1 dan 3	
	Tidak ditemukan semua persyaratan gradasi untuk SW	
	<p>Batas Atterberg dibawah garis 'A' atau IP kurang dari 4</p> <p>Batas Atterberg di atas garis "A" atau IP lebih besar dari 7</p>	Di atas garis "A" dengan IP antara 4 dan 7 terdapat pada garis batas dan menggunakan symbol ganda SM-SC



Sumber: Hendarsin, 2000

## 2.3. Tanah Lunak

### 2.3.1. Deskripsi Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah yang memiliki butiran yang berukuran sangat kecil. Tanah lunak mempunyai kuat geser rendah dan kemampuan kompresibilitas yang tinggi, memiliki daya dukung rendah dan mempunyai koefisien permeabilitas yang kecil sehingga perlu adanya penyelidikan secara menyeluruh agar tidak terjadi masalah kestabilan jangka panjang yang mengakibatkan konstruksi di atasnya rusak. Tanah lunak terbagi menjadi dua macam, yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut. Tanah lempung kohesif merupakan tanah yang mempunyai daya dukung lebih kecil dari  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  dan nilai *standard penetration test* lebih kecil dari 4 ( $N\text{-value} < 4$ ) (Terzaghi, 1989). Berdasarkan pengujian di lapangan, secara fisik menggunakan jari tangan tanah lunak dapat diremas dengan mudah. Sifat umum tanah lunak adalah memiliki kadar air antara 80-100%, dengan batas cair 80-110%, serta batas plastis 30-45%, saat dites sieve analysis, maka butiran yang lolos oleh saringan no 200 akan lebih besardari 90% serta memiliki kuat geser 20-40 kN/m.

Dalam rekayasa geoteknik, berdasarkan kadar organiknya tanah lunak dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4**  
**Tipe Tanah lunak berdasarkan kadar organik**

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

Sumber : (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

A. Tanah Lempung Lunak

Lempung lunak merupakan tanah yang mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan kuat geser tanah yang rendah. Dalam rekayasa geoteknik istilah lunak dan sangat lunak didefinisikan berdasarkan kuat geser yang ditunjukkan pada Tabel 2.2

**Tabel 2. 5**  
**Definisi Kuat Geser Lempung Lunak**

Konsentrasi	Kuat Geser kN/m
Lunak	12,5-25
Sangat Lunak	< 12,5

(Sumber : Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak, 2002)

Sebagai indikasi kekuatan lempung tersebut, petunjuk identifikasi di lapangan dapat dilihat pada Tabel 2.6

**Tabel 2. 6**  
**Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase**  
**Tanah Lempung Lunak**

Konsentrasi	Indikasi Lapangan
Lunak	Mudah dibentuk dengan jari tangan
Sangat Lunak	Keluar diantara tangan jika diremas dalam kepalan tangan

Sumber : Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak, 2002

**B. Tanah Gambut**

Tanah gambut disebut juga tanah organik adalah tanah yang bahan induknya berupa sisa-sisa tanaman dari binatang kemudian bercampur dengan lapisan mineral yang diendapkan. Salah satu ciri dari tanah gambut, yaitu warna tanah pada umumnya cokelat tua. Tanah gambut merupakan jenis tanah yang berbentuk dari akumulasi sisa-sisa tumbuhan yang setengah membusuk, sehingga kandungan bahan organiknya tinggi.

**2.3.2. Karakteristik Tanah Lunak**

Tanah Lunak memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung dari parameter tanah tersebut.

**A. Karakteristik Tanah Lempung Lunak**

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butiran sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, koefisien permeabilitas yang kecil dan mempunyai daya dukung tanah rendah dibandingkan tanah lempung lainnya. Tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Kuat geser rendah
2. Berkurangnya kuat eser apabila struktur tanahnya terganggu

3. Berkurangnya kuat geser apabila kadar air bertambah
4. Bersifat plastis
5. Mengembang pada kondisi basah dan menyusut pada kondisi kering
6. Kompresibilitas besar, dapat dilihat pada Tabel 2.7

**Tabel 2. 7**  
**Klasifikasi kompresibilitas Tanah**

<i>Compresibility C</i>	<i>Classification</i>
0-0,05	<i>Very Slightly Compressible</i>
0,05-0,1	<i>Sightly Compressible</i>
0,1-0,2	<i>Moderately Compressible</i>
0,2-0,35	<i>Highly Compressible</i>
>0,35	<i>Very Hightly Compressible</i>

Sumber : Coduto, 1994;69

7. Volumanya berubah degan bertambahnya waktu akibat rangkai terhadap beban yang konstan
8. Merupakan material kedap air

#### B. Karakteristik Tanah Gambut

Tanah gambut merupakan jenis tanah dari sisa tumbuhan yang setengah busuk / dekomposisi yang tidak sempurna dan mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi. Tanah gambut umumnya berada pada lahan yang basah atau jenuh air seperti cekungan, pantai, dan rawa. Tanah gambut mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

1. Kurang subur, basah, lembek atau lunak
2. Banyak terbentuk pada wilayah rawa
3. Berwarna gelap
4. Memiliki sifat asam

Karakteristik tanah gambut yang dapat diamati meliputi kadar air, berat isi (*bulk density, BD*), kemampuan menahan beban atau *bearing capacity*, penurunan permukaan, dan

mengering tidak bisa kembali seperti semula atau *irreversible drying*. Pada tanah gambut memiliki kadar air yaitu 100-1300 % dari keringnya (Mutalib et al., 1991). Hal tersebut menjelaskan bahwa tanah gambut mampu menyerap air hingga 13 kali bobotnya.

### **2.3.3. Permasalahan yang timbul pada Tanah Lunak**

Beberapa permasalahan yang timbul pada tanah lunak diantaranya yaitu daya dukung tanah yang sangat rendah, dan juga memiliki nilai penurunan yang sangat tinggi. Serta masalah likuifaksi yaitu apabila terjadi gempa bumi perilaku tanah menyerupai air atau cairan akibat beban seismik sehingga mengurangi kekuatan geser tanah yang mengakibatkan berkurangnya daya dukung tanah. Berkurangnya daya dukung tanah menyebabkan tanah lunak tidak dapat digunakan sebagai lapisan fondasi struktur tanah. Tanah lunak mengalami penurunan yang disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah, apabila terdapat beban tambahan di atasnya.

### **2.3.4. Penanganan Terhadap Tanah Lunak**

Tanah lunak apabila digunakan untuk menopang suatu struktur perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan tanah untuk meningkatkan kualitas karakteristik tanah, terutama pada parameter kuat geser yang digunakan untuk mendukung perkuatan struktur di atasnya sehingga dapat menahan beban struktur dengan baik. Beberapa usaha perbaikan dan perkuatan dilakukan untuk beberapa hal berikut :

- a. Mengurangi kompresibilitas
- b. Menaikan modulus
- c. Memperbaiki kualitas material
- d. Mengontrol Stabilitas volume
- e. Mengurangi kerentanan pada likuifaksi
- f. Memperbesar daya dukung dan kuat geser tanah

Perbaikan tanah dilakukan dengan cara tradisional dan modern. Kedua cara tersebut pada prinsipnya menstabilkan tanah dengan cara termurah dan hasil yang stabil. Secara ekonomi perbaikan tanah menjadi mahal, karena metode yang digunakan dan volume yang sangat besar.

Pemilihan metode perbaikan tanah disesuaikan dengan kondisi di lapangan dengan mempertimbangkan jenis tanah, tingkat perbaikan yang diinginkan, biaya proyek, waktu penyelesaian proyek, peralatan yang tersedia, dan ketahanan material yang digunakan.

Pada perbaikan tanah di akses *pick up zone* Bandar Udara Jenderal Ahmad Yani Semarang menggunakan metode perbaikan tanah Kolom Grout Modular ( KGM). Kolom grout modular merupakan metode perbaikan tanah dengan menggunakan bahan semen yang diinjeksikan ke dalam tanah sehingga membentuk kolom-kolom di dalam tanah.

## **2.4. Pick Up Zone**

### **2.4.1 Deskripsi Pick Up Zone**

*Pick Up Zone* merupakan jalur untuk menaikan penumpang di bandara. *Pick up zone* bukanlah tempat parkir kendaraan, melainkan pemberhentian sementara. Berdasarkan SOP Angkasapura 1 waktu pemberhentian maksimal selama 3 menit, untuk menaikan penumpang.



**Gambar 2. 1 Area *Pick Up Zone* Bandara Ahmad Yani Semarang**

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

#### **2.4.2 Timbunan pada *Pick Up Zone***

Timbunan pada *Pick Up Zone* terbagi dalam 2 macam timbunan sesuai dengan maksud penggunaannya, yaitu timbunan biasa dan timbunan pilihan.

##### **A. Timbunan Biasa**

Timbunan biasa adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk timbunan sampai elevasi *top subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan tanpa maksud khusus lainnya. Timbunan biasa ini juga digunakan untuk mengganti material *existing subgrade* di lapangan yang tidak memenuhi syarat.

##### **B. Timbunan Pilihan**

Timbunan pilihan adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk timbunan sampai elevasi *top subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan dengan maksud khusus lainnya, misalnya untuk mengurangi tebal lapisan fondasi bawah, untuk memperkecil gaya lateral tekanan dibelakang dinding penahan tanah.

### 2.4.3 Dampak Ketidakstabilan Timbunan *Pick Up Zone*

Tanah lunak diketahui mempunyai nilai daya dukung yang rendah sehingga dapat diketahui bahwa tanah akan menimbulkan permasalahan stabilitas subgrade yang akan mempengaruhi konstruksi lapisan perkerasan yang berada di atasnya, dan stabilitas subgrade berupa tanah timbunan akan terganggu karena menurunnya Faktor Keamanan (FK) karena berada di atas tanah lunak yang sangat kompresibel dan mempunyai daya dukung rendah.

Ketidakstabilan timbunan *pick up zone* ini berdampak sangat besar karena umumnya dibangun dengan ketinggian yang dirancang untuk dapat mengakomodasi lalu lintas yang lewat dibawahnya.

Dampak dari ketidakstabilan timbunan *Pick Up Zone* dapat dilihat sebagai berikut :

- a. Terjadi penurunan tanah sehingga perlu dilakukan *overlay* untuk memenuhi persyaratan standar pelayanan minimum bagi pengguna *Pick Up Zone*, yaitu aman dan nyaman.
- b. Terganggunya kenyamanan bagi pengguna *Pick Up Zone* dikarenakan beda elevasi yang cukup tinggi antara jalan dan area *pick up zone*.

### 2.4.4 Penyelidikan Tanah Dasar Timbunan *Pick Up Zone*

Untuk dapat melakukan analisis geoteknik yang benar dan baik, sangat diperlukan data-data tanah (*soil test*) bawah permukaan yang lengkap dan akurat. Data – data ada yang diperoleh langsung dari survei geoteknik lapangan dan ada yang diperoleh dari uji laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil dari bawah permukaan tanah asli melalui *boring*.

Penyelidikan tanah di lapangan dapat berupa penggunaan dan interpretasi foto udara dan *remote*

*sending*, metode geofisik, metode geolistrik, sumur uji (*test pit*) pemboran dangkal sampai dalam, uji penetrometer (uji sondir, *Cone penetration Test – CPT*), uji *Vane Test*, *Pocket Penetrometer Test*, *Carlifornia Bearing Test* (CBR) dan lain- lain.

Pengeboran tanah / boring dan sondir (CPT) adalah pekerjaan yang paling umum dan akurat untuk tanah berlempung dan survei geoteknik lapangan. Pengeboran tanah dilakukan dengan membuat lubang kedalam tanah dengan menggunakan alat bor manual maupun alat bor mesin dengan tujuan:

1. Mengidentifikasi jenis tanah sepanjang kedalam lubang bor.
2. Mengambil contoh tanah asli maupun tidak asli pada kedalam yang dikehendaki.
3. Untuk memasukkan alat uji penetrasi baku (*Standart Penetration Test – SPT*) pada kedalaman yang dikehendaki.
4. Memasukkan alat uji lainnya kedalam tanah yang dikehendaki, misalnya : uji rembesan lapangan, uji *vane shear*, uji *presuremeter*, pengukuran tekanan air pori dan lain-lain.

Para peneliti goeteknik telah banyak membuat studi tentang hasil SPT untuk membuat korelasi dengan hasil uji lapangan yang lain, dengan berbagai sifat tanah, seperti jenis- jenis tanah dan konsistensinya, dengan kekuatan geser tanah, parameter konsolidasi, *relative density*, daya dukung fondasi dangkal, daya dukung fondasi dalam, tiang bor dan lain-lain

Pekerjaan sondir (*Dutch Cone Penetration Test – CPT*) merupakan penyelidikan tanah yang

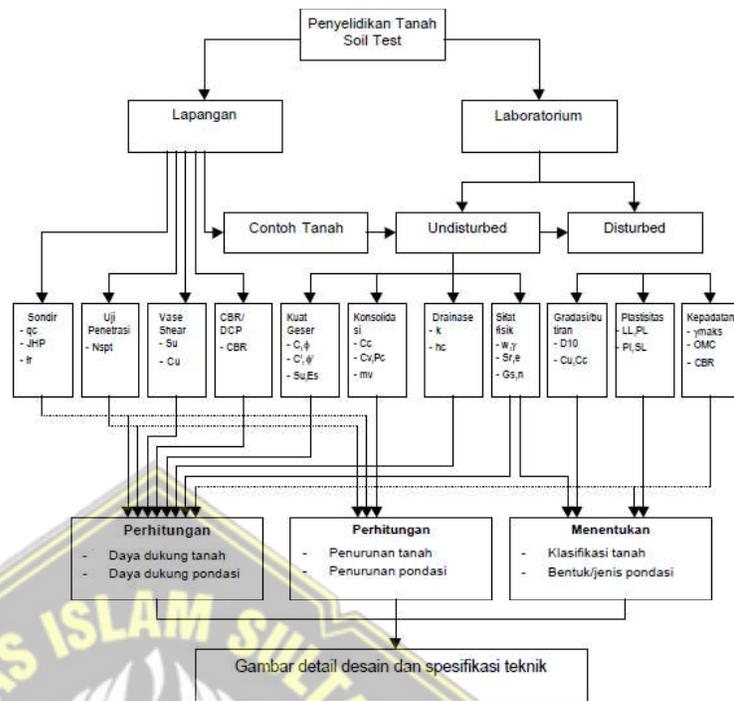
memberikan data tekanan konus ( $q_c$ ) dan hambatan pelekat ( $f_s$ ) yang dapat dikorelasikan terhadap parameter tanah yang lain seperti *undrained shear strength* ( $C_u$ ), kompresibilitas ( $C_c$ ), elastisitas tanah ( $E_s$ ) dan dapat memperkirakan jenis lapisan tanah dan parameter lainnya.

Sampai sekarang, hasil uji sondir digunakan untuk tujuan seperti:

1. Evaluasi kondisi tanah bawah permukaan dilapangan, stratigrafi (menduga struktur lapisan tanah), klasifikasi lapisan tanah, kekuatan lapisan tanah dan kedalaman lapisan tanah keras.
2. Menentukan lapisan tanah yang harus dibuang dan diganti dengan tanah yang lebih baik, dipadatkan dan dikontrol kepadatan tanah timbunan.
3. Perencanaan fondasi dan perhitungan *settlement*.
4. Perencanaan stabilitas lereng galian atau timbunan dan lain- lain.

Penyelidikan tanah di laboratorium yang umum dilakukan adalah sifat fisik tanah ( $w$ ,  $\gamma$ ,  $e$ ,  $n$ ,  $G_s$ ,  $S_r$ ), sifat plastisitas tanah ( $LL$ ,  $PL$ ,  $PI$ ,  $SL$ ,  $SI$ ,  $A_c$ ,  $LI$ ), sifat konsolidasi tanah ( $m_v$ ,  $C_c$ ,  $Cr$ ,  $C_s$ ,  $Ca$ ,  $C_v$ ,  $P_c$ ), sifat kuat geser tanah ( $c$ ,  $\phi$ ,  $c'$ ,  $\phi'$ ,  $S_u$ ,  $q_u$ ,  $S_t$ ,  $E_s$ ), sifat *copaction* tanah timbunan ( $\psi$  mak.,  $OMC$ ,  $CBR$ ,  $R_d$ ).

Hasil survei lapangan dan uji laboratorium tersebut dimaksudkan untuk dipakai sebagai input desain fondasi, timbunan tanah dan rekayasa bangunan sipil bagian bawah, untuk lebih mudah dan praktisnya kegunaan data tana terhadap perencanaan fondasi dapat dibuat diagram secara singkat sebagai berikut:



**Gambar 2. 2**  
**Diagram Alur Perencanaan Fondasi**

## 2.5 Penurunan Tanah

Salah satu permasalahan utama pada tanah lunak dalam suatu pekerjaan konstruksi adalah penurunan tanah. Penurunan tanah tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah.

Ketika tanah dibebani, maha tanah akan mengalami penurunan. Penurunan akibat beban ini terdiri dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.

### 2.5.1. Penurunan Segera (Immediate Settlement)

Penurunan segera terjadi setelah beban diatas tanah bekerja. Penurunan ini bersifat elastis, dalam prakteknya sangat sulit diperkirakan besarnya penurunan. Penurunan segera ini banyak diperhatikan pada fondasi bangunan yang terletak pada tanah granular atau tanah berbutir kasar. Besarnya penurunan ini tergantung dari besarnya modulus elastisitas kekakuan tanah dan beban timbunan diatasnya.

Penurunan segera dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

**Tabel 2.8**  
**Influence Factors For Foundation**

Shape	m <sub>1</sub>	I <sub>p</sub>		
		Flexible		Rigid
		Center	Corner	
Circle	—	1,00	0,64	0,79
Rectangle	1	1,12	0,56	0,88
	1,5	1,36	0,68	1,07
	2	1,53	0,77	1,21
	3	1,78	0,89	1,42
	5	2,10	1,05	1,70
	10	2,54	1,27	2,10
	20	2,99	1,49	2,46
	50	3,57	1,8	3,00
	100	4,01	2,0	3,43

Sumber : Schleicher, 1926

### 2.5.2. Penurunan Konsolidasi (Consolidation Settlement)

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak dibawah muka air tanah. Penurunan ini butuh waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanah. Bila tanah mengalami pembebanan dan berkonsolidasi maka penurunan tanah tersebut berlangsung tiga fase, yaitu :

#### A. Fase Awal

Penurunan terjadi segera setelah beban bekerja, diakibatkan oleh keluarnya udara dari rongga pori. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari uji konsolidasi.

## B. Fase Konsolidasi Primer

Penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran pori yang meninggalkan rongga pori tanah akibat beban. Sangat dipengaruhi oleh sifat tanah.

Pada tanah lempung jenuh air, penambahan total tegangan akan diteruskan ke air pori dan butiran tanah. Hal ini berarti penambahan tegangan total ( $\Delta\sigma$ ) akan terbagi ke tegangan efektif dan tegangan air pori. Dari prinsip tegangan efektif, dapat diambil korelasi :

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

$\Delta\sigma'$  = penambahan tegangan efektif

$\Delta u$  = penambahan tegangan air pori

Karena lempung mempunyai kemampuan permeabilitas yang sangat rendah dan air tidak mudah termampatkan (*incompressible*) dibandingkan butiran tanah, maka pada saat  $t = 0$  seluruh penambahan tegangan

( $\Delta\sigma$ ) akan dipikul oleh air ( $\Delta u = \Delta\sigma$ ) pada seluruh kedalaman lapisan tanah.

Penambahan tegangan tersebut tidak dipikul oleh butiran tanah ( $\Delta\sigma' = 0$ ). Sesaat setelah pemberian penambahan tegangan  $\Delta\sigma$ , pada lapisan lempung, air dalam pori mulai tertekan dan akan mengalir keluar. Dengan proses ini, tekanan air pori pada tiap-tiap kedalaman pada lapisan lempung akan berkurang secara perlahan-lahan, dan tegangan yang dipikul oleh butiran tanah keseluruhan (tegangan efektif /  $\Delta\sigma'$ ) akan bertambah. Jadi pada saat  $0 < t < \infty$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \quad (\Delta\sigma' > 0 \text{ dan } \Delta u < \Delta\sigma)$$

Tetapi, besarnya  $\Delta\sigma'$  dan  $\Delta u$  pada setiap

kedalaman tidak sama, tergantung pada jarak minimum yang harus ditempuh air pori untuk mengalir keluar lapisan pasir yang berada di bawah atau di atas lapisan lempung.

Pada saat  $t = \infty$ , seluruh kelebihan air pori sudah hilang dari lapisan lempung, jadi  $\Delta u = 0$ . Pada saat ini tegangan total,  $\Delta \sigma$ , akan dipikul seluruhnya oleh butiran tanah seluruhnya (tegangan efektif,  $\Delta \sigma'$ ). Jadi  $\Delta \sigma = \Delta \sigma'$ .

### C. Fase Konsolidasi Sekunder

Penurunan konsolidasi sekunder merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi primer selesai. Penurunan ini merupakan proses lanjutan dari penurunan konsolidasi primer, dan proses ini berjalan dengan sangat lambat. Penurunan ini terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan.

Dengan demikian, penurunan total dari suatu tanah yang dibebani adalah :

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan ;

$$S = \text{Penurunan Total}$$

$$S_i = \text{Penurunan Segera}$$

$$S_c = \text{Penurunan Konsolidasi Primer}$$

$$S_s = \text{Penurunan Konsolidasi Sekunder}$$

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan ;

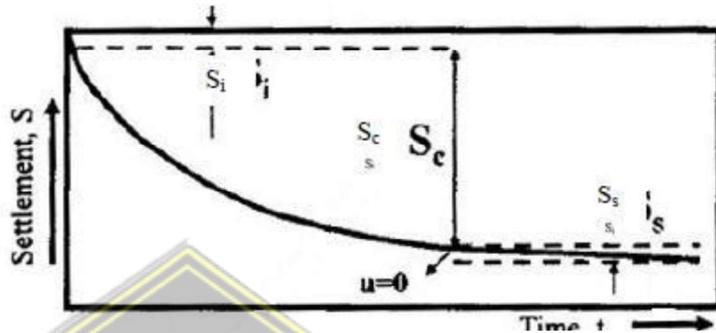
$$S = \text{Penurunan Total}$$

$$S_i = \text{Penurunan Segera}$$

$$S_c = \text{Penurunan Konsolidasi Primer}$$

$$S_s = \text{Penurunan Konsolidasi Sekunder}$$

Dengan kata lain, penurunan konsolidasi sekunder terjadi ketika penurunan konsolidasi primer selesai, yaitu pada saat tegangan air pori berlebih,  $u$  sama dengan nol. Dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 3

**Grafik Hubungan Antara Penurunan Dengan Waktu**

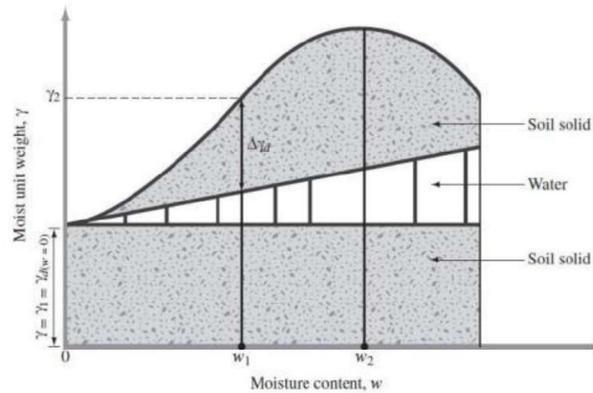
(Sumber ; Gouw, 2010)

Terlihat bahwa penurunan tanah sebagian besar terjadi pada saat penurunan konsolidasi. Dan pada fase ini pula, tana mengalami peningkatan kekuatan dan stabilitas.

**D. Pemadatan Tanah**

Pemadatan merupakan usaha untuk meninggikan kerapatan tanah dengan menggunakan energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Maksud pemadatan tanah adalah :

- a. Mempertinggi kuat geser tanah
- b. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
- c. Mengurangi permeabilitas
- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.



**Gambar 2. 4**  
**Prinsip Pemadatan Tanah**  
 (Pratikso, 2013)

Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan adanya pemadatan adalah :

- a. Berkurangnya penurunan permukaan tanah (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal didalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori
- b. Bertambahnya kekuatan tanah
- c. Berkurangnya penyusutan
- d. Berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air

Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya ( $\gamma_d$ ). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan memberikan kuat geser yang tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang susut tergantung dari jenis mineralnya. Proctor mendefinisikan empat variabel pemadatan tanah, yaitu :

- a. Usaha pemadatan (energi pemadatan)
- b. Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif,

ukuran partikel dan sebagainya)

- c. Kadar air
- d. Berat isi kering

Peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis disebut pemadatan. Akibat beban dinamis, butir-butir tanah merapat satu sama lain sebagai berkurangnya rongga udara. Pada awal pemadatan, berat volume kering bertambah dengan ditambahkan kadar air. Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan juga bertambah. Kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume kering karena air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air saat berat volume kering mencapai maksimum ( $\gamma_{dmak}$ ) disebut kadar air optimum ( $w_{opt}$ )

## 2.6 Kolom Grout Modular

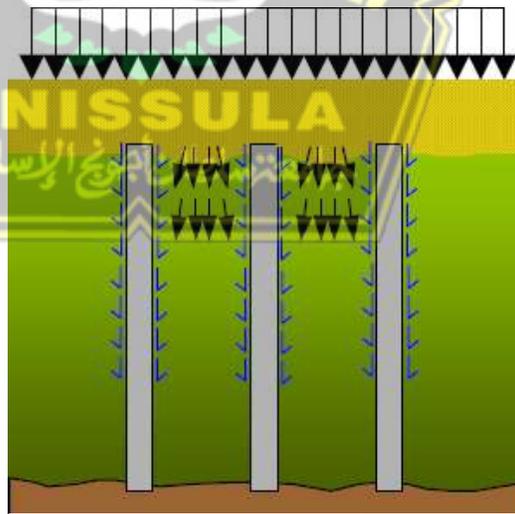
### 2.6.1 Definisi Kolom Grout Modular (KGM)

Kolom Grout Modular (KGM) merupakan metode stabilisasi tanah dengan bahan semen yang kemudian diinjeksikan ke dalam lubang yang telah dibor menggunakan auger khusus. Metode Kolom Grout Modular (KGM) hampir sama dengan metode Deep Soil Mixing (DSM). (Abbey, dkk 2015) mengatakan dalam DSM, tanah tidak stabil dicampur dengan semen dan zat adiktif lainnya untuk membentuk kolom pengikat tanah untuk meningkatkan kekuatan dan mengurangi kompresibilitas tanah lemah.

Secara khusus, KGM diinstall untuk menciptakan material komposit yang terdiri dari tanah dan slurry semen. KGM juga bisa digunakan untuk meningkatkan dukung tanah secara komposit dan biasa diaplikasikan untuk bangunan-bangunan seperti warehouse, tangki minyak, dan lain-lain. KGM merupakan semi rigid kolom grout semen yang didesain dengan

spesifik modulus kekakuan ( $E_{col}$ ) untuk memperkuat modulus kekakuan tanah asli ( $E_{soil}$ ). Installasi KGM dilakukan dengan menggunakan mata bor auger yang didesain khusus untuk menghasilkan kolom displacement. Hasilnya adalah kolom grout semen dengan kapasitas tinggi dan tidak menimbulkan material buangan / spoil di lapangan.

Konsep desain dari Kolom Grout Modular (KGM) sendiri adalah perpindahan vertikal ( $u_{soil}$ ) atau penurunan tanah ( $\delta_{soil}$ ) terjadi melalui proses konsolidasi sebagai akibat adanya transfer tegangan ke dalam tanah ( $\sigma_{soil}$ ) melalui lapisan distribusi beban. Sebagai akibat dari penurunan konsolidasi, tegangan ditransfer dari tanah sekitarnya ke dalam kolom. Dikarenakan  $u_{soil} > u_{col}$ , *negative skin friction* terbangun didalam kolom. Sebesar 70 – 90% tegangan dipikul mengakibatkan penurunan tegangan pada lapisan tanah lunak sehingga menghasilkan penurunan tanah dan peningkatan daya dukung tanah



**Gambar 2. 5**  
***Negative Skin Friction* yang Terjadi**  
**pada KGM**

### 2.6.2 Load Transfer Platform (LTP)

*Load Transfer Platform* (LTP) merupakan material yang ditempatkan di bawah fondasi tiang pancang/kolom dalam hal ini Kolom *Grout* Modular (KGM) dimana *Load Transfer Platform* (LTP) ini bertujuan untuk mendistribusikan beban timbunan ke kolom yang menahan tegangan bawah tanah secara efisien. Desain *Load Transfer Platform* (Collin, 2004) didasarkan pada penggunaan lapisan penguat untuk membuat massa tanah menjadi lebih kaku. Metode ini mengansumsikan bahwa massa tanah diperkuat seperti balok untuk mentransfer beban dari tanah timbunan ke kolom-kolom dibawahnya. Tebal tipikal LTP adalah 0,6 meter sampai dengan 2 meter, tergantung dari beban, sudut friksi, dan jenis material. Kegunaan lain dari LTP adalah sebagai berikut.

1. Mempercepat penurunan konsolidasi tanah
2. Sebagai pengganti fondasi rakit, maupun *sloof*
3. Dapat digunakan sebagai bantalan pada tanah timbunan untuk menghindari maupun meminimalisir tekuk.

### 2.6.3 Metode Pelaksanaan Kolom Grout Modular

Berikut metode pelaksanaan kolom grout modular :

1. Pengeboran dilakukan dengan membuat lubang dengan diameter kecil (320 mm – 420 mm) menggunakan spesial *displacement* auger
2. Material grout dipompa dengan low pressure max 5 Mpa
3. Penarikan alat perlahan dilakukan bersamaan dengan rotasi dari rod pengeboran untuk membentuk kolom atau tidak dengan rotasi untuk membentuk panel.

### 2.6.4 Perbaikan Tanah Menggunakan Kolom Grout Modular

Tanah Lunak memerlukan perhatian khusus, terutama pada konstruksi yang membutuhkan kualitas tanah yang baik (daya dukung yang memadai dan kompresibilitas rendah).

Kolom *Grout* Modular (KGM) adalah teknik untuk membuat fondasi dalam dari material pengikat (semen) dan tanah dengan cara menginjeksikan semen ke dalam tanah sehingga membentuk kolom – kolom di dalam tanah yang digunakan untuk stabilisasi tanah. Teknik KGM sangat sesuai untuk digunakan pada lokasi yang rentan terhadap gangguan lingkungan, seperti pada bandara yang sedang beroperasi atau pada bangunan / struktur yang mensyaratkan lingkungan kerja yang bersih (Sulfa dan Sa'adati, 2018). Sehingga pemilihan metode KGM sangat tepat untuk lingkungan yang sensitif yang mensyaratkan getaran dan kebisingan yang rendah, dan mengharuskan dampak lingkungan yang rendah. Teknik pengerjaan KGM dapat diilustrasikan dengan menggunakan Gambar 2.5.



**Gambar 2. 6**  
**Instalasi KGM menggunakan Metode**  
***Lateral Displacement***

Pemilihan Kolom Grout Modular sebagai metode perbaikan tanah didasarkan pada persyaratan khusus terhadap lingkungan, sebagai berikut:

1. Perbaikan tanah tidak menyebabkan getaran pada saat pelaksanaan pekerjaan sekaligus menghasilkan

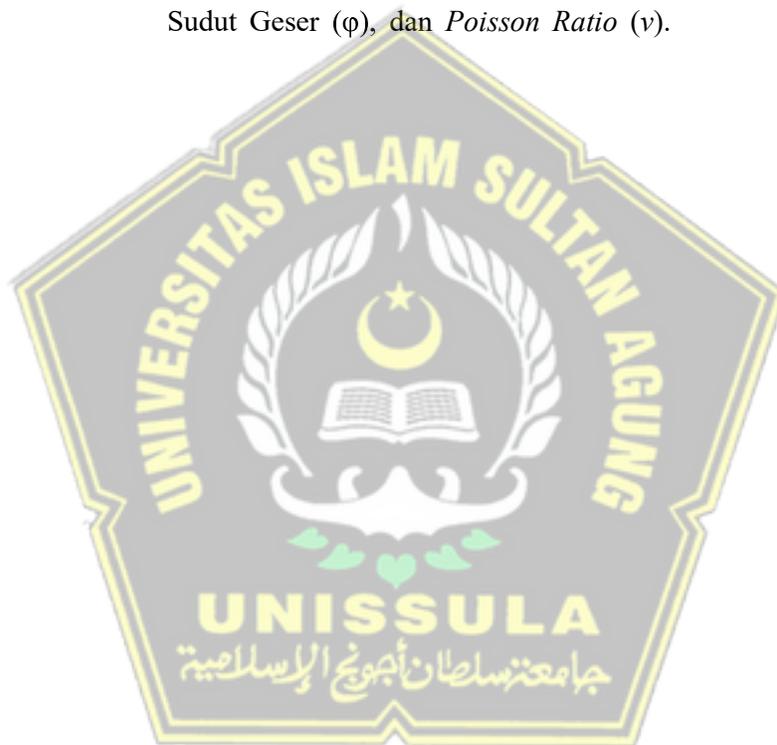
- dampak lingkungan yang minimal pada kondisi sekitar
2. Perbaikan tanah tidak menghasilkan jumlah residu / sisa material yang besar selama instalasi yang mana dapat menciptakan masalah pembuangan.
  3. Perbaikan tanah tidak memerlukan *water-jetting*, udara terkompresi tekanan tinggi (*high pressure compressed air*) atau segala bentuk pencampuran tanah secara mekanik yang dapat mengganggu kondisi tanah yang ada pada saat instalasi seperti dalam teknik *Deep Soil Mixing* atau *Pressure / Jet Grouting*.
  4. Tidak membutuhkan surcharge / preloading pada kasus PVD
  5. Proses pengerjaan / instalasi yang relatif cepat dibanding teknik lain dengan rate installation sebesar 500 – 750 lm/shift/rig.

Konsep desain dari Kolom Grout Modular (KGM) sendiri adalah perpindahan vertikal ( $u_{soil}$ ) atau penurunan tanah ( $\delta_{soil}$ ) terjadi melalui proses konsolidasi sebagai akibat adanya transfer tegangan ke dalam tanah ( $\sigma_{soil}$ ) melalui lapisan distribusi beban. Sebagai akibat dari penurunan konsolidasi, tegangan ditransfer dari tanah sekitarnya ke dalam kolom. Dikarenakan  $u_{soil} > u_{col}$ , *negative skin friction* terbangun di dalam kolom. Sebesar 70 – 90% tegangan dipikul mengakibatkan penurunan tegangan pada lapisan tanah lunak sehingga menghasilkan penurunan tanah dan peningkatan daya dukung tanah (Nanda dan Wahyudi, 2017).

#### 2.6.5 Pemodelan Kolom Grout Modular pada Program Numerik

Pemodelan Kolom Grout Modular pada Tugas Akhir ini menggunakan 2 tipe pemodelan kolom grout modular yang berbeda, yang pertama memodelkan kolom grout modular kedalam tipe *plate* dimana tipe ini mengasumsikan

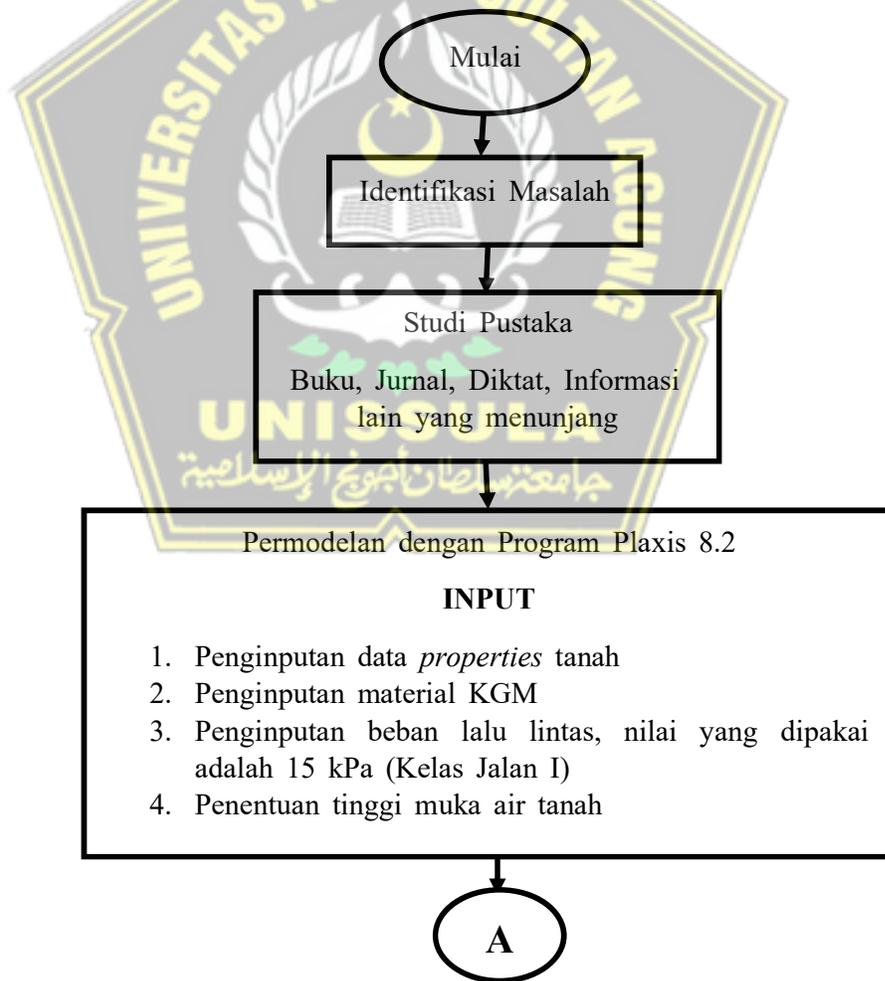
KGM memiliki kekakuan lentur yang signifikan dan kekakuan normal. Sifat – sifat material dari elemen pelat diatur dalam kumpulan data material. Parameter yang paling penting adalah kekakuan lentur (EI) dan kekakuan aksial (EA). yang kedua memodelkan kolom grout modular kedalam tipe *cluster* dimana tipe ini mengansumsikan KGM memiliki sifat-sifat seperti tanah. Parameter yang digunakan dalam pemodelan ini adalah Berat jenis ( $\gamma$ ), Permeabilitas (k), Modulus Elastisitas (E), Kohesi (c), Sudut Geser ( $\phi$ ), dan *Poisson Ratio* ( $\nu$ ).

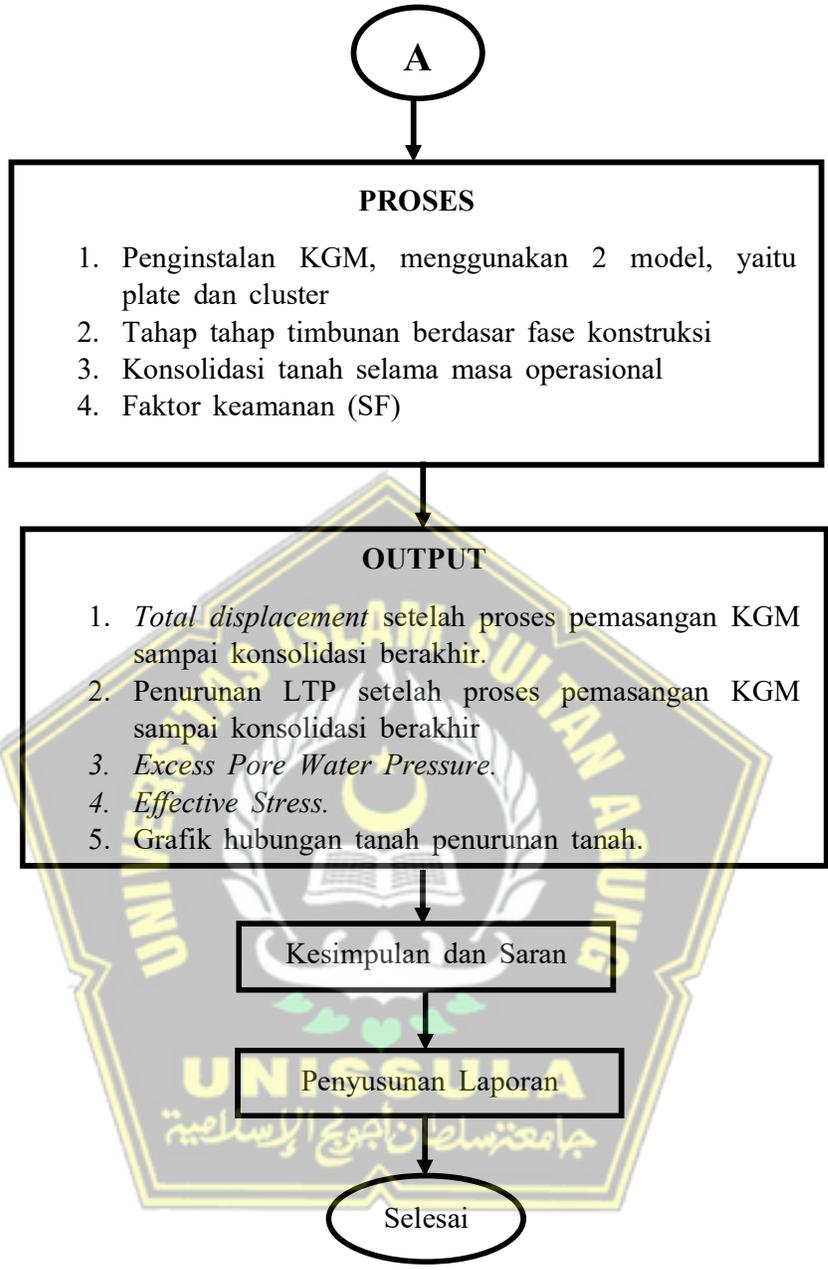


## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Pendahuluan

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan permodelan yang digunakan untuk menganalisis atau menyelidiki hasil *total displacement* pada tanah, tekanan air pori berlebih (*Excess Pore Water Pressure*), tegangan efektif (*Effective Stresses*), penurunan pada *Load Transfer Platform (LTP)* pada Kawasan jalan akses *Pick Up Zone* Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang. Permodelan struktur tersebut menggunakan program aplikasi *Plaxis 8.2*. Diagram alir dalam Tugas Akhir ini disajikan pada gambar 3.1.





**Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian**

## **3.2. Identifikasi Masalah**

### **3.2.1. Pengumpulan Data**

Tugas Akhir ini terdapat data yang dibagi menjadi 2 macam, yaitu: data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat secara langsung dari hasil pengamatan maupun wawancara. Data sekunder merupakan data yang didapat dari sumber-sumber literatur terkait dengan Kolom Grout Modular.

### **3.2.2. Sumber Data**

Tugas Akhir ini menggunakan data yang digunakan termasuk penyelidikan tanah didapat dari PT Puri Dimensi.

## **3.3. Studi Literatur**

Dasar-dasar teori yang diperoleh dengan mengumpulkan literatur-literatur yang relevan dalam pembahasan untuk memperjelas deskripsi masalah. Sumber pustaka yang didapatkan dari beberapa jurnal, buku panduan, buku diktat, makalah, pedoman peraturan maupun bacaan lain yang diperlukan untuk mendapatkan dasar teori yang diperlukan. Metode-metode perbaikan tanah lunak khususnya metode Kolom *Grout* Modular.

## **3.4. Permodelan Program Plaxis 8.2**

### **3.4.1. Teknik Pengolahan Data**

Data sekunder yang didapatkan dianalisis secara deskriptif, sehingga data tersebut diuraikan serta melakukan beberapa penyesuaian yang tetap mengacu pada data primer selanjutnya data yang belum didapatkan diasumsikan sendiri.

Penyelidikan tanah menghasilkan data tanah berupa data *bor log* kemudian dideskripsikan menurut klasifikasi, hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam mengidentifikasi jenis tanah setiap lapisannya. Deskripsi tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1**  
**Deskripsi Data Tanah**

BH-01			
Kedalaman (m)	NSPT	Konsistensi	Deskripsi
0		Medium Stiff	Medium Stiff Clay
1			
2			
3			
4	8		
5		Very Soft	Very Soft Clay
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20	1	Medium Stiff	Medium Stiff Clay
21			
22			
23			
24	7		
25		Very Stiff	Very Stiff Clay
26			
27	19		

**Tabel 3. 2**  
**Parameter Tanah**

No	Konsistensi	Kedalaman (m)	N-SPT	Model	Tipe	Cc	Cs	$\gamma_{\text{Unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E <sub>ref</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	v	C <sub>ref</sub> (Cu)	$\phi$ (°)	$\psi$
1	Medium Stiff Clay	0 - 4	8	MC	Tak Terdrainase	-	-	16	17	10000	0,35	15	25	0
2	Very Soft Clay	4 - 20	1	MC	Tak Terdrainase	0,58	0,098	14	15	-	0,35	10	10	0
3	Medium Stiff Clay	20 - 24	7	MC	Tak Terdrainase	-	-	16	17	8000	0,35	10	15	0
4	Very Stiff Clay	24 - 27	19	MC	Tak Terdrainase	-	-	18	19	18000	0,35	25	30	0

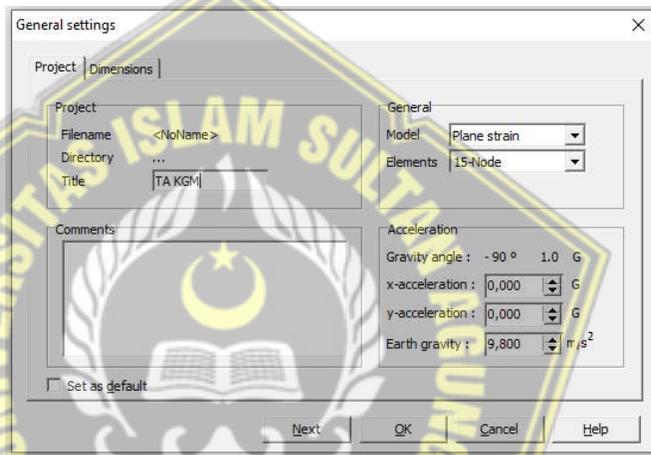
Dari analisis nantinya dapat diketahui besarnya penurunan tanah dan lamanya penurunan tanah. Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a) Pendekatan teoritis tentang permasalahan penurunan.
- b) Perumusan masalah dan pengumpulan data yang diperlukan.
- c) Menganalisis perhitungan penurunan konsolidasi dengan beberapa percobaan pengisian material dengan parameter yang berbeda dengan mengacu pada rumus tinjauan pustaka yang menjadi dasar masalah penelitian.
- d) Menarik kesimpulan.

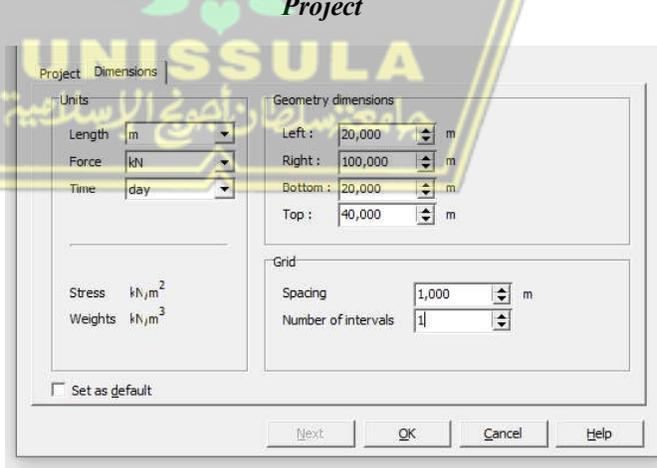
Langkah-langkah analisis menggunakan Program Plaxis v 8.2 adalah sebagai berikut:

➤ **Plaxis Input**

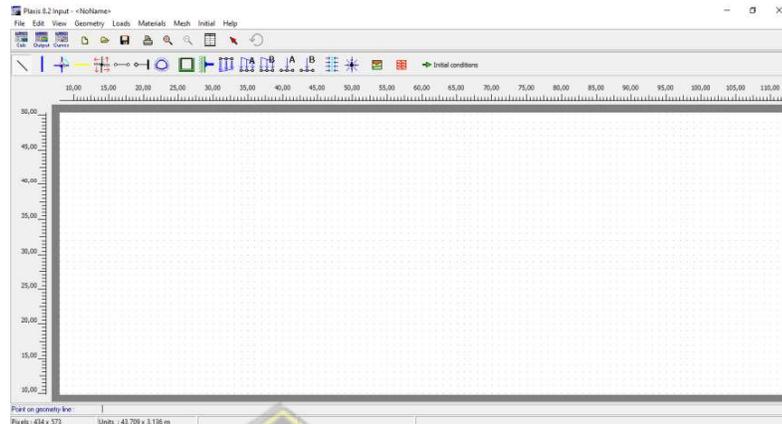
Klik dua kali icon *Plaxis Input* Program versi 8.2 untuk menjalankannya. Akan muncul *Create/Open Project*, pilih *New Project* pada kotak Open dan klik OK. Jendela pengaturan umum yang terdiri dari dua halaman tab (*Tab General Project* dan *Dimension Table*) akan muncul, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2, Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



**Gambar 3. 3: Kotak Dialog *General Setting – Tab Project***



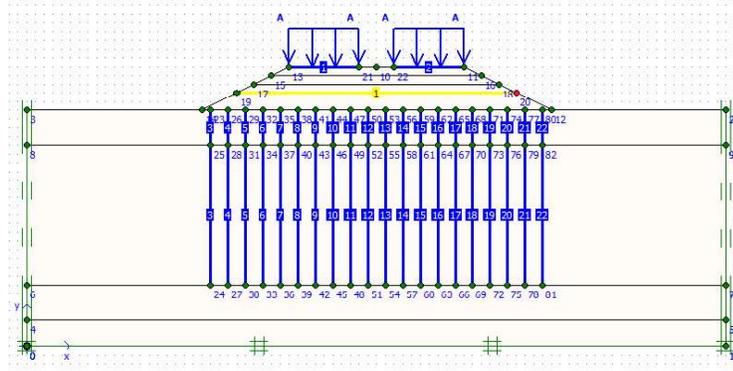
**Gambar 3. 2 Kotak Dialog *General Setting – Tab Dimension***



**Gambar 3. 4: Tampilan Jendela *Plaxis v 8.2***

Setelah melakukan pengisian material dalam *General Setting* maka muncul gambar dengan koordinat sumbu X arah horizontal dan sumbu Y arah vertikal. Untuk membuat objek gambar dapat dipilih dari tombol ikon dalam *toolbar* atau menu *Geometry*.

Dalam melakukan pembuatan permodelan geometri penampang melintang dapat menggunakan *toolbar geomtery line* atau memasukkan koordinat pada *point on geometry line* pada sisi bawah halaman tampilan pada Plaxis v 8.2. Setelah itu, pemberian batas sumbu pada hasil permodelan penampang melintang, pemberian batas menggunakan *Standart Fixties* (kekakuan standar) yang menjadikan permodelan lapisan tanah terepit sempurna, dan memungkinkan bagian samping kanan-kiri untuk tidak bergerak ( $U_x = 0$ ;  $U_y = \text{bebas}$ ). Bentuk permodelan seperti pada gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3. 5: Permodelan setelah Jepit Standar (*Standard Fixties*)

### 3.4.2. Penginputan Data

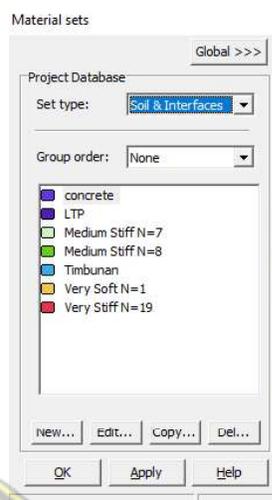
Penggunaan program *Plaxis 8.2* memerlukan input beberapa parameter yang harus dimasukkan untuk mengetahui data profil tanah yang akan dianalisis yaitu:

#### a. Tanah Asli, Timbunan dan LTP

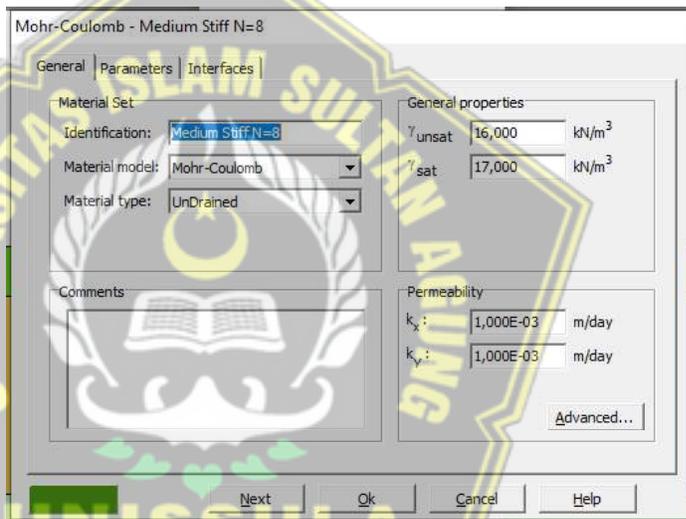
Model tanah yang dipilih adalah Mohr-Coulumb dengan parameter yang dibutuhkan:

- Berat volume tanah *saturated soil weight*
- Berat volume tanah *non saturated soil weight*
- Permeabilitas arah horizontal (  $k_x$  )
- Permeabilitas arah vertikal (  $k_y$  )
- Modulus elastisitas (*young modulus*) (  $E$  )
- *Poisson's ratio*
- Kohesi (  $C$  )
- Sudut geser (  $\emptyset$  )
- Sudut dilatasi (  $\psi$  )

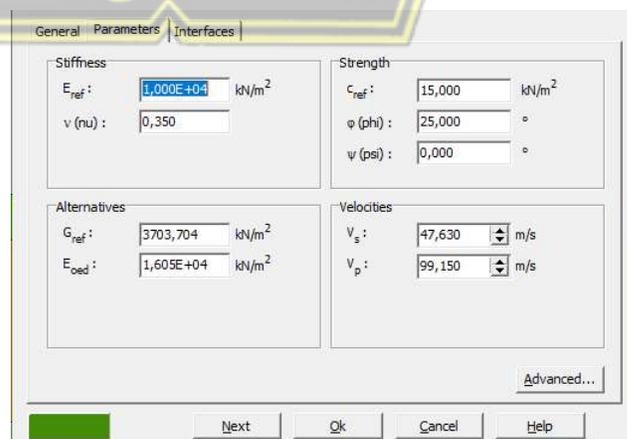
Penambahan material lapisan tanah sesuai yang telah ditentukan sebelumnya pada *Material Sets*. Kemudian data digeser setiap lapisan dari jendela *Material Sets* ke arah lapisan tanah sesuai data yang didapatkan pada Bandara Internasional Ahamad Yani Semarang. Terlihat seperti pada Gambar 3.6, Gambar 3.7 Gambar 3.8 dan Gambar 3.9.



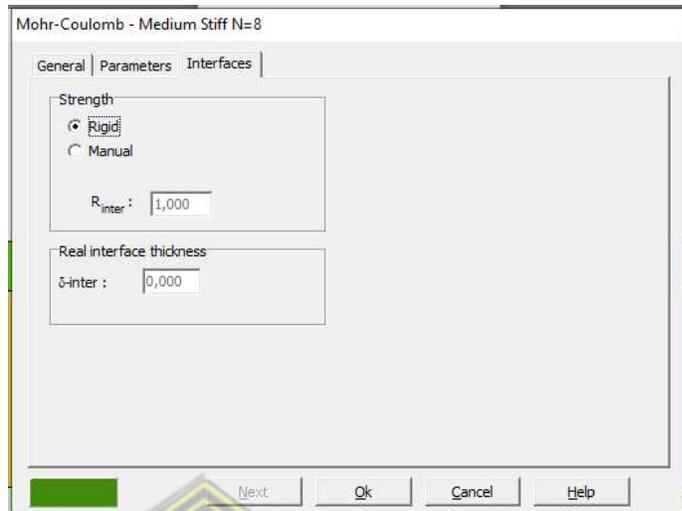
Gambar 3. 6: *Material Sets*



Gambar 3. 8: *Properties Lapisan Tanah – Tab General*



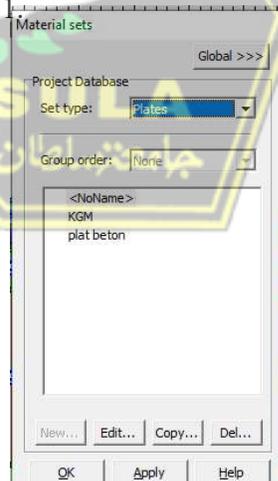
Gambar 3. 7: *Properties Lapisan Tanah – Tab Parameter*



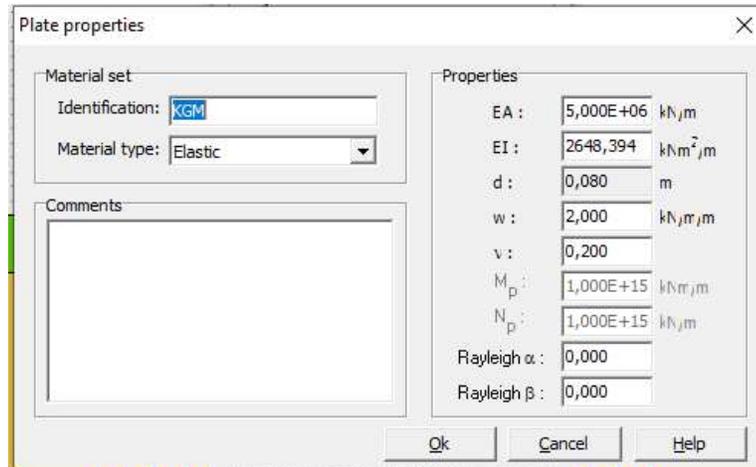
**Gambar 3. 9: Properties Lapisan Tanah – Tab Interface**

b. Material Kolom *Grout* Modular (KGM)

Material yang digunakan dalam KGM adalah material *grout* semen dengan penginputan data *properties* material kekakuan elastis (EI) dan kekakuan normal (EA) untuk tipe *plate* dan tipe *cluster* sama seperti penginputan data *properties* tanah. Tampilan *material sets* KGM seperti disajikan dalam Gambar 3.10 dan Gambar 3.11



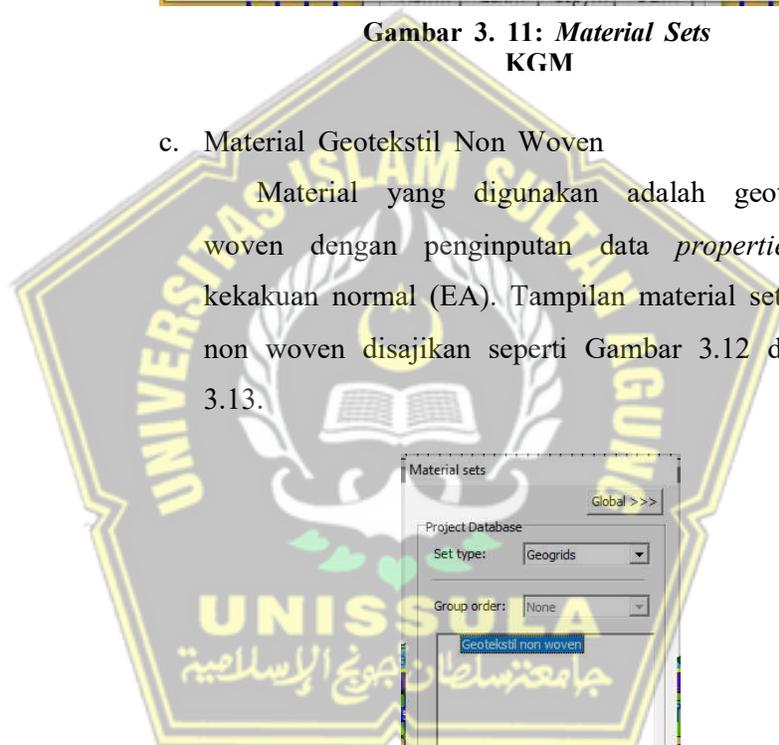
**Gambar 3. 10 Properties KGM**



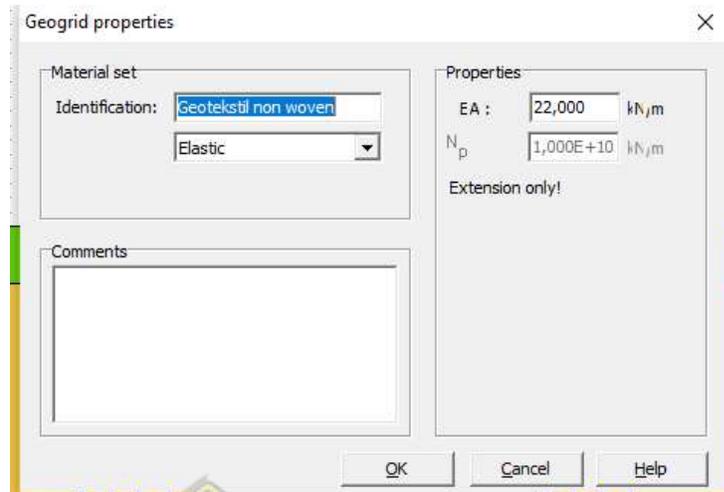
**Gambar 3. 11: Material Sets KGM**

c. Material Geotekstil Non Woven

Material yang digunakan adalah geotekstil non woven dengan penginputan data *properties* material kekakuan normal (EA). Tampilan material sets geotekstil non woven disajikan seperti Gambar 3.12 dan Gambar 3.13.



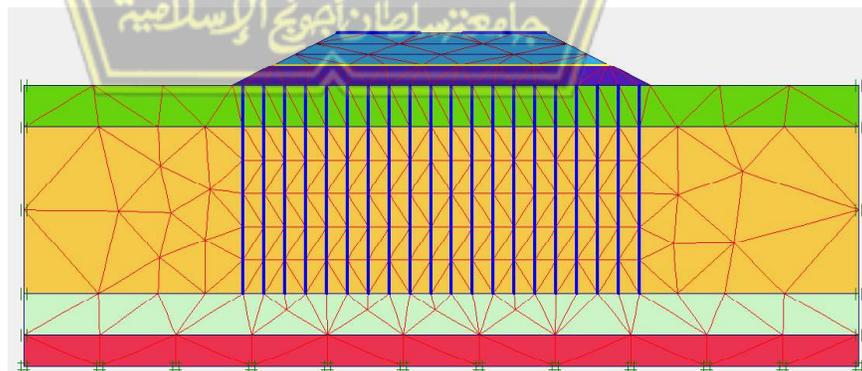
**Gambar 3. 12 Properties Geotekstil**



**Gambar 3. 13: Material Sets Geotekstil**

d. Penyusunan Jaringan Elemen (*Mesh Generation*) pada program Plaxis 8.2

Menyusun jaringan elemen (*Mesh Generation*) merupakan tahap yang berfungsi untuk membagi tanah menjadi elemen-elemen diskret, menggunakan *toolbar Generate Mesh* . Tahap ini permodelan material dilakukan *mesh fine*, setelah itu klik *update*. Tampilan *General Mesh* untuk permodelan KGM seperti pada Gambar 3.14



**Gambar 3. 14: Mesh Generation Potongan Melintang KGM**

e. Kondisi Awal (*Initial Condition*)

*Initial condition* merupakan kondisi yang menentukan keringgian muka air tanah (*phreatic line*) yang digunakan untuk menganalisa besarnya air tanah. Diketahui berat jenis air tanah  $10 \text{ kN/m}^3$  dan ketinggian muka air tanah terletak pada elevasi muka tanah asli yang dipakai dalam permodelan *plaxis 8.2*.

Model geometri ditentukan terlebih dahulu kondisi awalnya, kondisi awal memiliki beberapa cara diantaranya:

➤ Cara 1 penentuan muka air tanah (Phreatic Level)

Klik toolbar *phreatic level* , untuk memodelkan ketinggian muka air tanah, pada permodelan tugas akhir ini memiliki ketinggian muka air tanah terletak 2 meter dibawah permukaan tanah asli, bentuk muka air tanah seperti yang disajikan dalam Gambar 3.15 berikut.

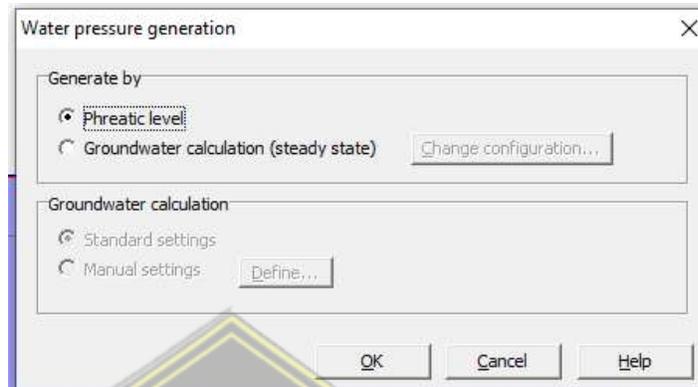


Gambar 3. 15: Ketinggian Permukaan Air Tanah (*Phreatic Level*)

➤ Cara 2 menghidupkan tekanan air pori (*Generate Water Pressure*)

Cara untuk menghidupkan tekanan air pori (*Generate Water Pressure*) dengan menekan toolbar , setelah itu akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar 3.16 berikut, selanjutnya klik OK pada kotak dialog.

Berikutnya akan muncul jendela seperti pada Gambar 3.17 dan kemudian klik Update.



Gambar 3. 17: *Phreatic Level*

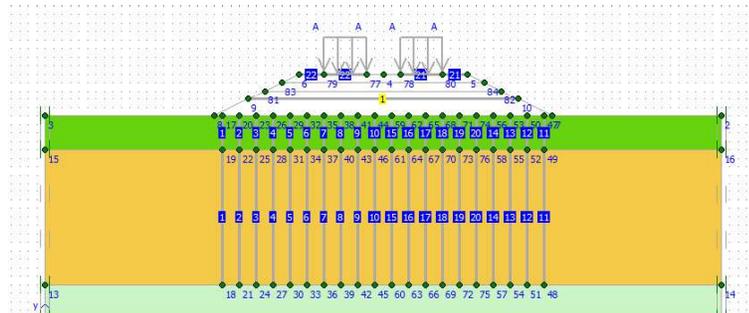


Gambar 3. 16: Tekanan Air Aktif (*Active Pore Water Pressure*)

- Cara 3 mengaktifkan konfigurasi geometri (*Active Geometry Mode*)

Permodelan geometri mempunyai beberapa unsur yang awalnya tidak aktif, akibatnya mode ini harus diaktifkan terlebih dahulu. Mode *default* Plaxis menonaktifkan semua unsur model yang digariskan pada tahap perisapan geometri sebelumnya. Guna mengaktifkan komponen konfigurasi geometri dengan klik *toolbar* , selanjutnya nonaktifkan dengan

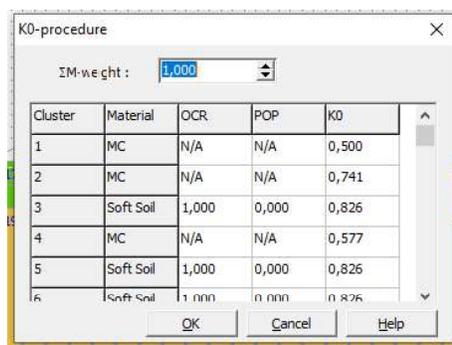
mengeklik timbunan dan beban di atasnya sehingga berwarna putih seperti yang disajikan pada Gambar 3.18.



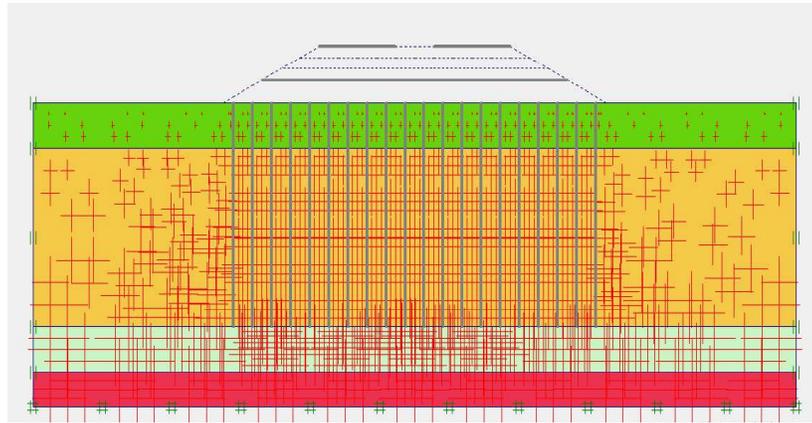
**Gambar 3. 18: Konfigurasi Geometri Aktif**

- Cara 4 mengaktifkan tekanan tanah efektif (*Generate Initial Stress*)

Tegangan awal dipengaruhi dari berat material dan sejarah formasinya. Status tegangan umumnya ditandai dengan tegangan vertikal awal,  $S_{n,0}$  yang disambungkan oleh koefisien tekanan bumi lateral  $K_0$ . Untuk mengaktifkan tegangan awal (*Initial Stress Generation  $K_0$  - Procedure*) dengan cara klik ikon . Dengan  $K_0$ -*Procedure* yang disajikan pada Gambar 3.19, dan untuk hasil *Generate Initial Stress* seperti pada Gambar 3.20.



**Gambar 3. 19:  $K_0$  - Procedure**



**Gambar 3. 20: Generate Initial Stress**

### 3.4.3. Pehitungan

Selesai membuat model geometri dan memasukkan parameter tanah ke dalam model yang dibuat, maka kemudian dilakukan pemilihan tipe perhitungan. Pada program perhitungan mendefinisikan beban dinamis dengan mengaktifkan perpindahan dan beban sebagai fungsi dari waktu dengan menatur faktor-faktor pengali yang bersangkutan.

### 3.4.4. Hasil Analisis Permodelan Menggunakan Plaxis 8.2

Tujuan dilakukan analisis adalah menentukan besar penurunan pada *Load Transfer Platform* (LTP) yang kemudian akan berpengaruh pada tanah timbunan dan lapis pekerjaan di atasnya, sehingga perlu diperhatikan *total displacement*, tekanan air berlebih, tegangan efektif yang terjadi serta besar penurunan LTP terhadap waktu pada masa konstruksi maupun konsolidasi.

### 3.5. Kesimpulan dan Saran

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

### 3.6. Penyusunan Laporan

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



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. Tinjauan Umum

Tugas Akhir pada bab ini adalah menganalisis data yang didapatkan dari hasil pengolahan data tanah Bandara Internasional Ahmad Yani Semarang. Analisis penurunan tanah menggunakan program *plaxis 8.2* yang bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan tanah (*displacement*), tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*), tegangan efektif (*effective stress*), faktor keamanan (*safety factor*)



Gambar 4.1: Potongan Melintang Kolom Grout Modular

## 4.2. Parameter Desain

### 4.2.1. Parameter Kolom *GROUT* Modular

Tabel 4.1  
Parameter Kolom *GROUT* Modular

No	Jenis Material	Model	Type	$\gamma$ Unsat (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ sat (kN/m <sup>3</sup> )	Eref (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	Cref (Cu)	$\phi$ (°)	$\psi$	EA (kN/m <sup>2</sup> )	EI (kN/m <sup>2</sup> )	d (m)	w (kN/m)
1	Plate	Elastic	-	-	-	-	0,35	1,5	25	0	5,00E+06	2,65E+03	0,4	2
2	Cluster	MC	Tak Terdrainase	16	22	-	0,3	8,5	30	0	-	-	-	-

Parameter Kolom *GROUT* Modular dibagi menjadi 2 yaitu tipe *plate* dan tipe *cluster*, disajikan dalam tabel 4.1

### 4.2.2. Parameter Timbunan dan Perkerasan

Parameter untuk tanah timbunan dan material perkerasan untuk permodelan Kolom *GROUT* Modular ini ditunjukkan pada tabel 4.2 dan 4.3

Tabel 4.2  
Parameter Timbunan dan Load Transfer Platform

No	Konsistensi	Model	N-SPT	Type	$\gamma$ Unsat (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ sat (kN/m <sup>3</sup> )	Eref (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	Cref (Cu)	$\phi$ (°)	$\psi$
1	LTP	MC	-	Terdrainase	18	19	3,00E+04	0,35	1	35	0
2	Timbunan	MC	11	Tak Terdrainase	17	19	10000	0,3	10	25	0

**Tabel 4.3**  
**Parameter Beton**

No	Jenis Material	Model	EA (kN/m <sup>2</sup> )	EI (kN/m <sup>2</sup> )	d (m)	w (kN/m)	v
1	Concrete	Elastic	2,60E+04	13,9	0,08	19	0,20

#### 4.2.3. Parameter Tanah

Parameter tanah dasar dari permodelan Kolom *Grout* Modular pada jalan akses *Pick Up Zone* Bandara Internasional

**Tabel 4.3**  
**Parameter Tanah Dasar**

No	Konsistensi	Kedalaman (m)	N-SPT	Model	Tipe	Cc	Cs	$\gamma$ Unsat (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ sat (kN/m <sup>3</sup> )	Eref (kN/m <sup>2</sup> )	v	Cref(Cu)	$\phi$ (°)	$\psi$
1	Medium Stiff Clay	0 - 4	8	MC	Tak Terdrainase	-	-	16	17	10000	0,35	15	25	0
2	Very Soft Clay	4 - 20	1	MC	Tak Terdrainase	0,58	0,098	14	15	-	0,35	10	10	0
3	Medium Stiff Clay	20 - 24	7	MC	Tak Terdrainase	-	-	16	17	8000	0,35	10	15	0
4	Very Stiff Clay	24 - 27	19	MC	Tak Terdrainase	-	-	18	19	18000	0,35	25	30	0

Ahmad Yani Semarang ditunjukkan pada Tabel 4.4

### 4.3. Gambaran Permodelan Kolom *Grout* Modular

Perbaikan tanah menggunakan Kolom *Grout* Modular (KGM) adalah pembuatan kolom dari campuran material beton yang di *grout* ke dalam tanah. Prinsip kerjanya hampir sama dengan metode *Deep Soil Mixing* (DSM), untuk perbedaannya terletak pada proses instalasinya. Instalasi KGM dilaksanakan menggunakan auger khusus, ketika auger masuk ke dalam tanah, jadi tanah akan termampat ke arah samping akibat desakan auger, sehingga membentuk lubang dengan diameter sesuai auger. Pada DSM, dapat menyebabkan perubahan sifat mekanis pada tanah yang diakibatkan oleh pencampuran tanah material *grout* dengan material tanah asli. Material *grout* yang akan diinstall untuk mengisi lubang yang terbentuk oleh bor saat diangkat.

Untuk menghasilkan material campuran yang terdiri dari *slurry* semen dan tanah maka KGM diinstallkan dalam tanah. Perbaikan tanah menggunakan metode KGM digunakan karena dapat meningkatkan kepadatan tanah disekitar, mengakibatkan kekuatan dan daya dukung tanah juga dapat meningkat. Hasil dari perbaikan tanah menggunakan metode Kolom *Grout* Modular (KGM) ini adalah kolom dengan kapasitas tinggi dan tidak menghasilkan material buangan di lapangan. Sifat dari Kolom *Grout* Modular (KGM) yaitu semi rigid dimana untuk memperkuat modulus kekakuan tanah asli (Esoil) maka KGM dirancang dengan spesifik modulus kekakuan (Ecol)

### 4.4. Tahap Perhitungan

Tahap perhitungan sepanjang masa konstruksi terdiri dari 12 tahap (*phase*), meliputi tahap masa konstruksi dan tahap masa konsolidasi hingga *minimum pore pressure*, yang mana tahap konstruksi timbunan dilakukan sepanjang 7 hari dan 28 hari untuk perkerasan jalan, waktu konsolidasi konstruksi selama 1 tahun, 5 tahun, 10 tahun dan 50 tahun. Phase perhitungan ini ditunjukkan pada Tabel 4.5.

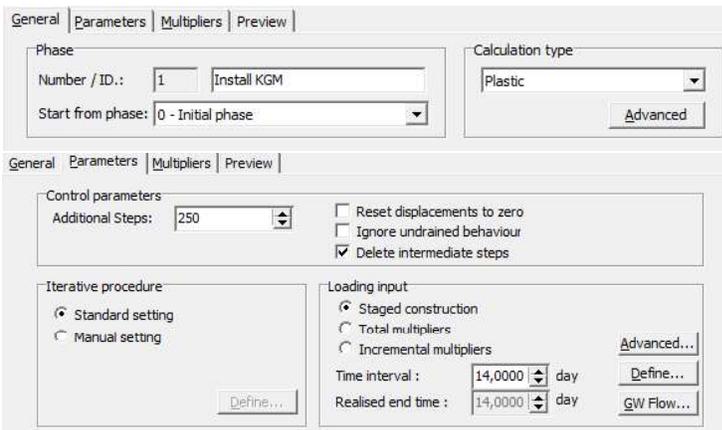
**Tabel 4. 4**  
**Phase Perhitungan**

Identification	Phase No.	Start From	Calculation	Loading Input	Time
Initial Phase	0	0	N/A	N/A	0 day
Instal KGM	1	0	Plastic	Staged Conctruction	14 day
LTP	2	1	Plastic	Staged Conctruction	9 day
Timbunan 1	3	2	Plastic	Staged Conctruction	7 day
Timbunan 2	4	3	Plastic	Staged Conctruction	7 day
Timbunan 3	5	4	Plastic	Staged Conctruction	7 day
Perkerasan Jalan	6	5	Plastic	Staged Conctruction	28 day
Beban Lalulintas	7	6	Plastic	Staged Conctruction	1 day
Konsolidasi 1 tahun	8	7	Consolidation	Staged Conctruction	365 day
Konsolidasi 5 tahun	9	8	Consolidation	Staged Conctruction	1825 day
Konsolidasi 10 tahun	10	9	Consolidation	Staged Conctruction	3650 day
Konsolidasi 50 tahun	11	10	Consolidation	Staged Conctruction	18250 day
SF KGM	13	1	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF LTP	14	2	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Timbunan 1	15	3	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Timbunan 2	16	4	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Timbunan 3	17	5	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Perkerasan Jalan	18	6	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Beban Lalulintas	19	7	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Konsolidasi 1 tahun	20	8	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Konsolidasi 5 tahun	21	9	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Konsolidasi 10 tahun	22	10	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day
SF Konsolidasi 50 tahun	23	11	Phi/c reduction	Incremental Multiplier	0 day

Berikut ini merupakan langkah-langkah proses kalkulasi *plaxis v.8.2*:

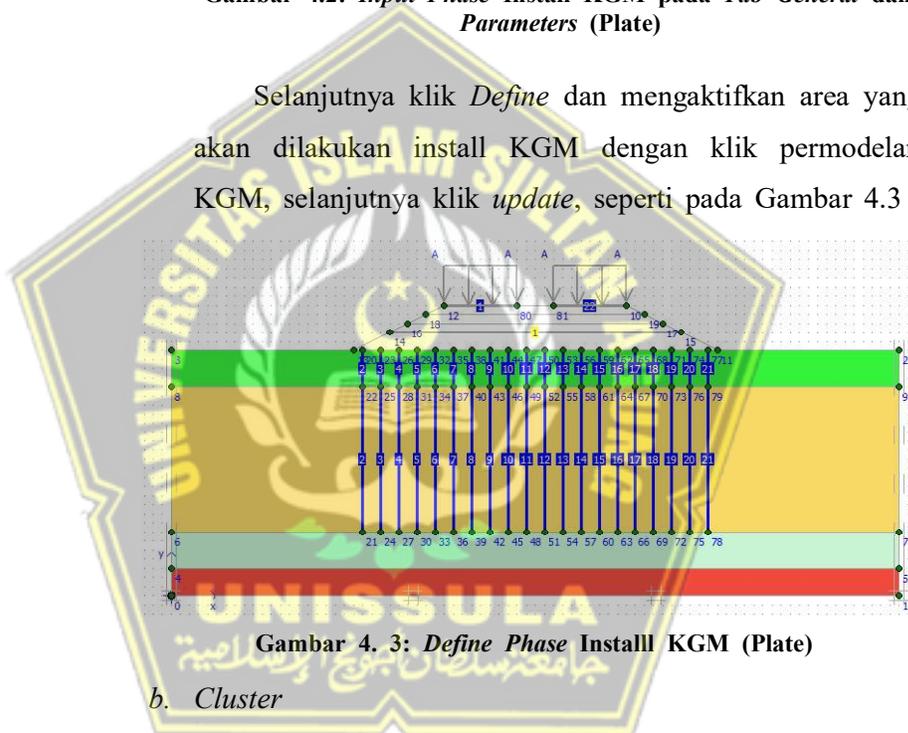
1. Phase 0 : Tahap awal (*Initial Phase*) adalah *default* dari program (Phase-0)
2. *Install KGM*
  - a. *Plate*

Tahapan *Install KGM* dilaksanakan selama 14 hari. Langkah-langkah sebagai berikut: beri judul *phase* pada kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih *Initial Phase*. Dengan jenis perhitungan (*Calculation Type*) analisa plastis (*Plastic*), lalu pilih *parameters*. Pada kotak dialog *paramaters*, masukkan interval waktu (*Time Interval*) yaitu 14 hari, lalu tentukan *define*, seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: *Input Phase Install KGM pada Tab General dan Parameters (Plate)*

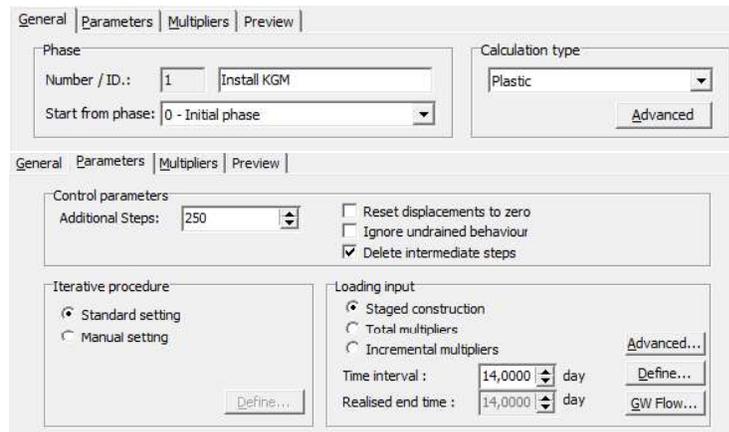
Selanjutnya klik *Define* dan mengaktifkan area yang akan dilakukan install KGM dengan klik permodelan KGM, selanjutnya klik *update*, seperti pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3: *Define Phase Installl KGM (Plate)*

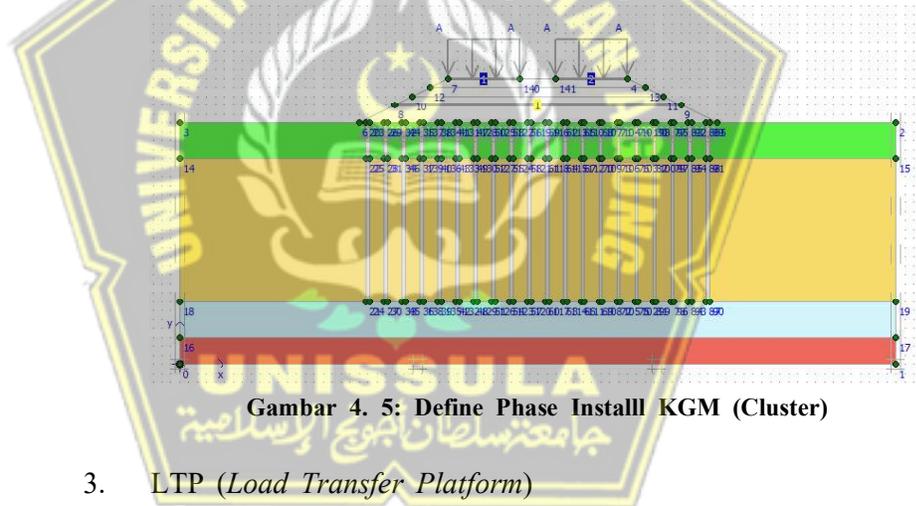
b. *Cluster*

Tahapan Install KGM dilaksanakan selama 14 hari. Langkah-langkah sebagai berikut: beri judul *phase* pada kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih *Initial Phase*. Dengan jenis perhitungan (*Calculation Type*) analisa plastis (*Plastic*), lalu pilih *parameters*. Pada kotak dialog *paramaters*, masukkan interval waktu (*Time Interval*) yaitu 14 hari, lalu tentukan *define*, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4: *Input Phase Install KGM* pada *Tab General* dan *Parameters (Plate)*

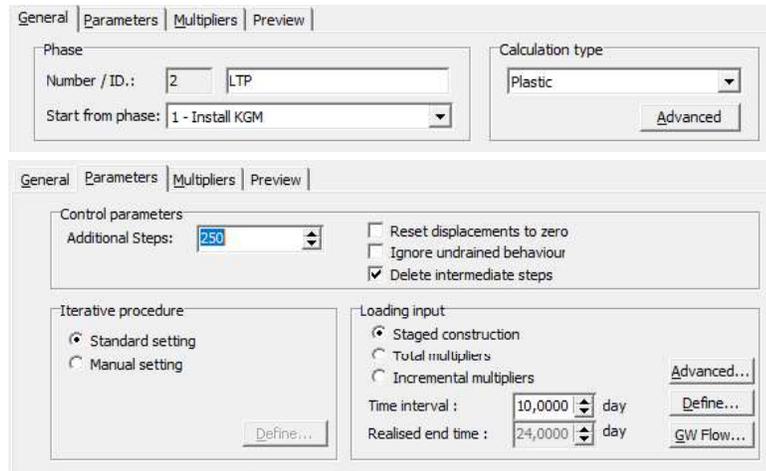
Selanjutnya klik *Define* dan mengaktifkan area yang akan dilakukan install KGM dengan klik permodelan KGM, selanjutnya klik *update*, seperti pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5: *Define Phase Installl KGM (Cluster)*

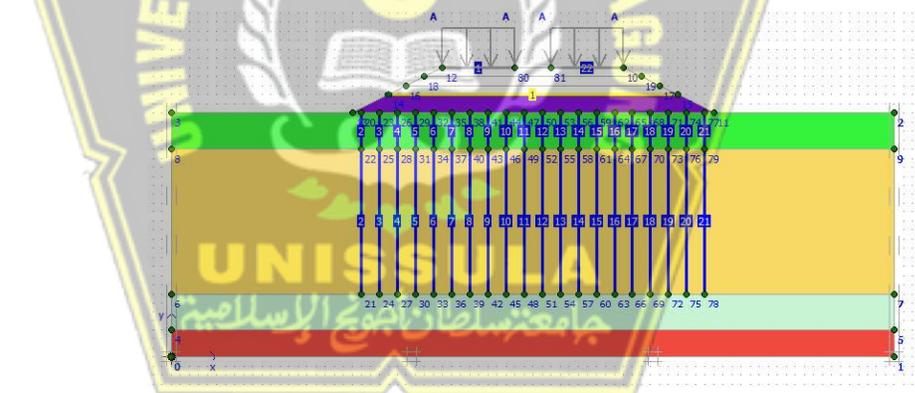
### 3. LTP (*Load Transfer Platform*)

Tahap timbunan LTP (*Load Transfer Platform*) mempunyai ketinggian 2 meter dan dilapisi bahan geotekstil nonwoven dilaksanakan selama 9 hari. Langkah-langkahnya sebagai berikut, berikan judul phase pada kolom number/id, pada pilihan kolom *start from phase* pilih *Install KGM*. Menggunakan jenis perhitungan (*calculation type*) analisa plastis (*plastic*), selanjutnya pilih *parameters*. Pada kotak dialog *parameters*, masukan interval waktu (*Interval Time*) yaitu 9 hari, lali tentukan *define*, seperti pada Gambar 4.6



**Gambar 4. 6:** *Input Phase LTP (Load Transfer Platform) pada Tab General dan Parameters*

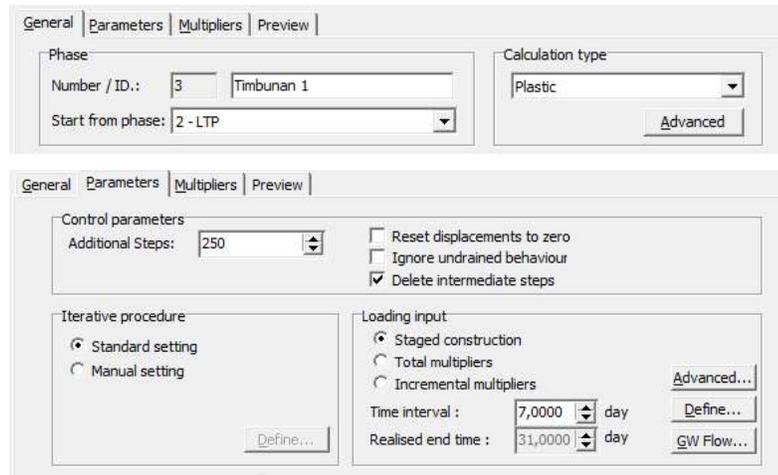
Selanjutnya klik *Define* dan mengaktifkan area yang akan dilakukan timbunan LTP dan pemasangan Geotekstil Nonwoven dengan klik lapisan LTP, selanjutnya klik *update*, seperti pada Gambar 4.7



**Gambar 4. 7:** *Define Phase LTP (Load Transfer Platform)*

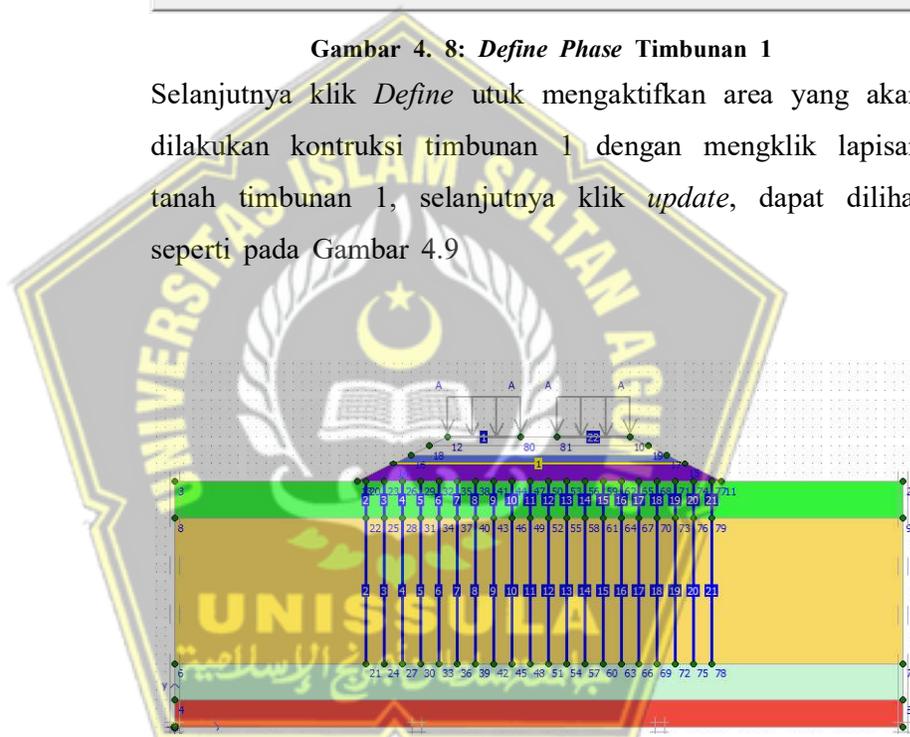
#### 4. Timbunan 1

Tahap timbunan 1 dengan ketinggian 1 meter pelaksanaan sepanjang 7 hari. Tahap-tahap yaitu, beri judul pada kolom number/id, pada pilihan *start from phase* pilih LTP. Dengan jenis perhitungan analisa plastis, selanjutnya pilih *parameters*. Pada kotak dialog *Parameters* masukan interval waktu 7 hari, lalu tentukan *define*, seperti pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8: *Define Phase Timbunan 1*

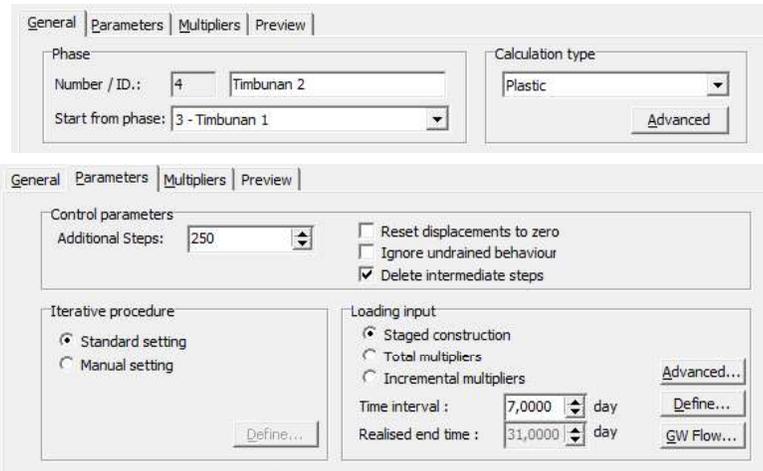
Selanjutnya klik *Define* untuk mengaktifkan area yang akan dilakukan konstruksi timbunan 1 dengan mengklik lapisan tanah timbunan 1, selanjutnya klik *update*, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.9



Gambar 4.9: *Input Phase Timbunan 1 pada Tab General dan Parameters*

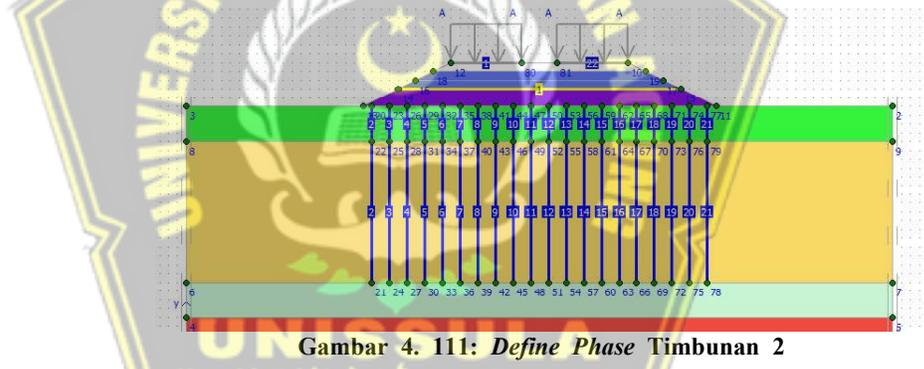
## 5. Timbunan 2

Tahap timbunan 2 dengan ketinggian 1 meter pelaksanaan sepanjang 7 hari. Tahap-tahap yaitu, beri judul pada kolom number/id, pada pilihan *start from phase* pilih timbunan 1. Dengan jenis perhitungan analisa plastis, selanjutnya pilih *parameters*. Pada kotak dialog *Parameters* masukan interval waktu 7 hari, lalu tentukan *define*, seperti pada Gambar 4.10



**Gambar 4. 10: Input Phase Timbunan 2 pada Tab General dan Parameters**

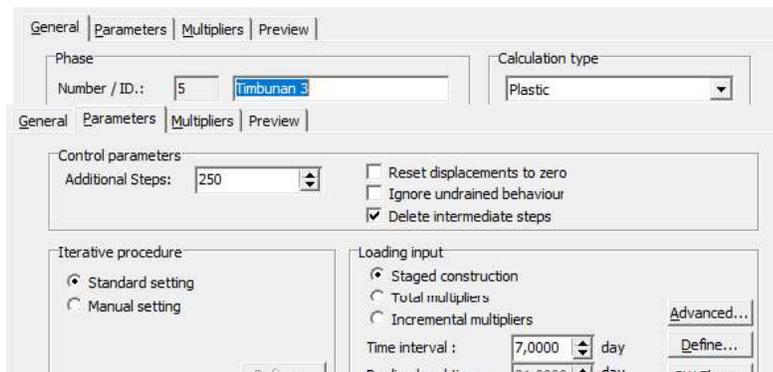
Selanjutnya klik *Define* untuk mengaktifkan area yang akan dilakukan konstruksi timbunan 2 dengan mengklik lapisan tanah timbunan 2, selanjutnya klik *update*, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.11



**Gambar 4. 11: Define Phase Timbunan 2**

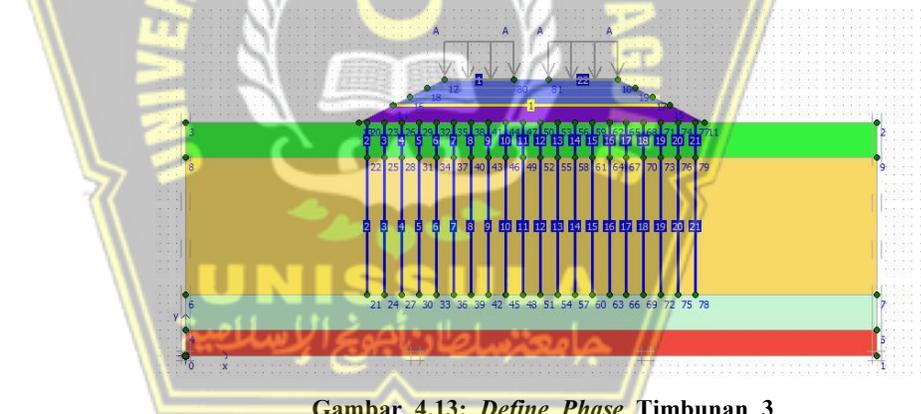
6. Timbunan 3

Tahap timbunan 3 dengan ketinggian 1 meter pelaksanaan sepanjang 7 hari. Tahap-tahap yaitu, beri judul pada kolom number/id, pada pilihan *start from phase* pilih timbunan 2. Dengan jenis perhitungan analisa plastis, selanjutnya pilih *parameters*. Pada kotak dialog *Parameters* masukan interval waktu 7 hari, lalu tentukan *define*, seperti pada Gambar 4.12



Gambar 4. 12: *Input Phase Timbunan 3 pada Tab General dan Parameters*

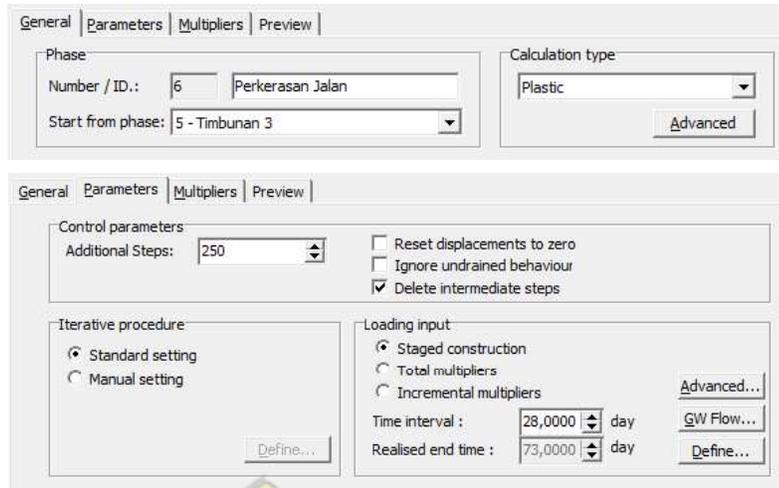
Selanjutnya klik *Define* untuk mengaktifkan area yang akan dilakukan konstruksi timbunan 3 dengan mengklik lapisan tanah timbunan 3, selanjutnya klik *update*, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.13



Gambar 4.13: *Define Phase Timbunan 3*

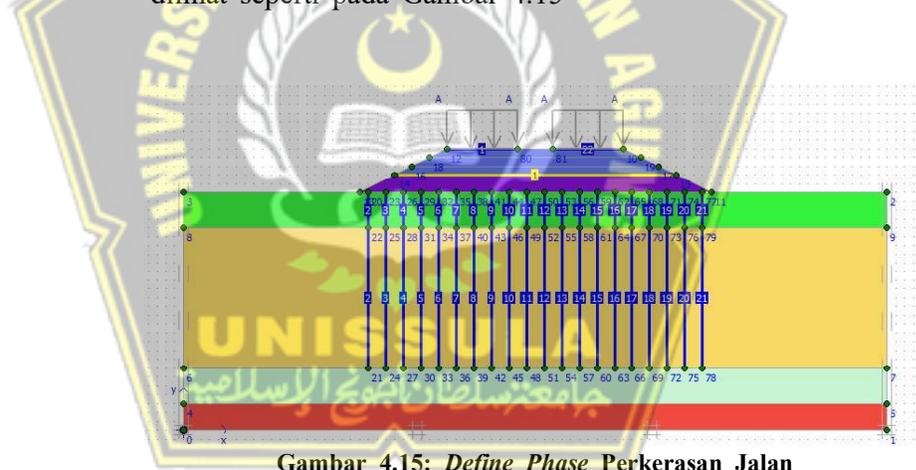
## 7. Perkerasan Jalan

Tahap perkerasan jalan dilaksanakan selama 28 hari. Langkah-langkahnya adalah, beri judul pada kolom number/id, dalam pilihan *start from phase* pilih timbunan 3. Jenis perhitungannya adalah analisa plastis, lalu pilih *parameters*. Pada kotak dialog *parameters* masukan interval waktu yaitu 28 hari, selanjutnya tentukan (*define*). Tahap terbut seperti pada Gambar 4.14



Gambar 4. 14: Input Phase Perkerasan Jalan pada Tab General dan Parameters

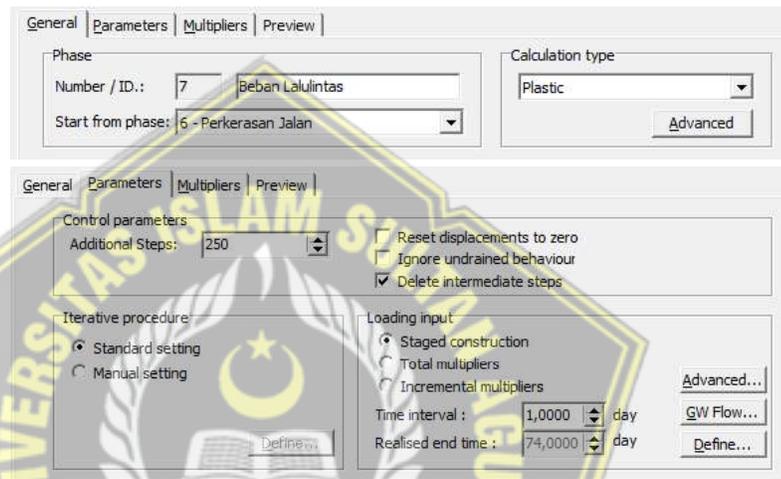
Selanjutnya klik *define* untuk mengaktifkan area yang akan dilakukan kontruksi perkerasan jalan dengan mengklik lapisan plat perkerasan jalan, selanjutnya klik *update*, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.15



Gambar 4.15: Define Phase Perkerasan Jalan

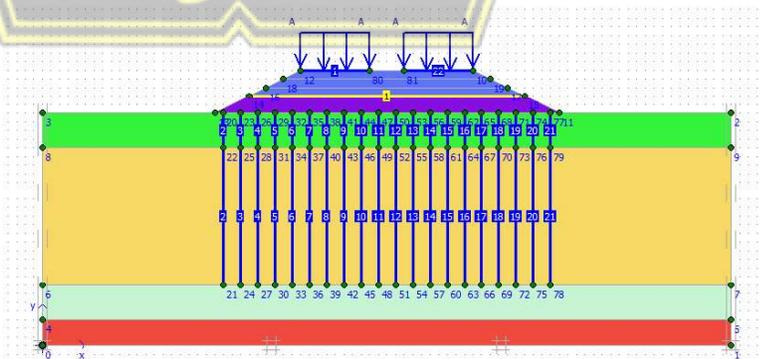
## 8. Beban Lalu Lintas

Tahap beban lalu lintas dilaksanakan selama 1 hari. Langkah-langkahnya adalah, beri judul pada kolom number/id, dalam pilihan *start from phase* pilih perkerasan jalan. Jenis perhitungannya adalah analisa plastis, lalu pilih *parameters*. Pada kotak dialog *parameters* masukan interval waktu yaitu 1 hari, selanjutnya tentukan (*define*). Tahap terbut seperti pada Gambar 4.16



Gambar 4.16: *Input Phase* Beban Lalu Lintas pada Tab General dan Parameters

Selanjutnya klik *define* untuk mengaktifkan area yang akan dilakukan kontruksi perkerasan jalan dengan mengklik beban lalu lintas, selanjutnya klik *update*, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17: *Define Phase* Beban Lalu lintas

## 9. Konsolidasi 1 Tahun

Tahapan konsolidasi 1 tahun dengan langkah sebagai berikut, beri judul *phase* pada kolom *number/id*, pada pilihan kolom *start from phase* pilih beban lalu lintas, untuk jenis perhitungan adalah analisa *consolidation*, selanjutnya pilih *parameters*, pada kotak dialog *parameters* masukan interval waktu yaitu 365 hari, selanjutnya klik next, tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.18.

The image shows two screenshots of a software interface. The top screenshot is the 'General' tab, showing 'Phase' information: 'Number / ID.: 8' and 'Konsolidasi 1 tahun', and 'Start from phase: 7 - Beban Lalulintas'. The 'Calculation type' is set to 'Consolidation'. The bottom screenshot is the 'Parameters' tab, showing 'Control parameters' with 'Additional Steps: 250'. Under 'Iterative procedure', 'Standard setting' is selected. Under 'Loading input', 'Staged construction' is selected, and 'Time interval' is set to '365,000 day'. There are also checkboxes for 'Reset displacements to zero', 'Ignore undrained behaviour', and 'Delete intermediate steps'.

**Gambar 4.18: Input Phase Konsolidasi 1 Tahun pada Tab General dan Parameters**

## 10. Konsolidasi 5 Tahun

Tahapan konsolidasi 5 tahun dengan langkah sebagai berikut, beri judul *phase* pada kolom *number/id*, pada pilihan kolom *start from phase* pilih konsolidasi 1 tahun, untuk jenis perhitungan adalah analisa *consolidation*, selanjutnya pilih *parameters*, pada kotak dialog *parameters* masukan interval waktu yaitu 1825 hari, selanjutnya klik next, tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.19.

**Gambar 4. 19: Input Phase Konsolidasi 5 Tahun pada Tab General dan Parameters**

### 11. Konsolidasi 10 Tahun

Langkah-langkah tahapan konsolidasi 10 tahun sebagai berikut, beri judul *phase* pada kolom *number/id*, pada pilihan kolom *start from phase* pilih konsolidasi 5 tahun, untuk jenis perhitungan adalah analisa *consolidation*, selanjutnya pilih *parameters*, pada kotak dialog *parameters* masukan interval waktu yaitu 3650 hari, selanjutnya klik next, tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.20.

**Gambar 4.20: Input Phase Konsolidasi 10 Tahun pada Tab General dan Parameters**

## 12. Konsolidasi 50 Tahun

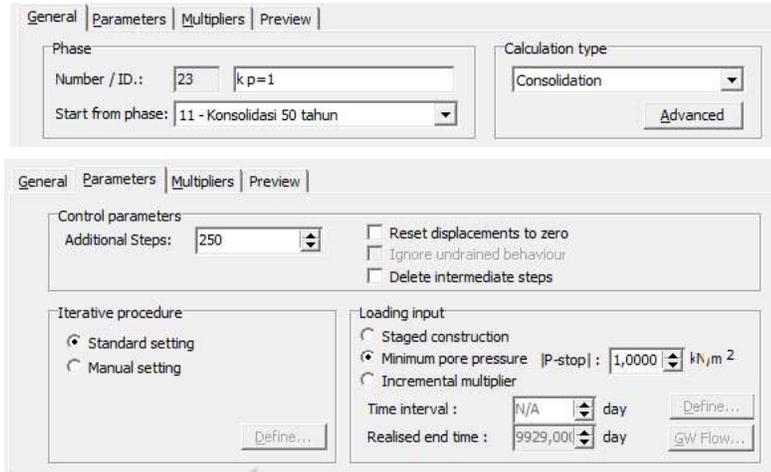
Tahapan konsolidasi 50 tahun dengan langkah sebagai berikut, beri judul *phase* pada kolom *number/id*, pada pilihan kolom *start from phase* pilih konsolidasi 10 tahun, untuk jenis perhitungan adalah analisa *consolidation*, selanjutnya pilih *parameters*, pada kotak dialog *parameters* masukan interval waktu yaitu 1825 hari, selanjutnya klik *next*, tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.21.

The image shows two screenshots of a software interface. The top screenshot is the 'General' tab, showing 'Phase Number / ID.' set to 11 with the label 'Konsolidasi 50 tahun', and 'Start from phase' set to '10 - Konsolidasi 10 tahun'. The 'Calculation type' is set to 'Consolidation'. The bottom screenshot is the 'Parameters' tab, showing 'Additional Steps' set to 250. Under 'Iterative procedure', 'Standard setting' is selected. Under 'Loading input', 'Staged construction' is selected with a 'P-stop' value of 1,0000 kN/m<sup>2</sup>. 'Time interval' is 2007,000 day and 'Realised end time' is 7921,000 day.

Gambar 4. 481: *Input Phase Konsolidasi 50 Tahun pada Tab General dan Parameters*

## 13. Konsolidasi P=1 (*Minimum Pore Pressure*)

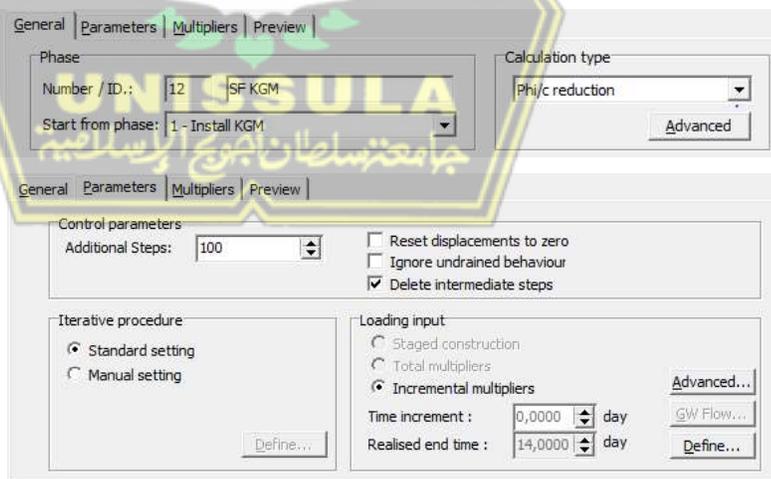
Tahapan konsolidasi  $P = 1$  (*minimum pore pressure*) dengan langkah sebagai berikut, beri judul *phase* pada kolom *number/id*, pada pilihan kolom *start from phase* pilih konsolidasi 50 tahun, untuk jenis perhitungan adalah analisa *consolidation*, selanjutnya pilih *parameters*, pada kotak dialog *parameters* klik *loading input minimum pore pressure* 1 kN/m<sup>2</sup>, selanjutnya klik *next*, tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.22



**Gambar 4.22: Input Phase Konsolidasi P=1 (Minimum Pore Pressure) pada Tab General dan Parameters**

14. SF KGM

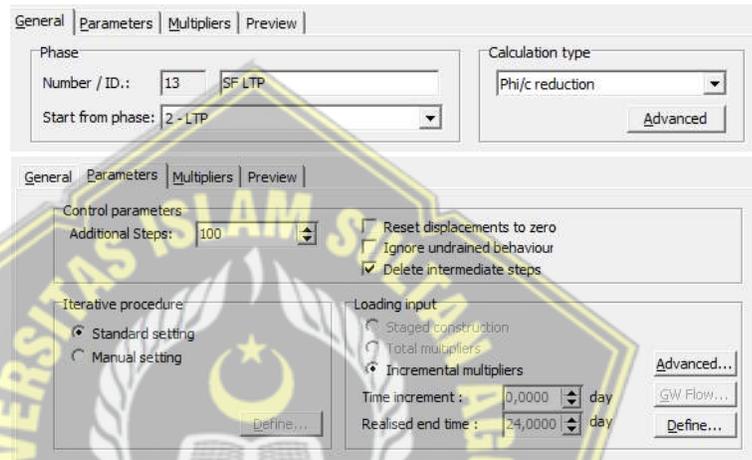
Tahapan fase SF KGM yaitu, beri judul phase di kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih Install KGM, dengan menggunakan *calculation type phi/c reduction*, lalu klik *parameters*. Pada kotak dialog, lihat kotak perintah loading input lalu klik *incremental multiplier*, selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.23



**Gambar 4.23: Input Phase SF KGM pada Tab General dan**

15. SF LTP

Tahapan fase SF LTP (*Load Transfer Platform*) yaitu, beri judul phase di kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih LTP, dengan menggunakan *calculation type phi/c reduction*, lalu klik *parameters*. Pada kotak dialog, lihat kotak perintah loading input lalu klik *incremental multiplier*, selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24: Input Phase SF LTP pada Tab General dan

16. SF Timbunan 1

Tahapan fase SF Timbunan 1, yaitu, beri judul phase di kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih Timbunan 1, dengan menggunakan *calculation type phi/c reduction*, lalu klik *parameters*. Pada kotak dialog, lihat kotak perintah loading input lalu klik *incremental multiplier*, selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.25.

**Gambar 4. 25: Input Phase SF Timbunan 1 pada Tab General dan Parameters**

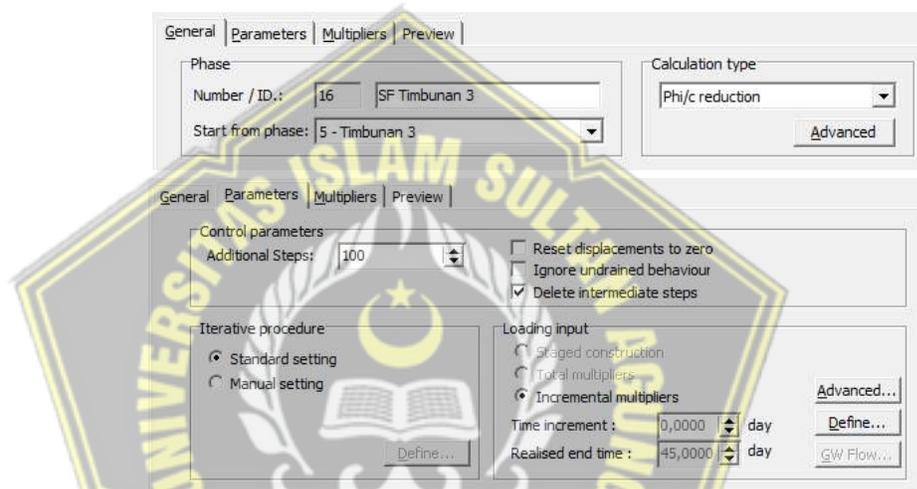
17. SF Timbunan 2

Langkah-langkah tahapan SF Timbunan 2 yaitu, beri judul phase pada kolom *number/id*, pada pilihan mulai dari tahap (*start from phase*) pilih timbunan 2. Jenis perhitungan (*calculation type*) *phi/c reduction*, selanjutnya pilih parameters. Pada kotak dialog *parameters*, kemudian pada perintah *tab parameters – loading input* pilih *incremental multiplier*. Selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.26.

**Gambar 4. 2664: Input Phase SF Timbunan 2 pada Tab General dan Parameters**

18. SF Timbunan 3

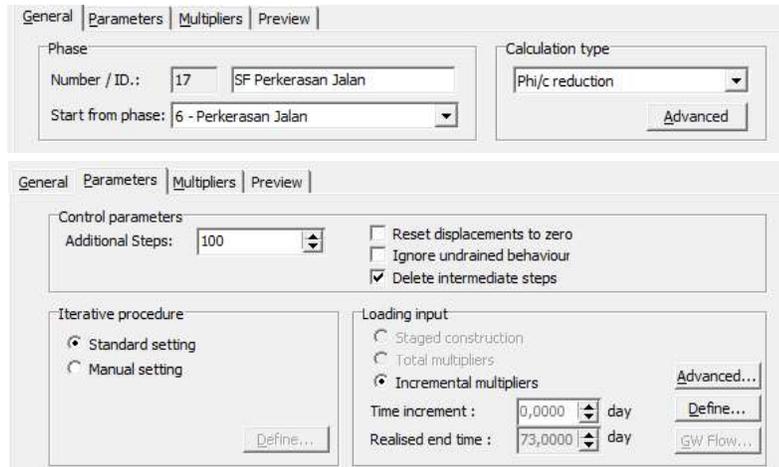
Langkah-langkah tahapan SF Timbunan 3 yaitu, beri judul phase pada kolom *number/id*, pada pilihan mulai dari tahap (*start from phase*) pilih timbunan 3. Jenis perhitungan (*calculation type*) *phi/c reduction*, selanjutnya pilih parameters. Pada kotak dialog *parameters*, kemudian pada perintah *tab parameters – loading input* pilih *incremental multiplier*. Selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27: Input Phase SF Timbunan 3 pada Tab General dan Parameters

19. SF Perkerasan Jalan

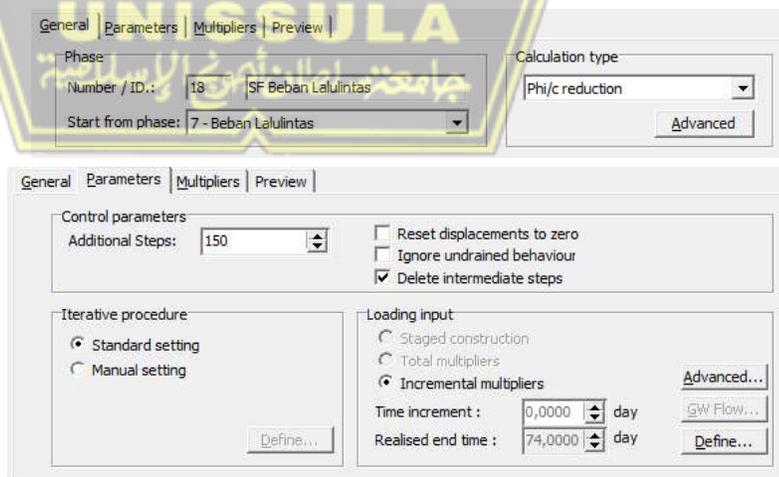
Langkah-langkah tahapan SF Perkerasan Jalan yaitu, beri judul phase pada kolom *number/id*, pada pilihan mulai dari tahap (*start from phase*) pilih Perkerasan Jalan. Jenis perhitungan (*calculation type*) *phi/c reduction*, selanjutnya pilih parameters. Pada kotak dialog *parameters*, kemudian pada perintah *tab parameters – loading input* pilih *incremental multiplier*. Selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28: *Input Phase SF Perkerasan Jalan pada Tab General dan Parameters*

20. SF Beban Lalu lintas

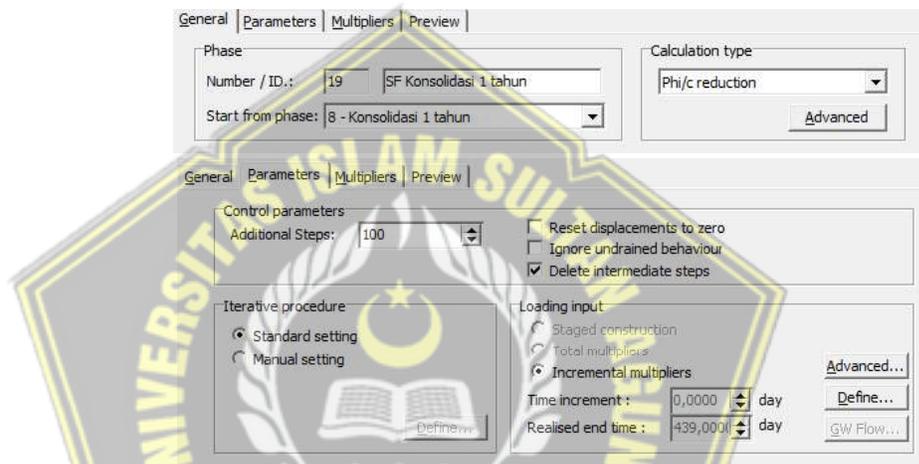
Langkah-langkah tahapan SF Beban Lalu lintas yaitu, beri judul phase pada kolom *number/id*, pada pilihan mulai dari tahap (*start from phase*) pilih Beban Lalu lintas. Jenis perhitungan (*calculation type*) *phi/c reduction*, selanjutnya pilih parameters. Pada kotak dialog *parameters*, kemudian pada perintah *tab parameters – loading input* pilih *incremental multiplier*. Selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4. 29: *Input Phase SF Beban Lalu Lintas pada Tab General dan Parameters*

21. SF Konsolidasi 1 Tahun

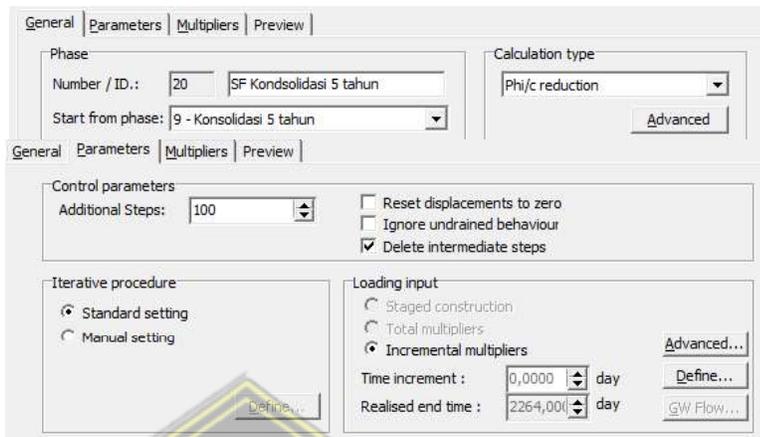
Tahapan fase SF Konsolidasi 1 Tahun, yaitu, beri judul phase di kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih konsolidasi 1 tahun, dengan menggunakan *calculation type phi/c reduction*, lalu klik *parameters*. Pada kotak dialog, lihat kotak perintah loading input lalu klik *incremental multiplier*, selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4. 30: Input Phase SF Konsolidasi 1 Tahun pada Tab General dan Parameters

22. SF Konsolidasi 5 Tahun

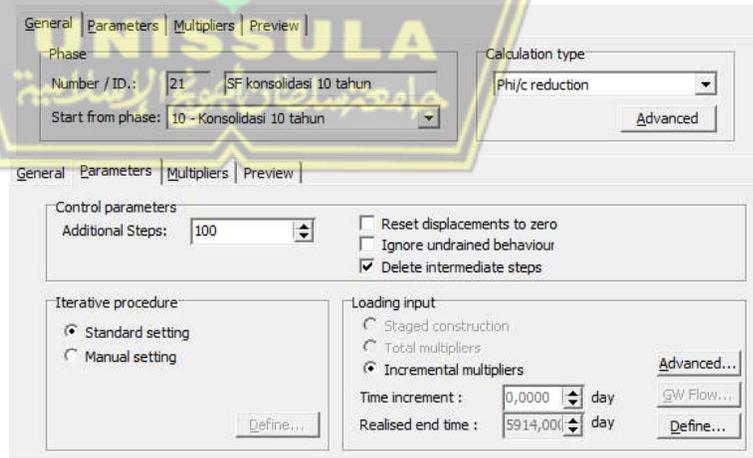
Tahapan fase SF Konsolidasi 5 Tahun, yaitu, beri judul phase di kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih Konsolidasi 5 Tahun, dengan menggunakan *calculation type phi/c reduction*, lalu klik *parameters*. Pada kotak dialog, lihat kotak perintah loading input lalu klik *incremental multiplier*, selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.31



Gambar 4.31: Input Phase SF Konsolidasi 5 Tahun pada Tab General dan Parameters

### 23. SF Konsolidasi 10 Tahun

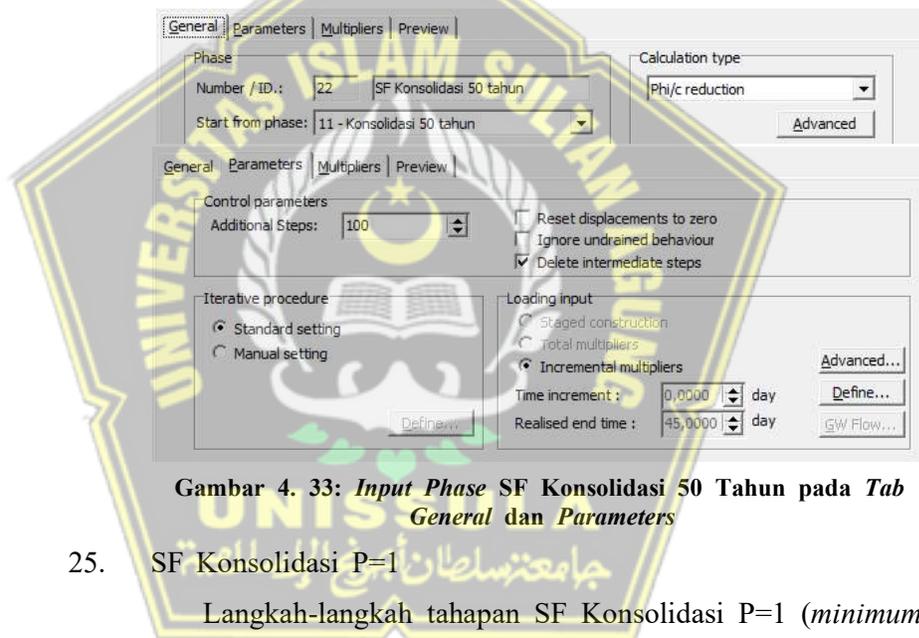
Tahapan fase SF Konsolidasi 10 Tahun, yaitu, beri judul phase di kolom *number/id*, pada pilihan *start from phase* pilih konsolidasi 10 tahun, dengan menggunakan *calculation type phi/c reduction*, lalu klik *parameters*. Pada kotak dialog, lihat kotak perintah loading input lalu klik *incremental multiplier*, selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4. 32: Input Phase SF Konsolidasi 10 Tahun pada Tab General dan Parameters

24. SF Konsolidasi 50 Tahun

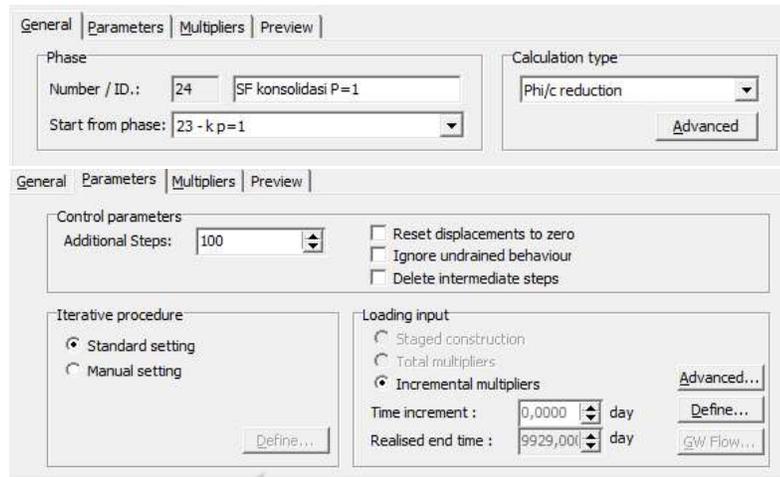
Langkah-langkah tahapan SF Konsolidasi 50 Tahun yaitu, beri judul phase pada kolom *number/id*, pada pilihan mulai dari tahap (*start from phase*) pilih konsolidasi 50 tahun. Jenis perhitungan (*calculation type*) *phi/c reduction*, selanjutnya pilih parameters. Pada kotak dialog *parameters*, kemudian pada perintah *tab parameters – loading input* pilih *incremental multiplier*. Selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4. 33: *Input Phase SF Konsolidasi 50 Tahun pada Tab General dan Parameters*

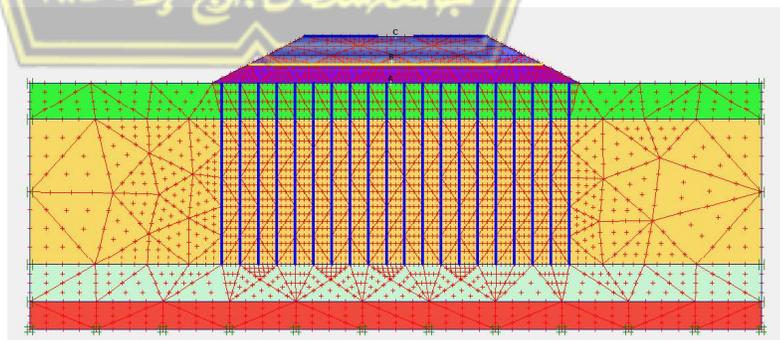
25. SF Konsolidasi P=1

Langkah-langkah tahapan SF Konsolidasi P=1 (*minimum pore pressure*) yaitu, beri judul phase pada kolom *number/id*, pada pilihan mulai dari tahap (*start from phase*) pilih konsolidasi p=1. Jenis perhitungan (*calculation type*) *phi/c reduction*, selanjutnya pilih parameters. Pada kotak dialog *parameters*, kemudian pada perintah *tab parameters – loading input* pilih *incremental multiplier*. Selanjutnya klik *next*. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.34.



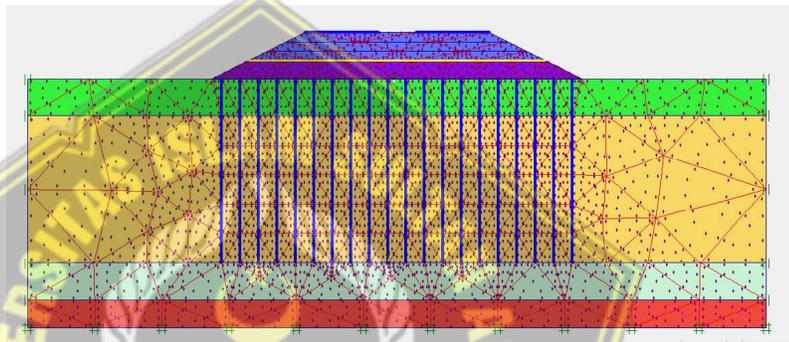
**Gambar 4. 34: Input Phase SF Konsolidasi P=1 (Minimum Pore Pressure) pada Tab General dan Parameters**

26. Menentukan area yang ditinjau guna mengetahui kurva hubungan antara penurunan tanah dan waktu, hal ini dapat dilakukan dengan cara klik toolbar  dan  selanjutnya klik area yang akan ditinjau (Titik A, Titik B, Titik C). Titik A merupakan dasar dari LTP (*Load Transfer Platform*). Titik B merupakan lapisan bagian atas dari LTP (*Load Transfer Platform*). Titik C merupakan puncak elevasi tertinggi dari permodelan. Selanjutnya klik update lalu klik calculate untuk memulai perhitungan. Tahap ini disajikan pada Gambar 4.35.



**Gambar 4. 35: Penentuan Titik Tinjauan Kurva Displacement**

27. Menentukan area yang ditinjau untuk mengetahui kurva hubungan antara tekanan dan waktu, hal ini dapat dilakukan dengan cara klik toolbar  dan  selanjutnya klik area yang akan ditinjau (Titik D, Titik E, Titik F). Titik D merupakan ujung atas dari tiang KGM. Titik E merupakan bagian tengah dari tiang KGM. Titik F merupakan ujung bawah dari tiang KGM. Selanjutnya klik update dan klik calculate untuk memulai perhitungan. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36: Penentuan Titik Tinjauan Kurva *Stress*

#### 4.5. Hasil Perhitungan

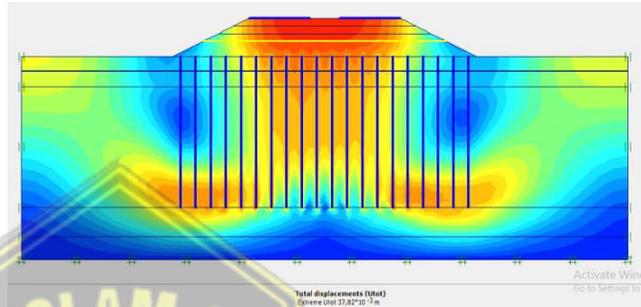
Permodelan perbaikan tanah Kolom Grout Modular (KGM) menggunakan program *Plaxis 8.2* didapatkan nilai yang berupa total penurunan tanah, tekanan air pori berlebih, tegangan efektif, angka faktor keamanan dan penurunan yang terjadi pada LTP (*Load Transfer Platform*).

#### 4.5.1. Hasil Setelah Dilakukan Perkerasan Jalan

##### A. Total Penurunan Tanah

###### ➤ Tipe *Plate*

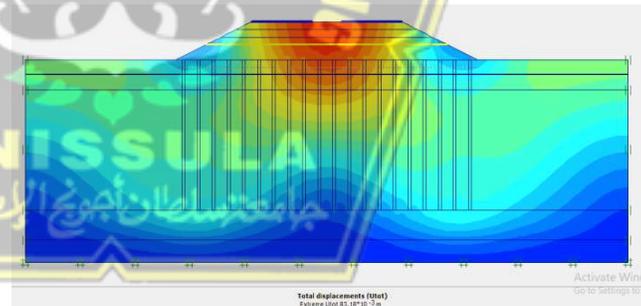
Penurunan pada konstruksi setelah dilakukan pekerjaan perkerasan jalan sebesar 3,7 cm, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.37.



Gambar 4. 37: Penurunan Total Tanah saat Perkerasan Jalan Tipe *Plate*

###### ➤ Tipe *Cluster*

Penurunan pada konstruksi setelah dilakukan pekerjaan perkerasan jalan sebesar 3 cm, dapat dilihat pada Gambar 4.38.

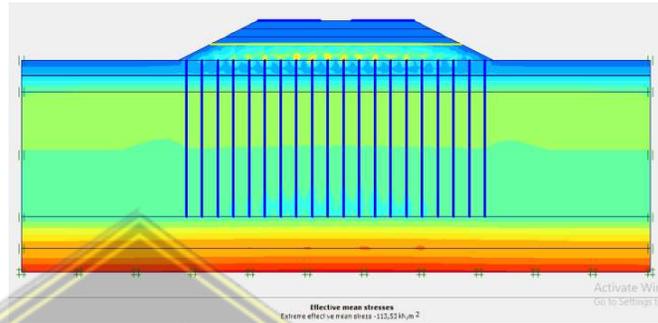


Gambar 4.38: Penurunan Total Tanah saat Perkerasan Jalan Tipe *Cluster*

## B. Tegangan Efektif Rata-Rata

### ➤ Tipe *Plate*

Tegangan efektif rata-rata (effective stress) setelah dilakukan perkerasan jalan dari permodelan sebesar  $113,53 \text{ kN/m}^2$ , seperti pada

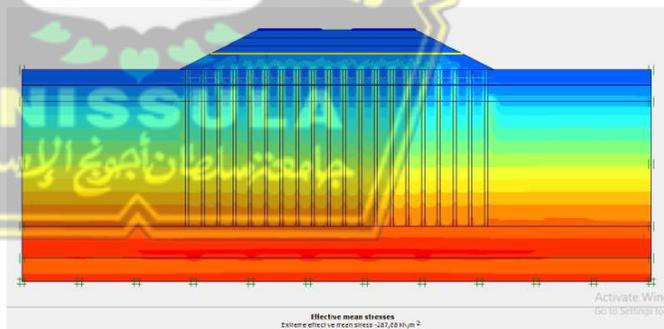


Gambar 4.39: Tegangan Efektif Rata-Rata saat Perkerasan Jalan Tipe *Plate*

Gambar 4.39.

### ➤ Tipe *Cluster*

Tegangan efektif rata-rata (effective stress) setelah dilakukannya perkerasan jalan dari permodelan sebesar  $287,88 \text{ kN/m}^2$ , seperti pada Gambar 4.40.

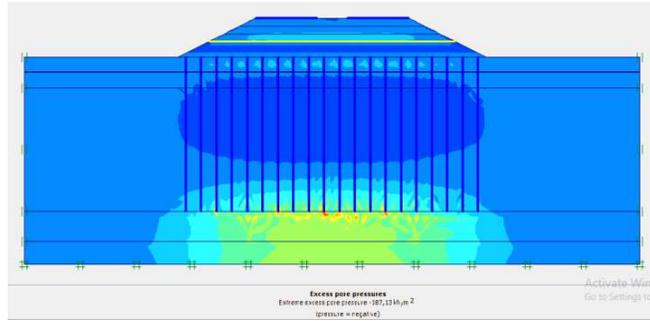


Gambar 4.40: Tegangan Efektif Rata-Rata saat Perkerasan Jalan Tipe *Cluster*

## C. Tekanan Air Pori Berlebih

### ➤ Tipe *Plate*

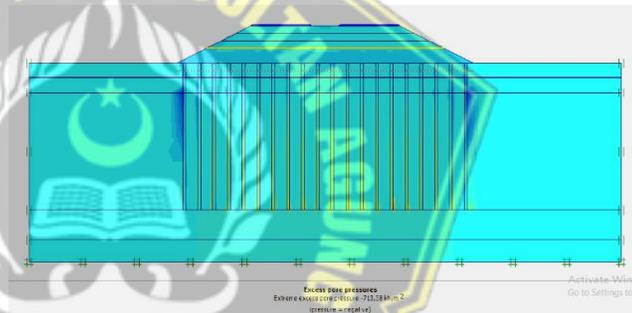
Tekanan air pori berlebih setelah dilakukan perkerasan jalan pada permodelan ini sebesar  $187,13 \text{ kN/m}^2$ , seperti pada Gambar 4.41.



**Gambar 4. 41: Tekanan Air Pori Berlebih saat Perkerasan Jalan Tipe *Plate***

➤ Tipe Cluster

Tekanan air pori berlebih setelah dilakukan proses perkerasan jalan pada permodelan ini sebesar  $713,38 \text{ kN/m}^2$ , dapat dilihat pada Gambar 4.42.



**Gambar 4.42: Tekanan Air Pori Berlebih saat Perkerasan Jalan**

**D. Safety Factor**

➤ Tipe *Plate*

Angka faktor keamanan setelah dilakukan perkerasan jalan yaitu 2,3113, seperti pada Gambar 4.43.

Total multipliers	
$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
$\Sigma$ -Msf:	2,3113

Gambar 4.43: *Safety Factor* saat Perkerasan Jalan Tipe *Plate*

➤ Tipe Cluster

Angka faktor keamanan setelah dilakukan proses perkerasan jalan yaitu 2,2038, dapat dilihat pada Gambar 4.44.

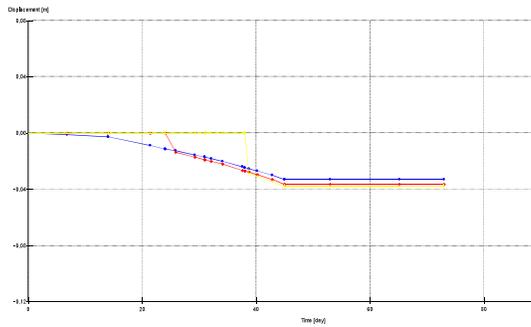
Total multipliers	
$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
$\Sigma$ -Msf:	2,2038

Gambar 4. 44: *Safety Factor* saat Perkerasan Jalan Tipe *Cluster*

**E. Grafik Penurunan**

➤ Tipe *Plate*

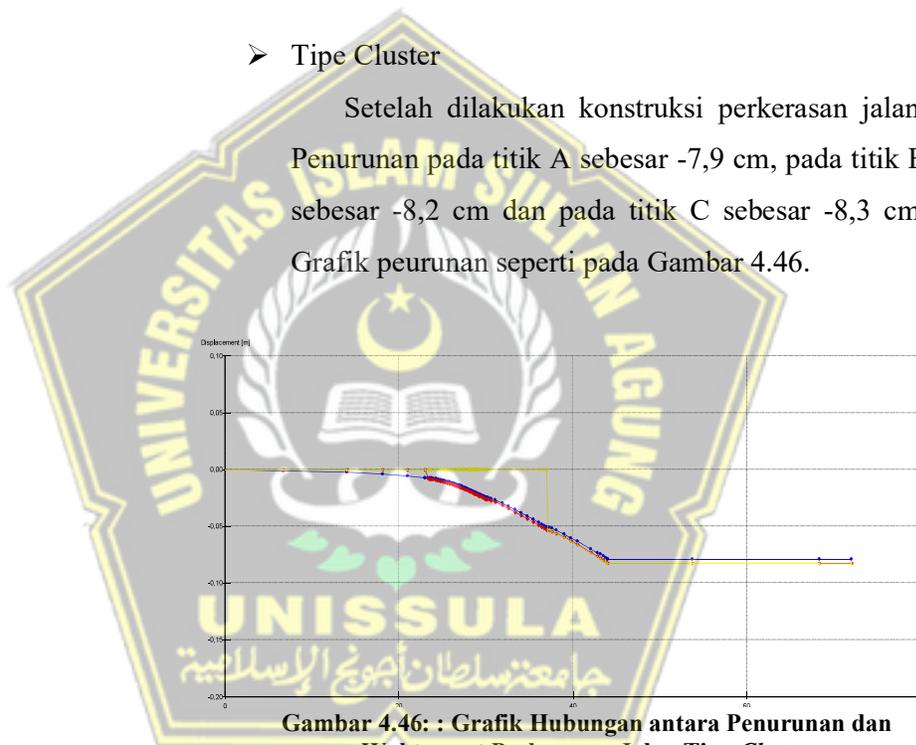
Setelah dilakukan konstruksi perkerasan jalan. Penurunan pada titik A sebesar -3,3 cm, pada titik B sebesar -3,6 cm dan titik C sebesar -3,8 cm. grafik disajikan pada Gambar 4.45.



**Gambar 4.45: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe *Plate***

➤ Tipe Cluster

Setelah dilakukan konstruksi perkerasan jalan. Penurunan pada titik A sebesar -7,9 cm, pada titik B sebesar -8,2 cm dan pada titik C sebesar -8,3 cm. Grafik penurunan seperti pada Gambar 4.46.

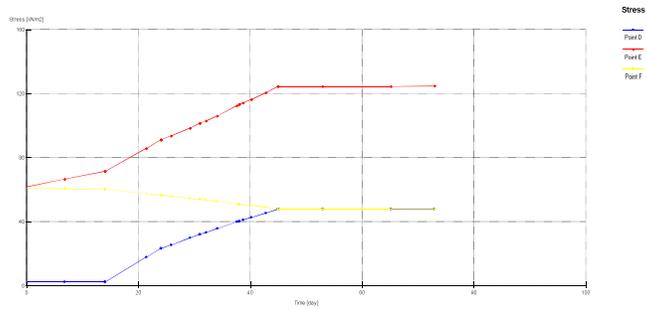


**Gambar 4.46: : Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe *Cluster***

**F. Grafik Tegangan**

➤ Tipe *Plate*

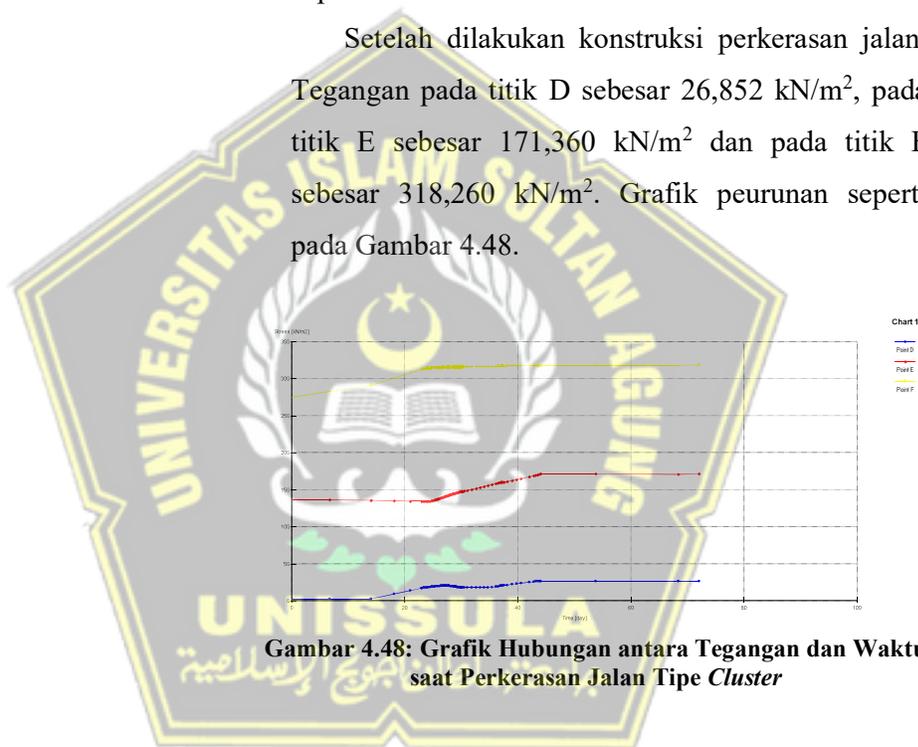
Setelah dilakukan konstruksi perkerasan jalan. Tegangan pada titik D sebesar 48,067 kN/m<sup>2</sup>, pada titik E sebesar 124,610 kN/m<sup>2</sup> dan titik F sebesar 47,926 kN/m<sup>2</sup>. grafik disajikan pada Gambar 4.47.



**Gambar 4.47: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe *Plate***

➤ Tipe Cluster

Setelah dilakukan konstruksi perkerasan jalan. Tegangan pada titik D sebesar 26,852 kN/m<sup>2</sup>, pada titik E sebesar 171,360 kN/m<sup>2</sup> dan pada titik F sebesar 318,260 kN/m<sup>2</sup>. Grafik peurunan seperti pada Gambar 4.48.



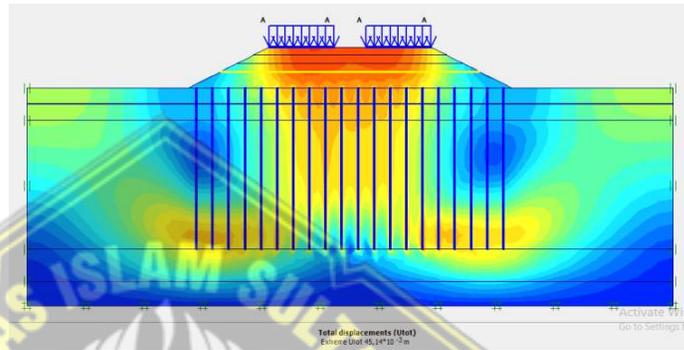
**Gambar 4.48: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu saat Perkerasan Jalan Tipe *Cluster***

#### 4.5.2. Hasil Setelah Dilakukan Beban Lalu lintas

##### A. Total Penurunan Tanah

###### ➤ Tipe Plate

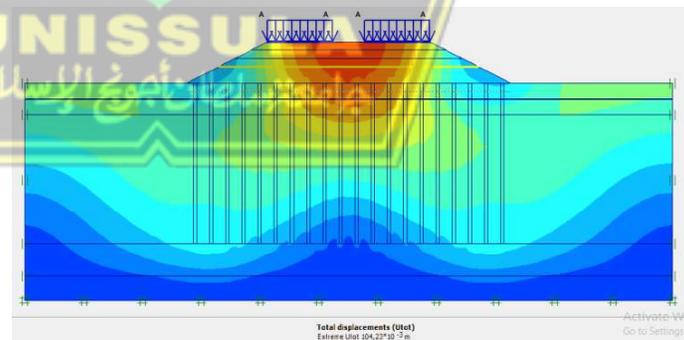
Penurunan pada konstruksi setelah adanya beban lalu lintas sebesar 4,5 cm, penurunannya seperti pada Gambar 4.49.



Gambar 4. 49: Penurunan Total Tanah setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate

###### ➤ Tipe Cluster

Penurunan pada konstruksi setelah adanya beban lalu lintas sebesar 10,4 cm, penurunannya seperti pada Gambar 4.50.

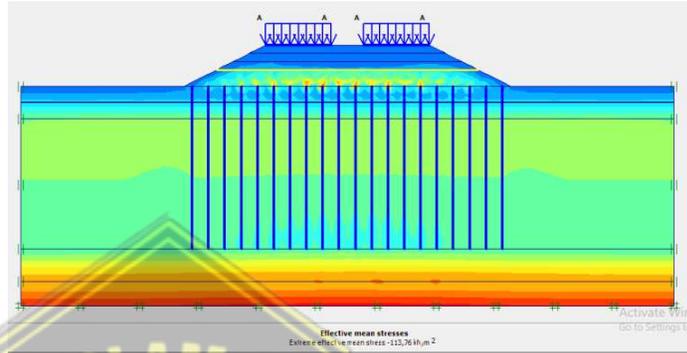


Gambar 4.50: Penurunan Total Tanah setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster

## B. Tegangan Efektif Rata-Rata

### ➤ Tipe *Plate*

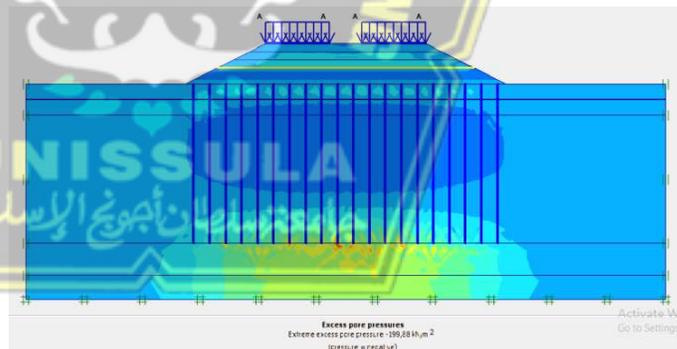
Tegangan efektif rata-rata (effective stress) setelah adanya beban lalu lintas sebesar  $113,76 \text{ kN/m}^2$ . Seperti pada Gambar 4.51.



Gambar 4. 51: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Beban Lalu Lintas Tipe *Plate*

### ➤ Tipe *Cluster*

Tegangan efektif rata-rata (effective stress) setelah adanya beban lalu lintas sebesar  $288,00 \text{ kN/m}^2$ . Seperti pada Gambar 4.52.

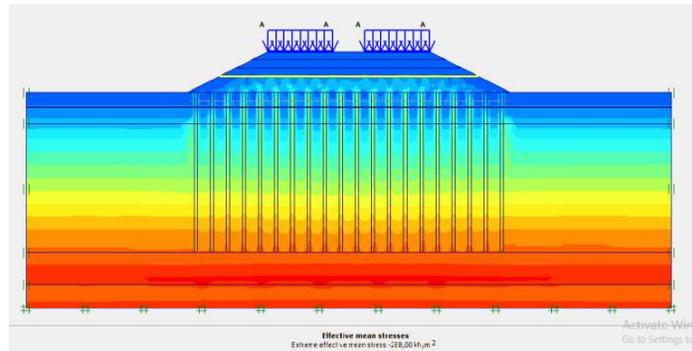


Gambar 4. 52: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Beban Lalu Lintas Tipe *Cluster*

## C. Tekanan Air Pori Lebih

### ➤ Tipe *Plate*

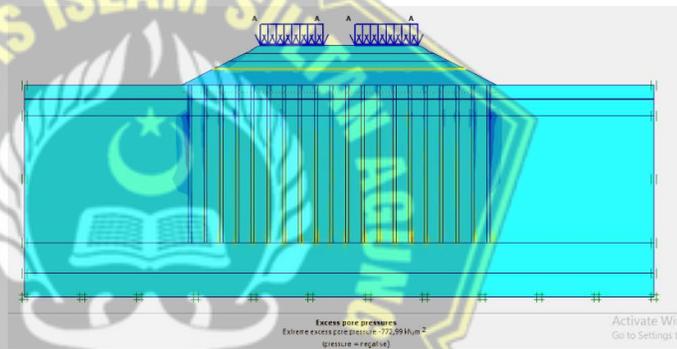
Tekanan air pori berlebih setelah adanya beban lalu lintas sebesar  $199,88 \text{ kN/m}^2$ , dapat dilihat seperti pada Gambar 4.53.



**Gambar 4.53: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Tekanan air pori berlebih setelah adanya beban lalu lintas sebesar  $773,99 \text{ kN/m}^2$ , dapat dilihat seperti pada Gambar 4.54.



**Gambar 4.54: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster**

**D. Safety Factor**

➤ Tipe Plate

Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya beban lalu lintas yaitu 2,1206. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.55.

Total multipliers	
$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
$\Sigma$ -Msf:	2,1206

**Gambar 4. 55: Safety Factor setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya beban lalu lintas yaitu 1,9585, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.56.

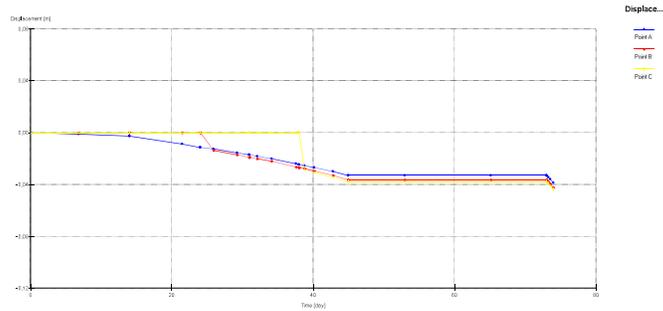
Total multipliers	
$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
$\Sigma$ -Msf:	1,9585

**Gambar 4. 56: Safety Factor setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster**

**E. Grafik Penurunan**

➤ Tipe Plate

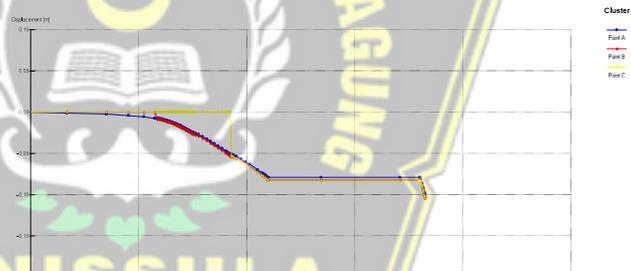
Setelah adanya beban lalu lintas, penurunan pada titik A sebesar -3,9 cm, penurunan pada titik B sebesar -4,2 cm dan penurunan pada titik C sebesar -4,3 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.57.



**Gambar 4. 57: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Setelah adanya beban lalu lintas, penurunan pada titik A sebesar -10 cm, penurunan pada titik B sebesar -10,4 cm dan penurunan pada titik C sebesar -10,8 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.58.

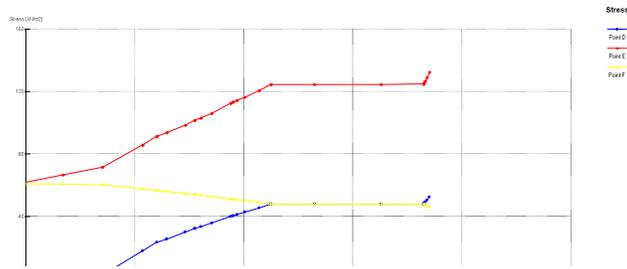


**Gambar 4. 58: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster**

**F. Grafik Tegangan**

➤ Tipe Plate

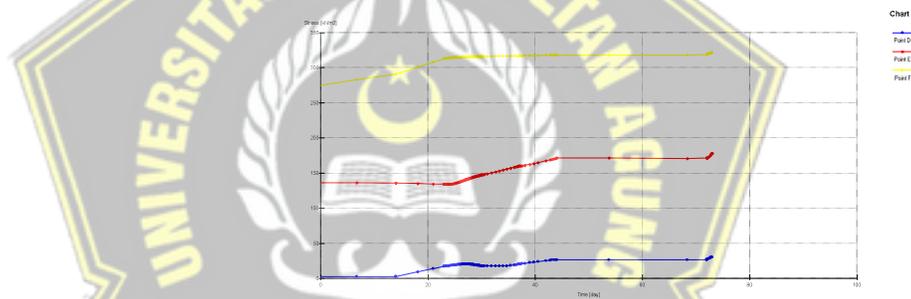
Setelah adanya beban lalu lintas, tegangan pada titik D sebesar 52,428 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 132,330 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 45,736 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.59.



**Gambar 4. 59: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Setelah adanya beban lalu lintas, Tegangan pada titik D sebesar 30,669 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 179,290 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 321,540 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.60.



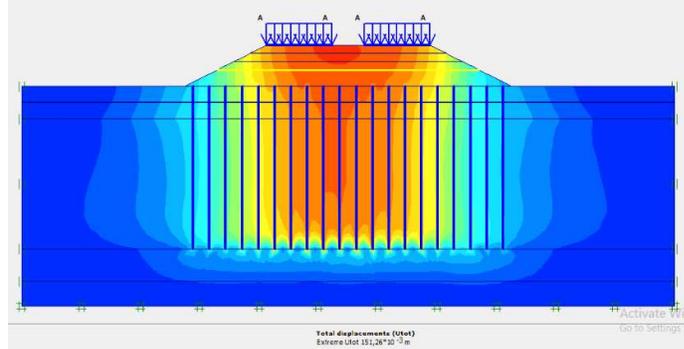
**Gambar 4. 60: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Beban Lalu Lintas Tipe Cluster**

**4.5.3. Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 1 Tahun**

**A. Total Penurunan Tanah**

➤ Tipe Plate

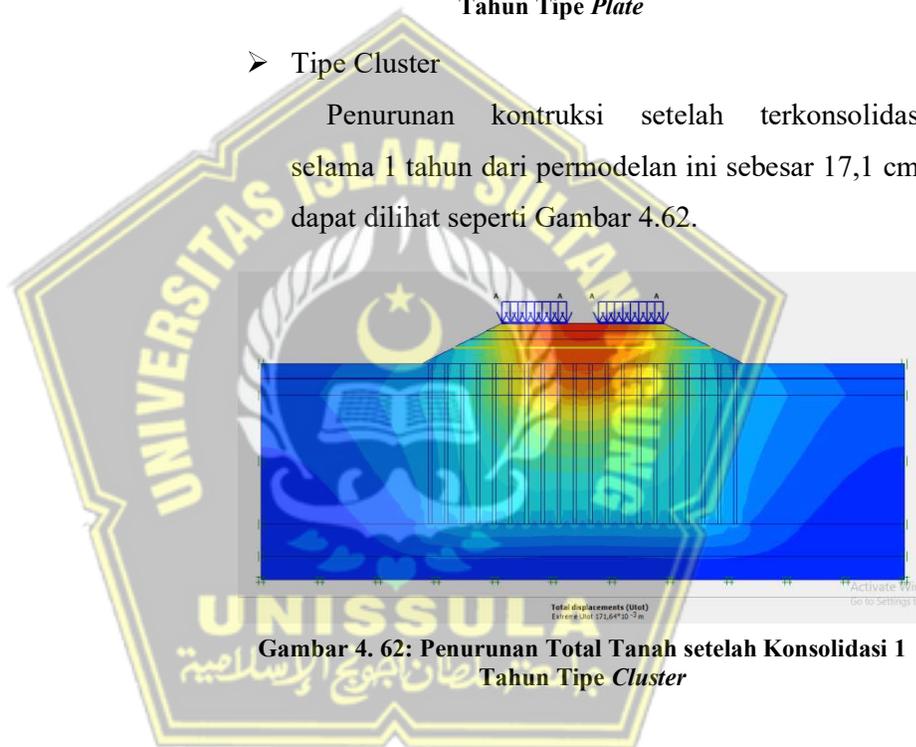
Penurunan konstruksi setelah terkonsolidasi selama 1 tahun dari permodelan ini sebesar 15,1 cm, dapat dilihat seperti Gambar 4.61.



**Gambar 4. 61: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Penurunan konstruksi setelah terkonsolidasi selama 1 tahun dari permodelan ini sebesar 17,1 cm, dapat dilihat seperti Gambar 4.62.

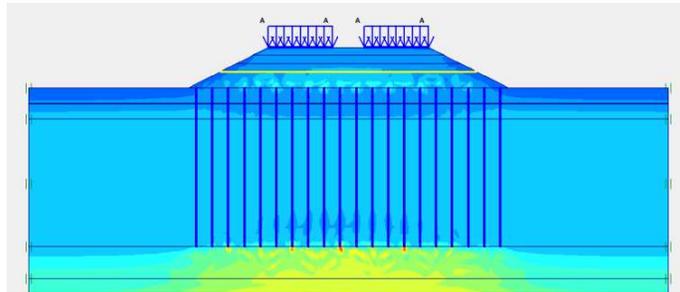


**Gambar 4. 62: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster**

**B. Tegangan Efektif Rata-Rata**

➤ Tipe Plate

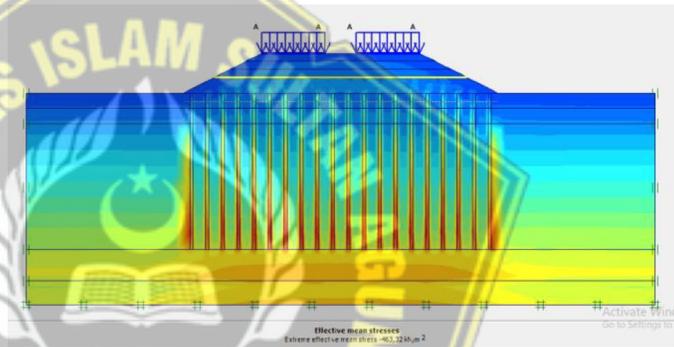
Tegangan efektif rata-rata (*effective stress*) setelah proses konsolidasi selama 1 tahun dari permodelan ini sebesar 264,14 kN/m<sup>2</sup>, seperti pada Gambar 4.63.



**Gambar 4. 63: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe *Plate***

➤ Tipe Cluster

Tegangan efektif rata-rata setelah proses konsolidasi selama 1 tahun dari permodelan ini sebesar 462,32 kN/m<sup>2</sup>, seperti pada Gambar 4.64.

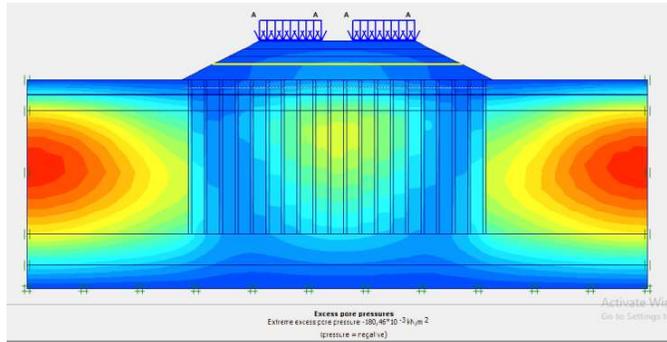


**Gambar 4. 64: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe *Cluster***

**C. Tekanan Air Pori Berlebih**

➤ Tipe *Plate*

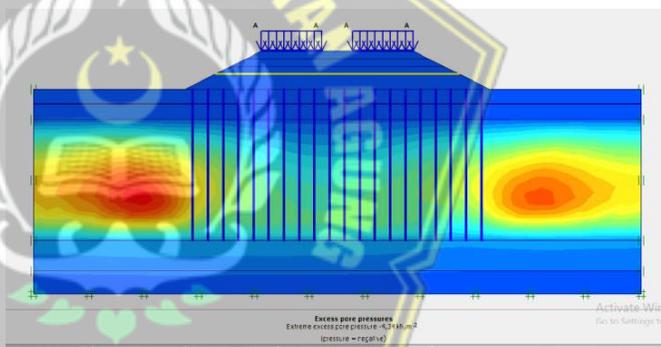
Tekanan air pori berlebih setelah proses konsolidasi selama 1 tahun dari permodelan ini sebesar 4,34 kN/m<sup>2</sup>, seperti pada Gambar 4.65.



**Gambar 4. 65: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Tekanan air pori berlebih setelah proses konsolidasi selama 1 tahun dari permodelan ini sebesar  $18,46 \times 10^{-4} \text{ kN/m}^2$ , seperti pada Gambar 4.66.



**Gambar 4. 66: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster**

**D. Safety Factor**

➤ Tipe Plate

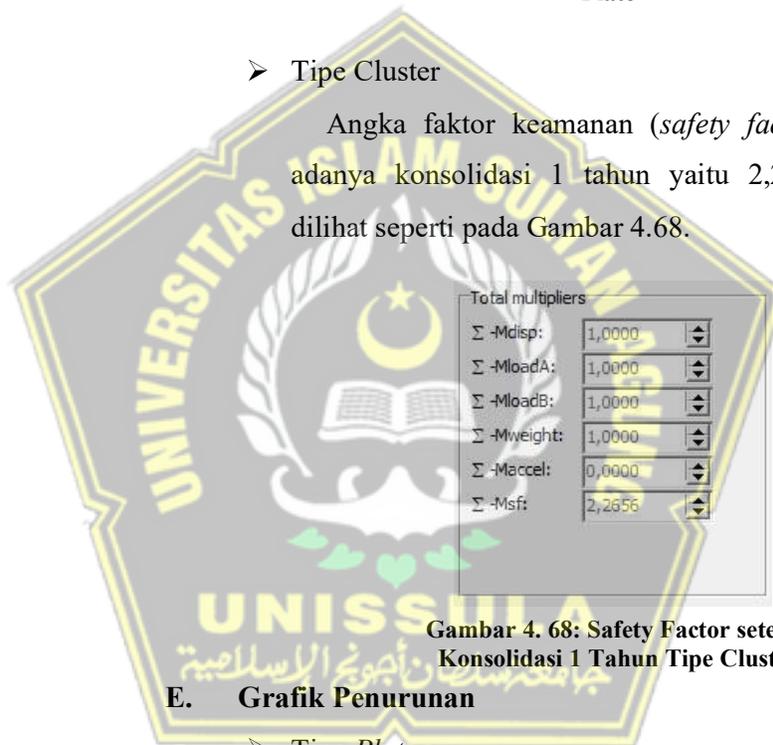
Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya konsolidasi 1 tahun yaitu 2,5235. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.67.

Total multipliers	
$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
$\Sigma$ -Msf:	2,5235

**Gambar 4. 67: Safety Factor setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya konsolidasi 1 tahun yaitu 2,2656. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.68.

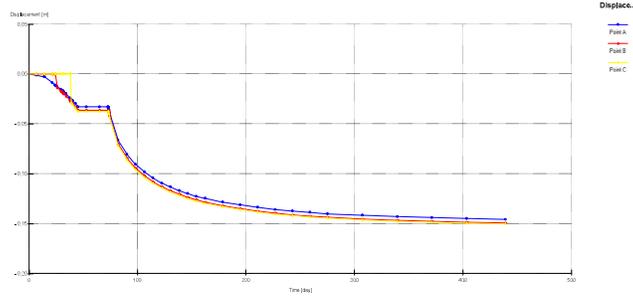


**Gambar 4. 68: Safety Factor setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe Cluster**

**E. Grafik Penurunan**

➤ Tipe Plate

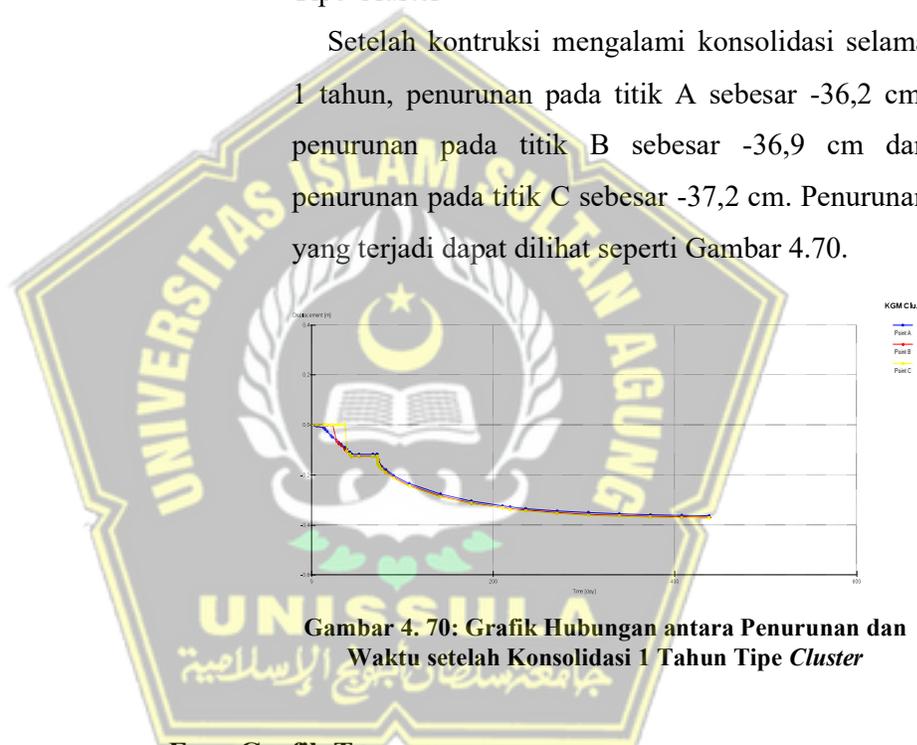
Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 1 tahun, penurunan pada titik A sebesar -14,7 cm, penurunan pada titik B sebesar -14,9 cm dan penurunan pada titik C sebesar -15,0 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.69.



**Gambar 4. 69: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe *Plate***

➤ Tipe Cluster

Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 1 tahun, penurunan pada titik A sebesar -36,2 cm, penurunan pada titik B sebesar -36,9 cm dan penurunan pada titik C sebesar -37,2 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.70.

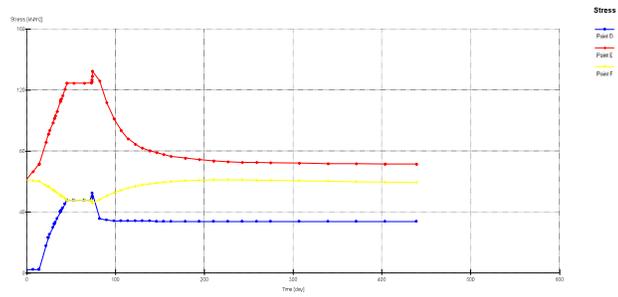


**Gambar 4. 70: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe *Cluster***

**F. Grafik Tegangan**

➤ Tipe *Plate*

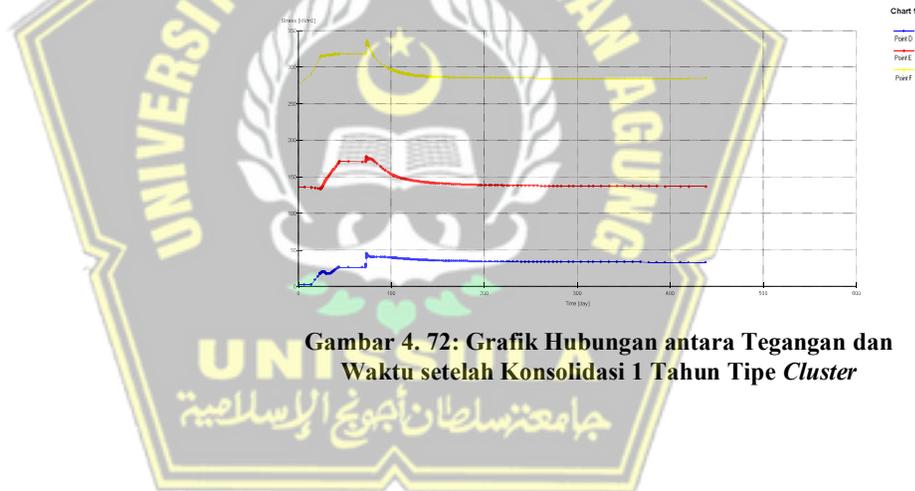
Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 1 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,999 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 71,585 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 59,520 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.71.



**Gambar 4. 71: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe *Plate***

➤ Tipe Cluster

Setelah adanya konsolidasi 1 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,663 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 137,550 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 284,810 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.72.



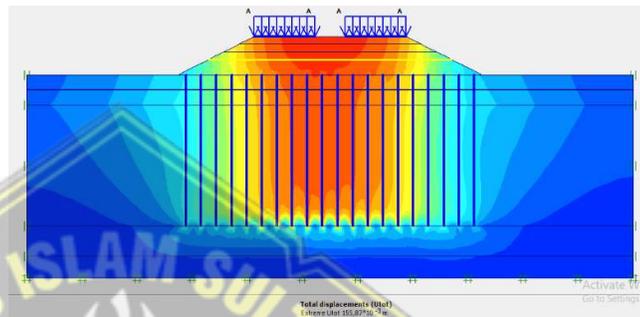
**Gambar 4. 72: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 1 Tahun Tipe *Cluster***

#### 4.5.4. Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 5 Tahun

##### A. Penurunan Total Tanah

###### ➤ Tipe Plate

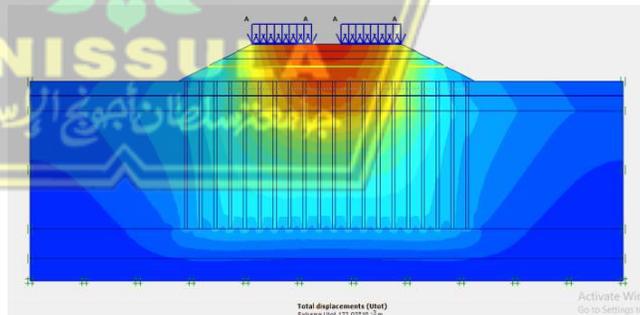
Penurunan konstruksi yang terjadi setelah proses konsolidasi selama 5 tahun sebesar 15,6 cm, penurunan ini dapat dilihat seperti pada Gambar 4.73.



Gambar 4. 73: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate

###### ➤ Tipe Cluster

Penurunan konstruksi yang terjadi setelah proses konsolidasi selama 5 tahun sebesar 17,2 cm, penurunan ini dapat dilihat seperti pada Gambar 4.74.

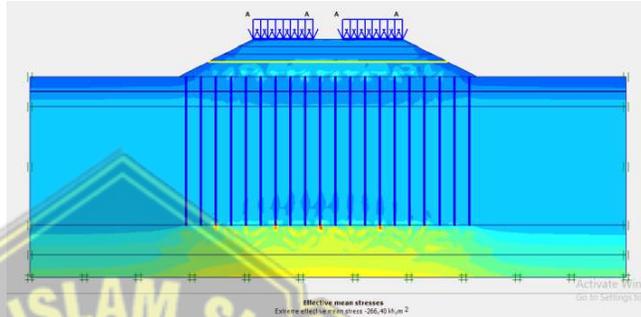


Gambar 4. 74: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster

## B. Tegangan Efektif Rata-Rata

### ➤ Tipe *Plate*

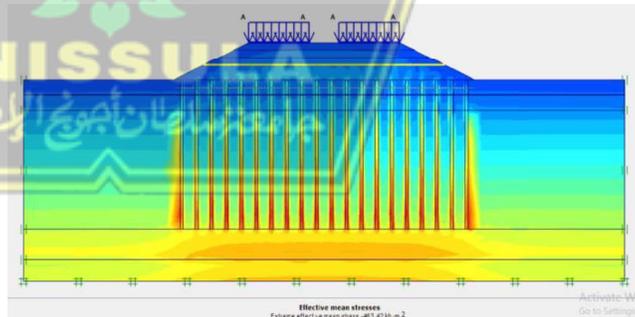
Tegangan efektif rata-rata (*mean effective stress*) yang terjadi pada konstruksi setelah proses konsolidasi selama 5 tahun sebesar  $266,40 \text{ kN/m}^2$ , seperti pada Gambar 4.75.



Gambar 4. 75: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe *Plate*

### ➤ Tipe *Cluster*

Tegangan efektif rata-rata (*mean effective stress*) yang terjadi pada konstruksi setelah konsolidasi selama 5 tahun sebesar  $463,42 \text{ kN/m}^2$ , seperti pada Gambar 4.76.

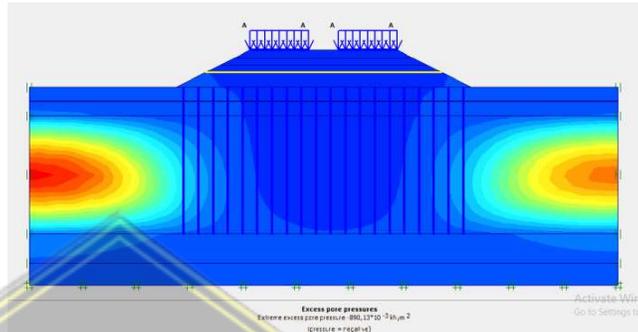


Gambar 4. 76: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe *Cluster*

### C. Tekanan Air Pori Berlebih

#### ➤ Tipe *Plate*

Tekanan air pori berlebih yang terjadi pada konstruksi setelah konsolidasi selama 5 tahun sebesar  $89,13 \times 10^{-3} \text{ kN/m}^2$ . Seperti pada Gambar

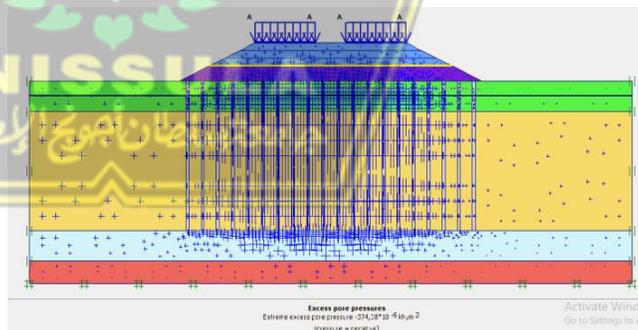


Gambar 4.77: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe *Plate*

4.77.

#### ➤ Tipe *Cluster*

Tekanan air pori berlebih yang terjadi pada konstruksi setelah konsolidasi selama 5 tahun sebesar  $374,38 \times 10^{-6} \text{ kN/m}^2$ . Seperti pada Gambar 4.78.

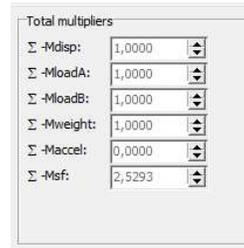


Gambar 4. 78: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe *Cluster*

#### D. *Safety Factor*

##### ➤ *Tipe Plate*

Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya konsolidasi 5 tahun yaitu 2,5293. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.79.

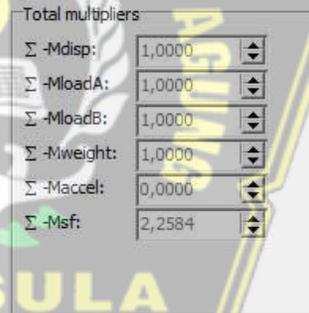


Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,5293

**Gambar 4. 79: Safety Factor setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe *Plate***

##### ➤ *Tipe Cluster*

Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya konsolidasi 5 tahun yaitu 2,2584. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.80.



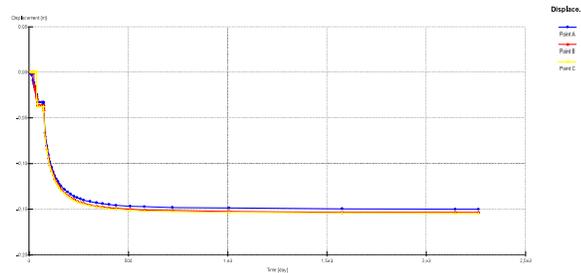
Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,2584

**Gambar 4. 80: Safety Factor setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe *Cluster***

#### E. **Grafik Penurunan**

##### ➤ *Tipe Plate*

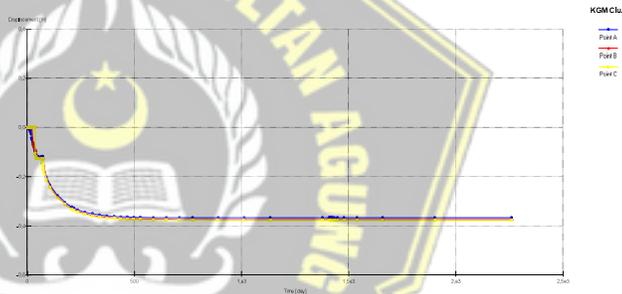
Setelah kontruksi mengalami konsolidasi selama 5 tahun, penurunan pada titik A sebesar -15 cm, penurunan pada titik B sebesar -15,4 cm dan penurunan pada titik C sebesar -15,5 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.81.



**Gambar 4. 81: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 5 tahun, penurunan pada titik A sebesar -36,7 cm, penurunan pada titik B sebesar -37,4 cm dan penurunan pada titik C sebesar -37,7 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.82.

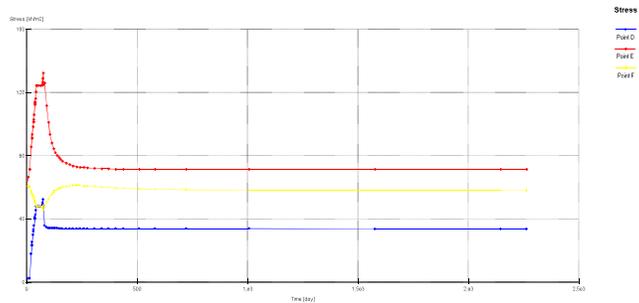


**Gambar 4. 82: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster**

**F. Grafik Tegangan**

➤ Tipe Plate

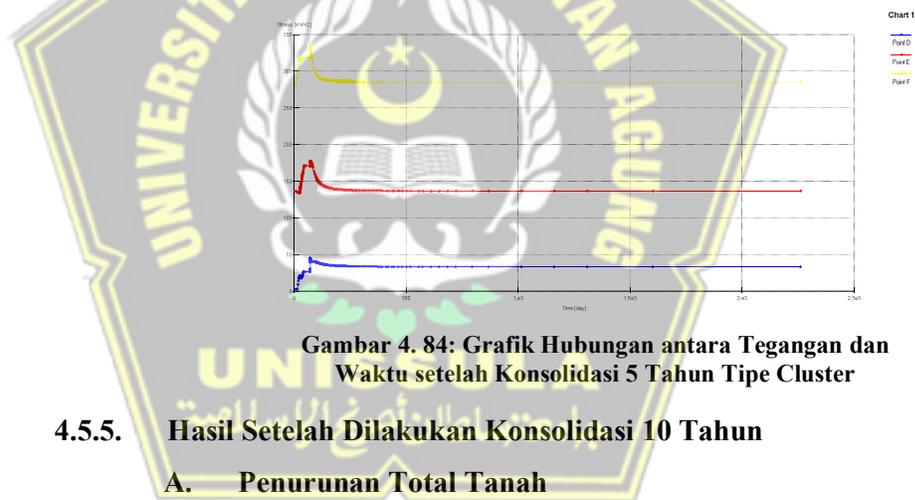
Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 5 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,787 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 71,605 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 58,220 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.84.



**Gambar 4. 83: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Setelah adanya konsolidasi 5 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,587 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 137,470 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 284,770 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.84.



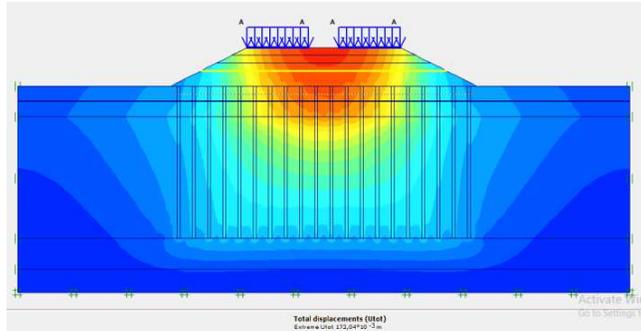
**Gambar 4. 84: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 5 Tahun Tipe Cluster**

**4.5.5. Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 10 Tahun**

**A. Penurunan Total Tanah**

➤ Tipe Plate

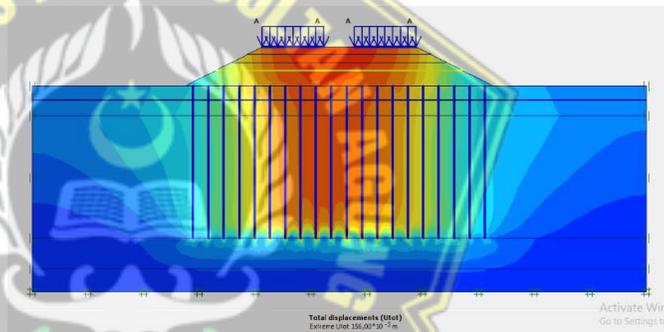
Penurunan total yang terjadi pada konstruksi setelah proses konsolidasi selama 10 tahun sebesar 15,6 cm. Penurunan ini dapat dilihat pada Gambar 4.85.



**Gambar 4. 85: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Penurunan total yang terjadi pada konstruksi setelah proses konsolidasi selama 10 tahun sebesar 17,2 cm. Penurunan ini dapat dilihat pada Gambar 4.86.

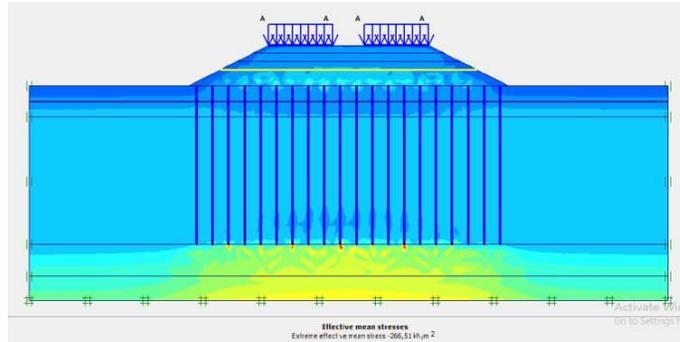


**Gambar 4. 86: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster**

**B. Tegangan Efektif Rata-Rata**

➤ Tipe Plate

Tegangan efektif rata-rata (*mean effective stress*) yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 10 tahun sebesar 266,51 kN/m<sup>2</sup>. Tegangan ini dapat dilihat pada Gambar 4.87.



**Gambar 4. 87: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Tegangan efektif rata-rata (*mean effective stress*) yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 10 tahun sebesar 463,42 kN/m<sup>2</sup>. Tegangan ini dapat dilihat pada Gambar 4.88.

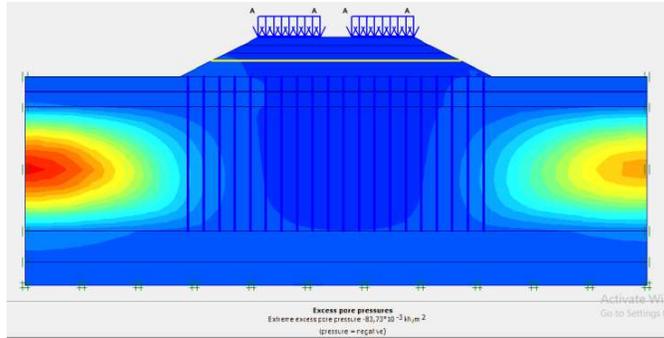


**Gambar 4. 88: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster**

**C. Tekanan Air Pori Berlebih**

➤ Tipe Plate

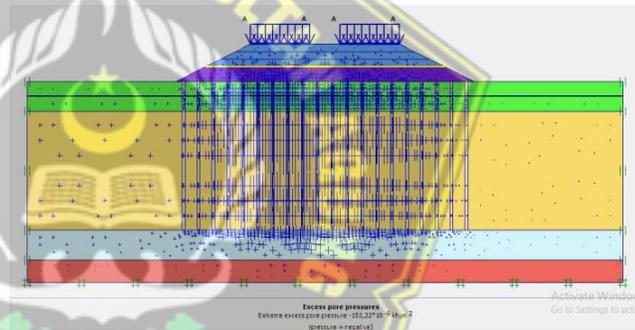
Tekanan air pori berlebih yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 10 tahun sebesar  $83,73 \times 10^{-3}$  kN/m<sup>2</sup>. Tekanan ini dapat dilihat pada Gambar 4.89.



**Gambar 4.89: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Tekanan air pori berlebih yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 10 tahun sebesar  $153,22 \times 10^{-6}$  kN/m<sup>2</sup>. Tekanan ini dapat dilihat pada Gambar 4.90.

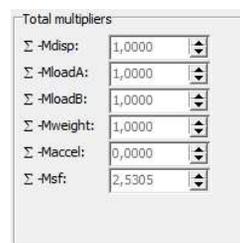


**Gambar 4. 90: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster**

**D. Safety Factor**

➤ Tipe Plate

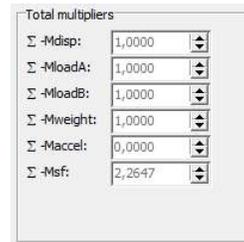
Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya konsolidasi 10 tahun yaitu 2,5305. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.91.



**Gambar 4. 91: Safety Factor setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Angka faktor keamanan (*safety factor*) setelah adanya konsolidasi 10 tahun yaitu 2,2647. Dapat dilihat seperti pada Gambar 4.92.



**Gambar 4. 92: Safety Factor setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster**

**E. Grafik Penurunan**

➤ Tipe Plate

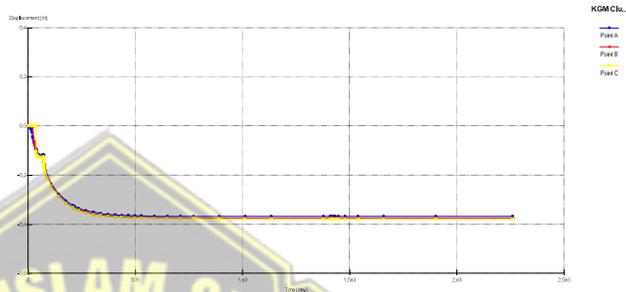
Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 10 tahun, penurunan pada titik A sebesar -15 cm, penurunan pada titik B sebesar -15,4 cm dan penurunan pada titik C sebesar -15,5 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.93.



**Gambar 4. 93: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate**

➤ Tipe Cluster

Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 10 tahun, penurunan pada titik A sebesar -36,7 cm, penurunan pada titik B sebesar -37,4 cm dan penurunan pada titik C sebesar -37,7 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.94.

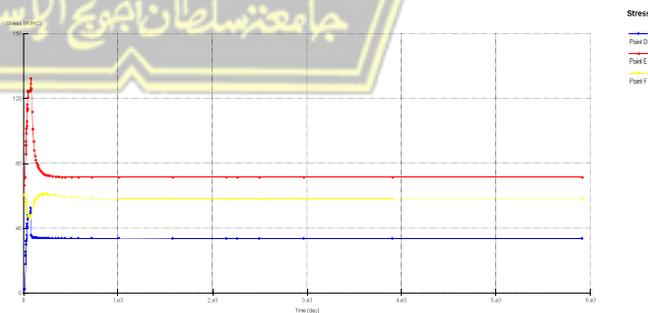


Gambar 4. 94: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster

**F. Grafik Tegangan**

➤ Tipe Plate

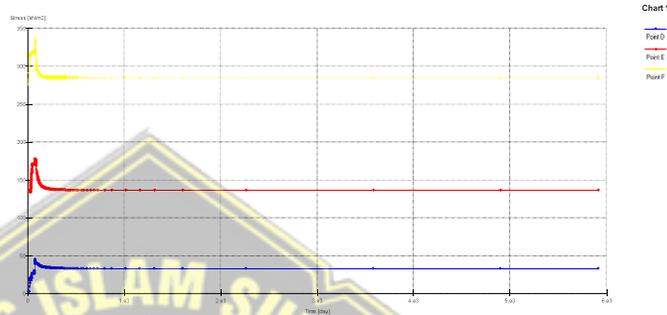
Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 10 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,787 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 71,605 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 58,220 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.95.



Gambar 4. 95: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Plate

➤ Tipe Cluster

Setelah adanya konsolidasi 10 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,587 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 137,470 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 284,770 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.96.



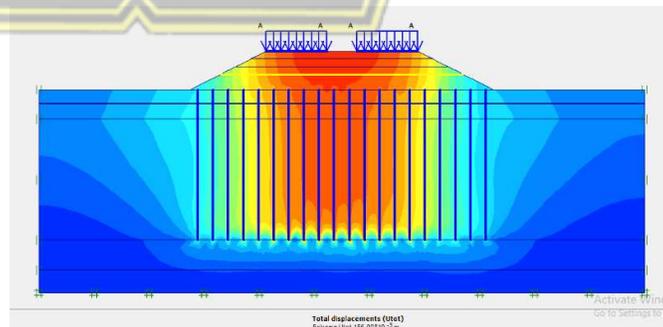
Gambar 4. 96: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster

4.5.6. Hasil Setelah Dilakukan Konsolidasi 50 Tahun

A. Penurunan Total Tanah

➤ Tipe Plate

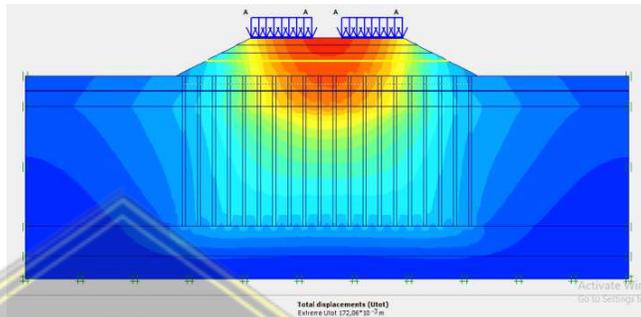
Penurunan total yang terjadi pada konstruksi setelah proses konsolidasi selama 50 tahun sebesar 15,6 cm. Penurunan ini dapat dilihat pada Gambar 4.97.



Gambar 4. 97: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate

➤ Tipe Cluster

Penurunan total yang terjadi pada konstruksi setelah proses konsolidasi selama 50 tahun sebesar 17,2 cm. Penurunan ini dapat dilihat pada Gambar 4.98.

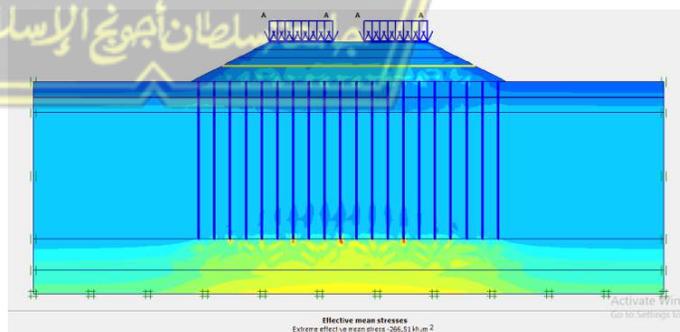


Gambar 4. 98: Penurunan Total Tanah setelah Konsolidasi 10 Tahun Tipe Cluster

**B. Tegangan Efektif Rata-Rata**

➤ Tipe Plate

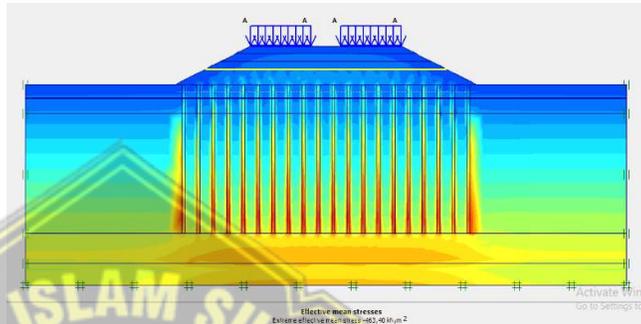
Tegangan efektif rata-rata (*mean effective stress*) yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 50 tahun sebesar 266,51 kN/m<sup>2</sup>. Tegangan ini dapat dilihat pada Gambar 4.99.



Gambar 4. 99: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate

➤ Tipe Cluster

Tegangan efektif rata-rata (*mean effective stress*) yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 50 tahun sebesar  $463,42 \text{ kN/m}^2$ . Tegangan ini dapat dilihat pada Gambar 4.100.

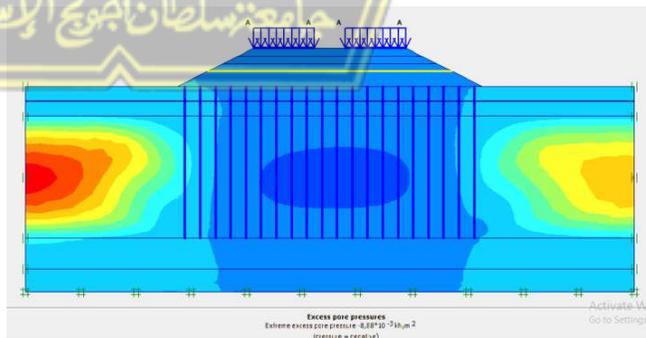


Gambar 4. 100: Tegangan Efektif Rata-Rata setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster

C. Tekanan Air Pori Berlebih

➤ Tipe Plate

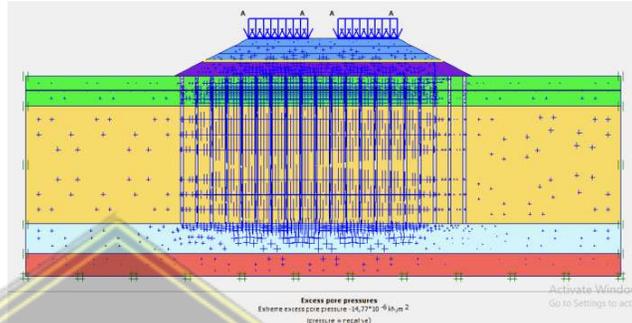
Tekanan air pori berlebih yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 50 tahun sebesar  $8,88 \times 10^{-3} \text{ kN/m}^2$ . Tekanan ini dapat dilihat pada Gambar 4.101.



Gambar 4. 101: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate

➤ Tipe Cluster

Tekanan air pori berlebih yang terjadi pada konstruksi setelah mengalami proses konsolidasi selama 50 tahun sebesar  $14,77 \times 10^{-6} \text{ kN/m}^2$ . Tekanan ini dapat dilihat pada Gambar 4.102

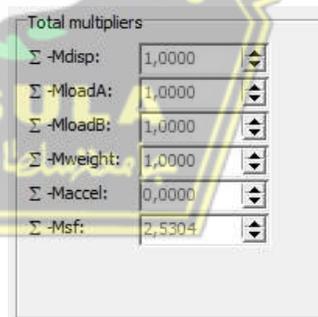


Gambar 4. 102: Tekanan Air Pori Berlebih setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster

**D. Safety Factor**

➤ Tipe Plate

Angka faktor keamanan (*safety factor*) dari konstruksi setelah terkonsolidasi selama 50 tahun yaitu 2,5304, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.103.



Total multipliers	
Σ -Mdisp:	1,0000
Σ -MloadA:	1,0000
Σ -MloadB:	1,0000
Σ -Mweight:	1,0000
Σ -Maccel:	0,0000
Σ -Msf:	2,5304

Gambar 4. 103: Safety Factor setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate

➤ Tipe Cluster

Angka faktor keamanan (*safety factor*) dari konstruksi setelah terkonsolidasi selama 50 tahun yaitu 2,2592, dapat dilihat seperti pada Gambar 4.104.

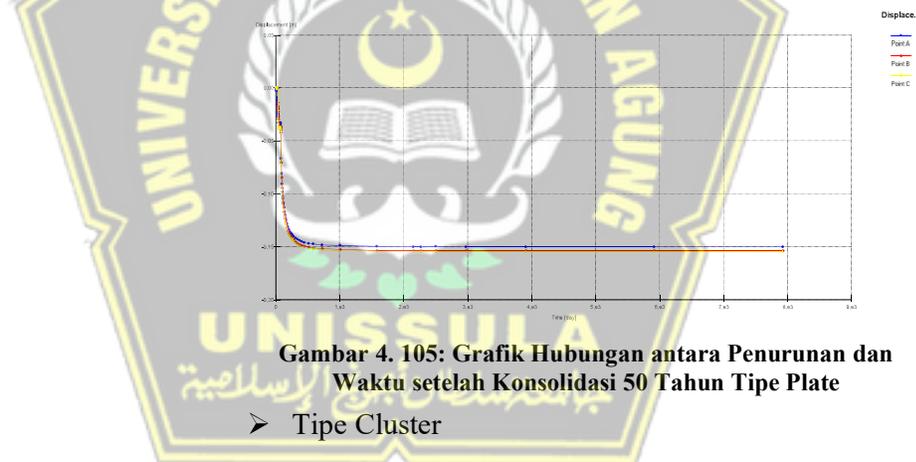
Total multipliers	
$\Sigma$ -Mdisp:	1,0000
$\Sigma$ -MloadA:	1,0000
$\Sigma$ -MloadB:	1,0000
$\Sigma$ -Mweight:	1,0000
$\Sigma$ -Maccel:	0,0000
$\Sigma$ -Msf:	2,2592

Gambar 4. 104: Safety Factor setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster

### E. Grafik Penurunan

#### ➤ Tipe Plate

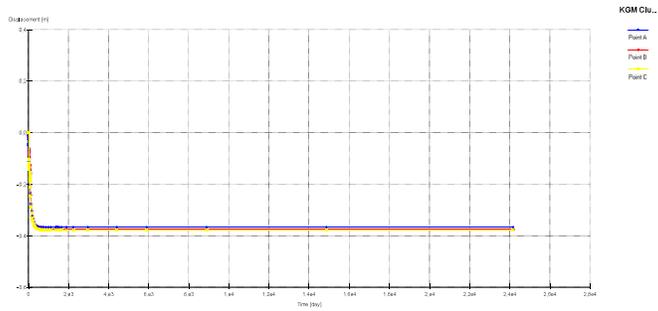
Setelah kontruksi mengalami konsolidasi selama 50 tahun, penurunan pada titik A sebesar -15 cm, penurunan pada titik B sebesar -15,4 cm dan penurunan pada titik C sebesar -15,5 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.105.



Gambar 4. 105: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate

#### ➤ Tipe Cluster

Setelah kontruksi mengalami konsolidasi selama 50 tahun, penurunan pada titik A sebesar -36,7 cm, penurunan pada titik B sebesar -37,4 cm dan penurunan pada titik C sebesar -37,7 cm. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.106.

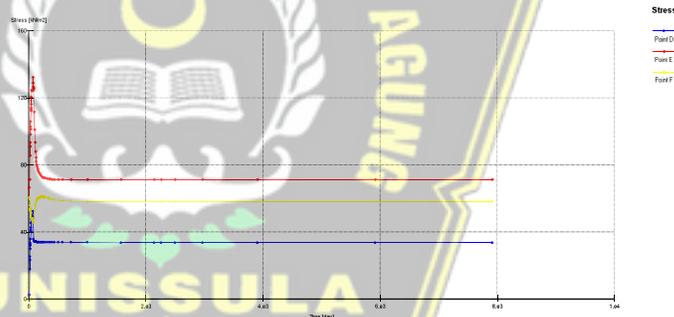


**Gambar 4. 106: Grafik Hubungan antara Penurunan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster**

## F. Grafik Tegangan

### ➤ Tipe Plate

Setelah konstruksi mengalami konsolidasi selama 50 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,787 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 71,605 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 58,220 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar

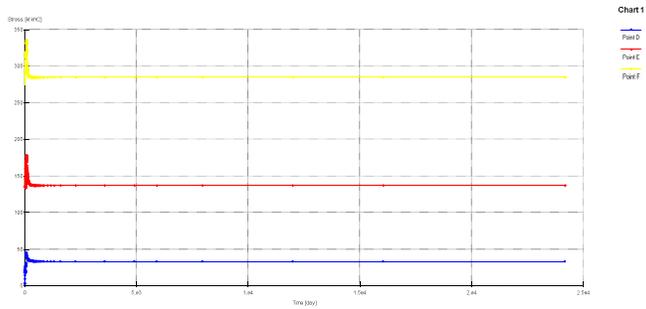


**Gambar 4. 107: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Plate**

4.104.

### ➤ Tipe Cluster

Setelah adanya konsolidasi 50 tahun, Tegangan pada titik D sebesar 33,587 kN/m<sup>2</sup>, tegangan pada titik E sebesar 137,470 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan pada titik F sebesar 284,770 kN/m<sup>2</sup>. Penurunan yang terjadi dapat dilihat seperti Gambar 4.108.



**Gambar 4. 108: Grafik Hubungan antara Tegangan dan Waktu setelah Konsolidasi 50 Tahun Tipe Cluster**

Hasil dari perhitungan permodelan KGM menggunakan plaxis 8.2 dapat ditabelkan sesuai dengan fase konstruksi, dapat dilihat seperti pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

**Tabel 4. 6  
Hasil Perhitungan Analisis KGM Tipe Plate**

Step	Total Penurunan Tanah (cm)	Excess Pore Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Safety Factor	Effective Stress (kN/m <sup>2</sup> )
Install KGM	0,5 cm	77,75	11,1320	164,47
LTP	1,6 cm	103,51	1,9912	169,15
Timbunan 1	2,1	135,72	3,2178	172,13
Timbunan 2	2,8	163,14	2,6731	216,07
Timbunan 3	3,7	186,93	2,3149	280,69
Perkerasan Jalan	3,7	187,13	2,3113	113,53
Beban Lalu Lintas	4,5	199,88	2,1206	113,76
Konsolidasi 1 Tahun	15,1	4,34	2,5235	264,14
Konsolidasi 5 Tahun	15,5	890,13E-3	2,5293	266,40

Konsolidasi 10 Tahun	15,6	83,73E-3	2,5305	266,51
Konsolidasi 50 Tahun	15,6	8,88E-3	2,5304	266,51

**Tabel 4. 7**  
**Hasil Perhitungan Analisis KGM Tipe Cluster**

Step	Total Penurunan Tanah (cm)	Excess Pore Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Safety Factor	Effective Stress (kN/m <sup>2</sup> )
Install KGM	0,5	157,86	18,2550	286,11
LTP	1,2	366,39	2,0022	287,04
Timbunan 1	2,6	474,07	1,9909	287,41
Timbunan 2	5,3	617,86	1,9747	287,67
Timbunan 3	8,3	712,91	2,2042	287,87
Perkerasan Jalan	8,3	713,38	2,2038	287,88
Beban Lalu Lintas	10,4	772,99	1,9585	288,00
Konsolidasi 1 Tahun	17,1	180,46E-3	2,2656	463,32
Konsolidasi 5 Tahun	17,2	374,38E-6	2,2584	463,32
Konsolidasi 10 Tahun	17,2	153,22E-6	2,2647	463,32
Konsolidasi 50 Tahun	17,2	14,77E-6	2,2592	463,32

Hasil analisis perbaikan tanah lunak menggunakan KGM yaitu, tegangan tegangan efektif rata-rata (*mean effective stress*). Perbandingan antara *effective stress* dan waktu dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

**Tabel 4. 8**  
**Perbandingan *Effective Stress* dan Waktu pada Titik Tinjauan KGM Tipe Plate**

Step	Waktu	<i>Effective Stress</i> Titik D (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Effective Stress</i> Titik E (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Effective Stress</i> Titik F (kN/m <sup>2</sup> )
Perkerasan Jalan	72	48,067	124,610	47,926
Beban Lalu Lintas	73	52,428	132,330	45,736
Konsolidasi 1 Tahun	438	33,999	71,585	59,520
Konsolidasi 5 Tahun	2263	33,787	71,605	58,220
Konsolidasi 10 Tahun	5913	33,754	71,553	58,211
Konsolidasi 50 Tahun	24163	33,741	71,552	58,209

**Tabel 4. 9**  
**Perbandingan *Effective Stress* dan Waktu pada Titik Tinjauan KGM Tipe Cluster**

Step	Waktu	<i>Effective Stress</i> Titik D (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Effective Stress</i> Titik E (kN/m <sup>2</sup> )	<i>Effective Stress</i> Titik F (kN/m <sup>2</sup> )
Perkerasan Jalan	72	26,852	171,360	318,260
Beban Lalu Lintas	73	30,699	178,290	321,540
Konsolidasi 1 Tahun	438	33,663	137,550	284,810
Konsolidasi 5 Tahun	2263	33,587	137,470	284,770
Konsolidasi 10 Tahun	5913	33,590	137,470	284,770
Konsolidasi 50 Tahun	24163	33,593	137,480	284,780

Hasil analisis selanjutnya dari perbaikan tanah lunak menggunakan KGM yaitu, Penurunan (Displacement). Perbandingan antara Penurunan dan waktu dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

**Tabel 4. 10**  
**Perbandingan Penurunan dan Waktu pada Titik Tinjauan KGM Tipe Plate**

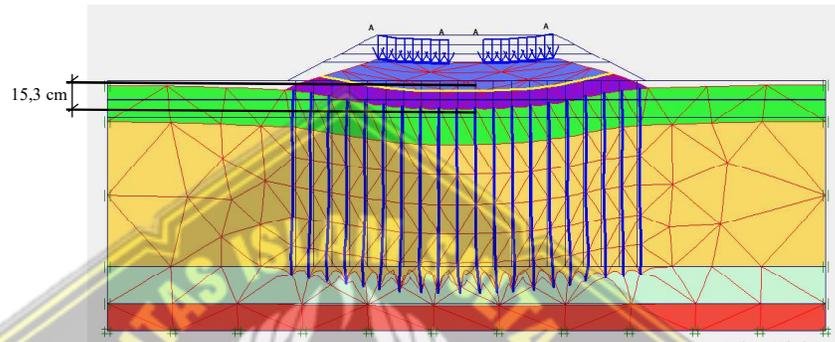
Step	Waktu	<i>Displacement</i> Titik A (cm)	<i>Displacement</i> Titik B (cm)	<i>Displacement</i> Titik C (cm)
Perkerasan Jalan	72	3,3	3,6	3,8
Beban Lalu Lintas	73	3,9	4,2	4,3
Konsolidasi 1 Tahun	438	14,6	14,9	15,0
Konsolidasi 5 Tahun	2263	15,0	15,4	15,5
Konsolidasi 10 Tahun	5913	15,0	15,4	15,5
Konsolidasi 50 Tahun	24163	15,0	15,4	15,5

**Tabel 4.11**  
**Perbandingan Penurunan dan Waktu pada Titik Tinjauan KGM Tipe Cluster**

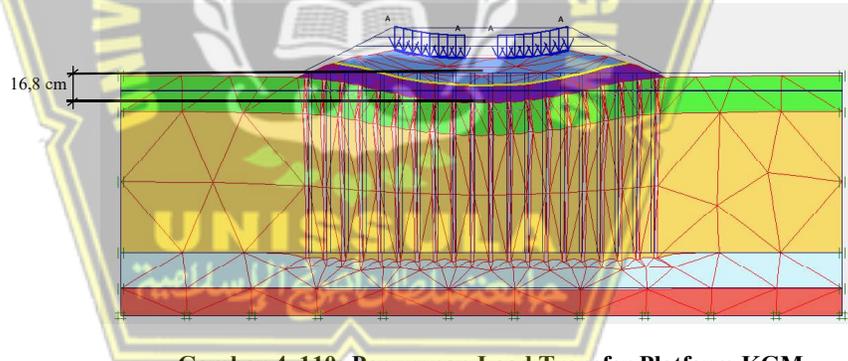
Step	Waktu	<i>Displacement</i> Titik A (cm)	<i>Displacement</i> Titik B (cm)	<i>Displacement</i> Titik C (cm)
Perkerasan Jalan	72	7,9	8,2	8,3
Beban Lalu Lintas	73	10,0	10,4	10,4
Konsolidasi 1 Tahun	438	16,6	16,9	17,0
Konsolidasi 5 Tahun	2263	16,6	16,9	17,1
Konsolidasi 10 Tahun	5913	16,6	16,9	17,1
Konsolidasi 50 Tahun	24163	16,6	16,9	17,1

#### 4.6 Penurunan *Load Transfer Platform* (LTP) setelah Konsolidasi 10 Tahun

Besarnya penurunan *load transfer platform* (LTP) pada KGM tipe *plate* sebesar 15,3 cm dan tipe *cluster* 16,8 cm setelah terkonsolidasi selama 10 tahun disajikan seperti pada Gambar 4.109. dan Gambar 4.110.



Gambar 4. 109: Penurunan Load Transfer Platform KGM Tipe *Plate* setelah Konsolidasi 10 Tahun



Gambar 4. 110: Penurunan Load Transfer Platform KGM Tipe *Cluster* setelah Konsolidasi 10 Tahun

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis bab sebelumnya kedua permodelan kolom *Grout* Modular (KGM) tipe *plate* dan *cluster* pada perbaikan jalan akses *pick up zone* Bandara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang menggunakan *software plaxis 8.2* dapat disimpulkan sebagai berikut :

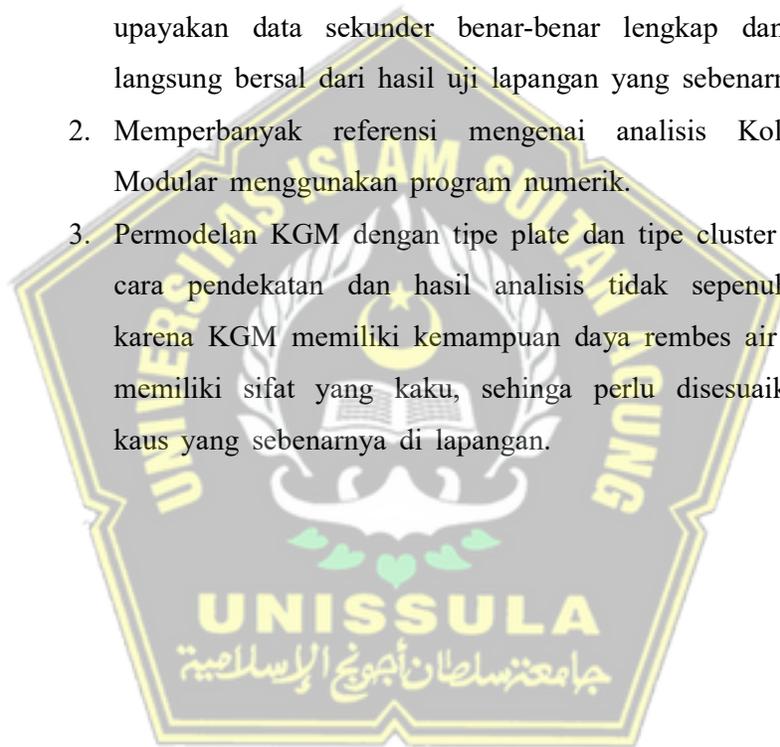
1. Berdasarkan hasil perhitungan besar penurunan total setelah terkonsolidasi 50 tahun pada Kolom *Grout* Modular dngan tipe *plate* sebesar 15,3 cm, sedangkan pada tipe *cluster* sebesar 17,2 cm.
2. Tanah yang terbebani oleh konstruksi diatasnya mengalami tekanan air pori berlebih. Seiring berjalannya waktu tekanan air pori akan mengalami penurunan,. Setelah konsolidasi 50 tahun tekanan air pori berlebih pada KGM tipe *plate*  $8,88 \times 10^{-3}$  kN/m<sup>2</sup>, sedangkan KGM tipe *cluster* memiliki tekanan air pori berlebih sebesar  $14,77 \times 10^{-6}$  kN/m<sup>2</sup>. Permodelan KGM dengan tipe *plate* diasumsikan tidak tembus air sehingga terdrainase lebih lama daripada KGM tipe *cluster*.
3. Hasil analisis KGM setelah terkonsolidasi 50 tahun tipe *plate* mengalami tegangan efektif sebesar 266,51 kN/m<sup>2</sup> lebih kecil dibandingkan tipe *cluster* dengan tegangan efektif sebesar 463 kN/m<sup>2</sup>. Seiring berjalannya waktu tekanan air pori akan berkurang karena air akan terdrainase oleh beban sehingga tanah mengalami tekanan. Tipe *plate* tegangan efektif lebih kecil dikarenakan beban masih dapat ditahan oleh air, jadi tanah belum sepenuhnya menahan beban konstruksi diatasnya Sedangkan tipe *cluster* tekanan air pori berlebih lebih kecil maka tanah dapat menahan beban.
4. Berdasarkan hasil analisis, setelah konstruksi terkonsolidasi 10 tahun didapatkan penurunan pada LTP untuk tipe *plate* sebesar 15,3 cm, sedangkan pada tipe *cluster* penurunan LTP sebesar 16,8

cm. Hal itu dikarenakan perbedaan KGM tipe *plate* dan *cluster* dimana tipe *plate* lebih kaku tidak memiliki daya rembas air. Dibandingkan dengan permodelan KGM tipe *cluster* yang lebih lentur dan memiliki daya kemampuan rembas air.

## 5.2 Saran

Saran dan masukan yang dapat disampaikan oleh penyusun untuk pembaca maupun untuk pengembangan penulisan tugas akhir kami antara lain :

1. Sebelum memulai permodelan dengan program numerik upayakan data sekunder benar-benar lengkap dan upayakan langsung bersal dari hasil uji lapangan yang sebenarnya.
2. Memperbanyak referensi mengenai analisis Kolom *Grout* Modular menggunakan program numerik.
3. Permodelan KGM dengan tipe *plate* dan tipe *cluster* merupakan cara pendekatan dan hasil analisis tidak sepenuhnya tepat, karena KGM memiliki kemampuan daya rembes air tetapi juga memiliki sifat yang kaku, sehingga perlu disesuaikan dengan kaus yang sebenarnya di lapangan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abbey, samuel J, Ngambi S., dan Ngekpe Barisua E., 2015, *Understanding the Performance of Deep Mixed Column Improved Soils*, *International Jurnal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. UK. Volume 6, Issue, pp.97-117.
- Bowles, J. E., 1989, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, PT. Erlangga. Jakarta
- Bowles J. E., 1991, *Analisa dan Desain Pondasi*, Edisi keempat Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Coduto, Donald P, 1994, *Foundation Design Principles and Pratices*, New Jersey: Prentice-Hall.
- Collin, J.G, 2004, *Column Supported Embankement Design Considerations*, *Proceedings 52<sup>nd</sup> Annual Geotechnical Conference*, University of Minnesota, Minneapolis, February 27, 2004.
- Das, Braja M., 1995, *Mekanika Tanah I*, Erlangga, Jakarta
- Gouw, Tjie Liong, 2010, *Ground Settlement*, Jakarta.
- Mutalib, A. Aa, J. S. Lim, M. H. Wong and L. Koonvai, 1991, *Charracterization, distribution and utilization of peat in Malaysia*, *Proc. International Symposium on tropical peatland*, Serawak, 6-10 May 1991.
- Nanda, F.A, Wahyudi, A., 2017, *Perbandinngan Analisis Perkuatan Tanah Metode Kolom Grout Modular Dengan Pemodelan Tipe Plate Dan Cluster Menggunakan Program Numerik*, Tugas Akhir Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Pratikso, 2013, *Bahan Ajar Mekanika Tanah II*, Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- Panduan Geoteknik Indonesia, 2001, *Panduan Geoteknik I: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar tanah Lunak*, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, WSP Internasional, Jakarta, Indonesia.

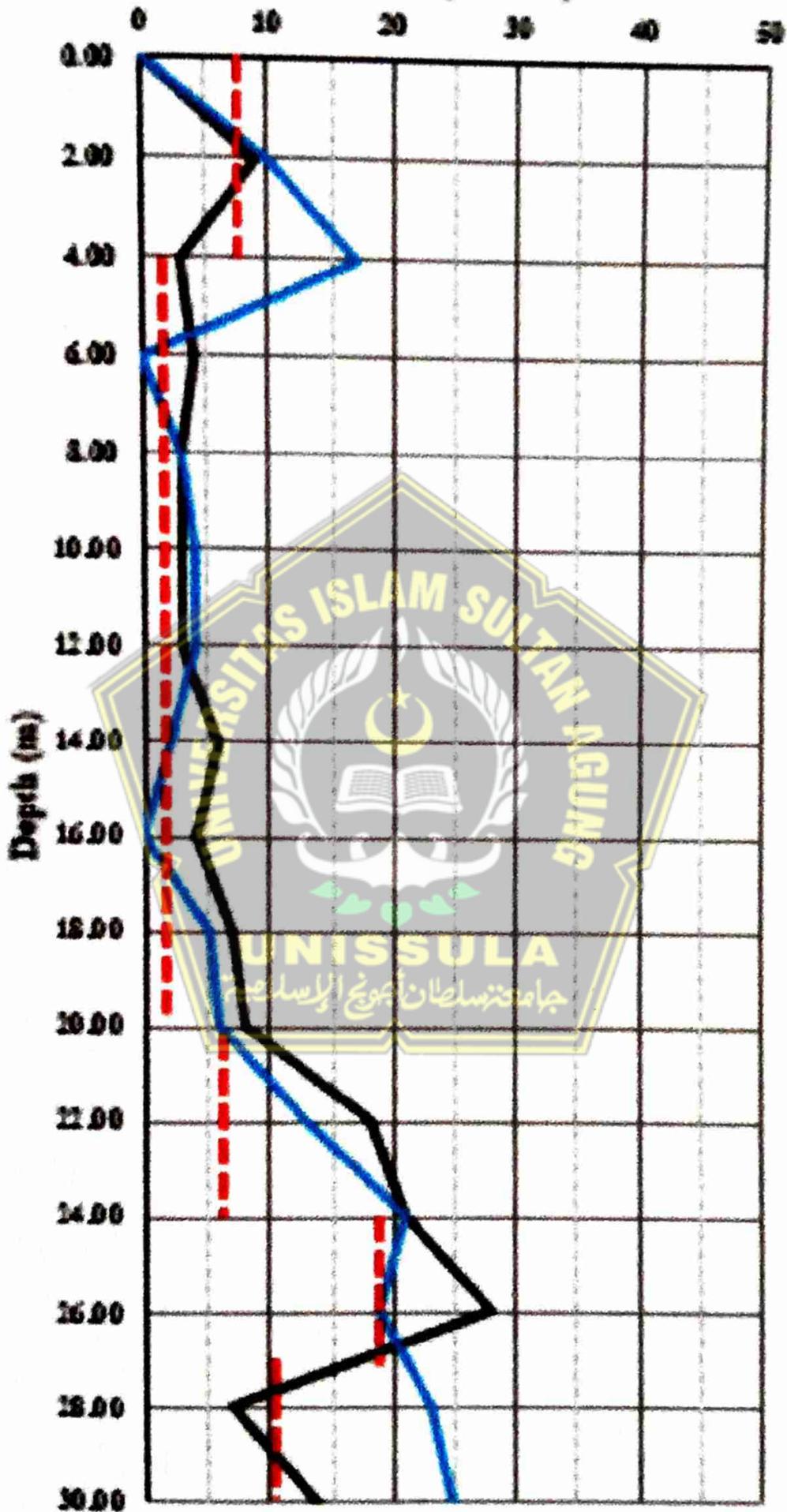
Pedoman Kimpraswil, 2002, *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak Pt T-8-2002-*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.

Schleicher, F. 1926. Zur Theorie des Baugrundes. Der Bauingenieur. No. 48/49, pp. 931-935.

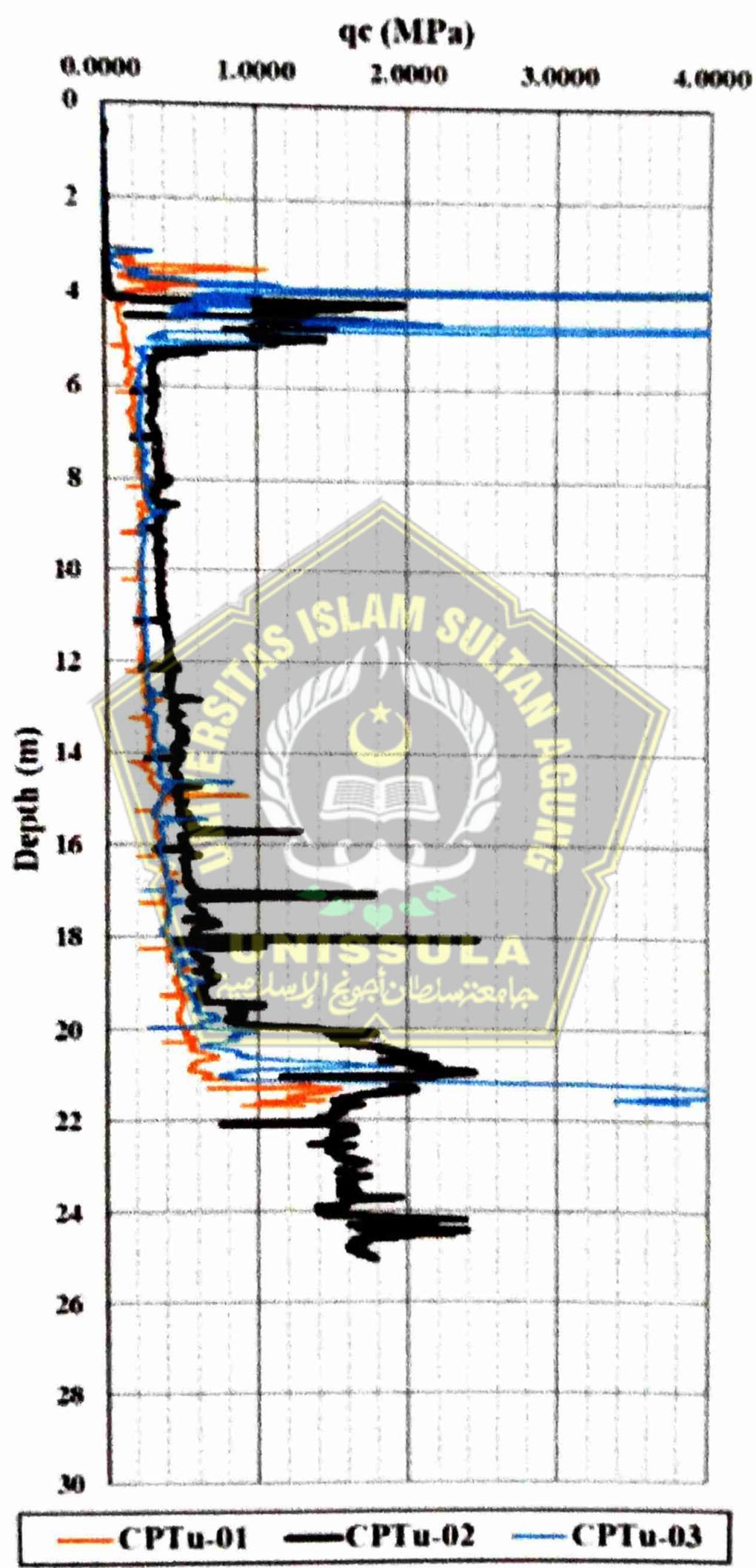
Sulfa, M.A, Sa'adati, Y.R. 2018, *Studi Perbaikan Tanah Dengan Metode Kolom Grout Modular Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pemalang-Batang STA 353+200*, Tugas Akhir Universitas Sultan Agung Semarang.



# N-SPT (Blow/ft)



— BH-01 — BH-02





YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455  
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Nomor : 28 / A.2 / SA - T / III / 2021

Lampiran : - -

Perihal : Bimbingan Tugas Akhir

Kepada : Yth. :

1 Dr. Abdul Rochim,ST,MT (Dosen Pembimbing I Tugas Akhir)

2 Dr. Ir. Rinda Karlinasari,MT (Dosen Pembimbing II Tugas Akhir)

Dosen Fakultas Teknik Prodi Teknik Sipil UNISSULA

Assalamu'alaikum Wr Wb.

Bersama Surat ini kami menghadapkan mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memenuhi syarat untuk mengerjakan Tugas Akhir ( TA ) :

No	Nama	NIM
1	Muhammad Fiko Prameswara	30201700123
2	Muhammad Faqih Assidqi	30201700121

Maka dengan ini kami mohon kepada Bapak / Ibu untuk memberikan Bimbingan Tugas Akhir ( TA ) kepada mahasiswa tersebut diatas.

Wassalamu'alaikum Wr Wb.

Semarang, 22 Maret 2021

Reha Program Studi Teknik Sipil



M. Rusli Anyar, ST, M. Eng

NIK. 210216089

## LEMBAR ASISTENSI LAPORAN TUGAS AKHIR



**Nama :** Muhammad Faqih Assidqi (302017000121)  
 Muhammad Fiko Prameswara (302017000123)  
**Dosen I :** Dr. Abdul Rochim, ST., MT  
**Dosen II :** Dr Ir. Rinda Karlinasari, MT.

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	24 April 2021	LTP + KGM dengan model Plate dan Cluster	
2	4 Mei 2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>- permodelan timbunan LTP diberi Geosintetik.</li> <li>- Bab III berikan tahap-tahap permodelan plaxis</li> </ul>	
3.	25 Mei 2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hasil Safety factor <math>&gt; 1,5</math></li> <li>- Keterangan gambar bab II diberi sumber.</li> </ul>	
4	15 Juni 2021	- Hasil permodelan KGM dibuat laporan	
5.	29 Juni 2021	- Tambahkan grafik perbandingan titik tinjauan.	
6	12 Juli 2021	Disposisi Seminar TA Aee	



## LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Muhammad Faqih Assidq (30201700121)

Muhammad Fiko Prameswara (30201700123)

Dosen I : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Dosen II : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT.

NO.	TGL ASISTENSI	KETERANGAN	PARAF
	14 Juli 2021	Bisa lanjut seminar ACC 	



Nomor 10/A2/SA-T/VII/2021

Pada hari ini, Senin Tanggal 26 Juli 2021 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut

1 Nama	Muhammad Faqih Assidqi	3021700121
2 Nama	Muhammad Fiko Prameswara	30201700123

Judul TA                      Analisa Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Kolom Grout Modular  
Pada Jalan Akse Pick Up Zone Bandara Ahmad Yani Semarang  
0

Dengan Hasil

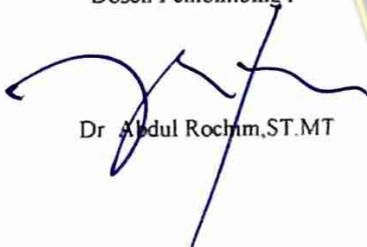
*Baik, dengan beberapa koreksi yang harus direvisi segera.*

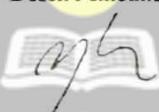
Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan penggunaan seperlunya

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dosen Pemanding

  
Dr. Abdul Rochim, ST, MT

  
Dr. Ir. Rinda Karlunasari, MT

  
Selvia Agustina, ST, M Eng

Mengetahui  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
M. Rusli Anwar, ST, M/Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (B.5a) Fax (024) 6582455  
email: informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

DOSEN PENGUJI  
SEMINAR TUGAS AKHIR

Hari: Senin  
Tanggal: 26 Juli 2021  
Jam: 10.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Analisa Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Kolom Grout Modular  
Pada Jalan Akse Pick Up Zone Bandara Ahmad Yani Semarang

1	Muhammad Faqih Assidqi	3021700121	1	
2	Muhammad Fiko Prameswara	30201700123	2	

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Dr. Abdul Rochim,ST,MT	
2	Dr. Ir. Rinda Karlinasari,MT	2
3	Selvia Agustina,ST,M.Eng	3

Semarang, 26 Juli 2021

Ketua Program Studi Teknik Sipil

M. Rusli Ahyar, ST, M. Eng  
NIK 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligaten Km 4 Semarang 50112 Telp. (024) 6581384 (P. Sak) Fax (024) 6582455  
email: informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

JUDUL TUGAS AKHIR  
DALAM BAHASA INGGRIS

Hari: Senin  
Tanggal: 26 Juli 2021  
Jam: 10.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Analisa Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Kolom Grout Modular

Pada Jalan Akse Pick Up Zone Bandara Ahmad Yani Semarang

0

JUDUL TUGAS AKHIR DALAM BAHASA INGGRIS

Soft Soil Improvement Analysis With Modular Grout Column Method on Access Road Pick up zone Jenderal Ahmad Yani Semarang Airport.

1	Muhammad Faqih Assidqi	3021700121	1	
2	Muhammad Fiko Prameswara	30201700123	2	

Pembimbing Tugas Akhir

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Dr. Abdul Rochim,ST,MT	
2	Dr. Ir. Rinda Karlinasari.MT	



Semarang, 26 Juli 2021  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M. Kusil Ahyar, ST, M. Eng  
NIK 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe, Km. 4 Semarang 50112 Telp. (0291) 85835341 Bina 1 & 2 (0291) 6567459  
email: info@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR  
MAHASISWA FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

Hari : Senin  
Tanggal : 26 Juli 2021  
Tempat : .....

NO	NAMA	NIM	TANDA TANGAN
1	M. Kurniawansyah Pratama	30201700100	1
2	Muhammad Alim Al Amien	30201700018	2
3	Mohammad Asyrofi	30201700109	3
4	Elang Kuncoro Jati	30201700065	4
5	Muh. Adnan Febya L	30201700112	5
6	Farikha Aji Wicaksono	30201700067	6
7	Hafiyyan Rizqur R.	30201700076	7
8	Maulana Rama A	30201700098	8
9			9
10			10
11			11
12			12
13			13
14			14
15			15
16			16
17			17
18			18
19			19
20			20

MENGETAHUI

DOSEN PENGUJI

DOSEN PENGUJI

Selvia Agustina, ST, M.Eng



SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM Muhammad Faqih Assidqi (30201700121)  
Muhammad Fiko Prameswara (30201700123)

Hari / Tanggal Senin, 26 Juli 2021

Judul TA Analisa Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Kolom  
Borot Modular Pada Jalan Akses Pick Up Zone  
Bandara Ahmad Yani Semarang.

NO
1. Perbaiki Abstrak → tambahkan tujuan studi & paragraf. pertama.
2. Sinkronkan Daftar Pustaka dengan isi Tugas Akhir.
3. Lembar Keaslian dan Surat bebas plagiaris dijadiakan satu kelampiran nuna.
4. Kelajuan lagi isi dari tugas Akhir.

DOSEN PENGUJI



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

FAKULTAS TEKNIK

Bersifat Membangun Generasi Kita Umat

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM    Muhammad Fagih Assidqi (30201700121)  
   Muhammad Fiko Prameswara (30201700123)

Hari / Tanggal                Senin, 26 Juli 2021

Judul TA                        Analisa Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Kolom  
   Groun Modular Pada Jalan Akses Pick Up Zone Bandara Ahmad  
   Yani Semarang

NO

Pada input material KGM plate dan clweer harus sama parameternya.

Gambar Grafik sedikit diperbesar supaya jelas.

Lebih mendalami materi Tugas Akhir.

DOSEN PENGUJI



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)  
Jl. Raya Kaligawe Km 4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax (024) 6582455  
email: informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Muhammad Faqih Assidqi (30201700121)  
Muhammad Fiko Prameswara (30201700123)

Hari / Tanggal : Senin, 26 Juli 2021

Judul TA : Analisa Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Kolom  
Grout Modular Pada Jalan Akses Pickup Zone  
Bandara Ahmad Yani Semarang.

NO	
1.	Lebih Mendalami materi Tugas Akhir.
<b>DOSEN PENGUJI</b> 	

# ANALISA PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE KOLOM GROUT MODULAR PADA JALAN AKSES PICK UP ZONE BANDARA JENDERAL AHMAD YANI SEMARANG

## ORIGINALITY REPORT

**22%**  
SIMILARITY INDEX

**19%**  
INTERNET SOURCES

**2%**  
PUBLICATIONS

**17%**  
STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

**1** Submitted to Sultan Agung Islamic University  
Student Paper 9%

**2** repository.unissula.ac.id  
Internet Source 8%

**3** id.scribd.com  
Internet Source 1%

**4** eprints.undip.ac.id  
Internet Source <1%

**5** esron07.blogspot.com  
Internet Source <1%

**6** www.scribd.com  
Internet Source <1%

**7** 123dok.com  
Internet Source <1%

**8** repositori.usu.ac.id  
Internet Source <1%

Submitted to Sriwijaya University

9

Student Paper

&lt;1 %

10

[oneida-nsn.gov](http://oneida-nsn.gov)

Internet Source

&lt;1 %

11

[repository.uin-suska.ac.id](http://repository.uin-suska.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

12

[repository.its.ac.id](http://repository.its.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

13

[repository.ub.ac.id](http://repository.ub.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

14

[eprints.uns.ac.id](http://eprints.uns.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

15

[habibi8899.wordpress.com](http://habibi8899.wordpress.com)

Internet Source

&lt;1 %

16

[ntrs.nasa.gov](http://ntrs.nasa.gov)

Internet Source

&lt;1 %

17

[pt.scribd.com](http://pt.scribd.com)

Internet Source

&lt;1 %

18

[id.123dok.com](http://id.123dok.com)

Internet Source

&lt;1 %

19

[jurnal.umj.ac.id](http://jurnal.umj.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %

20

[journal.uny.ac.id](http://journal.uny.ac.id)

Internet Source

&lt;1 %



21	<a href="http://repository.uinbanten.ac.id">repository.uinbanten.ac.id</a> Internet Source	<1 %
22	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1 %
23	<a href="http://jurnal.unissula.ac.id">jurnal.unissula.ac.id</a> Internet Source	<1 %
24	<a href="http://lib.unnes.ac.id">lib.unnes.ac.id</a> Internet Source	<1 %
25	<a href="http://library.fis.uny.ac.id">library.fis.uny.ac.id</a> Internet Source	<1 %
26	<a href="http://repository.unimar-amni.ac.id">repository.unimar-amni.ac.id</a> Internet Source	<1 %
27	<a href="http://www.anehdidunia.com">www.anehdidunia.com</a> Internet Source	<1 %
28	<a href="http://zombiedoc.com">zombiedoc.com</a> Internet Source	<1 %
29	<a href="http://adilmakmur.co.id">adilmakmur.co.id</a> Internet Source	<1 %
30	<a href="http://dspace.vutbr.cz">dspace.vutbr.cz</a> Internet Source	<1 %
31	<a href="http://ethesys.lib.fcu.edu.tw">ethesys.lib.fcu.edu.tw</a> Internet Source	<1 %
32	<a href="http://ridwananalisis.wordpress.com">ridwananalisis.wordpress.com</a> Internet Source	<1 %



33 [vdocuments.site](http://vdocuments.site) Internet Source <1 %

34 [adoc.pub](http://adoc.pub) Internet Source <1 %

35 [digilibadmin.unismuh.ac.id](http://digilibadmin.unismuh.ac.id) Internet Source <1 %

36 [eprints.umm.ac.id](http://eprints.umm.ac.id) Internet Source <1 %

37 [es.scribd.com](http://es.scribd.com) Internet Source <1 %

38 [dokumen.pub](http://dokumen.pub) Internet Source <1 %

39 [core.ac.uk](http://core.ac.uk) Internet Source <1 %



Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off