

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH JENIS TIMBUNAN TERHADAP  
DISPLACEMENT PADA TANAH ASLI**

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



**Disusun Oleh :**

**Ahmad Mustapa Amin  
Nim: 30201900025**

**Muhammad Fazilla Budia  
Nim: 30201800117**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG  
TAHUN 2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH JENIS TIMBUNAN TERHADAP DISPLACEMENT**  
**PADA TANAH ASLI**



**Ahmad mustapa Amin**  
**Nim: 30201900025**



**Muhammad Fazilla Budia**  
**Nim: 30201800117**

Telah diSetujui dan disahkan di Semarang,

Tim Penguji

1. **Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng**

NIDN: 06-0501-6802

2. **Dr. Abdul Rochim, ST.,MT**

NIDN: 06-0806-7601

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas  
Islam Sultan Agung

**Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.**  
NIDN: 06-2505-9102

**BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR**

No: .....

(ket: mahasiswa meminta nomor surat berita acara ke BAP FT)

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

Nama : Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng

Jabatan Akademik : Lektor

Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

Ahmad Mustapa Amin  
Nim : 30201900025

Muhammad Fazilla Budia  
Nim : 30201900045

Judul : Pengaruh Jenis Timbunan Terhadap Displacement Pada tanah Asli

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	10 Agustus 2024	
2	Seminar Proposal	16 September 2024	ACC
3	Pengumpulan data	26 September 2024	
4	Analisis data	5 November 2024	
5	Penyusunan laporan	20 November 2024	
6	Selesai laporan	2 Desember 2024	ACC

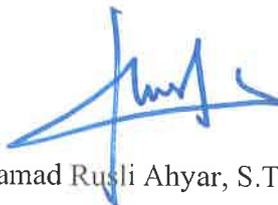
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk  
diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama



Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Mustapa Amin

Nim : 30201900025

Nama : Muhammad Fazilla Budia

Nim : 30201800117

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : “Pengaruh Jenis Timbunan Terhadap Displacement pada Tanah Asli” benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksisesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 3 Desember 2024  
Yang membuat pernyataan



Ahmad Mustapa Amin



Muhammad Fazilla Budia

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Ahmad Mustapa Amin

Nim : 30201900025

Nama : Muhammad Fazilla Budia

Nim : 30201800117

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

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

Semarang, 3 Desember 2024  
Yang membuat pernyataan



Ahmad Mustapa Amin



Muhammad Fazilla Budia

## MOTTO

“Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. [Q.S. Ali Imron : 110]

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tidaklah seseorang itu berputus asa kecuali orang-orang yang kafir”. [Q.S. Yusuf : 87]

“Sesungguhnya para malaikat selalu meletakkan sayapnya kepada orang yang mencari ilmu sebagai tanda ridha apa yang dia cari”. [H.R. At-Tarmidzi : 3535]

“Saya tidak bangga dengan keberhasilan yang tidak saya rencanakan, sebagaimana saya tidak akan menyesal atas kegagalan di ujung usaha maksimal.”.  
[Harun Al- Rasyid]



## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini Penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Jasman Hamzah dan Ibu Maira Suryani, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan do'a.
2. Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil yang telah membagikan ilmu.
3. Ibu Dosen Pembimbing Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng. yang dengan sabar membimbing dalam pengerjaan Tugas Akhir kami.
4. Ahmad Mustapa Amin rekan tugas, teman seperjuangan, teman sepermainan, dan saudara seiman.
5. Teman Teknik Sipil se-Angkatan 2018 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Muhammad Fazilla Budia  
Nim: 30201900025



## ABSTRAK

Penurunan tanah (settlement) merupakan masalah utama dalam konstruksi geoteknik yang dapat mengakibatkan kerusakan struktural, penurunan fungsi infrastruktur, hingga meningkatnya biaya pemeliharaan. Salah satu metode mitigasi yang umum digunakan adalah penambahan material timbunan untuk memperbaiki karakteristik tanah asli dan mengurangi risiko deformasi. Namun, efektivitas setiap jenis material timbunan (sand, gravel, clay) dalam mengurangi displacement belum sepenuhnya dipahami, terutama terkait variasi kondisi muka air tanah (MAT).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh material timbunan terhadap displacement tanah asli menggunakan simulasi numerik dengan perangkat lunak Plaxis 2D. Parameter geoteknik seperti kohesi, sudut geser, modulus elastisitas, dan permeabilitas dimasukkan dalam model untuk mensimulasikan interaksi antara tanah asli dan timbunan. Simulasi dilakukan pada tiga jenis material timbunan dengan variasi kedalaman MAT (0 m dan -1 m) serta waktu konsolidasi (1 bulan, 1 tahun, dan 10 tahun).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gravel adalah material timbunan paling efektif dalam mengurangi displacement, diikuti oleh sand dan clay. Displacement terbesar terjadi pada tanah dengan MAT lebih rendah, sedangkan waktu konsolidasi yang lebih panjang menghasilkan deformasi yang lebih signifikan. Studi ini memberikan kontribusi penting dalam pemilihan material timbunan yang optimal untuk mitigasi penurunan tanah, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keamanan konstruksi pada area dengan kondisi tanah lunak.

**Kata kunci:** penurunan tanah, displacement, material timbunan, geoteknik.

## **ABSTRAC**

*Soil settlement is a critical issue in geotechnical engineering that can lead to structural damage, reduced infrastructure functionality, and increased maintenance costs. One common mitigation method involves using fill materials to improve the characteristics of native soil and reduce the risk of deformation. However, the effectiveness of different types of fill materials (sand, gravel, clay) in reducing displacement remains inadequately explored, particularly under varying groundwater table (GWT) conditions.*

*This study aims to analyze the impact of fill materials on the displacement of native soil using numerical simulations with Plaxis 2D software. Geotechnical parameters such as cohesion, shear angle, elastic modulus, and permeability were incorporated into the model to simulate the interaction between native soil and fill materials. Simulations were conducted on three types of fill materials under varying GWT depths (0 m and -1 m) and consolidation times (1 month, 1 year, and 10 years).*

*The results indicate that gravel is the most effective fill material in reducing displacement, followed by sand and clay. The highest displacement occurred in soils with lower GWT, while longer consolidation times resulted in more significant deformations. This study contributes valuable insights into the optimal selection of fill materials for mitigating soil settlement, improving the efficiency and safety of construction projects in areas with soft soil conditions.*

**Keywords:** *soil settlement, displacement, fill materials, geotechnical engineering.*

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Jenis Timbunan Terhadap Displacement pada Tanah Asli” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST.,MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Ibu Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada Penulis.
5. *Partner* pengerjaan Tugas Akhir yang selalu bekerjasama sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat pada waktunya.

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

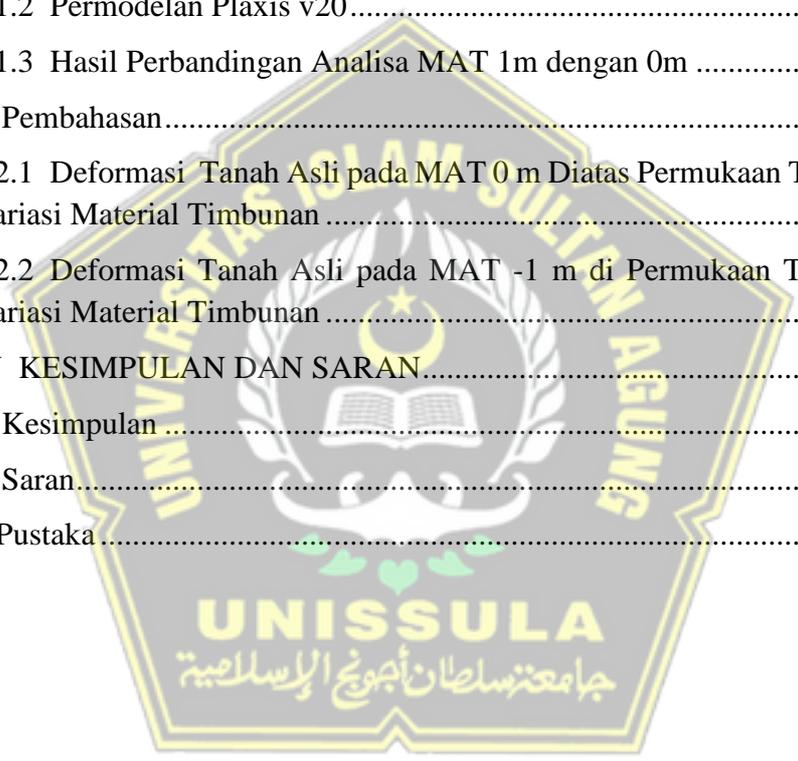
Semarang, 3 Desember 2024

penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO .....	vi
PERSEMBAHAN .....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRAC .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Tanah.....	5
2.2 Jenis-jenis Tanah.....	5
2.3.1 Tanah Pasir ( <i>Sand</i> ) .....	7
2.3.2 Tanah Lempung ( <i>Clay</i> ) .....	7
2.3.3 Gravel.....	8
2.3 Timbunan .....	9
2.3.1 Tanah Timbunan .....	10
2.4 Konsolidasi.....	12
2.5 Plaxis 2D .....	13
2.4 Parameter Tanah.....	14
2.6 Penelitian Terdahulu .....	19
2.7 Research Gap .....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	23

3.1 Bentuk Penelitian .....	23
3.2 Tahapan Penelitian .....	23
3.3 Metode Pengumpulan Data .....	24
3.4 Metode Pengolahan Data .....	25
3.5 Metode Analisis Data .....	25
3.6 Diagram Alir .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Analisis jenis timbunan terhadap displacement pada tanah asli .....	28
4.1.1 Parameter Tanah.....	28
4.1.2 Permodelan Plaxis v20.....	29
4.1.3 Hasil Perbandingan Analisa MAT 1m dengan 0m .....	36
4.2 Pembahasan.....	49
4.2.1 Deformasi Tanah Asli pada MAT 0 m Diatas Permukaan Tanah dengan Variasi Material Timbunan .....	49
4.2.2 Deformasi Tanah Asli pada MAT -1 m di Permukaan Tanah dengan Variasi Material Timbunan .....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>52</b>
5.1 Kesimpulan .....	52
5.2 Saran.....	53
Daftar Pustaka.....	54



## DAFTAR GAMBAR

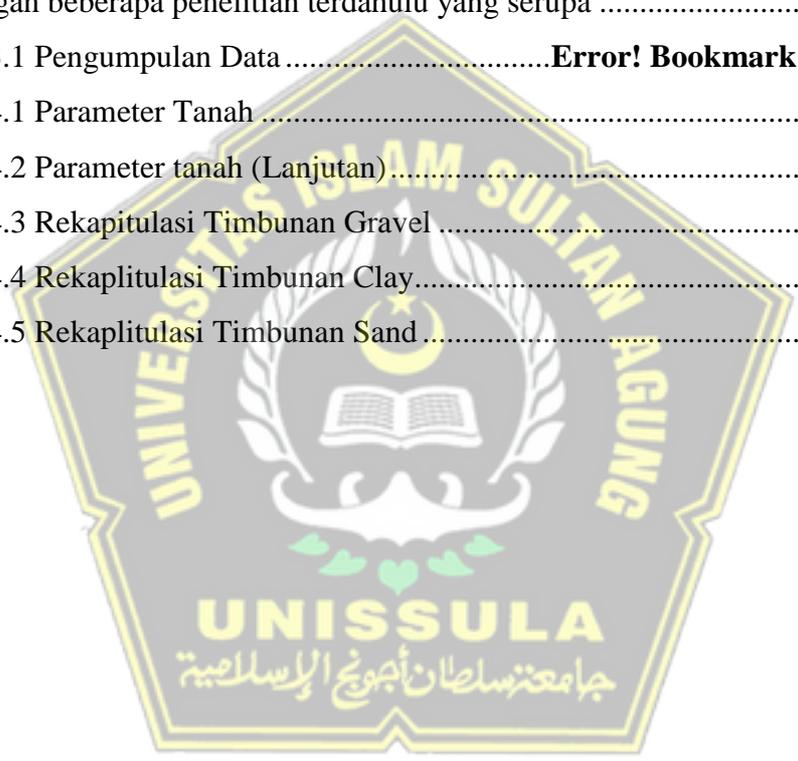
Gambar 2.1 Gelincir Lingkaran (PD T-06-2004-B).....	10
Gambar 2.2 Gelincir Translasi (PD T-06-2004-B).....	10
Gambar 2.3 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan (E0 dan E50).....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir .....	27
Gambar 4.1 Project Properties .....	30
Gambar 4.2 Input Material pada menu General.....	30
Gambar 4.3 Input Material pada menu Mechanical.....	31
Gambar 4.4 Input Material pada menu Mechanical.....	31
Gambar 4.5 Permodelan Timbunan Gravel .....	32
Gambar 4.6 Permodelan Timbunan Sand .....	32
Gambar 4.7 Permodelan Timbunan Clay .....	33
Gambar 4.8 Jendela Mesh.....	33
Gambar 4.9 Titik Monitoring.....	34
Gambar 4.10 Flow Condition.....	35
Gambar 4.11 Staged Construction.....	36
Gambar 4.12 Gravel Displacement dengan MAT 0 m .....	37
Gambar 4.13 Gravel Displacement dengan MAT -1 m .....	37
Gambar 4.14 Gravel Displacement dengan MAT 0 m .....	38
Gambar 4.15 Gravel Displacement dengan MAT -1 m.....	39
Gambar 4.16 Gravel Displacement dengan MAT 0 m .....	39
Gambar 4.17 Gravel Displacement dengan MAT -1 m .....	40
Gambar 4.18 Clay Displacement dengan MAT 0 m.....	41
Gambar 4.19 Clay Displacement dengan MAT -1 m .....	42
Gambar 4.20 Clay Displacement dengan MAT 0 m.....	42
Gambar 4.21 Clay Displacement dengan MAT -1 m .....	43
Gambar 4.22 Clay Displacement dengan MAT 0 m.....	44
Gambar 4.23 Clay Displacement dengan MAT 0 m.....	44
Gambar 4.24 Sand Displacement dengan MAT 0 m .....	45
Gambar 4.25 Sand Displacement dengan MAT -1 m.....	46
Gambar 4.26 Sand Displacement dengan MAT 0 m .....	46
Gambar 4.27 Sand Displacement dengan MAT -1 m.....	47

Gambar 4.28 Sand Displacement dengan MAT 0 m .....	48
Gambar 4.29 Sand Displacement dengan MAT -1 m .....	48
Gambar 4.30 Perbandingan Displacement Terhadap Material Timbunan.....	49
Gambar 4.31 Nilai Displacement Terhadap Material Timbunan.....	50
Gambar 4.32 Perbandingan Displacement Terhadap Material Timbunan.....	50
Gambar 4.33 Nilai Displacement Terhadap Material Timbunan.....	51



## DATAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Tanah Berdasarkan Ukurannya (Bowles, 1989) .....	6
Tabel 2.2 Nilai Kekakuan Tanah Bowles,1996 .....	15
Tabel 2.3 Rentang Nilai Poisson's Ratio Bowles,1996 .....	17
Tabel 2.4 Nilai Sudut Geser Tanah Lempung Braja M. Das .....	18
Tabel 2.5 Nilai Sudut Geser Tanah Pasir Braja M. Das .....	18
Tabel 2.6 Nilai Koefisien Permeabilitas Braja M. Das.....	18
Tabel 2.7 memuat perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan dalam tesis ini dengan beberapa penelitian terdahulu yang serupa .....	20
Tabel 3.1 Pengumpulan Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.1 Parameter Tanah .....	28
Tabel 4.2 Parameter tanah (Lanjutan).....	29
Tabel 4.3 Rekapitulasi Timbunan Gravel .....	41
Tabel 4.4 Rekapitulasi Timbunan Clay.....	45
Tabel 4.5 Rekapitulasi Timbunan Sand .....	49



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Penurunan tanah atau *settlement* merupakan fenomena yang kerap menjadi perhatian utama dalam bidang teknik geoteknik. Fenomena ini terjadi ketika lapisan tanah mengalami kompresi di bawah beban yang diterapkan, sehingga menyebabkan permukaan tanah mengalami penurunan secara bertahap. Penurunan tanah yang tidak terkontrol dapat berdampak serius, termasuk kerusakan struktural pada bangunan, penurunan fungsi infrastruktur, serta peningkatan biaya pemeliharaan dan perbaikan yang signifikan. Oleh karena itu, upaya mitigasi terhadap penurunan tanah menjadi esensial untuk memastikan keberlanjutan dan keamanan berbagai proyek konstruksi.

Menurut Holtz dan Kovacs (1981), penurunan tanah dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk sifat fisik tanah, beban yang diterapkan, dan kondisi lingkungan sekitar. Mereka menekankan bahwa salah satu metode yang efektif untuk mengurangi penurunan adalah dengan penggunaan timbunan (*fill material*) yang tepat di atas tanah asli. Timbunan berfungsi untuk memperbaiki karakteristik tanah asli sehingga lebih mampu menahan beban yang diterapkan, dan mengurangi risiko penurunan yang berlebihan.

Berbagai jenis material timbunan memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam hal stabilitas, kemampuan menahan beban, dan efektivitas dalam mengurangi penurunan tanah. Material seperti pasir (*sand*), kerikil (*gravel*), dan lempung (*clay*) adalah beberapa contoh material yang sering digunakan sebagai timbunan. Menurut Bowles (1996), pasir memiliki sifat distribusi beban yang baik karena butirannya yang kasar dan memiliki permeabilitas tinggi, yang memungkinkan air untuk mengalir dengan mudah dan mengurangi tekanan air pori. Kerikil, di sisi lain, dengan ukuran butir yang lebih besar, mampu memberikan stabilitas yang lebih besar dan mengurangi potensi pergerakan lateral, namun mungkin kurang efektif dalam menyebarkan beban secara merata dibandingkan dengan pasir. Lempung, yang memiliki kohesi tinggi, dapat menahan beban dengan

baik namun rentan terhadap perubahan volume yang signifikan akibat pengaruh kadar air, yang dapat menyebabkan penurunan yang tidak diinginkan.

Penggunaan material timbunan yang tepat dapat secara signifikan mengurangi *displacement* atau pergerakan tanah asli yang terjadi akibat penurunan. Namun, setiap jenis timbunan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, yang memerlukan analisis mendalam untuk menentukan jenis yang paling efektif dalam kondisi tertentu. Seperti yang diungkapkan oleh Terzaghi et al. (1996), pemilihan material timbunan harus mempertimbangkan karakteristik tanah asli, jenis beban yang akan diterapkan, serta kondisi lingkungan seperti drainase dan kadar air tanah.

Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tiga jenis timbunan, yaitu *sand*, *gravel*, dan *clay*, terhadap *displacement* pada tanah asli. Penelitian ini akan mengukur seberapa efektif masing-masing material dalam mengurangi penurunan tanah, serta menentukan jenis timbunan yang paling sesuai untuk digunakan dalam mitigasi penurunan tanah pada proyek konstruksi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya akan memperkaya literatur mengenai pengaruh jenis timbunan terhadap *displacement* tanah, tetapi juga memberikan rekomendasi praktis yang dapat diterapkan dalam berbagai kondisi lapangan, sehingga meningkatkan efisiensi dan keamanan proyek-proyek konstruksi di masa mendatang.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam studi ini dapat disampaikan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh jenis timbunan (*sand*, *gravel*, *clay*) terhadap *displacement* pada tanah asli?
2. Jenis timbunan manakah yang paling efektif dalam mengurangi *displacement* pada tanah asli?
3. Bagaimana pengaruh Muka Air Tanah terhadap jenis timbunan?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jenis timbunan (*sand, gravel, clay*) terhadap displacement pada tanah asli
2. Mengetahui Jenis timbunan manakah yang paling efektif dalam mengurangi displacement pada tanah asli
3. Mengetahui Pengaruh Mukai Air Tanah terhadap jenis timbunan.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan pemahaman terkait fenomena displacement yang terjadi pada tanah. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi strategi mitigasi yang paling efektif dan efisien dalam mengatasi displacement tersebut, sehingga dapat memberikan rekomendasi yang relevan bagi para praktisi dan pembuat kebijakan dalam bidang geoteknik dan manajemen risiko.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang dianalisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan menggunakan bantuan *software* FEM plaxis 2D v22 untuk model analisis.
2. Penelitian ini hanya menganalisis tiga jenis material timbunan yaitu sand, gravel dan clay.
3. Penelitian ini tidak mempertimbangkan faktor lingkungan, seperti kadar air tanah akibat hujan atau kekeringan.
4. Parameter yang digunakan menggunakan korelasi menurut penelitian para ahli.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi 5 (lima) bab untuk memperjelas langkah-langkah penelitian ini. Diskusi diselenggarakan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi pembahasan latar belakang penelitian, Rumusan masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Pembatasan masalah, dan Sistematika penulisan semuanya termasuk dalam bab ini.

## **BAB II TINAJUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi pembahasan dasar teori yang sudah ada dan akan penulis gunakan sebagai bahan acuan dalam penyusunan penelitian, baik itu rumus-rumus dari para ahli, literatur ataupun hasil penelitian dari para ahli di bidangnya.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

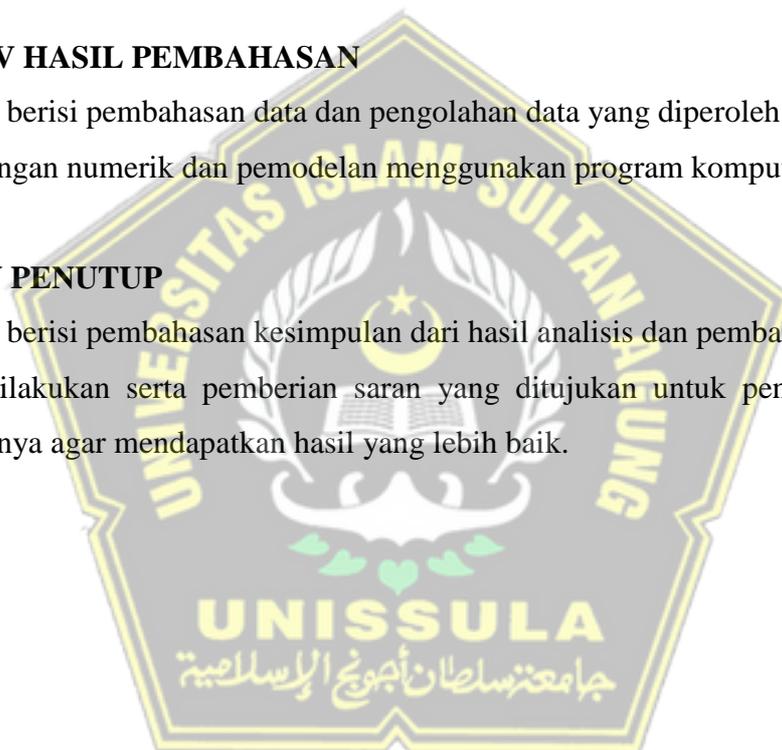
Bab ini berisi pembahasan tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian untuk memperoleh hasil penelitian.

## **BAB IV HASIL PEMBAHASAN**

Bab ini berisi pembahasan data dan pengolahan data yang diperoleh dari perhitungan numerik dan pemodelan menggunakan program komputer Plaxis v20

## **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi pembahasan kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan serta pemberian saran yang ditujukan untuk penelitian serupa berikutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Tanah**

Secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat atau butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain. Material ini berasal dari pelapukan bahan-bahan organik serta mineral yang telah mengalami proses pembentukan dan penguraian melalui tindakan mekanis dan kimiawi. Tanah juga mengandung zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Proses ini menciptakan struktur tanah yang memiliki beragam sifat fisik dan mekanik, seperti kepadatan, kohesi, dan permeabilitas, yang mempengaruhi penggunaannya dalam berbagai aplikasi.

Dalam Teknik Sipil, tanah memainkan peranan penting sebagai bahan bangunan dalam berbagai jenis pekerjaan konstruksi. Menurut Budiman dan Irawan (2012), tanah merupakan material dasar yang sangat krusial dalam konstruksi sipil, karena sifat fisiknya dapat mempengaruhi desain dan pelaksanaan struktur. Selain itu, tanah juga berfungsi sebagai pendukung pondasi dari bangunan, yang mendukung stabilitas dan kekuatan keseluruhan struktur. Menurut Budi Santoso (1996), fungsi utama tanah dalam konstruksi adalah sebagai fondasi yang mendukung beban bangunan, sehingga pemahaman yang mendalam tentang karakteristik tanah sangat penting untuk memastikan keamanan dan keandalan struktur.

#### **2.2 Jenis-jenis Tanah**

Jenis-jenis tanah dapat dikategorikan berdasarkan dua aspek utama, yaitu gradasi dan kohesi. Gradasi mengacu pada distribusi ukuran butiran dalam tanah, sedangkan kohesi berhubungan dengan kemampuan tanah untuk saling merekatkan partikel-partikelnya. Klasifikasi jenis-jenis tanah ini penting untuk memahami lebih dalam kondisi dan sifat-sifat tanah tersebut serta untuk menentukan kebutuhan pengujian teknis yang relevan.

Menurut Bowles (1989), klasifikasi tanah berfungsi untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai struktur dan komposisi tanah, yang selanjutnya mempengaruhi perilaku tanah dalam aplikasi teknik sipil. Dengan memahami klasifikasi ini, kita dapat lebih mudah mengevaluasi berbagai sifat teknis tanah, seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, dan berat isi. Hal ini sangat penting dalam perencanaan dan desain konstruksi, karena sifat-sifat tersebut mempengaruhi stabilitas dan keamanan struktur yang dibangun di atasnya.

Klasifikasi tanah yang komprehensif melibatkan pengujian laboratorium dan lapangan untuk menentukan berbagai parameter, termasuk kepadatan, kohesi, sudut geser, dan permeabilitas. Menurut Terzaghi, Peck, dan Mesri (1996), "analisis mendalam terhadap karakteristik tanah memungkinkan insinyur untuk mengidentifikasi masalah potensial dan merancang solusi yang tepat, mengurangi risiko kegagalan struktur. Tabel 2.1, seperti yang dijelaskan, memberikan detail spesifik mengenai berbagai jenis tanah dan klasifikasinya, yang membantu dalam pemilihan metode pengujian dan penilaian yang tepat.

**Tabel 2.1** Jenis Tanah Berdasarkan Ukurannya  
(Bowles, 1989)

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
MIT	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
USDA	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
AASTHO	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
USCS	76,2 - 4,75	4,75-0,075	Halus (lanau dan lempung) < 0,075	

Keterangan:

MIT : *Massachussets Institute of Technology*

USDA : *U.S Department of Agriculture*

AASTHO : *American Association of Stage Higtway and Transportation Official*

USCS. : *Unified Soil Clasification System*

Tanah juga dibagi menjadi dua yaitu:

1. Tanah berbutir kasar yang dapat dibedakan menjadi pasir dan krikil, dapat diselidiki dengan Analisa saringan.
2. Tanah berbutir halus, dapat dibedakan menjadi lanau/lembek dan lempung yang dapat diselidiki dengan pengendapan.

### 2.3.1 Tanah Pasir (*Sand*)

Menurut Bowles (1989) dalam Fauizek dkk (2018), tanah pasir atau sand terdiri dari partikel batuan yang memiliki ukuran antara 0,074 mm hingga 5 mm. Partikel-partikel ini bervariasi dari yang kasar dengan ukuran antara 3 mm hingga 5 mm, hingga yang halus dengan ukuran kurang dari 1 mm. Tanah pasir ini dapat dibedakan berdasarkan gradasinya, yang mempengaruhi sifat dan perilaku tanah dalam berbagai aplikasi teknik sipil.

Dalam sistem klasifikasi tanah, seperti yang dijelaskan dalam sistem Unified Soil Classification System (USCS), dan kemudian disempurnakan oleh United Bureau of Reclamation pada tahun 1952, tanah berbutir kasar (coarse-grained soils) didefinisikan sebagai tanah yang mengandung kerikil dan pasir. Sistem ini menyatakan bahwa tanah berbutir kasar adalah tanah di mana kurang dari 50% dari total massa tanah dapat lolos melalui saringan No. 200 ( $F_{200} < 50$ ). Dengan kata lain, tanah ini memiliki proporsi lebih dari 50% butiran yang lebih besar dari ukuran saringan tersebut.

Sifat teknis dari tanah berbutir kasar, termasuk tanah pasir dan kerikil, sangat dipengaruhi oleh ukuran butir dan gradasi butirannya. Gradasi ini mencerminkan distribusi ukuran partikel tanah, yang berkontribusi pada karakteristik mekanik dan fisis tanah tersebut. Menurut Terzaghi, Peck, dan Mesri (1996), ukuran dan gradasi butir tanah berbutir kasar menentukan sifat pemadatan, kekuatan, dan kestabilan tanah, yang penting untuk analisis dan desain dalam teknik sipil.

### 2.3.2 Tanah Lempung (*Clay*)

Menurut Hardiyanto (1992), tanah lempung memiliki beberapa sifat khas yang membedakannya dari jenis tanah lainnya. Sifat-sifat tersebut meliputi ukuran butir yang sangat halus, yaitu kurang dari 0,002 mm, yang memberikan tanah ini permeabilitas rendah. Selain itu, tanah lempung memiliki kemampuan naik kapiler yang tinggi, bersifat sangat kohesif, serta memiliki kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi yang lambat. Sifat-sifat ini berpengaruh pada perilaku tanah lempung dalam berbagai aplikasi teknik sipil, seperti kestabilan lereng dan fondasi.

Dalam sistem klasifikasi tanah Unified Soil Classification System (USCS), tanah berbutir halus (fine-grained soils) adalah tanah di mana lebih dari 50% dari total massa tanah lolos melalui saringan No. 200 ( $F_{200} > 50$ ). Sistem ini mengelompokkan tanah ini berdasarkan sifat plastisitasnya, yang merupakan ukuran kemampuan tanah untuk mengalami deformasi tanpa retak. Dengan demikian, tanah berbutir halus diklasifikasikan berdasarkan plastisitas dan ukuran butirannya.

Tanah lempung, yang termasuk dalam kategori ini, memiliki sifat plastis yang signifikan, yang mempengaruhi berbagai parameter teknis, seperti kekuatan, kemampuan pemadatan, dan respons terhadap beban. Menurut Bowles (1989), plastisitas tanah berbutir halus mempengaruhi bagaimana tanah tersebut berperilaku di bawah beban dan dalam kondisi lembab, serta bagaimana tanah tersebut dapat diproses dan digunakan dalam konstruksi.

### **2.3.3 Gravel**

Gravel atau kerikil adalah material granular alami yang terdiri dari fragmen batuan yang memiliki ukuran lebih besar dari pasir tetapi lebih kecil dari batuan besar (cobbles). Gravel digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi teknik sipil, geoteknik, dan konstruksi karena sifat-sifat mekaniknya yang baik. Material ini biasanya terbentuk secara alami melalui proses pelapukan dan erosi batuan induk, seperti granit, basal, atau batu kapur, namun juga dapat dihasilkan secara buatan melalui proses pemecahan batu di tambang. Dalam penggunaannya, gravel sering dijumpai sebagai bahan dasar pada konstruksi jalan untuk menyediakan fondasi yang kuat dan mendukung drainase, sebagai agregat kasar dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan tekan, serta sebagai material filter dalam sistem drainase yang membantu mengalirkan air sambil mencegah partikel halus terbawa oleh aliran.

Gravel juga kerap digunakan dalam konstruksi bendungan urugan, di mana ia berfungsi sebagai lapisan drainase untuk mengurangi tekanan air pori dan mencegah fenomena erosi internal seperti piping. Sifat-sifat gravel yang penting, seperti permeabilitas tinggi dan kekuatan tahan aus, menjadikannya material yang sangat diandalkan dalam aplikasi yang membutuhkan stabilitas struktural,

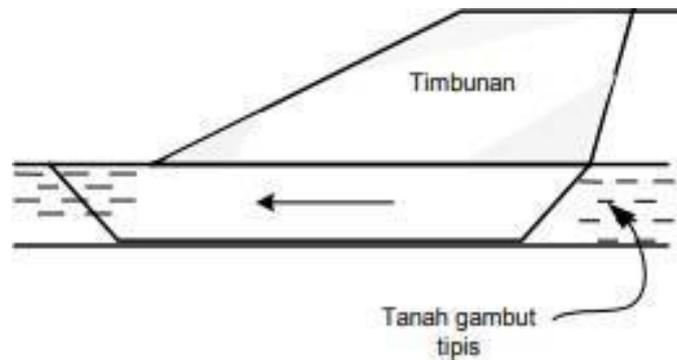
meskipun material ini juga memiliki beberapa keterbatasan, seperti bobot yang relatif berat dan kestabilan yang kurang baik pada tanah yang sangat berpasir atau longgar.

### 2.3 Timbunan

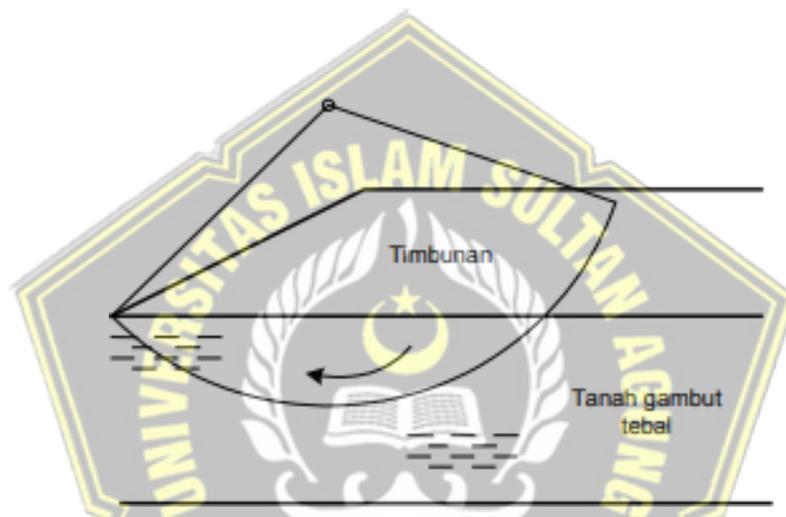
Timbunan merupakan suatu metode konstruksi di mana tanah atau material serupa ditambahkan secara bertahap pada suatu area untuk mencapai ketinggian yang diinginkan. Tujuan utama dari penimbunan ini adalah untuk memastikan bahwa lapisan tanah yang awalnya lemah tidak menerima tekanan berlebihan sebelum mampu memperbaiki dan memperkuat strukturnya sendiri. Tanpa proses penimbunan bertahap, risiko kelongsoran pada lereng timbunan dapat meningkat secara signifikan.

Sifat teknis lereng timbunan dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci, termasuk jenis tanah yang digunakan, derajat kepadatan tanah, dan metode penimbunan yang diterapkan. Timbunan yang diletakkan di atas tanah lunak, misalnya, memiliki risiko tinggi untuk mengalami gelincir. Gelincir ini dapat disebabkan oleh tekanan air pori yang terbentuk di dalam tanah atau tegangan yang diterapkan pada timbunan itu sendiri.

Dalam kasus tanah lunak, terdapat dua jenis bidang gelincir yang umum terjadi: gelincir lingkaran seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1** dan gelincir translasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**. Gelincir lingkaran biasanya terjadi ketika terdapat kondisi tanah yang memungkinkan pembentukan permukaan gelincir melengkung, sedangkan gelincir translasi terjadi pada permukaan gelincir yang lebih datar atau miring. Kedua jenis gelincir ini memerlukan analisis mendalam untuk mengevaluasi kestabilan lereng timbunan, mengidentifikasi potensi kelongsoran, dan menilai efektivitas perkuatan yang digunakan untuk memperbaiki kondisi tersebut.



**Gambar 2.1** Gelincir Lingkaran  
(PD T-06-2004-B)



**Gambar 2. 2** Gelincir Translasi  
(PD T-06-2004-B)

### 2.3.1 Tanah Timbunan

Tanah timbunan di klasifikasikan menjadi 2 yaitu tanah timbunan biasa dan tanah timbunan pilihan, berikut merupakan penjelasan mengenai kedua klasifikasi tanah timbunan:

#### 2.3.1.1 Tanah Timbunan Biasa

- a. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari bahan galian tanah atau bahan galian batu yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan sebagai bahan yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen seperti yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi.

- b. Bahan yang dipilih sebaiknya tidak termasuk tanah yang berplastisitas tinggi, yang diklasifikasikan sebagai A-7-6 menurut AASHTO M145 atau sebagai CH menurut "Unified atau Casagrande Soil Classification System". Bila penggunaan tanah yang berplastisitas tinggi tidak dapat dihindarkan, bahan tersebut harus digunakan hanya pada bagian dasar dari timbunan ataupun pada penimbunan kembali yang tidak memerlukan daya dukung atau kekuatan geser yang tinggi. Tanah plastis seperti itu sama sekali tidak boleh digunakan pada 30 cm lapisan langsung di bawah bagian dasar perkerasan atau bahu Jalan atau tanah dasar bahu Jalan. Sebagai tambahan, timbunan untuk lapisan ini bila diuji dengan SNI 03-1744-1989, harus memiliki CBR setelah perendaman 4 hari bila dipadatkan 100 % kepadatan kering maksimum (MDD) seperti yang ditentukan oleh SNI 03-1742-1989.
- c. Tanah sangat expansive yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25, atau derajat pengembangan yang diklasifikasikan oleh AASHTO T258 sebagai "very high" atau "extra high", tidak boleh digunakan sebagai bahan timbunan. Nilai aktif adalah perbandingan antara Indeks Plastisitas / PI - (SNI 03-1966-1989) dan persentase kadar lempung (SNI 03-3422-1994).

#### 2.3.1.2 Tanah Timbunan Biasa

- a. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai "Timbunan Pilihan" bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud dimana timbunan pilihan telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh Direksi Pekerjaan. Seluruh timbunan lain yang digunakan harus dipandang sebagai timbunan biasa (atau drainase porous bila ditentukan atau disetujui sesuai dengan Seksi 2.4 dari Spesifikasi).
- b. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah atau batu yang memenuhi semua ketentuan di atas untuk timbunan biasa dan sebagai tambahan harus memiliki sifat-sifat tertentu yang tergantung dari maksud penggunaannya, seperti diperintahkan atau disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Dalam segala hal, seluruh timbunan pilihan harus, bila diuji sesuai

dengan SNI 03-1744-1989, memiliki CBR paling sedikit 10.% setelah 4 hari perendaman bila dipadatkan sampai 100.% kepadatan kering maksimum sesuai dengan SNI 03-1742-1989.

- c. Bahan timbunan pilihan yang akan digunakan bilamana pemadatan dalam keadaan jenuh atau banjir yang tidak dapat dihindari, haruslah pasir atau kerikil atau bahan berbutir bersih lainnya dengan Indeks Plastisitas maksimum 6 %.
- d. Bahan timbunan pilihan yang digunakan pada lereng atau pekerjaan stabilisasi timbunan atau pada situasi lainnya yang memerlukan kuat geser yang cukup, bilamana dilaksanakan dengan pemadatan kering normal, maka timbunan pilihan dapat berupa timbunan batu atau kerikil lempungan bergradasi baik atau lempung pasir atau lempung berplastisitas rendah. Jenis bahan yang dipilih, dan disetujui oleh Direksi Pekerjaan akan tergantung pada kecuraman dari lereng yang akan dibangun atau ditimbun, atau pada tekanan yang akan dipukul.

#### **2.4 Konsolidasi**

Konsolidasi merupakan suatu proses pemampatan tanah, dan berkurangnya volume pori dalam tanah. Hal ini dapat menghasilkan bertambahnya daya dukung tanah. Namun, selama proses ini terjadi tidak diperbolehkan adanya bangunan yang sedang berdiri di atas tanah tersebut. Proses ini biasanya memakan waktu yang cukup lama dari tahunan bahkan sampai puluhan tahun. Dikarenakan durasi yang terlalu lama hal ini akan sangat tidak menguntungkan untuk melakukan kegiatan konstruksi. Namun apabila konstruksi tetap dilakukan sebelum proses konsolidasi terjadi, maka kemungkinan besar akan terjadi proses keruntuhan bangunan akibat proses konsolidasi. Menurut Braja M. Das (1985) yang dikutip oleh Yamali, F., Y. (2011) dalam jurnalnya yang berjudul "Pengaruh Kadar Air Terhadap Nilai Konsolidasi di Tanah Lempung Pada Lokasi yang Sama", konsolidasi terbagi menjadi 2 yaitu:

- Immediate Settlement

Terjadi akibat deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

- Consolidation Settlement

Hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.

Beberapa penyebab settlement yang umum saat ini adalah :

- Capacity Bearing atau ketidakstabilan, mencakup tanah longsor.
- Kegagalan atau defleksi struktur pondasi.
- Elastis atau penyimpangan tanah atau batu.
- Konsolidasi (kompresi) tanah atau batu.
- Penyusutan sehubungan dengan pengeringan.
- Perubahan pada kepadatan sehubungan dengan guncangan atau getaran.
- Perubahan Kimia yang mencakup peluruhan.
- Erosi Bawah tanah.
- Kehancuran pembukaan tanah seperti terowongan gua atau tambang.

## 2.5 Plaxis 2D

Plaxis 2D adalah perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang banyak digunakan dalam bidang geoteknik untuk menganalisis berbagai masalah terkait deformasi, stabilitas, dan aliran air tanah. Perangkat lunak ini telah menjadi alat penting dalam industri konstruksi dan teknik sipil karena kemampuannya untuk memodelkan perilaku tanah secara mendetail dan akurat. Menurut Brinkgreve et al. (2018), Plaxis 2D memungkinkan para insinyur untuk memprediksi respons tanah terhadap berbagai kondisi beban dan lingkungan, yang sangat penting dalam desain dan analisis struktur geoteknik. Dengan Plaxis 2D, pengguna dapat mensimulasikan interaksi antara tanah dan struktur, sehingga dapat mengevaluasi bagaimana satu elemen mempengaruhi elemen lainnya dalam suatu sistem geoteknik yang kompleks.

Dalam analisis geoteknik, penting untuk memodelkan tanah sebagai material kontinu, di mana setiap penurunan atau deformasi yang terjadi di satu titik dapat mempengaruhi titik lain di sekitarnya, meskipun dengan intensitas yang berbeda. Hal ini sesuai dengan prinsip mekanika tanah yang menyatakan bahwa deformasi tanah pada satu lokasi akan mempengaruhi distribusi tegangan dan deformasi di lokasi lain (Budhu, 2011). Plaxis 2D memanfaatkan prinsip ini dengan

mengimplementasikan metode elemen hingga untuk menyelesaikan persamaan kesetimbangan yang kompleks, yang memungkinkan analisis mendalam mengenai tegangan dan deformasi dalam dua dimensi.

Selain analisis deformasi dan stabilitas, Plaxis 2D juga unggul dalam menangani masalah kesetimbangan dan nilai eigen dalam sistem geoteknik. Dalam masalah kesetimbangan, perangkat lunak ini dapat melakukan analisis tegangan dua dimensi serta memodelkan interaksi antara tanah dan struktur, yang penting dalam desain fondasi, dinding penahan, dan galian. Selain itu, perangkat lunak ini dapat melakukan analisis nilai eigen, yang berguna untuk mengidentifikasi frekuensi alami dan mode getar pada kombinasi tanah dan struktur. Hal ini penting dalam desain yang mempertimbangkan efek dinamis seperti gempa bumi, di mana pemahaman tentang mode getar dan respons dinamis dari sistem tanah-struktur sangat krusial (Zienkiewicz & Taylor, 2000).

## 2.4 Parameter Tanah

Parameter yang digunakan dalam analisis timbunan dengan metode elemen hingga pada Plaxis 2D adalah sebagai berikut:

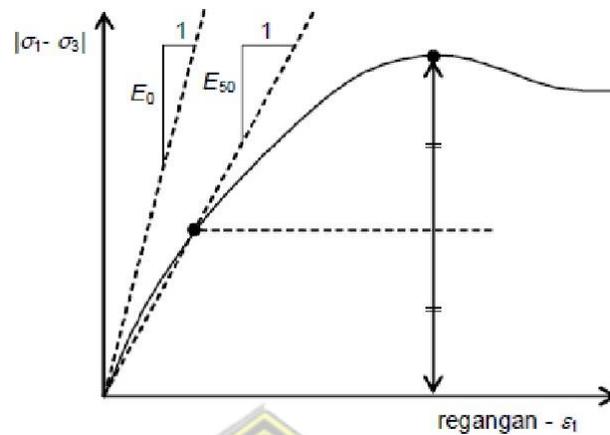
### 1. Modulus Young (E)

Dalam perangkat lunak PLAXIS, modulus Young digunakan sebagai parameter dasar untuk kekakuan dalam model elastis dan model Mohr-Coulomb, meskipun terdapat beberapa alternatif modulus yang juga tersedia. Penting untuk memberikan perhatian khusus pada nilai parameter kekakuan yang digunakan dalam perhitungan, karena material tanah umumnya menunjukkan perilaku non-linear saat mengalami pembebanan. Modulus Young didefinisikan sebagai rasio antara tegangan dan regangan yang terjadi pada tanah:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Dalam mekanika tanah, terdapat dua metode utama untuk menghitung modulus elastisitas, yang diambil dari grafik hubungan antara regangan dan tegangan non-linear **Gambar 2.3**. Metode pertama adalah Modulus Tangen ( $E_0$ ), yang merupakan kemiringan awal pada kurva tegangan-regangan. Metode kedua adalah Modulus

Sekan ( $E_{50}$ ), yang diukur pada 50% dari kekuatan maksimum dan mencakup garis yang memotong kurva tegangan-regangan pada dua titik.



**Gambar 2.3** Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan  
( $E_0$  dan  $E_{50}$ )

Dari grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai modulus meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan di sekeliling tanah. Dengan kata lain, semakin dalam tanah, semakin besar nilai kekakuan atau modulus elastisitasnya dibandingkan dengan tanah yang berada di kedalaman dangkal. Nilai kekakuan tanah dapat ditemukan dalam **Tabel 2.2**.

**Tabel 2. 2** Nilai Kekakuan Tanah  
Bowles,1996

Soil	$E_s$ , Mpa	
Clay	<i>Very Soft</i>	2--15
	<i>Soft</i>	5--25
	<i>Medium</i>	15 - 50
	<i>Hard</i>	50 - 100
	<i>Sandy</i>	25 - 250
Glacial Till	<i>Loose</i>	10 - 150
	<i>Dense</i>	150 - 720
	<i>Very Dense</i>	500 - 1440
	<i>Loess</i>	15 - 60
Sand	<i>Silty</i>	5--20
	<i>Loose</i>	10--25
	<i>Dense</i>	50-81
Sand and Gravel	<i>Loose</i>	50-150
	<i>Dense</i>	100-200
	<i>Shale</i>	150 - 5000
	<i>Silty</i>	2--20

## 2. Poisson Ratio ( $\nu$ )

Uji triaksial terdrainase dapat menghasilkan perubahan volume signifikan pada awal pemberian beban aksial, yang sering kali mengarah pada nilai Poisson awal ( $\nu_0$ ) yang rendah. Dalam beberapa kasus, terutama saat terjadi pengurangan beban, mungkin realistis untuk menggunakan nilai Poisson yang rendah. Namun, dalam model Mohr-Coulomb, sering kali direkomendasikan untuk menggunakan nilai Poisson yang lebih tinggi. Nilai akhir dari Koefisien Tekanan Tanah Lateral ( $K_0$ ) sangat bergantung pada nilai Poisson, sehingga menentukan angka Poisson yang sesuai sangat penting untuk menghasilkan nilai  $K_0$  yang realistis. Hubungan antara  $K_0$  dan angka Poisson dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\nu = \frac{K_0}{1 + K_0}$$

Keterangan:

$K_0$  = Koefisien tekanan tanah lateral kondisi *at rest*

Dalam banyak kasus, nilai Poisson berkisar antara 0,3 hingga 0,4. Nilai ini sering digunakan dalam berbagai kondisi pembebanan, namun untuk kasus pengurangan beban, nilai Poisson antara 0,15 dan 0,25 lebih umum digunakan. Rentang nilai Poisson untuk berbagai jenis tanah dapat ditemukan dalam **Tabel 2.3**.

**Tabel 2. 3** Rentang Nilai Poisson's Ratio  
Bowles,1996

<i>Type of Soil</i>	<i><math>\nu</math></i>
<i>Clay, saturated</i>	0.4 -0.5
<i>Clay, unsaturated</i>	0.1 - 0.3
<i>Sandy clay</i>	0.2 - 0.3
<i>Silt</i>	0.3 -0.35
<i>Sand, gravelly sand</i>	min 1 - 1.00
<i>commonly used</i>	0.3 - 0.4
<i>Rock</i>	0.1 - 0.4 ( <i>depends somewhat on type of rock</i> )
<i>Loess</i>	0.1 - 0.3
<i>Ice</i>	0.36
<i>Concrete</i>	0.15
<i>Steel</i>	0.33

### 3. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antara partikel-partikel dalam tanah, diukur dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi tanah biasanya meningkat seiring dengan meningkatnya kekuatan geser tanah. Nilai kohesi diperoleh melalui pengujian laboratorium, seperti pengujian kuat geser langsung dan pengujian triaksial. Plaxis dapat mengelola tanah non-kohesif (dengan  $c = 0$ ), tetapi beberapa opsi mungkin tidak berfungsi optimal dalam kasus ini. Untuk menghindari masalah, disarankan agar pengguna yang kurang berpengalaman menggunakan nilai kohesi yang kecil ( $c > 0,2 \text{ kN/m}^2$ ).

### 4. Sudut Geser ( $\phi$ )

Sudut geser dalam adalah parameter yang menentukan kekuatan geser tanah. Tanah dengan sudut geser dalam yang tinggi, seperti pasir padat, dapat meningkatkan beban komputasi plastis. Waktu komputasi dapat meningkat secara eksponensial seiring dengan meningkatnya sudut geser, sehingga sebaiknya menghindari penggunaan sudut geser yang tinggi pada perhitungan awal proyek. Nilai sudut geser tanah untuk berbagai jenis tanah dapat ditemukan dalam **Tabel 2.4** dan **Tabel 2.5**.

**Tabel 2. 4** Nilai Sudut Geser Tanah Lempung  
Braja M. Das

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )
Lempung Kelanauan	25 – 30
Lempung	20 – 25

**Tabel 2.5** Nilai Sudut Geser Tanah Pasir Braja  
M. Das

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )
<b>Pa sir: Butiran Bulat</b>	
Renggang/lepas	27-30
Menengah	30-35
Padat	35-38
<b>Pa sir: Butiran Bersudut</b>	
Renggang/lepas	30-35
Menengah	35-40
Padat	40-45
Kerikil Bercampur Pasir	34-48
Lanau	26-35

#### 5. Permeabilitas (k)

Koefisien permeabilitas, yang sering disebut sebagai konduktivitas hidrolis dalam geologi, adalah ukuran seberapa cepat air dapat mengalir melalui tanah. Koefisien ini bergantung pada faktor-faktor seperti kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Nilai koefisien permeabilitas (k) bervariasi untuk tiap jenis tanah, dan beberapa nilai dapat ditemukan dalam **Tabel 2.6**.

**Tabel 2.7** Nilai Koefisien Permeabilitas  
Braja M. Das

Jenis tanah	<i>k</i>	
	cm/detik	ft/menit
Kerikil bersih	1,0 - 100	2,0 - 200
Pasir kasar	0,01 - 1,0	0,02 - 2,0
Pasir halus	0,01 - 0,001	0,02 - 0,002
Lanau	0,001 - 0,00001	0,002 - 0,00002
Lempung	< 0,000001	< 0,000002

## 2.6 Penelitian Terdahulu

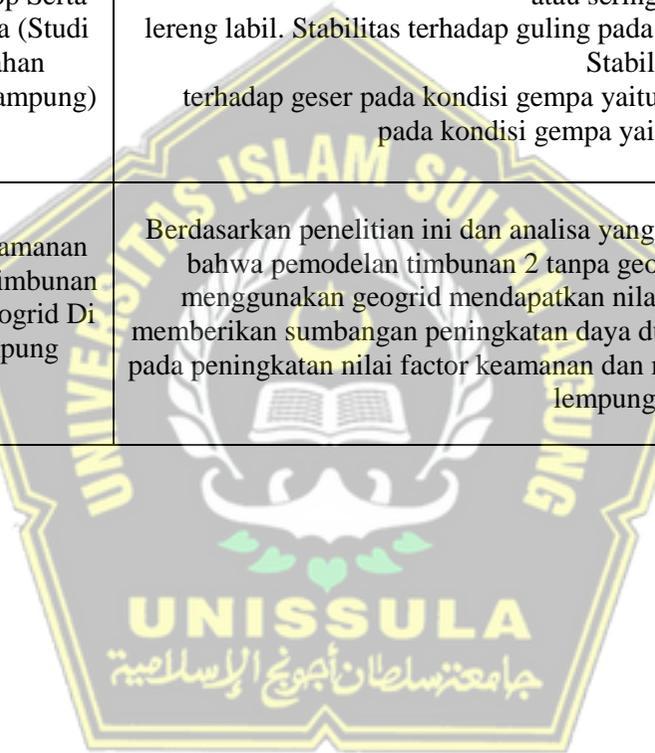
Berikut adalah penjelasan dari **Tabel 2.7** yang memuat perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan dalam tesis ini dengan beberapa penelitian terdahulu yang serupa.



**Tabel 2.8** memuat perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan dalam tesis ini dengan beberapa penelitian terdahulu yang serupa

no	Cite	Judul	Hasil
1	P. norma, C. Ari (2017)	Analisa Penurunan Tanah Lunak Dengan Beberapa Metode Konsolidasi Pada Proyek Jalan Tol Palindra	Berdasarkan hasil analisa penelitian ini dapat disimpulkan bahwa fungsi dari metode PVD tersebut ialah untuk mempercepat waktu konsolidasi dari 17,34 tahun ke 105 hari dan fungsi dari metode kombinasi VCM ialah untuk memperbesar konsolidasi dari 1,479 m ke 3,354 m. Sementaraitu pola PVD yaitu segiempat dan segitiga sangat berpengaruh terhadap lamanya waktu untuk mencapai konsolidasi. Sehingga dari analisa dapat diketahui pola yang lebih efektif untuk mempercepat penurunan yaitu dengan menggunakan pola segitiga.
2	B.W Adhi (2022)	Analisa Stabilitas Timbunan di Daerah Rawa Menggunakan Penanganan Limestone dengan Software Plaxis	Hasil Analisa stabilitas timbunan pada area rawa menggunakan software plaxis didapatkan untuk penurunan dalam 1 tahun < 6 cm adalah 1.6 cm (sesuai kriteria), Penurunan dalam 10 tahun < 10 cm adalah 1.6 cm (sesuai kriteria). Faktor keamanan pada akhir konstruksi adalah 2.214 (sesuai kriteria) dan faktor keamanan 1 tahun adalah 1.90 (sesuai kriteria).
3	E. Bijatri (2020)	Analisis Stabilitas Timbunan Pada Tanah Lempung Ekspansif Dengan Perkuatan Geosintetik Pada Ruas Jalan BIL - Mandalika	Hasil analisis stabilitas timbunan tanpa perkuatan menggunakan software Plaxis memiliki SF masa konstruksi dan pasca konstruksi yaitu sebesar 2,4947 dan 2,4943. Sedangkan Hasil analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geosintetik sepanjang 65,92 m pada kondisi gaya ke atas memiliki SF 1,3095 untuk masa konstruksi dan 1,3074 untuk pasca konstruksi.

4	B. Aji (2022)	Studi Analisis Stabilitas Lereng Tanah Timbunan Menggunakan Metode Fellenius dan Bishop Serta Penanggulangannya (Studi Kasus : Perumahan Citraland Bandar Lampung)	<p>Analisis menggunakan metode Fellenius didapatkan hasil faktor keamanan senilai 0,7296. Sedangkan, analisis menggunakan metode Bishop didapatkan hasil faktor keamanan senilai 1,0637. Menurut (Bowles, 1998 dalam Bria and Isjudarto, 2017), apabila faktor keamanan berada dibawah 1,07 kelongsoran pada lereng biasa terjadi atau sering disebut lereng labil. Stabilitas terhadap guling pada kondisi normal yaitu <math>SF = 2,2502</math>(aman). Stabilitas terhadap geser pada kondisi gempa yaitu <math>SF = 2,1081</math> (aman). Stabilitas guling pada kondisi gempa yaitu <math>SF = 2,054</math> (aman).</p>
5	I. Muzaidi, E. Anggarini (2024)	Analisis Faktor Keamanan Pada Permodelan Timbunan Yang Diperkuat Geogrid Di Atas Tanah Lempung Lunak	<p>Berdasarkan penelitian ini dan analisa yang telah peneliti lakukan dapat disimpulkan bahwa pemodelan timbunan 2 tanpa geogrid mendapatkan nilai sf 1,0668 dan menggunakan geogrid mendapatkan nilai sf1,3349.Penggunaan geosintektik memberikan sumbangan peningkatan daya dukung tanah lempung lunak paling banyak pada peningkatan nilai factor keamanan dan mencegah terjadinya kegagalan pada tanah lempung lunak</p>



## 2.7 Research Gap

Gap dalam penelitian ini terletak pada upaya untuk mengidentifikasi jenis material tanah yang paling cocok digunakan sebagai timbunan, dengan fokus pada dua aspek utama: kecepatan konsolidasi dan nilai *Safety Factor* (SF) yang optimal. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi performa berbagai jenis timbunan (*sand, gravel, clay*) dalam mengurangi displacement pada tanah asli, tetapi juga mengkaji bagaimana setiap material berkontribusi terhadap percepatan proses konsolidasi tanah dan sejauh mana mereka mampu meningkatkan stabilitas tanah, yang diukur melalui nilai SF.

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini melibatkan simulasi dengan Plaxis 2D, di mana masing-masing jenis material timbunan dianalisis untuk menentukan kinerja mereka dalam kondisi geoteknik tertentu. Hasil dari simulasi ini akan memberikan wawasan tentang kecepatan konsolidasi, yang merupakan indikator penting dari seberapa cepat tanah mencapai keadaan stabil setelah penambahan beban. Selain itu, nilai SF yang dihasilkan akan memberikan gambaran tentang tingkat keamanan dan stabilitas tanah yang ditimbun. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam bidang geoteknik, terutama dalam pemilihan material timbunan yang tidak hanya efektif dalam mengurangi penurunan tanah, tetapi juga mampu mempercepat konsolidasi dan meningkatkan keamanan struktur secara keseluruhan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Bentuk Penelitian**

Penelitian ini akan difokuskan pada upaya mitigasi yang terjadi pada tanah asli, dengan tujuan utama untuk memahami dan mengoptimalkan metode mitigasi yang paling efektif. Dalam penelitian ini, pendekatan kuantitatif digunakan untuk memastikan ketepatan dan keandalan hasil analisis. Proses pemodelan mitigasi akan dilakukan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D v22, yang memungkinkan simulasi berbagai kondisi lapangan. Fokus utama penelitian adalah pada pemodelan timbunan sebagai metode mitigasi, dengan tujuan akhir untuk mengidentifikasi jenis material timbunan yang paling efektif dan efisien.

#### **3.2 Tahapan Penelitian**

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian, langkah-langkah perlu disusun secara terencana dan sistematis. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Mengumpulkan dan mempelajari literatur yang relevan mengenai teori penurunan tanah, karakteristik material timbunan (*sand, gravel, clay*), dan metode mitigasi penurunan. Literatur ini akan menjadi dasar dalam memahami konsep-konsep yang akan digunakan dalam penelitian serta memperkuat landasan teori.

b. Pengumpulan Data Tanah

Dalam penelitian ini, data yang digunakan akan diperoleh dari hasil korelasi penelitian para ahli, yang mencakup karakteristik fisik dan mekanis tanah asli, kohesi, sudut geser dalam, dan permeabilitas.

c. Pemilihan dan Persiapan Material Timbunan

Memilih material timbunan yang akan digunakan dalam penelitian, yaitu *sand, gravel, dan clay*. Setiap material timbunan akan diuji karakteristiknya di laboratorium untuk mengetahui sifat fisik dan mekanisnya, seperti ukuran butir, kepadatan, dan permeabilitas.

d. Perancangan Model pada Plaxis 2D

Mengembangkan model geoteknik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D berdasarkan data tanah asli dan material timbunan. Model ini akan mensimulasikan kondisi lapangan dengan berbagai variasi jenis timbunan di atas tanah asli, serta beban yang diterapkan.

e. Simulasi dan Analisis Model

Melakukan simulasi pada model Plaxis 2D untuk setiap jenis timbunan (*sand, gravel, clay*). Simulasi ini akan mencakup analisis displacement dan potensi penurunan tanah. Data hasil simulasi akan dianalisis untuk menentukan pengaruh setiap jenis timbunan terhadap displacement.

f. Perbandingan dan Evaluasi Hasil

Membandingkan hasil simulasi untuk masing-masing jenis timbunan guna mengevaluasi efektivitasnya dalam mitigasi penurunan tanah. Analisis ini akan membantu menentukan jenis timbunan yang paling efektif dalam mengurangi displacement pada tanah asli.

g. Pembahasan dan Interpretasi Hasil

Membahas hasil penelitian dengan mengaitkannya pada teori dan literatur yang telah dipelajari. Interpretasi hasil akan difokuskan pada pemahaman mendalam mengenai bagaimana jenis timbunan mempengaruhi displacement dan apa implikasi praktisnya bagi proyek konstruksi.

h. Kesimpulan dan Rekomendasi

Menyusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan. Kesimpulan ini akan mencakup rekomendasi praktis mengenai penggunaan jenis timbunan yang paling efektif untuk mitigasi penurunan tanah, serta saran untuk penelitian lebih lanjut.

### 3.3 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang diperlukan yaitu data sekunder. Data tersebut meliputi  $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ , modulus elastisitas, poisson rasio, kohesi, sudut geser, permeabilitas. Rincian lebih lanjut mengenai data tersebut adalah sebagai berikut:

**Tabel 3. 1** Pengumpulan Data

Nama Data	Jenis Data	Sumber Data
Parameter Karakteristik Tanah	Sekunder	Korelasi

### 3.4 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data sekunder yang meliputi parameter karakteristik tanah, seperti modulus elastisitas, kohesi, sudut geser, dan permeabilitas. Data ini diperoleh melalui korelasi pada penelitian para ahli. Parameter-parameter ini sangat penting karena menentukan sifat mekanik dan fisik tanah yang akan dimodelkan.

Selanjutnya, data karakteristik tanah yang telah dikumpulkan akan dimasukkan ke dalam perangkat lunak Plaxis 2D, yang merupakan alat untuk analisis geoteknik. Dalam Plaxis 2D, data ini digunakan untuk membangun model geoteknik yang merepresentasikan kondisi tanah asli dan timbunan. Model ini dirancang untuk mensimulasikan berbagai skenario beban mungkin mempengaruhi displacement tanah.

Proses pemodelan ini melibatkan konfigurasi elemen hingga dan penerapan parameter tanah pada model, termasuk pengaturan kondisi batas yang relevan. Simulasi ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana berbagai jenis timbunan (*sand, gravel, clay*) mempengaruhi perilaku tanah asli, khususnya *displacement* yang terjadi di bawah beban tertentu.

### 3.5 Metode Analisis Data

Penelitian ini akan melibatkan analisis terhadap data yang diperoleh, untuk memahami secara menyeluruh bagaimana tanah berperilaku terhadap berbagai jenis timbunan. Analisis yang akan dilakukan meliputi:

1. Analisis Pengaruh Jenis Timbunan terhadap Displacement:

Mengidentifikasi pola dalam data displacement yang menunjukkan bagaimana masing-masing jenis timbunan mempengaruhi perilaku tanah asli. Perbandingan ini akan dilakukan untuk menentukan seberapa besar pengaruh setiap jenis timbunan terhadap displacement.

2. Penentuan Jenis Timbunan yang Paling Efektif:

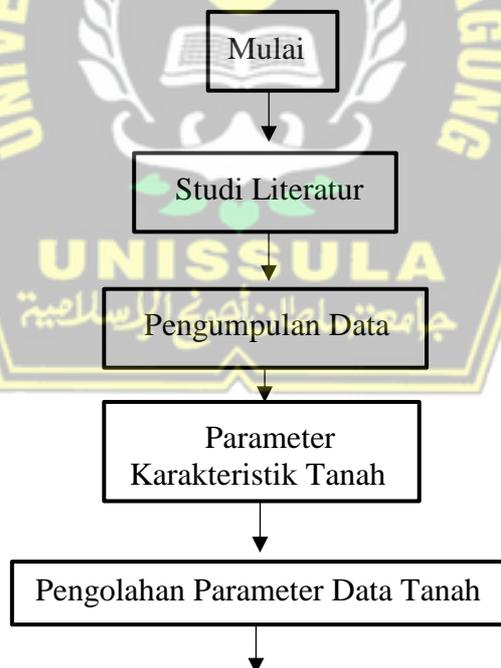
Menilai efektivitas berdasarkan kriteria tertentu, seperti tingkat pengurangan displacement dan kestabilan tanah yang dicapai. Jenis timbunan yang memberikan pengurangan displacement terbesar dan meningkatkan kestabilan tanah akan dianggap sebagai yang paling efektif.

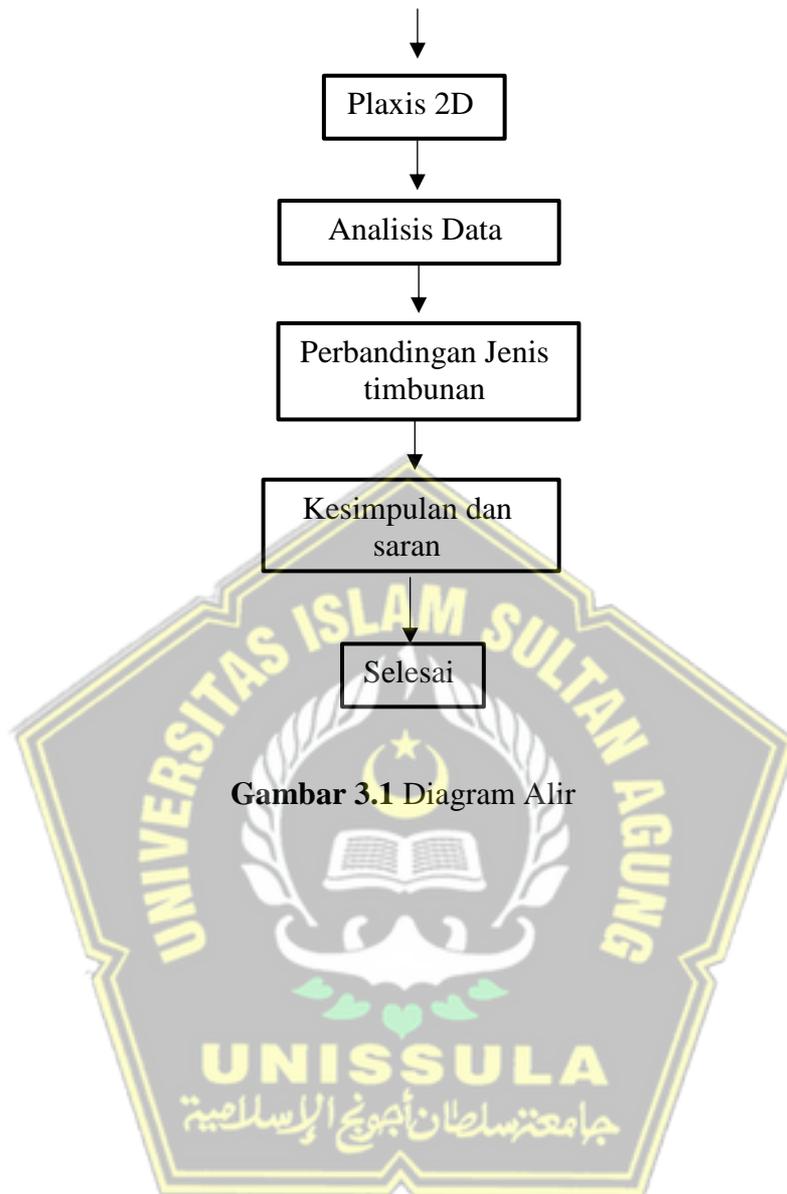
3. Perbandingan Kinerja Jenis Timbunan dalam Mitigasi Penurunan Tanah:

Menilai efisiensi setiap jenis timbunan dalam mitigasi penurunan tanah berdasarkan hasil simulasi dan analisis komparatif. Faktor-faktor seperti kestabilan jangka panjang, kemampuan menahan beban, dan pengaruh terhadap displacement akan dipertimbangkan.

### 3.6 Diagram Alir

Untuk memudahkan proses penelitian dan memastikan alur kerja yang terstruktur dengan baik, berikut disajikan diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah penelitian.





Gambar 3.1 Diagram Alir

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis jenis timbunan terhadap displacement pada tanah asli

Analisis jenis timbunan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas material timbunan yang digunakan dalam proyek konstruksi, terutama terkait pengaruhnya terhadap displacement pada tanah asli. Pemilihan material timbunan yang tepat sangat penting untuk memastikan kestabilan struktur di atasnya, mengurangi potensi penurunan tanah (settlement), serta menghindari deformasi berlebih yang dapat berdampak pada integritas konstruksi. Dalam proses analisis ini, simulasi dilakukan dengan menggunakan Plaxis v20, yang dirancang untuk memodelkan dan menganalisis perilaku tanah serta interaksi antara tanah dan struktur. Simulasi ini bertujuan untuk memberikan representasi yang akurat mengenai respons tanah asli terhadap berbagai jenis timbunan, termasuk faktor-faktor seperti sifat mekanik tanah, distribusi beban, serta potensi displacement baik secara vertikal maupun lateral.

#### 4.1.1 Parameter Tanah

Dalam pembuatan pemodelan timbunan untuk material gravel, clay, dan sand, sejumlah parameter penting akan digunakan, termasuk berat jenis, kohesi, sudut geser dalam, dan modulus elastisitas masing-masing material. Berikut parameter yang akan digunakan dalam pembuatan pemodelan.

**Tabel 4.1** Parameter Tanah

Tanah	Konsistensi	NSPT	$\gamma$	$\gamma_{sat}$	C	E'
		(kN)	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	Mpa	kN/m <sup>2</sup>
Clay	Slightly Sand	5	20	20	2	5000
Loam	Slightly Sand	8	18	18	10	8000
Sand	Medium	15	18	20	0	15000
Clay	Stif	15	19	20	25	15000
Clay	Timbunan	13	17	17	25	13000
Gravel	Timbunan	50	18	20	0	50000
Sand	Timbunan	15	18	20	0	15000

**Tabel 4.2** Parameter tanah (Lanjutan)

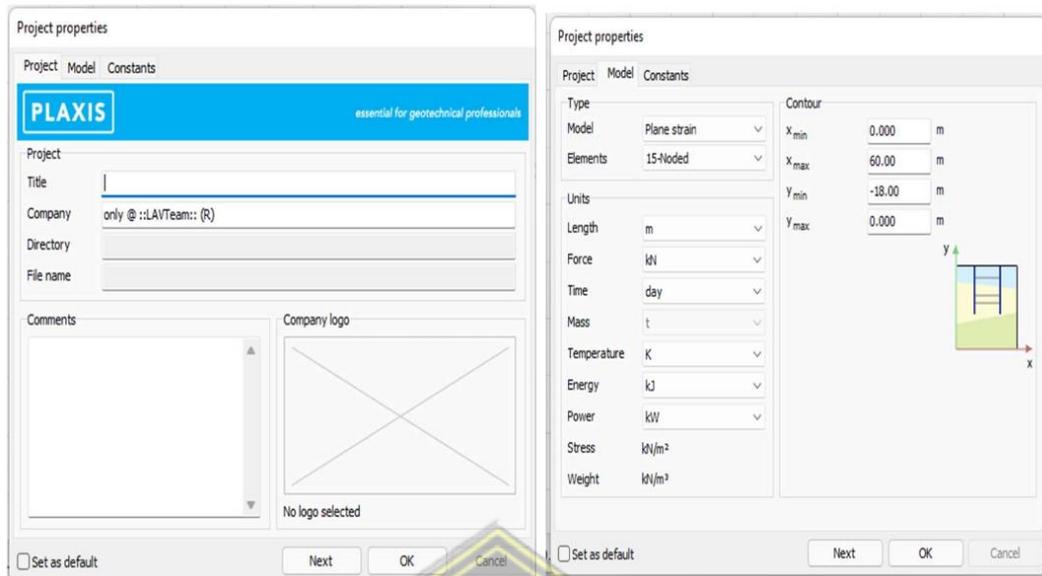
$\phi$ (°)	Cu kPa	V'	kx & ky	e <sub>init</sub>	Drained Type
27		0.3	8.64E-03	0.5	Undrained A
22.5	0.24	0.3	0.0864	0.5	Undrained A
32.5		0.25	8.64	0.5	Drained
23		0.2	8.64E-05	0.5	Undrained A
23		0.2	8.64E-04	0.5	Undrained A
35		0.35	860	0.5	Drained
32.5		0.25	8.64	0.5	Drained

#### 4.1.2 Permodelan Plaxis v20

Dalam pemodelan menggunakan Software Plaxis V20, penulis memanfaatkan parameter Mandalika untuk mengevaluasi pengurangan dampak likuifaksi di Sirkuit Mandalika.

##### 4.1.2.1 Project properties

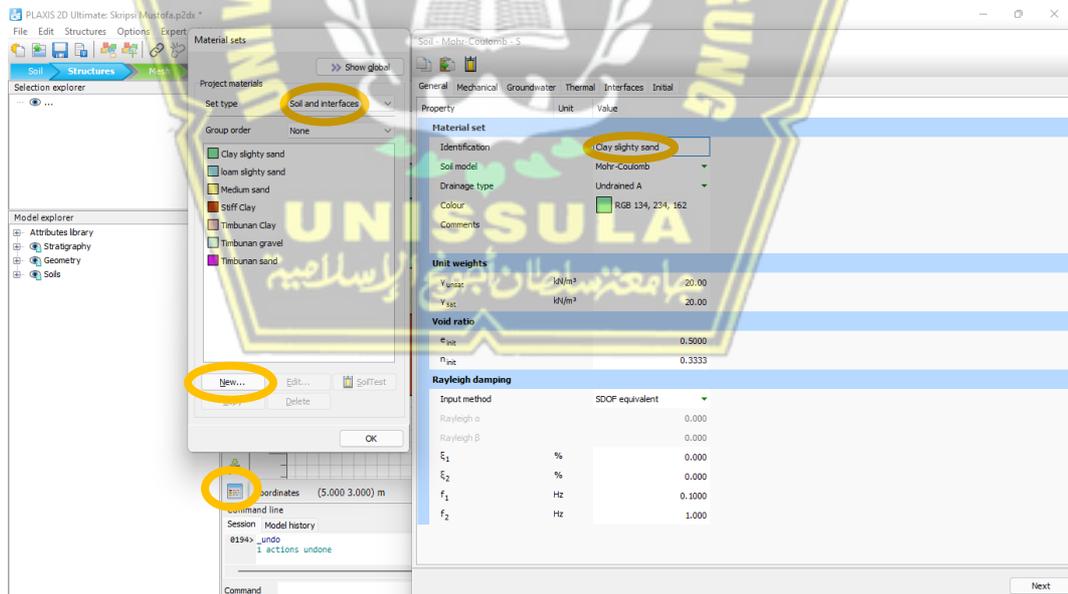
Dalam analisis ini, digunakan model plane strain dengan elemen node berjumlah lima belas. Dimensi geometri diatur sedemikian rupa agar simetris di sisi kanan dan kiri dengan panjang 60 meter. Nilai tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan bahwa semakin besar nilai boundary condition, semakin akurat hasil pemodelan. Namun, meskipun boundary condition dapat diperbesar untuk mendekati kondisi aktual, hal ini akan memperpanjang waktu perhitungan. Satuan yang digunakan adalah meter (m), sesuai dengan pengukuran pada kondisi lapangan.



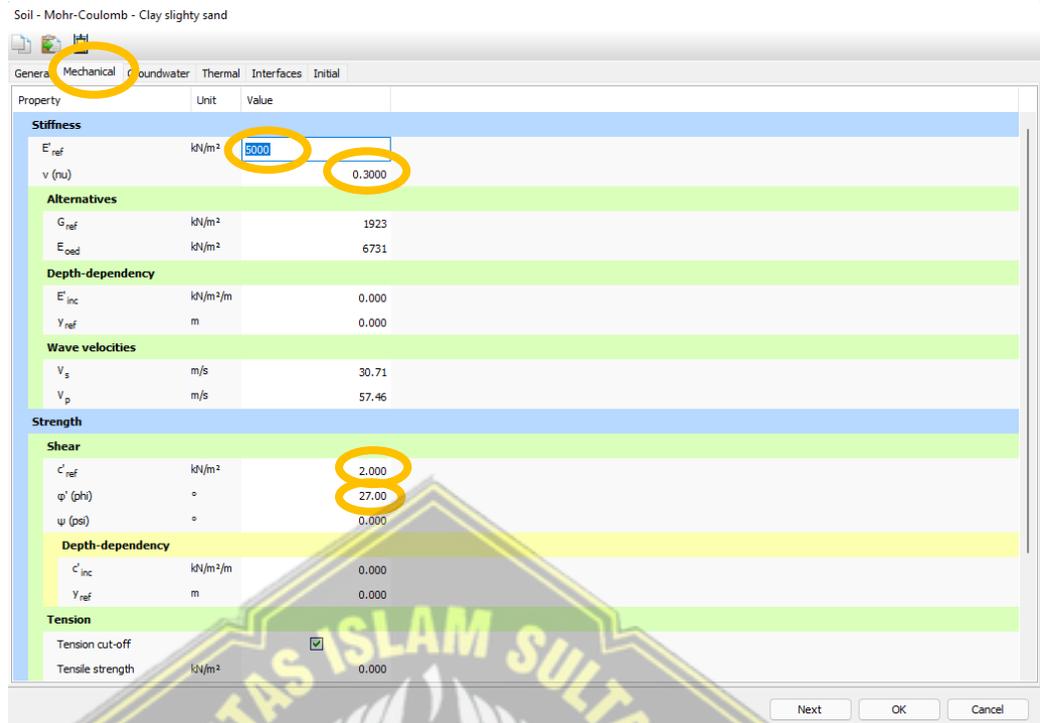
Gambar 4.1 Project Properties

#### 4.1.2.2 Input Material

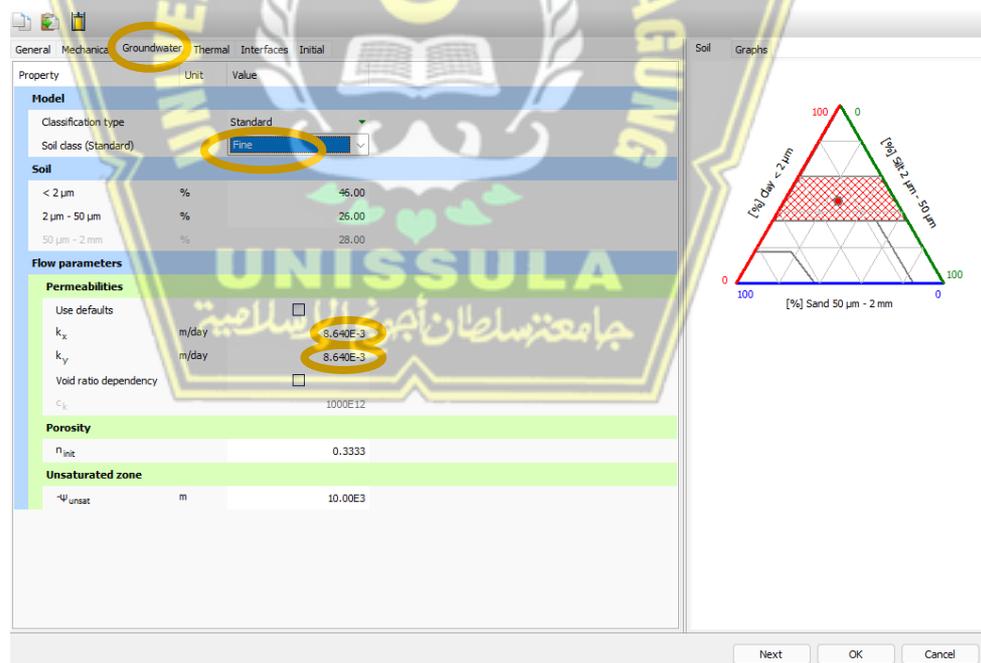
Pada jendela *soil*, pilih opsi *show material* untuk memasukkan parameter tanah di area Sirkuit Mandalika. Model yang digunakan dalam simulasi adalah *soft soil material*, Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.2 – 4.4.



Gambar 4.2 Input Material pada menu General



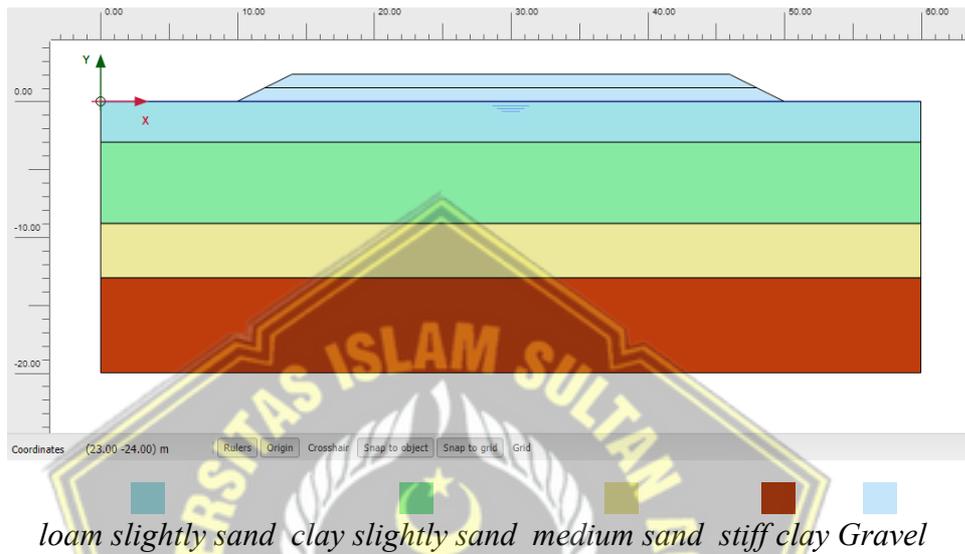
Gambar 4.3 Input Material pada menu Mechanical



Gambar 4.4 Input Material pada menu Mechanical

#### 4.1.2.3 Permodelan

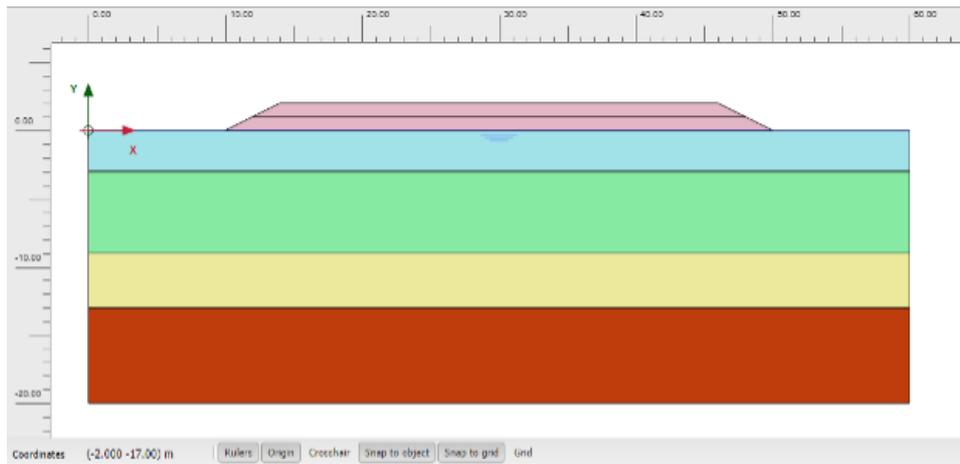
Penelitian ini menganalisis tiga jenis pemodelan, yaitu pemodelan dengan timbunan *clay*, timbunan *sand*, dan timbunan *gravel*. Tanah asli yang digunakan dalam analisis ini mencakup *loam slightly sand*, *clay slightly sand*, *medium sand*, dan *stiff clay*. Visualisasi dari masing-masing pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 4.5 - 4.7**.



**Gambar 4.5** Permodelan Timbunan Gravel



**Gambar 4.6** Permodelan Timbunan Sand

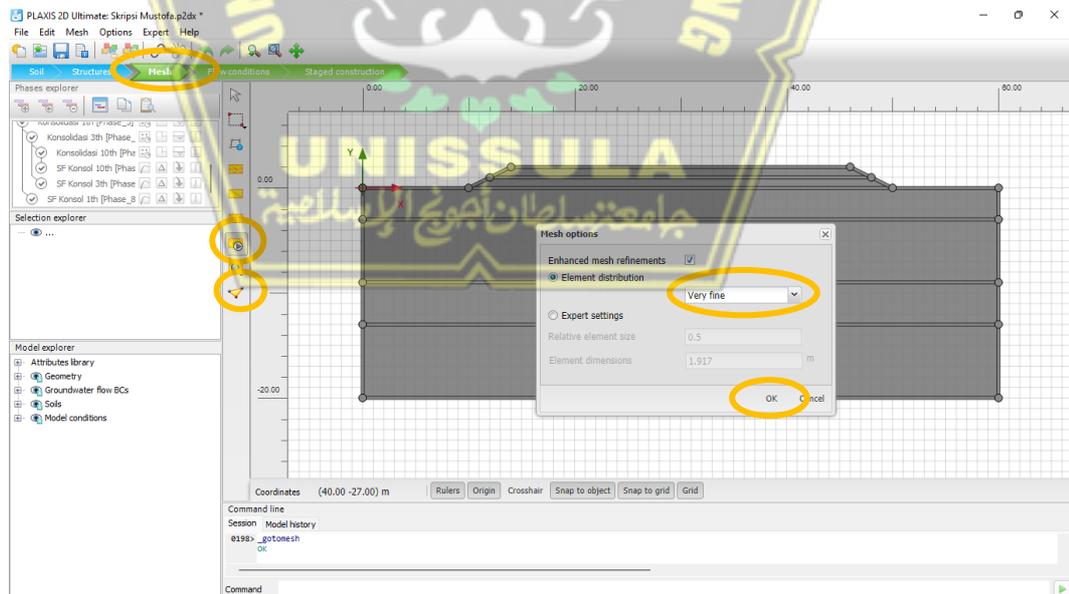


*loam slightly sand clay slightly sand medium sand stiff clay Clay*

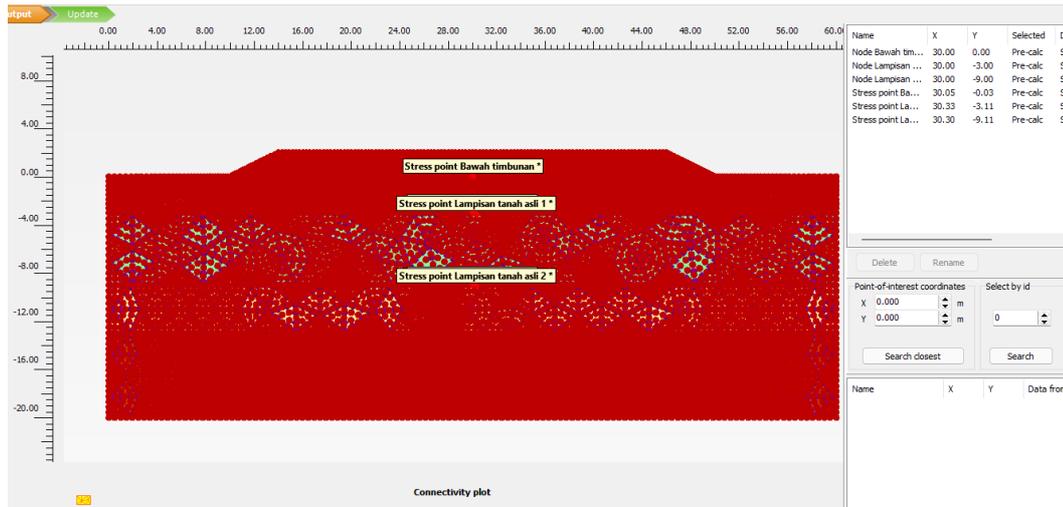
**Gambar 4.7** Pemodelan Timbunan Clay

#### 4.1.2.4 Mesh

Masuk ke menu *mesh*, pilih opsi *generate mesh*, dan pilih elemen dengan pengaturan *very fine*. Pemilihan opsi *very fine* bertujuan untuk memperinci perhitungan, karena mesh yang lebih kecil akan menghasilkan analisis yang lebih akurat. Selanjutnya, pilih *select point curves* untuk menentukan titik-titik pemantauan yang akan diamati.



**Gambar 4.8** Jendela Mesh

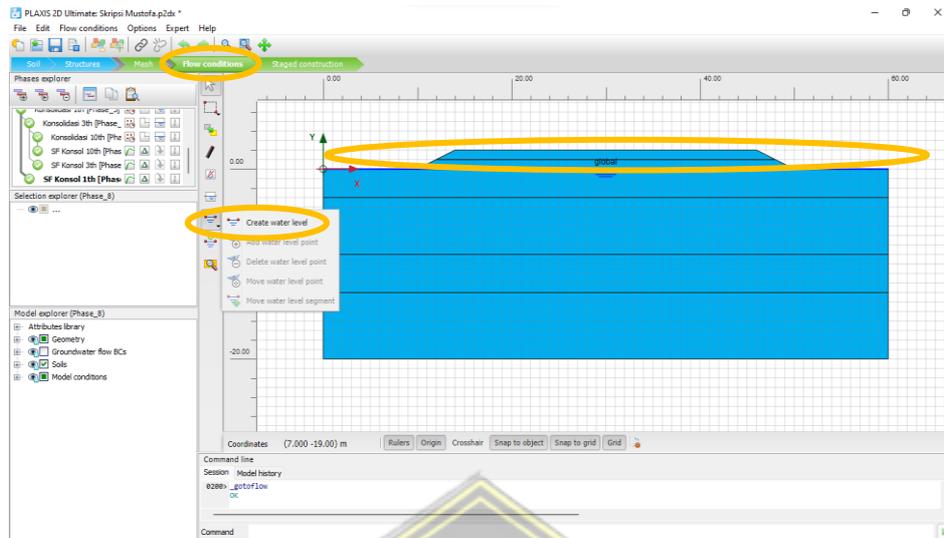


**Gambar 4.9** Titik Monitoring

Pilih titik monitoring untuk mengamati penurunan yang terjadi. Dalam penelitian ini, titik pemantauan diletakkan di bawah timbunan dan pada tanah asli. Titik ini digunakan untuk memperoleh *output* dari Plaxis, sehingga dapat memberikan rincian hasil analisis per lapisan tanah.

#### 4.1.2.5 Flow Condition

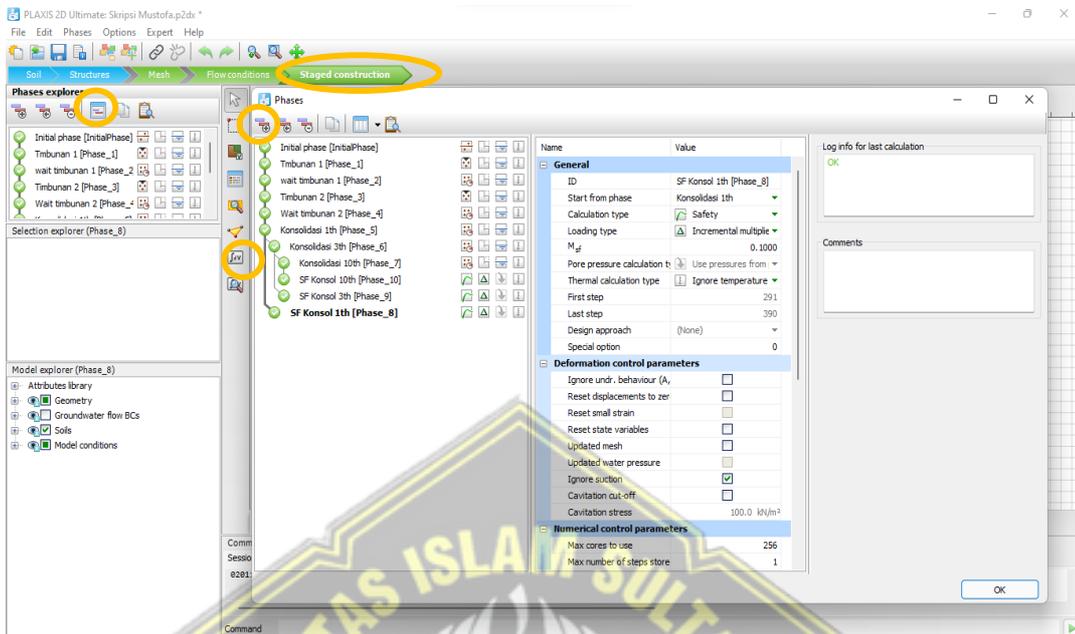
Tahapan ini bertujuan untuk menentukan *MAT* pemodelan yang diperlukan dalam analisis. Dalam proses ini, *MAT* dirancang pada kedalaman 0 m, yang setara dengan permukaan tanah. Penentuan kedalaman ini penting karena akan mempengaruhi kondisi aliran air dan interaksi antara timbunan dan tanah asli, sehingga menghasilkan simulasi yang lebih akurat dan representatif terhadap kondisi nyata di lapangan.



**Gambar 4.10** Flow Condition

#### 4.1.2.6 Staged Construction

Dalam tahap analisis menggunakan Plaxis, langkah pertama adalah masuk ke menu calculation untuk memulai rangkaian proses perhitungan. Proses dimulai dengan menganalisis kondisi tanah asli, di mana properti geoteknik tanah dimasukkan ke dalam model untuk memahami perilaku dasar tanah sebelum pekerjaan dilakukan. Selanjutnya, pemodelan dilanjutkan dengan tahap pekerjaan timbunan, yang melibatkan penambahan beban pada tanah, sesuai dengan kondisi lapangan. Pada tahap ini, setiap lapisan timbunan dianalisis untuk melihat bagaimana tanah bereaksi terhadap penambahan material. Setelah pekerjaan timbunan selesai, dilakukan pengecekan faktor keamanan (SF) untuk memastikan bahwa struktur dan tanah berada dalam kondisi stabil. Seluruh tahap konstruksi disesuaikan dengan tahapan yang relevan pada model, dan setelah itu, klik *option calculate* untuk menjalankan simulasi dan mendapatkan hasil analisis yang komprehensif. Lebih jelasnya dapat dilihat pada **gambar 4.11**.



**Gambar 4.11 Staged Construction**

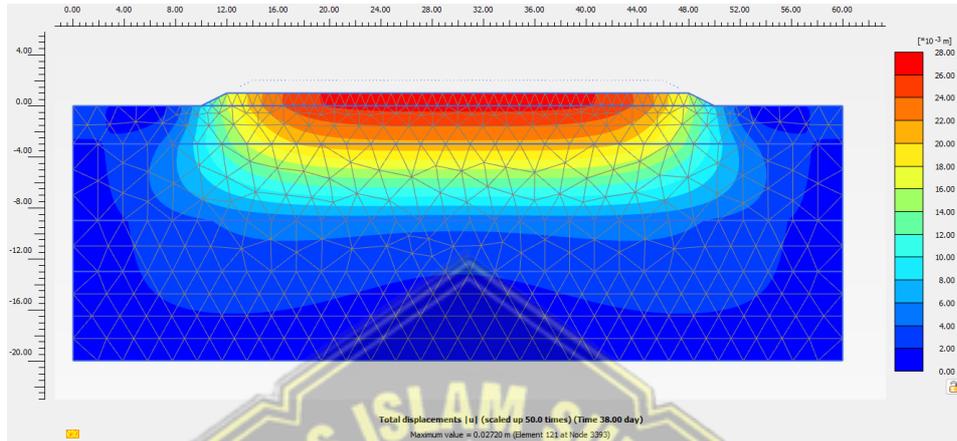
### 4.1.3 Hasil Perbandingan Analisa MAT 1m dengan 0m

Dari hasil pemodelan yang telah dianalisis, penelitian ini akan memberikan gambaran yang komprehensif mengenai material timbunan yang mengalami penurunan (settlement) paling signifikan. Analisis dilakukan dengan membandingkan kinerja berbagai jenis timbunan, yaitu pasir (sand), kerikil (gravel), dan lempung (clay), dengan variasi waktu konsolidasi selama 1 bulan, 1 tahun, dan 10 tahun, serta variasi MAT sebesar 0 meter dan -1 meter. Setiap jenis material memiliki karakteristik geoteknik yang berbeda, yang mempengaruhi besar kecilnya penurunan tanah. Perbedaan sifat material ini menjadi faktor utama yang menentukan perilaku deformasi dan waktu konsolidasi tanah di bawahnya.

#### 4.1.3.1 Timbunan Gravel

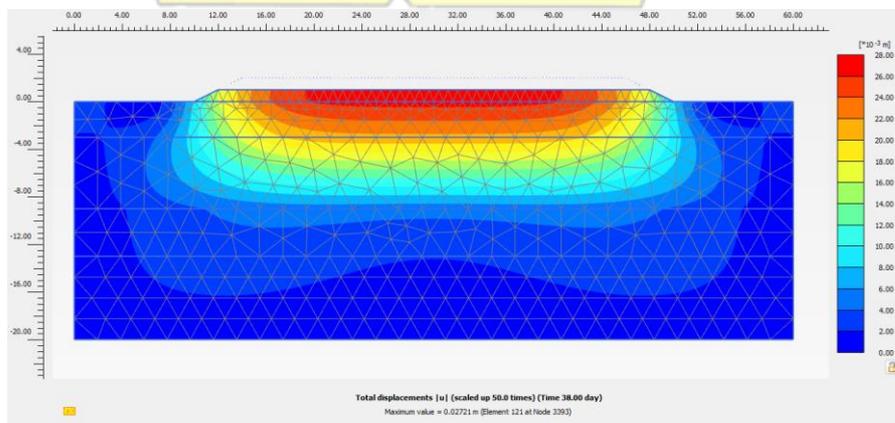
Berikut ini adalah hasil pemodelan untuk material timbunan gravel, dengan perbandingan antara MAT 0 meter dan -1 meter, yang disajikan sebagai berikut:

##### a. Konsolidasi 1 bulan



**Gambar 4.12** Gravel Displacement dengan MAT 0 m

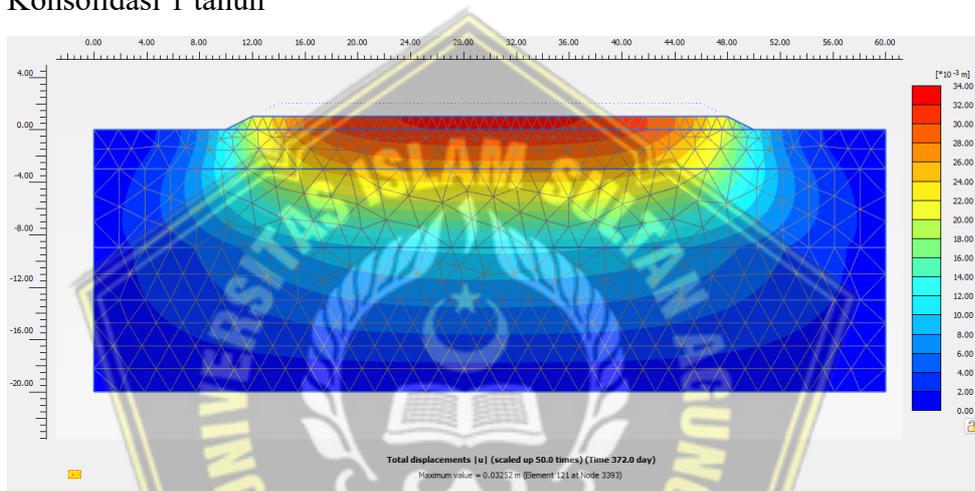
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material gravel dengan waktu konsolidasi 1 bulan pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 2,72 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4.13** Gravel Displacement dengan MAT -1 m

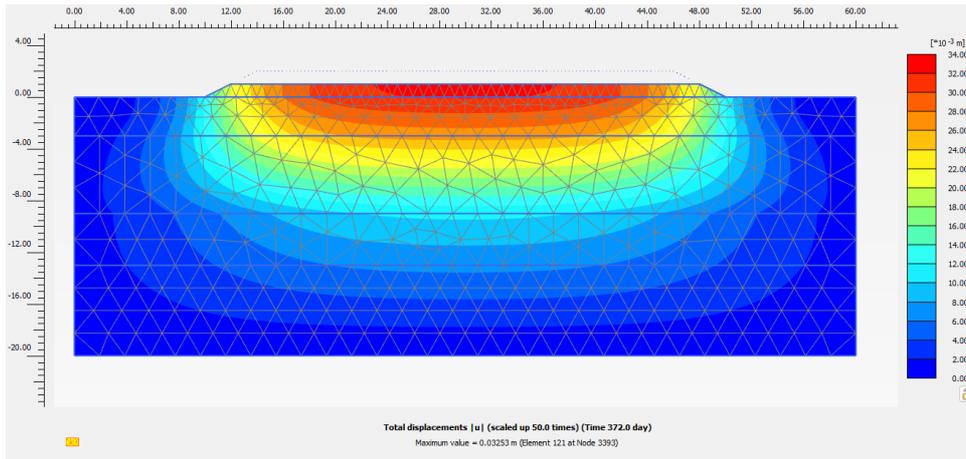
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material gravel dengan waktu konsolidasi 1 bulan pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 2,721 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.

#### b. Konsolidasi 1 tahun



**Gambar 4.14** Gravel Displacement dengan MAT 0 m

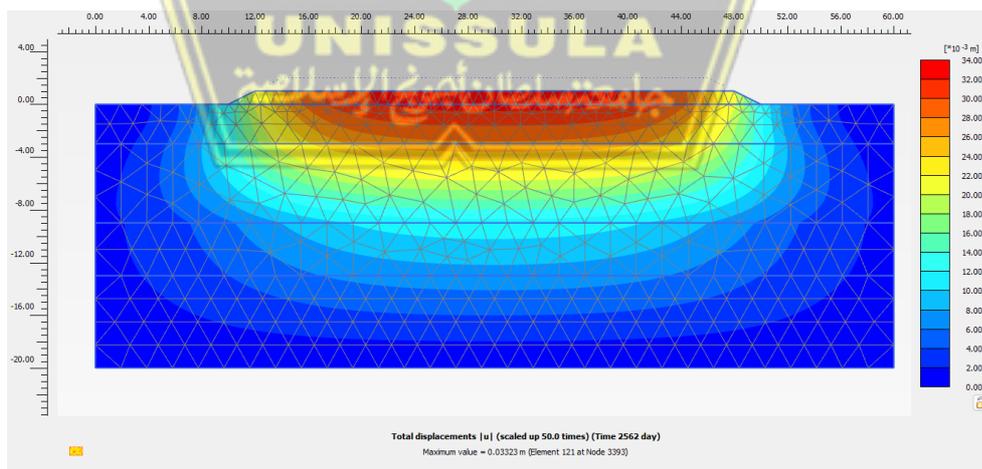
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material gravel dengan waktu konsolidasi 1 tahun pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,252 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4.15** Gravel Displacement dengan MAT -1 m

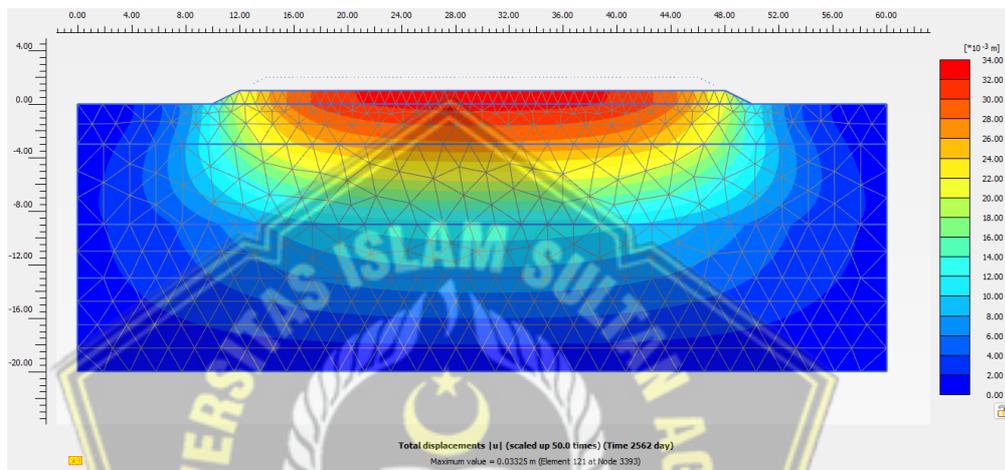
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material gravel dengan waktu konsolidasi 1 tahun pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,253 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.

c. Konsolidasi 10 tahun



**Gambar 4.16** Gravel Displacement dengan MAT 0 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material gravel dengan waktu konsolidasi 10 tahun pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,323 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut



**Gambar 4. 17** Gravel Displacement dengan MAT -1 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material gravel dengan waktu konsolidasi 10 tahun pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,325 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut. berikut merupakan rekapulasi dari hasil timbunan gravel baik dari konsolidasi 1 bulan sampai 10 tahun.

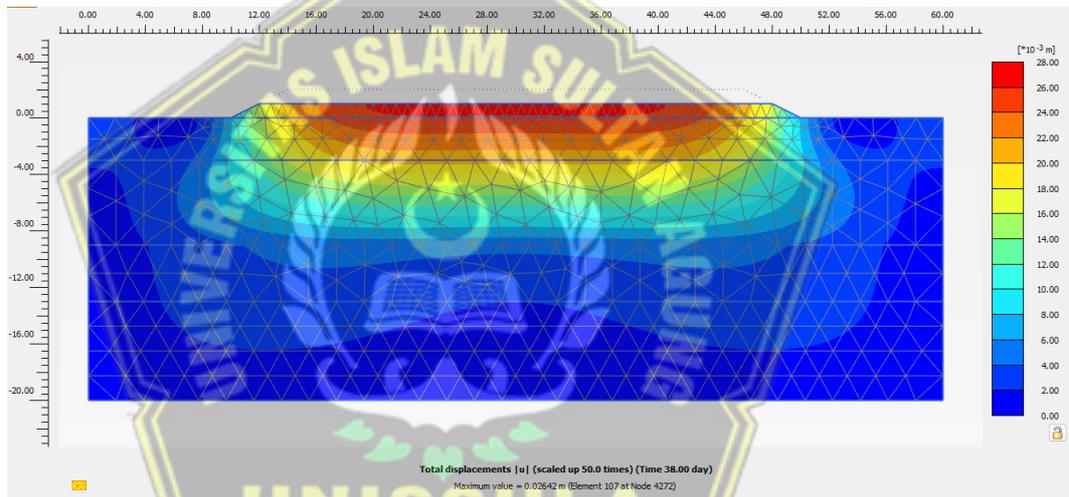
**Tabel 4.3** Rekapitulasi Timbunan Gravel

Jenis timbunan	Waktu Konsolidasi	Muka Air Tanah	
		0m	-1m
Gravel	1 bulan	2,72 cm	2,721 cm
Gravel	1 tahun	3,252 cm	3,253 cm
Gravel	10 tahun	3,323 cm	3,325 cm

4.1.3.2 Timbunan *Clay*

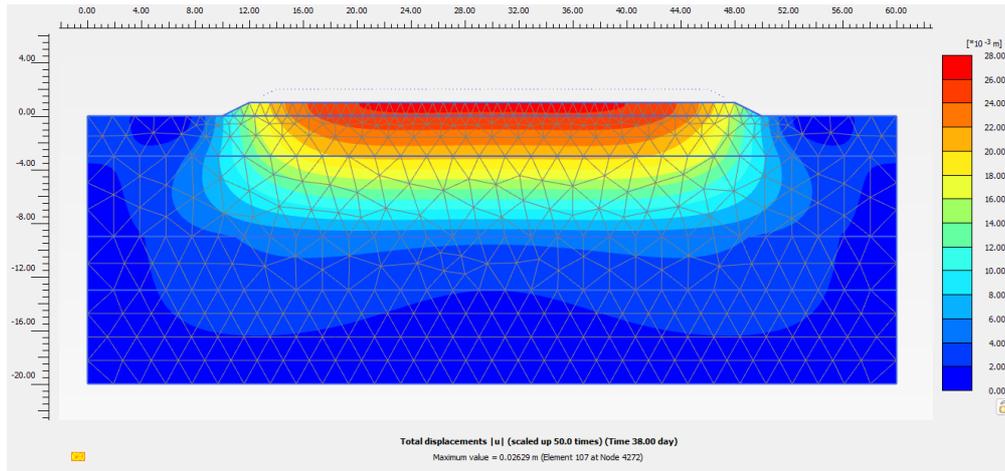
Berikut ini adalah hasil pemodelan untuk material timbunan *Clay*, dengan perbandingan antara MAT 0 meter dan -1 meter, yang disajikan sebagai berikut:

a. Konsolidasi 1 bulan



**Gambar 4.18** Clay Displacement dengan MAT 0 m

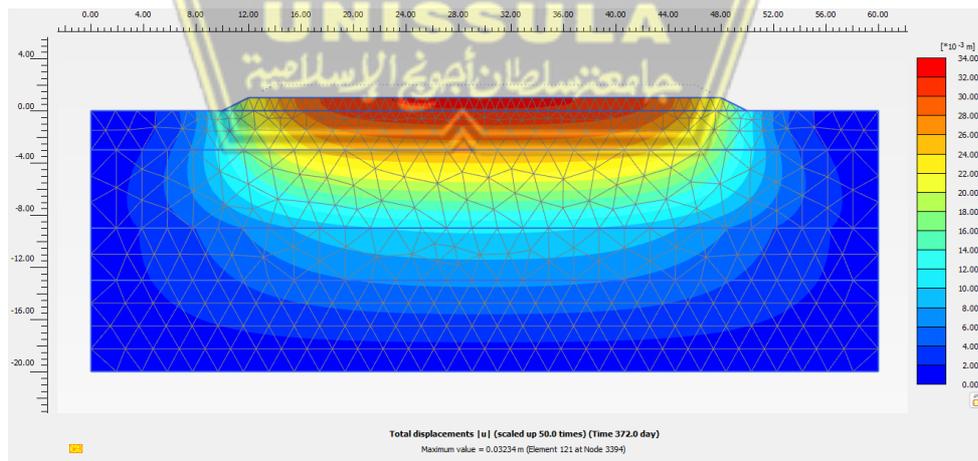
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *clay* dengan waktu konsolidasi 1 bulan pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 2,642 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4.19** Clay Displacement dengan MAT -1 m

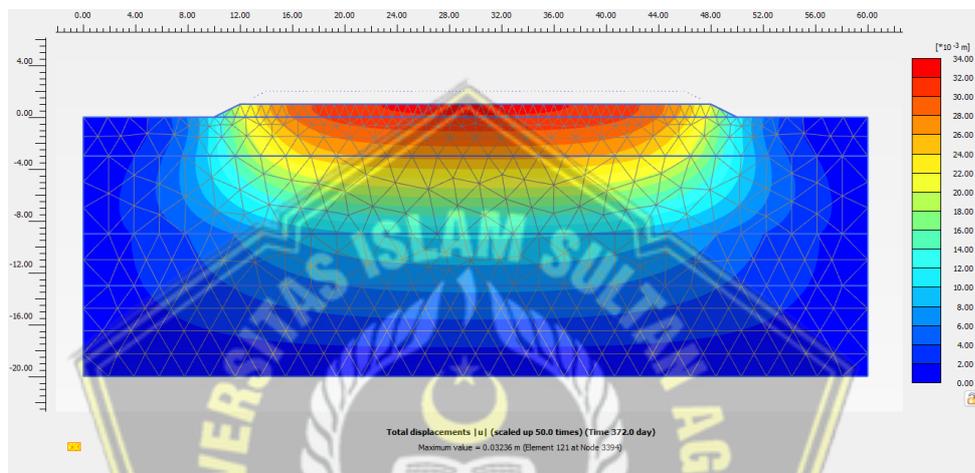
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *clay* dengan waktu konsolidasi 1 bulan pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 2,629 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.

b. Konsolidasi 1 tahun



**Gambar 4.20** Clay Displacement dengan MAT 0 m

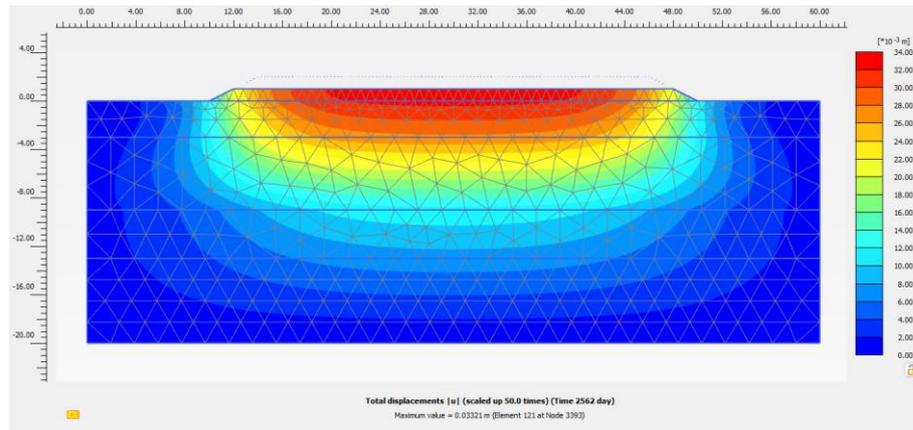
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *clay* dengan waktu konsolidasi 1 tahun pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,234 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4. 21 Clay Displacement dengan MAT -1 m**

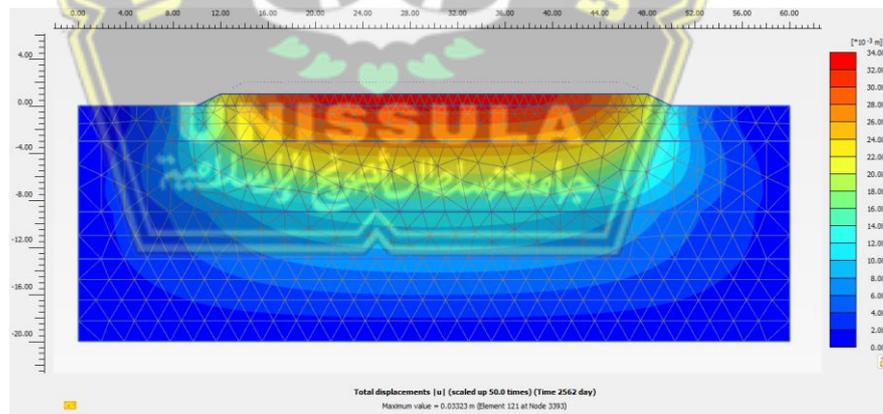
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *clay* dengan waktu konsolidasi 1 tahun pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,236 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.

### c. Konsolidasi 10 tahun



**Gambar 4. 22** Clay Displacement dengan MAT 0 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *clay* dengan waktu konsolidasi 10 tahun pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,321 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4.23** Clay Displacement dengan MAT 0 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi.

Berdasarkan hasil analisis, material *clay* dengan waktu konsolidasi 10 tahun pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,323 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut. berikut merupakan rekapulasi dari hasil timbunan clay baik dari konsolidasi 1 bulan sampai 10 tahun.

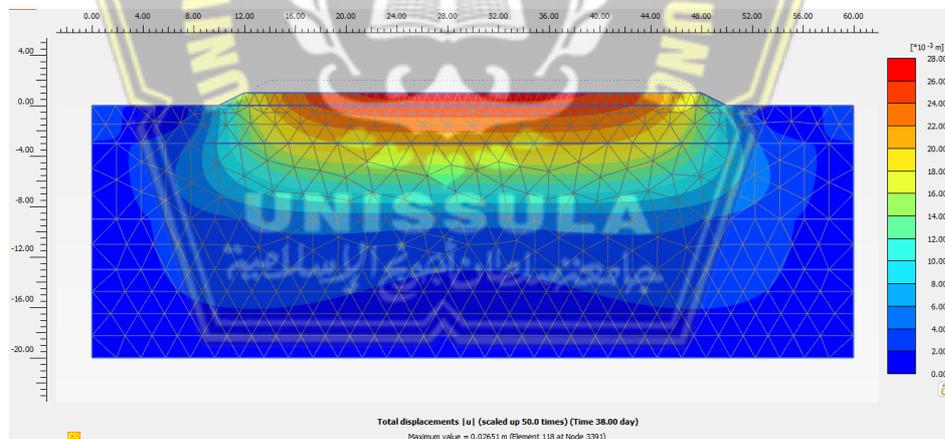
**Tabel 4.4** Rekaplitulasi Timbunan Clay

Jenis timbunan	Waktu Konsolidasi	Muka Air Tanah	
		0m	-1m
<i>Clay</i>	1 bulan	2,642 cm	2,642 cm
<i>Clay</i>	1 tahun	3,234 cm	3,236 cm
<i>Clay</i>	10 tahun	3,321 cm	3,323 cm

#### 2.1.1.1 Timbunan *Sand*

Berikut ini adalah hasil pemodelan untuk material timbunan *Sand*, dengan perbandingan antara MAT 0 meter dan -1 meter, yang disajikan sebagai berikut:

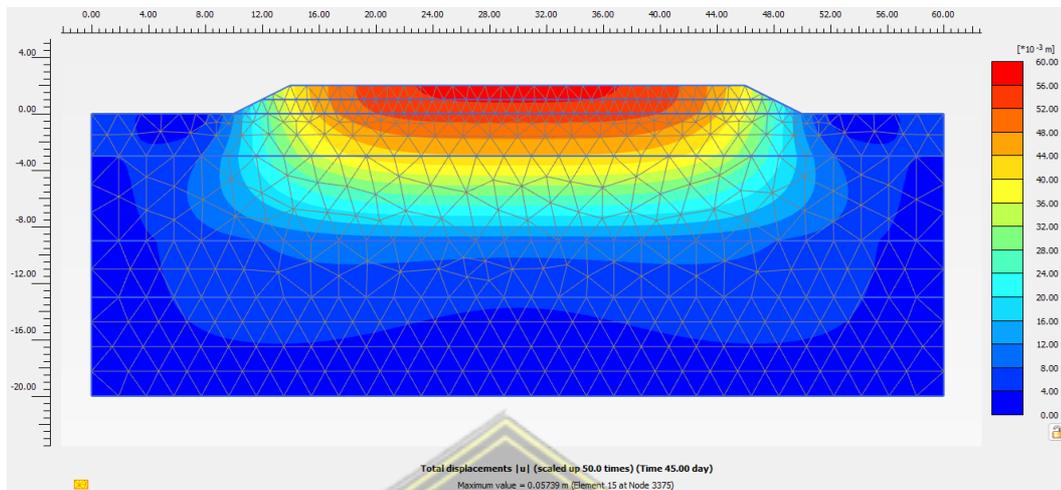
##### a. Konsolidasi 1 bulan



**Gambar 4.24** Sand Displacement dengan MAT 0 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *sand* dengan waktu konsolidasi 1 bulan pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 2,651 cm. Perpindahan ini

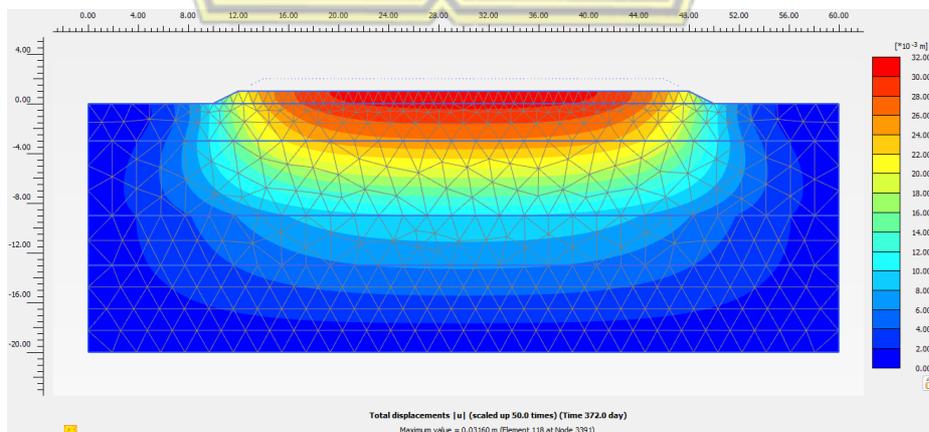
terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4.25** Sand Displacement dengan MAT -1 m

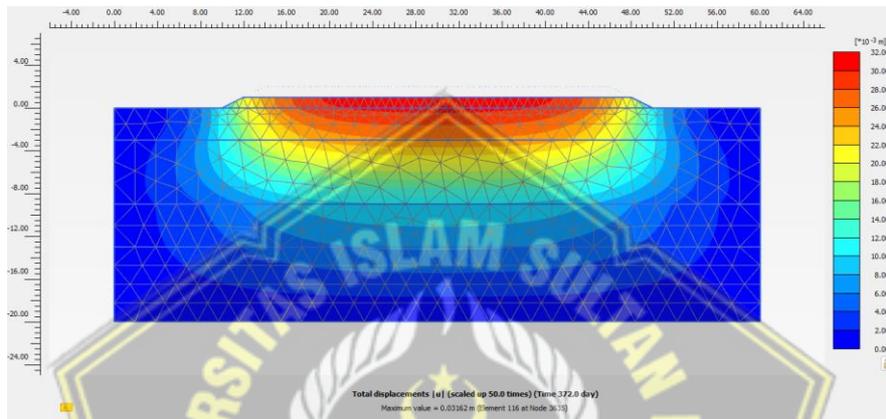
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *sand* dengan waktu konsolidasi 1 bulan pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 2,653 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.

b. Konsolidasi 1 tahun



**Gambar 4. 26** Sand Displacement dengan MAT 0 m

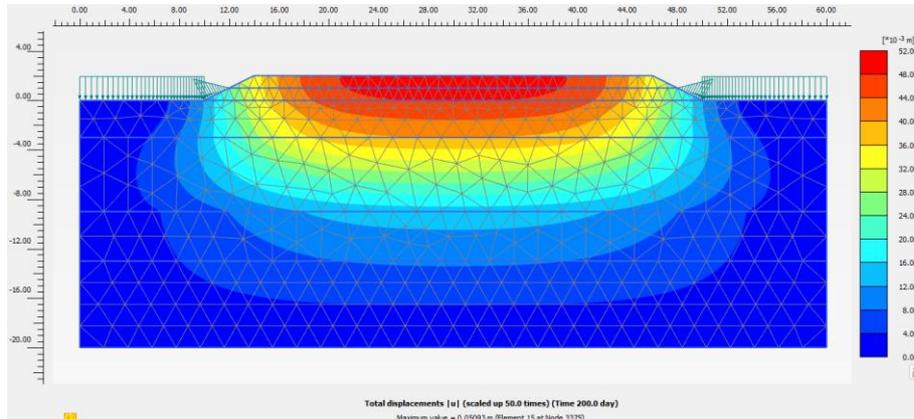
Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *sand* dengan waktu konsolidasi 1 tahun pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,160 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4. 27** Sand Displacement dengan MAT -1 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *gravel* dengan waktu konsolidasi 1 tahun pada MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,162 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.

c. Konsolidasi 10 tahun



**Gambar 4. 28** Sand Displacement dengan MAT 0 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *sand* dengan waktu konsolidasi 10 tahun pada MAT 0 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,238 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut.



**Gambar 4. 29** Sand Displacement dengan MAT -1 m

Gambar di atas menampilkan hasil analisis total displacement, yang menggambarkan perpindahan tanah akibat pembebanan. Area yang ditunjukkan dengan warna merah merepresentasikan wilayah dengan perpindahan terbesar; semakin intens warna merah, semakin besar displacement yang terjadi. Berdasarkan hasil analisis, material *sand* dengan waktu konsolidasi 10 tahun pada

MAT -1 meter menunjukkan penurunan tanah sebesar 3,24 cm. Perpindahan ini terkonsentrasi di area pusat timbunan, mengindikasikan bahwa beban yang diterapkan menghasilkan deformasi terbesar pada wilayah tersebut. Berikut merupakan rekapulasi dari hasil timbunan gravel baik dari konsolidasi 1 bulan sampai 10 tahun.

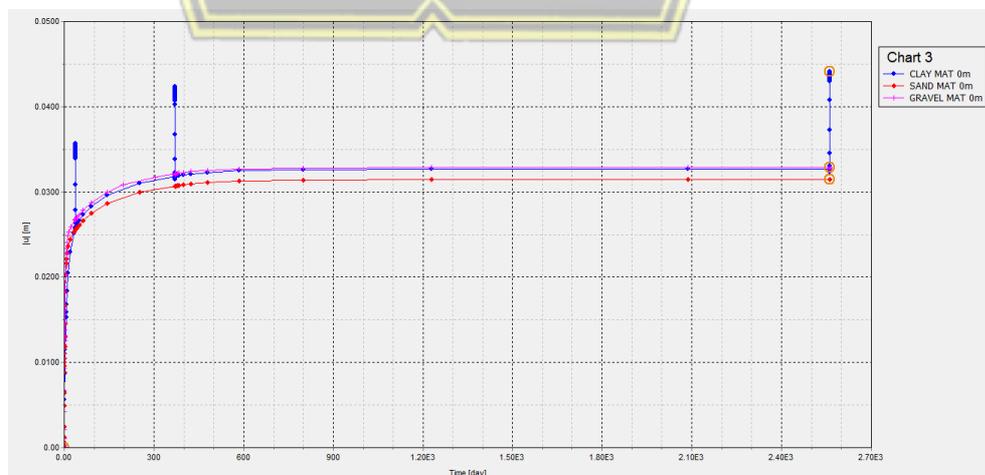
**Tabel 4.5** Rekaplitulasi Timbunan Sand

Jenis timbunan	Waktu Konsolidasi	Muka Air Tanah	
		0m	-1m
<i>Sand</i>	1 bulan	2,651 cm	2,653 cm
<i>Sand</i>	1 tahun	3,160 cm	3,162 cm
<i>Sand</i>	10 tahun	3,238 cm	3,24 cm

## 4.2 Pembahasan

Setelah melakukan analisis menggunakan perangkat lunak Plaxis, diperoleh nilai displacement untuk masing-masing jenis material timbunan. Selanjutnya, perbandingan displacement dari ketiga jenis material tersebut dilakukan untuk mengevaluasi respons masing-masing terhadap pembebanan. Grafik perbandingan memberikan gambaran visual yang jelas mengenai perbedaan kinerja ketiga material, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi material mana yang paling efektif dalam mitigasi penurunan tanah.

### 4.2.1 Deformasi Tanah Asli pada MAT 0 m Diatas Permukaan Tanah dengan Variasi Material Timbunan



**Gambar 4.30** Perbandingan Displacement Terhadap Material Timbunan

Point	Step	Time [day]	u  [m]
10	9	9.513	0.018
11	10	12.863	0.020
12	11	19.564	0.023
13	12	32.966	0.025
14	13	38.000	0.026
15	326	38.838	0.026
16	327	40.513	0.026
17	328	43.863	0.026
18	329	50.564	0.027
19	330	63.966	0.027
20	331	80.760	0.028

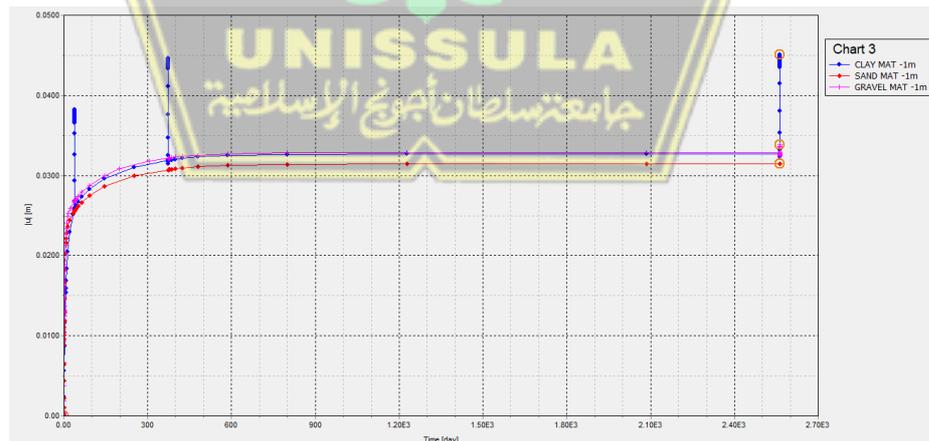
Point	Step	Time [day]	u  [m]
31	344	12.863	0.025
32	345	16.214	0.025
33	346	22.915	0.026
34	347	36.316	0.027
35	348	38.000	0.027
36	349	38.838	0.027
37	350	40.513	0.027
38	351	43.863	0.027
39	352	50.564	0.027
40	353	63.966	0.028
41	354	80.760	0.029

Point	Step	Time [day]	u  [m]
23	9	7.838	0.022
24	10	9.513	0.023
25	11	12.863	0.024
26	12	19.564	0.024
27	13	32.966	0.025
28	14	38.000	0.026
29	340	38.838	0.026
30	341	40.513	0.026
31	342	43.863	0.026
32	343	50.564	0.026
33	344	63.966	0.027

**Gambar 4.31** Nilai Displacement Terhadap Material Timbunan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Plaxis, dapat dijelaskan bahwa Gambar 4.30 terlihat displacement penurunan pada material gravel dengan MAT 0 m lebih besar dari pada timbunan material *clay* dan *sand*. Penjelasan pada Gambar 4.31 dapat disimpulkan bahwa dalam waktu yang sama yaitu 38 hari *gravel* mencapai nilai *displacement* 2,7 cm cepat dibandingkan dengan *clay* dan *sand* yaitu 2,6 cm. Dengan demikian, gravel menunjukkan respons yang lebih cepat terhadap pembebanan, mengindikasikan kemampuannya dalam mengatasi deformasi lebih baik daripada jenis timbunan lainnya.

#### 4.2.2 Deformasi Tanah Asli pada MAT -1 m di Permukaan Tanah dengan Variasi Material Timbunan



**Gambar 4.32** Perbandingan Displacement Terhadap Material Timbunan

Point	Step	Time [day]	u [m]
10	9	9.513	0.018
11	10	12.863	0.020
12	11	19.564	0.023
13	12	32.966	0.025
14	13	38.000	0.026
15	326	38.838	0.026
16	327	40.513	0.026
17	328	43.863	0.026
18	329	50.564	0.027
19	330	63.966	0.027

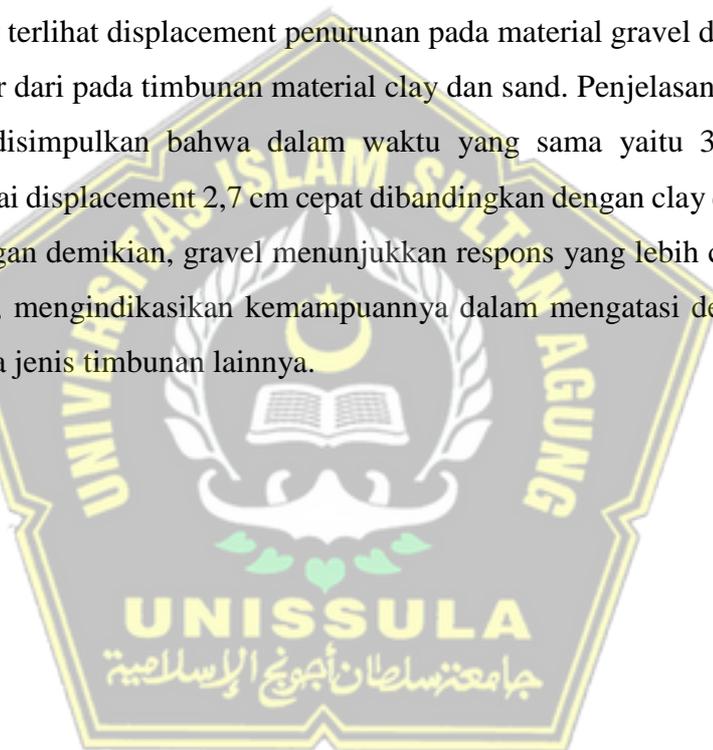
Point	Step	Time [day]	u [m]
24	10	9.513	0.023
25	11	12.863	0.024
26	12	19.564	0.024
27	13	32.966	0.025
28	14	38.000	0.026
29	342	38.838	0.026
30	343	40.513	0.026
31	344	43.863	0.026
32	345	50.564	0.026
33	346	63.966	0.027

Point	Step	Time [day]	u [m]
31	342	12.863	0.025
32	343	16.214	0.025
33	344	22.915	0.026
34	345	36.316	0.027
35	346	38.000	0.027
36	347	38.838	0.027
37	348	40.513	0.027
38	349	43.863	0.027
39	350	50.564	0.027
40	351	63.966	0.028

**Gambar 4. 33** Nilai Displacement Terhadap Material Timbunan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Plaxis, dapat dijelaskan bahwa Gambar 4.30 terlihat displacement penurunan pada material gravel dengan MAT 0 m lebih besar dari pada timbunan material clay dan sand. Penjelasan pada Gambar 4.31 dapat disimpulkan bahwa dalam waktu yang sama yaitu 38 hari gravel mencapai nilai displacement 2,7 cm cepat dibandingkan dengan clay dan sand yaitu 2,6 cm. Dengan demikian, gravel menunjukkan respons yang lebih cepat terhadap pembebanan, mengindikasikan kemampuannya dalam mengatasi deformasi lebih baik daripada jenis timbunan lainnya.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh berbagai jenis material timbunan terhadap displacement pada tanah asli, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D, gravel terbukti menghasilkan displacement yang paling kecil dibandingkan dengan sand dan clay. Pada setiap kondisi, gravel menunjukkan resistensi yang lebih baik terhadap beban, menghasilkan displacement yang lebih kecil baik pada Muka Air Tanah (MAT) 0 meter maupun -1 meter. Misalnya, pada konsolidasi selama 1 bulan, gravel menghasilkan displacement sebesar 2,72 cm (MAT 0 meter) dan 2,721 cm (MAT -1 meter). Sementara itu, sand dan clay menunjukkan displacement yang lebih besar dalam kondisi serupa, mengindikasikan bahwa sifat mekanik gravel yang unggul memberikan stabilitas lebih baik pada struktur timbunan.
2. Gravel dipastikan sebagai material timbunan yang paling efektif dalam mengurangi displacement pada tanah asli. Efektivitas gravel didukung oleh kemampuan mekaniknya yang unggul dalam menahan beban dan mendistribusikan tekanan dengan lebih merata, sehingga mampu mengurangi deformasi tanah secara signifikan. Sifat gravel yang memiliki berat jenis tinggi, permeabilitas yang baik, serta stabilitas yang lebih besar dibandingkan sand dan clay menjadikannya pilihan optimal dalam mitigasi penurunan tanah. Secara keseluruhan, gravel menunjukkan performa terbaik dalam mempertahankan kestabilan tanah dan mempercepat proses konsolidasi, baik pada waktu konsolidasi 1 bulan hingga 10 tahun.
3. Analisis juga menunjukkan bahwa displacement sama pada kondisi MAT 0 meter maupun MAT -1 meter untuk semua jenis timbunan.

## 5.2 Saran

1. Karena tanah berbutir kasar seperti gravel memiliki permeabilitas tinggi, diperlukan perencanaan drainase yang memadai untuk mencegah peningkatan tekanan air pori yang dapat mempengaruhi stabilitas tanah. Sistem drainase yang efektif akan meningkatkan performa timbunan dan mengurangi risiko deformasi tanah.
2. Penggunaan software Plaxis untuk simulasi sudah tepat. Namun, penelitian selanjutnya dapat menguji berbagai variabel lingkungan seperti curah hujan, kadar air tanah, dan pengaruh gempa untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.



## Daftar Pustaka

- Perhubungan Badan Pengembangan Sdm Perhubungan Pusat Pengembangan Sdm Perhubungan Darat Balai Pendidikan Dan Pelatihan Transportasi Darat Bali. Artika, K. D., Syahyuniar, R., & Priono, N. (2017).
- Perancangan Sistem Kemudi Manual Pada Mobil Listrik. Elemen: Jurnal Teknik Mesin, 4(1), 01-06. Hendrawan, M. A., Purboputro, P. I., Saputro, M. A., & Setiyadi, W. (2018).
- Perancanganchassis Mobil Listrik Prototype" Ababil" dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016. Proceeding of the URECOL, 96-105. Hidayat, T., Nazaruddin, N., & Syafri, S. (2017).
- Perancangan dan analisis statik chassis kendaraan shell eco marathon tipe urban concept (Doctoral dissertation, Riau University). Iremonger, M. J. (2019).
- Dasar Analisis Tegangan. Penerbit Universitas Indonesia (UIPress), Jakarta. Maulana, R. A. (2019).
- Rancang Bangun Rangka Terhadap Kinerja Motor Pada Mobil Listrik (Doctoral dissertation, Universitas Pendidikan Indonesia). Prasetyo, E., Hermawan, R., Ridho, M. N. I., Hajar, I. I., Hariri, H., & Pane, E. A. (2020).
- Analisis Kekuatan Rangka Pada Mesin Transverse Ducting Flange (TDF) Menggunakan Software Solidworks. Rekayasa, 13(3), 299-306. Prasetyono, S., & Setiawan, D. K. (2017).
- Rancang Bangun Mobil Listrik Multi Penggerak Berbasis Fuzzy Neural Network.". P Pertama, dkk / Mechonversio, Vol. X, No.Y, Bulan TAHUN, h1-h7 35 Setyono, B., & Gunawan, S. (2015).
- Perancangan dan analisis chassis mobil listrik "Semut Abang" menggunakan software Autodesk Inventor Pro 2013. In Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III (pp. 69-78). Sugiyono, P. D. (2009).
- Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D, Bandung: Cv. Wibisono, H. G., & Yadi, M. (2013). Desain Rangka Pada Prototype Mobil Listrik Garnesa. Jurnal Rekayasa Mesin, 1(01), 57-62.