

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN RIGID INCLUSION UNTUK MENGURANGI DAMPAK LIKUIFAKSI SIRKUIT MANDALIKA

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



Disusun Oleh :

**Totti Aditya Susanto
NIM : 30201900208**

**Zoggy Ardi Eka Saputra
NIM : 30201900219**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN RIGID INCLUSION UNTUK MENGURANGI DAMPAK LIKUIFAKSI SIRKUIT MANDALIKA



Totti Aditya Susanto

NIM : 30201900208



Zoggy Ardi Eka Saputra

NIM : 30201900219

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

Agustus 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **DR. Ir. Rinda Karlinasari, MT**

NIDN : 0623026901

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

NIDN : 0605016802

3. **Selviana Agustina, ST., MT**

NIDN : 0609099001

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 04 / A.2 / SA – T / III / 2023

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

Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
1. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Totti Aditya Susanto
NIM : 30201900123

Zoggy Ardi Eka Saputra
NIM : 30201900219

Judul : PERANCANGAN RIGID INCLUSION UNTUK MENGURANGI DAMPAK LIKUIFAKSI SIRKUIT MANDALIKA

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	06/03/2023	ACC
2	Seminar Proposal	24/05/2023	
3	Pengumpulan data	30/05/2023	
4	Analisis data	05/06/2023	
5	Penyusunan laporan	17/07/2023	
6	Selesai laporan	02/08/2023	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

DR. Ir. Rinda Karlinasari, MT

Dosen Pembimbing Pendamping

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Totti Aditya Susanto

NIM : 30201900208

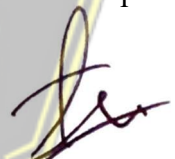
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

PERANCANGAN RIGID INCLUSION UNTUK MENGURANGI DAMPAK LIKUIFAKSI SIRKUIT MANDALIKA

benar bebas plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2023
Yang membuat pernyataan


Totti Aditya Susanto
NIM : 30201900208



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Zoggy Ardi Eka Saputra

NIM : 30201900219

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

PERANCANGAN RIGID INCLUSION UNTUK MENGURANGI DAMPAK LIKUIFAKSI SIRKUIT MANDALIKA

benar bebas plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2023

Yang membuat pernyataan



Zoggy Ardi Eka Saputra

NIM : 30201900219



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Totti Aditya Susanto
NIM : 30201900208
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Rigid Inclusion untuk Mengurangi Dampak Likuifaksi di Sirkuit Mandalika

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

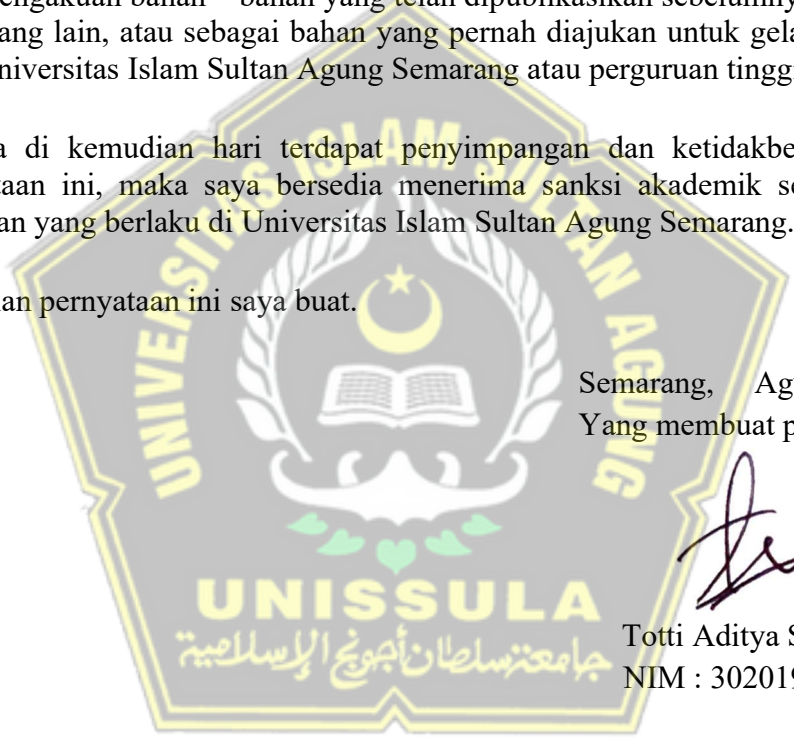
Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2023
Yang membuat pernyataan,



Totti Aditya Susanto
NIM : 30201900208



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Zoggy Ardi Eka Saputra
NIM : 30201900219
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Rigid Inclusion untuk Mengurangi Dampak Likuifaksi di Sirkuit Mandalika

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2023
Yang membuat pernyataan,



Zoggy Ardi Eka Saputra
NIM : 30201900219

MOTTO

مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah “

(HR.Turmudzi)

يُحِبُّ اللَّهُ الْعَامِلَ إِذَا عَمِلَ أَنْ تُحْسِنَ. رواه الطز ان نى

“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik”.

(HR. Thabrani)

مَنْ أَمْسَى كَأَ لَا مِنْ عَمَلٍ يَدِهِ أَمْسَى مَغْفُورًا لَهُ . رواه أحمد

“Barang siapa merasa letih di malam hari karena berkerja, maka di malam itu ia diampuni”.

(H.R. Ahmad)

الصَّلَاةُ عِمَادُ الدِّينِ الصَّلَاةُ مِفْتَاحُ كُلِّ خَيْرٍ

(رواه الطبرانى)

“Shalat itu adalah tiang agama, shalat itu adalah kunci segala kebaikan”.

(H.R. Tablani)

حَبِّبُوا اللَّهَ إِلَى عِبَادِهِ يُحِبُّكُمْ اللَّهُ

“Cintakanlah Allah, kepada hamba-hambanya maka Allah mencintaimu.”

(H.R. Tabrani dari abi umarah r.a)

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

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

(Q.S. Ali ‘Imran ayat 110)

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Agung Susanto dan Ibu saya Muryani, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Ibu DR. Ir. Rinda Karlinasari, MT, MST., Ph.D dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya adik saya yang telah men support saya.
5. Ananda Aurellie Surya Putri yang telah mensupport saya
6. Mas Wahyu Rizal, ST dan Mas Risqi Alam, ST., MT yang sudah membimbing dan membantu.
7. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Zoggy Ardi Eka Saputra, terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Abdulloh, Bimo Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.



Totti Aditya Susanto

NIM : 30201900208

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Rumadi dan Ibu saya Sri Muati, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Ibu DR. Ir. Rinda Karlinasari, MT, MST., Ph.D dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya adik saya yang telah men support saya.
5. Dwiani Fadzilah Fisilmii Kaffah, ST yang telah mensupport saya
6. Mas Wahyu Rizal, ST dan Mas Risqi Alam, ST., MT yang sudah membimbing dan membantu
7. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Totti Aditya Susanto, terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Abdulloh, Bimo Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.



Zoggy Ardi Eka Saputra

NIM : 30201900219

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tentang “PERENCANAAN RIGID INCLUSION UNTUK MENGURANGI DAMPAK LIKUIFAKSI DI SIRKUIT MANDALIKA”, guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

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

1. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu DR. Ir. Rinda Karlinasari, MT. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

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

Semarang, Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR NOTASI.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
ABSTRAK.....	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Pembatasan Masalah.....	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Tanah.....	5
2.2. Klasifikasi Tanah	7
2.2.1. Klasifikasi Tanah berdasar Tekstur	8
2.2.1.1. <i>Sandy</i>	8
2.2.1.2. <i>Clay</i>	9
2.2.2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO.....	10

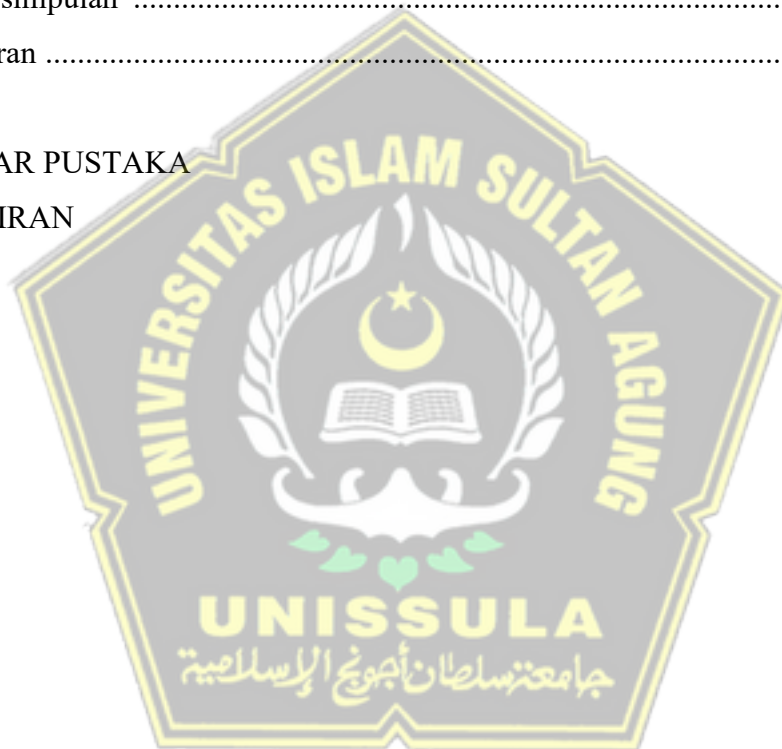
2.2.3. Klasifikasi Tanah Sistem USCS	12
2.3. Parameter Tanah	15
2.3.1. Angka Pori	16
2.3.2. Porositas	16
2.3.3. Kadar Air	16
2.3.4. Derajat Kejenuhan	17
2.3.5. Berat Jenis Tanah Basah	17
2.3.6. Berat Jenis Tanah Kering	17
2.3.7. Kohesi	17
2.3.8. Modulus Elastisitas Tanah Efektif	19
2.3.9. Modulus Elastisitas Inisial	19
2.4. Gempa Bumi	20
2.5. Likuifaksi	21
2.5.1. Faktor faktor yang mempengaruhi potensi likuifaksi	22
2.6. Bahaya yang terjadi oleh likuifaksi	23
2.6.1. Perubahan gerakan permukaan tanah	24
2.6.2. Pembentukan <i>sand boils</i>	25
2.7. Metode untuk menganalisis potensi likuifaksi	25
2.7.1. Tekanan hidrostatik	26
2.7.2. Ratio tekanan air pori	26
2.7.3. <i>Safety factor</i>	27
2.8. Penurunan Tanah	28
2.8.1. Penurunan Segera	28
2.8.2. Penurunan Konsolidasi Primer	28
2.8.3. Penurunan Total	29
2.9. Perbaikan Tanah	29
2.10. Stabilitas Tanah	31
2.11. <i>Rigid Inclusion</i>	32
2.11.1. Daya Dukung Tiang <i>Rigid Inclusion</i>	32
2.11.2. Luas Penampang <i>Rigid Inclusion</i>	35
2.11.3. <i>Modulus Elastisitas</i>	35
2.11.4. <i>Fmax Rigid Inclusion</i>	35

2.11.5. Gesekan Selimut Tiang	36
2.11.6. <i>Axial Skin Resistance</i>	36
2.11.7. <i>Qskin Rigid Inclusion</i>	36
2.11.8. <i>Qtip Rigid Inclusion</i>	37
2.12. <i>Load Transfer Platform (LTP)</i>	37
2.13. Penelitian Sebelumnya.....	39
 BAB III METODE PERANCANGAN.....	38
3.1. Pendahuluan	38
3.2. Studi Literatur	33
3.3. Pengumpulan Data	33
3.4. Pengolahan Data	39
3.5. Pemodelan Tanah dengan Program Plaxis v20.....	39
3.6. Kesimpulan dan Saran	39
3.7. Alur Diagram Penelitian	40
 BAB IV HASIL PEMBAHASAN.....	44
4.1. Pendahuluan.....	44
4.2. Data Tanah.....	44
4.2.1. Data CPT	44
4.2.2. Data Bore log.....	45
4.2.3. Parameter Tanah	46
4.2.4. Parameter RI	47
4.2.5. Parameter Perkerasan Jalan	48
4.3. Pemodelan Rigid Inclusion pada software plaxisv20	48
4.3.1. <i>Project Properties</i>	48
4.3.2. <i>Material setting</i>	49
4.3.3. Pemodelan sederhana.....	50
4.3.3.1. Pemodelan	50
4.3.3.2. Analisa hasil	51
4.3.4. Pemodelan <i>Rigid Inclusion</i>	53
4.3.5. <i>Mesh</i>	54

4.3.6. Penentuan Titik Monitoring.....	55
4.3.7. <i>Elastic dan Elastoplastic</i>	55
4.3.8. <i>Dynamic</i>	55
4.4. Hasil analisa software Plaxis v20.....	56
4.4.1. Tanah asli dan RI <i>Acceleration</i> 0,4g	56
4.4.2. Tanah asli dan RI <i>Acceleration</i> 0,8g	60
4.4.3. Hasil perbandingan dari 0,4g dan 0,8g.....	64

BAB V PENUTUP	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	65

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Butiran Menurut Unified, ASTM, MIT, Nomenclature dan International Nomenclature Berdasarkan Ukuran Butiran	11
Tabel 2.2. Klasifikasi tanah menurut AASHTO	12
Tabel 2.3. Klasifikasi tanah menurut USCS	14
Tabel 2.4. Konsistensi tanah kohesi.....	18
Tabel 2.5. Konsistensi tanah non kohesi.....	18
Tabel 2.6. Koefisien permeabilitas tanah.....	18
Tabel 2.7. Berat volume tanah jenuh	19
Tabel 4.1. Parameter Tanah (bagian 1)	47
Tabel 4.2. Parameter Tanah (bagian 2)	47
Tabel 4.3. Parameter <i>Rigid Inclusion</i>	47
Tabel 4.4. Parameter <i>Rigid Inclusion</i> dalam tanah	48
Tabel 4.5. Parameter perkerasan jalan dalam permodalan <i>rigid inclusion</i>	48
Tabel 4.6. Hasil Perbandingan P_{excess} dan σ^1 bagian 1	52
Tabel 4.7. Hasil Perbandingan P_{excess} dan σ^1 bagian 2	52
Tabel 4.8. Hasil Perbandingan P_{excess} dan σ^3 bagian 1	53
Tabel 4.9. Hasil Perbandingan P_{excess} dan σ^3 bagian 2	53
Tabel 4.10. Perbandingan P_{excess} dan σ^1	64
Tabel 4.11. Perbandingan P_{excess} dan σ^3	64
Tabel 4.12. Perbandingan P_{excess} dan σ^1	64
Tabel 4.13. Perbandingan P_{excess} dan σ^3	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Klasifikasi berdasar tekstur tanah	8
Gambar 2.2.	Tiga fase elemen tanah.....	15
Gambar 2.3.	Rekaman akselerasi gempa bumi lombok.....	21
Gambar 2.4.	Dampak likuifaksi kota lombok	23
Gambar 2.5.	Accelerogram dari situs dekat apartemen yang terletak diatas tanah yang terjadi likuifaksi pada gempa Niigata, Jepang tahun 1964 ...	24
Gambar 2.6.	<i>Cross section</i> vertikal sand boils.....	25
Gambar 2.7.	Jenis-jenis metode perbaikan tanah.....	31
Gambar 2.8.	<i>Rigid Inclusion</i>	32
Gambar 2.9.	Pola Persebaran tiang persegi dan tiang segitiga	34
Gambar 2.10.	Komponen <i>rigid inclusion</i>	38
Gambar 2.11.	<i>Arching Effect</i> pada bagian LTP <i>Van Eekelen et al</i> 2013	39
Gambar 3.1.	Bagan metodologi penulisan.....	43
Gambar 4.1.	Data sondir pada STA 0+400 Sirkuit Mandalika, Lombok	45
Gambar 4.2.	Data Bor	46
Gambar 4.3.	Parameter Tanah (bagian 1)	47
Gambar 4.4.	Parameter Tanah (bagian 2)	47
Gambar 4.5.	Parameter <i>Rigid Inclusion</i>	47
Gambar 4.6.	Parameter <i>Rigid Inclusion</i> dalam Tanah	48
Gambar 4.7.	Parameter Perkerasan Jalan dalam Pemodelan <i>Rigid Inclusion</i>	48
Gambar 4.8.	<i>Project Properties</i>	49
Gambar 4.9.	<i>Input Material</i>	49
Gambar 4.10.	Pemodelan Tanah Asli	50
Gambar 4.11.	Pemodelan dengan Timbunan	51
Gambar 4.12.	Pemodelan <i>Rigid Inclusion</i>	51
Gambar 4.13.	P _{excess} pemodelan sederhana.....	51
Gambar 4.14.	σ_1 Pemodelan sederhana.....	52
Gambar 4.15.	σ_3 Pemodelan sederhana.....	52
Gambar 4.16.	Pemodelan <i>Rigid Inclusion</i> pada tanah asli.....	54
Gambar 4.17.	Jendela <i>mesh</i>	54

Gambar 4.18.	Titik Monitoring.....	55
Gambar 4.19.	Jendela <i>Stage Construction</i>	55
Gambar 4.20.	Jendela <i>Stage Construction</i>	56
Gambar 4.21.	Pexcess lapisan <i>loose sand</i> tanah asli.....	56
Gambar 4.22.	<i>excess</i> lapisan <i>loose sand</i> RI	57
Gambar 4.23.	<i>Principal Effective Stress</i> σ^1 lapisan <i>loose sand</i> tanah asli	57
Gambar 4.24.	<i>Principal Effective Stress</i> σ^1 lapisan <i>loose sand</i> RI	57
Gambar 4.25.	<i>Principal Effective Stress</i> σ^3 lapisan <i>loose sand</i> tanah asli	58
Gambar 4.26.	<i>Principal Effective Stress</i> σ^3 lapisan <i>loose sand</i> RI	58
Gambar 4.27.	Grafik Pexcess tanah asli dan RI.....	58
Gambar 4.28.	Grafik σ^1 tanah asli dan RI.....	59
Gambar 4.29.	Grafik σ^3 tanah asli dan RI.....	59
Gambar 4.30.	Pexcess lapisan <i>loose sand</i> tanah asli.....	60
Gambar 4.31.	Pexcess lapisan <i>loose sand</i> RI.....	50
Gambar 4.32.	σ^1 lapisan <i>loose sand</i> tanah asli.....	61
Gambar 4.33.	<i>Principal Effective Stress</i> σ^1 lapisan <i>loose sand</i> RI.....	61
Gambar 4.34.	<i>Principal Effective Stress</i> σ^3 lapisan <i>loose sand</i> tanah asli.....	61
Gambar 4.35.	<i>Principal Effective Stress</i> σ^3 lapisan <i>loose sand</i> RI	62
Gambar 4.36.	Grafik Pexcess tanah asli dan RI.....	62
Gambar 4.37.	Grafik σ^1 tanah asli dan RI.....	63
Gambar 4.38.	Grafik σ^3 tanah asli dan RI.....	63

DAFTAR NOTASI

C_u	: Kuat geser tanah kondisi undrained (kN/m^2)
N-SPT	: <i>Standard Penetration Test</i>
h	: Jarak antar lapisan tanah dengan muka air (m)
γ	: Berat volume tanah (kN/m^3)
γ_{sat}	: Berat volume tanah jenuh air (kN/m^3)
μ	: Tekanan air pori (kN/m^2)
e	: Angka Pori (<i>void ratio</i>)
n	: Porositas
w	: Kadar air (%)
s	: Derajat kejenuhan (%)
σ	: Tegangan total (kN/m^2)
σ'	: Tegangan tanah efektif (kN/m^2)
Φ'	: Sudut geser dalam efektif ($^\circ$)
q_c	: Perlawanan ujung sondir (kg/cm^2) atau (MPa)
E	: Modulus elastisitas tanah (kN/m^2)
E'	: Modulus elastisitas tanah efektif (kN/m^2)
c	: Kohesi (kN/m^2)
c'	: Kohesi efektif (kN/m^2)
ν'	: Poisson ratio efektif
k	: Permeabilitas
γ_w	: Berat jenis tanah basah
γ_d	: Berat jenis tanah kering

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	
BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL TUGAS AKHIR	
LAMPIRAN 2	
BERITA ACARA SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR.....	
LAMPIRAN 3	
LEMBAR KOREKSI TUGAS AKHIR.....	
LAMPIRAN 4.....	
LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	
LAMPIRAN 5	
TURNITIN.....	
LAMPIRAN 6.....	
DATA PROYEK SIRKUIT MANDALIKA, LOMBOK.....	
LAMPIRAN 7	
TABEL-TABEL KORELASI UNTUK INTERPRETASI PARAMETER TANAH.....	



ABSTRAK

Gempa bumi merupakan bencana alam yang dapat merusak apapun saat terjadi, baik bangunan diatas tanah maupun dibawah tanah. Salah satu akibat gempa pada tanah yaitu terjadinya likuifaksi, likuifaksi adalah perubahan material yang awalnya padat (*solid*), dalam hal ini berupa sedimen atau tanah sedimen, menjadi seperti cairan (*liquid*).

Berbagai jenis alat dan metode dapat digunakan untuk menganalisis likuifaksi salah satunya yaitu SPT. *Cone Penetration Test* (CPT) atau yang lebih dikenal dengan sondir merupakan salah satu pengujian tanah yang sering digunakan dilapangan untuk menganalisis daya dukung. Semua komponen yang berada di dalam maupun di luar tanah yang berada di sekitar terjadinya likuifaksi, maka akan berdampak buruk, dalam kasus tersebut dipasang lah perbaikan tanah rigid inclusion untuk mengurangi dampak dari likuifaksi tersebut. Metode tersebut dikerjakan dengan Memasukkan elemen kaku seperti balok beton ke dalam tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah.

Rigid inclusion yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan dimensi diameter 0,5m spasi tiang berjarak 3 kali diameter tiang dengan jumlah 11 tiang selebar jalan yang ada di sirkuit mandalika (15m).Diatas Rigid Inklusio terdapat LTP (Load Transfer Platform) yang merupakan material gravel dengan memiliki kedalaman 2,5m. Untuk menentukan hasil analisa kita mencari SF dan RU pada Pemodelan tanah asli dan RI. Hasil dari perhitungan SF menggunakan *software* plaxis v20. Ada dua percobaan yang dilakukan yaitu dengan percepatan gempa 0,4g dan 0,8g. untuk percepatan gempa 0,4g didapat nilai SF tanah asli 2,49 dan Tanah yang diberi *Rigid inclusion* memiliki nilai 3,30, yang artinya semakin besar SF semakin bagus dan tidak terlikuifaksi. Sedangkan untuk percepatan gempa 0,8g didapat nilai SF tanah asli yaitu 0,71 dan tanah yang diberi *Rigid inclusion* 1,09. Jadi perbaikan tanah dengan menggunakan *rigid inclusion* terbukti efektif menanggulangi likuifaksi di sirkuit mandalika.

Kata Kunci: *Fondasi; Tiang Pancang Spun Pile; Bored Pile; Daya Dukung; dan Penurunan Fondasi*

ABSTRACT

Earthquake is a natural disaster that can damage anything when it occurs, both above ground and underground buildings. One of the consequences of an earthquake on the ground is the occurrence of liquefaction, liquefaction is a change in material that was initially solid (solid), in this case in the form of sediment or sedimentary soil, to become like a liquid (liquid).

Various types of tools and methods can be used to analyze liquefaction, one of which is SPT. The Cone Penetration Test (CPT) or better known as sondir is one of the soil tests that is often used in the field to analyze carrying capacity. All components inside and outside the soil that are around the occurrence of liquefaction will have a negative impact, in the case of For this purpose, rigid inclusion soil improvements are installed to reduce the impact of the liquefaction. This method is done by inserting rigid elements such as concrete blocks into the ground to increase the strength and stability of the soil.

The rigid inclusion used in this study uses a diameter dimension of 0.5m, the spacing of the poles is 3 times the diameter of the poles, with a total of 11 poles as wide as the road in the Mandalika circuit (15m). On top of the Rigid Inclusion there is LTP (Load Transfer Platform), which is a gravel material with has a depth of 2.5m. To determine the results of the analysis we look for SF and RU in the original soil model and RI. The results of the SF calculations use the plaxis v20 software. Two experiments were carried out, namely with an earthquake acceleration of 0.4g and 0.8g. for an earthquake acceleration of 0.4g, the original soil SF value is 2.49 and the soil that is given Rigid inclusion has a value of 3.30, which means that the greater the SF the better and not liquefied. Whereas for an earthquake acceleration of 0.8g, the SF value of the original soil is 0.71 and the soil that is given Rigid inclusion is 1.09. So soil improvement using rigid inclusion has proven to be effective in tackling liquefaction in the Mandalika circuit.

Keywords: *Foundation; Spun Pile; Bored Piles; Carrying capacity; and Lowering of Foundations*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu konstruksi sipil selalu berdiri di atas tanah, yang dimana tanah tersebut merupakan bagian yang akan menerima dan mendukung beban dari konstruksi bangunan tersebut, oleh karenanya tanah merupakan bagian terpenting dari konstruksi struktur bangunan, pada setiap pembangunan akan selalu ditemukan permasalahan tanah yang berbeda-beda, dikarenakan karakter tanah dan sifat berbeda juga.

Pulau Lombok merupakan salah satu pulau di Indonesia yang paling rawan terhadap bencana gempa bumi dan tsunami. Pulau Lombok berada dengan zona subduksi yang merupakan pertemuan dua lempeng tektonik aktif dunia yaitu Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Selain itu, patahan busur belakang (*Back arc*) menjadi sumber utama tsunami lokal dilepas pantai utara Lombok. Kerentanan terhadap gempa ini berpengaruh terhadap pembangunan infrastruktur di Pulau Lombok, dimana infrastruktur yang dibangun harus memiliki ketahanan terhadap gempa bumi. Infrastruktur adalah fasilitas-fasilitas fisik yang dikembangkan atau dibutuhkan oleh agen-agen publik untuk fungsi-fungsi pemerintahan dalam penyediaan air, tenaga listrik, pembuangan limbah, transportasi dan pelayanan-pelayanan similar untuk memfasilitasi tujuan-tujuan sosial dan ekonomi (Stone, 1974 Dalam Kodoatie, R.J., 2005).

Selain tsunami, salah satu akibat gempa bumi adalah likuifaksi. Likuifaksi atau pencairan tanah merupakan suatu fenomena tanah yang kehilangan kekuatan diakibatkan oleh adanya getaran atau gesekan yang mengakibatkan tekanan air meningkat dan melemahkan daya ikat atau daya dukung tanah. Likuifaksi cenderung terjadi pada tanah yang berbutir halus yang mengandung banyak pasir dan air. Potensi likuifaksi perlu dilakukan untuk bahan pertimbangan bagi perencana konstruksi untuk dapat memastikan bahwa bangunan yang akan dibangun aman dari likuifaksi, oleh karena itu potensi likuifaksi dianalisis berdasarkan data SPT dan CPT agar dapat mengetahui potensi likuifaksi.

Potensi likuifaksi pada kawasan Sirkuit Mandalika akan dianalisis berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Seed and Idris berdasarkan data SPT dan CPT, untuk kedalaman tanah yang akan diteliti akan didapatkan nilai CRR (*cyclic Resistance Ratio*) dan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) sehingga didapatkan nilai tegangan *cyclic* atau ketahanan tanah likuifaksi, dari nilai tersebut akan dibandingkan dengan SF (*Safety Factor*), nilai yang akan menunjukkan potensi likuifaksi titik tersebut.

Selain itu wilayah penelitian tersebut memiliki Muka Air Tanah (MAT) yang cukup tinggi, untuk mengatasi air pori berlebih, memakai metode perbaikan tanah *Rigid Inclusion* dengan cara menanamkan elemen kaku seperti balok beton ke dalam tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu acuan atau informasi tambahan tentang mitigasi likuifaksi di suatu kawasan sehingga bisa merencanakan konstruksi yang aman.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang permasalahan yang telah dibahas, maka rumusan masalah dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi likuifaksi di Sirkuit Mandalika dengan plaxis 2d v20?
2. Bagaimana permodelan *Rigid Inclusion* sebagai perkuatan tanah terhadap likuifaksi dengan menggunakan analisa MEH Plaxis2d V20 pada percepatan maksimum gempa bumi?
3. Bagaimana stabilitas tanah setelah dipasang *Rigid Inclusion*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi likuifaksi di Sirkuit Mandalika dengan plaxis 2d v20.
2. Mengetahui permodelan *Rigid Inclusion* sebagai perkuatan tanah terhadap likuifaksi dengan menggunakan analisa MEH Plaxis2d V20 pada percepatan maksimum gempa bumi.
3. Mengetahui stabilitas tanah setelah dipasang *Rigid Inclusion*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang didapat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi likuifaksi di Sirkuit Mandalika dengan data SPT
2. Mengetahui permodelan Rigid Inclusion dengan menggunakan perhitungan numerik *Plaxis2d v20* pada percepatan maksimum gempa bumi
3. Mengetahui stabilitas tanah setelah dipasang *Rigid Inclusion*.

1.5 Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dianalisis sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian di Sirkuit Mandalika pada data tanah yang digunakan STA 0+400
2. Data gempa yang digunakan sebagai acuan adalah data gempa yang terjadi di Lombok pada tanggal 05 Agustus 2018
3. Data tanah utama yang digunakan adalah data tanah Sirkuit Mandalika, Lombok STA 0+400
4. Analisis menggunakan software *PLAXIS 2D v20*

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 TINJAUAN 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. Tanah

Srikit (2019) tanah yaitu material dan sebagai daya dukung pondasi untuk menerima beban pada bagian konstruksi, dalam ke teknik sipil tanah merupakan campuran organik dari partikel, organik, dan endapan yang merupakan relati lepas yang terdapat di bagian atas batuan dasar dengan zat cair dan gas yang mengisi bagian ruangan kosong antara partikel tersebut. Diantara bagian tersebut terdapat rongga yang diisi oleh air dan udara, dan bila rongga tanah terisi air seutuhnya maka tanah dalam kondisi jenuh. Dan apabila tanah terisi air dan udara maka tanah dalam kondisi jenuh sebagian, dan apa bila tanah tidak mengandung air maka tanah dalam kondisi kering.

Lestari (2018) tanah yang berukuran butir kasar terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir, sebaliknya ukuran butir halus partikelnya kebanyakan berukuran lempung dan lanau dapat disebut dengan tanah dengan butiran halus. Material yang paling banyak digunakan di bidang konstruksi merupakan tanah berbutiran kasar dikarenakan sifatnya yang menguntungkan.

Adapun sifat fraksi tanah butiran kasar yaitu:

1. Tidak mempunyai sifat kohesi
2. Nilai kompresibilitas yang tinggi dan nilai elastisitas yang besar, sangat baik untuk material konstruksi di bagian urugan.
3. Nilai porositas tinggi dikarenakan banyak mempunyai celah dalam susunan strukturnya.
4. Kuat geser yang besar
5. Terkonsolidasi dalam rentang waktu yang cepat.
6. Ukuran partikel $> 0,075\text{mm}$.

Hardiyatma (2014) selain sifat fraksinya tanah juga mempunyai beberapa jenis yang terdiri dari banyaknya campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya, adapun tanah lempung bukan berarti hanya terdiri tanah lempung saja di dalamnya tetapi terdapat juga pasir, lanau dan bahan campuran organik lainnya.

Ukuran dapat bervariasi dari 100 mm sampai dengan lebih kecil 0,001 mm.

1. Kerikil (gravel) yaitu kepingan batuan atau partikel mineral quartz dan feldspar.
2. Pasir (sand) yaitu besaran mineral quartz feldspar.
3. Lanau (silt) merupakan bagian besar fraksi mikroskopis (ukuran sangar kecil) dari tanah yang berbutiran quartz yang sangat halus dan pecahan mika.
4. Lempung (clay) merupakan sebagian besar partikel mikroskopis (ukuran yang sangat kecil) dan sub mikropis (yang hanya dapat dilihat dari mikroskop) berukuran lebih kecil dari 0,002mm

Tabel 2.1 Klasifikasi Butiran Menurut Unified, ASTM, MIT, Nomentclature dan International Nomenclature Berdasarkan Ukuran Butiran (Hardiyatno,2014)

Unified Class system	1,7 mm 0,38 0,075										
	kasar	sedang	halus	Butiran halus (lanau dan lempung)							
	pasir										
ASTM	2,0 mm 0,42 0,075 0,005 0,001										
	pasir sedang		pasir halus		Lanau		Lempung		Lempung koloidal		
	2,0 mm 0,6 0,2 0,06 0,02 0,006 0,002 0,0006 0,0002 mm										
MIT nomen- clatur	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus		
	pasir			Lanau			Lempung				
	2,0 mm 1,0 0,5 0,2 0,1 0,05 0,02 0,006 0,002 0,0006 0,0002 mm										
Inter- national nomen- clatur	sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	sangat halus
	pasir				Mo		Lanau		Lempung		

Selain klasifikasi ukuran butiran yang dapat digunakan untuk membandingkan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda. Diameter dalam grafik size distribusi ukuran butiran yang bersesuaian dengan persen lolos 10%, 30% serta 60%, serta koefisien keseragaman dan koefisien gradasi dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,

C_u = Koefisien keseragaman

C_c = Koefisien gradasi

D10 = Diameter 10% lolos ayakan yang ditentukan dari grafik distribusi ukuran butiran

D30 = Diameter 30% lolos ayakan yang ditentukan dari grafik distribusi ukuran butiran

D60 = Diameter 60% lolos ayakan yang ditentukan dari grafik distribusi ukuran butiran

Makin tinggi nilai C_u , makin besar rentang distribusi partikel tanah, dan tanah bergradasi baik biasanya memiliki C_c sekitar 1 sampai 3. Sedangkan untuk mencari nilai tegangan total, nilai tegangan dari air pori, nilai dari tegangan efektifnya berada di persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = h \times \gamma \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\mu = h_w \times \gamma \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\sigma' = \sigma \times \mu \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana,

σ = Tegangan total (kN/m^2)

h = Jarak antar titik lapisan tanah dengan muka air (m)

γ = Berat Volume tanah (kN/m^3)

μ = Tekanan air pori (kN/m^2)

σ' = Tegangan efektif (kN/m^2)

h_w = Tinggi muka air diukur dari permukaan tanah (m)

γ_w = Berat Volume air (kN/m^3)

2.2. Klasifikasi Tanah

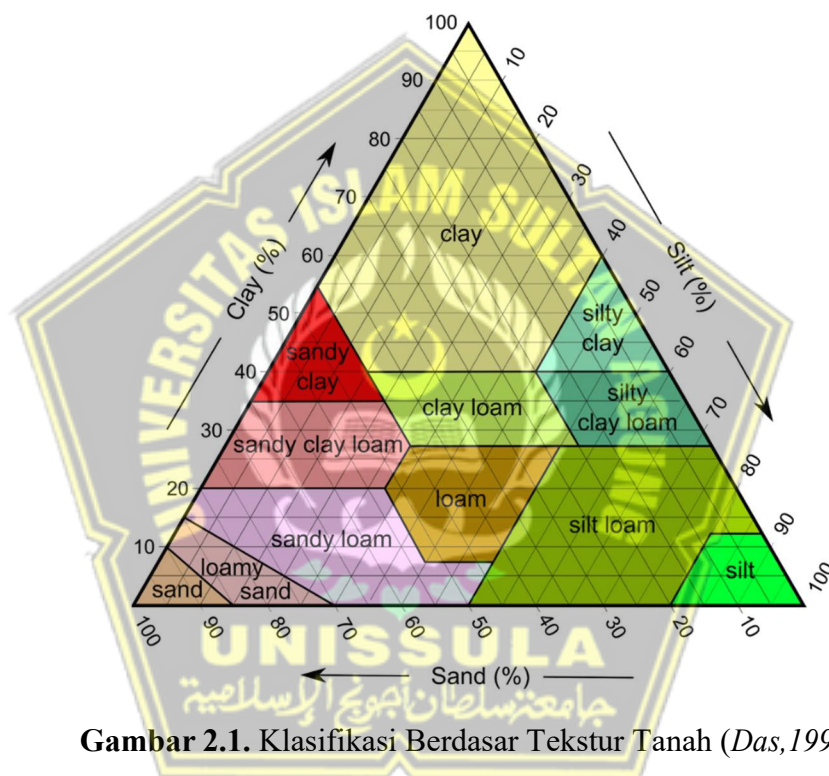
Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok –sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain :

- Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO.
- Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

2.2.1. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur

Pengaruh daripada ukuran tiap-tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan tekstur tanah. Tanah tersebut di bagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir : pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*). Departemen Pertanian AS telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir melalui prosentase pasir, lanau, lempung yang terdapat pada Gambar 2.1. Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat pada tanah. Untuk dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya.



Gambar 2.1. Klasifikasi Berdasar Tekstur Tanah (*Das, 1995*)

Klasifikasi tanah yang dipakai dalam penelitian ini yaitu klasifikasi tanah berdasar tekstur. Berikut adalah tanah yang terdapat di Sirkuit Mandalika berdasar tekstur:

2.2.1.1. *Sandy*

Tanah pasir terdiri dari partikel yang relative besar dengan ukuran antara 0.05 hingga 2.0 mm. tanah pasir umumnya memiliki sifat-sifat yang berbeda dibandingkan dengan tanah dengan komposisi partikel lainnya, seperti lempung atau debu. Berikut adalah jenis dari tanah pasir:

1. *Loose Sand*

Tanah pasir yang memiliki kepadatan yang rendah atau tidak terkompaksi dengan baik. Ini menggambarkan kondisi di mana partikel-partikel pasir dalam tanah tidak saling terhubung secara kuat, sehingga memberikan keleluasaan dan ruang kosong di antara partikel-partikel tersebut. Tanah pasir yang longgar biasanya memiliki kepadatan yang rendah, keplastisan yang tinggi, dan kemampuan drainase yang baik. Karena kepadatannya yang rendah, tanah pasir yang longgar cenderung memiliki kekuatan dan stabilitas yang lebih rendah.

2. *Medium Sand*

Dalam konteks geoteknik mengacu pada jenis pasir dengan ukuran butir yang sedang. Pasir ini memiliki ukuran butir antara 0,25 hingga 0,5 mm. Sifat fisiknya ditentukan oleh distribusi ukuran butir yang relatif seragam. Tanah pasir dengan ukuran butir sedang biasanya memiliki kepadatan yang moderat dan kemampuan drainase yang baik. Pasir ini memiliki keseimbangan antara partikel yang cukup besar untuk memberikan stabilitas dan partikel yang cukup kecil untuk memungkinkan pergerakan air melalui celah-celahnya.

3. *Dense Sand*

Jenis pasir yang memiliki kepadatan yang tinggi atau terkompaksi dengan baik. Ini menggambarkan kondisi di mana partikel-partikel pasir dalam tanah saling terhubung dengan erat, mengisi ruang kosong di antara partikel-partikel tersebut. Tanah pasir yang padat biasanya memiliki kepadatan yang tinggi, keplastisan yang rendah, dan kemampuan drainase yang baik. Kepadatan yang tinggi memberikan tanah pasir dengan kekuatan dan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah pasir yang longgar atau kurang terkompaksi.

2.2.1.2. Tanah Lempung (*Clay*)

Tanah yang memiliki dominasi partikel lempung dalam komposisinya. Tanah lempung terdiri dari partikel-partikel sangat halus dengan ukuran kurang dari 0,002mm. tanah lempung umumnya memiliki karakteristik yang berbeda dari tanah dengan komposisi partikel lainnya, seperti pasir atau debu. Berikut adalah jenis dari tanah lempung:

1. *Stiff Clay*

Jenis tanah lempung yang memiliki sifat kaku atau kaku. Tanah lempung yang kaku ini memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah lempung dengan sifat plastisitas yang lebih tinggi. Sifat fisik stiff clay ditentukan oleh kombinasi faktor-faktor seperti kandungan lempung yang tinggi, struktur tanah yang padat, dan kepadatan yang tinggi. Tanah lempung yang kaku cenderung memiliki tingkat plastisitas yang rendah dan indeks plastisitas yang terbatas.

2. *Very Stiff Clay*

Jenis tanah lempung yang memiliki kekakuan yang sangat tinggi. Tanah lempung yang sangat kaku ini memiliki tingkat kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi daripada tanah lempung dengan sifat plastisitas yang lebih tinggi atau tanah lempung dengan kekakuan biasa. Sifat fisik *very stiff clay* ditentukan oleh faktor-faktor seperti kandungan lempung yang sangat tinggi, struktur tanah yang padat, kepadatan yang tinggi, dan adanya ikatan antara partikel-partikel tanah yang kuat.

2.2.2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Clasification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan, versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (ASTM Standart no D-3282, AASHTO metode M145).

Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam Tabel 2.2. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A1 sampai dengan A7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan 200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. (Das, 1995)

Sistem klasifikasi ini pada awalnya membutuhkan data-data berikut :

1. Analisa ukuran butiran.
2. Batas cair dan batas plastis dan I_p yang dihitung.
3. Batas susut
4. Ekivalen kelembapan lapangan-kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu.
5. Ekivalen kelembapan sentrifugal-sebuah percobaan untuk mengukur kapasitas tanah dalam menahan air. (Tanah kering direndam dalam air selama 12 jam dan kemudian diberi gaya sentrifugal selama 1 jam; kadar air akhir yang didapat adalah ekivalen kelembapan sentrifugal (*centrifuge moisture equivalent* – CME). (Bowles, 1993).



Untuk lebih jelasnya dalam pengklasifikasian tanah berdasarkan AASHTO dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Klasifikasi tanah menurut AASHTO (Das,1995)

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (% lolos)							
No.10	Maks 50						
No.40	Maks 30	Maks 50	Min 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat Fraksi yang lolos ayakan No. 40							
Batas Cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastis (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe Material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-4		A-3	A-6		A-7 A-7-5* A-7-6'	
Analisis Ayakan (% lolos)							
No.10							
No.40							
No.200	Min 36		Min 36	Min 36		Min 36	
Sifat Fraksi yang lolos ayakan No. 40							
Batas Cair (LL)	Maks 40 Maks 10		Maks 40 Maks 10	Maks 40 Maks 10		Maks 40 Maks 10	
Indeks Plastis (PI)							
Tipe Material yang paling dominan	Tanah Berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa Sampai Jelek						

2.2.3. Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Dalam rangka kerjasama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara

luas oleh para ahli teknik. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*) , yaitu : tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (gravel) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (sand) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu : tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah –tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No.200 (ini adalah fraksi halus)
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No.40
3. Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No.200
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No.200). (Das, 1995)

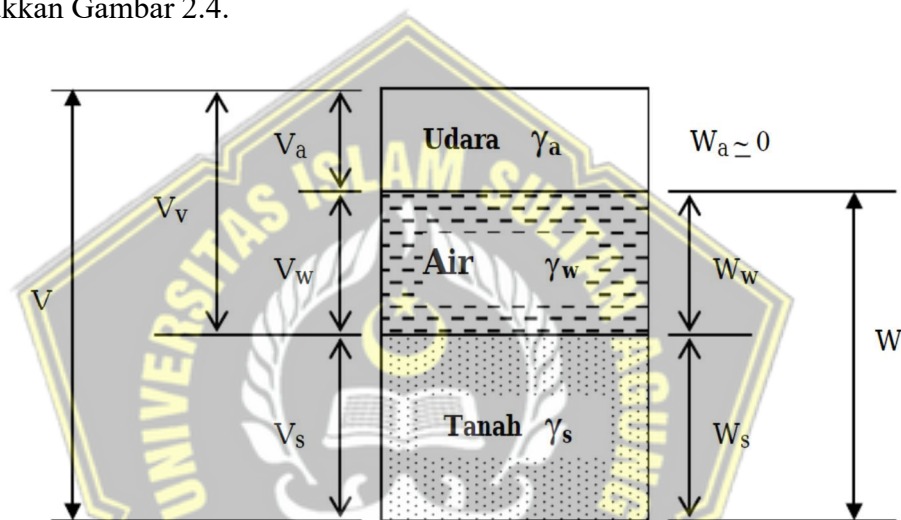
Kelompok-kelompok tanah utama pada sistem USCS ini diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi tanah menurut USCS (Das,1995)

Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Umum			
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200’	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 40	Kerikil Bersih (hanya Kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali mengandung butiran halus			
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil Dengan Butiran Halus	GM	Kerikil berlanau-campuran kerikil-pasir-lanau			
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung			
	Kerikil 50% Atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No.40	Pasir Bersih (hanya Pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		Pasir Dengan Butiran Halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir- lanau			
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung			
			Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Umum
			Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih, lolos ayakan No.200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau dan berlempung	
CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus”(lean clays)						
OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah						
Lanau dan Lempung Batas cair lebih 50%	MH	Lanau organik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis					
	CH	Lempung organik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk”(fat clays)					
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi					
	Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	Gambut (peat), muck, dan tanah- tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

2.3. Parameter Tanah

Kata tanah seperti banyak kata umumnya mempunyai beberapa pengertian. Pengertian tradisional, tanah adalah medium alami untuk pertumbuhan tanaman dan merupakan daratan. Pengertian lain, tanah berguna sebagai pendukung pondasi bangunan dan sebagai bahan bangunan itu sendiri, seperti batu bata, paving blok. Faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah antara lain : jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dan lain- lain. Tingkat kepadatan tanah dinyatakan dalam persentase berat volume (γ_d) terhadap berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}). (Afrenia, 2014). Tanah terdiri dari tiga fase elemen, yaitu butiran padat (*solid*), air dan udara, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.4.



Gambar 2.2. Tiga fase elemen tanah (Das,1995)

Gambar 2.2 memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume (V) dan berat total (W). Berikut hubungan volume-berat :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \dots \dots \dots (2.6)$$

$$V_v = V_w + V_a \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana,

V_s = Volume butiran padat

V_w = Volume Air

V_a = Volume udara

V_v = Volume Pori

Apabila udara dianggap tidak mempunyai berat, maka total berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan dengan :

$$W = W_s + W_w \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana,

W_s = berat butiran padat

W_w = Berat air

Adapun data parameter tanah didapatkan dari hasil pengujian laboratorium maupun dari hasil interpolasi data-data tanah yang sudah ada. Hasil dari parameter tanah inilah yang menjadi masukan untuk pengukuran dan analisa selanjutnya.

2.3.1. Angka pori

Angka pori menunjukkan seberapa besar ruang kosong yang disebut pori-pori tanah terhadap ruang padat. Pori-pori inilah yang nanti akan terisi air atau butiran tanah yang lebih kecil, sehingga sifat dari tanah pun berubah. Nilai ini merupakan hubungan volume tanah yang umum dipakai, didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori (VV) dan volume butiran padat (VS) yang disebut angka pori (e).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots \dots \dots (2.9)$$

2.3.2. Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dan volume tanah total. Angka ini menunjukkan seberapa besar volume pori ada yang dapat diukur dalam prosentase. n menunjukan sebagai angka porositas

$$n = \frac{V_v}{V} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.3.3. Kadar Air

Kadar air atau *water content* (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Pemeriksaan kadar air dapat dilakukan dengan pengujian *soil test* laboratorium, begitu juga untuk mengukur angka pori, porositas, derajat kejenuhan dan berat jenis.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \dots \dots \dots (2.11)$$

2.3.4. Derajat Kejenuhan

Nilai ini merupakan perbandingan antara perbandingan volume air dengan volume pori atau dapat dirumuskan,

$$S = \frac{V_w}{V_v} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana,

S = derajat kejenuhan yang biasa dinyatakan dalam prosentase

2.3.5. Berat Jenis Tanah Basah

Berat jenis tanah basah (*moist unit weight*) merupakan nilai dari perbandingan berat tanah per satuan volume.

$$\gamma_w = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \dots \dots \dots (2.13)$$

atau dapat dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air, dan volume total yang dirumuskan berupa :

$$\gamma_w = \frac{W_s + (1+w)}{V} \dots \dots \dots (2.14)$$

2.3.6. Berat Jenis Tanah Kering

Berat jenis tanah kering (*dry unit weight*) merupakan perbandingan berat kering per satuan volume tanah. Besaran yang didapat dari *soil test* ini diukur dalam keadaan kering, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \text{ atau } \gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \dots \dots \dots (2.15)$$

yang dapat digunakan sebagai hubungan antara berat volume, berat volume kering dan kadar air.

2.3.7. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

$$\text{Kohesi (c)} = q_c/20 \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana,

q_c = data sondir

Tabel 2.4 Konsistensi (Terzaghi dan peck,1967), Tanah kohesi

Tanah Kohesi		
Nilai SPT	Tipe Tanah	Catatan
0 - 2	Very Soft	Tidak cocok untuk bangunan struktur
2 - 4	Soft	
4 - 8	Medium	Baik untuk struktur ringan dengan metode kerja yang baik
8 - 15	Stiff	Baik untuk struktur dengan beban aksial rendah
15 - 30	Very Stiff	Baik untuk struktur dengan beban aksial menengah
>30	Hard	Baik untuk struktur dengan beban aksial besar

Tabel 2.5 Konsistensi (Terzaghi dan peck,1967), Tanah non kohesi

Tanah Non Kohesif		
Nilai SPT	Tipe Tanah	Catatan
0 - 4	Very loose	Tidak cocok untuk bangunan struktur, cocok untuk taman
4 - 10	loose	Baik untuk struktur ringan dengan metode kerja yang baik
10 - 30	Medium	Baik untuk struktur dengan beban aksial rendah
30 - 50	Dense	Baik untuk struktur dengan beban aksial menengah
>50	Very Dense	Baik untuk struktur dengan beban aksial besar

Koefisien permeabilitas tanah adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan kemampuan suatu tanah dalam mengalirkan air atau fluida melalui pori-pori atau ruang antar partikelnya. Koefisien permeabilitas (k) mengukur laju aliran air melalui tanah dalam satuan panjang dan satuan waktu.

Tabel 2.6 Koefisien Permeabilitas Tanah (Casagrande dan Fadun),1993

k (cm/detik)	Tipe Tanah	Kondisi Drainase
$10^1 - 10^2$	Clean Gravel	Baik
10^{-1}	Clean Sand	Baik
$10^{-1} - 10^{-4}$	Clean Sand and Gravel Mixtures	Baik
10^{-5}	Very Fine Sand	Buruk
10^{-6}	Silt	Buruk
$10^{-7} - 10^{-9}$	Clay Soils	Secara Praktis Menahan Air

Berat volume tanah jenuh yaitu ukuran yang menggambarkan berat tanah per volume unitnya ketika seluruh pori-porinya diisi sepenuhnya dengan air. Berat volume jenis tanah jenuh (γ_{sat}) dapat diperoleh dari pengujian laboratorium menggunakan sampel tanah jenuh yang dikeringkan dan ditimbang untuk mendapatkan berat keringnya. Berat volume air (γ_w) adalah konstanta yang terkait dengan berat volume air murni.

Berat volume tanah jenuh dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\gamma_{sat} = \frac{(\gamma_{sat}) \times (\gamma_w)}{(1+w)} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana,

γ_{sat} = berat volume tanah jenuh (kN/m^3 atau kg/m^3).

γ_{sat} = berat volume jenis tanah jenuh (kN/m^3 atau kg/m^3).

γ_w = berat volume air (kN/m^3 atau kg/m^3).

w = kadar air tanah jenuh (%).

Tabel 2.7 Berat Volume Tanah Jenuh (Bowles, 1977)

Nilai SPT	0 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 16	16 - 32	>32
Konsistensi	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
Berat Jenis Jenuh (kN/m^3)	<15.7	15.7 - 18.8	17.3 - 19.6	18.1 - 20.4	18.8 - 22	>20.4

2.3.8. Modulus Elastisitas Tanah Efektif

Modulus elastisitas tanah efektif merupakan nilai yang menggambarkan ketahanan tanah terhadap deformasi geser atau perubahan bentuk akibat beban yang diterapkan padanya. Berikut adalah rumus dari Modulus tersebut:

$$E' = 1000 \times N\text{-Spt} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana

E' = Modulus Elastisitas Tanah Efektif (kN/m^2)

N-Spt = *Standard Penetration Test* (Kn)

2.3.9. Modulus Elastisitas Inisial

Parameter ini adalah parameter yang menggambarkan sifat elastis awal tanah atau material geoteknik sebelum adanya deformasi permanen akibat beban yang diterapkan.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(e+Gs) \times \gamma_w}{1+e} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana,

γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh air (kN/m³)

e = Modulus elastisitas inisial (Mpa)

G_s = Gravity selection

2.4. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan suatu sentakan yang terjadi didalam bumi dimana getaran yang terjadi dapat di rasakan di permukaan bumi. Gempa diakibatkan oleh meningkatnya aktivitas geologi. Seperti terjadinya letusan gunung berapi yang di sebut gempa bumi vulkanik dan sumber dari patahan, pergeseran antara lempeng, meningkatnya yang mengakibatkan menumpuknya energy dalam waktu yang lama, dan terlepas yang menimbulkan getaran pada tanah.

Mengenai karakteristik pergerakan tanah yang di akibatkan karna gempa bumi di dalam dari hasil laporan *accelograph* yang telah mencatat peristiwa gempa bumi. Berdasarkan perkembangan dan proses rekaman *accelograph* dapat disimpulkan bahwa karakteristik pergerakan tanah akibat gempa bumi terdiri dari.

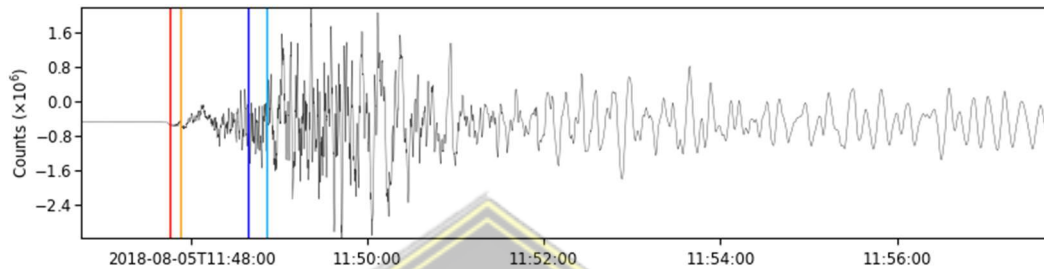
1. percepatan maksimum tanah
2. kecepatan maksimum tanah.
3. perpindahan maksimum tanah.
4. Durasi guncangan tanah.

Parameter tersebut merupakan karakteristik utama dari pergerakan tanah yang terjadi akibat gempa bumi. Namun parameter tersebut tidak dapat memastikan gambaran efek negatif yang mungkin timbul akibat intensitas guncangan yang terjadi, sebagai contoh gempa dengan percepatan besar yang potensi terhadap kehancuran dan pengrusakan jika terjadi dalam waktu yang singkat, gempa hanya akan menimbulkan kerusakan kecil pada beberapa jenis struktur yang ada. Karakteristik gempa bumi di beberapa tempat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya.

1. Kekuatan dari gempa itu sendiri.
2. Jarak pusat gempa ke tempat energi dilepaskan
3. Karakteristik batuan sepanjang rambatan gelombang gempa
4. Mekanisme terbentuk sumber gempa

5. Efek gangguan gelombang yang dipengaruhi arah dan kecepatan gelombang rambatan.
6. Kondisi dan jenis tanah pada daerah tersebut.

Kekuatan gempa bumi yang terjadinya berdasarkan zona daerah tertentu. Pada zona wilayah wilayah gempa indonesia menggunakan SAGE (*Seismological Facility for the Advancement of Geoscienc*).



Gambar 2.3 Rekaman akselerasi gempa bumi Lombok (SAGE, 2018)

2.5. Likuifaksi

Dilansir dari Institut Teknologi Bandung (ITB), ahli geologi dari Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian ITB, Dr. Eng. Imam Achmad Sadisun, mengatakan bahwa likuifaksi adalah perubahan material yang padat (solid), dalam hal ini berupa endapan sedimen atau tanah sedimen, menjadi seperti cairan (*liquid*).

Sebelum gempa bumi tekanan air pada tanah relative rendah, namun setelah terjadinya gempa tekanan air pada tanah tersebut akan meningkat, sehingga dapat meningkatkan pergerakan partikel pada tanah dengan mudah.

Adapun Fenomena terkait dengan likuifaksi ialah *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*. Keduanya merupakan hal yang sangat penting dalam memperhatikan dan mengevaluasi bahayanya likuifaksi. *Flow liquefaction* merupakan peristiwa yang terjadi dalam aliran tanah. Ini terjadi dikarenakan adanya tekanan geser statis yang dimana akan diperlukan untuk mencapai keseimbangan untuk suatu massa tanah yang jauh lebih besar dari pada tegangan geser tanah dalam kondisi cair. Dengan kata lain yaitu deformasi terjadi akibat dari tekanan geser statik. Pada peristiwa ini, ada dua karakteristik yang dapat dilihat yaitu kecepatan aliran dan perpindahan material tanah.

Sedangkan *cyclic mobility* yaitu fenomena yang mempengaruhi deformasi yang sangat besar akibat adanya gempa bumi. Berbeda dengan *flow liquefaction*, dalam kondisi tekanan geser statis lebih kecil dengan tegangan geser tanah cair (*liquefied*).

Pada bagian ini, deformasi yang terjadi diakibatkan oleh pembebanan siklik (*cyclic loading*) dan tekanan geser statis (*static shear stress*). Dalam hal ini, deformasi yang terjadi adalah deformasi lateral (*lateral spreading*).

2.5.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi potensi likuifaksi

Pramana (2015) faktor yang mempengaruhi adanya potensi likuifaksi diperlukan pengenalan kondisi yang terdapat pada tanah sebelum terjadinya gempa. Tanah terdiri dari partikel-partikel yang menyusunnya. Jika dilihat lebih dekat maka akan terlihat bahwa setiap partikel berhubungan dengan partikel lainnya. Karena adanya gaya berat dari partikel tanah, maka terdapatlah gaya antar partikel. Gaya inilah yang membuat setiap partikel tanah dapat berada tetap pada posisinya sehingga ada yang dimaksud dengan kekuatan tanah.

Likuifaksi terjadi apabila suatu pasir yang tersaturasi strukturnya terpecah akibat adanya pembebanan yang berlebihan dan terus-menerus. Karena strukturnya hancur, maka partikel-partikel penyusun pasir tersebut akan bergerak dan cenderung membentuk suatu konfigurasi yang lebih keras. Pada saat terjadinya gempa air yang berada di pori-pori tanah berpasir tidak sempat mengalir keluar, dan terperangkap sehingga partikel – partikel tanah tidak dapat bergerak dan merapat untuk membentuk konfigurasi yang lebih padat. Dengan adanya pembebanan akibat gempa, tekanan air di dalam tanah akan meningkat sehingga memperkecil gaya antar partikel tanah sehingga kekuatan tanahnya menjadi menurun. Pada kasus – kasus yang ekstrim, tekanan air pori akan menjadi sangat tinggi sehingga partikel– partikel tanah kehilangan kontak satu dengan lainnya. Jika hal tersebut terjadi maka tanah akan kehilangan kekuatannya dan berlaku seperti cairan, maka peristiwa tersebut dinamakan likuifaksi.

Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi pada tanah saat terjadi gempa antara lain adalah kepadatan tanah, umur dari deposit, fabric dan gradasi partikel, riwayat tegangan (regangan), nilai *Over Consolidation Ratio* (OCR), kondisi tegangan *in-situ*, bentuk dari partikel. Kepadatan dari tanah pasir dapat dinyatakan dengan *relative density* (D_r). Semakin besar nilai D_r maka akan semakin besar tahananannya terhadap bahaya likuifaksi. Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah yang bergradasi seragam (*uniformly graded soil*). Sementara tanah yang bergradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai tahanan terhadap likuifaksi lebih besar

dibandingkan dengan tanah yang bergradasi jelek (*poor graded soil*).

Hal ini disebabkan oleh partikel – partikel kecil yang terdapat pada tanah yang bergradasi baik akan dapat mengisi rongga yang ada diantara partikel yang besar, sehingga potensi untuk mengalami perubahan volume pada kondisi drain akan menjadi lebih kecil akibat undrained loading. Tanah dengan partikel yang berbentuk bundar akan lebih mudah mengalami likuifaksi dibandingkan dengan tanah dengan partikel bersudut. Hal ini disebabkan tanah dengan partikel berbentuk bundar lebih mudah untuk dipadatkan

2.6. Bahaya yang terjadi oleh Likuifaksi

Jariyanih (2011) likuifaksi hanya terjadi pada tanah yang berpasir dan terendam air, sehingga pada kedalaman muka air tanah sangat mempengaruhi potensinya likuifaksi, maka efeknya seringkali hanya diamati pada area yang dekat dengan badan air seperti sungai, danau, dan laut. Terjadinya likuifaksi sering terlihat saat gempa bumi dan adapun bahaya yang disebabkan oleh likuifaksi bisa berupa longsor besar ataupun terjadinya retakan – retakan pada tanah yang paralel dengan badan air serta munculnya a semburan pasir di permukaan tanah pada saat gempa terjadi.

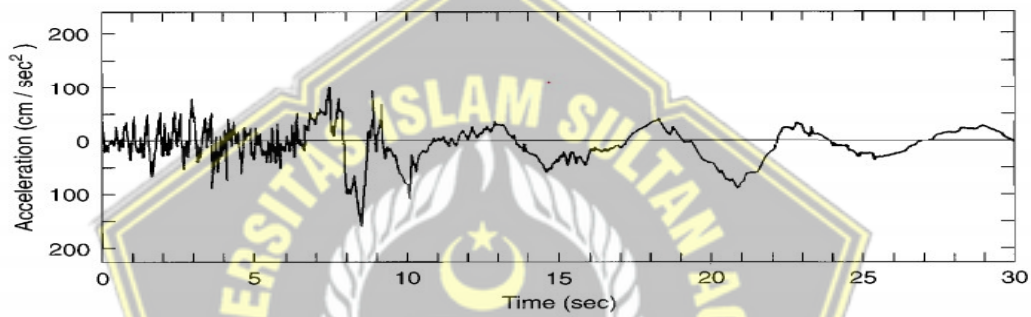
Saat terjadinya likuifaksi, kekuatan tanah akan berkurang serta kemampuan tanah untuk menahan serta mendukung pondasi dari bangunan diatasnya akan berkurang. Likuifaksi juga dapat memberikan tekanan yang besar pada dinding – dinding penahan tanah yang dapat menyebabkan dinding penahan tanah menjadi miring ataupun bergeser.



Gambar 2.4 Dampak Likuifaksi Kota Lombok (REPUBLIKA, 2018)

2.6.1. Perubahan Gerakan Permukaan Tanah

Salah satu dampak dari perubahan gerakan permukaan tanah adalah terjadinya tanah longsor, yang dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan dan infrastruktur serta berdampak pada keselamatan manusia. Selain itu, perubahan gerakan permukaan tanah juga dapat mempengaruhi sistem perairan, seperti mengubah arus sungai atau memicu terjadinya banjir. Begitu pula dengan likuifaksi yaitu berkurangnya kekuatan geser tanah akibat beban seismik ketika terjadi gempa bumi. Likuifaksi terjadi di tanah jenuh, dimana ruang antara partikel individu benar-benar penuh dengan air. Air ini memberikan suatu tekanan pada partikel tanah yang mempengaruhi seberapa erat partikel itu sendiri ditekan bersamaan.



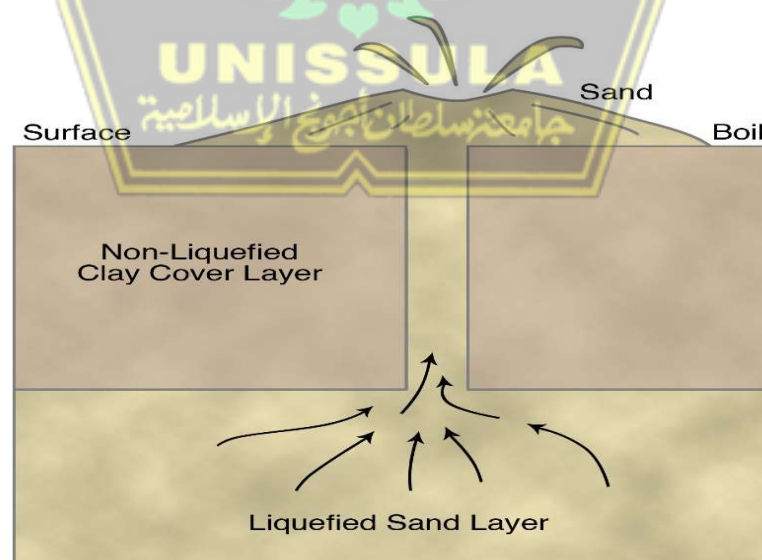
Gambar 2.5 Akselerogram dari situs dekat apartemen yang terletak diatas tanah yang terjadi likuifaksi pada gempa Niigata, Jepang tahun 1964 (Aki, 1988)

Reduksi kekakuan tanah yang terjadi karena likuifaksi dapat dilihat dengan baik pada gambar diatas. Pola amplitudo akselerasi dan frekuensi berubah drastis setelah detik ke-7 terhitung dari gerakan awal. Akselerasi permukaan tanah yang berkurang ketika tekanan air pori membesar tidak berarti potensi kerusakan struktur diatas tanah mengecil. Amplitudo akselerasi rendah pada frekuensi rendah tetap bisa mengakibatkan deformasi tinggi. Deformasi ini adalah hal yang harus diperhatikan untuk pembangunan struktur bawah tanah, utilitas bawah tanah, dan struktur yang ditopang oleh pondasi tiang yang berada di kedalaman tanah yang terjadi likuifaksi.

2.6.2. Pembentukan *Sand Boils*

Sand boils merupakan kondisi di mana tekanan air yang kuat di dalam tanah mengakibatkan tanah yang tidak stabil terangkat ke atas dan membentuk gelembung di permukaan tanah. Gelembung ini berisi air dan pasir atau lumpur, dan dapat membentuk kolam kecil di permukaan tanah. Sand boils sering terjadi pada lokasi yang terdampak oleh pergerakan air tanah atau perubahan gerakan permukaan tanah, seperti gempa bumi atau banjir. Mereka dapat menjadi tanda adanya kelemahan atau kerusakan pada struktur tanah, dan dapat menyebabkan tanah di sekitarnya menjadi tidak stabil dan berisiko terjadinya tanah longsor atau keruntuhan tanah. Oleh karena itu, sand boils sering dipantau dan dikontrol untuk mencegah terjadinya kerusakan pada infrastruktur dan lingkungan.

Sand boils atau air springs terbentuk ketika ada tekanan air yang kuat di dalam tanah akibat dari perubahan gerakan permukaan tanah, seperti gempa bumi atau banjir. Tekanan air yang terakumulasi ini menyebabkan tanah yang tidak stabil di bawah permukaan tanah menjadi terangkat ke atas dan membentuk gelembung di permukaan tanah. Gelembung ini biasanya berisi air dan pasir atau lumpur, dan dapat membentuk kolam kecil di permukaan tanah. Sand boils sering terjadi pada lokasi yang terdampak oleh pergerakan air tanah, dan dapat menjadi tanda adanya kelemahan atau kerusakan pada struktur tanah.



Gambar 2.6 *Cross section vertikal sand boils*
(Sumber: Steve Obermeier, USGS 2011)

2.7. Metode untuk Menganalisis Potensi Likuifaksi

Dalam menganalisis potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu tes uji laboratorium dan pendekatan perhitungan dari data tes uji lapangan. SPT (*Standard Penetration Test*) adalah uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Kelebihan dan alasan utama tes ini digunakan secara luas karena tes ini murah dan sederhana. Parameter kekuatan tanah yang didapat adalah perkiraan, tetapi dapat memberikan panduan yang berguna dalam kondisi tanah dimana tidak memungkinkan untuk mendapatkan sampel bor yang kualitasnya memadai. CPT (*Cone Penetration Test*) atau yang lebih sering disebut tes sondir merupakan penetrometer statis yang dipakai secara luas di Indonesia.

Adapun untuk menganalisis potensi likuifaksi dibutuhkan nilai rasio tegangan siklik (CSR) dan nilai rasio tahanan siklik (CRR) yang bisa didapatkan dari nilai CPT (sondir), SPT (bor dalam), V_s (shearwave velocity), dan beberapa uji tanah lainnya termasuk *Becker Penetration Test* (BPT). Dalam penelitian ini digunakan perbandingan antara Ratio U terhadap tekanan efektifitas tanah, dengan SF (*safety factor*)

2.7.1. Tekanan hidrostatik

Tekanan hidrostatik air adalah tekanan yang dihasilkan oleh air yang berada di dalam pori-pori atau retakan dalam tanah atau batuan

$$U_o = (H - MAT) \times \gamma_w \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana,

U_o = Tekanan hidrostatik air (Kpa)

H = Jarak titik monitoring terhadap MAT (m)

MAT = Muka Air Tanah (m)

γ_w = Gamma Air (kg/m^3)

2.7.2. Ratio Tekanan Air Pori

Rasio tekanan air pori (Pore Water Pressure Ratio) adalah perbandingan antara tekanan air pori (tekanan air dalam celah atau ruang pori tanah atau batuan) dengan tekanan hidrostatik (tekanan air dalam air tanah) pada kedalaman tertentu. Rasio ini sering digunakan dalam mekanika tanah dan geoteknik untuk memahami perilaku tanah

atau batuan dalam berbagai situasi geoteknikal.

Untuk hasil P_{excess} Positif (+)

$$Ru = \frac{(P_{\text{excess}} + Uo)}{\sigma'} \dots\dots\dots (2.21)$$

Untuk hasil P_{excess} negatif (-)

$$Ru = \frac{(P_{\text{excess}} - Uo)}{\sigma'} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana,

Ru = Ratio tekanan air pori terhadap efektifitas tanah

P_{excess} = Tekanan air pori (kN/m²)

Uo = Tekanan hidrostatik (Kpa)

σ' = Tegangan Efektif (kN/m²)

Untuk suatu analisis perlunya sebuah pegangan untuk mengetahui analisis tersebut berpotensi likuifaksi atau tidak. Berikut adalah kondisi ratio tekanan air pori yang terlikuifaksi atau tidak:

Jika $Ru < 1$ tidak terjadi likuifaksi (2.23)

Jika $Ru = 1$ kondisi kritis dan akan likuifaksi (2.24)

Jika $Ru > 1$ terjadi likuifaksi (2.25)

2.7.3. *Safety Factor*

Safety factor (faktor keamanan) adalah rasio antara kapasitas beban yang aman dengan beban yang diterapkan pada suatu struktur atau elemen. Dalam konteks geoteknik dan rekayasa sipil, faktor keamanan digunakan untuk menilai stabilitas dan keandalan suatu struktur atau fondasi terhadap beban yang dikenakan padanya.

Untuk hasil P_{excess} Positif (+)

$$SF = \frac{\sigma'}{(P_{\text{excess}} + Uo)} \dots\dots\dots (2.26)$$

Untuk hasil P_{excess} negatif (-)

$$SF = \frac{\sigma'}{(P_{\text{excess}} - Uo)} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana,

SF = *Safety Factor*

P_{excess} = Tekanan air pori (kN/m²)

U_o = Tekanan hidrostatik air (Kpa)
 σ' = Tegangan Efektif(kN/m²)

Untuk suatu analisis perlunya sebuah pegangan untuk mengetahui analisis tersebut berpotensi likuifaksi atau tidak. Berikut adalah *Safety Factor* yang terlikuifaksi atau tidak:

Jika $SF < 1$ terjadi likuifaksi(2.28)

Jika $SF = 1$ kondisi kritis dan akan likuifaksi(2.29)

Jika $SF > 1$ tidak terjadi likuifaksi(2.30)

2.8. Penurunan Tanah

Penurunan tanah yang merupakan proses konsolidasi satu dimensi (Terzaghi,1943) melibatkan banyak parameter sebagai penyebabnya. Dengan tidak adanya perubahan pada tegangan total maka jika tekanan fluida meningkat, tegangan efektif menurun dengan jumlah yang sama, dan jika tekanan fluida berkurang, tegangan efektif meningkat dengan jumlah yang sama.

Apabila suatu tanah mendapat beban di atasnya maka, tekanan air pori akan meningkat dan mencari jalan keluar maka, setelah air pori berangsur-angsur keluar diisi dengan butiran tanah, sehingga volume tanah berkurang sehingga terjadi penurunan tanah (Pratikso, 2008).

2.8.1. Penurunan Segera

Penurunan dikatakan segera jika terjadi dalam situasi di mana tidak ada drainase atau tidak ada perubahan volume. Penurunan ini terjadi tepat setelah beban kerja selesai.

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \dots\dots\dots(2.31)$$

Di mana:

S_i = penurunan akhir lapisan setebal H (m)

H = Tebal lapisan tanah (m)

C = Kohesi tanah (gr/cm²)

P_o' = Tekanan *overburden* efektif awal (t/m²)

ΔP = Tambahan tegangan vertikal pada tengah lapisan (t/m²)

2.8.2. Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan yang terjadi sebagai akibat dari konsolidasi primer adalah kompresi yang terjadi sebagai akibat dari perubahan volume tanah jenuh sebagai akibat langsung dari keluarnya air dari pori-pori dalam tanah.

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \dots\dots\dots (2.32)$$

Di mana:

S_c = Penurunan konsolidasi primer (m)

H = Tebal lapisan lempung (m)

e_o = Angka pori awal (*initial void ratio*)

C_c = *compression index*

ΔP = Besarnya tegangan di muka tanah (t/m^2)

P_o' = Tegangan *overburden* efektif (t/m^2)

2.8.3. Penurunan Total

Penurunan total adalah jumlah dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi primer.

$$S_t = S_i + S_c \dots\dots\dots (2.33)$$

Di mana:

S_t = Penurunan total (m)

S_i = Penurunan segera (m)

S_c = Penurunan akibat konsolidasi (m)

2.9. Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah dilakukan untuk meningkatkan karakteristik fisik, mekanik, atau geoteknik tanah dengan tujuan meningkatkan kekuatan, stabilitas, dan daya dukungnya. Perbaikan tanah sering kali diperlukan ketika tanah asli tidak memenuhi persyaratan teknis yang dibutuhkan untuk proyek rekayasa. Dalam hal perbaikan tanah sendiri terdapat beberapa metode dan teknik yang dapat digunakan dalam perbaikan tanah, tergantung pada karakteristik tanah yang ada dan persyaratan proyek yang spesifik berikut beberapa jenis perbaikan tanah yang umum dilakukan untuk memperbaiki sifat

dan kinerja tanah yang ideal:

1. Pemadatan Tanah (*Soil Compaction*)

Melibatkan pemampatan dan peningkatan kepadatan tanah dengan menggunakan peralatan pemadatan seperti roller atau vibrator. Tujuannya adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah, mengurangi penurunan tanah, dan meningkatkan stabilitas.

2. Pencampuran Tanah (*Soil Mixing*)

Menggabungkan bahan tambahan dengan tanah asli untuk meningkatkan sifat-sifat tanah. Bahan tambahan yang umum digunakan termasuk semen, kapur, atau bahan pengikat lainnya. Proses pencampuran ini dapat dilakukan dengan metode mekanis atau kimia.

3. Pemadatan Dinamis (*Dynamic Compaction*)

Menggunakan alat berat seperti *drophammer* atau *vibroflot* untuk memadatkan tanah secara dinamis dengan menekan dan meremasnya. Metode ini digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi potensi penurunan tanah.

4. Perkuatan Geotekstil (*Geotextile Reinforcement*)

Memasang lapisan geotekstil yang kuat di dalam tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya. Geotekstil bertindak sebagai bahan penguat yang membantu mengendalikan deformasi dan meningkatkan daya dukung tanah.

5. Injeksi Bahan Pengikat (*Grouting*)

Menggunakan bahan pengikat seperti semen atau bahan kimia lainnya yang disuntikkan ke dalam tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya. Proses ini membentuk matriks yang kuat dalam tanah dan mengisi celah-celah yang ada.

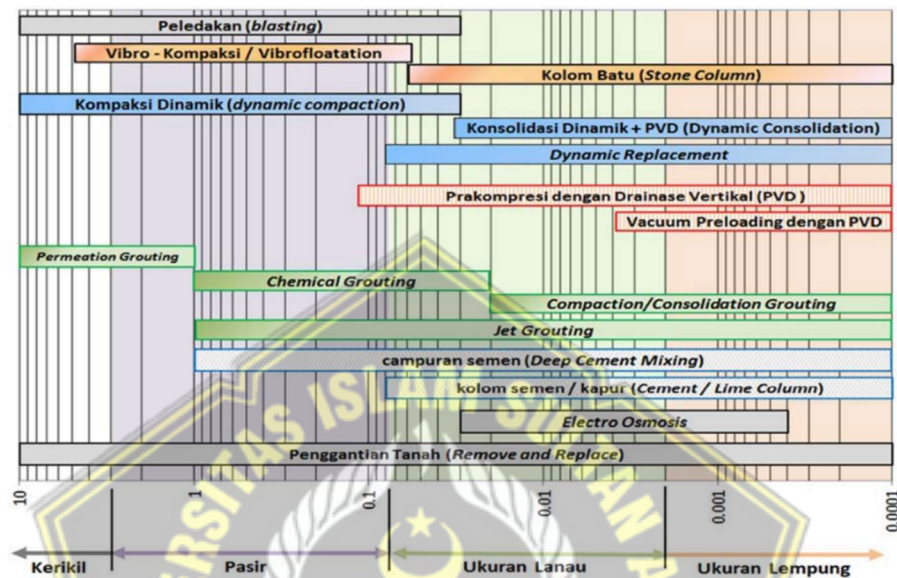
6. Penguatan Tiang (*Piling*)

Memasukkan tiang baja atau beton ke dalam tanah untuk meningkatkan daya dukung dan stabilitasnya. Tiang-tiang tersebut bekerja sebagai elemen struktural yang menopang beban secara vertikal.

7. *Rigid Inclusion*

Dari beberapa jenis yang ada dalam kasus perbaikan tanah yang dilakukan, sirkuit mandalika menggunakan metode *Rigid Inclusion*. Dengan adanya *rigid inclusion*

tersebut kekuatan dan stabilitas tanah dapat ditingkatkan secara signifikan, karena *rigid inclusion* membagi beban struktural ke dalam tiang-tiang yang ditanamkan di dalam tanah, sehingga mengurangi beban yang harus ditanggung oleh tanah asli. Hal ini dapat mencegah penurunan tanah, mengendalikan deformasi, dan meningkatkan kemampuan tanah untuk mendukung beban struktural.



Gambar 2.7. Jenis-jenis metode perbaikan tanah (SNI Geoteknik 8460:2017)

2.10. Stabilitas Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah. Apabila tanah terdapat di lapangan bersifat sangat lepas dan sangat mudah tertekan, atau mempunyai indeks konsistensi tidak sesuai, permeabilitas terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan (Bowles, 1984).

Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Umumnya, stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Stabilisasi mekanis

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Diutamakan bahan material yang terdapat di sekitar lokasi tanah yang akan

distabilisasi agar lebih ekonomis.

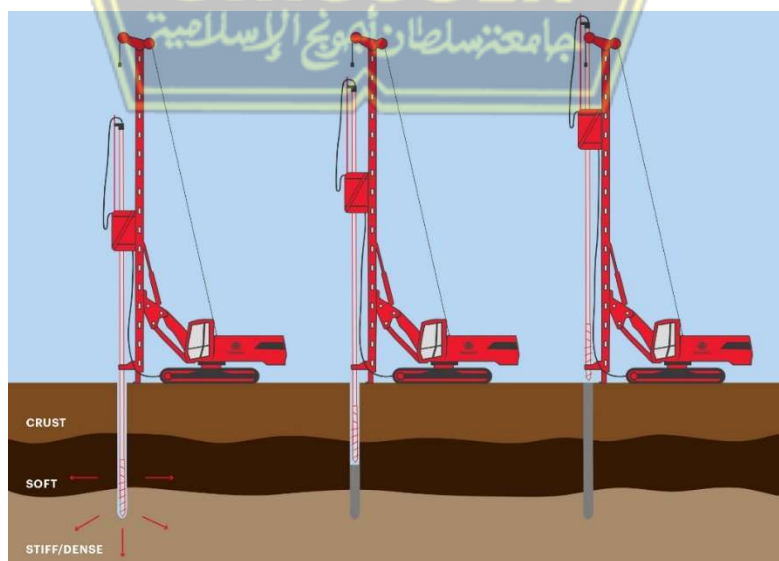
Contoh : *sand piles*, *stone piles*, *nailing*, *anchor*, *cerucuk*, *geosyntetics* (sebagai elemen *reinforcement*, separator, filtrasi, drainase), dan lain - lain.

2. Stabilisasi dengan bahan tambah / kimiawi

Stabilisasi dengan mencampurkan bahan kimia agar terjadi reaksi kimia pada campuran tersebut, sehingga menghasilkan senyawa baru yang lebih stabil dari sebelumnya. Bahan tambah (*additives*) adalah bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti : kekuatan, tekstur, kemudahan-dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Contoh-contoh bahan-tambah adalah : kapur, semen Portland, abu terbang (*fly-ash*), aspal (bitumen) dan lain-lain (Hardiyatmo, 2013).

2.11. *Rigid Inclusion*

Rigid inclusion (RI) adalah sebuah teknik penguatan tanah yang biasa digunakan dalam geoteknik. RI melibatkan penanaman elemen struktural yang kuat dan kaku ke dalam tanah yang lemah atau berlumpur untuk meningkatkan kapasitas dukungan tanah dan menurunkan risiko terjadinya likuifaksi. Elemen struktural yang ditanam biasanya berupa beton pracetak atau besi baja yang diberi lapisan galvanis untuk mencegah korosi. Elemen tersebut kemudian ditanam dengan kedalaman tertentu ke dalam tanah melalui pengeboran atau pemancangan.



Gambar 2.8 *Rigid Inclusion* (Menard group, 2012)

Saat elemen struktural ditanam, tanah di sekitarnya akan dipadatkan untuk memastikan adanya kontak erat antara elemen dan tanah. Hal ini akan membantu transfer beban dari elemen ke tanah yang ada di sekitarnya. Keuntungan dari penggunaan RI adalah kemampuannya untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan tanah dengan cepat dan relatif mudah. Selain itu, teknik ini juga dapat digunakan pada berbagai jenis tanah, termasuk tanah lemah dan berlumpur. Ada beberapa instalasi yang digunakan untuk menginstal *Rigid Inclusion*. Pemilihan metode yang tepat tergantung pada jenis tanah, kedalaman tanah, dan tujuan peningkatan tanah yang diinginkan. Berikut adalah beberapa metode instalasi yang umum digunakan.

Pada kasus *rigid inclusion* digunakan tiang khusus untuk menopang sistem *rigid inclusion*. Tiang tersebut adalah tiang CFG (*Cement Flyash Gravel*), tiang ini terbuat dari kombinasi semen, abu terbang, dan kerikil-kerikil. Tiang ini merupakan tiang yang murah, cepat, dan cukup kaku untuk menerima beban aksial. Kelebihan dari tiang ini adalah tidak diperlukan tulangan untuk menopang struktur di atasnya, tetapi sebagai gantinya diperlukan lapisan matras/ lapisan granular untuk mendistribusikan tegangan dan meningkatkan kapasitasnya.

2.11.1. Daya Dukung Tiang *Rigid Inclusion*

Pada tiang *rigid inclusion* digunakan tiang CFG dengan aturan berdasarkan (*Ministry of Construction of the People's Republic of China*, 2002). Untuk perhitungan daya dukung tiang secara total untuk CFG dapat digunakan rumus-rumus berikut:

$$f_{spk} = m(Ra/A_p) + \beta(1 - m)f_{sk} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$Ra = U_p \sum_{i=1}^n q_{si} \cdot l_i + q_p \cdot A_p \dots \dots \dots (2.35)$$

$$m = \frac{a^2}{de^2} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana,

f_{spk} = Kapasitas daya dukung dari fondasi komposit (kN)

m = Area pergantian (%)

Ra = Daya dukung vertikal pada 1 tiang (kN)

A_p = Luas tiang (m²)

β = Koefisien reduksi dari kapasitas daya dukung antara tanah dengan tiang-

tiang

f_{sk} = Kapasitas daya dukung dari fondasi komposit yang telah ditingkatkan (bisa diambil dari fondasi natural) (kN)

U_p = Keliling tiang (m)

n = Jumlah lapisan tanah dalam sepanjang tiang

l_i = Tebal lapisan tanah (m)

q_{si} = Ketahanan lateral dari lapisan tanah ke n dan,

q_p = ketahanan ujung tiang (kPa)

d = Diameter tiang (m)

de = Spasi tiang (m).

Untuk desain kekuatan tiang digunakan pembatasan sebagai berikut:

$$f_{cu} \geq 3 \frac{Ra}{Ap} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana,

f_c = Nilai kekuatan tekan rata-rata dari contoh blok material (kubus 150 mm) setelah 28 hari perawatan (kPa).

Berdasarkan (Ministry of Construction of the People's Republic of China, 2002) ukuran umum tiang CFG berkisar antara 0,3 m hingga 0,6 m dan spasi tiang berjarak 3 hingga 5 kali diameter tiang. Dengan pola persebaran tiang yang umumnya dipakai berupa pola persegi dan segitiga seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.9 Pola Persebaran tiang persegi dan tiang segitiga (Gunnvard,2016)

2.11.2. Luas Penampang *Rigid Inclusion*

Luas penampang rigid inclusion (inclusion berbentuk batang yang kaku) adalah luas area penampang melintang batang. Penampang melintang adalah gambaran geometris penampang yang dihasilkan jika memotong batang tegak lurus

dengan sumbu panjangnya.

Untuk menghitung luas penampang rigid inclusion, Menggunakan Luas lingkaran karena penampang melintang berbentuk lingkaran dengan rumus:

$$\text{Luas penampang} = \pi \times r^2 \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana,

$$\pi = \text{pi (3,14)}$$

$$r^2 = \text{Jari jari lingkaran (m}^2\text{)}$$

2.11.3. *Modulus Elastisitas*

Parameter yang menggambarkan karakteristik mekanik batang. Modulus elastisitas mengukur seberapa responsif batang terhadap gaya atau tekanan yang diterapkan padanya. Modulus elastisitas pada rigid inclusion digunakan untuk menggambarkan kemampuan batang untuk meregang dan kemudian kembali ke bentuk asalnya setelah gaya diberlakukan dan dihilangkan. Itu menunjukkan sejauh mana batang dapat mengalami deformasi elastis (*reversibel*) tanpa mengalami deformasi plastis (*irreversibel*). Berikut rumus untuk mendapatkan modulus elastisitas.

$$E = 2700 \times f_{ck}^{1/3} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana,

$$E = \text{Modulus elastisitas (kN/m}^2\text{)}$$

$$f_{ck}^{1/3} = \text{Kuat tekan beton (Mpa)}$$

2.11.4. *Fmax Rigid Inclusion*

Beban maksimum yang dapat ditahan oleh batang *Rigid inclusion* sebelum mencapai batas kegagalan atau deformasi plastis. F max dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis material batang, dimensi batang, dan kondisi tanah di sekitarnya. Berikut adalah rumus untuk mencari Fmax:

$$F_{\max} = P_{\text{ult}} \times 2,5 \dots\dots\dots(2.40)$$

Dimana,

$$F_{\max} = \text{Beban maximum (kN)}$$

$$P_{\text{ult}} = \text{Beban ultimate (kN)}$$

2.11.5. Gesekan Selimut Tiang

Fenomena mekanik di mana terjadi gesekan antara permukaan batang dan tanah di sekitarnya saat batang tersebut ditanamkan ke dalam tanah. Fenomena ini terjadi karena adanya gaya gesek antara dua permukaan yang saling bersentuhan. Rumus untuk menentukan gesekan tersebut tergantung pada lapisan tanah yang ada di lapangan. Pada penelitian ini tanah tersebut yaitu *sand* dan *clay* berikut adalah rumus untuk menentukan gesekan selimut tiang :

Untuk sand dalam menentukan gesekan selimut tiang :

$$FS = N\text{-Spt} \times 3\% \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana,

FS = Gesekan Selimut Tiang (kN/m²)

N-Spt = *Standard penetration test* (kN)

3% = Kandungan tanah *clay* dalam *sand*

2.11.6. Axial Skin Resistance

Resistensi kulit aksial yang terjadi di sepanjang permukaan batang saat batang tersebut ditanamkan ke dalam tanah atau media geoteknikal lainnya. Resistensi kulit aksial ini muncul karena gesekan antara permukaan batang dan tanah di sekitarnya. Untuk menentukan *axial skin resistance* ini digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{axial skin resistance} = FS \times \text{Parimeter} \dots\dots\dots(2.42)$$

Dimana,

FS = Gesekan selimut tiang (kN/m²)

Parimeter = Keliling ujung penampang RI (m)

2.11.7. Q_{skin} Rigid Inclusion

Gaya gesekan total yang dihasilkan di sepanjang permukaan batang akibat interaksi dengan tanah atau media geoteknikal di sekitarnya. Gaya gesekan ini juga dikenal sebagai gesekan kulit aksial (*axial skin friction*). Rumus untuk menentukan *axial skin friction* adalah sebagai berikut :

$$Q_{skin} = \text{Alpha} \times C_u \times \text{parimeter} \times \text{tebal lapisan} \dots\dots\dots(2.43)$$

Dimana,

Alpha = Adhesi

Cu = Undrained Strength (kN/m²)

Parimeter = Keliling penampang lingkaran (m)

H = Tebal lapisan (m)

2.11.8. Q_{tip} *Rigid Inclusion*

gaya gesekan atau tahanan kulit pada ujung atau puncak batang. dapat diketahui bahwa tahanan kulit di ujung batang biasanya lebih rendah daripada tahanan kulit di sepanjang sisi batang (Q_{skin}) karena kontak permukaan batang dengan tanah pada ujung batang lebih sedikit dibandingkan dengan sisi batang yang panjang.

$$Q_{skin} = 9 \times c_u \times L \dots\dots\dots (2.44)$$

Dimana,

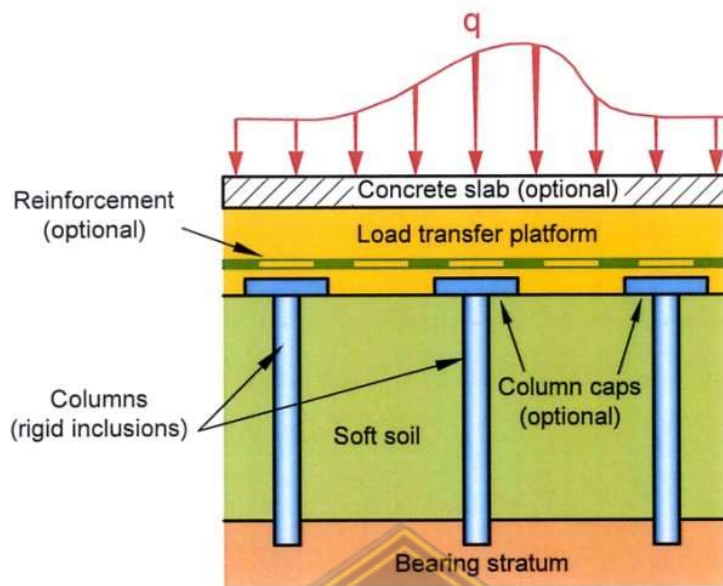
Cu = Undrained strength (kN/m²)

L = Luas Penampang (m²)

2.12. *Load Transfer Platform (LTP)*

Dalam konteks *rigid inclusion*, *load transfer platform* merujuk pada konstruksi yang ditempatkan di atas *rigid inclusion* untuk mendistribusikan beban dari struktur yang ada ke *inclusion* yang dipasang di dalam tanah. *Platform* ini memberikan jalur transfer yang kuat dan stabil untuk mengalihkan beban ke *inclusion*, yang pada gilirannya mampu menahan beban dan memperkuat tanah di sekitarnya.

LTP adalah lapisan pengisi struktur granular yang menjembatani beban diantara inklusi kaku dan mencegah terlalu banyak tekanan titik pada pijakan. Metode perbaikan tanah ini digunakan untuk tanah yang sangat lemah, seperti lanau organik, gambut, lempung, atau tanah yang hanya memiliki sedikit pembatas lateral dari tanah sekitarnya. Hal ini juga ditentukan oleh tanah dengan WHO (*Weight of Hammer*). LTP biasanya terdiri dari agregat yang dipadatkan guna menyalurkan beban merata ke *Rigid Inclusion*, lalu ke tanah. Bentuk dari LTP seperti persegi, persegi panjang atau bentuk khusus lainnya sesuai dengan kebutuhan desain.



Gambar 2.10 Komponen *rigid inclusion*(ASIRI :2011)

$$LTR = \left(\frac{q}{p} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.45)$$

Dimana,

LTR = *Load Transfer Ratio*, yaitu persentase beban yang ditransfer melalui platform transfer beban.

q = beban yang ditransfer melalui *platform transfer beban*.

P = beban total yang diaplikasikan pada *rigid inclusion*.

Rumus ini menggambarkan rasio antara beban yang ditransfer melalui platform transfer beban (q) dengan beban total yang diterapkan pada *rigid inclusion* (P), kemudian dikalikan dengan 100% untuk menghasilkan persentase. Persentase ini menunjukkan seberapa efektif platform transfer beban dalam menyalurkan beban ke dalam *rigid inclusion*.

Pada umumnya, semakin tinggi *Load Transfer Ratio* (LTR), semakin baik kinerja platform transfer beban dalam menyalurkan beban ke dalam *rigid inclusion*. Tujuan utama dari *load transfer platform* adalah untuk mengurangi beban yang diterima oleh tanah sekitarnya dengan cara mentransfer beban ke *rigid inclusion*. Oleh karena itu, rumus ini membantu dalam memantau dan mengevaluasi efektivitas *platform transfer* beban dalam memenuhi tujuan tersebut.

LTP yang baik merupakan LTP yang mampu mengurangi *differential*

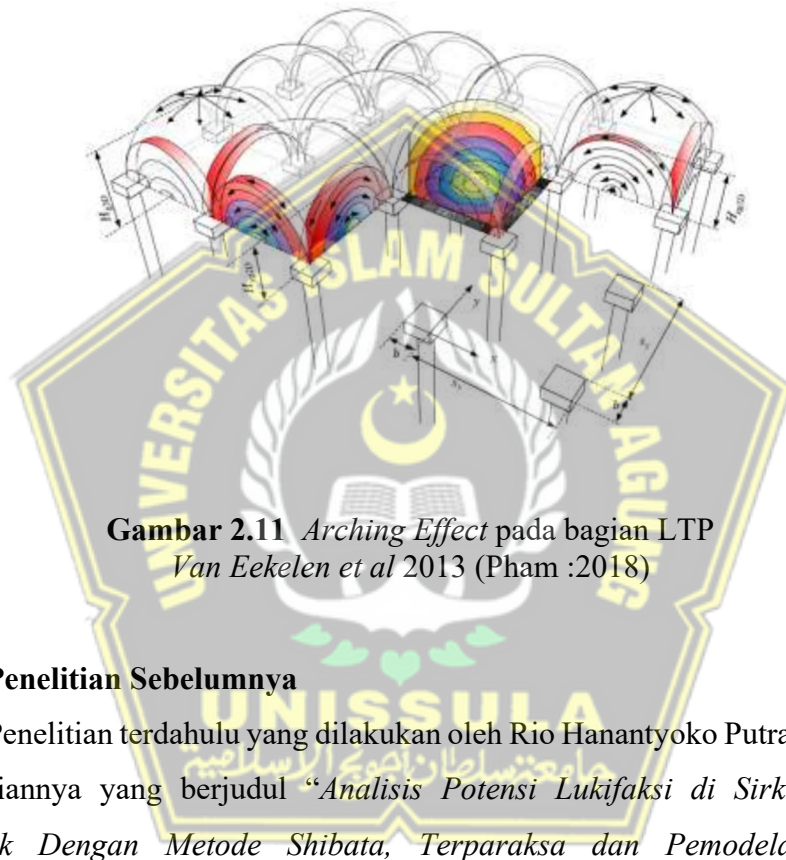
settlement yang artinya bisa mengurangi penurunan tidak merata, untuk mendapatkan hal tersebut harus mengetahui ketebalan yang sesuai dengan kebutuhan. Ketebalan kritis LTP menggunakan rumus sebagai berikut:

$$h_m = \frac{2}{3}(s-a) \dots\dots\dots(2.39)$$

Dimana,

h_m = Ketebalan Kritis LTP

$(s-a)$ = Spasi bersih *rigid inclusion* (m)



Gambar 2.11 *Arching Effect* pada bagian LTP
Van Eekelen et al 2013 (Pham :2018)

2.13. Penelitian Sebelumnya

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Rio Hanantyoko Putra (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “*Analisis Potensi Likuifaksi di Sirkuit Madalika, Lombok Dengan Metode Shibata, Terparaksa dan Pemodelan Numerik.*” Penelitian tersebut mempunyai tujuan untuk mengetahui apakah di Sirkuit Mandalika tersebut terjadi likuifaksi atau tidak. Jenis penelitian ini merupakan deskriptif, dengan menggunakan metode pendekatan kualitatif.

Persamaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi yang diteliti adalah sama menggunakan Sirkuit Mandalika
2. Jenis metode pendekatan penelitian yang digunakan sama-sama menggunakan metode deskriptif kualitatif.
3. Data yang digunakan dalam penelitian sama

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fokus penelitian sebelumnya melakukan penelitian untuk mengetahui likuifaksi sedangkan penelitian ini melakukan perencanaan *rigid inclusion* untuk mengurangi dampak likuifaksi yang terjadi.
2. Percepatan gempa yang dari penelitian sebelumnya beragam dari 0,0015g-0,40g sedangkan penelitian ini hanya menggunakan percepatan gempa yang paling kritis.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Pembuatan model pada Tugas Akhir ini bertujuan sebagai program perancangan *Rigid Inclusion* di daerah Lombok tepatnya di Sirkuit Mandalika. Dengan mempertimbangkan besaran besar gempa di Sirkuit Mandalika, terjadinya likuifaksi dan kedalaman muka air tanahnya (MAT). Tahap pemodelan dan analisis data menggunakan program *software Plaxis v20*.

3.2. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini berdasarkan kajian hasil penelitian para ahli yang telah melaksanakan penelitian tentang potensi Likuifaksi di Sirkuit Mandalika dan perencanaan dengan tambahan beberapa literature yang relevan dengan isi pembahasan memiliki persamaan permasalahan tanah Likuifaksi yang berada di Sirkuit Mandalika. Literatur yang di gunakan berupa jurnal, paper, diktat, makalah, laporan data dari pemerintah dan beberapa tambahan literatur lainnya. Dengan diduplikasinya beberapa literatur tersebut digunakan sebagai salah satu dasar materi dalam penyusunan landasan teori dan sebagai acuan dalam penentuan metode yang akan digunakan dalam menganalisa besarnya Likuifaksi yang terjadi di Sirkuit Mandalika, Lombok.

3.3. Pengumpulan Data

Untuk melakukan analisa permasalahan yang ada maka di perlukan adanya data lapangan. Dimana data yang di peroleh harus di dapatkan di lapangan secara langsung dengan cara mengadakan berberapa tindakan penelitian dengan metode yang telah di tentukan agar dapat mengetahui kondisi tanah secara langsung di lapangan. Metode pengumpulan data di bagi menjadi 2, yaitu data *Primer* dan data *Sekunder*.

Data *Primer* adalah Sebuah hasil data yang di peroleh dengan langsung di tempat yang ingin di lakukan penelitian dengan cara melakukan beberapa tindakan penelitian di lapangan maupun melakukan pengajuan pertanyaan ke warga yang

berada di daerah penelitian.

Data *Sekunder* adalah sebuah hasil data yang di dapatkan secara tidak langsung. Dalam kata lain data ini di peroleh dari beberapa hasil penelitian, paper, journal, maupun informasi-informasi yang berkaitan dengan lokasi penelitian dengan dasar data-data yang di dapatkan tersebut relevan dan ilmiah.

Dalam penyusunan laporan perancangan *Rigid Inclusion* di Sirkuit Mandalika ini menggunakan data Sekunder. Data yang di gunakan yaitu data *bore log* yang di peroleh dari hasil penelitian oleh PT. COMSINDO dengan data yang di peroleh di jadikan dasar dalam pembuatan model analisa.

3.4. Pengolahan Data

Dari data yang di peroleh berupa data *bore log* tanah Sirkuit Madalika, maka di lakukan pengolahan dengan memasukkan datanya ke dalam program *MS.Excel* 2021. Pengolahan data ini di lakukan untuk mengetahui lapisan struktur tanah yang ada di lapangan.

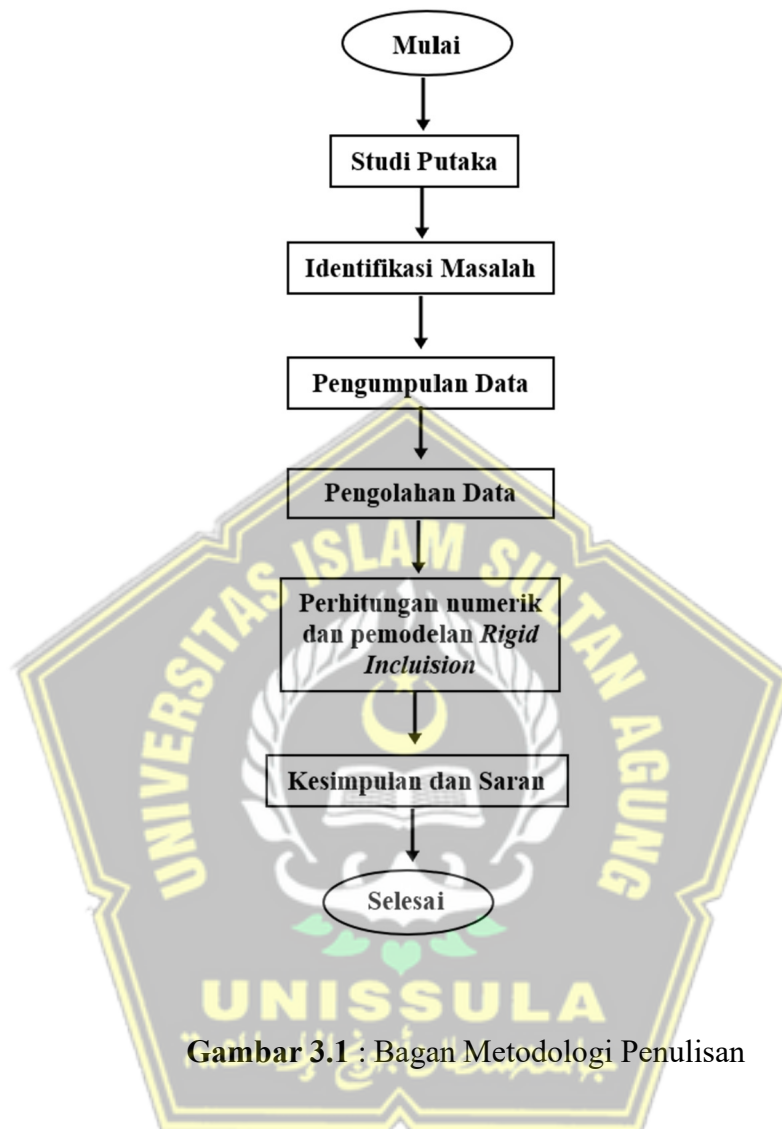
3.5. Pemodelan Tanah dengan Program *Plaxis v20*

Program *Plaxis v20* adalah sebuah *software* yang digunakan untuk analisis geoteknikk dan rekayasa tanah. Software ini dirancang khusus untuk menganalisis masalah-masalah geoteknik yang kompleks seperti kestabilan lereng, pergerakan tanah, interaksi tanah-struktur, dan pemadatan tanah.

3.6. Kesimpulan dan Saran

Membuat kesimpulan sesuai dengan proses pengolahan data dan hasil proses yang di dapatkan dengan penjelasan secara singkat dan dapat menggambarkan jelas hasil analisa.

3.7. Alur Diagram Penelitian



Gambar 3.1 : Bagan Metodologi Penulisan

BAB IV

HASIL PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

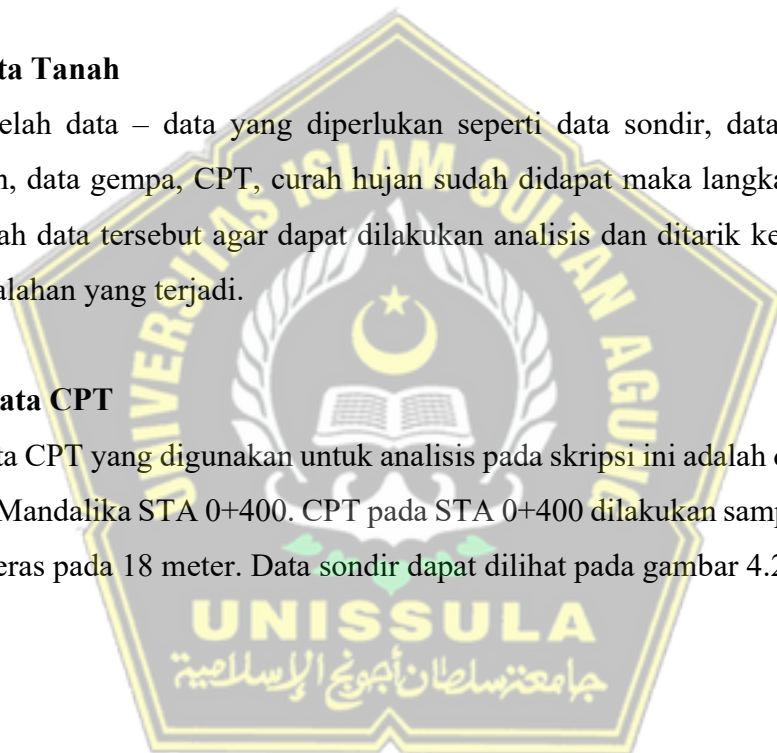
Pada penelitian ini penulis menggunakan data yang didapat dari Sirkuit Mandalika sebagai sampel penelitian guna pengolahan data sekunder dengan menggunakan bantuan software *Plaxis V20*. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui dampak likuifaksi sebelum dan sesudah pengaplikasian RI pada tanah di Sirkuit Mandalika.

4.2. Data Tanah

Setelah data – data yang diperlukan seperti data sondir, data bor, data uji saringan, data gempa, CPT, curah hujan sudah didapat maka langkah selanjutnya mengolah data tersebut agar dapat dilakukan analisis dan ditarik kesimpulan dari permasalahan yang terjadi.

4.2.1. Data CPT

Data CPT yang digunakan untuk analisis pada skripsi ini adalah data CPT pada Sirkuit Mandalika STA 0+400. CPT pada STA 0+400 dilakukan sampai kedalaman tanah keras pada 18 meter. Data sondir dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:





Laporan No. **15/LAPORAN/GEO-ENG/IX/2019**

Tgl. pengujian : **27-29 September 2019**

Proyek : **Pembangunan Sirkuit Mandalika**

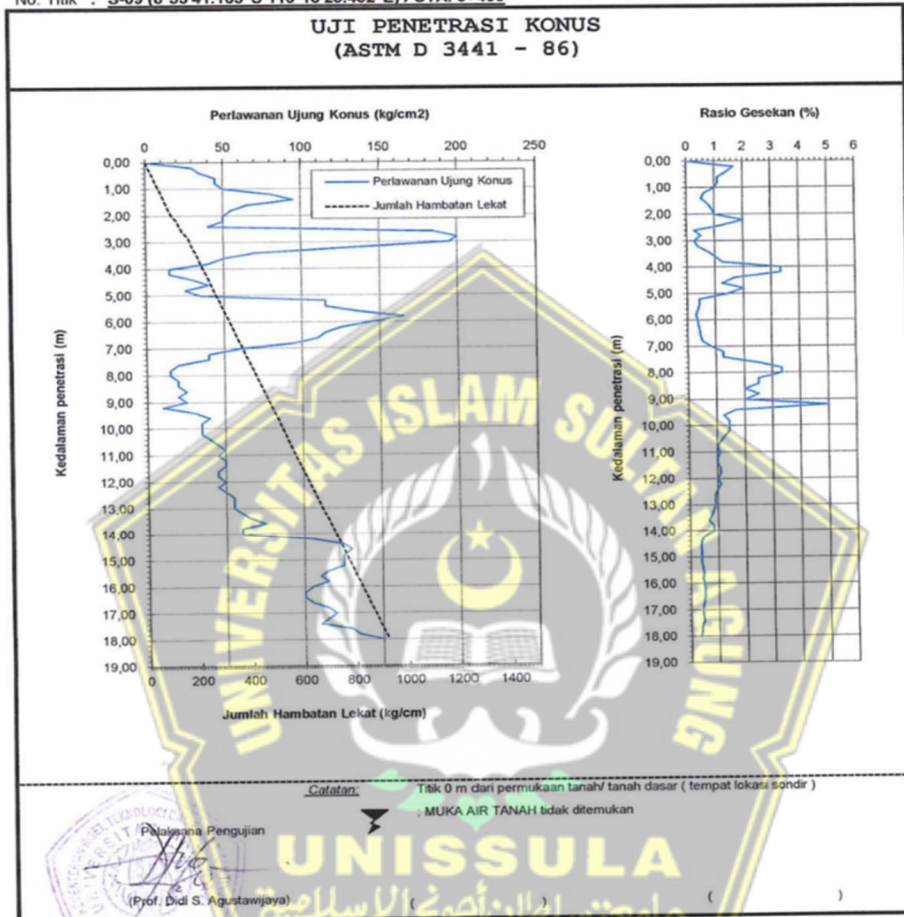
Dikerjakan : **Team GEO-ENG 2019**

Lokasi : **Mandalika, Kab. Lombok Tengah**

Diperiksa : **Prof. Didi S. Agustawijaya**

Nusa Tenggara Barat

No. Titik : **S-09 (8°53'41.163"S 116°18'25.452"E) / STA. 0+400**



Gambar 4.1 Data sondir pada STA 0+400 Sirkuit Mandalika, Lombok

4.2.2. Data Borelog

Data bor berperan sebagai data sekunder untuk menentukan kedalaman muka air tanah yang tidak tampak pada data sondir. Data bor dan data sondir tidak berada pada koordinat yang tepat sama namun cukup dekat untuk merepresentasikan kedalaman muka air tanah pada STA 0+400 selaku lokasi data sondir tersebut. Berikut adalah data sondir yang digunakan untuk menentukan elevasi muka air tanah pada STA 0+400:

Tabel 4.3 Parameter Tanah (bagian 1)

Lapisan	Kedalaman (m)	Tanah	Konsistensi	Drained Type	NSPT (kN)	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	C Mpa	E' kN/m ²
1	0.0 - 1.0	Sand	Loose	drained	8	17	19	5	8000
2	1.0 - 2.4	Sand	Medium	drained	22	18	20	15	22000
3	2.4 - 3.2	Sand	Dense	drained	35	19	21	25	35000
4	3.2 - 3.8	Sand	Medium	drained	22	18	20	15	22000
5	3.8 - 4.2	Clay	Stiff	undrained A	16	19	19	2	16000
6	4.2 - 5	Sand	Loose	drained	10	17	19	5	10000
7	5.0 - 6.8	Sand	Dense	drained	44	19	21	25	44000
8	6.8 - 7.4	Sand	Medium	drained	19	18	20	15	19000
9	7.4 - 8.4	Clay	Stiff	undrained A	13	19	19	2	13000
10	8.4 - 9.4	Clay	Very Stiff	undrained A	27	19	19	2	27000
11	9.4 - 18.0	Sand	Medium	drained	29	18	20	15	29000

Tabel 4.4 Parameter Tanah (bagian 2)

ϕ (°)	C' kPa	Cu kPa	v'	k	e_{init}
30			0.15 - 0.25	1.0 - 0.01	0.814
32.5			0.25 - 0.30	1.0 - 0.01	0.63
35-40			0.25 - 0.35	1.0 - 0.01	0.484
32.5			0.25 - 0.30	1.0 - 0.01	0.63
17.5-25	25-30	94.144	0.25 - 0.30	0.001 - 0.00001	0.68
30			0.15 - 0.25	1.0 - 0.01	0.814
35-40			0.25 - 0.35	1.0 - 0.01	0.484
32.5			0.25 - 0.30	1.0 - 0.01	0.63
17.5-25	25-30	76.492	0.25 - 0.30	0.001 - 0.00001	0.68
17.5-25	25-30	158.868	0.25 - 0.30	0.001 - 0.00001	0.51
32.5			0.25 - 0.30	1.0 - 0.01	0.63

4.2.4. Parameter RI

Parameter *rigid inclusion* meliputi spesifikasi yang ada didalam Ri tersebut yang guna memenuhi parameter yang sesuai pada pemodelan *rigid inclusion*. Berikut parameter *rigid inclusion*:

Tabel 4.5 Parameter Rigid Inclusion

Parameter Rigid Inclusion										
Diameter	Luas	keliling	Panjang	Interval	E	Y	mutu	Mp	Np	Fmax
(m)	(m ²)	(m)	(m4)	(m)	kN/m ²	kN/m ³	Mpa	kN/m	kN	kn
0.5	0.19625	9.263	5.9	2.5	7.30E+06	23.54	20	3.066	1.00E+06	48.07

Tabel 4.6 Parameter *Rigid Inclusion* dalam Tanah

	Dept	Tebal lapisan	NSPT	alpha	Jenis tanah	Konsistensi	FS	axial skin resistance	Q skin	Q tip
	(m)	(m)	(kN)				(kN/m ²)	(kN/m)		
panjang RI	0.0 - 1.0	1	8	1.1	Sand	Loose	0.24	0.377	0.414	0.424
	1.0 - 2.4	1.4	22	0.6	Sand	Medium	0.66	1.036	0.87	1.166
	2.4 - 3.2	0.8	35	0.47	Sand	Dense	1.05	1.649	0.62	1.855
	3.2 - 3.8	0.6	22	0.6	Sand	Medium	0.66	1.036	0.37	1.166
	3.8 - 4.2	0.4	16	0.05	Clay	Stiff	4.71	6.467	2.96	166.282
	4.2 - 5.0	0.8	10	0.95	Sand	loose	0.3	0.471	0.36	0.530
	5.0 - 6.8	1.8	44	0.41	Sand	Dense	1.32	2.072	1.53	2.331
	6.8 - 7.4	0.6	19	0.74	Sand	Medium	0.57	0.895	0.40	1.007
	7.4 - 8.4	1	13	0.09	Clay	Stiff	6.88	9.145	10.81	135.104
	8.4 - 9.4	1	27	0.01	Clay	Very Stiff	1.59	2.309	2.49	280.600
	9.4 - 18.0	8.6	29	0.53	Sand	Medium	0.87	1.366	6.23	1.537

4.2.5. Parameter Perkerasan Jalan

Parameter perkerasan jalan yang digunakan dalam permodelan *rigid inclusion* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Parameter Perkerasan Jalan dalam Permodelan *Rigid Inclusion*

Parameter Beton K400			
EA	EI	W	V (nu)
Kn/m	Mpa	KN	
37965000	37787830	22.29	0.15

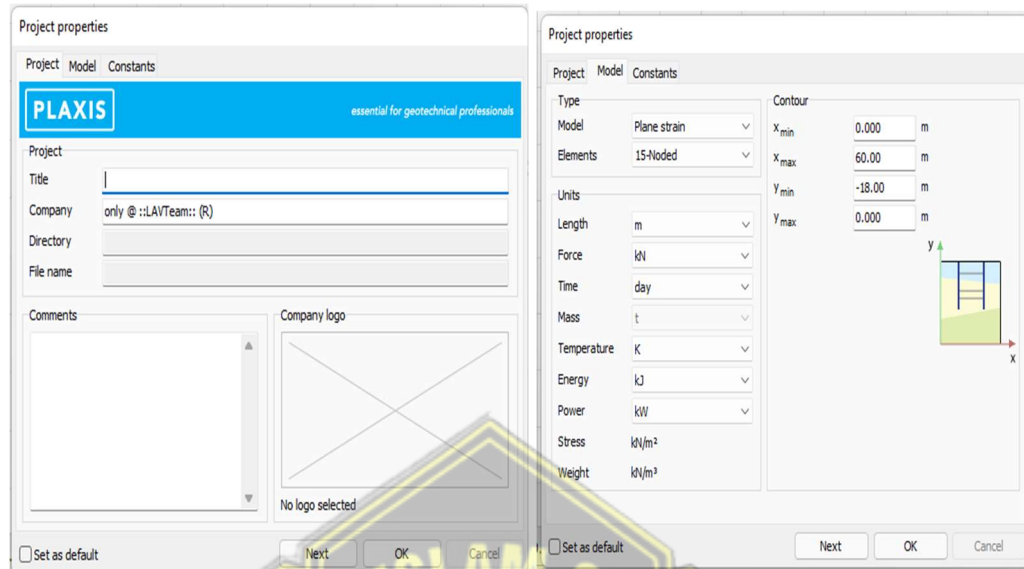
4.3. Pemodelan Rigid Inclusion pada Software Plaxis V20

Pada pemodelan Software Plaxis V20 penulis menggunakan parameter mandalika guna mendapatkan mengetahui berkurangnya dampak likuifaksi pada Sirkuit Mandalika.

4.3.1. Project properties

Pada analisa yang kita buat menggunakan model *plane strain* dan *element node* dengan sejumlah lima belas. Dimensi geometri diatur sedemikian rupa sehingga posisi dapat center kanan kiri, nilai yang kita ambil sebesar enam puluh meter, nilai tersebut diambil dari mempertimbangkan bahwa semakin besar nilai *boundery condition* maka pemodelan hasilnya akan semakin teliti. Nilai tersebut dapat diubah semakun besar hingga dapat menyamai keadaan aslinya tapi mengingat semakin besar nilai *boundery condition* maka akan semakin lama

proses calculation. Satuan yang kita gunakan yaitu (m) satuan tersebut kami pilih karena pengukuran pada kondisi asli menggunakan satuan (m).



Gambar 4.8 Project Properties

4.3.2. Material Setting

Pada jendela soil pilih option show material untuk memasukkan parameter tanah Sirkuit Mandalika, model yang digunakan yaitu sft soil material.



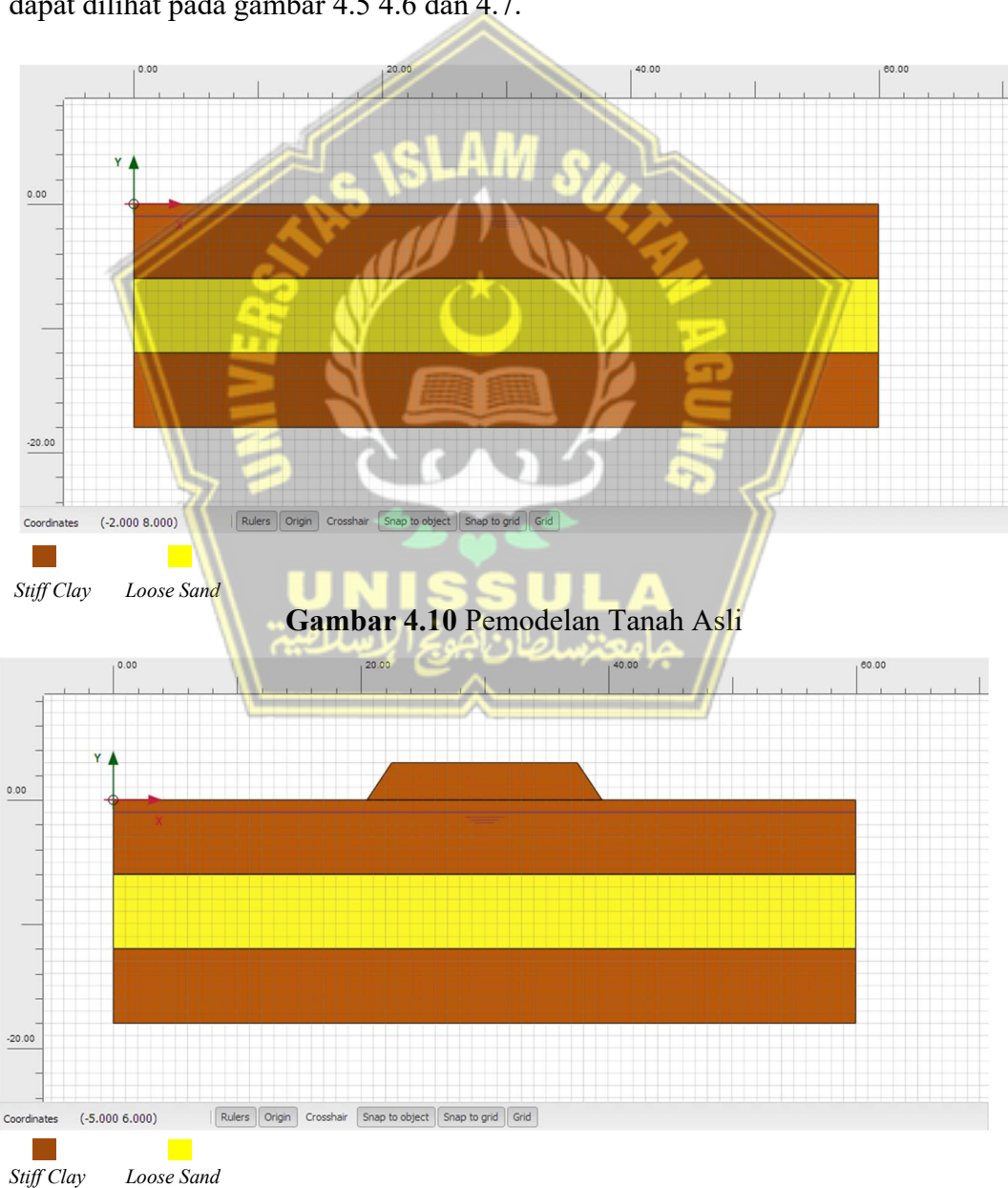
Gambar 4.9 Input Material

4.3.3. Pemodelan Sederhana

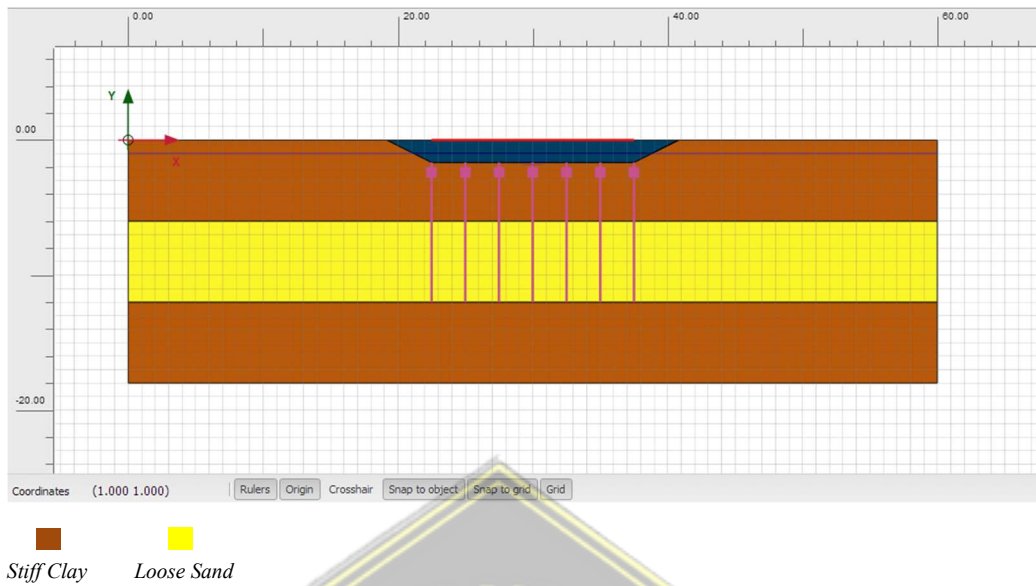
Sebelum masuk ke pemodelan sirkuit mandalika penulis mencoba pemodelan secara sederhana agar mempermudah dalam memahami hasil perhitungan.

4.3.3.1. Pemodelan

Pada pemodelan sederhana ini penulis menggunakan 3 pemodelan yaitu tanah asli, dengan timbunan dan Rigid Inclusion. Pemodelan tersebut menggunakan 3 lapisan tanah yang ada di sirkuit mandalika. Pemodelan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5 4.6 dan 4.7.



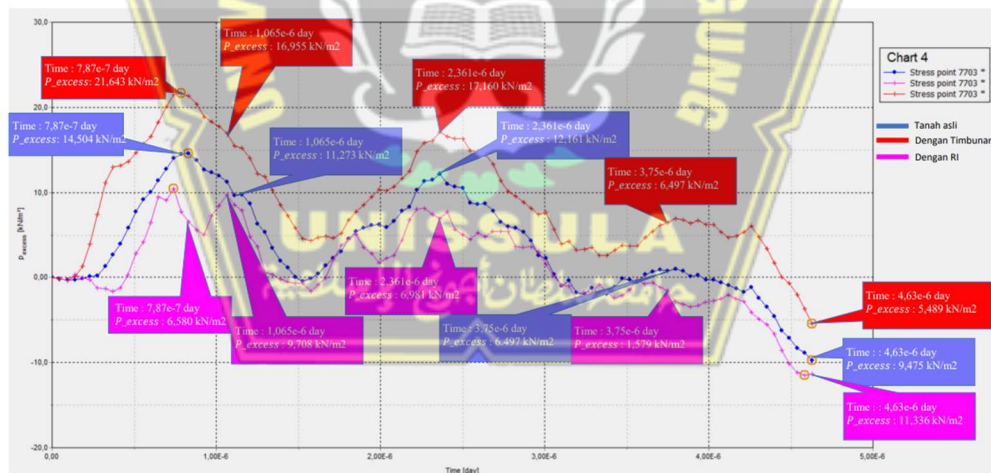
Gambar 4.11 Pemodelan dengan Timbunan



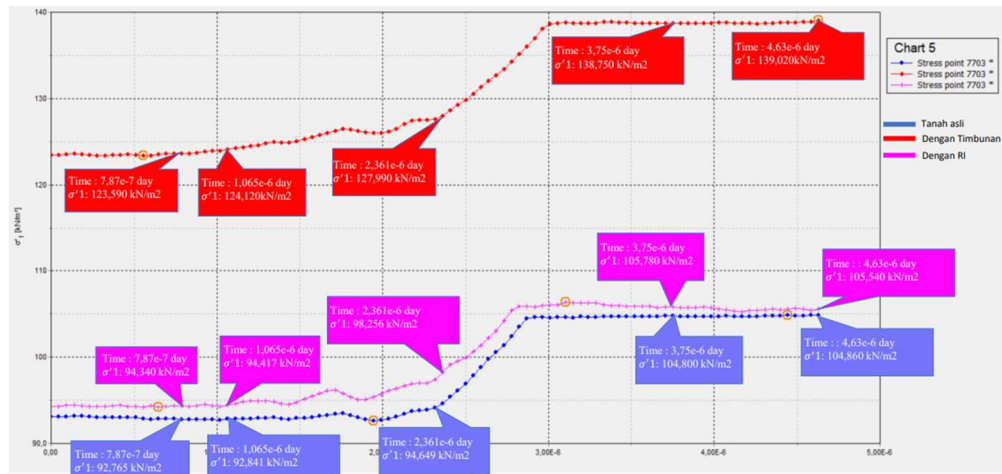
Gambar 4.12 Pemodelan Rigid Inclusion

4.3.3.2. Hasil Analisa

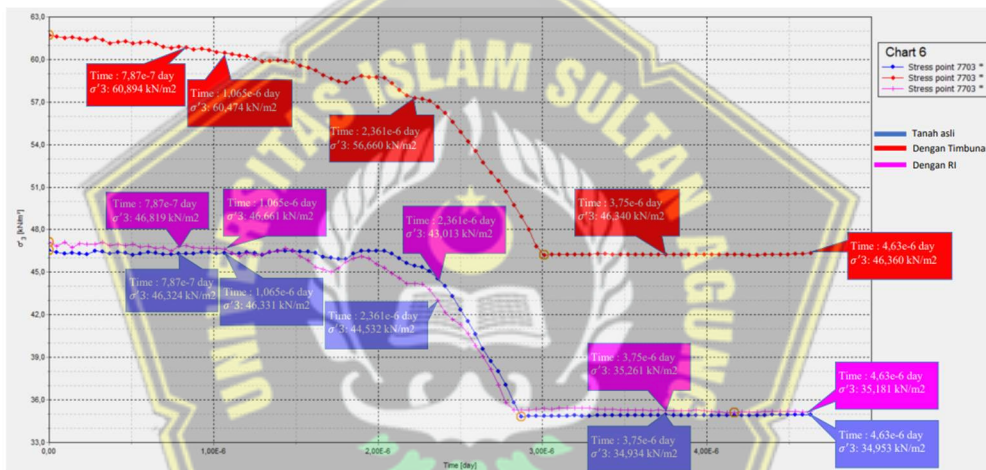
Pada Hasil analisa pemodelan sederhana pada bentuk grafik mendapatkan nilai seperti pada gambar 4.8 4.9 dan 4.10.



Gambar 4.13 Pexces pemodelan sederhana



Gambar 4.14 σ_1 pemodelan sederhana



Gambar 4.15 σ_3 pemodelan sederhana

Pada hasil grafik diatas menunjukan bahwa nilai pada pemodelan timbunan memiliki nilai yang lebih tinggi dari pemodelan tanah asli dan RI. Dan nilai tanah asli dengan RI masih lebih tinggi dengan nilai RI, hal tersebut menunjukan RI cukup baik dalam mengurangi dampak likuifaksi. Untuk membuat semua menjadi lebih jelas dapat dilihat pada table 4.6 dan 4.8.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan σ_1 (bagian 1)

no	Time	Nilai Uo	Pecces Tanah Asli	σ_1 Tanah Asli	Pecces Timbunan	σ_1 timbunan	Pecces RI	σ_1 RI	Uo Tanah Asli +	Uo Timbunan +
	(Day)	kPa	(kN/m^2) (B)		(kN/m^2) (A)		(kN/m^2) (c)		Pecces Tanah Asli	Pecces Timbunan
1	7.87E-07	82.2	14.504	92.765	21.643	123.59	6.58	94.34	96.704	103.843
2	1.07E-06	82.2	11.273	92.841	16.955	124.12	9.708	94.417	93.473	99.155
3	2.36E-06	82.2	12.161	94.649	17.16	127.99	6.981	98.256	94.361	99.36
4	3.75E-06	82.2	6.497	104.8	6.497	138.75	1.579	105.78	88.697	88.697
5	4.63E-06	82.2	9.475	104.86	5.489	139.02	11.336	105.54	91.675	87.689

Tabel 4.7 Hasil perhitungan σ_1 (bagian 2)

Uo RI +	SF			RU		
Pecces RI	tanah Asli	timbunan	RI	tanah Asli	timbunan	RI
88.78	0.48	0.59	0.53	2.09	1.71	1.90
91.908	0.50	0.61	0.51	2.02	1.64	1.97
89.181	0.47	0.57	0.48	2.12	1.75	2.07
83.779	0.39	0.52	0.42	2.54	1.91	2.38
93.536	0.38	0.53	0.38	2.62	1.89	2.66

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan σ_3 (bagian 1)

no	Time	Nilai Uo	Pecces Tanah Asli	σ_3 Tanah Asli	Pecces Timbunan	σ_3 timbunan	Pecces RI	σ_3 RI	Uo Tanah asli +	Uo Timbunan +
	(Day)	kPa	(kN/m^2) (B)		(kN/m^2) (A)		(kN/m^2) (c)		Pecces Tanah Asli	Pecces Timbunan
1	7.87E-07	82.2	14.504	46.324	21.643	60.894	6.58	46.819	96.704	103.843
2	1.07E-06	82.2	11.273	46.331	16.955	60.474	9.708	46.661	93.473	99.155
3	2.36E-06	82.2	12.161	44.532	17.16	56.66	6.981	43.013	94.361	99.36
4	3.75E-06	82.2	6.497	34.934	6.497	46.34	1.579	35.261	88.697	88.697
5	4.63E-06	82.2	9.475	34.953	5.489	46.36	11.336	35.181	91.675	87.689

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan σ_3 (bagian 2)

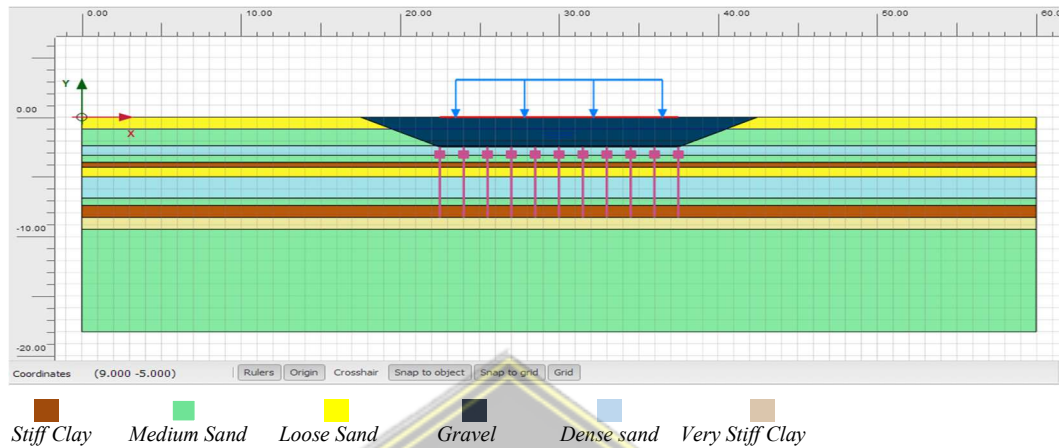
Uo RI +	SF			RU		
Pecces RI	Tanah Asli	timbunan	RI	Tanah Asli	timbunan	RI
88.78	0.96	1.19	1.06	1.04	0.84	0.94
91.908	0.99	1.25	1.03	1.01	0.80	0.97
89.181	1.00	1.29	1.10	1.00	0.78	0.91
83.779	1.18	1.56	1.26	0.85	0.64	0.79
93.536	1.14	1.59	1.13	0.87	0.63	0.89

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai SF RI lebih besar dari tanah asli dan pemodelan RI cukup efektif dalam mengurangi dampak likuifaksi di pemodelan sederhana. Untuk itu pada pemodelan sederhana ini dapat dimodelkan di Sirkuit Mandalika.

4.3.4. Pemodelan Rigid Inclusion

Pada jendela Structur option crate line untuk membuat garis bantu dalam menggambar lapisan tanah, pilih option embed beam row untuk membuat pemodelan Rigid Incluition dan option line load untuk memberi beban pada pemodelan sebesar 15 kN/m² sesuai SNI 8460 2017. Pada lapisan tanah terdapat

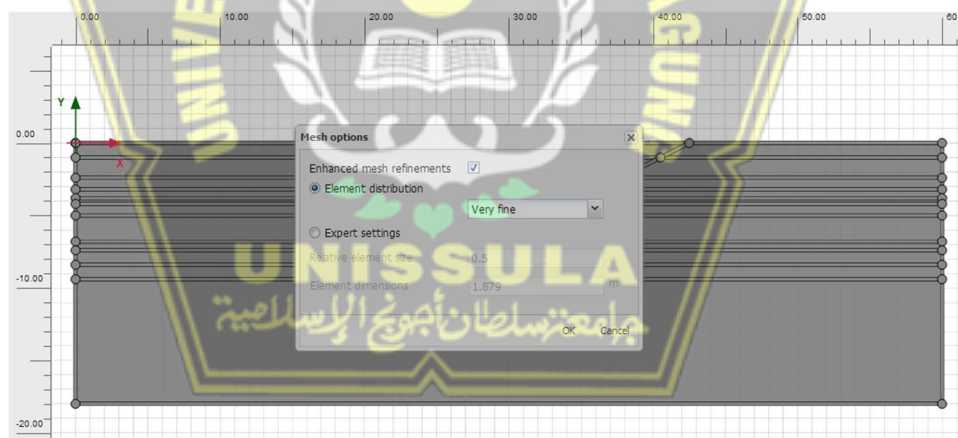
timbunan LTP yang diisi Gravel setinggi 2,5 m dan tinggi Rigid sebesar 5.9 m dari bawah permukaan LTP. Pada pemodelan Rigid Inclution dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.16 Pemodelan *Rigid Inclution* pada tanah asli

4.3.5. Mesh

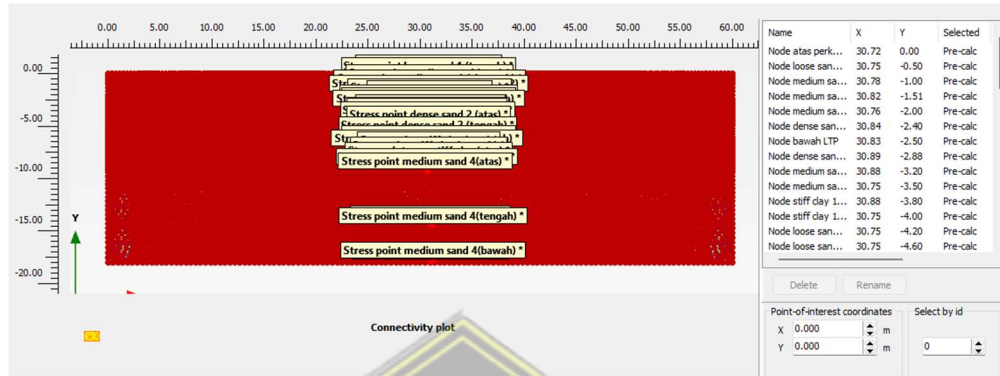
Pada jendela *mesh*, gunakan pilihan *Very Fine* untuk mendapatkan hasil yang sangat baik dan agar perintah yang dibuat pada jendela struktur aktif.



Gambar 4.17 Jendela *mesh*

4.3.6. Penentuan Titik Monitoring

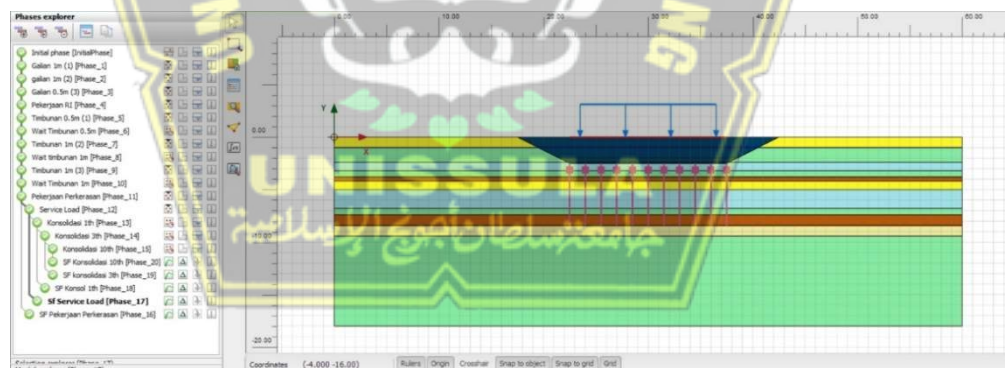
Selanjutnya pilih titik monitoring pada tanah *loose sand* untuk mengetahui hasil *output* dari plaxis, guna mengetahui lebih detail hasil per lapisan dalam tanah.



Gambar 4.18 Titik Monitoring

4.3.7. Elastic dan Elastoplastic

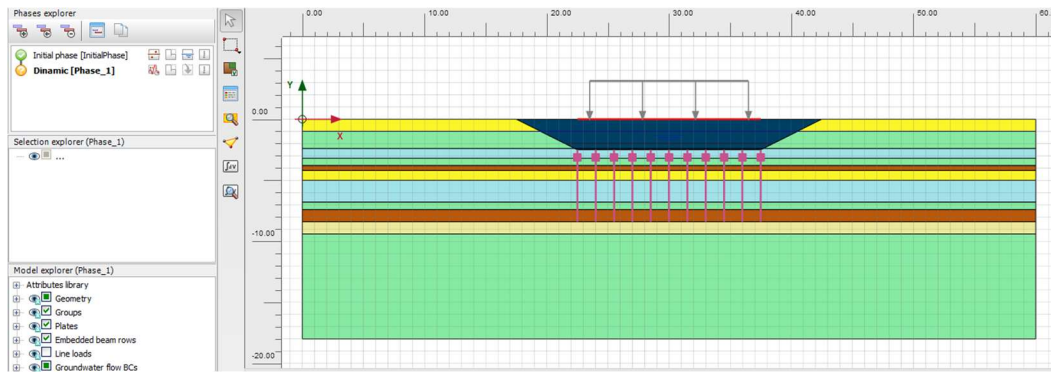
Sebelum masuk calculate dynamic kita mencari elastic dan elastoplastic, pada option pemodelan elastic guna mencari moment max pada rigid inclusion dan moment max yang didapat dari elastic dimasukan pada parameter pemodelan elastoplastic lalu calculate.



Gambar 4.19 Jendela Stage Construction

4.3.8. Dynamic

Setelah elastic dan elastoplastic selesai tahap selanjutnya yaitu calculate dynamic, pada tahap ini penulis menggunakan option Pseudo sebesar 0,4g dan 0,8g pada pemodelan tanah asli dan RI guna mengetahui air pori pada tanah loose sebelum gempa dan sesudah gempa. Untuk calculate dynamic Service load dimatikan.



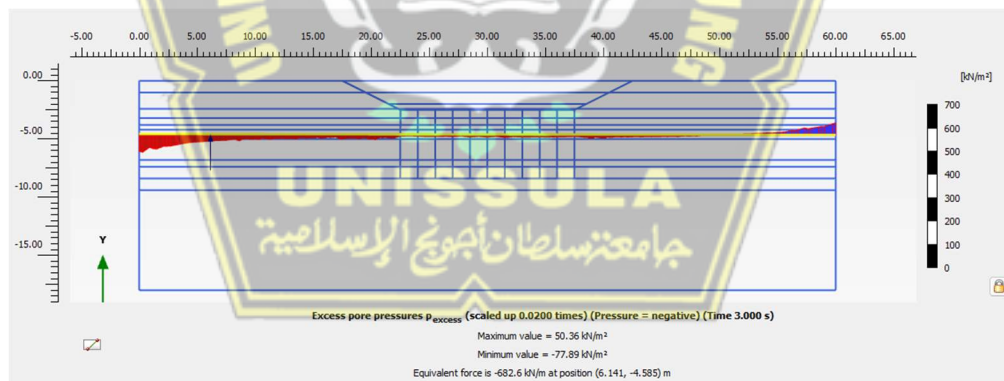
Gambar 4.20 Jendela *Stage Construction*

4.4. Hasil analisa Software Plaxis V20

Dalam perhitungan pada permodelan ada 2 percobaan yang dilakukan pada percepatan gempa yang berbeda, percepatan yang digunakan yaitu 0,4g dan 0,8g. acuan untuk percepatan gempanya yaitu di daerah Lombok 2018, berikut adalah hasil dari beberapa percobaan percepatan gempa bumi.

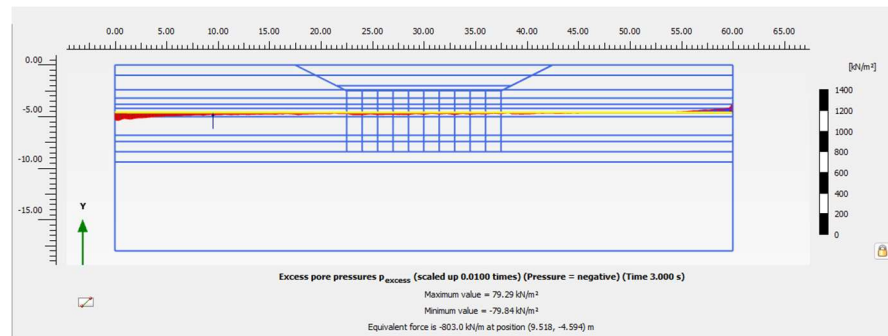
4.4.1. Tanah Asli dan RI *Acceleration* 0,4g

1. Hasil dari P_{excess} tanah asli pada lapisan *loose sand* sebesar $77,89 \text{ kN/m}^2$, dilihat pada gambar 4.16.



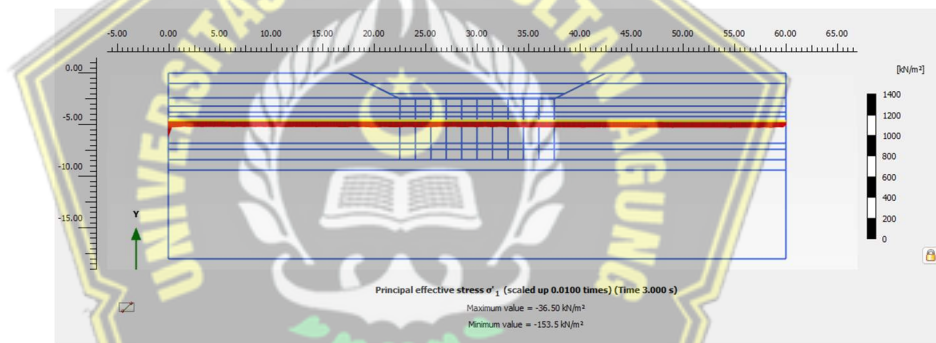
Gambar 4.21 P_{excess} lapisan *loose sand* tanah asli

- Hasil dari P_{excess} RI pada lapisan loose sand sebesar $79,84 \text{ kN/m}^2$, dilihat pada gambar 4.17



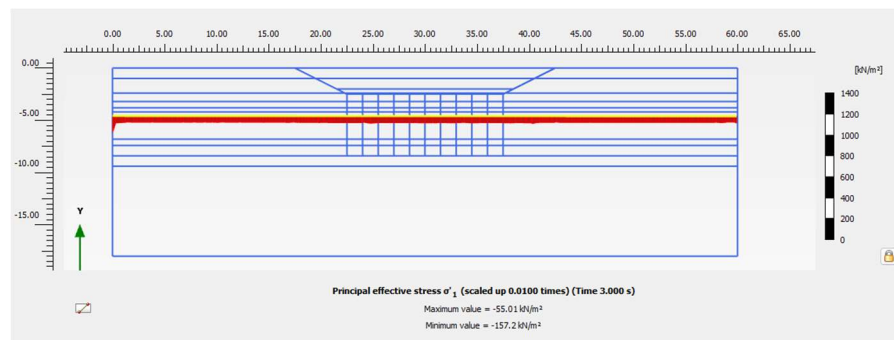
Gambar 4.22 P_{excess} lapisan *loose sand* RI

- Hasil Principal Effective Stress σ^I tanah asli loose sand sebesar $153,5 \text{ kN/m}^2$ dilihat pada gambar 4.18



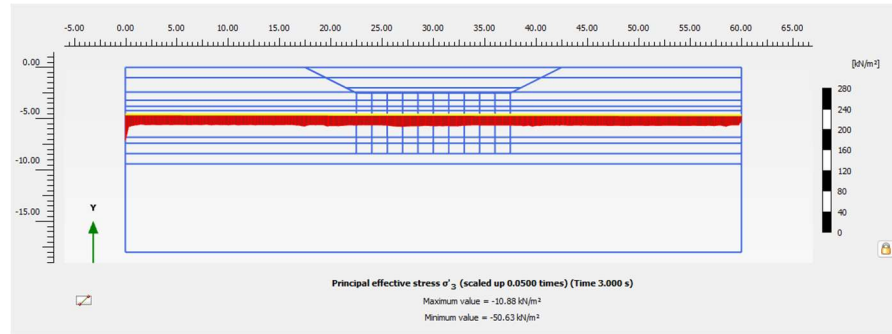
Gambar 4.23 *Principal Effective Stress* σ^I lapisan *loose sand* tanah asli

- Hasil Principal Effective Stress σ^I RI loose sand sebesar $157,2 \text{ kN/m}^2$ dilihat pada gambar 4.19



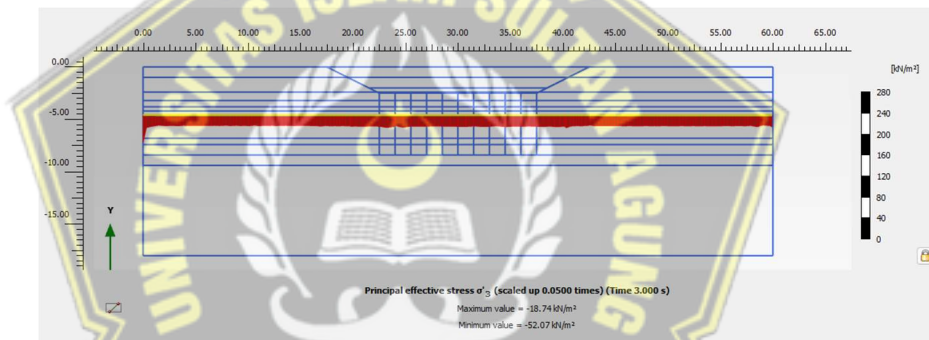
Gambar 4.24 *Principal Effective Stress* σ^I lapisan *loose sand* RI

5. Hasil Principal Effective Stress σ_1 tanah asli lapisan loose sand 50,63 kN/m² dilihat pada gambar 4.20



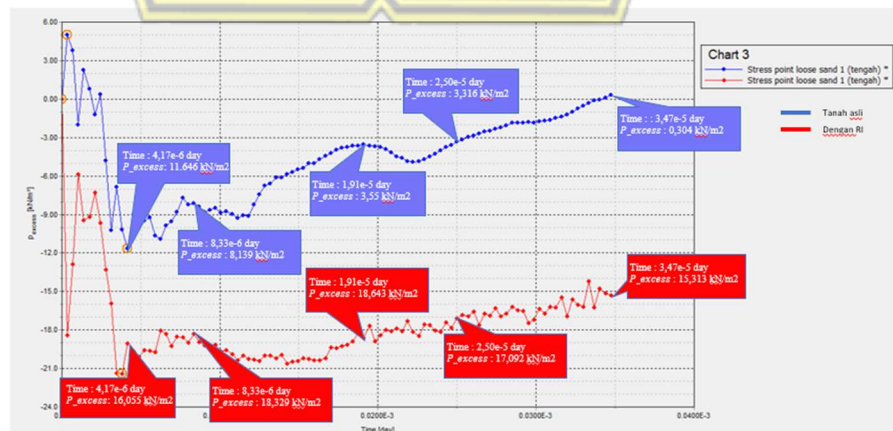
Gambar 4.25 *Principal Effective Stress σ_3 lapisan loose sand tanah asli*

6. Hasil Principal Effective Stress σ_1 RI lapisan loose sand 52,07 kN/m² dilihat pada gambar 4.21



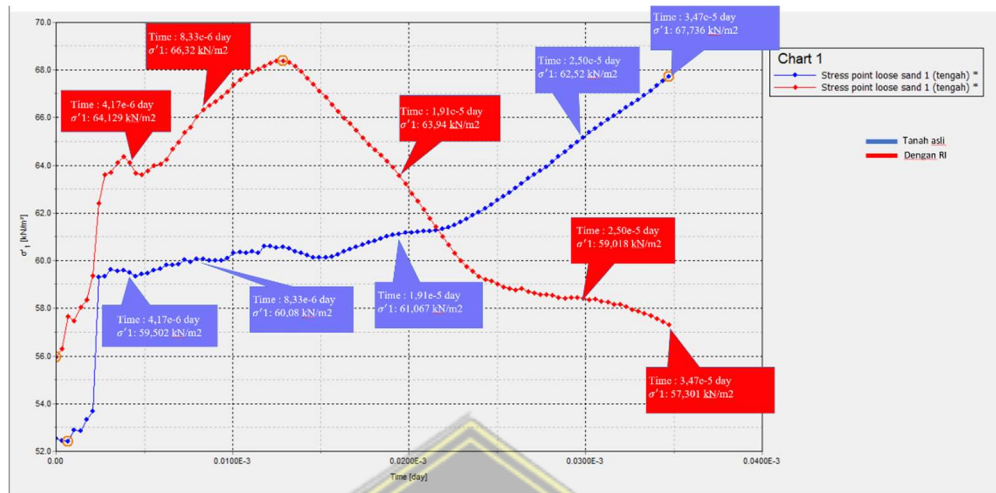
Gambar 4.26 *Principal Effective Stress σ_3 lapisan loose sand RI*

7. Grafik monitoring Pexcess pemodelan tanah asli dan RI dapat dilihat pada curva gambar 4.22.



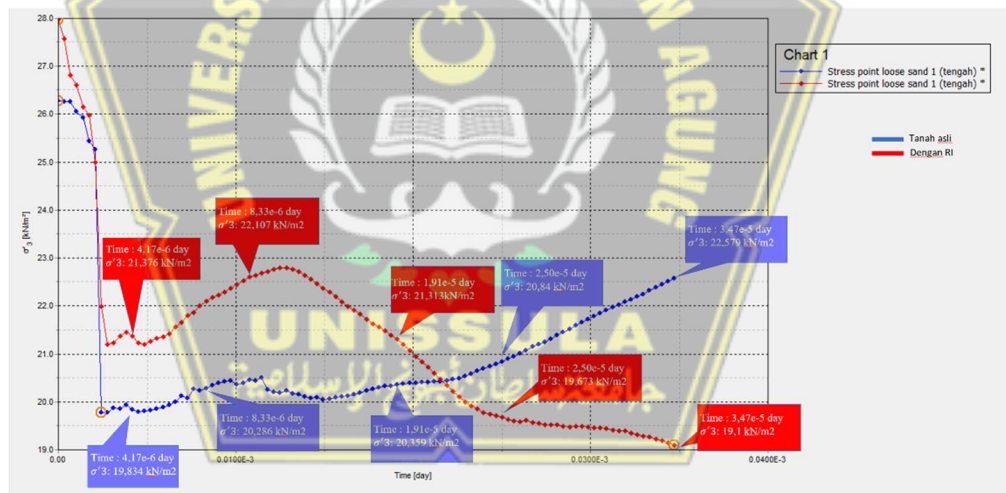
Gambar 4.27 Grafik Pexcess tanah asli dan RI

8. Grafik monitoring σ_1 pemodelan tanah asli dan RI dapat dilihat pada curva gambar. 4.23



Gambar 4.28 Grafik σ_1 tanah asli dan RI

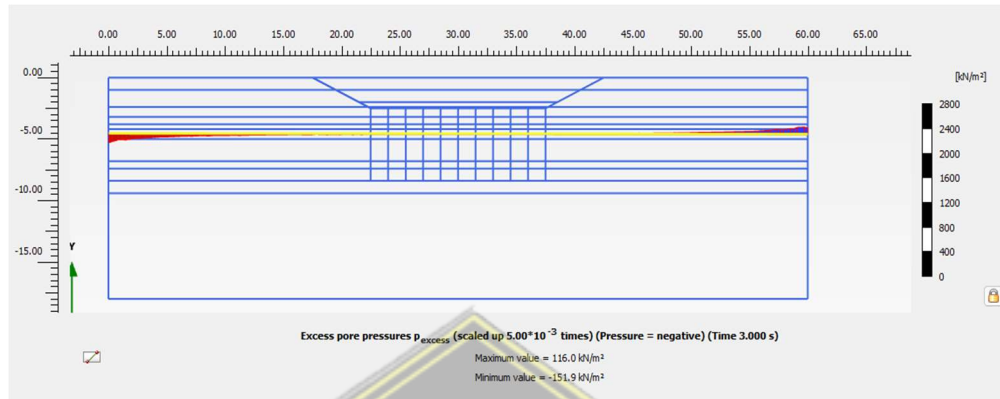
9. Grafik monitoring σ_3 pemodelan tanah asli dan RI dapat dilihat pada curva gambar. 4.24



Gambar 4.29 Grafik σ_3 tanah asli dan RI

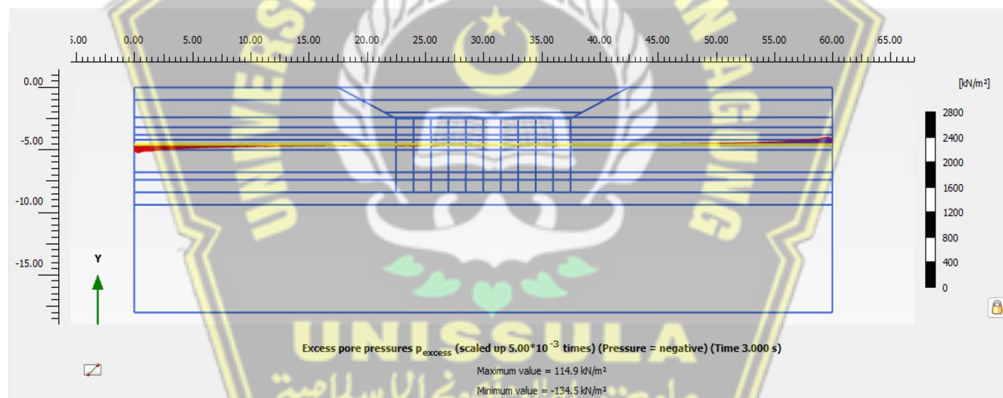
4.4.2. Tanah Asli dan RI Acceleration 0.8g

1. Hasil dari Pexcess tanah asli pada lapisan loose sand sebesar 151,9 kN/m², dilihat pada gambar 4.25.



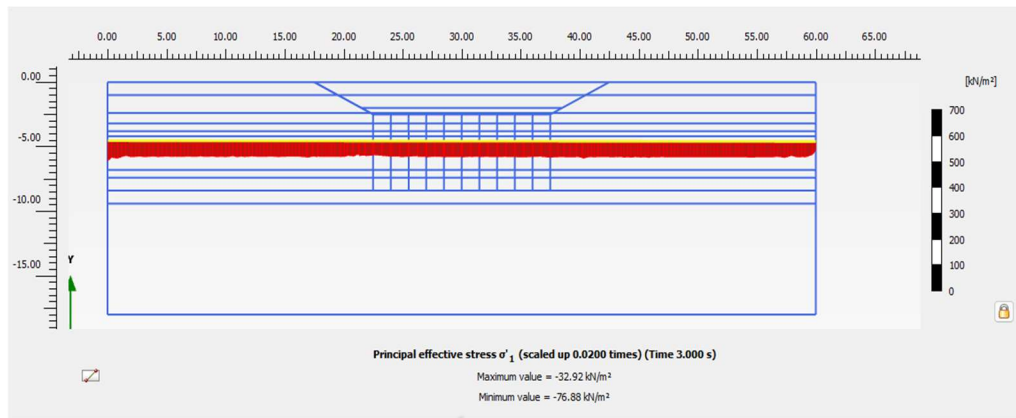
Gambar 4.30 Pexcess lapisan *loose sand* tanah asli

2. Hasil dari Pexcess RI pada lapisan loose sand sebesar 134,5 kN/m², dilihat pada gambar 4.26.



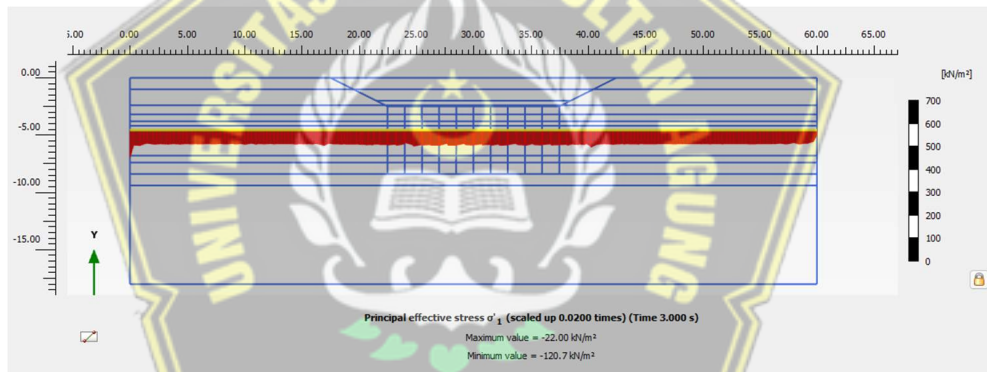
Gambar 4.31 Pexcess lapisan *loose sand* RI

3. Hasil Principal Effective Stress σ_1 tanah asli loose sand sebesar 76,88 kN/m² , dilihat pada gambar 4.27.



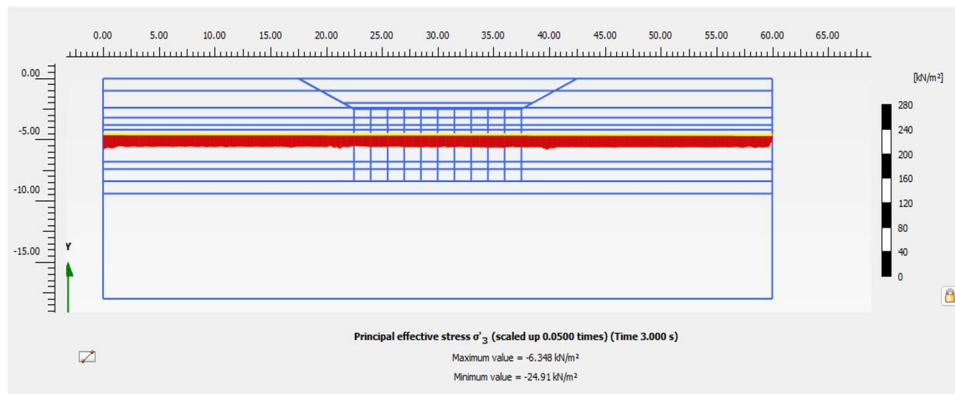
Gambar 4.32 σ^I lapisan *loose sand* tanah asli

4. Hasil Principal Effective Stress σ_1 RI loose sand sebesar 120,7 kN/m² , dilihat pada gambar 4.28.



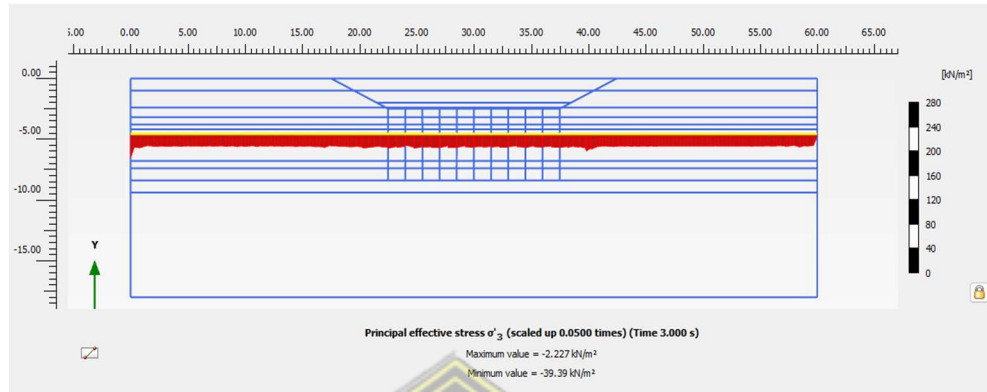
Gambar 4.33 *Principal Effective Stress* σ^I lapisan *loose sand* RI

5. Hasil Principal Effective Stress σ_1 tanah asli lapisan loose sand 24,91 kN/m² , dilihat pada gambar 4.29.



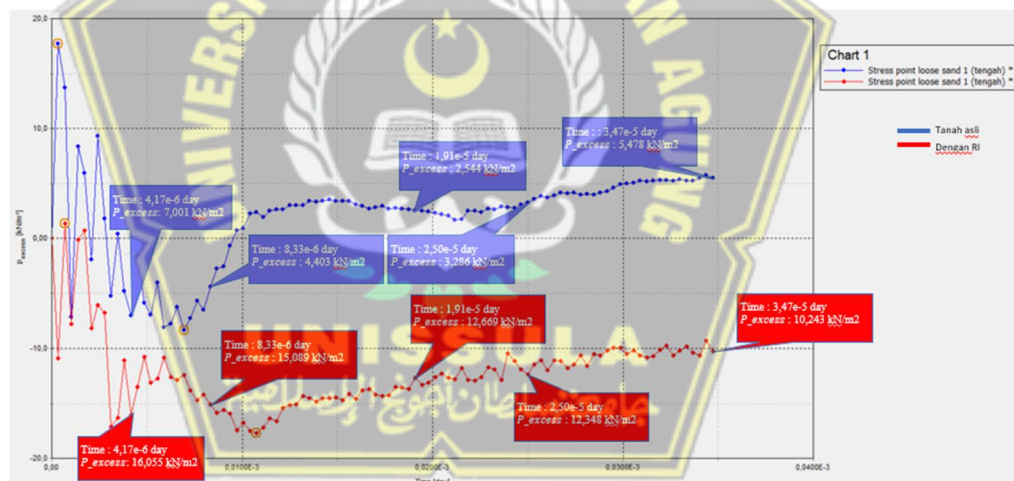
Gambar 4.34 *Principal Effective Stress* σ^3 lapisan *loose sand* tanah asli

6. Hasil Principal Effective Stress σ_1 RI lapisan loose sand 39,39 kN/m² , dilihat pada gambar 4.30.



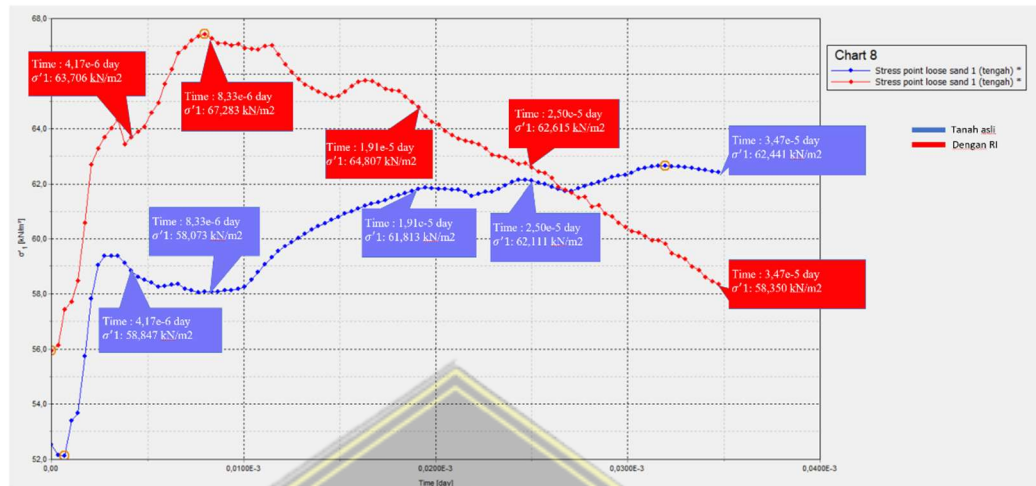
Gambar 4.35 Principal Effective Stress σ'_3 lapisan loose sand RI

7. Grafik monitoring Pexcess pemodelan tanah asli dan RI dapat dilihat pada curva gambar 4.31.



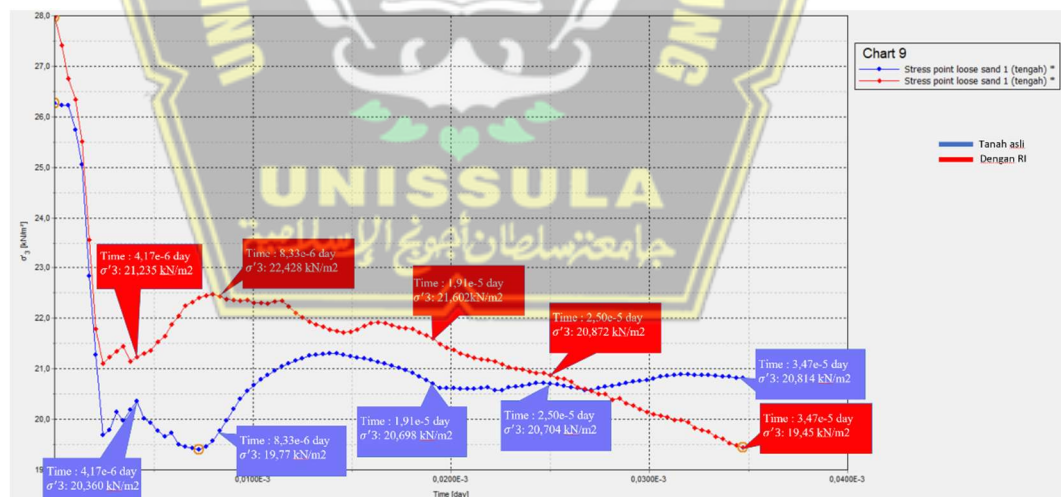
Gambar 4.36 Grafik Pexcess tanah asli dan RI

8. Grafik monitoring σ_1 pemodelan tanah asli dan RI dapat dilihat pada curva gambar. 4.32.



Gambar 4.37 Grafik σ_1 tanah asli dan RI

9. Grafik monitoring σ_3 pemodelan tanah asli dan RI dapat dilihat pada curva gambar. 4.33



Gambar 4.38 Grafik σ_3 tanah asli dan RI

4.4.3. Hasil Perbandingan dari 0,4g dan 0,8g

4.4.3.1. Acceleration 0,4g

Berikut adalah tabel perbandingan antara tanah asli dan tanah yang sudah dikasih perkuatan tanah rigid incusion.

Tabel 4.10 Perbandingan P_{excess} dan σ^1

Acceleration 0.4g												
no	Time	Uo	P_excess Tanah asli	σ_1 tanah asli	P_excess RI	σ_1 RI	Uo + P_excess	Uo + P_excess	SF		RU	
	(Day)	kPa	(kN/m^2) (A)		(kN/m^2) (c)		Tanah asli	RI	Tanah Asli	RI	Tanah Asli	RI
1	4.17E-06	35.5	11.646	59.502	16.055	64.129	23.854	19.445	2.49	3.30	0.40	0.33
2	8.33E-06	35.5	8.139	60.08	18.329	66.32	27.361	17.171	2.20	3.86	0.46	0.29
3	1.91E-05	35.5	3.55	61.067	18.643	63.94	39.05	16.857	1.56	3.79	0.64	0.28
4	2.50E-05	35.5	3.316	62.52	17.092	59.018	38.816	18.408	1.61	3.21	0.62	0.29
5	3.47E-05	35.5	0.304	67.736	15.313	57.301	35.804	20.187	1.89	2.84	0.53	0.30

Tabel 4.11 Perbandingan P_{excess} dan σ^3

Acceleration 0.4g												
no	Time	Uo	P_excess Tanah asli	σ_3 tanah asli	P_excess RI	σ_3 RI	Uo + P_excess	Uo + P_excess	SF		RU	
	(Day)	kPa	(kN/m^2) (A)		(kN/m^2) (c)		Tanah asli	RI	Tanah Asli	RI	Tanah Asli	RI
1	4.17E-06	35.5	11.646	19.834	16.055	21.376	23.854	19.445	0.83	1.10	1.20	0.98
2	8.33E-06	35.5	8.139	20.286	18.329	22.107	27.361	17.171	0.74	1.29	1.35	0.85
3	1.91E-05	35.5	3.55	20.359	18.643	21.313	39.05	16.857	0.52	1.26	1.92	0.83
4	2.54E-05	35.5	3.316	20.84	17.092	19.673	38.816	18.408	0.54	1.07	1.86	0.88
5	3.47E-05	35.5	0.304	27.579	15.313	19.1	35.804	20.187	0.63	0.95	1.59	0.89

4.4.3.2. Acceleration 0,8g

Berikut adalah tabel perbandingan antara tanah asli dan tanah yang sudah dikasih perkuatan tanah rigid incusion.

Tabel 4.12 Perbandingan P_{excess} dan σ^1

Acceleration 0.8g												
no	Time	Uo	P _{excess} Tanah asli	σ ₁ tanah asli	P _{excess} RI	σ ₁ RI	Uo + P _{excess}	Uo + P _{excess}	SF		RU	
	(Day)	kPa	(kN/m ²) (A)		(kN/m ²) (c)		Tanah asli	RI	Tanah Asli	RI	Tanah Asli	RI
1	4.17E-06	35.5	7.001	58.847	16.055	63.706	28.499	19.445	2.06	3.28	0.48	0.31
2	8.33E-06	35.5	4.403	58.073	15.089	67.283	31.097	20.411	1.87	3.30	0.54	0.30
3	1.91E-05	35.5	2.544	61.813	12.669	64.807	38.044	22.831	1.62	2.84	0.62	0.35
4	2.50E-05	35.5	3.286	62.111	12.348	62.615	38.786	23.152	1.60	2.70	0.62	0.37
5	3.47E-05	35.5	5.478	62.441	10.243	58.35	40.978	25.257	1.52	2.31	0.66	0.43

Tabel 4.13 Perbandingan P_{excess} dan σ^3

Acceleration 0.8g												
no	Time	Uo	P_excess Tanah asli	σ_3 tanah asli	P_excess RI	σ_3 RI	Uo - P_excess	Uo + P_excess	SF		RU	
	(Day)	kPa	(kN/m^2) (A)		(kN/m^2) (c)		Tanah asli	RI	Tanah Asli	RI	Tanah Asli	RI
1	4.17E-06	35.5	7.001	20.36	16.055	21.235	28.499	19.445	0.71	1.09	1.40	0.92
2	8.33E-06	35.5	4.403	19.77	15.089	22.428	31.097	20.411	0.64	1.10	1.57	0.91
3	1.91E-05	35.5	2.544	20.69	12.669	21.602	38.044	22.831	0.54	0.95	1.84	1.06
4	2.54E-05	35.5	3.286	20.704	12.348	20.872	38.786	23.152	0.53	0.90	1.87	1.11
5	3.47E-05	35.5	5.478	20.814	10.243	18.45	40.978	25.257	0.51	0.73	1.97	1.37

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari pembahasan dan analisa data diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil *output* Plaxis 2d V20, bisa dilihat bahwa sirkuit mandalika berpotensi likuifaksi khususnya pada lapisan tanah loose sand dengan $SF < 1$.
2. Hasil analisa *output* Plaxis 2d V20 menunjukan bahwa nilai SF pada pemodelan tanah dengan RI memiliki nilai lebih besar dari SF tanah asli, artinya *Rigid Inclusion* dapat mengurangi dampak likuifaksi di sirkuit mandalika terkhusus pada tanah lapisan *loose sand*.
3. Pemodelan *Rigid Inclusion* pada Sirkuit Mandalika memiliki kestabilan tanah yang baik dibanding dengan Tanah asli, hal tersebut dapat dilihat pada hasil perbandingan SF tanah asli $< SF$ RI, dan Ru tanah asli $> Ru$ RI

5.2. Saran

Dari hasil analisis, saran yang dapat diberikan penulis adalah:

1. Perlunya perhitungan manual untuk mengetahui pengaruh perkuatan tanah dengan rigid inclusion pada tanah yang berpotensi likuifaksi untuk memperkuat analisa MEH ini.
2. Analisa numerik perkuatan rigid pada tanah berpotensi likuifaksi bisa disarankan menggunakan software lain seperti GeoStudio dan Abaqus.