

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS DAN PENURUNAN TIMBUNAN RINGAN MORTAR BUSA DIBANDINGKAN DENGAN MENGGUNAKAN TIMBUNAN PILIHAN PADA OPRIT JEMBATAN (*ANALYSIS OF STABILITY AND SETTLEMENT OF CORRUGATED MORTAR PUSJATAN COMPARED BY USING SELECTED EMBANKMENT ON BRIDGE OPRIT*)

**(STUDI KASUS : FLYOVER KLONENGAN, KABUPATEN TEGAL,
PROVINSI JAWA TENGAH)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil**



**الإسلام
الجامعة الإسلامية
الاندونيسية**

Itmam Niami Faiz

15 511 178

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS DAN PENURUNAN TIMBUNAN RINGAN MORTAR BUSA DIBANDINGKAN DENGAN MENGGUNAKAN TIMBUNAN PILIHAN PADA OPRIT JEMBATAN (*ANALYSIS OF STABILITY AND SETTLEMENT OF CORRUGATED MORTAR PUSJATAN COMPARED BY USING SELECTED EMBANKMENT ON BRIDGE OPRIT*)

(STUDI KASUS : FLYOVER KLONENGAN, KABUPATEN TEGAL, PROVINSI
JAWA TENGAH)

Disusun Oleh



Itmam Niami Faiz

15511178

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.
NIK: 045110407

Penguji I

Akhmad Marzuko, Ir., M.T.
NIK: 885110107

Penguji II

Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng.
NIK: 885110107



Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Itmam Niami Faiz

Nim : 15 511 178

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Tugas Akhir : Analisis Stabilitas Dan Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan Dengan Menggunakan Timbunan Pilihan Pada Oprit Jembatan

Saya menyatakan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir ini yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan yang diberikan oleh Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia adalah hasil dari karya saya sendiri. Adapun juga bagian-bagian tertentu di dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil dari karya orang lain telah dituliskan sumber-sumbernya secara jelas sesuai dengan norma yang berlaku, kaidah, dan etika dalam penulisan karya ilmiah. Apabila kemudian hari ditemukannya seluruh atau sebagian laporan dari Tugas Akhir saya ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, maka saya bersedia untuk menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 31 Desember 2021

Yang membuat pernyataan,



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb.

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul Analisis Stabilitas dan penurunan Timbunan Ringan MortarBusa Dibandingkan Dengan Menggunakan Timbunan Pilihan Pada Oprit Jembatan. Proposal ini adalah salah satu syarat yang harus diselesaikan tingkat strata satu prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada penyusunan Proposal Tugas Akhir banyak kendala yang dihadapi, namun berkat saran dan kritik Alhamdulillah dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T.,M.T.selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Akhmad Marzuko S.T.,M.T. dan bapak Muhammad Rifqi Abdurrozak, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT. selaku Ketua Jurusan dan Dosen Pembimbing Akademik Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak dan Ibu beserta keluarga yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan ada yang tak henti – hentinya.
5. Seluruh civitas akademik di lingkungan jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
6. Teman – teman seperjuangan Teknik Sipil 2015 yang selalu memberikan dukungan, dorongan dan semangat.
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu, dalam membantu penyusunan Tugas Akhir ini dengan tulus dan ikhlas.

karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap Tugas Akhir ini memiliki manfaat untuk pembaca dan penulis sebagai penyusun.

Amin.

Yogyakarta, 14 Maret 2022

Itmam Niami Faiz

15511178

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.1.1 Timbunan Ringan Mortar Busa	4
2.1.2 Stabilitas Oprit Jembatan	6
2.1.3 Penurunan Tanah Oprit Jembatan	6

2.2 Keaslian Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Tanah	14
3.2 Timbunan Ringan Mortar Busa	14
3.3 Timbunan Pilihan dan Timbunan Pilihan Berbutir	15
3.4 Stabilitas Lereng	16
3.5 Konsolidasi	21
3.6 Dinding Penahan Tanah	24
3.7 Pembebanan	27
3.7.1 Beban Lalu Lintas	27
3.7.2 Beban Gempa	28
3.8 Plaxis	29
BAB IV METODE PENELITIAN	34
4.1 Tinjauan Umum	34
4.2 Lokasi Penelitian	35
4.3 Tahapan Penelitian	35
4.4 Analisis Data	36
4.5 Data Geometri Jalan	39
4.6 Analisis Data dengan Plaxis 8.6	43
4.7 Bagan Alir Penelitian	50
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	53
5.1 Tinjauan Umum	53
5.2 Data Penelitian	54
5.2.1 Data Tanah Dasar	54

5.2.2	Data Timbunan	55
5.2.3	Data Beban	68
5.2.4	Data Geometri Badan Jalan	68
5.3	Analisis Stabilitas dan Penurunan dengan Program Plaxis 8.6	72
5.3.1	Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	72
5.3.2	Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap	80
5.3.3	Timbunan Pilihan Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	87
5.3.4	Timbunan Pilihan (Kemiringan 1:2) Ditinjau Langsung Secara Bertahap	95
5.3.5	Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Program Plaxis 8.6	102
5.4	Analisis Stabilitas dan Penurunan Secara Manual	110
5.4.1	Perhitungan Manual Timbunan Ringan Mortar Busa	110
5.5	Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah	117
5.5.1	Perhitungan Gaya Vertikal	118
5.5.2	Perhitungan Gaya Lateral	119
5.5.3	Hitungan Momen	121
5.5.4	Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah	121
5.6	Pembahasan	125
5.6.1	Timbunan Ringan Mortar Busa	126
5.6.2	Timbunan Pilihan	128
5.6.3	Perbandingan Stabilitas dan penurunan Antara Timbunan Ringan Mortar Busa dan Timbunan Pilihan	129
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		131
6.1	Kesimpulan	131
6.2	Saran	132

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	10
Tabel 3. 1 Derajat kejenuhan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 2 Berat Jenis Tanah	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 3 Nilai Berat Volume Tanah	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 4 Nilai Berat Volume Tanah	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 5 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 6 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 7 Sistem Klasifikasi Unified	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 8 Sistem Klasifikasi USCS	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 9 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 10 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 11 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 12 Spesifikasi Desain Mortar Busa untuk Bangunan Jalan	15
Tabel 3. 13 Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 14 Koefisien Permeabilitas pada Umumnya	30
Tabel 3. 15 Nilai Perkerasaan Modulus Elastis Tanah	30
Tabel 3. 16 Angka Poison	31
Tabel 3. 17 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	32
Tabel 4. 1 Parameter Tanah Dasar	37

Tabel 4. 2 Parameter Timbunan	38
Tabel 5. 1 Data Tanah Dasar	54
Tabel 5. 2 Data Timbunan	55
Tabel 5. 3 Perhitungan Nilai Δp Timbunan Ringan	112
Tabel 5. 4 Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Timbunan Ringan Mortar Busa	112
Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai Δp Timbunan Pilihan	114
Tabel 5. 6 Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Timbunan Pilihan	115
Tabel 5. 7 Gaya Berat Setiap Irisan Pada Longsoran Timbunan Pilihan	116
Tabel 5. 8 Perhitungan Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah	119
Tabel 5. 9 Perhitungan Gaya-Gaya Lateral yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah	120
Tabel 5. 10 Perhitungan Momen Pada Dinding Penahan Tanah	121
Tabel 5. 11 Hasil Analisis Penurunan dan <i>Safety Factor</i> Mortar Busa	126
Tabel 5. 12 Analisis Penurunan dan <i>Safety Factor</i> Timbunan Pilihan	128
Tabel 5. 13 Perbandingan Timbunan Ringan dan Timbunan Pilihan	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Fase Tanah	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Tipe Keruntuhan Lereng Gabungan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3 Dinding Kantilever	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian	35
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan antara Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows, 1987	39
Gambar 4. 3 Kotak Dialog Create/Open Project	44
Gambar 4. 4 Kotak Dialog General Setting	45
Gambar 4. 5 Penggambaran Geometri	45
Gambar 4. 6 Kotak Dialog Material Set	46
Gambar 4. 7 Pemodelan Setelah Diberi Beban Merata	47
Gambar 4. 8 Material Setelah Proses Meshing	47
Gambar 4. 9 Tekanan Air Pori	48
Gambar 4. 10 Tegangan Awal	48
Gambar 4. 11 Tampilan Tahap Calculation	49
Gambar 4. 12 otal Displacement	50
Gambar 4. 13 Arah Pergerakan	50
Gambar 4. 14 Kurva Faktor Aman Beban Merata dan Beban Gempa	50
Gambar 4. 15 Bagan Alir Penelitian	51
Gambar 5. 1 Grafik Hubungan antara Perceptan dan Waktu Gempa Whittier Narrows, 1987	68
Gambar 5. 2 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau	69
Gambar 5. 3 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara	70
Gambar 5. 4 Pemodelan Timbunan Pilihan Ditinjau Langsur Akhir	71
Gambar 5. 5 Pemodelan Timbunan Pilihan Ditinjau Secara Bertahap	72

Gambar 5. 6 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Kontrusi	73
Gambar 5. 7 Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Pada Timbunan Ringan Mortar	73
Gambar 5. 8 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (<i>Generate Water Pressures</i>)	74
Gambar 5. 9 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (<i>Initial Soil Stresses</i>)	74
Gambar 5. 10 Tahapan Perhitungan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	75
Gambar 5. 11 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata	75
Gambar 5. 12 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa	76
Gambar 5. 13 <i>Total Displacement</i> Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata	76
Gambar 5. 14 <i>Total Displacement</i> Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa	77
Gambar 5. 15 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata	77
Gambar 5. 16 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa	78
Gambar 5. 17 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata	78
Gambar 5. 18 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa	79
Gambar 5. 19 Kurva Nilai <i>Safety Factor</i> Analisis Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	79
Gambar 5. 20 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap	80
Gambar 5. 21 Penyusunan Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap	81
Gambar 5. 22 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (<i>Generate Water Pressures</i>)	81

Gambar 5. 23 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (<i>Initial Soil Stresses</i>)	82
Gambar 5. 24 Tahapan Analisis Perhitungan (<i>Calculation</i>) Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap	82
Gambar 5. 25 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata	83
Gambar 5. 26 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa	83
Gambar 5. 27 Total Displacement Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata	84
Gambar 5. 28 Total Displacement Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa	84
Gambar 5. 29 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata	85
Gambar 5. 30 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa	85
Gambar 5. 31 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata	86
Gambar 5. 32 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa	86
Gambar 5. 33 Kurva Nilai Safety Factor Analisis Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap	87
Gambar 5. 34 Pemodelan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	88
Gambar 5. 35 Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Timbunan Pilihan dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	88
Gambar 5. 36 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (<i>Generate Water Preassures</i>)	89
Gambar 5. 37 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (<i>Initial Soil Stresses</i>)	89
Gambar 5. 38 Tahapan Analisis Timbunan Pilihan dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	90

Gambar 5. 39 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Akibat Beban Merata	90
Gambar 5. 40 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Akibat Beban Gempa	91
Gambar 5. 41 <i>Total Displacement</i> Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Merata	91
Gambar 5. 42 <i>Total Displacement</i> Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Gempa	92
Gambar 5. 43 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Merata	92
Gambar 5. 44 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Gempa	93
Gambar 5. 45 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Merata	93
Gambar 5. 46 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Gempa	94
Gambar 5. 47 Kurva Nilai Safety Factor Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi	94
Gambar 5. 48 Pemodelan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap	95
Gambar 5. 49 Jaringan Elemen (<i>Meshing</i>) Timbunan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap	96
Gambar 5. 50 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (<i>Generate Water Preassures</i>)	96
Gambar 5. 51 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (<i>Initial Soil Stresses</i>)	97
Gambar 5. 52 Tahapan Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap	97
Gambar 5. 53 <i>Deformed Mesh</i> Pada Analisis Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Merata	98

Gambar 5. 54 <i>Deformed Mesh</i> Pada Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Gempa	98
Gambar 5. 55 Total Displacement Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Merata	99
Gambar 5. 56 Total Displacement Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Gempa	99
Gambar 5. 57 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Merata	100
Gambar 5. 58 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Gempa	100
Gambar 5. 59 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Yang Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Merata	101
Gambar 5. 60 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Yang Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Gempa	101
Gambar 5. 61 Kurva Nilai <i>Safety Factor</i> Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap	102
Gambar 5. 62 Pemodelan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah	103
Gambar 5. 63 Penyusunan Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah	103
Gambar 5. 64 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (<i>Generate Water Pressures</i>) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah	104
Gambar 5. 65 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (<i>Intial Soil Stresses</i>) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah	104
Gambar 5. 66 Tahapan Analisis Perhitungan (<i>Calculating</i>) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah	105
Gambar 5. 67 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Merata	105
Gambar 5. 68 <i>Deformed Mesh</i> Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Gempa	106

Gambar 5. 69 <i>Total Displacement</i> Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Merata	106
Gambar 5. 70 <i>Total Displacement</i> Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Gempa	107
Gambar 5. 71 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Akibat Beban Merata	107
Gambar 5. 72 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Akibat Beban Gempa	108
Gambar 5. 73 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Merata	108
Gambar 5. 74 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Gempa	109
Gambar 5. 75 Kurva Penurunan Analisis Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah	109
Gambar 5. 76 Penampang Timbunan Ringan untuk Analisis Penurunan Konsolidasi	110
Gambar 5. 77 Penampang Timbunan Ringan untuk Analisis Penurunan Konsolidasi	113
Gambar 5. 78 Gaya-Gaya yang bekerja Pada Irisan	116
Gambar 5. 79 Dinding Penahan Tanah yang Digunakan	118
Gambar 5. 80 Bagian-Bagian Dinding Penahan Tanah	118
Gambar 5. 81 Diagram Tanah Aktif dan Pasif Dinding Penahan Tanah	120
Gambar 5. 82 Grafik Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa	127
Gambar 5. 83 Grafik Nilai Faktor Aman Timbunan Ringan Mortar Busa	127
Gambar 5. 84 Penurunan Timbunan Pilihan	129
Gambar 5. 85 Nilai Safety Factor Timbunan Pilihan	129

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Laboratorium

136

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas Penampang (m^2)
a_i	= Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i
B	= Lebar dasar fondasi sebenarnya
C	= Kohesi (kN/m^2)
CMP	= Corrugated Mortar Pusjatan
d	= Faktor kedalaman
DPT	= Dinding penahan tanah
e	= Eksentrisitas beban
e_o	= Angka pori
E	= Modulus Elastisitas (kN/m^2)
F	= Faktor aman
H	= Tebal lapisan tanah (m)
I	= Faktor pengaruh
i	= Faktor kemiringan beban
K_a	= Koefisien tekanan tanah aktif
K_p	= Koefisien tekanan tanah pasif
M_w	= Momen yang melawan penggulingan
M_{gl}	= Momen yang mengakibatkan penggulingan
N	= Faktor-faktor kapasitas dukung
n	= Jumlah irisan
p_0	= Tekanan overbunden efektif
P_a	= Tekanan tanah aktif total
P_p	= Tekanan tanah pasif total
Ph	= Jumlah gaya-gaya horisontal

q_c	= Tekanan konus (kg/cm^2)
R	= Jari-jari lingkaran bidang longsor
R_h	= Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran
Sc	= Penurunan primer
SF	= Safety Factor
u_i	= Tekanan air pori pada irisan ke-i
W_i	= Berat massa tanah irisan ke-i
W	= Berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat fondasi
Δp	= Tambahan tegangan vertikal
τ	= Kuat geser tanah
σ	= Tegangan normal pada bidang runtuh
γ'	= Berat volume tanah efektif (kN/m^3)
$\gamma'_{\text{timbunan}}$	= Berat volume tanah timbunan (kN/m^3)
ϕ	= Sudut geser tanah ($^\circ$)

ABSTRAK

Kemacetan yang sering terjadi pada perlintasan kereta api di sepanjang jalan raya Tegal - Purwokerto dapat dikurangi dengan cara salah satunya, yaitu dengan Flyover. Kondisi tanah dengan daya dukung yang kurang akan menimbulkan beberapa permasalahan pada kestabilan konstruksi *Flyover*, permasalahan yang kerap terjadi yaitu penurunan akibat beban sendiri dan beban lalu lintas. Salah satu solusinya untuk mengatasinya yaitu pengurangan beban dengan menggunakan timbunan ringan yang dikembangkan sebagai inovasi teknologi karena memiliki sifat *self compacted* menjadi material pengganti berkualitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapat perbandingan nilai penurunan dan faktor aman (SF) pada tanah dasar akibat beban timbunan dan beban lalu lintas menggunakan timbunan ringan dan timbunan pilihan.

Analisis stabilitas dan penurunan timbunan dilakukan dengan membandingkan timbunan ringan mortar busa dan timbunan pilihan (tanah merah laterit) menggunakan metode elemen hingga. Untuk pemodelan pada timbunan pilihan menggunakan dua pemodelan diantaranya kemiringan lereng 1:2 dan menggunakan dinding penahan tanah. Dan untuk pemodelan secara keseluruhan yaitu timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi, timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap, timbunan pilihan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi, timbunan pilihan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau secara bertahap, dan timbunan pilihan ditinjau menggunakan dinding penahan tanah.

Timbunan ringan yang ditinjau langsung akhir konstruksi mendapat nilai penurunan sebesar 4,322 cm dan nilai angka aman 2,533, sedangkan saat ditinjau bertahap nilai penurunan 3,077 cm dan faktor aman 2,501. Timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi memiliki nilai penurunan 14,148 cm dan faktor aman 1,431, sedangkan yang ditinjau bertahap nilai penurunan 12,483 dan faktor aman 1,467. Pada timbunan pilihan dengan dinding penahan tanah (DPT) mengalami penurunan 20,479 cm dan faktor aman 1,245. Hasil analisis penggunaan timbunan ringan mortar busa menghasilkan penurunan yang lebih kecil dan nilai faktor aman yang lebih besar daripada timbunan pilihan (tanah merah laterit).

Kata kunci: penurunan, stabilitas, mortar busa, timbunan

ABSTRACT

The traffic jams that often occur at railroad crossings along the road in Tegal - purwokerto can be reduced by build a Flyover. The condition of the land with less bearing capacity will cause several problems in the stability of Flyover construction, problem that often occurs is the deformation due to selfload embankment and traffic load. One of the solution to deal with this problem is reduction of load by using lightweight material embankment as a technological innovation because it has the nature of self-compacted into a high-quality substitute material. This research aims to get a comparison of deformation and Safety Factor (SF) on the subgrade caused by selfload embankment and traffic load using lightweight embankment and selected embankment.

Analysis of the stability and settlement of the embankment was carried out by comparing the light embankment of foam mortar and the selected embankment (red soil laterite) using the finite element method. For modeling the embankment, two models are used, including the slope of 1:2 and the use of retaining walls. And for the overall modeling, namely light pile of foam mortar which was reviewed directly at the end of construction, light pile of foam mortar which was reviewed in stages, heap of 1:2 slope selection which was reviewed directly at the end of construction, heap of choice of 1:2 slope which was reviewed personally. stages, and the selected embankment is reviewed using retaining walls .

Lightweight embankment that are reviewed directly at the end of construction have settlement value of 4,322 cm and safe factor of 2,533, whereas when reviewed gradually the value of settlement was 3,077 cm and safe factor was 2,501. The selected embankment with slope of 1: 2 which is directly reviewed at the end of construction has settlement value of 14,148 cm and Safety Factor of 1,431, while when reviewed gradually the value of settlement was 12,483 cm and safe factor was 1,467. The selected embankment with retaining wall has settlement value of 20,479 cm and safe factor of 1,245. The result of the analysis, lightweight mortar foam embankment has smaller settlement and a greater Safety Factor value than the selected embankment (lateritic soil).

Keywords: settlement, stability, foamed mortar, embankment

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki puluhan ribu pulau. Puluhan ribu pulau terdiri dari pulau besar maupun pulau kecil dan yang sudah banyak diketahui oleh masyarakat yaitu Pulau Papua, Pulau Kalimantan, Pulau Sumatra, Pulau Sulawesi, dan Pulau Jawa. Dari pulau besar itu setiap pulau memiliki karakter tanah yang berbeda – beda, karakter tanah lunak terdapat di sebagian besar pulau yaitu Pulau Papua, Pulau Kalimantan, dan Pulau Sumatra meskipun di pulau lain masih memiliki tanah lunak juga.

Tanah lunak disebabkan oleh kohesi, sudut geser dalam yang memiliki nilai rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Jika tidak dikenali dan diselidiki dapat menyebabkan ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak bisa ditolerir. Sebagai salah satu penanganan yang terjadi pada tanah lunak adalah timbunan ringan dengan mortar busa yang telah dikembangkan oleh Balai Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Geoteknik Jalan dari Pusat Jalan dan Jembatan (Pusjantan) Kementerian Umum dan Perumahan Rakyat.

Timbunan ringan dengan mortar busa yang telah dikembangkan oleh Balai Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Geoteknik Jalan dari Pusat Jalan dan Jembatan (Pusjantan) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Suatu tumpukan yang mempunyai massa lebih ringan dari yang biasa digunakan untuk menimbun suatu bangunan. Mortar busa adonan yang telah diteliti untuk mendapat massa yang lebih ringan dari suatu timbunan yang biasa digunakan, mortar busa terdiri dari beberapa campuran yaitu pasir, semen, air, dan busa.

Mortar busa yang digunakan untuk timbunan oprit jembatan masih sedikit dan yang diketahui peneliti untuk timbunan oprit jembatan berada di Bandung (*Flyover*

Antapani), di Surakarta (*Flyover* Manahan, *Flyover* Purwosari) dan (*Flyover* Klonengan) di Tegal, maka dari itu peneliti akan menganalisis tanah yang berada di *Flyover* Klonengan yang berada di Tegal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, maka permasalahan yang akan ditinjau dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapa angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila menggunakan timbunan pilihan yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi?
2. Berapa angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila menggunakan timbunan pilihan yang ditinjau secara bertahap?
3. Berapa angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila menggunakan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi?
4. Berapa angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila menggunakan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap?
5. Bagaimana perbandingan faktor keamanan dan penurunan timbunan ringan mortar busa dengan timbunan pilihan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan didapatkan berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila menggunakan timbunan pilihan yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi.
2. Mengetahui angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila menggunakan timbunan pilihan yang ditinjau secara bertahap.
3. Mengetahui angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila menggunakan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi.
4. Mengetahui angka faktor keamanan dan penurunan tanah dasar apabila

menggunakan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap.

5. Mengetahui perbandingan faktor keamanan dan penurunan antara timbunan ringan mortar busa dan timbunan pilihan.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan Tujuan penelitian di atas maka didapatkan manfaat penelitian sebagai berikut.

1. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang kinerja timbunan ringan mortar busa dibandingkan dengan timbunan tanah pilihan sebagai oprit jembatan
2. Penelitian dapat digunakan sebagai acuan atau pertimbangan dalam memilih timbunan pada oprit jembatan, terutama untuk di daerah bertanah dasar lunak.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada *Flyover* Klonengan, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah.
2. Penelitian ini hanya menganalisis faktor keamanan dan penurunan menggunakan aplikasi *Plaxis*.
3. Penelitian ini akan membandingkan 2 timbunan, yaitu timbunan ringan mortar busa dan timbunan tanah pilihan dengan kemiringan 1:2 dan dinding penahan tanah.
4. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diambil dari proyek yang bersangkutan dan studi literatur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Adapaun penelitian terdahulu yang digunakan dalam penelitian ini dan perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan sekarang.

2.1.1 Timbunan Ringan Mortar Busa

Material Ringan Mortar Busa adalah material ringan yang berasal dari campuran mortar yang dikembangkan dengan senyawa kimia foam. Material ini merupakan teknologi baru didunia konstruksi Indonesia. Konstruksi bangunan khususnya timbunan sudah banyak memakai diantara pada penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat et al., 2016) dengan judul “Analisis Material Ringan Dengan Mortar Busa pada Konstruksi Timbunan Jalan” , penelitian ini tentang penerapan material ringan mortar busa dan untuk mengetahui perbandingan deformasi pada tanah dasar akibat beban timbunan . metode yang digunakan dengan menggunakan program *Plaxis* dengan hasil yang didapat deformasi sebesar 39,9 mm.

Peneliti asal polandia (Kadela et al., 2017) melakukan penelitian dengan judul “ Application of foamed concrete in road pavement – weak soil system” melakukan penelitian terkait sifat dari material ringan tersebut apabila diterapkan pada lapisan subbase pada permasalahan tanah lunak. Hasil penelitian menunjukkan adanya campuran foam pada material ini dapat menurunkan kuat lentur sehingga tegangan tarik maksimalnya 0,039 MPa , nilai tersebut lebih kecil dibandingkan beton biasa sebesar 0,55 – 0,67 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa material ringan mortar busa sangat cocok dipasang pada lapisan subbase. Indonesia sendiri selain melakukan penerapan 6 material ringan pada lapisan pondasi bawah jalan juga diterapkan pada oprit jembatan.

Peneliti (Atamini & Moestafa, 2018) dengan judul “ Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan” melakukan penelitian [ada *Flyover* Antapani, Kota Bandung dengan menggunakan program *Plaxis Profesional 8,6* dengan permodelan timbunan ringan mortar busa yang memiliki nilai penurunan sebesar 3,53 cm dan faktor aman sebesar 2,74. Peneliti lain (Bramantya, 2021) dengan judul “Analisis Nilai Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Ringan Mortar Busa dan Timbunan Tanah Konvensional pada Oprit Jembatan” menggunakan studi kasus *Flyover* Purwosari Surakarta. Penelitian dilakukan dengan menggunakan Program *Plaxis* dengan melakukan permodelan timbunan ringan dengan mortar busa dengan model beban merata dan penambahan beban gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan pada timbunan ringan mortar busa memiliki nilai paling besar dan nilai penurunan tanah dasar paling kecil dibandingkan dengan tanah konvensional dengan variasi kemiringan dan kekuatan.

Timbunan tanah konvensional merupakan material tanah yang digunakan dalam struktur timbunan jalan. Timbunan tanah konvensional masih sangat banyak dipakai diberbagai konstruksi di Indonesia. Peneliti (Hidayat et al., 2016) dengan judul “Analisis Material Ringan Dengan Mortar Busa pada Konstruksi Timbunan Jalan” juga melakukan permodelan dengan menggunakan tanah konvensional dengan nilai penurunan lebih besar dibandingkan material ringan yaitu sebesar 6810 mm. Penelitian yang membandingkan material ringan dengan tanah konvensional pada konstruksi Oprit Jembatan. Peneliti (Atamini & Moestafa, 2018) melakukan pembandingnya dengan menggunakan tanah konvensional yang dimodelkan dengan seperti geometri dengan hasil nilai penurunan sebesar 13,79 cm dengan nilai faktor aman sebesar 1,36.

Peneliti lain dengan studi kasus *Flyover* Purwosari Surakarta (Bramantya, 2021) Analisis dilakukan dengan aplikasi *plaxis* dengan melakukan permodelan timbunan dengan material ringan mortar busa, variasi kemiringan lereng tanah konvensional, dengan dinding penagan tanah

2.1.2 Stabilitas Oprit Jembatan

Oprit jembatan merupakan bagian struktur jembatan yang umumnya berupa konstruksi lereng dengan variasi kemiringan dan dengan perkuatan, material yang digunakan adalah material tanah konvensional pada umumnya. Oprit jembatan merupakan konstruksi yang perlu ditinjau faktor amannya. Penelitian yang dilakukan dengan studi kasus oprit jembatan yang dilakukan oleh (Atamini & Moestafa, 2018) pada oprit *flyover* Antapani Kota Bandung dan (Bramantya, 2021) pada oprit *flyover* Purwosari, Kota Surakarta yang bertujuan untuk membandingkan nilai *safety factor* timbunan ringan mortar busa dengan timbunan tanah konvensional menggunakan metode elemen hingga atau *Plaxis* menunjukkan hasil bahwa nilai kestabilan oprit yang diindikasikan dengan nilai faktor aman diperoleh nilai faktor aman pada permodelan dengan material ringan mortar busa memiliki nilai yang cukup besar dibandingkan dengan permodelan dengan timbunan tanah konvensional. Peneliti lain (Gati, 2018) dengan judul “Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan Dan Prediksi Timbunan Yang Terjadi Dengan Menggunakan Program *Plaxis*” dengan tujuan untuk mengetahui kestabilan lereng dengan perbandingan variasi ketinggian timbunan dengan menggunakan metode elemen hingga atau *Plaxis* dan metode irisan. Hasil menunjukkan nilai timbunan 8 dengan ketinggian 3 meter sebesar 1,3198, permodelan timbunan dengan ketinggian sebesar 5 meter diperoleh nilai faktor aman sebesar 1,2618 dan dengan konstruksi timbunan setinggi 8 meter diperoleh nilai faktor aman sebesar 1,2893 dengan kategori yang didapat timbunan dalam kategori aman.

2.1.3 Penurunan Tanah Oprit Jembatan

Penurunan tanah merupakan salah satu aspek tinjauan dalam merencanakan oprit jembatan dengan penimbunan. Hal ini dikarenakan oprit jembatan memiliki kemungkinan adanya penurunan pada saat adanya pembebanan yang dapat dianalisis dengan tinjauan konsolidasi. Aspek perencanaan yang diantaranya dilakukan oleh peneliti (Bahari & Hamdhan, 2017) dengan judul penelitian “Analisis Geoteknik pada Teknologi Corrugated Mortar Pujatan (CMP) dalam Perencanaan Flyover Antapani”

menjelaskan penelitian yang dilakukan dengan permodelan timbunan ringan mortar busa pada flyover Antapai dengan permodelan dengan tanah dasar berupa tanah asli dan tanah lunak menggunakan Program Plaxis 3D. Hasil yang ditunjukkan adalah nilai penurunan sebesar 12,73 pada tanah asli dan 21,78 pada tanah lunak, kedua nilai tersebut memenuhi syarat penurunan seketika.

2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian yang sudah ada sebelumnya dan dijelaskan, maka terdapat perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang. Untuk lebih detailnya perbedaan penelitian terdahulu tentang analisis stabilitas timbunan ringan mortar busa dengan penelitian yang akan dilakukan sekarang oleh peneliti, dan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneliti	Hidayat dkk (2016)	Kozlowski (2017)	Bahari dkk (2017)	Atamini (2018)	Gati (2018)	Bramantya (2021)	Faiz (2022)
Judul Penelitian	Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa pada Konstruksi Timbunan Jalan	<i>Application of foamed concrete in road pavement-weak soil system</i>	Analisis Geoteknik pada Teknologi <i>Corrugated</i> Mortar Busa Pujatan (CMP) dalam perencanaan <i>Flyover</i> Antapani	Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi kasus : <i>Flyover</i> Antapani Kota Bandung)	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan dan Prediksi Timbunan yang dapat terjadi dengan Menggunakan Plaxis	Analisis Stabilitas dan penurunan timbunan ringan mortar busa dengan timbunan tanah konvensional (studi kasus : Proyek flyover Purwosari Surakarta, Jawa Tengah)	Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan Menggunakan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi kasus : Proyek Flyover Klonengan, Kabupaten Tegal Provinsi Jawa Tengah)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan deformasi pada tanah dasar akibat beban timbunan menggunakan timbunan tanah konvensional dengan timbunan ringan	Mengetahui sifat mekanis dari bahan beton ringan berbusa sehingga dapat memenuhi syarat sebagai lapisan subbase pada kondisi tanah lunak	Membandingkan teknologi <i>mortar busa</i> pada tanah lunak dan menganalisis deformasi pada pondasi akibat beban lalu lintas dan beban timbunan	Mengetahui evaluasi perilaku deformasi stabilitas dan penurunan timbunan ringan mortar busa dibandingkan dengan tanah laterit	Mengetahui kestabilan lereng dengan perbandingan variasi ketinggian dengan metode plaxis	Mengetahui perbandingan nilai stabilitas dan penurunan tanah dasar antara timbunan tanah konvensional dan timbunan ringan mortar busa	Mengetahui perbandingan stabilitas dan penurunan antara timbunan ringan dengan timbunan tanah pilihan
Parameter yang di uji	Penurunan dan deformasi pada CMP dan timbunan tanah konvensional	Nilai porositas, nilai masa jenis, kuat tekan , kuat lentur	Penurunan dan deformasi pada pondasi akibat timbunan dan beban lalu lintas	Deformasi penurunan dan stabilitas material timbunan	Nilai stabilitas lereng dengan indikasi faktor aman	Nilai faktor keamanan stabilitas dan nilai penurunan berdasarkan pembeana	Nilai faktor keamanan stabilitas dan penurunan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Metode penelitian	Pengumpulan data fisik tanah dan data sekunder dengan analisis menggunakan Plaxis 2D	Penelitian dengan menguji sejumlah spesimen untuk mengetahui kuat lentur yang kemudian dilakukan permodelan numerik dengan kondisi tanah lunak	Analisis dilakukan dengan data geometri, data tanah dan kriteria campuran ringan mortar busa dengan program plaxis 3D	Analisis dilakukan dengan menggunakan Plaxis Profesional 8.6 berbasis <i>finite element method</i> permodelan perkuatan DPT dan kemiringan 1 : 1,25	Permodelan dengan menggunakan 3 variasi ketinggian yang diaplikasikan kedalam program Plaxis 8.5 dengan dibandingkan dengan metode irisan	Analisis dilakukan dengan aplikasi plaxis dengan melakukan permodelan timbunan dengan material ringan mortar busa, variasi kemiringan lereng tanah konvensional, dengan dinding penahan tanah	Analisis dilakukan dengan aplikasi plaxis 2D dengan metode tinjauan bertahap dan langsung akhir konstruksi dengan timbunan yang dimodelkan 1 : 2 dan dinding penahan tanah
Hasil Penelitian	Timbunan tanah konvensional mengalami	Nilai kuat tekan lentur beton ringan berbusa	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan besar	Timbunan ringan mortar busa memiliki nilai penurunan lebih	Timbunan dengan variasi ketinggian 3 meter memiliki	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan pada	Timbunan ringan mortar busa memiliki faktor kemanann yang

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

<p>deformasi yang cukup besar yaitu 6000 mm, sementara pada timbunan ringan mortar busa pada pembebanan merata 39,9 mm dan pada pembebanan terpusat 98,3 mm</p>	<p>memiliki kuat lentur sebesar 0,039 Mpa sehingga lebih rendah dari beton biasa sehingga berpotensi menjadi bahan subbase jalan</p>	<p>pada asumsi tanah asli sebesar 8,79 mm – 12,73 mm sementara pada asumsi tanah lunak sebesar 9,60 mm – 21,78 mm dengan sudut penurunan fondasi kurang dari 1 : 300</p>	<p>kecil dibandingkan tanah timbunan konvensional berdasarkan permodelan dengan perkuatan maupun dengan kemiringan lereng</p>	<p>sf sebesar 1,3198 , ketinggian 5 m memiliki sf 1,2618 dan ketinggian pada 8 meter memiliki nilai sf 1,2893</p>	<p>timbunan ringan mortar busa memiliki nilai paling besar dan nilai penurunan tanah dasar paling kecil dibandingkan dengan tanah konvensional dengan variasi kemiringan dan perkuatan.</p>	<p>lebih besar dan penurunan yang lebih kecil dibandingkan timbunan tanah pilihan dengan pekuatan tanah dan kemiringan lereng</p>
---	--	--	---	---	---	---

(Sumber : Hidayat dkk (2016), Kozlowski (2017), Bahari dkk (2017), Atamini (2018), Gati (2018), Bramantya (2021))

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das Braja M, 1988).

Tanah lunak merupakan tanah yang jika tidak dikenali dan diteliti secara detail dapat menyebabkan kestabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat di tolerir, tanah lunak memiliki kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Tanah lunak sendiri dibedakan menjadi dua yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut.

Tanah dasar berupa tanah lempung mempunyai daya dukung dan kuat geser yang rendah yang berakibat pada kerusakan konstruksi yang berada di atasnya sehingga tanah dasar seperti harus bersifat keras untuk menyesuaikan persyaratan teknis. Indonesia sebagian besar memiliki karakteristik tanah lempung dengan plastisitas tinggi.

3.2 Timbunan Ringan Mortar Busa

Mortar busa merupakan optimalisasi penggunaan busa (foam) dengan mortar (pasir, semen, dan air) berkekuatan tinggi sehingga ideal menjadi dasar atau perkerasan jalan pada tanah lunak yang berfungsi untuk mengganti timbunan tanah dengan kering $7-8 \text{ kN/m}^3$, dan kuat tekan bebas minimal 800 kPa. Timbunan ringan mortar busa memiliki beberapa kriteria sebagai berikut.

1. Mempunyai berat yang ringan, sehingga nilai kepadatan dari material campuran

mortar busa tersebut mempunyai nilai densitas 0,5 – 1,2 t/m³.

2. Mempunyai nilai *flow* (kekentalan adukan) yang diindikasikan untuk memudahkan pelaksanaan di lapangan. Nilai *flow* yang disyaratkan pada pedoman geoteknik umumnya berkisar 180 + 20 mm.
3. Saat pelaksanaan mudah disemprotkan dengan menggunakan alat mesin penyemprot dan dapat padat sendiri, karena berperilaku seperti mortar beton, dimana material campuran tersebut dapat mengeras sesuai dengan waktu pemeraman (*curing time*) yang ditetapkan.
4. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi. Kuat tekan minimum material ringan mortar busa harus merujuk pada spesifikasi teknis, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Desain Mortar Busa untuk Bangunan Jalan

No	Desain Mix Formula	Kuat Tekan Minimum 14 Hari		Densitas Kering Maksimum [gr/cm ³]
		[Kpa]	[kg/cm ³]	
1	Lapis fondasi bawah (<i>subbase</i>)	800	8	0,6
2	Lapis fondasi (<i>base</i>)	2000	20	0,8

(sumber : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2015)

3.3 Timbunan Pilihan dan Timbunan Pilihan Berbutir

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 (2010), Timbunan pilihan digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah dasar pada lapisan penompang dan jika diperlukan di daerah galian. Timbunan pilihan juga dapat digunakan untuk stabilitas lereng atau pekerjaan pelebaran timbunan jika diperlukan lereng yang lebih curam karena keterbatasan ruang, dan untuk pekerjaan timbunan lainnya dimana kekuatan timbunan adalah faktor yang kritis. Timbunan pilihan berbutir biasanya digunakan sebagai penopang pada tanah lunak yang mempunyai CBR lapangan kurang 2% yang tidak dapat ditingkatkan dengan pemadatan atau stabilisasi, di atas rawa, daerah berair dan lokasi serupa dimana bahan timbunan pilihan dan biasa

tidak dapat dipadatkan dengan baik.

Baik timbunan pilihan maupun timbunan pilihan berbutir digunakan untuk penimbunan kembali pada abutment dan dinding penahan tanah serta daerah kritis lainnya yang memiliki jangkauan terbatas dengan alat. Bahan timbunan pilihan yang digunakan memerlukan kuat geser yang cukup. Apabila dilaksanakan dengan pemadatan kering normal, maka timbunan pilihan dapat berupa timbunan batu atau krikil bergradasi baik atau lempung pasir atau lempung berplastisitas rendah. Jenis bahan yang dipilih tergantung pada kecuraman dari lereng timbunan yang akan dibangun atau pada tekanan yang akan dipikul

3.4 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah kebawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring yang disebut dengan analisis stabilitas lereng (Hardiyatmo 2010).

Faktor yang dapat mempengaruhi stabilitas suatu lereng dibagi menjadi dua yaitu pengaruh luar berupa pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Sementara pengaruh dalam berupa longsoran yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi (Hardiyatmo, 2010).

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas. Adapun parameter dalam analisis stabilitas suatu lereng adalah faktor aman (safety factor, F) dari bidang longsor yang berpotensi terjadi. klasifikasi kestabilan lereng berupa faktor aman (Joseph E. Bowles, 1986) dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut

Tabel 3. 2 Faktor Keamanan Minimum Untuk Stabilitas

Faktor Keamanan	Intensitas Kelongsoran
$FK < 1,07$	Longsor biasa/sering (kelas labil)
$1,07 < FK < 1,25$	Longsor pernah terjadi (kelas kritis)
$FK > 1,25$	Longsor jarang terjadi (kelas kritis)

Sumber : (Joseph E. Bowles, 1986)

Stabilitas suatu lereng bergantung pada nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam tanah (ϕ). Tanah dengan kondisi semakin kering umumnya memiliki faktor aman yang tinggi. Sebaliknya pada kondisi tanah yang semakin jenuh umumnya faktor aman semakin kecil. Hal yang menyebabkan ketidakstabilan lereng disebabkan oleh muka air tanah yang naik sehingga menambah derajat kejenuhan dan tekanan air pori sehingga mengurangi tegangan efektif dan kuat geser tanah. Analisis stabilitas lereng terdapat asumsi yang dapat menjadi acuan antara lain sebagai berikut.

1. Kelongsoran lereng terjadi disepanjang permukaan bidang longsor dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif.
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik pada sepanjang bidang longsor bergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata rata sepanjang permukaan longsor.

Pengaruh stabilitas suatu lereng dibagi menjadi dua oleh Terzaghi pada buku (Hardiyatmo, 2010) yaitu pengaruh luar berupa pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Sementara pengaruh dalam berupa longsor yang terjadi tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Faktor aman stabilitas lereng didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan seperti pada Persamaan 3.1 berikut.

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.1)$$

Menurut Mohr Coloumb tahanan geser maksimum adalah tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang longsong. 19 Sementara nilai tegangan geser yang terjadi dapat didefinisikan akibat dari beban tanah dan beban lain pada bidang longsor Stabilitas pada oprit jembatan dapat dilakukan analisa berdasarkan jenis konstruksi oprit jembatan yang dipakai. Nilai kestabilan oprit jembatan dikatakan memenuhi syarat dapat mengacu pada SNI 8640:2017 dengan ketentuan nilai faktor aman seperti pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Kriteria Perancangan Gempa Berdasarkan Peruntukan Infrastruktur

Peruntukan	Umur Rencana (Tahun)	Probabilitas Terlampaui (%)	Periode Ulang (Tahun)	Kriteria Keamanan	Referensi
Bangunan Gedung dan Non Gedung	50	2	2500		SNI 1726:2012
Jembatan Konvesional	75	7	1000		SNI 2833 : 201x dan AASHTO 2012
Dinding Penahan Tanah Abutment	75	7	1000	FK>1,5 (terhadap geser saat mengalami beban statik),FK>2 (terhadap guling saat mengalami beban statik), dan FK>1,1 (terhadap beban pseudostatik)	WSDOT DHWA-NJ2005-00
Timbunan Oprit				FK > 1,1	
Bendungan	100	1	10000 Safety Evaluation	- Tidak terjadi aliran air yang tak terkendali	ICOLD No.148 , 2016

$$F = \frac{\text{jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}}$$

$$F = \frac{\sum Mr}{\sum Md}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $\sin \theta$, maka seperti pada Persamaan 3.3 berikut.

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.3)$$

Dengan,

R = jari – jari lingkaran bidang longsor

N = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke- i

θ_i = sudut yang didefinisikan pada Gambar 3.1

Momen yang menahan tanah akan longsor di definisikan

$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (c_i + N \operatorname{tg} \varphi)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman seperti pada Persamaan 3.4 berikut.

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} (c_i + N \operatorname{tg} \varphi)}{R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.4)$$

2. Metode Elemen Hingga

Metode keseimbangan batas dimungkinkan untuk melakukan elevasi lereng dengan cepat. Namun perlu memperhatikan lereng timbunan baru, lereng yang baru digali, lereng alami. Tegangan dalam lereng sangat dipengaruhi oleh nilai K_0 yaitu rasio tegangan lateral dengan tegangan vertikal efektif dimana perhitungan 2D konvensional memiliki kelemahan dalam distribusi tegangan sehingga mempengaruhi nilai stabilitas suatu lereng. Metode elemen hingga pertamakali dikenalkan oleh Clough dan Woodward (1967) tapi penggunaannya terbatas pada struktur tanah yang kompleks. Kasus khusus yang dimaksudkan adalah adanya pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap sehingga

berpengaruh pada nilai deformasinya. Metode ini secara langsung bergantung pada model konstitutif yang dipilih yang secara realistis mensimulasikan non linier dari tanah pembentuk lereng.

3.5 Konsolidasi

Bila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori di dalam tersebut segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah yang diikuti penurunan tanahnya. Karena permeabilitas tanah yang rendah, maka proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik refrensi ketinggian pada tempat tertentu (Hardiyatmo H.C., 2010)

Faktor – faktor yang mempengaruhi konsolidasi secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktivitas penambangan).

Penurunan konsolidasi primer merupakan penurunan yang diakibatkan oleh kecepatan air keluar meninggalkan rongga pori akibat adanya penambahan tekanan.

Fase ini sangat dipengaruhi oleh sifat tanah seperti permeabilitas, kompresibilitas, 23 angka pori, bentuk geometri tanah, tebal lapisan mampat, pengembangan arah horizontal dari zona mampat, dan batas lapisan lolos air. Kondisi Normally Consolidated merupakan kondisi tanah memiliki nilai overbudden efektif yang tinggi atau maksimum. Pada kondisi pra pembebanan mengalami fase kondisi prakonsolidasi yang memiliki tekanan overbudden efektif yang tinggi. Adapun analisis perhitungan penurunan konsolidasi primer pada kondisi normally consolidated dapat dilihat pada Persamaan 3.5 berikut.

$$S_c = H \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{p_{o'} + \Delta p}{p_{o'}} \quad (3.5)$$

Dimana

S_c = Penurunan Primer (m)

C_c = Indeks kompresi tanah

$p_{o'}$ = tekanan overbunden efektif (kN/m²)

Δp = perubahan tegangan vertikal (kN/m²)

e_0 = Angka pori

H = Tebal lapisan tanah (m)

Adapun parameter yang digunakan untuk menghitung penurunan konsolidasi primer sebagai berikut.

1. Indeks Kompresi Tanah (C_c)

Indeks kompresi tanah didefinisikan sebagai parameter untuk menghitung penurunan yang ditentukan oleh hasil uji di laboratorium atau mengacu pada rumus Hough (1957) yang ditunjukkan pada Persamaan 3.6 berikut.

$$C_c = 0,30 \times (e_0 - 0,5) \quad (3.6)$$

Dimana

e_0 = Angka Pori

2. Tegangan overbunden efektif

Tegangan overbunder efektif merupakan tegangan vertikal efektif dari suatu lapisan tanag asli akibat beban yang ditinjau di atas titik tanah asli (Winner,2017). Nilai tegangan overbunden efektif dapat ditinjau pada Persamaan 3.7 berikut.

$$p_0' = \gamma' x H \quad (3.7)$$

Dimana

p_0' = tekanan overbunden efektif

H = Tebal lapisan tanah

γ' = berat volume tanah efektif

3. Distribusi tegangan tanah

Penambahan tegangan tanah akibat pengaruh beban diatas tanah yang ditinjau dari titik tengah setiap lapis tanah. Perhitungan penambahan tegangan didefinisikan seperti pada Persamaan 3.8 berikut.

$$\Delta p = q x I \quad (3.8)$$

Dengan nilai q didefinisikan pada Persamaan 3.9 berikut.

$$q = \gamma_{\text{timbunan}} x H \quad (3.9)$$

Dimana

Δp = perubahan tegangan vertikal

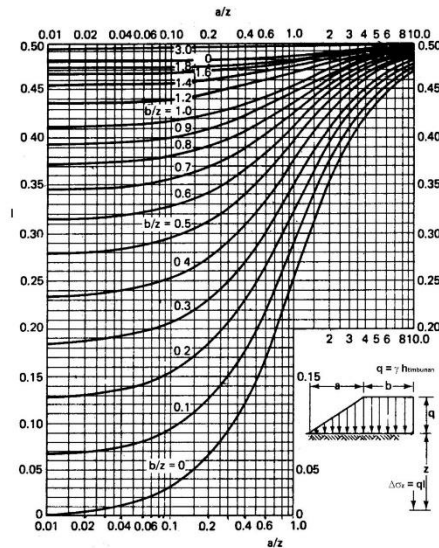
q = beban timbunan

H = Tebal lapisan tanah

γ_{timbunan} = berat volume tanah timbunan

I = faktor pengaruh

Nilai faktor pengaruh dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan (Osterberg, 1957)

Nilai penurunan memiliki batas batas tertentu dalam kriteria penurunannya. Penurunan tanah yang dilakukan dalam pelaksanaan yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 5 Syarat Penurunan Izin

Kriteria	Tipe Jembatan	Batasan	Referensi
Penurunan seketika ditiap titik	Semua Tipe	Penurunan <25,4 mm	(Pailowsky,2005)
Beda penurunan seketika vertikal antar abutment	Jembatan Beton	Penurunan <76,2 mm Dengan jarak >30,48	(Pailowsky,2005)
Penurunan total izin	Semua Jenis Struktur Bawah	Penurunan <15 cm + b/600 Beda penurunan tidak membentuk sudut >1:300	RSNI3 8640:2017

Sumber : (Bahari & Hamdhan, 2017)

3.6 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan keruntuhan tanah yang miring yang memiliki tingkat kestabilan rendah. Menurut Hardiyatmo (2010), bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan

tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat fondasi. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah, sangat bergantung pada gerakan tanah kearah lateral tanah relatif terhadap dinding. Tipe dinding penahan tanah antara lain adalah dinding gravitasi, semi gravitasi, kantilever, counterfort , krib dan tanah bertulang. Dinding penahan tanah yang sudah dirancang perlu dilakukan analisis terhadap beberapa tinjauan stabilitas nya antara lain sebagai berikut.

1. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Pergeseran

Dinding penahan tanah dapat mengalami pergeseran dikarenakan beban tanah timbunan yang ada didalam strukturnya serta beban yang dapat mempengaruhi kekuatan dinding penahan tanah. Gaya yang dapat menahan dinding penahan tanah dari pergeseran adalah adanya gesekan tanah dengan dasar fondasi serta tekanan tanah pasif didepan dinding penahan tanah. Faktor aman terhadap penggeseran dapat diperhitungkan pada Persamaan 3.10, 3.11 berikut.

$$F_{gs} = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1,5 \quad (3.10)$$

Untuk tanah dengan nilai $c > 0$ dan $\phi > 0$

$$\sum Rh = Ca \times B + W \tan \delta b \quad (3.11)$$

Keterangan

$\sum Rh$ = Tahanan Dinding penahan Tanah terhadap penggeseran

W = Berat total dinding penahan tanah dan tanah diatas nya (kN)

δb = Sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi

ca = kohesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m²)

c = kohesi tanah dasar (kN/m²)

B = Lebar fondasi (m)

$\sum Ph$ = gaya horizontal (kN)

$\tan \delta b$ = koefisien geser tanah dasar dan fondasi

Adapun nilai koefisien geser dasar fondasi dan tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 6 Koefisien gesek dasar fondasi dan tanah dasar

Jenis tanah dasar fondasi	$\tan\delta_b$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

2. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggulingan

Stabilitas dinding penahan tanah perlu ditinjau terhadap penggulingan. Tekanan tanah lateral pada belakang dinding penahan tanah dapat menggulingkan dinding penahan tanah dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi. Momen ini disebut penggulingan dapat ditahan oleh momen akibat berat sendiri dan akibat berat tanah diatas dinding penahan tanah. Adapun faktor aman terhadap penggulingan dapat dihitung seperti pada Persamaan 3.11 berikut.

$$Fgl = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} \quad (3.11)$$

Keterangan :

$$\sum Mw = \text{Momen penahan penggulingan (kNm)}$$

$$\sum Mgl = \text{Momen pengguling (kNm)}$$

Syarat terhadap penggulingan untuk tanah dasar granuler $> 1,5$ dan untuk tanah kohesif $> 2,0$

3. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Stabilitas dinding penahan tanah terhadap kapasitas dukung ditinjau agar mengetahui kedudukan dinding penahan tanah dapat stabil diatas tanah dasar. Perhitungan nilai stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah dihitung dengan Persamaan Hansen (1970) seperti Persamaan 3.12 berikut.

$$qU = dciccNc + dqiqNqDf\gamma + dyiy0.5B\gammaNy \quad (3.12)$$

Keterangan :

q_U = Kapasitas Dukung Ultimate (kN)

$dcdqdy$ = faktor kedalaman

$iciqiy$ = faktor kemiringan beban

$N\gamma Nc Nq$ = faktor faktor kapasitas dukung

B = Lebar fondasi (m)

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

Untuk menghitung kestabilan dinding penahan tanah terhadap kapasitas dukung maka diperlukan untuk memperhitungkan nilai kapasitas dukung tanah tersebut dimana diperhitungkan dengan lebar efektif fondasi(Meyernhof) dengan Persamaan 3.13 berikut.

$$q = \frac{v}{B_1} \quad (3.13)$$

Keterangan

q = kapasitas dukung tanah (kN)

V = beban vertikal tanah (kN)

B' = lebar pondasi efektif (m)

3.7 Pembebanan

3.7.1 Beban Lalu Lintas

Berdasarkan panduan Geoteknik 4 (2002), beban lalu lintas harus ditambahkan ketika melakukan analisis stabilitas dengan menggunakan angkaangka yang ditunjukkan pada Tabel 3.6

Tabel 3. 7 Beban Lalu Lintas Untuk Analisis Stabilitas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata - rata	Beban Lalu Lintas (kN/m ²)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
		<10.000	12
Sekunder	Arteri	>20.000	15

		<20.000	12
	Kolektor	>6.000	12
		>6.000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

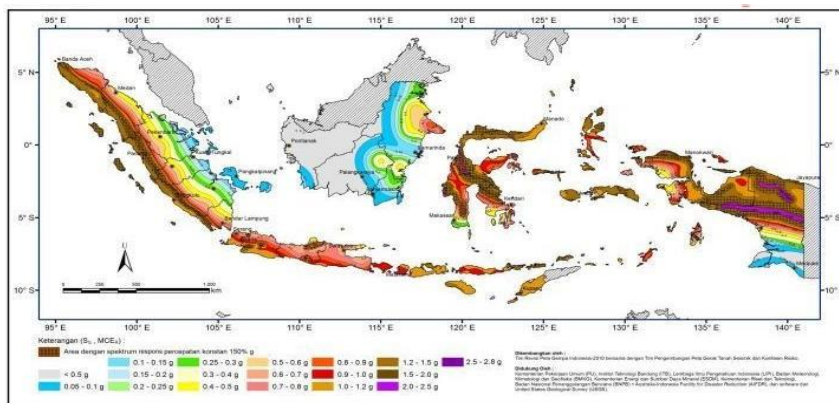
Sumber: Panduan Geoteknik 4 No Pt T-10-2002-B (DPU,2002b)

3.7.2 Beban Gempa

Gempa melepaskan energi yang menyebabkan adanya percepatan gelombang seismik menuju permukaan tanah. Beban dinamik pada gempa dapat meningkatkan tegangan geser pada lereng, mengurangi volume pori tanah pada lereng, serta menurunkan kuat geser tanah. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi stabilitas lereng akibat adanya gempa diantaranya :

1. Magnitude percepatan seismik
2. Durasi lamanya gempa
3. Karakteristik beban dinamik yang diakibatkan oleh guncangan gempa yang menimbulkan efek terhadap perilaku kuat geser dan perilaku tegangan regangan pada material lereng
4. Dimensi lereng

Zona gempa terakhir yang digunakan untuk desain di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Peta Zona Gempa di Indonesia

(Sumber : SNI 1726, 2021)

3.8 Plaxis

Program Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat (Brinkgreve, 2007). Program ini menerapkan metode antar muka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis.

Pemodelan tanah pada plaxis terdapat beberapa macam, model yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Model *Mohr Coulomb* dan *Elastic Linier*. Adapun parameter-parameter yang perlu diketahui untuk analisis dengan pemodelan *Mohr Coulomb* dan *Elastic Linier* adalah sebagai berikut.

1. Berat Volume Kering ($\gamma_{dry}/\gamma_{unsat}$)

Berat volume kering adalah perbandingan antara berat volume butir (W_s) dan volume total (V). Berat volume kering dapat dinyatakan dengan persamaan 3.13.

$$\gamma_{unsat} = \frac{W_s}{V} \quad (3.13)$$

2. Berat Volume Jenuh Air (γ_{sat})

Untuk berat volume jenuh air adalah perbandingan antara berat tanah dalam keadaan jenuh air, yaitu ruang pori terisi penuh oleh air (W), dengan volume total (V).

3. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Menurut Das (1988), nilai koefisien permeabilitas(k) setiap tanah berbeda-beda, berikut ini adalah nilai koefisien tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 8 Koefisien Permeabilitas pada Umumnya

Jenis Tanah	K		
	cm/detik	ft/menit	m/hari
Kerkir bersih	1,0 – 100	2,0 – 200	864
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02	864 – 8,64
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002	8,64 – 0,864
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002	0,864 – 0,00864
Lempung	Kurang dari 0,000001	Kurang dari 0,000002	0,000864

(sumber : Das 1998)

4. Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus elastisitas tanah menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *triaxial test* pada kondisi *undrained*. Nilai modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.8 berikut.

Lanjutan Tabel 3. 8 Nilai Perkerasaan Modulus Elastis Tanah

Jenis Tanah	E (kN/m ²)
<i>Lempung:</i>	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
<i>Pasir</i>	
Berlanau	5000 – 200000
Tidak Padat	10000 – 250000
Padat	50000 – 100000
<i>Pasir dan kerikil</i>	
Padat	80000 – 200000
Tidak Padat	50000 – 140000
<i>Lanau</i>	2000 – 20000
<i>Loess</i>	1500 – 60000
<i>Cadas</i>	140000 – 1400000

(Sumber: Bowles 1977)

5. Angka *Poisson* (ν)

Angka poisson merupakan perbandingan antara regangan horizontal (lateral strain) dan regangan vertikal (axial strain) yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder dan Witczak, 1975). Nilai angka poisson berdasarkan Bowles (1977) dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3. 10 Angka Poisson

Jenis Tanah	Angka <i>Poisson</i> (μ)
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar ($e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30

(Sumber: Bowles 1997)

6. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *triaxial test* dan *direct shear test*.

1. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam merupakan parameter yang menentukan kekuatan terhadap deformasi akibat tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada tanah. Nilai sudut geser dalam didapat dari pengujian properties tanah berupa *triaxial test* dan *direct shear test*. Berdasarkan Das (1994), nilai sudut geser tanah sehubungan dengan jenis tanahnya dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut ini.

Tabel 3. 11 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35 - 40
Kerikil kerakal	35 – 40
Pasir padat	35 – 40
Pasir Lepas	30
Lempung	25 – 40
Lanau	20 - 25

(Sumber: Das 1994)

Pemodelan elemen tanah pada program plaxis dapat dilakukan dalam 2 kondisi drainase, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Kondisi *drained*

Kondisi *drained* digunakan untuk tanah yang memiliki permeabilitas besar seperti tanah pasir, tanah yang memiliki pembebanan sangat lambat, serta untuk menstimulasikan perilaku dalam jangka panjang. Kondisi ini pada program plaxis digunakan untuk mengatur tidak ada kenaikan tekanan air pori (*porewater pressure*) pada material tanah.

2. Kondisi *undrained*

Kondisi *undrained* merupakan kondisi untuk tanah yang memiliki permeabilitas kecil seperti tanah lempung sehingga ketika diberikan *excess pore water pressure* tidak langsung terdisipasi atau teralirkan. Kondisi *undrained* pada program Plaxis digunakan untuk mengatur timbulnya kenaikan tekanan air pori (*excess pore waterpressure*) pada material tanah.

Pada analisis menggunakan program Plaxis terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Input data*

Dalam tahapan input data ini dilakukan pemodelan berupa data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *Meshing*, dan *initial condition*. Sehingga model yang dihasilkan dapat menggambarkan kondisi nyata yang ada di lapangan.

2. *Calculation*

Setelah dilakukan pemodelan pada tahap input, tahap selanjutnya adalah tahap *Calculation*. Pada tahap *Calculation* ini, analisis dilakukan sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam input data. Terdapat beberapa tipe *Calculation* yang disediakan, yaitu tipe *plastic*, *consolidation*, *phi/c reduction*, dan *dynamic analysis*.

3. *Output*

Hasil dari analisis pada tahap *Calculation* sebelumnya dapat dilihat pada tahap *output* ini. Hasil analisis pada tahap output dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. *Output* yang dikeluarkan dan akan ditinjau dalam penelitian kali ini berupa *Total Displacement*, potensi kelongsoran, *Safety Factor*, dan *total stresses*.

4. *Curve*

Selain dari *output* hasil dari analisis juga dapat berupa *curve*. *Curve* menggambarkan hasil dari semua tahapan perhitungan, dan menampilkan 2 parameter untuk melihat perbandingan dari masing-masing tahap perhitungan. *Curve* yang akan diambil sebagai perbandingan dalam penelitian ini adalah *curve* dari *Safety Factor*.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode yang akan dilakukan dalam penelitian adalah deskriptif kualitatif, yaitu penelitian dengan cara mengumpulkan data sekunder serta variabel yang diteliti kemudian dianalisis untuk diambil kesimpulannya. Teknik pengumpulan data yang akan diteliti adalah dengan cara mencari keterangan yang bersifat sekunder untuk kedepannya dipergunakan sebagai bahan penelitian. Data sekunder adalah data yang didapat melalui penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium yang dilakukan oleh petugas proyek tersebut. Adapun data – data informasi bawah tanah yang dibutuhkan yaitu : Bor Log dan SPT, sifat-sifat fisik tanah (w , G_s , γ , LL , PL , PI , SL , LS , KL), sifat-sifat mekanis tanah (c , ϕ , C_c , C_v).

Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah analisis stabilitas dan penurunan pada timbunan ringan dengan mortar busa dan timbunan tanah pilihan yang akan menggunakan program aplikasi Plaxis 8.6 berbasis elemen hingga. Pemodelan dilihat dari dua sudut pandang untuk timbunan ringan dengan mortar busa maupun timbunan pilihan yaitu akan ditinjau secara langsung dan secara bertahap. Pada timbunan pilihan pemodelan dilakukan dua tipe, yaitu dengan menggunakan kemiringan lereng 1:2 dan dinding penahan tanah (DPT) menggunakan beton.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada studi kasus Proyek *Flyover* Klonengan yang berlokasi di Desa Notogpintu, Kecamatan Margasari, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah. Dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth Diakses Pada 2 Februari 2022)

4.3 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan diantaranya sebagai berikut.

1. Tahap pengumpulan data, dimana pada tahap ini meliputi pengambilan data tanah dan data timbunan (data uji lapangan dan laboratorium), serta kondisi eksisting badan jalan pada lokasi studi kasus yang sudah ditentukan. Adapun data yang dibutuhkan ialah :
 - a data parameter tanah dasar (lapangan dan laboratorium)
 - b data parameter timbunan ringan mortar busa dan timbunan pilihan
 - c data geometri timbunan oprit jembatan *Flyover* Klonengan dan timbunan pilihan
2. Tahap pengolahan data dengan program aplikasi *Plaxis 8.6*, pada tahapan ini data yang telah didapat kemudian di input ke dalam aplikasi *Plaxis 8.6* untuk

dianalisis dan didapatkan output berubah nilai *Safety Factor* (SF) dan nilai penurunan tanah. Analisis timbunan ringan mortar busa dan timbunan pilihan akan dilihat dari dua sudut pandang, yaitu secara langsung dan secara bertahap. Untuk menghindari keruntuhan, timbunan pilihan akan diberi variasi berupa kemiringan lereng 1:2 dan dengan penahan dinding penahan tanah (DPT) berupa beton.

3. Tahap pengolahan data secara analitik berdasarkan data yang sudah didapat. Hasil dari pengolahan analitik ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengolahan data yang menggunakan program aplikasi *Plaxis 8.6*.
4. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan, setelah proses analisis dilakukan hingga mendapatkan hasil maka dilakukan pembahasan mengenai stabilitas dan penurunan tanah apabila menggunakan timbunan ringan mortar busa dan timbunan tanah pilihan, kemudian akan ditarik kesimpulan dari analisis tersebut.

4.4 Analisis Data

Data yang akan digunakan untuk analisis pada penelitian ini ini merupakan data sekunder yang didapat dari pihak terkait serta studi literature. Data yang didapat adalah sebagai berikut.

1. Data Tanah Dasar

Berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium yang dilakukan PT. Utama Karya, maka parameter tanah dasar pada lokasi studi kasus dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Parameter Tanah Dasar

Uraian	Simbol	Satuan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6	Lapisan 7
Kedalaman	H	m	0-8	8-18	18-24	24-32	32-46	46-48	48-50
Model Material	-	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
Tipe Drainage	-	-	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>
Berat Volume	γ	kN/m ³	16,769	15,004	13,337	17,455	19,024	18,828	18,828
Berat Volume Kering	γ_d	kN/m ³	11,571	9,218	7,649	13,435	14,709	14,709	14,219
Indeks Permeabilitas	kx, ky	m/hari	0,00241	0,000397	0,0000708	0,004064	0,864	0,864	0,00475
Modulus Young	E	kN/m ²	12000	18000	30000	72000	93000	99000	120000
Angka Possion	v	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kohesi	C	kN/m ²	20,601	22,563	21,582	45,126	45,126	52,974	56,898
Sudut Geser Dalam	Φ	°	4	5	5	4	5	3	5
Angka Pori	e	-	1,30	1,83	2,41	1,05	0,85	0,84	0,91
Batas Cair	LL	%	95,42	97,21	105,14	105,14	102,31	103,50	104,39

2. Data Timbunan

Data parameter timbunan ringan mortar busa disesuaikan berdasarkan ketentuan pada Surat Edaran Nomor: 42/SE/M/2015 Tentang Pedoman Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar Busa untuk Konstruksi Jalan, Kementerian PUPR. Sedangkan timbunan tanah pilihan diasumsikan menggunakan tanah merah laterit (Atamini, 2018), baik yang dengan menggunakan dinding penahan tanah maupun yang tidak. Data timbunan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Parameter Timbunan

Uraian	Timbunan Ringan Mortar Busa 800 kPa	Timbunan Tanah Pilihan
Model Material	<i>Linear Elastic</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
Tipe <i>Drainage</i>	<i>Non Pourous</i>	<i>Undrained</i>
γ_{unsat} [kN/m ³]	6	18
γ_{sat} [kN/m ³]	6	19
k [m/hari]	-	1.10 ⁻³
E	89635	10000
v	0,2	0,3
C [kN/m ²]	-	5
Φ [°]	-	25

3. Geometri Timbunan Badan Jalan

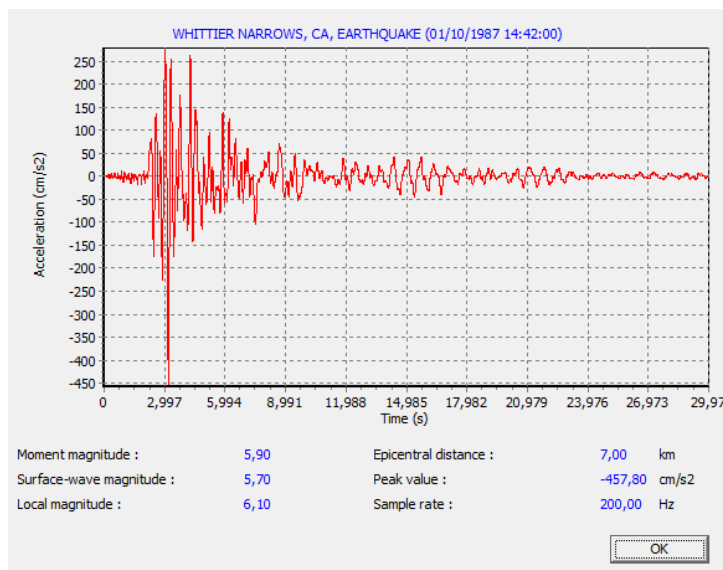
Geometri timbunan badan jalan dibuat untuk mengacu pada gambar potongan melintang oprit jembatan *Flyover* Klonengan.

4. Data Beton

Jalan pada *Flyover* Klonengan diasumsikan memiliki beban perkerasan sebesar 10 kN/m², sedangkan beban lalu lintas sebesar 15kN/m² sesuai dengan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan pada Tabel 3.5.

5. Beban Gempa

Beban gempa yang akan digunakan untuk analisis penelitian ini berdasarkan sumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman yang diakses melalui situs web www.puskim.pu.go.id. Lokasi penelitian yaitu *Flyover* Klonengan yang berada di Tegal memiliki percepatan puncak gempa atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) sebesar 0,364 g. Data gempa tersebut sesuai dengan data gempa dikawasan *Whittier Narrows* pada 1 Oktober 1987 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar 0,45 g (Gambar 4.2). Waktu interval gempa yang dimasukkan ke dalam *Plaxis* sebesar 4 detik yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

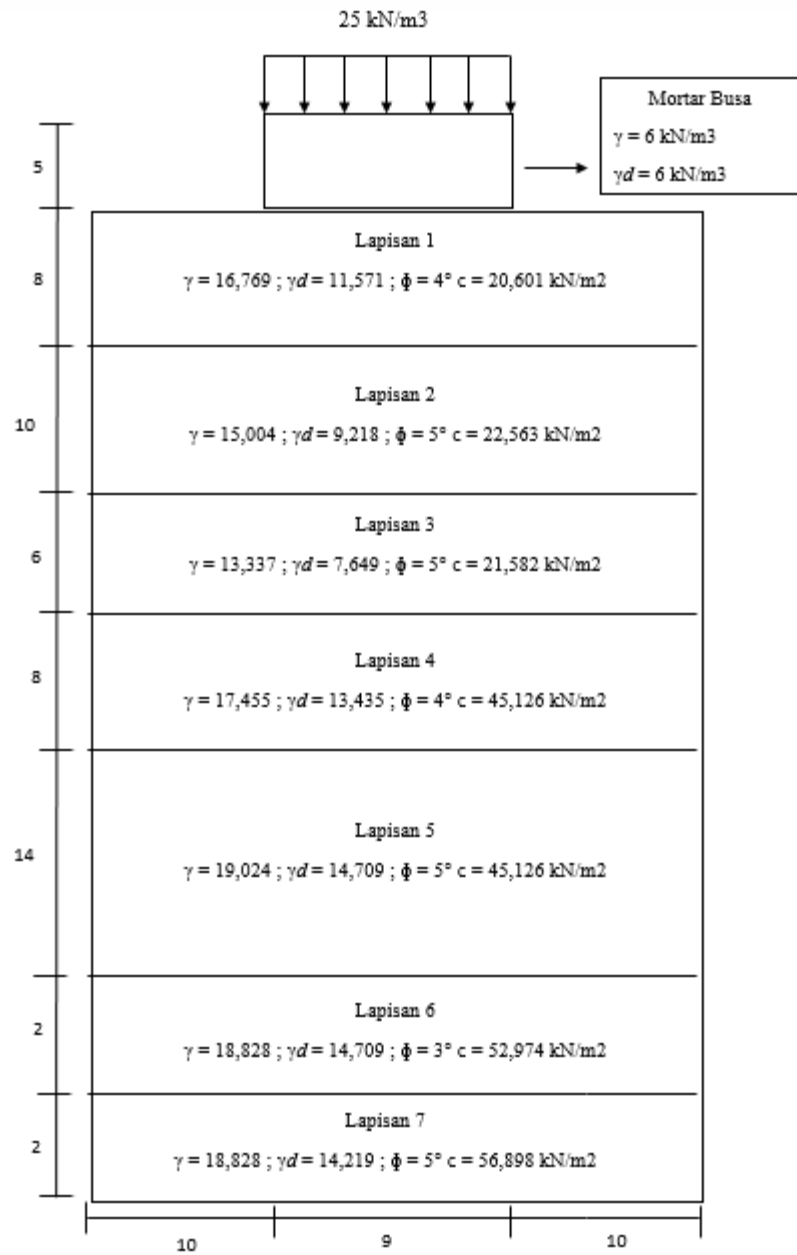


Gambar 4. 2 Grafik Hubungan antara Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows, 1987

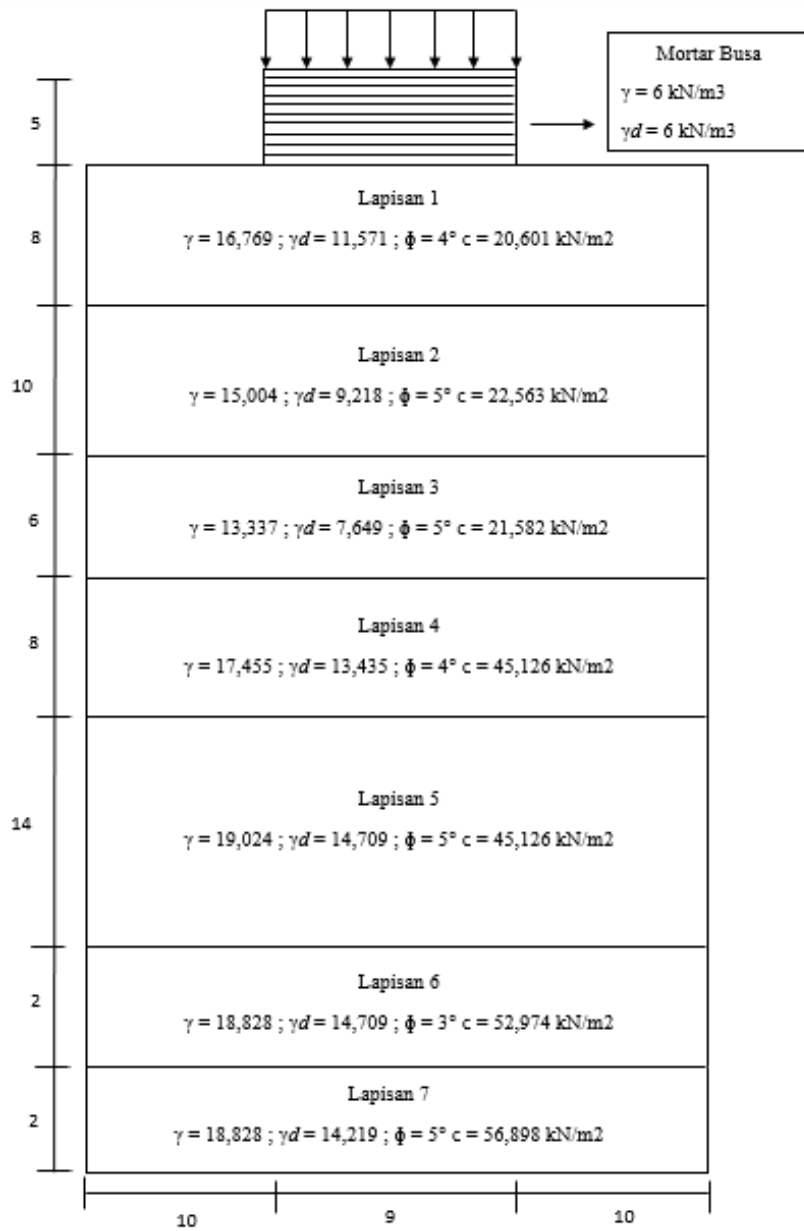
(Sumber : www.usgs.gov, 2017)

4.5 Data Geometri Jalan

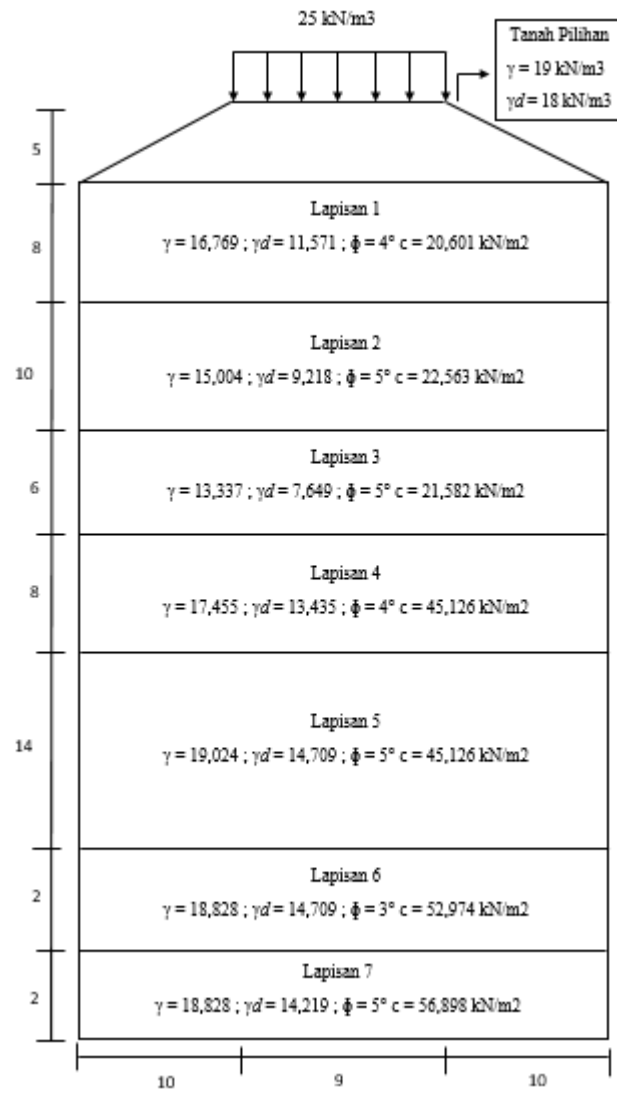
Berikut ini adalah data geometri badan jalan beserta jenis tanah pada setiap lapisan yang akan digunakan untuk analisis penurunan menggunakan *Plaxis* 8.6. Pemodelan badan jalan dapat dilihat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6.



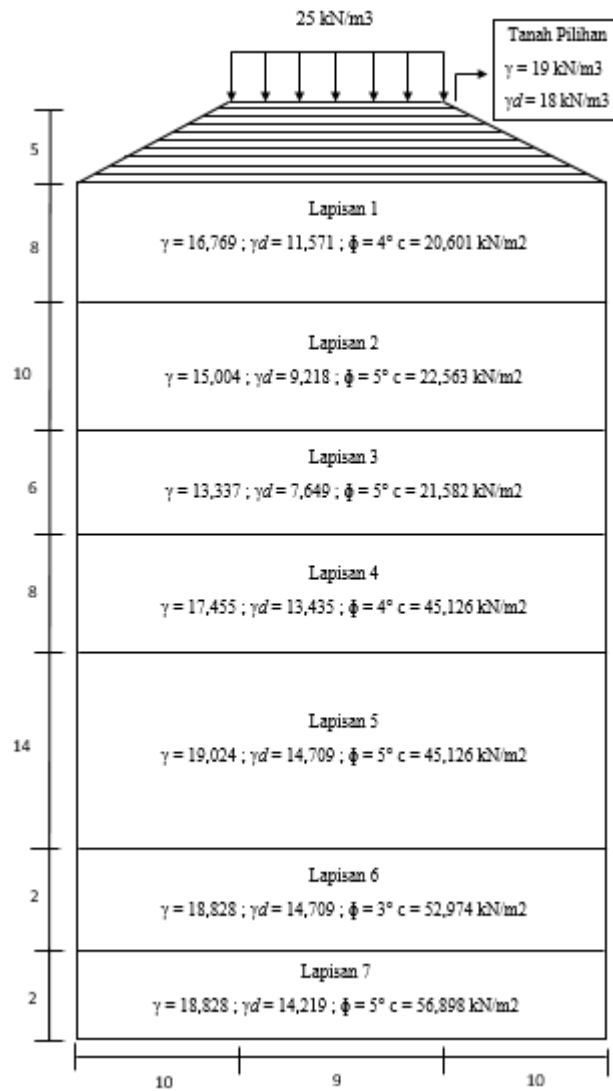
Gambar 4. 3 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung



Gambar 4. 4 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap



Gambar 4. 5 Pemodelan Timbunan Pilihan Ditinjau Langsung Akhir



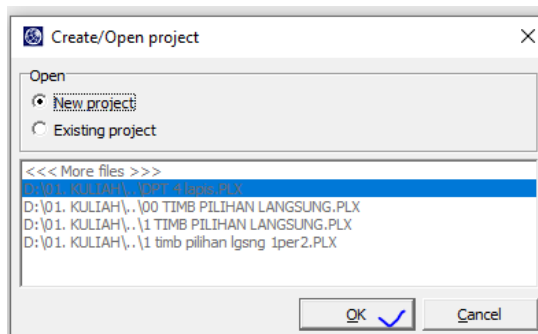
Gambar 4. 6 Pemodelan Timbunan Pilihan Ditinjau Bertahap

4.6 Analisis Data dengan Plaxis 8.6

Analisis pada tahapan aplikasi Plaxis terdiri dari 3, yaitu Plaxis *input*, Plaxis *calculation* dan Plaxis *output*. Langkah – langkah yang akan digunakan program aplikasi plaxis sebagai berikut.

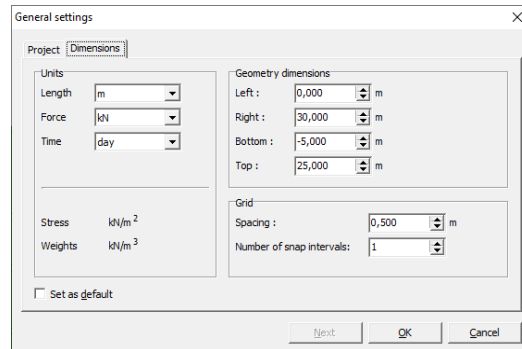
1. Plaxis *input*

- a. Buka program Plaxis dengan *double click* pada *icon* Plaxis *input*, kemudian akan muncul kotak dialog *Create/Open Project*, kemudian pilihlah *new project* untuk membuat *file* baru lalu klik OK yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.




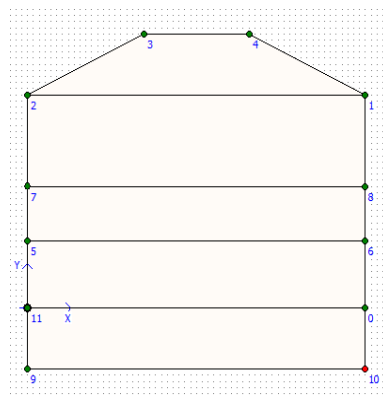
Gambar 4. 7 Kotak Dialog Create/Open Project

- b. Setelah tahap di atas, akan muncul kotak dialog *General Setting*. Terdapat 2 tab dalam *General Setting* ini, yaitu *project* dan *dimensions*. Pada tab *project*, isi nama *project* yang akan dianalisis pada kotak *dialog title*. Lalu pada *general options* pilih model *plane strain* dengan *elements 15-node* agar mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pada tab *dimensions*, dalam kotak *units* masukkan satuan-satuan yang akan digunakan saat menganalisis (*length: m, force: kN, time: day*). Kemudian pada kotak *geometry dimensions*, masukkan koordinat batas-batas bidang gambar (*left, right, bottom, top*) menyesuaikan dengan ukuran pemodelan yang akan dibuat. Lalu terdapat kotak *grid* untuk mengatur jarak antar titik yang terdapat pada area gambar untuk memudahkan menggambar pemodelan di Plaxis. Pada penelitian ini digunakan *spacing* 0,5 dan *number of snap interval* 1 seperti Gambar 4.8 berikut ini.





Gambar 4. 8 Kotak Dialog General Setting

- c. Setelah bidang penggambaran muncul, lakukan input object dengan klik *icon geometry countour* . Setelah itu akan muncul kursor berbentuk pensil. Letakan kursor pada titik 0,0 sebagai awal penggambaran geometri, lalu gambar geometri sesuai dengan koordinat yang sudah ditentukan. Contoh penggambaran geometri yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.9.

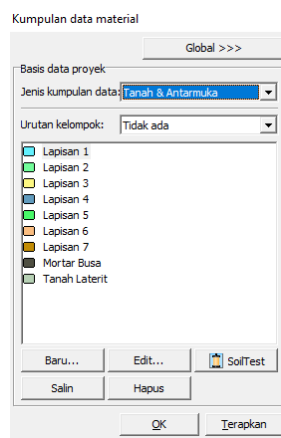


Gambar 4. 9 Penggambaran Geometri


- d. Klik *icon standard fixities*  atau klik menu loads untuk mengatur kondisi batas. Setelah *icon standard fixities* diklik maka akan muncul dua garis paralel untuk rol dan 4 garis bersilangan untuk kekangan penuh.
- e. Untuk memasukkan data material tanah langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :
- Klik *icon Material Set* , lalu klik *new*, akan muncul jendela baru

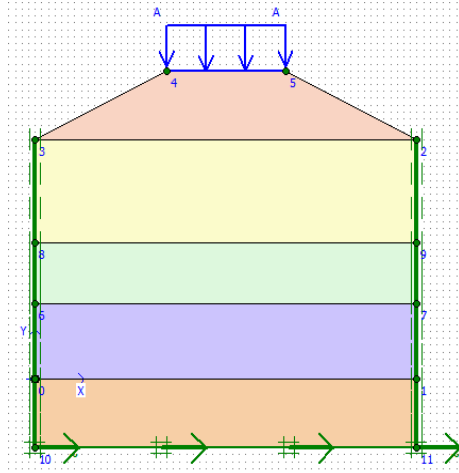
terdiri atas 3 tab, yaitu: *general*, *parameter*, dan *interface*.

- Isi semua kolom pada tab *general*, untuk kotak *comment* boleh diisi boleh tidak, kemudian klik *next* dan akan masuk ke tab berikutnya, yaitu *parameter* dan *interface*, kemudian isi sesuai dengan data material yang ada, setelah selesai menginput data klik OK.
- Material tersebut dimasukkan ke lapisan tanah dengan drag *Material Set*, lalu lepaskan pada daerah gambar yang dimaksud dan dapat dilihat pada Gambar 4.10.




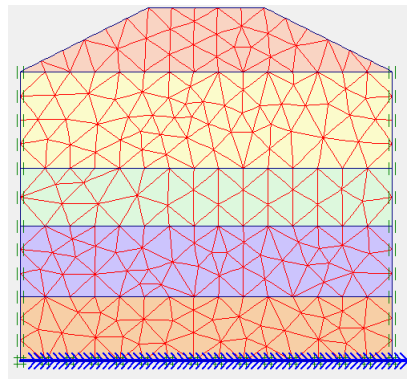
Gambar 4. 10 Kotak Dialog Material Set

- f.  Beban di – input dengan klik icon distributed load system A pada toolbar , lalu pilih 2 titik pada tiap ujung sepanjang area yang akan menerima beban. Masukkan beban merata sebesar 25 kN/m^2 . Adapun pada penelitian ini akan dianalisis dengan penambahan beban gempa, maka pengaturan yang dilakukan yaitu dengan klik menu loads kemudian pilih standard earthquake boundaries. Pemodelan yang telah diberikan beban dapat dilihat pada gambar 4.11.








Gambar 4. 11 Pemodelan Setelah Diberi Beban Merata

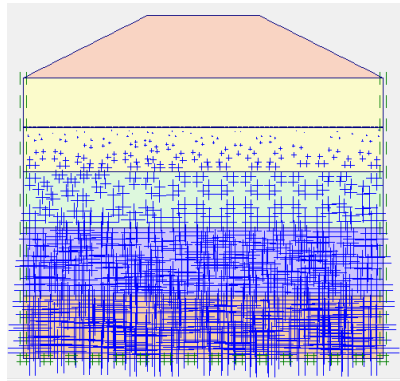
- g. Setelah input data selesai, selanjutnya dilakukan proses Meshing yaitu membagi elemen. Caranya dengan klik tombol generate mesh , lalu akan muncul jendela baru, klik update dapat dilihat pada Gambar 4.12.



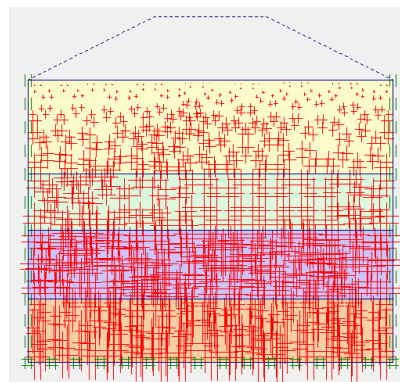
Gambar 4. 12 Material Setelah Proses Meshing

- h. Kemudian dilanjutkan tahap initial conditions, yaitu sebagai berikut.
- Klik tombol initial conditions  kemudian akan pindah tahap selanjutnya.
 - Gambar garis muka air tanah dengan klik phreatic level pada toolbar  kemudian klik 2 kali titik pada pemodelan sesuai dengan data yang ada.

- Initial conditions terdiri dari generate water pressures dan generate initial stresses. Perpindahan mode dapat dilakukan menggunakan tombol switch .
- Pada *mode generate water pressures*, klik tombol  untuk melakukan analisis tekanan air pori, setelah itu akan muncul jendela baru berisi hasil dari *generate water pressures* (Gambar 4.13), kemudian klik *update*. Lalu *switch mode* menjadi *generate initial stresses* lalu klik , kemudian klik *update*. Hasil gambar tegangan awal dapat dilihat pada Gambar 4.14



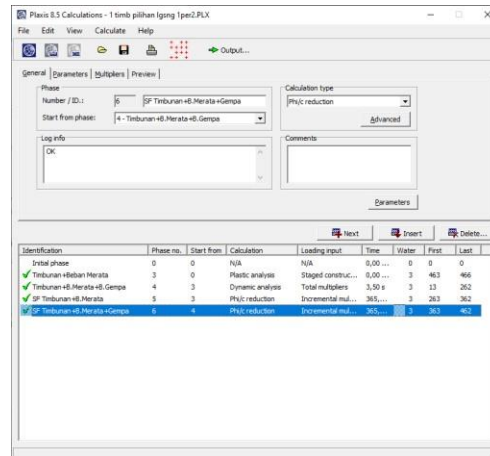
Gambar 4. 13 Tekanan Air Pori




Gambar 4. 14 Tegangan Awal

2. Plaxis Calculation

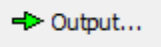
Pada plaxis *Calculation* berisi *phase* untuk mengeksekusi kalkulasi. Pada jendela *Calculations* terdapat 4 *tabsheet*, diantaranya *general*, *parameters*, *multipliers*, dan *preview*. Pada tab *general* terdapat beberapa tipe kalkulasi diantaranya *consolidation analysis* untuk mengetahui penurunan akibat konsolidasi, *plastic analysis* untuk beban struktur, *dynamic analysis* untuk beban gempa, serta *phi/c reduction* untuk mencari nilai faktor aman dapat dilihat pada Gambar 4.15.

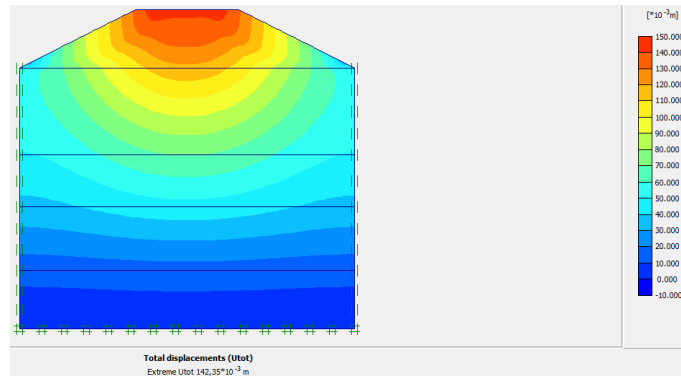


Gambar 4. 15 Tampilan Tahap Calculation

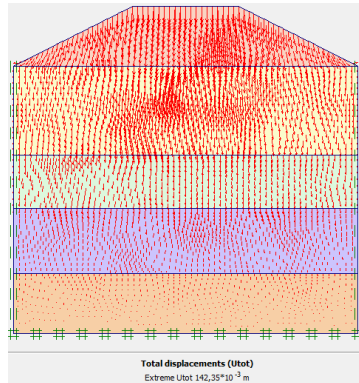
Selanjutnya klik point of curve  untuk menentukan titik yang akan ditinjau untuk potensi kelongsoran serta menggambarkan tampilan kurva.

3. Plaxis output

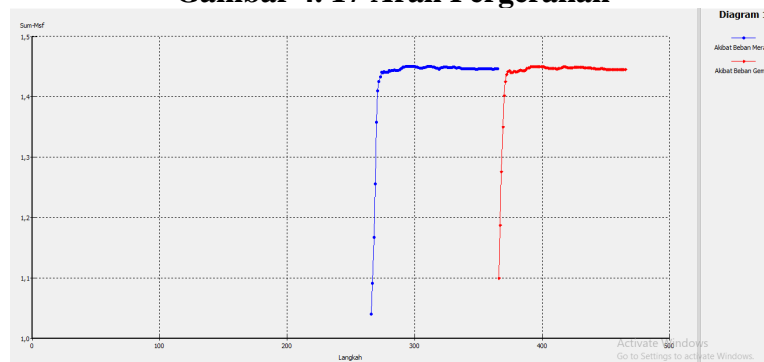
Hasil kalkulasi pada output program plaxis dapat dilihat dengan klik fase hitungan terakhir, kemudian pilih tombol  contoh hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.16, Gambar 4.17 dan Gambar 4.18.



Gambar 4. 16 Total Displacement



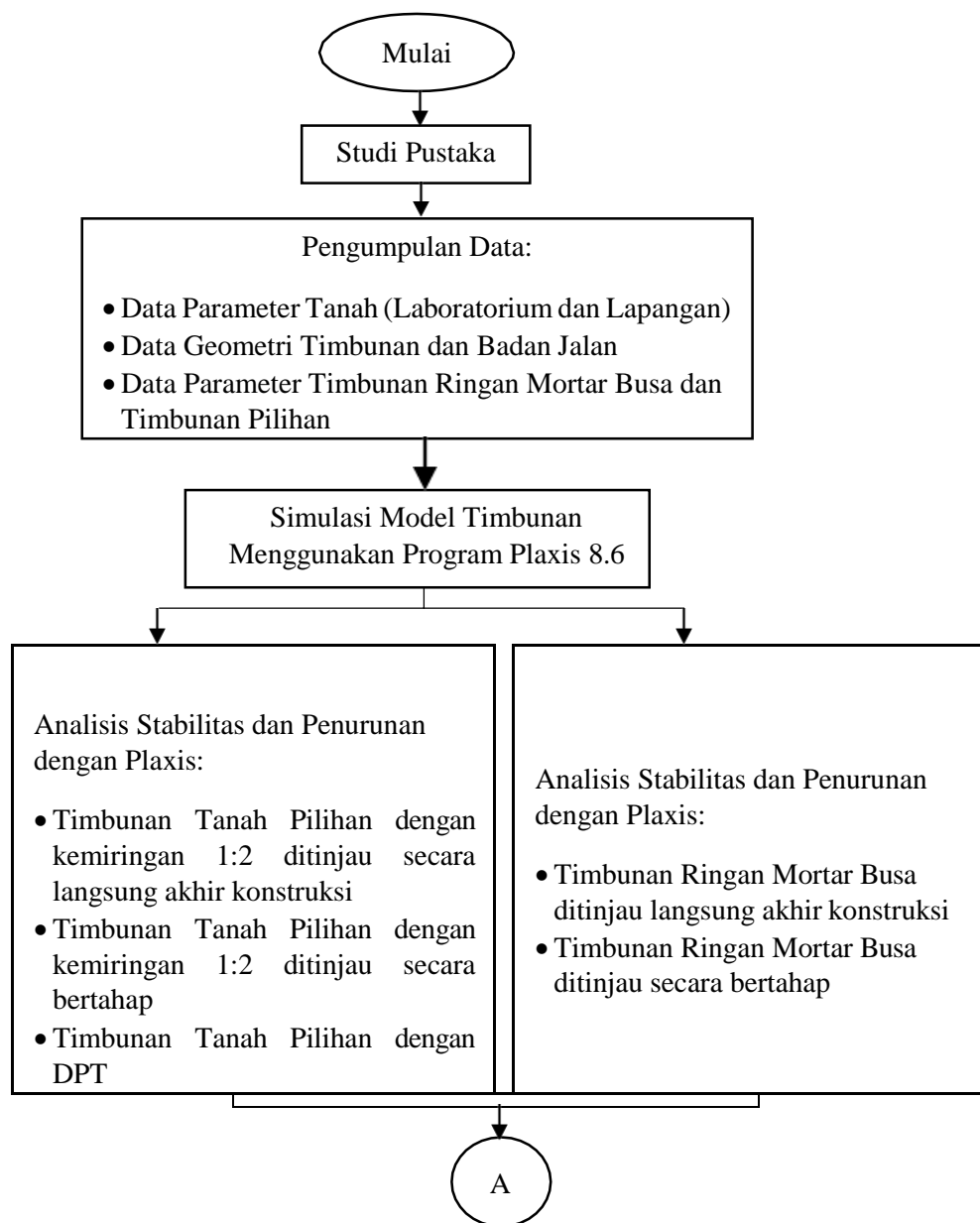
Gambar 4. 17 Arah Pergerakan



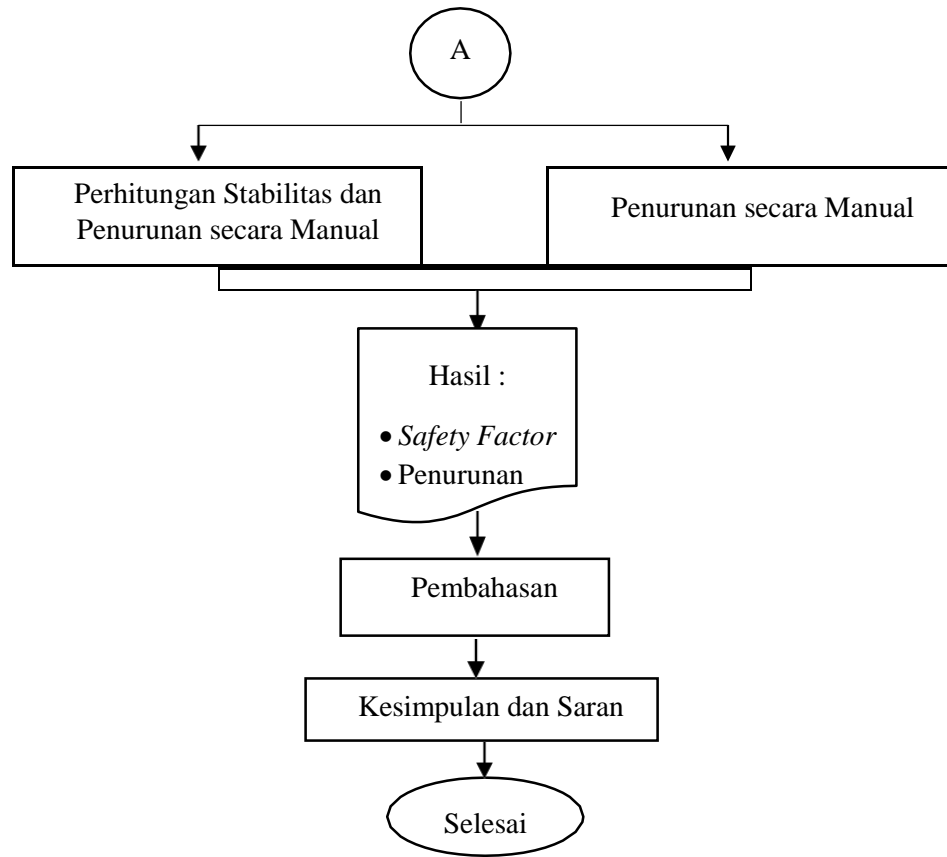
Gambar 4. 18 Kurva Faktor Aman Beban Merata dan Beban Gempa

4.7 Bagan Alir Penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Untuk lebih jelasnya tahapan tahapan yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.19 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Timbunan oprit pada proyek *Flyover* Klonengan di Sta. 0+500 adalah lokasi studi kasus yang diteliti. Lapisan tanah dasar terdiri dari 7 lapis yang didominasi oleh jenis tanah lempung. Material yang digunakan pada proyek *Flyover* Klonengan adalah material timbunan ringan mortar busa, yang terdiri dari campuran air, semen, pasir dan *foam agent* atau cairan busa. Pemilihan penggunaan material timbunan ringan ini dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, diantaranya memiliki berat yang ringan, nilai kuat tekan yang cukup tinggi, dan pelaksanaan pekerjaan yang lebih muda. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan nilai stabilitas berupa faktor keamanan atau *Safety Factor* dan nilai penurunan antara timbunan ringan mortar busa dan timbunan pilihan. Timbunan pilihannya yang digunakan adalah tanah merah laterit karena mudah didapat dan harganya relatif terjangkau serta mudah didapatkan sehingga cocok digunakan sebagai timbunan oprit.

Analisis ini akan dilakukan dengan pemodelan di program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual. Analisis stabilitas dan penurunan dengan program Plaxis 8.6 menggunakan pemodelan *mohr coulomb*, sedangkan perhitungan secara manual akan menggunakan metode Terzaghi untuk perhitungan penurunan dan metode Fillenius untuk perhitungan nilai *Safety Factor*.

Pemodelan untuk analisis timbunan ringan mortar busa disesuaikan dengan kondisi lapangan sedangkan untuk pemodelan timbunan pilihan dilakukan dengan 2 variasi, yaitu timbunan pilihan dengan kemiringan 1:2 dan timbunan pilihan dengan perkuatan dinding penahan tanah.

5.2 Data Penelitian

5.2.1 Data Tanah Dasar

Data tanah dasar yang digunakan untuk penelitian ini merupakan data sekunder yang didapat dari Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Semarang Jawa Tengah. Adapun data tanah yang diperlukan untuk melakukan analisis stabilitas dan penurunan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 5. 1 Data Tanah Dasar

Uraian	Simbol	Satuan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6	Lapisan 7
Kedalaman	H	m	0-8	8-18	18-24	24-32	32-46	46-48	48-50
Model Material	-	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
Tipe Drainage	-	-	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>
Berat Volume	γ	kN/m ³	16,769	15,004	13,337	17,455	19,024	18,828	18,828
Berat Volume Kering	γ_d	kN/m ³	11,571	9,218	7,649	13,435	14,709	14,709	14,219
Indeks Permeabilitas	kx, ky	m/hari	0,00241	0,000397	0,0000708	0,004064	0,864	0,864	0,00475
Modulus Young	E	kN/m ²	12000	18000	30000	72000	93000	99000	120000
Angka Possion	ν	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kohesi	C	kN/m ²	20,601	22,563	21,582	45,126	45,126	52,974	56,898
Sudut Geser Dalam	Φ	°	4	5	5	4	5	3	5
Angka Pori	e	-	1,30	1,83	2,41	1,05	0,85	0,84	0,91
Batas Cair	LL	%	95,42	97,21	105,14	105,14	102,31	103,50	104,39

5.2.2 Data Timbunan

1. Data Timbunan

Parameter timbunan ringan mortar busa disesuaikan berdasarkan ketentuan pada Surat Edaran No: 42/SE/M/2015 Tentang Pedoman Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar Busa untuk Konstruksi Jalan, Kementerian PUPR, sedangkan timbunan tanah pilihan diasumsikan menggunakan tanah merah laterit. Data timbunan yang digunakan untuk analisis penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Data Timbunan

Uraian	Simbol	Satuan	Timbunan Ringan Mortar Busa 800 kPa	Timbunan Pilihan	Dinding Penahan Tanah (Beton K350)
Tinggi Rencana	H	m	5	5	8
Jenis	-	-	Mortar busa	Tanah merah laterit	Kantilever
Model Material	-	-	<i>Linear Elastic</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Elastic Linier</i>
Tipe <i>Drainage</i>	-	-	<i>Non Porous</i>	<i>Undrained</i>	<i>Non Porous</i>
Berat Volume	γ	kN/m ³	6	18	24
Berat Volume Kering	γ_d	kN/m ³	6	17	24
Indeks Permeabilitas	k_x, k_y	m/hari	0,008	0,008	-
Modulus <i>Young</i>	E	kN/m ²	829635	10000	25310274,6
Angka <i>Poisson</i>	ν	-	0,2	0,3	0,15
Kohesi	c	kN/m ²	-	7	-
Sudut Geser Dalam	ϕ	°	-	25	-

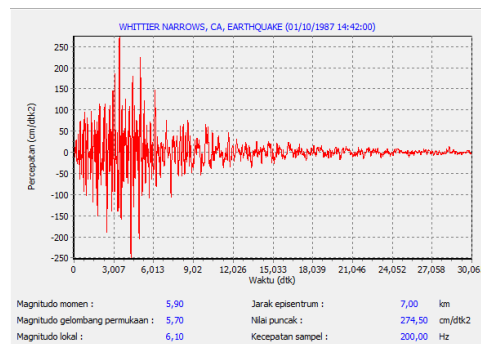
5.2.3 Data Beban

1. Beban Merata

Beban merata yang digunakan ada 2 beban yaitu beban lalu lintas dan beban perkerasan jalan. Beban lalu lintas mengacu pada peraturan Panduan Geoteknik 4 (2002). Kelas jalan arteri primer, sehingga berdasarkan Table 3.4 besar beban lalu lintas adalah 15 kN/m^2 . Beban struktur dari proyek pembangua *Flyover* Klonengan diasumsikan sebesar 10 kN/m^2 , maka yang di masukan data beban merata ke dalam program Plaxis adalah sebesar 25 kN/m^2 .

2. Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini didapat dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman yang diakses melalui web www.puskim.pu.go.id. Lokasi penelitian *Flyover* Klonengan yang berada di Tegal memiliki percepatan puncak gempa atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) sebesar $0,19 \text{ g}$. Data gempa tersebut sesuai dengan data gempa di kawasan Whittier Narrows pada 1 Oktober 1978 yang memiliki percepatan puncak gempa sebesar $0,25 \text{ g}$ (Gambar 5.1). Waktu internal gempa yang dimasukkan ke dalam Plaxis yaitu sebesar 4 detik.



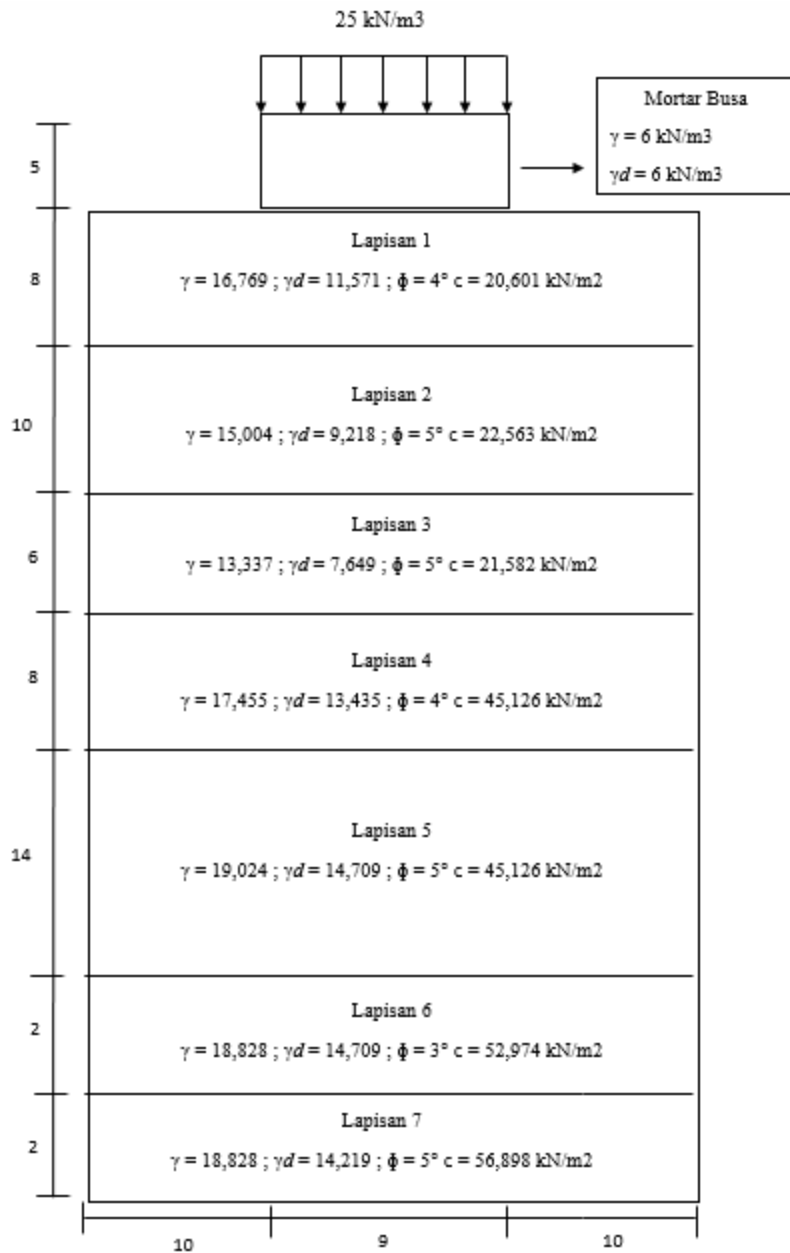
Gambar 5. 1 Grafik Hubungan antara Percepatan dan Waktu Gempa Whittier Narrows, 1987

(Sumber : www.usgs.gov, 2017)

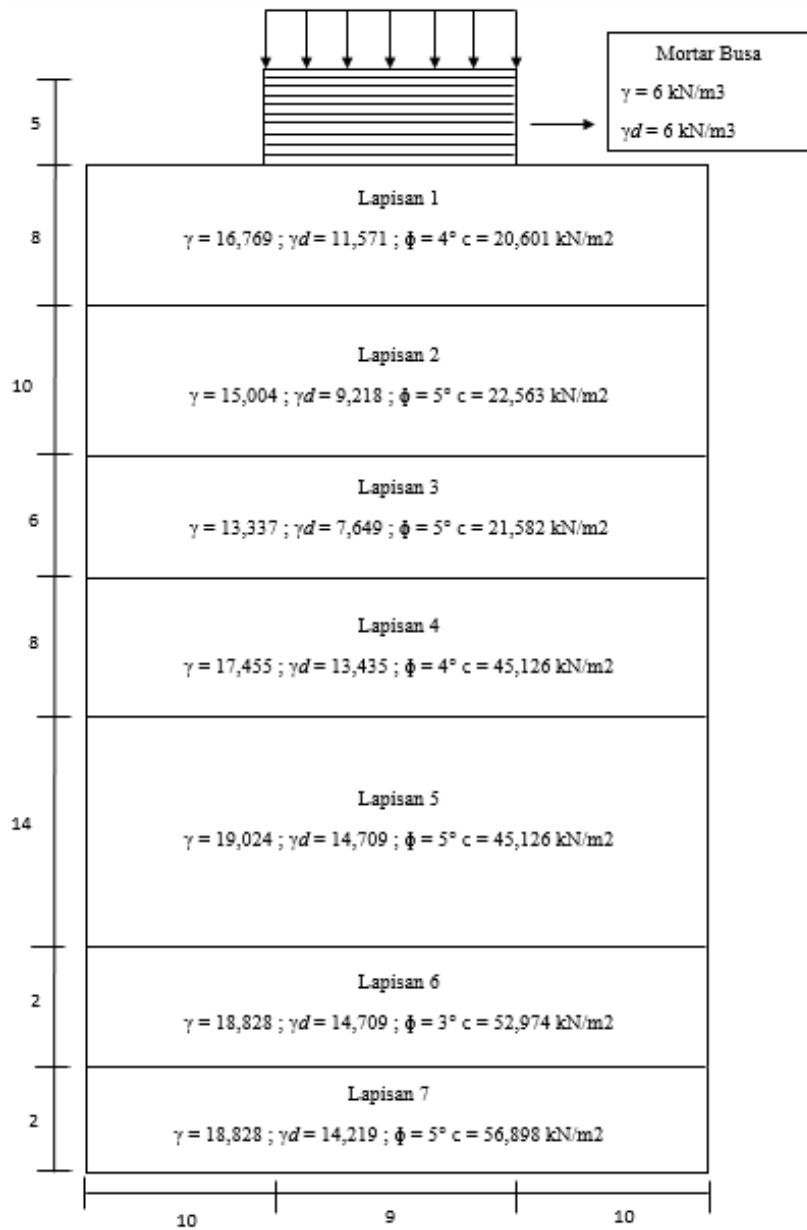
5.2.4 Data Geometri Badan Jalan

Berikut ini adalah data geometri badan jalan beserta jenis tanah pada setiap lapisan yang akan digunakan untuk analisis penurunan menggunakan Plaxis 8.6.

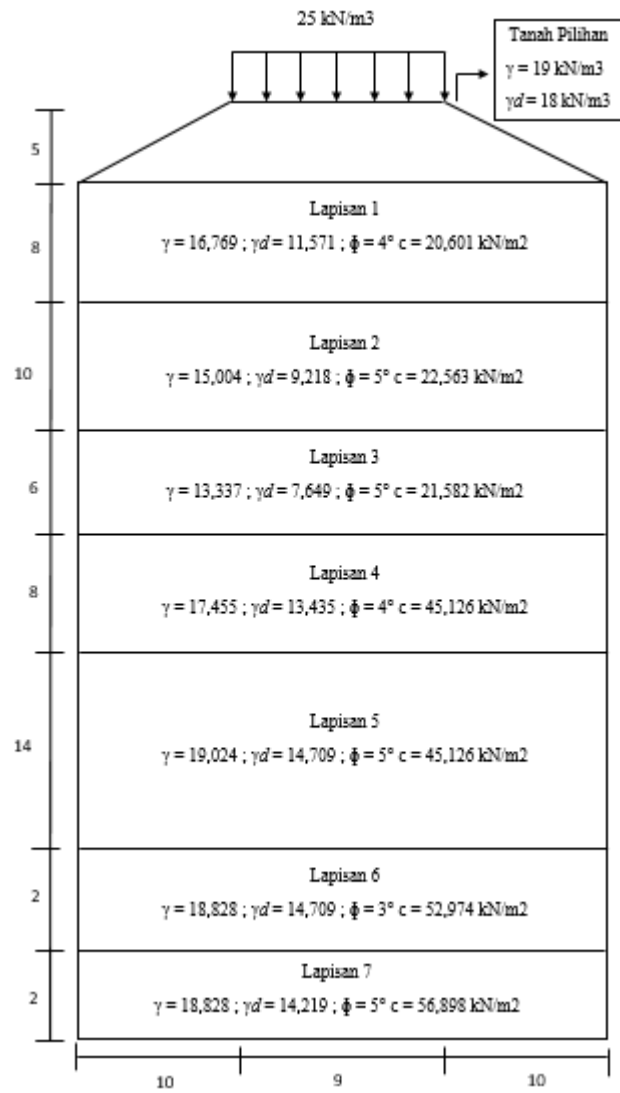
Pemodelan badan jalan dapat dilihat pada Gambar 5.2, Gambar 5.3, Gambar 5.4, dan Gambar 5.5.



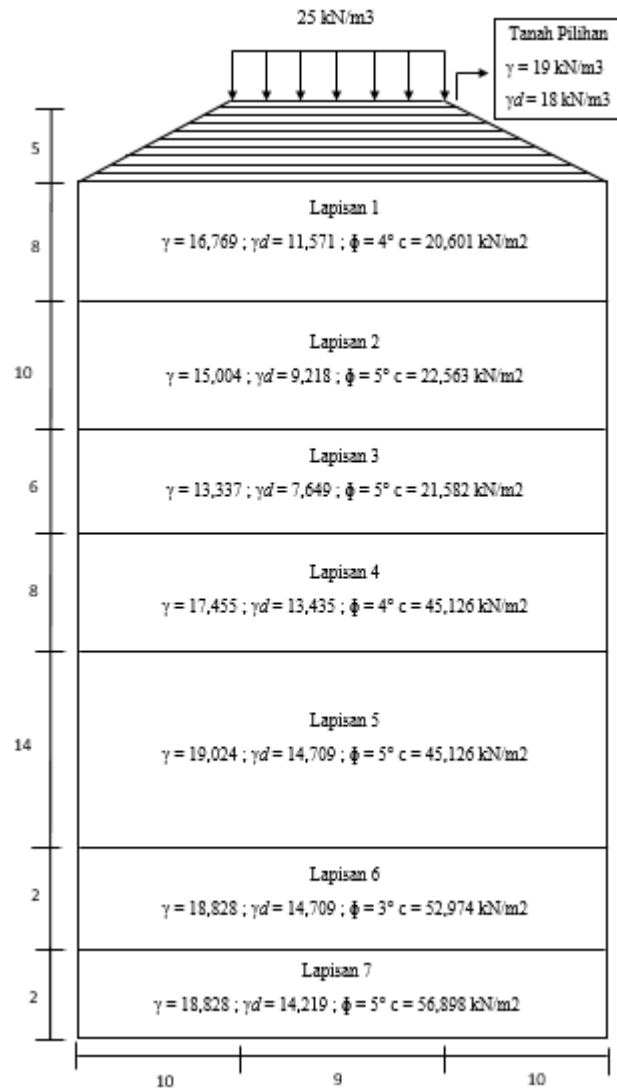
Gambar 5. 2 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Dintinjau Langsung



Gambar 5. 3 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Bertahap



Gambar 5. 4 Pemodelan Timbunan Pilihan Ditinjau Langsung

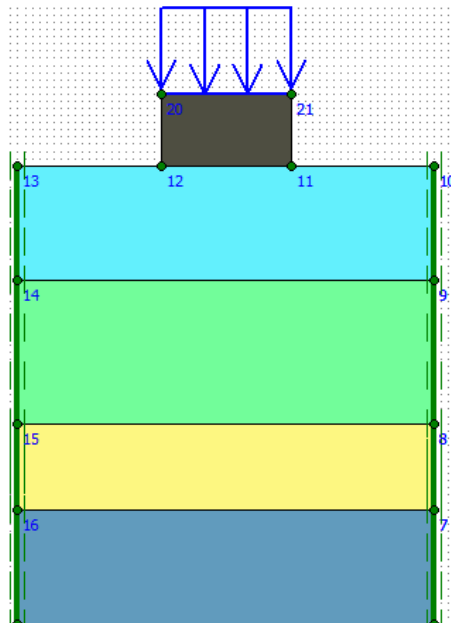


Gambar 5. 5 Pemodelan Timbunan Pilihan Ditinjau Bertahap

5.3 Analisis Stabilitas dan Penurunan dengan Program *Plaxis 8.6*

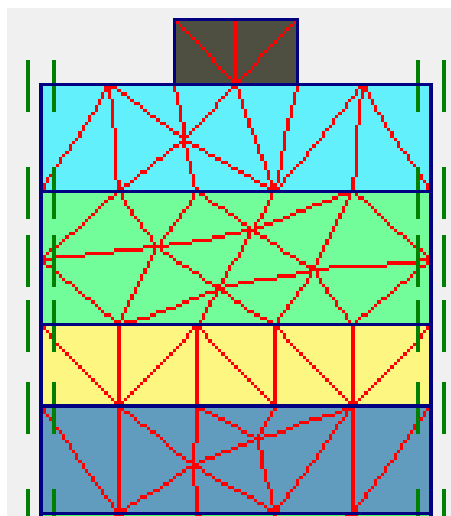
5.3.1 Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

Tinggi timbunan yang akan dianalisis yaitu 5 meter dengan lebar jalan 9 meter. Beban merata yang diperhitungkan adalah sebesar 25 kN/m². Pemodelan badan jalan dengan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi dengan penambahan beban merata dan gempa dinamik dapat dilihat pada Gambar 5.6



Gambar 5. 6 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Kontruksi

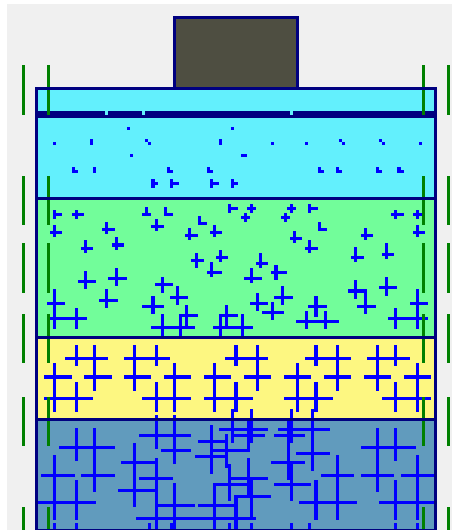
Setelah model geometri tergambar, selanjutnya dilakukan input data material lalu proses penyusunan jaringan elemen (*Meshing*). Hasil penyusunan jaringan elemen (*Meshing*) dapat dilihat pada Gambar 5.7



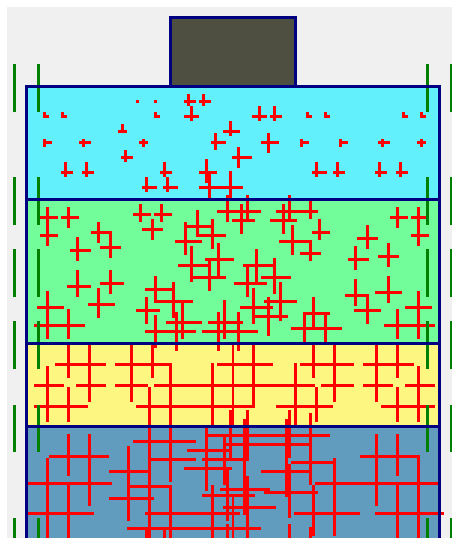
Gambar 5. 7 Jaringan Elemen (Meshing) Pada Timbunan Ringan Mortar Busa yang Dintinjau Langsung Akhir Konstruksi

Selanjutnya masuk ke tahap kondisi awal (*initial condition*). Pada analisis ini terdapat perhitungan konfigurasi geometri awal yaitu generate water pressures dan

generate Initial Soil Stresses. Hasil konfigurasi geometri awal dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9.



Gambar 5. 8 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (*Generate Water Pressures*)



Gambar 5. 9 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (*Initial Soil Stresses*)

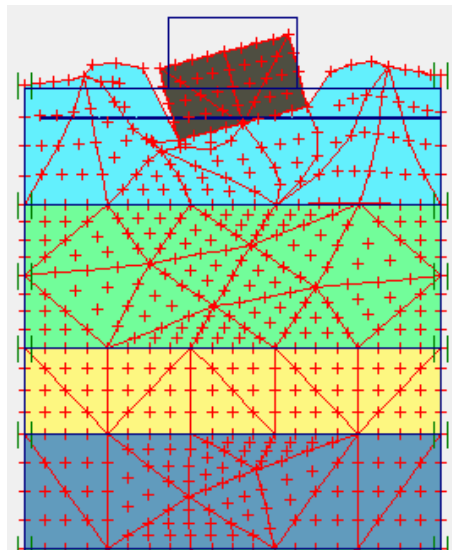
Kemudian proses perhitungan yang terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap pertama perhitungan penurunan timbunan dengan penambahan beban merata 25 kN/m², tahap kedua analisis penurunan konsolidasi hingga mencapai nilai minimum *pore pressure*, tahap ketiga analisis penurunan akibat penambahan beban gempa dengan interval waktu 4 detik, tahap keempat analisis angka keamanan

akibat timbunan dengan beban merata serta telah terkonsolidasi, kemudian tahap selanjutnya analisis nilai keamanan akibat penambahan beban gempa. Tahapan perhitungan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi pada program Plaxis dapat dilihat pada Gambar 5.10

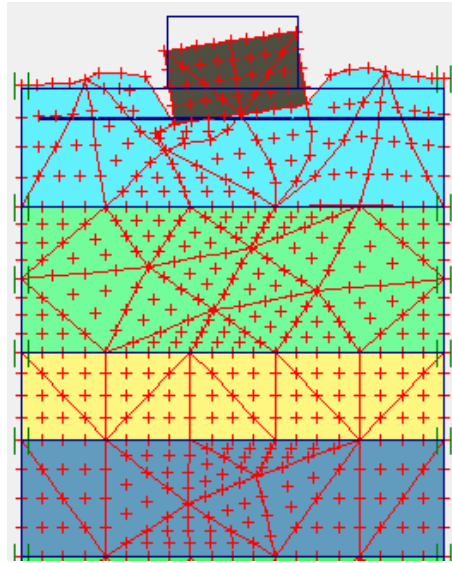
Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Perta...
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	0
✓ Timbunan	1	0	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	1	1
✓ Beban lalu lintas	2	1	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	2	3
✓ beban gempa	3	2	Analisis dinamik	Faktor pengali total	4,00 ...	2	6
✓ sf tanpa gempa	4	2	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	2	256
✓ sf gempa	5	3	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	2	356

Gambar 5. 10 Tahapan Perhitungan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

Hasil *deformed mesh* pada analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.11, dan Gambar 5.12.

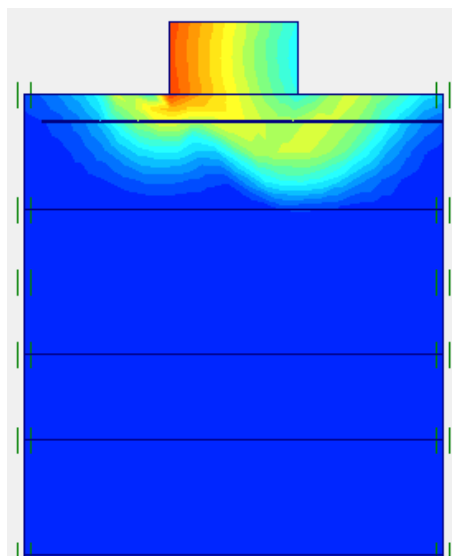


Gambar 5. 11 Deformed Mesh Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata

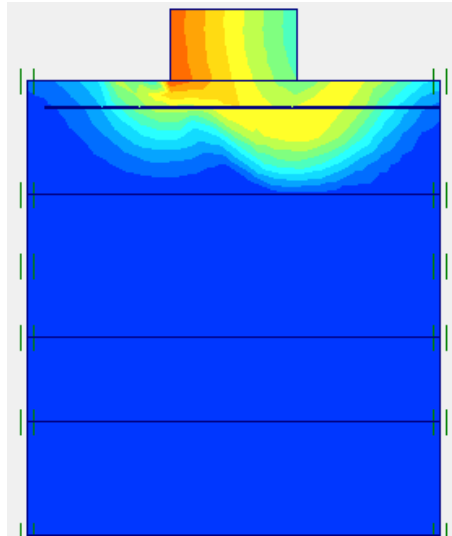


Gambar 5. 12 Deformed Mesh Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi akibat timbunan dengan beban merata yaitu $43,22 \times 10^{-3}$, sedangkan saat kondisi akibat beban gempa yaitu $102,39 \times 10^{-3}$. *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.13, dan Gambar 5.14.

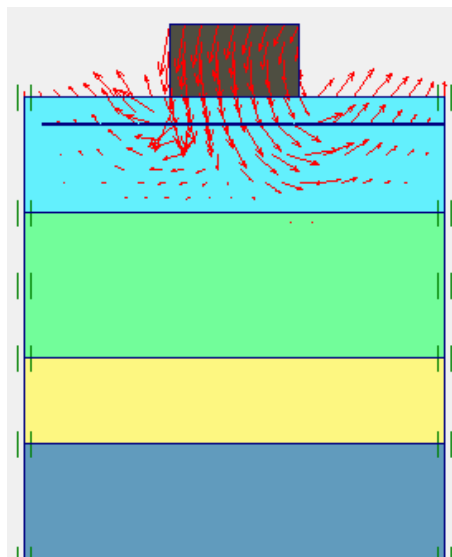


Gambar 5. 13 Total Displacement Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata

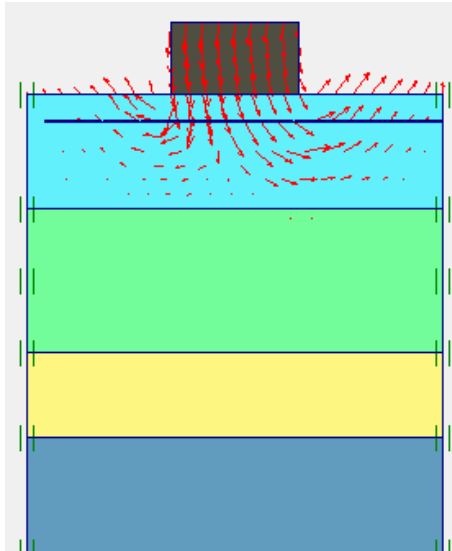


Gambar 5. 14 Total Displacement Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa

Arah pergerakan tanah saat kondisi akibat beban merata didominasi oleh pergerakan vertikal, sedangkan saat kondisi akibat beban gempa arah gerakan memutar ke kiri dan ke kanan dikarenakan adanya gaya gempa. Hasil analisis berdasarkan arah pergerakannya dapat dilihat pada Gambar 5.15, dan Gambar 5.16.

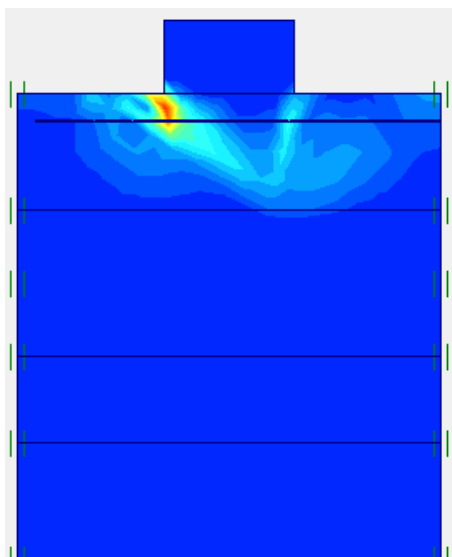


Gambar 5. 15 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata

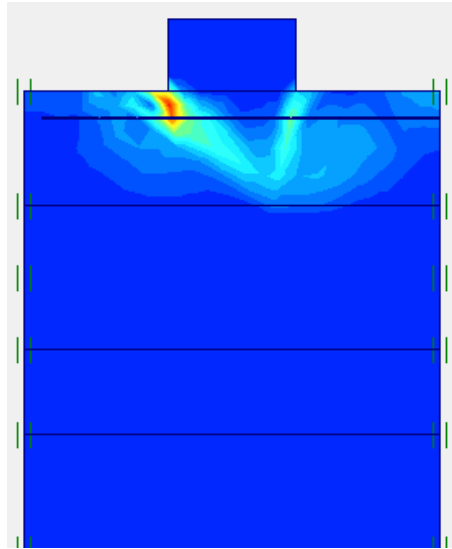


Gambar 5. 16 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa

Besarnya nilai Safety Factor pada kondisi akibat beban merata yaitu sebesar 2,5333, sedangkan pada kondisi akibat penambahan beban gempa sebesar 2,5556. Potensi kelongsoran analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.17, dan Gambar 5.18.

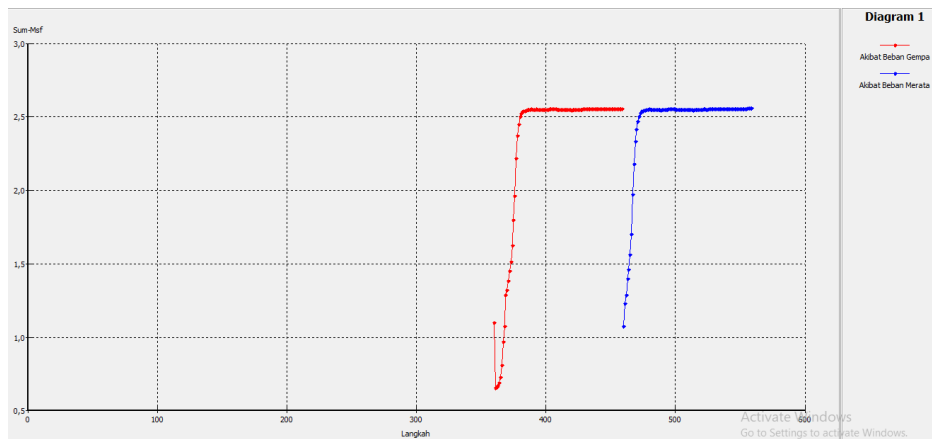


Gambar 5. 17 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Merata



Gambar 5. 18 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi Akibat Beban Gempa

Adapun output analisis timbunan ringan mortar busa ditinjau langsung akhir konstruksi yang disajikan dalam bentuk kurva dapat dilihat pada Gambar 5.19.

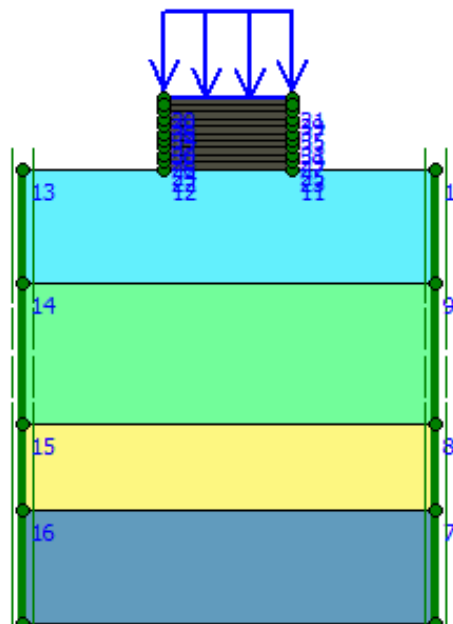


Gambar 5. 19 Kurva Nilai *Safety Factor* Analisis Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

Pada Gambar 5.19 menunjukkan kurva nilai *Safety Factor* pada analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi, dimana sumbu X merupakan kondisi akibat beban merata dan terkonsolidasi, sedangkan sumbu Y merupakan langkah analisis perhitungan. Garis berwarna biru adalah nilai *Safety Factor* akibat beban merata, sedangkan garis berwarna merah adalah nilai *Safety Factor* akibat penambahan beban gempa.

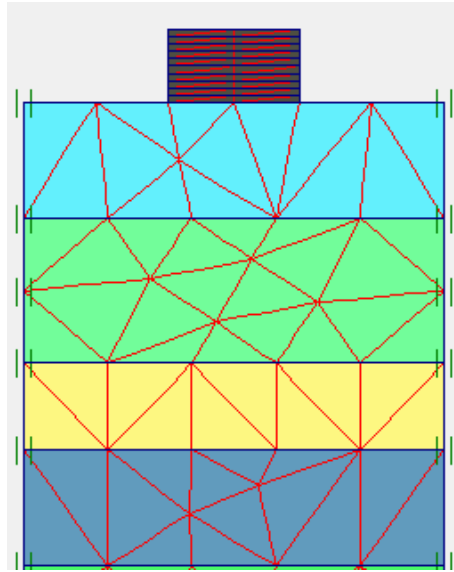
5.3.2 Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap

Kondisi geometri jalan dan parameter tanah maupun beban sama dengan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi. Namun, pada pemodelan ini pekerjaan timbunan dilakukan secara bertahap dengan ketebalan setiap timbunan yaitu 50 cm dan diasumsikan mengalami konsolidasi selama 100 hari pada setiap timbunan. Semua tahapan analisis sama seperti timbunan yang ditinjau langsung akhir konstruksi yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pemodelan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.20.



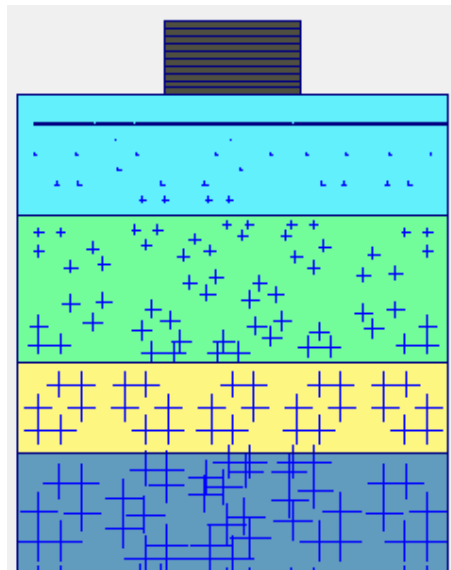
Gambar 5. 20 Pemodelan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap

Adapun hasil penyusunan jaringan elemen (*Meshing*) pada timbunan ringan mortar busa ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.21

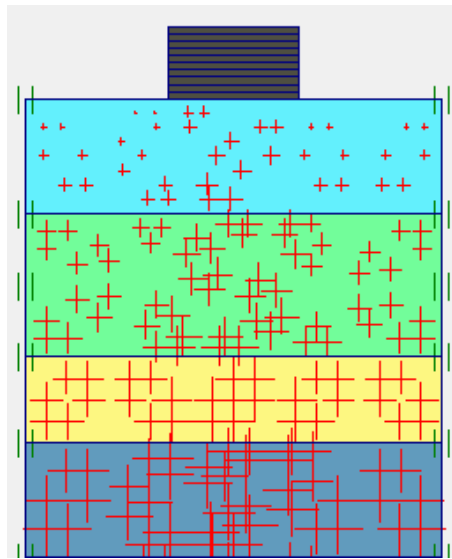


Gambar 5. 21 Penyusunan Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap

Setelah itu dilanjutkan dengan kondisi awal (Initial Condition) yang terdiri dari *Generate Water Pressures* dan *Generate Initial Soil Stresses*. Pada saat melakukan *Intinial Soil Stresses* timbunan ringan dinonaktifkan. Hasil dari *Generate Water Pressures* dan *Generate Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23.



Gambar 5. 22 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (*Generate Water Presseures*)



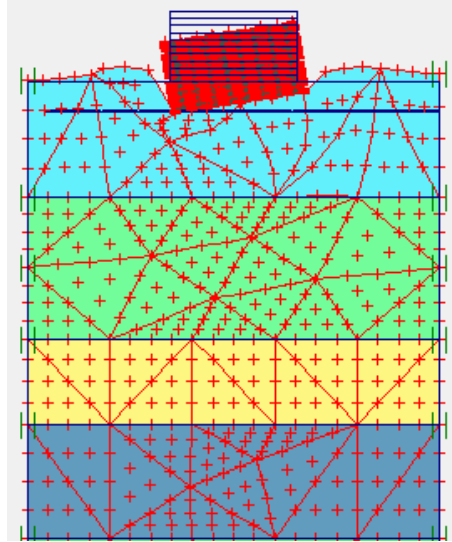
Gambar 5. 23 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (Initial Soil Stresses)

Setelah tahapan kondisi awal (*initial condition*) dilanjutkan ke tahap analisis perhitungan (*Calculation*) timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap. Tahapan analisis sama seperti timbunan yang ditinjau langsung akhir konstruksi, hanya saja pada proses penimbunan dilakukan secara bertahap setebal 50 cm dengan asumsi mengalami konsolidasi selama 100 hari pada setiap lapis timbunan. Tahapan analisis perhitungan timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.24

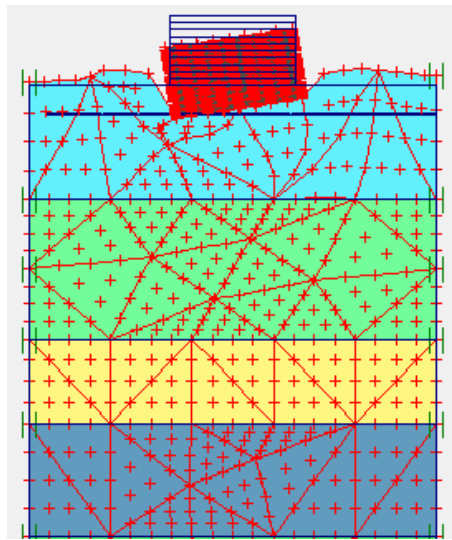
Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Perta...
✓ Timbunan 6	11	10	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	11	21
✓ Konsolidasi 6	12	11	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	11	23
✓ Timbunan 7	13	12	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	13	25
✓ Konsolidasi 7	14	13	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	13	27
✓ Timbunan 8	15	14	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	15	29
✓ Konsolidasi 8	16	15	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	15	31
✓ Timbunan 9	17	16	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	17	33
✓ Konsolidasi 9	18	17	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	17	35
✓ Timbunan 10	19	18	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	19	37
✓ Beban Merata	20	19	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	20	39
✓ Konsolidasi 10	21	20	Analisa konsolidasi	Tekanan air pori minimum	1090...	20	42
✓ Beban Gempa	22	21	Analisa dinamik	Faktor pengali total	4,00 ...	20	52
✓ SF Pasca Beban ...	23	20	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	20	302
✓ SF Pasca Gempa	24	22	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	20	402

Gambar 5. 24 Tahapan Analisis Perhitungan (Calculation) Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap

Hasil *Deformed Mesh* pada analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26.



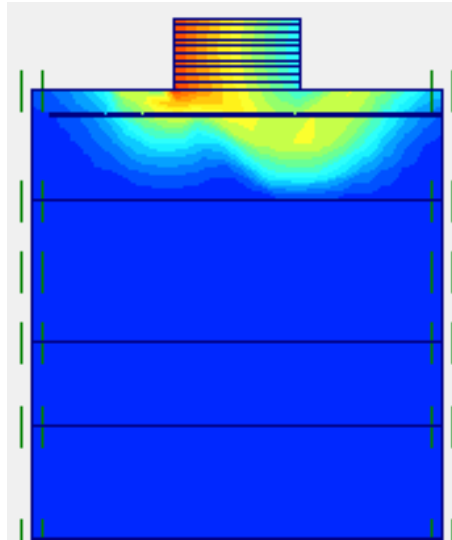
Gambar 5. 25 *Deformed Mesh* Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata



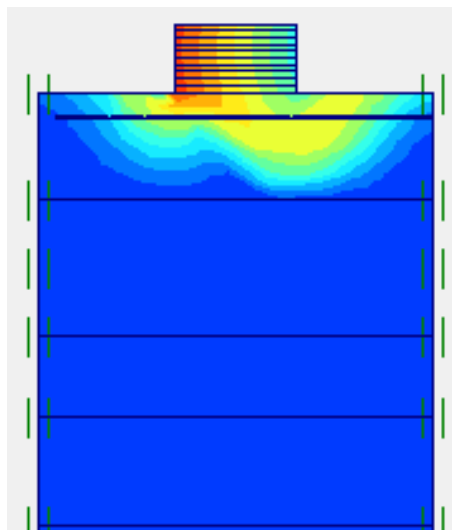
Gambar 5. 26 *Deformed Mesh* Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada kondisi akibat beban merata yaitu $30,77 \times 10^{-3} \text{m}$, sedangkan pada kondisi akibat beban gempa yaitu

$63,29 \times 10^{-3}$. *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.27, dan Gambar 5.28 berikut ini.

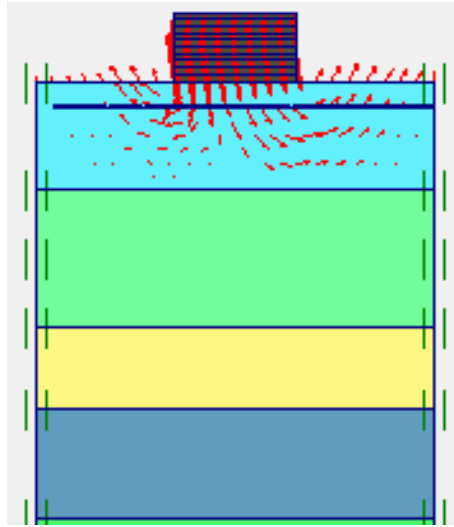


Gambar 5. 27 Total Displacement Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata

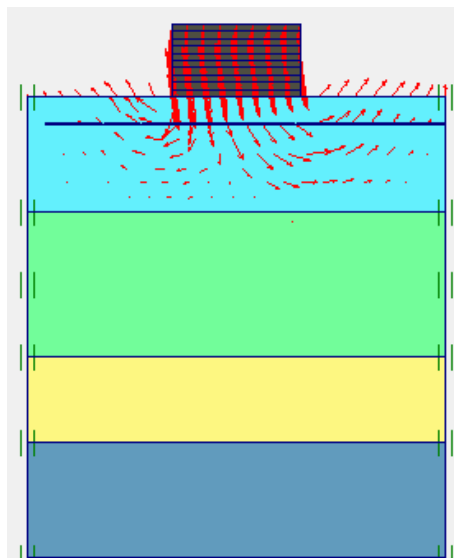


Gambar 5. 28 Total Displacement Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa

Arah pergerakan tanah saat kondisi akibat beban merata didominasi oleh pergerakan vertikal, sedangkan saat kondisi akibat beban gempa arah gerakan memutar ke kiri dan ke kanan dikarenakan adanya gaya gempa. Hasil analisis berdasarkan arah pergerakannya dapat dilihat pada Gambar 5.29, dan Gambar 5.30.

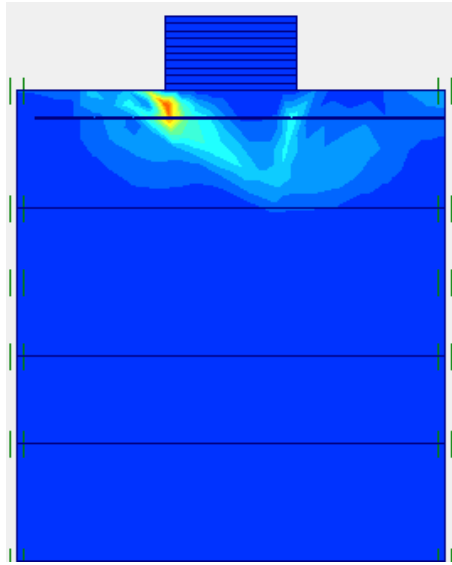


Gambar 5. 29 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata

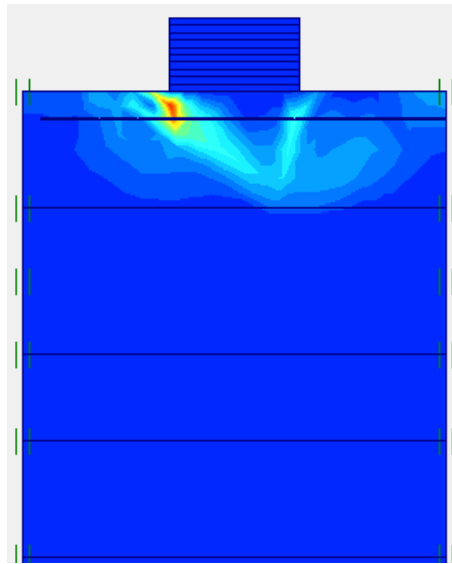


Gambar 5. 30 Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa

Nilai *Safety Factor* pada kondisi akibat beban merata sebesar 2,5011, sedangkan pada kondisi akibat beban gempa sebesar 2,5583. Potensi kelongsoran analisis pada timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.31, dan Gambar 5.32.

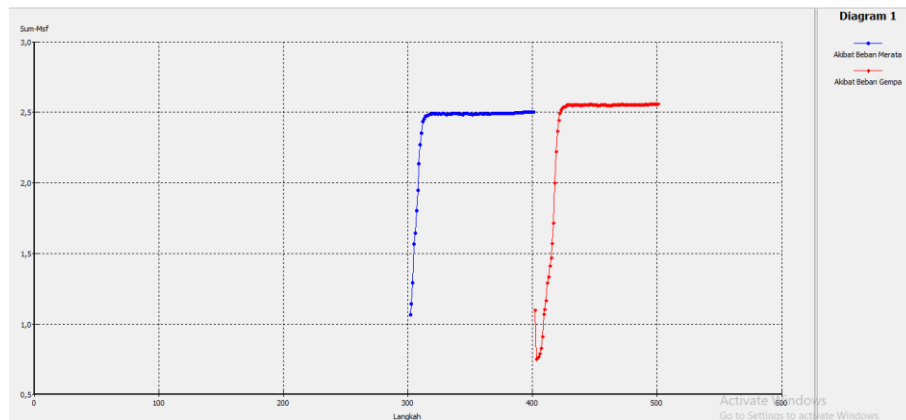


Gambar 5. 31 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Merata



Gambar 5. 32 Potensi Kelongsoran Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap Kondisi Akibat Beban Gempa

Adapun output analisis timbunan ringan mortar busa ditinjau langsung akhir konstruksi yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.33.

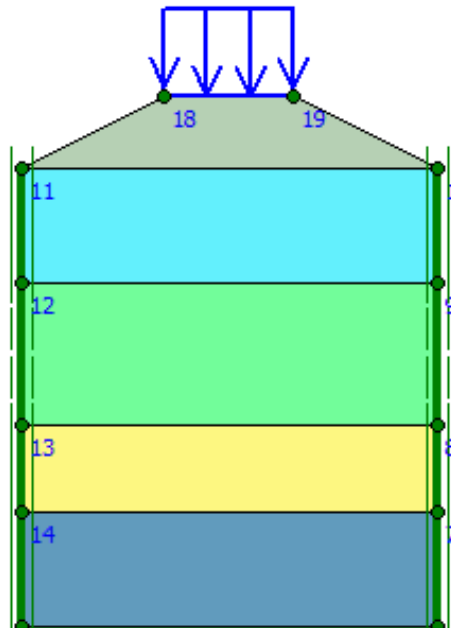


Gambar 5.33 Kurva Nilai Safety Factor Analisis Timbunan Ringan Mortar Busa Ditinjau Secara Bertahap

Pada Gambar 5.33 menunjukkan kurva nilai *Safety Factor* pada analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap, dimana sumbu x merupakan kondisi akibat beban merata dan terkonsolidasi, sedangkan sumbu y merupakan langkah analisis perhitungan. Garis berwarna biru adalah nilai faktor aman akibat beban merata, sedangkan garis berwarna merah adalah nilai faktor aman akibat penambahan beban gempa.

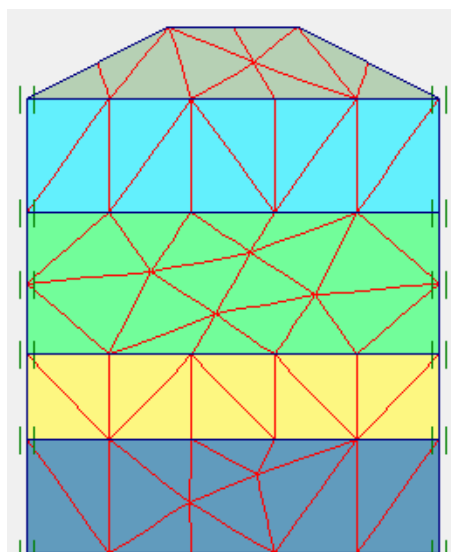
5.3.3 Timbunan Pilihan Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

Pemodelan timbunan pada analisis ini menggunakan tipe kemiringan lereng 1:2, hal ini bertujuan agar timbunan tidak runtuh. Data geometri jalan sama dengan analisis sebelumnya yaitu ketinggian timbunan 5 meter dan lebar jalan 9 meter. Data tanah, parameter beban, dan semua tahapan analisis yang digunakan sama dengan analisis timbunan ringan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pemodelan timbunan pilihan yang ditinjau langsung akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut ini.



Gambar 5. 34 Pemodelan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

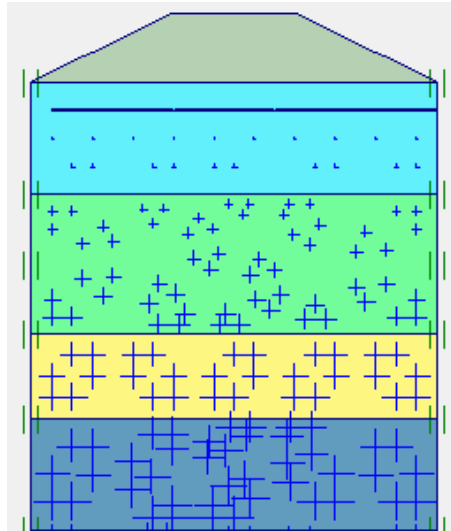
Hasil penyusunan jaringan elemen (Meshing) pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 dapat dilihat pada Gambar 5.35



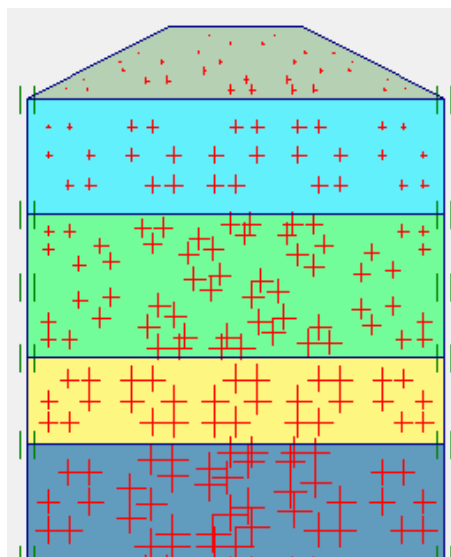
Gambar 5. 35 Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Pilihan dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

Kemudian dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*) yang terdiri atas *generate water pressures* dan *generate Initial Soil Stresses*. Pada saat melakukan *Initial Soil Stresses* bagian timbunan dinonaktifkan. Hasil dari *generate water*

pressures dan *generate Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37.



Gambar 5. 36 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (*Generate Water Preassures*)



Gambar 5. 37 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (*Initial Soil Stresses*)

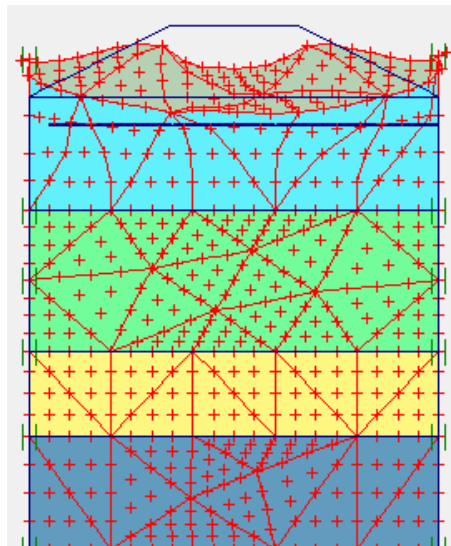
Setelah tahapan kondisi awal (*initial condition*) dilanjutkan ke tahap analisis perhitungan (*Calculation*) timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2. Tahapan analisis sama seperti analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi, yaitu dengan asumsi mengalami konsolidasi selama 100 hari. Tahapan analisis timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 ditinjau

langsung akhir konstruksi pada program *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 5.38.

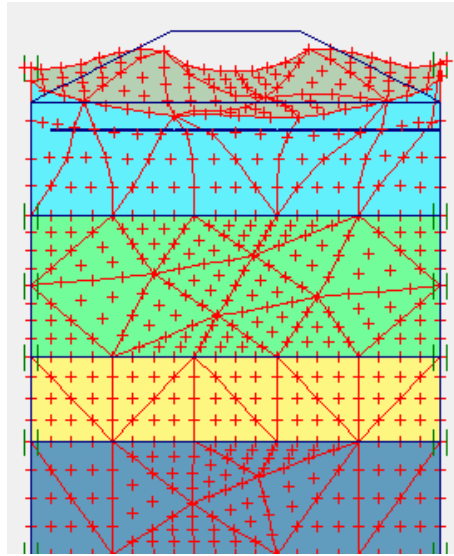
Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Perta...
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	0
✓ Timbunan	1	0	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	1	1
✓ Konsolidasi	2	1	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	1,37 ...	1	4
✓ Beban Gempa	3	2	Analisis dinamik	Faktor pengali total	4,00 ...	1	6
✓ SF Timbunan+b....	4	2	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	1	256
✓ SF Beban Gempa	5	3	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	1	356

Gambar 5. 38 Tahapan Analisis Timbunan Pilihan dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

Hasil *Deformed Mesh* pada analisis timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 dapat dilihat pada Gambar 5.39, dan Gambar 5.40 berikut ini.

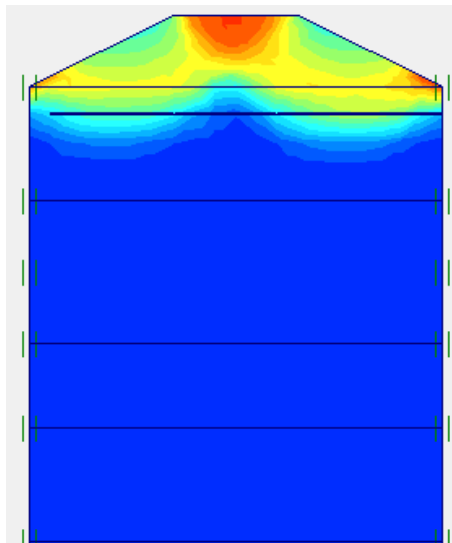


Gambar 5. 39 Deformed Mesh Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Akibat Beban Merata

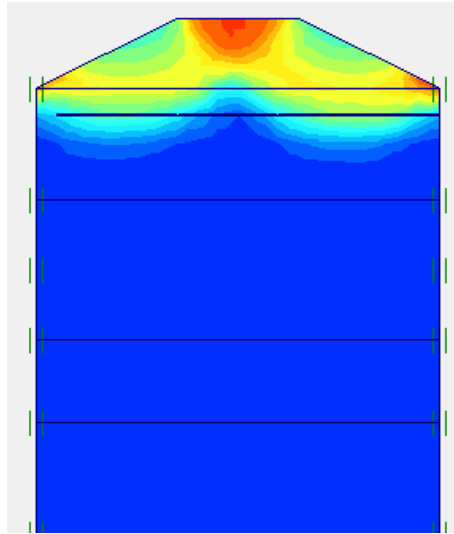


Gambar 5. 40 Deformed Mesh Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Akibat Beban Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada kondisi akibat beban merata sebesar $141,48 \times 10^{-3}$ m, dan pada kondisi akibat beban gempa sebesar $176,8 \times 10^{-3}$ m. *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 ditinjau langsung akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.41, dan Gambar 5.42 berikut ini.

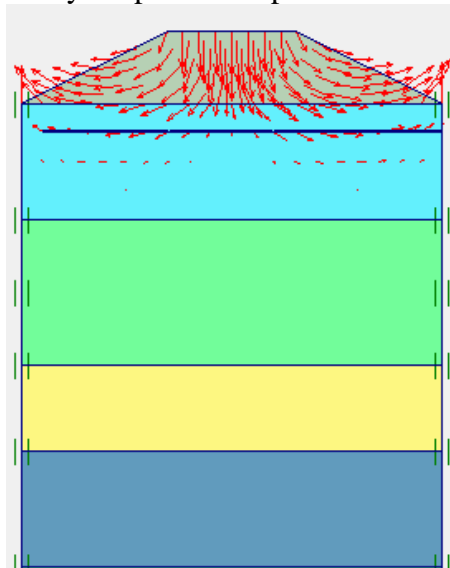


Gambar 5. 41 Total Displacement Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Merata

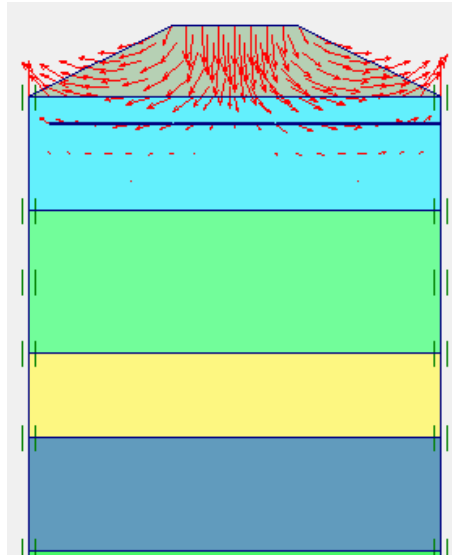


Gambar 5. 42 Total Displacement Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Gempa

Arah pergerakan tanah saat akibat beban merata didominasi oleh pergerakan vertikal, sedangkan saat kondisi akibat beban gempa arah gerakan memutar ke kiri dan ke kanan dikarenakan adanya gaya gempa. Hasil analisis berdasarkan arah pergerakannya dapat dilihat pada Gambar 5.43, dan Gambar 5.44.

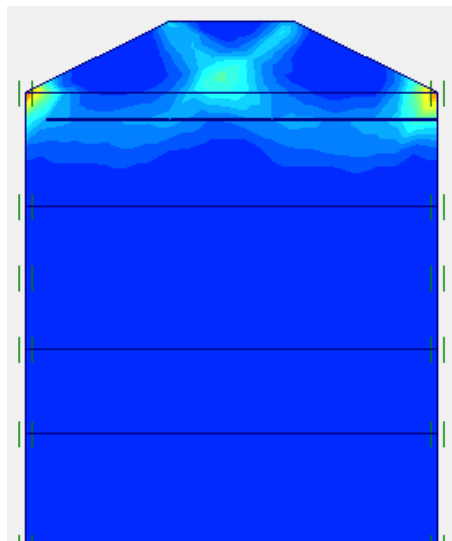


Gambar 5. 43 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Merata

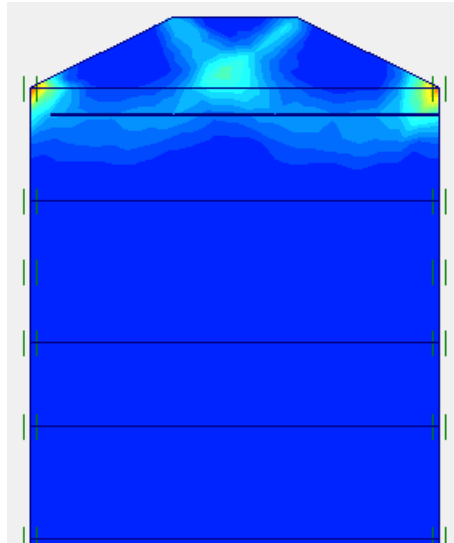


Gambar 5. 44 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akibat Beban Gempa

Nilai *Safety Factor* pada kondisi akibat beban merata sebesar 1,4319, sedangkan pada kondisi akibat beban gempa sebesar 1,4302. Potensi kelongsoran analisis pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau langsung akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.45, dan Gambar 5.46 berikut ini.

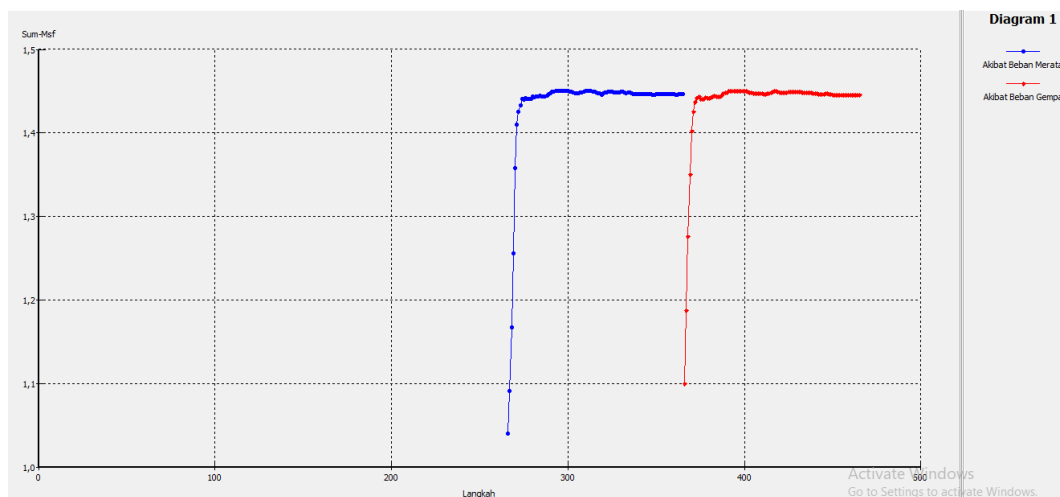


Gambar 5. 45 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Merata



Gambar 5. 46 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Gempa

Adapun *output* analisis timbunan ringan mortar busa ditinjau langsung akhir konstruksi yang disajikan dalam bentuk kurva dapat dilihat pada Gambar 5.47.

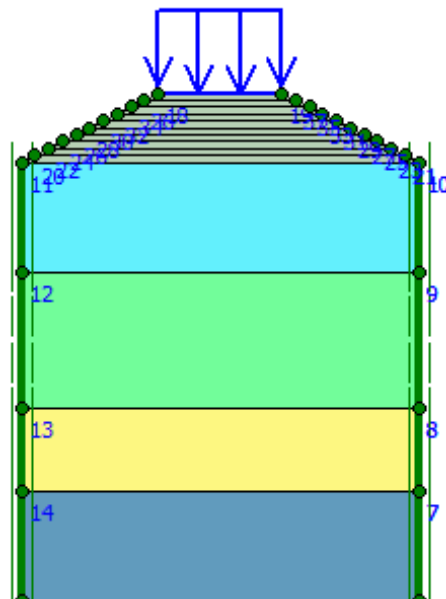


Gambar 5. 47 Kurva Nilai Safety Factor Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Akhir Konstruksi

Pada Gambar 5.47 menunjukkan kurva nilai faktor aman pada analisis timbunan pilihan yang ditinjau langsung akhir konstruksi, dimana sumbu x merupakan kondisi akibat beban merata dan terkonsolidasi, sedangkan sumbu y merupakan langkah analisis perhitungan. Garis berwarna biru adalah nilai faktor aman akibat beban merata, sedangkan garis berwarna merah adalah nilai faktor aman akibat penambahan beban gempa.

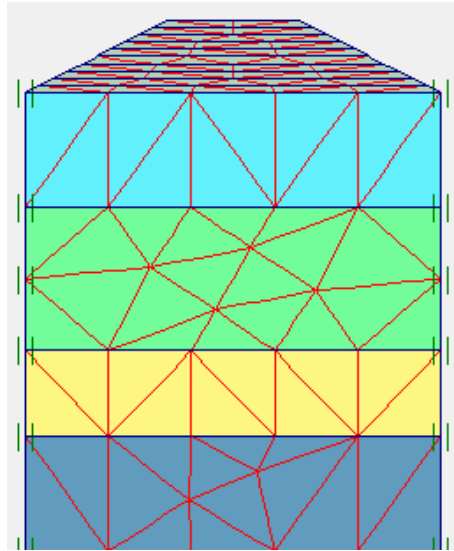
5.3.4 Timbunan Pilihan (Kemiringan 1:2) Ditinjau Langsung Secara Bertahap

Kondisi geometri jalan dan parameter tanah maupun beban sama dengan timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau langsung akhir konstruksi. Namun, pada pemodelan ini pekerjaan timbunan dilakukan secara bertahap dengan ketebalan setiap timbunan yaitu 50 cm dan diasumsikan mengalami konsolidasi selama 100 hari pada setiap timbunan. Semua tahapan analisis sama seperti timbunan yang ditinjau langsung akhir konstruksi yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pemodelan timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.48.



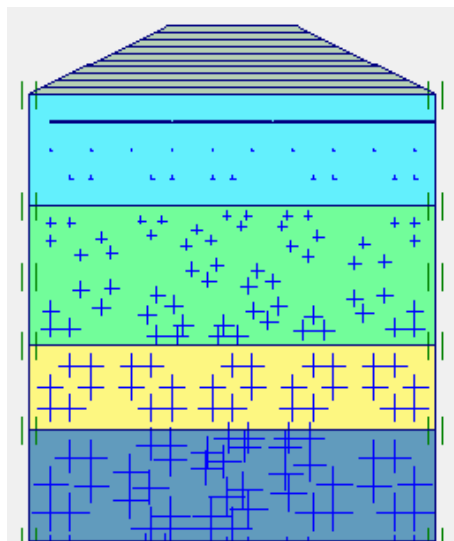
Gambar 5. 48 Pemodelan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap

Hasil penyusunan jaringan elemen (*Meshing*) pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.49

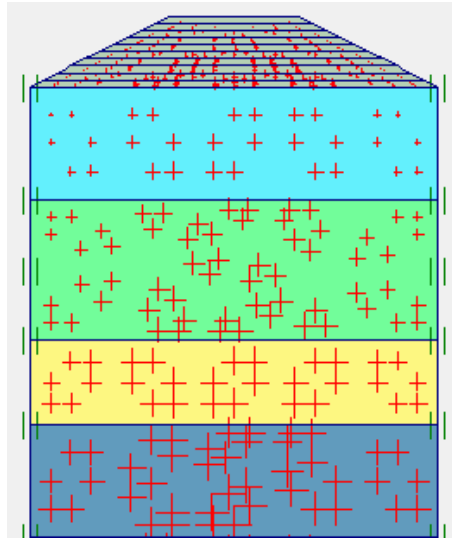


Gambar 5. 49 Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap

Kemudian dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*) yang terdiri atas *generate water pressures* dan *generate Initial Soil Stresses*. Pada saat melakukan *Initial Soil Stresses* bagian timbunan dinonaktifkan. Hasil dari *generate water pressures* dan *generate Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.50 dan Gambar 5.51.



Gambar 5. 50 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (*Generate Water Preasures*)



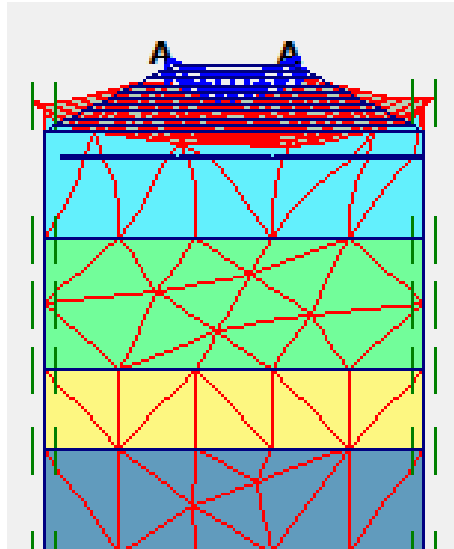
Gambar 5. 51 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (*Initial Soil Stresses*)

Setelah tahapan kondisi awal (*initial condition*) dilanjutkan ke tahap analisis perhitungan (*Calculation*) timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 ditinjau secara bertahap. Tahapan analisis sama seperti analisis timbunan pilihan yang ditinjau langsung akhir konstruksi, namun timbunan dilakukan secara bertahap setiap 50 cm dengan asumsi mengalami konsolidasi selama 100 hari pada setiap lapis. Tahapan analisis timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 ditinjau secara bertahap pada program *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 5.52.

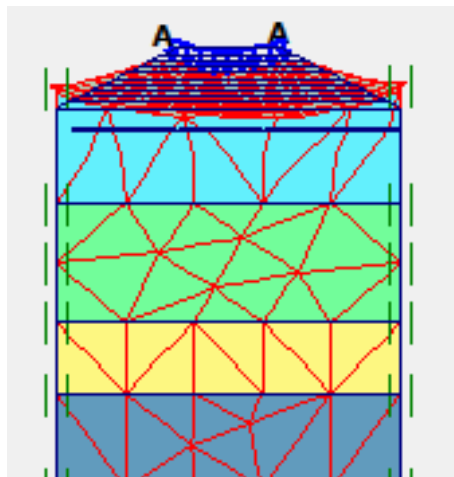
Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Perta...
✓ Konsolidasi 5	10	9	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	9	24
✓ Timbunan 6	11	10	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	11	26
✓ Konsolidasi 6	12	11	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	11	28
✓ Timbunan 7	13	12	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	13	30
✓ Konsolidasi 7	14	13	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	13	32
✓ Timbunan 8	15	14	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	15	34
✓ Konsolidasi 8	16	15	Analisa konsolidasi	Tahapan konstruksi	5,00 ...	15	36
✓ Timbunan 9	17	16	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	17	38
✓ Konsolidasi 9	18	17	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	18	40
✓ Timbunan 10	19	18	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	5,00 ...	19	42
✓ Beban Merata	20	19	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	20	44
✓ Konsolidasi 10	21	20	Analisa konsolidasi	Tekanan air pori minimum	1398...	20	49
✓ Beban Gempa	22	21	Analisa dinamik	Faktor pengali total	4,00 ...	20	59
✓ SF Pasca Beban	23	21	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	20	309
✓ SF Pasca Gempa	24	22	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	20	409

Gambar 5. 52 Tahapan Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap

Hasil *Deformed Mesh* pada Analisis timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 dapat dilihat pada Gambar 5.53 dan Gambar 5.54 berikut ini.

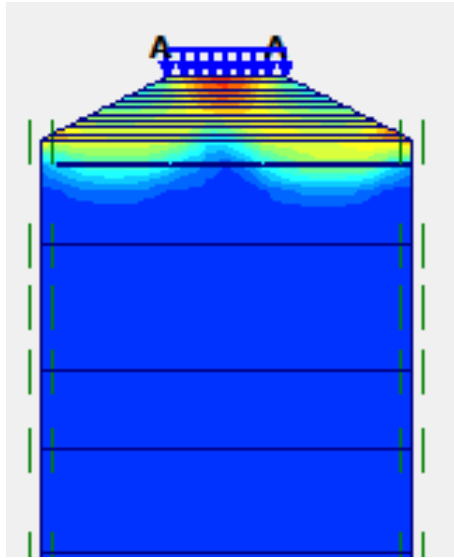


Gambar 5. 53 Deformed Mesh Pada Analisis Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Merata

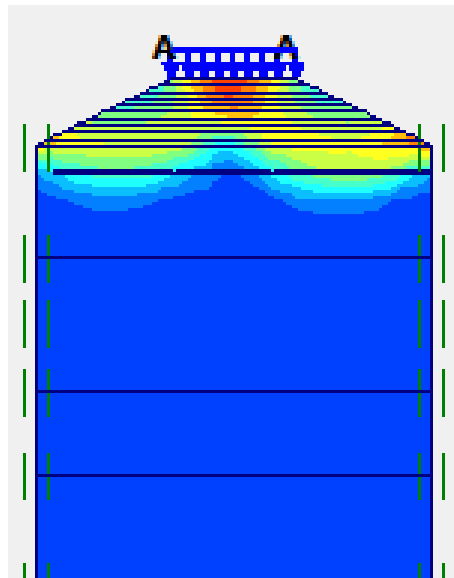


Gambar 5. 54 Deformed Mesh Pada Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada kondisi akibat beban merata sebesar $124,83 \times 10^{-3}$ m, dan pada kondisi akibat beban gempa sebesar $126,9 \times 10^{-3}$ m. *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.55, dan Gambar 5.56 berikut ini.

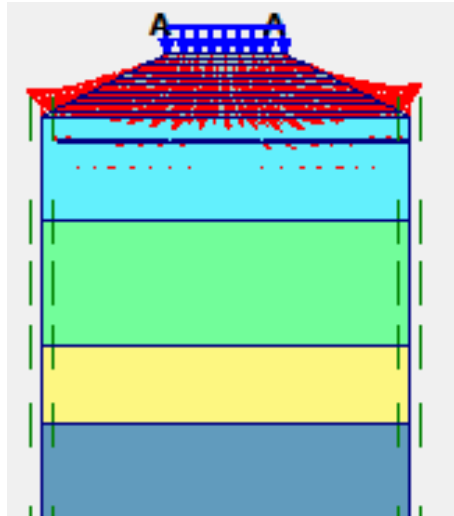


Gambar 5. 55 Total Displacement Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Merata

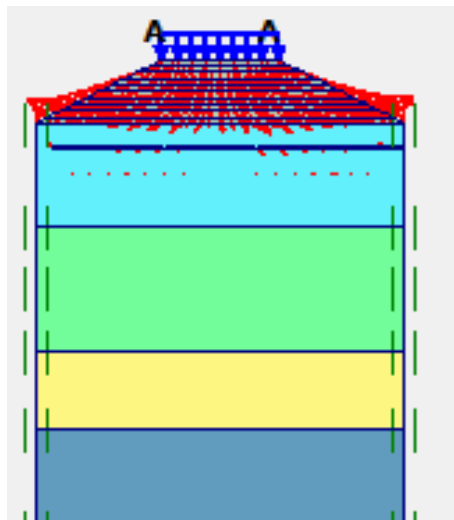


Gambar 5. 56 Total Displacement Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Gempa

Arah pergerakan tanah saat akibat beban merata didominasi oleh pergerakan vertikal, sedangkan saat kondisi beban gempa arah pergerakan memutar ke kiri dan ke kanan dikarenakan adanya gaya gempa. Hasil analisis berdasarkan arah pergerakannya dapat dilihat pada Gambar 5.57 dan Gambar 5.58.

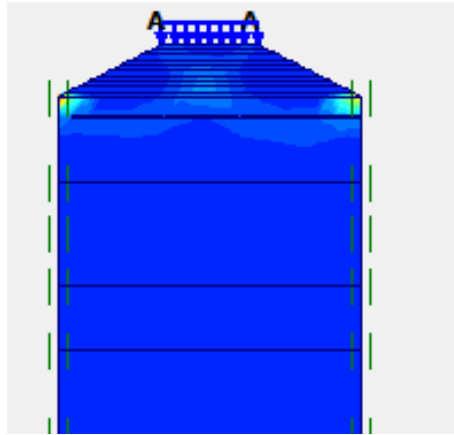


Gambar 5. 57 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Merata

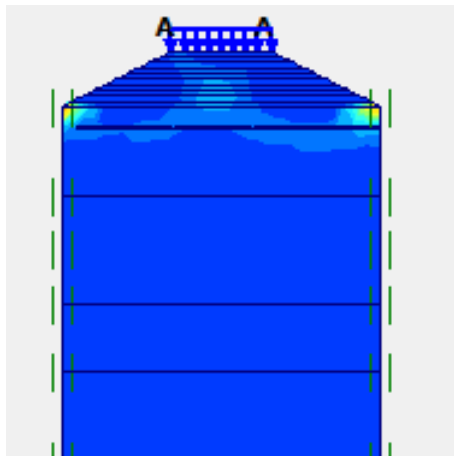


Gambar 5. 58 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Langsung Kondisi Akibat Beban Gempa

Nilai *Safety Factor* pada kondisi akibat beban merata sebesar 1,4679, sedangkan pada kondisi akibat beban gempa sebesar 1,4690. Potensi kelongsoran analisis pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.59, dan Gambar 5.60 berikut ini.

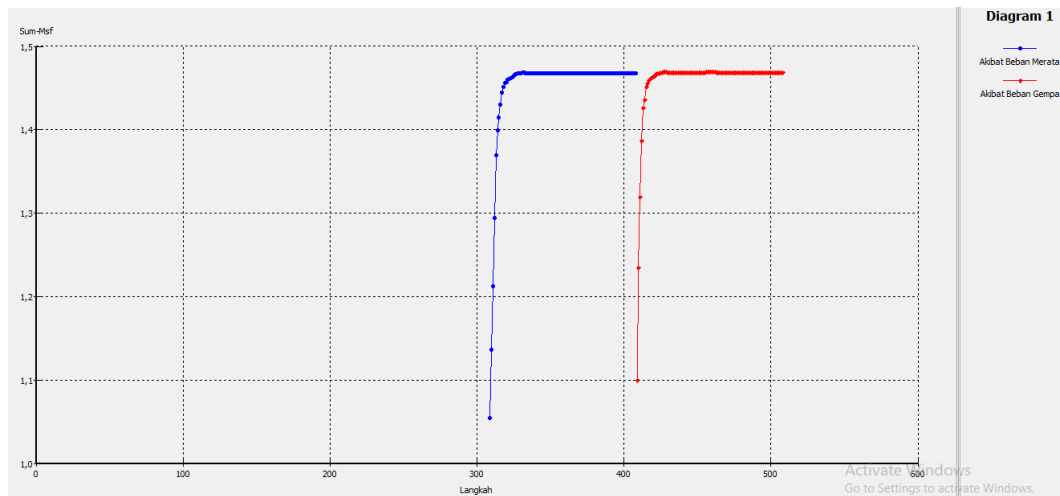


Gambar 5. 59 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Yang Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Merata



Gambar 5. 60 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Yang Ditinjau Secara Bertahap Akibat Beban Gempa

Adapun output analisis timbunan ringan mortar busa ditinjau langsung akhir konstruksi yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.61.



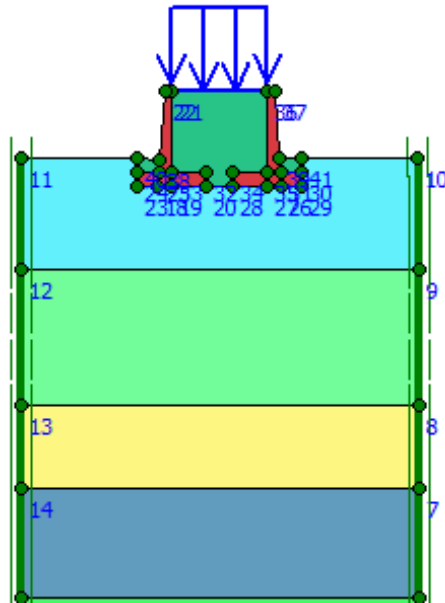
Gambar 5. 61 Kurva Nilai *Safety Factor* Analisis Timbunan Pilihan Dengan Kemiringan Lereng 1:2 Ditinjau Secara Bertahap

Pada Gambar 5.61 menunjukkan kurva nilai *Safety Factor* pada analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau langsung akhir konstruksi, dimana sumbu x merupakan kondisi akibat beban merata dan terkonsolidasi, sedangkan sumbu y merupakan langkah analisis perhitungan. Garis berwarna biru adalah nilai *Safety Factor* akibat beban merata, sedangkan garis berwarna merah adalah nilai *Safety Factor* akibat penambahan beban gempa.

5.3.5 Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Pilihan dengan Dinding

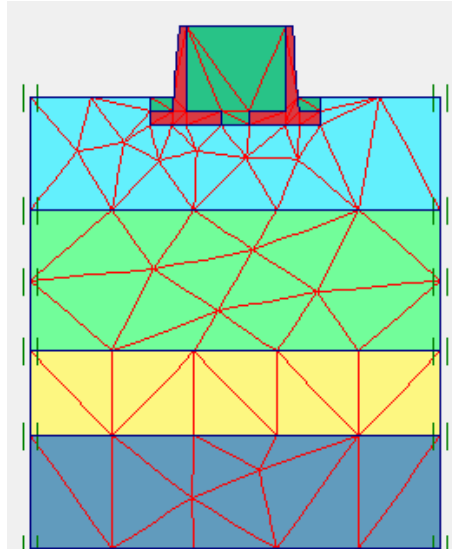
Penahan Tanah Menggunakan Program Plaxis 8.6

Timbunan yang akan dianalisis memiliki tinggi 5 meter dan lebar 9 meter. Pada analisis ini timbunan diberi variasi perkuatan berupa dinding penahan tanah yang sudah diperhitungkan pada sub bab sebelumnya. Dinding penahan tanah yang digunakan adalah jenis kantilever dengan lebar tinggi 7 meter dan lebar 4,75 meter. Model analisis yang digunakan untuk analisis timbunan dengan dinding penahan tanah yaitu model *elastic linier*, adapun pemodelan timbunan pilihan dengan dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut ini.



Gambar 5. 62 Pemodelan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah

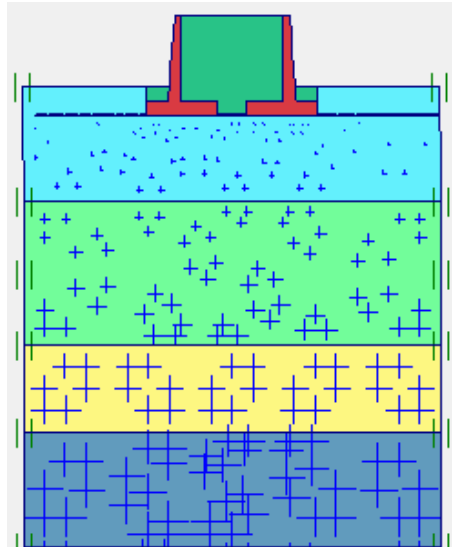
hasil penyusunan jaringan elemen (*Meshing*) pada timbunan pilihan dengan dinding penahan tanah dapat dilihat Pada Gambar 5.63.



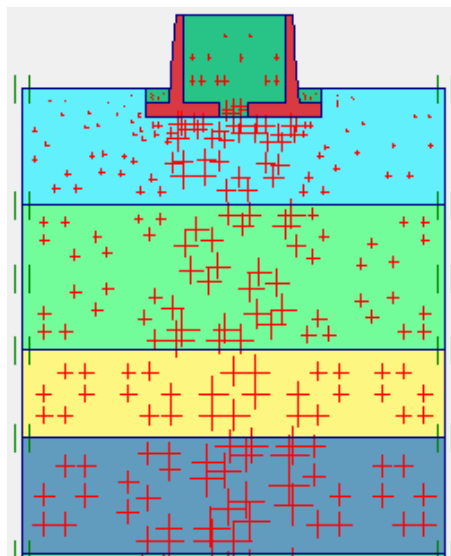
Gambar 5. 63 Penyusunan Jaringan Elemen (Meshing) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah

Setelah itu dilanjutkan dengan kondisi awal (*initial condition*) yang terdiri atas *generate water pressures* dan *generate Initial Soil Stresses*. Pada saat melakukan *Initial Soil Stresses* timbunan ringan dinonaktifkan. Hasil dari *generate water*

pressures dan *generate Initial Soil Stresses* dapat dilihat pada Gambar 5.64 dan Gambar 5.65.



Gambar 5. 64 Konfigurasi Awal Tekanan Air Pori (*Generate Water Pressures*) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah



Gambar 5. 65 Konfigurasi Awal Tegangan Tanah (*Intial Soil Stresses*) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah

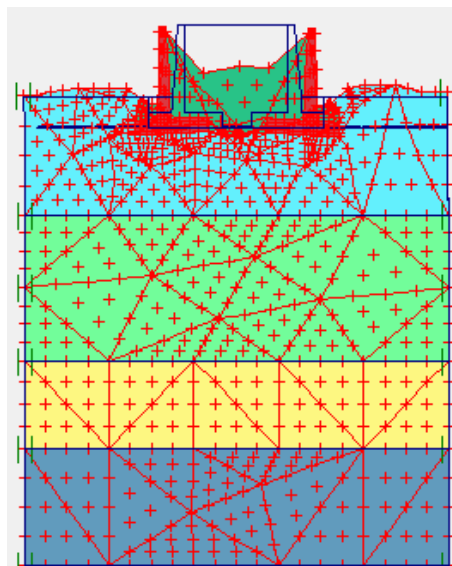
Setelah tahapan kondisi awal (*initial condition*) dilanjutkan ke tahap analisis perhitungan (*Calculation*) timbunan pilihan dengan dinding penahan tanah. Tahapan analisis sama seperti analisis timbunan pilihan yang ditinjau langsung akhir konstruksi, hanya terdapat perbedaan variasi perkuatan yaitu dinding penahan

tanah. Tahapan analisis perhitungan timbunan pilihan dengan dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.66.

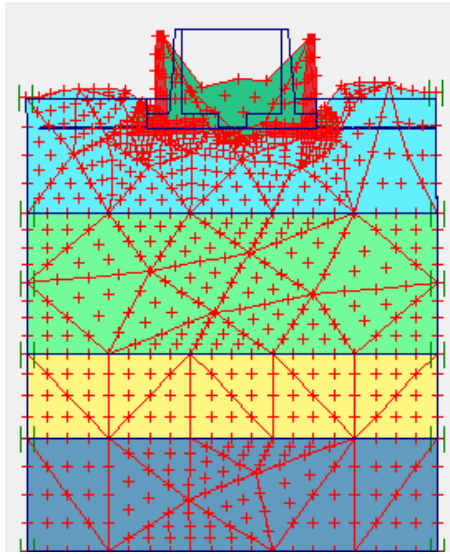
Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Perta...
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	0
✓ Timbunan +DPT +...	1	0	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	0	1
✓ Konsolidasi	2	1	Analisa konsolidasi	Tekanan air pori minimum	158,...	0	6
✓ Beban Gempa	3	1	Analisis dinamik	Faktor pengali total	3,50 ...	0	21
✓ SF Timbunan +DP...	4	1	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	0	271
✓ SF Gempa	5	3	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	0	371

Gambar 5. 66 Tahapan Analisis Perhitungan (*Calculating*) Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah

Hasil *Deformed Mesh* pada analisis timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.67, dan Gambar 5.68 berikut ini.

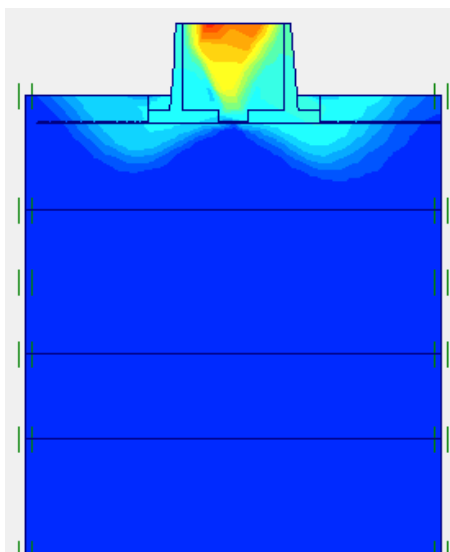


Gambar 5. 67 Deformed Mesh Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Merata

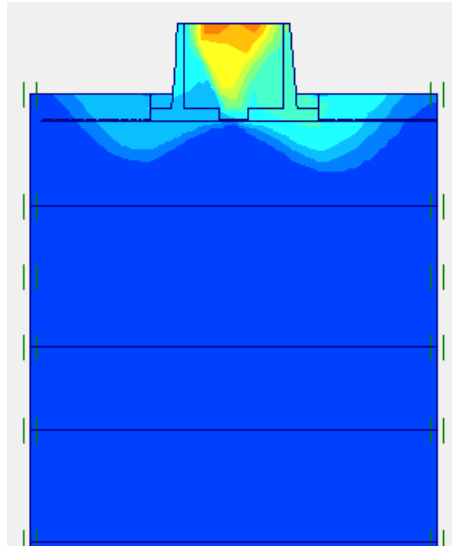


Gambar 5. 68 Deformed Mesh Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Gempa

Besarnya nilai *Total Displacement* yang terjadi pada kondisi akibat beban merata yaitu $204,79 \times 10^{-3}$ m, sedangkan pada kondisi akibat beban gempa yaitu $223,52 \times 10^{-3}$ m. *Total Displacement* yang terjadi pada timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.69, dan Gambar 5.70 berikut ini.

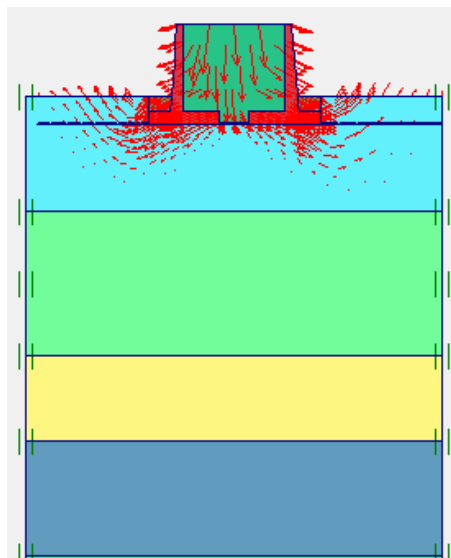


Gambar 5. 69 Total Displacement Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Merata

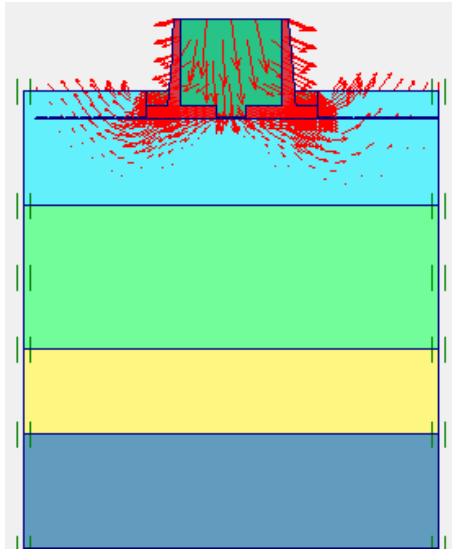


Gambar 5. 70 Total Displacement Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Gempa

Arah pergerakan tanah saat kondisi akibat beban merata didominasi oleh pergerakan vertikal, sedangkan saat kondisi akibat beban gempa arah gerakan memutar ke kiri dan ke kanan dikarenakan adanya gaya gempa. Hasil analisis berdasarkan arah pergerakannya dapat dilihat pada Gambar 5.71, dan Gambar 5.72.

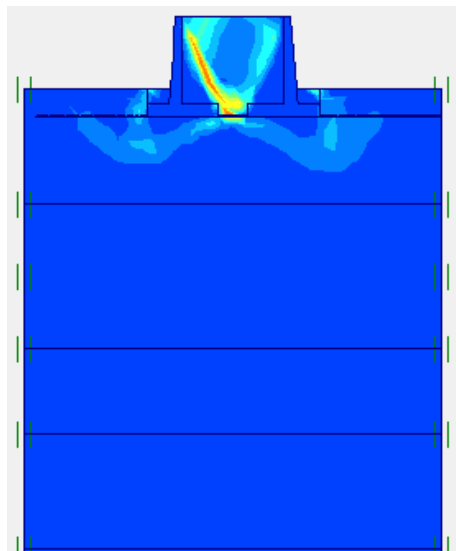


Gambar 5. 71 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Akibat Beban Merata

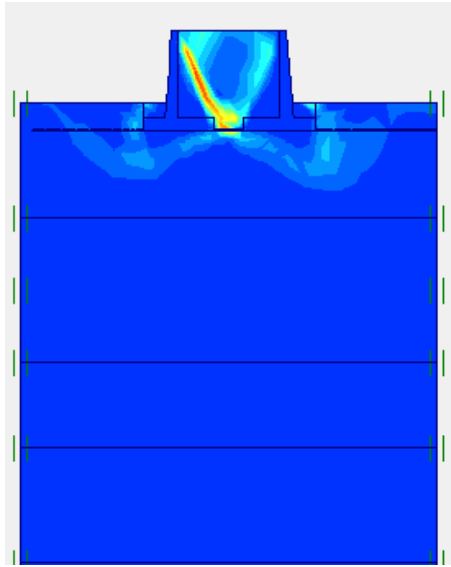


Gambar 5. 72 Arah Pergerakan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Akibat Beban Gempa

Nilai *Safety Factor* pada kondisi akibat beban merata sebesar 1,2456, sedangkan pada kondisi akibat beban gempa sebesar 1,6373. Potensi kelongsoran analisis pada timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.73, dan Gambar 5.74 berikut ini.

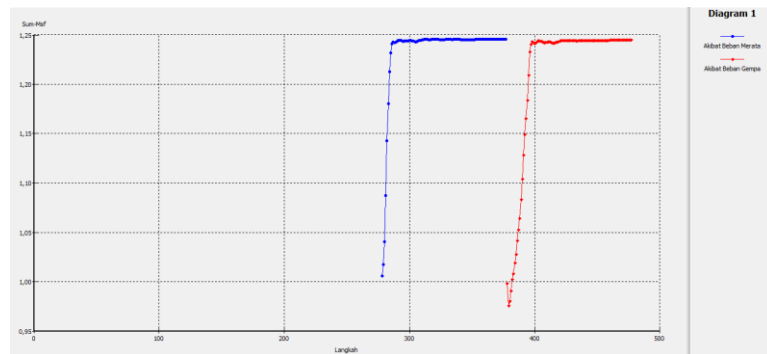


Gambar 5. 73 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Merata



Gambar 5. 74 Potensi Kelongsoran Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah Kondisi Akibat Beban Gempa

Adapun *output* analisis timbunan pilihan dengan dinding penahan tanah yang disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.75.



Gambar 5. 75 Kurva Penurunan Analisis Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah

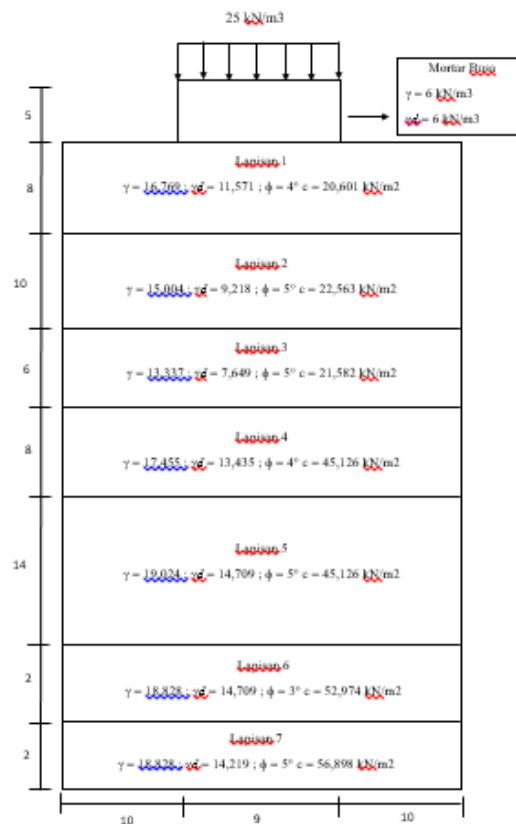
Kurva diatas (Gambar 5.75) merupakan kurva penurunan timbunan pilihan dengan perkuatan dinding penahan tanah dimana sumbu x adalah nilai penurunan (U) dan sumbu y adalah waktu (*times*) dalam hari. Garis berwarna biru merupakan penurunan akibat timbunan yang diberi beban merata kemudian mengalami konsolidasi, sedangkan garis berwarna merah merupakan penurunan akibat penambahan beban gempa.

5.4 Analisis Stabilitas dan Penurunan Secara Manual

Analisis perhitungan secara manual dilakukan sebagai kontrol dari hasil perhitungan menggunakan program Plaxis 8.6. Perhitungan penurunan manual pada penelitian ini menggunakan metode penurunan konsolidasi primer (normally consolidated), sedangkan untuk perhitungan nilai *safety factor* menggunakan metode fellenius.

5.4.1 Perhitungan Manual Timbunan Ringan Mortar Busa

Penampang timbunan yang akan dianalisis penurunannya dapat dilihat pada Gambar 5.76 berikut ini.



Gambar 5. 76 Penampang Timbunan Ringan untuk Analisis Penurunan Konsolidasi

Hitungan manual penurunan pada timbunan ringan mortar busa adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan beban
 $\gamma_{sat} = 6 \text{ kN/m}^2$

$$q_{\text{timb}} = \gamma_{\text{sat}} \times H_{\text{timb}} + B_{\text{Merata}}$$

$$q_{\text{timb}} = 6 \times 5 + 25$$

$$q = 55 \text{ kN/m}^2$$

2. Perhitungan tegangan *overburden* efektif (po') dengan Persamaan 3.8

- Lapisan 1 :

$$po' (1) = (11,571 \times 8) + [(16,765-9,81) \times \frac{2}{2}] = 99,523 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 2 :

$$po' (2) = 99,523 + [(16,765-9,81) \times \frac{2}{2}] + [(15,008-9,81) \times \frac{10}{2}] = 132,47 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 3

$$po' (3) = 132,47 + [(15,008-9,81) \times \frac{10}{2}] + [(13,331-9,81) \times \frac{6}{2}] = 169,027 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 4

$$po' (4) = 169,027 + [(13,331-9,81) \times \frac{6}{2}] + [(17,451-9,81) \times \frac{8}{2}] = 210,16 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 5

$$po' (5) = 210,16 + [(17,451-9,81) \times \frac{8}{2}] + [(19,021-9,81) \times \frac{14}{2}] = 305,209 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 6

$$po' (6) = 305,209 + [(19,021-9,81) \times \frac{14}{2}] + [(18,825-9,81) \times \frac{2}{2}] = 378,706 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 7

$$po' (7) = 378,706 + [(18,825-9,81) \times \frac{2}{2}] + [(18,825-9,81) \times \frac{2}{2}] = 396,736 \text{ kN/m}^2$$

3. Perhitungan (Δp), dilakukan dengan menghitung distribusi tegangan akibat beban lingkaran menggunakan Persamaan 3.9.

$$\Delta p = q \times I$$

Masing-masing faktor pengaruh untuk setiap lapisan ditentukan dari Gambar 3.9 (Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan, Osterberg, 1957), maka diperoleh nilai Δp yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Perhitungan Nilai Δp Timbunan Ringan

Δp_i	a	b	z	a/z	b/z	I	q	Δp
	m	m	m	-	-	-	kN/m ²	kN/m ²
Δp_1	0	4,5	9	0	0,5	0,32	55	17,6
Δp_2	0	4,5	15	0	0,30	0,23	55	12,65
Δp_3	0	4,5	23	0	0,20	0,18	55	9,9
Δp_4	0	4,5	30	0	0,15	0,15	55	8,25
Δp_5	0	4,5	41	0	0,11	0,13	55	7,15
Δp_6	0	4,5	49	0	0,09	0,12	55	6,6
Δp_7	0	4,5	51	0	0,09	0,12	55	6,6

4. Perhitungan penurunan konsolidasi primer dengan Persamaan 3.6

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1+e_0} \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0}$$

Lapisan 1 :

$$S_c = \frac{0,105 \times 8}{1+1,3} \log \frac{99,523+17,6}{99,523} = 0,0258$$

Hasil perhitungan pada lapisan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 Berikut ini.

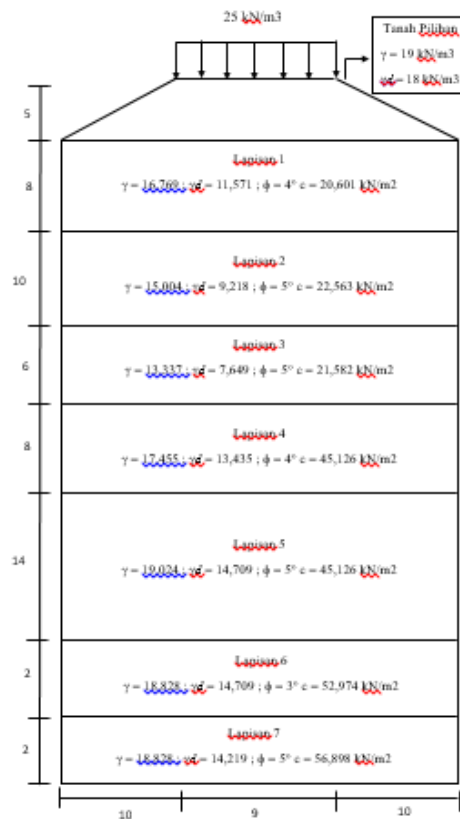
Tabel 5. 4 Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Timbunan Ringan Mortar Busa

Lapisan ke-	Cc	H (m)	e ₀	p _o ' (kN/m ²)	Δp (kN/m ²)	Sc (m)
1	0,105	8	1,3	99,523	17,6	0,0258
2	0,264	10	1,83	132,470	12,65	0,037
3	0,438	6	2,41	169,027	9,9	0,0191
4	0,075	8	1,05	210,160	8,25	0,0049
5	0,015	14	0,85	305,209	7,15	0,0011
6	0,012	2	0,84	378,706	6,6	0,0001
7	0,033	2	0,91	396,736	6,6	0,0002
						0,0882

Berdasarkan hasil perhitungan, penurunan konsolidasi primer yang terkonsolidasi secara normal pada timbunan ringan mortar busa adalah sebesar 0,0882 m atau 8,82 cm.

5.4.2 Perhitungan Manual Timbunan Pilihan

Penampang timbunan yang akan dianalisis penurunannya dapat dilihat pada Gambar 5.77 berikut ini.



Gambar 5. 77 Penampang Timbunan Pilihan untuk Analisis Penurunan Konsolidasi

Hitungan manual penurunan pada timbunan pilihan adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan beban

$$\gamma_{\text{sat}} = 18 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{timb}} = \gamma_{\text{sat}} \times H_{\text{timb}} + B.\text{Merata}$$

$$q_{\text{timb}} = 18 \times 5 + 25$$

$$q = 115 \text{ kN/m}^2$$

2. Perhitungan tegangan *overburden* efektif (po') dengan Persamaan 3.8

- Lapisan 1 :

$$po' (1) = (11,571 \times 8) + [(16,765 - 9,81) \times \frac{2}{2}] = 106,48 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 2 :

$$p_o' (2) = 106,48 + [(16,765 - 9,81) \times \frac{2}{2}] + [(15,008 - 9,81) \times \frac{10}{2}] = 158,46 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 3

$$p_o' (3) = 158,46 + [(15,008 - 9,81) \times \frac{10}{2}] + [(13,331 - 9,81) \times \frac{6}{2}] = 179,59 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 4

$$p_o' (4) = 179,59 + [(13,331 - 9,81) \times \frac{6}{2}] + [(17,451 - 9,81) \times \frac{8}{2}] = 240,73 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 5

$$p_o' (5) = 240,73 + [(17,451 - 9,81) \times \frac{8}{2}] + [(19,021 - 9,81) \times \frac{14}{2}] = 369,69 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 6

$$p_o' (6) = 369,69 + [(19,021 - 9,81) \times \frac{14}{2}] + [(18,825 - 9,81) \times \frac{2}{2}] = 387,72 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 7

$$p_o' (7) = 387,72 + [(18,825 - 9,81) \times \frac{2}{2}] + [(18,825 - 9,81) \times \frac{2}{2}] = 405,75 \text{ kN/m}^2$$

3. Perhitungan (Δp), dilakukan dengan menghitung distribusi tegangan akibat beban lingkaran menggunakan Persamaan 3.9.

$$\Delta p = q \times I$$

Masing-masing faktor pengaruh untuk setiap lapisan ditentukan dari Gambar 3.9 (Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan, Osterberg, 1957), maka diperoleh nilai Δp yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai Δp Timbunan Pilihan

Δp_i	a	b	z	a/z	b/z	I	q	Δp
	m	m	m	-	-	-	kN/m ²	kN/m ²
Δp_1	10	4,5	9	1,11	0,5	0,32	115	36,8
Δp_2	10	4,5	15	0,667	0,3	0,23	115	26,45
Δp_3	10	4,5	23	0,434	0,195	0,18	115	20,7
Δp_4	10	4,5	30	0,333	0,15	0,15	115	17,25
Δp_5	10	4,5	41	0,243	0,109	0,13	115	14,95

Lanjutan Tabel 5. 6 Perhitungan Nilai Δp Timbunan Pilihan

Δp_6	10	4,5	49	0,204	0,091	0,12	115	13,8
Δp_7	10	4,5	51	0,196	0,088	0,12	115	13,8

4. Perhitungan penurunan konsolidasi primer dengan Persamaan 3.6

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1+e_0} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$

Lapisan 1 :

$$S_c = \frac{0,105 \times 8}{1+1,3} \log \frac{106,48+36,8}{106,48} = 0,04708$$

Hasil perhitungan pada lapisan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.6 Berikut ini.

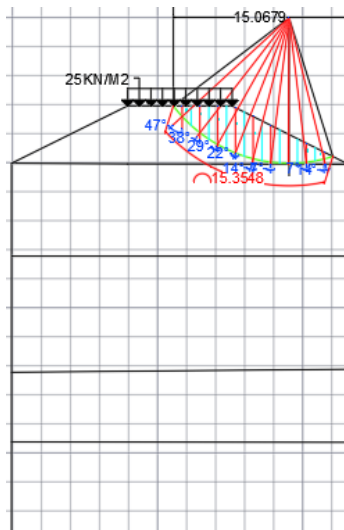
Tabel 5. 8 Hasil Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer Timbunan Pilihan

Lapisan ke-	Cc	H (m)	e ₀	p_o' (kN/m ²)	Δp (kN/m ²)	Sc (m)
1	0,105	8	1,3	106,48	36,8	0,04708
2	0,264	10	1,83	158,46	26,45	0,06254
3	0,438	6	2,41	179,59	20,7	0,03651
4	0,075	8	1,05	240,73	17,25	0,0088
5	0,015	14	0,85	369,69	14,95	0,00195
6	0,012	2	0,84	387,72	13,8	0,0002
7	0,033	2	0,91	405,75	13,8	0,0005
						0,15759

Berdasarkan hasil perhitungan, penurunan konsolidasi primer yang terkonsolidasi secara normal pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 adalah sebesar 0,15759 m atau 15,759 cm.

5.4.3 Perhitungan Nilai Faktor Aman dengan Metode Irisan

Dari program plaxis didapatkan garis potensi kelongsoran yang ditunjukkan pada Gambar 5.78, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa garis kelongsoran terbentuk hingga kaki timbunan dengan jari-jari (R) sebesar 12,533 meter. Gambar gaya-gaya yang bekerja pada irisan lereng dapat dilihat pada Gambar 5.78



Gambar 5. 78 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan

Bidang longsor yang terbentuk dibagi menjadi 9 pias, panjang total dari bidang longsor arah horizontal adalah 15,354 meter, maka setiap irisan memiliki lebar horizontal 1,526 m. Perhitungan gaya berat setiap irisan dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 9 Gaya Berat Setiap Irisan Pada Longsoran Timbunan Pilihan

Irisan No.	<i>b</i> (m)	<i>A</i> (m)	<i>W_i</i> (kN)	<i>θ</i> (°)	<i>W_i.cos.tanφ</i> (kN)	<i>W_i.sinθ</i> (kN)
1	1,52	1,328	23,905	47	7,602	17,483
2	1,52	3,482	62,690	38	23,035	38,596
3	1,52	5,036	90,648	29	36,970	43,947
4	1,52	5,880	105,852	22	45,765	39,653
5	1,52	5,530	99,556	14	45,044	24,084
6	1,52	4,806	86,518	7	40,043	10,543
7	1,52	3,789	68,209	0	31,806	0
8	1,52	2,486	44,762	-7	20,717	-5,455
9	1,52	0,8922	16,059	-14	7,266	-3,885
	13,73	33,233	598,203		258,252	164,968

Dari gambar irisan bidang longsor didapat panjang garis kurva bidang longsor sebesar 15,354 meter, maka tahanan terhadap kelongsorang karena kohesi dapat dihitung sebagai berikut :

$$c \times a = 7 \times 15,354 \times 1 = 107,483 \text{ kN}$$

Pada tanah timbunan terdapat beban merata sebesar 25 kN/m², luas total bidang longsor yaitu sebesar $15,45 \times 1 = 15,45 \text{ m}^2$. Gaya dorong yang diberikan beban merata terhadap tanah timbunan dapat dihitung seperti berikut ini.

$$M_q = 25 \times 4,5 = 112,5 \text{ kN}$$

Perhitungan nilai faktor keamanan dengan metode irisan dapat dicari dengan perbandingan antara gaya yang menahan dibagi dengan gaya yang mendorong sesuai dengan Persamaan 3.14. Perhitungan nilai faktor aman pada timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 dengan metode irisan adalah sebagai berikut.

$$\text{Faktor keamanan (SF)} = \frac{107,4836+258,252}{112,5+164,968} = 1,3181 > 1,25 \text{ (OK)}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat nilai faktor aman sebesar 1,3181, sedangkan hasil Plaxis 1,2456 (selisih 0,0725), dapat dikatakan hasil perhitungan manual mendekati hasil perhitungan Plaxis. Adanya perbedaan hasil dikarenakan penggambaran bidang longsor manual tidak sama dengan hasil bidang longsor pada plaxis.

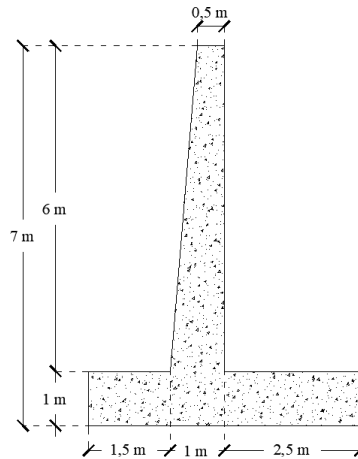
5.5 Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Pilihan dengan Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah yang akan dianalisis diasumsikan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever yang dapat dilihat pada Gambar 3.5. Analisis terdiri atas perhitungan nilai faktor aman dan penurunan. Sebelum melakukan analisis tersebut terlebih dahulu dilakukan analisis gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah yang ditinjau meliputi gaya vertikal, gaya tanah lateral, dan momen gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah yang diteliti. Adapun data dari spesifikasi struktur dinding penahan tanah adalah sebagai berikut.

1. Dinding penahan tanah dibuat dari beton bertulang
2. Mutu beton yang digunakan adalah K-350
3. Berat volume beton bertulang yang digunakan 24 kN/m³
4. Dinding penahan tanah memiliki tipe kantilever

5. Dinding penahan tanah memiliki tinggi 7 meter dan lebar 5 meter

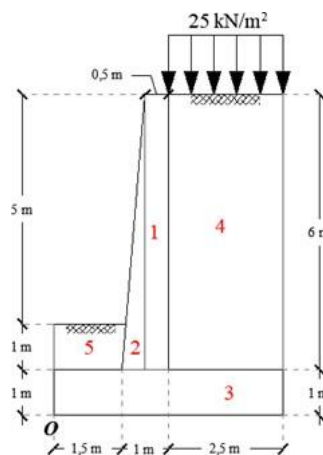
Dinding penahan tanah yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.79 berikut ini.



Gambar 5. 79 Dinding Penahan Tanah yang Digunakan

5.5.1 Perhitungan Gaya Vertikal

Perhitungan gaya vertikal terdiri atas berat struktur dinding penahan tanah dan tanah yang berada diatas dinding penahan tanah tersebut. Dinding penahan tanah yang akan dianalisis dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan gaya vertikal dinding penahan tanah. Adapun bagian-bagian dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.80.



Gambar 5. 80 Bagian-Bagian Dinding Penahan Tanah

Perhitungan gaya vertikal pada dinding penahan tanah adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bagian 1} &= p \times l \\
 &= 0,5 \times 7,5 \\
 &= 3,75 \text{ m}^2 \\
 W_1 &= \text{Luas bagian 1} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \\
 &= 3,75 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} \\
 &= 90 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, gaya vertikal yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 10 Perhitungan Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah

No Bagian DPT	Lebar	Tinggi	Luas	Berat Volume	Berat
	(m)	(m)	(m ²)	Kn/m ³	KN
1(DPT)	0,5	6	3	24	72
2 (DPT)	0,5	6	1,5	24	36
3 (DPT)	2,5	1	2,5	24	60
4 (Tanah Timbunan)	2,5	6	15	18	270
5 (Timbunan Luar)	1	1	1	18	18
6 (beban Merata)	(4,5 – 2)			25	62,5
ΣW					518,5

5.5.2 Perhitungan Gaya Lateral

Sebelum menghitung gaya lateral perlu diketahui dulu koefisien tekanan lateral akibat tanah tersebut, baik yang bersifat aktif maupun yang bersifat pasif. Rumus yang digunakan untuk menghitung koefisien tekanan aktif dan pasif menggunakan teori Rankine yang ditunjukkan pada persamaan 3.11 dan 3.17. Perhitungan nilai K_a adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 K_a &= \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) \\
 &= 0,4058
 \end{aligned}$$

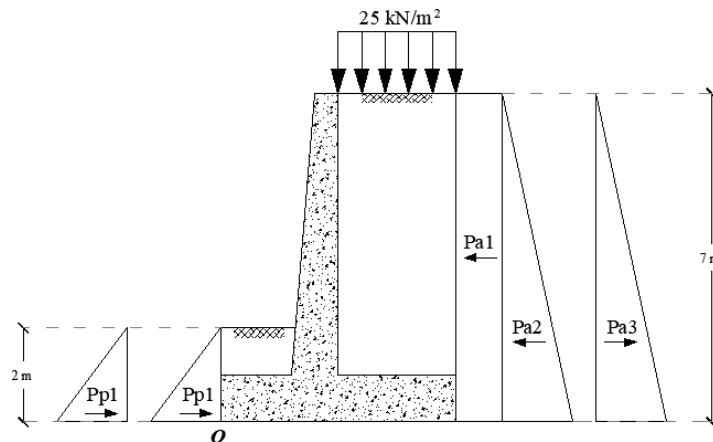
Perhitungan nilai K_p adalah berikut.

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$= 1,149$$

Setelah koefisien tekanan tanah pasif dan aktif ditentukan, dilanjutkan dengan perhitungan gaya lateral tanah. Gaya lateral tanah dapat dihitung berdasarkan luas diagram tekanan yang dibentuk oleh lapisan tanah yang ditinjau dengan titik tangkap gaya berada pada titik berat diagram tekanan. Untuk tanah yang bersifat kohesif, besarnya tekanan lateral dapat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.30.

Diagram tekanan tanah aktif dan pasif yang bekerja pada dinding penahan dapat dilihat pada Gambar 5.81.



Gambar 5. 81 Diagram Tanah Aktif dan Pasif Dinding Penahan Tanah

Perhitungan gaya-gaya lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Perhitungan Gaya-Gaya Lateral yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah

Diagram	Gaya Lateral	Nilai (kN)	Ket.
Pa1	$0.5 \times H_1^2 \times \gamma_{\text{tanah}} \times K_a$	166,43	Aktif
Pa2	$Q \times K_a \times H_2$	68,489	Aktif
Pa3	$2 \times c \times \sqrt{K_a} \times H_3$	-60,2	Aktif
$\sum Pa$		174,71	Aktif

Lanjutan Tabel 5. 12 Perhitungan Gaya-Gaya Lateral yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah

Pp1	$0.5 \times H_p2 \times \gamma_{tanah} \times K_p$	41,4	Pasif
Pp2	$2 \times c \times \sqrt{K_p} \times H_p$	30,03	Pasif
ΣP_p		71,425	Pasif

5.5.3 Hitungan Momen

Gaya-gaya vertikal dan lateral yang terjadi kemudian dicari momen terhadap titik **0**. Titik **0** merupakan titik yang berada di kaki depan dinding penahan tanah. Momen terhadap titik **0** dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Momen} = \text{Gaya } (P) \times \text{Lengan } (x)$$

Perhitungan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 14 Perhitungan Momen Pada Dinding Penahan Tanah

Gaya yang Bekerja	Bagian yang Ditinjau	Nilai (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)	Ket
Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah	1	60	2	120	M-
	2	72	1,5	108	M-
	3	1836	3,5	126	M-
	4	62,5	3,5	218,75	M-
Gaya Tanah	5	270	3,5	945	M-
	6	18	0,635	11,42	M-
Gaya Lateral Tanah	Pa1	166,43	3,5	582,49	M-
	Pa2	68,489	2,334	159,78	M-
	Pa3	-60,2	2,334	-140,45	M+
Gaya Lateral Tanah	Pp1	41,4	0,667	27,61	M+
	Pp2	30,03	0,667	20,02	M+

5.5.4 Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Permodelan dengan menggunakan dinding penahan tanah memerlukan adanya perhitungan nilai stabilitas dari struktur dinding penahan tanah tersebut sendiri. Adapun perhitungan stabilitas sebagai berikut.

1) Stabilitas terhadap Pergeseran

Perhitungan kestabilan dinding penahan tanah terhadap pengaruh penggeseran pada kondisi tanah yang memiliki c dan ϕ dapat dihitung sesuai Persamaan 3.22 seperti berikut.

$$\begin{aligned}
Ca &= 7 \text{ kN/m}^2 \\
B &= 5 \text{ m} \\
W &= 518,5 \text{ kN} \\
\tan\delta_b &= 0,45 \\
\Sigma Pa &= 174,71 \text{ kN} \\
\Sigma Pp &= 71,425 \text{ kN} \\
\Sigma Rh &= c_a B \chi W \tan\delta_b \\
&= 7 \chi 5 \chi 518,5 \chi 0,45 \\
&= 276,78 \text{ kN} \\
Fgs &= \frac{\Sigma Rh + \Sigma Pp}{\Sigma Pa} \\
&= \frac{276,78 + 71,425}{174,71} \\
&= 2,021
\end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan terhadap pergeseran memiliki nilai 2,301 , sehingga nilai faktor keamanan dinyatakan aman karena melebihi syarat faktor keamanan yaitu sebesar 2,0.

2) Stabilitas terhadap Penggulingan

Perhitungan kestabilan dinding penahan tanah terhadap pengaruh penggulingan dapat dihitung sesuai persamaan 3.23 seperti berikut.

$$\begin{aligned}
\Sigma M_{Penahan} &= \Sigma Pa + \Sigma Pa \\
&= 1529,18 + 47,64 \\
&= 1576,821 \\
\Sigma M_{Pendorong} &= 601,825 \text{ kN} \\
Fgl &= \frac{\Sigma M_{Penahan}}{\Sigma M_{Pendorong}} \\
&= \frac{1576,821}{601,825} \\
&= 2,62 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan terhadap penggulingan memiliki nilai 6,3068, sehingga nilai faktor keamanan dinyatakan aman karena melebihi syarat yaitu sebesar 2,0.

3) Stabilitas terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Perhitungan kestabilan dinding penahan tanah terhadap pengaruh Kapasitas Dukung Tanah dapat dihitung sesuai Persamaan 3.24 seperti berikut.

$$F = \frac{qU}{q}$$

$$qU = d_c i_c c N_c + d_q i_q N_q D_f \gamma + d_\gamma i_\gamma 0,5 B_\gamma N_\gamma$$

Faktor – faktor yang mempengaruhi dalam perhitungan stabilitas DPT terhadap kapasitas dukung tanah dihitung sebagai berikut.

$$D_f = 2$$

$$H = 103,287$$

$$V = 518,5$$

$$X_e = \frac{M_w - M_{aktif} - M_{pasif}}{W}$$

$$= \frac{1529,18 - 601,825 - 47,64}{518,5}$$

$$= 1,8804$$

$$e = B/2 - X_e$$

$$= 5/2 - 1,8804$$

$$= 0,6195$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 5 - 2(0,619)$$

$$= 3,76082$$

$$A' = B' \chi 1$$

$$= 3,76082 \chi 1$$

$$= 3,76082$$

$$N_q = \tan (45 + \varphi/2)^2 e^{\pi \tan \varphi}$$

$$= \tan (45 + 25/2)^2 e^{\pi \tan 25}$$

$$= 10,6621$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$\begin{aligned}
&= (10,6621 - 1) \cot 25 \\
&= 20,72044 \\
N_\gamma &= 1,5 (N_q - 1) \tan \varphi \\
&= 1,5 (10,6621 - 1) \tan 25 \\
&= 6,7583 \\
d_q &= 1 + 2 \left(\frac{D}{B} \right) \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \\
&= 1 + 2 \left(\frac{2}{5} \right) \tan 25 (1 - \sin 25)^2 \\
&= 1,12436 \\
d_c &= 1 + 0,4 \left(\frac{D}{B} \right) \\
&= 1 + 0,4 \left(\frac{2}{5} \right) \\
&= 1,16 \\
d_\gamma &= 1 \\
i_q &= \left[1 - \frac{0,5 H}{V + A' C a \cot \varphi} \right]^5 \\
&= \left[1 - \frac{0,5 \cdot 103,287}{518,5 + 3,76082 \cdot 7 \cot 25} \right]^5 \\
&= 0,62891 \\
i_c &= i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_q - 1} \\
&= 0,62891 - \frac{(1 - 0,62891)}{10,6621 - 1} \\
&= 0,59051 \\
i_\gamma &= \left[1 - \frac{0,7 H}{V + A' C a \cot \varphi} \right]^5 \\
&= \left[1 - \frac{0,7 \cdot 103,287}{518,5 + 3,76082 \cdot 7 \cot 25} \right]^5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,51581 \\
qU &= d_c i_c c N_c + d_q i_q N_q D_f^\gamma + d_\gamma i_\gamma 0,5 B_\gamma N_\gamma \\
&= 1,16 \chi 0,590511 \chi 20,7204 + 1,12436 \chi 0,62891 \chi \\
&\quad 10,6621 \chi 2 + 1 \chi 0,51581 \chi 0,5 \chi 5 \chi 18 \chi 6,7582 \\
&= 541,83939 \\
q &= \frac{V}{B'} \\
&= \frac{518,5}{3,76082} \\
&= 137,86885 \\
F &= \frac{qu}{q} \\
&= \frac{541,83939}{137,86885} \\
&= 3,93011
\end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan terhadap Kapasitas Dukung Tanah memiliki nilai 3,93011 sehingga nilai faktor keamanan dinyatakan aman karena melebihi syarat yaitu sebesar 3,0.

5.6 Pembahasan

Analisis stabilitas dan penurunan pada timbunan oprit jembatan dilakukan untuk mengetahui nilai faktor aman dan penurunan yang terjadi pada timbunan. Analisis dilakukan dengan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual dengan metode Terzaghi untuk penurunan serta metode Fellenius untuk mencari faktor aman. Timbunan yang dianalisis memiliki tinggi 5 meter dan panjang 9 meter. Pemodelan timbunan ringan mortar busa mengikuti kondisi eksisting di lapangan, sedangkan untuk timbunan pilihan dilakukan dengan dua pemodelan yaitu dengan kemiringan lereng 1:2 dan dengan dinding penahan tanah (DPT). Pemodelan timbunan ditinjau dari dua sudut pandang, diantaranya ditinjau langsung akhir konstruksi dan ditinjau secara bertahap dengan tebal 1 meter pada setiap lapisnya.

Analisis stabilitas dan penurunan pada oprit jembatan ini memperhitungkan parameter beban merata akibat beban struktur dan beban lalu lintas, serta beban gempa yang sesuai dengan lokasi studi kasus, yaitu di daerah saya analisis.

Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai penurunan dan faktor aman pada setiap pemodelan timbunan. Terdapat perbedaan hasil perhitungan antara perhitungan menggunakan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual.

Pada perhitungan penurunan manual menggunakan teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi, maka penurunan tersebut dianggap hanya satu arah yaitu arah vertikal. Sedangkan Plaxis merupakan program dua dimensi, dimana penurunannya disebabkan tegangan dari dua arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal. Perhitungan pada plaxis memiliki perhitungan yang lebih kompleks sehingga membuat hasil analisis menjadi berbeda. Begitupun dengan perhitungan nilai faktor aman yang memiliki perbedaan hasil yang cukup signifikan. Pada perhitungan nilai faktor aman metode fillenius penggambaran bidang longsor yang terjadi pada timbunan tidak sama persis dengan hasil yang menggunakan program plaxis, sehingga hasil tidak sama.

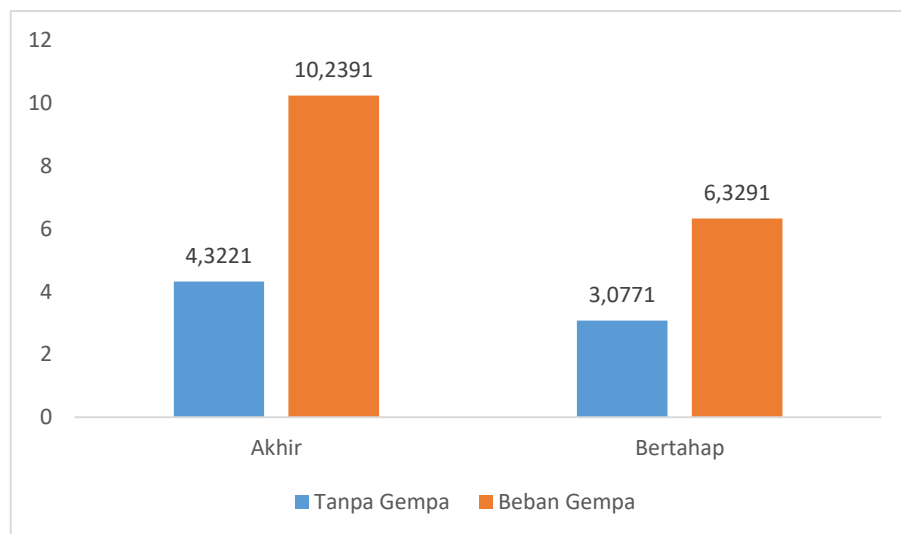
5.6.1 Timbunan Ringan Mortar Busa

Timbunan ringan mortar busa merupakan salah satu solusi untuk mengurangi masalah penurunan dan stabilitas pada oprit jembatan yang berhasil diciptakan oleh para peneliti Balai Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Geoteknik Jalan dari Pusat Jalan dan Jembatan (Pusjatan) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Timbunan ini memiliki berat isi yang rendah sehingga dapat mengurangi tegangan vertikal yang diterima tanah. Pemodelan dibuat dengan memperhitungkan beban merata dan beban gempa serta ditinjau secara langsung akhir konstruksi dan bertahap. Berdasarkan perhitungan menggunakan program Plaxis 8.6 nilai stabilitas dan penurunan timbunan pilihan dapat dilihat pada Tabel 5.11 Sebagai berikut.

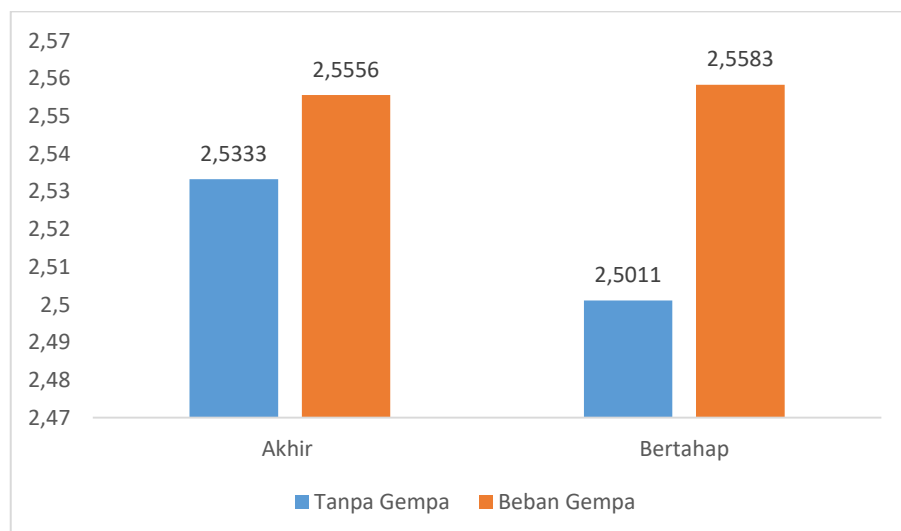
Tabel 5. 15 Hasil Analisis Penurunan dan *Safety Factor* Mortar Busa

Tinjauan	Kondisi	Penurunan (cm)	<i>Safety Factor</i>
Langsung akhir konstruksi	Beban merata	4,3221	2,5333
	Beban Gempa	10,2391	2,5556
Bertahap	Beban merata	3,0771	2,5011
	Beban Gempa	6,3291	2,5583

Berdasarkan hasil analisis, penurunan pada akhir konstruksi lebih besar daripada bertahap, karena tanah menerima beban sekaligus mengakibatkan tegangan dalam tanah lebih besar dibandingkan secara bertahap. Hasil nilai faktor aman yang dihasilkan pada analisis timbunan ringan mortar busa $> 1,25$, berdasarkan kriteria faktor aman minimum pada Tabel 3.2, timbunan dapat dikatakan memiliki kondisi yang stabil. Berikut ini adalah grafik hasil dari analisis stabilitas dan penurunan timbunan ringan mortar busa yang dapat dilihat pada Gambar 5.82 dan Gambar 5.83.



Gambar 5. 82 Grafik Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa



Gambar 5. 83 Grafik Nilai Faktor Aman Timbunan Ringan Mortar Busa

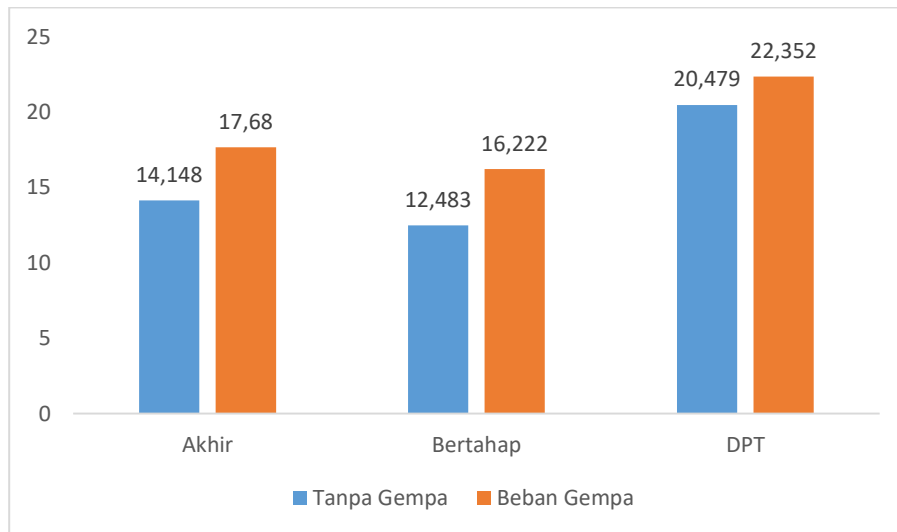
5.6.2 Timbunan Pilihan

Pada analisis timbunan pilihan, pemodelan timbunan menggunakan 2 perkuatan yaitu dengan kemiringan lereng 1:2 dan dengan dinding penahan tanah. Berdasarkan perhitungan menggunakan program Plaxis 8.6 nilai stabilitas dan penurunan timbunan pilihan dapat dilihat pada Tabel 5.12 Sebagai berikut.

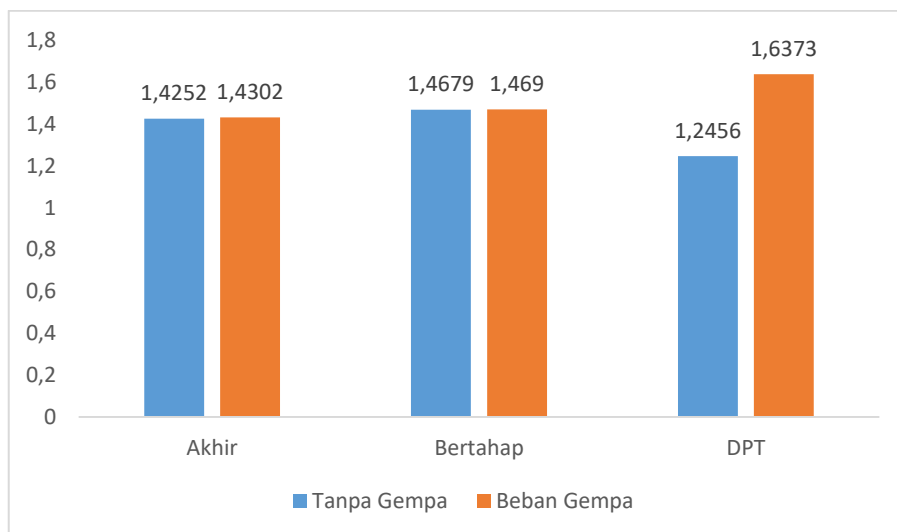
Tabel 5. 16 Analisis Penurunan dan *Safety Factor* Timbunan Pilihan

Tinjauan	Kondisi	Penurunan	<i>Safety Factor</i>
Dengan Kemiringan Lereng 1:2			
Langsung Akhir Konstruksi	Beban Merata	14,148	1,4252
	Beban Gempa	17,68	1,4302
Bertahap	Beban Merata	12,483	1,4679
	Beban Gempa	16,222	1,469
Dengan Dinding Penahan Tanah			
Langsung Akhir Konstruksi	Beban Merata	20,479	1,2456
	Beban Gempa	22,352	1,6373

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 5.7, penurunan pada akhir konstruksi lebih besar daripada bertahap, karena tanah menerima beban sekaligus yang mengakibatkan tegangan dalam tanah lebih besar dibandingkan secara bertahap. Hasil analisis timbunan pilihan dengan kemiringan lereng 1:2 yang ditinjau langsung akhir konstruksi dan timbunan pilihan dengan dinding penahan tanah memiliki faktor aman $> 1,25$, berdasarkan kriteria faktor aman minimum pada Tabel 3.2, timbunan dapat dikatakan memiliki kondisi yang stabil. Sedangkan timbunan pilihan yang ditinjau secara bertahap nilai faktor aman $< 1,25$, maka kondisi timbunan tidak stabil. Berikut ini adalah grafik hasil dari analisis stabilitas dan penurunan timbunan pilihan yang dapat dilihat pada Gambar 5.84 dan Gambar 5.85.



Gambar 5. 84 Penurunan Timbunan Pilihan



Gambar 5. 85 Nilai Safety Factor Timbunan Pilihan

5.6.3 Perbandingan Stabilitas dan penurunan Antara Timbunan Ringan Mortar Busa dan Timbunan Pilihan

Untuk membuktikan efektivitas penggunaan timbunan ringan mortar busa, terutama dalam mengurangi besarnya penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan, maka dapat dilakukan dengan membandingkan hasil analisis timbunan ringan mortar busa dan timbunan pilihan yang dilakukan pada oprit jembatan *Flyover* Klonengan. Hasil Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 17 Perbandingan Timbunan Ringan dan Timbunan Pilihan

Jenis Timbunan	Tinjauan	Akibat Beban Merata		Akibat Penambahan Beban Gempa	
		Penurunan (cm)	Faktor Aman	Penurunan (cm)	Faktor Aman
Timbunan Ringan Mortar Busa	Langsung Akhir Konstruksi	4,3221	2,5333	10,2391	2,5556
Timbunan Pilihan (1:2)	Langsung Akhir Konstruksi	14,148	1,4252	17,68	1,4302
Timbunan Pilihan (DPT)	Langsung Akhir Konstruksi	20,479	1,2456	22,352	1,6373
Timbunan Ringan Mortar Busa	Bertahap	3,0771	2,5011	6,3291	2,5583
Timbunan Pilihan (1:2)	Bertahap	12,483	1,4679	16,222	1,469

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 5.8, timbunan ringan mortar busa menghasilkan penurunan yang lebih kecil dibandingkan dengan timbunan pilihan, hal ini terjadi karena timbunan ringan mortar busa memiliki berat isi yang ringan. Begitupun dengan nilai faktor aman, timbunan ringan mortar busa menghasilkan nilai faktor aman yang lebih besar daripada timbunan pilihan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

1. Timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara langsung akhir konstruksi tanpa beban gempa memiliki nilai penurunan 4,322 cm dan nilai *safety factor* 2,533, sedangkan dengan penambahan beban gempa memiliki nilai penurunan sebesar 10,239 cm dan nilai *safety factor* sebesar 2,556.
2. Timbunan ringan mortar busa yang ditinjau secara bertahap tanpa beban gempa memiliki nilai penurunan 3,077 cm dan nilai *safety factor* 2,501, sedangkan dengan penambahan beban gempa memiliki nilai penurunan sebesar 6,329 cm dan nilai *safety factor* sebesar 2,558.
3. Timbunan pilihan yang ditinjau langsung akhir konstruksi dengan kemiringan lereng 1:2 tanpa beban gempa memiliki nilai penurunan 14,148 cm dan nilai *safety factor* 1,425, sedangkan dengan penambahan beban gempa memiliki nilai penurunan sebesar 17,68 cm dan nilai *safety factor* sebesar 1,430.
4. Timbunan pilihan yang ditinjau secara bertahap dengan kemiringan lereng 1:2 tanpa beban gempa memiliki nilai penurunan 12,483 cm dan nilai *safety factor* 1,467, sedangkan dengan penambahan beban gempa memiliki nilai penurunan sebesar 16,222 cm dan nilai *safety factor* sebesar 1,469.
5. Analisis timbunan ringan mortar busa, baik yang ditinjau langsung akhir konstruksi maupun yang ditinjau secara langsung menghasilkan nilai penurunan yang lebih kecil daripada timbunan pilihan, karena timbunan

mortar busa memiliki berat isi material yang lebih ringan. Ditinjau dari nilai faktor aman, timbunan ringan mortar busa memiliki faktor aman yang lebih besar dibandingkan dengan timbunan pilihan, hal ini terjadi karena sifat mortar busa yang kaku seperti beton sehingga dapat meningkatkan nilai stabilitas tersebut.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai optimasi harga serta penggunaan material mortar busa di berbagai jenis proyek dan lokasi.
2. Penelitian selanjutnya untuk melengkapi data rekaman gempa dapat menggunakan rekaman gempa di lokasi tinjauan yang didapatkan dengan cara PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard*) atau DSHA (*Deterministic Seismic Hazard*).
3. Penelitian selanjutnya bisa dilakukan simulasi perhitungan dengan menggunakan software selain *plaxis* seperti *geostudio*, *slide/W* atau *Geo5*.


DAFTAR PUSTAKA


- Atamini, H., dan Moestofa, B. (2018). Evaluasi Stabilitas dan Penurunan Antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan Pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional. No. 1, Vol. 4. Bandung.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Departemen Pekerjaan Umum. Bandung.*
- Bahari, S.R., dan Hamdan, I.N. (2017). Analisis Geoteknik Pada Teknologi Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP) dalam Perencanaan Flyover Antapani. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional. No. 4, Vol. 3. Bandung.*
- Bowles, J.E. (1986). Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 1. *Penerbit Erlangga. Jakarta.*
- Das, B.M. (1988). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik). *Penerbit Erlangga. Surabaya.*
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). Pt-T-10-2002-B Panduan Geoteknik 4 - Desain dan Konstruksi - Timbunan Jalan Pada Tanah Lunak. *Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Bandung.*
- Fadhilah, R., dan Hamdhan, I.N. (2017). Analisis Stabilitas dan Penurunan Pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional. No. 2, Vol. 3. Bandung.*
- Hardiyatmo, H.C. (2006). Mekanika Tanah 1. *Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.*
- Hardiyatmo, H.C. (2010). Mekanika Tanah 2. *Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.*

- Hardiyatmo, H.C. (2010). Analisis dan Perancangan Fondasi. *Gajah Mada University Press. Yogyakarta.*
- Hariyadi. (2018). Analisis Perilaku Gerakan Massa Tanah Pada Dinding Penahan Tanah Overpass Simpang Paringin Sta. 250-275 Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. 118*
- Purindang, W. (2020). Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan menggunakan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan.

LAMPIRAN

Lampiran 1 –Data Laboratorium

		LABORATORY TEST RESULT				
PROJECT		: PROYEK FO KLORENGAN				
LOCATION		: KLORENGAN – PRUPUK TEGAL, JAWA TENGAH				
BORING NO.		DB 1				
DEPTH (m)		7.50 - 8.00	17.50 - 18.00	23.50 - 24.00	31.50 - 32.00	
SAMPLE STATUS		UDS 1	UDS 2	UDS 3	UDS 4	
P R O P R T I E S	VOLUMIC WEIGHT					
	Moisture Gravity (G _m)		2.71	2.67	2.66	2.80
	Natural Water Content (w)	%	45	63	74	31
	Bulk Density (γ _{td})	ton/m ³	1.71	1.53	1.38	1.78
	Dry Density (γ _d)	ton/m ³	1.18	0.84	0.78	1.37
	Void Ratio (e)		1.30	1.83	2.41	1.05
	Porosity (n)		0.56	0.65	0.71	0.51
	Degree of Saturation (Sr)	%	94.02	91.64	82.17	81.60
	ATTERBERG LIMITS					
	Liquid Limits (LL)	%	95.42	97.21	105.14	105.14
	Plastic Limits (PL)	%	42.70	40.94	44.21	44.21
	Plasticity Index (PI)	%	52.66	56.27	60.94	60.94
	HIDROMETER ANALYSIS					
	Gravel	%	0.00	0.00	0.00	0.00
Sand	%	31.98	2.43	4.69	1.18	
Silt	%	26.00	25.34	23.36	27.55	
Clay	%	48.02	72.23	72.05	71.27	
E N G I N E R I E S	CONSOLIDATION TEST					
	Coefficient of Consolidation (C _v)	cm ² /sec	0.000138	0.000147	0.000143	0.000143
	Compression Index (C _c)		0.505	0.433	0.530	0.304
	PC	kg/cm ²	2.34	2.30	3.38	3.42
	TRIAXIAL (UU TEST)					
	Cohesion (c)	kg/cm ²	0.21	0.23	0.22	0.48
	Friction Angle (φ)	deg	4.00	5.00	5.00	4.00
	TRIAXIAL (CU/CF TEST)					
	Cohesion (c)	kg/cm ²	-	-	-	-
	Friction Angle (φ)	deg	-	-	-	-
	Cohesion (c')	kg/cm ²	-	-	-	-
	Friction Angle (φ')	deg	-	-	-	-
	UNCONFINED COMPRESSION TEST (UC1)					
	Unconfined Compressive Strength (q _u)	kg/cm ²	-	-	-	-
Shear Strength (c _u)	kg/cm ²	-	-	-	-	
CLAY ACTIVITY						
Activity		1.10	0.78	0.64	0.65	
Group		Normal	Normal	Normal	Normal	
Soil Mineral Prediction		Site	Site	Site	Site	
COMPACTION						
Optimal Water Content (W _{opt})	%	-	-	-	-	
Maximum Dry Density (γ _d max)	g/cc	-	-	-	-	
CBR						
CBR Design	%	-	-	-	-	
PERMEABILITY						
Coefficient of permeability (k _v × 10 ⁻⁷)	cm/sec	-	-	-	-	
UNIFIED CLASSIFICATION		MH	CH	MH	MH	

		LABORATORY TEST RESULT			
PROJECT		: PROYEK FO KLONGAN			
LOCATION		: KLONGAN – PRUPUK TEGAL, JAWA TENGAH			
BORING NO.		DB 1			
DEPTH (m)		45.50 - 46.00	47.50 - 48.00	49.50 - 50.00	
SAMPLE STATUS		UDS 5	UDS 6	UDS 7	
PROPERTIES	VOLUMIC WEIGHT				
	Specific Gravity (G _s)	2.75	2.75	2.77	
	Natural Water Content (w)	%	29	28	
	Bulk Density (ρ _m)	ton/m ³	1.94	1.92	1.92
	Dry Density (ρ _d)	ton/m ³	1.50	1.50	1.45
	Void Ratio (e)		0.85	0.84	0.91
	Porosity (n)		0.46	0.46	0.48
	Degree of Saturation (S _r)	%	94.04	91.20	99.24
	ATTERBERG LIMITS				
	Liquid Limits (LL)	%	102.31	103.50	104.39
	Plastic Limits (PL)	%	45.85	47.00	47.99
	Plasticity Index (PI)	%	56.46	56.40	56.40
	HYDROMETER ANALYSIS				
	Gravel	%	1.06	0.00	0.00
	Sand	%	3.08	2.10	0.95
Silt	%	55.21	59.78	37.23	
Clay	%	40.66	38.12	61.82	
ENGINEERING	CONSOLIDATION TEST				
	Coefficient of Consolidation (C _v)	cm ² /sec	0.000145	0.000149	0.000094
	Compression Index (C _c)		0.102	0.294	0.305
	PC	kg/cm ²	2.16	2.30	2.42
	TRIAXIAL (UU TEST)				
	Cohesion (c)	kg/cm ²	0.46	0.54	0.58
	Friction Angle (φ)	deg	5.00	3.00	5.00
	TRIAXIAL (CU BP TEST)				
	Cohesion (c)	kg/cm ²	-	-	-
	Friction Angle (φ)	deg	-	-	-
	Cohesion (c')	kg/cm ²	-	-	-
	Friction Angle (φ')	deg	-	-	-
	UNCONFINED COMPRESSION TEST (UCU)				
	Unconfined Compressive Strength (q _u)	kg/cm ²	-	-	-
	Shear Strength (c _u)	kg/cm ²	-	-	-
CLAY ACTIVITY					
Activity		1.38	0.83	0.91	
Group		High	Normal	Normal	
Soil Mineral Prediction		Montmorillonite	Illite	Illite	
COMPACTION					
Optimal Water Content (W _{opt})	%	-	-	-	
Maximum Dry Density (ρ _{d max})	g/cc	-	-	-	
C B R					
CBR Design	%	-	-	-	
PERMEABILITY					
Coefficient of permeability (k _v - 0')	cm/sec	-	-	-	
UNIFIED CLASSIFICATION		MH	MH	MH	