TUGAS AKHIR

ANALISIS NILAI STABILITAS DAN PENURUNAN PADA TIMBUNAN RINGAN MORTAR BUSA DAN TIMBUNAN TANAH KONVENSIONAL PADA OPRIT JEMBATAN

(*ANALYSIS OF STABILITY AND SETTLEMENT IN CORRUGATED MORTAR PUSJATAN AND CONVENTIONAL EMBANKMENT ON BRIDGE OPRIT)*

(STUDI KASUS : PROYEK *FLYOVER* PURWOSARI, KOTA SURAKARTA, PROVINSI JAWA TENGAH)

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

GIGIH BRAMANTYA

17511023

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2021

TUGAS AKHIR

ANALISIS NILAI STABILITAS DAN PENURUNAN PADA TIMBUNAN RINGAN MORTAR BUSA DAN TIMBUNAN TANAH KONVENSIONAL PADA OPRIT JEMBATAN

(*ANALYSIS OF STABILITY AND SETTLEMENT IN CORRUGATED MORTAR PUSJATAN AND CONVENTIONAL EMBANKMENT ON BRIDGE OPRIT)*

(STUDI KASUS : PROYEK *FLYOVER* PURWOSARI, KOTA SURAKARTA, PROVINSI JAWA TENGAH)

Disusun Oleh

Gigih Bramantya

17511023

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

Diuji pada tanggal
30 Juni 2021
Oleh Dewan penguji

Dosen Pembimbing	Penguji 1	Penguji 2
Hanindya Kusuma Artati, S.T.,M.T.	**Muhammad Rifqi Abdurrozak S.T.,M.Eng.**	**Ir. Akhmad Marzuko, M.T.**
NIK. 045110407	**NIK. 135111101**	**NIK. 885110107**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Dr. Ir Sri Amini Yuni Astuti, M.T

NIK.885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Penyusun menyatakan dengan sadar bahwa Laporan Tugas Akhir yang disusun sebagai syarat untuk penyelesaian strata Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan , Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam yang merupakan pengutipan hasil karya orang lain telah dituliskan referensinya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan sebagian atau seluruh Laporan Tugas Akhir ini atau ada plagiasi dalam bagian bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan dan undang-undang yang berlaku.

Yogyakarta, Mei 2021

Pembuat pernyataan,

Gigih Bramantya

17 511 023

HALAMAN DEDIKASI

Tugas Akhir ini saya dedikasikan untuk seluruh pihak yang telah membantu saya dalam menempuh pendidikan sarjana. Pihak tersebut antara lain Orang Tua saya , Keluarga saya, Dosen dan tenaga pendidik saya terkhusus dosen pembimbing Tugas Akhir saya Ibu Hanindya , Dosen Pembimbing Praktik Kerja Saya Bapak Marzuko, Dosen Pembimbing Akademik saya Ibu Wulan dan seluruh rekan rekan seperjuangan saya yang semoga lekas menyelesaikan pendidikan.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu terlimpah curahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat stara satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Atas kelancaran selama menyusun tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberi dukungan serta motivasi untuk terselesainya tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T.M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Terimakasih atas bimbingan dan nasehat serta dukungan yang diberikan kepada penulis selama menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Muhammad Rifqi Abdurozak S.T.,M.Eng. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir, terimakasih atas ilmu, masukan dan saran yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, terimakasih atas ilmu, masukan dan saran yang telah diberikan kepada penulis.
4. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, DR, IR., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Kepada seluruh bapak/ibu dosen dan civitas akademik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama menjalankan perkuliahan.

6. Bapak Santoso dan Ibu Sri Hastuti selaku kedua orang tua saya dan Dika S dan Indira Brilliant selaku kakak saya , yang selalu memberi dukungan, motivasi dan nasehat disetiap doa yang tiada henti bagi saya.
7. Dan semua pihak dan juga teman-teman Teknik Sipil 2017 yang ------ memberikan *support* hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi penyusun dan bagi pembaca | v umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, Mei 2021

Gigih Bramantya

17 511 023

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL		i
HALAMAN PENGESAHAN		ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI		iii
HALAMAN DEDIKASI		iv
KATA PENGANTAR		v
DAFTAR ISI		vii
DAFTAR GAMBAR		ix
DAFTAR TABEL		xv
DAFTAR LAMPIRAN		xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN		xviii
ABSTRAKSI		xix
ABSTRACT		xx
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	5
	2.1 Penelitian Terdahulu	5
	2.1.1 Timbunan Ringan Mortar Busa	5
	2.1.2 Timbunan Tanah Konvensional	6
	2.1.3 Stabilitas Oprti Jembatan	7
	2.1.4 Penurunan Tanah Pada Oprit	8
	2.2 Keaslian Penelitian	9
BAB III	LANDASAN TEORI	
	3.1 Tanah	14
	3.2 Timbunan Tanah Konvensional	14
	3.3 Timbunan Ringan Mortar Busa	15
	3.4 Stabilisasi Lereng	17
	3.4.1 Umum	17

	3.4.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng	17
	3.4.2.1 Metode Irisan (Metode Fellenius)	20
	3.4.2.2 Metode Elemen Hingga	21
	3.5 Penurunan Tanah	22
	3.5.1 Umum	22
	3.5.2 Analisis Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer	22
	3.6 Tekanan Tanah Lateral	26
	3.6.1 Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif	26
	3.6.2 Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Tak kohesif	27
	3.7 Dinding Penahan Tanah	30
	3.7.1 Stabilisasi Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggeseran	30
	3.7.2 Stabilisasi Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggulingan	31
	3.7.3 Stabilisasi Dinding Penahan Tanah Terhadap Kapasitas Dukung Tanah	32
	3.8 Pembebanan	33
	3.8.1 Beban Merata	33
	3.8.2 Beban Gempa	33
	3.9 Plaxis	34
BAB IV	METODE PENELITIAN	
	4.1 Tinjauan Umum	39
	4.2 Lokasi Penelitian	39
	4.3 Data Penelitian	40
	4.3 Tahapan Penelitian	40
	4.3 Bagan Alir Penelitian	49
BAB V	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
	5.1 Umum	50
	5.2 Data Penelitian	50
	5.3 Analisis Perhitungan Timbunan dengan Plaxis 2D V20	55
	5.3.1 Analisis Timbunan Ringan Mortar Busa	55
	5.3.2 Analisis Timbunan Konvensional dengan Variasi Kemiringan 1 : 1,5	62
	5.3.3 Analisis Timbunan Konvensional dengan Variasi Kemiringan 1 : 1,7	69
	5.3.4 Analisis Timbunan Konvensional dengan Variasi Kemiringan 1 : 2,0	76

5.3.5 Analisis Timbunan Konvensional dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah 83
5.4 Analisis Perhitungan Manual 88
5.4.1 Analisis Perhitungan Faktor Aman 88
5.4.2 Analisis Perhitungan Manual Penurunan Tanah Dasar 94
5.4.3 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah 105
5.5 Pembahasan
5.5.1 Perbandingan Nilai Faktor Aman 113
5.5.2 Perbandingan Nilai Penurunan Tanah 115
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN
6.1 Kesimpulan 118
6.2 Saran 119
DAFTAR PUSTAKA 120
LAMPIRAN 122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Gaya yang bekerja pada irisan	19
Gambar 3.2	Faktor Pengaruh Akibat Beban Timbunan(*Osterberg,1957)*	24
Gambar 3.3	Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif	25
Gambar 3.4	Diagram Tekanan Tanah Aktif dan Diagram Tekanan Tanah Pasif	27
Gambar 3.5	Peta Zonasi Gempa	32
Gambar 4.1	Lokasi Objek Penelitian	38
Gambar 4.2	Jendela *Project Properties*	40
Gambar 4.3	Jendela *Model Properties*	40
Gambar 4.4	Jendela *Modifu Soil Layers*	41
Gambar 4.5	Jendela *Materials*	41
Gambar 4.6	Pembuatan Material Untuk Struktur Timbunan	42
Gambar 4.7	Pembuatan Pembebanan Timbunan	42
Gambar 4.8	*Input* Nilai Beban Timbunan	43
Gambar 4.9	*Input* Beban Gempa	43
Gambar 4.10	Hasil Jaringan Elemen Permodelan	44
Gambar 4.11	Menu *Calculation* untuk Penurunan Tanah	44
Gambar 4.12	Menu *Calculation* untuk Faktor Aman	45
Gambar 4.13	Jendela *Output* Perhitungan	45
Gambar 4.14	*Output* Arah Pergerakan	46
Gambar 4.15	*Output Displacement*	46
Gambar 4.16	*Output* Potensi Bidang Longsor	46
Gambar 4.17	*Output* Kurva	46
Gambar 4.18	Bagan Alir Penelitian	47
Gambar 5.1	Skema Potongan Memanjang Oprit	48
Gambar 5.2	Skema Potongan Melintang Oprit Sta 1+600	

Gambar 5.3	Skema Dinding Penahan Tanah	51
Gambar 5.4	Beban Gempa Whitter Narrow 1987	52
Gambar 5.5	Permodelan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi	53
Gambar 5.6	Permodelan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap	53
Gambar 5.7	Jaringan Elemen Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi	54
Gambar 5.8	Jaringan Elemen Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap	54
Gambar 5.9	Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi	55
Gambar 5.10	Arah Pergerakan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap	55
Gambar 5.11	Nilai *Displacement* Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi	56
Gambar 5.12	Nilai *Displacement* Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap	56
Gambar 5.13	Diagram *Displacement* Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi	57
Gambar 5.14	Diagram *Displacement* Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap	57
Gambar 5.15	Potensi Bidang Longsor Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi	58
Gambar 5.16	Potensi Bidangg Longsor Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap	58
Gambar 5.17	Kurva Faktor Aman Untuk Permodelan Timbunan Ringan Mortar Busa	59
Gambar 5.18	Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir Konstruksi	60
Gambar 5.19	Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap	60
Gambar 5.20	Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir Konstruksi	61
Gambar 5.21	Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap	61

Gambar 5.22	Arah Pergerakan Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir Konstruksi	62
Gambar 5.23	Arah Pergerakan Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap	62
Gambar 5.24	Nilai *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir Konstruksi	63
Gambar 5.25	Nilai *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap	63
Gambar 5.26	Diagram *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir Konstruksi	64
Gambar 5.27	Diagram *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap	64
Gambar 5.28	Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir Konstruksi	65
Gambar 5.29	Potensi Bidangg Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap	65
Gambar 5.30	Kurva Faktor Aman Untuk Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,5	66
Gambar 5.31	Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir Konstruksi	67
Gambar 5.32	Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap	67
Gambar 5.33	Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir Konstruksi	68
Gambar 5.34	Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap	68
Gambar 5.35	Arah Pergerakan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir Konstruksi	69
Gambar 5.36	Arah Pergerakan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap	69
Gambar 5.37	Nilai *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir Konstruksi	70
Gambar 5.38	Nilai *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap	70
Gambar 5.39	Diagram *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir Konstruksi	71
Gambar 5.40	Diagram *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap	71

Gambar 5.41	Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir Konstruksi	72
Gambar 5.42	Potensi Bidangg Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap	72
Gambar 5.43	Kurva Faktor Aman Untuk Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,7	73
Gambar 5.44	Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir Konstruksi	74
Gambar 5.45	Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap	74
Gambar 5.46	Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir Konstruksi	75
Gambar 5.47	Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap	75
Gambar 5.48	Arah Pergerakan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir Konstruksi	76
Gambar 5.49	Arah Pergerakan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap	76
Gambar 5.50	Nilai *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir Konstruksi	77
Gambar 5.51	Nilai *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap	77
Gambar 5.52	Diagram *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir Konstruksi	78
Gambar 5.53	Diagram *Displacement* Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap	78
Gambar 5.54	Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir Konstruksi	79
Gambar 5.55	Potensi Bidangg Longsor Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap	79
Gambar 5.56	Kurva Faktor Aman Untuk Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 2,0	80
Gambar 5.57	Permodelan Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT ditinjau Akhir Konstruksi	81
Gambar 5.58	Jaringan Elemen Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT ditinjau Akhir Konstruksi	81
Gambar 5.59	Arah Pergerakan Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT ditinjau Akhir Konstruksi	82

Gambar 5.60	Nilai *Displacement* Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT ditinjau Akhir Konstruksi	83
Gambar 5.61	Diagram *Displacement* Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT ditinjau Akhir Konstruksi	83
Gambar 5.62	Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT ditinjau Akhir Konstruksi	84
Gambar 5.63	Kurva Faktor Aman Untuk Permodelan Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT	84
Gambar 5.64	Permodelan Perhitungan Faktor Aman Metode Fellinius Variasi Kemiringan 1 : 1,5	85
Gambar 5.65	Permodelan Perhitungan Faktor Aman Metode Fellinius Variasi Kemiringan 1 : 1,7	87
Gambar 5.66	Permodelan Perhitungan Faktor Aman Metode Fellinius Variasi Kemiringan 1 : 2,0	89
Gambar 5.67	Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Timbunan Ringan Mortar Busa	91
Gambar 5.68	Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Variasi Kemiringan 1 : 1,5	94
Gambar 5.69	Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Variasi Kemiringan 1 : 1,7	96
Gambar 5.70	Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Variasi Kemiringan 1 : 2,0	98
Gambar 5.71	Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah	100
Gambar 5.72	Permodelan Dinding Penahan Tanah	103
Gambar 5.73	Bagian Bagian Gaya Vertikal Tanah	103
Gambar 5.74	Diagram Gaya Horisontal Tanah	105
Gambar 5.75	Grafik Perbandingan Nilai Faktor Aman	111
Gambar 5.76	Grafik Perbandingan Nilai Penurunan Tanah pada Titik A	113
Gambar 5.77	Grafik Perbandingan Nilai Penurunan Tanah pada Titik B	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	9
Tabel 3.1	Senyawa Kimia *Foam Agent*	15
Tabel 3.2	Spesifikasi Desain Mortar Busa Untuk Bangunan Jalan	16
Tabel 3.3	Faktor Keamanan Minimum Untuk Stabilitas	17
Tabel 3.4	Kriteria Perancangan Gempa Berdasarkan Peruntukan Infrastruktur	19
Tabel 3.5	Syarat Penuruna Izin	25
Tabel 3.6	Koefisien Geserk Dasar fondasi dan tanah dasar	31
Tabel 3.7	Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas	33
Tabel 3.8	Koefisen Permeabilitas Tanah	35
Tabel 3.9	Modulus Elastisitas Tanah	36
Tabel 3.10	Sudut Geser dalam Tanah	37
Tabel 3.11	Angka Poisson Tanah	38
Tabel 5.1	Data Lapisan Tanah	49
Tabel 5.2	Data Parameter Timbunan	50
Tabel 5.3	Perhitungan Gaya Berat Timbunan Konvensional Kemiringan 1 : 1,5	86
Tabel 5.4	Perhitungan Gaya Berat Timbunan Konvensional Kemiringan 1 : 1,5	88
Tabel 5.5	Perhitungan Gaya Berat Timbunan Konvensional Kemiringan 1 : 1,5	90
Tabel 5.6	Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Ringan Mortar Busa	93
Tabel 5.7	Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Ringan Mortar Busa	93

Tabel 5.8	Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional Kemiringan 1 : 1,5	95
Tabel 5.9	Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Kemiringan 1 : 1,5	95
Tabel 5.10	Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional Kemiringan 1 : 1,7	97
Tabel 5.11	Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Kemiringan 1 : 1,7	97
Tabel 5.12	Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional Kemiringan 1 : 2,0	99
Tabel 5.13	Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Kemiringan 1 : 2,0	100
Tabel 5.14	Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah	101
Tabel 5.15	Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah	102
Tabel 5.16	Perhitungan Gaya Vertikal Tanah	104
Tabel 5.17	Perhitungan Gaya Horisontal Tanah	105
Tabel 5.18	Perhitungan Momen Struktur DPT	106
Tabel 5.19	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Faktor Aman	111
Tabel 5.20	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Penurunan Tanah	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Laboratorium ,Data Lapangan Tanah Dasar dan Data Geometri

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	Luas Penampang
c	Kohesi
Cc	Indeks Kompresi Tanah
CMP	*Corrugated Mortar Pusjatan*
d	*Faktor kedalaman*
DPT	Dinding Penahan Tanah
E	Modulus Elastisitas
e	Angka Pori
F	Faktor Aman
H	Tebal Lapisan
Ka	Koefisien Tekanan Tanah Aktif
Kp	Koefisien Tekanan Tanah Pasif
Mw	Momen melawan penggulingan
Mgl	Momen Pengguling
n	Jumlah irisan
p0	Gambar Kerja
Pa	Tekanan Tanah Aktif total
Pp	Tekanan Tanah Pasif total
q	Beban Merata
Sc	Penurunan Konsolidasi primer
SF	Faktor Aman
Δp	Penambahan Tegangan Tanah
γ	Berat volume tanah
φ	Sudut Geser dalam
τ	Kuat Geser Tanah

ABSTRAK

Jembatan merupakan konstruksi yang menghubungkan satu daerah dengan daerah lain. Salah satu jenis jembatan adalah *overpass/ flyover*. *Flyover* Purowsari dididirikan untuk mengurangi kemacetan akibat perlintasan kereta api yang melintang Jalan Slamet Riyadi. Oprit pada jembatan dengan tanah konvensional memiliki banyak kelemahan diantaranya potensi longsor dan penurunan tanah. Material ringan mortar busa sebagai pengganti tanah memiliki kelebihan diantara berat sendiri yang cukup ringan dan memiliki kekuatan yang cukup kuat.

Analisis dilakukan untuk mengetahui stabilitas dari struktur oprit dengan indikasi faktor aman serta nilai penurunan tanah. Permodelan dilakukan dengan membandingkan material ringan dengan tanah konvensional yang diolah dengan program *Plaxis 2D V20* dengan memperhitungkan beban gempa. Permodelan dalam penelitian ini antara lain permodelan timbunan ringan mortar busa, timbunan tanah dengan kemiringan 1 : 1,5 ; 1 : 1,7 ; 1 : 2,0 dan dengan perkuatan dinding penahan tanah.

Hasil penelitian menunjukan nilai permodelan timbunan ringan mortar busa memiliki faktor aman 2,825 dengan penurunan tanah 0,05104 m. permodelan timbunan tanah dengan kemiringan 1 : 1,5 memiliki faktor aman 1,634 dengan penurunan tanah 0,1685 m , permodelan dengan variasi 1 : 1,7 memiliki faktor aman 1,678 dengan penurunan tanah 0,1686 m, permodelan dengan variasi 1 : 2,0 memiliki faktor aman 1,804 dengan penurunan tanah 0,1682 m dan permodelan dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah memiliki nilai faktor aman 1,493 dengan penurunan tanah 0,1956 m. permodelan timbunan ringan mortar busa memiliki faktor aman paling besar dan nilai penurunan yang paling kecil.

Kata Kunci : *flyover* , penurunan, faktor aman, mortar busa, plaxis

ABSTRACT

A bridge is a construction that connects one area to another. One types of bridge is an overpass/flyover. Flyover Purwosari was estabilished to reduce traffic due to to the railroad crossing Slamet Riyadi street. Oprit is part of bridge that usually use konventional soil that has many weakness including the potential for landslides and settlement . Coruggated Mortar Pusjatan can be substitute that because it has advantages include the light weight and high quality .

Analysiz has goal to determine the stability of oprite with safety factor as indicator and the settlement of the soil. Modeling of the research has comparative the Coruggated Mortar Pusjatan with conventional soil in Plaxis 2D V20 . modeling of the conventional soil with slope embankment of 1 : 1,5 ; 1 : 1,7 ; 1:2,0 and the reinforcement of retaining walls.

The result of research is the modeling of Corrugated Mortar Pusjatan has safety factor 2,825 with settelement 0,05199 m. modeling slope embankment 1 : 1,5 has safety factor 1,634 with settlement 0,1685 m, modeling slope embankment 1 : 1,7 has safety factor 1,678 with settlement 0,1686 m, modeling slope embankment 1 : 2,0 has safety factor 1,804 with settlement 0,1682 m and embankment with the reinforcement of retaining walls has safety factor 1,493 with settelement 0,1956 m. So, the Corrugated Mortar Pusjatan has biggest safety factor and smallest settelement.

***Keywords** : Flyover, Settelment, Safety Factor, CMP, Plaxis*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu jembatan pada dasarnya dibutuhkan untuk saling menghubungkan antara satu daerah dengan daerah lain. Jembatan sendiri terdiri atas beberapa jenis yang dapat ditinjau berdasarkan bahan dan kegunaan. *Overpass* atau sering disebut *flyover* adalah salah satu jenis jembatan yang berfungsi untuk melewati suatu bentuk halangan pada jalan, misalnya rel kereta api yang melintang di jalan seperti pada studi kasus *flyover* Purwosari Surakarta.

Salah satu bagian dari *overpass* yang perlu menjadi perhatian adalah oprit. Oprit pada struktur *overpass* biasanya terbentuk dari timbunan tanah konvensional apabila ditinjau dari jangka waktu pemeliharaan timbunan tanah konvensional dapat mengalami beberapa kendala konstruksi seperti adanya penurunan muka tanah yang dapat menyebabkan kerusakan struktur oprit itu sendiri dikarenakan sifat tanah.

Masalah dari kerusakan tersebut dapat diselesaikan berdasar karakteristik tanah, biaya, dan ketersediaan material. Salah satu bentuk upaya dalam menyelesaikan masalah konstruksi suatu timbunan yang diakibatkan oleh beban lalu lintas ataupun beban sendiri dari konstruksi dengan cara mengganti material timbunan agar mengurangi beban sendiri dan mengurangi kemungkinan adanya penurunan akibat beban lalu lintas.

Timbunan ringan mortar busa merupakan teknologi konstruksi yang dikembangkan oleh Pusjatan (Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan) Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang salah satu kegunaannya adalah sebagai pengganti material timbunan. Material tersebut terdiri atas campuran antara mortar , pasir, air dan bahan pembentuk cairan busa untuk membentuk mortar dengan berat isi yang rendah, kelebihan

timbunan ini sendiri adalah memiliki berat yang ringan , kekuatan yang cukup tinggi dan dapat didesain sendiri. Hal tersebut yang diharapkan dapat mengurangi masalah penurunan dan stabilitas dari timbunan suatu oprit.

Material ini merupakan teknologi yang akan dikembangkan oleh pemerintah dalam menanggulangi permasalahan geoteknik yang ada di Indonesia sehingga penelitian yang berhubungan dengan hal ini perlu dikembangkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang ada diatas, maka rumusan masalah yang dapat diambil dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Berapa nilai faktor keamanan timbunan tanah konvensional yang memiliki variasi kemiringan lereng?
2. Berapa nilai faktor keamanan timbunan tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah ?
3. Berapa nilai faktor keamanan timbunan ringan mortar busa?
4. Berapa nilai penurunan tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional yang memiliki variasi kemiringan lereng?
5. Berapa nilai penurunan tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah?
6. Berapa nilai penurunan tanah dasar akibat timbunan ringan mortar busa?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah diatas adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai faktor keamanan timbunan tanah konvensional yang memiliki variasi kemiringan lereng.
2. Mengetahui nilai faktor keamanan timbunan tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah.
3. Mengetahui nilai faktor keamanan timbunan ringan mortar busa.

4. Mengetahui nilai penurunan tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional yang memiliki variasi kemiringan lereng.
5. Mengetahui nilai penurunan tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah.
6. Mengetahui nilai penurunan tanah dasar akibat timbunan ringan mortar busa.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas , maka manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian berguna untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang teknologi baru yang akan berkembang didunia konstruksi Indonesia yaitu teknologi material ringan mortar busa.
2. Penelitian dapat dijadikan acuan atau referensi dalam mempertimbangkan pemilihan jenis materal timbunan dalam suatu struktur konstruksi.
3. Penelitian dapat dijadikan sebagai referensi dalam menilai kinerja teknologi baru material ringan mortar busa.

1.5 Batasan Penilitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada Oprit Jembatan Sta 1 + 600 *Flyover* Purwosari, Kota Surakarta , Provinsi Jawa Tengah.
2. Penelitian dilakukan hanya dengan membandingkan jenis timbunan ringan mortar busa dan timbunan tanah konvensional.
3. Penelitian dianalisis dengan metode elemen hingga dan diverifikasi dengan perhitungan manual dengan kondisi tinjauan kondisi tanpa pengaruh lain.
4. Penelitian menggunakan data sekunder yang diambil dari literatur dan data proyek.
5. Penelitian dlakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan penurunan dari material timbunan ringan mortar busa dan timbunan tanah konvensional.

6. Penelitian ini membandingkan nilai stabilitas dan penurunan dengan perkuatan berupa dinding penahan tanah dan meninjau pembebanan merata dan pembebanan gempa.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang menjadi tinjauan pustaka dalam penelitian dibagi menjadi empat yaitu Timbunan Ringan Mortar Busa, Timbunan Tanah Konvensional, Penurunan Tanah pada Oprit, dan Stabilitas pada Oprit seperti berikut.

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 kontruksi Indonesia. Konsruksi bangunan khusunya 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 menunjukan 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 menunjukan bahwa material ringan mortar busa sangan cocok dipasang pada lapisan subbase. Indonesia sendiri selain melakukan penerapan

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 (Purindang, 2020) dengan judul " Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan menggunakan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan" menggunakan studi kasus *Flyover* Manahan Surakarta. Penelitian dilakukan dengan menggunakan Program Plaxis dengan melakukan permodelan timbunan ringan dengan mortar busa dengan model beban merata dan penambahan beban gempa. Hasil dari penelitian menunjukan nilai faktor aman akibar beban merata sebesar 3,3421 dengan penurunan 4,421 cm. sementara untuk penambahan beban gempa diperoleh faktor aman sebesar 3,35 dengan penutunan sebesar 10,338 cm.

2.1.2 Timbunan Tanah Konvensional

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* Manahan Surakarta (Purindang, 2020) membandingkan material ringan dengan menggunakan material tanah konvensional yang dimodelakan dengan lereng kemiringan 1 : 2 dan dengan perkuatan dinding penahan tanah. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini pada permodelan 1 : 2 dengan nilai penurunan sebesar 14,729 cm akibar beban merata dengan nilai faktor 1,529 ,nilai penurunan akibat gempa 18,261 cm dengan nilai faktor aman 1,534. Permodelan lain dengan menggunakan Dinding penahan tanah akibat beban merata diperoleh nilai penurunan sebesar 9,236 cm dan nilai faktor aman 1,419 ,sementara akibat beban gempa memiliki nilai penurunan sebear 21,753 cm dan faktor aman sebesar 1,421.

2.1.3 Stabilitas Oprit Jembatan

Oprit jembatan merupaka 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 (Purindang, 2020) 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 menunjukan hasil bahwa nilai kestabilan oprit yang diindikasi 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 menunjukan nilai timbunan

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.

2.1.4 Penurunan Tanah Oprit Jembatan

Penurunan tanah merupakan salah satu aspek tinajuan dalam merencanakan oprit jembatan dengan penimbunan. Hal ini dikarenakan oprit jembatan memiliki kemungkinan adanya penurunan pada saat adanya pembebanan yang dapat dianalisis dengan tinajuan konsolidasi. Aspek perencanaan yang diantaranya dilakukan oleh peneliti (Bahari & Hamdhan, 2017) dengan judul penelitian "Analisis Geoteknik pada Teknologi *Corrugated* Mortar Pusjatan (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 ditunjukan adalah nilai penurunan sebesar 12,73 pada tanah asli dan 21,78 pada tanah lunak, kedua nilai tersebut memenuhi syarat penurunan seketika yaitu <25,4 mm. Penuruna tanah pada oprt jembatan dilakukan oleh (Atamini & Moestafa, 2018) pada oprit *flyover* Antapani Kota Bandung dan (Purindang, 2020) pada oprit *flyover* Purwosari dengan menggunakan metode elemen hingga atau Plaxis didapatkan nilai penurunan pada permodelan dengan material timbunan ringan mortar busa memiliki nilai penurunan yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai penurunan dengan permodelan timbunan tanah konvensional.

2.2 .Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, maka terdapat perbedaan sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis sekarang. Perbandingan perbedaan penelitian diambil dari para penulis dan peneliti terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Peneliti	**Hidayat dkk**	**Bahari dkk**	**Kozlowski**	**Atamini**	**Gati**	**Purindang**	**Penulis**
Tahun	**2016**	**2017**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2021**
Judul Penelitian	Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa pada Konstruksi Timbunan Jalan.	Analisis Geoteknik pada Teknologi *Corrugated* Mortar Busa Pusjatan (CMP) dalam perencanaan *Flyover* Antapani.	*Application of foamed concrete in road pavement – weak soil system.*	Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan Timbunan	Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan dan Prediksi Timbunan yang dapat terjadi dengan Menggunakan Plaxis.	Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan menggunakan Timbunan Pilihan	Analisis Stabilitas dan penurunan timbunan ringan mortar busa dengan timbunan tanah konvensional.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Peneliti	**Hidayat dkk**	**Bahari dkk**	**Kozlowski**	**Atamini**	**Gati**	**Purindang**	**Penulis**
Tahun	**2016**	**2017**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2021**
Judul Penelitian				Pilihan pada Oprit Jembatan. (Studi kasus : *Flyover* Antapani , Kota Bandung)		pada Oprit Jembatan. (Studi kasus : Proyek *flyover* Manahan, Kota Surakarta , Provinsi Jawa Tengah)	(studi kasus : Proyek *flyover* Purwosari Surakarta, Jawa Tengah)
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan deformasi pada tanah dasar akibat beban	Membandingkan teknologi *mortar busa* pada tanah lunak dan menganalisis deformasi pada	Mengetahuii sifat menkanis dari bahan beton ringan berbusa	Mengetahu evaluasi perilaku defrmasi stabilitas dan penurunan	Mengetahui kestabilan lereng dengan	Mengetahui perbandingan stabilitas dan penurunan antara timbunan	Mengetahui perbandingan nilai stabilitas dan penurunan tanah dasar antara

Peneliti	**Hidayat dkk**	**Bahari dkk**	**Kozlowski**	**Atamini**	**Gati**	**Purindang**	**Penulis**
Tahun	**2016**	**2017**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2021**
	timbunan menggunakan timbunan tanah konvensional dengan timbunan ringan.	pondasi akibat beban lalu lintas dan beban timbunan.	sehingga dapat memenuhi syarat sebagai lapisan subbase pada kondisi tanah lunak.	timbunan ringan mortar busa dibandingkan dengan tanag laterit.	Perbandingan variasi ketinggian dengan metode plaxis.	ringan dengan timbunan tanah pilihan.	timbunan tanah konvensional dan timbunan ringan mortar busa.
Parameter yang di uji	Penurunan dan deformasi pada CMP dan timbunan tanah konvensional.	Penurunan dan deformasi pada pondasi akibat timbunan dan beban lalu lintas.	Nilai porositas, nilai masa jenis, kuat tekan , kuat lentur.	Deformasi penurunan dan stabilitas material timbunan .	Nilai Stabilitas Lereng dengan indikasi faktor aman.	Nilai faktor keamanan stabilitas dan penurunan.	Nilai faktor keamanan stabilitas dan nilai penurunan berdasarkan pembebanan.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Peneliti	**Hidayat dkk**	**Bahari dkk**	**Kozlowski**	**Atamini**	**Gati**	**Purindang**	**Penulis**
Tahun	**2016**	**2017**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2020**
Metode penelitian	Pengumpulan data fisik tanah dan data sekunder dengan analisis menggunakan Plaxis 2D.	Analisis dilakukan dengan data geometri, data tanah dan kriteria campuran ringan mortar busa dengan progam plaxis 3D.	Penelitian dengan menguji sejumlah sepsimen untuk mengetahui kuat lentur yang kemudian diakukan permodelan numerik dengan kondisi tanah lunak.	Analisis dilakukan dengan menggunakan Plaxis Profesional 8.6 berbasis *finite element method* 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 2D dengan metode tinjauan bertahap dan langsung akhir konstruksi dengam timbunan yang dimodelkan 1 : 2 dan dinding penahan tanah.	Analisis dilakukan dengan aplikasi plaxis dengan melakukan permodelan timbunan dengan material ringan mortar busa, variasi kemiringan lereng tanah kovensional, dengan dinding penagan tanah.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang

Peneliti	**Hidayat dkk**	**Bahari dkk**	**Kozlowski**	**Atamini**	**Gati**	**Purindang**	**Penulis**
Tahun	**2016**	**2017**	**2017**	**2018**	**2018**	**2020**	**2020**
Hasil penelitian	Timbunan tanah konvensional mengalami 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.	Hasil penelitian menunjukan bahwa besar penurunan 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 penurunaan fondasi kurang dari 1 : 300.	Nilai kuat tekan lentur beton ringan berbusa memiliki kuat lentur sebesar 0,039 Mpa sehingga lebib rendah dari beton sehingga berpotensi menjadi bahan subbase jalan.	Timbunan ringan mortar busa memiliki nilai penurunan lebih kecil dibandingkan tanah timbunan konsvensional berdasarkan permodelan dengan perkuatan maupun dengan kemiringan lereng.	Timbunan dengan variasi ketinggian 3 meter memiliki sf sebesar 1,3198 , ketinggian 5 m memiliki sf 1,2618 dan ketinggian pada 8 meter memiliki nilai sf 1,2893.	Timbunan ringan mortar busa memiliki faktor kemanann yang lebih besar dan penurunan yang lebih kecil dibandingkan timbunan tanah pilihan dengan pekuatan tanah dan kemiringan lereng.	Hasil penelitian menunjukan bahwa nilai faktor kemanan pada timbunan ringan mortar busa memiliki nilai paling besar dan nilai penurunan tanah dasar paling kecil dibandingkan dengan tanah konvensional dengan variasi kemiringan dan perkuatan. .

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 diatasnya sehingga tanah dasar seperti harus bersifat keras untuk menyesuaikan persyaratan teknis. Indonesia sebagian besar memiliki karakteristik tanag lempung dengan plastisitas tinggi.

3.2 Timbunan Tanah Konvensional

Timbunan tanah konvensional atau timbunan tanah pilihan adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian suatu elevasi rencana yang disyaratakan pada gambar rencana dengan maksud khusus lain seperti mengurangi lapisan pondasi bawah dan memperkecil gaya lateral tekanan s tanah pada dinding penahan tanah.

Syarat perencanaan tanah yang digunakan dalam struktur timbunan tanah konvensional mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 (2010) bahwa timbunan tanah konvensional digunakan untuk meningkatkan kapasitas

daya dukung tanah dasar pada lapisan penopang serta apabil aperlu pada daerah tanah galian. Kekuatan suatu timbunan diparameterkan dalam bentuk faktor kritis. Timbunan tanah konvensional berbutir biasanya digunakan sebagai timbunan jenis lapis penopang dengan syarat nilai CBR lapangan kurang dari 2% yang tidak dilakukan pemadatan ulangTimbunan tanah konvensional dapat digunakan untuk stabilitas lereng maupun pelebaran lereng dengan keterbatasan ruang tertentu. Timbunan tanah konvensional juga dapat digunakan sebagai urugan dalam oprit struktur jembatan dengan kemiringan lereng yang stabil dan apabila diperlukan dinding penahan tanah akibat keterbatasan ruang struktur tersebut.

Tanah konvensional yang dapat digunakan untuk material timbunan memiliki banyak jenis yang salah satunya adalah tanah laterit. Tanah laterit adalah jenis tanah dengan sifat butiran tanah sedang hingga kasar sehingga sangat mudah untuk dipadatkan. Tanah jenis ini juga sangat mudah didapat dan memiliki harga yang murah.

3.3 Timbunan Ringan Mortar busa

Material mortar busa sebagai bahan timbunan memiliki sifat yang ringan. Teknologi ini sering disebut sebagai Corrugated Mortar Pusjatan (CMP) yang diadakan oleh Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Material berupa *foamed embankment mortar* yang terdiri campuran antara pasir. *Foam agent*, semen dan air. Adapun material *foam agent* terdiri atas beberapa bahan kimia yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Senyawa Kimia *Foam Agent*

Senyawa Kimia	Prosentase
1- Dodecanol	48.36%
1- Tetradecanol	11.09%
1- Hexadecanol	1.54 %
Methoxyacetic gcid tridecyl ester	13.28%
Tetraethylene glycol monododecyl ether	2.99 %
Senyawa tak teridentfikasi	22.73 %

(Sumber : IAPPI PUPR PUSJATAN TIMBUNAN RINGAN 2017)

Adapun beberapa kriteria yang dimiliki oleh material ringan mortar busa sendiri dapat digunakan sebagai material timbunan adalah sebagai berikut.

1. Material emiliki berat isi yang ringan dengan nilai kepadatan atau densitas dari material sebesar 0,5 – 1,2 t/m^2.
2. Material memiliki nilai *flow* sebagai indikasi untuk memudahkan pekerjaan lapangan dengan nilai yang disyaratkan pada pedoman geoteknik adalah sebesar 180+20 mm.
3. Material memiliki kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan yaitu hanya cukup di tuangkan atau disemprotkan dengan waktu pemeraman yang ditentukan tanpa adanya pemadatan.
4. Material memiliki nilai kuat tekan yang cukup tinggi. Adapun kuat tekan yang dimiliki oleh material ringan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Desain Mortar Busa untuk Bangunan Jalan

No	**Fungsi Desain**	**Kuat tekan miminum (14 hari)**		**Densitas Kering Maksimum (gr/cm^3)**
		(KPa)	(kg/cm^2)	
1	Lapisan fondasi bawah (*subbase)*	800	8	0,6
2	Lapisan fondasi (*base*)	2000	20	0,8

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)

Adapun beberapa manfaat dari adanya teknologi timbunan ringan mortar busa antara lain sebagai berikut.

1. Material dapat digunakan sebagai fondasi jalan dan material pengisi oprit jembatan yang berada diatas tanah dasar yang bersifat lunak.
2. Solusi untuk mengurangi masalah penurunan timbunan.
3. Solusi dalam mengatasi masalah kestabilan timbunan.
4. Material tidak membutuhkan dinding penahan timbunan.
5. Material memiliki sifat dapat memadat sendiri.

6. Material memiliki biaya konstruksi yang lebih hemat.
7. Material tidak memiliki tekanan lateral atau horizontal.

3.4 Stabilisasi lereng

3.4.1 Umum

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakan 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).

3.4.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng

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 3.3 berikut

Tabel 3.3 Faktor Keamanan Minimum Untuk Stabilitas

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

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 didefinsikan dengan memperhatikan tegangan geser rata rata sepanjang bidang longsor potensial , dan kuat geser tanah rata rata sepanjang permukaan longsoran.

Pengaruhi 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 longsoran 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 menggerakan seperti pada Persamaan 3.1 berikut.

$$\mathrm{F} = \frac{\tau}{\tau d} \qquad (3.1)$$

Menurut Mohr Coloumb tahanan geser maksimum adalah tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang longsong.

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 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Kriteria Perancangan Gempa Berdasarkan Peruntukan Infrastuktur

Peruntukan	Umur Rencana (Tahun)	Probabilitas terlampaui (%)	Periode Ulang (Tahun)	Krtiteria Keamanan	Referensi
Bangunan Gedung dan Non Gedung	50	2	2500	-	SNI 1726:2012
Jembatan Konvensional	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-NJ-2005-002
Timbunan Oprit				FK > 1,1	
Bendungan	100	1	10.000 *safety Evaluation*	- Tidak terjadi aliran lair yang tak terkendali - Deformasi tidak melebihi 0,5 dari tinggi jagaan	ICOLD No.148 , 2016

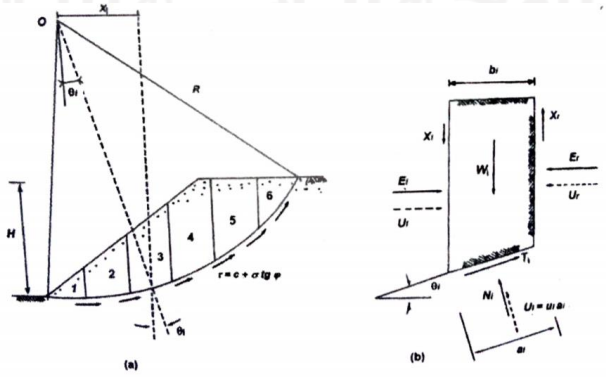
Lanjutan Tabel 3.4 Kriteria Perancangan Gempa Berdasarkan Peruntukan Infrastuktur

Peruntukan	Umur Rencana (Tahun)	Probabilitas terlampaui (%)	Periode Ulang (Tahun)	Krtiteria Keamanan	Referensi
	100	50	*Earthquake (SEE)* 145 OBE	- Deformasi pada filter tidak boleh melebihi 0,5 tebal filter - *Spillway* tetap berfungsi setelah terjadi gempa rencana Kerusakan minor setelah terjadi gempa rencana	
Bangunan Pelengkap bendungan	50	2	2500	-	-
Terowongan	100	100	1000	-	-

Sumber : (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

3.4.2.1 Metode Irisan (Metode *Fellenius)*

Analisis stabilitas dengan metode Fellenius (1936) mengasumsikan bahwa gaya gaya yang bekerja pada sisi kanan dan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Metode fellenius dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Gaya yang bekerja pada irisan

(Sumber :(Hardiyatmo, 2010))

Berdasarkan asumsi ini keseimbangan arah vertikal dan gaya yang bekerja dengan memperhatikan nilai pori seperti pada Persamaan 3.2 berikut.

$$N_i + U_i = W_i + cos\ \theta_i$$

Atau

$$N_i = W_i + cos\ \theta_i - U_i$$

$$N_i = W_i + cos\ \theta_i - u_i a_i \quad (3.2)$$

Faktor keamanan didefinisikan sebagai,

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

$$F = \frac{\sum M_r}{\sum M_d}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $\sin\theta$, maka

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

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 definsikan

$$\sum M_r = R\ \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg}\varphi)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman menjadi

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

3.4.2.2 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 Ko yaitu rasio tegangan lateral dengan tegangan vertikal efektif dimana perhitungan

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 tanag pembentuk lereng.

3.5 Penurunan tanah

3.5.1 Umum

Adanya penurunan tanah dikarenakan beban yang dialami. Pada kondisi ini tanah mengalami penurunan atau *settlement*. Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh dua akibat, yaitu berubahnya susunan tanah dan berkurangnya rongga pori didalam tanah tersebut.

Penurunan tanah yang terjadi pada tanah berbutir halus yang terjadi dibawah muka air tanah disebut penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi dengan memerlukan waktu yang lamanya bergantung pada kondisi lapisan tanah. Penurunan konsolidasi terbagi menjadi 3 fase (Leonard,1962) yaitu fase awal dimana penurunan yang terjadi segera setelah beban bekerja. Fase ini terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah dan berkemungkinan terjadi pada lempung yang tidak jenuh. Selanjutnya, fase konsolidasi primer yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan pori tanah akibat adanya tambahan tekanan. Kemudian, fase konsolidasi sekunder yang dimaksdukan adalah proses lanjutan dari konsolidasi primer dimana prosesnya berjalan sangat lambat yang biasanya terjadi pada tanah organik dan lempung anorganik yang mudah mampat.

3.5.2 Analisis perhitungan penurunan konsolidasi primer

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,

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 efektid 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.

$$Sc = H \frac{C_c}{1+ e_0} \log \frac{p_{0'} + \Delta p}{p_{0'}} \quad (3.5)$$

Dimana

Sc = Penurunan Primer (m)

C_c = Indeks kompresi tanah

$p_{0'}$ = tekanan overbunden efektif (kN/m^2)

Δp = perubahan tegangan vertikal (kN/m^2)

e_0 = Angka pori

H = Tebal lapisan tanah (m)

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

1. Indeks Kompresi Tanah (Cc)

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

$$C_c = 0{,}30\ x\ (e_0 - 0{,}5) \quad (3.6)$$

   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.

$$p_{0'} = \gamma' x\, H \tag{3.7}$$

   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.

$$\Delta p = q\ x\ I \tag{3.8}$$

   dengan nilai q didefinisikan pada Persamaan 3.9 berikut.

$$q = \gamma timbunan\ x\ H \tag{3.9}$$

   Dimana

   Δp = perubahan tegangan vertikal

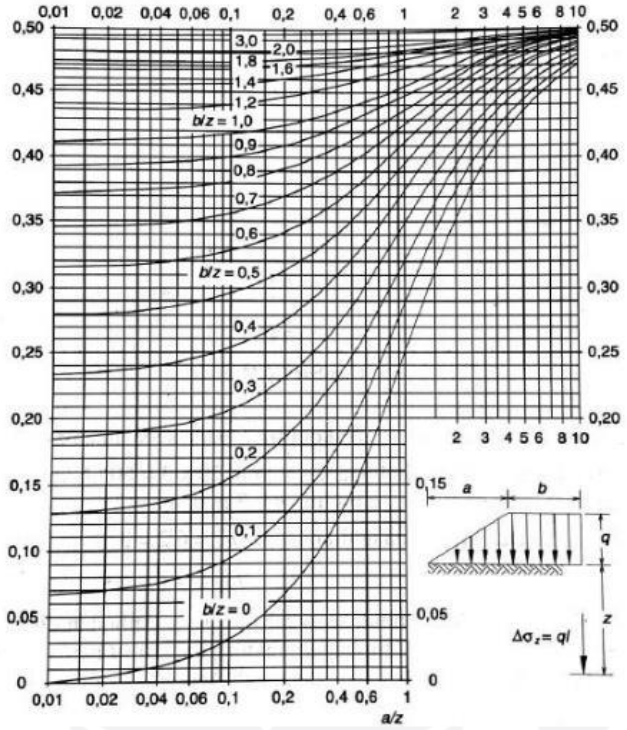
   q = beban timbunan

   H = Tebal lapisan tanah

   $\gamma_{timbunan}$ = 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)

(Sumber : (Hardiyatmo, 2010))

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 3.4 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 m	(Pailowsky,2005)
Penurunan total izin	Semua Jenis Struktur Bawah	Penurunan < 15 cm + b/600 Beda penurunan tidak membentuk sudut > 1 : 300	RSNI3 8640:2017

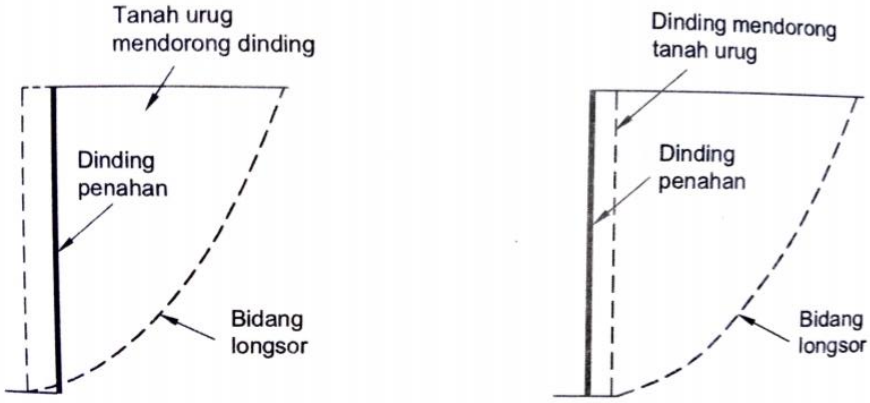
Sumber : (Bahari & Hamdhan, 2017)

3.6 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akibat gaya dorongan tanah dibelakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan tanah lateral dipengaruhi oleh perubahan letak(*displacement)* dari dinding penahan dan sifat sifat tanahnya (Hardiyatmo, 2010). Snalisis tekanan tanah lateral berguna untuk perancangan dinding penahan tanah dan struktur penahan yang lain.

3.6.1 Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan lateral minimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah oleh akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya. Sementara, tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menekan tanah urug. Tekanan tanah pasif lebih besar dari nilai koefisien tanah saat diam dan koefisien tanah aktif atau persisanya Kp>Ko>Ka. Tekanan tanah lateral saat runtuh dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Tekanan Aktif dan Tekanan Pasif

(Sumber : (Hardiyatmo, 2010))

Nilai koefisien tanah aktif dan koefisien tanah pasif pada permukaan tanah urung horizontal (z=0) didefinisikan dalam Persamaan 3.10 dan 3.11 berikut.

$$Ka = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = tan^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (3.10)$$

$$Kp = \frac{1}{Ka}$$

$$= \frac{1}{tan^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)}$$

$$= tan^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (3.11)$$

3.6.2 Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Tak Kohesif

Tanag urug yang mempunyai nilai kohesi (c) pada sudut gesek dalam (φ) maka berdasarkan teori Rankine , nilai tekanan tanah aktif didefiniskan dalam Persamaan 3.12 berikut.

$$Pa = \gamma\, z\, tan^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) - 2\, c \tan(45° - \frac{\varphi}{2}) \quad (3.12)$$

Atau

$$Pa = \gamma\, z\, Ka - 2\, c\, \sqrt{Ka}$$

Dalam persamaan tersebut, terlihat bahwa terdapat kemungkinan *Pa* negatif, yang berarti ada gaya tarik yang bekerja pada tanah. Pada bagian tanah yang menderita gaya tarik tersebut, tanah menjadi retak-retak. Retakan bila terisi oleh air hujan selain mengurangi kohesi juga mengakibatkan tambahan tekanan tanah lateral akibat tekanan hidrostatis. Kedalaman kritis hc yang menyatakan kedalaman tanah yang retak, terjadi saat *Pa* = 0 dapat dilihat pada Persamaan 3.13 berikut.

$$\text{hc} = \frac{2\, c}{\gamma\, \sqrt{Ka}} \quad (3.13)$$

Berdasarkan Persamaan 3.12 jika terjadi dipermukaan tanah (z=0) maka nilai *Pa* dapat dilihat pada Persamaan 3.14 berikut.

$$Pa = 2\, c \tan\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) = -2\, c\, \sqrt{Ka} \quad (3.14)$$

Bila tanah pada kedudukan pasif (*Pp)* maka berdasarkan Rankine dapat dilihat pada Persamaan 3.15 berikut.

$$Pp = \gamma\, z\, Kp - 2\, c\, \sqrt{Kp} \quad (3.15)$$

Memperhatikan persamaan diatas maka jika dipermukaan tanah (z = 0) maka nilai *Pp* didefinisikan pada Persamaan 3.16 berikut.

$$Pp = 2\,c\,\sqrt{Kp} \tag{3.16}$$

Besarnya gaya gaya tekanan tanah aktif dan pasif dengan jenis tanah urug kohesif dapat dinyatakan pada Persamaan 3.17 dan Persamaan 3.18 berikut.

Tekanan tanah aktif

$$Pa = 0.5\ H^2\gamma\ Ka - 2\,c\,H\,\sqrt{Ka} \tag{3.17}$$

Tekanan tanah pasif

$$Pp = 0.5\ H^2\gamma\ Kp + 2\,c\,H\,\sqrt{Kp} \tag{3.18}$$

Dimana,

Pa = tekanan tanah aktif total (kN)

Pp = tekanan tanah pasif total (kN)

γ = berat volume tanah urug (kN/m^3)

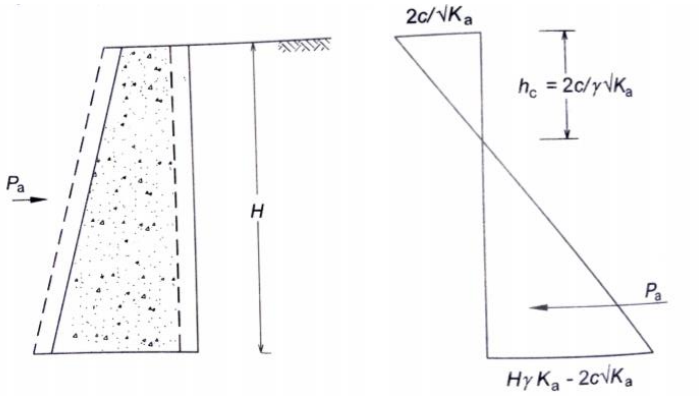
Ka = koefisien permeabilitas tanah aktif

Kp = koefisien permebilitas tanah pasif

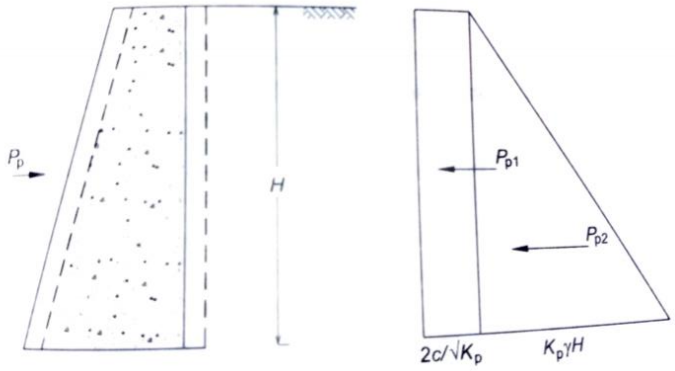
H = tinggi tanah urugan (m)

c = kohesi tanah urug (kN/m^2)

Adapun diagram tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif pada tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



(a)



(b)

Gambar 3.4 (a)Diagram Tekanan Aktif Tanah Kohesif
(b) Diagram tekanan Pasif Tanag Kohesif

Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

Tekanan tanah lateral juga dapat diakibatkan beban merata pada tanah urug yang didefinisikan pada Persamaan 3.19 dan 3.20 berikut.

$$Pa = Q\ H\ Ka \tag{3.19}$$

Permukaan air tanah dapat mempengaruhi nilai tekanan tanah lateral pada dinding penahan tanah. Nilai tekanan tanah lateral yang diakibatkan adanya permukaan air tanah dengan nilai Ka = 1 yang didefinisikan sesuai dengan Persamaan 3.20 berikut.

$$Pa = 0.5\ Hair^2\ \gamma air\ Kair \quad (3.20)$$

3.7 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.

3.7.1 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadaap 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 sebagai berikut.

$$Fgs = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1{,}5 \quad (3.21)$$

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

$$\sum Rh = c_a\, x\, B + W\ tan\delta_b \quad (3.22)$$

Keterangan :

$\sum Rh$	=	Tahanan Dinding penahan Tanah terhadap penggeseran
W	=	Berat total dinding penahan tanah dan tanah diatas nya (kN)
δ_b	=	Sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi
c_a	=	kohesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m^2)

c = kohesi tanah dasar (kN/m^2)

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 3.5 Koefisen 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)

3.7.2 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadaap Penggulingan

Stabilitas dinding penahan tanah perlu ditinjau terhadap penggulingan. Tekanan tanah lateral pada belakang dindin 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 berar tanah diatas dinding penahan tanah. Adapun faktor aman terhadap penggulingan dapat dihitung seperti pada Persamaan 3.23 berikut.

$$Fgl = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} \quad (3.23)$$

Keterangan :

$\sum Mw$ = Momen penahan penggulingan (kNm)

$\sum Mgl$ = Momen pengguling (kNm)

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

3.7.3 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadaap 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 dihitungan dengan *Persamaan Hansen (1970)* seperti Persamaan 3.24 berikut.

$$qU = d_c i_c c N_c + d_q i_q N_q D_f \gamma + d_\gamma i_\gamma 0.5 B_\gamma N_\gamma \quad (3.24)$$

Keterangan :

qU = Kapasitas Dukung Ultimate (kN)

$d_c d_q d_\gamma$ = faktor kedalaman

$i_c i_q i_\gamma$ = faktor kemiringan beban

$N_\gamma N_c N_q$ = faktor faktor kapasitas dukung

B = Lebar fondasi (m)

Df = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

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 3.25 berikut.

$$q = \frac{V}{B'} \quad (3.25)$$

Keterangan

q = kapasitas dukung tanah (kN)

V = beban vertikal tanah (kN)

B’ = lebar pondasi efektif (m)

3.8 Pemebebanan

3.8.1 Beban Merata

Beban merata diperhitungkan seluruh lebar permukaan timbunan. Berdasarkan Panduan beban lalu lintas untuk analisis stabilitas (Pt T-10-2002-B) dalam SE PUPR 42/SE/M/2015 beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas

Klasifikasi fungsi jalan	**LHR**		**Kelas**	**Beban (Kpa)**
Primer	Arteri	Semua	I	15
	Kolektor	≥ 10.000	I	15
		≤ 10.000	II	12
Sekunder	Arteri	≥ 20.000	I	15
		≤ 20.000	II	12
	Kolektor	≥ 6.000	II	12
		≤ 6.000	III	12
	Lokal	≥ 500	III	12
		≤ 500	IV	12

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)

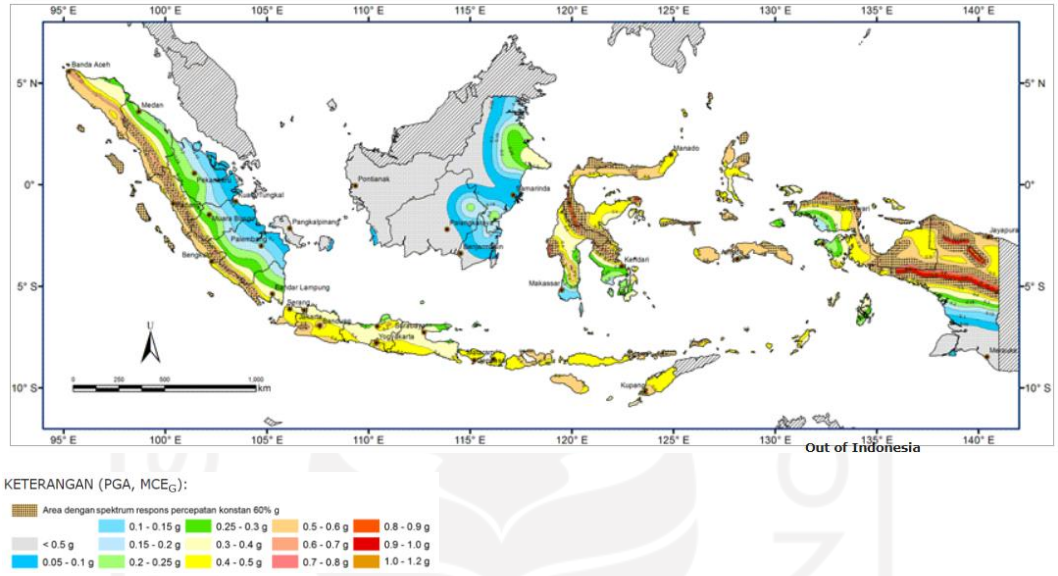
3.8.2 Beban Gempa

Gempa bumi mengakibatkan gerakan keruntuhan lereng alam maupun buatan. Kecuali pada gempa bumi dapat mengakibatkan adanya beberapa kejadian sebagai berikut.

1. *Liquefaction* pada massa tanah terutama jenis tanah granuler.
2. Perubahan tekanan air pori dan tegangan efektif dalam massa tanah.
3. Timbulnya retak vertikal yang dapat mereduksi kuat geser tanah.

Untuk memperhitungkan gravitasi akibat beban gempa hal yang sering digunakan dalam analisis stabilitas lereng adalah konstanta numerik yang biasanya disebut koefisen gempa (K*g*). Beban gempa dapat mempengaruhi nilai stabilitas

dipengaruhi oleh percepatan seismik gempa, dimensi lereng, material lereng yang berhubungan dengan beban dinamik. Adapun peta zona gempa di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.5 Peta Zonasi Gempa

Sumber : (SNI 1726 : 2012,)

3.9 Plaxis

Analisis stabilitas lereng dapat dibantu dengan sebuah progam bernama Plaxis. Program plaxis merupakan bentuk dari analysis kestabilan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mengatahui nulai deformasi dan stabilitas pada bidang geoteknik. Permodelan geometri bangunan terdapat beberapa macam oleh karena ini dalam permodelan ini dengan menggunakan model *Mohr Coulomb* dan *Elastic Linier*. Adapun kondisi tanah permodelan pada program plaxis 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. Kondisinini pada

program plaxis digunakan untuk mengatur tidak ada kenaikan tekanan air posi (*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. Kondisinundrained pada program Plaxis digunakan untuk mengatur timbulnya kenaikan tekanan air pori (*excess pore waterpressure*) pada material tanah.

Adapun dalam proses analisis dengan bantuan program Plaxis ini memilki parameter sebagai berikut.

1. 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 berikut.

Tabel 3.7 Koefisien Permeabilitas Tanah

Jenis tanah	**K (cm/detik)**
Kerikil bersih	1,0 -100
Pasir kasar	1,0 – 0,01
Pasir halus	0,01 – 0,001
Lanau	0,001 – 0,00001
Lempung	Kurang dari 0,000001

Sumber : (Das Braja M, 1988)

2. Berat Volume Tanah

   a. Berat volume kering adalah perbandingan antara berat volume butir (Ws) dan volume total (V). Berat volume kering dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.26 berikut.

$$\gamma_d = \frac{Ws}{V} \qquad (3.26)$$

b. 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). berat volume jenuh air dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.27 berikut.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(Gs+e)}{1+e} \quad (3.27)$$

3. 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 *tiaxial test* pada kondisi *undrained*. Nilai modulus elastisitas (Es) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Modulus Elasitisitas Tanah

Jenis tanah		**E (kN/m^2)**
Lempung	Sangat lunak	300 – 3000
	Lunak	2000 – 4000
	Sedang	4500 – 9000
	Keras	7000 – 20000
	Berpasir	30000 – 42500
Pasir	Berlanau	5000 – 20000
	Tidak padat	10000 – 25000
	Padat	50000 – 100000
Pasir dan Kerikil	Padat	80000 – 200000
	Tidak padat	50000 – 140000
Lanau		2000 – 20000
Loess		15000 – 60000
Cadas		140000 – 1400000

Sumber : (Joseph E. Bowles, 1986)

4. Kohesi

   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*.

5. 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 sheer test*. Berdasarkan Das (1994), nilai sudut geser tanah sehubungan dengan jenis tanahnya dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3.9 Sudut Geser dalam Suatu Tanah

Jenis tanah	**Sudut geser dalam (^{o})**
Kerikil kepasiran	35 – 40
Kerikil	35 – 40
Pasir padat	35 – 40
Pasir lepas	30
Lempung	25 – 40
Lanau	20 – 25

Sumber : (Das Braja M, 1988)?

6. Angka *Poisson*

   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 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Angka *Poisson Tanah*

Jenis tanah	**Angka *Poisson (μ)***
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung jenuh	0,10 – 0,30
Lempung jenuh	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir Padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar	0,15
Pasir halus	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,030

Sumber : (Joseph E. Bowles, 1986)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode deskripsi kualtitatif. Metode yang dimaksudkan adalah dengan mengumpulkan data sekunder dari kebutuhan parameter dan variable yang akan diteliti. Data sekunder dalam penelitian ini berupa data hasil penyelidikan tanah dilapangan dan dilaboratorium yang dilakukan oleh pemilik proyek.

Metode penelitian ini dilakukan pada program Aplikasi Plaxis 2D V20 dengan berbasis metode elemen hingga. Permodelan yang digunakan adalah dengan kondisi undrained dan drained ditinjau secara bertahap dan langsung akhir konstruksi. Analisis ini meninjau pembebanan timbunan sendiri, beban lalu lintas merata, dan beban gempa dengan permodelan Mohr Coloumb dan Elastic Linier. Permodelan timbunan yang dipakai dengan menggunakan variasi kemiringan lereng dan timbunan tanah dengan perkuatan dinding penahan tanah dan Timbunan ringan mortar busa

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan *flyover* Purwosari , Kota Surakarta ,Provinsi Jawa Tengah yang hingga saat ini masih berlangsung. Denah Lokasi objek penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut

Gambar 4.1 Denah Lokasi Penelitian

(Sumber = Wika, 2020)

4.3 Data Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder dan studi literatur Analisis dengan program Plaxis membutuhkan data parameter dan variable dan geometeri studi kasus tersebut. Adapun data penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut.

1. Data Timbunan Ringan Mortar busa.
2. Data Geometri Oprit *flyover* Purwosari.
3. Data Penyelidikan Tanah Dasar dan Tanah Timbunan Konvensional berupa Data Borlog, Data SPT, sifat fisis tanah (w, Gs, γ, LL, PL, PI, SL, LS, KL), sifat-sifat mekanis tanah (c, φ, Cc, Cv).

4.4 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut.

1. Tahapan Pengumpulan Data

   Tahapan dimana proses pengumpulan data tanah dan data timbunan ringan serta data geometeri pada oprit jembatan studi kasus

2. Tahapan Pengolahan Data dengan Program Plaxiss

   Analsis berbasis metode elemen hingga dilakukan dengan bantuan program plaxis. Adapun tahapan dalam proses pengolahan data adalah sebagai berikut.

   a. Input data

      Input data yang dilakukan berupa memasukan model dari geometri , data tanah, data pembebanan dan pengaturan setting permodelan.

   b. Perhitungan

      Proses dalam memperhitungkan nilai nilai atau parameter yang dijadikan ouput berupa faktor kemanan dan nilai penurunan.

   c. Output

      Tahapan ini dilakukan untuk membaca hasil perhitungan. Hasil perhitungan dapat berupa grafik, tabel hingga gambar potensi kelongsoran.

3. Tahapan Pengolahan data secara analitik (manual)

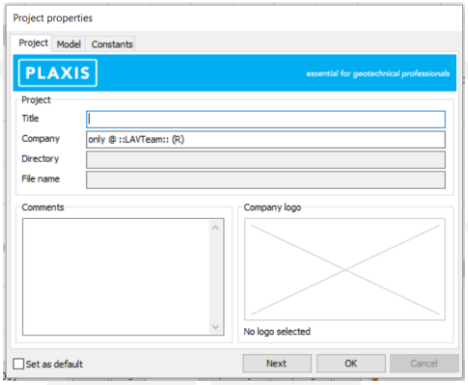
   Analisis yang dilakukan program dapat dikatakan valid apabila sudah diuji dengan perhitungan analitik dari hasil permodelan sehingga hasil perhitungan akan menjadi perbandingan dari pengolahan data dengan program.

4. Tahapan Pembahasan dan Pelaporan

   Tahapan ini berisi penyusunan pembahasan dan pelaporan yang berisi jawaban dari hasil hipotesa secara sistematis dan lengkap. Hasil pembahasan selanjutnya ditarik kesimpulan yang menajwab tujuan dari penelitian ini.

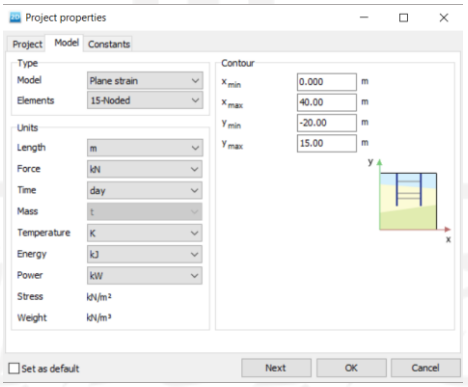
Adapun langkah langkah dalam melakukan perhitungan nilai faktor aman dan penurunan dengan progam Plaxis 2D V20 sebagai berikut.

1. Membuka program Plaxis 2D V20 , kemudian mengisi kotak dialog *Project Properties,* kemudian mengisi judul atau nama projek pada kolom *title.*



Gambar 4.2 Jendela Project Properties

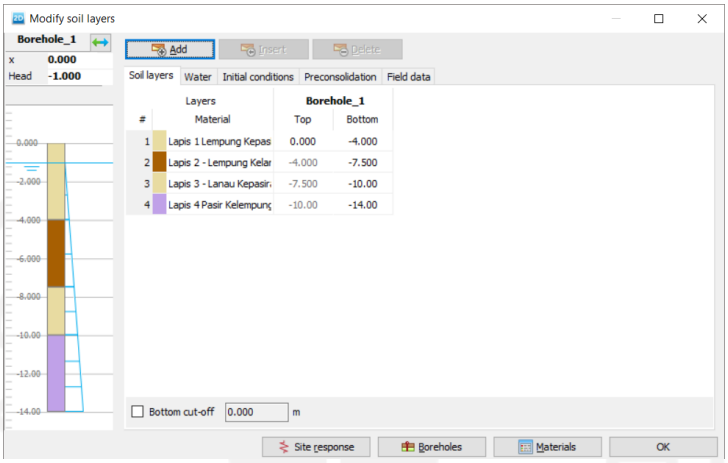
2. Mengisi permodelan yang digunakan tipe model *plain strain* dengan elemen *15-noded,* serta menentukan satuan pada kolom *units* sebagai acuan dalam proses *input* parameter permodelan timbunan dan lapisan tanah , selain itu mengisi permodelan *contour* untuk penggambaran permodelan.



Gambar 4.3 *Jendela Model Properties*

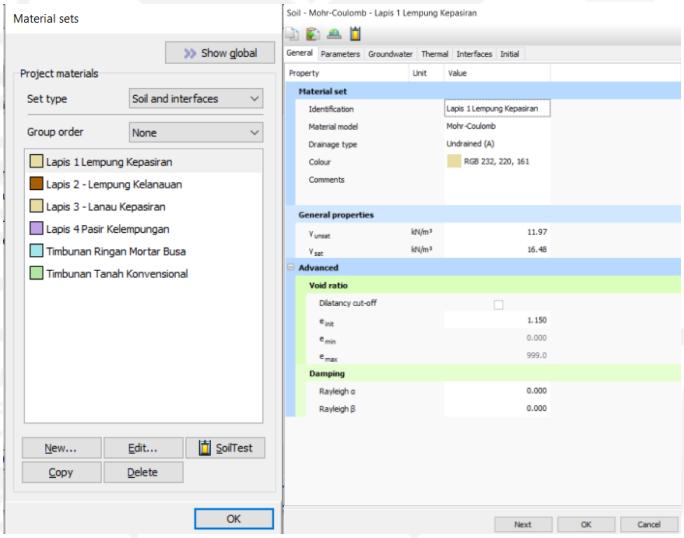
3. Kemudian, melakukan bentuk permodelan dengan menekan tombol **(X)** gamber borehole" , setelah itu muncul jendela *Modify Soil Layers* yang selanjutnya menentukan kedalamana lapisan setiap tanah pada kolom *Top*

dan *Bottom.* Model akan secara otomatis terbentuk pada jendela utama *plaxis.*



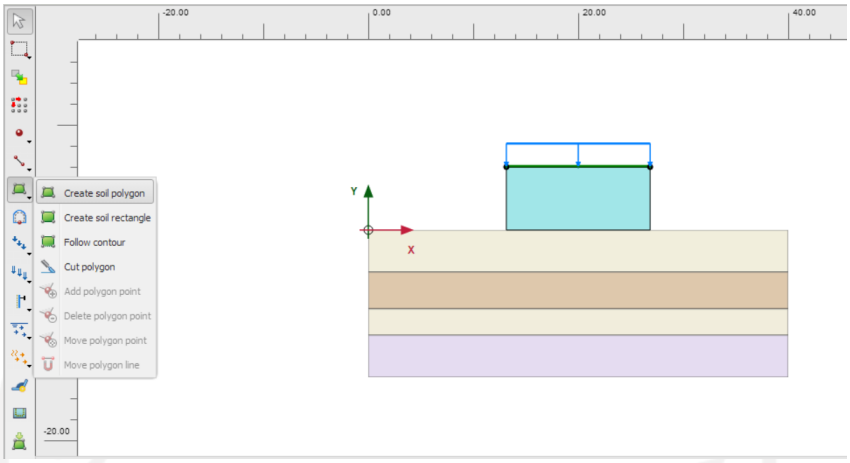
Gambar 4 4 Jendela *Modify Soil Layers*

4. Memasukan permodelan material dengan klik menu *Materials* , kemudian pada menu *New*, selanjutnya memasukan parameter tanah dan timbunan



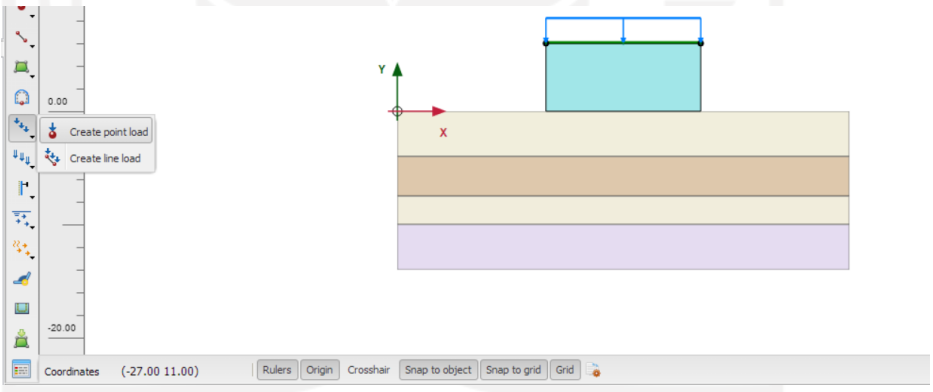
Gambar 4.5 Jendela *Materials*

5. Membuat permodelan timbunan pada menu *Stuctures* dengan memilih menu "*Create Soil Polygon"* kemudian memasukan titik titik koordinat dari timbunan selanjutnya menentukan material dari timbunan tersebut.



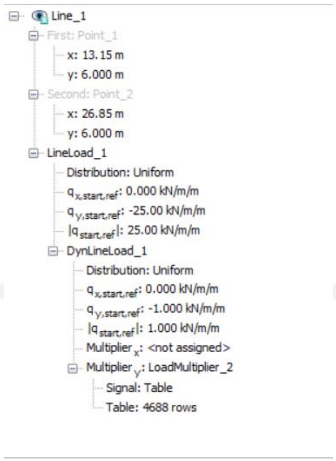
Gambar 4.6 Pembuatan Material untuk Struktur Timbunan

6. Memasukan permodelan beban merata pada bagian atas timbunan dengan memilih menu *Create Point Load* , kemudian memasukan titik koordinat dari bagian atas timbunan.



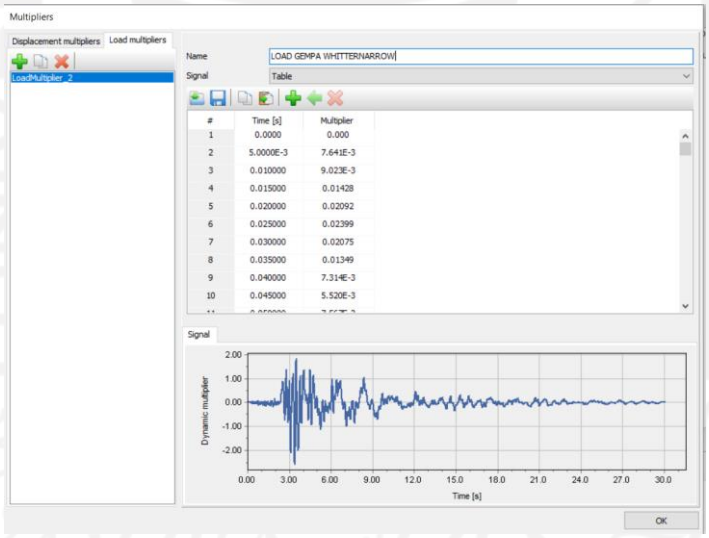
Gambar 4.7 Pembuatan Pembebanan Timbunan

7. Memasukan beban merata dan beban gempa untuk permodelan pada bagian kiri program , untuk memasukan beban merata pada "*qy start ref"*untuk arah y.



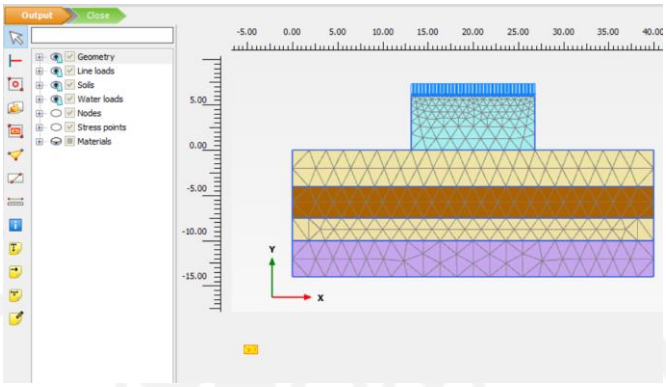
Gambar 4.8 I*nput* Nilai Beban untuk Timbunan

8. Beban gempa di masukan berdasarkan pembebanan yang ditinjau oleh WhitterNarrow 1987 , kemudian dimasukan ke dalam program plaxis melalui menu menu *Multipliers* kemudian pada menu *Load Multipliers*



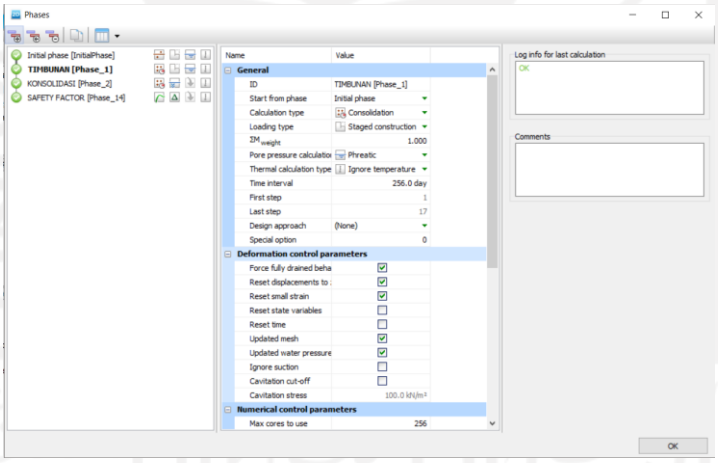
Gambar 4.9 *input* beban gempa

9. Jaringan elemen untuk permodelan dimasukan melalui menu "*Mesh"* , kemudian pada menu memilih ikon "*Generate Mesh"*.



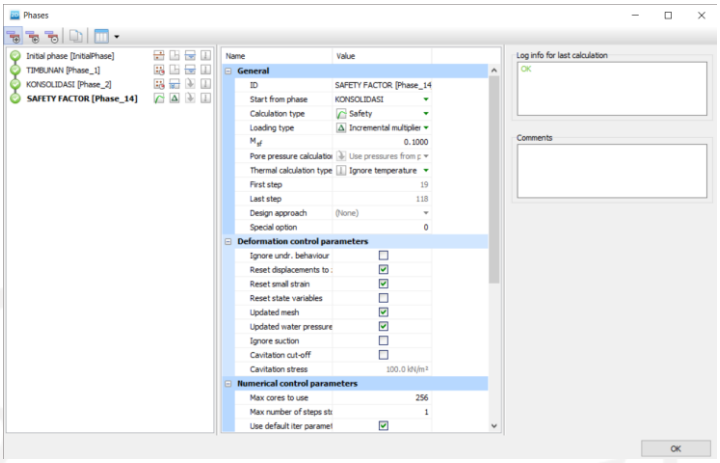
Gambar 4. 10 Hasil Jaringan Elemen Permodelan

10. Melakukan perhitungan pada menu *Staged Construction"* untuk menentukan menu kalkulasi, untuk melakukan permodelan penurunan dengan memilih *Calculation type* menjadi *Consolidation* , dan memasukan *time interval* dan melakukan perhitungan dengan memencet tombol *calculate*



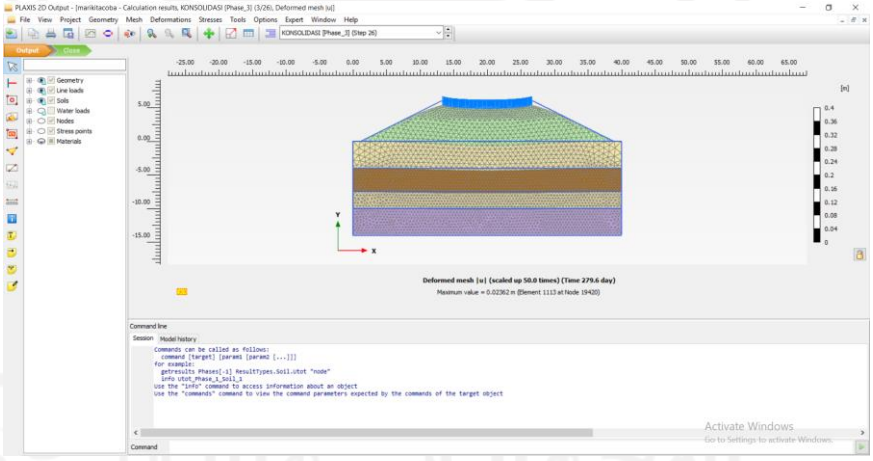
Gambar 4.11 Menu *Calculation* untuk Penurunan Tanah

11. Perhitungan faktor aman pada progam Plaxis dilakukan dengan cara yang sama dengan konsolidasi namun dengan memilih *calculation type* menjadi *Safety*. melakukan perhitungan dengan memencet tombol *calculate* .



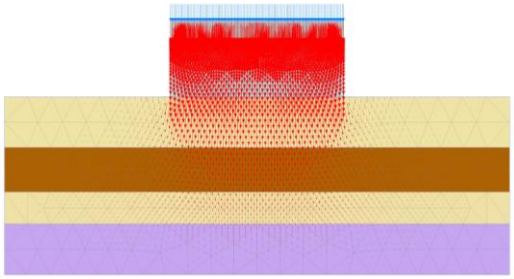
Gambar 4.12 Menu *Calculation* untuk Faktor Aman

12. Hasil analisis dapat dilihat melalui menu *Plaxis* Output dengan memilih menu . Kemudian akan muncul jendela baru berupa pilihan menu dari *output*.

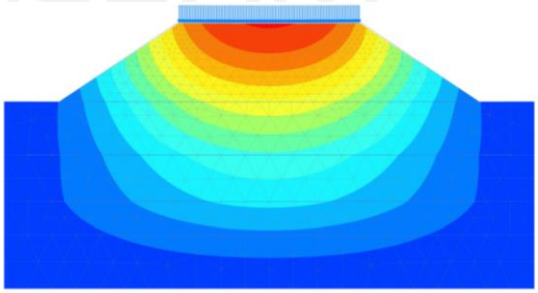


Gambar 4.13 Jendela *Output* Perhitungan

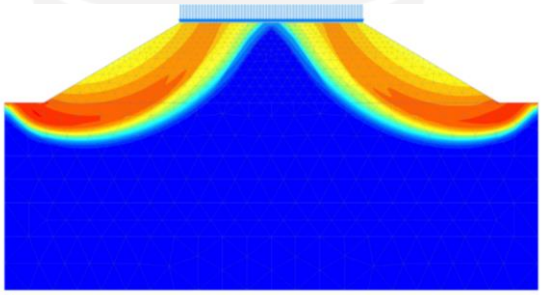
13. *Output* yang diambil pada penelitian ini dengan menggunakan software *Plaxis 2D v20* berupa jaringan elemen permodelan sebelum dan sesudah perhitungan, bidang potensi longsor dan bidang penurunan, kurva penurunan dan kurva faktor aman.



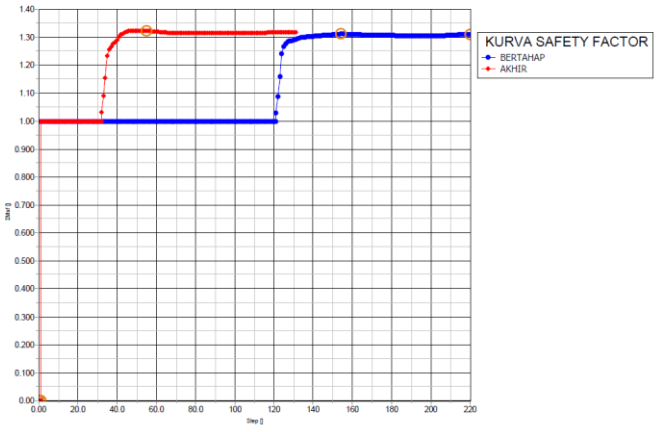
Gambar 4.14 *Output* Arah Pergerakan



Gambar 4.15 *Output Displacement*



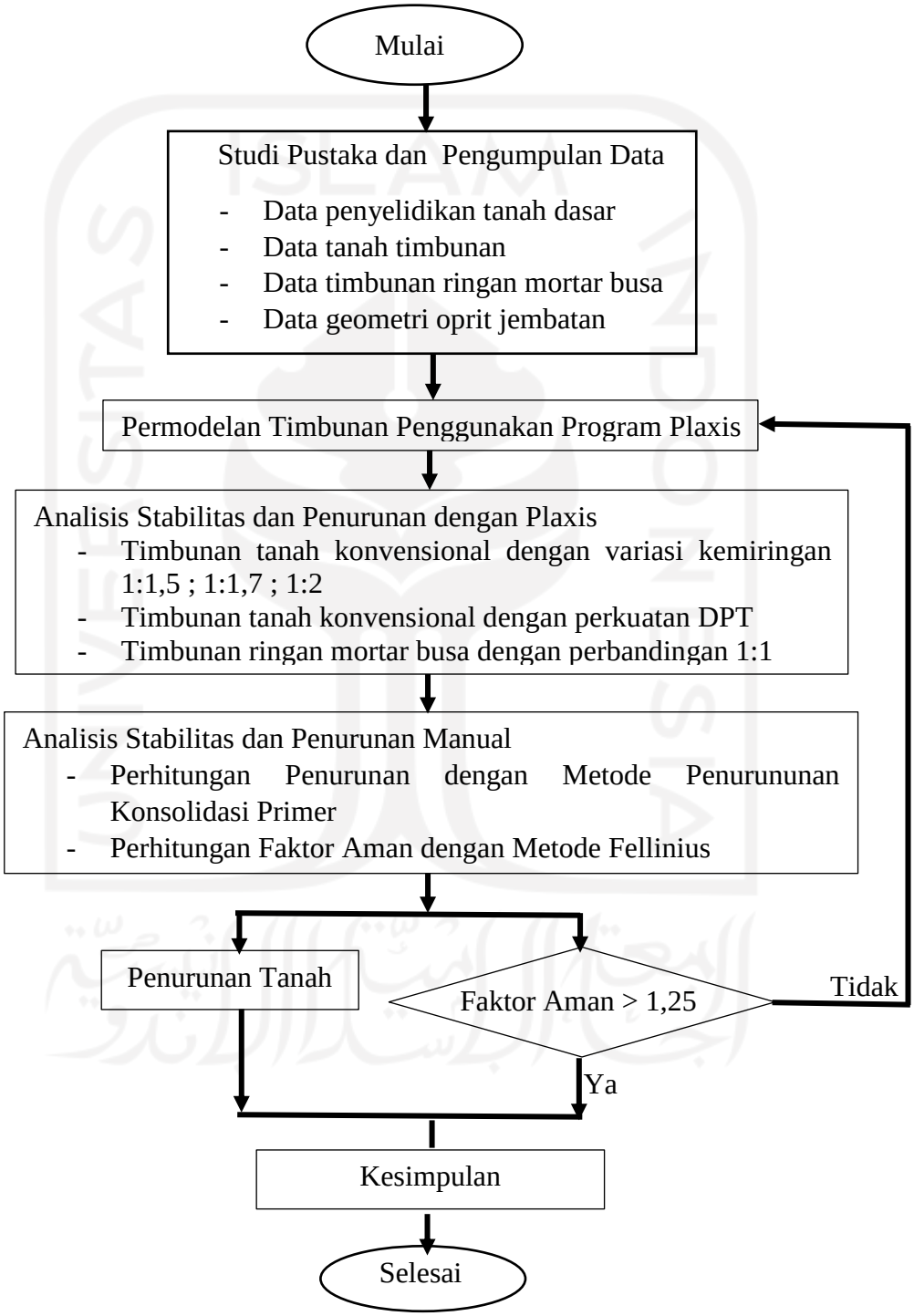
Gambar 4. 16 Output Potensi Bidang Longsor



Gambar 4. 17 *Output* Kurva

4.5 Bagan Alir Penelitian

Adapun dalam melaksanakan penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan. Untuk lebih jelasnya, bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4. 18 Bagan Alir Penelitian

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

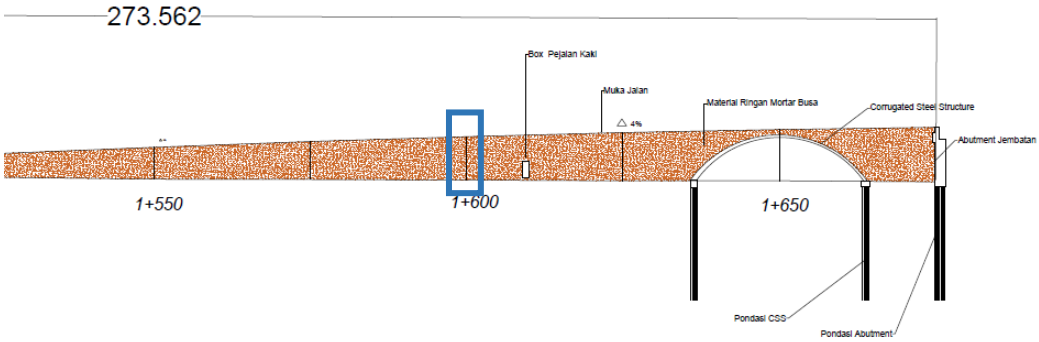
5.1 Umum

Timbunan ringan mortar busa merupakan alternatif pengganti tanah timbunan konvensional. Tanah timbunan yang digunakan pada oprit jembatan umumnya memiliki tekanan arah vertikal yang dapat menyebabkan penurunan tanah dan potensi kelongsoran pada oprit jembatan. Penelitian ini menggunakan studi kasus pada oprit jembatan Flyover Purwosari Surakarta pada Sta 1 + 600. Tanah timbunan yang digunakan sebagai pembanding adalah jenis tanah lempung merah yang memiliki kemudahan saat pemadatan dan harga yang relative dapat dijangkau.

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan nilai penurunan tanah dan nilai faktor aman dari lereng timbunan. Penelitian ini membandingkan timbunan ringan mortar busa dengan tanah timbunan konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,5 ; 1 : 1,7 ; 1 : 2 dan dengan dinding penahan tanah jenis kantilever. Permodelan dalam penelitian ini menggunakan analisis dengan *software* Plaxis 2D V20 dan permodelan dilakukan dengan perhitungan analisis manual. Analisis manual yang digunakan untuk menghitung penurunan adalah dengan menggunakan metode tinjauan konsolidasi primer dan untuk menghitung faktor aman adalah dengan menggunakan metode *fellinius.*

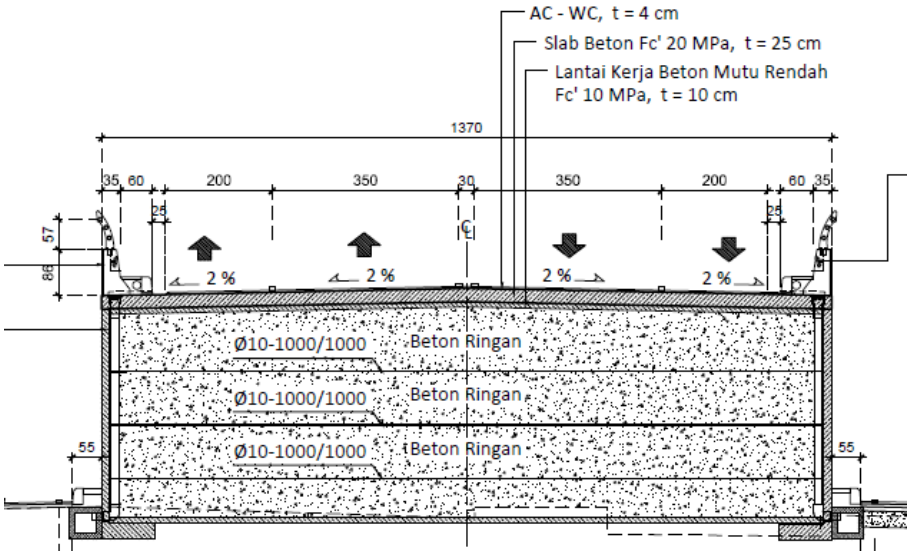
5.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder,studi literatur dan penelitian terdahulu. Data ini diambil dari data proyek pembangunan *Flyover* Purwosari Surakarta. Adapun gambar penampang melintang dari struktur oprit jembatan dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Skema Memanjang Oprit *Flyover Purwosari*

Lokasi titik penelitian yang tertanda pada Gambar 5.1 yaitu pada titik Sta 1 + 600 diambil sebagai titik penelitian dengan tinggi timbunan 6,0014 m dengan skema potongan melintang dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.2 Skema Potongan Melintang Sta 1 + 600

Data tanah dasar untuk penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut

Tabel 5.1 Data Lapisan Tanah

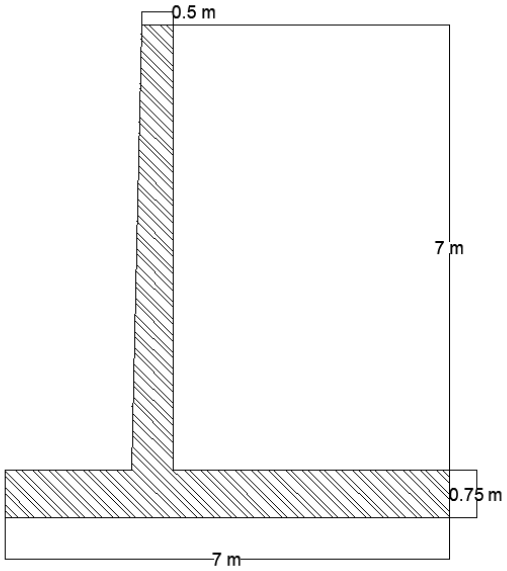
URAIAN	SATUAN	SIMBOL	LAPISAN 1	LAPISAN 2	LAPISAN 3	LAPISAN 4
Kedalaman	m	H	0-4	4-7.5	7,5-10	10-14
Jenis	-		LEMPUNG KEPASIRAN	LEMPUNG KELANAUAN	LANAU KEPASIRAN	PASIR KELEMPUNGAN
Model Material	-		MOHR-COLOUMB	MOHR-COLOUMB	MOHR-COLOUMB	MOHR-COLOUMB
Tipe Drainage	-		UNDRAINAGE	UNDRAINAGE	UNDRAINAGE	DRAINAGE
Berat Volume	kN/m^3	γ	16,4808	18,639	15,2055	16,3827
Berat Volume Kering	kN/m^3	γd	11,9682	14,4207	8,829	11,1834
Indeks Permeabilitas	mm/ hari	kx,ky	0,000864	0,000864	0,00864	0,0864
Modulus Young	kN/m^2	E	12.000	9.000	10.000	15.000
Angka Poisson	-	v(phi)	0,3	0,35	0,3	0,25
Kohesi	kN/m^2	c	0,287	0,1109	0,1439	0,5056
Sudut Geser Dalam	^{o}	Φ	25,43	43,5	34,51	34,5
Indeks Kompresibilitas	-	Cc	0,105	0,015	0,278	0,142
Angka Pori	-	e	1,15	0,85	1,81	1,32

Data timbunan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai permodelan diambil sesuai parameter sifat timbunan ringan material mortar busa sesuai Surat Edaran Nomor 42/SE/M/2015 Tentang Pedoman Perencanaan Teknis Timbunan Ringan Mortar Busa untuk Konstruksi Jalan yang diterbitkan oleh Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, sementara untuk timbunan konvensional diambil dari parameter tanah laterit sebagai timbunan pada peneltian (Purindang, 2020). Adapun data parameter timbunan dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Data Parameter Timbunan

Parameter	Satuan	Timbunan Tanah Konvensional	Timbunan Ringan Mortar Busa
Model Material		Mohr Coloumb	Linear Elastic
Tipe Drainage		Undrained	Non-Porous
γ_{sat}	kN/m^3	19	6
γ_{unsat}	kN/m^3	18	6
k	(m/hari)	0,001	-
E	kN/m^2	10.000	89.635
v		0,3	0,2
c	kN/m^2	5	-
Φ	(º)	25	-

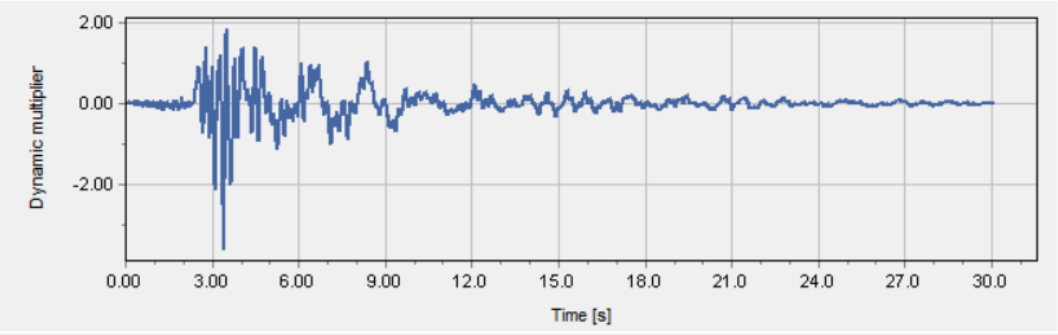
Permodelan dengan perkuatan dinding penahan tanah dengan jenis kantilever dan tanah timbunan seperti pada permodelan dengan variasi kemiringan. Adapun data parameter dari dinding penahan tanah dan skema dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Skema Dinding penahan Tanah

Tipe DPT	=	Kantilever
Model material	=	Linear Elastic – Non Porous
Mutu Beton	=	30 MPa
Modulus Young	=	30.000 kN/m2
Berat Volume	=	24 kN/m3
Angka Poisson	=	0.15

Beban merata pada struktur timbunan ini mengacu pada Panduan beban lalu lintas untuk analisis stabilitas dalam SE PUPR 42/SE/M/2015 maka diperoleh beban merata lalu lintas sebesar 15 kN/m^2 dan asumsi beban sendiri dari struktur jembatan sebesar 10 kN/m^2 sehingga jumlah beban merata sebesar 25 kN/m^2. Beban gempa tinjauan yang digunakan diambil dari data Gempa Whitter Narrow 1987 dengan percepatan gempa 3,82 x 10^{-1} g yang dikorelasikan dengan peta SNI 1726 : 2012 dengan nilai percepatan gempa yang terdapat pada Gambar 3.5 sebesar 0,365 g .Waktu percepatan gempa yang digunakan sebesar 3,5 detik.



Gambar 5.4 Beban Gempa Whitter Narrow 1987

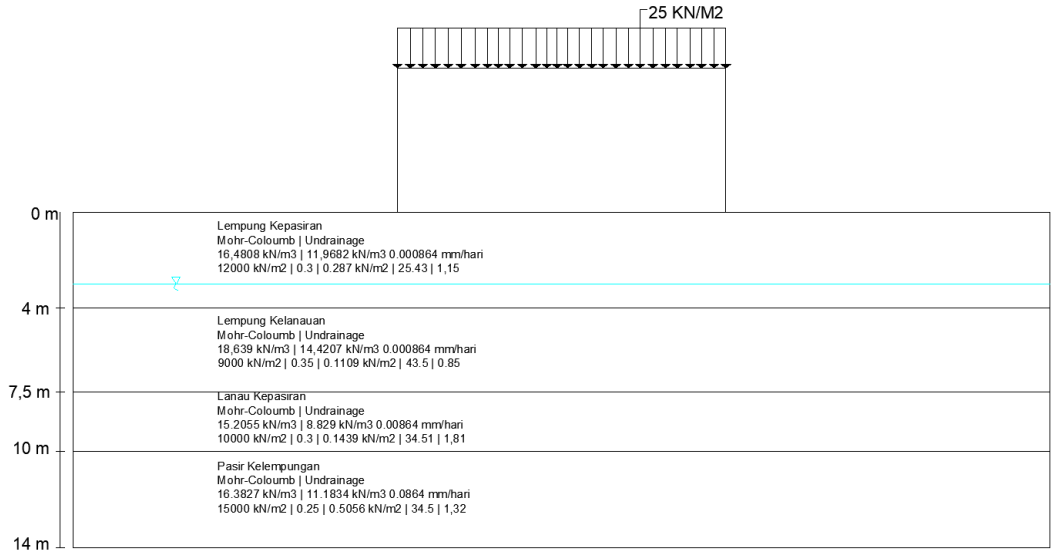
5.3 Analisis Perhitungan Timbunan dengan Plaxis 2D V20

Analisis perhitungan timbunan dengan menggunakan *software* Plaxis 2D V20 dilakukan dengan perhitungan beban merata berdasarkan panduan geoteknik 2004 dan beban gempa berdasarkan data Gempa Whitter Narrow 1987. Hasil analisis perhitungan *safety factor* dan penurunan tanah sebagai berikut.

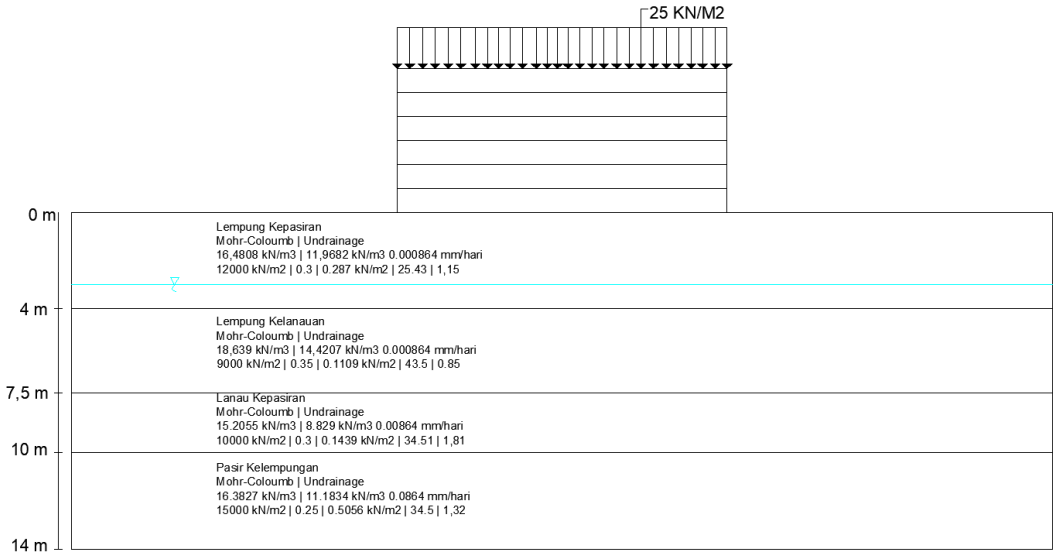
5.3.1 Analisis Timbunan Ringan Mortar Busa

1. Permodelan

   Permodelan timbunan ringan mortar busa dilakukan dengan bentuk yang ditinjau secara bertahap dan diakhir konstruksi. Permodelan secara bertahap ditinjau dengan lapisan tiap 1 meter dengan konsolidasi selama 50 hari setiap lapis timbunannya. Permodelan timbunan ringan mortar busa dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.5 Permodelan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir



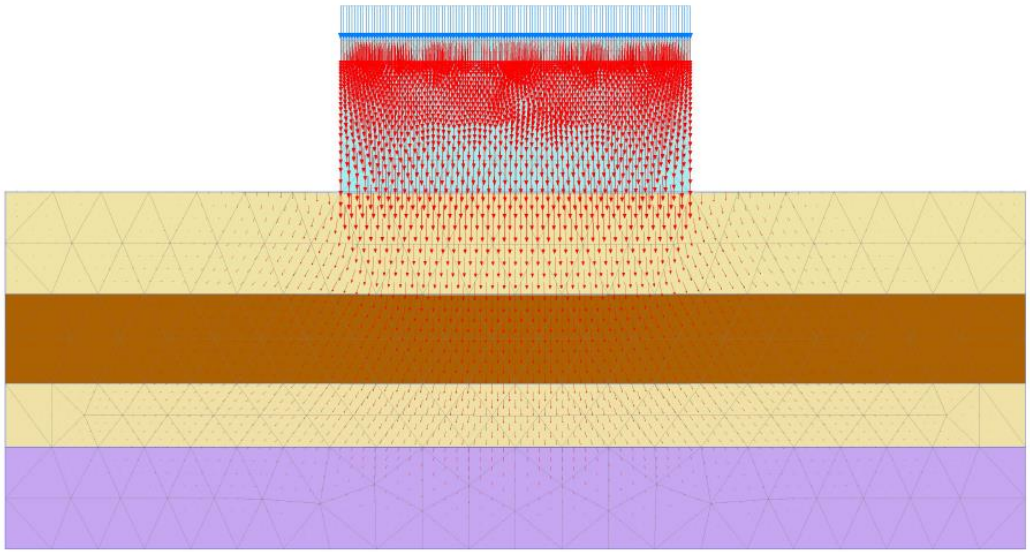
Gambar 5.6 Permodelan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Bertahap

Permodelan jaringan elemen dalam program Plaxis untuk timbunan ringan mortar busa dapat diilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 sebagai berikut.

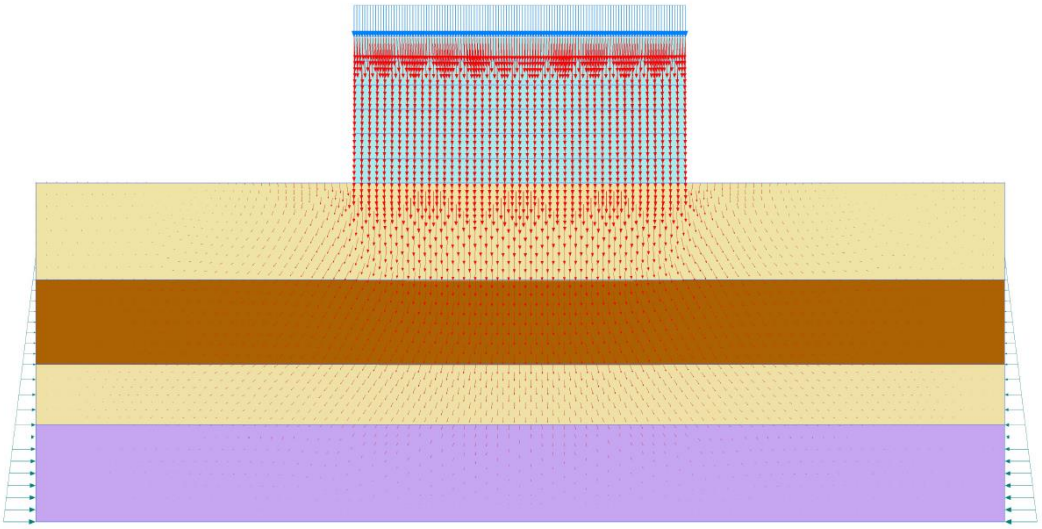
Gambar 5.7 Jaringan Elemen Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi

Gambar 5.8 Jaringan Elemen Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Konstruksi Bertahap

Hasil analisis menunjukan adanya perbedaan arah pergerakan distribusi beban yang ditinjau pada akhir menunjukan adanya arah pergerakan distrubusi beban lebih dominan pada area timbunan dibandingkan ditinjau secara bertahap. Adapun dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut.

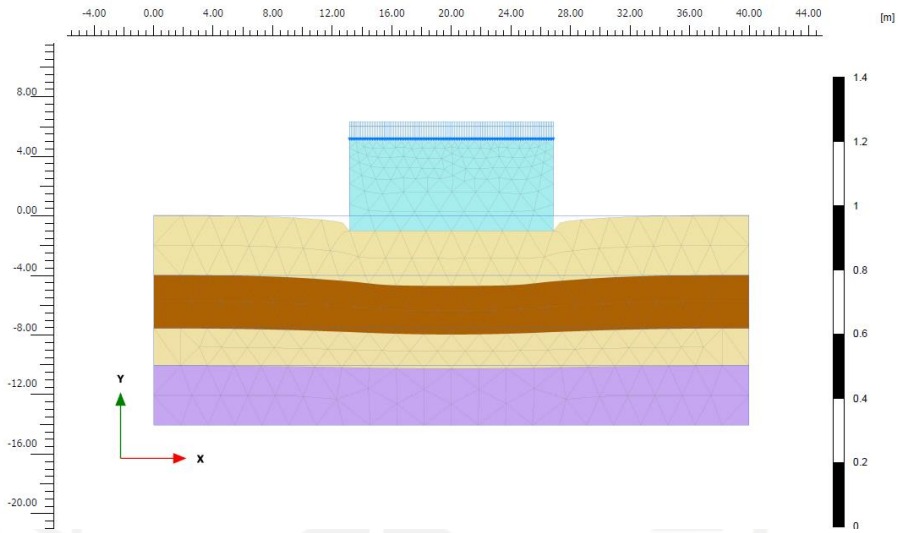


Gambar 5.9 Arah Distribusi Beban Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi

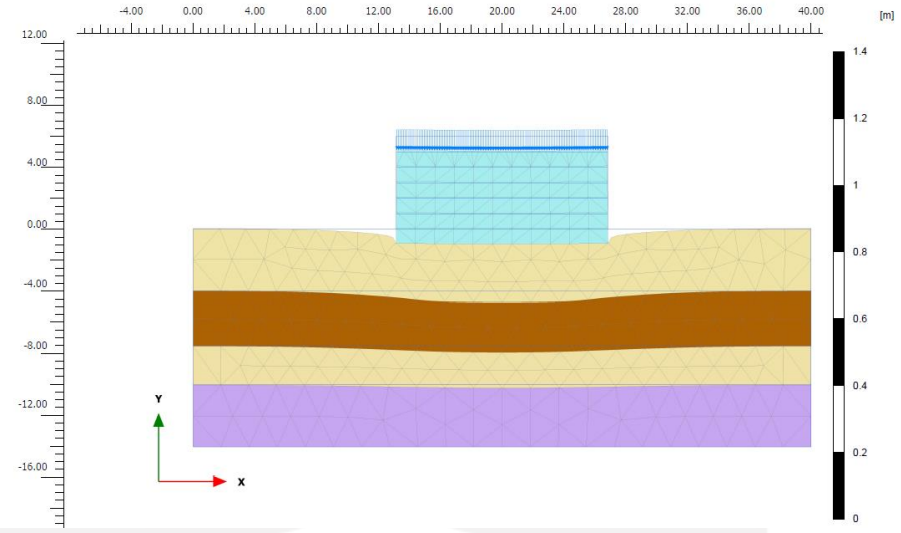


Gambar 5.10 Arah Distribusi Beban Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Konstruksi Bertahap

Arah distribusi beban tersebut menyebabkan adanya nilai penurunan yang dihasilkan dari perhitungan program plaxis yang disebabkan oleh beban merata dan beban gempa. Permodelan penurunan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 berikut.

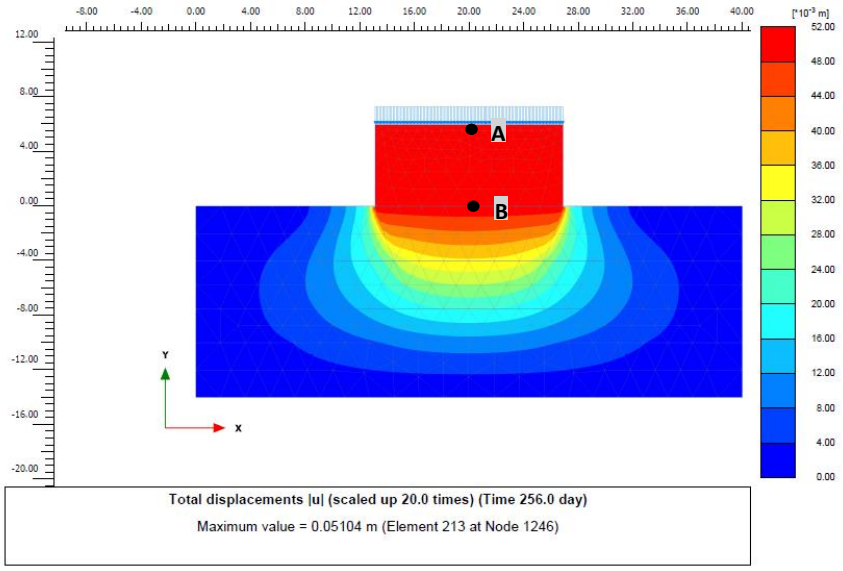


Gambar 5.11 Skema Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi



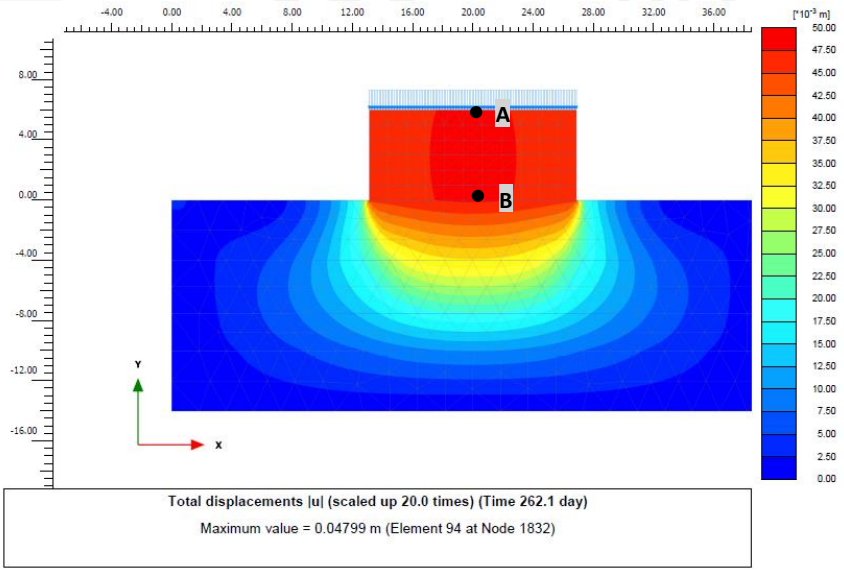
Gambar 5. 12 Skema Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Konstruksi Bertahap

Skema gambar penurunan diatas direpresentasikan dalam diagram penurunan tanah pada permodelan akhir konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,05104 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,5077 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.13 seperti berikut.



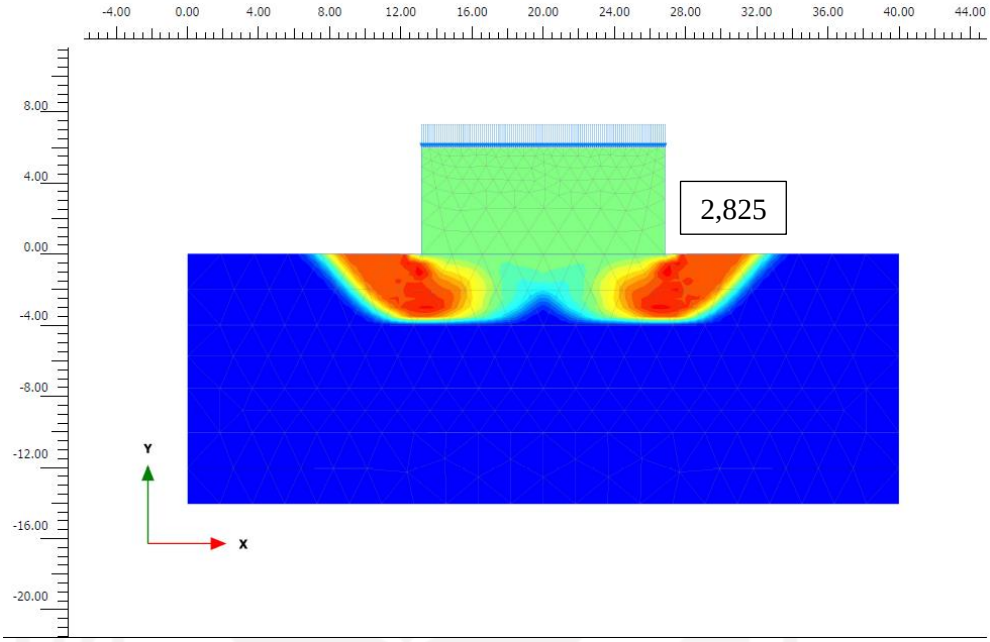
Gambar 5.13 Diagram *Displacement* Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi

Permodelan bertahap konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,04799 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,4789 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.14 seperti berikut.

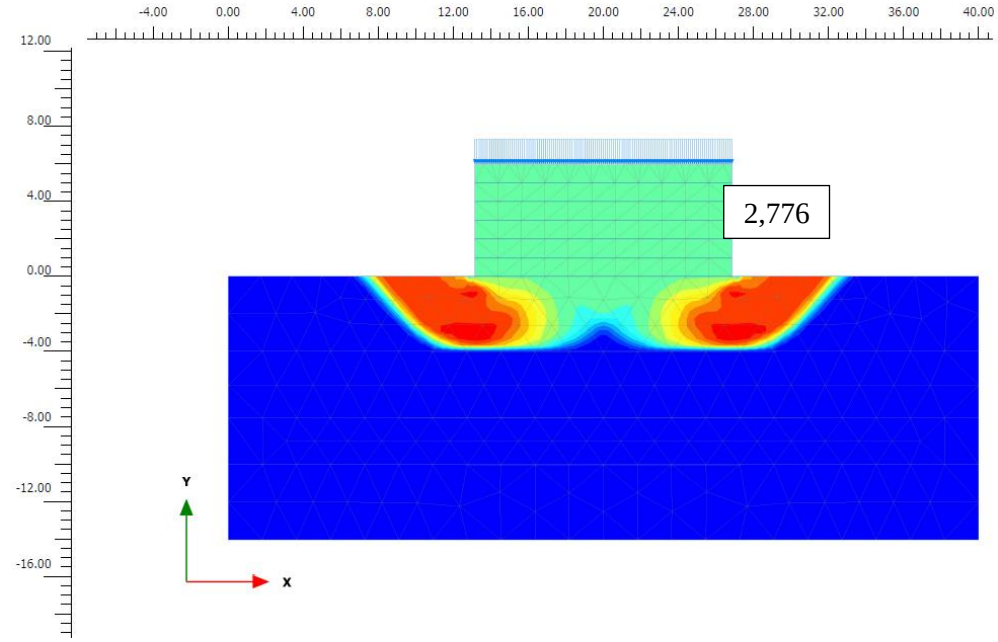


Gambar 5. 14 Diagram *Displacement* Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Konstruksi Bertahap

Analisis faktor aman pada permodelan timbunan tanah konvensional memiliki potensi bidang kelongoran akibat beban seperti pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 sebegai berikut.

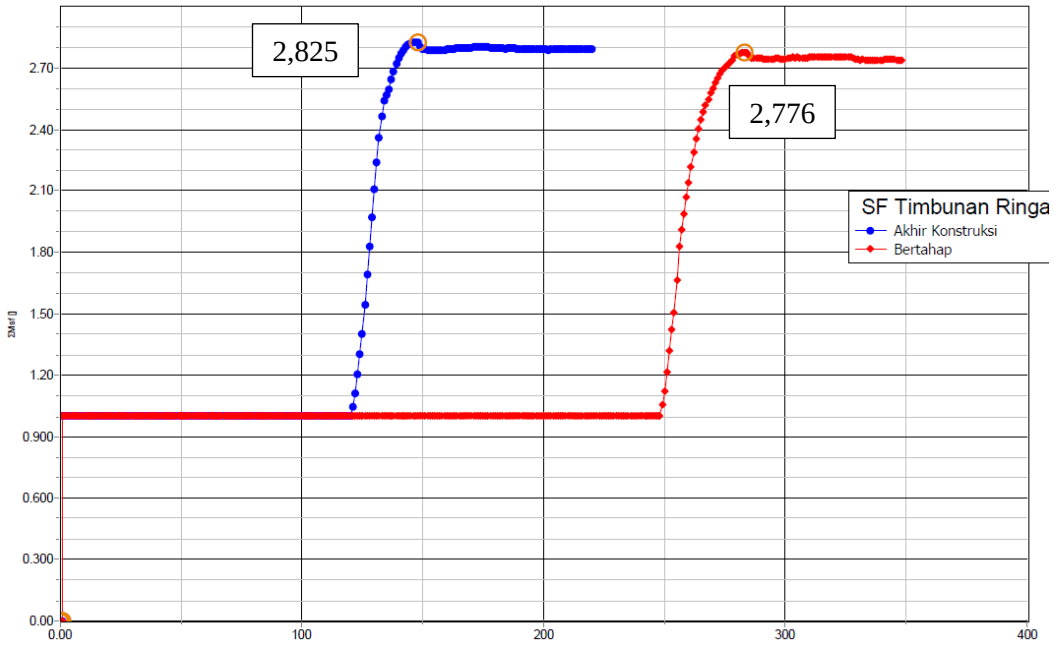


Gambar 5.15 Potensi Bidang Longsor Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Akhir Konstruksi



Gambar 5.16 Potensi Bidang Longsor Timbunan Ringan Mortar Busa ditinjau Konstruksi Bertahap

Potensi bidang longsor diatas terletak pada daerah lapisan tanah pertama memiliki nilai faktor aman yang ditinjau secara langsung diakhir sebesar 2,825 dan ditinjau secara bertahap didapat nilai faktor aman sebesar 2,776 yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.

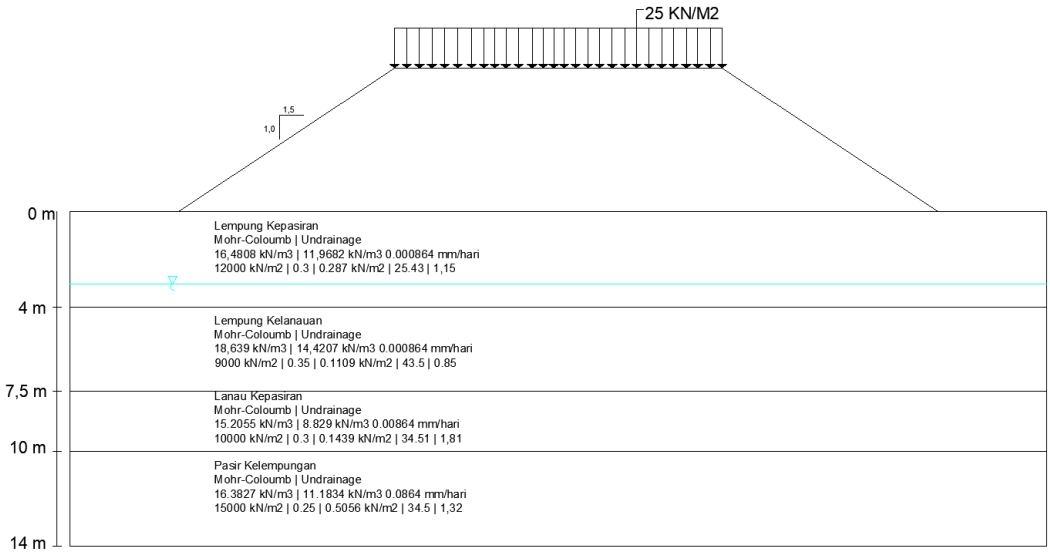


Gambar 5.17 Kurva Faktor Aman untuk Permodelan Timbunan Ringan Mortar Busa

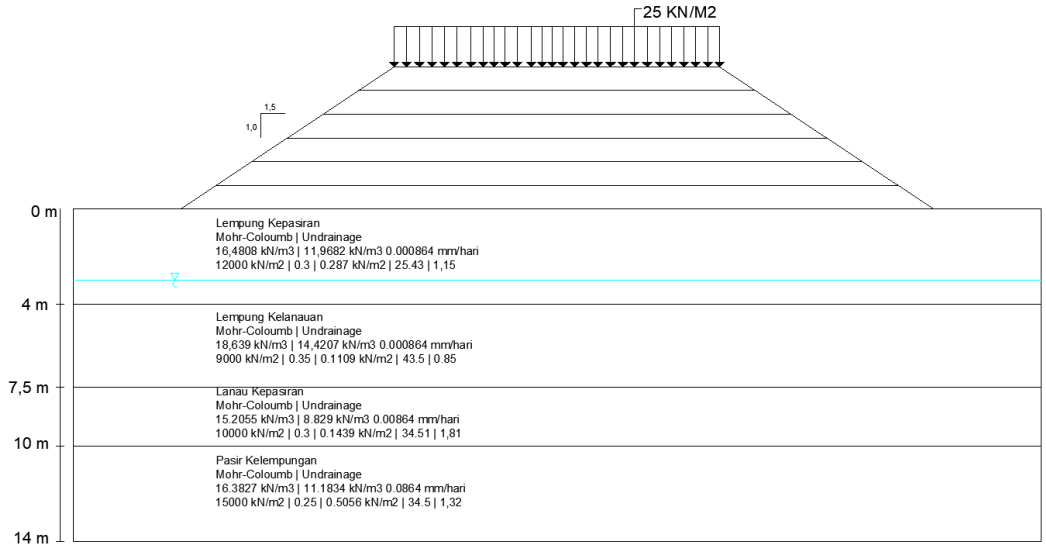
5.3.2 Analisis Timbunan Konvensional dengan Variasi Kemiringan 1 : 1,5

1. Permodelan

   Permodelan timbunan konvensional dilakukan dengan bentuk permodelan analisis timbunan ditinjau secara bertahap dan diakhir konstruksi. Permodelan secara bertahap ditinjau dengan lapisan tiap 1 meter dengan konsolidasi selama 50 hari setiap lapis timbunannya. Permodelan timbunan tanah konvensional untuk kemiringan 1 : 1,5 dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 berikut.

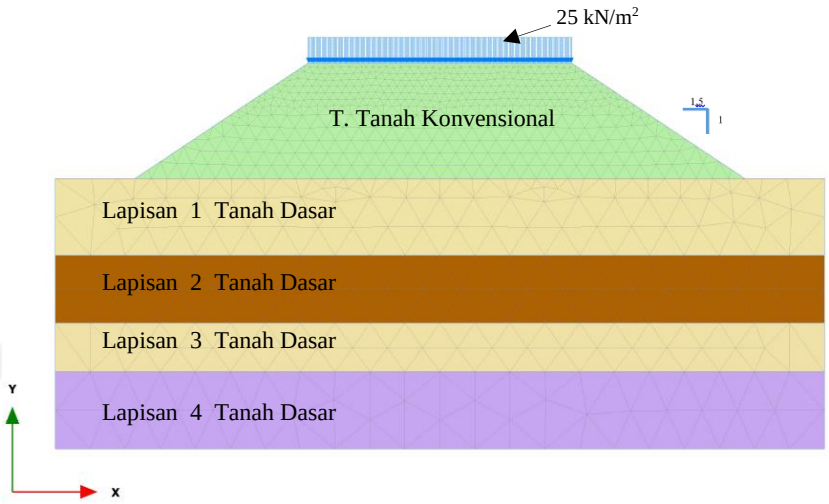


Gambar 5.18 Permodelan Timbuann Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir

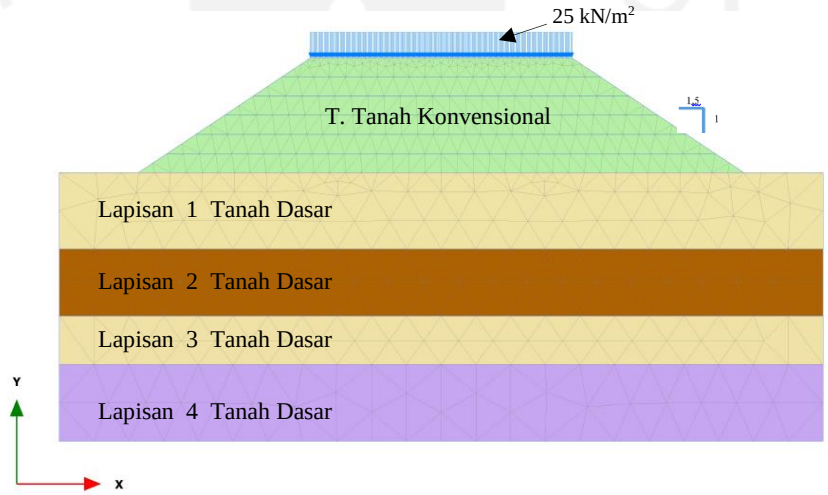


Gambar 5.19 Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap

Permodelan jaringan elemen dalam program Plaxis untuk timbunan konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,5 dapat diilihat pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 sebagai berikut.

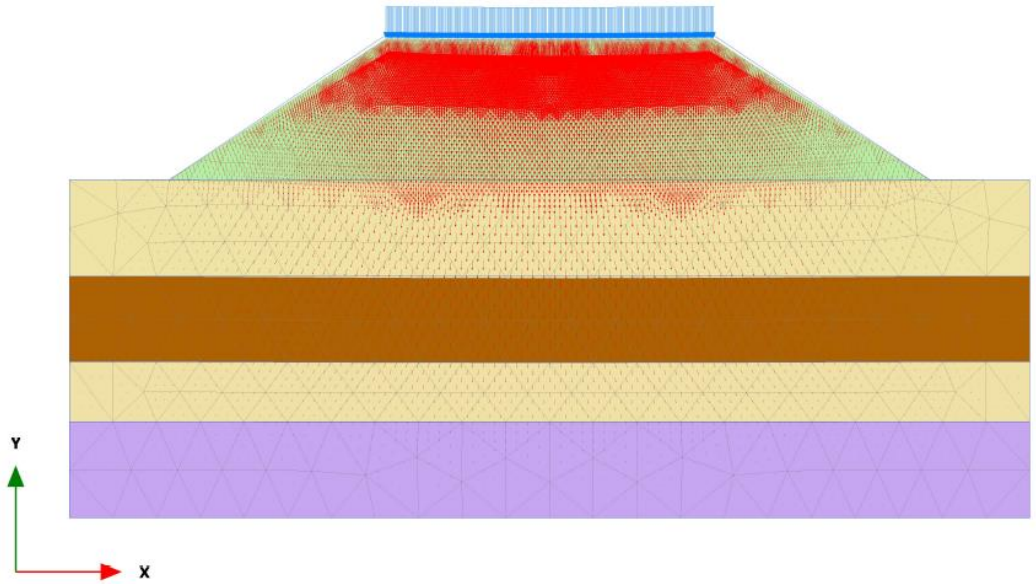


Gambar 5.20 Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir Konstruksi

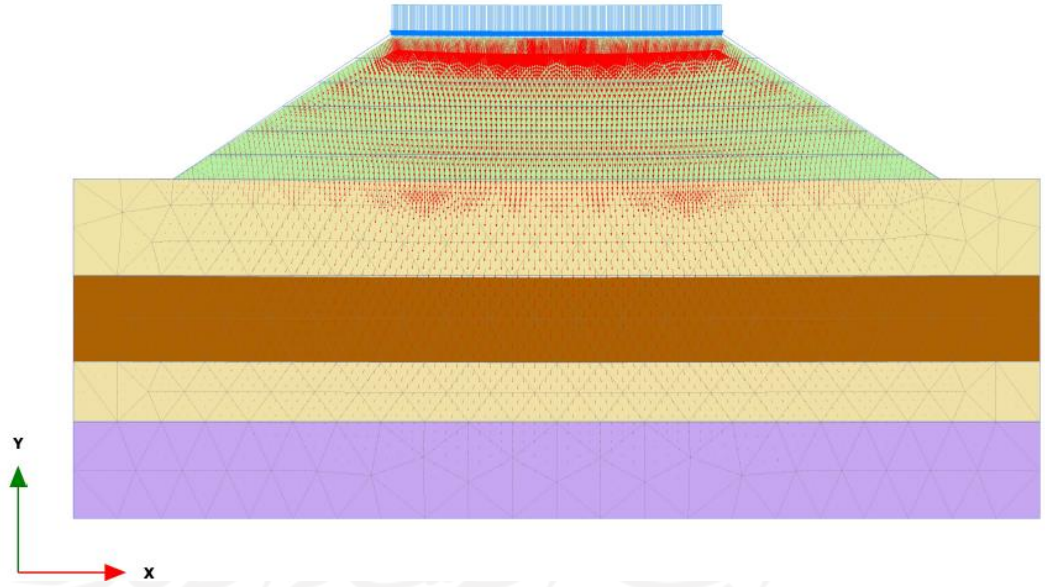


Gambar 5. 21 Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Konstruksi Bertahap

Hasil analisis menunjukan adanya perbedaan arah pergerakan distribusi beban yang ditinjau pada akhir menunjukan adanya arah pergerakan distrubusi beban lebih dominan pada area timbunan dibandingkan ditinjau secara bertahap. Adapun dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 berikut.

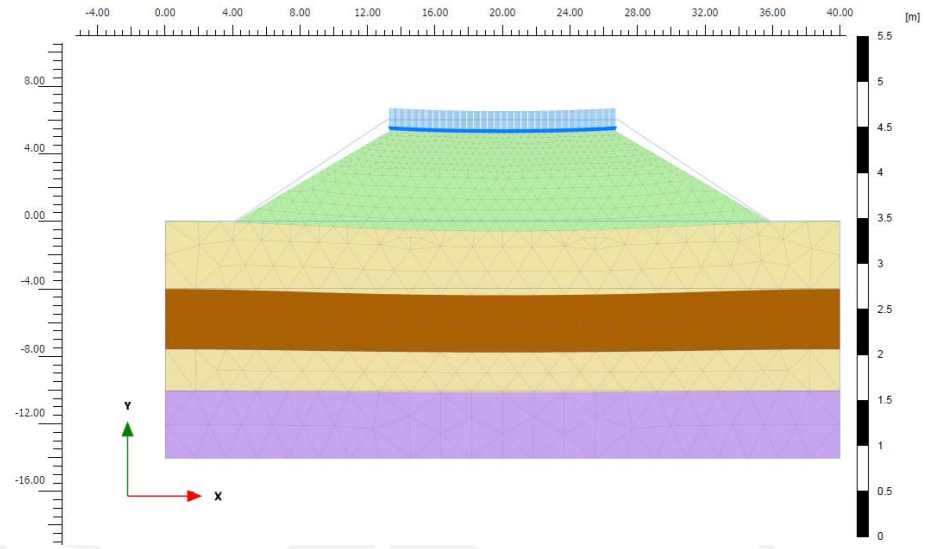


Gambar 5.22 Arah Distribusi Beban Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir

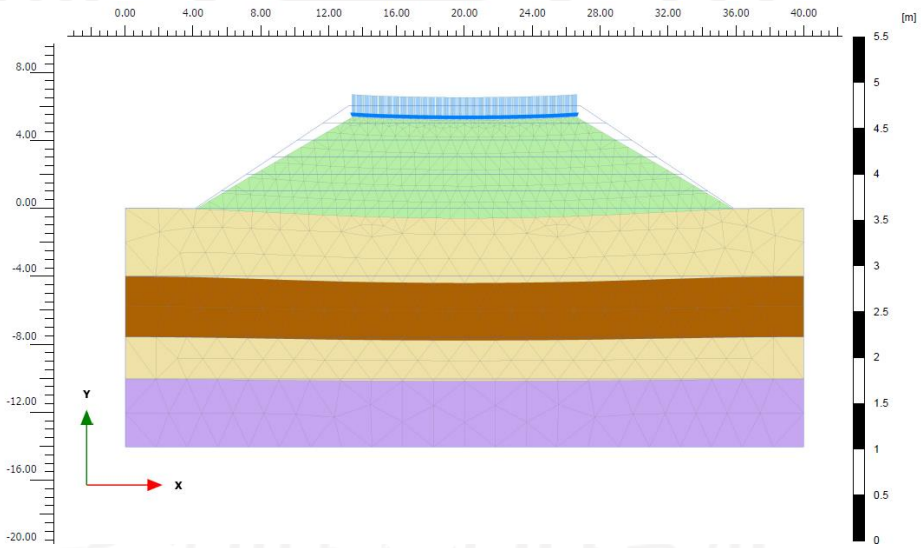


Gambar 5.23 Arah Distribusi Beban Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap

Arah distribusi beban tersebut menyebabkan adanya nilai penurunan yang dihasilkan dari perhitungan program plaxis yang disebabkan oleh beban merata dan beban gempa. Permodelan penurunan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut.

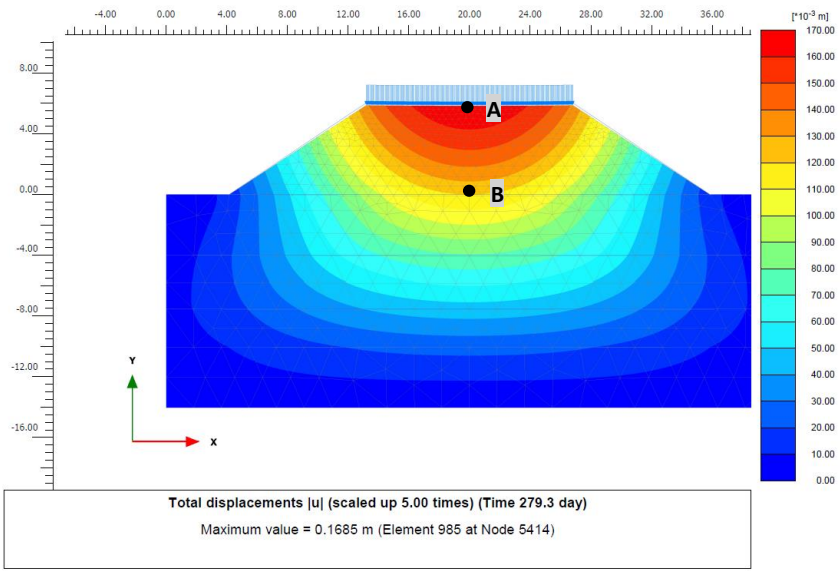


Gambar 5.24 Skema Penurunan Setelah Perhitungan Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir



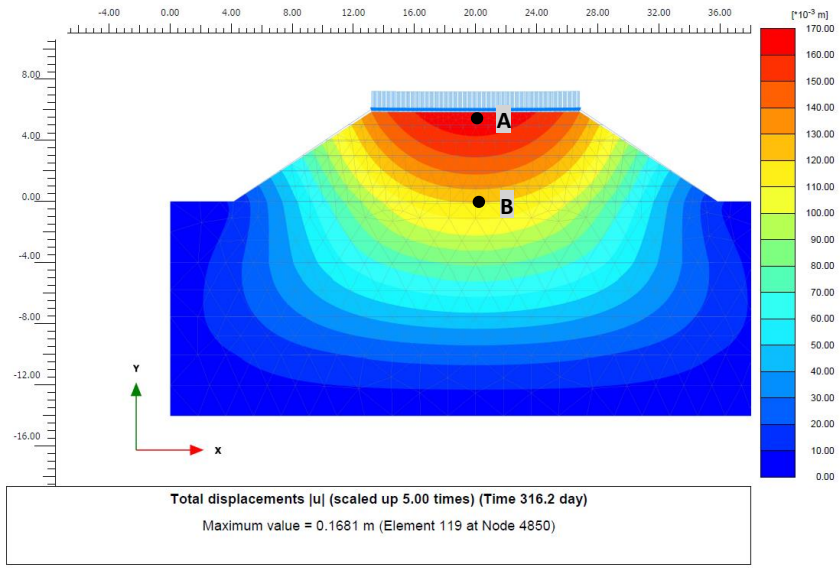
Gambar 5.25 Skema Penurunan Setelah Perhitungan Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap

Skema gambar penurunan diatas direpresentasikan dalam diagram penurunan tanah pada permodelan akhir konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,1685 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,1185 m. Diagram *displacement* (penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.26 seperti berikut.



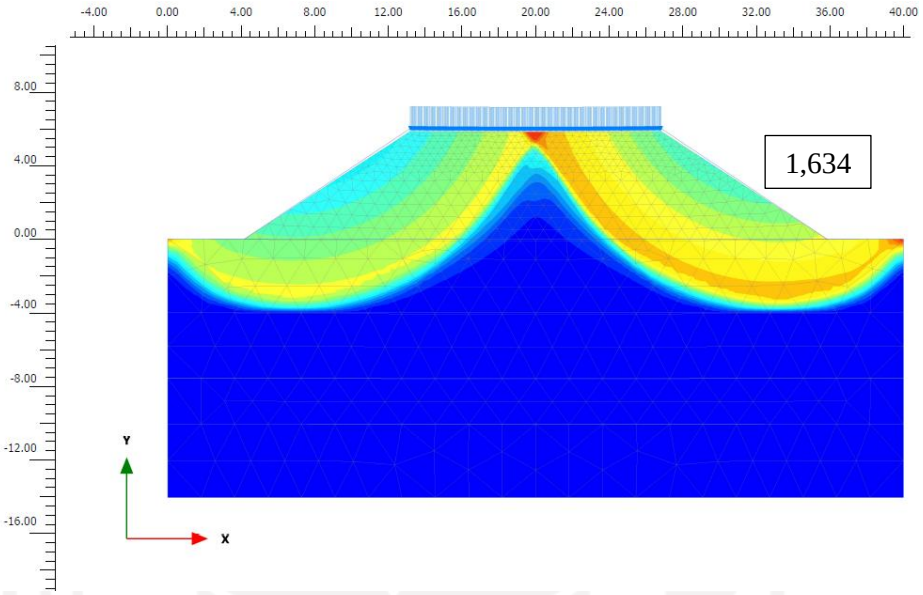
Gambar 5.26 Model Displacement Timbunan Tanah Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir

Permodelan bertahap konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,1681 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,1189 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.27 seperti berikut.

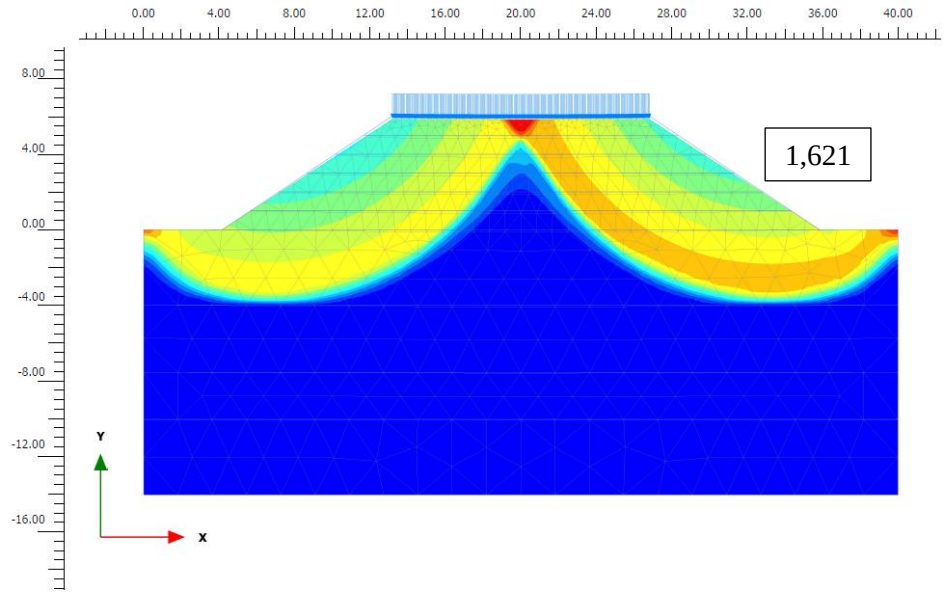


Gambar 5.27 Model Displacement Timbunan Tanah Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap

Analisis faktor aman pada permodelan timbunan tanah konvensional dengan kemiringan 1 : 1,5 memiliki potensi bidang kelongoran seperti pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 sebegai berikut.

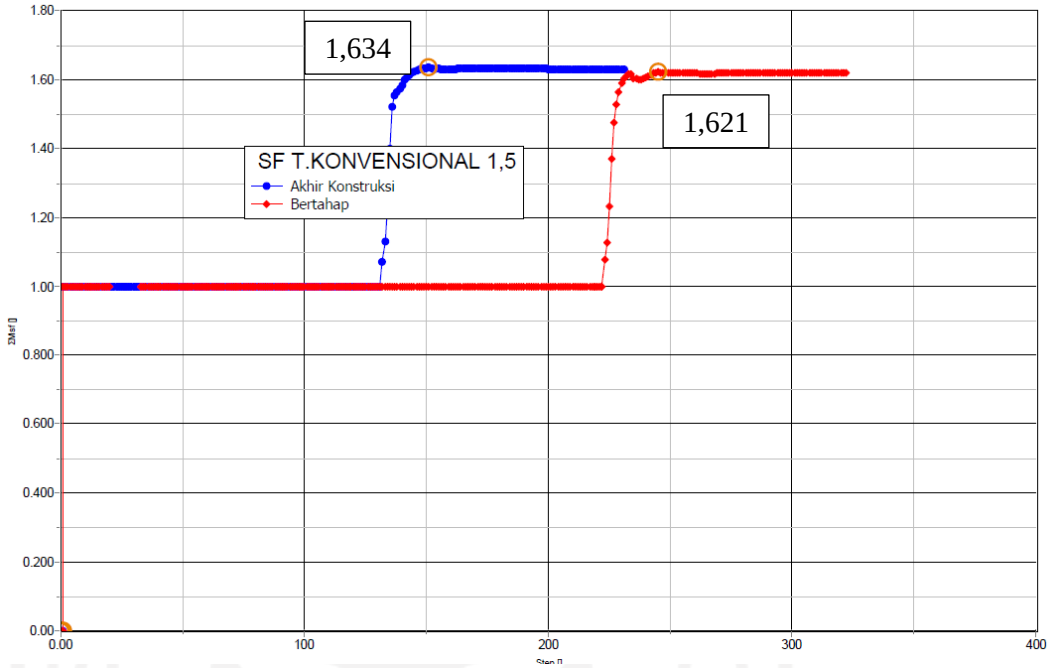


Gambar 5.28 Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Akhir



Gambar 5.29 Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,5 ditinjau Bertahap

Nilai faktor aman yang ditinjau secara langsung diakhir didapat nilai faktor aman sebesar 1,634 dan ditinjau secara bertahap didapat nilai faktor aman sebesar 1,621 yang dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.

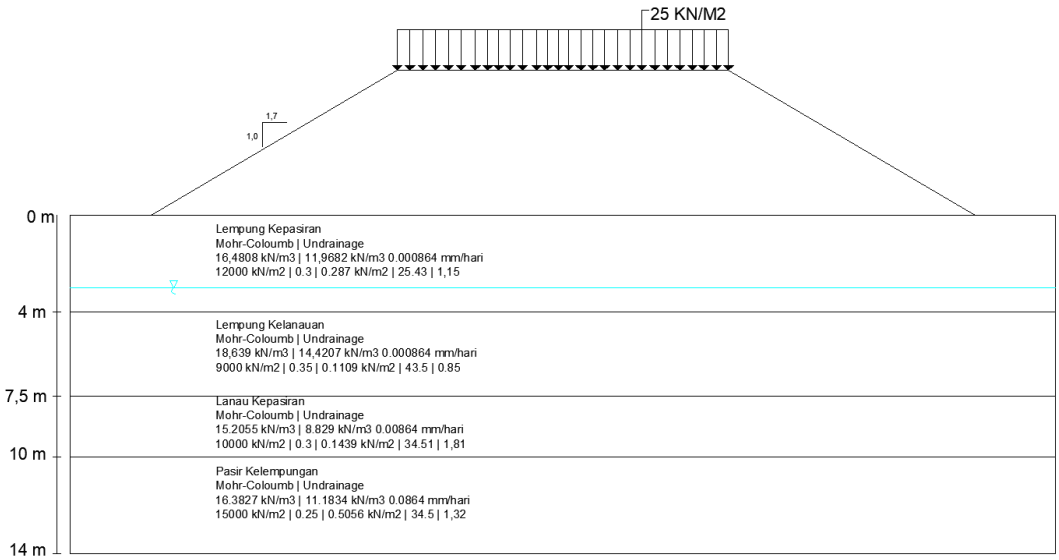


Gambar 5.30 Kurva Faktor Aman untuk Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,5

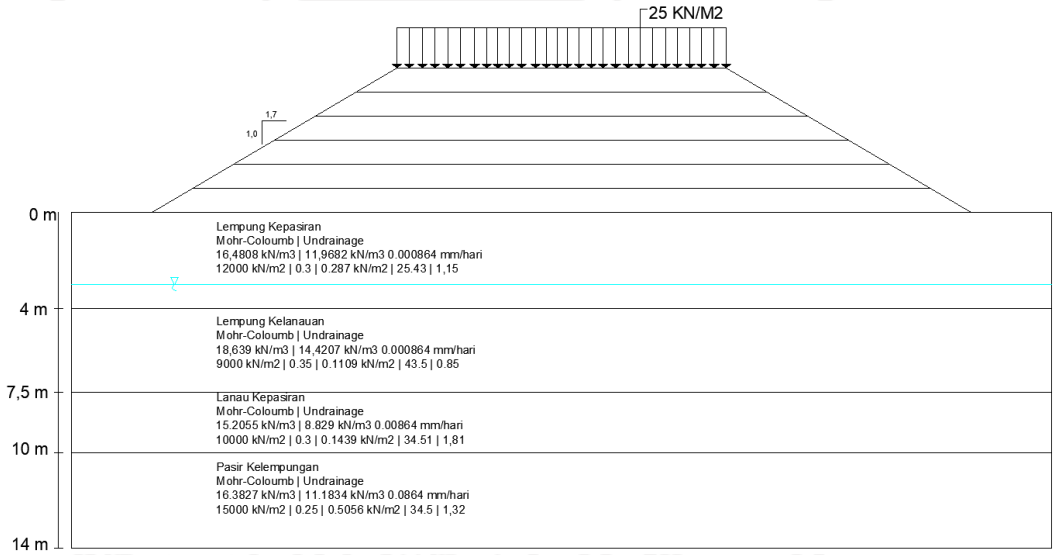
5.3.3 Analisis Timbunan Konvensional dengan Variasi Kemiringan 1 : 1,7

1. Permodelan

   Permodelan timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,7 dilakukan dengan bentuk permodelan analisi timbunan ditinjau secara bertahap dan diakhir konstruksi. Permodelan secara bertahap ditinjau dengan lapisan tiap 1 meter dengan konsolidasi selama 50 hari setiap lapis timbunannya. Permodelan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 berikut.

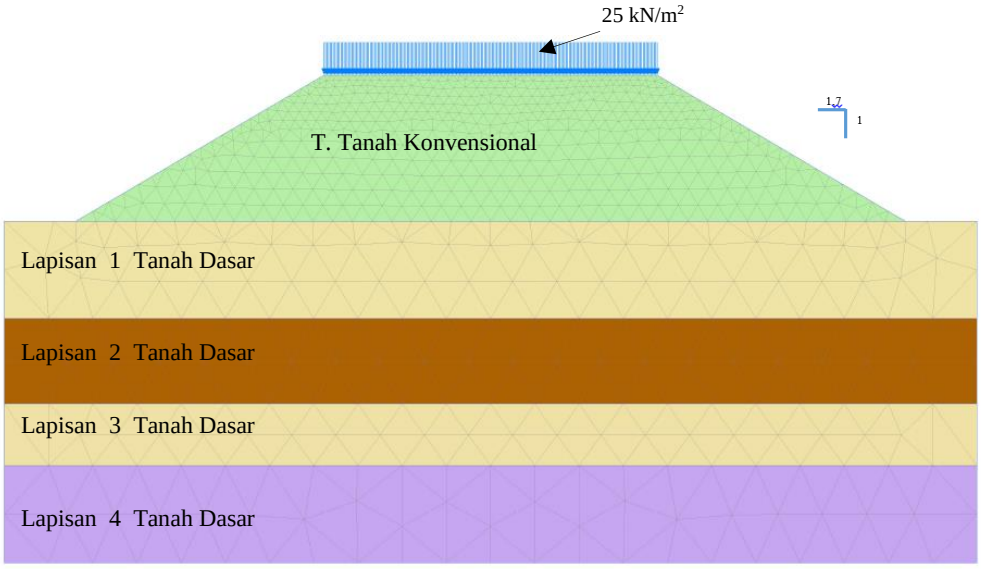


Gambar 5.31 Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir

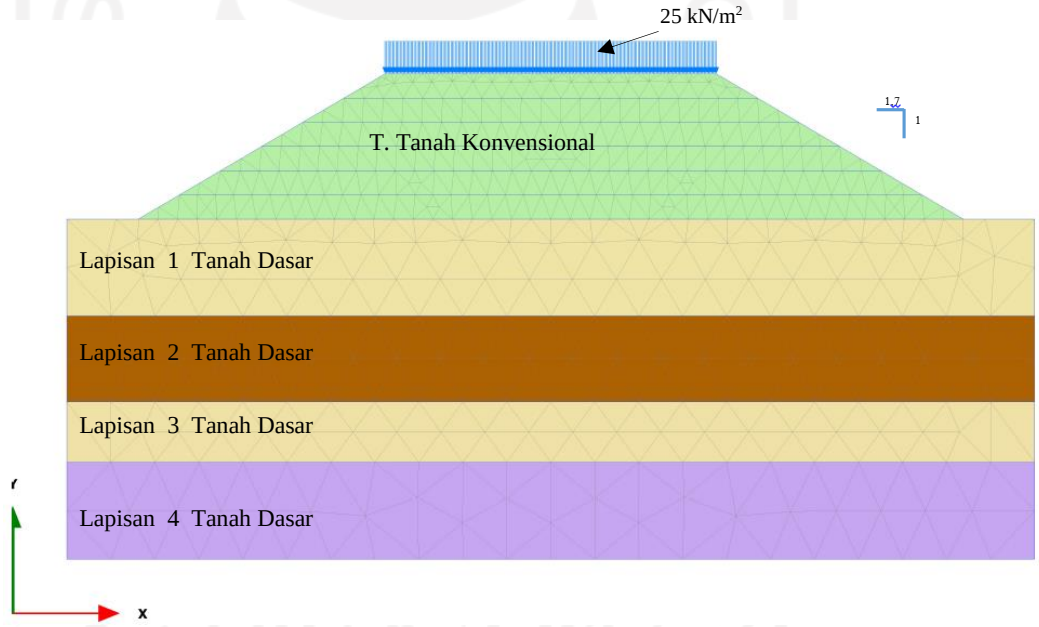


Gambar 5.32 Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap

Permodelan jaringan elemen dalam program Plaxis untuk timbunan konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,7 dapat diilihat pada Gambar 5.32 dan Gambar 5.34 sebagai berikut.

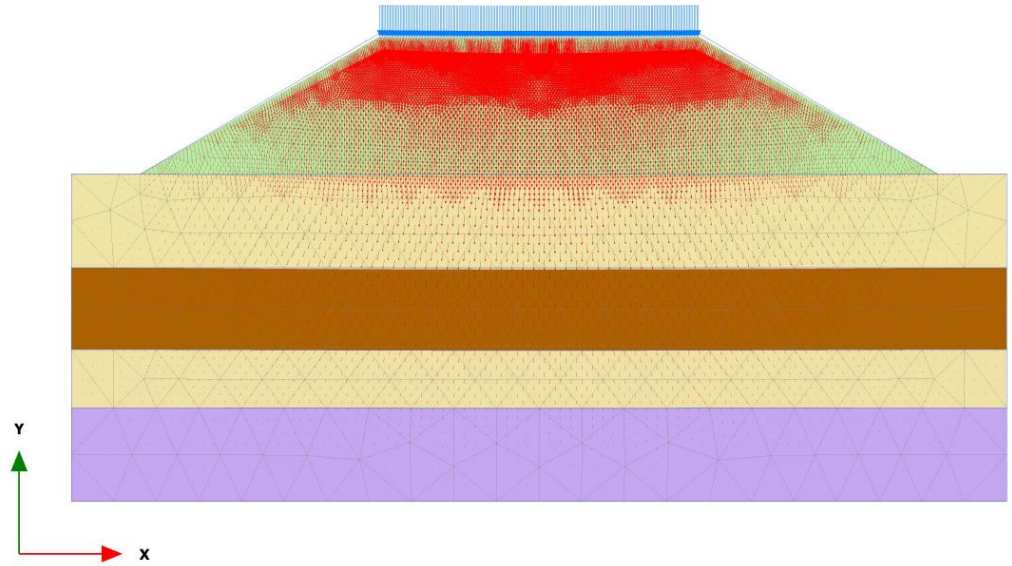


Gambar 5.33 Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir

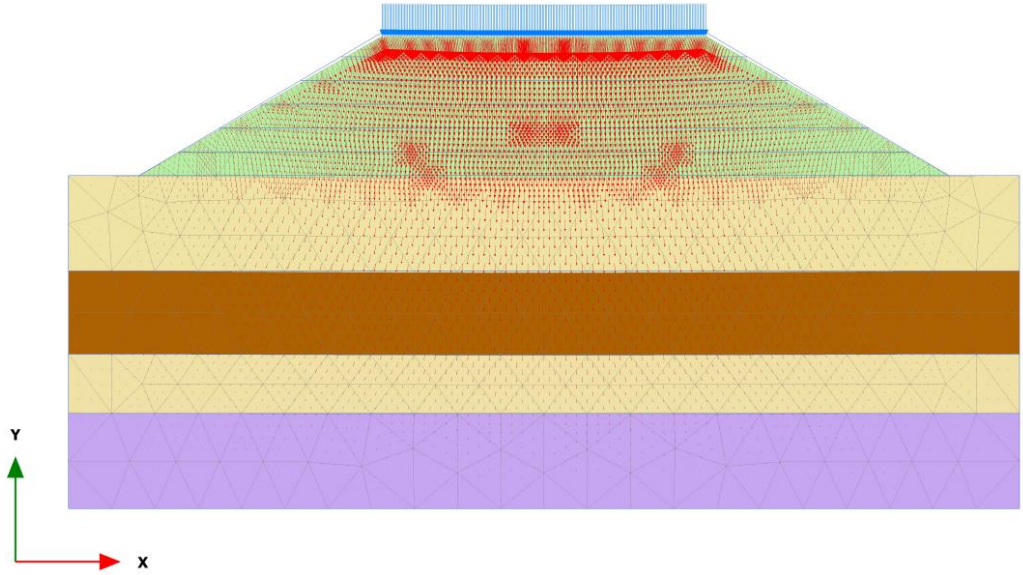


Gambar 5.34 Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap

Hasil analisis menunjukan adanya perbedaan arah pergerakan distribusi beban yang ditinjau pada akhir menunjukan adanya arah pergerakan distrubusi beban lebih dominan pada area timbunan dibandingkan ditinjau secara bertahap.. Adapun dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 berikut.

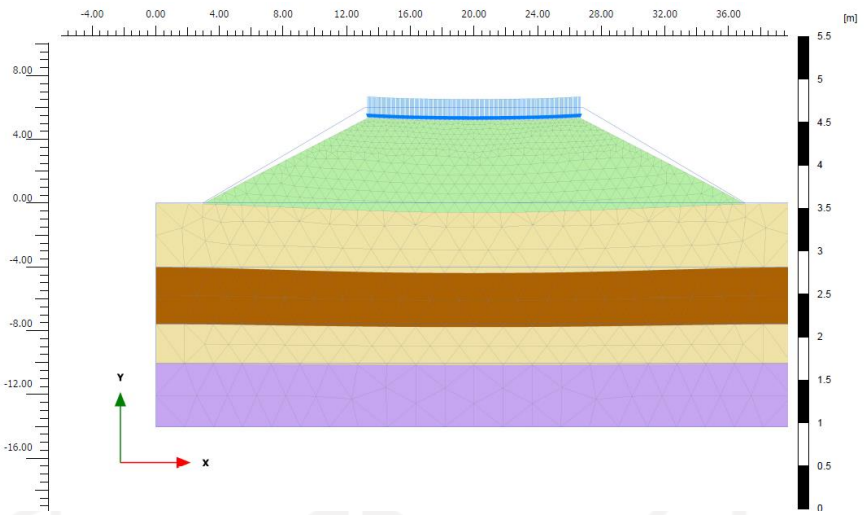


Gambar 5.35 Arah Distribusi Beban Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir

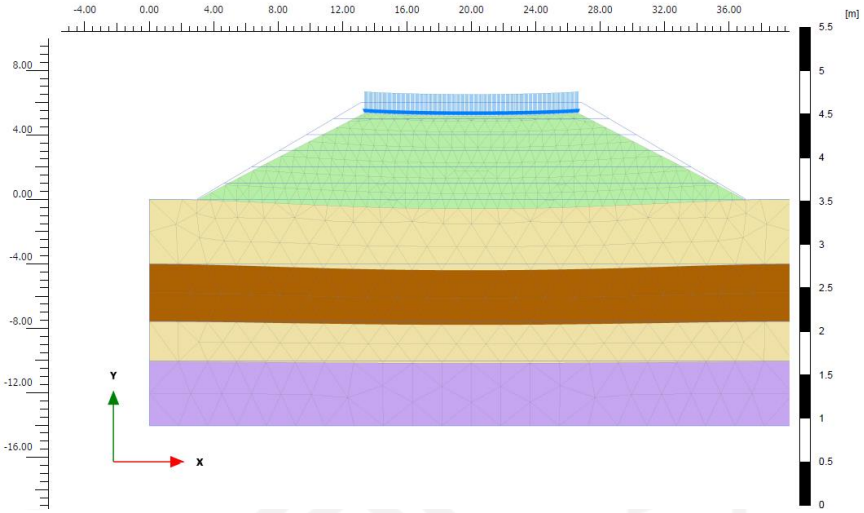


Gambar 5.36 Arah Distrbusi Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap

Arah distribusi beban tersebut menyebabkan adanya nilai penurunan yang dihasilkan dari perhitungan program plaxis yang disebabkan oleh beban merata dan beban gempa. Permodelan penurunan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.37 dan Gambar 5.38 berikut.

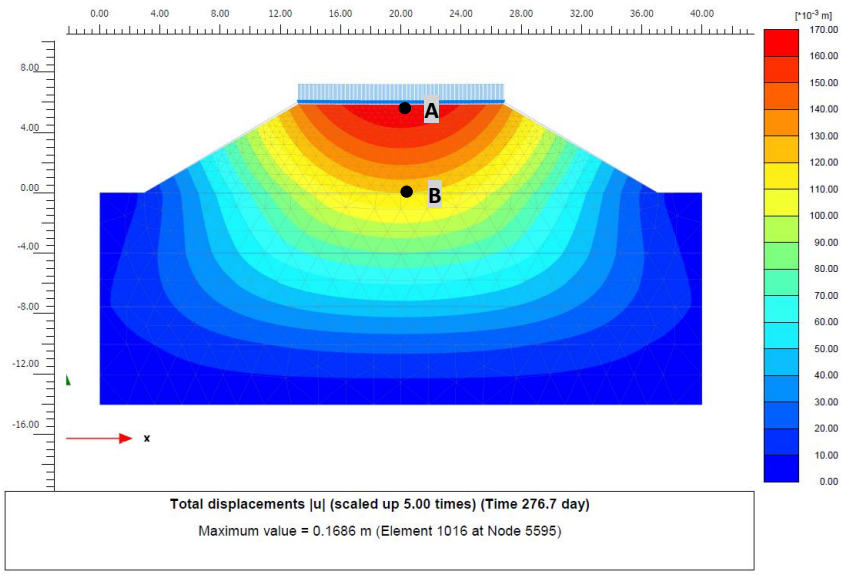


Gambar 5.37 Skema Penurunan Setelah Perhitungan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir



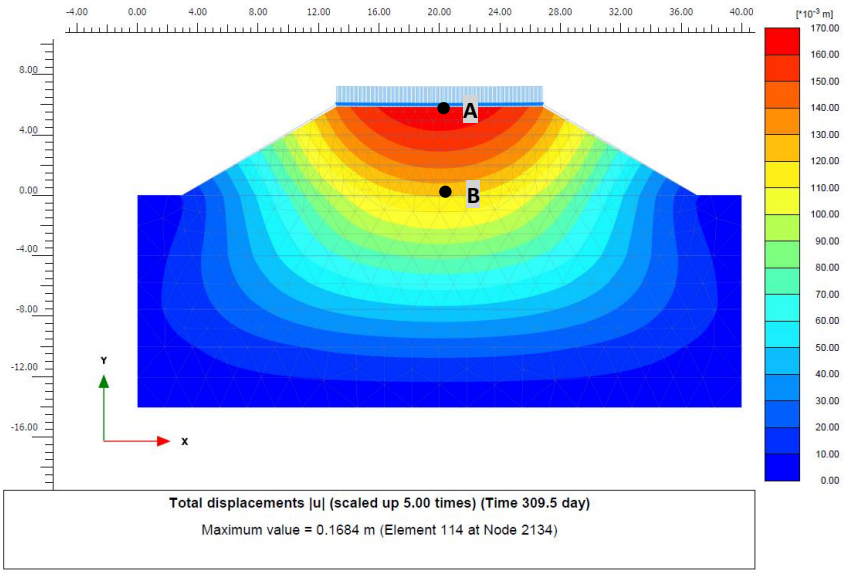
Gambar 5.38 Skema Penurunan Setelah Perhitungan Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap

Skema gambar penurunan diatas direpresentasikan dalam diagram penurunan tanah pada permodelan akhir konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,1686 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,11865 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.39 seperti berikut.



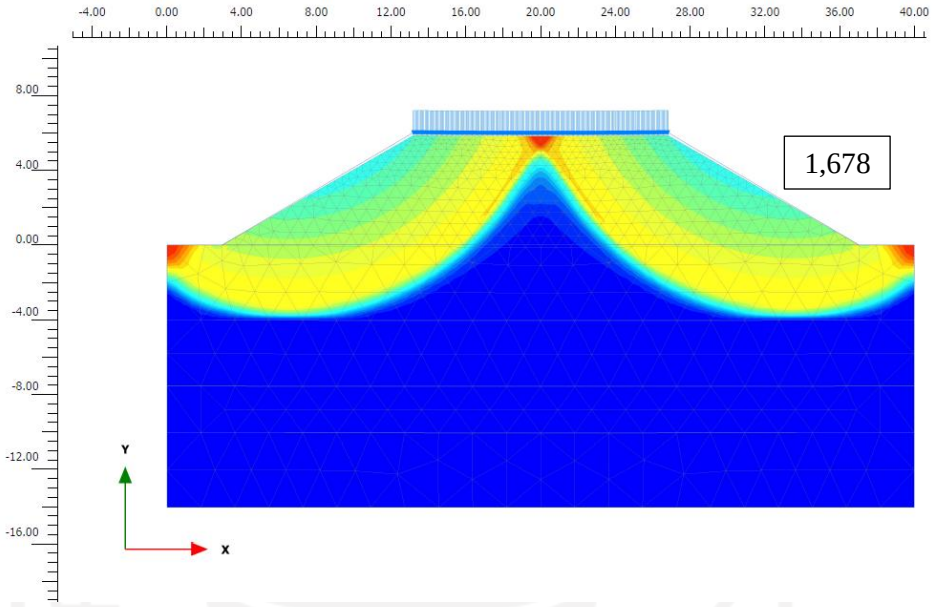
Gambar 5.39 Model Displacement Timbunan Tanah Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir

Permodelan bertahap konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,1684 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,1198 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.40 seperti berikut.

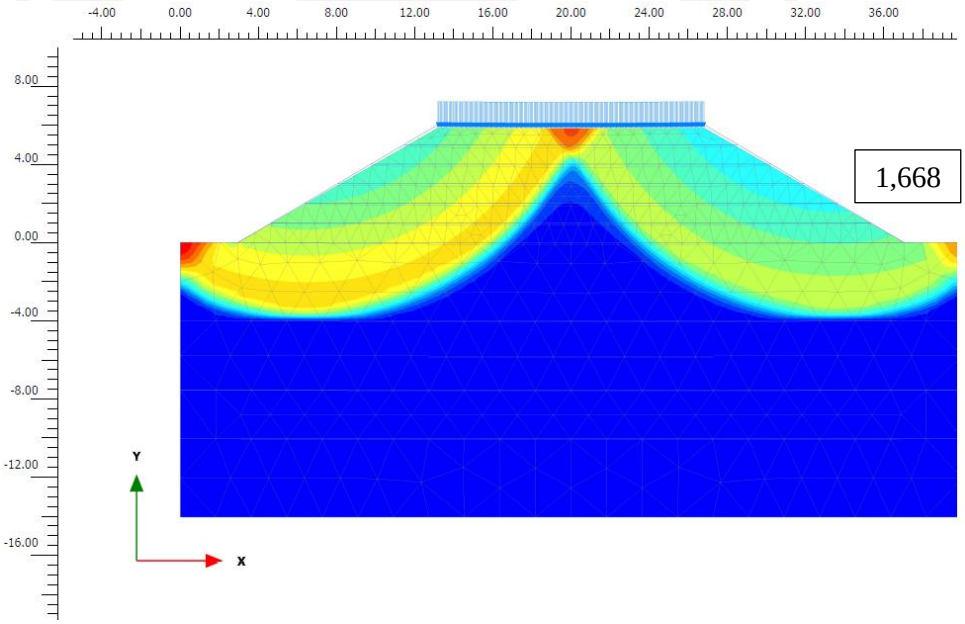


Gambar 5.40 Model Displacement Timbunan Tanah Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap

Analisis faktor aman pada permodelan timbunan tanah konvensional memiliki potensi bidang kelongoran seperti pada Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 sebegai berikut.

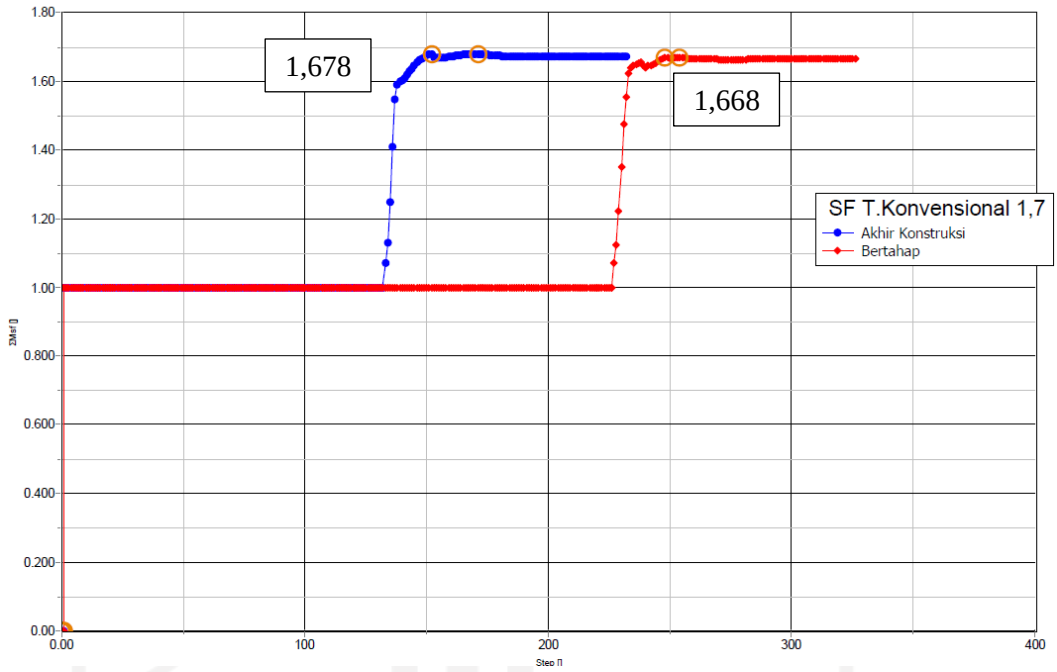


Gambar 5.41 Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Akhir



Gambar 5.42 Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 1,7 ditinjau Bertahap

Nilai faktor aman yang ditinjau secara langsung diakhir didapat nilai faktor aman sebesar 1,678 dan ditinjau secara bertahap didapat nilai faktor aman sebesar 1,668 yang dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut.

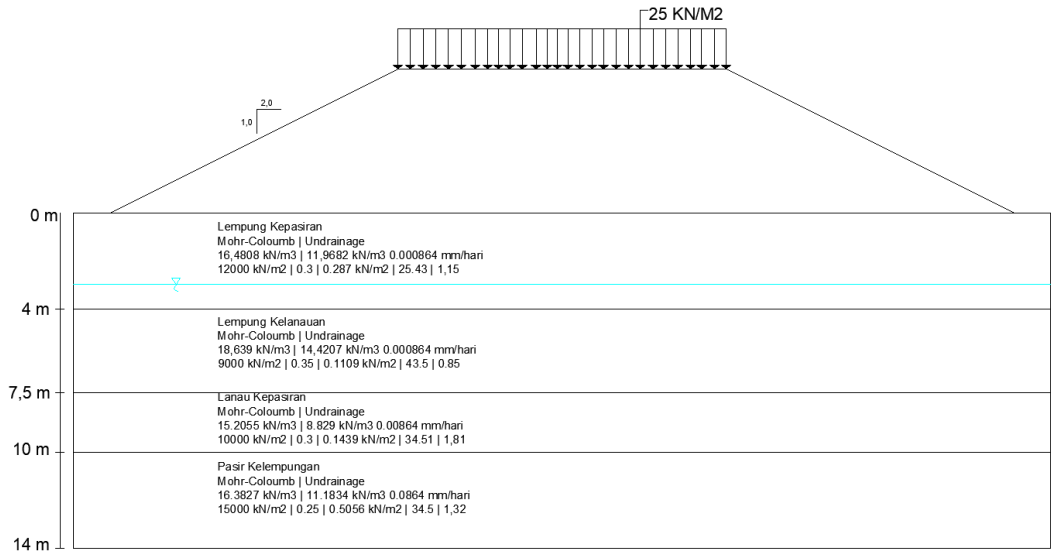


Gambar 5.43 Kurva Faktor Aman untuk Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 1,7

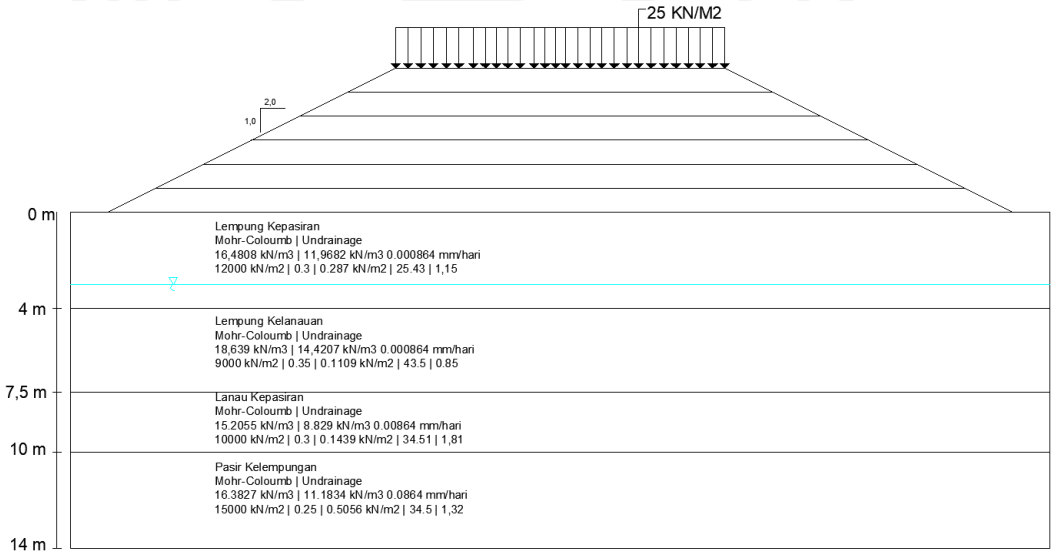
5.3.4 Analisis Timbunan Konvensional dengan Variasi Kemiringan 1 : 2,0

1. Permodelan

   Permodelan timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 2,0 dilakukan dengan bentuk permodelan analisi timbunan ditinjau secara bertahap dan diakhir konstruksi. Permodelan secara bertahap ditinjau dengan lapisan tiap 1 meter dengan konsolidasi selama 50 hari setiap lapis timbunannya. Permodelan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.44 dan Gambar 5.45 berikut.

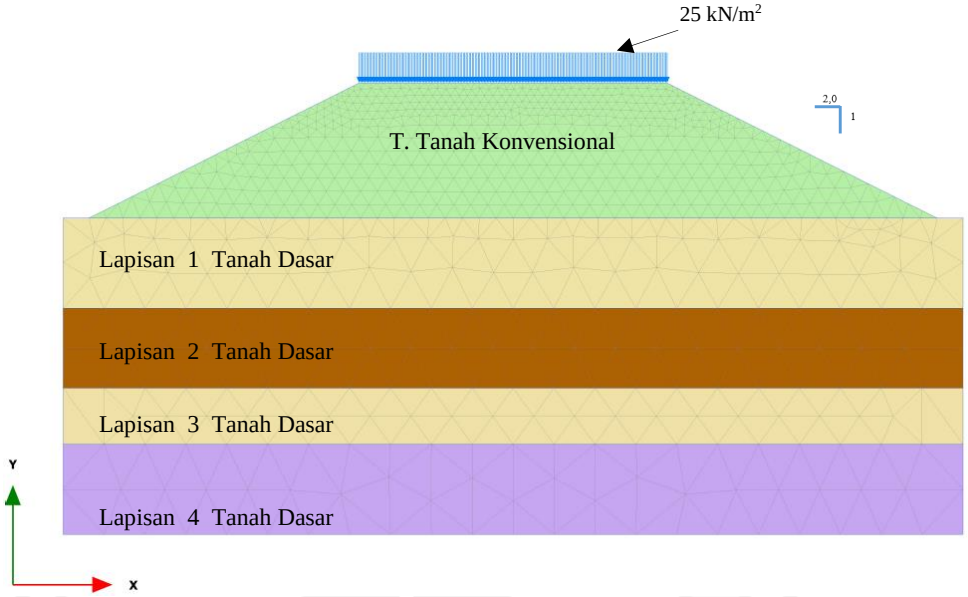


Gambar 5.44 Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir

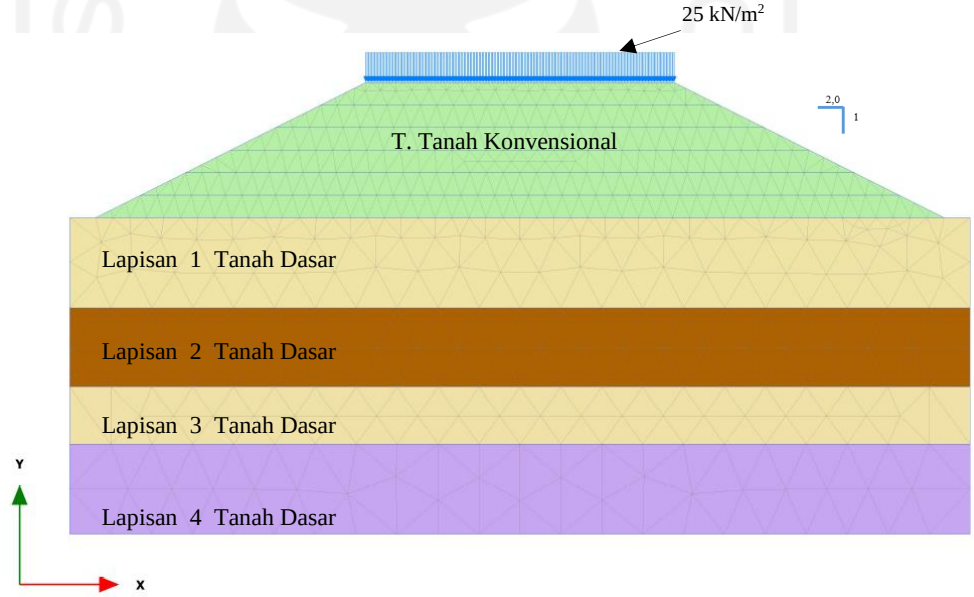


Gambar 5.45 Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap

Permodelan jaringan elemen dalam proses perhitungan untuk timbunan konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 12,0 dapat diilihat pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47 sebagai berikut.

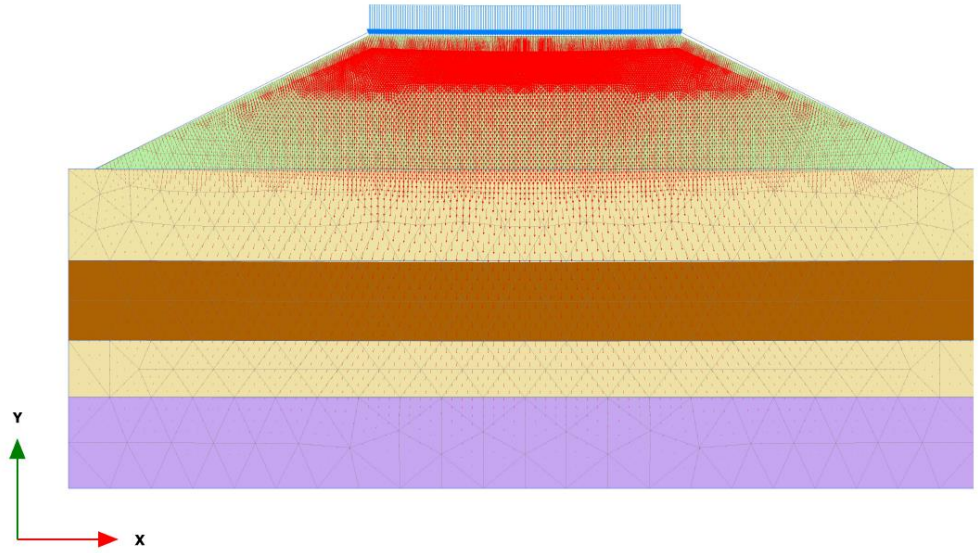


Gambar 5.46 Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir

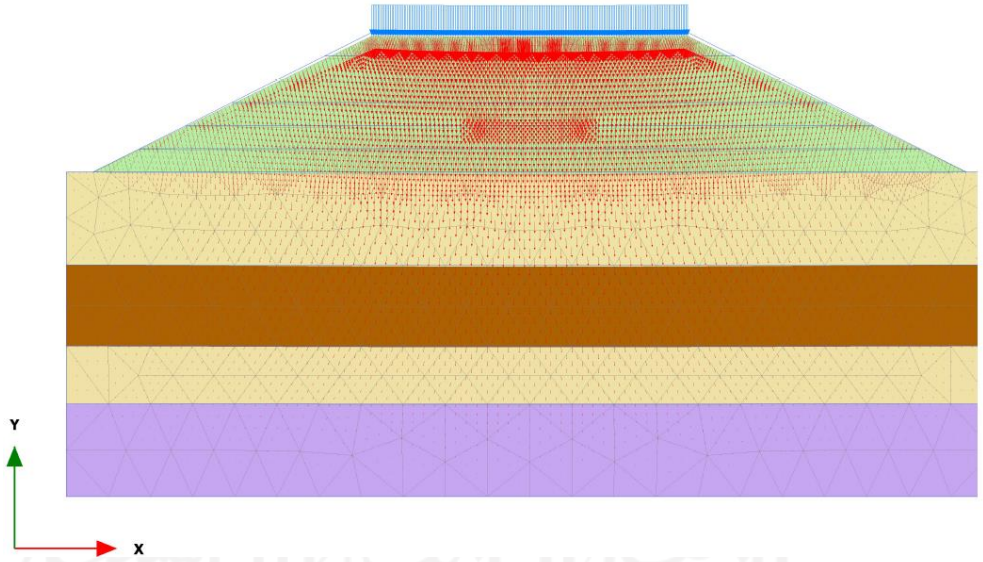


Gambar 5. 47 Jaringan Elemen Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap

Hasil analisis menunjukan adanya perbedaan arah pergerakan distribusi beban yang ditinjau pada akhir menunjukan adanya arah pergerakan distrubusi beban lebih dominan pada area timbunan dibandingkan ditinjau secara bertahap. Adapun dapat dilihat pada Gambar 5.48 dan Gambar 5.49 berikut.

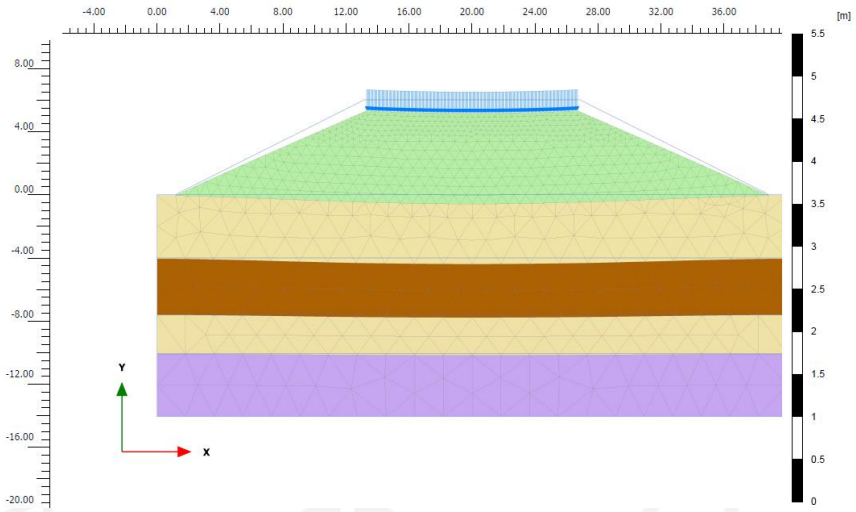


Gambar 5.48 Arah Distribusi Beban Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir

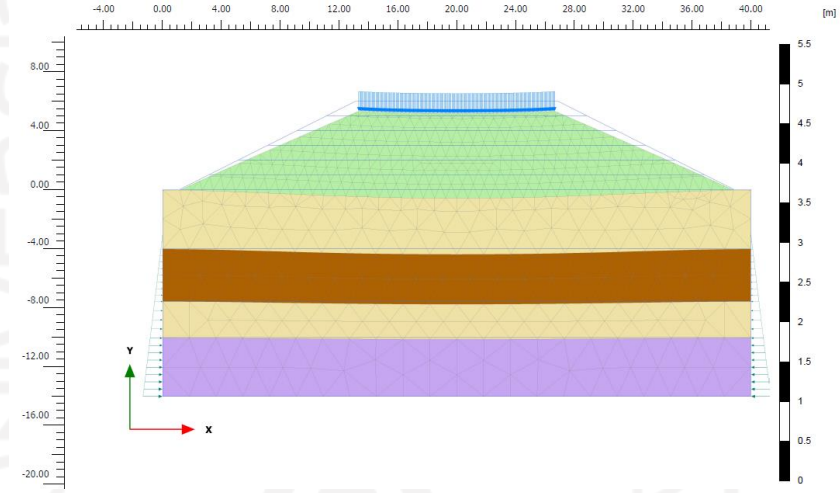


Gambar 5.49 Arah Distribusi Beban Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap

Arah distribusi beban tersebut menyebabkan adanya nilai penurunan yang dihasilkan dari perhitungan program plaxis yang disebabkan oleh beban merata dan beban gempa Permodelan penurunan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.50 dan Gambar 5.51 berikut.

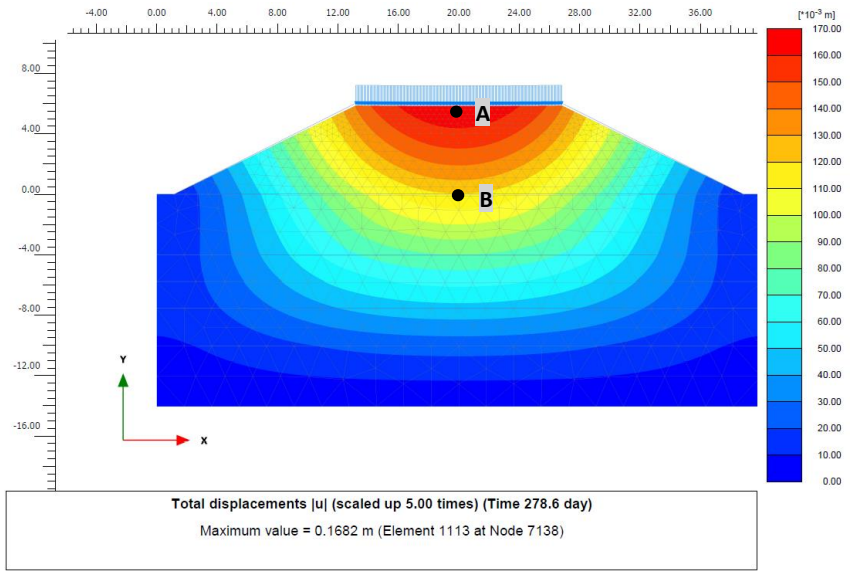


Gambar 5.50 Skema Penurunan Setelah Perhitungan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir



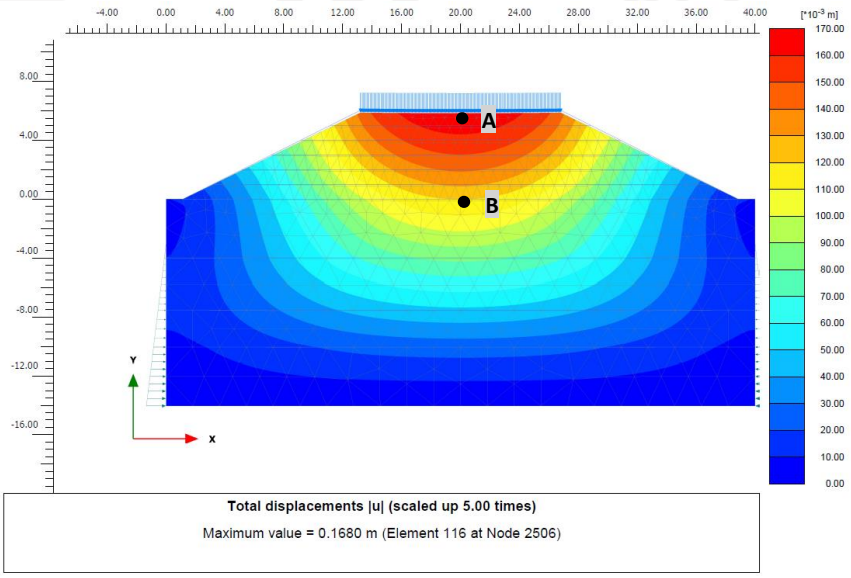
Gambar 5.51 Skema Penurunan Setelah Perhitungan Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap

Skema gambar penurunan diatas direpresentasikan dalam diagram penurunan tanah pada permodelan akhir konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,1682 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,11803 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.52 seperti berikut.



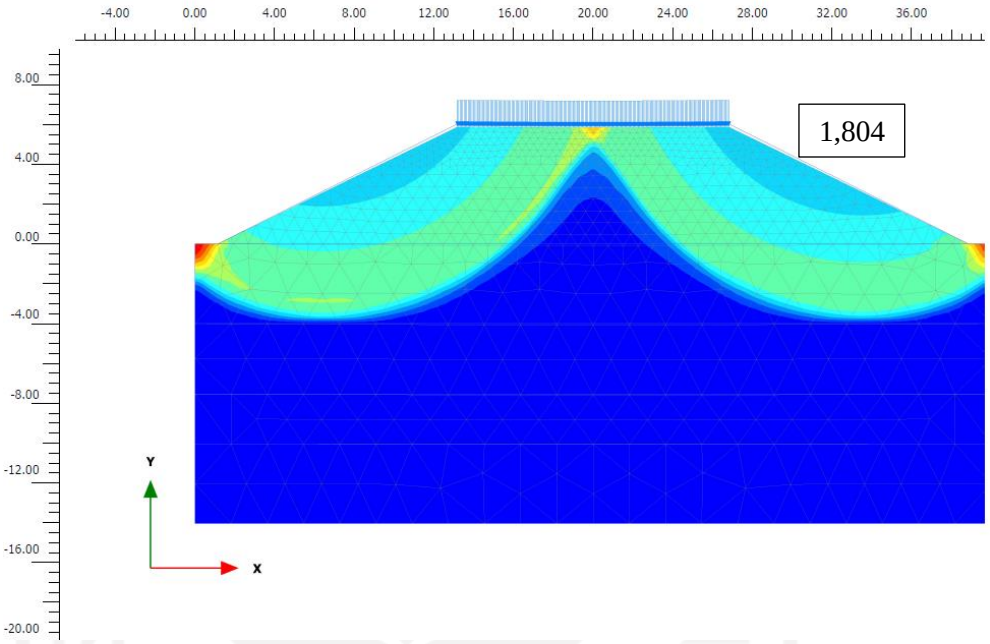
Gambar 5.52 Model *Displacement* Timbunan Tanah Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir

Permodelan bertahap konstruksi pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,168 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,11975 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.53 seperti berikut

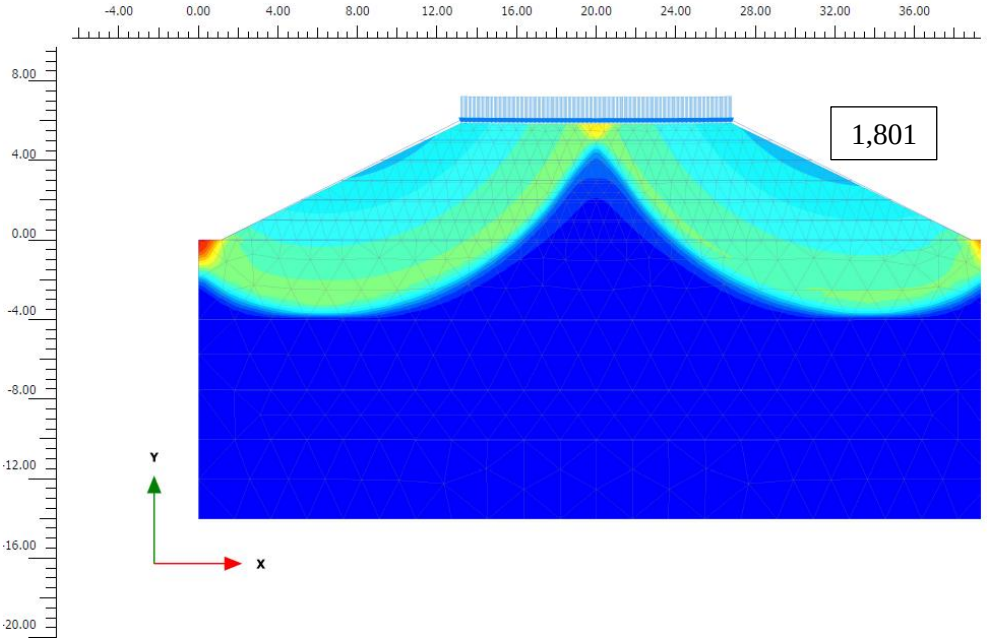


Gambar 5.53 Model *Displacement* Timbunan Tanah Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap

Analisis faktor aman pada permodelan timbunan tanah konvensional memiliki potensi bidang kelongoran seperti pada Gambar 5.54 dan Gambar 5.55 sebegai berikut.

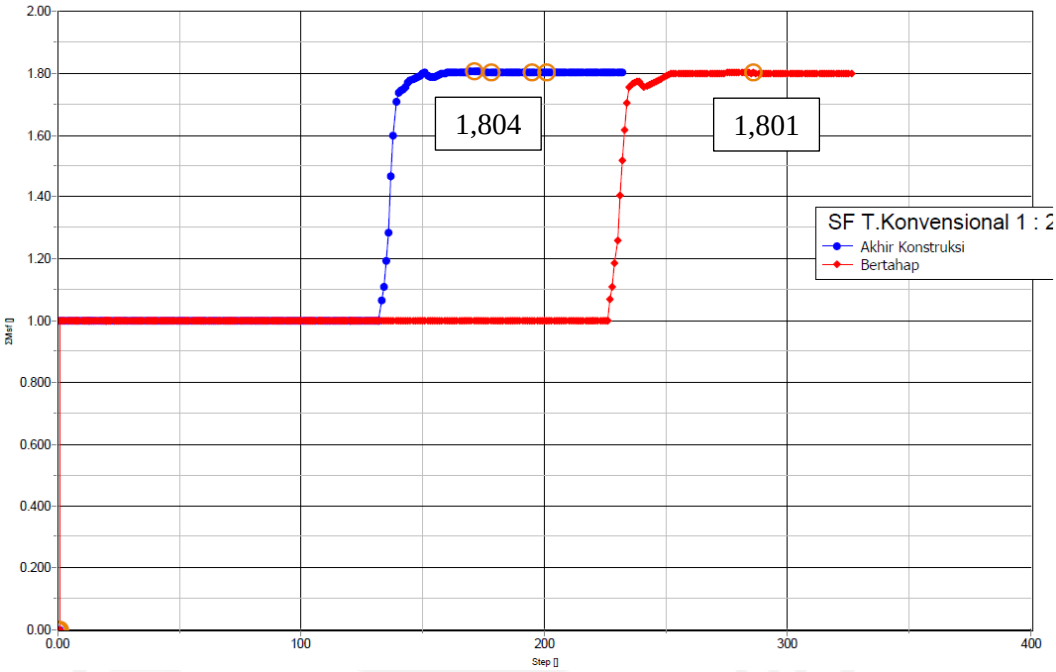


Gambar 5.54 Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Akhir



Gambar 5.55 Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional 1 : 2,0 ditinjau Bertahap

Nilai faktor aman yang ditinjau secara langsung diakhir didapat nilai faktor aman sebesar 1,804 dan ditinjau secara bertahap didapat nilai faktor aman sebesar 1,801 yang dapat dilihat pada Gambar 5.56 berikut.

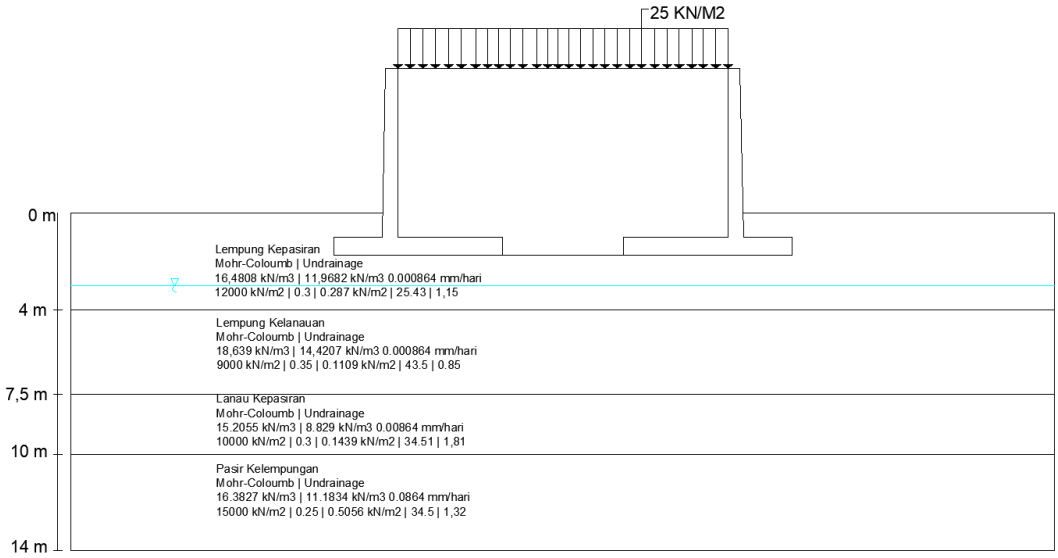


Gambar 5.56 Kurva Faktor Aman untuk Permodelan Timbunan Konvensional 1 : 2,0

5.3.5 Analisis Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

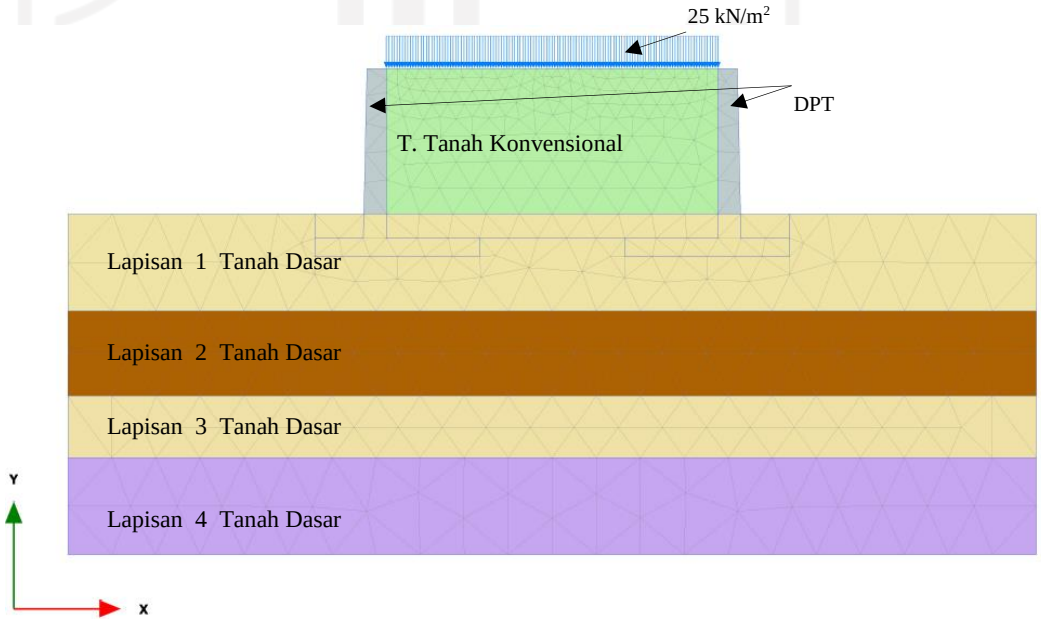
1. Permodelan

   Permodelan timbunan tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah. Jenis dinding penahan tanah yang digunakan adalah jenis kantilever Permodelan timbunan dapat dilihat pada Gambar 5.57 berikut.



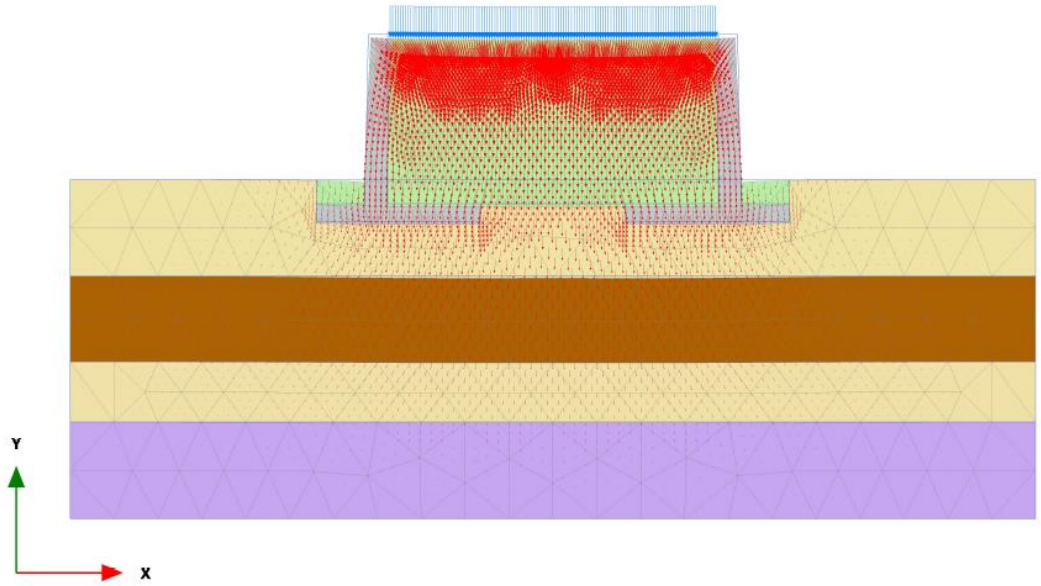
Gambar 5.57 Permodelan Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

Permodelan jaringan elemen dan permodelan dalam program Plaxis untuk timbunan konvensional dengan pekuatan Dinding penahan Tanah dapat dilihat pada Gambar 5.58 sebagai berikut.



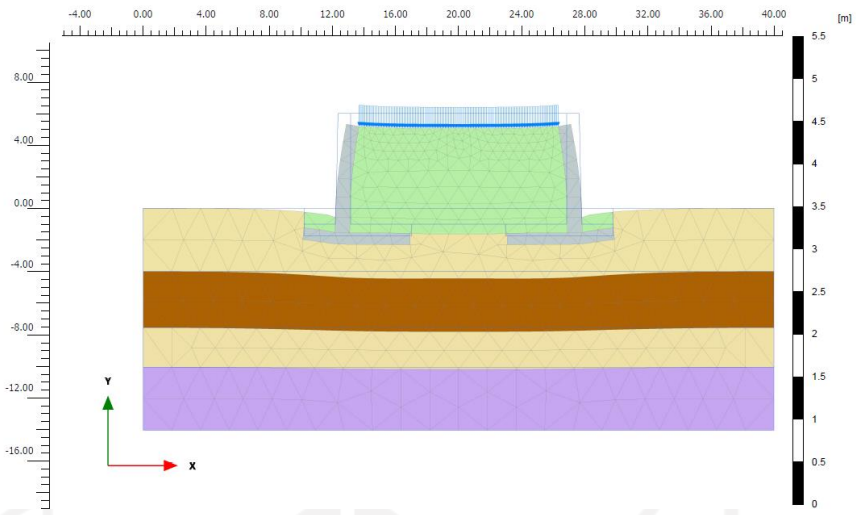
Gambar 5.58 Jaringan Elemen Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

Hasil analisis menunjukan pergerakan arah distribusi beban berasal dari bagian timbunan atas menuju ke arah horizontal yaitu dpt dan menuju vertikal .Adapun dapat dilihat pada Gambar 5.59 berikut.



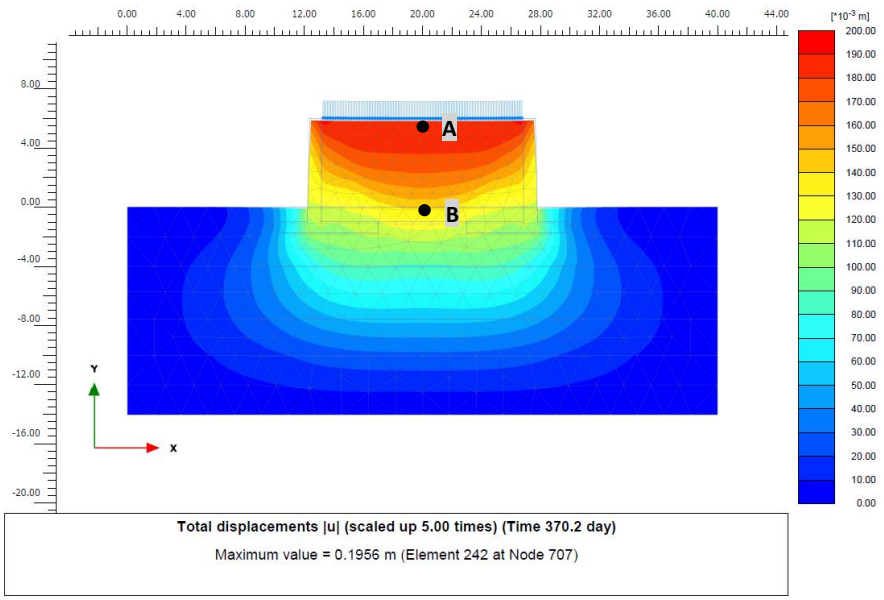
Gambar 5.59 Arah Distribusi Beban Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

Arah distribusi beban tersebut menyebabkan adanya nilai penurunan yang dihasilkan dari perhitungan program plaxis yang disebabkan oleh beban merata dan beban gempa. Permodelan penurunan dapat dilihat pada Gambar 5.60 berikut.



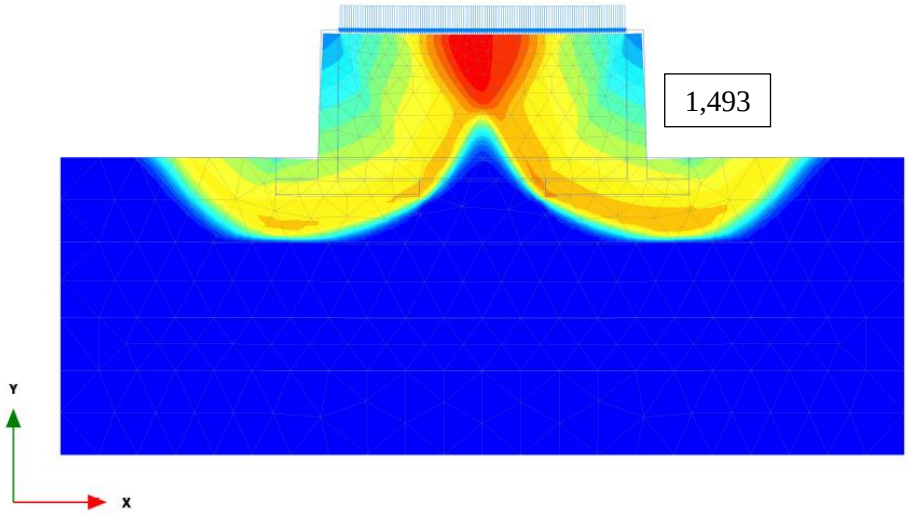
Gambar 5.60 Skema Penurunan Setelah Perhitungan Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

Skema gambar penurunan diatas direpresentasikan dalam diagram penurunan tanah pada permodelan dengan perkuatan dinding penahan tanah pada permukaan timbunan (Titik A) memiliki nilai 0,189 m dan pada dasar timbunan (titik B) memiliki nilai penurunan sebesar 0,1397 m. Diagram *displacement (*penurunan) yang dihasilkan dari analisis dapat dilihat pada Gambar 5.61 seperti berikut.



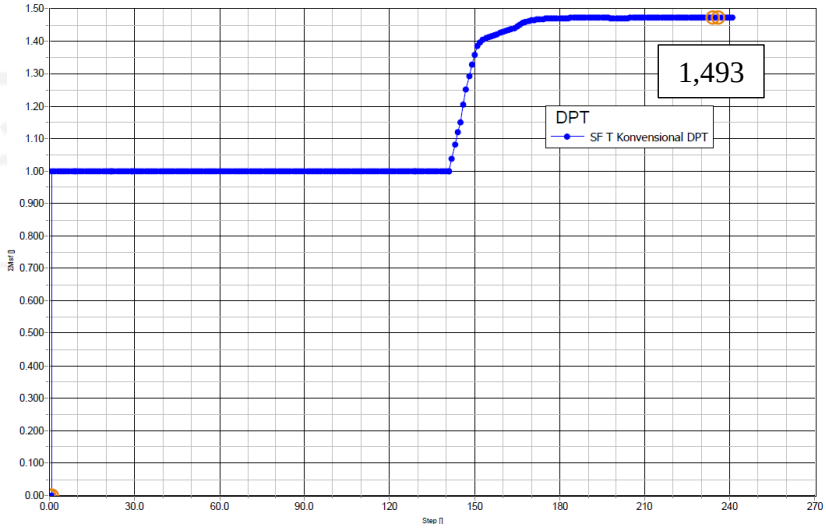
Gambar 5.61 Model *Displacement* Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

Analisis faktor aman pada permodelan timbunan tanah konvensional memiliki potensi bidang kelongoran seperti pada Gambar 5.62 sebegai berikut.



Gambar 5.62 Potensi Bidang Longsor Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

Nilai faktor aman yang ditinjau dengan perkuatan dinding penahan tanah didapat nilai faktor aman sebesar 1,493 dengan kurva yang dapat dilihat pada Gambar 5.63 berikut.



Gambar 5.63 Kurva Faktor Aman untuk Permodelan Timbunan Konvensional dengan Perkuatan DPT

5.4 Analisis Perhitungan Manual

Analisis perhitungan manual faktor aman dengan menggunakan metode fellenius dan perhitungan penurunan tanah menggunakan metode penurunan konsolidasi primer.

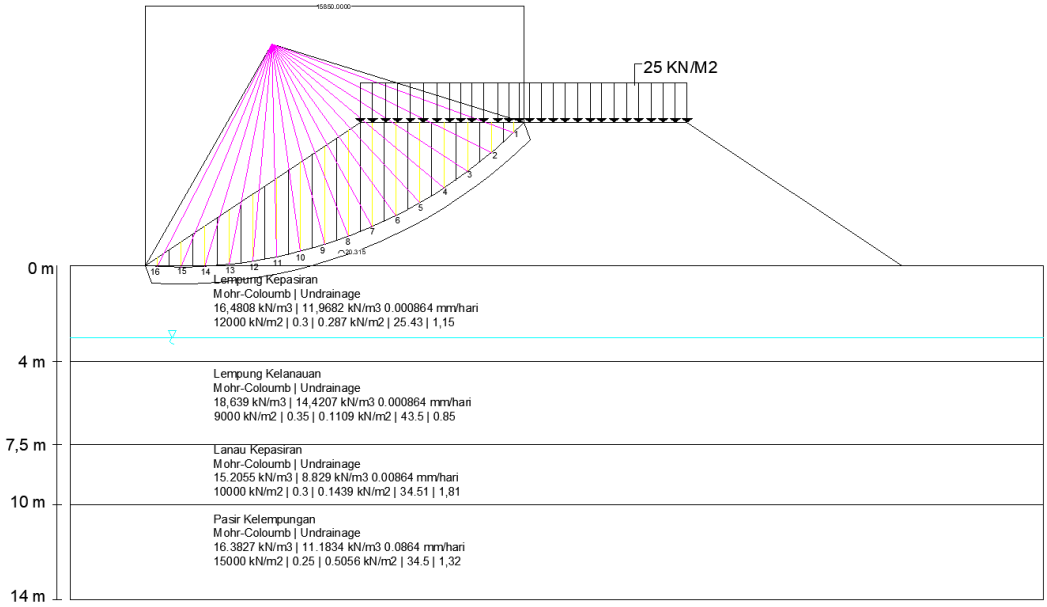
5.4.1 Analisis Perhitungan Faktor Aman

1. Permodelan Timbunan Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,5

   Perhitungan timbunan dipengaruhi oleh beban merata yang menjadi gaya dorong terhadap timbunan sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut.

   $$Wdorong = A \; x \; q$$
   $$= 6{,}85 \; x \; 25$$
   $$= 85{,}625 \text{ kN}$$

   Perhitungan berdasarkan permodelan metode fellinius pada permodelan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,5 di bagi mengambil bidang tinajuan lereng selebar 15,85 m dengan pembagian pias sebanyak 16 pias dapat dilihat pada Gambar 5.64 berikut.



Gambar 5.64 Permodelan perhitungan faktor aman Metode Fellinius Variasi Kemiringan 1 : 1,5

Berdasarkn gambar diatas diperoleh perhitungan gaya berat seperti pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Perhitungan Gaya Berat Timubunan Konvensional Kemiringan 1 : 1,5

Bagian Irisan (pias)	Lebar pias(b) (m)	Luas Pias(A) (m)	Gaya berat pias(Wi) (kN)	Sudut Pias (θ)	W cos tan φ	w sin θ
1	0.85	0,3456	6,2200	69,7732	1,0028	5,8364
2	1	1,1359	20,4462	62,6193	4,3848	18,1556
3	1	1,5304	27,5472	56,8450	7,0253	23,0624
4	1	2,2288	40,1184	46,9362	12,7737	29,3103
5	1	3,0428	54,7704	42,9091	18,7063	37,2897
6	1	3,3809	60,8562	29,8018	24,6248	30,2456
7	1	4,0498	72,8964	23,6689	31,1328	29,2643
8	1	4,9212	88,5816	15,5799	39,7886	23,7914
9	1	4,7993	86,3874	10,6020	39,5954	15,8940
10	1	3,8789	69,8202	4,8018	32,4434	5,8446
11	1	3,4872	62,7696	0,9340	29,2661	1,0232
12	1	3,0041	54,0738	-8,0613	24,9659	-7,5829
13	1	2,4645	44,3610	-15,0600	19,9754	-11,5263
14	1	1,7750	31,9500	-22,7528	13,7392	-12,3569
15	1	1,2410	22,3380	-27,1426	9,2693	-10,1907
16	1	0,5552	9,9936	-30,2417	4,0259	-5,0333
Jumlah	15,85				312,7194	173,0274

Perhitungan faktor aman dipengaruhi oleh kohesi tanah timbunan yang dapat diperhitungkan sebagai berikut.

Wpenahan = *c x a*

= 5 x 20,315

= 101,575 kN

Perhitungan Gaya berat, gaya penahan akibat kohesi dan gaya dorong akibat beban merata maka nilai faktor aman sesuai Persamaan 3.1 pada variasi kemiringan 1 : 1,5 dapat dihitung sebagai berikut.

Faktor Aman (SF) = $\frac{Wpenahan+W \tan \sin \theta}{Wdorong+W \tan \cos \varphi}$

= $\frac{101,575+173,0274}{85,625+312,7194}$

= 1,602

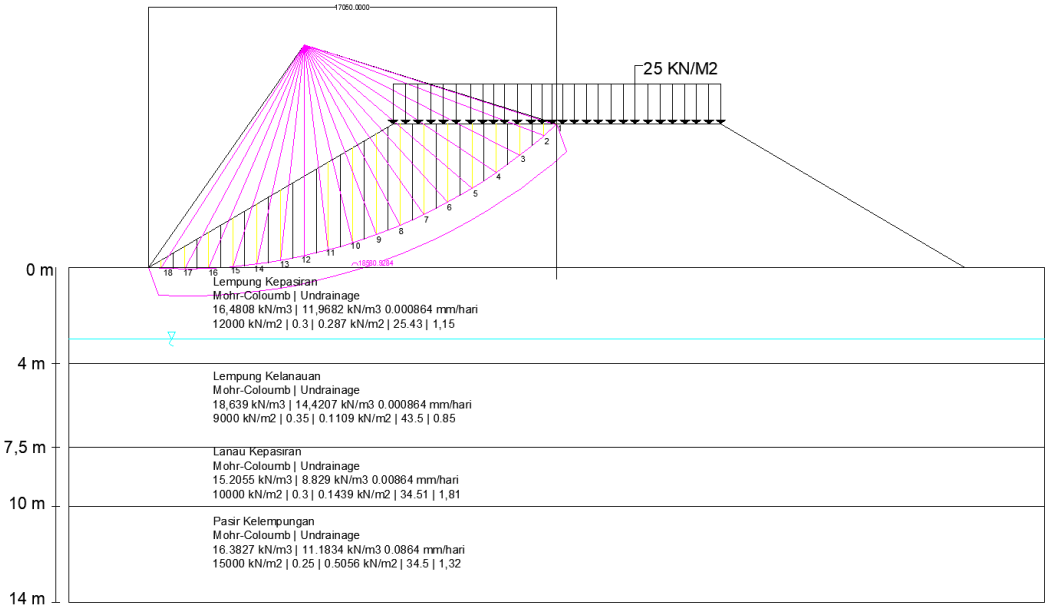
Perhitungan faktor aman dengan metode *felinius* didapatkan hasil sebesar 1,602 , sementara berdasarkan perhitungan plaxis sebesar 1,633 **,** maka selisih hasil perhitungan kedua metode mendekati dan memiliki sedikit perbedaan dikarenakan adanya perbedaan bidang longsor pada permodelan plaxis dan perhitungan manual.

2. Permodelan Timbunan Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,7

   Perhitungan timbunan dipengaruhi oleh beban merata yang menjadi gaya dorong terhadap timbunan sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut.

$$Wdorong = A\ x\ q$$
$$= 6{,}85\ x\ 25$$
$$= 85{,}625\ \text{kN}$$

Perhitungan berdasarkan permodelan metode fellinius pada permodelan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,7 di bagi mengambil bidang tinajuan lereng selebar 17,05 m dengan pembagian pias sebanyak 18 pias dapat dilihat pada Gambar 5.65 berikut.



Gambar 5.65 Permodelan perhitungan faktor aman Metode Fellinius Variasi Kemiringan 1 : 1,7

Berdasarkn gambar diatas diperoleh perhitungan gaya berat seperti pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Perhitungan Gaya Berat Timubunan Konvensional Kemiringan 1 : 1,7

Bagian Irisan (pias)	Lebar pias(b) (m)	Luas Pias(A) (m)	Gaya berat pias(Wi) (kN)	Sudut Pias (θ)	W cos tan φ	w sin θ
1	0,05	0,0011	0,0206	72,4187	0,0029	0,0197
2	1	0,3778	6,8004	69,1791	1,1272	6,3563
3	1	1,2945	23,3015	63,8325	4,7917	20,9133
4	1	2,0229	36,4114	56,2413	9,4351	30,2719
5	1	2,5727	46,3086	49,4103	14,0499	35,1662
6	1	3,0518	54,9324	39,3703	19,8023	34,8453
7	1	3,4661	62,3898	35,1777	23,7796	35,9437
8	1	4,0860	73,5480	26,9112	30,5821	33,2885
9	1	4,2067	75,7200	20,6637	33,0373	26,7202
10	1	3,9634	71,3407	10,5316	32,7063	13,0395
11	1	3,7684	67,8312	4,6063	31,5280	5,4474
12	1	3,5269	63,4842	-0,0487	29,6032	-0,0540
13	1	2,9373	52,8720	-7,3751	24,4507	-6,7869
14	1	2,7070	48,7260	-12,3482	22,1957	-10,4202
15	1	2,4018	43,2324	-18,9602	19,0658	-14,0467
16	1	1,9944	35,8992	-23,2187	15,3842	-14,1530
17	1	1,3290	23,9220	-28,1420	9,8363	-11,2830
18	1	0,9312	16,7616	-35,7550	6,3429	-9,7941
Jumlah	17,05				327,72118	175,474

Perhitungan faktor aman dipengaruhi oleh kohesi tanah timbunan yang dapat diperhitungkan sebagai berikut.

Wpenahan = *c x a*

= 5 x 20,315

= 92,904 kN

Perhitungan Gaya berat, gaya penahan akibat kohesi dan gaya dorong akibat beban merata maka nilai faktor aman sesuai Persamaan 3.1 pada variasi kemiringan 1 : 1,7 dapat dihitung sebagai berikut.

Faktor Aman (SF) = $\frac{Wpenahan+W \tan \sin \theta}{Wdorong+W \tan \cos \varphi}$

$$= \frac{92{,}904+175.474}{85{,}625+327.72118}$$

$$= 1{,}611$$

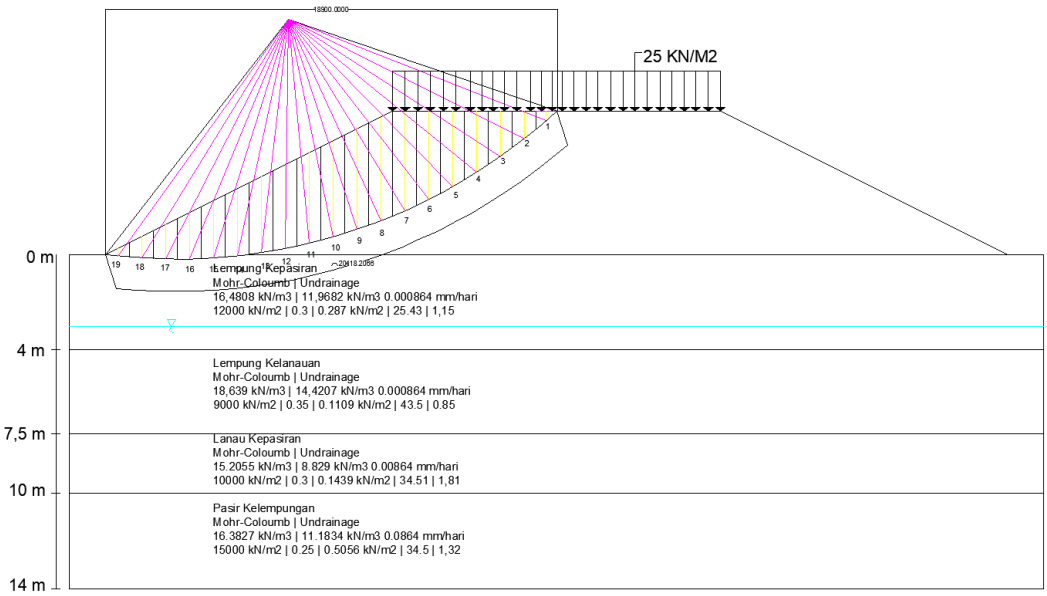
Perhitungan faktor aman dengan metode *felinius* didapatkan hasil sebesar 1,611 , sementara berdasarkan perhitungan plaxis sebesar 1,678**,** maka selisih hasil perhitungan kedua metode mendekati dan memiliki sedikit perbedaan dikarenakan adanya perbedaan ketelitian bidang longsor pada permodelan plaxis dan perhitungan manual

3. Permodelan Timbunan Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 2,0

   Perhitungan timbunan dipengaruhi oleh beban merata yang menjadi gaya dorong terhadap timbunan sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut.

$$Wdorong = A \; x \; q$$
$$= 6{,}85 \; x \; 25$$
$$= 85{,}625 \text{ kN}$$

Perhitungan berdasarkan permodelan metode fellinius pada permodelan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 2,0 di bagi mengambil bidang tinajuan lereng selebar 18,9 m dengan pembagian pias sebanyak 19 pias dapat dilihat pada Gambar 5.66 berikut.



Gambar 5.66 Permodelan perhitungan faktor aman Metode Fellinius Variasi Kemiringan 1 : 2,0

Berdasarkn gambar diatas diperoleh perhitungan gaya berat seperti pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Perhitungan Gaya Berat Timubunan Konvensional Kemiringan 1 : 2,0

Bagian Irisan (pias)	Lebar pias(b) (m)	Luas Pias(A) (m)	Gaya berat pias(Wi) (kN)	Sudut Pias (θ)	W cos tan φ	w sin θ
1	0,9	0,2159	3,8862	68,5607	0,6624	3,6173
2	1	1,1375	20,4747	60,0984	4,7595	17,7491
3	1	1,7843	32,1174	54,0269	8,7973	25,9924
4	1	2,4526	44,1468	45,7808	14,3568	31,6390
5	1	3,1503	56,7047	38,3751	20,7294	35,2027
6	1	3,5833	64,4994	32,8450	25,2686	34,9824
7	1	4,1565	74,8171	27,2310	31,0211	34,2347
8	1	4,3238	77,8287	21,6007	33,7434	28,6515
9	1	4,1884	75,3907	15,0177	33,9546	19,5350
10	1	4,0027	72,0493	9,5483	33,1317	11,9515
11	1	3,8690	69,6420	3,2523	32,4223	3,9510
12	1	3,4888	62,7986	-0,8219	29,2804	-0,9008
13	1	3,1635	56,9431	-7,6393	26,3173	-7,5698
14	1	2,7941	50,2937	-12,1791	22,9245	-10,6104
15	1	2,4813	44,6634	-18,4335	19,7583	-14,1227
16	1	1,9257	34,6618	-22,4051	14,9430	-13,2115
17	1	1,4299	25,7388	-29,0105	10,4963	-12,4825
18	1	0,9864	17,7552	-31,5478	7,0557	-9,2897
19	1	0,3026	5,4476	-35,7542	2,0615	-3,1831
Jumlah	18.9				371,6841	176,1361

Perhitungan faktor aman dipengaruhi oleh kohesi tanah timbunan yang dapat diperhitungkan sebagai berikut.

Wpenahan = *c x a*

= 5 x 20,418

= 102,090 kN

Perhitungan Gaya berat, gaya penahan akibat kohesi dan gaya dorong akibat beban merata maka nilai faktor aman sesuai Persamaan 3.1 pada variasi kemiringan 1 : 2,0 dapat dihitung sebagai berikut.

$$\textit{Faktor Aman (SF)} = \frac{Wpenahan + W \tan\sin\theta}{Wdorong + W \tan\cos\varphi}$$

$$= \frac{102{,}090 + 176{,}1361}{85{,}625 + 371{,}6841}$$

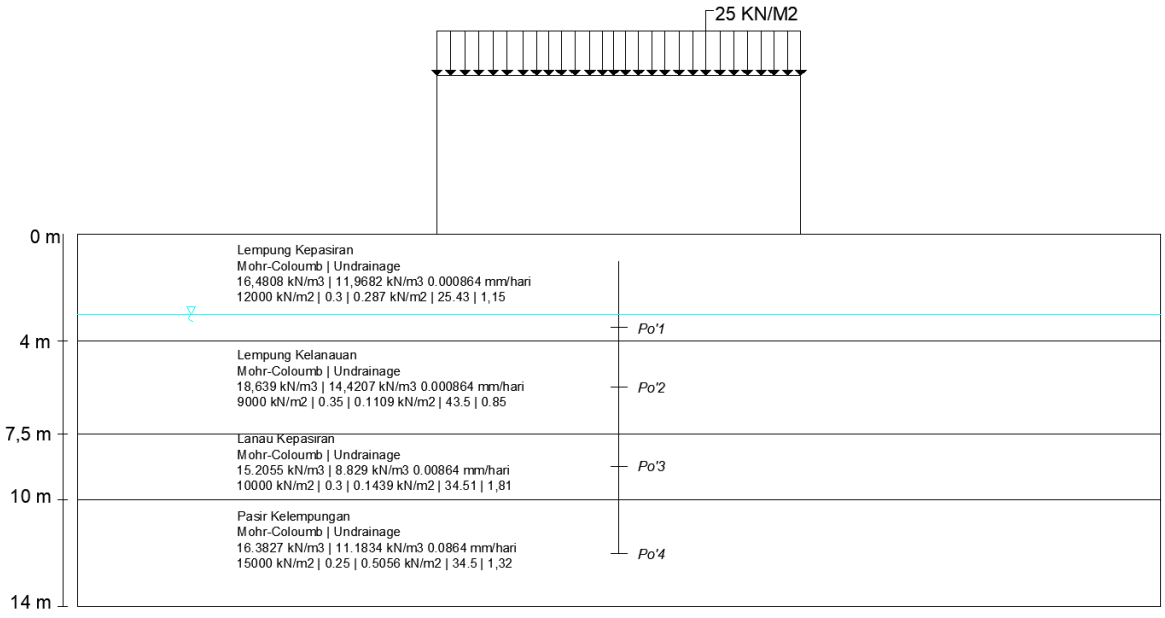
$$= 1{,}8099$$

Perhitungan faktor aman dengan metode *felinius* didapatkan hasil sebesar 1,8099 , sementara berdasarkan perhitungan plaxis sebesar 1,804 **,** maka selisih hasil perhitungan kedua metode mendekati dan memiliki sedikit perbedaan dikarenakan adanya perbedaan ketelitian bidang longsor pada permodelan plaxis dan perhitungan manual

5.4.2 Analisis Perhitungan Manual Penurunan Tanah Dasar

Analisis perhitungan manual pada penelitian ini berfungsi sebagai verifikasi nilai hasil perhitungan pada Program Plaxis 2D V20. Perhitungan penurunan tanah dasar dengan metode penurunan konsolidasi primer pada kondisi *normally consolidated*. Perhitungan dilakukan pada seluruh permodelan sebagai berikut.

1. Penurunan Tanah Akibat Timbunan Ringan Mortar Busa



Gambar 5.67 Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Timbunan Ringan Mortar Busa

a. Pehitungan Tekanan *overbudden* efektif

Tekanan *overbudden* efektif diperhitungkan pada masing masing lapisan tanah dengan menggunakan Persamaan 3.7 seperti berikut.

$P_0'1$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ \frac{1}{2}$

$= 39{,}2394$ kN/m^2

$P_0'2$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)\ x\ \frac{3{,}5}{2}$

$= 58{,}0256$ kN/m^2

$P_0'3$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)\ x\ \frac{2{,}5}{2}$

$= 80{,}2207$ kN/m^2

$P_0'4$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)x2{,}5 + 16{,}3827\ x\ \frac{4}{2}$

$= 100{,}11$ kN/m^2

b. Perhitungan beban timbunan

Beban akibat timbunan dapat diperhitungkan berdasarkan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$q = \gamma\ x\ H + Qlalulintas$

$= 6\ x\ 6 + 25$

$= 61\ kN/m^2$

c. Perhitungan perubahan tegangan vertikal

Perubahan tegangan vertikal diperhitungakn dengan menggunakan distribusi tegangan akibat timbunan. Faktor yang mempengaruhi penurunan akibat adanya beban timbunan berdasarkan faktor akibat beban timbunan (Ostergberg, 1957). Perhitungan perubahan tegangan diperhitungkan sesuai Persamaan 3.8 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Ringan Mortar Busa

Lapis Tanah	a	b	z	a/z	b/z	I	q	Ap
	m	m	m				kn/m2	kn/m2
1	0	6,85	2,5	0	2,74	0.49	36	29,89
2	0	6,85	5,75	0	1,19	0.4	36	24,4
3	0	6,85	8,75	0	0,78	0.34	36	18,3
4	0	6,85	12	0	0,57	0.29	36	17,69

d. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

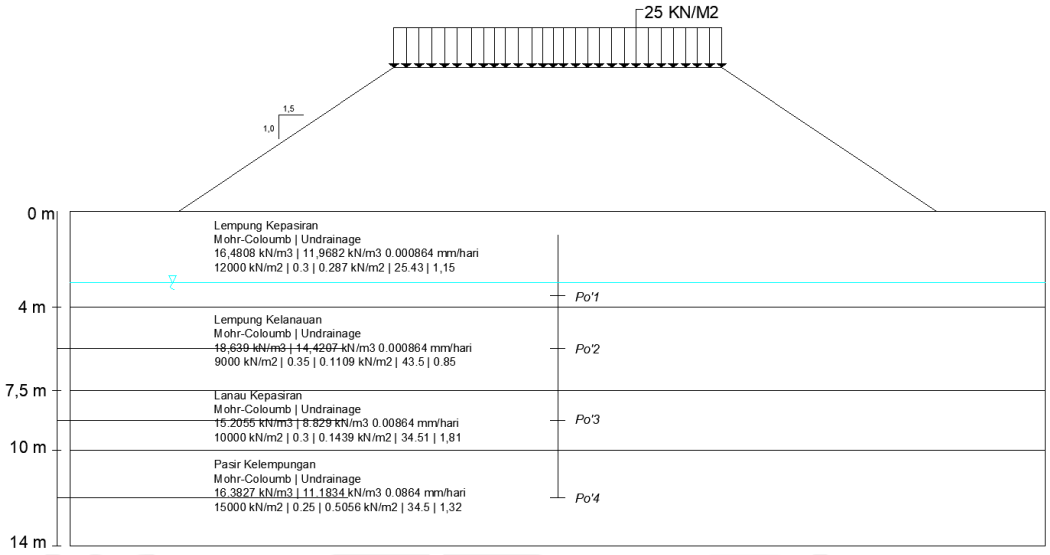
Penurunan tanah dasar diperhitungkan dengan metode penurunan konsolidasi primer yang dapat dihitung sesuai Persamaan 3.5 dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Ringan Mortar Busa

Lapis Tanah	Kedalaman (H)	Angka pori (e0)	Tekanan *Overbudden efektif (P0')*	Perubahan Tegangan (Δp)	Indeks Kompresibilitas (Cc)	Penurunan (Sc)
	m		kN/m^2	kN/m^2		m
1	1	1,15	39,2394	29,89	0,105	0,01
2	3,5	0,85	58,0256	24,4	0,015	0,0043
3	2,5	1,81	80,2207	18,3	0,278	0,0221
4	4	1,32	100,1105	17,69	0,142	0,0173
						0,0557

Penurunan konsolidasi primer pada tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,5 adalah sebesar 0,0557m atau sebesar 5,57 cm.

2. Penurunan Tanah Akibat Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,5



Gambar 5.68 Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,5

a. Pehitungan Tekanan *overbudden* efektif

Tekanan *overbudden* efektif diperhitungkan pada masing masing lapisan tanah dengan menggunakan Persamaan 3.7 seperti berikut.

$P_0'1$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ \frac{1}{2}$

$= 39{,}2394$ kN/m^2

$P_0'2$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)\ x\ \frac{3{,}5}{2}$

$= 58{,}0256$ kN/m^2

$P_0'3$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)\ x\ \frac{2{,}5}{2}$

$= 80{,}2207$ kN/m^2

$P_0'4$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)x2{,}5 + 16{,}3827\ x\ \frac{4}{2}$

$= 100{,}11$ kN/m^2

b. Perhitungan beban timbunan

Beban akibat timbunan dapat diperhitungkan berdasarkan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$q = \gamma\ x\ H + Qlalulintas$

$= 18\ x\ 6+25$

$= 133\ kN/m^2$

c. Perhitungan perubahan tegangan vertikal

Perubahan tegangan vertikal diperhitungakn dengan menggunakan distribusi tegangan akibat timbunan. Faktor yang mempengaruhi penurunan akibat adanya beban timbunan berdasarkan faktor akibat beban timbunan (Ostergberg, 1957). Perhitungan perubahan tegangan diperhitungkan sesuai Persamaan 3.8 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.8 Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,5

Lapis Tanah	a	b	z	a/z	b/z	I	q	Ap
	m	m	m				kn/m2	kn/m2
1	9	6,85	2,5	3,6	2,74	0,49	133	65,17
2	9	6,85	5,75	1,565217	1,19	0,42	133	55,86
3	9	6,85	8,75	1,028571	0,78	0,39	133	51,87
4	9	6,85	12	0,75	0,57	0,34	133	45,22

d. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

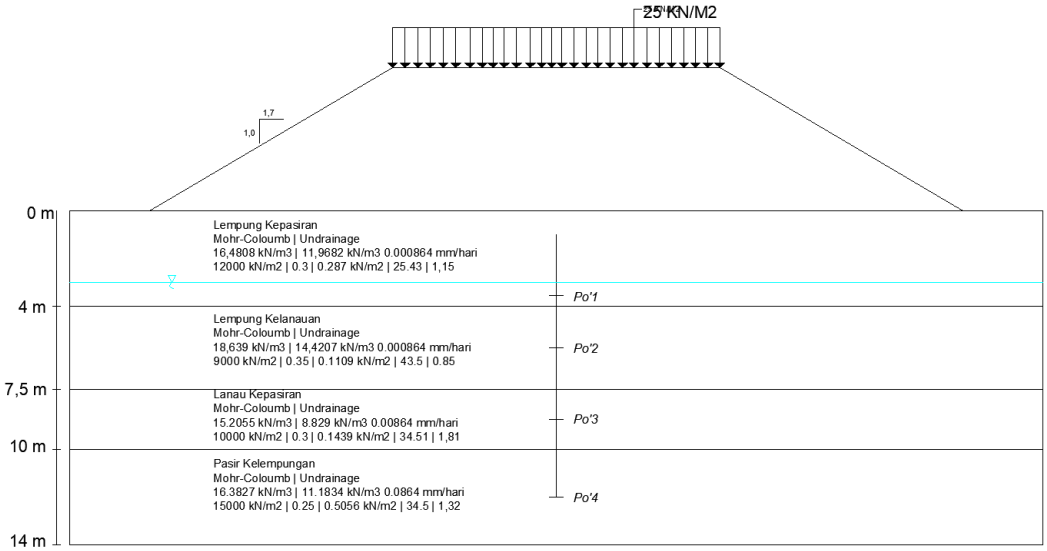
Penurunan tanah dasar diperhitungkan dengan metode penurunan konsolidasi primer yang dapat dihitung sesuai Persamaan 3.5 dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,5

Lapis Tanah	Kedalaman (H)	Angka pori (e0)	Tekanan *Overbudden efektif (P0')*	Perubahan Tegangan (Δp)	Indeks Kompresibilitas (Cc)	Penurunan (Sc)
	m		kN/m^2	kN/m^2		m
1	1	1,15	39,2394	65,17	0,105	0,0207
2	3.5	0,85	58,0256	55,86	0.015	0,0083
3	2.5	1,81	80,2207	51,87	0.278	0,0535
4	4	1,32	100,1105	45,22	0,142	0,0396
						0,12226

Penurunan konsolidasi primer pada tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,5 adalah sebesar 0,12226 m atau sebesar 12,226 cm.

3. Penurunan Tanah Akibat Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,7



Gambar 5.69 Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,7

a. Pehitungan Tekanan *overbudden* efektif

Tekanan *overbudden* efektif diperhitungkan pada masing masing lapisan tanah dengan menggunakan Persamaan 3.7 seperti berikut.

$P_0'1$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ \frac{1}{2}$

$= 39{,}2394\ \text{kN/m}^2$

$P_0'2$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)\ x\ \frac{3{,}5}{2}$

$= 58{,}0256\ \text{kN/m}^2$

$P_0'3$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)\ x\ \frac{2{,}5}{2}$

$= 80{,}2207\ \text{kN/m}^2$

$P_0'4$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)x2{,}5 + 16{,}3827\ x\ \frac{4}{2}$

$= 100{,}11\ \text{kN/m}^2$

b. Perhitungan beban timbunan

Beban akibat timbunan dapat diperhitungkan berdasarkan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

q = $\gamma \times H + Qlalulintas$

= $18 \times 6 + 25$

= $108\ kN/m^2$

c. Perhitungan perubahan tegangan vertikal

Perubahan tegangan vertikal diperhitungakn dengan menggunakan distribusi tegangan akibat timbunan. Faktor yang mempengaruhi penurunan akibat adanya beban timbunan berdasarkan faktor akibat beban timbunan (Ostergberg, 1957). Perhitungan perubahan tegangan diperhitungkan sesuai Persamaan 3.8 dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,7

Lapis Tanah	a	b	z	a/z	b/z	I	q	Ap
	m	m	m				kn/m2	kn/m2
1	10,2	6,85	2,5	4,08	2,74	0,5	133	66,5
2	10,2	6,85	5,75	1,77	1,19	0,42	133	55,86
3	10,2	6,85	8,75	1,17	0,78	0,39	133	51,87
4	10,2	6,85	12	0,85	0,57	0,35	133	46,55

d. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

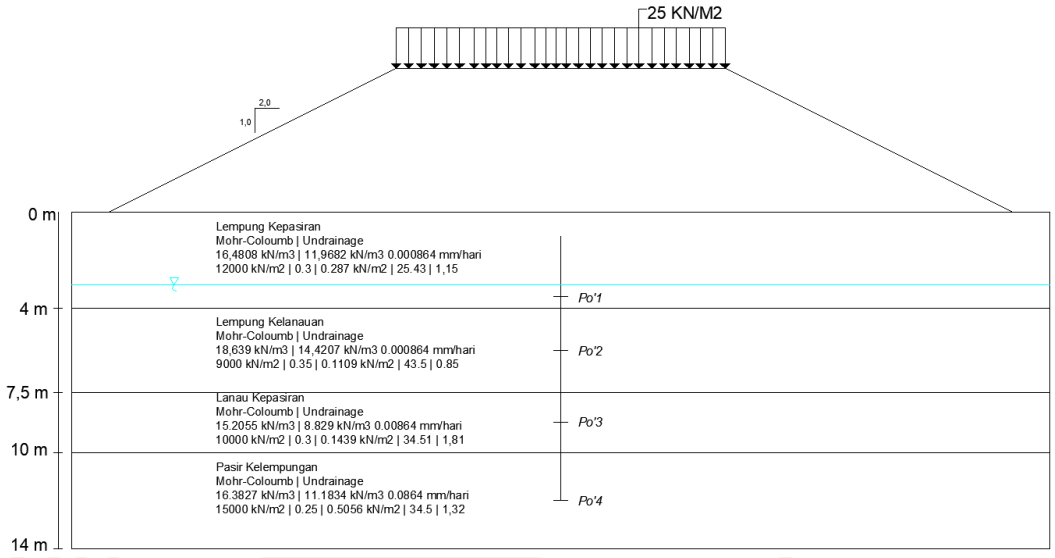
Penurunan tanah dasar diperhitungkan dengan metode penurunan konsolidasi primer yang dapat dihitung sesuai Persamaan 3.5 dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 1,7

Lapis Tanah	Kedalaman (H)	Angka pori (e0)	Tekanan *Overbudden efektif (P0')*	Perubahan Tegangan (Δp)	Indeks Kompresibilitas (Cc)	Penurunan (Sc)
	m		kN/m^2	kN/m^2		m
1	1	1,15	39,2394	66,5	0,105	0,021
2	3,5	0,85	58,0256	55,86	0,015	0,0083
3	2,5	1,81	80,2207	51,87	0,278	0,0536
4	4	1,32	100,1105	46,55	0,142	0,0406
						0,12351

Penurunan konsolidasi primer pada tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 1,7 adalah sebesar 0,12351 m atau sebesar 12,351 cm.

4. Penurunan Tanah Akibat Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 2,0



Gambar 5.70 Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 2,0

a. Pehitungan Tekanan *overbudden* efektif

Tekanan *overbudden* efektif diperhitungkan pada masing masing lapisan tanah dengan menggunakan Persamaan 3.7 seperti berikut.

$P_0'1$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ \frac{1}{2}$

$= 39{,}2394$ kN/m^2

$P_0'2$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)\ x\ \frac{3{,}5}{2}$

$= 58{,}0256$ kN/m^2

$P_0'3$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)\ x\ \frac{2{,}5}{2}$

$= 80{,}2207$ kN/m^2

$P_0'4$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 + (15{,}2055 - 9{,}81)x2{,}5 + 16{,}3827\ x\ \frac{4}{2}$

$= 100{,}11$ kN/m^2

b. Perhitungan beban timbunan

Beban akibat timbunan dapat diperhitungkan berdasarkan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$q = \gamma \times H + Qlalu\ lintas$

$= 18 \times 6 + 25$

$= 133\ kN/m^2$

c. Perhitungan perubahan tegangan vertikal

Perubahan tegangan vertikal diperhitungakn dengan menggunakan distribusi tegangan akibat timbunan. Faktor yang mempengaruhi penurunan akibat adanya beban timbunan berdasarkan faktor akibat beban timbunan (Ostergberg, 1957). Perhitungan perubahan tegangan diperhitungkan sesuai Persamaan 3.8 dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 2.0

Lapis Tanah	a	b	z	a/z	b/z	I	q	Ap
	m	m	m				kn/m2	kn/m2
1	12	6,85	2,5	4,80	2,74	0,5	133	66,5
2	12	6,85	5,75	2,09	1,19	0,43	133	57,19
3	12	6,85	8,75	1,37	0,78	0,39	133	51,87
4	12	6,85	12	1,00	0,57	0.36	133	47,88

d. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

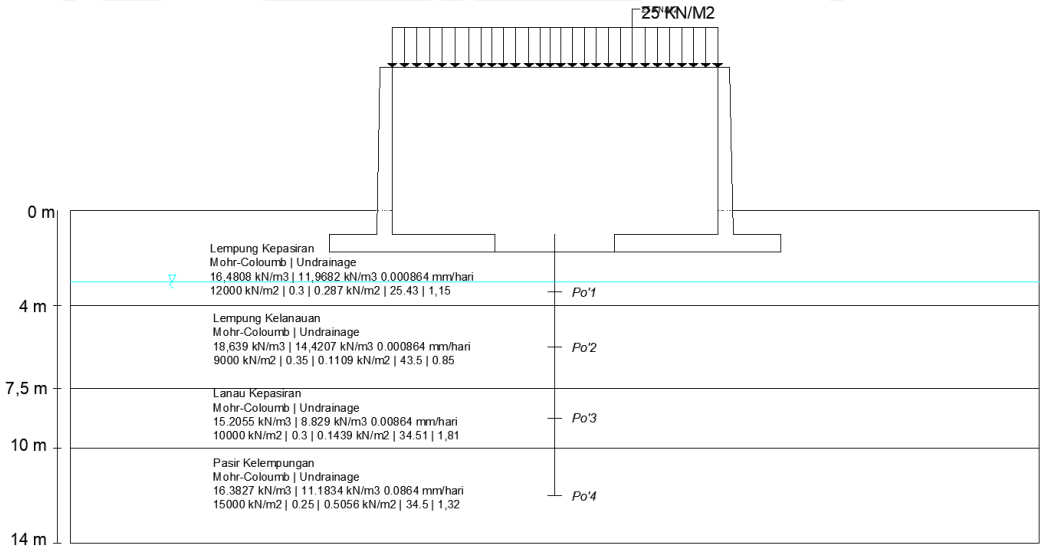
Penurunan tanah dasar diperhitungkan dengan metode penurunan konsolidasi primer yang dapat dihitung sesuai Persamaan 3.5 dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Variasi Kemiringan 1 : 2,0

Lapis Tanah	Kedalaman (H)	Angka pori (e0)	Tekanan *Overbudden efektif (P0')*	Perubahan Tegangan (Δp)	Indeks Kompresibilitas (Cc)	Penurunan (Sc)
	m		kN/m^2	kN/m^2		m
1	1	1,15	39,2394	66,5	0,105	0,02103
2	3,5	0,85	58,0256	57,19	0,015	0,00845
3	2,5	1,81	80,2207	51,87	0,278	0,05357
4	4	1,32	100,1105	47,88	0,142	0,04156
						0,12461

Penurunan konsolidasi primer pada tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan 1 : 2,0 adalah sebesar 0,12461 m atau sebesar 12,461 cm.

5. Penurunan Tanah Akibat Timbunan Tanah Konvensional dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah



Gambar 5.71 Permodelan Perhitungan Manual Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional Variasi dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah

a. Pehitungan Tekanan *overbudden* efektif

Tekanan *overbudden* efektif diperhitungkan pada masing masing lapisan tanah dengan menggunakan Persamaan 3.7 seperti berikut.

$P_0'1$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ \frac{1}{2}$

$= 39{,}2394\ kN/m^2$

$P_0'2$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)\ x\ \frac{3{,}5}{2}$

$= 58{,}0256\ kN/m^2$

$P_0'3$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 +$
$(15{,}2055 - 9{,}81)\ x\ \frac{2{,}5}{2}$

$= 80{,}2207\ kN/m^2$

$P_0'4$ $= (11{,}968\ x\ 3) + (16{,}4808 - 9.81)x\ 1 + (18{,}639 - 9{,}81)x\ 3{,}5 +$
$(15{,}2055 - 9{,}81)x2{,}5 + 16{,}3827\ x\ \frac{4}{2}$

$= 100{,}11\ kN/m^2$

b. Perhitungan beban timbunan

Beban akibat timbunan dapat diperhitungkan berdasarkan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$q = \gamma_{tanah}\ x\ H + Q_{lalu\ lintas}$

$= 18\ x\ 7 + 25$

$= 151\ kN/m^2$

c. Perhitungan perubahan tegangan vertikal

Perubahan tegangan vertikal diperhitungakn dengan menggunakan distribusi tegangan akibat timbunan. Faktor yang mempengaruhi penurunan akibat adanya beban timbunan berdasarkan faktor akibat beban timbunan (Ostergberg, 1957). Perhitungan perubahan tegangan diperhitungkan sesuai Persamaan 3.8 dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Perhitungan Distribusi Tegangan Timbunan Tanah Konvensional dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah

Lapis Tanah	a	b	z	a/z	b/z	I	q	Ap
	m	m	m				kn/m2	kn/m2
1	0	6,85	2,5	0	2,74	0,49	151	73,99
2	0	6,85	5,75	0	1,19	0,41	151	61,91
3	0	6,85	8,75	0	0,78	0,34	151	57,38
4	0	6,85	12	0	0,57	0,29	151	52,85

d. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

Penurunan tanah dasar diperhitungkan dengan metode penurunan konsolidasi primer yang dapat dihitung sesuai Persamaan 3.5 dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Perhitungan Penurunan Tanah Timbunan Tanah Konvensional dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah

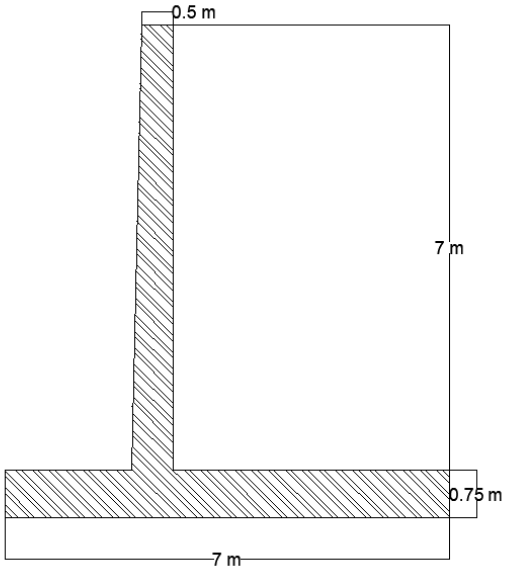
Lapis Tanah	Kedalaman (H)	Angka pori (e0)	Tekanan *Overbudden efektif (P0')*	Perubahan Tegangan (Δp)	Indeks Kompresibilitas (Cc)	Penurunan (Sc)
	m		kN/m^2	kN/m^2		M
1	1	1,15	39,2394	73,99	0,105	0,0225
2	3,5	0,85	58,0256	61,91	0,015	0,0089
3	2,5	1,81	80,2207	57,38	0,278	0,0580
4	4	1,32	100,1105	52,85	0,142	0,0451
						0,13456

Penurunan konsolidasi primer pada tanah dasar akibat timbunan tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah adalah sebesar 0,13456 m atau sebesar 13,456 cm.

5.4.3 Analisis Stabilitas Dinding Penahanan Tanah

1. Permodelan

Tinajuan timbunan dengan perkuatan dinding penahan tanah dimodelkan dengan dimensi yang dapat dilihat pada Gambar 5.72. Dinding penahan tanah yang digunakan dengan menggunakan jenis kantilever.

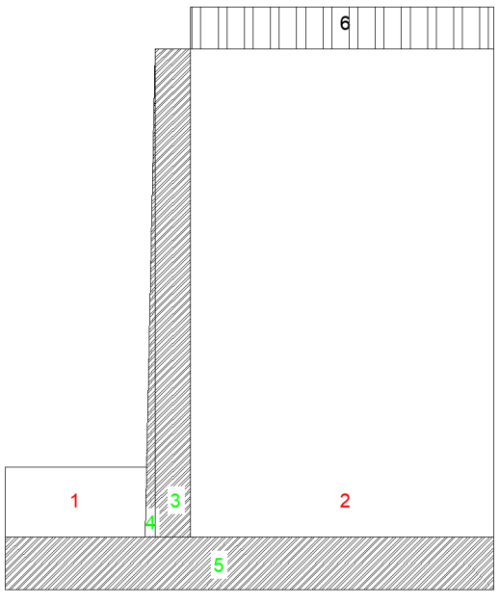


Gambar 5.72 Permodelan Dinding penahan Tanah

2. Perhitungan

   a. Perhitungan Gaya Vertikal Tanah

   Gaya vertikal tanah pada tinjauan ini dipengaruhi oleh berat tanah yang dibebankan pada dinding penahan tanah, berat tanah timbunan dan berat sendiri dinding penahan tanah. Permodelan untuk melakukan perhitungan gaya vertikal tanah dapat dilihat pada Gambar 5.73 berikut.



Gambar 5.73 Bagian Bagian Gaya Vertikal Tanah

Perhitungan gaya vertikal tanah sesuai pada Gambar 5.73 dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut.

Berat bagian 2 = Luas Bagian 2 x $\gamma_{sat\ tanah\ timbunan}$

= 4,35 m *x* 7m *x* 18 kN/m^3

= 548,1 kN

Adapun hasil perhitungan gaya vertikal tanah dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut

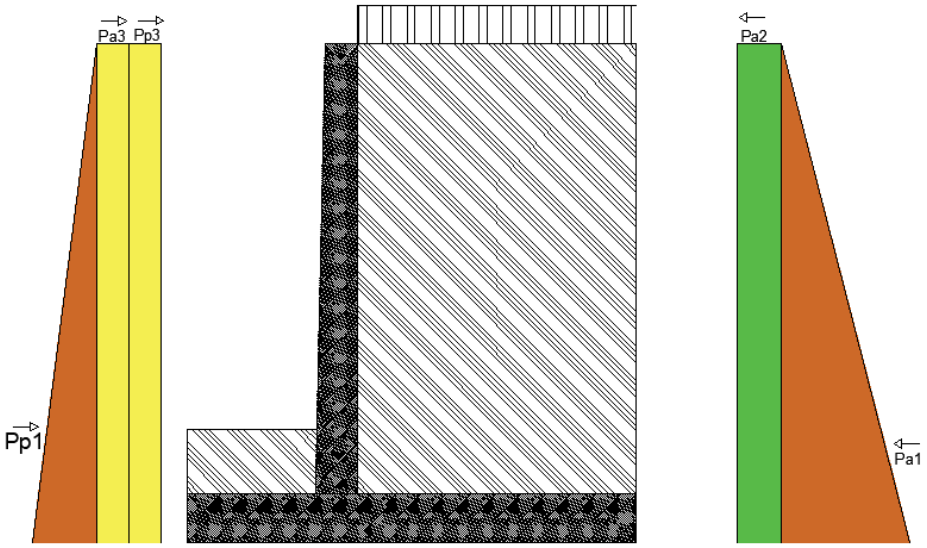
Tabel 5.16 Perhitungan Gaya Vertikal Tanah

No Bagian DPT	lebar	tinggi	Luas	Berat Volume	Berat
	(m)	(m)	(m^2)	kN/m^3	kN
1 (tanah timbunan luar)	4,025	1	2,0125	18	36,225
2 (tanah Timbunan dalam)	4,35	7	30,45	18	548,1
3 (dpt)	0,5	7	3,5	24	84
4 (DPT)	0,15	7	0,525	24	12,6
5 (DPT)	7	0,75	5,25	24	126
6 (beban Merata)			3,35	25	83,75
Total Gaya Vertikal					890,675

Berdasarkan tabel perhitungan diatas didapat nilai gaya vertikal tanah sebesar 890,675 kN.

b. Perhitungan Gaya Horisontal Tanah

Gaya horizontal dipengaruhi oleh jenis tanah, beban merata, muka air , kohesi tanah. Permodelan untuk melakukan perhitungan gaya horizontal tanah dapat dilihat pada Gambar 5.74 berikut.



Gambar 5.74 Diagram Gaya Horizontal Tanah

Perhitungan gaya horizontal tanah dibedakan menjadi gaya aktif dan pasif. Nilai gaya horizontal dipengaruhi oleh koefisen tanah. Nilai koefisien tanah berdasarkan Persamaan 3.10. Perhitungan nilai koefisien tanah sebagai berikut.

Koefisien tanah aktif (Ka)

$$\text{Ka} = \tan(45 - \frac{\varphi}{2})^2$$

Berdasarkan diagram pada Gambar 5.74 dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Perhitungan Gaya Horisontal Tanah

Tegangan Tanah	Jenis Tegangan	Gaya Lateral	Nilai gaya Lateral
Keterangan	*Aktif/Pasif*	*Rumus*	*kN*
AKIBAT TANAH			
Pa1	Aktif	0.5 *x* Ha^2 *x* γtanah *x* Ka	219,391
Pp1	Pasif	0.5 *x* Hp^2 *x* γtanah *x* Kp	90,185
AKIBAT BEBAN MERATA			
Pa2	Aktif	Q *x* Ka *x* Ha	78,635
AKIBAT KOHESI TANAH			
Pa3	Aktif	2 *x* c *x* $\sqrt{Ka}$ *x* Ha	-49,373
Pp2	Pasif	2 *x* c *x* $\sqrt{Kp}$ *x* Hp	31,655

c. Perhitungan Momen pada Struktur Tanah dan Dinding Penahan Tanah

Stabilitas diniding penahan tanah dipengaruhi oleh momen momen yang terjadi pada bagian dinding penahan tanah. Momen yang terjadi dapat disebabkan oleh gaya vertikal dan gaya horizontal. Perhitungan momen yang terjadi pada struktur dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut

Tabel 5.18 Perhitungan Momen Struktur DPT

Gaya yang bekerja	Bagian tinajuan	Nilai Gaya	Lengan	Momen
Keterangan	*Simbol*	*kN*	*m*	*kN*
Gaya Vertikal Tanah Timbunan	1	36,225	2	72,45
	2	548,1	4,325	2644,58
Gaya Vertikal DPT	3	84	2,4	201,6
	4	12,6	2,1	26,46
	5	126	3,5	441
Beban Merata	6	83,75	4,325	404,094
Gaya lateral aktif	Pa1	219,391	2,333333	511,9144
	pa2	78,6351	3,5	275,2228
	pa3	-49,379	3,5	-172,805
gaya lateral pasif	Pp1	90,1847	0,58333	52,60777
	Pp2	31,6552	1	31,65522

d. 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.

c_a = 5 kN/m^2

B = 7 m

W = 890,675 kN

tan δ_b = 0.45 (AREA, 1958)

$\sum Pa$ = 248,654 kN

$\sum Pp$ = 121,84 kN

$\sum Rh$ = $c_a\ B\ x\ W$ tan δ_b

= 5 x 7 x 890,675 x 0.45

= 450,3286 kN

Fgs = $\frac{\sum Rh+Pp}{\sum Pa}$

= $\frac{450.3286 +121.84}{248,654}$

= 2,30106

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.

$\sum M_{Penaham}$ = $\sum Pa + \sum Pa$

= 3790,1863 kN + 85.5129 kN

= 3875,6992 kNm

$\sum M_{Pendorong}$ = 614,332 kNm

Fgl = $\frac{\sum Mpenahan}{\sum Mpendorong}$

= $\frac{3875,6992}{614.332}$

= 6,3068

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 = $1{,}75\ m$

H = 126,814 kN

V = 890,675 kN

X_e = $\frac{Mw-Maktif+Mpasif}{W}$

= $\frac{3790{,}1863-614{,}332+84.2629}{890{,}675}$

= 3,6603 m

e = B/2 – Xe

= 3.5 – 3,66026

= 0. 1602 m < B/6 (1)

B’ = B – 2.e

= 7 – 2 x 0,1602

= 7.3205 m

A’ = B’ x 1

= 7,3205 x 1

= 7,3205 m^2

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

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

= 10,6621

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

= $(10{,}6621 - 1) \cot 25$

= 20,72044

N_γ = $1{,}5\ (N_q - 1) \tan\varphi$

= $1{,}5\ (10{,}6621 - 1) \tan 25$

= 6,7583

d_q = $1 + 2\left(\frac{D}{B}\right) \tan \varphi\ (1 - \sin \varphi)^2$

= $1 + 2\left(\frac{7}{7}\right) \tan 25\ (1 - \sin 25)^2$

= 1,0778

d_c = $1 + 0{,}4\ (\frac{D}{B})$

= $1 + 0{,}4\ (\frac{7}{7})$

= 1.4

d_γ = 1

i_q = $\left[1 - \frac{0.5\ H}{V + A' Ca \cot \varphi}\right]^5$

= $\left[1 - \frac{0.5\ 186{,}814}{890{,}675 + 6{,}849\ 5 \cot 25}\right]^5$

= 0,6008

i_c = $i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_q - 1}$

= $0{,}6008 - \frac{(1 - 0{,}6008)}{10{,}6621 - 1}$

= 0,5595

i_γ = $\left[1 - \frac{0.7\ H}{V + A' Ca \cot \varphi}\right]^5$

= $\left[1 - \frac{0.7\ 186{,}814}{890{,}675 + 6{,}849\ 5 \cot 25}\right]^5$

= 0,4825

$$qU = d_c i_c c N_c + d_q i_q N_q D_f \gamma + d_\gamma i_\gamma 0.5 B_\gamma N_\gamma$$

$$= 1{,}1\ x\ 0{,}5595\ x\ 5\ x\ 20{,}7204 + 1{,}0778\ x\ 0{,}6008\ x\ 10{,}6621\ x\ 1{,}75\ x\ 18 + 1\ x\ 0{,}4825\ x\ 6{,}7583\ x\ 0{,}5\ x\ 7\ x\ 18$$

$$= 486{,}6446 \text{ kN}$$

$$q = \frac{V}{B'}$$

$$= \frac{890{,}675}{7{,}3205}$$

$$= 121{,}6677$$

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

$$= \frac{890{,}675}{121{,}6677}$$

$$= 4{,}925$$

Nilai faktor keamanan terhadap Kapasitas Dukung Tanah memiliki nilai 4,925 sehingga nilai faktor keamanan dinyatakan aman karena melebihi syarat yaitu sebesar 3,0.

5.5 Pembahasan

5.5.1 Perbandingan Nilai Faktor Aman

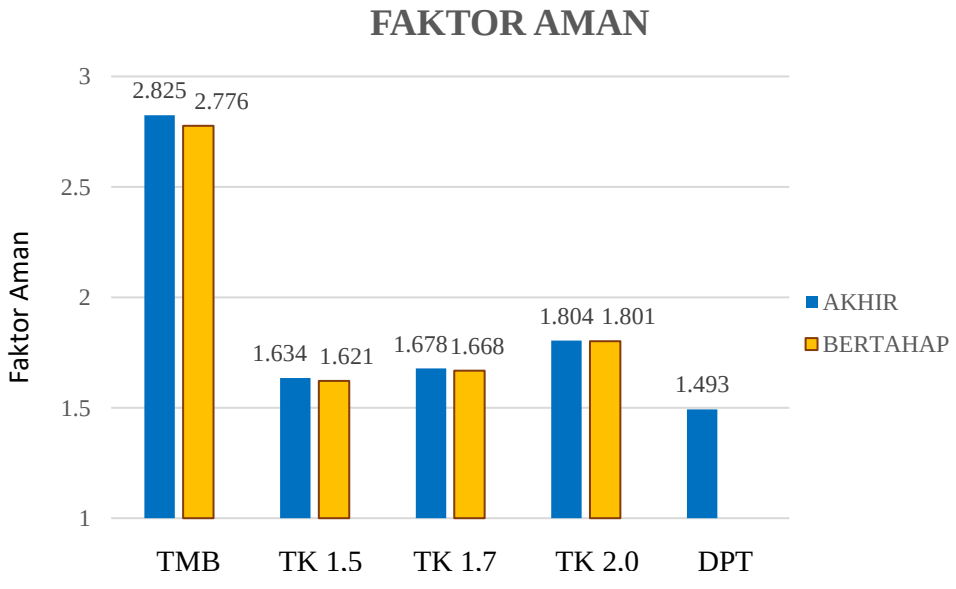
Faktor aman adalah salah satu parameter untuk meninjau kestabilan suatu lereng. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan faktor aman dari timbunan dengan material ringan mortar busa dan material tanah konvensional. Timbunan ringan mortar busa dilakukan permodelan seperti pada kondisi lapangan sementara untuk material tanah konvensional dilakukan permodelan dengan variasi kemiringan 1 : 1,5 ; 1 : 1,7 ; 1 : 2,0 dan dengan perkuatan dinding penahan tanah. Perhitungan dilakukan dengan program Plaxis 2D V20 dengan permodelan ditinjau pada Akhir Konstruksi dan Konstruksi bertahap. Faktor aman juga diperhitungkan manual dengan metode Fellinius. Proses perhitungan dengan program Plaxis memiliki ketelitian yang lebih dibandingkan dengan perhitungan dengan metode fellinius yang menyebabkan adanya sedikit perbedaan nilai faktor aman pada kedua

metode tersebut. hasil analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Faktor Aman

Permodelan	Faktor Aman	
Tinjauan	Akhir	Bertahap
T. Ringan Mortar Busa	2,825	2,776
T. Konvensional 1 : 1,5	1,634	1,621
T. Konvensional 1 : 1,7	1,678	1,668
T. Konvensional 1 : 2,0	1,804	1,801
T. Konvensional dengan DPT	1,493	

Faktor aman hasil analisis diatas menunjukan bahwa seluruh permodelan tergolong kedalam lereng stabil sesuai dengan Tabel 3.3 dimana nilai faktor aman bernilai lebih dari 1,25 dengan kondisi anggapan jarang terjadi longsor dan masuk dalam kelas stabil. Nilai faktor aman ditinjau berdasarkan Tabel 3.4 yang bersumber SNI 8460:2017 nilai faktor aman dari seluruh permodelan telah memenuhi nilai faktor aman untuk banguna timbunan oprit dengan nilai faktor aman lebih dari 1,1. Data hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik perbandingan dapat dilihat pada Gambar 5.75 berikut.



Gambar 5.75 Grafik Perbandingan Nilai Faktor Aman

Analisis dengan metode fellinius dilakukan pada permodelan timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan. Nilai faktor aman pada variasi kemiringan 1 : 1,5 didapat nilai sebesar 1,602 , variasi kemiringan 1 : 1,7 didapat nilai faktor aman sebesar 1,602 dan pada variasi kemiringan 1 : 2,0 didapat nilai faktor aman sebesar 1,8099.

Berdasarkan tabel rekapitulasi perhitungan nilai faktor aman diatas pada permodelan timbunan dengan material ringan mortar busa memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan material tanah konvensional. Hal ini disebabkan karena timbunan ringan mortar busa memiliki kuat tekan yang cukup baik yaitu sebesar 0,8 kPa untuk kondisi material sebagai timbunan jalan. Timbunan dengan material tanah konvensional memiliki tekanan tanah lateral pada arah horisontalnya sementara hal tersebut tidak terdapat pada Timbunan ringan mortar busa.

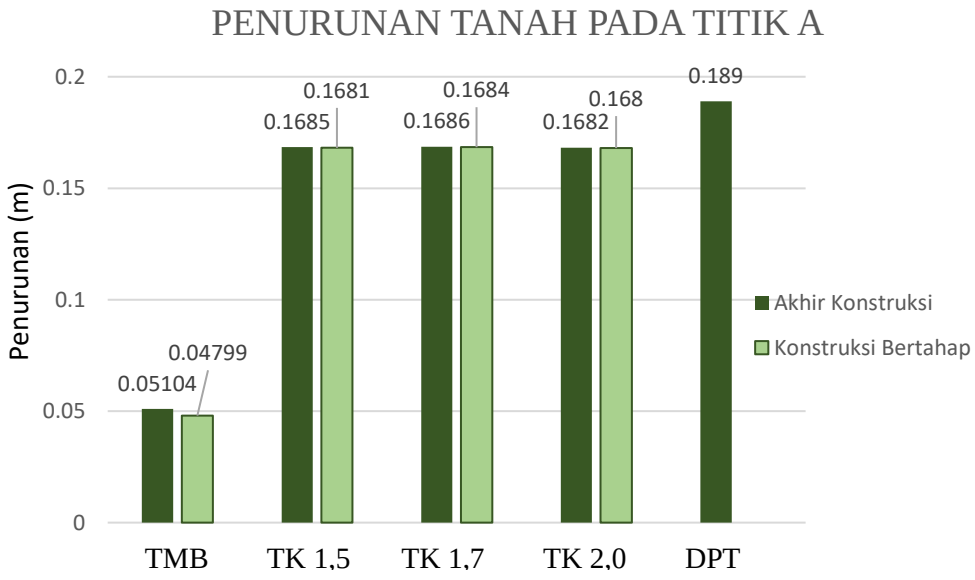
5.5.2 Perbandingan Nilai Penurunan Tanah

Penurunan tanah merupakan kondisi permukaan tanah yang berubah yang dapat terjadi dikarenakan adanya beban berlebih pada permukaan tanah. Tegangan tanah pada setiap lapisan tanah dapat berubah dikarenakan adanya distribusi beban. penurunan tanah dapat ditinjau dengan menggunakan perhitungan konsolidasi primer. Penelitian ini dilakukan dengan program Plaxis 2D V20 dengan tinjauan akhir konstruksi dan konstruksi bertahap serta diperhitungkan dengan metode penurunan tanah konsolidasi primer dengan satu dimensi. Titik yang ada ditinjau merupakan bagian atas timbunan dengan node titik A (20,00 ; 6,00) dan bagian dasar timbunan dengan node titik B (20,00 ; 0,00). Nilai penurunan tanah hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

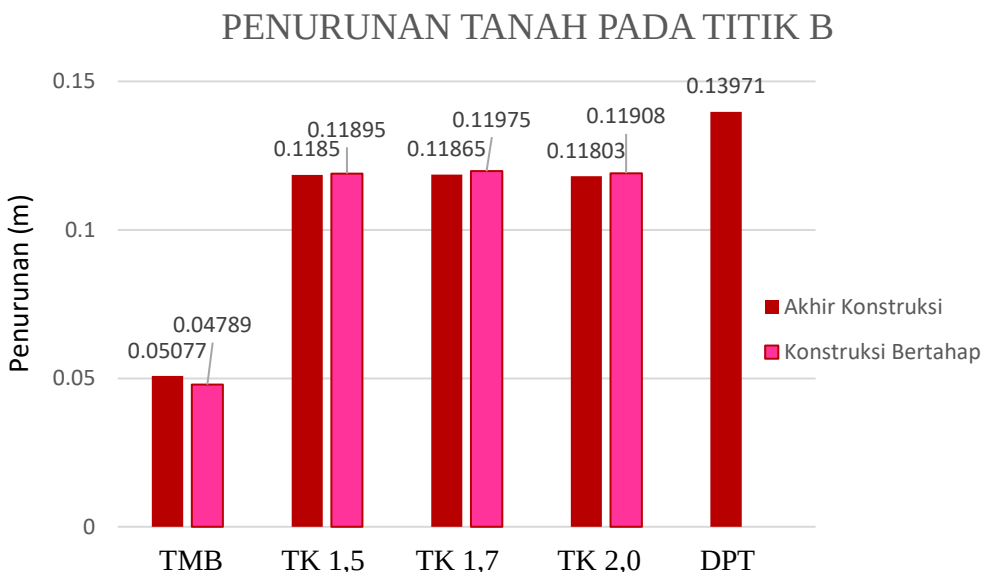
Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai Penurunan Tanah

Permodelan	Penurunan Tanah (m)				
Tinjauan	Akhir		Bertahap		Manual
Titik	A	B	A	B	
T. Ringan Mortar Busa	0,05104	0,05077	0,04799	0,04789	0,0557
T. Konvensional 1 : 1,5	0,1685	0,1185	0,1681	0,11895	0,12226
T. Konvensional 1 : 1,7	0,1686	0,11865	0,1684	0,11975	0,12351
T. Konvensional 1 : 2,0	0,1682	0,11803	0,168	0,11908	0,12461
T. Konvensional dengan DPT	0,189	0,13971			0,13456

Penurunan tanah yang dibandingkan pada dasar timbunan atau titik B dengan program plaxis dan metode penurunan konsolidasi primer memiliki perbedaan dikarenakan pada program plaxis distribusi tegangan tanah ditinjau dari arah horizontal dan arah vertikal sementara pada metode konsolidasi primer hanya ditinjau dari arah vertikal. Adapun data hasil penelitian disajikan dalam grafik dapat dilihat pada Gambar 5.76 dan Gambar 5.77 berikut.



Gambar 5.76 Grafik Perbandingan Nilai Penurunan Tanah pada Titik A



Gambar 5.76 Grafik Perbandingan Nilai Penurunan Tanah pada Titik B

Nilai penurunan tanah berdasarkan penurunan tanah pada jembatan pada Tabel 3.4 dengan nilai penurunan maksimal 15 cm yang ditinjau pada permukaan lapisan tanah dasar. Hal tersebut menunjukan nilai penurunan tanah pada permodelan timbunan ringan mortar busa dan timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan maupun perkuatan dinding penahan tanah memenuhi standar izin penurunan tanah dasar.

Penurunan tanah imbunan ringan mortar busa memiliki perbandingan yang lebih kecil dibandingakan dengan permodelan lain pada tinjauan tiitk A maupun titik B dikarenakan timbunan ringan mortar busa memiliki sifat densitas rendah sehingga nilai beban yang lebih kecil dibandingkan dengan permodelan lain. Nilai penurunan pada permodelan timbunan tanah konvensional dengan variasi kemiringan memiliki nilai penurunan yang tidak jauh berbeda. Permodelan dinding penahan tanah memiliki nilai penurunan tanah yang cukup besar dibandingkan permodelan lain

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Timbunan dengan material tanah konvensional untuk variasi kemiringan lereng 1 : 1,5 memiliki nilai faktor aman sebesar 1,634 untuk permodelan yang ditinjau dari akhir konstruksi dan untuk konstruksi bertahap memiliki nilai faktor aman sebesar 1,621 , timbunan dengan variasi kemiringan lereng 1 : 1,7 memiliki nilai faktor aman sebesar 1,678 untuk permodelan yang ditinjau dari akhir konstruksi dan untuk konstruksi bertahap memiliki nilai faktor aman sebesar 1,678 dan timbunan dengan variasi kemiringan lereng 1 : 2,0 memiliki nilai faktor aman sebesar 1,804 untuk permodelan yang ditinjau dari akhir konstruksi dan untuk konstruksi bertahap memiliki nilai faktor aman sebesar 1,801.
2. Timbunan dengan material tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah memiliki nilai faktor aman sebesar 1,493.
3. Timbunan Ringan Mortar Busa memiliki faktor aman sebesar 2,825 untuk permodelan ditinjau pada akhir konstruksi dan 2,776 untuk permodelan ditinjau dengan konstruksi bertahap.
4. Timbunan dengan material tanah konvensional untuk variasi kemiringan lereng 1 : 1,5 memiliki nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,1685 m untuk permodelan yang ditinjau dari akhir konstruksi dan untuk konstruksi bertahap memiliki nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,1681 m , timbunan dengan variasi kemiringan lereng 1 : 1,7 memiliki nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,1686 m untuk permodelan yang ditinjau dari akhir konstruksi dan untuk konstruksi bertahap memiliki nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,1684 cm dan timbunan dengan variasi kemiringan lereng 1 : 2,0 memiliki nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,1682 untuk permodelan yang ditinjau dari akhir konstruksi dan untuk konstruksi bertahap nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,1680 m.

5. Timbunan dengan material tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah memiliki nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,189 m.
6. Timbunan Ringan Mortar Busa memiliki nilai penurunan tanah dasar sebesar 0,0599 m untuk permodelan ditinjau pada akhir konstruksi dan 0,04799 cm untuk permodelan ditinjau dengan konstruksi bertahap.
7. Faktor aman pada permodelan timbunan dengan material ringan mortar busa adalah faktor aman dengan nilai paling besar, sementara untuk permodelan timbunan dengan material tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah memiliki nilai faktor aman sangat kecil. Seluruh permodelan memiliki nilai faktor aman lebih dari 1,25 sehingga potensi terjadi longsor jarang dengan kelar lereng stabil.
8. Penurunan tanah dasar pada permodelan timbunan dengan material ringan mortar busa adalah penurunan tanah paling kecil , sementara untuk permodelan timbunan dengan material tanah konvensional dengan perkuatan dinding penahan tanah memiliki nilai penurunan tanah dasar terbesar.

6.2 Saran

1. Penelititan selanjutnya dapat dilakukan dengan membandingkan aspek manajemen konstruksi berupa estimasi biaya dan metode pekerjaan
2. Penelitian selanjutnya dapat digunakan membandingkan timbunan ringan mortar busa dengan perkuatan dinding penahan tanah jenis lain dan dengan perkuatan geotekstil
3. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengetahui atau membuktikan sifat dari timbunan ringan mortar busa.

DAFTAR PUSTAKA

Atamini, H., & Moestafa, B. (2018). Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung) (Hal. 90-100). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, *4*(1), 90. https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i1.90

Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 1726 : 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.

Badan Standarisasi Nasional. (2017). *RSNI3 8640:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*.

Bahari, S. R., & Hamdhan, I. N. (2017). Analisis Geoteknik pada Teknologi Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP) dalam Perencanaan Flyover Antapani. *Reka Racana - Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, *3*(4), 70–81.

Das Braja M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Erlangga.

Gati, B. M. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan dan Prediksi Timbunan Yang Terjadi Menggunakan Program Plaxis*.

Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah 2*. Gajah Mada University Press.

Hidayat, D., Purwana, Y. M., & Pramesti, F. P. (2016). Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa Pada Konstruksi Timbunan Jalan. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2016*, *TS-009*, 1–10.

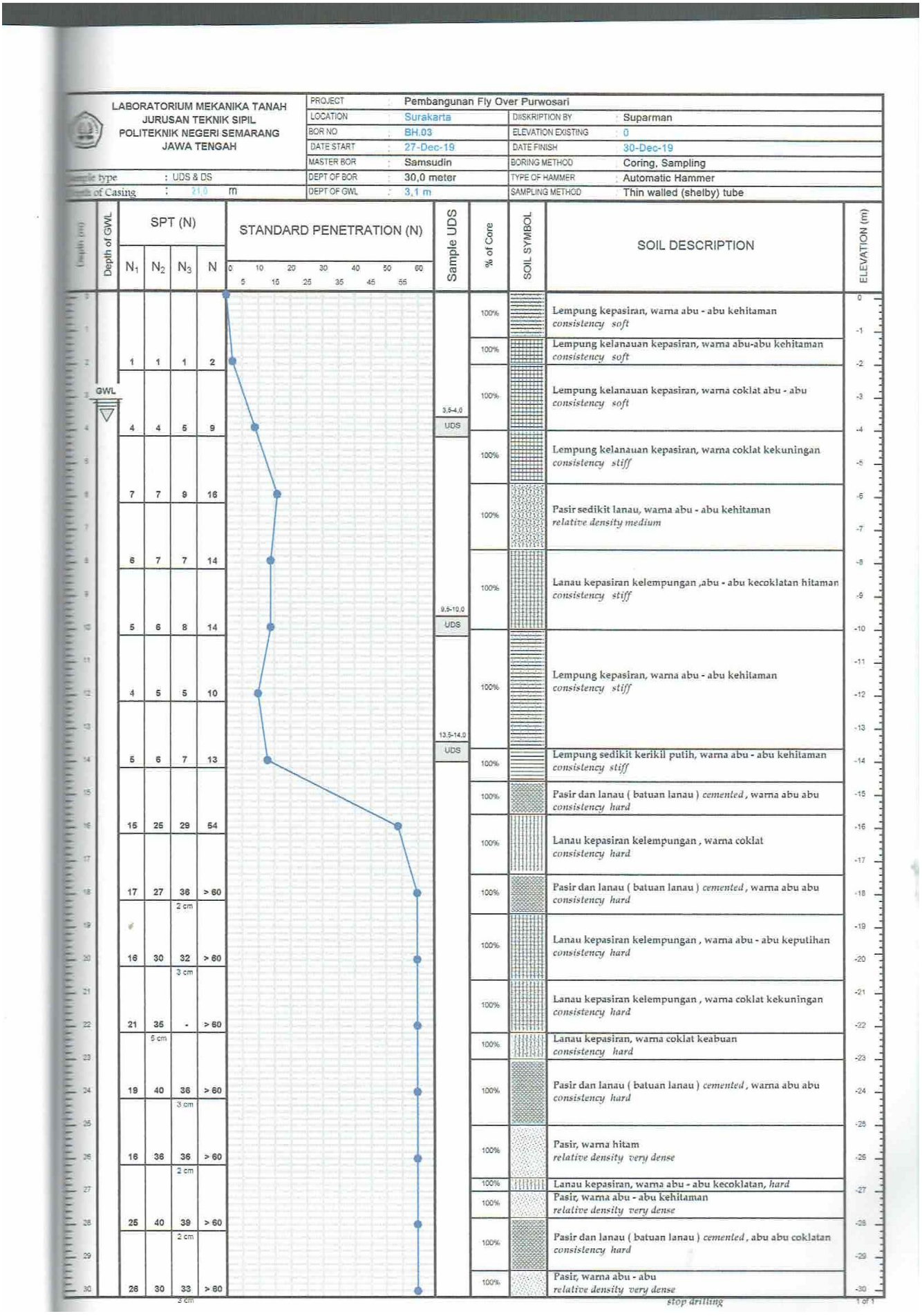
Joseph E. Bowles. (1986). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Jilid 1*. Erlangga.

Kadela, M., Kozłowski, M., & Kukiełka, A. (2017). Application of Foamed Concrete in Road Pavement - Weak Soil System. *Procedia Engineering*, *193*, 439–446. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.235

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar-Busa untuk Konstruksi Jalan*.

Purindang, W. (2020). *Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan menggunakan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan*.

Lampiran 1 -Data Laboratorium ,Data Lapangan Tanah Dasar dan Data Geometri



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG
JAWA TENGAH

PROJECT	: Pembangunan Fly Over Purwosari		
LOCATION	: Surakarta	DIISKRIPTION BY	: Suparman
BOR NO	: BH.03	ELEVATION EXISTING	: 0
DATE START	: 27-Dec-19	DATE FINISH	: 30-Dec-19
MASTER BOR	: Samsudin	BORING METHOD	: Coring, Sampling
Sample type	: UDS & DS	DEPT OF BOR	: 30,0 meter
Depth of Casing	: 21,0 m	DEPT OF GWL	: 3,1 m
		SAMPLING METHOD	: Thin walled (shelby) tube

Depth (m)	Depth of GWL	SPT (N) N_1	N_2	N_3	N	Sample UDS	% of Core	SOIL SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	ELEVATION (m)
0										0
1		1	1	1	2		100%		Lempung kepasiran, warna abu - abu kehitaman *consistency soft*	-1
2							100%		Lempung kelanauan kepasiran, warna abu-abu kehitaman *consistency soft*	-2
3	GWL						100%		Lempung kelanauan kepasiran, warna coklat abu - abu *consistency soft*	-3
4		4	4	5	9	3,5-4,0 UDS				-4
5		7	7	9	16		100%		Lempung kelanauan kepasiran, warna coklat kekuningan *consistency stiff*	-5
6		6	7	7	14		100%		Pasir sedikit lanau, warna abu - abu kehitaman *relative density medium*	-6
7										-7
8							100%		Lanau kepasiran kelempungan ,abu - abu kecoklatan hitaman *consistency stiff*	-8
9										-9
10		5	6	8	14	9,5-10,0 UDS				-10
11										-11
12		4	5	5	10		100%		Lempung kepasiran, warna abu - abu kehitaman *consistency stiff*	-12
13										-13
14		5	6	7	13	13,5-14,0 UDS				-14
15		15	25	29	54		100%		Lempung sedikit kerikil putih, warna abu - abu kehitaman *consistency stiff*	-15
16							100%		Pasir dan lanau (batuan lanau) *cemented*, warna abu abu *consistency hard*	-16
17		17	27	38	> 60		100%		Lanau kepasiran kelempungan , warna coklat *consistency hard*	-17
18				2 cm			100%		Pasir dan lanau (batuan lanau) *cemented*, warna abu abu *consistency hard*	-18
19		16	30	32	> 60		100%		Lanau kepasiran kelempungan , warna abu - abu keputihan *consistency hard*	-19
20				3 cm			100%		Lanau kepasiran kelempungan , warna coklat kekuningan *consistency hard*	-20
21		21	35	-	> 60		100%		Lanau kepasiran, warna coklat keabuan *consistency hard*	-21
22			5 cm				100%		Pasir dan lanau (batuan lanau) *cemented*, warna abu abu *consistency hard*	-22
23		19	40	36	> 60		100%		Pasir, warna hitam *relative density very dense*	-23
24				3 cm			100%		Lanau kepasiran, warna abu - abu kecoklatan, *hard*	-24
25		18	38	36	> 60		100%		Pasir, warna abu - abu kehitaman *relative density very dense*	-25
26				2 cm			100%		Pasir dan lanau (batuan lanau) *cemented*, abu abu coklatan *consistency hard*	-26
27		25	40	39	> 60		100%		Pasir, warna abu - abu *relative density very dense*	-27
28				2 cm						-28
29		26	30	33	> 60					-29
30				2 cm					*stop drilling*	-30

1 of 1

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang Kotak Pos 6199/SMS Semarang 50275
Phone. 024-7478271 Email. projas.sipil@gmail.com

REKAPITULASI HASIL UJI LABORATORIUM
PROYEK FLY OVER PURWOSARI - SOLO

Bore Hole	Depth (m)	Spesific gravity	Density		wn %	e	n	sr %	Direct Shear		Atterberg limits				Grain Size						
		Gs	γm (gr/cm³)	γd (gr/cm³)					c (kg/cm2)	Φ (deg)	LL %	PL %	IP %	Plasticity chart	% finer weight passing no. 200 sieve	Butiran < 2 µm (0.002mm)	Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %	Activity
BH. 1	3.50 - 4.00	2.72	1.57	1.12	40.77	1.43	0.59	77.25	0.1926	44.20	41.90	26.21	15.69	ML or OL	59.06	6.87	2.66	38.28	52.18	6.87	2.283
	7.00 - 7.50	2.71	1.90	1.47	29.46	0.85	0.46	94.56	0.1109	43.50	NON PLASTIS				57.26	6.07	4.57	38.16	51.19	6.07	-
BH. 2	3.50 - 4.00	2.54	1.61	1.03	56.51	1.47	0.59	97.66	0.1746	45.15	63.40	37.68	25.72	MH or OH	80.83	9.41	1.26	17.91	71.42	9.41	2.734
	13.50 - 14.00	2.60	1.61	1.06	51.53	1.45	0.59	92.72	0.4443	25.43	104.10	39.61	64.49	CH	97.43	70.55	0.51	2.06	26.88	70.55	0.914
BH. 3	3.50 - 4.00	2.64	1.68	1.22	37.49	1.15	0.54	85.70	0.2870	25.43	49.70	29.45	20.25	ML or OL	71.64	8.34	0.77	27.59	63.30	8.34	2.429
	9.50 - 10.00	2.51	1.55	0.90	73.29	1.81	0.64	100.00	0.1439	34.51	53.40	30.54	22.86	MH or OH	78.94	7.56	0.66	20.40	71.38	7.56	3.023
	13.50 - 14.00	2.65	1.67	1.14	46.25	1.32	0.57	92.99	0.5056	34.50	98.30	39.63	58.67	CH	91.71	58.85	0.60	7.69	32.86	58.85	0.997

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA
BALAI BESAR PELAKSANAAN JALAN NASIONAL VII
SATKER PERENCANAAN DAN PENGAWASAN JALAN NASIONAL PROVINSI JAWA TENGAH

PEKERJAAN
PERENCANAAN TEKNIS JEMBATAN PURWOSARI CS.
TAHUN 2017

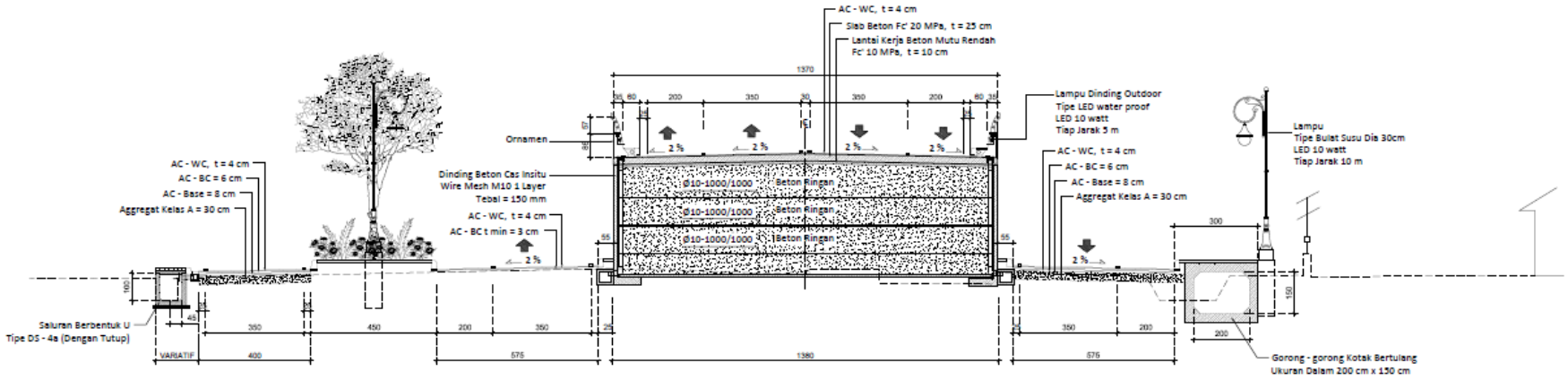
PAKET	PROVINSI	NO. LINK
10	JAWA TENGAH	
LOKASI	FLYOVER PURWOSARI KOTA SURAKARTA	

KONSULTAN PERENCANA
PT. ADHIYASA DISICON SEMARANG
PT. PRIMA CIPTA KARSA

DIGAMBAR	DIRENCANA	DISETUJUI
DRAFTMAN	STRUCTURE ENGINEER	TEAM LEADER
Adi Kusnari, Amd	M. Fahmi Noor Amin, ST	Ir. Agus Prasetyo

JUDUL GAMBAR :
TIPIKAL POTONGAN MELINTANG TIPE 2
STA. 1+450 - 1+653

NO. GAMBAR : 8 - 3
SKALA :



TIPIKAL POTONGAN MELINTANG TIPE 2
STA. 1+450 - 1+653
SKALA 1 : 150

Activa
Go to Se