



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PERKUATAN DAYA DUKUNG TANAH LUNAK
DENGAN GEOSINTETIK MENGGUNAKAN PEMODELAN
PERANGKAT LUNAK (PROGRAM PLAXIS)**

SKRIPSI

DAVID MARATUR FERNANDO SIJABAT

0606072143

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**



950/FT.01/SKRIP/07/2010

UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PERKUATAN DAYA DUKUNG TANAH LUNAK
DENGAN GEOSINTETIK MENGGUNAKAN PEMODELAN
PERANGKAT LUNAK (PROGRAM PLAXIS)**

SKRIPSI

DAVID MARATUR FERNANDO SIJABAT

0606072143


**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : David Maratur Fernando Sijabat

NPM : 0606072143

Tanda Tangan : 

Tanggal : 07 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : David Maratur Fernando Sijabat
NPM : 0606072143
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Perkuatan Daya Dukung Tanah Lunak Dengan Geosintetik Menggunakan Pemodelan Perangkat Lunak (Program PLAXIS)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc

Pembimbing 2 : Ir. Widjojo A Prakoso, M.Sc, Ph.D

Penguji : Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng

Penguji : Dr. Ir. Wiwik Rahayu, DEA

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 07 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan kasih-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaga dan memberikan banyak pengajaran hingga skripsi ini selesai.
2. Ir. Widjojo A Prakoso, MSc, Phd selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak masukan dalam penulisan skripsi ini serta mengajarkan cara menyusun pemikiran yang sistematis hingga skripsi ini selesai.
3. Orangtua, adik-adik, kel. Togar S.M. Sijabat dan kel. Parlin Panjaitan yang telah memberikan motivasi, bantuan serta doa kepada saya selama ini.
4. Sahabat-sahabat saya yang tidak pernah berhenti menyemangati penulisan skripsi ini (Doli Maringan, Jefry H. Sandy dan Yanward V.)
5. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil 2006 Universitas Indonesia yang selama ini saling memberikan dukungan satu sama lain.
6. Penghuni Kepodang 2 (Dennis Defri, Bayu Adikusumo, Pudia Prisantidhi dan Irawan Yudha Arianto) atas tempat dan suasana yang nyaman menyelesaikan skripsi ini.
7. Terkhusus kepada Herly Firma dan Veronica Yusniar yang telah mendukung dan menyemangati penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, dengan selesainya penulisan skripsi ini, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pembacanya. Semoga Tuhan Yesus Kristus senantiasa mencurahkan berkat dan kasih-Nya kepada kita semua.

Depok, 07 Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : David Maratur Fernando Sijabat
NPM : 0606072143
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISA PERKUATAN DAYA DUKUNG TANAH LUNAK DENGAN
GEOSINTETIK MENGGUNAKAN PEMODELAN PERANGKAT LUNAK
(PROGRAM PLAXIS)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 07 Juli 2010

Yang menyatakan



(David Maratur Fernando Sijabat)

ABSTRAK

Nama : David Maratur Fernando Sijabat
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisa Perkuatan Daya Dukung Tanah Lunak Dengan Geosintetik Menggunakan Pemodelan Perangkat Lunak (Program PLAXIS)

Timbunan yang dibangun di atas tanah lunak memiliki kecenderungan mengalami kegagalan pada tanah dasarnya (*bearing failure*). Hal tersebut diakibatkan tanah lunak mempunyai daya dukung yang rendah untuk memikul beban konstruksi. Apabila akan dibangun timbunan yang harus selesai dalam waktu yang relatif cepat dan harus ditimbun di atas tanah lunak, dapat diatasi dengan melakukan perkuatan tanah menggunakan bahan geosintetik dengan tarik tinggi pada dasar timbunan, sehingga meningkatkan daya dukung tanah lunak (*bearing capacity*) dan stabilitas timbunan. Analisa menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS untuk mencari nilai faktor keamanan, deformasi dan perubahan tegangan pada timbunan yang dibangun di atas tanah lunak yang diperkuat dengan geosintetik.

Kata kunci: Tanah Lunak, Geosintetik, PLAXIS.

ABSTRACT

Name : David Maratur Fernando Sijabat
Study Program : Civil Engineering
Title : Bearing Capacity Analysis of Soft Soil Reinforced by
Geosynthetic With PLAXIS Modelling Software

Embankment built on soft soil has a tendency to fail on the land base (bearing failure). This is due to the soft soil has low bearing capacity to carry the burden of construction. If the embankment will be constructed to be completed in a relatively fast and must be built on the soft soil, can be mitigated by the geosynthetic soil reinforcement using materials with high tensile at the bottom of the embankment, thus increasing the bearing capacity of soft soil and the stability of the embankment. Analysis using the finite element method with the aid of software PLAXIS to find the value of safety factor, deformation and stress changes in the embankment built on soft soil reinforced by geosynthetic.

Keywords: Soft soil, Geosynthetic, PLAXIS.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 MAKSUD & TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	2
1.4 METODE PENELITIAN	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1 KARAKTERISTIK TANAH	5
2.1.1 Karakteristik Tanah Berbutir Halus	6
2.1.2 Karakteristik Tanah Berbutir Kasar	7
2.2 TEGANGAN DALAM TANAH.....	8
2.2.1 Prinsip Tegangan Efektif.....	8
2.2.2 Tegangan Horizontal	10
2.3 KEKUATAN GESER TANAH LEMPUNG.....	11
2.4 ELASTISITAS PADA TANAH LEMPUNG	13
2.5 STABILITAS LERENG	15
2.5.1 Analisis Kesetimbangan Momen	17
2.5.2 Timbunan Pada Tanah Lunak	18
2.6 MATERIAL GEOSINTETIK	18
2.6.1 Definisi Geotekstil.....	19
2.6.2 Karakteristik Geotekstil.....	22
2.6.3 Geotekstil untuk Perkuatan (<i>Reinforcement</i>).....	22
2.6.4 Friksi yang Terjadi pada Tanah dan Geotekstil	24
2.6.4.1 Tipe Friksi (<i>Shear Type</i>).....	24
2.6.4.2 Perilaku Friksi (<i>Friction Behaviour</i>).....	25
2.7 PLAXIS	26
2.7.1 Definisi PLAXIS	26
2.7.2 Analisis Permodelan Pada PLAXIS	28
2.7.3 Sub-program PLAXIS	28
2.7.3.1 Program input.....	28
2.7.3.2 Program Calculation	30
2.7.3.3 Program Output.....	31

2.7.3.4 Program Curve	32
BAB 3 METODE PENELITIAN	33
3.1 PEMILIHAN KASUS	33
3.2 DIAGRAM ALIR SISTEMATIKA Pengerjaan Skripsi dan DIAGRAM ALIR ANALISIS MENGGUNAKAN PLAXIS V8	35
BAB 4 PEMBAHASAN	39
4.1 PENDAHULUAN	39
4.2 HASIL PEMODELAN BEBERAPA KASUS	43
4.2.1 Hasil Analisis Kasus 1 ($D_1 = 4$ meter, $\phi = 0^\circ$, tanpa geotekstil)	44
4.2.1.1 Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)	44
4.2.1.2 Deformasi Vertikal	50
4.2.1.3 Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran	55
4.2.2 Hasil Analisis Kasus 2 ($D_1 = 4$ meter, $\phi = 0^\circ$, dengan geotekstil) ..	56
4.2.2.1 Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)	56
4.2.2.2 Deformasi Vertikal	62
4.2.2.3 Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran	68
4.2.3 Hasil Analisis Kasus 9 ($D_1 = 12$ meter, $\phi = 0^\circ$, tanpa geotekstil) ...	69
4.2.3.1 Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)	69
4.2.3.2 Deformasi Vertikal	75
4.2.3.3 Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran	81
4.2.4 Hasil Analisis Kasus 10 ($D_1 = 12$ meter, $\phi = 0^\circ$, dengan geotekstil)	82
4.2.4.1 Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)	82
4.2.4.2 Deformasi Vertikal	89
4.2.4.3 Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran	95
4.3 ANALISA PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH LUNAK DENGAN PERKUATAN GEOSINTETIK	96
BAB 5 PENUTUP	99
5.1 KESIMPULAN	99
5.2 SARAN	102
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rentang ukuran partikel, British Standard (R.F. Craig,1991)	5
Gambar 2. 2 Bagan plastisitas (Bradja M. Das,1991)	6
Gambar 2. 3 Interpretasi tegangan efektif (R.F. Craig).....	9
Gambar 2. 4 Tipe-tipe kelongsoran lereng (R.F. Craig).....	16
Gambar 2. 5 Analisa stabilitas lereng.....	18
Gambar 2. 6 Geotekstil woven dan Non-woven	19
Gambar 2. 7 Tipe-tipe serat polimer yang digunakan pada geotekstil	20
Gambar 2. 8 Klasifikasi Geosintetik (Rankilor, 1981).....	21
Gambar 2. 9 Pengujian dan tes hasil friksi pada tanah berpasir dengan geotekstil (Koerner, 1994)	25
Gambar 2. 10 Model plane strain dan axisymmetric	26
Gambar 2. 11 Posisi nodal dan stress point pada elemen tanah.....	27
Gambar 3. 1 Geometri pemodelan	35
Gambar 4. 1 Pemodelan Geometrik pada Input PLAXIS	41
Gambar 4. 2 Input parameter umum tanah pada PLAXIS	42
Gambar 4. 3 Input properti parameter tanah pada PLAXIS	42
Gambar 4. 4 Tahapan perhitungan	43
Gambar 4. 5 Bidang tinjauan	44
Gambar 4.6. a Tegangan total model 1 , tahap awal (maks - 252 kN/m ²)	44
Gambar 4.6. b Tegangan total model 1, tahap 1 (maks - 269,06 kN/m ²).....	45
Gambar 4.6. c Tegangan total model 1, tahap 2 (maks - 285,15 kN/m ²)	45
Gambar 4.6. d Tegangan total model 1, tahap 3 (maks - 299,69 kN/m ²).....	45
Gambar 4.6. e Tegangan total model 1, tahap 4 (maks - 312 kN/m ²).....	46
Gambar 4.6. f Tegangan total model 1, tahap 5 (maks - 321,34 kN/m ²)	46
Gambar 4.6. g Tegangan total model 1, tahap pembebanan (maks - 328,84 kN/m ²).....	46
Gambar 4. 7 Potongan A-A' untuk tegangan total	47
Gambar 4. 8 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 1	50
Gambar 4. 9 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg	

model 1	51
Gambar 4.10. a Deformasi vertikal model 1 kondisi awal (0m).....	52
Gambar 4.10. b Deformasi vertikal model 1 tahap 1 (maks $4,05 \times 10^{-3}$ m).....	52
Gambar 4.10. c Deformasi vertikal model tahap 2 (maks $9,05 \times 10^{-3}$ m)	52
Gambar 4.10. d Deformasi vertikal model 1 tahap 3 (maks $14,97 \times 10^{-3}$ m).....	53
Gambar 4.10. e Deformasi vertikal model 1 tahap 4 (maks $21,15 \times 10^{-3}$ m)	53
Gambar 4.10. f Deformasi vertikal model 1 tahap 5 (maks $27,36 \times 10^{-3}$ m).....	53
Gambar 4.10. g Deformasi vertikal model 1 tahap pembebanan (maks $39,11 \times 10^{-3}$ m)	54
Gambar 4. 11 Deformasi Vertikal model 1 terhadap potongan melintang timbunan.....	56
Gambar 4. 12 Bentuk kelongsoran yang terjadi pada tahap akhir (Base Failure, FK = 1,082)	57
Gambar 4.13. a Tegangan total model 2 tahap awal (maks -243 kN/m^2)	58
Gambar 4.13. b Tegangan total model 2 tahap 1 (maks -253 kN/m^2)	58
Gambar 4.13. c Tegangan total model 2 tahap 2 (maks $-270,87 \text{ kN/m}^2$)	59
Gambar 4.13. d Tegangan total model 2 tahap 3 (maks $-287,64 \text{ kN/m}^2$).....	59
Gambar 4.13. e Tegangan total model 2 tahap 4 (maks $-302,65 \text{ kN/m}^2$)	59
Gambar 4.13. f Tegangan total model 2 tahap 5 (maks $-315,36 \text{ kN/m}^2$)	60
Gambar 4.13. g Tegangan total model 2 tahap 6 (maks $-325,46 \text{ kN/m}^2$).....	60
Gambar 4.13. h Tegangan total model 2 tahap pembebanan (maks $-334,05 \text{ kN/m}^2$).....	60
Gambar 4. 14 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 2.....	62
Gambar 4. 15 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 2.....	63
Gambar 4.16. a Deformasi vertikal model 2 tahap awal (0m)	64
Gambar 4.16. b Deformasi vertikal model 2 tahap 1 (maks $188,97 \times 10^{-6}$ m) ...	64
Gambar 4.16. c Deformasi vertikal model 2 tahap 2 (maks $3,89 \times 10^{-3}$ m)	65
Gambar 4.16. d Deformasi vertikal model 2 tahap 3 (maks $8,35 \times 10^{-3}$ m).....	65
Gambar 4.16. e Deformasi vertikal model 2 tahap 4 (maks $13,33 \times 10^{-3}$ m)	65
Gambar 4.16. f Deformasi vertikal model 2 tahap 5 (maks $18,19 \times 10^{-3}$ m).....	66

Gambar 4.16. g Deformasi vertikal model 2 tahap 6 (maks $22,56 \times 10^{-3}$ m)	66
Gambar 4.16. h Deformasi vertikal model 2 tahap pembebanan (maks $26,78 \times 10^{-3}$ m)	66
Gambar 4. 17 Deformasi Vertikal terhadap potongan melintang timbunan.....	69
Gambar 4. 18 Bentuk kelongsoran yang terjadi pada tahap akhir model 2 (FK = 2,145).....	70
Gambar 4.19. a Tegangan total model 9 tahap awal (maks -396 kN/m^2)	71
Gambar 4.19. b Tegangan total model 9 tahap 1 (maks $-410,18 \text{ kN/m}^2$).....	71
Gambar 4.19. c Tegangan total model 9 tahap 2 (maks $-422,91 \text{ kN/m}^2$)	72
Gambar 4.19. d Tegangan total model 9 tahap 3 (maks $-433,88 \text{ kN/m}^2$).....	72
Gambar 4.19. e Tegangan total model 9 tahap 4 (maks $-442,09 \text{ kN/m}^2$)	72
Gambar 4.19. f Tegangan total model 9 tahap 5 (maks $-446,72 \text{ kN/m}^2$)	73
Gambar 4.19. g Tegangan total model 9 tahap pembebanan (maks $-452,73 \text{ kN/m}^2$).....	73
Gambar 4. 20 Grafik pengaruh tegangan model 9 pada tahapan timbunan tanah	76
Gambar 4. 21 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 9.....	77
Gambar 4.22. a Deformasi vertikal model 9 tahap awal (0 m).....	78
Gambar 4.22. b Deformasi vertikal model 9 tahap 1 ($8,11 \times 10^{-3}$ m).....	78
Gambar 4.22. c Deformasi vertikal model 9 tahap 2 ($17,13 \times 10^{-3}$ m)	79
Gambar 4.22. d Deformasi vertikal model 9 tahap 3 ($26,45 \times 10^{-3}$ m).....	79
Gambar 4.22. e Deformasi vertikal model 9 tahap 4 ($36,53 \times 10^{-3}$ m)	79
Gambar 4.22. f Deformasi vertikal model 9 tahap 5 ($51,56 \times 10^{-3}$ m).....	80
Gambar 4.22. g Deformasi vertikal model 9 tahap pembebanan ($149,97 \times 10^{-3}$ m)	80
Gambar 4. 23 Deformasi Vertikal model 9 terhadap potongan melintang timbunan.....	83
Gambar 4. 24 Bentuk kelongsoran model 9 yang terjadi pada tahap akhir (Base failure, FK = 0,992).....	84
Gambar 4.25. a. Tegangan total model 10 tahap awal (maks -387 kN/m^2)	85
Gambar 4.25. b. Tegangan total model 10 tahap 1 (maks -397 kN/m^2).....	85

Gambar 4.25. c. Tegangan total model 10 tahap 2 (maks -411,64 kN/m ²)	86
Gambar 4.25. d. Tegangan total model 10 tahap 3 (maks -424,73 kN/m ²).....	86
Gambar 4.25. e. Tegangan total model 10 tahap 4 (maks -436 kN/m ²).....	86
Gambar 4.25. f. Tegangan total model 10 tahap 5 (maks -445,01 kN/m ²).....	87
Gambar 4.25. g. Tegangan total model 10 tahap 6 (maks -450,59 kN/m ²).....	87
Gambar 4.25. h. Tegangan total model 10 tahap pembebanan (maks -456,04 kN/m ²).....	87
Gambar 4. 26 Grafik pengaruh tegangan model 10 pada tahapan timbunan tanah.....	90
Gambar 4. 27 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 10.....	91
Gambar 4.28. a Deformasi vertikal model 10 Tahap awal (0 m)	92
Gambar 4.28. b Deformasi vertikal model 10 Tahap 1 (346,86 x 10 ⁻⁶ m).....	92
Gambar 4.28. c Deformasi vertikal model 10 tahap 2 (8,16 x 10 ⁻³ m)	93
Gambar 4.28. d Deformasi vertikal model 10 tahap 3 (16,59 x 10 ⁻³ m).....	93
Gambar 4.28. e Deformasi vertikal model 10 tahap 4 (24,91 x 10 ⁻³ m).....	93
Gambar 4.28. f Deformasi vertikal model 10 tahap 5 (32,92 x 10 ⁻³ m).....	94
Gambar 4.28. g Deformasi vertikal Model 10 Tahap 6 (41,82 x 10 ⁻³ m).....	94
Gambar 4.28. h Deformasi vertikal model 10 tahap pembebanan (51,64 x 10 ⁻³ m)	94
Gambar 4. 29 Deformasi Vertikal model 10 terhadap potongan melintang timbunan	97
Gambar 4.30 Bentuk kelongsoran model 10 yang terjadi pada tahap akhir (bearing failure, FK = 1,404).....	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai C_u	13
Tabel 2. 2 Nilai E_s Tanah.....	14
Tabel 2. 3 Jangkauan nilai nilai poisson μ	15
Tabel 3. 1 Matriks variasi percobaan	34
Tabel 4. 1 Variabel pembanding	39
Tabel 4. 2 Parameter tanah lunak dan timbunan.....	40
Tabel 4. 3 Nilai tegangan total model 1 pada garis potongan yang ditinjau dengan PLAXIS	47
Tabel 4. 4 Pengaruh tegangan model 1 akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS.....	48
Tabel 4. 5 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg pada model 1	49
Tabel 4. 6 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 1	53
Tabel 4. 7 Pengaruh tegangan model 2 akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS.....	59
Tabel 4. 8 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 2.....	61
Tabel 4. 9 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 2	65
Tabel 4. 10 Pengaruh tegangan akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS model 9.....	71
Tabel 4. 11 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 9.....	74
Tabel 4. 12 Deformasi vertikal model 9 pada tiap tahapan timbunan	78
Tabel 4. 13 Pengaruh tegangan akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS model 10.....	85
Tabel 4. 14 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 10.....	87
Tabel 4. 15 Deformasi vertikal model 10 pada tiap tahapan timbunan.....	92
Tabel 4. 16 Hasil keseluruhan pemodelan.....	96

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pembangunan suatu konstruksi jalan, bendungan dan tanggul, sering kali berhadapan dengan masalah yang kompleks jika harus dibangun pada daerah rawa atau tanah lempung lunak dengan muka air yang dangkal atau lebih tinggi dari permukaan tanah setempat (tergenang) sehingga perlu dilakukan pekerjaan timbunan sebelum konstruksi lain didirikan. Namun dengan adanya tambahan beban dan rendahnya kuat geser *undrained* serta besarnya kompresibilitas sering kali menimbulkan masalah stabilitas dan penurunan pada dasar tanah dasar.

Timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak ke arah lateral oleh akibat tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Jika tanah lempung lunak ini tidak menahan tegangan geser tersebut, maka timbunan dapat mengalami keruntuhan. Kelongsoran yang mungkin terjadi pada konstruksi timbunan tinggi adalah kelongsoran eksternal dan kelongsoran internal. Pada skripsi ini penulis akan membahas mengenai kelongsoran eksternal, yaitu kegagalan pada tanah lempung lunak yang menjadi pondasi timbunan.

Apabila dihadapkan pada sebuah kasus penimbunan harus selesai dalam waktu secepat mungkin dan harus ditimbun di atas tanah lempung lunak, maka untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan perkuatan tanah. Salah satu contohnya adalah dengan menggunakan geosintetik dengan tarik tinggi pada dasar timbunan, sehingga menambah stabilitas timbunan tersebut. Penggunaan geosintetik banyak digunakan pada perbaikan tanah dasar lempung lunak pada konstruksi timbunan dalam usaha meningkatkan daya dukungnya.

Untuk menyederhanakan perhitungan, dapat menggunakan bantuan komputer. Salah satu program yang tersedia adalah PLAXIS. Dengan penggunaan program ini, diharapkan proses analisis yang telah dimodelkan mendapatkan data yang diperlukan dengan lebih cepat dan akurat. Dalam program PLAXIS ini,

bukan hanya nilai dari faktor keamanan yang didapatkan, tetapi juga didapat nilai deformasi, perubahan tegangan dan bentuk keruntuhan.

1.2 MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Maksud dari penulisan seminar skripsi ini adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak yang dibangun timbunan di atasnya, dengan perkuatan berupa geosintetik. Sedangkan tujuan dari penulisan seminar skripsi ini adalah mendapatkan nilai keamanan, besarnya deformasi dan perubahan tegangan yang terjadi pada suatu tanah lunak setelah diberikan perkuatan berupa geosintetik.

1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Lingkup penelitian pada seminar skripsi ini adalah analisa mengenai perkuatan daya dukung tanah lunak dengan geosintetik dengan bervariasi properti tanah (sudut geser) dan bentuk geometri (ketebalan tanah lempung lunak). Permodelan ini ditinjau pada tanah lunak yang di atasnya dibangun timbunan dari lempung yang telah dipadatkan. Dalam kasus ini akan ditentukan nilai faktor keamanan, bentuk keruntuhan, deformasi dan perubahan tegangan yang terjadi pada tanah lunak dengan bervariasi ketebalan tanah lempung lunak, nilai ϕ tanah lempung lunak dan penggunaan geosintetik, sehingga didapat sebuah timbunan yang memiliki kestabilan yang diinginkan.

1.4 METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang digunakan pada penulisan seminar skripsi ini adalah:

- Pada penelitian ini akan dilakukan berbagai macam variasi pemodelan. Adapun variasi yang dilakukan adalah properti tanah, yaitu ketebalan tanah lempung lunak, nilai ϕ tanah lempung lunak dan penggunaan geosintetik.

- Metode numerik dengan menggunakan analisa program PLAXIS. PLAXIS adalah alat bantu hitung yang menggunakan sistem elemen hingga yang digunakan untuk menganalisa nilai faktor keamanan, deformasi dan perubahan tegangan.
- Analisa dari hasil program PLAXIS untuk parameter-parameter yang telah digunakan dalam bentuk grafik sehingga didapat nilai faktor keamanan, bentuk keruntuhan, deformasi dan perubahan tegangan dari masing-masing variasi pemodelan.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika seminar skripsi ini terdiri atas 4 bab yang terbagi atas:

a. Bab 1 : Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan berbagai hal yang berkaitan dengan penulisan skripsi ini, meliputi latar belakang penelitian, maksud dan tujuan penulisan, ruang lingkup penelitian, metode penelitian dan sistematika yang dipakai dalam penulisan skripsi.

b. Bab 2 : Studi Literatur

Dalam bab 2, berisi studi literatur sebagai teori dasar pemaparan dan penjelasan masalah pada bab selanjutnya. Dalam bab ini di antaranya akan dibahas mengenai landasan teori tentang tanah, stabilitas lereng, material geosintetik dan program PLAXIS yang akan digunakan, berkaitan dengan kasus yang dibahas.

c. Bab 3: Metode Penelitian

Penulis melakukan penelitian mengenai perkuatan daya dukung tanah lempung lunak dengan perkuatan geosintetik pada timbunan akibat pembangunan diatas tanah lunak dalam waktu singkat. Metode penelitian yang digunakan adalah analisa dengan menggunakan program PLAXIS.

d. Bab 4 : Pembahasan

Pada bab ini peneliti akan menampilkan beberapa permodelan timbunan di atas tanah lempung lunak dengan perkuatan berupa geosintetik dan hasil dari penelitian berupa nilai faktor keamanan, bentuk keruntuhan, deformasi dan perubahan tegangan yang dihasilkan dari penelitian.

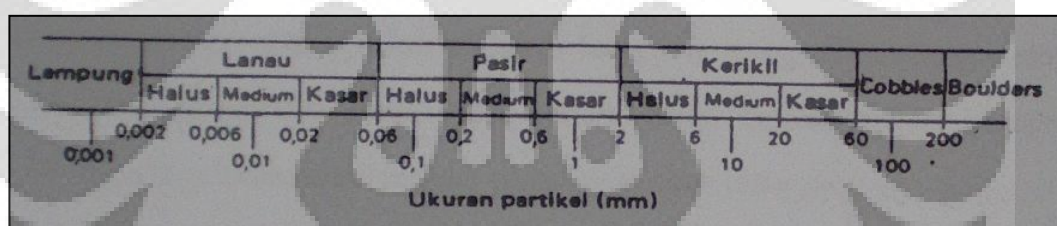


BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 KARAKTERISTIK TANAH

Ukuran partikel tanah sangat beragam, yaitu antara pada ukuran lebih besar dari 100 mm sampai kurang dari 0,001 mm. Pada gambar 2.1 ditunjukkan rentang ukuran partikel tanah berdasarkan *British Standard*. Dalam gambar tersebut, istilah lempung (*clay*), lanau (*silt*) dan lain-lain dipakai untuk mendeskripsikan ukuran partikel pada batas-batas tertentu. Tetapi istilah yang sama juga dipakai untuk mendeskripsikan jenis tanah penting yang lain. Sebagai contoh; lempung adalah salah satu tanah yang memiliki kohesi dan plastisitas serta ukuran partikelnya termasuk dalam rentang ukuran 'lempung lanau', lihat gambar dibawah ini. Jika proporsi lanau cukup besar, tanah tersebut dapat dikatakan sebagai lempung kelanauan (*silty clay*). (R.F. Craig, 1991)



Gambar 2. 12 Rentang ukuran partikel, British Standard (R.F. Craig, 1991)

Pada umumnya jenis tanah terdiri dari campuran berbagai rentang ukuran, dan biasanya lebih dari dua rentang ukuran. Namun partikel yang berukuran lempung tidak selalu merupakan mineral lempung, bubuk batu yang paling halus mungkin berukuran partikel lempung. Jika mineral lempung terdapat pada suatu tanah, biasanya akan dapat mempengaruhi sifat tanah tersebut, meskipun persentasenya tidak terlalu besar.

Secara umum, tanah disebut kohesif bila partikel-partikelnya yang saling melekat setelah dibasahi, kemudian dikeringkan maka diperlukan gaya yang

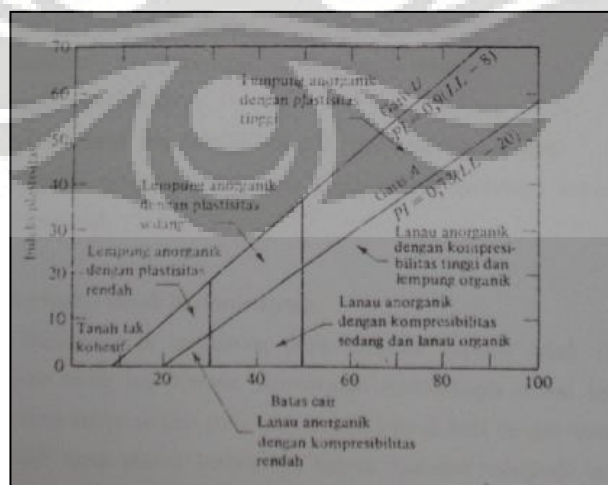
cukup besar untuk meremas tanah tersebut, ini tidak termasuk tanah yang partikel-partikelnya saling melekat ketika dibasahi akibat tegangan permukaan.

Tanah yang partikelnya terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir disebut tanah berbutir kasar (*coarse grained*) sebaliknya, bila partikelnya kebanyakan berukuran partikel lempung dan lanau, disebut tanah berbutir halus (*fine grained*).

2.1.1. Karakteristik Tanah Berbutir Halus

Karakteristik tanah berbutir halus sangat bergantung pada karakteristik dari mineral. Fraksi yang semakin halus secara berturut-turut membentuk endapan dengan porositas yang semakin tinggi. Fraksi kasar kuarsa tidak memiliki kohesi sama sekali, tetapi semakin berkurang ukuran butiran kuarsa berarti akan semakin bertambah sifat kohesi kuarsa tersebut. Meskipun begitu, fraksi terhalus sekalipun tidak menunjukkan keplastisan, yaitu kemampuan mengalami proses “penggulungan” dalam suatu batasan-batasan kadar air tertentu.

Sedangkan fraksi lempung yang memiliki kedua sifat baik itu kohesi maupun plastis. Sifat plastis dari suatu tanah disebabkan oleh air yang terserap disekeliling permukaan partikel lempung (adsorbed water). Maka dapat diharapkan bahwa tipe dan jumlah mineral lempung yang dikandung dalam suatu tanah akan mempengaruhi batas cair tanah yang bersangkutan. Gambar dibawah ini akan menunjukkan nilai indeks plastisitas dari lempung dan lanau.



Gambar 2. 2 Bagan plastisitas (Bradja M. Das,1991)

Dalam gambar terlihat bahwa ada suatu garis di atas garis A yang dinamakan garis U. Garis U ini merupakan batas atas perkiraan dari hubungan antara indeks plastisitas dan batas cair untuk semua tanah yang telah ditemukan selama ini. Persamaan garis U adalah sebagai berikut:

$$PI = 0.9(LL - 8) \dots\dots\dots 2.1$$

Fungsi lain dari garis A dan garis U adalah untuk menentukan batas susut tanah. Seperti telah disarankan oleh Casagrande bahwa apabila indeks plastisitas dan batas cair dari suatu tanah diketahui, maka batas susut dari tanah yang bersangkutan dapat ditentukan secara kira-kira. (Bradja M. Das, 1991)

Dalam permasalahan teknik sipil, partikel lempung akan senantiasa nersentuhan dengan air. Interaksi antar partikel lempung, air dan bermacam-macam bahan yang terlarut dalam air menjadi faktor penentu yang utama bagi sifat-sifat tanah yang tersusun dari partikel-partikel tersebut.

Tanah berbutir halus umumnya mempunyai sifat –sifat sebagai berikut:

1. Dapat terkonsolidasi dalam jangka waktu yang lama
2. Mudah membengkak (swelling) apabila bersentuhan dengan air bebas akibatnya bertambahnya kadar air dan volume tanah
3. Lempung bersifat peka atau sensitif terhadap gangguan
4. Ukuran partikel < 0.075 mm
5. Mempunyai sifat kompresibilitas yang sangat rendah
6. Kekuatan geser tanah rendah
7. Porositas rendah atau bersifat kedap air (permeabilitas rendah)
8. Mempunyai tekanan lateral yang tinggi akibat rendahnya kekuatan geser material

2.1.2. Karakteristik Tanah Berbutir Kasar

Ukuran butiran tanah bergantung pada diameter partikel tanah yang membentuk massa tanah itu. Karena pemeriksaan makroskopis massa tanah menunjukkan bahwa hanya sedikit yang menyerupai bentuk bola dengan ukuran diameternya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa deskripsi

mengenai tanah agak longgar. Secara visual fraksi tanah berbutir kasar dapat dikenali secara langsung mengingat ukurannya yang besar.

Material tanah berbutir kasar paling banyak digunakan dalam konstruksi, karena sifat-sifatnya yang menguntungkan. Berikut ini antara lain sifat-sifat fraksi tanah berbutir kasar, yaitu:

1. Tidak mempunyai sifat kohesi.
2. Tingkat kompresibilitas yang tinggi dan nilai elastisitas yang besar, sehingga baik untuk material urugan. Material ini banyak dipakai untuk mengganti lapisan tanah yang buruk pada konstruksi jalan raya.
3. Porositas tinggi karena banyak mempunyai celah atau void dalam susunan strukturnya.
4. Dapat terkonsolidasi dalam waktu relatif cepat.
5. Partikel berukuran > 0.075 mm.

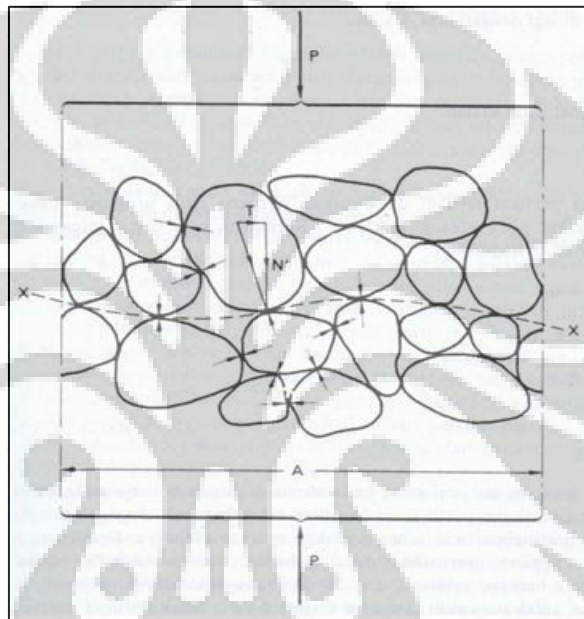
2.2. TEGANGAN DALAM TANAH

Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu kerangka partikel padat tanah (*solid skeleton*) yang membatasi pori-pori yang mana pori-pori tersebut mengandung air dan/atau udara. Volume kerangka tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat penyusunan kembali partikel-partikel padat pada posisinya yang baru, terutama dengan cara menggelinding dan menggelincir yang mengakibatkan terjadinya perubahan gaya-gaya yang bekerja di antara partikel-partikel tanah. Kompresibilitas kerangka tanah yang sesungguhnya tergantung pada susunan struktural partikel tanah tersebut. (R.F. Craig, 1991)

2.2.1. Prinsip Tegangan Efektif

Besarnya pengaruh gaya-gaya yang menjalar dari partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui sejak tahun 1923, ketika Terzaghi mengemukakan prinsip tegangan efektif yang didasarkan pada data hasil percobaan. Prinsip tersebut hanya berlaku untuk tanah jenuh sempurna. Tegangan-tegangan yang berhubungan dengan prinsip tersebut adalah:

1. Tegangan normal tanah (σ), pada bidang di dalam tanah, yaitu gaya per satuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja (fase tunggal)
2. Tekanan air pori (u), yaitu tekanan air pengisi pori-pori di antara partikel-partikel padat.
3. Tegangan normal efektif (σ'), pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijalarakan hanya melalui kerangka tanah saja



Gambar 2. 3 Interpretasi tegangan efektif (R.F. Craig, 1991)

Prinsip tersebut dapat diwakili oleh model fisis sebagai berikut. Tinjaulah sebuah 'bidang' XX pada suatu tanah jenuh sempurna yang melewati titik-titik singgung antar partikel, seperti terlihat pada gambar. Bidang XX yang bergelombang tersebut, dalam skala besar, sama dengan bentuk bidang yang sebenarnya karena ukuran partikel tanah relatif kecil. Sebuah gaya normal P yang bekerja pada bidang A sebagian ditahan oleh gaya-gaya antar partikel dan sebagian oleh tekanan pada air pori. Gaya-gaya antar partikel pada seluruh tanah, baik besar maupun arahnya, sangat tidak beraturan (acak), tetapi pada tiap titik singgung dengan bidang yang bergelombang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen gaya yang arahnya normal dan tangensial terhadap bidang XX yang sebenarnya.

Komponen normal dinyatakan dengan N' dan komponen tangensial dengan T . Tegangan normal efektif diinterpretasikan sebagai jumlah seluruh komponen N' di dalam luas A , yaitu:

$$\sigma' = \frac{\sum \sigma'}{A} \dots\dots\dots 2.2$$

Tegangan normal total adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.3$$

Jika di antara partikel-partikel diasumsikan terdapat titik singgung, maka tekanan air pori akan bekerja pada bidang seluas A . Kemudian agar dapat tercapai keseimbangan pada arah normal terhadap XX :

$$P = \sum \dot{N} + u \cdot A \dots\dots\dots 2.4$$

Atau

$$\frac{P}{A} = \frac{\sum \dot{N}}{A} + u \dots\dots\dots 2.5$$

Jadi:

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots 2.6$$

2.2.2. Tegangan Horizontal (Tegangan Lateral)

Dalam bidang hidrolika, diketahui bahwa tekanan pada benda cair memiliki nilai yang sama dalam segala arah; atas, bawah dan sisi. Namun berbeda dengan tanah, sangat jarang didapati lapisan tanah alam yang bagian dasarnya memiliki tegangan horizontal yang sama nilainya dengan tegangan vertikalnya. Adapun persamaan dari perbandingan tegangan horizontal dan vertikal adalah:

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana K_0 merupakan koefisien tekanan tanah. Karena permukaan air tanah dapat berfluktuasi sehingga dapat merubah nilai tegangan total, maka koefisien K_0 tidak konstan nilainya pada lapisan tanah. Untuk menghindari masalah muka air yang fluktuatif, perbandingan tegangan tersebut harus dalam keadaan kondisi efektif.

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \dots\dots\dots 2.8$$

K_0 adalah koefisien penting dalam bidang geoteknik. Biasa dinamakan “koefisien tekanan tanah dalam tanah diam” (*coefficient of earth pressure at rest*). Hal tersebut menyatakan kondisi tegangan dalam tanah berada dalam keadaan efektif dan tidak bergantung dari level muka air tanah. Bahkan jika kedalaman berubah, K_0 akan konstan selama dalam lapisan tanah dan kepadatan yang sama.

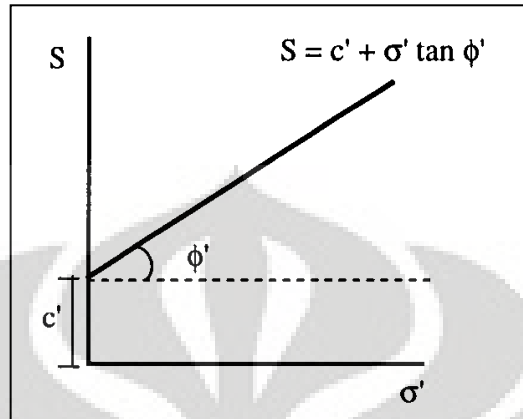
2.3. KEKUATAN GESER TANAH LEMPUNG

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh:

1. Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (c soil).
2. Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut geser dalam (ϕ soil).
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (c dan ϕ soil), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena ϕ).

Kuat geser dinyatakan dalam rumus:

$$S = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots 2.9$$



Dimana:

S = Kekuatan geser tanah

U = Tekanan air pori

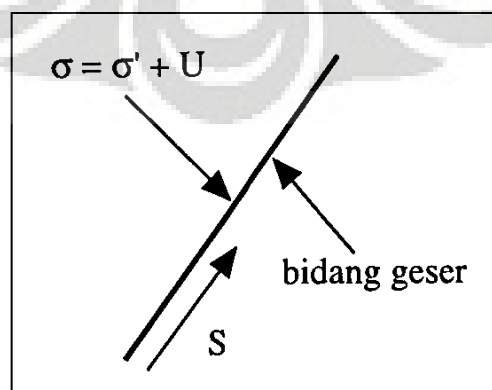
σ = Tegangan total

σ' = Tekanan efektif

ϕ' = Sudut geser dalam tanah efektif

c' = Kohesi

Hubungan antara tegangan total, tegangan efektif dan tekanan air pori adalah sebagai berikut:



Tabel 2. 4 Nilai Cu

Undrained Shear Strength	Su (kPa)	
Hard soil	Su > 150 kPa	
Stiff soil	Su = 75-150 kPa	
Firm soil	Su = 40-75 kPa	
Soft soil	Su = 20-40 kPa	
Very soft soil	Su < 20 kPa	
Drained shear strength	C' (kPa)	Φ (deg)
Compact sands	0	35°-45°
Loose sands	0	30°-35°
Unweathered overconsolidated clay		
Critical state	0	18°-25°
Peak state	10-25 kPa	20°-28°
Residual	0-5 kPa	8°-15°

Sumber: (Dr. Leslie Davison, University of the West of England, Bristol, May 2000 in association with Prof. Sarah Springman, Swiss Federal Technical Institute, Zurich)

2.4 ELASTISITAS PADA TANAH LEMPUNG

Modulus tegangan-regangan E_s dan rasio poisson μ adalah sifat-sifat elastis yang penting. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana:

E = modulus elastisitas (kN/m^2)

σ = tegangan (kN/m^2)

ε = regangan

Berikut adalah tabel nilai- nilai E_s untuk beberapa jenis tanah:

Tabel 2. 5 Nilai E_s Tanah

Soil	E_s , Mpa
Clay	
Vey soft	2-15
Soft	5-25
Medium	15-50
Hard	50-100
Sandy	25-250
Glacial till	
Loose	10-150
Dense	150-720
Very dense	500-1440
Loess	15-60
Sand	
Silty	5-20
Loose	10-25
Dense	50-81
Sand and Gravel	
Loose	50-150
Dense	100-200
Shale	150-5000
Silt	2-20

(sumber: J. E. Bowles,1996)

Nilai μ untuk beberapa jenis material diberikan pada tabel 2.2. Akan tetapi, nilai tanah itu sangat tidak menentu terhadap nilai-nilai pada tabel yang umumnya diperkirakan karena teramat sukar untuk membuat penentuan μ secara langsung. Berikut adalah tabel jangkauan nilai-nilai poisson μ .

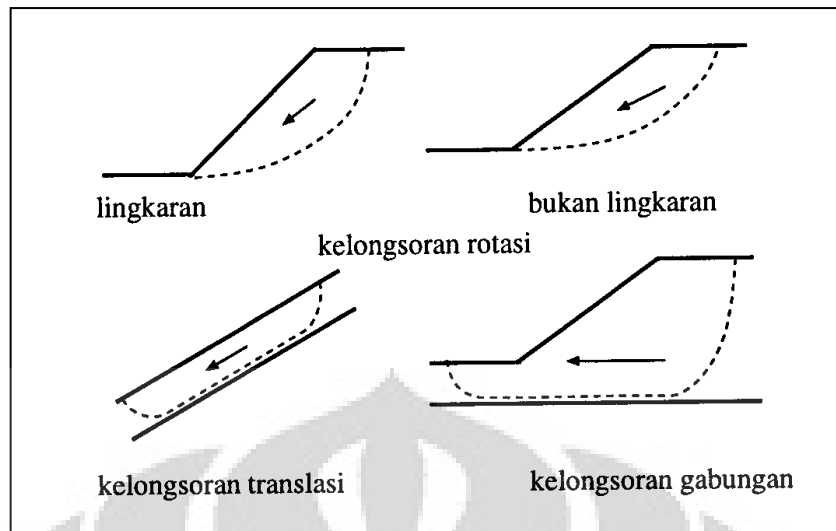
Tabel 2. 6 Jangkauan nilai nilai poisson μ

Type of Soil	μ
Clay, saturated	0.4-0.5
Clay, unsaturated	0.1-0.3
Sandy clay	0.2-0.3
Silt	0.3-0.35
Sand, gravelly sand	0.1-1.0
commonly used	0.3-0.4
Rock	0.1-0.4 (depends somewhat on what type of rock)
Loess	0.1-0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15
Steel	0.33

(sumber: J. E. Bowles,1996)

2.5 STABILITAS LERENG

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan timbunan dan galian. Tipe-tipe keruntuhan lereng dibagi menjadi keruntuhan rotasi, keruntuhan translasi dan keruntuhan gabungan. Kelongsoran rotasi (rotasional slip) potongan permukaan runtuhnya berupa busur lingkaran (circular arc) untuk kondisi tanah yang homogen atau kurva bukan lingkaran untuk kondisi tanah tidak homogen. Kelongsoran translasi (translational slip) cenderung terjadi bila lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng, sedangkan lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser yang berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal maka keruntuhan yang terjadi berupa keruntuhan gabungan.



Gambar 2. 4 Tipe-tipe kelongsoran lereng (R.F. Craig, 1991)

Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan dapat secara umum diklasifikasikan sebagai :

- 1) Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan
- 2) Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan

Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan, meliputi berat unit tanah karena pembasahan, adanya tambahan beban eksternal seperti bangunan, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian, dan gempa bumi (Michael Duncan et all, 2005)

Kehilangan kekuatan dapat terjadi dengan adanya absorpsi air, kenaikan tekanan pori, beban guncangan atau beban berulang, pengaruh pembekuan dan pencairan, hilangnya sementasi material, proses pelapukan, hilangnya kekuatan karena regangan berlebihan pada lempung sensitive. (Michael Duncan et all, 2005)

Hadirnya air adalah faktor dari kebanyakan keruntuhan lereng, karena hadirnya air menyebabkan naiknya tegangan maupun turunnya kekuatan. Suatu keruntuhan teknis yang paling umum adalah longsornya suatu timbunan atau galian. Sebab-sebab keruntuhan lereng pada suatu galian akan sangat berbeda dengan pada suatu timbunan. Timbunan pada suatu proses konstruksi memiliki

suatu tinggi kritis terhadap stabilitas lereng yang dapat diperlihatkan dengan rumus, $H_c = \frac{2,67 \times c}{\gamma}$. Ini dengan menganggap $\phi = 0$ seperti akan tampak pada kasus untuk suatu jangka pendek.

Kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (*Safety Factor*) sebagai berikut:

$$FS = \frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen penggerak}} \dots\dots\dots 2.11$$

di mana untuk keadaan:

FS > 1.0 lereng dinyatakan stabil

FS = 1.0 lereng dalam keadaan setimbang, dan akan mengalami kelongsoran jika sedikit gangguan

FS < 1.0 lereng dianggap tidak stabil atau akan mengalami kelongsoran

2.5.1 Analisis Keseimbangan Momen

Pada keadaan ini mencakup kasus lempung sempurna pada kondisi tak terdrainase. Tepatnya untuk kondisi segera sesudah pelaksanaan pembangunan. Dalam analisis ini yang ditinjau hanya keseimbangan momen. Pada potongan, permukaan runtuh potensial diasumsikan sebagai sebuah busur lingkaran. suatu permukaan runtuh coba-coba seperti terlihat pada gambar. Ketidakstabilan potensial disebabkan oleh berat total masa tanah persatuan panjang di atas permukaan runtuh. untuk keseimbangan, kekuatan geser yang harus dikerahkan disepanjang permukaan runtuh dinyatakan runtuh dinyatakan dalam:

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{F} = \frac{c_u}{F} \dots\dots\dots 2.12$$

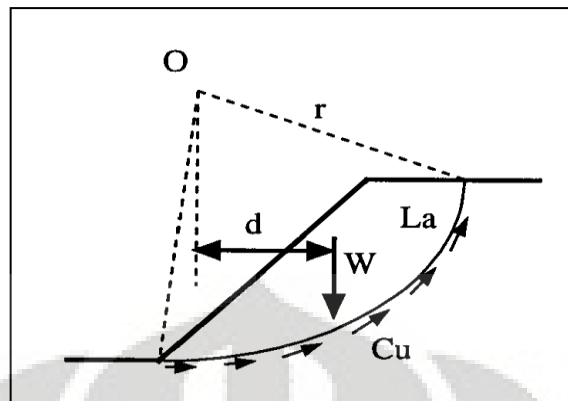
Di mana F adalah faktor keamanan yang sesuai terhadap kekuatan geser.

Dengan jumlah momen di titik o, diperoleh:

$$W \cdot d = \frac{c_u}{F} \cdot L_a \cdot r \dots\dots\dots 2.13$$

sehingga

$$F = \frac{C_u \cdot L_a \cdot r}{W \cdot d} \dots\dots\dots 2.14$$



Gambar 2. 5 Analisa stabilitas lereng

2.5.2 Timbunan Pada Tanah Lunak

Untuk timbunan yang di bangun di atas lapisan tanah lempung lunak, harus dilakukan dengan hati-hati dalam tahapan pengerjaannya. Hal ini dikarenakan lapisan tanah lunak tersebut rawan mengalami *bearing failure*, yaitu kegagalan tanah lunak untuk menahan beban timbunan, sehingga seakan-akan timbunan yang telah dibangun menjadi hilang. Pada kasus timbunan yang dibangun pada tanah lunak, kegagalan lereng belum sempat terjadi, dikarenakan terjadinya *bearing failure* lebih cepat terjadi sebelum lereng mengalami kegagalan. (Michael Duncan et all, 2005)

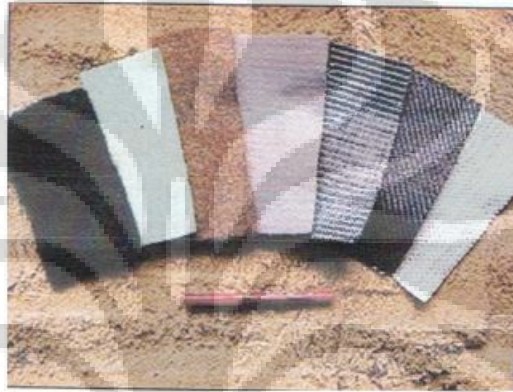
2.6 MATERIAL GEOSINTETIK

Untuk perbaikan dan memelihara tanah diperlukan langkah- langkah tertentu khususnya pada lereng timbunan. Lereng timbunan lebih rentan terjadinya kelongsoran/ *failure* daripada lereng yang terbentuk secara alami. Adanya keterbatasan medan yang tidak selalu sesuai yang kita harapkan maka dibutuhkan upaya- upaya tertentu sehingga area/ lahan tersebut dapat dimanfaatkan seperti pada lereng timbunan. Untuk menjaga kestabilan lereng timbunan diperlukan perkuatan, yang sering digunakan adalah material geosintetik.

2.6.1 Definisi Geotekstil

Berdasarkan ASTM D 4439, geotekstil didefinisikan sebagai geosintetik permeabel yang terdiri dari anyaman tekstil (*solely of textiles*). Pada pembuatan geotekstil ada tiga hal penting yang harus diperhatikan yaitu polimer yang digunakan, tipe serat yang digunakan dan cara penganyamannya. (Koerner, 1994).

Di bawah ini adalah gambar Geotekstil woven dan Non-woven.



Gambar 2. 6 Geotekstil woven dan Non-woven

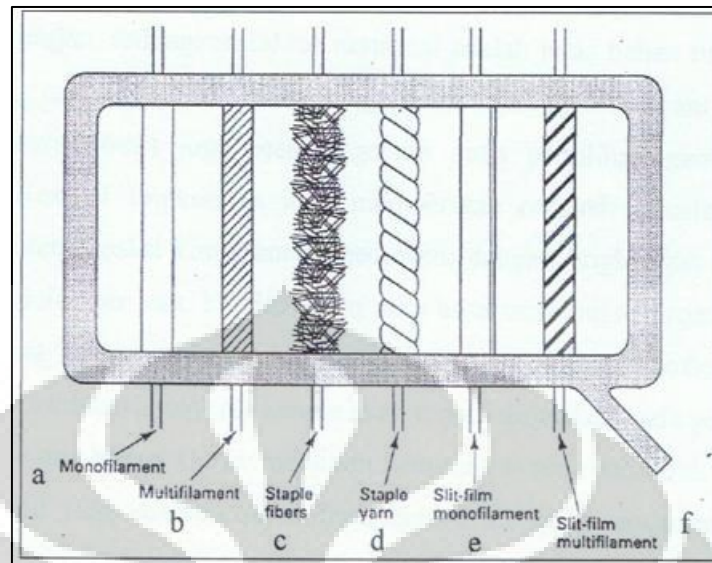
Pada pembuatan serat untuk pembuatan geotekstil, susunan material polimernya adalah:

1. *Polypropylene* (83 %)
2. *Polyester* (14 %)
3. *Polyethylene* (2 %)
4. *Polymide* (1%)

Ada berbagai macam serat yang umum digunakan dalam pembuatan geotekstil, yaitu:

1. *Manofilament*
2. *Multifilament*
3. *Staple Yarn*
4. *Slit Film Monofilament*
5. *Slit Film Multifilament*

Berikut adalah tipe-tipe serat polimer yang digunakan pada geotekstil



Gambar 2. 7 Tipe-tipe serat polimer yang digunakan pada geotekstil

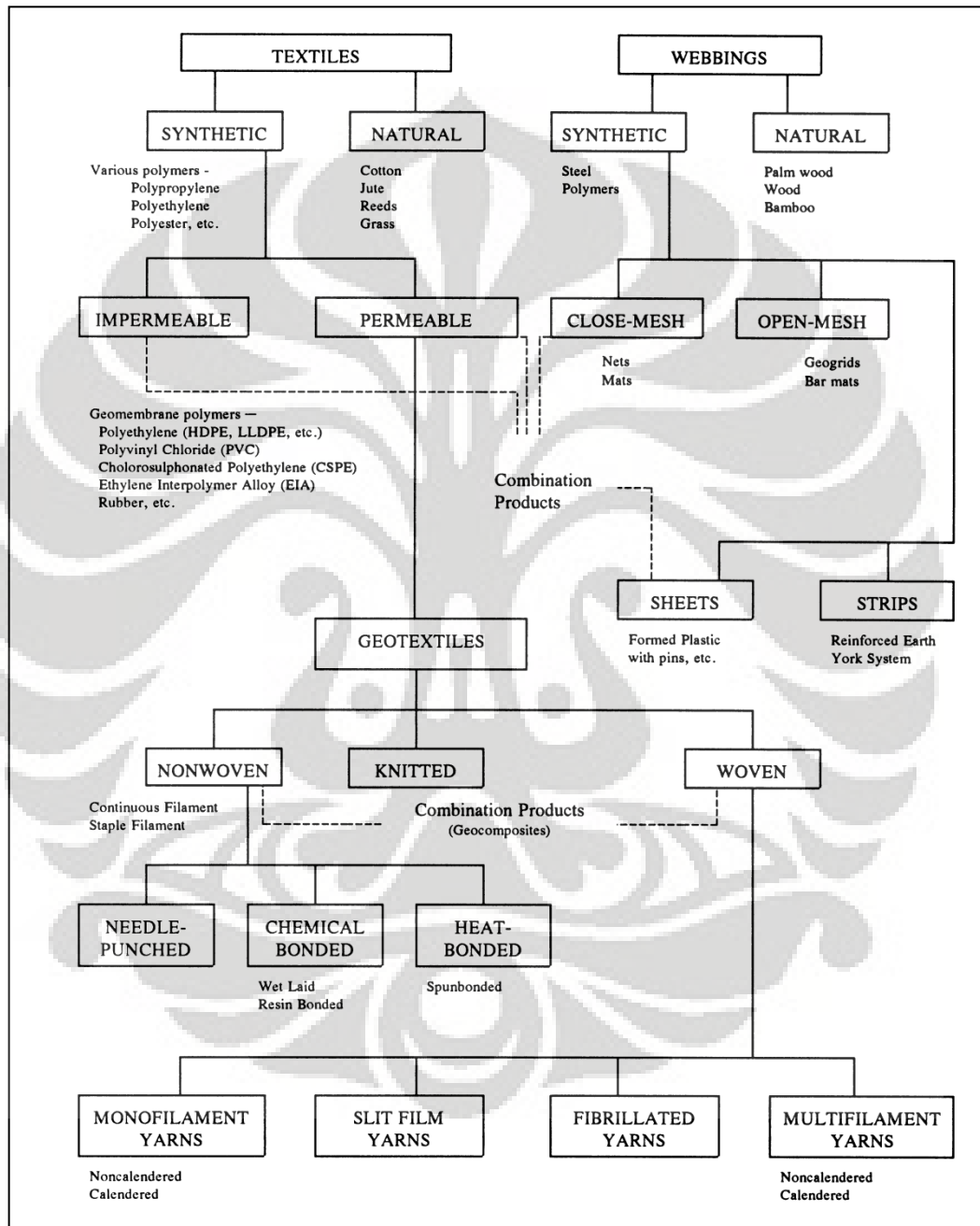
(sumber: Koerner, 1994)

Para ahli juga membuat pengelompokan geosintetik yang umumnya didasarkan atas struktur material sebagai berikut:

1. Geosintetik (woven dan non woven)
2. geogrid
3. geomembran
4. geonet
5. geosynthetic clay liner (GCL)
6. Geopipe
7. geocomposit
8. dan sebagainya

Dari berbagai jenis material geosintetik tersebut, jenis yang umumnya dan cocok untuk digunakan sebagai material perkuatan adalah jenis

geosintetik woven dan geogrid. hal itu disebabkan oleh formulasi material tersebut yang mempunyai kuat tarik yang tinggi dengan tingkat elongasi dan *creep* rendah.



Gambar 2. 8 Klasifikasi Geosintetik (Rankilor, 1981)

2.6.2 Karakteristik Geotekstil

Beberapa karakteristik utama material geotekstil untuk aplikasi perkuatan adalah sebagai berikut:

1. Kuat Tarik dan Elongasi

Karakteristik ini diperlukan untuk menahan gaya tarik kelongsoran yang terjadi yang tidak dipikul oleh tanah. Ciri utama material yang dapat digunakan sebagai perkuatan adalah yang memiliki kuat tarik yang tinggi pada elongasi yang rendah. Setiap jenis material geotekstil mempunyai karakteristik tegangan-regangan (*stress-strain*) yang berbeda-beda tergantung struktur, proses, dan polimer penyusunnya.

2. Rangkak (*Creep*)

Rangkak adalah bertambah panjang suatu material pada pembebanan yang tetap. Mengingat polimer penyusun geotekstil umumnya sangat sensitif terhadap rangkak itu, maka properti penting untuk dievaluasi terhadap penggunaan sebagai perkuatan. Sama seperti kuat tarik, perilaku rangkak juga bergantung pada polimer penyusunnya.

3. Interaksi Material Perkuatan dan Timbunan

Interaksi dapat berupa friksi dan *interlocking* antara material timbunan dan perkuatan atau drainase. Nilai interaksi ini sangat bergantung dari jenis material timbunan dan material perkuatan yang dipergunakan sehingga besaran nilai tersebut bersifat empiris.

2.6.3 Geotekstil Untuk Perkuatan (*Reinforcement*)

Fungsi *reinforcement* (perkuatan) pada geosintetik dapat diterjemahkan sebagai fungsi tulangan, seperti istilah pada beton bertulang (*reinforced concrete*). Beton bertulang yang mengandalkan interaksi komposit antara baja dan semen portland telah banyak dikenal. Masing-masing material, yaitu baja dan beton memberikan kontribusi kekuatannya, sehingga kekuatan sistem secara keseluruhan menjadi lebih besar. Dalam

Universitas Indonesia

pengertian identik, tanah hanya mempunyai kekuatan untuk menahan tekan, tapi tidak dapat menahan tarik. Kelemahan terhadap tarik ini dipenuhi oleh geosintetik. Geosintetik yang mempunyai kemampuan menahan tarik ini dapat memberikan perkuatan dalam bentuk tulangan (seperti halnya tulangan beton) dalam berbagai macam bentuk. Material ini dapat diletakkan di bawah timbunan yang dibangun diatas tanah lunak, dapat digunakan untuk membangun penahan tanah dan dapat pula digunakan untuk perkuatan bahan susun perkerasan jalan beserta tanah dasarnya.

Geosintetik sebagai tulangan memberikan kuat tarik dan kekakuan. Deformasi geosintetik merupakan syarat awal agar terjadi transfer tegangan. Akibatnya, untuk tercapainya fungsi perkuatan dari tulangan, dibutuhkan transfer beban pada regangan yang tidak lebih dari 5 – 6%, sehingga modulus geosintetik harus tinggi. Untuk itu geosintetik dari polyester, khususnya yang mempunyai kuat tarik dan kekakuan tinggi, serta rayapan rendah, dapat digunakan.

Terkait dengan fungsi geosintetik sebagai tulangan, maka terdapat tiga tipe mekanisme perkuatan, yaitu tipe-tipe:

- Tipe Gesekan
- Angker
- Membran

2.6.4 Friksi yang Terjadi pada Tanah & Geotekstil

2.6.4.1 Tipe Friksi (Shear Type)

Untuk mengetahui tipe friksi yang terjadi antara tanah dengan material geotekstil, maka dapat dilihat secara jelas dengan pengujian geser langsung (*direct shear test*). Geotekstil ditempatkan pada tanah yang diberi pembebanan dengan tegangan normal dan selanjutnya kedua material tersebut akan saling bergeser pada masing-masing *interface*-nya. Hasil dari parameter kekuatan geser (adhesi dan sudut friksi antara tanah dengan material geotekstil) didapatkan dari penggambaran perilaku geoteknis dengan menggunakan penerapan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, adalah sebagai berikut:

$$\tau = c_a + \sigma'_n \tan \delta \dots\dots\dots 2.14$$

dimana:

τ = kuat geser (antara material geotekstil dan tanah)

c_a = adhesi (antara geotekstil dengan tanah)

σ'_n = tegangan normal pada bidang geser

δ = sudut friksi (antara geotekstil dengan tanah)

Parameter kekuatan geser c_a dan δ dapat dibandingkan dengan parameter kekuatan geser dari tanah itu sendiri, seperti berikut:

$$\tau = c + \sigma' \tan \emptyset \dots\dots\dots 2.15$$

dimana:

c = adhesi (antara tanah dengan tanah)

σ'_n = tegangan normal pada bidang geser

\emptyset = sudut friksi (antara tanah dengan tanah)

Selanjutnya,

$$E_c = (c_a / c) \times 100 \% \dots\dots\dots 2.16$$

$$E_\phi = (\tan \delta / \tan \phi) \times 100 \% \dots\dots\dots 2.17$$

dimana:

E_c = Efisiensi dari mobilisasi kohesi

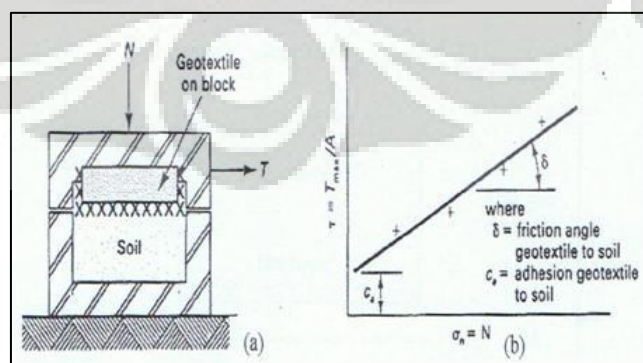
E_ϕ = Efisiensi dari mobilisasi sudut friksi

Ratio di atas, pada umumnya dinamakan dengan efisiensi, nilainya antara nol hingga satu yang paling maksimum. Nilai maksimum tidak mungkin terjadi karena bidang keruntuhan bergerak pada tanah itu sendiri.

2.6.4.2 Perilaku Friksi (*Friction Behaviour*)

Di dalam berbagai macam permasalahan desain, sangat diperlukan untuk mengetahui perilaku friksi (*friction behavior*) yang terjadi antara tanah dengan material geotekstil. Pada gambar berikut (a) geotekstil ditempel dengan kuat pada bagian atas (separuh) dari kotak geser (*direct test*), sedangkan tanah diletakkan di bagian bawah kotak geser. (Koerner, 1994).

Berikut adalah gambar Pengujian dan tes hasil friksi pada tanah berpasir dengan geotekstil.



Gambar 2. 9 Pengujian dan tes hasil friksi pada tanah berpasir dengan geotekstil (Koerner, 1994)

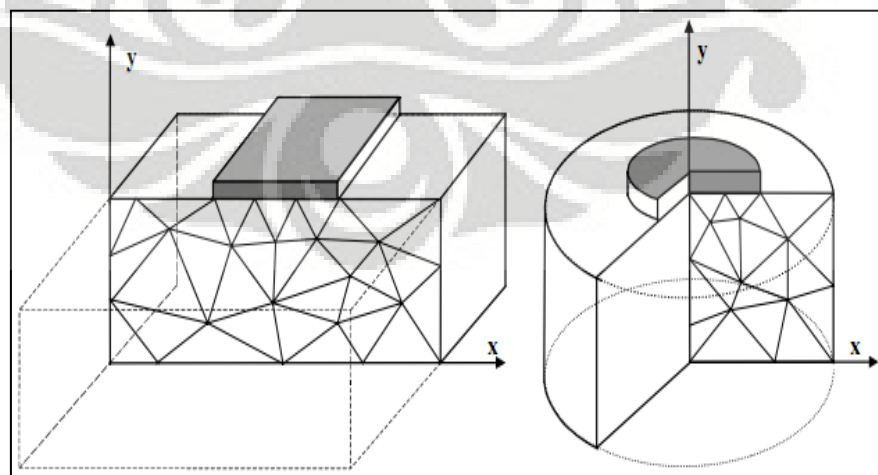
Setelah tegangan normal dilakukan, dan tegangan geser akan berlangsung sampai terjadi *sliding* antara geotekstil dan tanah sehingga tidak ada lagi peningkatan kuat geser yang diinginkan.

2.7 PLAXIS

Dengan adanya program PLAXIS yang dapat menganalisis berbagai bentuk geometris, memudahkan untuk menghitung *finite element* dengan sangat cepat. tampilan berupa grafis membuat pengguna lebih familiar dalam melakukan perhitungan. Input yang disediakan dalam program PLAXIS meliputi semua yang dibutuhkan dalam perhitungan manual, seperti: dimensi, material (*material model, material type, general properties, permeability, stiffness/kekakuan, kekuatan*). dalam mengkalkulasi suatu model, PLAXIS membuatnya secara grafik sehingga memudahkan para pengguna untuk melakukan perhitungan secara bertahap dan output yang menarik sehingga dengan mudah langsung diaplikasikan untuk suatu presentasi.

2.7.1 Definisi Plaxis

PLAXIS merupakan program komputer *finite element* yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai kasus pada geoteknik. Kondisi yang sebenarnya bisa digambarkan baik dengan model *plane strain* maupun dengan model *axisymmetric*.

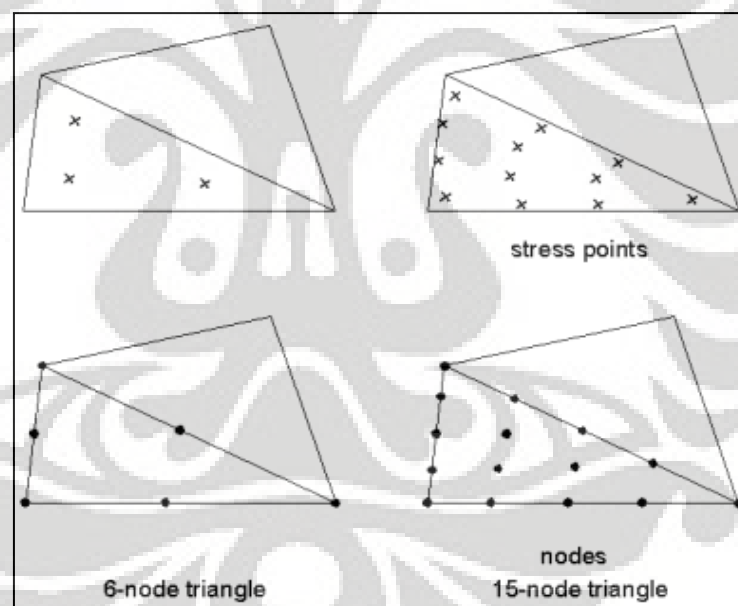


Gambar 2. 10 Model plane strain dan axisymmetric (manual PLAXIS versi 8, 2007)

Permodelan *plain strain* digunakan untuk geometri *cross section* yang (lebih kurang) seragam dimana tegangan maupun beban tegak lurus terhadap *cross section* tersebut (arah z) dianggap seragam. Sehingga *displacement* dan *strain* pada arah ini diasumsikan nol. Akan tetapi, tegangan normal pada arah ini dimasukkan dalam perhitungan.

Permodelan *axisymmetric* digunakan untuk struktur lingkaran dengan *radial cross section* yang seragam dan pembebanan disekitar sumbu tengah, yang mana deformasi dan tegangan diasumsikan sama untuk semua arah radial.

Pada program PLAXIS tersedia dua tipe elemen, yaitu elemen dengan 6 nodal dan element dengan 15 nodal. Pengguna bisa memilih elemen segitiga dengan 6 nodal dan 15 nodal untuk memodelkan lapisan tanah dan *cluster* lainnya.



Gambar 2. 11 Posisi nodal dan stress point pada elemen tanah (manual PLAXIS versi 8, 2007)

Segitiga dengan 15 nodal merupakan elemen yang sangat akurat yang menghasilkan tegangan dengan kualitas yang baik untuk masalah yang kompleks, Penggunaan segitiga dengan 15 elemen membutuhkan waktu yang lebih lama karena proses kalkulasinya sangat lambat. Oleh karena itu tipe elemen yang lebih sederhana juga tersedia.

Segitiga dengan 6 nodal merupakan elemen yang cukup akurat yang memberikan hasil yang baik dalam analisis deformasi standar, asalkan digunakan jumlah elemen yang cukup. Meskipun demikian, elemen ini kurang sesuai untuk perhitungan pada model *axisymmetric* khususnya pada kalkulasi *phi-c reduction* karena faktor keamanan yang dianalisis tidak sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Sehingga setiga dengan 15 nodal dianggap lebih baik untuk kasus ini.

2.7.2 Analisis Permodelan Pada PLAXIS

PLAXIS menyajikan beberapa permodelan untuk mensimulasikan beberapa tingkah laku dari tanah. Permodelan-permodelan tersebut adalah Permodelan *Linear Elastic*, Permodelan *Mohr-Coulomb*, Permodelan *Jointed-Rock*, Permodelan *Hardening soil*, Permodelan *Soft Soil*, Permodelan *Soft Soil Creep*, Permodelan *User-Defined Soil*. Namun penulis hanya menggunakan permodelan Mohr-Coulomb. Permodelan ini digunakan sebagai perkiraan awal dari tingkah laku tanah secara umum. Permodelan ini meliputi lima parameter, yaitu Young's modulus (E), Poisson's ratio (ν), kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan sudut dilatasi (ψ).

2.7.3 Sub-program PLAXIS

Pada Plaxis terdapat 4 sub-program yaitu: *Input*, *Calculation*, *Output*, dan *Curve*.

2.7.3.1 Program Input

Untuk membuat analisis elemen hingga dengan PLAXIS, pengguna harus membuat model elemen hingga dan menentukan *property material* dan kondisi batas. Dalam membuat model elemen hingga, pengguna harus membuat model geometrik dua dimensi pada bidang x-y.

Program input terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. General Setting

Pada tahap ini terdapat dua lembar kerja (*tab sheet*) yaitu *Project* dan *Dimension*. Lembar *Project* berisi nama proyek dan

deskripsi, tipe model dan akselerasi. Lembar *Dimension* berisi satuan panjang, gaya, waktu dan dimensi area untuk menggambar.

2. Pemodelan secara Geometrik

Tahapan dari permodelan elemen hingga dimulai dengan membuat model geometrik yang akan menggambarkan permasalahan yang terjadi. Permodelan geometrik terdiri dari titik, garis, dan kelompok (*cluster*). Titik dan garis diinput oleh pengguna, sedangkan *cluster* diolah oleh program. Tambahan dari komponen dasar, objek struktur atau kondisi tertentu dapat digunakan permodelan geometrik mensimulasikan garis terowongan, dinding, plat, interaksi tanah dan semua komponen geometrik telah memiliki property masing-masing, maka struktur elemen hingga dapat diolah.

3. Load dan Boundary Conditions

Menu *loads* berisi pilihan yang menjelaskan distribusi beban, apakah beban garis atau beban titik. Kondisi batas menjelaskan *displacement* (perpindahan) yang sama dengan nol. Kondisi dapat diterapkan pada garis geometrik dan pada titik.

4. Material Properti

Pada PLAXIS, nilai properti tanah dan properti material dari struktur disimpan pada data material. Di mana ada empat macam material, data untuk tanah dan interaksi, plat, geogrid, dan angkur. Semua data disimpan pada data base material. Berdasarkan data base tersebut dapat ditetapkan kumpulan tanah atau objek struktur pada permodelan geometrik.

5. Mesh Generation

Setelah permodelan geometrik semua sudah ditetapkan dan properti material dipilih untuk semua jenis kumpulan tanah dan objek struktur, permodelan geometrik harus dibagi-bagi menjadi

elemen-elemen hingga (*mesh*) dengan tujuan untuk membentuk perhitungan elemen hingga. Komposisi untuk elemen hingga disebut “*mesh*”.

6. Initial Condition

Setelah permodelan geometrik dibuat dan jarring elemen hingga sudah di-*generate* (diproses), keadaan tegangan awal dan konfigurasi awal yang ditetapkan. Pada *initial Conditions* (kondisi awal) terdapat dua model yang berbeda, yaitu model pertama untuk memproses tekanan air awal (*water conditions mode*) dan model kedua untuk persyaratan konfigurasi geometrik awal dan untuk memproses tegangan efektif dasar awal (*geometric configurations mode*).

2.7.3.2 Program Calculation

Setelah memproses permodelan elemen hingga dapat dilaksanakan. Oleh karena itu, perlu ditetapkan tipe dari perhitungan yang akan digunakan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi yang mana yang harus diaktifkan selama perhitungan. Semua ini dilakukan oleh program ‘*Calculation*’. Program *Calculation* hanya mempertimbangkan analisis *deformasi* (perpindahan) dan membedakan antara perhitungan Plastic, analisis Consolidations (pemampatan), analisis *Phi-c reduction* (faktor keamanan) dan perhitungan *Dynamic*. Pengertian tipe perhitungan tersebut secara singkat dapat dijelaskan melalui penjelasan berikut:

1. Perhitungan *Plastic*

Perhitungan tipe ini harus dipilih untuk mendapatkan *elastic-plastic deformation analysis* yang mana tidak diperlukan untuk memasukkan kekurangan dari kelebihan tekanan air pori beserta fungsi waktu kedalam perhitungan. Tipe perhitungan ini sangat cocok pada sebagian besar penerapan di bidang geoteknik.

2. Perhitungan *Consolidation*

Perhitungan ini harus dipilih ketika cukup penting untuk menganalisis perkembangan dari disipasi dari kelebihan air pori pada tipe tanah yang jenuh air dalam fungsi waktu.

3. Perhitungan *Phi-c reduction*

Perhitungan ini digunakan pada PLAXIS untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan mengurangi parameter kekuatan tanah.

4. Perhitungan *Dynamic*

Perhitungan ini digunakan apabila beban yang bekerja bukan beban statis, tetapi beban bergerak, misalnya beban akibat gempa bumi.

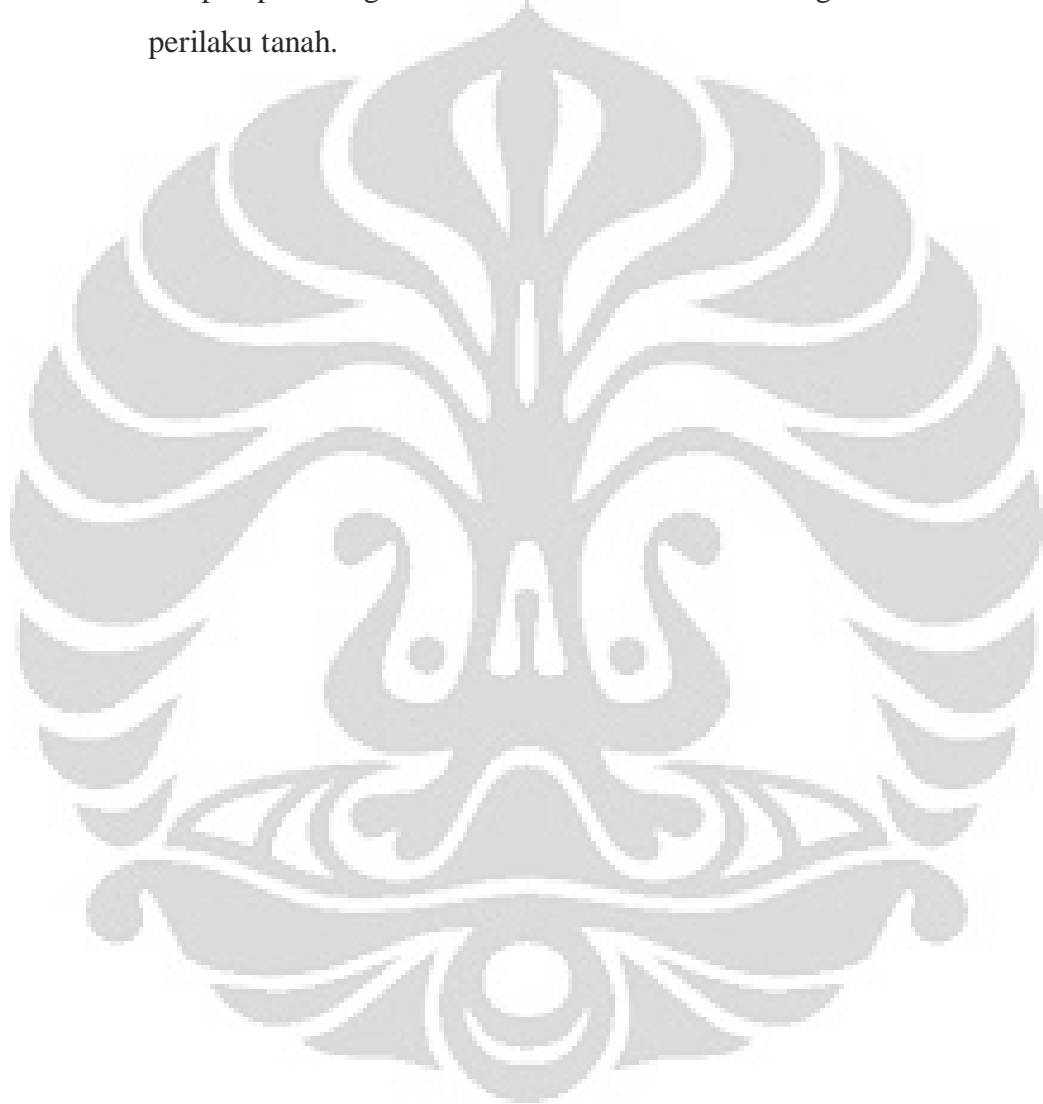
Pada prakteknya, suatu proyek akan dibagi menjadi tahapan-tahapan proyek. Sama pada proses yang terjadi pada plaxis. Proses perhitungan dibagi beberapa tahapan antara lain, pengaktifan beban khusus pada waktu tertentu, simulasi dari tahapan konstruksi, pendahuluan dari waktu konsolidasi, perhitungan faktor keamanan, dan lain sebagainya.

2.7.3.3 Program Output

Hasil utama output dari perhitungan elemen hingga adalah *displacement* (perpindahan) pada titik dan perubahan tegangan pada titik yang ditinjau. Beberapa parameter yang dapat diketahui dari hasil program output antara lain; deformasi, perpindahan (total, horizontal, vertikal dan *incremental displacement*), regangan (total, cartesian dan *incremental strain*), tegangan (*effective* dan *total stresses*), *Over Consolidation Ratio* (OCR), titik plastis (*plastic point*), tekanan aktif pori (active pore pressure), tekanan air pori berlebih (*excess pore pressure*), *ground water head*, *flow field* dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

2.7.3.4 Program Curve

Pada program *curve* dapat digunakan untuk menggambar kurva beban atau waktu terhadap *displacement* (perpindahan), diagram tegangan-regangan dan garis tegangan atau garis regangan dari titik yang sudah dipilih dan dimodelkan secara geometrik. kurva ini menggambarkan perkembangan dari beberapa hitungan selama berbagai tahapan perhitungan dan memberikan tanda secara global atau lokal dari perilaku tanah.



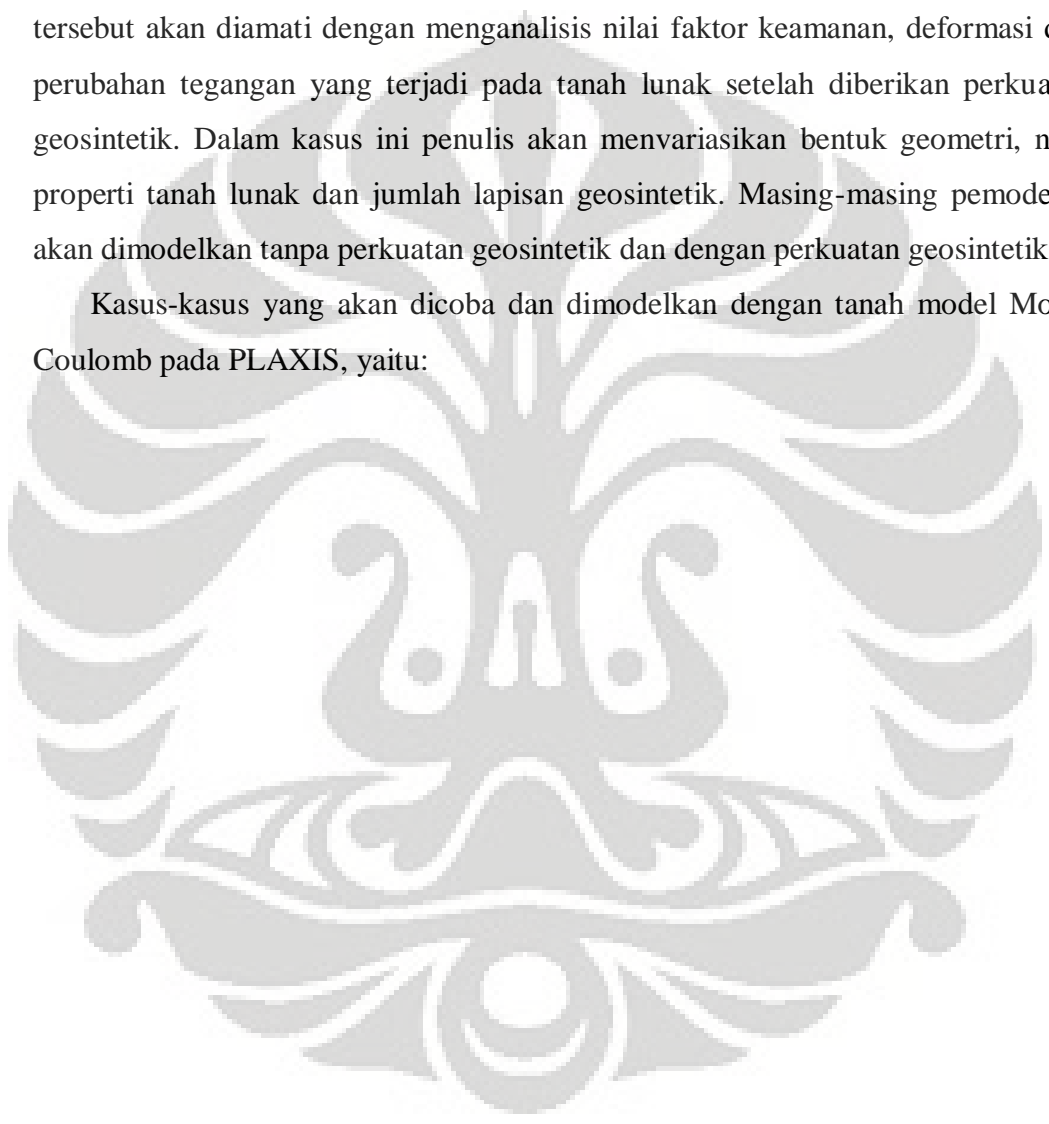
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 PEMILIHAN KASUS

Pada skripsi ini, penulis akan menganalisis peningkatan daya dukung tanah lunak yang diberikan perkuatan berupa geosintetik. Peningkatan daya dukung tersebut akan diamati dengan menganalisis nilai faktor keamanan, deformasi dan perubahan tegangan yang terjadi pada tanah lunak setelah diberikan perkuatan geosintetik. Dalam kasus ini penulis akan bervariasi bentuk geometri, nilai properti tanah lunak dan jumlah lapisan geosintetik. Masing-masing pemodelan akan dimodelkan tanpa perkuatan geosintetik dan dengan perkuatan geosintetik.

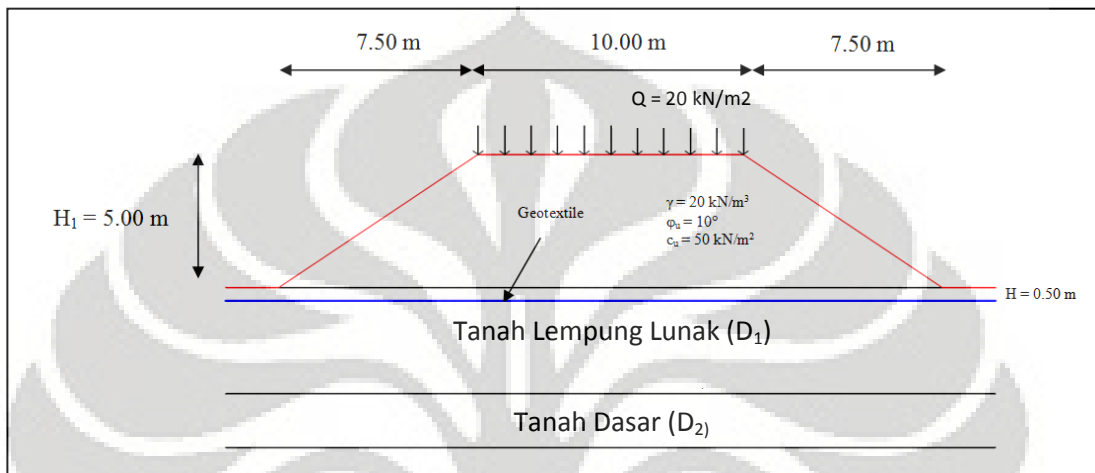
Kasus-kasus yang akan dicoba dan dimodelkan dengan tanah model Mohr-Coulomb pada PLAXIS, yaitu:



Tabel 3. 1 Matriks variasi percobaan

No	PROPERTI TIMBUNAN						PROPERTI TANAH ASLI								GEO SINTETIK
	GEOMETRI			PROPERTI TANAH			TANAH 1				TANAH 2				
	Lebar Timbunan	H (m)	β	θ_t	c_u (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	Geometri		Properti Tanah		Geometri		Properti Tanah		
							D ₁ (m)	θ_1	c_u (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	D ₂ (m)	θ_2	c_u (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	
1	40	5	33,4°	10°	50	20	4	0°	20	15	10	0°	200	18	NO
2	40	5	33,4°	10°	50	20	4	0°	20	15	10	0°	200	18	YES
3	40	5	33,4°	10°	50	20	6	0°	20	15	10	0°	200	18	NO
4	40	5	33,4°	10°	50	20	6	0°	20	15	10	0°	200	18	YES
5	40	5	33,4°	10°	50	20	8	0°	20	15	10	0°	200	18	NO
6	40	5	33,4°	10°	50	20	8	0°	20	15	10	0°	200	18	YES
7	40	5	33,4°	10°	50	20	10	0°	20	15	10	0°	200	18	NO
8	40	5	33,4°	10°	50	20	10	0°	20	15	10	0°	200	18	YES
9	40	5	33,4°	10°	50	20	12	0°	20	15	10	0°	200	18	NO
10	40	5	33,4°	10°	50	20	12	0°	20	15	10	0°	200	18	YES
11	40	5	33,4°	10°	50	20	12	15°	20	15	10	0°	200	18	NO
12	40	5	33,4°	10°	50	20	12	15°	20	15	10	0°	200	18	YES

Untuk variasi tanah timbunannya, peneliti akan memvariasikan nilai properti tanah yang digunakan, yaitu nilai ϕ tanah lunak, sedangkan nilai γ dan c bernilai sama untuk tiap pemodelan. Pada penelitian ini tanah yang digunakan untuk timbunan adalah tanah lempung dan tanah asalnya adalah tanah lempung lunak.



Gambar 3. 1 Geometri pemodelan

3.2 ANALISIS TIMBUNAN TANAH DENGAN PROGRAM PLAXIS

Untuk menganalisis suatu kasus dengan program PLAXIS diperlukan beberapa tahap yang harus dilakukan agar perhitungan dapat berjalan dengan lancar. Tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam perhitungan timbunan tanah dengan program PLAXIS adalah:

1. GEOMETRY INPUT

- Pengaturan umum, berupa penentuan satuan ukuran panjang, waktu dan gaya
- Pemodelan geometri timbunan tanah
- Menentukan properti material tanah dan geosintetik yang digunakan
- Menentukan beban luar yang bekerja
- Menentukan *boundary condition*, yaitu batas pengamatan dari tanah timbunan dan tanah lunak
- *Mesh generation*

2. INITIAL CONDITION

- Menentukan letak muka air tanah
- Memasukkan tekanan air pori (*pore pressure generation*)
- Menentukan kondisi asli tanah sebelum terjadi proses penimbunan (*initial geometry configuration*)
- *Generation of initial stresses*

3. CALCULATION

- Menentukan fase konstruksi tanah timbunan:
 - Menentukan urutan konstruksi
 - Menentukan jenis analisa yang diinginkan (*plastic, phi-c reductions, consolidations dan dynamic*)
 - Menentukan parameter perhitungan (jumlah *step*, lama proses konstruksi)
- Menentukan titik-titik yang akan diamati
- Melakukan proses perhitungan

4. OUTPUT

- Hasil analisis akan ditampilkan berupa kurva, gambar dan bentuk tabel

3.3 DIAGRAM ALIR SISTEMATIKA Pengerjaan SKRIPSI DAN DIAGRAM ALIR ANALISIS MENGGUNAKAN PLAXIS V8

Diagram Alir Sistematika Pengerjaan Skripsi

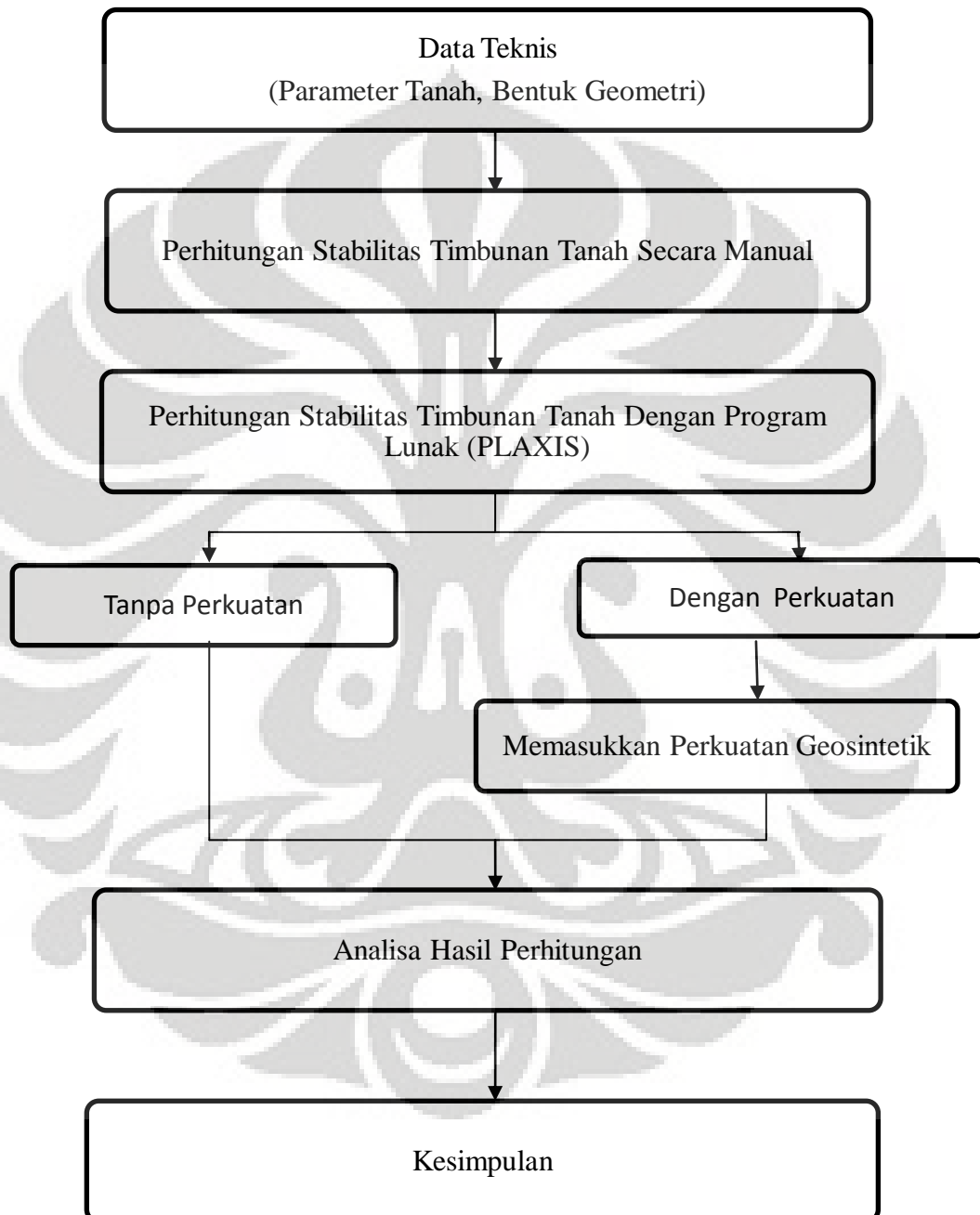
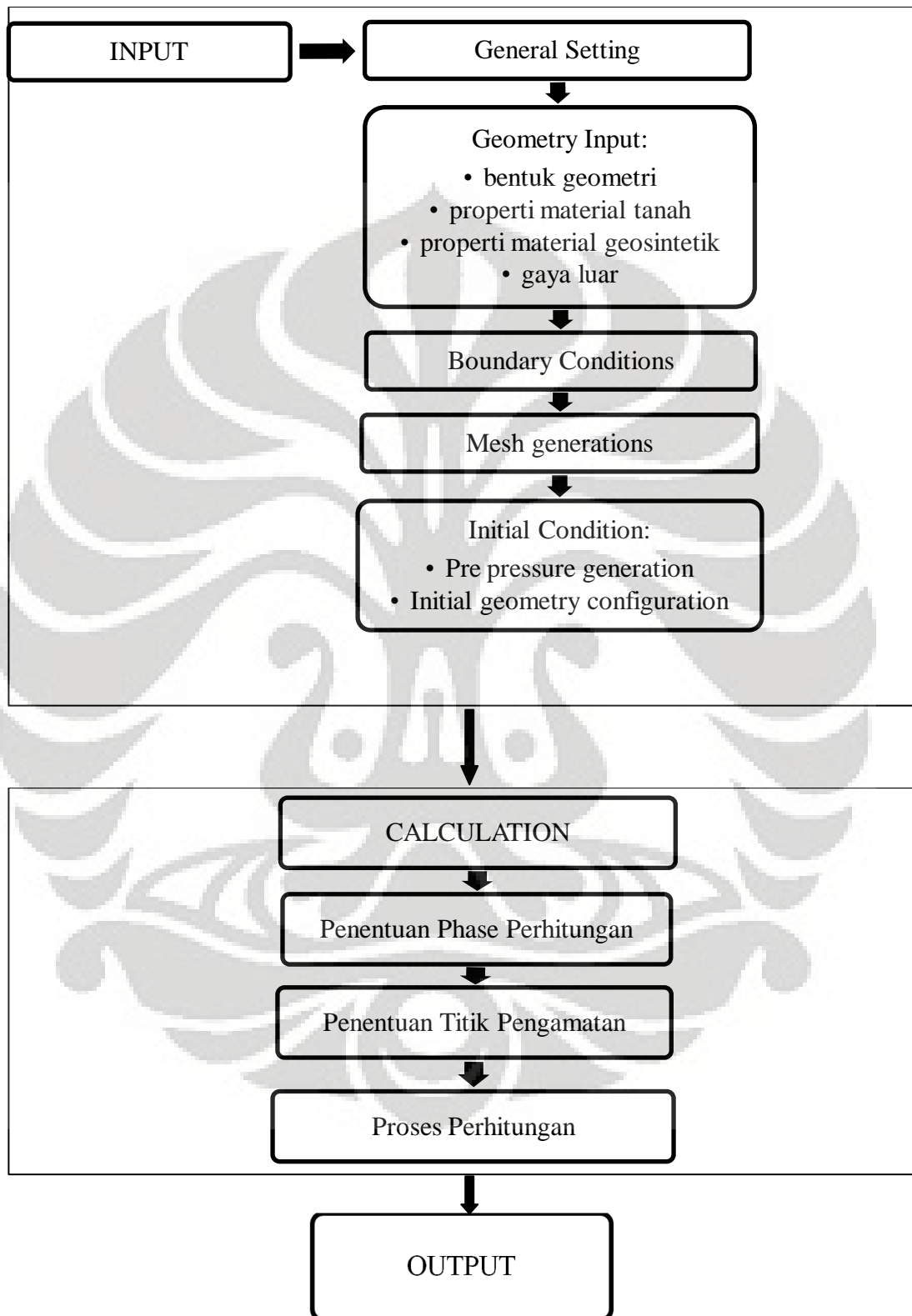


Diagram Alir Analisis Menggunakan PLAXIS v.8

BAB IV PEMBAHASAN

4.1.PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan mengenai pemodelan suatu timbunan yang dibangun di atas tanah lempung lunak dan diberikan perkuatan berupa geosintetik. Dalam pemodelan ini, penulis menganalisa 12 kasus timbunan yang dibangun di atas tanah lempung lunak dan diberikan perkuatan berupa geosintetik. Kasus-kasus ini dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak program PLAXIS. Model-model tersebut merupakan berbagai variasi dari variabel-variabel pembanding yang dapat mempengaruhi kemampuan daya dukung tanah lempung lunak yang diberi beban timbunan di atasnya. Peningkatan daya dukung tanah lunak dengan perkuatan geosintetik ini akan dianalisa berdasarkan besar penurunan vertikal, tegangan total dan nilai faktor keselamatan yang terjadi akibat timbunan di atas tanah lempung lunak tersebut.

Berikut ini adalah variabel-variabel pembanding dan parameter-parameter yang akan digunakan untuk membuat variasi pemodelan dan analisa peningkatan daya dukung tanah lempung lunak dengan perkuatan geosintetik. Selain variabel-variabel ini, parameter lainnya bernilai tetap di tiap kasus.

Tabel 4. 1 Variabel pembanding

No.	VARIABEL PEMBANDING
1	Perubahan kedalaman tanah lempung lunak (D_1)
2	Perubahan sudut geser (ϕ_u)
3	Penggunaan Geosintetik

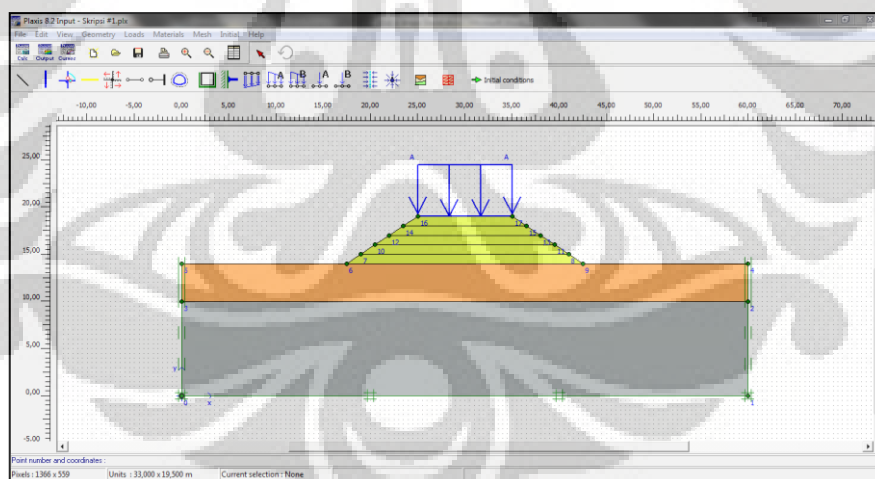
Tabel 4. 2 Parameter tanah lunak dan timbunan

PARAMETER	KETERANGAN	SIMBOL	NILAI	UNIT
Jenis Tanah	Tanah Lunak	-	Lempung lunak	-
	Tanah Dasar	-	Lempung sedang	-
	Timbunan	-	Lempung sedang	-
Berat Isi	Tanah Lunak	γ_1	15	kN/m ³
	Tanah Dasar	γ_2	18	kN/m ³
	Timbunan	γ_t	20	kN/m ³
Modulus Elastisitas	Tanah Lunak	E_1	15000	kN/m ²
	Tanah Dasar	E_2	25000	kN/m ²
	Timbunan	E_t	50000	kN/m ²
Poisson's ratio		ν	0,495	
Permeability		k	0,000864	m/day
Sudut Geser (Undrained)	Tanah Lunak	ϕ_1	0° dan 15°	derajat
	Tanah Dasar	ϕ_2	0°	derajat
	Timbunan	ϕ_t	10°	derajat
Koehesi (Undrained)	Tanah Lunak	c_{u1}	20	kN/m ²
	Tanah Dasar	c_{u2}	200	kN/m ²
	Timbunan	c_{ut}	50	kN/m ²
Sudut Kemiringan Timbunan		β	34°	derajat
Tinggi Timbunan		H	5	meter
Tebal Tanah Lunak		D_1	4, 6, 8, 10 dan 12	meter
Tebal Tanah Dasar		D_2	10	meter
Lebar timbunan		B	25	meter
Panjang Timbunan			~	meter
Muka Air Tanah			1	meter
Beban Luar		q	20	kN/m ²
Geosintetik	<i>Ultimate tensile strength</i>		1000	kN/m

Nilai-nilai parameter diatas akan dimasukkan ke dalam program input PLAXIS dan akan dianalisis dengan 12 kasus dengan pemodelan *Mohr-Coulomb*. Matriks dari kasus-kasus yang akan dianalisis dapat dilihat pada tabel 3.1.

Pemilihan tersebut dilakukan dengan tujuan agar didapatkan jenis kelongsoran yang terjadi pada timbunan yang dibangun di atas tanah lempung lunak, besar penurunan vertikal dan tegangan total yang terjadi. Berdasarkan hasil keluaran dari PLAXIS kemudian akan dianalisis kemampuan geosintetik yang berfungsi sebagai perkuatan tanah lempung lunak.

Pada pemodelan dalam skripsi ini, timbunan tanah dilaksanakan secara bertahap setiap 1 meter sampai dicapai ketinggian timbunan yang diinginkan, yaitu 5 meter tanpa memperhatikan pengaruh proses konsolidasi (proses didipasi air pori). Penggunaan geosintetik digunakan pada kedalaman 0,5 meter di bawah timbunan. Kondisi muka air tanah berada pada kedalaman 1 meter di bawah timbunan dan timbunan ini diberikan beban luar sebesar 20 kN/m^2 . Penggambaran bentuk geometri dari timbunan dan kondisi batas pada program PLAXIS dapat dilihat pada gambar 4.1.



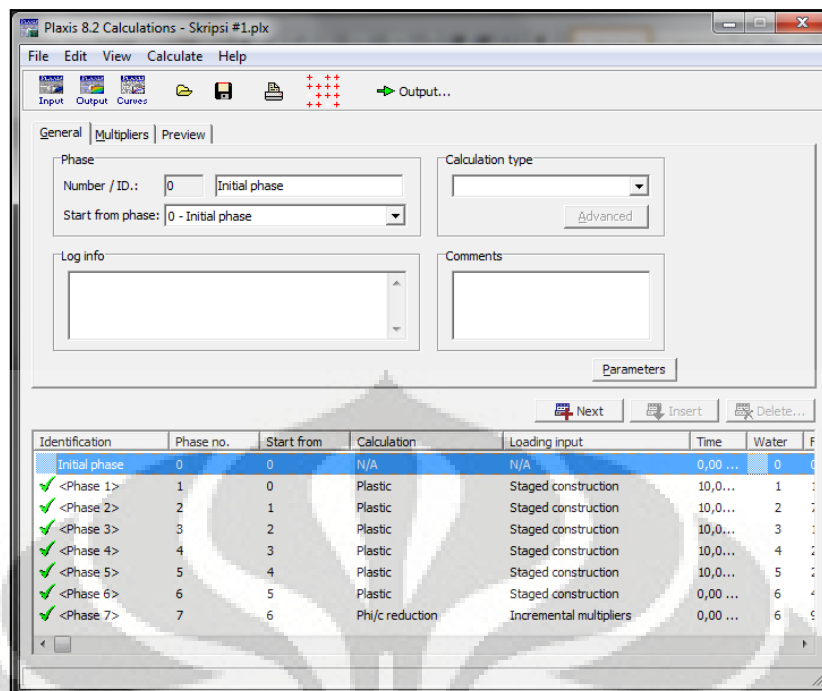
Gambar 4. 1 Pemodelan Geometrik pada Input PLAXIS

Nilai dari parameter tanah yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan ke dalam properti material tanah. Hal yang perlu diperhatikan dalam tahap ini yaitu penetapan jenis model *Mohr-Coulomb*, berat isi tanah (γ), modulus elastisitas (E), poisson ratio (ν), kohesi (c), sudut geser (φ) dan nilai *permeability* (k).

Gambar 4. 2 Input parameter umum tanah pada PLAXIS

Gambar 4. 3 Input properti parameter tanah pada PLAXIS

Setelah tahapan *input* pada PLAXIS selesai, dilanjutkan dengan tahap kalkulasi, dimana akan digunakan 2 jenis perhitungan, yaitu perhitungan *plastic* untuk menganalisis tegangan dan penurunan yang terjadi dan perhitungan *phi-c reduction* yang berfungsi untuk menganalisis faktor keamanan dan menunjukkan bentuk kelongsoran yang terjadi.

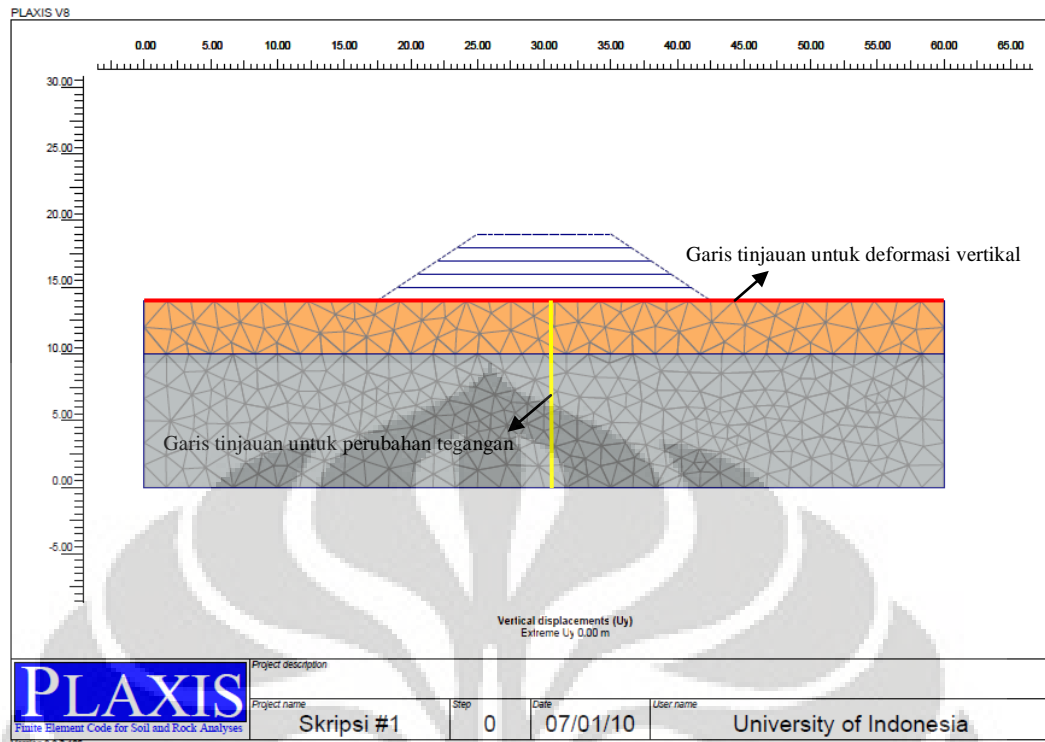


Gambar 4. 4 Tahapan perhitungan

4.2. HASIL PEMODELAN BEBERAPA KASUS

Berdasarkan hasil analisis yang dimodelkan dengan PLAXIS, didapatkan output hasil analisis yaitu:

- Tegangan total (*vertical total stress*) yang ditinjau pada garis tengah bentang timbunan mulai dari kedalaman 0 sampai kedalaman tanah dasar.
- Deformasi vertikal, yang ditinjau di setiap tahap penimbunan yang ditinjau pada potongan melintang timbunan.
- Faktor keamanan dan jenis kelongsoran yang terjadi pada lereng timbunan.
- Gaya aksial yang terjadi pada geosintetik

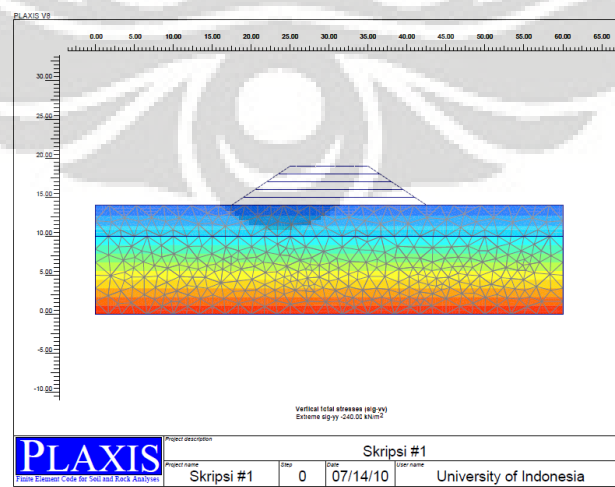


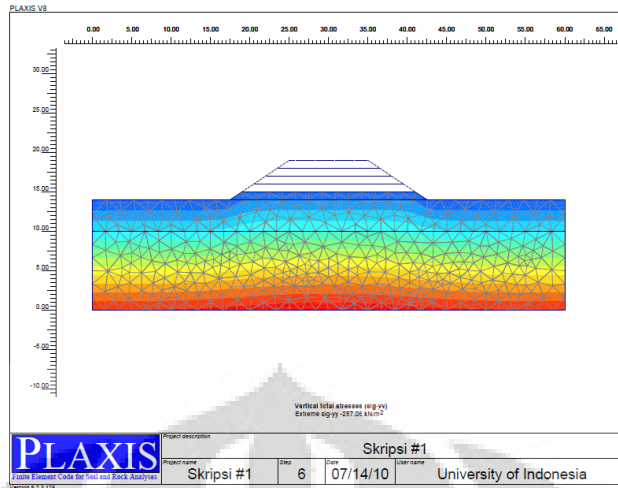
Gambar 4.5 Bidang tinjauan

4.2.1. Hasil Analisis Kasus 1 ($D_1 = 4$ meter, $\phi = 0^\circ$, tanpa geotekstil)

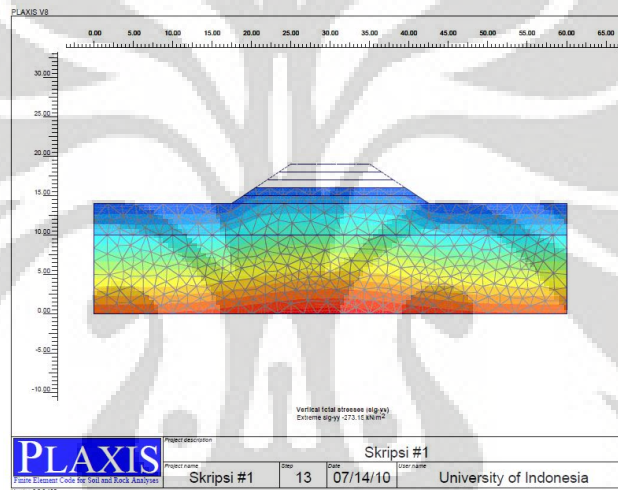
4.2.1.1. Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)

Di setiap penambahan tahapan timbunan, diperlihatkan tegangan yang terjadi di setiap tahapan berdasarkan *output* dari PLAXIS, beserta nilai tegangan total (*vertical total stress*) maksimal yang terjadi selama tahapan timbunan tanah.

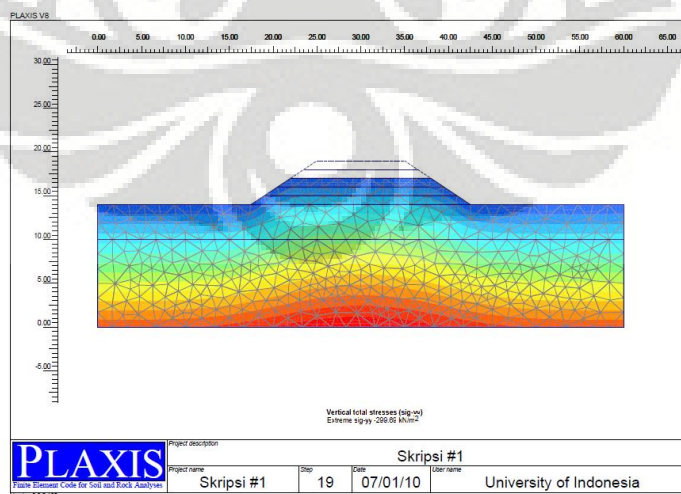
Gambar 4.6. a Tegangan total model 1, tahap awal (maks - 240 kN/m²)



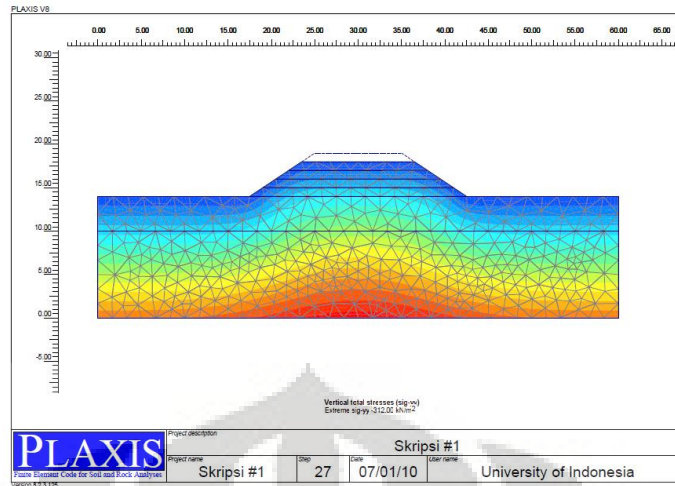
Gambar 4.6. b Tegangan total model 1, tahap 1 (maks - 257,06 kN/m²)



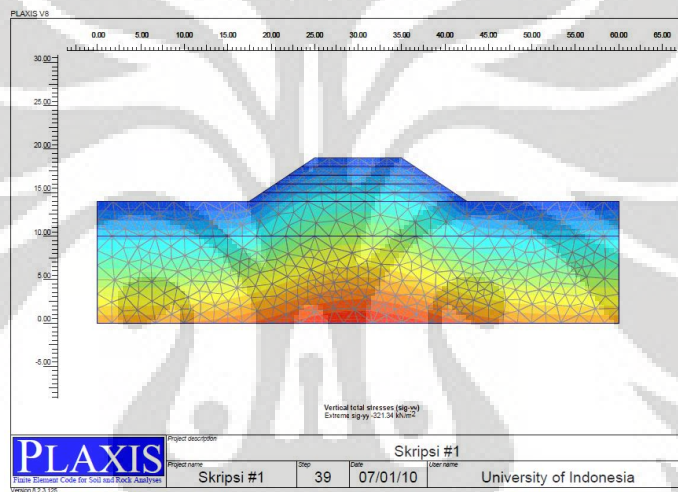
Gambar 4.6. c Tegangan total model 1, tahap 2 (maks - 273,15 kN/m²)



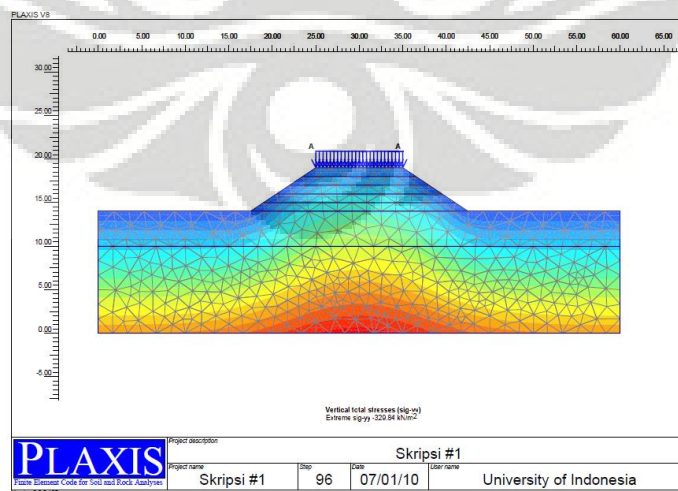
Gambar 4.6. d Tegangan total model 1, tahap 3 (maks - 287,69 kN/m²)



Gambar 4.6. e Tegangan total model 1, tahap 4 (maks - 300 kN/m²)

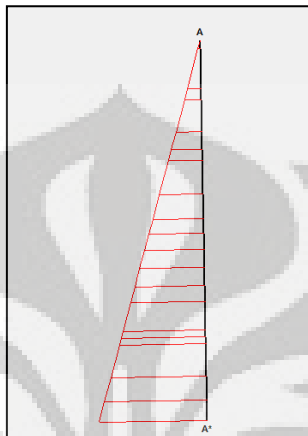


Gambar 4.6. f Tegangan total model 1, tahap 5 (maks - 309,34 kN/m²)



Gambar 4.6. g Tegangan total model 1, tahap pembebanan (maks - 317,84 kN/m²)

Berdasarkan *output* PLAXIS diatas, dapat dicari perubahan tegangan total yang terjadi dengan memotong pada potongan bidang yang ditinjau (gambar 4.5). Besar nilai dari potongan tegangan total pada tiap tahapan timbunan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 7 Potongan A-A' untuk tegangan total

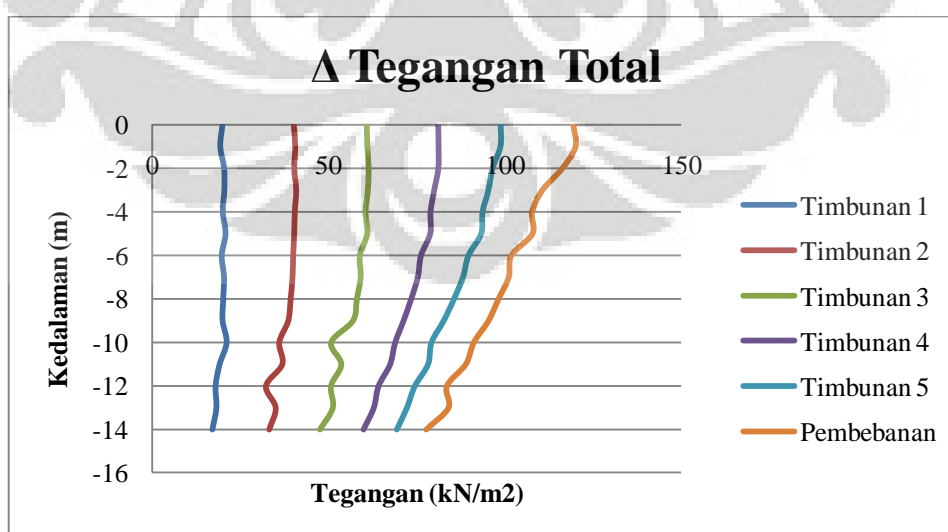
Tabel 4. 3 Nilai tegangan total model 1 pada garis potongan yang ditinjau dengan PLAXIS

Tegangan Total								
X	Y	Tahap Awal	Timbunan 1	Timbunan 2	Timbunan 3	Timbunan 4	Timbunan 5	Pembebanan
[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
30	0	0	20,002	40,128	60,923	81,123	98,781	119,341
30	-1	8,674	28,044	49,21	69,746	89,909	107,382	128,659
30	-2	23,618	44,114	63,881	85,035	104,789	120,081	139,864
30	-3	47,273	67,831	88,091	108,502	127,279	142,575	157,877
30	-4	60,002	80,113	100,416	120,557	138,957	153,643	167,689
30	-5	61,46	82,375	101,717	122,503	140,335	154,711	169,265
30	-6	91,298	111,103	131,254	150,271	167,562	180,953	193,138
30	-7	102,303	122,771	142,075	161,491	177,661	190,386	203,374
30	-8	122,569	142,803	161,807	180,685	196,053	208,105	220,751
30	-9	145,399	165,447	183,963	202,409	216,721	228,022	240,74
30	-10	169,43	190,667	205,425	220,254	238,379	248,577	260,61
30	-11	182,779	201,968	219,649	236,47	250,304	260,971	271,687
30	-12	210,794	228,788	243,013	261,57	275,038	285,239	294,34
30	-13	220,717	238,946	255,703	272,013	283,596	292,9	304,714
30	-14	239,996	257,051	273,131	287,643	299,965	309,31	317,701

Dengan mengurangi nilai tegangan total per tahapan timbunan dengan nilai tegangan total pada kondisi awal, dapat diketahui nilai pengaruh tegangan selama tahapan timbunan tanah. Pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Pengaruh tegangan model 1 akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS

Δ Tegangan Total							
X	Y	Timbunan 1	Timbunan 2	Timbunan 3	Timbunan 4	Timbunan 5	Pembebanan
[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
30	0	20,002	40,128	60,923	81,123	98,781	119,341
30	-1	19,37	40,536	61,072	81,235	98,708	119,985
30	-2	20,496	40,263	61,417	81,171	96,463	116,246
30	-3	20,558	40,818	61,229	80,006	95,302	110,604
30	-4	20,111	40,414	60,555	78,955	93,641	107,687
30	-5	20,915	40,257	61,043	78,875	93,251	107,805
30	-6	19,805	39,956	58,973	76,264	89,655	101,84
30	-7	20,468	39,772	59,188	75,358	88,083	101,071
30	-8	20,234	39,238	58,116	73,484	85,536	98,182
30	-9	20,048	38,564	57,01	71,322	82,623	95,341
30	-10	21,237	35,995	50,824	68,949	79,147	91,18
30	-11	19,189	36,87	53,691	67,525	78,192	88,908
30	-12	17,994	32,219	50,776	64,244	74,445	83,546
30	-13	18,229	34,986	51,296	62,879	72,183	83,997
30	-14	17,055	33,135	47,647	59,969	69,314	77,705

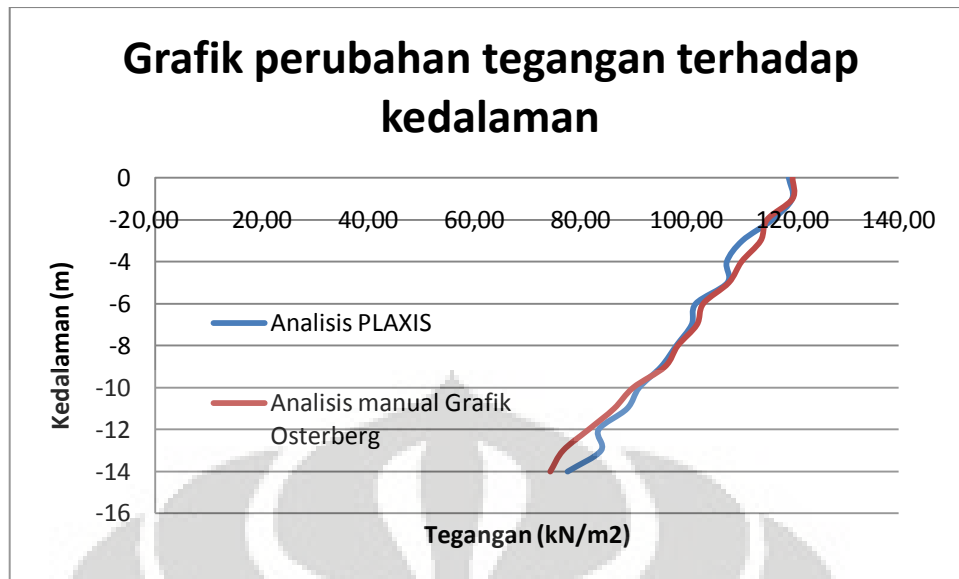


Gambar 4. 8 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 1

Setelah didapatkan nilai tegangan total yang terjadi berdasarkan analisis dengan PLAXIS, dilakukan analisis manual berdasarkan grafik pengaruh tegangan pada bidang jalur yang memikul timbunan berbentuk trapesium (Osterberg,1957). Tegangan total dan pengaruh tegangan pada kedalaman tertentu pada tahap akhir timbunan (pembebanan luar) hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg dibandingkan dan hubungan antara kedua analisis tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 5 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg pada model 1

KEDALAMAN (m)	PENGARUH GAYA					PERBEDAAN	
	Grafik Osterberg				PLAXIS		
	a/z	b/z	I	q ₀	Δσ		
0	~	~	0,5	120	120	119,34	1%
1	5,0	7,5	0,5	120	120	119,99	0%
2	2,5	3,8	0,48	120	115,2	116,25	1%
3	1,7	2,5	0,475	120	114	110,60	3%
4	1,3	1,9	0,46	120	110,4	107,69	2%
5	1,0	1,5	0,45	120	108	107,81	0%
6	0,8	1,3	0,43	120	103,2	101,84	1%
7	0,7	1,1	0,425	120	102	101,07	1%
8	0,6	0,9	0,41	120	98,4	98,18	0%
9	0,6	0,8	0,4	120	96	95,34	1%
10	0,5	0,8	0,375	120	90	91,18	1%
11	0,5	0,7	0,36	120	86,4	88,91	3%
12	0,4	0,6	0,34	120	81,6	83,55	2%
13	0,4	0,6	0,32	120	76,8	84,00	9%
14	0,4	0,5	0,31	120	74,4	77,71	4%

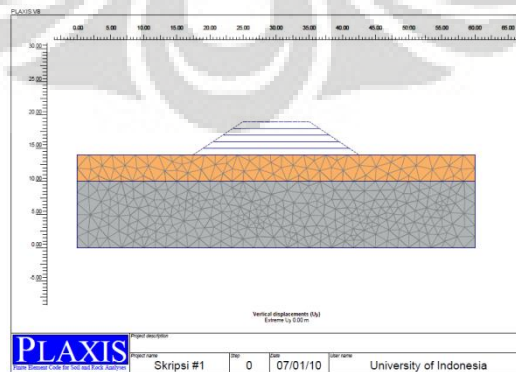


Gambar 4. 9 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 1

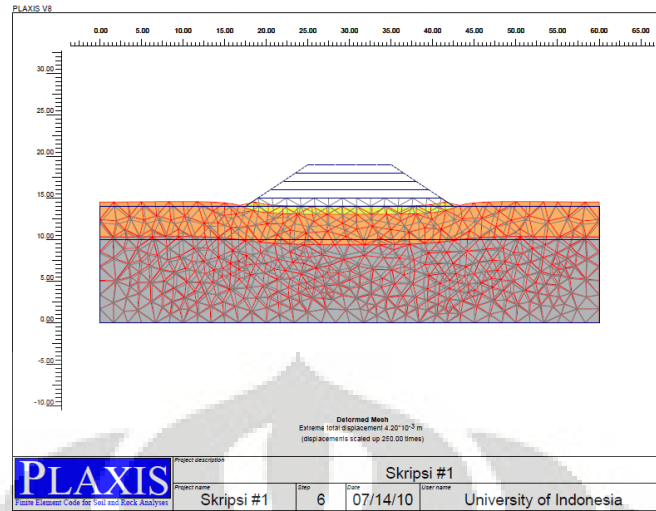
Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan grafik Osterberg, didapatkan perbedaan nilai $\Delta\sigma$ (tegangan total) yang mendekati. Perbedaan hasil perhitungan yang didapat paling besar 9 %. Hal ini dilakukan dengan tujuan menguji tingkat kecocokan perhitungan manual dengan hasil perhitungan PLAXIS.

4.2.1.2. Deformasi Vertikal

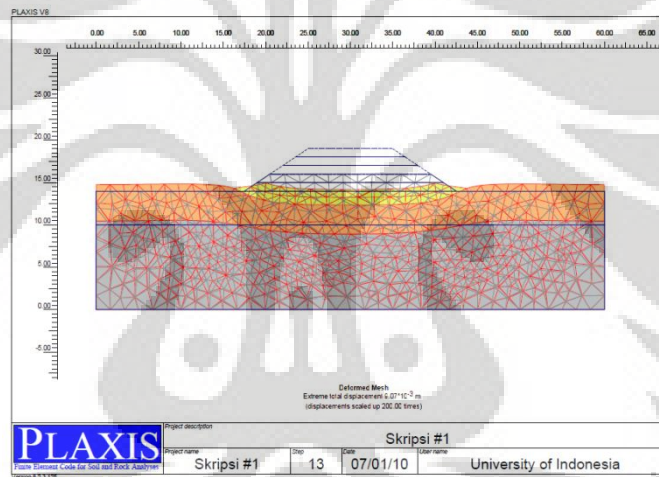
Deformasi vertikal yang terjadi akibat pembangunan timbunan tanah hasil dari analisis output PLAXIS dapat diperlihatkan per tahapan timbunan tanah timbunan. Peninjauan dilakukan terhadap kondisi awal (sebelum penimbunan) pada level tepat dibawah timbunan.



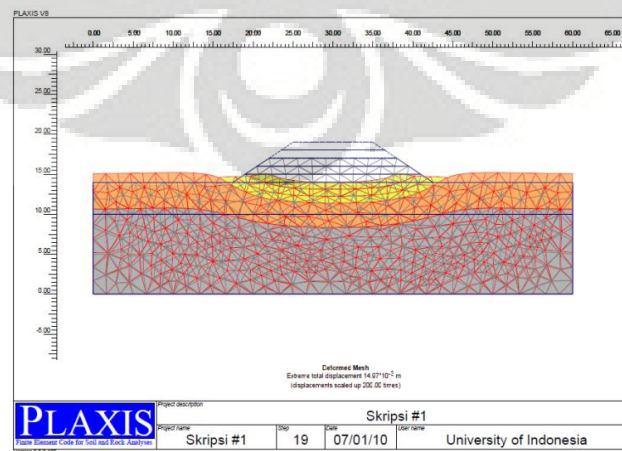
Gambar 4.10. a Deformasi vertikal model 1 kondisi awal (0m)



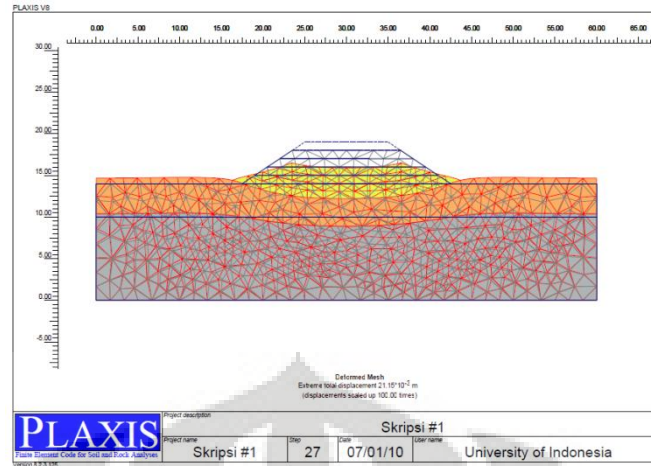
Gambar 4.10. b Deformasi vertikal model 1 tahap 1 (maks 4,20 x 10⁻³ m)



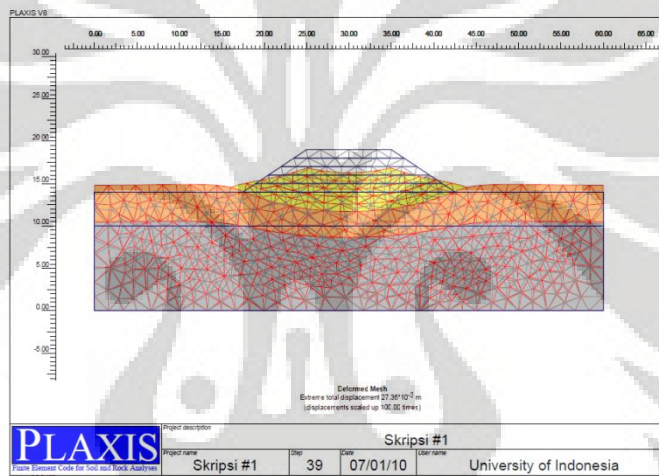
Gambar 4.10. c Deformasi vertikal model tahap 2 (maks 9,07 x 10⁻³ m)



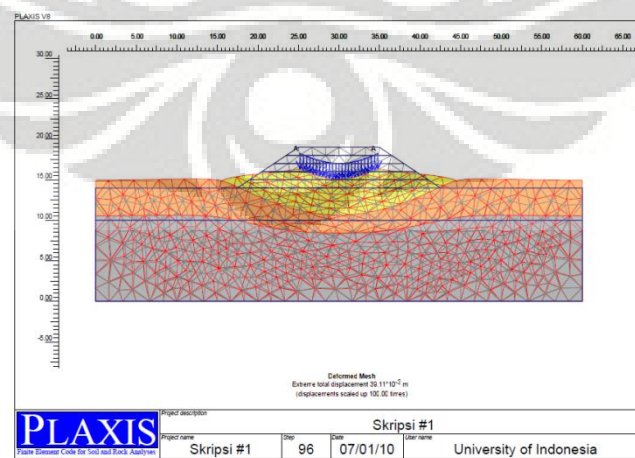
Gambar 4.10.d Deformasi vertikal model 1 tahap 3 (maks 14,97 x 10⁻³ m)



Gambar 4.10. e Deformasi vertikal model 1 tahap 4 (maks 21,15 x 10-3 m)



Gambar 4.10. f Deformasi vertikal model 1 tahap 5 (maks 27,36 x 10-3 m)

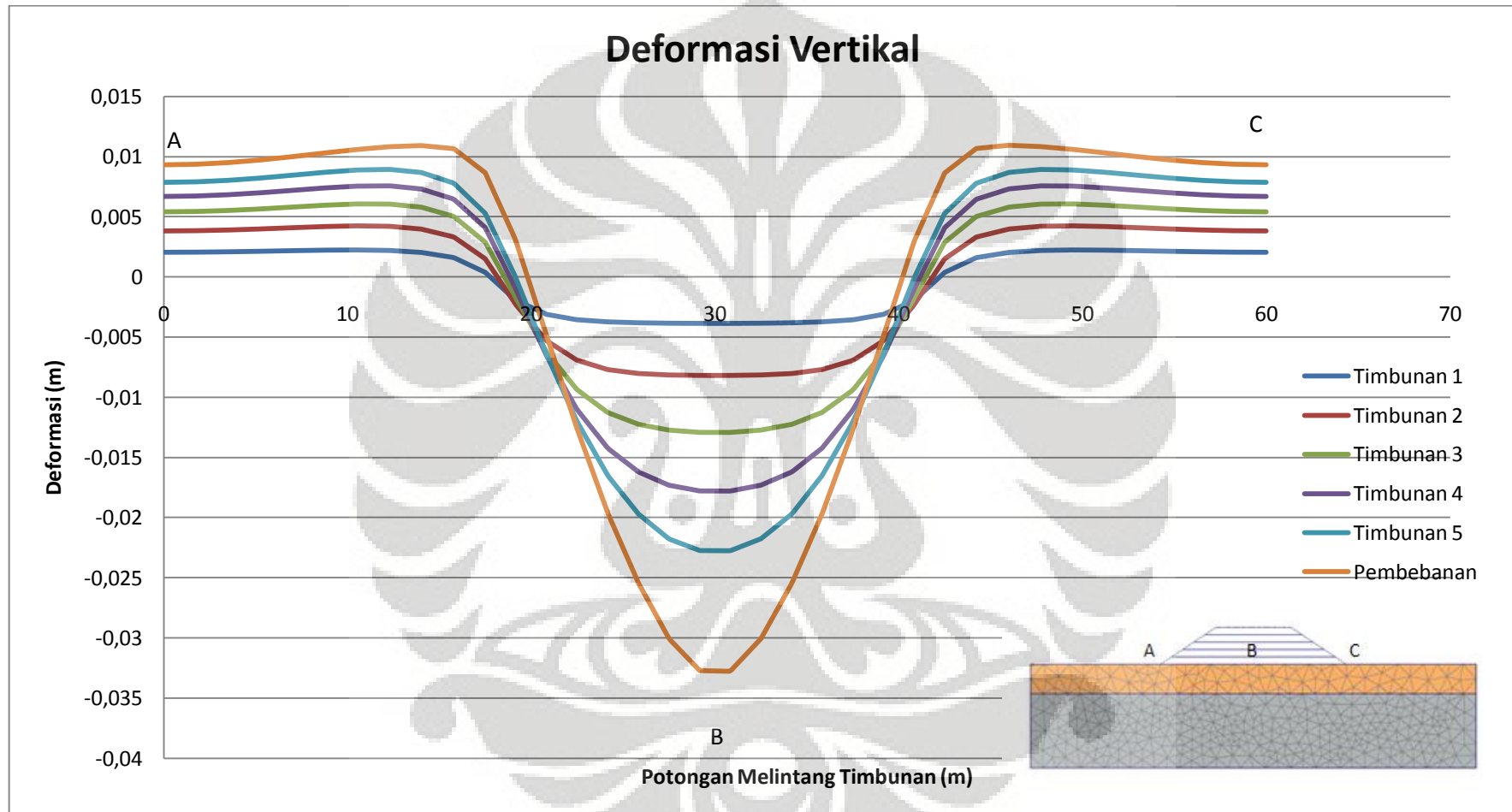


Gambar 4.10. g Deformasi vertikal model 1 tahap Pembebanan (maks 33,11 x 10-3 m)

Keseluruhan penurunan yang terjadi pada dasar timbunan hasil analisis dengan PLAXIS ditampilkan dlm bentuk tabel dan di plot ke dalam grafik penurunan. Grafik tersebut akan diplot antara penurunan (m) dan potongan melintang timbunan (m).

Tabel 4. 6 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 1

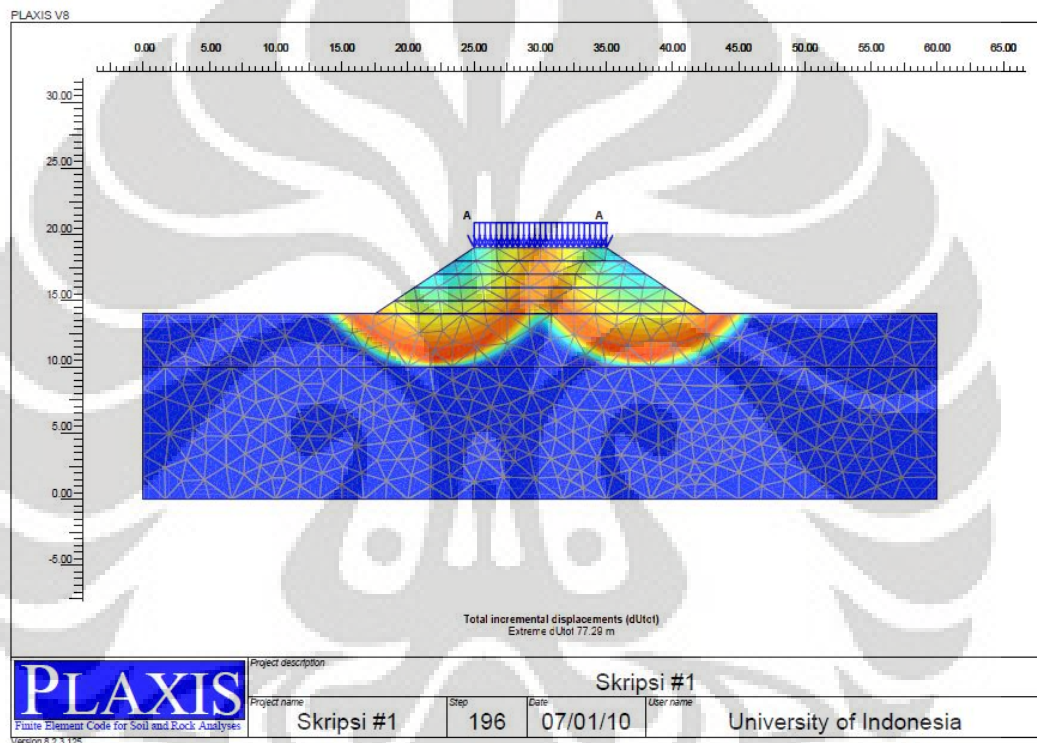
Deformasi vertikal (U_y)							
X	Y	Timbunan 1	Timbunan 2	Timbunan 3	Timbunan 4	Timbunan 5	Pembebanan
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	14	0,002	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009
1	14	0,002	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009
2	14	0,002	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009
3	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,008	0,010
4	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,008	0,010
5	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,008	0,010
6	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,008	0,010
7	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,008	0,010
8	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010
9	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010
10	14	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,011
11	14	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,011
12	14	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,011
13	14	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,011
14	14	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,011
15	14	0,002	0,003	0,005	0,007	0,008	0,011
16	14	0,002	0,003	0,005	0,006	0,008	0,011
17	14	0,000	0,002	0,003	0,004	0,005	0,009
18	14	0,000	0,002	0,003	0,004	0,005	0,009
19	14	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	0,000	0,003
20	14	-0,003	-0,005	-0,006	-0,007	-0,006	-0,005
21	14	-0,003	-0,005	-0,006	-0,007	-0,006	-0,005
22	14	-0,004	-0,007	-0,009	-0,011	-0,012	-0,012
23	14	-0,004	-0,007	-0,009	-0,011	-0,012	-0,013
24	14	-0,004	-0,008	-0,011	-0,014	-0,016	-0,019
25	14	-0,004	-0,008	-0,012	-0,016	-0,020	-0,025
26	14	-0,004	-0,008	-0,012	-0,016	-0,020	-0,025
27	14	-0,004	-0,008	-0,013	-0,017	-0,022	-0,030
28	14	-0,004	-0,008	-0,013	-0,017	-0,022	-0,030
29	14	-0,004	-0,008	-0,013	-0,018	-0,023	-0,033
30	14	-0,004	-0,008	-0,013	-0,018	-0,023	-0,033



Gambar 4. 11 Deformasi Vertikal model 1 terhadap potongan melintang timbunan

4.2.1.3. Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran

Metode perhitungan yang digunakan dalam perhitungan PLAXIS untuk menghitung nilai faktor keamanan timbunan ini dengan menggunakan *phi-c reduction*. Nilai dari faktor keamanan akan tertera pada info kalkulasi dengan melihat nilai dari Msf dan dengan tampilan *shading* pada pilihan *total incremental*, akan didapat bentuk keruntuhan timbunan yang terjadi.



Gambar 4. 12 Bentuk kelongsoran model 1 yang terjadi pada tahap akhir (Base Failure, FK = 1,083)

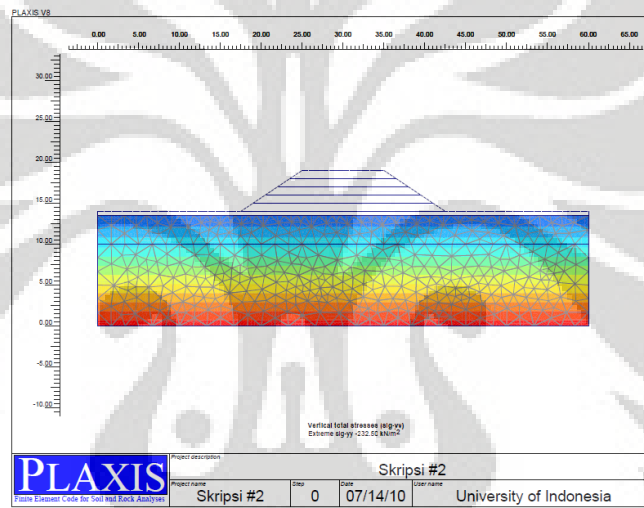
Berdasarkan hasil perhitungan dengan PLAXIS, didapat nilai faktor keamanan sebesar 1,083 dan bentuk kelongsoran yang terjadi adalah tipe *base failure*. Nilai faktor keamanan masih lebih kecil dari 1,5. Hal tersebut menunjukkan timbunan ataupun tanah lempung lunak mengalami keruntuhan. Tipe keruntuhan *base failure* terjadi karena ketidakmampuan tanah lempung lunak sebagai pondasi dari timbunan di atasnya. Kondisi yang terjadi dalam kelongsoran seperti pada kasus ini adalah timbunan tergelincir dan tanah lunak juga mengalami pergerakan ke atas pada kaki-

kaki timbunan. Efek dari kelongsoran hanya terjadi sampai pada lapisan lempung lunak (D_1) saja.

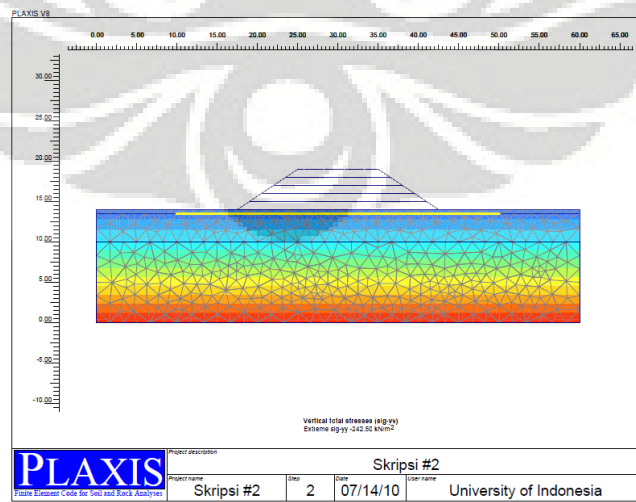
4.2.2. Hasil Analisis Kasus 2 ($D_1 = 4$ meter, $\phi = 0^\circ$, dengan Geosintetik)

4.2.2.1. Perubahan Tegangan ($\Delta\sigma$)

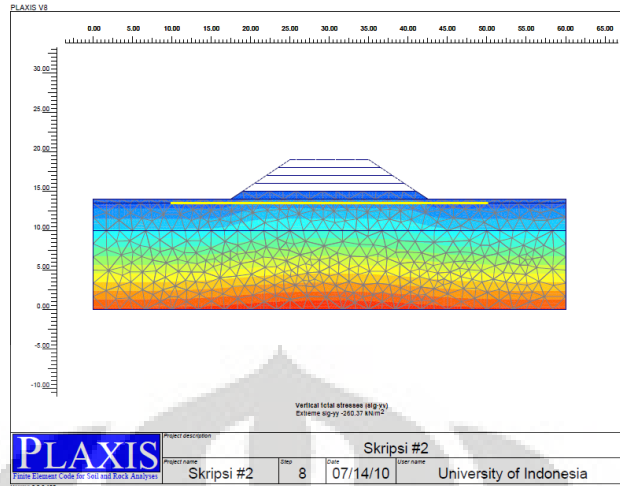
Di setiap penambahan tahapan timbunan, diperlihatkan tegangan yang terjadi di setiap tahapan berdasarkan *output* dari PLAXIS, beserta nilai tegangan total (*vertical total stress*) maksimal yang terjadi selama tahapan timbunan tanah.



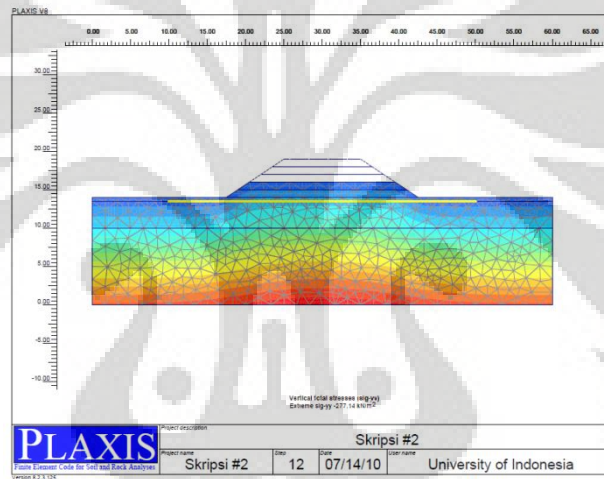
Gambar 4.13. a Tegangan total model 2 tahap awal (maks -232,5 kN/m²)



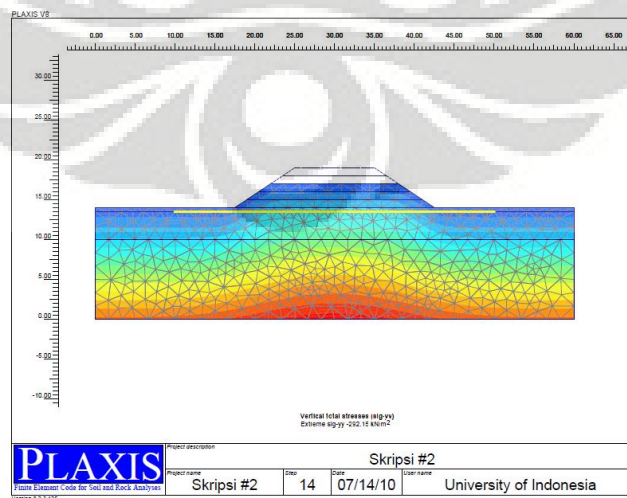
Gambar 4.13.b Tegangan total model 2 tahap 1 (maks -242,5 kN/m²)



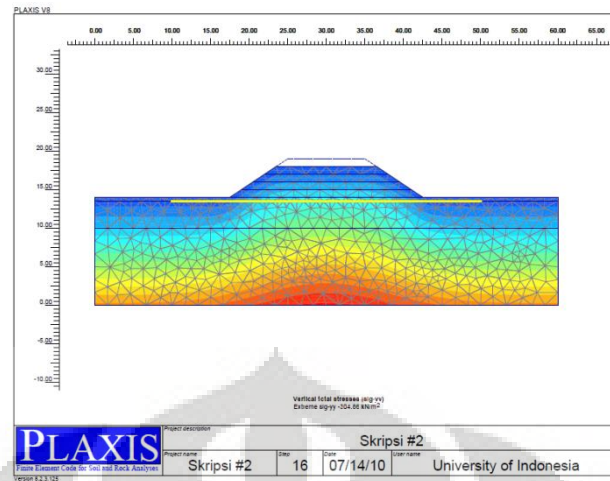
Gambar 4.13. c Tegangan total model 2 tahap 2 (maks -260,87 kN/m²)



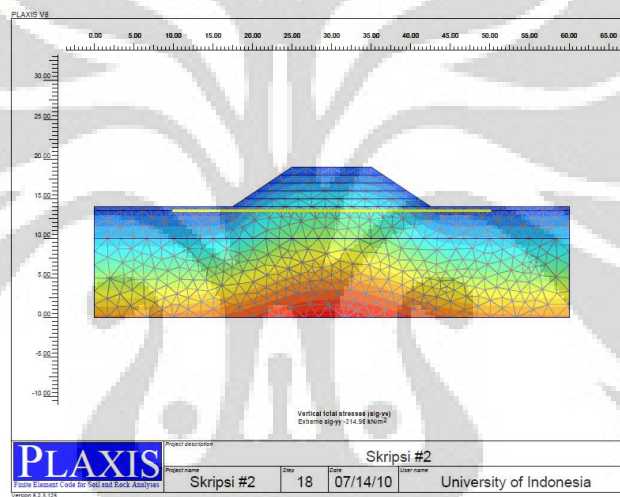
Gambar 4.13. d Tegangan total model 2 tahap 3 (maks -277,14 kN/m²)



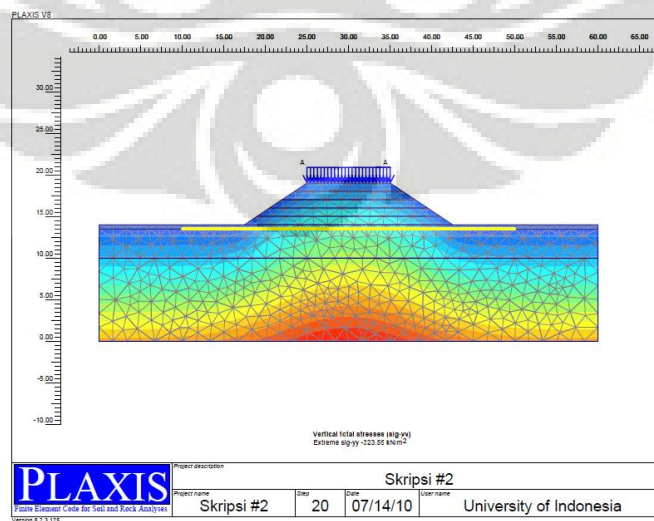
Gambar 4.13. e Tegangan total model 2 tahap 4 (maks -292,15 kN/m²)



Gambar 4.13. f Tegangan total model 2 tahap 5 (maks -304,86 kN/m²)



Gambar 4.13. g Tegangan total model 2 tahap 6 (maks -314,96 kN/m²)



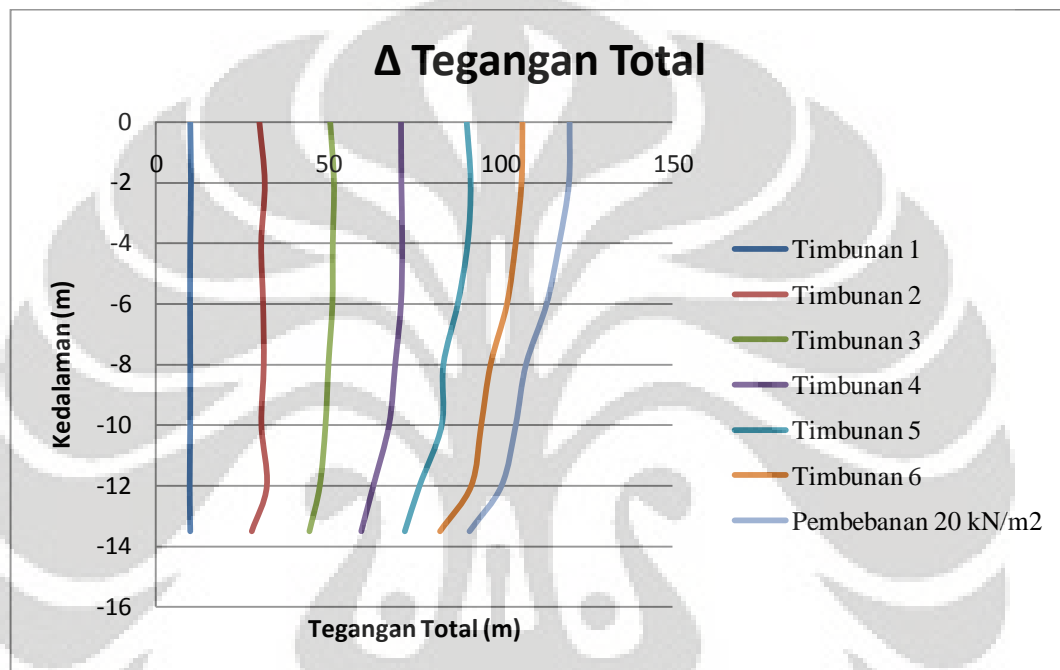
Gambar 4.13. h Tegangan total model 2 tahap pembebanan (maks -323,55 kN/m²)

Dengan mengurangi nilai tegangan total per tahapan timbunan dengan nilai tegangan total pada kondisi awal, dapat diketahui nilai pengaruh tegangan selama tahapan timbunan tanah. Pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Pengaruh tegangan model 2 akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS

Kedalaman	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Beban Luar
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
0	10,000	30,057	50,640	71,151	90,171	106,410
-0,5	9,597	28,347	49,862	69,611	88,940	104,265
-1	9,597	28,346	49,861	69,610	88,940	104,266
-1,5	9,936	29,913	50,827	71,242	90,269	106,135
-2	10,248	31,596	51,730	71,242	91,296	106,137
-2,5	10,247	31,595	51,729	73,024	91,298	107,889
-3	9,924	29,952	51,107	71,202	90,074	105,268
-3,5	10,347	33,333	52,361	71,200	90,450	105,264
-4	10,000	30,580	51,389	71,486	90,450	104,417
-4,5	10,000	33,335	51,392	71,492	89,505	104,432
-5	9,817	28,973	50,852	71,110	89,036	102,652
-5,5	10,031	31,118	51,277	71,108	87,578	101,912
-6	9,946	31,119	51,275	71,126	87,573	101,907
-6,5	9,946	29,497	50,741	71,124	86,901	99,383
-7	10,036	31,964	50,865	67,617	85,218	99,816
-7,5	9,976	29,284	50,343	67,611	85,548	97,326
-8	9,997	31,316	50,130	69,455	83,424	97,127
-8,5	9,997	31,318	50,130	69,459	83,422	97,129
-9	9,997	28,590	49,665	65,715	83,976	94,572
-9,5	10,017	28,591	49,665	65,712	83,976	94,570
-10	9,981	30,640	49,272	67,662	82,933	94,399
-10,5	10,140	26,367	48,696	67,664	82,936	90,566

-11	10,028	29,069	48,292	64,619	80,118	91,096
-11,5	10,028	29,067	48,294	64,619	80,123	91,098
-12	9,808	32,195	47,622	63,126	76,517	91,511
-12,5	9,988	29,029	46,752	63,135	76,489	87,671
-13	10,184	26,555	46,097	59,104	76,584	84,678
-13,5	10,000	27,867	44,609	59,643	72,257	82,421

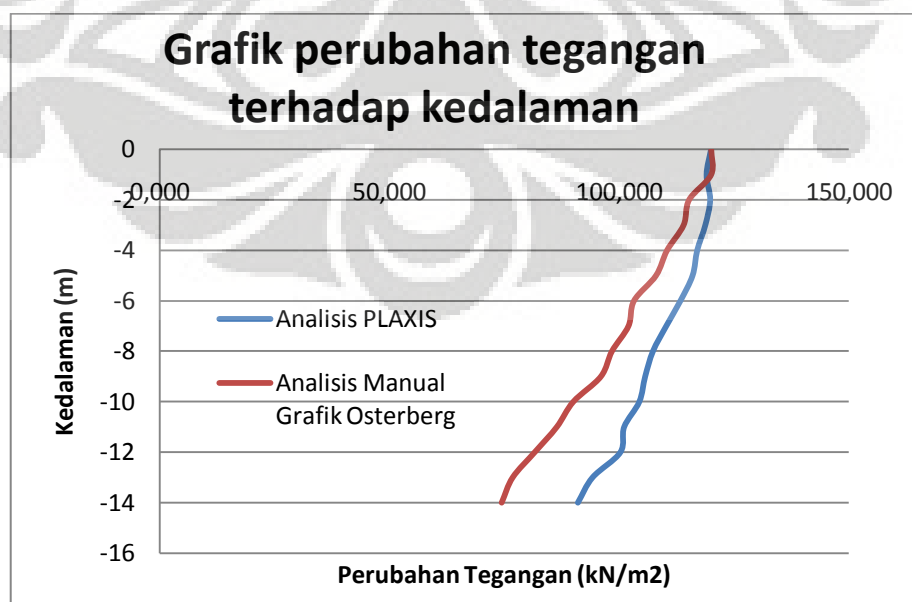


Gambar 4. 14 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 2

Setelah didapatkan nilai tegangan total yang terjadi berdasarkan analisis dengan PLAXIS, dilakukan analisis manual berdasarkan grafik pengaruh tegangan pada bidang jalur yang memikul timbunan berbentuk trapesium (Osterberg,1957). Tegangan total dan pengaruh tegangan pada kedalaman tertentu pada tahap akhir timbunan (pembebanan luar) hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg dibandingkan dan hubungan antara kedua analisis tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 8 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 2

Kedalaman (m)	Pengaruh Gaya						Penyimpangan
	Grafik Osterberg					PLAXIS	
	a/z	b/z	I	q ₀	Δσ	Δσ	
0	~	~	0,5	120	120	120,020	0%
1	5,0	7,5	0,5	120	120	119,04	1%
2	2,5	3,8	0,48	120	115,2	119,83	4%
3	1,7	2,5	0,475	120	114	118,77	4%
4	1,3	1,9	0,46	120	110,4	117,01	6%
5	1,0	1,5	0,45	120	108	116,00	7%
6	0,8	1,3	0,43	120	103,2	113,35	10%
7	0,7	1,1	0,425	120	102	110,26	8%
8	0,6	0,9	0,41	120	98,4	107,36	9%
9	0,6	0,8	0,4	120	96	105,66	10%
10	0,5	0,8	0,375	120	90	104,39	16%
11	0,5	0,7	0,36	120	86,4	101,08	17%
12	0,4	0,6	0,34	120	81,6	100,27	23%
13	0,4	0,6	0,32	120	76,8	94,19	23%
13,5	0,4	0,6	0,31	120	74,4	90,99	22%

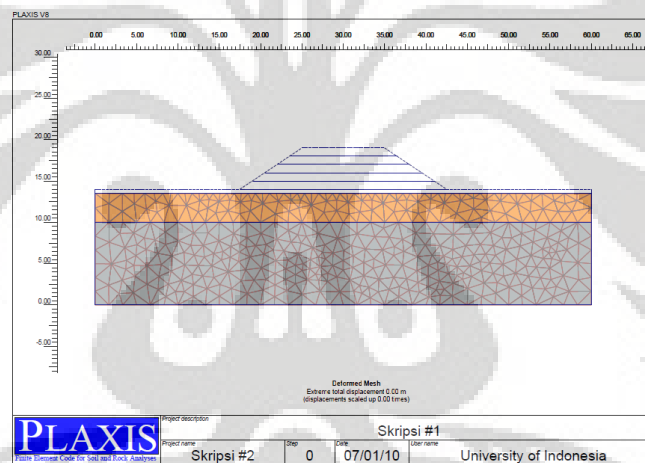


Gambar 4. 15 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 2

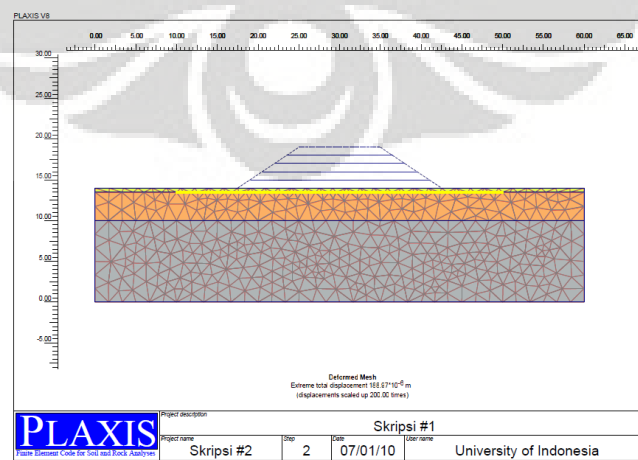
Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan grafik Osterberg, didapatkan perbedaan nilai $\Delta\sigma$ (tegangan total) yang mendekati. Perbedaan hasil perhitungan yang didapat paling besar 23 %. Hal ini dilakukan dengan tujuan menguji tingkat kecocokan perhitungan manual dengan hasil perhitungan PLAXIS.

4.2.2.2. Deformasi Vertikal

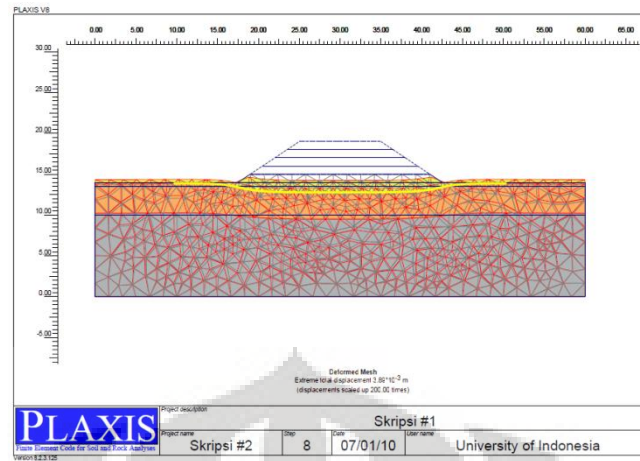
Deformasi vertikal yang terjadi akibat pembangunan timbunan tanah hasil dari analisis output PLAXIS dapat diperlihatkan per tahapan timbunan tanah timbunan. Peninjauan dilakukan terhadap kondisi awal (sebelum penimbunan) pada level tepat dibawah timbunan.



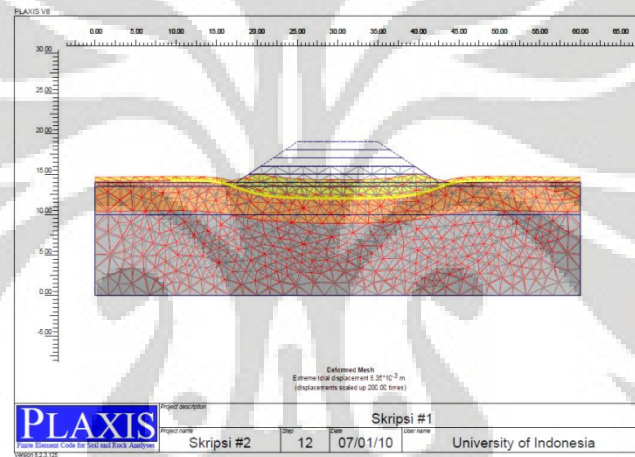
Gambar 4.16. a Deformasi vertikal model 2 tahap awal (0m)



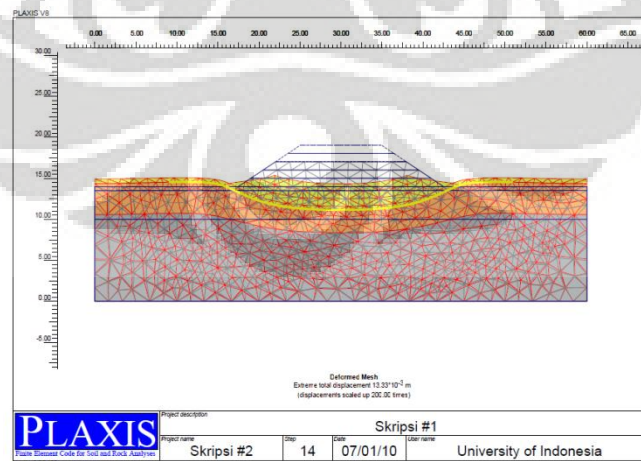
Gambar 4.16. b Deformasi vertikal model 2 tahap 1 (maks 188,97 x 10-6 m)



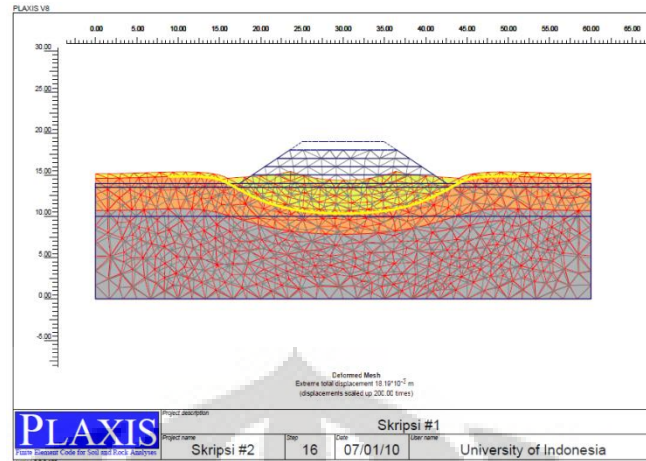
Gambar 4.16. c Deformasi vertikal model 2 tahap 2 (maks $3,89 \times 10^{-3}$ m)



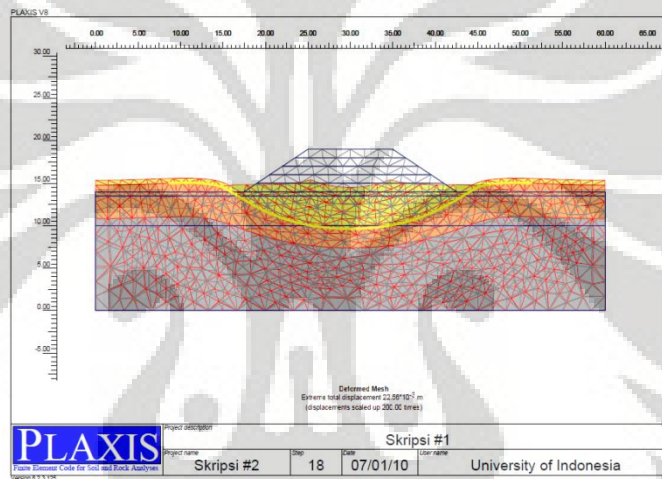
Gambar 4.16. d Deformasi vertikal model 2 tahap 3 (maks $8,35 \times 10^{-3}$ m)



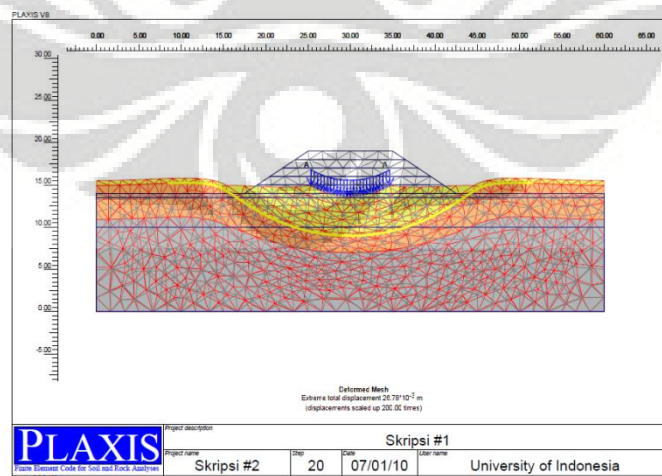
Gambar 4.16. e Deformasi vertikal model 2 tahap 4 (maks $13,33 \times 10^{-3}$ m)



Gambar 4.16. f Deformasi vertikal model 2 tahap 5 (maks 18,19 x 10⁻³ m)



Gambar 4.16. g Deformasi vertikal model 2 tahap 6 (maks 22,56 x 10⁻³ m)



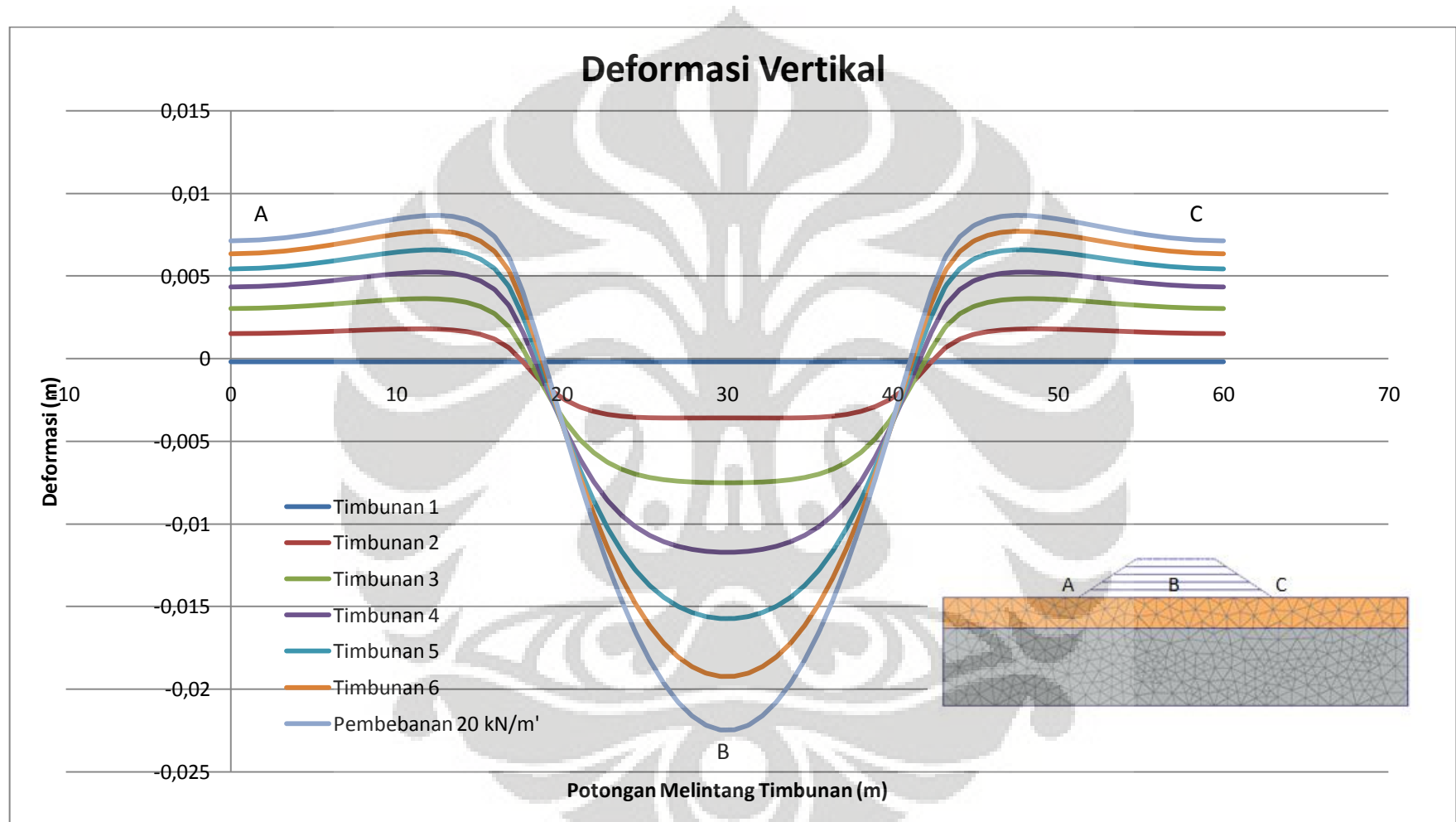
Gambar 4.16. h Deformasi vertikal model 2 tahap pembebanan (maks 22,11 x 10⁻³ m)

Tabel 4. 9 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 2

SUMBU KOORDINAT		TAHAPAN TIMBUNAN							Baban Luar
X	Y	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Tahap 6		
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
0	0	0,000	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	
1	0	0,000	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	
2	0	0,000	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	
3	0	0,000	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,007	
4	0	0,000	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,007	
5	0	0,000	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007	0,008	
6	0	0,000	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007	0,008	
7	0	0,000	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007	0,008	
8	0	0,000	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007	0,008	
9	0	0,000	0,002	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	
10	0	0,000	0,002	0,004	0,005	0,006	0,008	0,008	
11	0	0,000	0,002	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009	
12	0	0,000	0,002	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009	
13	0	0,000	0,002	0,004	0,005	0,007	0,008	0,009	
14	0	0,000	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007	0,008	
15	0	0,000	0,001	0,003	0,005	0,006	0,007	0,008	
16	0	0,000	0,001	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	
17	0	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	
18	0	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	
19	0	0,000	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	
20	0	0,000	-0,003	-0,004	-0,004	-0,004	-0,005	-0,005	
21	0	0,000	-0,003	-0,005	-0,006	-0,007	-0,007	-0,007	
22	0	0,000	-0,003	-0,006	-0,007	-0,009	-0,009	-0,010	
23	0	0,000	-0,003	-0,006	-0,009	-0,010	-0,012	-0,013	

24	0	0,000	-0,004	-0,007	-0,010	-0,013	-0,015	-0,016
25	0	0,000	-0,004	-0,007	-0,010	-0,013	-0,015	-0,017
26	0	0,000	-0,004	-0,007	-0,011	-0,014	-0,017	-0,020
27	0	0,000	-0,004	-0,007	-0,011	-0,015	-0,018	-0,021
28	0	0,000	-0,004	-0,007	-0,012	-0,015	-0,019	-0,022
29	0	0,000	-0,004	-0,008	-0,012	-0,016	-0,019	-0,022
30	0	0,000	-0,004	-0,008	-0,012	-0,016	-0,019	-0,022

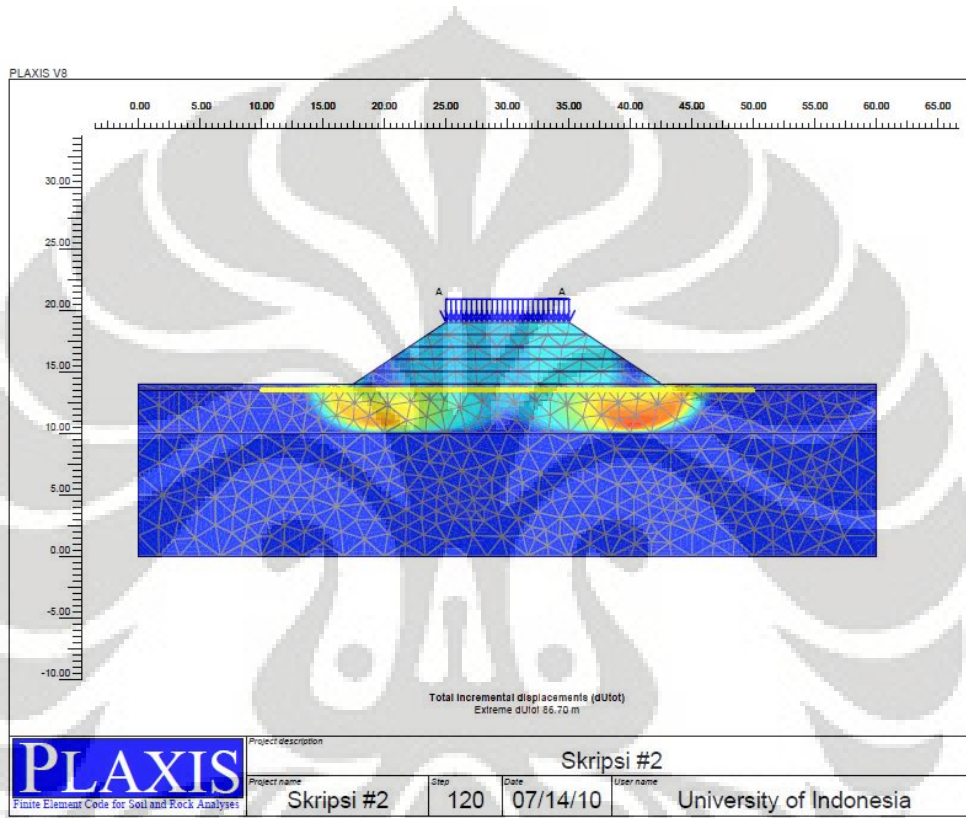




Gambar 4. 17 Deformasi vertikal terhadap potongan melintang timbunan model 2

4.2.2.3. Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran

Metode perhitungan yang digunakan dalam perhitungan PLAXIS untuk menghitung nilai faktor keamanan timbunan ini dengan menggunakan *phi-c reduction*. Nilai dari faktor keamanan akan tertera pada info kalkulasi dengan melihat nilai dari Msf dan dengan tampilan *shading* pada pilihan *total incremental*, akan didapat bentuk keruntuhan timbunan yang terjadi.



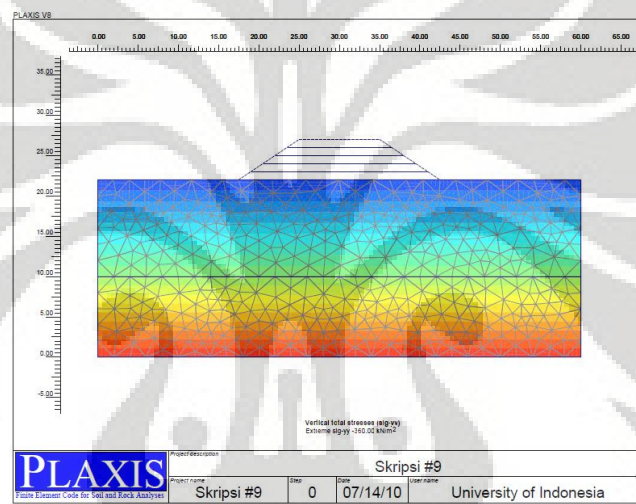
Gambar 4. 18 Bentuk kelongsoran yang terjadi pada tahap akhir model 2 (FK = 2,144)

Berdasarkan hasil perhitungan dengan PLAXIS, didapat nilai faktor keamanan sebesar 2,144 dan bentuk kelongsoran yang tadinya adalah tipe *base failure*, sekarang sudah dapat diatasi dengan penggunaan geosintetik. Nilai faktor keamanan sudah lebih dari 1,5. Gambar 4.18 menunjukkan bentuk kelongsoran yang terjadi. Tidak terjadi kelongsoran pada timbunan, tetapi masih terdapat deformasi pada tanah lunak. Penggunaan geosintetik digunakan sebagai perkuatan tanah lunak dalam menahan timbunan yang dibangun di atasnya. Efek dari kelongsoran hanya terjadi sampai pada lapisan lempung lunak (D_1) saja.

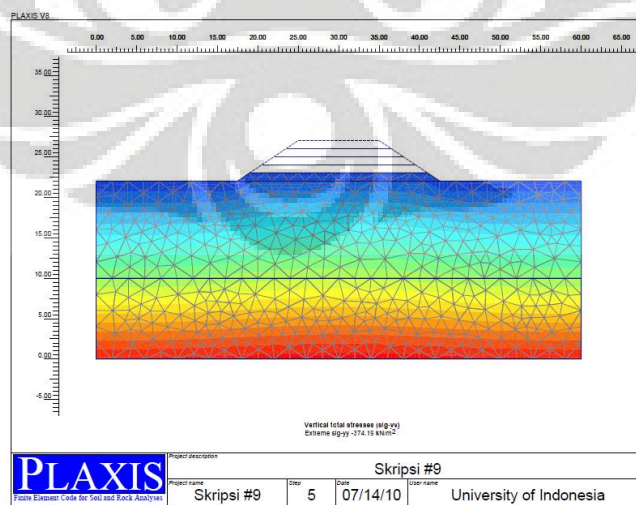
4.2.3. Hasil Analisis Kasus 9 ($D_1 = 12$ meter, $\phi = 0^\circ$, tanpa Geosintetik)

4.2.3.1. Perubahan Tegangan ($\Delta\sigma$)

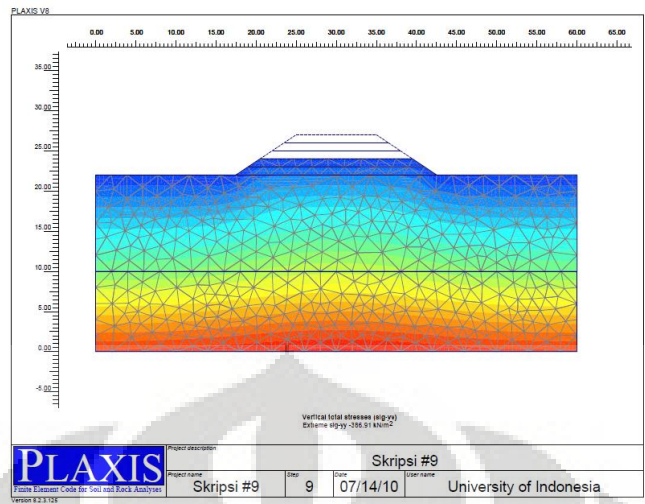
Di setiap penambahan tahapan timbunan, diperlihatkan tegangan yang terjadi di setiap tahapan berdasarkan *output* dari PLAXIS, beserta nilai tegangan total (*vertical total stress*) maksimal yang terjadi selama tahapan timbunan tanah. Pada pemodelan ini, terjadi kegagalan pada tahap perhitungan terakhir (tahap 6), yaitu pada saat pemberian beban luar sebesar 20 kN/m^2 . Tanah lempung lunak yang menjadi dasar dari timbunan mengalami *bearing failure*.



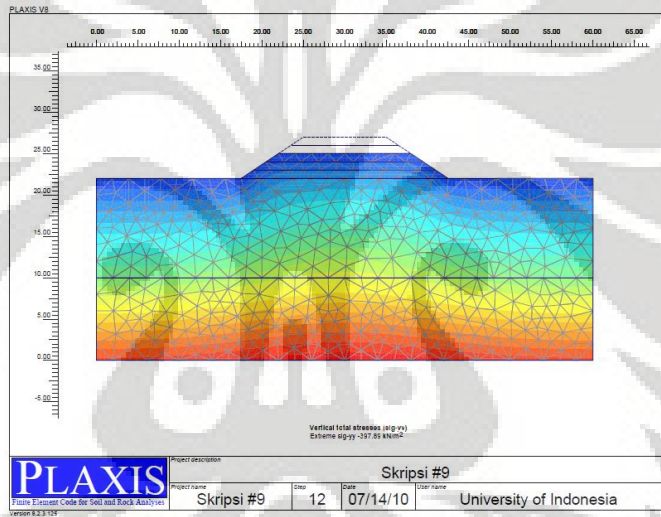
Gambar 4.19. a Tegangan total model 9 tahap awal (maks -360 kN/m²)



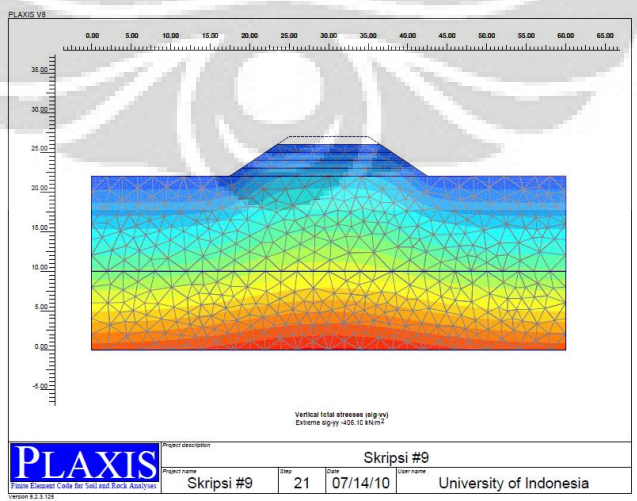
Gambar 4.19. b Tegangan total model 9 tahap 1 (maks -374,19 kN/m²)



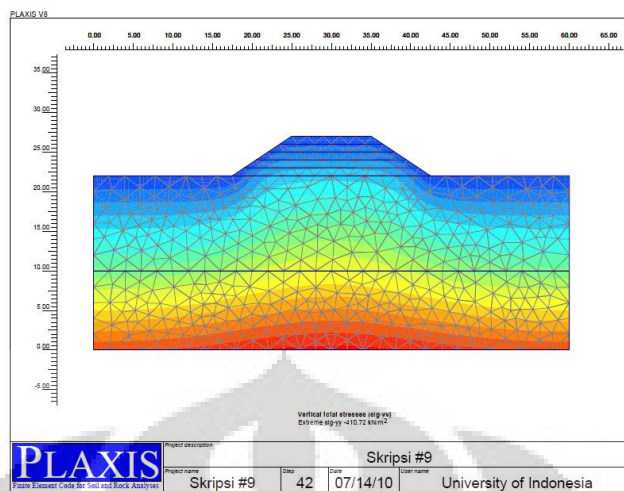
Gambar 4.19. c Tegangan total model 9 tahap 2 (maks -386,91 kN/m²)



Gambar 4.19. d Tegangan total model 9 tahap 3 (maks -397,89 kN/m²)



Gambar 4.19. e Tegangan total model 9 tahap 4 (maks -406,10 kN/m²)



Gambar 4.19. f Tegangan total model 9 tahap 5 (maks -410,72 kN/m²)

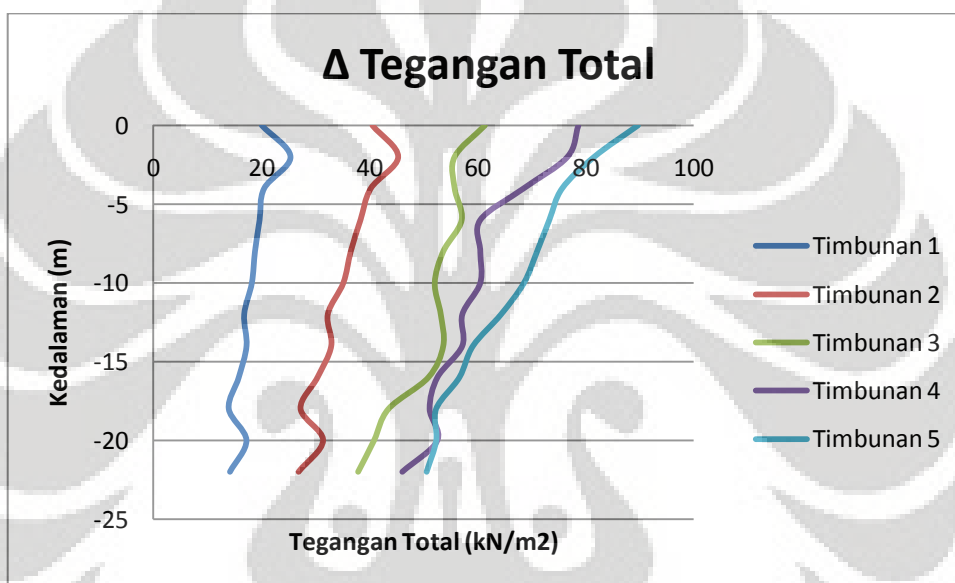
Dengan mengurangi nilai tegangan total per tahapan timbunan dengan nilai tegangan total pada kondisi awal, dapat diketahui nilai pengaruh tegangan selama tahapan timbunan tanah. Pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Pengaruh tegangan akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS model 9

Kedalaman	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
0	20,073	40,568	61,342	78,732	89,744
-0,5	20,720	39,138	64,910	78,874	90,154
-1	20,631	40,961	64,929	76,698	90,222
-1,5	25,386	31,060	77,643	68,557	81,502
-2	25,380	45,337	99,908	68,576	81,624
-2,5	19,066	29,645	62,659	64,589	58,540
-3	19,068	39,585	81,101	64,695	75,688
-3,5	20,068	40,183	71,416	52,649	62,507
-4	20,493	40,258	75,846	59,585	69,289
-4,5	19,900	39,440	84,198	55,192	65,829

-5	20,091	38,570	55,723	38,243	47,476
-5,5	20,651	38,575	55,739	68,395	47,453
-6	19,652	38,354	57,048	67,492	73,312
-6,5	19,941	38,364	57,042	67,965	73,313
-7	19,428	38,256	75,205	67,552	76,312
-7,5	18,797	36,544	53,163	30,652	54,217
-8	18,798	36,548	53,631	46,849	71,041
-8,5	18,788	36,291	50,878	60,516	68,328
-9	18,783	36,279	73,658	60,511	74,127
-9,5	18,219	35,173	50,205	39,616	50,614
-10	18,219	35,174	52,051	39,609	68,615
-10,5	18,092	34,858	48,529	57,173	65,093
-11	18,090	34,853	60,948	57,170	70,003
-11,5	16,794	32,282	36,649	36,035	45,701
-12	16,795	32,284	66,736	36,027	64,363
-12,5	17,057	32,703	45,840	36,891	62,333
-13	17,058	32,706	53,033	36,883	62,349
-13,5	17,232	32,940	48,279	51,641	59,145
-14	17,228	32,932	76,767	51,651	59,162
-14,5	16,444	31,328	44,809	51,098	26,445
-15	16,444	31,330	51,529	51,101	26,439
-15,5	15,792	30,385	50,512	52,545	56,632
-16	15,787	30,376	71,967	52,553	56,639
-16,5	15,696	29,886	42,317	23,426	34,923
-17	15,697	29,886	56,591	23,413	34,929
-17,5	13,934	27,242	34,072	28,723	33,647
-18	13,933	27,238	43,491	28,723	33,643
-18,5	15,159	28,807	40,812	45,944	49,310

-19	15,162	28,811	56,105	45,936	49,306
-19,5	17,209	31,413	51,899	45,108	52,333
-20	17,211	31,416	65,936	45,116	52,343
-20,5	14,852	27,877	40,796	25,341	47,475
-21	14,852	27,877	44,256	47,019	47,471
-21,5	14,158	26,865	37,848	46,024	50,561
-22	14,158	26,865	37,848	46,024	50,561

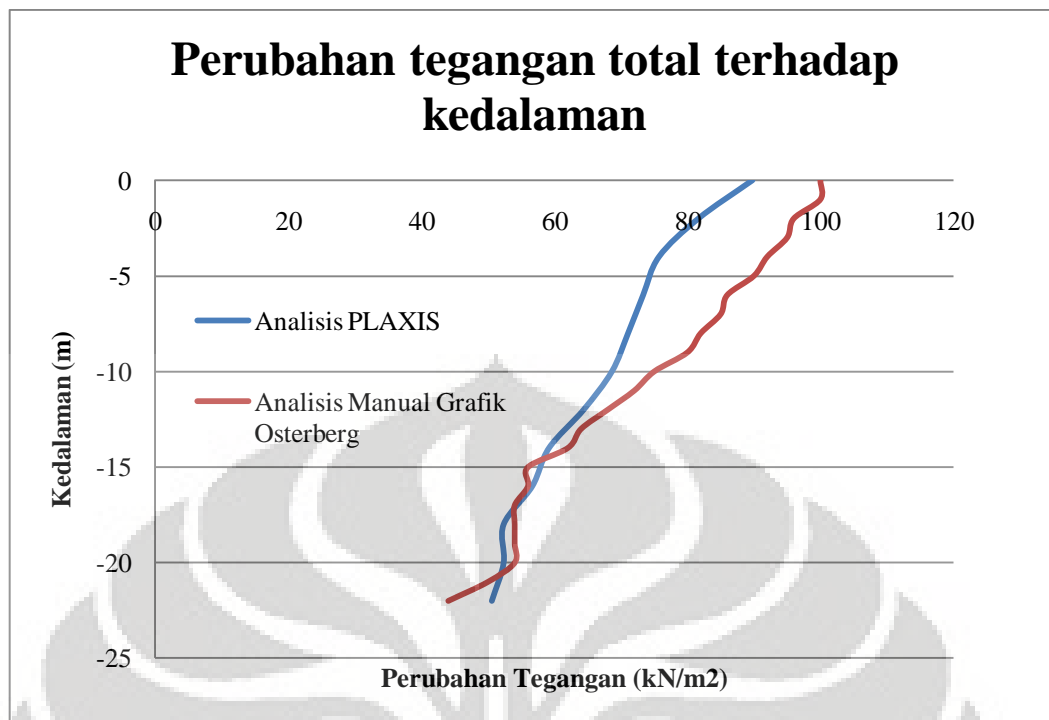


Gambar 4. 20 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 9

Setelah didapatkan nilai tegangan total yang terjadi berdasarkan analisis dengan PLAXIS, dilakukan analisis manual berdasarkan grafik pengaruh tegangan pada bidang jalur yang memikul timbunan berbentuk trapesium (Osterberg, 1957). Tegangan total dan pengaruh tegangan pada kedalaman tertentu pada tahap akhir timbunan (pembebanan luar) hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg dibandingkan dan hubungan antara kedua analisis tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 11 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 9

Kedalaman (m)	Pengaruh Gaya						Penyimpangan
	Grafik Osterberg					PLAXIS	
	a/z	b/z	I	q ₀	Δσ	Δσ	
0	~	~	0,5	100	120	90,22	10%
1	7,5	5,0	0,5	100	120	90,22	10%
2	3,8	2,5	0,48	100	115,2	81,62	15%
3	2,5	1,7	0,475	100	114	75,69	20%
4	1,9	1,3	0,46	100	110,4	69,29	25%
5	1,5	1,0	0,45	100	108	47,48	47%
6	1,3	0,8	0,43	100	103,2	73,31	15%
7	1,1	0,7	0,425	100	102	76,31	10%
8	0,9	0,6	0,41	100	98,4	71,04	13%
9	0,8	0,6	0,4	100	96	74,13	7%
10	0,8	0,5	0,375	100	90	68,62	9%
11	0,7	0,5	0,36	100	86,4	70,00	-3%
12	0,6	0,4	0,34	100	81,6	64,36	-5%
13	0,6	0,4	0,32	100	76,8	62,35	-3%
14	0,5	0,4	0,31	100	74,4	59,16	-5%
15	0,5	0,3	0,28	100	67,2	26,439	-53%
16	0,5	0,3	0,28	100	67,2	56,639	1%
17	0,4	0,3	0,27	100	64,8	34,929	-35%
18	0,4	0,3	0,27	100	64,8	33,643	-38%
19	0,4	0,3	0,27	100	64,8	49,306	-9%
20	0,4	0,3	0,27	100	64,8	52,343	-3%
21	0,4	0,2	0,25	100	60	47,471	-5%
22	0,3	0,2	0,22	100	52,8	56,639	29%

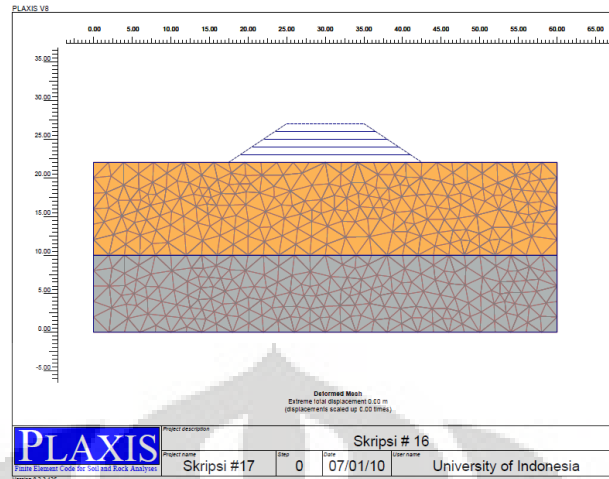


Gambar 4. 21 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 9

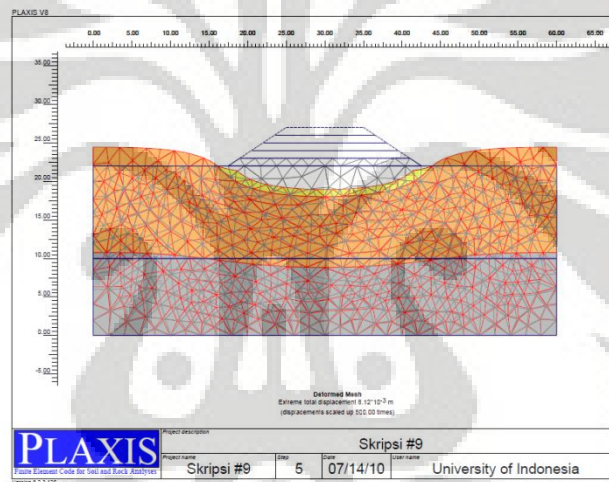
Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan grafik Osterberg, didapatkan perbedaan nilai $\Delta\sigma$ (tegangan total) yang mendekati. Perbedaan hasil perhitungan yang didapat paling besar 47 %. Hal ini dilakukan dengan tujuan menguji tingkat kecocokan perhitungan manual dengan hasil perhitungan PLAXIS.

4.2.3.2. Deformasi Vertikal

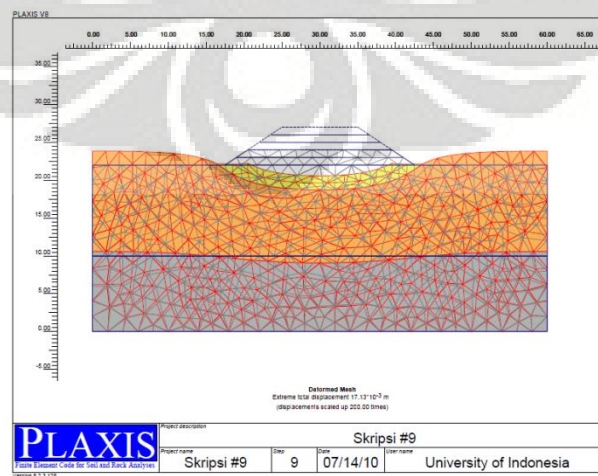
Deformasi vertikal yang terjadi akibat pembangunan timbunan tanah hasil dari analisis output PLAXIS dapat diperlihatkan per tahapan timbunan tanah timbunan. Peninjauan dilakukan terhadap kondisi awal (sebelum penimbunan) pada level tepat dibawah timbunan.



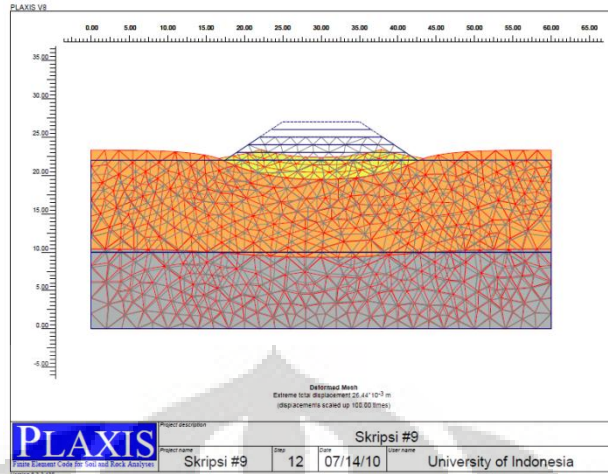
Gambar 4.22. a Deformasi vertikal model 9 tahap awal (0 m)



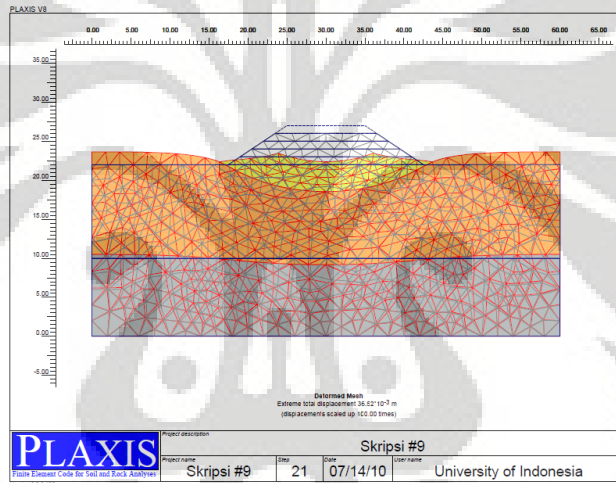
Gambar 4.22. b Deformasi vertikal model 9 tahap 1 (8,12 x 10⁻³ m)



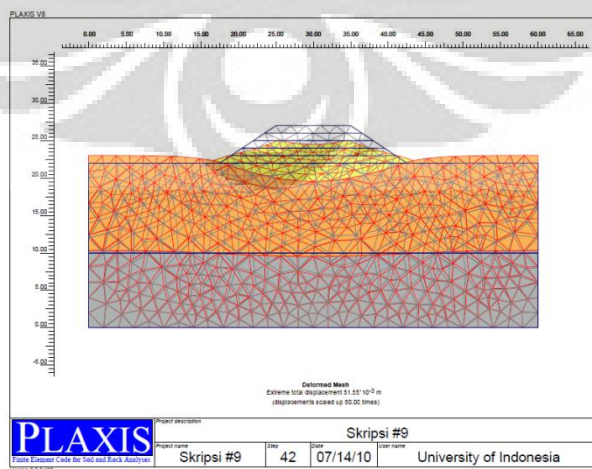
Gambar 4.22. c Deformasi vertikal model 9 tahap 2 (17,13 x 10⁻³ m)



Gambar 4.22. d Deformasi vertikal model 9 tahap 3 (26,44 x 10-3 m)



Gambar 4.22. e Deformasi vertikal model 9 tahap 4 (36,52 x 10-3 m)



Gambar 4.22. f Deformasi vertikal model 9 tahap 5 (51,55 x 10-3 m)

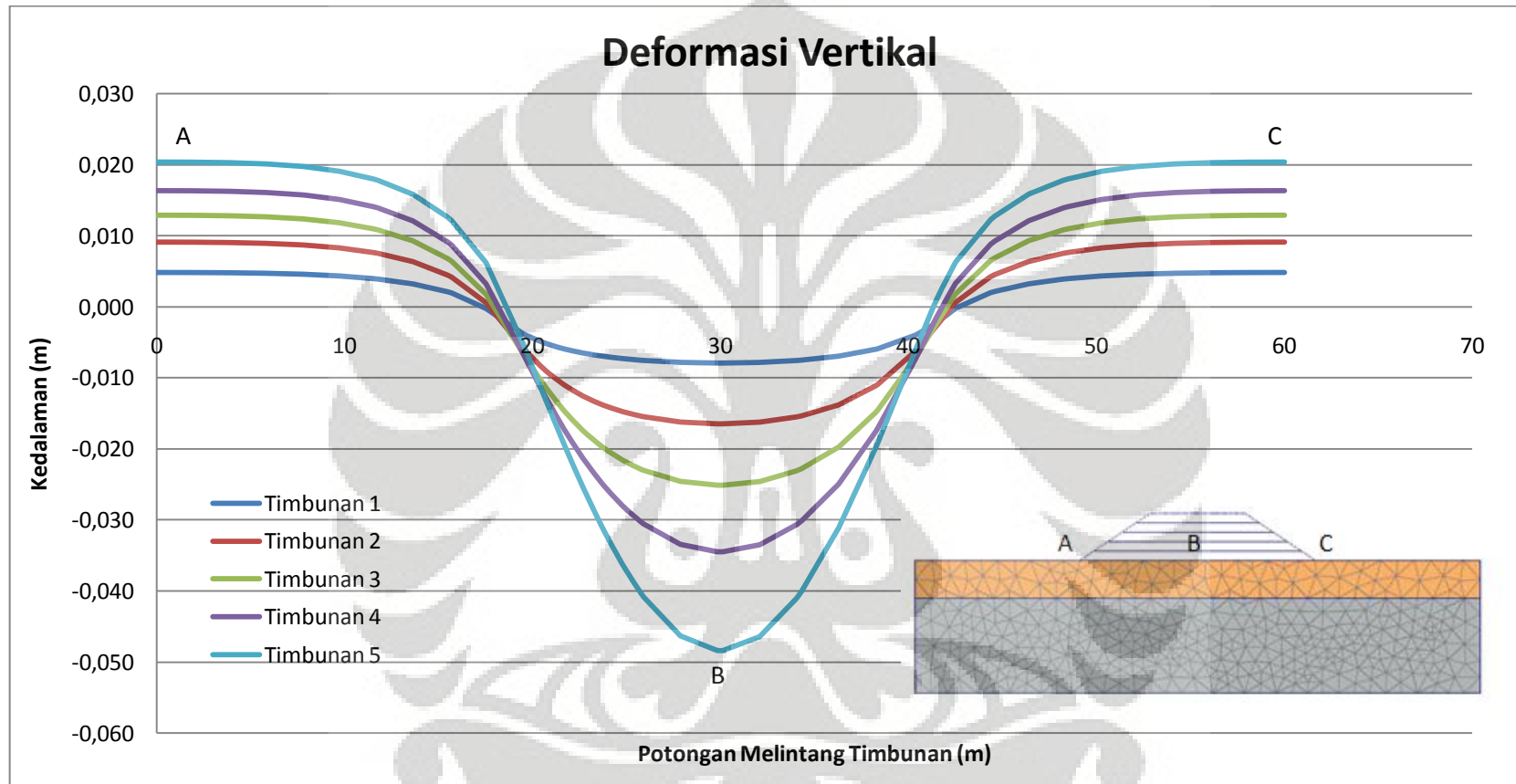
Keseluruhan penurunan yang terjadi pada dasar timbunan hasil analisis dengan PLAXIS ditampilkan dlm bentuk tabel dan di plot ke dalam grafik penurunan. Grafik tersebut akan diplot antara penurunan (m) dan potongan melintang timbunan (m).

Tabel 4. 12 Deformasi vertikal model 9 pada tiap tahapan timbunan

SUMBU KOORDINAT		TAHAPAN TIMBUNAN				
X	Y	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	0	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
1	0	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
2	0	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
3	0	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
4	0	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
5	0	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
6	0	0,005	0,009	0,013	0,016	0,020
7	0	0,005	0,009	0,012	0,016	0,020
8	0	0,005	0,009	0,012	0,016	0,020
9	0	0,004	0,008	0,012	0,015	0,019
10	0	0,004	0,008	0,012	0,015	0,019
11	0	0,004	0,008	0,011	0,014	0,018
12	0	0,004	0,008	0,011	0,014	0,018
13	0	0,003	0,006	0,009	0,012	0,016
14	0	0,003	0,006	0,009	0,012	0,016
15	0	0,002	0,004	0,007	0,009	0,013
16	0	0,002	0,004	0,006	0,009	0,012
17	0	0,000	0,001	0,002	0,003	0,006
18	0	0,000	0,001	0,002	0,003	0,006

19	0	-0,004	-0,006	-0,006	-0,007	-0,005
20	0	-0,005	-0,009	-0,011	-0,013	-0,013
21	0	-0,006	-0,011	-0,015	-0,017	-0,019
22	0	-0,007	-0,013	-0,017	-0,021	-0,025
23	0	-0,007	-0,014	-0,020	-0,025	-0,031
24	0	-0,007	-0,015	-0,022	-0,028	-0,036
25	0	-0,008	-0,015	-0,023	-0,030	-0,040
26	0	-0,008	-0,015	-0,023	-0,031	-0,041
27	0	-0,008	-0,016	-0,025	-0,033	-0,046
28	0	-0,008	-0,016	-0,025	-0,033	-0,046
29	0	-0,008	-0,016	-0,025	-0,034	-0,048
30	0	-0,008	-0,016	-0,025	-0,034	-0,048

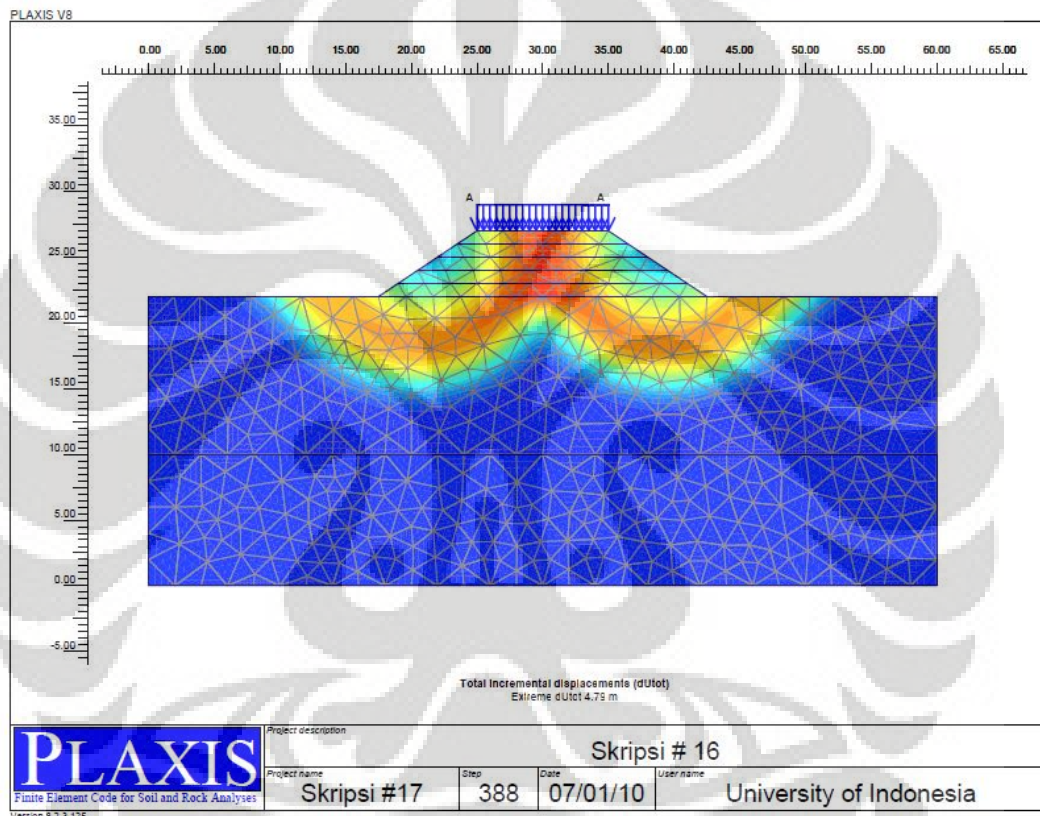
Pada kasus ini, terjadi keruntuhan pada tahapan pemberian beban sebesar 20 kN/m². Keruntuhan terjadi akibat tanah lunak yang berfungsi sebagai pondasi timbunan tersebut tidak mampu menahan beban yang bekerja di atasnya.



Gambar 4. 23 Deformasi Vertikal model 9 terhadap potongan melintang timbunan

4.2.3.3. Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran

Metode perhitungan yang digunakan dalam perhitungan PLAXIS untuk menghitung nilai faktor keamanan timbunan ini dengan menggunakan phi-c reduction. Nilai dari faktor keamanan akan tertera pada info kalkulasi dengan melihat nilai dari Msf dan dengan tampilan shading pada pilihan total incremental, akan didapat bentuk keruntuhan timbunan yang terjadi.



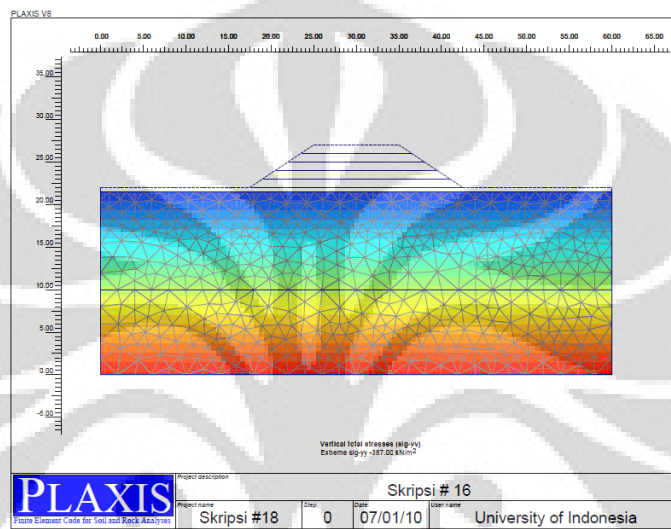
Gambar 4. 24 Bentuk kelongsoran model 9 yang terjadi pada tahap akhir (Bearing failure, failed)

Berdasarkan hasil perhitungan dengan PLAXIS, didapat bentuk kelongsoran adalah tipe *bearing failure*. Nilai faktor keamanan masih belum didapat, karena kegagalan pada tahap terakhir perhitungan, yaitu tahap pemberian beban luar. Gambar 4.24 menunjukkan bentuk kelongsoran yang terjadi. Terjadi kelongsoran pada timbunan dan terdapat pergerakan vertikal pada tanah lunak. Efek dari kelongsoran hanya terjadi sampai pada lapisan lempung lunak (D_1) saja.

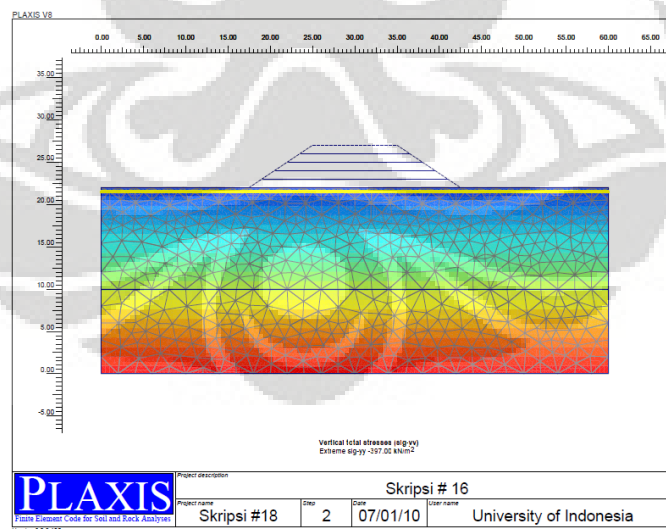
4.2.4. Hasil Analisis Kasus 10 ($D_1 = 12$ meter, $\phi = 0^\circ$, dengan Geosintetik)

4.2.4.1. Perubahan Tegangan ($\Delta\sigma$)

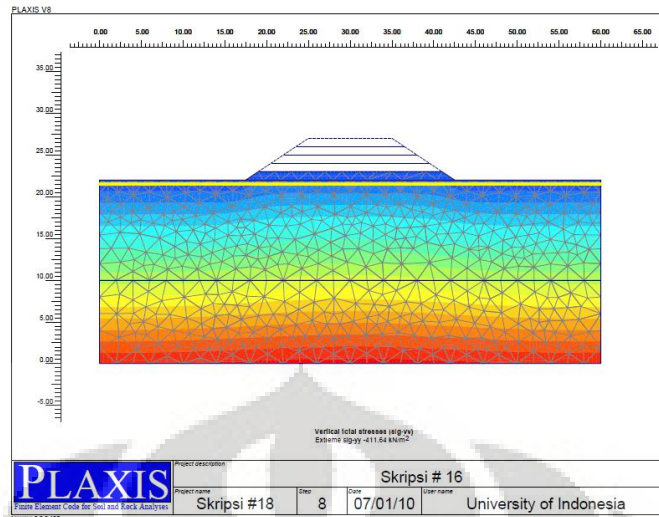
Di setiap penambahan tahapan timbunan, diperlihatkan tegangan yang terjadi di setiap tahapan berdasarkan *output* dari PLAXIS, beserta nilai tegangan total (*vertical total stress*) maksimal yang terjadi selama tahapan timbunan tanah.



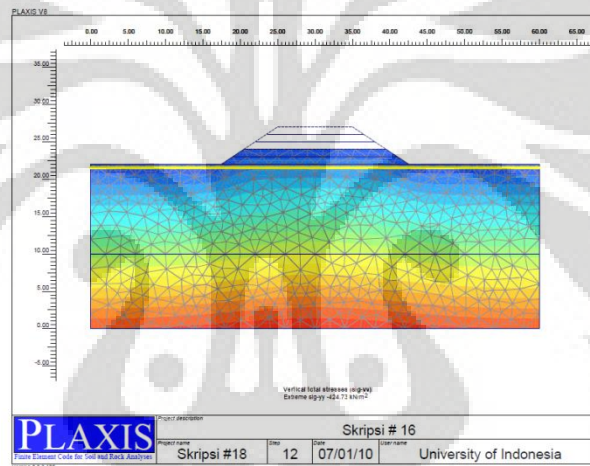
Gambar 4.25. a Tegangan total model 10 tahap awal (maks -387 kN/m²)



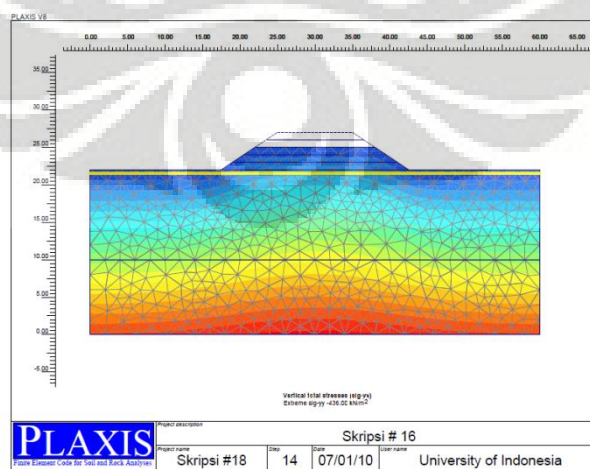
Gambar 4.25. b Tegangan total model 10 tahap 1 (maks -397 kN/m²)



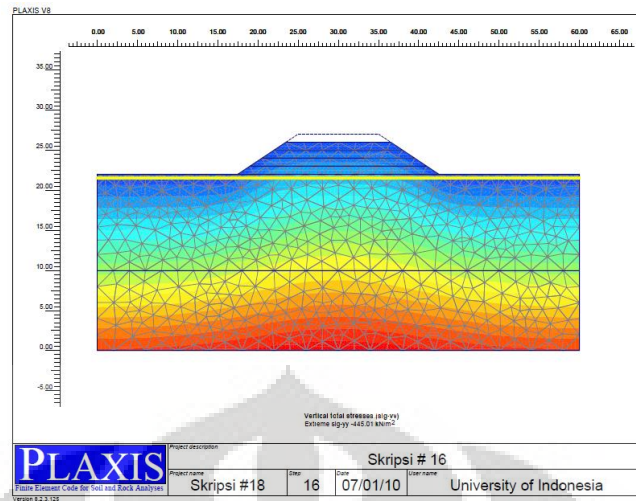
Gambar 4.25. c Tegangan total model 10 tahap 2 (maks -411,64 kN/m²)



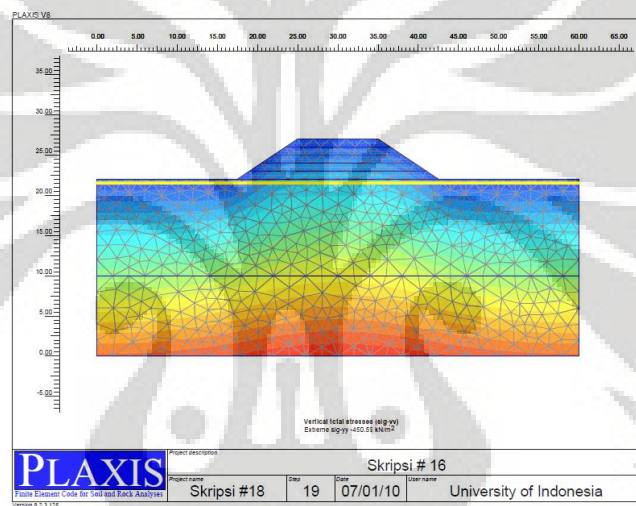
Gambar 4.25. d Tegangan total model 10 tahap 3 (maks -424,73 kN/m²)



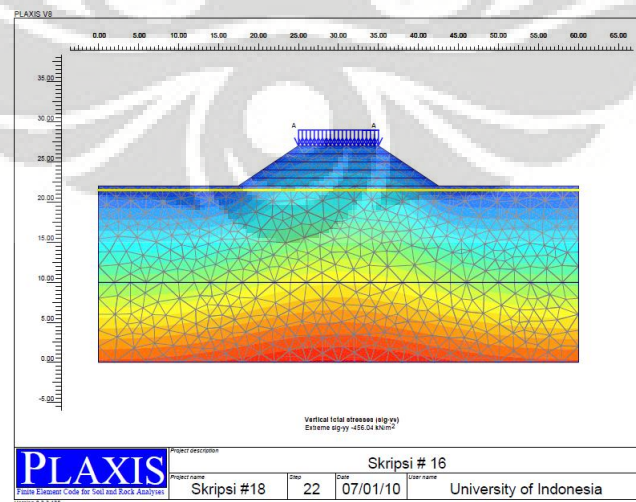
Gambar 4.25. e Tegangan total model 10 tahap 4 (maks -436 kN/m²)



Gambar 4.25. f Tegangan total model 10 tahap 5 (maks -445,01 kN/m²)



Gambar 4.25. g Tegangan total model 10 tahap 6 (maks -450,59 kN/m²)



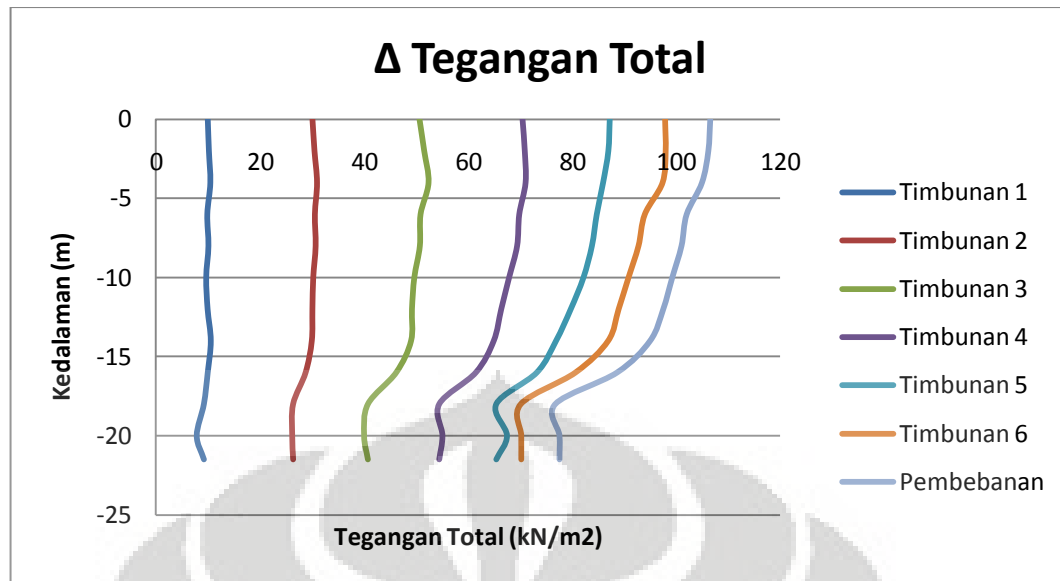
Gambar 4.25. h Tegangan total model 10 tahap pembebanan (maks -456,04 kN/m²)

Dengan mengurangi nilai tegangan total per tahapan timbunan dengan nilai tegangan total pada kondisi awal, dapat diketahui nilai pengaruh tegangan selama tahapan timbunan tanah. Pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Pengaruh tegangan akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS model 10

Kedalaman	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Beban Luar
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
0	10,001	30,140	50,649	70,452	87,326	97,928
-0,5	9,167	29,530	48,596	69,800	86,999	93,360
-1	9,169	29,531	48,598	69,807	87,005	93,356
-1,5	10,223	30,530	51,539	70,877	87,058	98,010
-2	10,225	30,532	51,545	70,882	87,061	98,038
-2,5	9,155	29,898	49,149	69,657	85,825	92,371
-3	9,158	29,901	49,157	69,666	85,802	92,368
-3,5	10,499	31,019	52,373	71,037	86,004	97,442
-4	10,502	31,021	52,375	71,031	86,050	97,441
-4,5	12,792	32,897	57,838	73,374	86,366	106,021
-5	12,793	32,898	57,837	73,370	86,376	106,000
-5,5	9,910	30,610	50,842	69,824	84,866	94,022
-6	9,910	30,610	50,843	69,823	84,829	94,029
-6,5	12,496	32,526	51,907	71,995	84,644	90,318
-7	12,495	32,527	51,907	71,997	84,649	90,323
-7,5	10,136	30,752	50,709	69,407	83,896	92,810
-8	10,132	30,750	50,709	69,406	83,894	92,814
-8,5	7,426	28,713	48,172	66,440	82,986	92,488
-9	7,425	28,713	48,173	66,440	82,990	92,493
-9,5	9,697	30,291	49,648	67,870	82,268	90,895
-10	9,696	30,291	49,648	67,870	82,270	90,896

-10,5	11,946	31,706	53,528	69,377	81,725	95,940
-11	11,945	31,706	53,528	69,376	81,726	95,943
-11,5	9,970	30,127	49,193	66,358	79,825	88,986
-12	9,972	30,128	49,196	66,359	79,823	88,992
-12,5	7,539	28,228	44,151	62,714	77,499	81,050
-13	7,538	28,228	44,154	62,717	77,516	81,041
-13,5	10,596	30,012	49,032	64,924	76,980	86,977
-14	10,594	30,012	49,029	64,925	76,995	86,981
-14,5	7,829	27,509	42,694	59,457	72,846	76,174
-15	7,830	27,509	42,690	59,453	72,845	76,171
-15,5	9,999	28,822	46,192	61,498	73,300	80,716
-16	10,000	28,823	46,191	61,497	73,304	80,713
-16,5	11,459	29,696	48,541	62,879	73,617	83,804
-17	11,460	29,695	48,539	62,871	73,602	83,794
-17,5	9,252	26,409	40,762	54,462	65,496	45,811
-18	9,244	26,405	40,765	54,463	65,492	70,184
-18,5	10,745	28,182	45,077	58,740	69,270	71,301
-19	10,746	28,182	45,079	58,744	69,273	77,280
-19,5	7,839	26,236	40,044	55,090	67,564	68,910
-20	7,842	26,236	40,037	55,081	67,556	70,270
-20,5	13,045	28,743	32,295	56,185	67,185	41,075
-21	13,038	28,743	32,289	56,184	67,190	49,745
-21,5	9,252	26,409	40,762	54,462	65,496	45,811



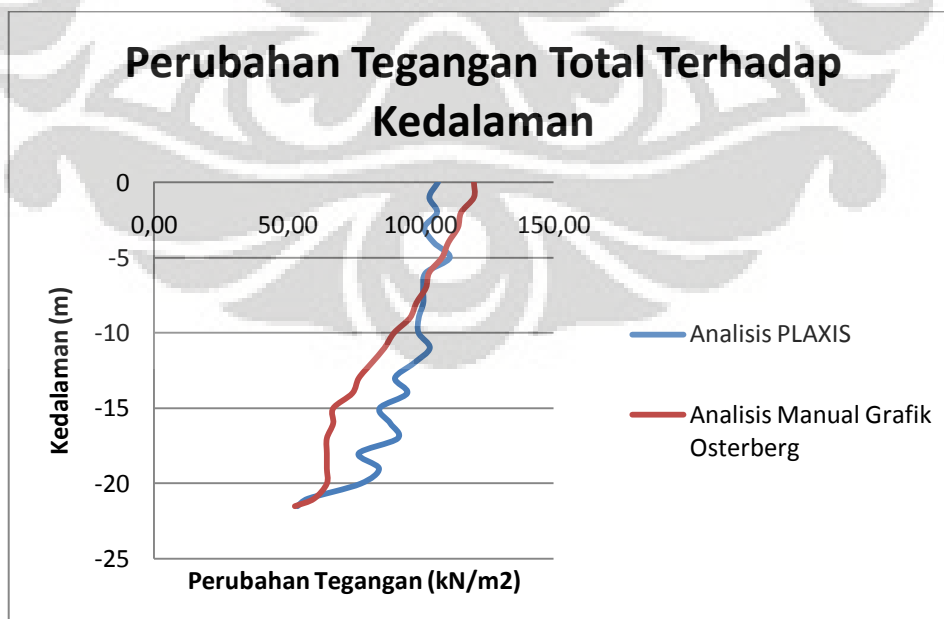
Gambar 4. 26 Grafik pengaruh tegangan model 10 pada tahapan timbunan tanah

Setelah didapatkan nilai tegangan total yang terjadi berdasarkan analisis dengan PLAXIS, dilakukan analisis manual berdasarkan grafik pengaruh tegangan pada bidang jalur yang memikul timbunan berbentuk trapesium (Osterberg,1957). Tegangan total dan pengaruh tegangan pada kedalaman tertentu pada tahap akhir timbunan (pembebanan luar) hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg dibandingkan dan hubungan antara kedua analisis tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 14 Pengaruh gaya dengan analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 10

Kedalaman (m)	Pengaruh Gaya					Penyimpangan	
	Grafik Osterberg				PLAXIS		
	a/z	b/z	I	q ₀	Δσ		
0	~	~	0,5	120	120	106,61	11%
1	7,5	5,0	0,5	120	120	103,35	14%
2	3,8	2,5	0,48	120	115,2	106,24	8%
3	2,5	1,7	0,475	120	114	101,56	11%
4	1,9	1,3	0,46	120	110,4	105,01	5%
5	1,5	1,0	0,45	120	108	111,00	3%

6	1,3	0,8	0,43	120	103,2	102,08	1%
7	1,1	0,7	0,425	120	102	101,03	1%
8	0,9	0,6	0,41	120	98,4	101,09	3%
9	0,8	0,6	0,4	120	96	99,36	4%
10	0,8	0,5	0,375	120	90	99,31	10%
11	0,7	0,5	0,36	120	86,4	103,51	20%
12	0,6	0,4	0,34	120	81,6	97,58	20%
13	0,6	0,4	0,32	120	76,8	90,46	18%
14	0,5	0,4	0,31	120	74,4	95,06	28%
15	0,5	0,3	0,28	120	67,2	84,70	26%
16	0,5	0,3	0,28	120	67,2	88,73	32%
17	0,4	0,3	0,27	120	64,8	91,50	41%
18	0,4	0,3	0,27	120	64,8	76,85	19%
19	0,4	0,3	0,27	120	64,8	84,49	30%
20	0,4	0,3	0,27	120	64,8	77,65	20%
21	0,4	0,2	0,25	120	60	57,84	4%
21,5	0,3	0,2	0,22	120	52,8	53,90	2%

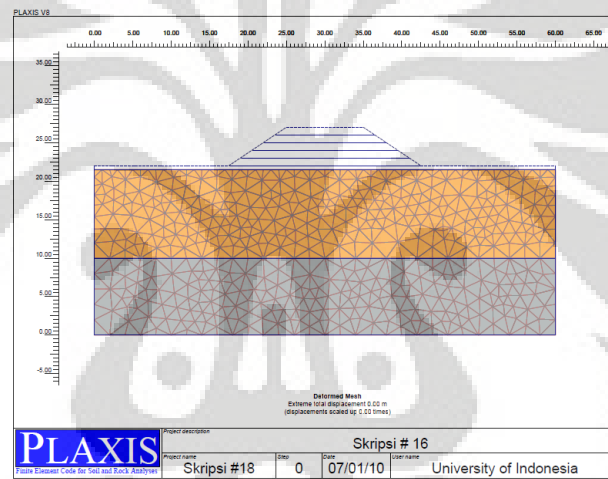


Gambar 4. 27 Perbandingan hasil analisis PLAXIS dan grafik Osterberg model 10

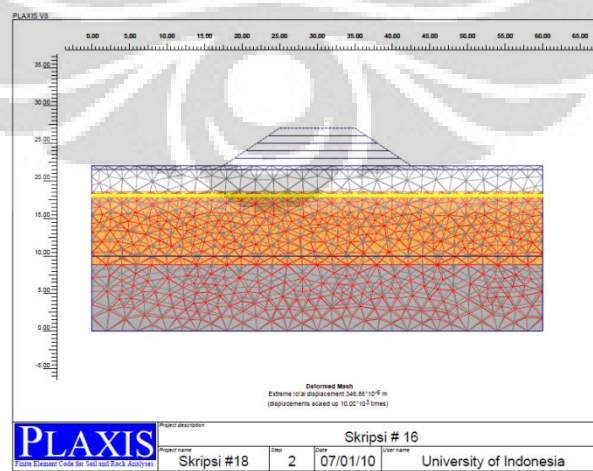
Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan grafik Osterberg, didapatkan perbedaan nilai $\Delta\sigma$ (tegangan total) yang mendekati. Perbedaan hasil perhitungan yang didapat paling besar 41 %. Hal ini dilakukan dengan tujuan menguji tingkat kecocokan perhitungan manual dengan hasil perhitungan PLAXIS.

4.2.4.2. Deformasi Vertikal

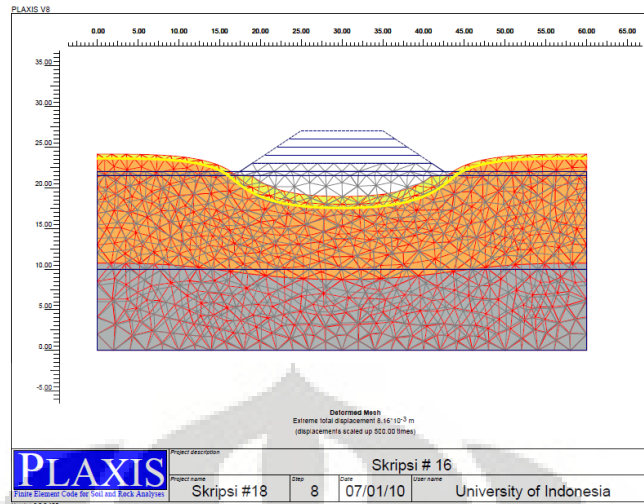
Deformasi vertikal yang terjadi akibat pembangunan timbunan tanah hasil dari analisis output PLAXIS dapat diperlihatkan per tahapan timbunan tanah timbunan. Peninjauan dilakukan terhadap kondisi awal (sebelum penimbunan) pada level tepat dibawah timbunan.



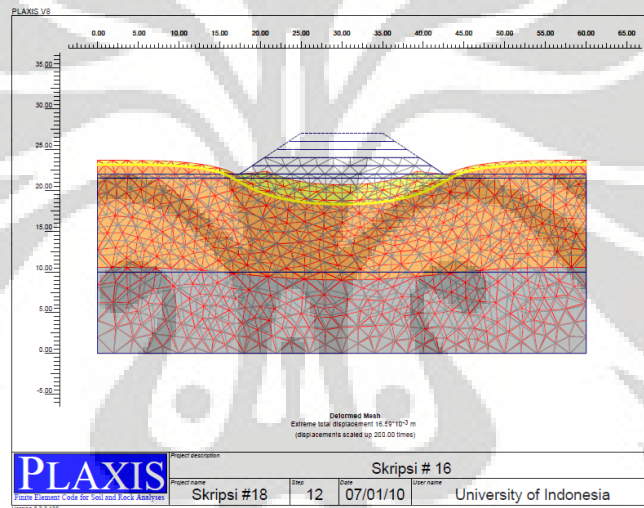
Gambar 4.28. a Deformasi vertikal model 10 Tahap awal (0 m)



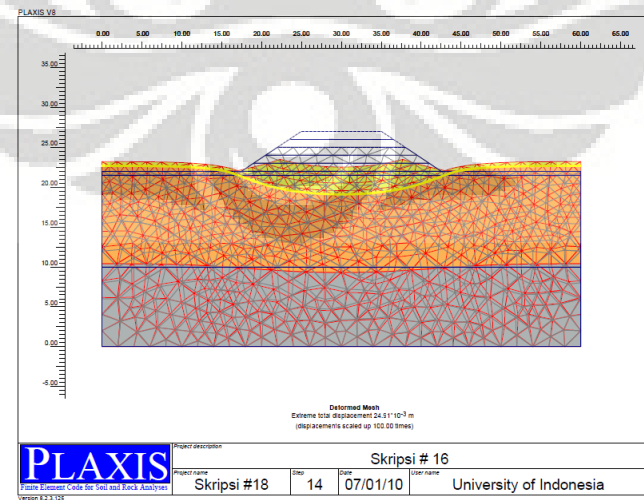
Gambar 4.28. b Deformasi vertikal model 10 Tahap 1 (346,86 x 10-6 m)



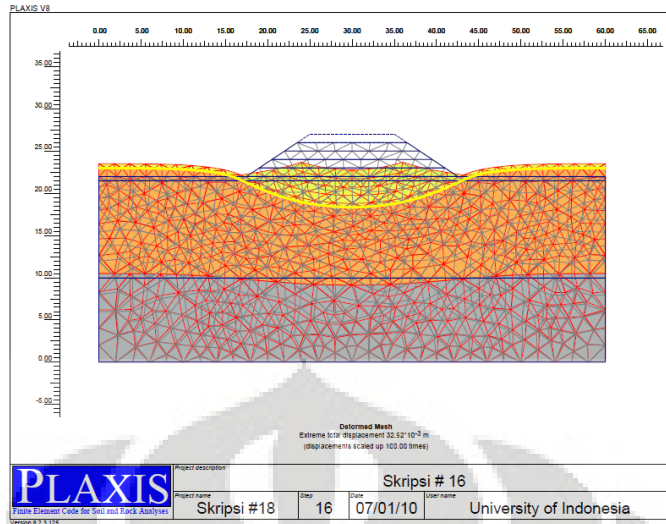
Gambar 4.28. c Deformasi vertikal model 10 tahap 2 (8,16 x 10-3m)



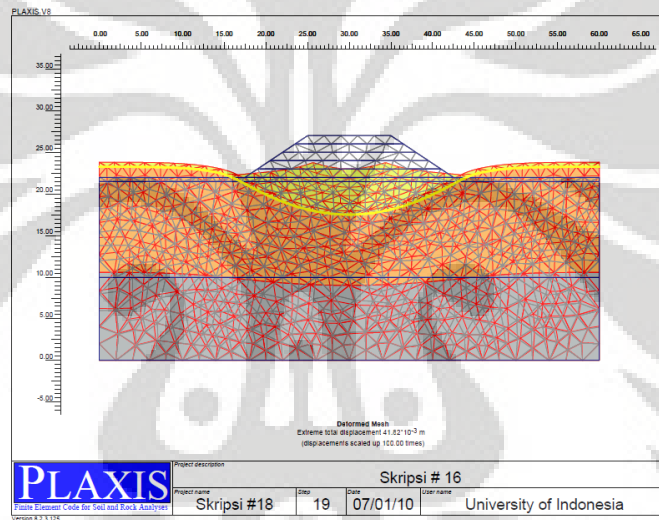
Gambar 4.28. d Deformasi vertikal model 10 tahap 3 (16,59 x 10-3m)



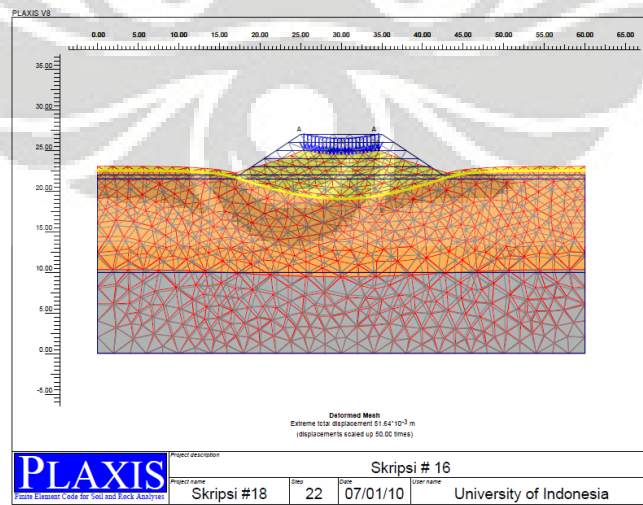
Gambar 4.28. e Deformasi vertikal model 10 tahap 4 (24,91 x 10-3m)



Gambar 4.28. f Deformasi vertikal model 10 tahap 5 (32,92 x 10-3m)



Gambar 4.28. g Deformasi vertikal Model 10 Tahap 6 (41,82 x 10-3m)



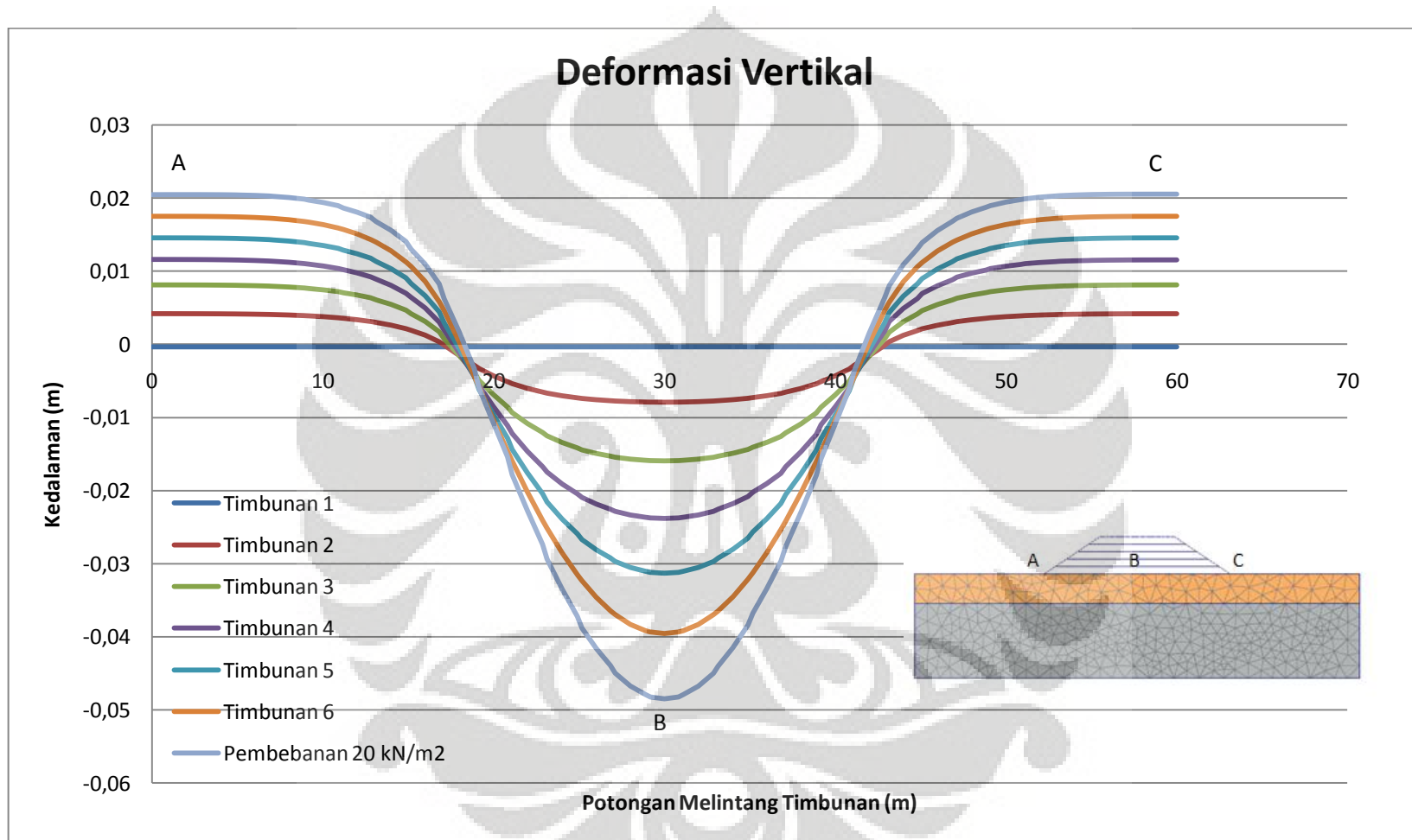
Gambar 4.28. h Deformasi vertikal model 10 tahap pembebanan (51,65 x 10-3m)

Tabel 4. 15 Deformasi vertikal model 10 pada tiap tahapan timbunan

SUMBU KOORDINAT		TAHAPAN TIMBUNAN							Beban Luar
X	Y	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Tahap 6		
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		
0	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
1	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
2	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
3	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
4	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
5	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
6	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
7	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,018	0,020	
8	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,015	0,017	0,020	
9	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,014	0,017	0,020	
10	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,014	0,017	0,020	
11	0	0,000	0,004	0,008	0,012	0,014	0,017	0,020	
12	0	0,000	0,004	0,008	0,011	0,014	0,017	0,020	
13	0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014	0,017	
14	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,013	0,016	
15	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,011	0,013	
16	0	0,000	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	
17	0	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,005	0,006	
18	0	0,000	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0,002	
19	0	0,000	-0,003	-0,005	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	
20	0	0,000	-0,004	-0,007	-0,009	-0,010	-0,010	-0,011	
21	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,012	-0,014	-0,016	-0,018	
22	0	0,000	-0,006	-0,011	-0,015	-0,018	-0,020	-0,023	
23	0	0,000	-0,007	-0,013	-0,017	-0,022	-0,025	-0,029	

24	0	0,000	-0,007	-0,013	-0,019	-0,024	-0,029	-0,033
25	0	0,000	-0,007	-0,014	-0,021	-0,027	-0,032	-0,039
26	0	0,000	-0,008	-0,015	-0,022	-0,028	-0,035	-0,042
27	0	0,000	-0,008	-0,015	-0,023	-0,030	-0,037	-0,045
28	0	0,000	-0,008	-0,016	-0,023	-0,030	-0,038	-0,047
29	0	0,000	-0,008	-0,016	-0,024	-0,031	-0,039	-0,048
30	0	0,000	-0,008	-0,016	-0,024	-0,031	-0,040	-0,048

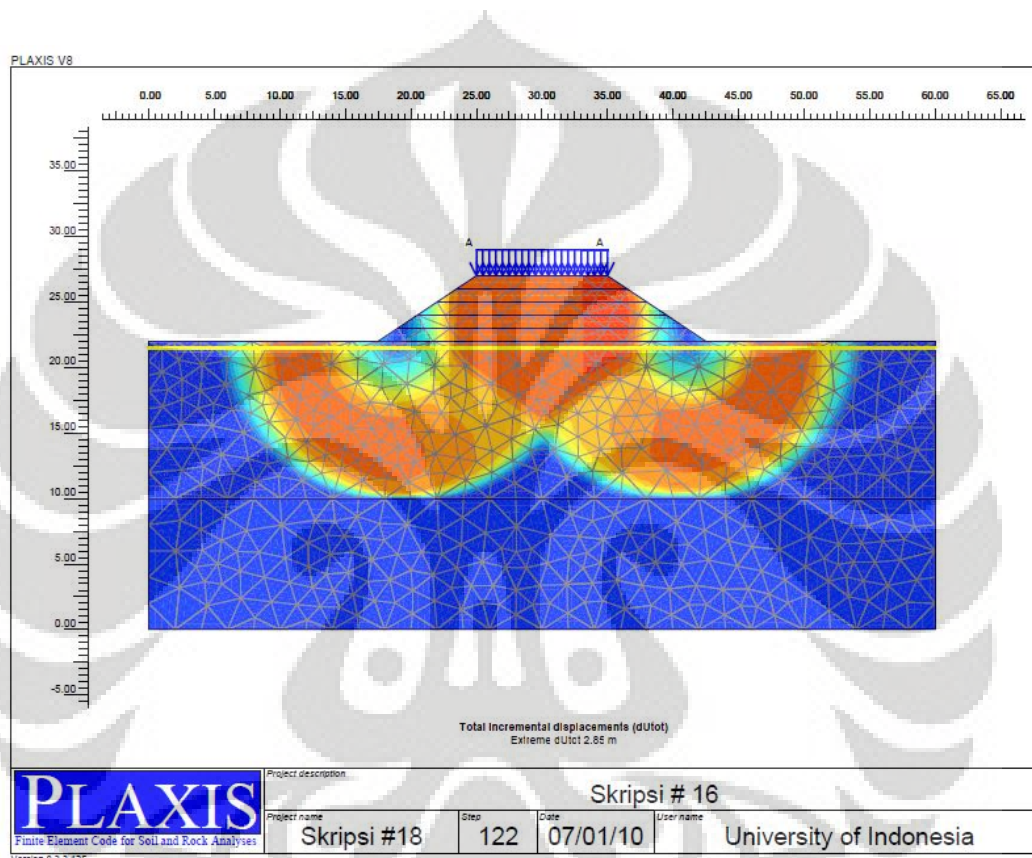




Gambar 4. 29 Deformasi Vertikal model 10 terhadap potongan melintang timbunan

4.2.4.3. Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran

Metode perhitungan yang digunakan dalam perhitungan PLAXIS untuk menghitung nilai faktor keamanan timbunan ini dengan menggunakan phi-c reduction. Nilai dari faktor keamanan akan tertera pada info kalkulasi dengan melihat nilai dari Msf dan dengan tampilan shading pada pilihan total incremental, akan didapat bentuk keruntuhan timbunan yang terjadi.



Gambar 4.30 Bentuk kelongsoran model 10 yang terjadi pada tahap akhir (bearing failure, FK = 1,404)

Berdasarkan hasil perhitungan dengan PLAXIS, didapat nilai faktor keamanan sebesar 1,404 dan bentuk kelongsoran adalah tipe *bearing failure*. Nilai faktor keamanan masih lebih kecil dari 1,5 walaupun sudah sangat mendekati sehingga masih berada pada kondisi tidak aman. Gambar 4.30 menunjukkan bentuk kelongsoran yang terjadi. Terjadi kelongsoran pada timbunan dan terdapat pergerakan vertikal pada tanah lunak. Efek dari kelongsoran hanya terjadi sampai pada lapisan lempung lunak (D_1) saja.

4.3. ANALISA PENINGKATAN DAYA DUKUNG TANAH LUNAK DENGAN PERKUATAN GEOSINTETIK

Peningkatan daya dukung dari tanah lempung lunak dengan perkuatan geosintetik dapat dilihat dari 3 parameter. Parameter tersebut adalah deformasi vertikal, besar tegangan total dan nilai dari faktor keamanan. Berikut ini adalah hasil pemodelan keseluruhan dari 12 model yang telah ditentukan.

Tabel 4. 16 Hasil keseluruhan pemodelan

Model		Tanpa Geosintetik			Dengan Geosintetik		
Kedalaman (D ₁)	Sudut Geser (φ)	U _y (m)	σ _{total} (kN/m ²)	FK	U _y (m)	σ _{total} (kN/m ²)	FK
4 meter	0°	0,03911	317,84	1,083	0,02211	323,55	2,144
6 meter	0°	collapse	collapse	collapse	0,03293	347,32	1,721
8 meter	0°	collapse	collapse	collapse	0,04001	371,65	1,541
10 meter	0°	collapse	collapse	collapse	0,04635	396,3	1,448
12 meter	0°	collapse	collapse	collapse	0,05165	421,55	1,404
12 meter	15°	0,05016	420,08	2,047	0,04502	424,48	3,028

Berdasarkan hasil pengolahan data dari 12 model yang ada, di dapat tabel perbandingan di atas. Tabel tersebut menunjukkan parameter-parameter dari daya dukung tanah lempung lunak dan variasi-variasi yang mempengaruhi berubahnya nilai parameter-parameter tersebut. Model-model timbunan divariasikan terhadap kedalaman tanah lempung lunak, nilai dari sudut geser dan penggunaan geosintetik.

Penambahan kedalaman tanah lempung lunak dalam suatu timbunan berpengaruh kepada besar deformasi vertikal dan nilai dari faktor keamanan dan bentuk busur keruntuhan. Untuk pemodelan dengan kedalaman tanah lempung 4 meter terlihat penambahan nilai deformasi vertikal dan memiliki bentuk keruntuhan yang sama, yaitu *foundation failure with rotational sliding*. Dalam kasus variasi D₁ sebesar 6 sampai dengan 12 meter, model ini mengalami kegagalan dalam proses kalkulasi pada PLAXIS, sehingga nilai dari deformasi

vertikal dan faktor keamanan tidak dapat dianalisa. Hal ini diakibatkan gagalnya daya dukung tanah lempung lunak (*bearing capacity*) menahan beban luar yang diberikan. Berdasarkan pengamatan pada kedalaman tanah lempung lunak, dapat disimpulkan bahwa semakin tebal lapisan lempung lunak yang ada, maka kecenderungan untuk berdeformasi vertikal semakin besar dan cenderung memiliki bentuk kelongsoran *bearing failure*.

Perbaikan kondisi properti tanah lunak juga memperbaiki daya dukung tanah lempung lunak. Hal ini ditunjukkan dari penurunan deformasi vertikal yang drastis. Perubahan sudut geser dilakukan dari 0° ke 15° dengan ketebalan tanah lempung lunak yang sama, yaitu 12 meter. Kenaikan daya dukung tanah lempung lunak juga ditunjukkan dengan kenaikan nilai faktor keamanan yang telah melewati batas aman walau tanpa penggunaan geosintetik. Hal ini membuktikan bahwa perilaku tanah lunak yang sangat dipengaruhi oleh besar sudut geser.

Penggunaan geosintetik sebagai perkuatan dari tanah lunak sangat berfungsi. Tanah lempung lunak yang memiliki kemampuan rendah menahan beban (*bearing capacity*) dapat di perbaiki dengan penggunaan geosintetik. Mekanisme perkuatan dari geosintetik ini tidak dominan untuk mengurangi terjadinya deformasi vertikal. Berdasarkan percobaan yang dilakukan pada berbagai ketebalan tanah lunak, cenderung tidak dapat menghilangkan terjadinya penurunan vertikal. Tetapi apabila dilihat dari kenaikan nilai faktor keamanan sebelum dan sesudah penggunaan geosintetik, terlihat jelas bahwa geosintetik terbukti dapat meningkatkan daya dukung dari tanah lempung lunak (*bearing capacity*). Kedua pernyataan yang bertolak belakang diatas diakibatkan oleh mekanisme dari geosintetik dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak adalah dengan menahan beban vertikal dari timbunan dan merubahnya menjadi tegangan lateral yang akan ditahan oleh kuat tarik dari geosintetik tersebut. Hal ini mengakibatkan perubahan bentuk keruntuhan dari timbunan dari *bearing failure*, menjadi tidak ada. Namun meskipun demikian, tetap akan terjadi penurunan vertikal yang terjadi.

Analisis yang disampaikan di atas dibuat berdasarkan 4 model yang dianggap mewakili jenis-jenis keruntuhan dan perilaku tanah lempung lunak dari

12 model yang ada. Untuk penyampaian detail model-model lainnya akan dicantumkan pada lampiran.



BAB 5

PENUTUPAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa data yang telah peneliti lakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Jenis geosintetik yang digunakan sebagai perkuatan tanah lempung lunak terhadap kestabilan timbunan. Geosintetik yang digunakan berfungsi untuk meningkatkan *bearing capacity* pada tanah lunak.
- Kestabilan timbunan yang dibangun di atas tanah lempung lunak dapat dilihat dari 3 hal, yaitu:
 - a. Tegangan total (*vertical total stress*) yang ditinjau pada garis tengah bentang timbunan mulai dari kedalaman 0 sampai kedalaman tanah dasar.
 - b. Deformasi vertikal, yang ditinjau di setiap tahap penimbunan yang ditinjau pada potongan melintang timbunan.
 - c. Faktor keamanan dan jenis kelongsoran yang terjadi pada lereng timbunan.
 - d. Persentase kemampuan geotekstil meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak.
- Analisis peningkatan daya dukung tanah lunak berdasarkan variasi terhadap parameter-parameter peninjauan:
 - a. Semakin bertambah ketebalan dari lapisan tanah lempung lunak ($D_1 = 4 \text{ m}, 6 \text{ m}, 8 \text{ m}, 10 \text{ m}$ dan 12 m):
 - Besar deformasi vertikal mengalami kenaikan
 - Perubahan tegangan total mengalami penurunan
 - Faktor keamanan berada di bawah $FK = 1,5$
 - Bentuk keruntuhan *bearing failure*
 - b. Perbaikan properti tanah (sudut geser tanah dari 0° menjadi 15°):
 - Besar deformasi vertikal mengalami penurunan
 - Perubahan tegangan total mengalami kenaikan
 - Faktor keamanan berada di atas $FK = 1,5$

- Bentuk keruntuhan *base failure*
- c. Penggunaan geosintetik
 - Besar deformasi vertikal mengalami penurunan
 - Perubahan tegangan total mengalami kenaikan
 - Faktor keamanan berada di atas $FK = 1,5$
 - Tidak terjadi keruntuhan
- Penggunaan geosintetik memberikan sumbangan peningkatan daya dukung tanah lempung lunak paling banyak pada peningkatan nilai faktor keamanan dan mencegah terjadinya kegagalan pada tanah lempung lunak (*bearing failure*)
- Setelah diberi perkuatan geosintetik, penurunan vertikal tetap terjadi walaupun besar penurunannya dapat dikurangi dengan penggunaan geosintetik ini.

5.2. SARAN

Berikut saran yang dapat disampaikan kepada peneliti/pembaca untuk melakukan penelitian lebih lanjut dari peningkatan daya dukung tanah lempung lunak sebagai pondasi timbunan, yaitu:

- Menambahkan variasi nilai sudut geser (ϕ) tanah lempung lunak.
- Menambah variasi bentuk geometri dan properti tanah timbunan
- Memvariasikan letak dan jumlah lapisan geosintetik

DAFTAR PUSTAKA

- Budhu, Muni. 2007. *Soil mechanics and foundations*. University of Arizona. Wiley & Sons, Inc. New York.
- Koerner, Robert M. 1994. *Design with geosynthetics*. 3rd edition. Prentice Hall. New Jersey.
- Duncan, J Michael and Wright, Stephen G. 2005. *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Bowles, Joseph E. 1996. *Foundation Analysis and Design* (5th ed). New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Craig, R.F. dan Susilo, Budi. 1991. *Mekanika Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- Das, Braja M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Terj. Noor E. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Christady Hardiyatmo, Hary. 2008. *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Brinkgreve, R.B.J. 2002. *PLAXIS 2D – Version 8*. Balkema.
- Davison, Leslie. University of the West of England, Bristol, May 2000 in association with Prof. Sarah Springman, Swiss Federal Technical Institute, Zurich.
- Holtz, Robert. 1998. *Geosynthetic Design & Construction Guidelines*. US Department of Transportation. United State of America.
- Murthy, V.N.S. 2003. *Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Marcel Dekker,inc. New York

LAMPIRAN

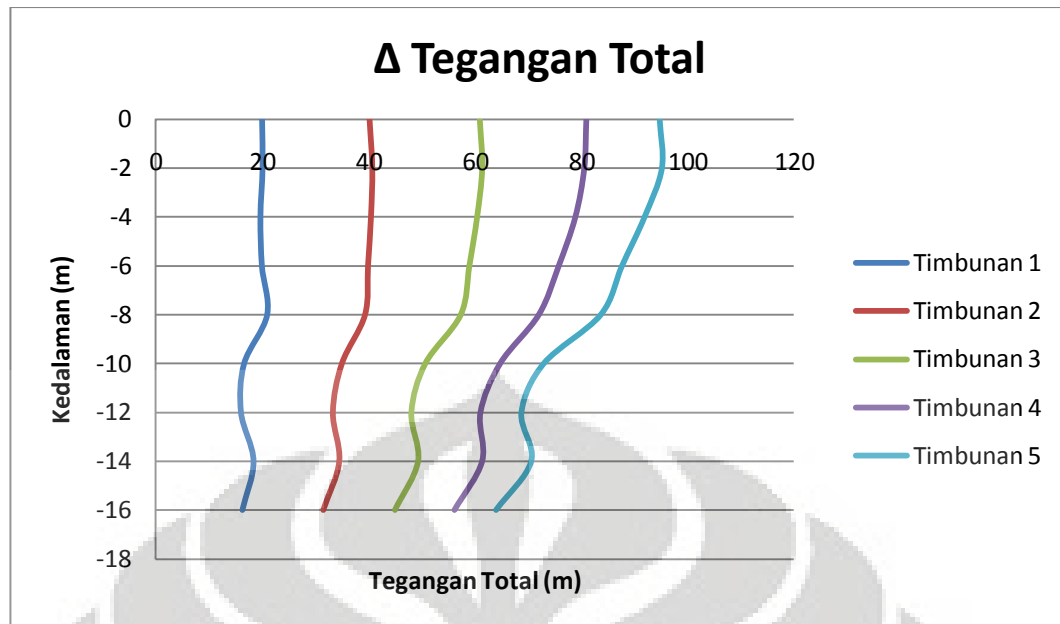
L.1. KASUS 3 ($D_1 = 6$ meter, $\phi = 0^\circ$, tanpa geosintetik)

L.1.1. Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)

Pada model 3, terjadi kegagalan pada tahap perhitungan terakhir (tahap 6), yaitu pada saat pemberian beban luar sebesar 20 kN/m^2 . Tanah lempung lunak yang menjadi dasar dari timbunan mengalami *bearing failure*.

Tabel L. 1 Pengaruh tegangan model 3 akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS

Kedalaman [m]	Tahap 1 [kN/m ²]	Tahap 2 [kN/m ²]	Tahap 3 [kN/m ²]	Tahap 4 [kN/m ²]	Tahap 5 [kN/m ²]
0	20,00	40,13	60,92	81,12	98,78
-1	20,42	41,54	62,40	81,72	99,07
-2	20,49	42,32	62,75	80,79	97,00
-3	20,11	39,79	60,57	81,28	93,63
-4	20,10	38,39	59,67	79,52	89,67
-5	20,01	37,70	59,11	78,97	86,32
-6	19,57	35,92	56,24	78,05	85,56
-6,5	19,66	35,54	57,35	76,53	83,66
-7	19,66	35,54	57,36	76,52	83,66
-8	19,25	35,54	54,35	74,68	82,74
-9	19,24	35,54	55,53	74,51	80,98
-10	18,67	34,41	50,80	72,78	79,55
-11	18,71	33,28	52,82	72,30	78,25
-12	18,65	32,14	55,12	70,32	76,72
-13	18,05	32,51	51,07	70,01	74,40
-14	17,59	31,08	47,87	66,78	72,51
-15	18,399	34,483	49,308	61,415	70,581
-16	14,698	30,478	43,882	55,633	62,397



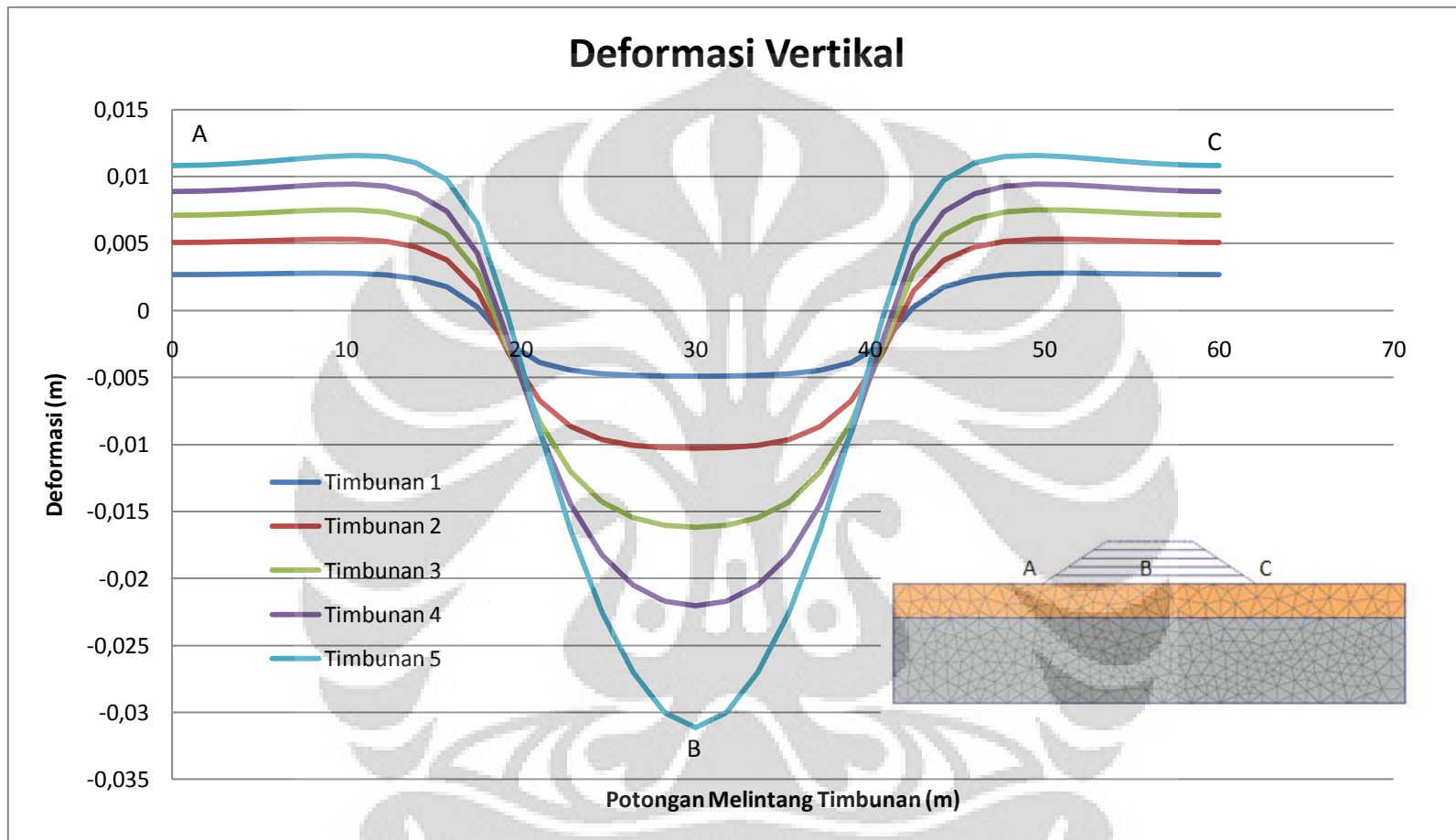
Gambar L. 1 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 3

L.1.2. Deformasi Vertikal

Tabel L. 2 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 3

SUMBU KOORDINAT		TAHAPAN TIMBUNAN				
X	Y	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
1	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
2	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
3	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
4	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
5	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
6	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
7	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
8	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
9	0	0,003	0,005	0,008	0,009	0,011

10	0	0,003	0,005	0,008	0,009	0,011
11	0	0,003	0,005	0,008	0,009	0,011
12	0	0,003	0,005	0,008	0,009	0,012
13	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,012
14	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
15	0	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011
16	0	0,002	0,004	0,006	0,007	0,010
17	0	0,000	0,001	0,003	0,004	0,007
18	0	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	0,000
19	0	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001
20	0	-0,004	-0,007	-0,008	-0,009	-0,009
21	0	-0,004	-0,007	-0,008	-0,009	-0,009
22	0	-0,004	-0,009	-0,012	-0,014	-0,016
23	0	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001
24	0	-0,004	-0,007	-0,008	-0,009	-0,009
25	0	-0,004	-0,007	-0,008	-0,009	-0,009
26	0	-0,004	-0,009	-0,012	-0,014	-0,016
27	0	-0,005	-0,010	-0,016	-0,022	-0,030
28	0	-0,005	-0,010	-0,016	-0,022	-0,030
29	0	-0,005	-0,010	-0,016	-0,022	-0,030
30	0	-0,005	-0,010	-0,016	-0,022	-0,031



Gambar L. 2 Deformasi Vertikal model 3 terhadap potongan melintang timbunan

L.1.3. Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran

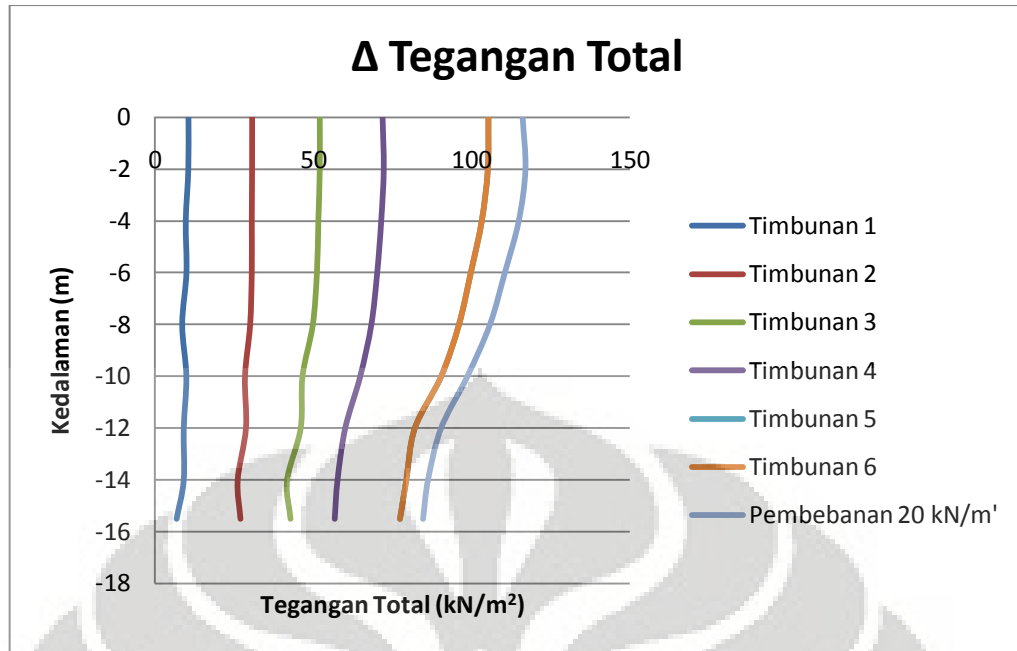
Dalam proses perhitungan dengan PLAXIS, tidak didapatkan nilai faktor keamanan dan bentuk keruntuhan yang terjadi. Hal ini dikarenakan timbunan mengalami kelongsoran pada tahap pembebanan, sehingga tahap *phi-c reduction* tidak berjalan.

L.2. KASUS 4 ($D_1 = 6$ meter, $\phi = 0^\circ$, dengan geosintetik)

L.2.1. Perubahan Tegangan ($\Delta\sigma$)

Tabel L. 3 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 4

Kedalaman	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Tahap 6	Beban Luar
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
0	10,642	30,768	51,998	71,976	90,605	105,427	116,088
-1	9,833	30,136	50,865	71,385	109,947	104,653	115,814
-2	10,595	30,751	52,004	72,345	94,670	105,247	116,967
-3	9,598	30,373	51,210	71,570	99,801	104,183	116,073
-4	9,782	30,661	51,562	71,533	111,114	103,318	114,858
-5	10,927	30,524	51,103	70,884	89,785	100,982	111,408
-6	9,999	30,645	51,108	70,256	88,969	99,840	110,468
-7	8,872	30,837	51,183	69,503	101,226	98,510	109,330
-8	8,641	30,137	49,823	68,392	84,223	96,101	105,778
-9	8,880	29,510	48,449	66,597	81,813	93,048	102,036
-10	9,968	28,489	46,560	64,853	79,841	90,474	98,682
-11	9,136	30,294	48,575	62,072	74,213	84,753	93,930
-12	9,136	28,796	45,991	60,068	72,236	82,119	90,379
-13	9,136	24,287	39,472	59,678	74,940	83,937	89,814
-14	9,136	26,158	41,705	57,623	70,402	79,415	86,273
-15,5	9,136	26,156	41,702	57,621	70,399	79,412	86,270



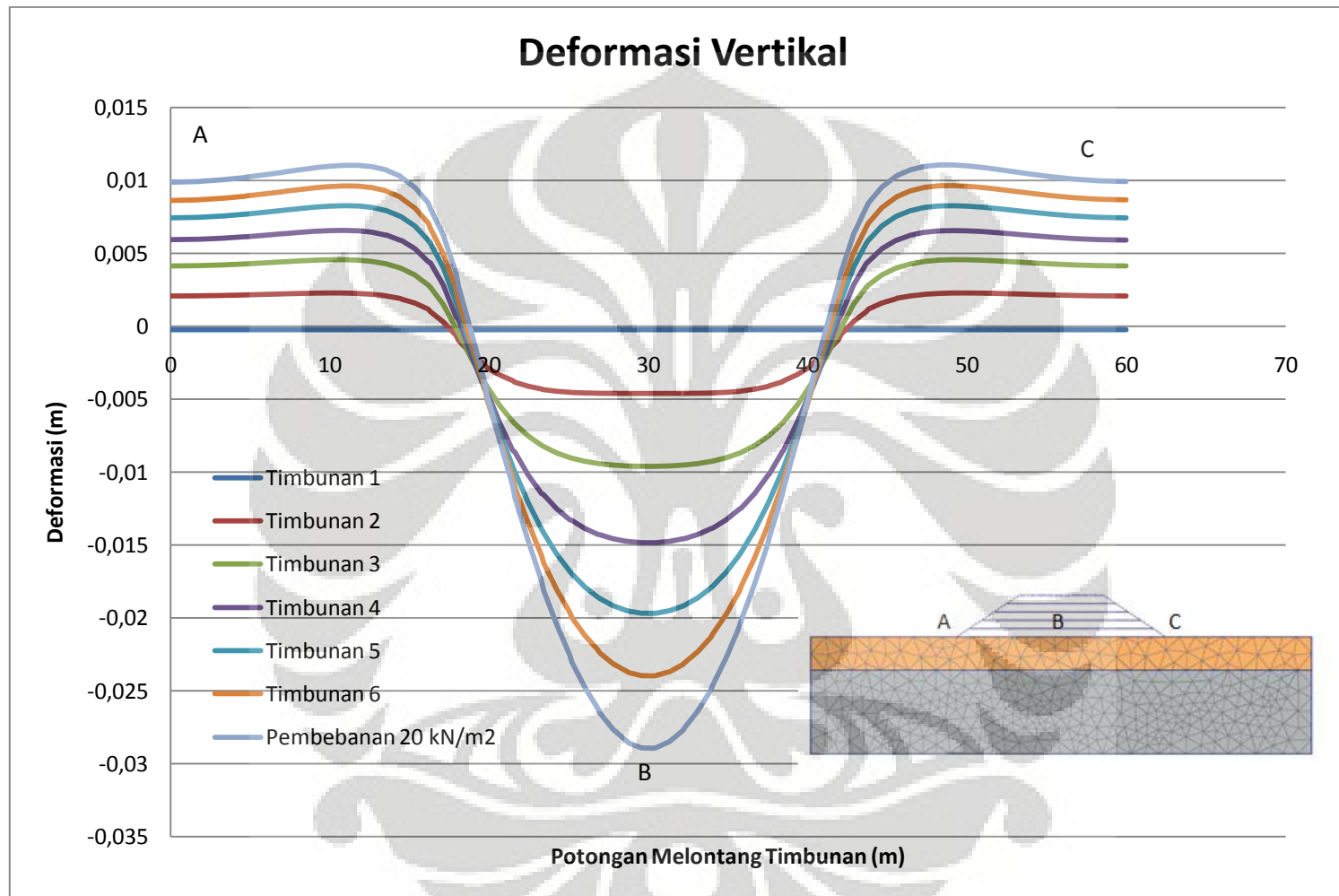
Gambar L. 3 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 4

L.2.2. Deformasi Vertikal

Tabel L. 4 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 4

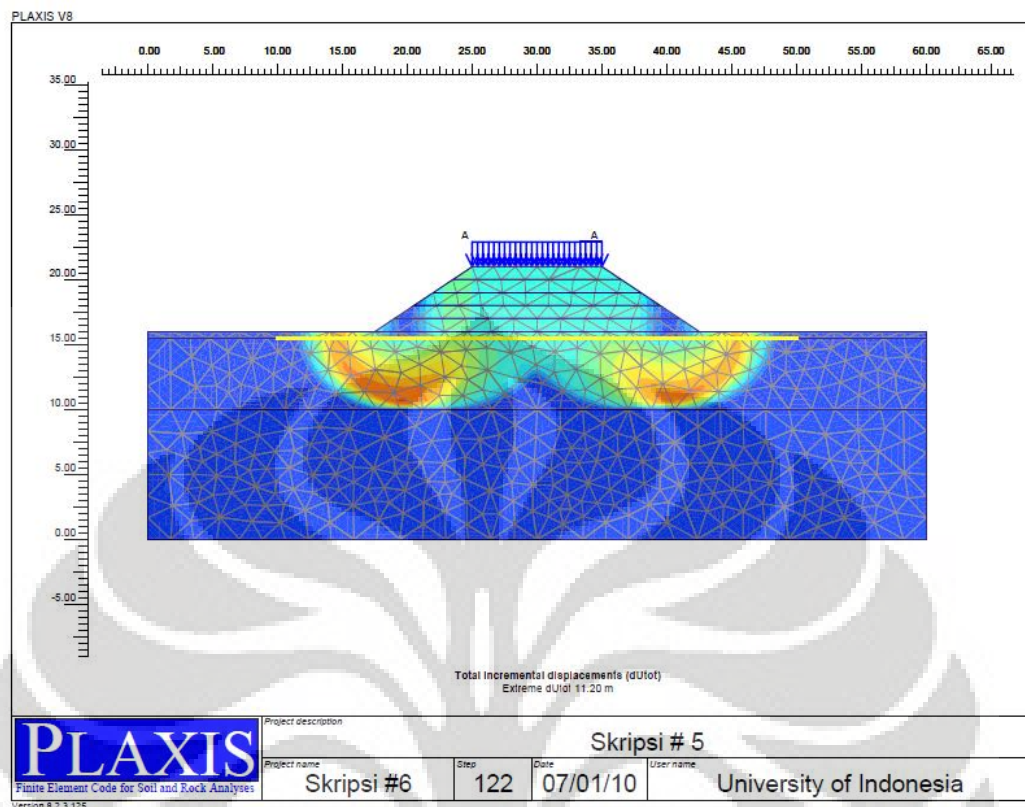
SUMBU KOORDINAT		TAHAPAN TIMBUNAN							Baban Luar
X	Y	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Tahap 6		
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
0	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010	
1	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010	
2	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010	
3	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010	
4	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010	
5	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010	
6	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,010	
7	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010	
8	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010	

9	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
10	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
11	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
12	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
13	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
14	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
15	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
16	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,010
17	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,011
18	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009	0,011
19	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,013	-0,017	-0,020	-0,023
20	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,013	-0,017	-0,020	-0,023
21	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,014	-0,018	-0,021	-0,025
22	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,014	-0,018	-0,021	-0,025
23	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,014	-0,019	-0,022	-0,026
24	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,014	-0,019	-0,022	-0,026
25	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,014	-0,019	-0,022	-0,027
26	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,014	-0,019	-0,022	-0,027
27	0	0,000	-0,005	-0,010	-0,015	-0,020	-0,024	-0,029
28	0	0,000	-0,005	-0,010	-0,015	-0,020	-0,024	-0,029
29	0	0,000	-0,005	-0,010	-0,015	-0,020	-0,024	-0,029
30	0	0,000	-0,005	-0,010	-0,015	-0,020	-0,024	-0,029



Gambar L. 4 Deformasi Vertikal terhadap potongan melintang timbunan model 4

L.2.3. Faktor Keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran



Gambar L. 5 Bentuk kelongsoran yang terjadi pada tahap akhir model 4 (FK = 1,721)

L.3. KASUS 5 ($D_1 = 8$ meter, $\phi = 0^\circ$, tanpa geosintetik)

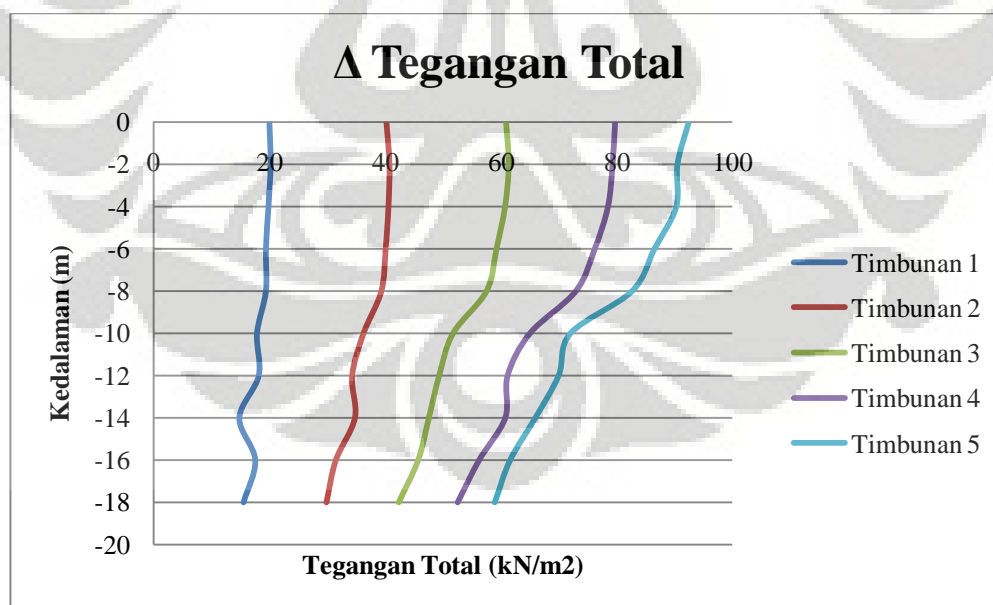
L.3.1. Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)

Pada model 5, terjadi kegagalan pada tahap perhitungan terakhir (tahap 6), yaitu pada saat pemberian beban luar sebesar 20 kN/m^2 . Tanah lempung lunak yang menjadi dasar dari timbunan mengalami *bearing failure*.

Tabel L. 5 Pengaruh tegangan model 5 akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS

Kedalaman	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
0	20,015	40,292	60,958	79,731	92,543
-1	19,356	39,932	60,575	79,495	90,533
-2	20,225	40,823	61,417	79,296	90,593
-3	21,119	41,472	61,968	78,893	92,017

-4	19,855	40,644	60,791	78,498	90,399
-5	20,253	40,631	60,165	76,769	88,564
-6	19,415	40,161	59,306	76,216	86,628
-7	20,476	39,874	58,559	73,521	85,099
-8	19,417	39,414	57,591	72,955	82,760
-9	19,632	38,784	56,482	70,871	80,972
-10	17,881	36,308	51,786	65,019	72,102
-11	18,829	36,172	52,136	64,814	73,987
-12	18,184	34,334	49,390	61,167	70,057
-13	17,264	34,440	48,894	61,057	67,770
-14	14,840	34,817	47,608	60,762	61,678
-15	16,695	32,737	46,460	57,801	64,447
-16	17,578	31,496	45,752	56,250	66,033
-17	15,583	31,133	43,804	54,548	59,967
-18	15,569	29,863	42,408	52,544	59,030



Gambar L. 6 Grafik pengaruh tegangan pada tahapan timbunan tanah model 5

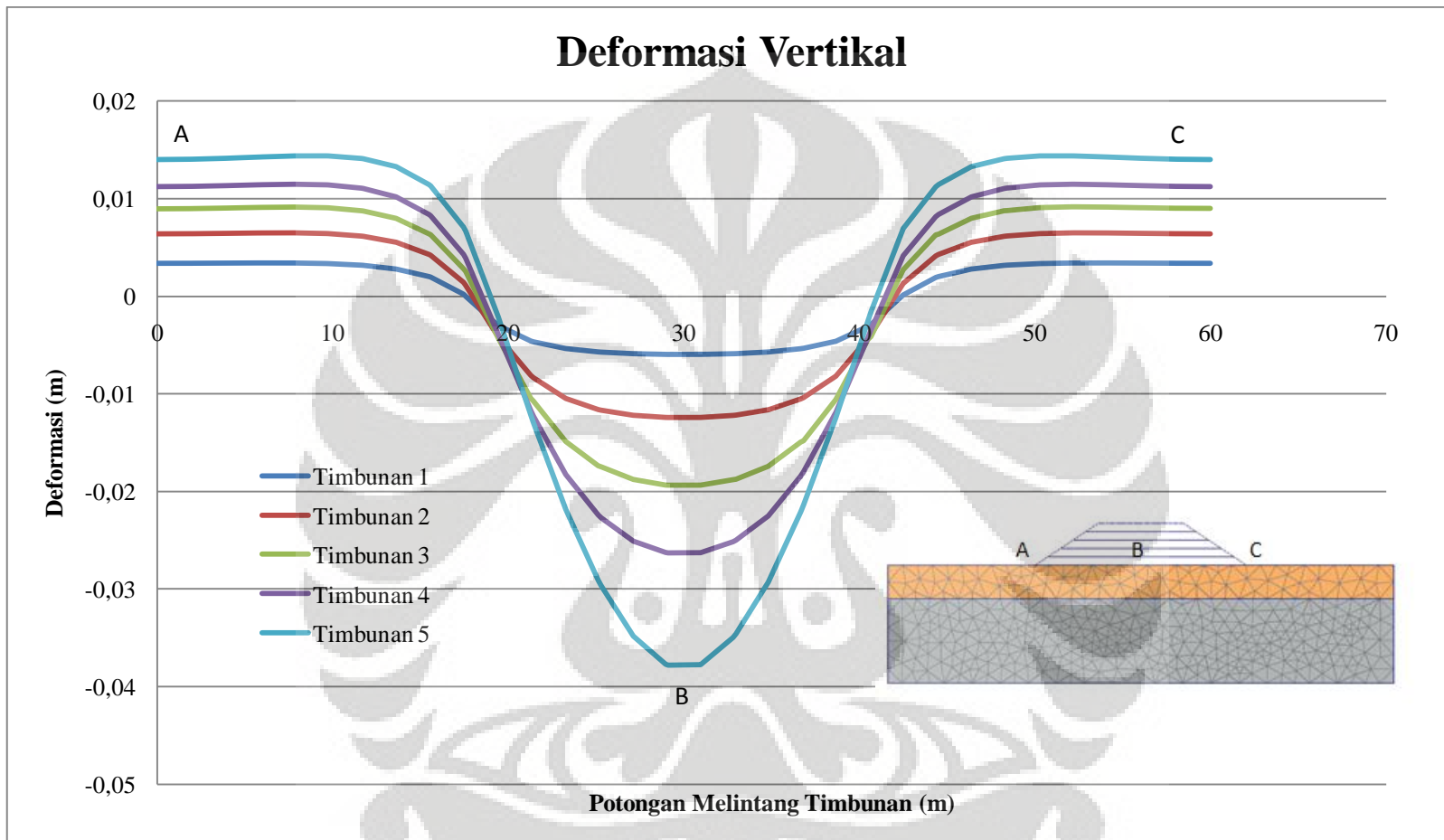
L.3.2. Deformasi Vertikal

Tabel L. 6 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 5

SUMBU KOORDINAT		TAHAPAN TIMBUNAN				
X	Y	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
1	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
2	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
3	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
4	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
5	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
6	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
7	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
8	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
9	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
10	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
11	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
12	0	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014
13	0	0,003	0,006	0,008	0,010	0,013
14	0	0,003	0,006	0,008	0,010	0,013
15	0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,011
16	0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,011
17	0	0,000	0,001	0,003	0,004	0,007
18	0	0,000	0,001	0,003	0,004	0,007
19	0	-0,003	-0,004	-0,004	-0,004	-0,002
20	0	-0,003	-0,004	-0,004	-0,004	-0,002

21	0	-0,005	-0,008	-0,010	-0,012	-0,012
22	0	-0,005	-0,008	-0,011	-0,012	-0,013
23	0	-0,005	-0,010	-0,015	-0,018	-0,022
24	0	-0,005	-0,010	-0,015	-0,018	-0,022
25	0	-0,006	-0,012	-0,017	-0,022	-0,029
26	0	-0,006	-0,012	-0,017	-0,023	-0,030
27	0	-0,006	-0,012	-0,019	-0,025	-0,035
28	0	-0,006	-0,012	-0,019	-0,026	-0,038
29	0	-0,006	-0,012	-0,019	-0,026	-0,038
30	0	-0,006	-0,012	-0,019	-0,026	-0,038





Gambar L. 7 Deformasi Vertikal model 5 terhadap potongan melintang timbunan

L.3.3. Faktor Keamanan & Busur Kelongsoran

Dalam proses perhitungan dengan PLAXIS, tidak didapatkan nilai faktor keamanan dan bentuk keruntuhan yang terjadi. Hal ini dikarenakan timbunan mengalami kelongsoran pada tahap pembebanan, sehingga tahap *phi-c reduction* tidak berjalan.

L.4. KASUS 6 ($D_1 = 8$ meter, $\phi = 0^\circ$, dengan geosintetik)

L.4.1. Perubahan Tegangan Total ($\Delta\sigma$)

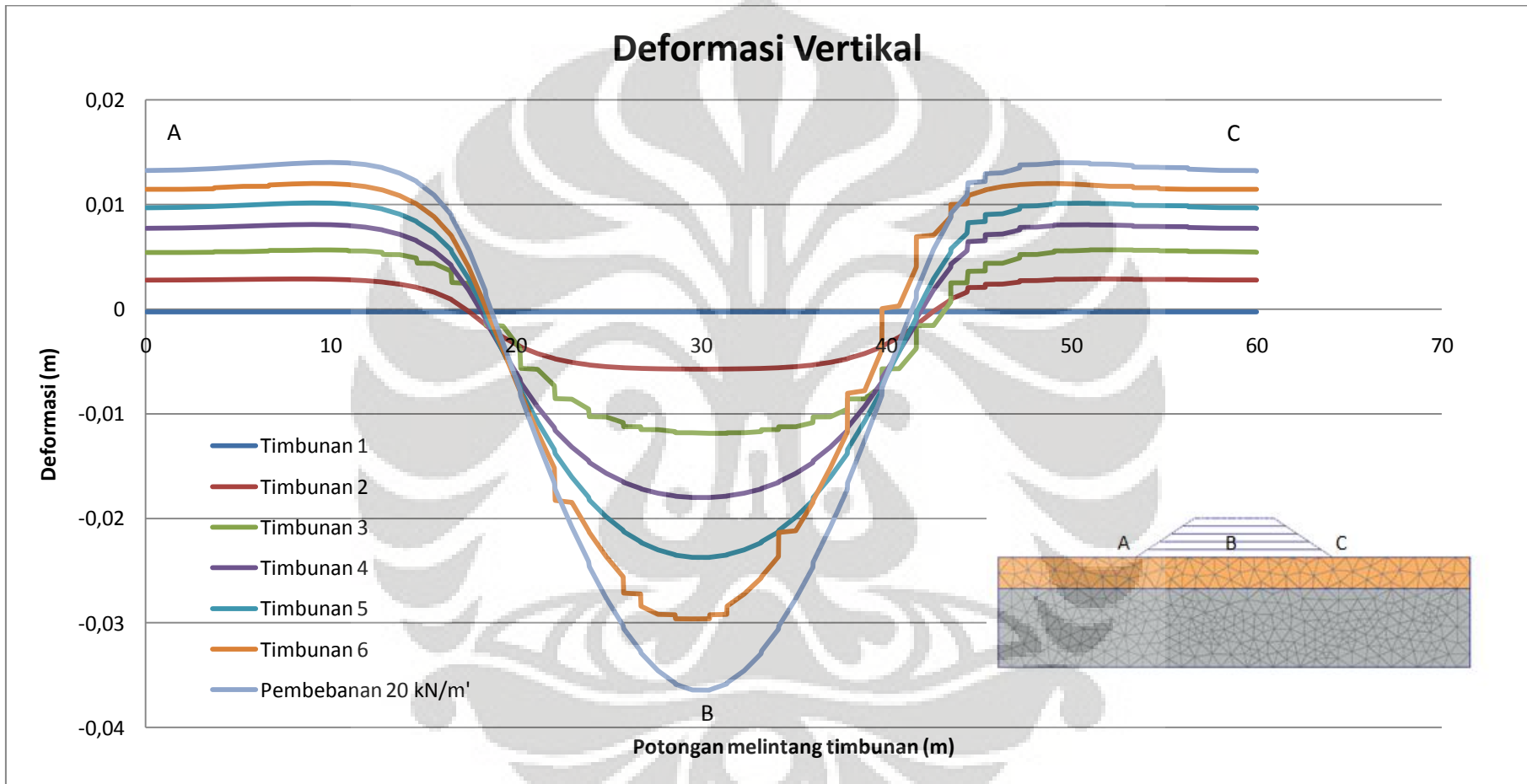
Tabel L. 7 Pengaruh tegangan model 6 akibat timbunan tanah hasil analisis PLAXIS

Kedalaman [m]	Tahap 1 [kN/m ²]	Tahap 2 [kN/m ²]	Tahap 3 [kN/m ²]	Tahap 4 [kN/m ²]	Tahap 5 [kN/m ²]	Tahap 6 [kN/m ²]	Pembebanan [kN/m ²]
0	10,000	30,097	50,738	70,907	89,230	97,896	109,925
-1	10,824	28,632	51,029	70,288	87,422	93,555	109,230
-2	10,824	28,632	51,029	70,288	87,422	93,555	109,230
-3	10,457	30,113	51,682	71,288	88,787	85,316	110,688
-4	9,250	31,410	51,475	71,961	89,741	85,643	111,977
-5	10,590	30,372	51,827	70,972	87,997	89,257	110,554
-6	8,484	31,567	50,919	71,289	88,112	79,723	110,449
-7	10,590	28,405	53,233	66,760	82,947	80,014	101,387
-8	10,289	28,405	53,233	66,761	82,950	80,050	101,394
-9	10,000	30,347	49,999	67,877	83,158	92,138	103,034
-10	9,999	30,346	49,993	67,870	83,146	92,008	103,006
-11	9,037	30,021	48,642	66,418	80,730	86,012	100,380
-12	10,000	29,473	48,060	63,509	77,605	55,915	94,653
-13	10,590	29,009	46,604	62,395	75,561	65,923	93,054
-14	11,322	25,987	41,309	60,652	68,988	42,778	93,071
-15	9,999	25,987	41,310	60,652	68,991	61,910	93,071
-16	9,043	27,429	43,577	58,226	69,776	46,673	86,284
-17	9,043	26,129	41,274	55,449	65,728	71,776	82,064
-17,5	9,998	26,231	41,036	53,940	64,715	72,305	79,001

L.4.2. Deformasi Vertikal

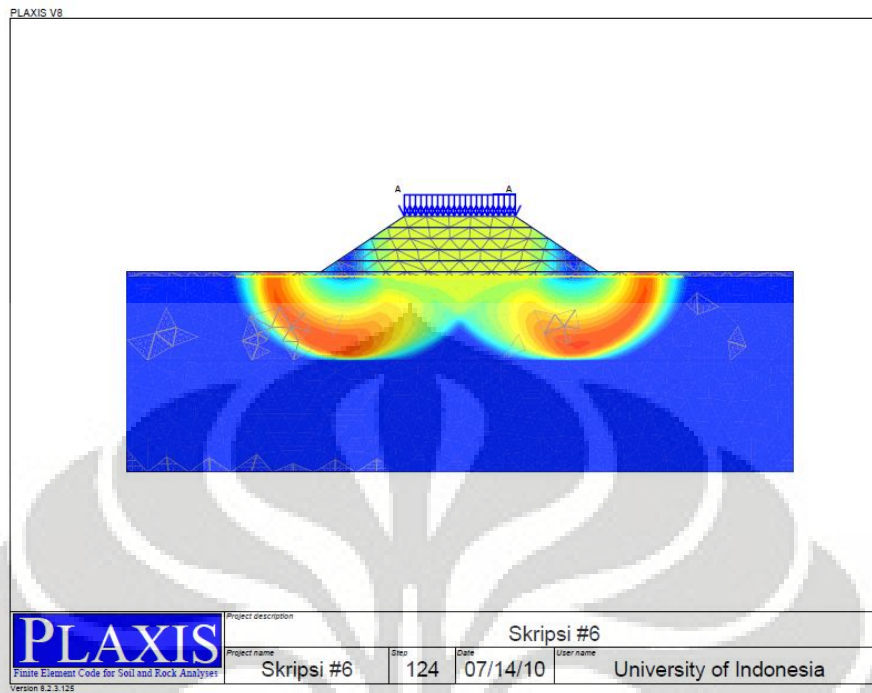
Tabel L. 8 Deformasi vertikal pada tiap tahapan timbunan model 6

SUMBU KOORDINAT		TAHAPAN TIMBUNAN						
X	Y	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4	Tahap 5	Tahap 6	Pembebanan
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,011	0,013
1	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,011	0,013
2	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,011	0,013
3	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,012	0,013
4	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,012	0,013
5	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,012	0,014
6	0	0,000	0,003	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014
7	0	0,000	0,003	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014
8	0	0,000	0,003	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014
9	0	0,000	0,003	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014
10	0	0,000	0,003	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014
11	0	0,000	0,003	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014
12	0	0,000	0,003	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014
13	0	0,000	0,003	0,005	0,008	0,010	0,011	0,013
14	0	0,000	0,002	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013
15	0	0,000	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	0,011
16	0	0,000	0,001	0,004	0,004	0,006	0,007	0,009
17	0	0,000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,004	0,006
18	0	0,000	-0,001	0,001	-0,001	0,000	0,000	0,002
19	0	0,000	-0,003	-0,002	-0,004	-0,004	-0,004	-0,003
20	0	0,000	-0,004	-0,004	-0,007	-0,007	-0,008	-0,008
21	0	0,000	-0,004	-0,006	-0,009	-0,011	-0,012	-0,013
22	0	0,000	-0,005	-0,007	-0,011	-0,013	-0,015	-0,017
23	0	0,000	-0,005	-0,009	-0,013	-0,016	-0,018	-0,021
24	0	0,000	-0,005	-0,010	-0,015	-0,018	-0,021	-0,025
25	0	0,000	-0,006	-0,010	-0,016	-0,020	-0,024	-0,028
26	0	0,000	-0,006	-0,011	-0,017	-0,021	-0,027	-0,031
27	0	0,000	-0,006	-0,011	-0,017	-0,022	-0,028	-0,033
28	0	0,000	-0,006	-0,012	-0,018	-0,024	-0,030	-0,036
29	0	0,000	-0,006	-0,012	-0,018	-0,024	-0,030	-0,036
30	0	0,000	-0,006	-0,012	-0,018	-0,024	-0,030	-0,036



Gambar L. 8 Deformasi Vertikal model 6 terhadap potongan melintang timbunan

L.4.3. Faktor Keamanan & Busur Kelongsoran



Gambar L. 9 Bentuk kelongsoran yang terjadi pada tahap akhir model 6 (FK = 1,541)