



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PENGARUH EFISIENSI INTERFACE TANAH-  
GEOTEKSTIL UNTUK SUBSURFACE DRAINS PADA  
STABILITAS LERENG TIMBUNAN DENGAN PLAXIS V.8**

**SKRIPSI**

**HERLY FIRMA  
0606031824**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PENGARUH EFISIENSI INTERFACE TANAH-  
GEOTEKSTIL UNTUK SUBSURFACE DRAINS PADA  
STABILITAS LERENG TIMBUNAN DENGAN PLAXIS V.8**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**HERLY FIRMA  
0606031824**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS INDONESIA  
JULI 2010**



**UNIVERSITY OF INDONESIA**

**EFFICIENCY ANALYSIS OF EFFECT OF SOIL-  
GEOTEXTILE INTERFACE FOR SUBSURFACE DRAINS ON  
EMBANKMENT SLOPE STABILITY WITH PLAXIS V.8**

**FINAL REPORT**

**Submitted as one of the requirements needed to obtain the Engineer  
Bachelor Degree**


**HERLY FIRMA**

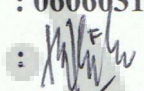
**0606031824**

**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JULY 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 : Herly Firma**  
**NPM : 0606031824**  
**Tanda Tangan : **  
**Tanggal : 07 Juli 2010**

**PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT**

**I declare that this final report is the result of my own research,  
and all of the references either quoted or cited here  
have been stated clearly.**

**Name : Herly Firma**

**NPM : 0606031824**

**Signature : **

**Date : July 7<sup>th</sup>, 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Herly Firma

NPM : 0606031824

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Efisiensi Tanah-Geotekstil Untuk Subsurface  
Drains Pada Stabilitas Lereng Timbunan Dengan Plaxis V.8

**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 : Ir. Widjojo A Prakoso, M.Sc, Ph.D (.....)

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

Penguji : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 07 Juli 2010

## STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report is submitted by :  
Name : Herly Firma  
NPM : 0606031824  
Study Program : Civil Engineering  
Title of Final Report : Efficiency Analysis of Effect of Soil-Geotextile Interface For Subsurface Drains On Embankment Slope Stability With Plaxis v.8

**Has been successfully defended in front of the Examiners and was accepted as part of necessary requirements to obtain Engineering Bachelor Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.**

### COUNCIL EXAMINERS

Counselor : Ir. Widjojo A Prakoso, M.Sc, Ph.D (.....)

Examiner : Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng (.....)

Examiner : Dr. Ir. Damrizal Damoerin, M.Sc (.....)

Approved at : Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering,  
University of Indonesia, Depok.

Date : 07<sup>th</sup> July 2010

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala nikmat dan rahmat-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. Bapak Ir. Widjojo A Prakoso, MSc, Phd selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing penulisan skripsi ini serta mengajarkan cara menyusun pemikiran yang sistematis hingga skripsi ini selesai.
2. Ayah dan Ibu, Adik-adikku dan sahabat-sahabatku yang telah memberikan motivasi serta doa.
3. Angkatan Teknik Sipil 2006 Universitas Indonesia, terkhusus buat *geotekers* yang selama ini saling memberikan dukungan satu sama lain sehingga kita tetap solid.
4. Mbak Dian yang selalu membantu dan mempermudah urusan-urusan akademis.

Akhirnya, dengan selesainya penulisan skripsi ini, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa mencurahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Amin.

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 : Herly Firma  
NPM : 0606031824  
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 PENGARUH EFISIENSI INTERFACE TANAH-GEOTEKSTIL  
UNTUK SUBSURFACE DRAINS PADA STABILITAS LERENG  
TIMBUNAN DENGAN PLAXIS V.8**

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

(Herly Firma)

## ABSTRAK

Nama : Herly Firma  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Analisa Pengaruh Efisiensi Interface Tanah-Geotekstil Untuk Subsurface Drains Pada Stabilitas Lereng Timbunan Dengan Plaxis v8

Pembangunan konstruksi bangunan di atas lereng timbunan akan memiliki risiko untuk terjadinya kelongsoran pada lereng tersebut pada saat naiknya permukaan air tanah. Kondisi ini terkait dengan berkurangnya nilai *safety factor* lereng timbunan. Untuk mengatasi naiknya permukaan air tanah pada saat dan setelah penimbunan terjadi, maka dipasang unit tambahan pada kaki lereng timbunan yang dikenal dengan nama *subsurface drains*. Pemasangan *subsurface drains* dengan pembungkus dari bahan geotekstil akan dapat mempertahankan nilai *safety factor*. Efisiensi interface antara *subsurface drains*-tanah  $< 1.0$  karena friksi dan adhesi yang terjadi antara bahan geotekstil-tanah lebih kecil daripada friksi dan kohesi yang terjadi antara tanah-tanah. Peneliti akan menganalisa penurunan *safety factor* akibat pemasangan *subsurface drains* pada lereng timbunan untuk kondisi efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6. Nilai *safety factor* mengalami penurunan dari efisiensi interface 1 hingga 0.6. Untuk itu, diperlukan pemilihan material timbunan dan bahan geotekstil sebagai bahan *subsurface drains* untuk lereng timbunan.

Kata kunci: Lereng timbunan, Geotekstil, Interface *Subsurface Drains* – tanah timbunan, *Safety factor*.

## ABSTRACT

Name : Herly Firma  
Study Program : Civil Engineering  
Title : Efficiency Analysis of Effect of Soil-Geotextile Interface  
For Subsurface Drains On Embankment Slope Stability  
With Plaxis v.8

The construction of the buildings on the slopes of the embankment will have a risk for the occurrence of landslide on the slopes when the ground water level rises. This condition is associated with a reduced value of the embankment slope's safety factor. To solve the ground water level rises during and after the embankment occurs, then additional units installed at the foot of the embankment slope known as subsurface drains. Installation of subsurface drains with using of geotextile material will be able to maintain the value of safety factor. Efficiency interface between subsurface-soil drains  $< 1.0$  because of friction and adhesion between the soil-geotextile material is smaller than the friction and cohesion between the soils. Researchers will analyze the safety factor decreased due to the installation of subsurface drains on embankment slopes to condition the efficiency of the interface 1, 0.8, and 0.6. Safety factor values decreased from 1 to 0.6 interface efficiency. For that, we need choose of material selection and geotextile materials as materials for subsurface drains the slopes of the embankment.

Keywords: Embankment slopes, Geotextile, Interface Subsurface Drains - soil embankment, Safety factor.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT .....	iv
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
STATEMENT OF LEGITIMATION .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	viii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN .....	2
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	2
1.4 METODE PENELITIAN.....	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
<b>BAB 2 STUDI LITERATUR .....</b>	<b>5</b>
2.1 TANAH.....	5
2.1.1 Klasifikasi Tanah .....	5
2.1.2 Tegangan Dalam Tanah .....	6
2.1.2.1 Prinsip Tegangan Efektif.....	6
2.1.2.2 Tegangan Horizontal (Tegangan Lateral).....	8
2.1.2.3 Kekuatan Geser Tanah Lempung .....	9
2.1.3 Elastisitas pada Tanah Lempung.....	11
2.1.4 Pemadatan Tanah .....	13
2.2 LERENG .....	16
2.2.1 Analisa bishop-Morgenstern .....	17
2.2.2 Tipe Kelongsoran Lereng Timbunan .....	20
2.3 MATERIAL GEOTEKSTIL.....	20
2.3.1 Definisi Geotekstil .....	21
2.3.2 Geotekstil Untuk Filter/Drainase Subsurface .....	23
2.3.3 Friksi yang Terjadi pada Tanah – Geotekstil .....	24
2.3.3.1 Perilaku Friksi ( <i>Friction Behaviour</i> ).....	24
2.3.3.2 Friksi (Adhesi) dan Sudut Geser Antara Tanah-Geotekstil .....	25
2.3.3.3 Efisiensi Interface Tanah- Geotekstil.....	29
2.4 SUBSURFACE DRAINS PADA LERENG TIMBUNAN.....	30
2.5 PLAXIS .....	32
2.5.1 Definisi Plaxis .....	32

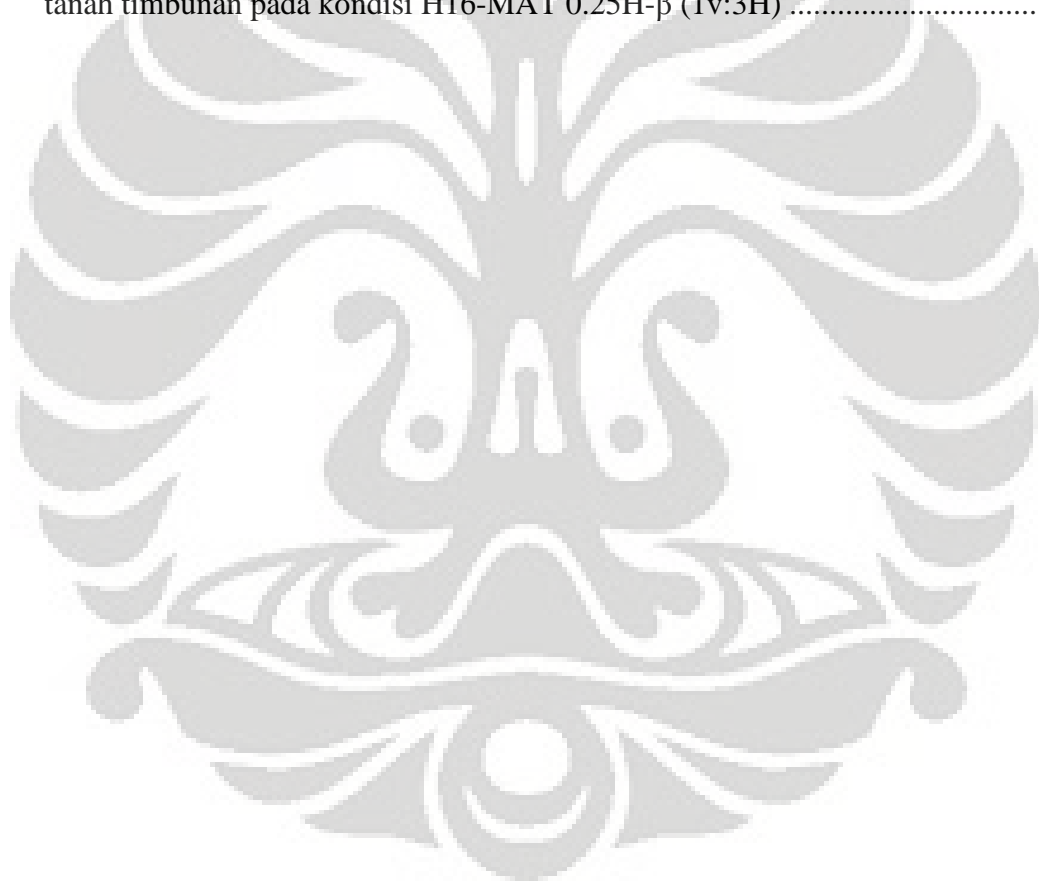
2.5.2 Analisa Permodelan pada Plaxis .....	34
2.5.2.1 Program Input .....	34
2.5.2.2 Program Calculation .....	36
2.5.2.3 Program Output .....	37
2.5.2.4 Program Curve .....	37
2.5.3 Pemodelan Mohr-Coulomb pada Plaxis .....	38
2.5.4 Permodelan Linier-Elastic pada Plaxis .....	40
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>41</b>
3.1 PEMILIHAN KASUS.....	41
3.2 ANALISA LERENG TIMBUNAN MENGGUNAKAN SUBSURFACE DRAINS DENGAN BANTUAN PLAXIS .....	45
3.3 DIAGRAM ALIR SISTEMATIKA Pengerjaan Skripsi dan DIAGRAM ALIR ANALISIS MENGGUNAKAN PLAXIS V8 .....	61
3.4 ANALISIS DAN PENGAMBILAN KESIMPULAN.....	63
<b>BAB 4 PEMBAHASAN .....</b>	<b>64</b>
4.1 PENDAHULUAN .....	64
4.2 BIDANG KERUNTUHAN LERENG TIMBUNAN BEBERAPA PEMODELAN .....	65
4.3 HASIL <i>SAFETY FACTOR</i> PEMODELAN .....	72
4.4 HASIL DAN ANALISA PEMODELAN TERHADAP <i>SAFETY FACTOR</i> (FS).....	75
4.4.1 Penurunan Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Muka Air Tanah (MAT) Pada Interface 1, 0.8, dan 0.6 .....	77
4.4.2 Penurunan Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Sudut Lereng Timbunan ( $\beta$ ) Pada Interface 1, 0.8, dan 0.6.....	84
4.4.3 Penurunan Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Tinggi Lereng Timbunan (H) Pada Interface 1, 0.8, dan 0.6.....	95
4.4.4 Penurunan Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Nilai Kuat Geser (c) Tanah Timbunan Pada Interface 1, 0.8, dan 0.6.....	103
4.5 PERBANDINGAN PENGARUH FAKTOR VARIABEL TERKAIT INTERFACE SUBSURFACE DRAINS - TANAH TIMBUNAN TERHADAP KESTABILAN LERENG TIMBUNAN .....	110
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>116</b>
5.1 KESIMPULAN .....	116
5.2 SARAN .....	118
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>119</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>120</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Interpretasi tegangan efektif .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Kuat geser .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Tegangan total .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Kondisi tanah sebelum dan sesudah dipadatkan .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Spesifikasi parameter dalam analisis perhitungan metode Bishop dan Morgenstern .....	18
<b>Gambar 2.6</b> Grafik metode Bishop dan Morgenstern .....	19
<b>Gambar 2.7</b> Tipe-tipe Kelongsoran Lereng .....	20
<b>Gambar 2.8</b> Geotekstil woven dan Non-woven .....	21
<b>Gambar 2.9</b> Tipe-tipe serat polimer yang digunakan pada geotekstil .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Pemasangan geotekstil yang optimal sebagai filter di sekitar drainase batu pecah .....	24
<b>Gambar 2.11</b> Pengujian dan tes hasil friksi pada tanah berpasir dengan geotekstil .....	25
<b>Gambar 2.12</b> Selubung keruntuhan untuk interface yang telah diuji. Sampel pasir kelanauan, Kec. Putaran alat= 1mm/menit .....	26
<b>Gambar 2.13</b> Selubung keruntuhan untuk interface yang telah diuji Sampel pasir kelanauan, Kec. Putaran alat = 2 mm/menit .....	27
<b>Gambar 2.14</b> Saluran bawah jalan .....	31
<b>Gambar 2.15</b> Interceptor saluran air .....	31
<b>Gambar 2.16</b> Saluran bawah lereng .....	31
<b>Gambar 2.17</b> Contoh model plane strain dan axisymmetric .....	33
<b>Gambar 2.18</b> Posisi nodal dan stress point pada elemen tanah .....	33
<b>Gambar 2.19</b> Parameter tanah timbunan untuk model Mohr-Coulomb .....	39
<b>Gambar 2.20</b> Parameter <i>Subsurface Drains</i> untuk model Mohr-Coulomb .....	39
<b>Gambar 2.21</b> Parameter tanah asli untuk model <i>Linier-Elastic</i> .....	40
<b>Gambar 3.1</b> General model yang dipakai .....	46
<b>Gambar 3.2</b> Dimensi model yang digunakan .....	46
<b>Gambar 3.3</b> Geometri lereng .....	47
<b>Gambar 3.4</b> Material Sets .....	47
<b>Gambar 3.5</b> General tanah asli .....	48
<b>Gambar 3.6</b> Parameter tanah asli .....	48
<b>Gambar 3.7</b> General tanah timbunan .....	49
<b>Gambar 3.8</b> Parameter tanah timbunan .....	49
<b>Gambar 3.9</b> General <i>Subsurface Drains</i> .....	50
<b>Gambar 3.10</b> Parameter <i>Subsurface Drains</i> .....	50
<b>Gambar 3.11</b> General tanah (lapisan) interface .....	51
<b>Gambar 3.12</b> Parameter tanah (lapisan) interface .....	51
<b>Gambar 3.13</b> Boundary Conditions ( <i>standard fixities</i> ) .....	52
<b>Gambar 3.14</b> Mesh Generatin .....	52
<b>Gambar 3.15</b> <i>Initial pore pressure</i> .....	52
<b>Gambar 3.16</b> <i>K0</i> - prosedur .....	53
<b>Gambar 3.17</b> General phase 1 .....	54
<b>Gambar 3.18</b> Multipliers phase 1 dengan $M_{weight} = 1$ .....	55

<b>Gambar 3.19</b> Parameter phase 2 .....	55
<b>Gambar 3.20</b> Parameter phase 3 sampai 12.....	56
<b>Gambar 3.21</b> MAT lereng dibuat pada phase ke- 12.....	56
<b>Gambar 3.22</b> General phase ke- 13 .....	57
<b>Gambar 3.23</b> Parameter phase ke- 13.....	57
<b>Gambar 3.24</b> Multipliers phase ke- 13 .....	58
<b>Gambar 3.25</b> Titik tinjau lereng timbunan .....	58
<b>Gambar 3.26</b> Hasil <i>Calculation</i> .....	59
<b>Gambar 3.27</b> Output dari lereng timbunan.....	59
<b>Gambar 3.28</b> <i>Calculation Info</i> untuk melihat FS .....	60
<b>Gambar 4.1</b> Bidang keruntuhan lereng timbunan kondisi c10-H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) interface 1.....	65
<b>Gambar 4.2</b> Bidang keruntuhan lereng timbunan kondisi c10-H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) interface 0.8.....	66
<b>Gambar 4.3</b> Bidang keruntuhan lereng timbunan kondisi c10-H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) interface 0.6.....	66
<b>Gambar 4.4</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	67
<b>Gambar 4.5</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	67
<b>Gambar 4.6</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	68
<b>Gambar 4.7</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	68
<b>Gambar 4.8</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:2H) efisiensi interface 1 .....	69
<b>Gambar 4.9</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) efisiensi interface 1 .....	69
<b>Gambar 4.10</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	70
<b>Gambar 4.11</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H13-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	70
<b>Gambar 4.12</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	71
<b>Gambar 4.13</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3\1.5H) efisiensi interface 1 .....	71
<b>Gambar 4.14</b> Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c10-H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H) efisiensi interface 1 .....	72
<b>Gambar 4.15</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H10- $\beta$ (1v:3H) .....	77
<b>Gambar 4.16</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondic20-H13- $\beta$ (1v:3H) .....	80
<b>Gambar 4.17</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H16- $\beta$ (1v:3H) .....	82
<b>Gambar 4.18</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H-H10 .....	85
<b>Gambar 4.19</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H10 .....	88

<b>Gambar 4.20</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H13 .....	90
<b>Gambar 4.21</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H16 .....	93
<b>Gambar 4.22</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) .....	95
<b>Gambar 4.23</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) .....	98
<b>Gambar 4.24</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H) .....	101
<b>Gambar 4.25</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) .....	104
<b>Gambar 4.26</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H) .....	106
<b>Gambar 4.27</b> Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) .....	109





## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Nilai $C_u$ .....	11
<b>Tabel 2.2</b> Nilai $E_s$ Tanah .....	12
<b>Tabel 2.3</b> Jangkauan nilai nilai poisson $\mu$ .....	13
<b>Tabel 2.4</b> Modulus elastisitas bahan geotekstil .....	23
<b>Tabel 2.5</b> Nilai friksi dan sudut friksi pada tiap kondisi $v = 1$ mm/menit.....	26
<b>Tabel 2.6</b> Nilai friksi dan sudut friksi pada tiap kondisi $v = 2$ mm/menit.....	27
<b>Tabel 2.7</b> Sudut friksi dan efisiensi pada tanah pasir non kohesif dengan geotekstil.....	28
<b>Tabel 2.8</b> Perbandingan hasil uji pada sampel pasir kelanauan dengan kecepatan putaran alat 1 mm/menit.....	28
<b>Tabel 2.9</b> Perbandingan hasil uji pada sampel pasir kelanauan dengan kecepatan putaran alat 2 mm/menit.....	28
<b>Tabel 3.1</b> Properti Tanah Asli Lereng .....	41
<b>Tabel 3.2</b> Properti Tanah Timbunan.....	41
<b>Tabel 3.3</b> Properti <i>SubsurfaceDrains</i> .....	42
<b>Tabel 3.4</b> Properti dan Geometri Pemodelan Tanah Timbunan beserta Properti <i>Subsurface Drains</i> Pada Plaxis .....	42
<b>Tabel 3.5</b> Nilai properti dan geometri lereng timbunan yang dibuat sama setiap pemodelan.....	44
<b>Tabel 3.6</b> Parameter tanah interface .....	45
<b>Tabel 4.1</b> Variabel pembanding untuk analisa terhadap FS .....	64
<b>Tabel 4.2</b> Nilai parameter variabel pembanding .....	64
<b>Tabel 4.3</b> Hasil safety factor seluruh pemodelan .....	73
<b>Tabel 4.4</b> Notasi kondisi lereng timbunan.....	76
<b>Tabel 4.5</b> Penurunan nilai <i>safety factor</i> terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H10- $\beta$ (1v:3H).....	77
<b>Tabel 4.6</b> Ratio penurunan FS kondisi c10-H10- $\beta$ (1v:3H) terhadap Interface.....	78
<b>Tabel 4.7</b> Ratio penurunan FS kondisi c10-H10- $\beta$ (1v:3H) terhadap MAT .....	78
<b>Tabel 4.8</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:3H).....	79
<b>Tabel 4.9</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:3H) terhadap Interface.....	80
<b>Tabel4.10</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:3H) terhadap MAT .....	81
<b>Tabel 4.11</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H16- $\beta$ (1v:3H).....	82
<b>Tabel 4.12</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-H16- $\beta$ (1v:3H) terhadap Interface.....	83
<b>Tabel 4.13</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:3H) terhadap MAT .....	83

<b>Tabel 4.14</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H- H10.....	85
<b>Tabel 4.15</b> Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.5H-H10 terhadap interface.....	86
<b>Tabel 4.16</b> Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.5H-H10 terhadap sudut lereng ( $\beta$ ).....	86
<b>Tabel 4.17</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H10.....	87
<b>Tabel 4.18</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H10 terhadap interface.....	88
<b>Tabel 4.19</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H10 terhadap sudut lereng ( $\beta$ ).....	89
<b>Tabel 4.20</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H13.....	90
<b>Tabel 4.21</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H13 terhadap interface.....	91
<b>Tabel 4.22</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H13 terhadap sudut lereng ( $\beta$ ).....	91
<b>Tabel 4.23</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H16.....	92
<b>Tabel 4.24</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H16 terhadap interface.....	93
<b>Tabel 4.25</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H16 terhadap sudut lereng ( $\beta$ ).....	94
<b>Tabel 4.26</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H).....	95
<b>Tabel 4.27</b> Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap interface.....	96
<b>Tabel 4.28</b> Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap tinggi timbunan (H).....	96
<b>Tabel 4.29</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H).....	98
<b>Tabel 4.30</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap interface.....	99
<b>Tabel 4.31</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap tinggi timbunan (H).....	99
<b>Tabel 4.32</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H).....	100
<b>Tabel 4.33</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H) terhadap interface.....	101
<b>Tabel 4.34</b> Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	

terhadap tinggi timbunan (H).....	102
<b>Tabel 4.35</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H).....	103
<b>Tabel 4.36</b> Ratio penurunan FS kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap interface.....	104
<b>Tabel 4.37</b> Ratio penurunan FS kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap kuat geser tanah timbunan.....	105
<b>Tabel 4.38</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H).....	106
<b>Tabel 4.39</b> Ratio penurunan FS kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H) terhadap interface.....	107
<b>Tabel 4.40</b> Ratio penurunan FS kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H) terhadap kuat geser tanah timbunan.....	107
<b>Tabel 4.41</b> Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan ( $\beta$ ) pada interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H).....	108
<b>Tabel 4.42</b> Ratio penurunan FS kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap interface.....	109
<b>Tabel 4.43</b> Ratio penurunan FS kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) terhadap kuat geser tanah timbunan.....	110
<b>Tabel 4.44</b> Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat pengaruh muka air tanah (MAT) pada interface 0.8 to 1 dan interface 0.6 to 1.....	111
<b>Tabel 4.45</b> Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat pengaruh sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 0.8 to 1 dan interface 0.6 to 1.....	111
<b>Tabel 4.46</b> Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat pengaruh tinggi lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 0.8 to 1 dan interface 0.6 to 1.....	112
<b>Tabel 4.47</b> Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat kuat geser tanah timbunan lereng timbunan ( $\beta$ ) pada interface 0.8 to 1 dan interface 0.6 to 1.....	113
<b>Tabel 4.48</b> Perbandingan minimum, maksimum, median, dan rata-rata ratio penurunan FS akibat variabel pembanding pada interface 0.8 to 1 dan interface 0.6 to 1.....	114

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Pembangunan konstruksi bangunan pada daerah yang padat menyebabkan keterbatasan lahan untuk kegiatan konstruksi. Hal tersebut bisa saja lebih dipersulit dengan tidak ratanya geometri permukaan tanah/ berlereng. Tanah yang berlereng akan dapat diantisipasi dengan cara penimbunan untuk mendapatkan permukaan tanah yang rata.

Pembangunan konstruksi bangunan di atas lereng timbunan akan memiliki risiko untuk terjadinya kelongsoran / *failure* pada lereng tersebut di saat naiknya permukaan air tanah. Kondisi ini terkait dengan berkurangnya nilai *safety factor* lereng timbunan. Untuk mengatasi permukaan air tanah tidak naik pada saat / setelah penimbunan terjadi maka dipasang unit tambahan pada kaki lereng timbunan yang biasa dikenal dengan nama *Subsurface Drains*. Sehingga nilai *safety factor* dapat dipertahankan. Pembungkus *Subsurface Drains* terbuat dari bahan geotekstil.

Penggunaan *Subsurface Drains* dengan geotekstil pada lereng timbunan akan berdampak langsung terhadap nilai *safety factor* nya. Efisiensi *interface Subsurface Drains* yang terjadi dengan tanah  $< 1.0$  karena friksi yang terjadi antara bahan geotekstil dengan tanah lebih kecil daripada friksi yang terjadi antara tanah dengan tanah. Kondisi ini akan mengakibatkan menurunnya nilai *safety factor* lereng timbunan tersebut sehingga tidak mencapai nilai kestabilan lereng yang diharapkan.

Walau bagaimanapun *Subsurface Drains* sangat berguna untuk menjaga kestabilan lereng timbunan. Untuk itu peneliti akan menganalisa efisiensi *interface safety factor* dari sebuah lereng timbunan dengan penggunaan *Subsurface Drains- Geotekstil*. Dalam kasus ini peneliti akan bervariasi geometri lereng timbunan, dan parameter tanah timbunan yang digunakan.

## 1.2 MAKSUD DAN TUJUAN PENULISAN

Adapun maksud dari penulisan skripsi ini adalah untuk menentukan kondisi properti lereng dengan penggunaan *subsurface drains* dari bahan geotekstil terkait *safety factor*. Sedangkan tujuan dari penulisan skripsi ini adalah menghasilkan ratio efisiensi dari *interface subsurface drains* - tanah timbunan untuk *safety factor* pada suatu lereng timbunan, sehingga dapat diketahui penurunan *safety factor* pada lereng timbunan pada berbagai nilai interface tanah timbunan – *subsurface drains*.

## 1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Lingkup penelitian pada skripsi ini adalah analisa mengenai efisiensi *interface safety factor* pada lereng timbunan akibat penggunaan *subsurface drains* - geotekstil dengan bervariasikan properti tanah dan geometri lereng timbunan. Permodelan ini hanya ditinjau pada lereng timbunan dengan tanah lempung yang telah dipadatkan. Material (tanah) timbunan yang baik adalah material (tanah) yang berbutir kasar, tetapi pada kenyataannya material timbunan yang dipakai adalah material (tanah) berbutir halus seperti tanah lempung. Dalam kasus ini akan ditentukan efisiensi dari *interface subsurface drains* untuk *safety factor* lereng timbunan dengan bervariasikan nilai  $c$  dan  $\phi$  tanah timbunan, kelandaian (sudut) dan ketinggian lereng timbunan ( $H$ ), sehingga dapat diketahui perbedaan *safety factor* yang dihasilkan untuk setiap pemodelan. Properti jenis geotekstil yang digunakan untuk *subsurface drains* dalam penelitian ini adalah jenis *woven* halus. Dalam penelitian ini, penulis hanya meninjau kestabilan lereng timbunan saja akibat adanya perbedaan interface pada pemasangan *subsurface drains* – tanah timbunan. *Subsurface drains* dipasang sepanjang kaki lereng timbunan.

## 1.4 METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang digunakan pada penulisan skripsi ini adalah:

- Pada penelitian ini akan dilakukan berbagai macam variasi properti lereng timbunan yakni nilai  $c$  dan  $\phi$  tanah timbunan, kelandaian (sudut) dan ketinggian lereng timbunan ( $H$ ).

- Metode numerik dengan menggunakan analisa software PLAXIS V.8. PLAXIS adalah alat bantu hitung yang menggunakan sistem elemen hingga yang digunakan untuk menganalisa *safety factor*.
- Analisa dari hasil Plaxis untuk parameter-parameter yang telah digunakan dalam bentuk grafik sehingga didapat nilai reduksi dari pengaruh efisiensi interface *subsurface drains* terhadap *safety factor*.

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika skripsi ini terdiri atas 5 Bab yang terbagi atas:

a) Bab 1 : Pendahuluan

Pada bab ini dipaparkan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penulisan skripsi ini. Untuk latar belakang skripsi ini adalah dilakukannya analisa dampak penggunaan *Subsurface Drains* dari bahan geotekstil terhadap efisiensi *safety factor* pada lereng timbunan beserta tujuan, ruang lingkup penelitian, metode penenilitian dan sistematika penulisan.

b) Bab 2 : Studi Literatur

Bab 2 berisi studi literatur sebagai teori dasar pemaparan dan penjelasan masalah pada bab selanjutnya. Dalam bab ini di antaranya akan dibahas tentang tanah yang digunakan pada timbunan, kestabilan lereng timbunan, jenis geotekstil yang akan digunakan untuk *subsurface darins* berikut penggunaannya di lapangan, friksi yang terjadi antara tanah-geotekstil dan teorikal permodelan pada PLAXIS terkait kasus yang akan dibahas.

c) Bab 3: Metode Penelitian

Penulis melakukan penelitian mengenai efisiensi *safety factor* pada lereng timbunan akibat penggunaan *subsurface drains*-geotekstil dengan mempertimbangkan properti dan geometri lereng timbunan. Metode penelitian yang digunakan adalah analisa dengan menggunakan software PLAXIS yang dijelaskan secara prosedural.

d) Bab 4 : Pembahasan

Pada bab ini peneliti akan menganalisa hasil *safety factor* yang dihasilkan oleh tiap pemodelan. Hasil ini akan dianalisa dalam bentuk grafik dan tabel

sehingga didapatkan ratio penurunan *safety factor* untuk berbagai kasus lereng timbunan.

e) Bab 5: Penutup

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran yang dibuat oleh peneliti berdasarkan penelitian. Dalam bab ini tergambar hasil menyeluruh dari penelitian yang telah dilakukan.



## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1 TANAH**

Tanah adalah kumpulan partikel- partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya yang berbentuk dari pelapukan bebatuan. Ikatan yang lemah yang terjadi pada partikel- partikel tanah diakibatkan pengaruh senyawa karbonat atau senyawa oksida di antara partikel- partikel tanah tersebut, atau dapat juga diakibatkan oleh adanya kandungan organik (Craig, 1994).

Dalam bahasa teknik secara umum, tanah merupakan material yang terdiri atas agregat mineral- mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan- bahan organik yang telah terjadi pelapukan (partikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang- ruang kosong di antara partikel- partikel padat tersebut (Das, 1988).

Sedangkan pengertian lain mendefinisikan bahwa tanah adalah kumpulan butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik apabila kumpulan butiran tersebut diaduk di dalam air (Terzaghi, 1987).

Tanah merupakan faktor utama dalam menopang keberadaan suatu bangunan. Tanah dapat memberikan daya dukung yang baik untuk menahan beban di atasnya. Tanah adalah material yang heterogen dan sangat unik jika dibandingkan material lainnya seperti beton, baja, kayu dan komposit sekalipun. Keadaan tanah yang heterogen ini harus bisa kita usahakan untuk dapat dijadikan pondasi yang baik untuk bangunan yang ada di atasnya. Untuk itu tanah harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar, lereng ataupun pada dinding penahan tanah.

##### **2.1.1 Klasifikasi Tanah**

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*).

### **2.1.2 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 menggeling 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.

#### **2.1.2.1 Prinsip Tegangan Efektif**

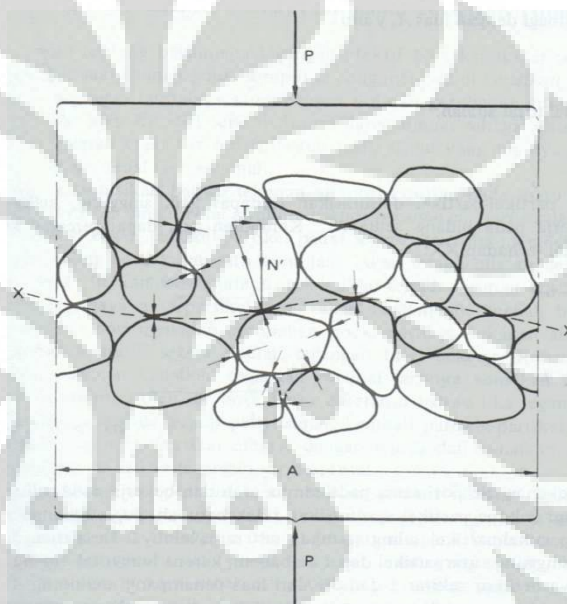
Besarnya pengaruh gaya-gaya yang menjalar dari partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui sejak tahun 1923, ketika Terzaghi mengemukakan prinsip tegangan efektif yang didasarkan pada data hasil percobaan. Prinsip tersebut hanya berlaku untuk tanah jenuh sempurna. Tegangan-tegangan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

1. Tegangan normal tanah ( $\sigma$ )

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 ( $\sigma'$ ) pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijalarakan hanya melalui kerangka tanah saja.

Berikut adalah Interpretasi tegangan efektif.



**Gambar 2.1** Interpretasi tegangan efektif. (R.F. Craig)

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

**Universitas Indonesia**

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:

$$\sigma' = \frac{\sum \acute{\sigma}}{A} \dots\dots\dots 2.1$$

Tegangan normal total adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.2$$

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:

$$P = \sum \acute{N} + u \cdot A \dots\dots\dots 2.3$$

atau

$$\frac{P}{A} = \frac{\sum \acute{N}}{A} + u \dots\dots\dots 2.4$$

Jadi:

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots 2.5$$

### 2.1.2.2 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:

$$\sigma_h = K_0 \cdot \sigma_v \dots\dots\dots 2.6$$

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.

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

$K_0$  adalah koefisien penting dalam bidang geoteknik. Biasanya 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.

### 2.1.2.3 Kekuatan Geser Tanah Lempung

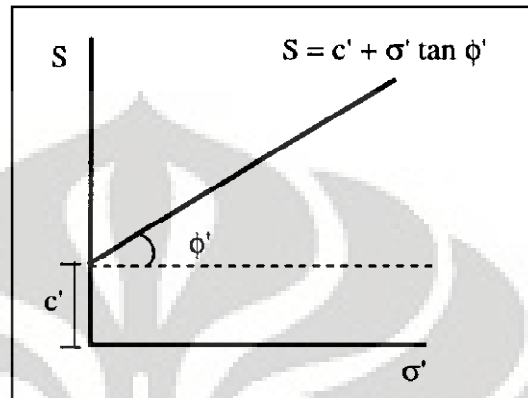
Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah 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 ( $\phi$  soil).
3. Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (c dan  $\phi$  soil), kekuatan geser

disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena  $\phi$ ).

Kuat geser dinyatakan dalam rumus:

$$S = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots 2.8$$



Gambar 2.2 Kuat geser (R.F. Craig)

Dimana:

$S$  = Kekuatan geser tanah

$U$  = Tekanan air pori

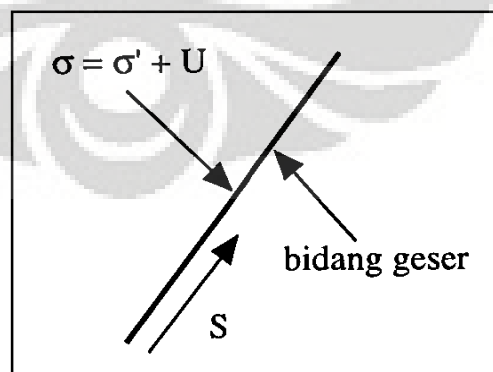
$\sigma$  = Tegangan total

$\sigma'$  = Tekanan efektif

$\phi'$  = Sudut geser dalam tanah efektif

$c'$  = Kohesi

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



Gambar 2.3 Tegangan total (R.F. Craig)

Pada tabel di bawah ini, disebutkan bahwa nilai  $C_u$  untuk *soft soil* adalah 20-40 kN/m<sup>2</sup> dan *very soft soil* adalah < 20 kN/m<sup>2</sup>. Peneliti mengambil nilai  $C_u$  sebesar 10 kN/m<sup>2</sup> dan 20 kN/m<sup>2</sup> dengan sudut geser tanah 25<sup>0</sup> pada tanah lempung. Maka kekuatan geser bergantung pada nilai kohesi tanah dan sudut geser. Di mana properti tanah tersebut cukup baik digunakan sebagai material timbunan.

**Tabel 2.1** Nilai  $C_u$

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)

### 2.1.3 Elastisitas pada Tanah Lempung

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

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots 2.9$$

di mana :  $E$  = modulus elastisitas ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  = tegangan ( $\text{kN/m}^2$ )

$\varepsilon$  = regangan

Peneliti mengambil nilai  $E_s = 50000 \text{ kN/m}^2$  untuk material timbunan berdasarkan tabel 2.2 di bawah ini.

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

**Tabel 2.2** 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, Foundation Analysis and Design, hal 125)

Nilai  $\mu$  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  $\mu$  secara langsung. Berikut adalah tabel jangkauan nilai-nilai poisson  $\mu$ .

**Tabel 2.3** Jangkauan nilai nilai poisson  $\mu$ 

Type of Soil	$\mu$
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 commonly used	0.1-1.0 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: Joseph E.Bowles, Foundation Analysis and Design, hal.123)

Terlihat bahwa nilai  $\mu$  untuk tanah lempung unsaturated berkisar antara 0.1-0.3. Peneliti mengambil  $\mu = 0.2$  sebagai nilai tengah *poisson ratio* tanah lempung. Sedangkan untuk tanah asli nilai  $\mu = 0.3$ .

Nilai properti di atas digunakan untuk properti tanah timbunan yang akan digunakan.

#### 2.1.4 Pemasatan Tanah

Pemasatan tanah untuk lereng timbunan biasanya digunakan butiran-butiran kasar (gravel hingga pasir). Hal ini bertujuan untuk memudahkan air yang terkandung di dalam badan timbunan untuk mengalir keluar. Tetapi kebanyakan di Indonesia material timbunan biasanya menggunakan

**Universitas Indonesia**



butiran-butiran tanah yang lebih halus karena mengingat faktor ekonomis. Umumnya material timbunan yang digunakan adalah tanah lempung.

Pemadatan adalah usaha secara mekanik agar butir-butir tanah merapat. Volume pori berkurang namun volume butir tidak berubah. Hal ini bisa dilakukan dengan menggilas atau menumbuk.

Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki sifat teknik tanah, antara lain:

- Memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan nilai  $\theta$  dan  $c$  (memperkuat tanah)
- Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban.
- Mengurangi permeabilitas yaitu mengurangi nilai  $k$ .
- Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Pemadatan tanah biasanya digunakan pada pembuatan bending, jalan raya, lapangan terbang, lapis dasar pondasi, dan pekerjaan lainnya yang membutuhkan pemadatan. Perubahan yang terjadi jika tanah dipadatkan adalah pengurangan volume pori tanah sehingga mengakibatkan:

- Volume total tanah berubah
- Nilai  $e$  berkurang
- Berat volume kering  $\gamma_k$  naik sesuai  $\gamma_k = \frac{G\gamma_w}{1+e}$
- Derajat jenuh air naik meskipun kadar air tetap  $S = \frac{V_s}{V_v}$

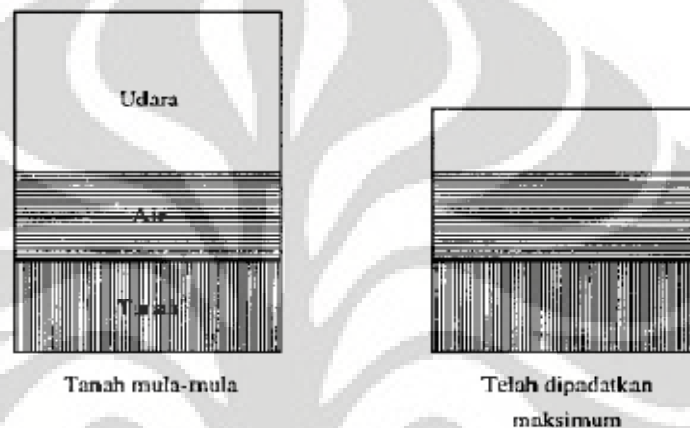
Dalam praktek yang digunakan sebagai ukuran kepadatan adalah berat volume kering, makin padat suatu tanah nilai  $\gamma_k$  naik. Hasil pemadatan suatu tanah dipengaruhi oleh tenaga pemadatan dan kadar air tanah. Sedangkan tenaga pemadatan ditentukan oleh berat mesin gilas, banyaknya lintasan penggilasan dan tebal lapisan.

Makin besar tenaga pemadatan, tanah akan makin padat, tapi tidak berbanding linear dan ada maksimumnya. Tanah dengan kadar basah

tertentu digilas dengan 5 kali tentu lebih padat dari pada 2 kali lintasan. Akan tetapi, setelah batas tertentu kepadatan tidak bertambah lagi.

### 1) Pengaruh kadar air tanah

Tanah kohesif kering merupakan bongkah-bongkah yang sukar dipadatkan. Jika disiram air menjadi lunak dan lebih mudah dipadatkan, tapi makin besar kadar air tanah makin membatasi kepadatan yang dapat dicapai. Berikut adalah gambar kondisi tanah sebelum dan sesudah dipadatkan.



Gambar 2.4 Kondisi tanah sebelum dan sesudah dipadatkan

Pada pemadatan yang berkurang hanya udara, jika volume air lebih besar maka kepadatan maksimum berkurang. Tanah jenuh (kenyang) air tidak dapat dipadatkan. Pada dasarnya, makin basah tanah makin mudah dipadatkan. Karena air berfungsi sebagai pelumas agar butir-butir tanah mudah merapat. Tapi kadar air yang berlebihan akan mengurangi hasil pemadatan yang dapat dicapai. Kadar air terbaik tersebut disebut kadar air optimum = *Optimum Moisture Content* = OMC =  $W_{\text{optimum}}$ .

Kepadatan terbesar = berat volume kering maksimum = *Maksimum Dry Density* = MDD  $\gamma_k$  maks.

Jika dipadatkan dengan pemadatan tertentu, nilai OMC dan MDD tidak sama jika dipadatkan dengan pemadatan yang berbeda. OMC dan MDD tidak konstan untuk suatu tanah.

Dalam penelitian ini pemadatan tanah tiap layer timbunan dilakukan setiap 1 meter.

Universitas Indonesia

## 2.2 LERENG

Bentuk topografis muka bumi yang bervariasi hanya dimungkinkan karena kuat geser dari tanah atau batuan melampaui tegangan geser oleh beban gravitasi atau beban lainnya. Yang normal adalah kita mengharapkan lereng-lereng yang paling curam adalah yang paling tidak stabil, tetapi terdapat contoh-contoh keruntuhan yang juga terjadi pada lereng yang landai. 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, J., and Stephen G. Wright. *Soil Strength and Slope Stability*. Willey.)

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, J., and Stephen G. Wright. *Soil Strength and Slope Stability*. Willey.)

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. Selain itu, pemasangan material lain pada lereng timbunan juga akan berpengaruh pada kestabilan lereng timbunan itu sendiri, misalnya *subsurface drains*.

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

$$FS = \frac{\text{Momen penahan}}{\text{Momen penggerak}} \dots\dots\dots 2.10$$

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

Jadi dalam menganalisa suatu lereng akan selalu berkaitan dengan perhitungan-perhitungan untuk mengetahui faktor keamanan dari lereng yang ditinjau.

### 2.2.1 Analisa bishop- Morgenstern

Sama seperti metode lain yang sudah dikenal, metode ini juga mengevaluasi nilai keamanan suatu lereng. Tekanan air pori  $u$  dievaluasi terhadap suatu persamaan :

$$r_u = \frac{u}{\gamma h} \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana,  $r_u$  = rasio tekanan air pori

$u$  = tekanan air pori suatu titik di atas asumsi permukaan runtuh

$\gamma$  = berat isi tanah

$h$  = jarak dari permukaan tanah terhadap asumsi permukaan runtuh di mana tekanan air pori ditinjau

Rasio tekanan air pori dalam suatu massa tanah yang ditinjau diasumsikan konstan, atau dipandang sebagai homogeneous pore pressure distribution. Gambar di bawah ini menjelaskan parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan.

Di bawah ini adalah gambar Spesifikasi parameter dalam analisis perhitungan metode Bishop dan Morgenstern



Catatan: Interpolasi mungkin akan dibutuhkan dan satuan yang berlaku untuk grafik metode Bishop dan Morgenstern adalah :

$$c' = \text{psf (lb/ft}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{pcf (lb/ft}^3\text{)}$$

$$H = \text{feet}$$

$$D = \text{feet}$$

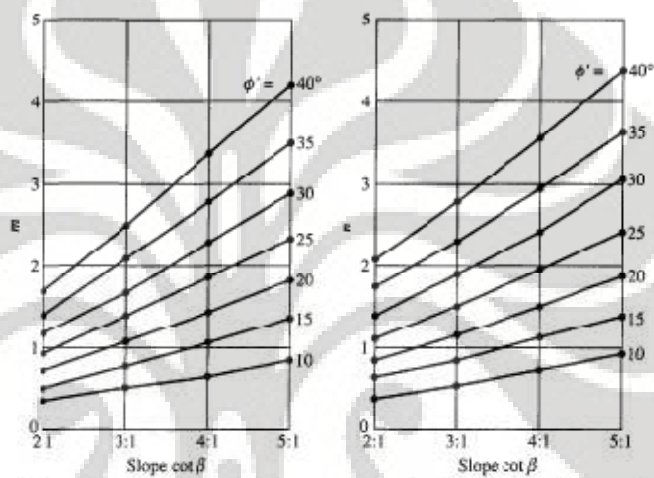


Figure B.1 Stability coefficients  $m$  and  $n$  for  $c'\gamma H = 0$  (Bishop and Morgenstern, 1960)

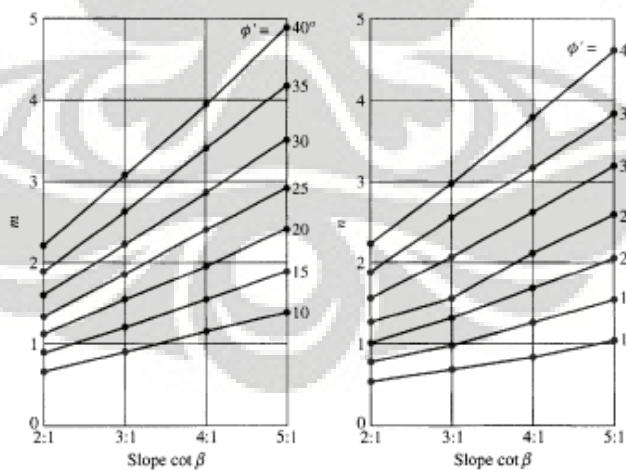


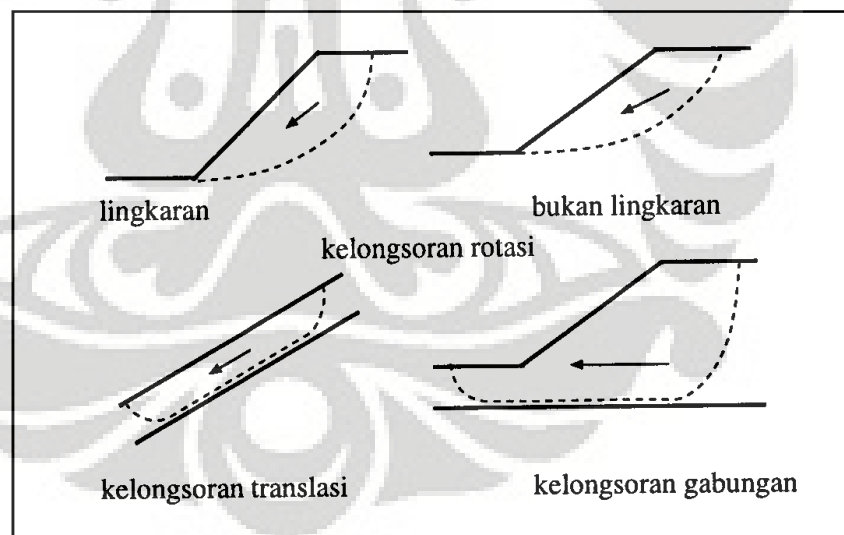
Figure B.2 Stability coefficients for  $c'\gamma H = 0.025$  and  $n_d = 1.00$  (Bishop and Morgenstern, 1960)

Gambar 2.6 Grafik metode Bishop dan Morgenstern

### 2.2.2 Tipe Kelongsoran Lereng Timbunan

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 permukaannya 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.

Berikut adalah gambar tipe-tipe kelongsoran yang terjadi pada lereng.



Gambar 2.7 Tipe-tipe Kelongsoran Lereng

### 2.3 MATERIAL GEOTEKSTIL

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

Universitas Indonesia

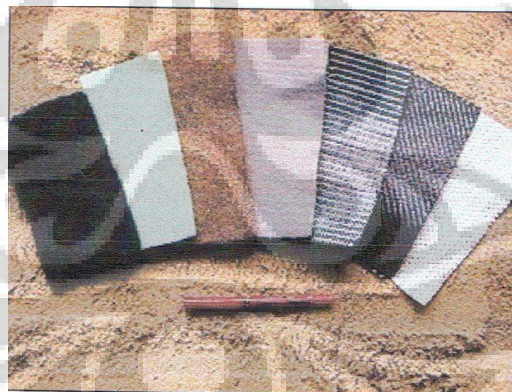
keterbatasan medan yang tidak selalu sesuai yang kita harapkan maka dibutuhkan upaya- upaya tertentu sehingga area/ lahan tersebut dapat dimanfaatkan seperti pada lereng timbunan. Untuk menjaga kestabilan lereng timbunan diperlukan perkuatan, yang sering digunakan adalah material geotekstil.

Pada makalah ini geotekstil diperlukan sebagai drainase pada kaki lereng timbunan (*subsurface drains*). Subsurface drains digunakan pada lereng timbunan berfungsi untuk mencegah naiknya permukaan air tanah (MAT) sehingga akan berdampak negatif pada kestabilan lereng.

### 2.3.1 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 2.8** Geotekstil woven dan Non-woven

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

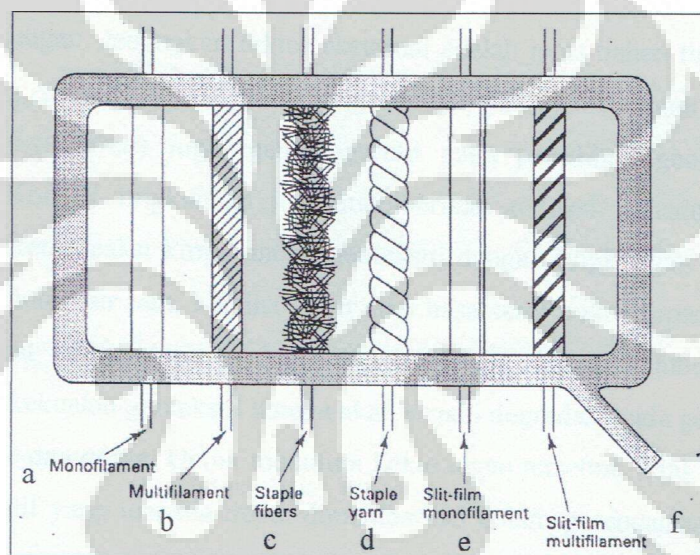
1. *Polypropylene* (83 %)
2. *Polyester* (14 %)
3. *Polyethylene* (2 %)
4. *Polymide* (1%)



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 2.9** Tipe-tipe serat polimer yang digunakan pada geotekstil  
(sumber: Koerner, 1994)

Geotekstil pada umumnya terbuat dari *polypropilen* atau polimer *polyester*. Ada dua macam jenis geotekstil yang biasanya digunakan yaitu *woven* dan *non-woven*. Jenis *woven* menyerupai anyaman sedangkan jenis *non-woven* susunan agak lebih renggang.

Berikut adalah nilai modulus elastisitas dari bahan geotekstil.

**Tabel 2.4** Modulus elastisitas bahan geotekstil

Tipe	Modulus Elastisitas (N/mm <sup>2</sup> )
PVC	10-100
Polyethylen (PE):	-
Low Density PE	200-1200
High Density PE	600-6000
Polypropylene (PP)	1500-4000
Polyamide (PA)	3000-4000
Polyester (PET)	12000-15000

(Sumber: Pilarczyk, 2000)

Untuk subsurface drains, bahan yang digunakan sebagai bungkus gravel adalah polypropylene. Peneliti menggunakan nilai elastisitas bahan geotekstilnya sebesar 1800 N/mm<sup>2</sup>.

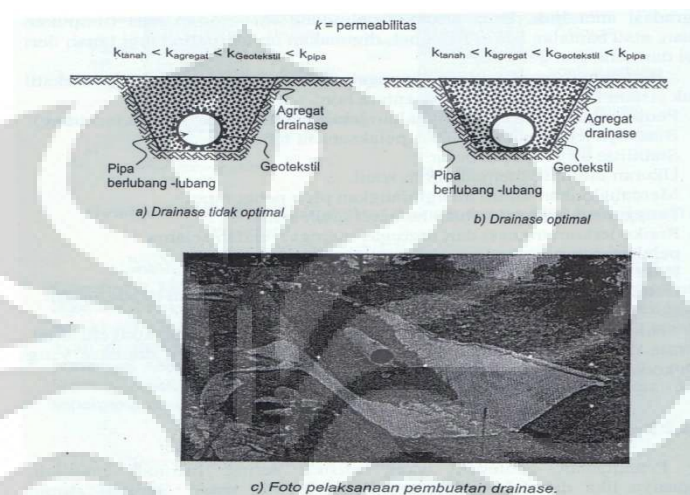
### 2.3.2 Geotekstil Untuk Filter / Drainase Subsurface

Dalam aplikasi geotekstil untuk drainase, geotekstil berfungsi untuk mengendalikan Bergeraknya butiran tanah tanah bersama air, yaitu sebagai filter guna mencegah tanah tercuci ke dalam sistem drainase. Butiran tanah, bila terbawa oleh aliran air maka massa tanah pada lereng timbunan yang dilindungi akan berangsur-angsur kurang sehingga akan dapat mengganggu kestabilan lereng tersebut. Pemilihan penggunaan geotekstil untuk perkuatan drainase pada lereng timbunan dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal geotekstil adalah kuat tarik geotekstil, sifat perpanjangan *creep* struktur geotekstil dan daya tahan terhadap faktor lingkungan. Sedangkan faktor eksternalnya adalah jenis bahan timbunan yang berinteraksi dengan geotekstil.

Struktur geotekstil, yaitu *woven* (jenis anyaman) dan *non-woven* (jenis niranyam) juga mempengaruhi pada saat pemilihan bahan yang digunakan untuk *subsurface darains*. Biasanya yang digunakan adalah geotekstil jenis *woven*, mengingat gravel yang dibungkus geotekstil sebagai drainase

dan tanah lereng tidak ikut tergerus ketika ada aliran air. Pada jenis geotekstil ini yang lewat hanya air saja.

Di bawah ini adalah gambar Pemasangan geotekstil yang optimal sebagai filter di sekitar drainase batu pecah.



**Gambar 2.10** Pemasangan geotekstil yang optimal sebagai filter di sekitar drainase batu pecah (Rollings dan Rollings, 1996), dan foto pelaksanaan (dengan ijin PT. Tetrasa Geosindo)

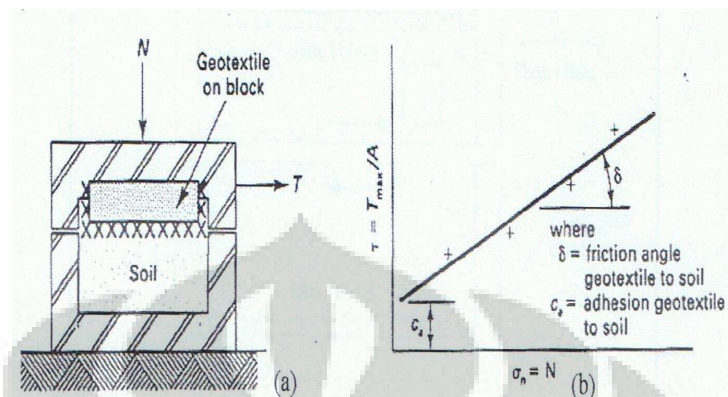
### 2.3.3 Friksi yang Terjadi pada Tanah – Geotekstil

Friksi yang terjadi antara tanah-geotekstil (*woven* halus) dapat dikatakan lebih rendah daripada friksi yang terjadi pada material tanah itu sendiri. Hal ini disebabkan permukaan geotekstil (*woven* halus) lebih halus sehingga membuat mudahnya tergelincir butiran tanah pada permukaan geotekstil.

#### 2.3.3.1 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 2.11** Pengujian dan tes hasil friksi pada tanah berpasir dengan geotekstil (sumber: 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.

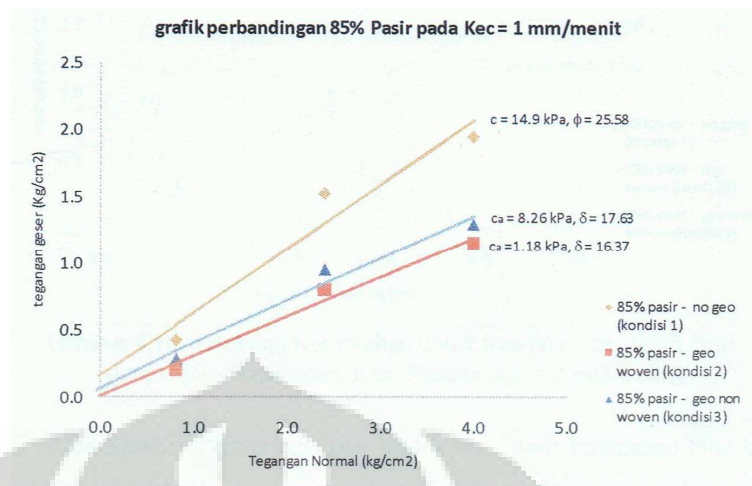
### 2.3.3.2 Friksi (Adhesi) dan Sudut Geser Antara Tanah - Geotekstil

Analisa friksi yang terjadi antara pasir kelanauan (85 % + 15 % lanau) dengan 3 kondisi interface yaitu pasir kelanauan-pasir kelanauan (kondisi 1), pasir kelanauan – geotekstil woven (kondisi 2), pasir kelanauan –geotekstil non woven (kondisi 3). Pada umumnya memberikan gambaran umum yang menunjukkan pola yang sama antar masing-masing ketiga kondisi interface tersebut.

Pada sampel pasir kelanauan dan kecepatan putaran alat 1 mm/menit yang dapat dilihat pada gambar berikut. Perbandingan interface pada masing-masing sampel uji pasir kelanauan, menunjukkan sudut internal pasir kelanauan ( $\phi'$ ) yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan sudut friksi antara pasir kelanauan-geotekstil ( $\delta$ ).

Grafik di bawah ini menjelaskan berbagai kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya.

**Universitas Indonesia**



**Gambar 2.12** Selubung keruntuhan untuk interface yang telah diuji. Sampel pasir kelanauan, Kec. Putaran alat= 1mm/menit. (Sumber: Liria Gusesha, 2009)

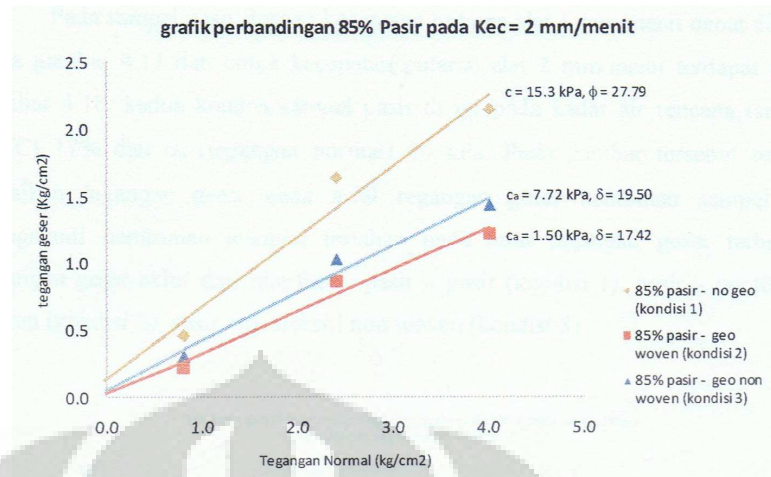
Berdasarkan grafik di atas didapatkan penurunan nilai friksi (adhesi) dan sudut geser yang terjadi antara pasir kelanauan dengan geotekstil woven maupun non-woven. Berikut nilai friksi dan sudut friksi yang terjadi pada tiap kondisi.

**Tabel 2.5** Nilai friksi dan sudut friksi pada tiap kondisi  $v = 1\text{mm/menit}$

Kec. Putaran alat ( $v$ ) = 1mm/menit	$c/c_a$	$\phi'/\delta$
Kondisi 1	14.9	25.58
Kondisi 2	1.18	16.37
Kondisi 3	8.26	17.63

Pada sampel pasir kelanauan dan kecepatan putaran alat 2 mm/menit yang dapat dilihat pada gambar berikut. Perbandingan interface pada masing-masing sampel uji pasir kelanauan, menunjukkan sudut internal pasir kelanauan ( $\phi'$ ) yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan sudut friksi antara pasir kelanauan-geotekstil ( $\delta$ ).

Grafik di bawah ini menjelaskan berbagai kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya.



**Gambar 2.13** Selubung keruntuhan untuk interface yang telah diuji. Sampel pasir kelanauan, Kec. Putaran alat = 2 mm/menit. (Sumber: Liria Gusesha, 2009)

Berdasarkan grafik di atas didapatkan penurunan nilai friksi (adhesi) dan sudut geser yang terjadi antara pasir kelanauan dengan geotekstil woven maupun non-woven. Berikut nilai friksi dan sudut friksi yang terjadi pada tiap kondisi.

**Tabel 2.6** Nilai friksi dan sudut friksi pada tiap kondisi  $v = 2$  mm/menit

Kec. Putaran alat ( $v$ ) = 2 mm/menit	$c/c_a$	$\phi'/\delta$
Kondisi 1	15.3	27.79
Kondisi 2	1.50	17.42
Kondisi 3	7.72	19.50

Berdasarkan pengujian *Koener* sudut friksi dan efisiensi pada tanah pasir non kohesif dengan geotekstil adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.7** Sudut friksi dan efisiensi pada tanah pasir non kohesif dengan geotekstil

<i>Geotextile Type</i>	<i>Concrete sand</i> ( $\phi$ )= 30 <sup>0</sup>	<i>Rounded sand</i> ( $\phi$ ) = 28 <sup>0</sup>	<i>Silty sand</i> ( $\phi$ ) = 26 <sup>0</sup>
<i>Woven, monofilament</i>	26 <sup>0</sup> (84 %)	...	...
<i>Woven, Silt film</i>	24 <sup>0</sup> (77 %)	24 <sup>0</sup> (84 %)	23 <sup>0</sup> (87 %)
<i>Nonwoven, heat bonded</i>	26 <sup>0</sup> (84 %)	...	...
<i>Nonwoven, needle punched</i>	30 <sup>0</sup> (100 %)	26 <sup>0</sup> (92 %)	25 <sup>0</sup> (96 %)

Sumber: Koerner et al, 1994 from Martin et al

Berikut perbandingan hasil pengujian pada tanah pasir kelanauan yang dilakukan Koerner dan Liria Gusesha pada  $v = 1$  mm/menit dan  $v = 2$  mm/menit.

**Tabel 2.8** Perbandingan hasil uji pada sampel pasir kelanauan dengan kecepatan putaran alat 1 mm/menit

Tipe	Penelitian oleh Koerner		Penelitian Liria Gusesha ( $v = 1$ mm/menit)	
	<i>Silty sand</i> ( $\phi = 26^0$ )		<i>Silty sand</i> ( $\phi = 25.58^0$ )	
	$\delta$ ( <sup>0</sup> )	$Ef_{\phi} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \times 100\%$	$\delta$ ( <sup>0</sup> )	$Ef_{\phi} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \times 100\%$
<i>Woven, silt filamen</i>	23 <sup>0</sup>	87 %	16.37 <sup>0</sup>	61.8 %
<i>Non woven, needle punched</i>	25 <sup>0</sup>	96 %	17.63 <sup>0</sup>	67 %

**Tabel 2.9** Perbandingan hasil uji pada sampel pasir kelanauan dengan kecepatan putaran alat 2 mm/menit

Tipe	Penelitian oleh Koerner		Penelitian Liria Gusesha ( $v = 2$ mm/menit)	
	<i>Silty sand</i> ( $\phi = 26^0$ )		<i>Silty sand</i> ( $\phi = 27.79^0$ )	
	$\delta$ ( <sup>0</sup> )	$Ef_{\phi} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \times 100\%$	$\delta$ ( <sup>0</sup> )	$Ef_{\phi} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \times 100\%$
<i>Woven, silt filamen</i>	23 <sup>0</sup>	87 %	17.42 <sup>0</sup>	60.1 %
<i>Non woven, needle punched</i>	25 <sup>0</sup>	96 %	19.50 <sup>0</sup>	67.8 %

### 2.3.3.3 Efisiensi Interface Tanah- Geotekstil

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:

$$\tau = c_a + \sigma'_n \tan \delta \dots\dots\dots 2.13$$

di mana:  $\tau$  = kuat geser (antara material geotekstil dan tanah)

$c_a$  = adhesi (antara geotekstil dengan tanah)

$\sigma'_n$  = tegangan normal pada bidang geser

$\delta$  = sudut friksi (antara geotekstil dengan tanah).

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

$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi \dots\dots\dots 2.14$$

di mana:  $c$  = kohesi (antara tanah dengan tanah)

$\sigma'_n$  = tegangan normal pada bidang geser

$\varphi$  = sudut friksi (antara tanah dengan tanah).

Selanjutnya,

$$E_c = (c_a / c) \times 100 \% \dots\dots\dots 2.15$$

$$E_\varphi = (\tan \delta / \tan \varphi) \times 100 \% \dots\dots\dots 2.16$$

di mana:  $E_c$  = Efisiensi dari mobilisasi kohesi

$E_\varphi$  = Efisiensi dari mobilisasi sudut friksi

Untuk penelitian ini penulis menggunakan:

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

dan

**Universitas Indonesia**



$$E_c = (c_a / c) \times 100 \% \dots\dots\dots 2.18$$

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.

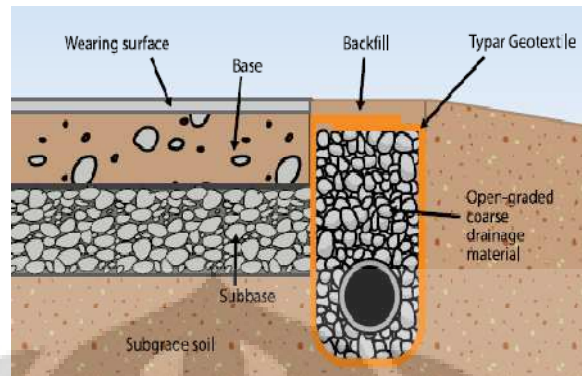
Dengan adanya penurunan nilai friksi dan sudut friksi yang terjadi akibat penggunaan geotekstil maka dapat dinyatakan bahwa tegangan geser tanah mengalami penurunan. Penurunan tegangan geser tanah tentunya akan mengakibatkan berkurang kestabilan tanah tersebut.

#### 2.4 SUBSURFACE DRAINS PADA LERENG TIMBUNAN

*Subsurface drains* berfungsi mengalirkan air pada badan lereng keluar sehingga lereng tidak jenuh air. Lereng yang kandungan airnya banyak akan menyebabkan kestabilannya berkurang. Hal ini dikarenakan tekanan air pori naik yang akan menyebabkan tegangan efektif tanah berkurang. Untuk *Subsurface Drains* pada lereng timbunan biasanya digunakan drainase yang tersusun oleh agregat-agregat yang dibungkus oleh lapisan geotekstil. Lapisan geotekstil yang digunakan hanya bisa dilewati air sedangkan butir-butir tanah tidak boleh masuk ke dalam drainase.

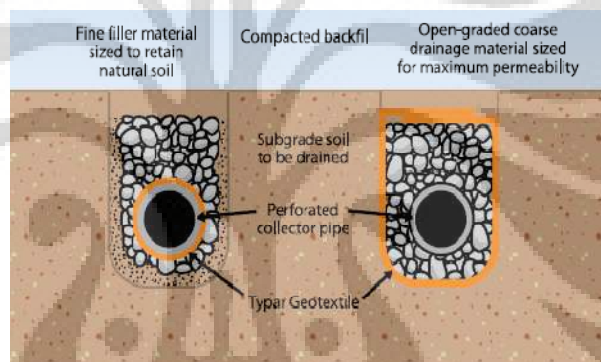
*Subsurface drains* dibangun dengan saluran permeabel seperti plastik bergelombang, kain geotekstil, tubing, ubin, pipa atau berbagai kombinasinya. Diinstal di bawah permukaan tanah untuk mengumpulkan dan / atau menyampaikan air drainase ke stop kontak (pengumpul). *Subsurface Drains* digunakan untuk berbagai tujuan termasuk:

- Penopang perkerasan saluran



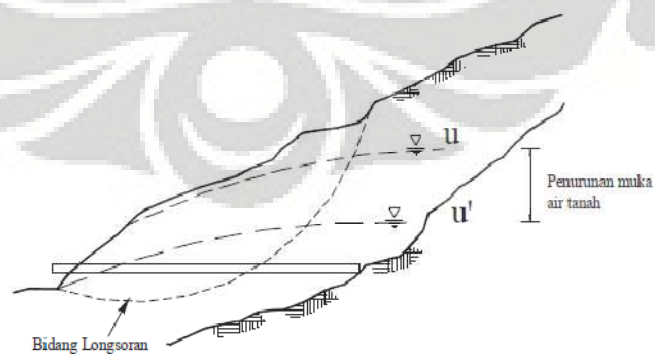
**Gambar 2.14** Saluran bawah jalan

- Interceptor saluran air



**Gambar 2.15** Interceptor saluran air

- Saluran bawah lereng



**Gambar 2.16** Saluran bawah lereng

*Subsurface drains* sangat penting untuk mencegah kerusakan oleh air yang tidak terkendali. Kebanyakan kegagalan dalam aplikasi infrastruktur seperti jalan raya, lapangan terbang, kereta api, parkir, bangunan, struktur penahan, tambang dan bendungan diberikan ke efek berbahaya dari air yang tidak terkendali. Begitu juga dengan lereng timbunan. Kandungan air yang banyak dan disertai oleh aliran air yang besar akan menyebabkan berkurangnya kestabilan lereng. Dengan adanya *interface subsurface drains* yang dipasang pada badan lereng timbunan akan dapat menurunkan muka air tanah karena aliran dalam lereng disalurkan ke *subsurface drains* untuk dialirkan keluar.

*Interface subsurface drains* pada lereng timbunan juga penting untuk diperhatikan. *Interface subsurface drains* yang maksimum akan menghasilkan efisiensi aliran yang baik. Akibat nilai *interface subsurface drains* yang rendah justru akan dapat mengakibatkan berkurangnya kestabilan lereng karena *subsurface drains* dibungkus oleh material geotekstil. Di mana nilai friksi geotekstil-tanah lebih kecil daripada friksi tanah-tanah.

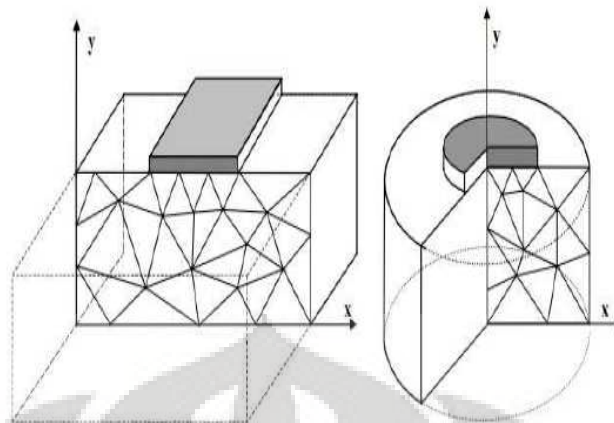
## **2.5 PLAXIS**

Untuk memudahkan engineer dalam menganalisis kasus-kasus yang terjadi dalam bidang geoteknik, diperlukan alat berupa software. Banyak software computer yang berhubungan dengan bidang geoteknik misalnya plaxis.

### **2.5.1 Definisi Plaxis**

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

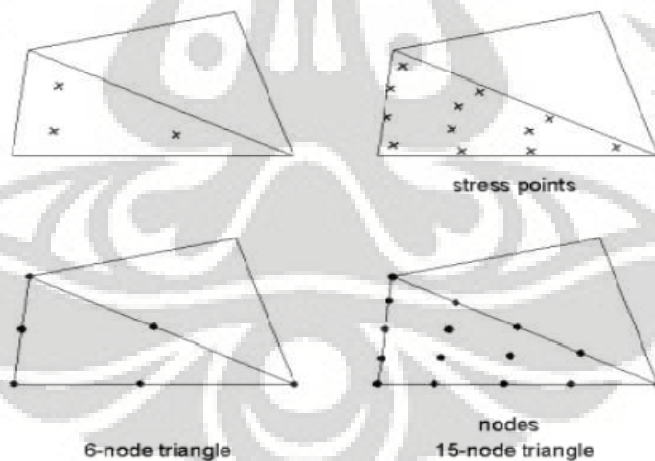
Di bawah ini adalah gambar contoh model *plane strain* dan *axisymmetric*.



**Gambar 2.17** Contoh model plane strain dan axisymmetric  
(sumber: Manual Plaxis versi 8)

Pada program PLAXIS tersedia dua tipe element, 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.

Berikut adalah gambar posisi nodal dan stress point pada elemen tanah.



**Gambar 2.18** Posisi nodal dan stress point pada elemen tanah  
(sumber: Manual Plaxis versi 8.0)

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.

Pada penelitian ini, elemen yang digunakan adalah elemen dengan 15 nodal, yang mana elemen-elemen tersebut memiliki besar yang berbeda-beda. Dengan demikian, jumlah derajat kebebasan setiap elemen adalah 30.

## **2.5.2 Analisa Permodelan pada Plaxis**

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

### **2.5.2.1 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 geometric 2 dimensi pada bidang x-y.

Program input terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

#### **1. General Setting**

Pada tahap ini terdapat 2 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 model.

## 2. Pemodelan secara Geometrik

Tahapan dari permodelan elemen hingga dimulai dengan membuat model geometric 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 geometric dan pada titik.

## 4. Material Properti

Pada Plaxis, nilai properti tanah dan properti material dari struktur disimpan pada data material. Di mana ada 4 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 geometric semua sudah ditetapkan dan property 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 model*).

### 2.5.2.2 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 Calculations 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:

- 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.
- Perhitungan *Consolidations*  
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.

**Universitas Indonesia**

- Perhitungan *Phi-c reduction*

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

- Perhitungan *Dynamic*

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

Pada praktiknya, 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.

### 2.5.2.3 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 adalah: deformasi, perpindahan (*total, horizontal, vertikal, dan incremental displacement*). Regangan (*total, cartesian, dan incremental strain*), tegangan (efektif 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*).

### 2.5.2.4 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.

**Universitas Indonesia**



Kurva ini menggambarkan perkembangan dari beberapa perhitungan selama berbagai phase (tahapan) perhitungan, dan memberikan tanda secara global atau lokal dari perilaku tanah.

### 2.5.3 Pemodelan Mohr-Coulomb pada Plaxis

Pada plaxis terdapat beberapa pemodelan perhitungan/ analisis tipe tanah, antara lain: *Mohr-Coulomb model*, *Jointed Rock model*, *Hardening-Soil model*, *Soft-Creep model*, dan *Soft Soil model*. Tetapi disarankan terlebih dahulu untuk menggunakan Mohr-Coulomb model untuk mendapatkan hasil analisa problem geoteknik yang cepat dan sederhana. Pada permodelan Mohr-Coulomb dibutuhkan setidaknya 5 parameter tanah. Parameter-parameter tersebut adalah:

- Modulus Elastisitas (E), yaitu suatu sifat bahan yang elastic, didefinisikan sebagai suatu konstanta kesebandingan antara tegangan dan regangan, sebagai:  $\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$  (kN/m<sup>2</sup>).
- Poisson ratio ( $\nu$ ) adalah sifat material yang didefinisikan sebagai:  $\nu = \frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}$ ,  $\Delta\varepsilon_1$  adalah regangan yang koliner dengan tegangan yang ditinjau sedangkan  $\Delta\varepsilon_3$  adalah regangan regangan orthogonal dengan tegangan yang ditinjau. Poisson ratio sering dianggap 0.2 sampai 0.4 dalam perhitungan mekanika tanah. Nilai sebesar 0.5 dipakai untuk tanah lempung dalam keadaan jenuh (undrained), dan 0.0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan.
- Sudut geser tanah ( $\theta$ ), sudut geser tanah secara umum menentukan kekuatan geser, didapatkan dari garis singgung busur lingkaran Mohr.
- Kohesi tanah (c), dinyatakan dalam kN/m<sup>2</sup>, menunjukkan daya tarik antar partike-partikel tanah kohesif.
- Sudut dilatasi ( $\Psi$ ), terlepas dari tanah yang *over-consolidated*, tanah lempung cenderung tidak mempunyai dilatasi sama sekali ( $\Psi=0$ ).

Universitas Indonesia

Pemodelan Mohr-Coulomb digunakan untuk memodelkan tanah timbunan dan Subsurface Drains.

Section	Parameter	Value	Unit
Stiffness	$E_{ref}$	5.000E+04	kN/m <sup>2</sup>
	$\nu$ (nu)	0.200	
Strength	$c_{ref}$	10.000	kN/m <sup>2</sup>
	$\phi$ (phi)	25.000	°
	$\psi$ (psi)	0.000	°
Alternatives	$G_{ref}$	2.083E+04	kN/m <sup>2</sup>
	$E_{oed}$	5.556E+04	kN/m <sup>2</sup>
Velocities	$V_s$	109.600	m/s
	$V_p$	179.000	m/s

**Gambar 2.19** Parameter tanah timbunan untuk model Mohr-Coulomb

Section	Parameter	Value	Unit
Stiffness	$E_{ref}$	1.800E+06	kN/m <sup>2</sup>
	$\nu$ (nu)	0.350	
Strength	$c_{ref}$	10.000	kN/m <sup>2</sup>
	$\phi$ (phi)	40.000	°
	$\psi$ (psi)	0.000	°
Alternatives	$G_{ref}$	6.667E+05	kN/m <sup>2</sup>
	$E_{oed}$	2.889E+06	kN/m <sup>2</sup>
Velocities	$V_s$	586.400	m/s
	$V_p$	1221.000	m/s

**Gambar 2.20** Parameter *Subsurface Drains* untuk model Mohr-Coulomb

### 2.5.4 Permodelan Linier-Elastic pada Plaxis

Pada Plaxis juga terdapat pemodelan perhitungan/ analisis tipe tanah untuk kondisi elastic (linier-elastis). Model material ini digunakan untuk memodelkan tanah yang elastis. Tanah yang dimodelkan linier-elastis adalah struktur tanah yang kaku sehingga tanah yang dimodelkan dalam penelitian ini tidak mengalami *failure*. Ada dua parameter kekakuan elastis yang diperlukan dalam perhitungan pada Plaxis, yaitu:

- Modulus Elastisitas (E), yaitu suatu sifat bahan yang elastic, didefinisikan sebagai suatu konstanta kesebandingan antara tegangan dan regangan, sebagai:  $\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$  (kN/m<sup>2</sup>).
- Poisson ratio ( $\nu$ ) adalah sifat material yang didefinisikan sebagai:  $\nu = \frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}$ ,  $\Delta\varepsilon_1$  adalah regangan yang koliner dengan tegangan yang ditinjau sedangkan  $\Delta\varepsilon_3$  adalah regangan regangan orthogonal dengan tegangan yang ditinjau.

Pemodelan Linier-elastis ini digunakan untuk memodelkan lereng tanah asli.



**Gambar 2.21** Parameter tanah asli untuk model *Linier-Elastic*

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 PEMILIHAN KASUS

PLAXIS merupakan finite element yang telah dikembangkan khususnya untuk analisis stabilitas pada proyek geoteknik. Prosedur pemasukan input yang sederhana memungkinkan perhitungan permodelan finite element yang kompleks dengan cepat, dan output yang dihasilkan pun disajikan secara detail. Perhitungan pada software ini secara keseluruhan berjalan secara otomatis dan berdasarkan prosedur numerik yang lengkap. Metode penelitian dilakukan dengan menggunakan software PLAXIS.

Pada skripsi ini, penulis akan mengamati penurunan *safety factor* akibat efisiensi *interface subsurface drains*– tanah timbunan pada lereng timbunan. Dalam kasus ini penulis akan bervariasi nilai properti tanah timbunan dan geometri lereng tanah timbunan.

Berikut adalah nilai dari properti tanah lereng asli.

**Tabel 3.1** Properti Tanah Asli Lereng (model: *elastic*)

$\gamma_{\text{unsat}}$	18	kN/m <sup>3</sup>
$\nu$	0.3	-
E	80000	kN/m <sup>2</sup>

Berikut adalah nilai properti tanah timbunan dan *subsurface drains* yang digunakan.

**Tabel 3.2** Properti Tanah Timbunan

$\gamma_{\text{unsat}}$	17	kN/m <sup>3</sup>
$\nu$	0.2	-
E	50000	kN/m <sup>2</sup>
c	10 & 20	kN/m <sup>2</sup>
$\phi$	25	°

**Tabel 3.3** Properti *Subsurface Drains* (Gravel)

$\gamma_{\text{unsat}}$	19	$\text{kN/m}^3$
$\nu$	0.35	-
E	1800000	$\text{kN/m}^2$
c	10	$\text{kN/m}^2$
$\phi$	40	0
Lebar	0.9	m

Berikut adalah nilai-nilai properti dan geometri pemodelan tanah timbunan beserta properti *subsurface drains*.

**Tabel 3.4** Properti dan Geometri Pemodelan Lereng Tanah Timbunan Pada Plaxis

Properti Timbunan					
Lebar Timbunan (m)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	c (kN/m <sup>2</sup> )	H (m)	Muka Air Tanah	$\beta$ ( $^{\circ}$ )
60	25	10	10	H/4	1v:1.5H
60	25	10	10	H/4	1v:2H
60	25	10	10	H/4	1v:3H
60	25	10	10	H/2	1v:1.5H
60	25	10	10	H/2	1v:2H
60	25	10	10	H/2	1v:3H
60	25	10	10	3H/4	1v:1.5H
60	25	10	10	3H/4	1v:2H
60	25	10	10	3H/4	1v:3H
60	25	10	13	H/4	1v:1.5H
60	25	10	13	H/4	1v:2H
60	25	10	13	H/4	1v:3H
60	25	10	13	H/2	1v:1.5H
60	25	10	13	H/2	1v:2H
60	25	10	13	H/2	1v:3H
60	25	10	13	3H/4	1v:1.5H
60	25	10	13	3H/4	1v:2H
60	25	10	13	3H/4	1v:3H
60	25	10	16	H/4	1v:1.5H
60	25	10	16	H/4	1v:2H
60	25	10	16	H/4	1v:3H
60	25	10	16	H/2	1v:1.5H
60	25	10	16	H/2	1v:2H
60	25	10	16	H/2	1v:3H

Universitas Indonesia

Properti Timbunan					
Lebar Timbunan (m)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	c (kN/m <sup>2</sup> )	H (m)	Muka Air Tanah	$\beta$ ( $^{\circ}$ )
60	25	10	16	3H/4	1v:1.5H
60	25	10	16	3H/4	1v:2H
60	25	10	16	3H/4	1v:3H
60	25	20	10	H/4	1v:1.5H
60	25	20	10	H/4	1v:2H
60	25	20	10	H/4	1v:3H
60	25	20	10	H/2	1v:1.5H
60	25	20	10	H/2	1v:2H
60	25	20	10	H/2	1v:3H
60	25	20	10	3H/4	1v:1.5H
60	25	20	10	3H/4	1v:2H
60	25	20	10	3H/4	1v:3H
60	25	20	13	H/4	1v:1.5H
60	25	20	13	H/4	1v:2H
60	25	20	13	H/4	1v:3H
60	25	20	13	H/2	1v:1.5H
60	25	20	13	H/2	1v:2H
60	25	20	13	H/2	1v:3H
60	25	20	13	3H/4	1v:1.5H
60	25	20	13	3H/4	1v:2H
60	25	20	13	3H/4	1v:3H
60	25	20	16	H/4	1v:1.5H
60	25	20	16	H/4	1v:2H
60	25	20	16	H/4	1v:3H
60	25	20	16	H/2	1v:1.5H
60	25	20	16	H/2	1v:2H
60	25	20	16	H/2	1v:3H
60	25	20	16	3H/4	1v:1.5H
60	25	20	16	3H/4	1v:2H
60	25	20	16	3H/4	1v:3H

Keterangan:

1v:1.5H adalah sudut lereng sebesar nilai tinggi lereng untuk v dan 1.5 dari tinggi lereng untuk H.

Keterangan:

$\phi$  : Sudut geser tanah timbunan

- $c$  : Kuat geser tanah timbunan  
 $H$  : Ketinggian lereng timbunan  
 $\beta$  : Kemiringan lereng  
 $\alpha$  : Kemiringan *subsurface drains*  
 $\phi'$  : Sudut geser material *subsurface drains*  
 $c'$  : Kuat geser material *subsurface drains*

Pada penelitian ini beberapa nilai parameter dan properti lereng timbunan dibuat sama. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan nilai *safety factor* (output) lereng timbunan pada kondisi awal yang sama (validasi). Properti lereng timbunan yang mempunyai nilai yang sama pada setiap pemodelannya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 3.5** Nilai properti dan geometri lereng timbunan yang dibuat sama setiap pemodelan

No	Properti Lereng Timbunan	Nilai
1	Lebar timbunan	60 m
2	Tinggi tanah dasar asli ke dasar lereng	5 m
3	Sudut geser tanah timbunan	$25^{\circ}$
4	Sudut lereng asli	1v:2H (d disesuaikan dengan H timbunan)
5	Kemiringan Subsurface Drains	$0^{\circ}$
6	Sudut geser material Subsurface Drains	$40^{\circ}$
7	Kuat geser material Subsurface Drains	10 kN/m <sup>2</sup>
8	Panjang Subsurface Drains	60 m
9	Lebar Subsurface Darins	0.9 m
10	Tebal tanah interface	0.1 m

Dalam penelitian ini, hanya difokuskan pada tanah lereng timbunan saja. Untuk memodelkan interface yang terjadi antara *subsurface drains*- tanah timbunan maka dibuat lapisan tipis berukuran 0.1 m di antara lapisan *subsurface drains* dan lapisan tanah timbunan yang dinamakan tanah *interface*. Parameter tanah interface diambil dari parameter tanah timbunan karena tanah timbunan lebih lemah stabilitasnya jika dibandingkan dengan *subsurface drains*. Karena kekuatan intenal tanah lebih dominan tergantung pada kuat geser dan sudut geser

tanah. Maka kuat geser ( $c$ ) dan sudut geser ( $\phi$ ) tanah interface didapat dari efisiensi interface tanah timbunan (efisiensi kuat geser dan sudut geser tanah telah dijelaskan pada bab 2). Efisiensi *interface* antara tanah timbunan dan geotekstil yang digunakan adalah 1, 0.6 dan 0.8 (Koener, 1994 dan Liria Gusesha, 2009). Untuk parameter lainnya sama dengan parameter tanah timbunan.

**Tabel 3.6** Parameter tanah interface

Parameter	Tanah timbunan	Tanah <i>interface</i>		
		1	0.8	0.6
Kuat geser (kN/m <sup>2</sup> )	10	10	8	6
	20	20	16	12
Sudut geser ( $^{\circ}$ )	25	25	20	15

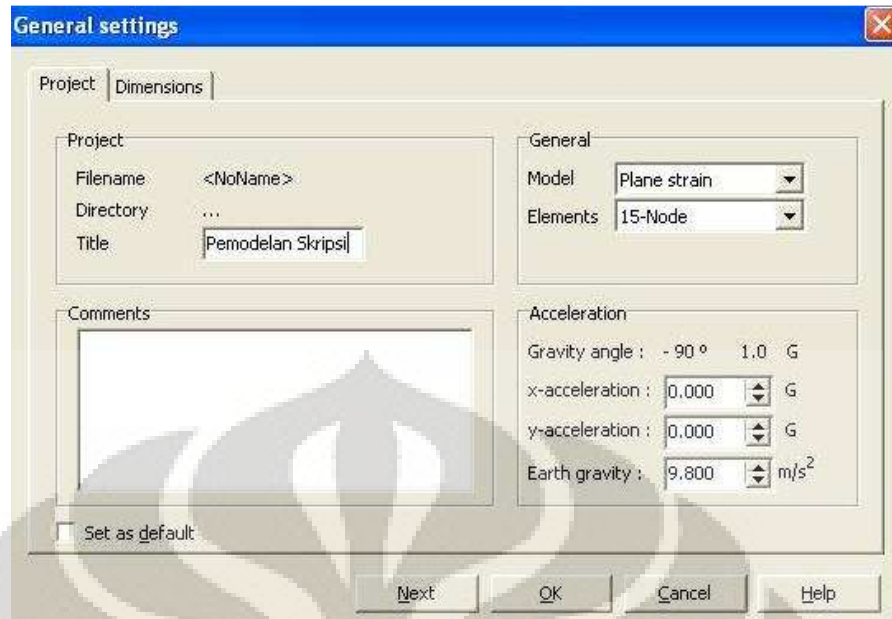
Lebar lereng timbunan adalah 60 m. Pada tiap permodelan tidak dilakukan analisa faktor keamanan pada lereng eksisting (sebelum ada timbunan). Lereng eksisting (asli) dianggap stabil (dimodelkan linier-elastis) dan analisa faktor keamanan ini hanya dilakukan untuk lereng timbunan akibat pemasangan *subsurface drains*. Sudut lereng asli adalah 1v:2H (d disesuaikan dengan tinggi timbunan).

### 3.2 ANALISA LERENG TIMBUNAN MENGGUNAKAN SUBSURFACE DRAINS DENGAN BANTUAN PLAXIS V.8

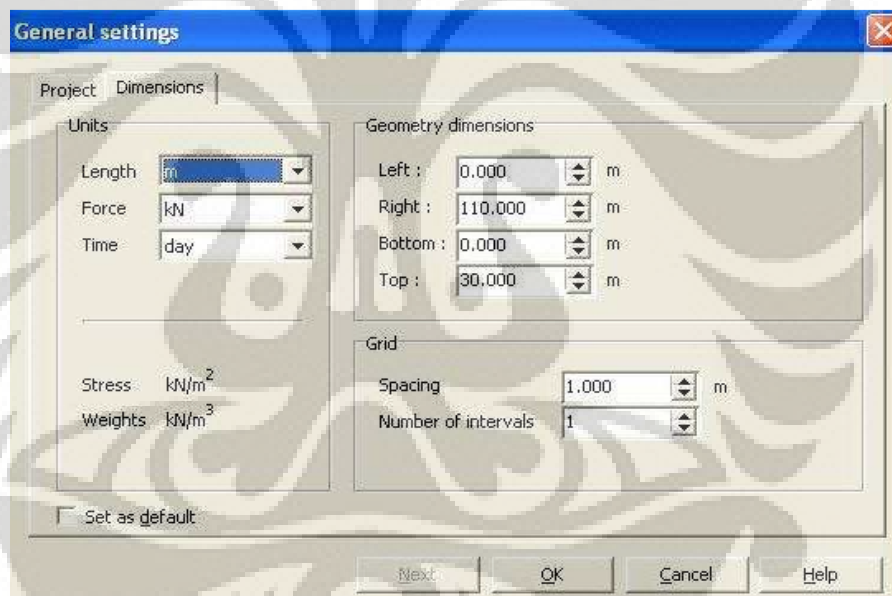
Perhitungan dengan bantuan Plaxis memiliki tahapan-tahapan yang harus dilalui agar perhitungan dapat berjalan dengan baik. Tahapan-tahapan yang harus dilalui dalam perhitungan lereng tanah timbunan ini adalah:

1. **INPUT**, terdiri dari beberapa tahapan antara lain:
  - Pemilihan model metode perhitungan elemen hingga dan tipe elemen yang digunakan, yaitu plane strain dan triangular 15 nodal dan penentuan satuan ukuran (panjang, gaya) yang digunakan yaitu m, kN.





Gambar 3.1 General model yang dipakai



Gambar 3.2 Dimensi model yang digunakan

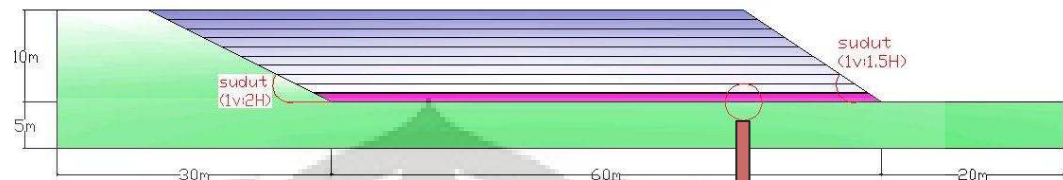
- Permodelan struktur dengan
  - Menggambar timbunan (secara geometri) berikut *subsurface drains*.

**Contoh: Pemodelan c10-H10-MAT 0.25-β(1v:1.5H) efisiensi interface 0.8.**

Kuat geser tanah ( $c$ ) = 10 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan ( $H$ ) = 10 m, MAT = 0.25 H, dan sudut lereng ( $\beta$ ) = 1v:1.5H.

Universitas Indonesia

Lebar timbunan = 60 m, tinggi tanah asli ke dasar lereng = 5 m, dan tebal tanah interface = 0.1 m dan sudut geser tanah timbunan ( $\phi$ ) =  $25^0$ . Tebal lapisan (layer) timbunan adalah 1m untuk tiap pemodelan.



**Gambar 3.3** Geometri lereng

Keterangan:

Warna hijau : Tanah Asli  
 Warna merah muda : *Subsurface drains*  
 Warna ungu : Tanah Timbunan  
 Warna merah : Tanah interface

- Menentukan properti material yang digunakan, memasukkan nilai parameter tanah drained pada kotak *material properties* dengan tipe material *drained*.



**Gambar 3.4** Material Sets

### Tanah asli:

**Linear elastic - Tanah Asli**

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification: Tanah Asli

Material model: Linear elastic

Material type: Drained

General properties

$\gamma_{\text{unsat}}$ : 18.000 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{\text{sat}}$ : 20.000 kN/m<sup>3</sup>

Comments

Permeability

$k_x$ : 0.000 m/day

$k_y$ : 0.000 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Gambar 3.5 General tanah asli

**Linear elastic - Tanah Asli**

General | Parameters | Interfaces

Stiffness

$E_{\text{ref}}$ : 3.000E+04 kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu): 0.300

Alternatives

$G_{\text{ref}}$ : 3.077E+04 kN/m<sup>2</sup>

$E_{\text{ood}}$ : 1.077E+05 kN/m<sup>2</sup>

Velocities

$V_s$ : 129.400 m/s

$V_p$ : 242.100 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Gambar 3.6 Parameter tanah asli

### Tanah timbunan:

**Mohr-Coulomb - Tanah Timbunan**

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification: Tanah Timbunan

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

$\gamma_{\text{unsat}}$ : 17.000 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{\text{sat}}$ : 19.000 kN/m<sup>3</sup>

Comments

Permeability

$k_x$ : 0.000 m/day

$k_y$ : 0.000 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

**Gambar 3.7** General tanah timbunan

**Mohr-Coulomb - Tanah Timbunan**

General | Parameters | Interfaces

Stiffness

$E_{\text{ref}}$ : 5.000E+04 kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu): 0.200

Strength

$c_{\text{ref}}$ : 10.000 kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi): 25.000 °

$\psi$  (psi): 0.000 °

Alternatives

$G_{\text{ref}}$ : 2.083E+04 kN/m<sup>2</sup>

$E_{\text{oed}}$ : 5.556E+04 kN/m<sup>2</sup>

Velocities

$V_s$ : 109.600 m/s

$V_p$ : 179.000 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

**Gambar 3.8** Parameter tanah timbunan

- Menentukan properti *subsurface drains*-geotekstil dan tanah lapisan interface yang digunakan pada permodelan lereng timbunan.

### Subsurface Drains:

**Mohr-Coulomb - Subsurface Drains**

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification:

Material model:

Material type:

General properties

$\gamma_{\text{unsat}}$ :  kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{\text{sat}}$ :  kN/m<sup>3</sup>

Comments

Permeability

$k_x$ :  m/day

$k_y$ :  m/day

Advanced...

Next OK Cancel Help

**Gambar 3.9** General *Subsurface Drains*

**Mohr-Coulomb - Subsurface Drains**

General | Parameters | Interfaces

Stiffness

$E_{\text{ref}}$ :  kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu):

Strength

$c_{\text{ref}}$ :  kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi):  °

$\psi$  (psi):  °

Alternatives

$G_{\text{ref}}$ :  kN/m<sup>2</sup>

$E_{\text{oed}}$ :  kN/m<sup>2</sup>

Velocities

$V_s$ :  m/s

$V_p$ :  m/s

Advanced...

Next OK Cancel Help

**Gambar 3.10** Parameter *Subsurface Drains*

### Tanah (lapisan) interface:

**Mohr-Coulomb - Tanah Interface**

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification: Tanah Interface

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: Drained

General properties

$\gamma_{\text{unsat}}$ : 17.000 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{\text{sat}}$ : 19.000 kN/m<sup>3</sup>

Comments

Permeability

$k_x$ : 0.000 m/day

$k_y$ : 0.000 m/day

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Gambar 3.11 General tanah (lapisan) interface

**Mohr-Coulomb - Tanah Interface**

General | Parameters | Interfaces

Stiffness

$E_{\text{ref}}$ : 5.000E+04 kN/m<sup>2</sup>

$\nu$  (nu): 0.200

Strength

$c_{\text{ref}}$ : 8.000 kN/m<sup>2</sup>

$\phi$  (phi): 20.000 °

$\psi$  (psi): 0.000 °

Alternatives

$G_{\text{ref}}$ : 2.083E+04 kN/m<sup>2</sup>

$E_{\text{oad}}$ : 5.556E+04 kN/m<sup>2</sup>

Velocities

$V_s$ : 109.600 m/s

$V_p$ : 179.000 m/s

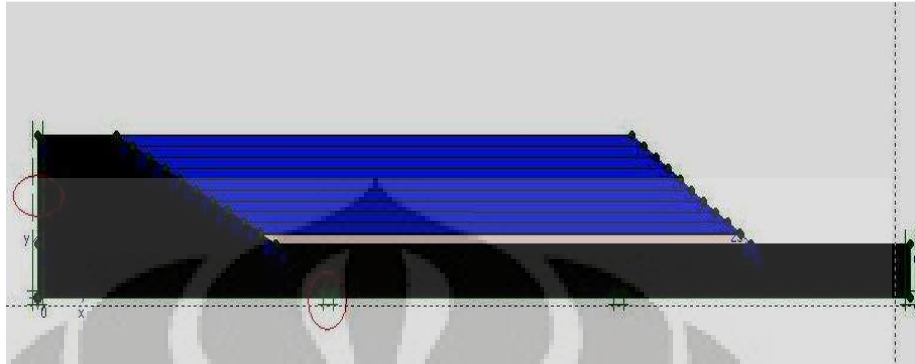
Advanced...

Next Ok Cancel Help

Gambar 3.12 Parameter tanah (lapisan) interface

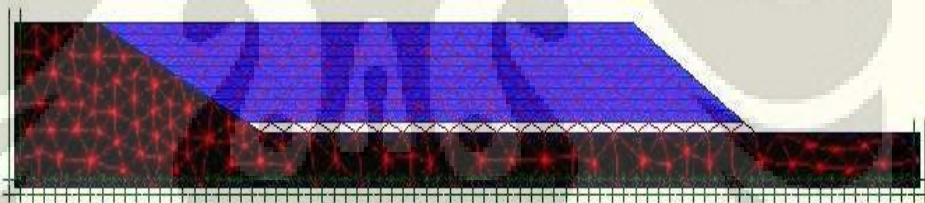
- Menentukan beban yang bekerja (bila ada), kasus pada skripsi ini tidak digunakan beban tiap permodelan yang akan dianalisa.

- Boundary Conditions (standard fixities), secara default program Plaxis akan menganggap kondisi tanah keras (sisi bawah) sebagai perletakan sendi sedangkan perletakan vertikal sebagai perletakan rol.



**Gambar 3.13** Boundary Conditions (*standard fixities*)

- Mesh Generation, adalah proses diskritasi permodelan struktur menjadi elemen-elemen yang lebih kecil yang dikerjakan secara otomatis oleh Plaxis dengan menekan tool bar “mesh generations”. Mesh yang digunakan adalah *very fine*.



**Gambar 3.14** Mesh Generation

- Initial Conditions
  - Menentukan kondisi awal (sebelum ada lereng tanah timbunan), kondisi awal pada permodelan lereng tanah timbunan pada Plaxis, permukaan tanah membentuk garis bidang sesuai lereng alami yang ditinjau.



**Gambar 3.15** Initial pore pressure

Universitas Indonesia

- Generate Initial Stress. Pada initial stress  $Mweight = 0.0$  pada Ko prosedur. Banyak analisa pada permasalahan geoteknik yang mengacu pada kondisi *initial stresses*. Tegangan ini, dikarenakan gravitasi, ditampilkan cara equilibrium dari tanah undisturbed atau batuan. Pada penghitungan initial condition dihitung tekanan pori dan tekanan efektif dengan *Ko-prosedure*;  $Mweight = 0.0$ . Analisa kondisi initial stresses perlu dispesifikkan oleh pengguna. Ada 2 kemungkinan spesifikasi kondisi initial stresses, yaitu: *Ko-prosedure* dan *Gravity Loading*.



Gambar 3.16 KO- prosedur

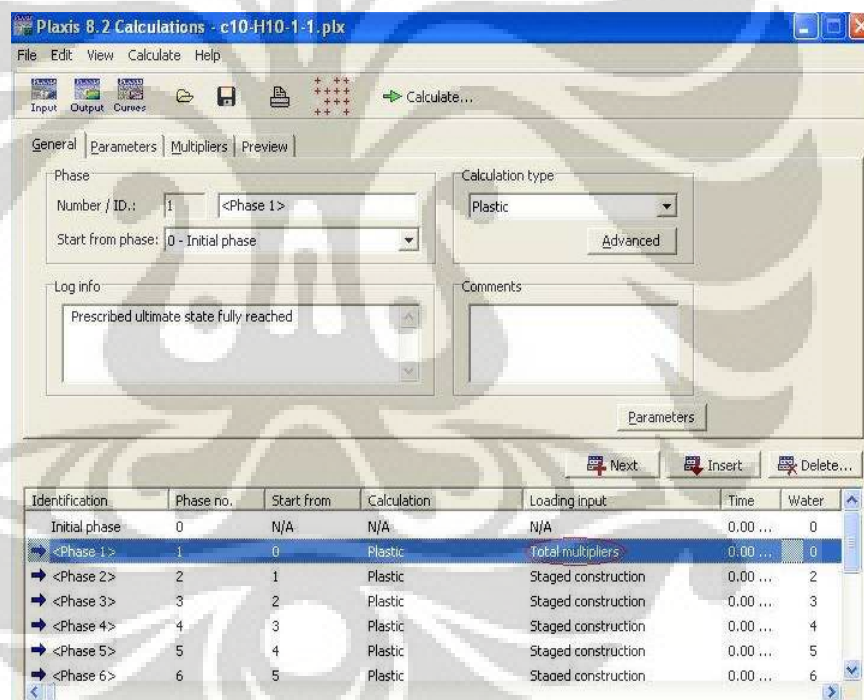
Untuk kasus horizontal surface dalam hal ini subsurface drains. Maka yang digunakan adalah *Ko-prosedure*. *Ko-prosedure* juga digunakan pada lapisan – lapisan tanah lereng yang ditinjau. Pada perhitungan lereng timbunan untuk kondisi *initial phase* tidak perlu dilakukan karena analisa kestabilan lereng hanya terkait pada kestabilan tanah timbunan yang dijadikan lereng.

## 2. CALCULATION, terdiri dari beberapa tahapan antara lain:

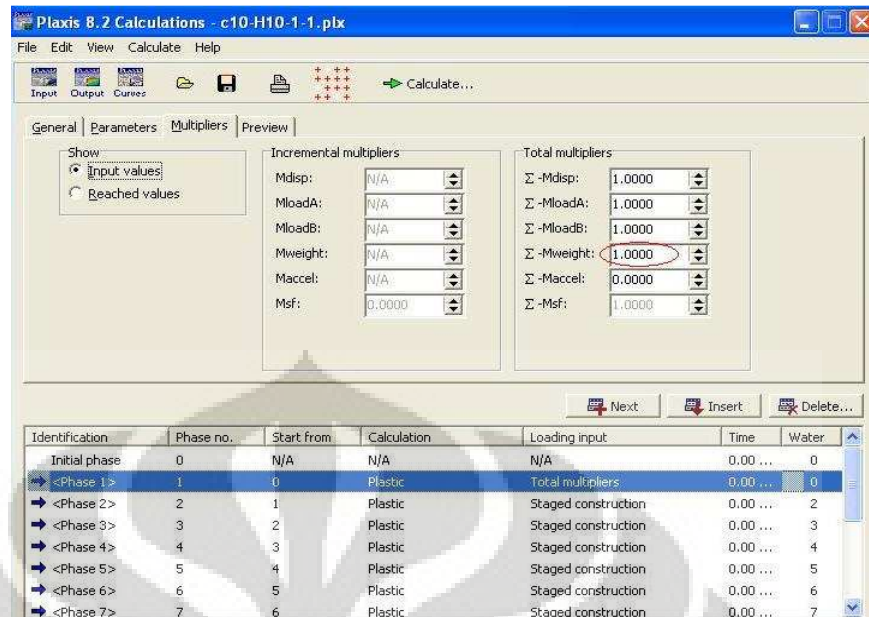
- Penentuan phase perhitungan, pada kasus lereng tanah timbunan ini akan ada beberapa tahapan konstruksi dengan tipe perhitungan “*Plastic*” dan tahapan untuk menghitung faktor keamanan dengan menggunakan tipe perhitungan “*phi-c reduction*”.



- Menentukan tipe perhitungan (*plastic*, *phi-c reductions*, *consolidations*, dan *dynamic*), pada kasus lereng tanah timbunan ini hanya akan digunakan tipe *plastic* untuk menganalisis tahapan konstruksi dan type *phi-c reductions* untuk menganalisis nilai faktor keamanan.
- Penentuan parameter perhitungan, pada tipe perhitungan *plastic* kita perlu menambahkan aktivitas lereng tanah timbunan dengan meng-klik gambar lereng tanah timbunan tersebut secara bertahap (phase). Pada phase pertama  $Mweight = 1.0$ , hal ini dilakukan untuk menghitung nilai  $\sigma_v$  dan  $\sigma_h$  sesuai bidang lereng timbunan yang miring dengan loading input *Total Multipliers* dengan mengaktifkan *delete intermediate steps*.

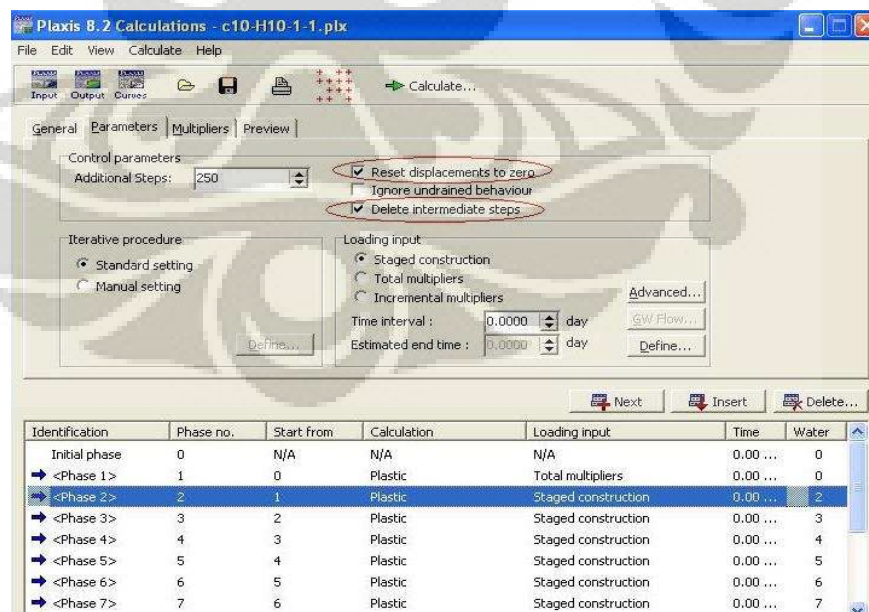


Gambar 3.17 General phase 1

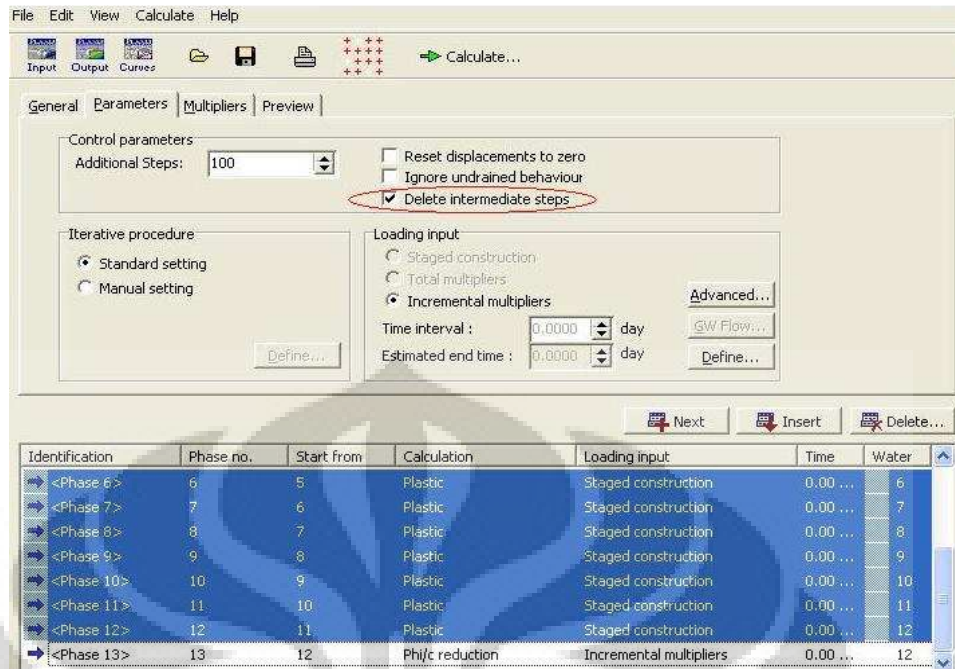


Gambar 3.18 Multipliers phase 1 dengan Mweight = 1

- Untuk phase kedua loading inputnya adalah *stage construction* dengan calculation *Plastic* di mana *delete intermediate steps* dan *delete displacement to zero* diaktifkan. Selanjutnya untuk phase berikutnya (phase 3 sampai 12) loading inputnya adalah *stage construction* dengan calculation *Plastic* di mana *delete intermediate steps* diaktifkan.

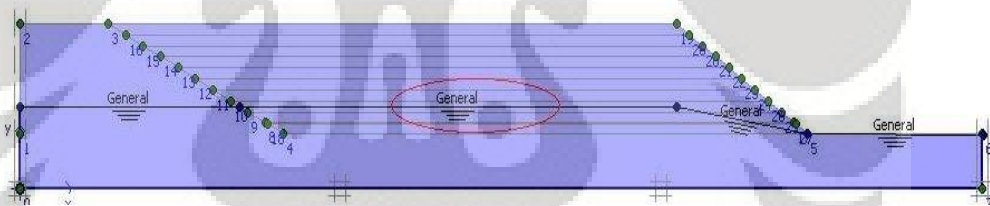


Gambar 3.19 Parameter phase 2



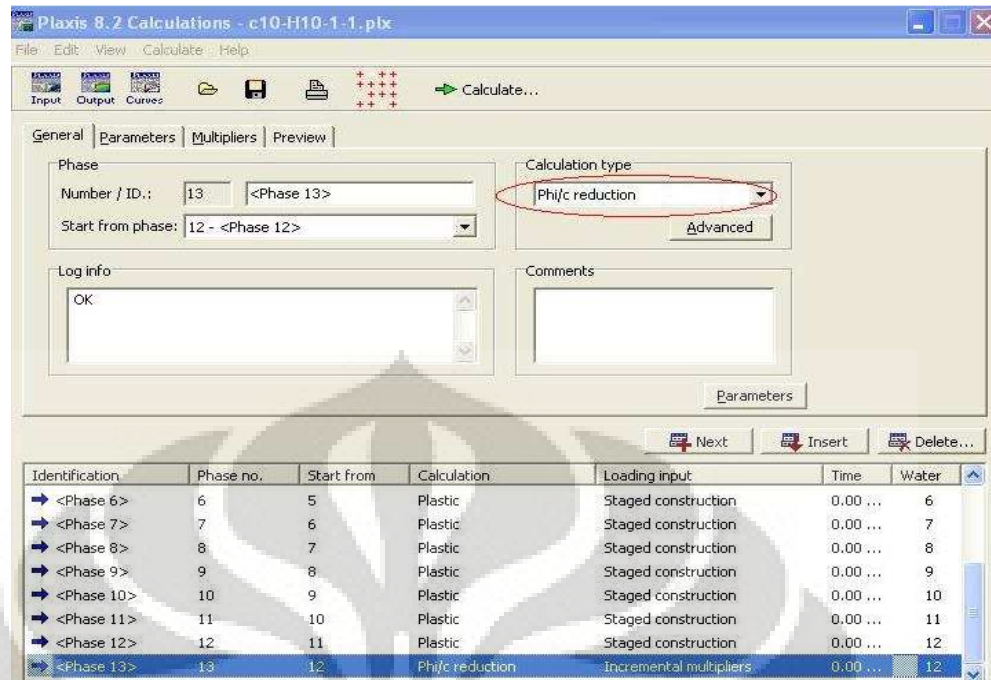
Gambar 3.20 Parameter phase 3 sampai 12

Pada phase ke- 12 adalah penempatan MAT dengan ketinggian 0.25 tinggi lereng timbunan (H).

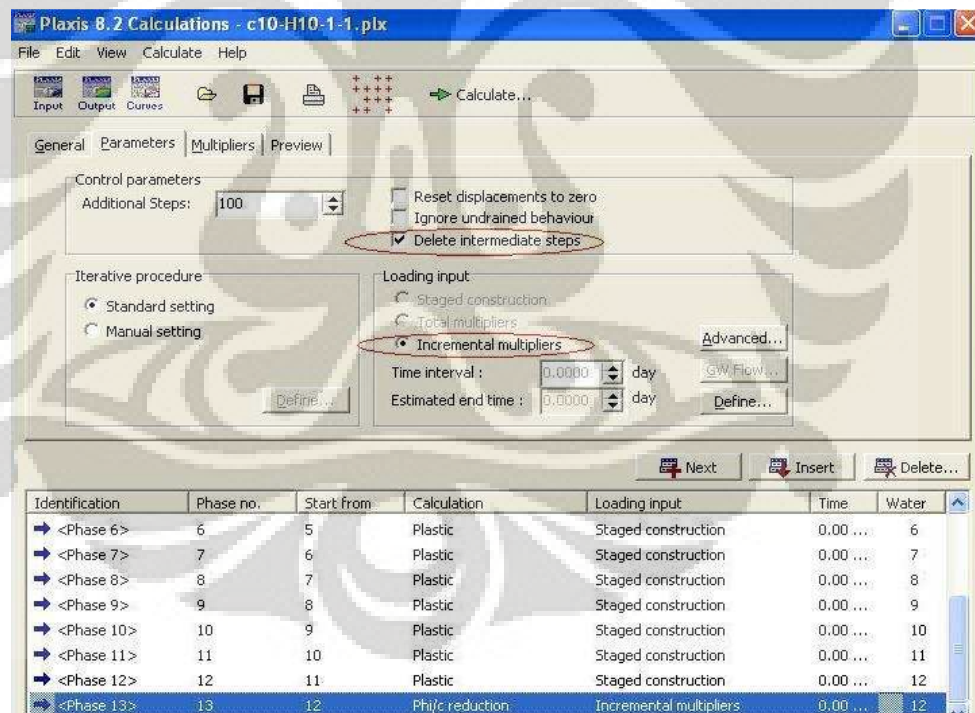


Gambar 3.21 MAT lereng dibuat pada phase ke- 12

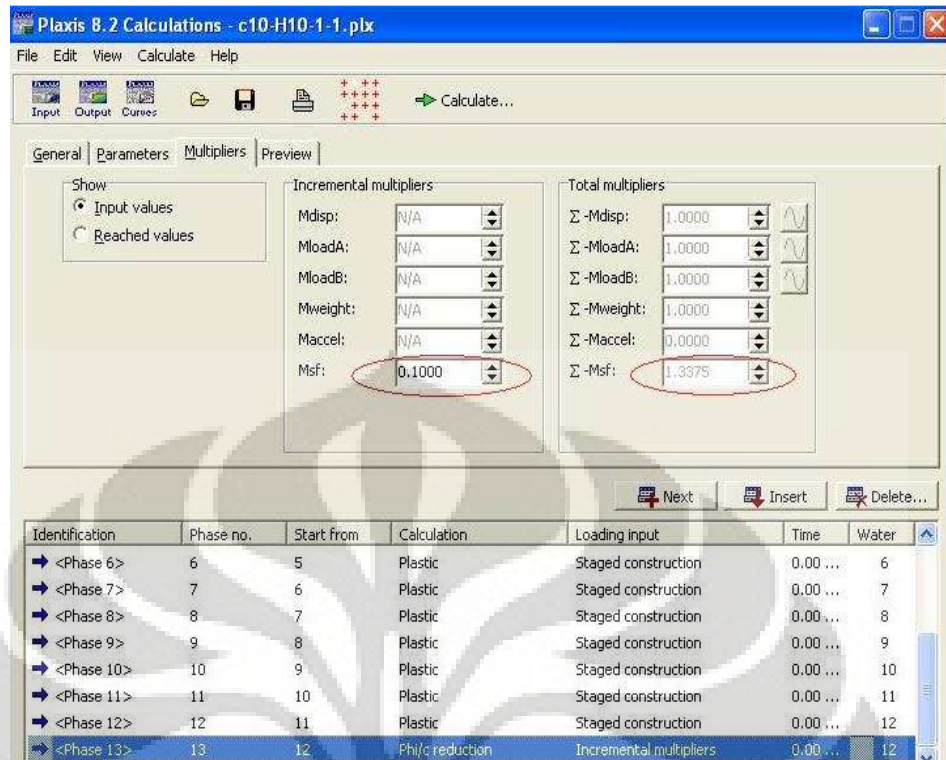
- Phase terakhir (phase 13) adalah penghitungan *safety factor* dengan dan mengaktifkan *delete intermediate steps* dan menentukan nilai  $Msf = 0.1$  dengan calculation *phi-c reductions*.



Gambar 3.22 General phase ke- 13



Gambar 3.23 Parameter phase ke- 13



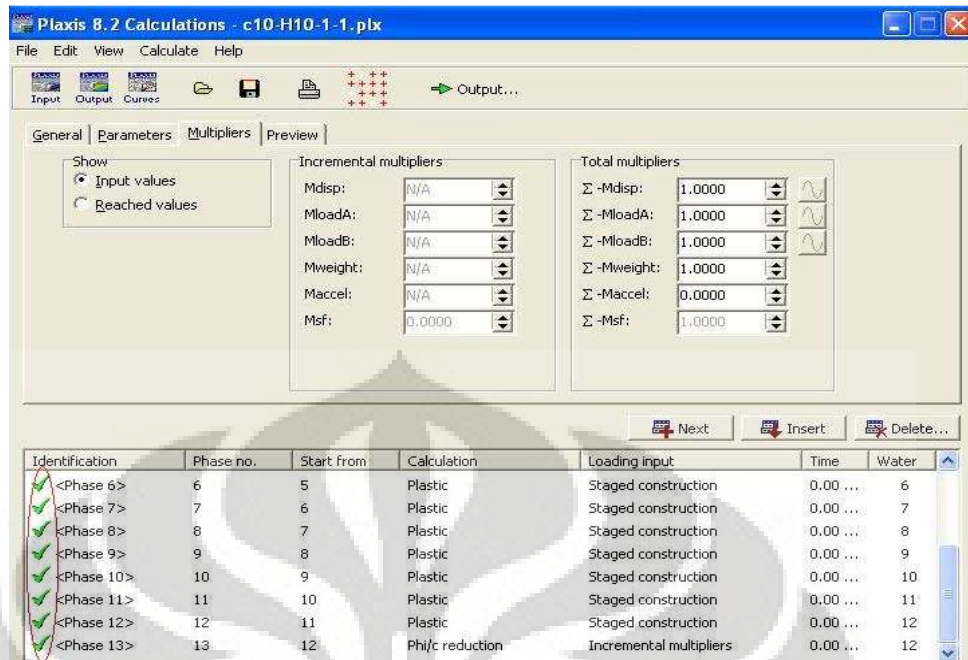
Gambar 3.24 Multipliers phase ke- 13

- Penentuan titik-titik yang akan diamati, merupakan syarat untuk Plaxis agar dapat memulai perhitungan (minimal 1 titik). Titik tinjau dibuat kaki lereng/ sudut lereng timbunan.



Gambar 3.25 Titik tinjau lereng timbunan

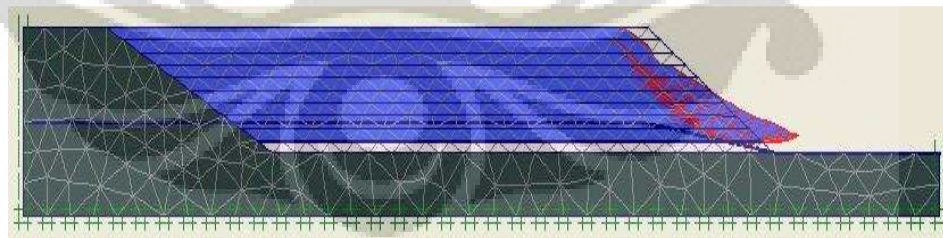
- Proses perhitungan, memulai proses perhitungan dengan perhitungan setiap phase pada Plaxis hingga mendapatkan hasil.



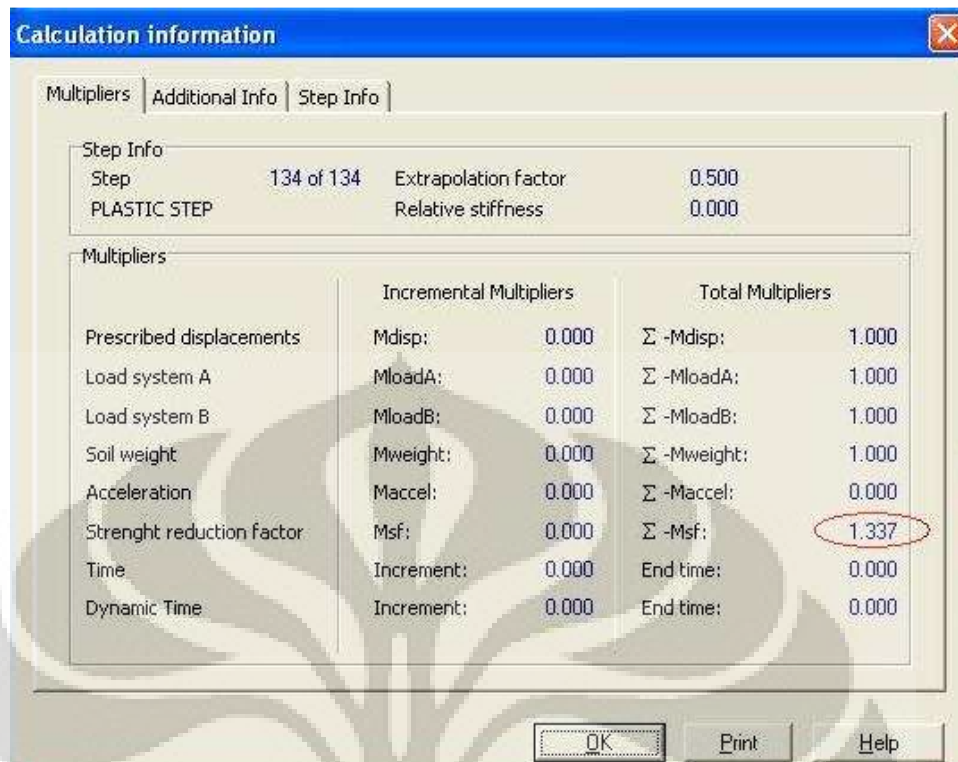
Gambar 3.26 Hasil Calculation

3. **OUTPUT**, hasil analisis dapat ditampilkan berupa kurva, gambar ataupun dalam bentuk tabel.

- *Calculation info*, untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng. Setelah menetapkan phase-phase perhitungan, maka akan didapatkan nilai *safety factor* pada phase akhir. *Safety factor* pada efisiensi interface 1, 0.8 dan 0.6 untuk lereng timbunan dengan *subsurface drains* pada tiap pemodelan akan dibandingkan dan dianalisa.



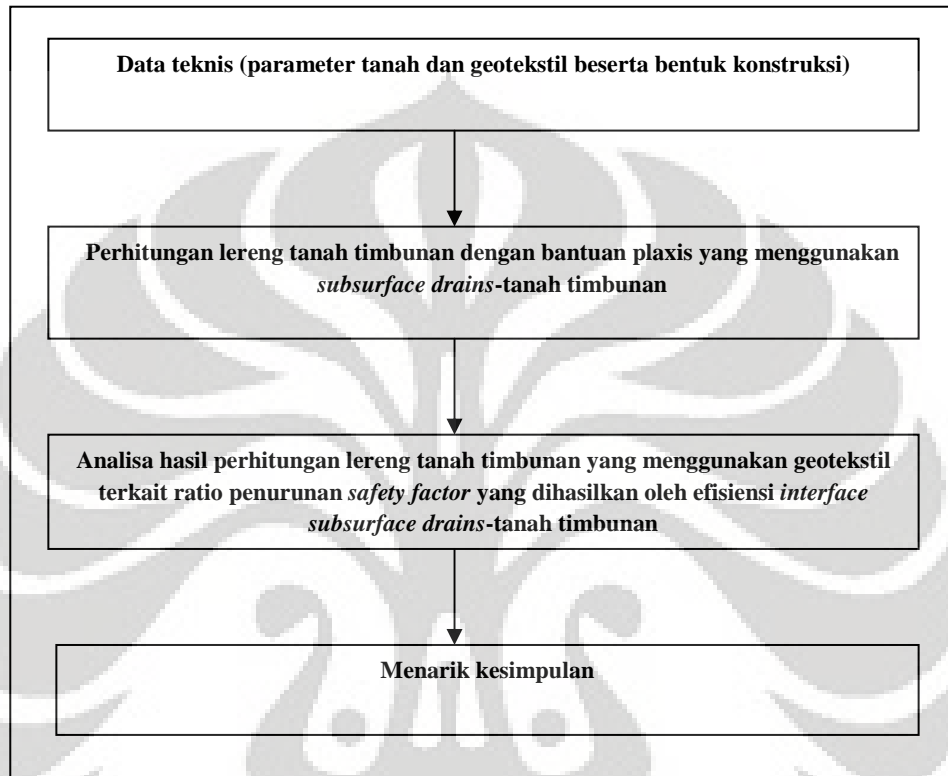
Gambar 3.27 Output dari lereng timbunan



Gambar 3.28 Calculation Info untuk melihat FS

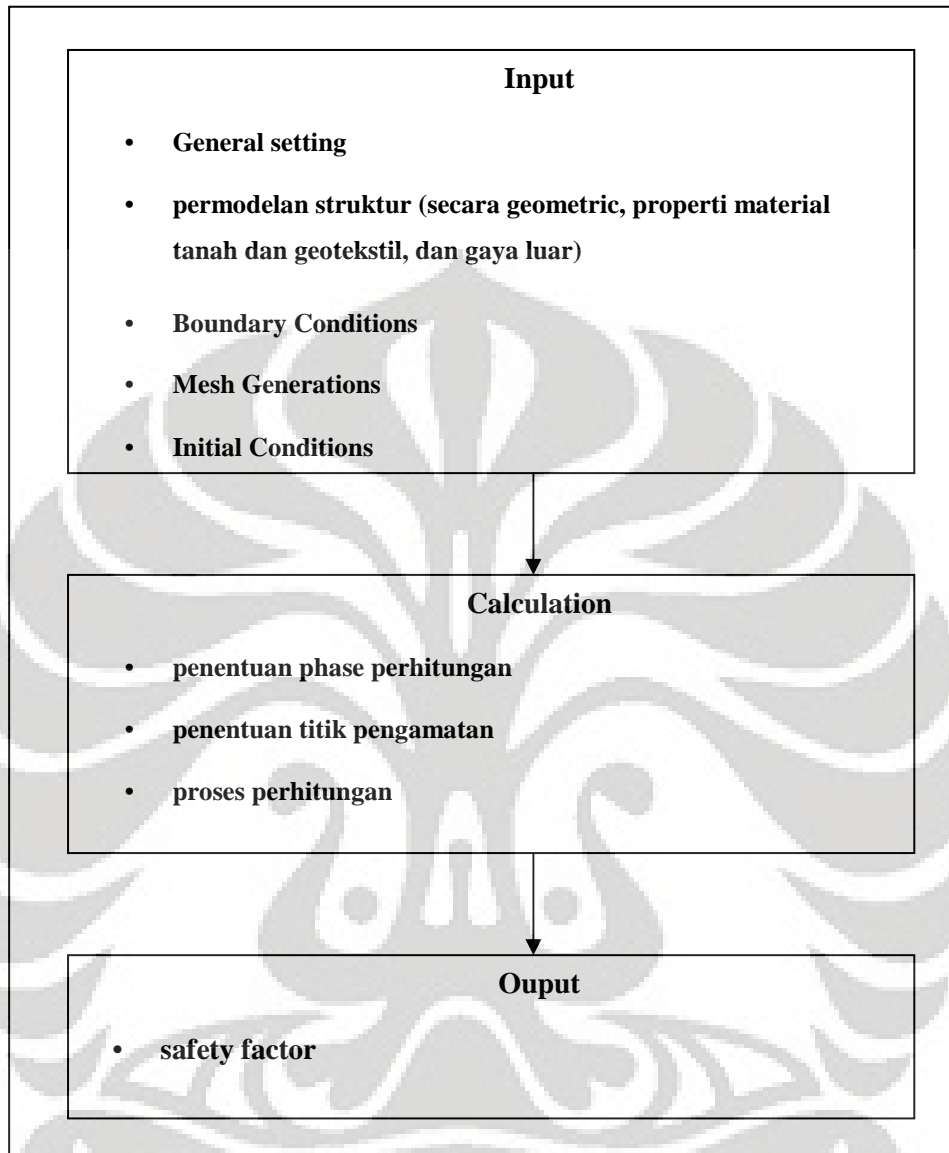
### 3.3 DIAGRAM ALIR SISTEMATIKA Pengerjaan SKRIPSI DAN DIAGRAM ALIR ANALISIS MENGGUNAKAN PLAXIS V8

#### Diagram Alir Sistematika Pengerjaan Skripsi





### Diagram Alir Analisis Menggunakan PLAXIS v8



### 3.4 ANALISIS DAN PENGAMBILAN KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dengan Program Plaxis didapatkan nilai *safety factor* pada masing-masing efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 untuk tiap pemodelannya. Nilai *safety factor* didapat dari *calculation info*. Berdasarkan hasil yang didapatkan akan dibandingkan dan dianalisa untuk setiap model pada efisiensi *interface* yang berbeda dan variabel-variabel pembanding, sehingga dapat dilihat ratio penurunan nilai *safety factor* lereng timbunan akibat perbedaan efisiensi *interface* tanah timbunan-*subsurface drains* yang digunakan.



## BAB 4 PEMBAHASAN

### 4.1 PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan pemodelan dan hasil *safety factor* tiap efisiensi *interface*. Pada pemodelan ini peneliti menganalisa 54 kasus lereng timbunan untuk setiap efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6. *Safety factor* yang dihasilkan setiap pemodelan akan dianalisa sesuai dengan variabel pembanding yang digunakan oleh peneliti. Dari hasil analisa tersebut dapat diketahui seberapa besar pengaruh efisiensi *interface subsurface drains*- tanah timbunan dan variabel pembanding terhadap *safety factor* suatu lereng timbunan.

Berikut adalah variabel pembanding yang akan digunakan oleh peneliti dalam menganalisa penurunan *safety factor* akibat nilai efisiensi *interface* geotekstil-tanah timbunan yang berbeda.

**Tabel 4.1** Variabel pembanding untuk analisa terhadap FS

No	Variabel Pembanding
1	Perubahan muka air tanah (MAT)
2	Perubahan tinggi lereng timbunan (H)
3	Perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ )
4	Perubahan kuat geser tanah timbunan (c)

Variabel pembanding tersebut adalah parameter-parameter yang peneliti variasikan dalam membuat kondisi-kondisi untuk seluruh pemodelan. Berikut nilai variasi dari variabel pembanding tersebut.

**Tabel 4.2** Nilai parameter variabel pembanding

No	Variabel Pembanding	Nilai Parameter
1	Perubahan muka air tanah (MAT)	0.25 H, 0.5 H, dan 0.75 H
2	Perubahan tinggi lereng timbunan (H) meter	10, 13, dan 16
3	Perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) derajat	1v:1.5H, 1v:2H, dan 1v:3H
4	Perubahan kuat geser tanah timbunan (c) kN/m <sup>2</sup>	10 dan 20

Keterangan: 1v:1.5H adalah sudut lereng sebesar nilai tinggi lereng untuk v dan 1.5 dari tinggi lereng untuk H.

#### 4.2 BIDANG KERUNTUHAN LERENG TIMBUNAN BEBERAPA PEMODELAN

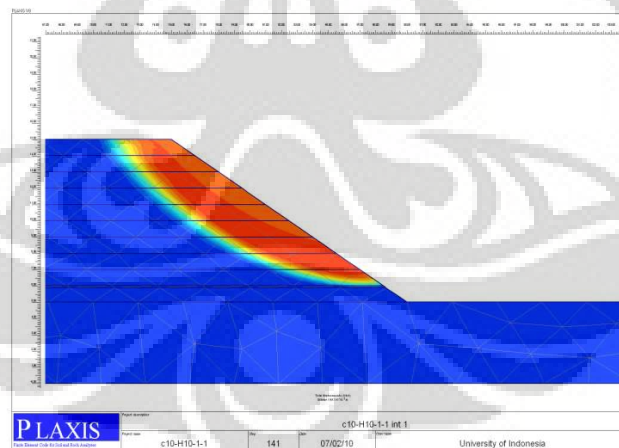
*Safety factor* erat kaitannya dengan bidang keruntuhan suatu lereng. Pada geometri dan properti yang sama, semakin besar bidang keruntuhan suatu lereng dengan maka makin rendah nilai kestabilitasnya (*safety factor*). Faktor eksternal sangat berpengaruh dalam hal ini, seperti beban luar, gempa, rembesan air dan lain-lain. Berikut adalah bidang-bidang keruntuhan berbagai macam kasus.

Pada sub bab ini akan ditampilkan beberapa bidang keruntuhan untuk efisiensi *interface* 1, efisiensi *interface* 0.8, dan efisiensi *interface* 0.6.

Berikut gambar bidang kelongsoran lereng timbunan efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6.

a. Efisiensi *interface* 1

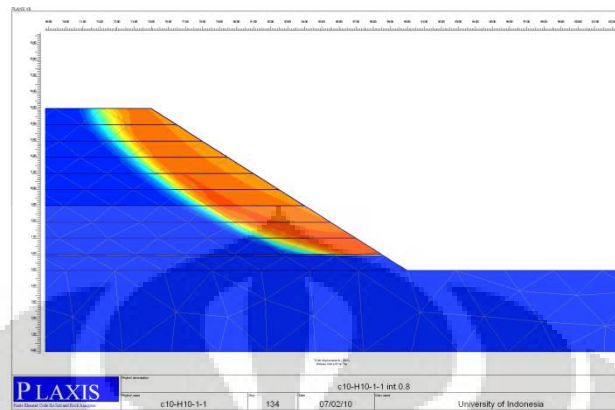
- Kondisi c10-H10-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1



**Gambar 4.1** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c10-H10-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

b. Efisiensi *interface* 0.8

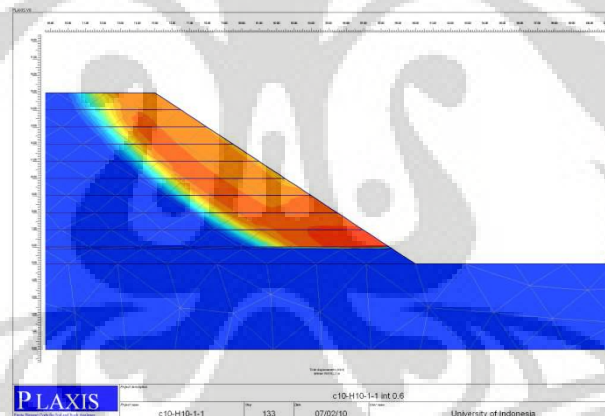
- Kondisi c10-H10-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 0.8



**Gambar 4.2** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c10-H10-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 0.8

c. Efisiensi *interface* 0.6

- Kondisi c10-H10-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 0.6



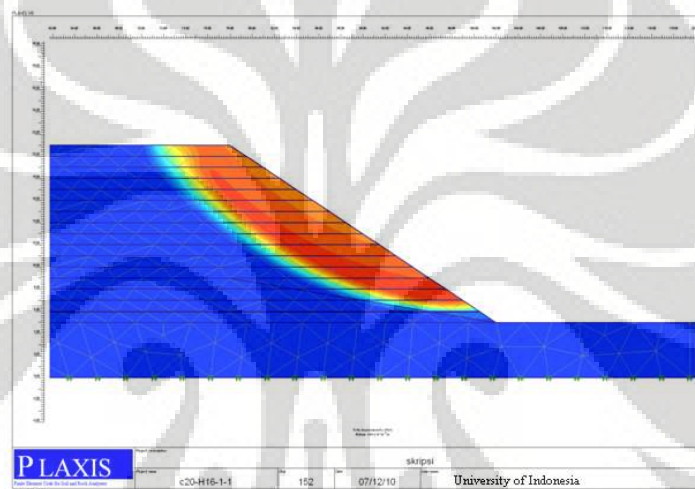
**Gambar 4.3** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c10-H10-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 0.6

Bidang kelongsoran lereng timbunan yang terjadi pada masing-masing efisiensi *interface* cenderung berbeda. Bidang kelongsoran lereng timbunan untuk efisiensi *interface* 1 berbentuk *circle*. Untuk bidang kelongsoran lereng timbunan efisiensi *interface* 0.8 berbentuk *circle* agak lonjong. Sedangkan bidang kelongsoran lereng timbunan untuk efisiensi *interface* 0.6 berbentuk *circle* dan membentuk garis lurus pada kaki lereng. Area bidang kelongsoran lereng timbunan untuk efisiensi *interface* 0.6 lebih besar daripada area bidang

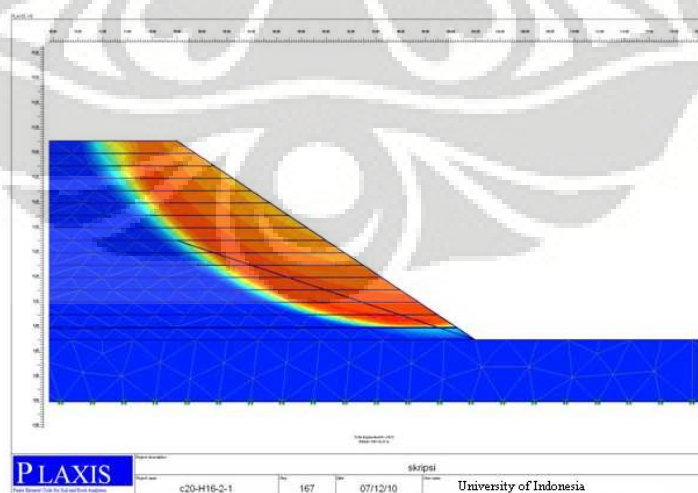
kelongsoran lereng timbunan untuk efisiensi *interface* 0.8 dan efisiensi *interface* 1. Begitu juga area kelongsoran lereng timbunan efisiensi *interface* 0.8 terhadap efisiensi *interface* 1. Hal ini terjadi akibat perlemahan dari efisiensi *interface* tanah timbunan-*subsurface drains* (geotekstil) pada lereng timbunan. Sehingga massa tanah untuk bidang kelongsoran bertambah besar.

Berikut gambar bidang kelongsoran lereng timbunan efisiensi *interface* 1 dengan variasi variabel pembanding.

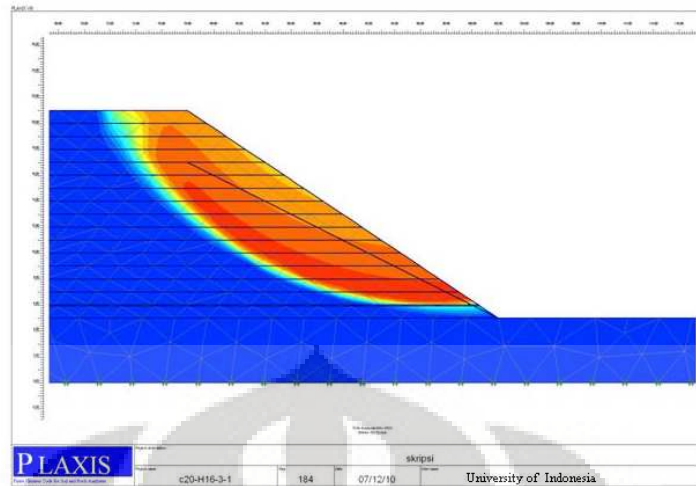
a) Pengaruh ketinggian muka air tanah (MAT).



**Gambar 4.4** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

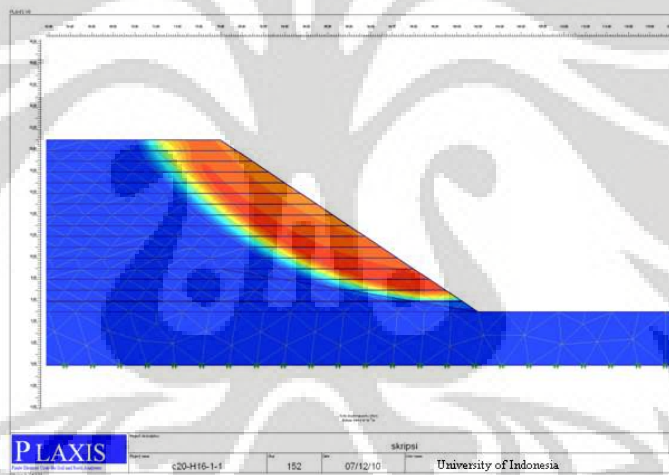


**Gambar 4.5** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.5H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

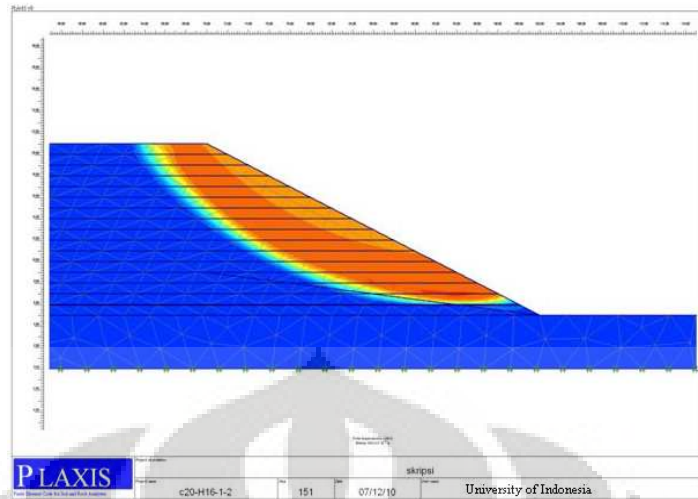


**Gambar 4.6** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.75H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

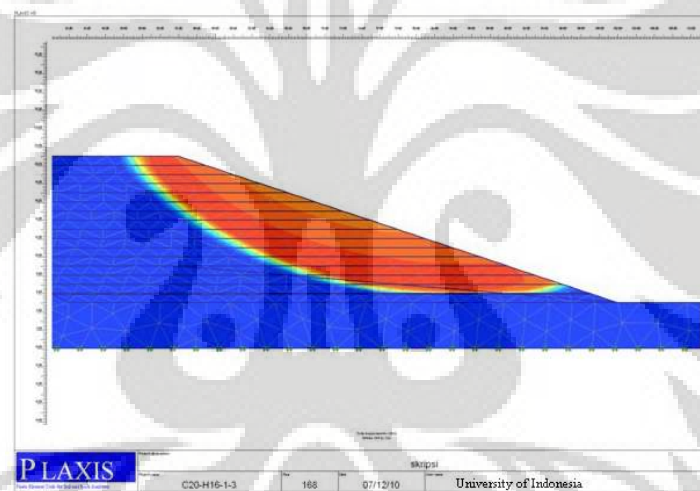
b) Pengaruh sudut lereng timbunan.



**Gambar 4.7** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1



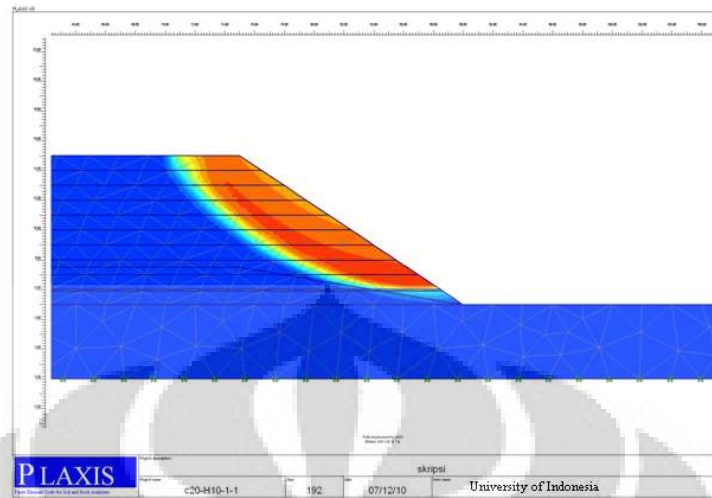
**Gambar 4.8** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:2H) efisiensi *interface* 1



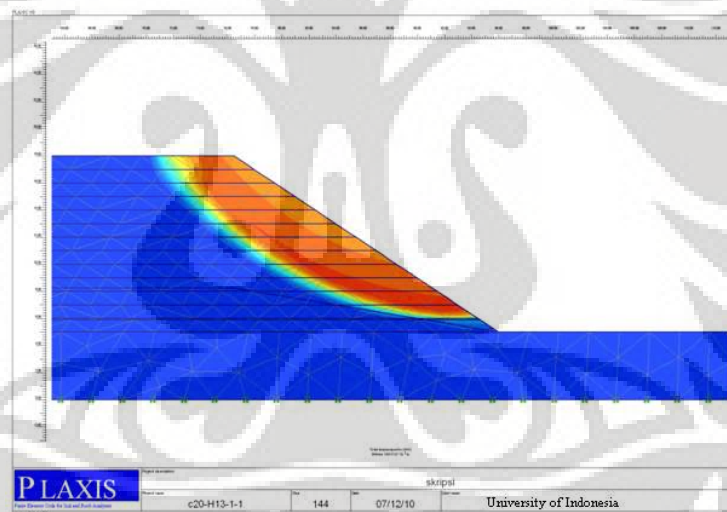
**Gambar 4.9** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:3H) efisiensi *interface* 1



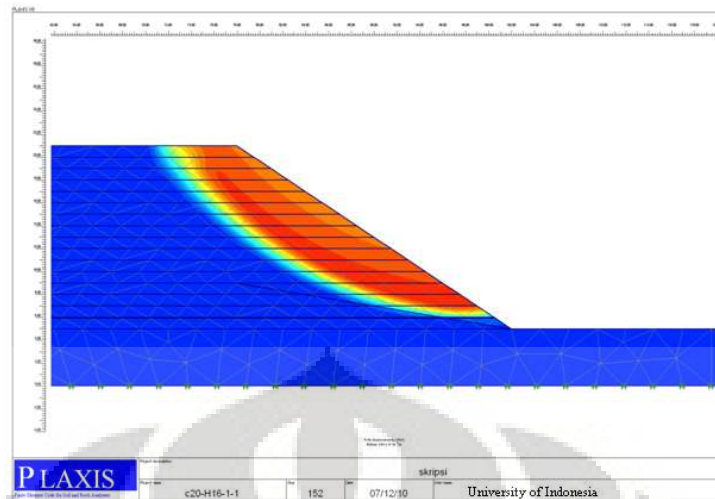
c) Pengaruh ketinggian lereng timbunan.



**Gambar 4.10** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H10-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

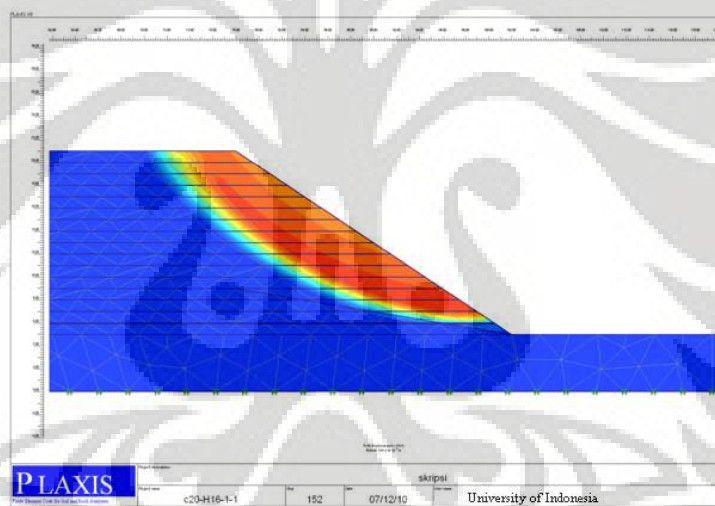


**Gambar 4.11** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H13-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

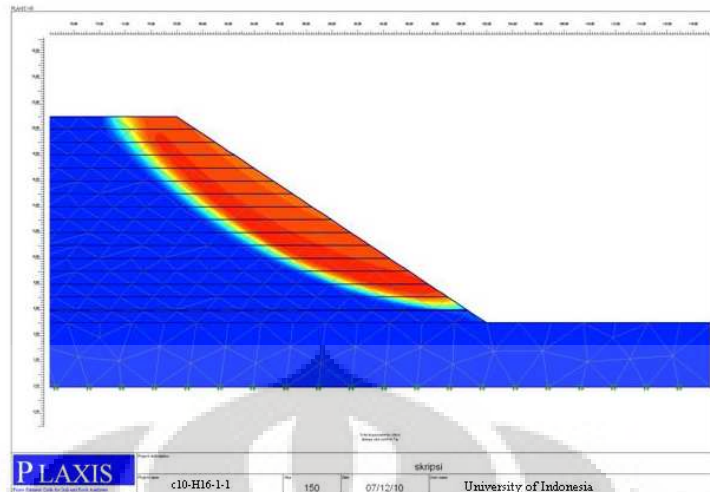


**Gambar 4.12** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

d) Pengaruh kuat geser tanah timbunan.



**Gambar 4.13** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c20-H16-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:3\1.5H) efisiensi *interface* 1



**Gambar 4.14** Bidang kelongsoran lereng timbunan kondisi c10-H16-MAT 0.25H-  $\beta$  (1v:1.5H) efisiensi *interface* 1

Berdasarkan hasil output bidang keruntuhan yang dihasilkan pada efisiensi *interface* 1, terjadi perubahan bentuk dan luasan bidang longsor akibat kenaikan muka air tanah, sudut lereng timbunan bertambah besar, lereng timbunan bertambah tinggi, dan kuat geser tanah timbunan yang berkurang. Hal ini juga terjadi pada kondisi lereng timbunan untuk efisiensi *interface* 0.8 dan 0.6.

#### 4.3 HASIL SAFETY FACTOR PEMODELAN

Tiap pemodelan menghasilkan satu nilai *safety factor*. Dalam penelitian ini, peneliti memodel 162 kondisi lereng timbunan dengan 54 kasus untuk masing-masing efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6. Setiap kasus menghasilkan *safety factor* yang cenderung turun dari efisiensi *interface* 1 hingga efisiensi *interface* 0.6. *Safety factor* yang rendah pada efisiensi *interface* 1 mengakibatkan terjadinya *collapse* (longsor) untuk efisiensi *interface* 0.8 dan 0.6. Hal ini juga dapat terjadi pada kondisi lereng timbunan yang bertambah ekstrim misalnya naiknya muka air tanah, bertambah tingginya lereng timbunan, bertambah besarnya sudut lereng timbunan, dan berkurangnya kuat geser tanah timbunan. Pemodelan lereng timbunan yang mengalami *collapse* tidak dilakukan analisa ratio penurunan *safety factor* karena nilainya tidak ada. Berikut adalah hasil keseluruhan *safety factor* tiap pemodelan yang telah dilakukan (Tabel 4.3).

Tabel 4.3 Hasil *safety factor* seluruh pemodelan

NO	Properti Timbunan						FS		
	Lebar Timbunan (m)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	c (kN/m <sup>2</sup> )	H (m)	Muka Air Tanah	$\beta$ (kemiringan lereng)	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1	60	25	10	10	H/4	1v:1.5H	1.422	1.337	1.213
2	60	25	10	10	H/4	1v:2H	1.734	1.617	1.427
3	60	25	10	10	H/4	1v:3H	2.345	2.127	1.827
4	60	25	10	10	H/2	1v:1.5H	1.322	1.232	1.08
5	60	25	10	10	H/2	1v:2H	1.597	1.462	1.268
6	60	25	10	10	H/2	1v:3H	2.106	1.915	1.624
7	60	25	10	10	3H/4	1v:1.5H	1.038	0.925	collapse
8	60	25	10	10	3H/4	1v:2H	1.289	1.154	0.997
9	60	25	10	10	3H/4	1v:3H	1.729	1.536	1.314
10	60	25	10	13	H/4	1v:1.5H	1.261	1.241	1.109
11	60	25	10	13	H/4	1v:2H	1.57	1.45	1.284
12	60	25	10	13	H/4	1v:3H	2.143	1.937	1.676
13	60	25	10	13	H/2	1v:1.5H	1.174	1.095	1.037
14	60	25	10	13	H/2	1v:2H	1.418	1.313	1.178
15	60	25	10	13	H/2	1v:3H	1.93	1.729	1.498
16	60	25	10	13	3H/4	1v:1.5H	collapse	collapse	collapse
17	60	25	10	13	3H/4	1v:2H	1.117	1.016	collapse
18	60	25	10	13	3H/4	1v:3H	1.564	1.398	1.182
19	60	25	10	16	H/4	1v:1.5H	1.165	1.124	1.034
20	60	25	10	16	H/4	1v:2H	1.476	1.359	1.258
21	60	25	10	16	H/4	1v:3H	2.041	1.881	1.62
22	60	25	10	16	H/2	1v:1.5H	1.067	0.995	0.893
23	60	25	10	16	H/2	1v:2H	1.331	1.235	1.09
24	60	25	10	16	H/2	1v:3H	1.75	1.63	1.394
25	60	25	10	16	3H/4	1v:1.5H	collapse	collapse	collapse
26	60	25	10	16	3H/4	1v:2H	1.03	collapse	collapse
27	60	25	10	16	3H/4	1v:3H	1.436	1.306	collapse
28	60	25	20	10	H/4	1v:1.5H	1.936	1.821	1.651
29	60	25	20	10	H/4	1v:2H	2.282	2.116	1.891
30	60	25	20	10	H/4	1v:3H	3.019	2.738	2.354
31	60	25	20	10	H/2	1v:1.5H	1.714	1.662	1.5
32	60	25	20	10	H/2	1v:2H	2.043	1.944	1.711
33	60	25	20	10	H/2	1v:3H	2.983	2.51	2.151
34	60	25	20	10	3H/4	1v:1.5H	1.36	1.299	1.216
35	60	25	20	10	3H/4	1v:2H	1.708	1.64	1.411
36	60	25	20	10	3H/4	1v:3H	2.325	2.128	1.812
37	60	25	20	13	H/4	1v:1.5H	1.681	1.58	1.442

NO	Properti Timbunan						FS		
	Lebar Timbunan (m)	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	c (kN/m <sup>2</sup> )	H (m)	Muka Air Tanah	$\beta$ (kemiringan lereng)	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
38	60	25	20	13	H/4	1v:2H	1.945	1.87	1.65
39	60	25	20	13	H/4	1v:3H	2.688	2.409	2.093
40	60	25	20	13	H/2	1v:1.5H	1.532	1.424	1.285
41	60	25	20	13	H/2	1v:2H	1.745	1.696	1.473
42	60	25	20	13	H/2	1v:3H	2.416	2.199	1.891
43	60	25	20	13	3H/4	1v:1.5H	1.246	1.159	1.019
44	60	25	20	13	3H/4	1v:2H	1.419	1.378	1.201
45	60	25	20	13	3H/4	1v:3H	2.012	1.833	1.535
46	60	25	20	16	H/4	1v:1.5H	1.533	1.425	1.295
47	60	25	20	16	H/4	1v:2H	1.851	1.683	1.543
48	60	25	20	16	H/4	1v:3H	2.454	2.217	1.932
49	60	25	20	16	H/2	1v:1.5H	1.379	1.296	1.153
50	60	25	20	16	H/2	1v:2H	1.6	1.532	1.362
51	60	25	20	16	H/2	1v:3H	2.23	2.003	1.695
52	60	25	20	16	3H/4	1v:1.5H	1.085	collapse	collapse
53	60	25	20	16	3H/4	1v:2H	1.315	1.242	1.078
54	60	25	20	16	3H/4	1v:3H	1.856	1.682	1.425

#### 4.4 HASIL DAN ANALISA PEMODELAN TERHADAP *SAFETY FACTOR* (FS)

Grafik pemodelan yang akan di analisa berikut adalah grafik pemodelan yang diambil dari 81 grafik yang dihasilkan dengan 4 variabel pembanding. Karena grafik tiap kondisi menghasilkan grafik yang secara *typical* sama untuk masing-masing variabel pembanding. Maka peneliti mengambil 13 grafik untuk di analisa. Seluruh grafik akan ditampilkan di halaman lampiran.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, nilai FS lereng timbunan cenderung turun dari efisiensi *interface* 1 hingga ke efisiensi *interface* 0.6 pada geometri dan properti pemodelan lereng timbunan yang sama. Begitu juga pada variabel pembanding, dengan kondisi biasa hingga ekstrim. Misalnya, naiknya muka air tanah, bertambahnya tinggi timbunan, sudut lereng timbunan bertambah besar, dan berkurangnya nilai kuat geser tanah timbunan.

Dalam analisa ini, akan dilihat **ratio** penurunan FS tiap kondisi lereng timbunan terhadap variabel pembanding. Penurunan FS dengan menggunakan ratio dapat lebih mudah untuk menggambarkan pengaruh variabel pembanding terhadap tiap efisiensi *interface* dan antar efisiensi *interface* karena lebih mudah untuk dibandingkan.

Dalam kasus ini, ratio didapatkan dari perbandingan FS yang terbesar dengan ratio FS yang lebih rendah tiap kondisi. Untuk penurunan ratio antar kondisi dalam variabel pembanding digunakan FS dari variabel pembanding yang terbesar sebagai ***bench mark***. Sedangkan ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* diperoleh dari perbandingan FS efisiensi *interface* 0.8 dan efisiensi *interface* 0.6 terhadap efisiensi *interface* 1. Efisiensi *interface* 1 digunakan sebagai ***bench mark***.

Perbandingan ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* maupun antar kondisi dalam variabel pembanding menjadi acuan peneliti. Faktor dominan hingga terlemah variabel pembanding dapat dilihat dari perbandingan ratio tersebut.

Berikut keterangan dari notasi dari kondisi lereng timbunan.

**Tabel 4.4** Notasi kondisi lereng timbunan

Notasi	Keterangan
c	Kuat geser tanah timbunan
H	Tinggi lereng timbunan
MAT	Muka air tanah
$\beta$	Sudut lereng timbunan

Berikut adalah cara pembacaan kondisi lereng timbunan yang dimodelkan.

**Contoh:**

- **Kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:3H)**

Pembacaan:

Kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser tanah timbunan  $10 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 10 m dan sudut lereng 1v:3H

- **Kondisi c10-H10-MAT 0.5H**

Pembacaan:

Kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser  $10 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 10 m dan MAT 0.5 tinggi timbunan.

- **Kondisi c10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

Pembacaan:

Kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser  $10 \text{ kN/m}^2$ , muka air tanah (MAT) 0.25 tinggi timbunan, dan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H.

- **H16-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

Pembacaan:

Kondisi lereng timbunan dengan geometri tinggi timbunan 16 m, MAT 0.25 tinggi timbunan, dan sudut lereng timbunan  $\beta$  (1v:3H)

#### 4.4.1 Penurunan Nilai *Safety factor* Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Muka Air Tanah (MAT) Pada Efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6

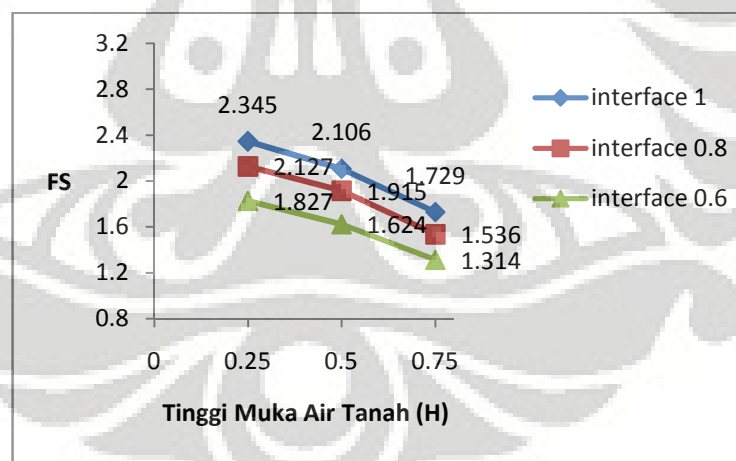
Berikut penurunan *safety factor* akibat penurunan efisiensi *interface Subsurface Drains* (geotekstil) – tanah timbunan terhadap perubahan muka air tanah (MAT).

- **Kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:3H) adalah

**Tabel 4.5** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
0.25	2.345	2.127	1.827
0.5	2.106	1.915	1.624
0.75	1.729	1.536	1.314



**Gambar 4.15** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser tanah timbunan  $10 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 10 m dan sudut lereng 1v:3H, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring naiknya nilai muka air tanah (MAT) berdasarkan **Gambar 4.15**.



Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing muka air tanah (MAT).

**Tabel 4.6** Ratio penurunan FS kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:3H) terhadap efisiensi *interface*

MAT	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
0.25 H	0.907	0.779
0.5 H	0.909	0.771
0.75 H	0.888	0.760

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap ketinggian muka air tanah (MAT). Pada ketinggian muka air tanah 0.25H masing-masing rasionya adalah 0.907 dan 0.779. Untuk muka air tanah 0.5H masing-masing rasionya adalah 0.909 dan 0.771. Sedangkan untuk muka air tanah 0.75H masing-masing rasionya adalah 0.888 dan 0.760.

Penurunan FS juga terjadi antar muka air tanah (MAT) pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.7** Ratio penurunan FS kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:3H) terhadap MAT

MAT	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
MAT 0.5H to 0.25H	0.898	0.900	0.889
MAT 0.75H to 0.25H	0.737	0.722	0.719

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar muka air tanah 0.5H to 0.25H dan 0.75H to 0.25H tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.898 dan 0.737. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.900 dan 0.722. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.889 dan 0.719.

Setelah ratio penurunan FS antar muka air tanah (MAT) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan antar muka air tanah (MAT). Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap muka air tanah sebesar **0.901** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap muka air tanah sebesar **0.77**. Sedangkan rata-rata untuk muka air tanah 0.5H to 0.25H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.895** dan muka air tanah 0.75H to 0.25H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.726**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan 10 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 10 m, dan sudut lereng ( $\beta$ ) (1v:3H) dengan variabel pembanding muka air tanah. Kestabilan lereng akan berkurang jika kondisi muka air tanah (MAT) naik dalam bidang lereng. Hal ini disebabkan berkurangnya tegangan efektif tanah.

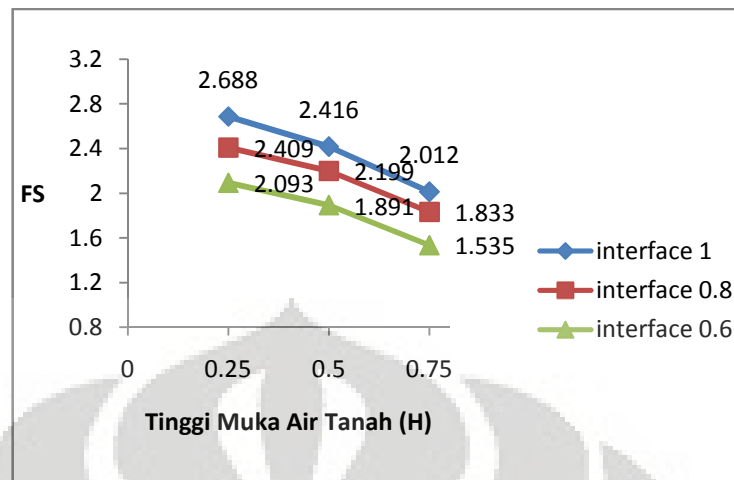
Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh muka air tanah pada lereng timbunan relatif lebih besar dibanding pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan itu sendiri.

- **Kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c20-H13- $\beta$  (1v:3H) adalah

**Tabel 4.8** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H13- $\beta$  (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
0.25	2.688	2.409	2.093
0.5	2.416	2.199	1.891
0.75	2.012	1.833	1.535



**Gambar 4.16** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H13- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser  $20 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 13 m dan sudut lereng 1v:3H, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring naiknya nilai muka air tanah (MAT) berdasarkan **Gambar 4.16**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing muka air tanah (MAT).

**Tabel 4.9** Ratio penurunan FS kondisi c20-H13- $\beta$  (1v:3H) terhadap Efisiensi *interface*

MAT	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
0.25 H	0.896	0.779
0.5 H	0.910	0.783
0.75 H	0.911	0.763

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap ketinggian muka air tanah (MAT). Pada ketinggian muka air tanah 0.25H masing-masing rasionya adalah 0.896 dan 0.779. Untuk muka air tanah 0.5H masing-

masing rasionya adalah 0.910 dan 0.783. Sedangkan untuk muka air tanah 0.75H masing-masing rasionya adalah 0.911 dan 0.763.

Penurunan FS juga terjadi antar muka air tanah (MAT) pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.10** Ratio penurunan FS kondisi c20-H13- $\beta$  (1v:3H) terhadap MAT

MAT	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
MAT 0.5H to 0.25H	0.899	0.913	0.903
MAT 0.75H to 0.25H	0.749	0.761	0.733

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar muka air tanah 0.5H to 0.25H dan 0.75H to 0.25H tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.899 dan 0.749. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.913 dan 0.761. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.903 dan 0.733.

Setelah ratio penurunan FS antar muka air tanah (MAT) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan antar muka air tanah (MAT). Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap muka air tanah sebesar **0.906** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap muka air tanah sebesar **0.775**. Sedangkan rata-rata untuk muka air tanah 0.5H to 0.25H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.905** dan muka air tanah 0.75H to 0.25H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.748**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan 20 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 13 m, dan sudut lereng ( $\beta$ ) (1v:3H) dengan variabel pembanding muka air tanah. Kestabilan lereng akan berkurang jika kondisi muka air tanah (MAT) naik dalam bidang lereng. Hal ini juga disebabkan berkurangnya tegangan efektif tanah.

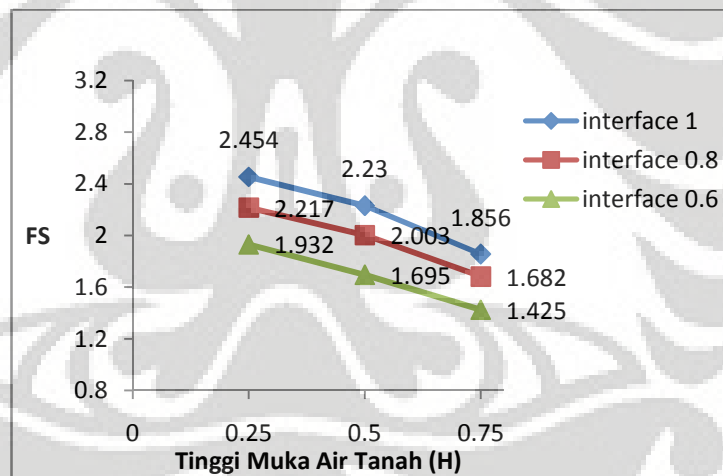
Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh muka air tanah pada lereng timbunan relatif lebih besar dibanding pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan itu sendiri.

- **Kondisi c20-H16- $\beta$ (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c20-H16- $\beta$  (1v:3H) adalah

**Tabel 4.11** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H16- $\beta$  (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
0.25	2.454	2.217	1.932
0.5	2.23	2.003	1.695
0.75	1.856	1.682	1.425



**Gambar 4.17** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H16- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser 20 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 16 m dan sudut lereng 1v:3H, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring naiknya nilai muka air tanah (MAT) berdasarkan **Gambar 4.17**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing muka air tanah (MAT).

**Tabel 4.12** Ratio penurunan FS kondisi c20-H16- $\beta$  (1v:3H) terhadap Efisiensi *interface*

MAT	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
0.25 H	0.903	0.787
0.5 H	0.898	0.760
0.75 H	0.906	0.768

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap ketinggian muka air tanah (MAT). Pada ketinggian muka air tanah 0.25H masing-masing rasionya adalah 0.903 dan 0.787. Untuk muka air tanah 0.5H masing-masing rasionya adalah 0.898 dan 0.760. Sedangkan untuk muka air tanah 0.75H masing-masing rasionya adalah 0.906 dan 0.768.

Penurunan FS juga terjadi antar muka air tanah (MAT) pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.13** Ratio penurunan FS kondisi c20-H13- $\beta$  (1v:3H) terhadap MAT

MAT	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
MAT 0.5H to 0.25H	0.909	0.903	0.877
MAT 0.75H to 0.25H	0.756	0.759	0.738

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar muka air tanah 0.5H to 0.25H dan 0.75H to 0.25H tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.909 dan 0.756. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.903 dan 0.759. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.877 dan 0.738.

Setelah ratio penurunan FS antar muka air tanah (MAT) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan antar muka air tanah (MAT). Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap muka air tanah sebesar **0.902** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap muka air tanah sebesar **0.771**. Sedangkan rata-rata untuk muka air tanah 0.5H to 0.25H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.896** dan muka air tanah 0.75H to 0.25H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.751**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan 20 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 16 m, dan sudut lereng ( $\beta$ ) (1v:3H) dengan variabel pembanding muka air tanah. Kestabilan lereng akan berkurang jika kondisi muka air tanah (MAT) naik dalam bidang lereng. Hal ini disebabkan berkurangnya tegangan efektif tanah.

Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh muka air tanah pada lereng timbunan relatif lebih besar dibanding pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan itu sendiri.

#### **4.4.2 Penurunan Nilai *Safety factor* Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Sudut Lereng Timbunan ( $\beta$ ) Pada Efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6**

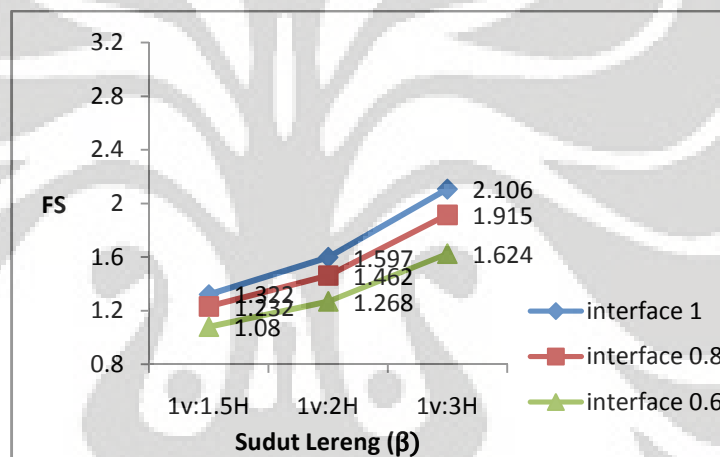
Berikut analisa penurunan *safety factor* akibat penurunan efisiensi *interface Subsurface Drains* (geotekstil) – tanah timbunan terhadap perubahan sudut lereng ( $\beta$ ).

- **Kondisi c10-MAT 0.5H-H10**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c10-MAT 0.5H-H10 adalah

**Tabel 4.14** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H- H10

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
1v:1.5H	1.322	1.232	1.08
1v:2H	1.597	1.462	1.268
1v:3H	2.106	1.915	1.624



**Gambar 4.18** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H-H10

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser  $10 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 10 m dan MAT 0.5 H, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring naiknya nilai besaran sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) berdasarkan **Gambar 4.18**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing sudut lereng ( $\beta$ ).



**Tabel 4.15** Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.5H-H10 terhadap efisiensi *interface*

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1v:1.5H	0.932	0.817
1v:2H	0.915	0.794
1v:3H	0.909	0.771

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap sudut lereng timbunan ( $\beta$ ). Pada sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:1.5H masing-masing rasionya adalah 0.932 dan 0.817. Untuk sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:2H masing-masing rasionya adalah 0.915 dan 0.794. Sedangkan untuk sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H masing-masing rasionya adalah 0.909 dan 0.771.

Penurunan FS juga terjadi antar sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.16** Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.5H-H10 terhadap sudut lereng ( $\beta$ )

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
Sudut 1v:1.5H to 1v:3H	0.628	0.643	0.665
Sudut 1v:2H to 1v:3H	0.758	0.763	0.781

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H dan 1v:2H to 1v:3H tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.628 dan 0.758. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.643 dan 0.763. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.665 dan 0.781.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan sudut lereng tanah timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap sudut lereng tanah timbunan sebesar **0.918** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap sudut

lereng tanah timbunan sebesar **0.794**. Sedangkan rata-rata sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.645** dan sudut lereng tanah timbunan 1v:2H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.767**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan 10 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 10 m, dan muka air tanah (MAT) 0.5H dengan variabel pembandingan sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ). Kestabilan lereng akan berkurang jika sudut lereng bertambah besar dengan kondisi properti dan geometri lereng yang sama. Hal ini disebabkan bidang gelincir lereng lebih besar sehingga lereng lebih mudah untuk terjadinya longsor.

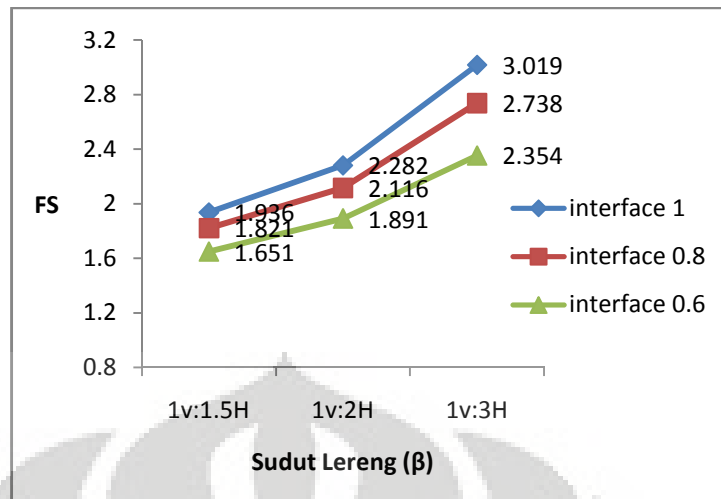
Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa pengaruh sudut lereng tanah timbunan lebih besar daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan itu sendiri.

- **Kondisi c20-MAT 0.25H-H10**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c20-MAT 0.25H-H10 adalah

**Tabel 4.17** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H10

$\beta$ (°)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
<b>1v:1.5H</b>	<b>1.936</b>	<b>1.821</b>	<b>1.651</b>
<b>1v:2H</b>	<b>2.282</b>	<b>2.116</b>	<b>1.891</b>
<b>1v:3H</b>	<b>3.019</b>	<b>2.738</b>	<b>2.354</b>



**Gambar 4.19** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H10

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser  $20 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 10 m dan MAT 0.25 H, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring naiknya nilai besaran sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) berdasarkan **Gambar 4.19**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing sudut lereng ( $\beta$ ).

**Tabel 4.18** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H10 terhadap efisiensi *interface*

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1v:1.5H	0.941	0.853
1v:2H	0.927	0.829
1v:3H	0.907	0.780

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap sudut lereng timbunan ( $\beta$ ). Pada sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:1.5H masing-masing rasionya adalah 0.941 dan 0.853. Untuk sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:2H masing-masing rasionya adalah 0.927 dan 0.829. Sedangkan untuk sudut

lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H masing-masing rasionya adalah 0.907 dan 0.780.

Penurunan FS juga terjadi antar sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.19** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H10 terhadap sudut lereng ( $\beta$ )

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
Sudut 1v:1.5H to 1v:3H	0.641	0.665	0.701
Sudut 1v:2H to 1v:3H	0.756	0.773	0.803

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H dan 1v:2H to 1v:3H tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.641 dan 0.756. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.665 dan 0.773. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.701 dan 0.803.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan sudut lereng tanah timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap sudut lereng tanah timbunan sebesar **0.925** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap sudut lereng tanah timbunan sebesar **0.820**. Sedangkan rata-rata sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.669** dan sudut lereng tanah timbunan 1v:2H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.777**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan  $20 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 10 m, dan muka air tanah (MAT) 0.25H dengan variabel pembanding sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ). Kestabilan lereng akan berkurang jika sudut lereng bertambah besar dengan kondisi properti dan geometri lereng yang sama. Hal ini juga disebabkan bidang gelincir lereng lebih besar sehingga lereng lebih mudah untuk terjadinya longsor.

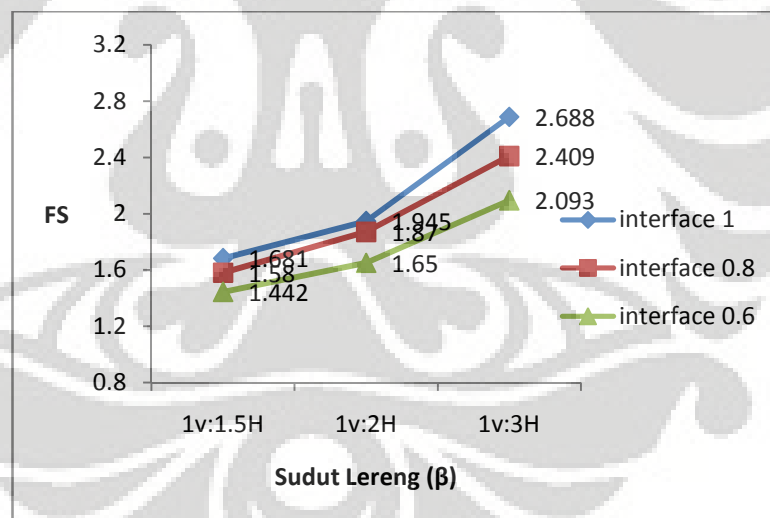
Berdasarkan hasil di atas didapatkan bahwa pengaruh sudut lereng tanah timbunan lebih besar daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

- **Kondisi c20-MAT 0.25H-H13**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c20-MAT 0.25H-H13 adalah

**Tabel 4.20** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H13

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
1v:1.5H	1.681	1.58	1.442
1v:2H	1.945	1.87	1.65
1v:3H	2.688	2.409	2.093



**Gambar 4.20** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H13

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser 20 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 13 m dan MAT 0.25 H, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring naiknya nilai besaran sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) berdasarkan **Gambar 4.20**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing sudut lereng ( $\beta$ ).

**Tabel 4.21** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H13 terhadap efisiensi *interface*

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1v:1.5H	0.940	0.858
1v:2H	0.961	0.848
1v:3H	0.896	0.779

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap sudut lereng timbunan ( $\beta$ ). Pada sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:1.5H masing-masing rasionya adalah 0.940 dan 0.858. Untuk sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:2H masing-masing rasionya adalah 0.961 dan 0.848. Sedangkan untuk sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H masing-masing rasionya adalah 0.896 dan 0.779.

Penurunan FS juga terjadi antar sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.22** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H13 terhadap sudut lereng ( $\beta$ )

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
Sudut 1v:1.5H to 1v:3H	0.625	0.656	0.689
Sudut 1v:2H to 1v:3H	0.724	0.776	0.788

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H dan 1v:2H to 1v:3H tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.625 dan 0.724. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah

0.656 dan 0.776. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.689 dan 0.788.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan sudut lereng tanah timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap sudut lereng tanah timbunan sebesar **0.932** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap sudut lereng tanah timbunan sebesar **0.828**. Sedangkan rata-rata sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.656** dan sudut lereng tanah timbunan 1v:2H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.762**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan 20 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 13 m, dan muka air tanah (MAT) 0.25H dengan variabel pembanding sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ). Kestabilan lereng akan berkurang jika sudut lereng bertambah besar dengan kondisi properti dan geometri lereng yang sama. Hal ini disebabkan bidang gelincir lereng lebih besar sehingga lereng lebih mudah untuk terjadinya longsor.

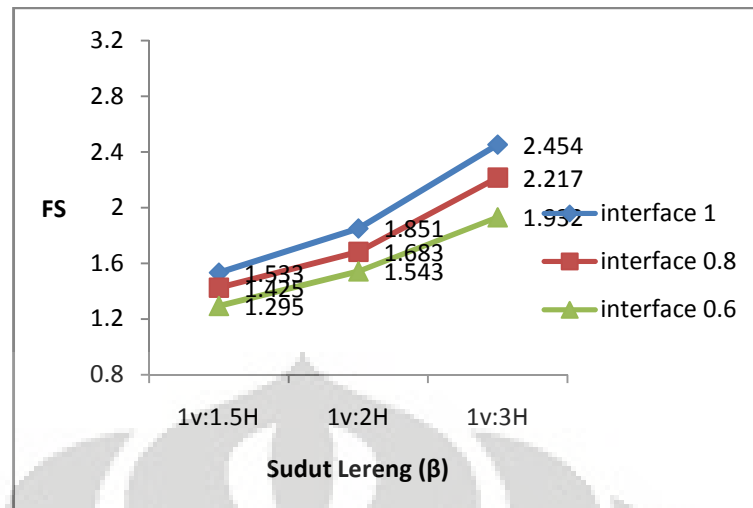
Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh sudut lereng tanah timbunan lebih besar daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

- **Kondisi c20-MAT 0.25H-H16**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c20-MAT 0.25H-H16 adalah

**Tabel 4.23** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H16

$\beta$ (°)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
<b>1v:1.5H</b>	<b>1.533</b>	<b>1.425</b>	<b>1.295</b>
<b>1v:2H</b>	<b>1.851</b>	<b>1.683</b>	<b>1.543</b>
<b>1v:3H</b>	<b>2.454</b>	<b>2.217</b>	<b>1.932</b>



**Gambar 4.21** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H16

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser  $20 \text{ kN/m}^2$ , tinggi timbunan 16 m dan MAT 0.25 H, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring naiknya nilai besaran sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) berdasarkan **Gambar 4.21**

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing sudut lereng ( $\beta$ ).

**Tabel 4.24** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H16 terhadap efisiensi *interface*.

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1v:1.5H	0.930	0.845
1v:2H	0.909	0.834
1v:3H	0.903	0.787

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap sudut lereng timbunan ( $\beta$ ). Pada sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:1.5H masing-masing rasionya adalah 0.930 dan 0.845. Untuk sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:2H masing-masing rasionya adalah 0.909 dan 0.834. Sedangkan untuk sudut



lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H masing-masing rasionya adalah 0.903 dan 0.787.

Penurunan FS juga terjadi antar sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.25** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H-H16 terhadap sudut lereng ( $\beta$ )

Sudut lereng ( $\beta$ )	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
Sudut 1v:1.5H to 1v:3H	0.625	0.643	0.670
Sudut 1v:2H to 1v:3H	0.754	0.759	0.799

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H dan 1v:2H to 1v:3H tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.625 dan 0.754. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.643 dan 0.759. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.670 dan 0.799.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan sudut lereng tanah timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap sudut lereng tanah timbunan sebesar **0.914** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap sudut lereng tanah timbunan sebesar **0.822**. Sedangkan rata-rata sudut lereng tanah timbunan 1v:1.5H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.646** dan sudut lereng tanah timbunan 1v:2H to 1v:3H untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.777**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan 20 kN/m<sup>2</sup>, tinggi timbunan 16 m, dan muka air tanah (MAT) 0.25H dengan variabel pembanding sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ). Kestabilan lereng akan berkurang jika sudut lereng bertambah besar dengan kondisi properti dan geometri lereng yang sama. Hal ini disebabkan bidang gelincir lereng lebih besar sehingga lereng lebih mudah untuk terjadinya longsor.

Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh sudut lereng tanah timbunan lebih besar daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

#### 4.4.3 Penurunan Nilai *Safety factor* Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Tinggi Lereng Timbunan (H) Pada Efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6

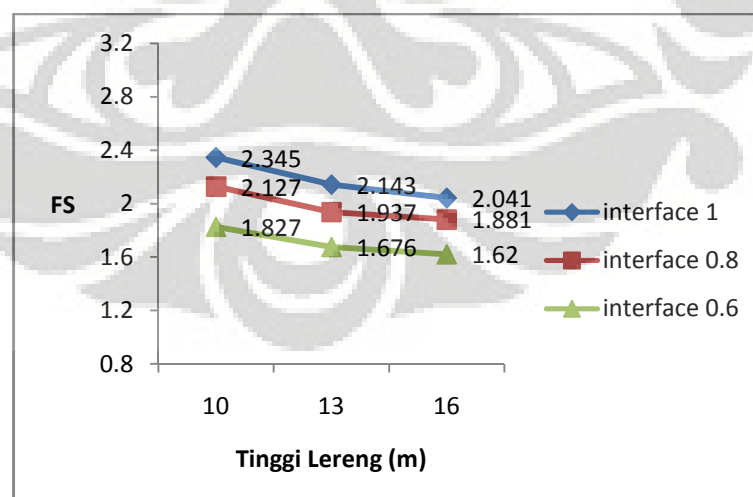
Berikut analisa penurunan *safety factor* akibat penurunan efisiensi *interface Subsurface Drains* (geotekstil) – tanah timbunan.

- **Kondisi c10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) adalah

**Tabel 4.26** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10	2.345	2.127	1.827
13	2.143	1.937	1.676
16	2.041	1.881	1.62



**Gambar 4.22** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser  $10 \text{ kN/m}^2$ , muka air tanah (MAT)  $0.25 H$ , dan sudut lereng timbunan ( $\beta$ )  $1v:3H$  dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring bertambahnya tinggi lereng timbunan (H) berdasarkan **Gambar 4.22**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing tinggi lereng tanah timbunan (H).

**Tabel 4.27** Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap efisiensi *interface*

Tinggi lereng (m)	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
10 m	0.907	0.779
13 m	0.904	0.782
16 m	0.922	0.794

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap tinggi lereng timbunan (H). Pada tinggi lereng timbunan (H) 10 m masing-masing rasionya adalah 0.907 dan 0.779. Untuk tinggi lereng timbunan (H) 13 m masing-masing rasionya adalah 0.904 dan 0.782. Sedangkan untuk tinggi lereng timbunan (H) 16 m masing-masing rasionya adalah 0.922 dan 0.794.

Penurunan FS juga terjadi antar tinggi timbunan pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.28** Ratio penurunan FS kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap tinggi timbunan (H)

Tinggi lereng (m)	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
13 m to 10 m	0.914	0.911	0.917
16 m to 10 m	0.870	0.884	0.887

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS tinggi lereng tanah timbunan 13 m to 10 m dan 16 m to 10 m tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.914 dan 0.870. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.911 dan 0.884. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.917 dan 0.887.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan tinggi lereng timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap tinggi lereng timbunan sebesar **0.911** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap tinggi lereng timbunan sebesar **0.785**. Sedangkan rata-rata tinggi lereng timbunan 13 m to 10 m untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.914** dan tinggi lereng timbunan 16 to 10 m untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.888**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan  $10 \text{ kN/m}^2$ , muka air tanah (MAT)  $0.25H$ , dan sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ )  $1v:3H$  dengan variabel pembanding tinggi lereng timbunan. Kestabilan lereng akan berkurang jika tinggi lereng timbunan bertambah dengan kondisi properti dan geometri lereng yang sama. Hal ini disebabkan massa tanah timbunan bertambah besar sehingga akan berdampak berkurangnya FS.

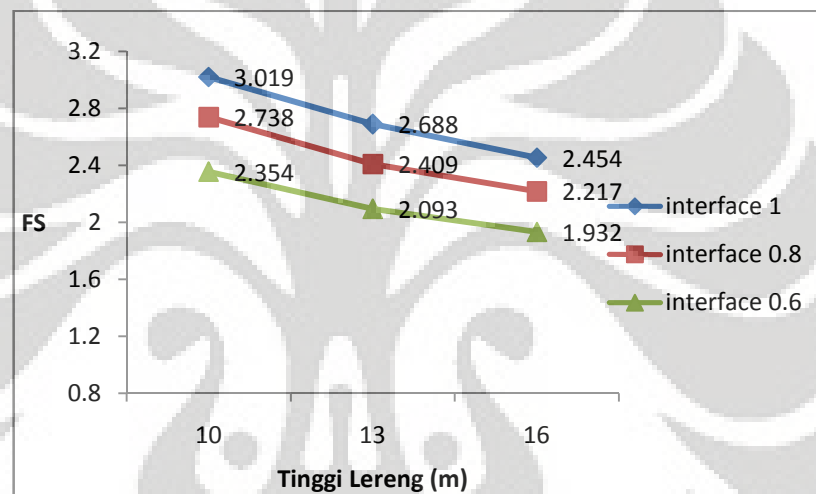
Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh pertambahan tinggi lereng timbunan lebih kecil daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

- **Kondisi c20-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) adalah

**Tabel 4.29** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10	3.019	2.738	2.354
13	2.688	2.409	2.093
16	2.454	2.217	1.932



**Gambar 4.23** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser 20 kN/m<sup>2</sup>, muka air tanah (MAT) 0.25 H, dan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring bertambahnya tinggi lereng timbunan (H) berdasarkan **Gambar 4.23**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing tinggi lereng tanah timbunan (H).

**Tabel 4.30** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap efisiensi *interface*

Tinggi lereng (m)	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
10 m	0.907	0.780
13 m	0.896	0.779
16 m	0.903	0.787

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap tinggi lereng timbunan (H). Pada tinggi lereng timbunan (H) 10 m masing-masing rasionya adalah 0.907 dan 0.780. Untuk tinggi lereng timbunan (H) 13 m masing-masing rasionya adalah 0.896 dan 0.779. Sedangkan untuk tinggi lereng timbunan (H) 16 m masing-masing rasionya adalah 0.903 dan 0.787.

Penurunan FS juga terjadi antar tinggi timbunan pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.31** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap tinggi timbunan (H)

Tinggi lereng (m)	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
13 m to 10 m	0.890	0.880	0.889
16 m to 10 m	0.813	0.810	0.821

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS tinggi lereng tanah timbunan 13 m to 10 m dan 16 m to 10 m tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.914 dan 0.870. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.911 dan 0.884. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.917 dan 0.887.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio

penurunan FS antar efisiensi *interface* dan tinggi lereng timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap tinggi lereng timbunan sebesar **0.902** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap tinggi lereng timbunan sebesar **0.782**. Sedangkan rata-rata tinggi lereng timbunan 13 m to 10 m untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.886** dan tinggi lereng timbunan 16 to 10 m untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.814**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan  $20 \text{ kN/m}^2$ , muka air tanah (MAT)  $0.25H$ , dan sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ )  $1v:3H$  dengan variabel pembanding tinggi lereng timbunan. Kestabilan lereng akan berkurang jika tinggi lereng timbunan bertambah dengan kondisi properti dan geometri lereng yang sama. Hal ini disebabkan massa tanah timbunan bertambah besar sehingga akan berdampak berkurangnya FS.

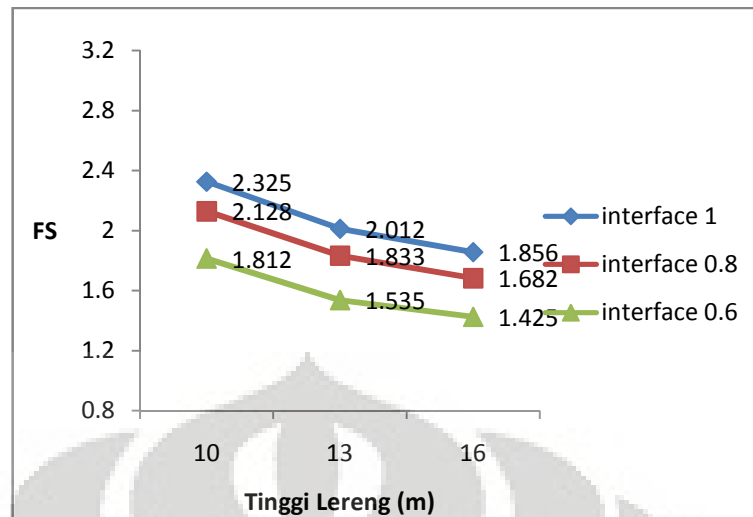
Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh pertambahan tinggi lereng timbunan lebih kecil daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

- **Kondisi c20-MAT 0.75 H- $\beta(1v:3H)$**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c10-MAT  $0.25H-\beta(1v:3H)$  adalah

**Tabel 4.32** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT  $0.75H-\beta(1v:3H)$

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10	2.325	2.128	1.812
13	2.012	1.833	1.535
16	1.856	1.682	1.425



**Gambar 4.24** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti kuat geser 20 kN/m<sup>2</sup>, muka air tanah (MAT) 0.75 H, dan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring bertambahnya tinggi lereng timbunan (H) berdasarkan **Gambar 4.24**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing tinggi lereng tanah timbunan (H).

**Tabel 4.33** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H) terhadap efisiensi *interface*

Tinggi lereng (m)	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
10 m	0.915	0.779
13 m	0.911	0.763
16 m	0.906	0.768

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap tinggi lereng timbunan (H). Pada tinggi lereng timbunan (H) 10 m masing-masing rasionya adalah 0.915 dan 0.719. Untuk tinggi lereng timbunan (H) 13 m



masing-masing rasionya adalah 0.911 dan 0.763. Sedangkan untuk tinggi lereng timbunan (H) 16 masing-masing rasionya adalah 0.906 dan 0.768.

Penurunan FS juga terjadi antar tinggi timbunan pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.34** Ratio penurunan FS kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H) terhadap tinggi timbunan (H)

Tinggi lereng (m)	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
13 m to 10 m	0.865	0.861	0.847
16 m to 10 m	0.798	0.790	0.786

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS tinggi lereng tanah timbunan 13 m to 10 m dan 16 m to 10 m tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 masing-masing rasionya adalah 0.865 dan 0.798. Pada efisiensi *interface* 0.8 masing-masing rasionya adalah 0.861 dan 0.790. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 masing-masing rasionya adalah 0.847 dan 0.786.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan tinggi lereng timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap tinggi lereng timbunan sebesar **0.910** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap tinggi lereng timbunan sebesar **0.77**. Sedangkan rata-rata tinggi lereng timbunan 13 m to 10 m untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.857** dan tinggi lereng timbunan 16 to 10 m untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.791**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan kuat geser tanah timbunan  $20 \text{ kN/m}^2$ , muka air tanah (MAT) 0.75H, dan sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H dengan variabel pembanding tinggi lereng timbunan. Kestabilan lereng akan berkurang jika tinggi lereng timbunan bertambah dengan kondisi properti dan geometri lereng yang

sama. Hal ini disebabkan massa tanah timbunan bertambah besar sehingga akan berdampak berkurangnya FS.

Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh pertambahan tinggi lereng timbunan lebih kecil daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

#### 4.4.4 Penurunan Nilai *Safety factor* Lereng Timbunan Terhadap Perubahan Nilai Kuat Geser (c) Tanah Timbunan Pada Efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6

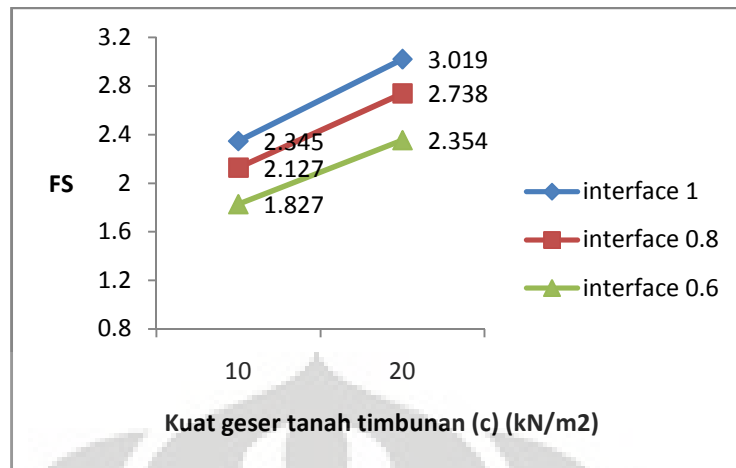
Berikut penurunan *safety factor* akibat penurunan efisiensi *interface* *Subsurface Drains* (geotekstil) – tanah timbunan.

- **Kondisi H10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) adalah

**Tabel 4.35** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10	2.345	2.127	1.827
20	3.019	2.738	2.354



**Gambar 4.25** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti tinggi timbunan 10 m, MAT 0.25 H, dan sudut lereng timbunan  $\beta$  (1v:3H) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring berkurangnya kuat geser tanah timbunan berdasarkan **gambar 4.25**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing kuat geser tanah timbunan.

**Tabel 4.36** Ratio penurunan FS kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap efisiensi *interface*

Kuat geser tanah (kN/m <sup>2</sup> )	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
10	0.907	0.779
20	0.907	0.780

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap kuat geser tanah timbunan (c). Pada kuat geser tanah lereng timbunan (c) 10 kN/m<sup>2</sup> masing-masing rasionya adalah **0.907** dan **0.779**. Untuk kuat geser tanah lereng timbunan (c) 20 kN/m<sup>2</sup> masing-masing rasionya adalah **0.907** dan **0.780**.

Penurunan FS juga terjadi antar tinggi timbunan pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.37** Ratio penurunan FS kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap kuat geser tanah timbunan

Kuat geser tanah (kN/m <sup>2</sup> )	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10 to 20	0.777	0.777	0.776

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS kuat geser tanah lereng tanah timbunan 10 kN/m<sup>2</sup> to 20 kN/m<sup>2</sup> tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 rasionya adalah **0.777**. Pada efisiensi *interface* 0.8 rasionya adalah **0.777**. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 rasionya adalah **0.776**.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan kuat geser tanah timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap kuat geser tanah timbunan sebesar **0.907** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap kuat geser tanah timbunan sebesar **0.779**. Sedangkan rata-rata kuat geser tanah lereng timbunan 10 kN/m<sup>2</sup> to 20 kN/m<sup>2</sup> untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.776**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan tinggi timbunan 10 m, muka air tanah (MAT) 0.25H, dan sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H dengan variabel pembanding kuat geser tanah timbunan. Kuat geser tanah menentukan kekuatan atau kestabilan tanah. Makin besar kuat geser tanah maka tanah tersebut akan semakin stabil karena tegangan tanahnya naik.

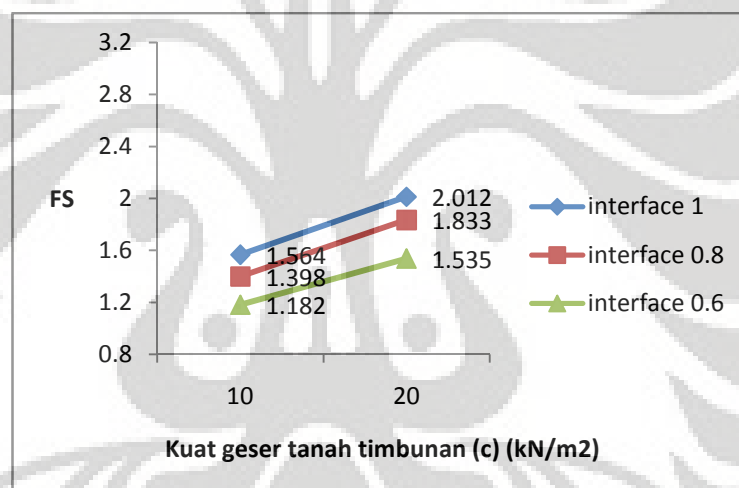
Berdasarkan data di atas diperoleh bahwa pengaruh pengurangan kuat geser tanah lereng timbunan lebih besar daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

- **Kondisi H13-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) adalah

**Tabel 4.38** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10	1.564	1.398	1.182
20	2.012	1.833	1.535



**Gambar 4.26** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti tinggi timbunan 13 m, MAT 0.75 H, dan sudut lereng timbunan  $\beta$  (1v:3H) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring berkurangnya kuat geser tanah timbunan berdasarkan **gambar 4.26**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing kuat geser tanah timbunan.

**Tabel 4.39** Ratio penurunan FS kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H) terhadap efisiensi *interface*

Kuat geser tanah (kN/m <sup>2</sup> )	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
10	0.894	0.756
20	0.911	0.763

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap kuat geser tanah timbunan (c). Pada kuat geser tanah lereng timbunan (c) 10 kN/m<sup>2</sup> masing-masing rasionya adalah **0.894** dan **0.756**. Untuk kuat geser tanah lereng timbunan (c) 20 kN/m<sup>2</sup> masing-masing rasionya adalah **0.911** dan **0.763**.

Penurunan FS juga terjadi antar tinggi timbunan pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.40** Ratio penurunan FS kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H) terhadap kuat geser tanah timbunan

Kuat geser tanah (kN/m <sup>2</sup> )	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10 to 20	0.777	0.763	0.770

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS kuat geser tanah lereng tanah timbunan 10 kN/m<sup>2</sup> to 20 kN/m<sup>2</sup> tiap efisiensi *interface*. Pada efisiensi *interface* 1 rasionya adalah **0.777**. Pada efisiensi *interface* 0.8 rasionya adalah **0.763**. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 rasionya adalah **0.770**.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan kuat geser tanah timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap kuat geser tanah timbunan sebesar **0.902** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap kuat geser tanah timbunan sebesar **0.759**. Sedangkan rata-rata kuat geser tanah

lereng timbunan  $10 \text{ kN/m}^2$  to  $20 \text{ kN/m}^2$  untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.770**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan tinggi timbunan 13 m, muka air tanah (MAT) 0.75H, dan sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H dengan variabel pembanding kuat geser tanah timbunan. Kuat geser tanah menentukan kekuatan atau kestabilan tanah. Makin besar kuat geser tanah maka tanah tersebut akan semakin stabil karena tegangan tanahnya naik.

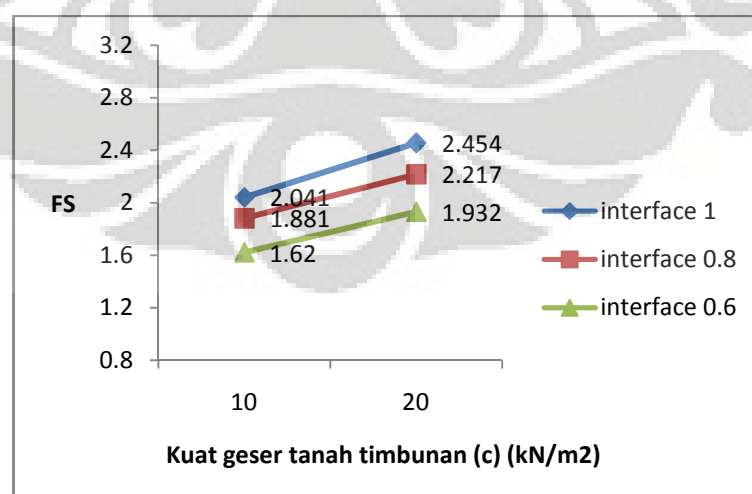
Berdasarkan data di atas didapatkan bahwa pengaruh pengurangan kuat geser tanah lereng timbunan lebih besar daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

- **Kondisi H16-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

Analisa *safety factor* untuk lereng timbunan kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H) adalah

**Tabel 4.41** Penurunan nilai *safety factor* terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10	2.041	1.881	1.62
20	2.454	2.217	1.932



**Gambar 4.27** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H)

Pada kondisi lereng timbunan dengan properti tinggi timbunan 16 m, MAT 0.25 H, dan sudut lereng timbunan  $\beta$  (1v:3H) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai *safety factor* antara efisiensi *interface* 1, 0.8, dan 0.6 seiring berkurangnya kuat geser tanah timbunan berdasarkan **gambar 4.27**.

Pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 terjadi penurunan nilai *safety factor* untuk masing-masing kuat geser tanah timbunan.

**Tabel 4.42** Ratio penurunan FS kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap efisiensi *interface*

Kuat geser tanah (kN/m <sup>2</sup> )	Ratio penurunan FS	
	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
10	0.922	0.794
20	0.903	0.787

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 tiap kuat geser tanah timbunan (c). Pada kuat geser tanah lereng timbunan (c) 10 kN/m<sup>2</sup> masing-masing rasionya adalah **0.922** dan **0.794**. Untuk kuat geser tanah lereng timbunan (c) 20 kN/m<sup>2</sup> masing-masing rasionya adalah **0.903** dan **0.787**.

Penurunan FS juga terjadi antar tinggi timbunan pada masing-masing efisiensi *interface*.

**Tabel 4.43** Ratio penurunan FS kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H) terhadap kuat geser tanah timbunan

Kuat geser tanah (kN/m <sup>2</sup> )	Ratio penurunan FS		
	efisiensi <i>interface</i> 1	efisiensi <i>interface</i> 0.8	efisiensi <i>interface</i> 0.6
10 to 20	0.832	0.848	0.839

Berdasarkan tabel di atas, terjadi ratio penurunan FS kuat geser tanah lereng tanah timbunan 10 kN/m<sup>2</sup> to 20 kN/m<sup>2</sup> tiap efisiensi *interface*. Pada



efisiensi *interface* 1 rasionya adalah **0.832**. Pada efisiensi *interface* 0.8 rasionya adalah **0.848**. Sedangkan untuk efisiensi *interface* 0.6 rasionya adalah **0.839**.

Setelah ratio penurunan FS antar sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) dan antar efisiensi *interface* dibandingkan, didapatkan bahwa ratio penurunan FS antar efisiensi *interface* dan kuat geser tanah timbunan. Rata-rata untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 untuk setiap kuat geser tanah timbunan sebesar **0.912** dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 untuk setiap kuat geser tanah timbunan sebesar **0.790**. Sedangkan rata-rata kuat geser tanah lereng timbunan 10 kN/m<sup>2</sup> to 20 kN/m<sup>2</sup> untuk setiap efisiensi *interface* sebesar **0.839**. Berdasarkan hasil tersebut, untuk kondisi lereng timbunan dengan tinggi timbunan 16 m, muka air tanah (MAT) 0.25H, dan sudut lereng tanah timbunan ( $\beta$ ) 1v:3H dengan variabel pembanding kuat geser tanah timbunan. Kuat geser tanah menentukan kekuatan atau kestabilan tanah. Makin besar kuat geser tanah maka tanah tersebut akan semakin stabil karena tegangan tanahnya naik.

Berdasarkan data di atas diperoleh bahwa pengaruh pengurangan kuat geser tanah lereng timbunan lebih besar daripada pengaruh perubahan efisiensi *interface* antara tanah – subsurface drains (geotekstil) terhadap kestabilan (FS) lereng timbunan.

#### **4.5 PERBANDINGAN PENGARUH FAKTOR VARIABEL TERKAIT EFISIENSI *INTERFACE* SUBSURFACE DRAINS - TANAH TIMBUNAN TERHADAP KESTABILAN LERENG TIMBUNAN**

Setelah dilakukan analisa untuk beberapa pemodelan, didapatkan rata-rata ratio penurunan *safety factor* pada tiap variabel pembanding untuk efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1. Berikut adalah hasil rata-rata ratio penurunan *safety factor* tiap variabel pembanding.

**Tabel 4.44** Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat pengaruh muka air tanah (MAT) pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1

No	Muka Air Tanah (MAT)	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1	Kondisi c10-H10- $\beta$ (1v:1.5H)	0.921	0.835
2	Kondisi c10-H10- $\beta$ (1v:2H)	0.914	0.797
3	Kondisi c10-H10- $\beta$ (1v:3H)	0.902	0.770
4	Kondisi c10-H13- $\beta$ (1v:1.5H)	0.958	0.881
5	Kondisi c10-H13- $\beta$ (1v:2H)	0.920	0.824
6	Kondisi c10-H13- $\beta$ (1v:3H)	0.898	0.771
7	Kondisi c10-H16- $\beta$ (1v:1.5H)	0.949	0.862
8	Kondisi c10-H16- $\beta$ (1v:2H)	0.924	0.836
9	Kondisi c10-H16- $\beta$ (1v:3H)	0.921	0.795
10	Kondisi c20-H10- $\beta$ (1v:1.5H)	0.955	0.874
11	Kondisi c20-H10- $\beta$ (1v:2H)	0.946	0.831
12	Kondisi c20-H10- $\beta$ (1v:3H)	0.888	0.760
13	Kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:1.5H)	0.933	0.838
14	Kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:2H)	0.968	0.846
15	Kondisi c20-H13- $\beta$ (1v:3H)	0.906	0.775
16	Kondisi c20-H16- $\beta$ (1v:1.5H)	0.935	0.840
17	Kondisi c20-H16- $\beta$ (1v:2H)	0.937	0.835
18	Kondisi c20-H16- $\beta$ (1v:3H)	0.903	0.772
	<b>Rata-rata</b>	<b>0.927</b>	<b>0.819</b>

**Tabel 4.45** Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat pengaruh sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1

No	Sudut Lereng timbunan ( $\beta$ )	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1	Kondisi c10-H10-MAT 0.25H	0.927	0.818
2	Kondisi c10-H10-MAT 0.5H	0.919	0.794
3	Kondisi c10-H10-MAT 0.75H	0.892	0.767
4	Kondisi c10-H13-MAT 0.25H	0.937	0.826
5	Kondisi c10-H13-MAT 0.5H	0.918	0.830
6	Kondisi c10-H13-MAT 0.75H	0.902	0.756
7	Kondisi c10-H16-MAT 0.25H	0.936	0.845
8	Kondisi c10-H16-MAT 0.5H	0.931	0.817
9	Kondisi c10-H16-MAT 0.75H	0.909	<b>0.000</b>
10	Kondisi c20-H10-MAT 0.25H	0.925	0.820
11	Kondisi c20-H10-MAT 0.5H	0.921	0.811
12	Kondisi c20-H10-MAT 0.75H	0.944	0.833
13	Kondisi c20-H13-MAT 0.25H	0.933	0.828

No	Sudut Lereng timbunan ( $\beta$ )	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
14	Kondisi c20-H13-MAT 0.5H	0.937	0.822
15	Kondisi c20-H13-MAT 0.75H	0.937	0.809
16	Kondisi c20-H16-MAT 0.25H	0.914	0.822
17	Kondisi c20-H16-MAT 0.5H	0.932	0.816
18	Kondisi c20-H16-MAT 0.75H	0.925	0.794
<b>Rata-rata</b>		<b>0.924</b>	<b>0.812</b>

**Tabel 4.46** Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat pengaruh tinggi lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1

No	Tinggi Lereng timbunan (H)	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1	Kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.963	0.873
2	Kondisi c10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.926	0.831
3	Kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.911	0.785
4	Kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.932	0.846
5	Kondisi c10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.924	0.815
6	Kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.912	0.781
7	Kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.891	<b>0.000</b>
8	Kondisi c10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.902	0.773
9	Kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.897	0.758
10	Kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.937	0.852
11	Kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.933	0.837
12	Kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.902	0.782
13	Kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.946	0.850
14	Kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.960	0.844
15	Kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.883	0.755
16	Kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.943	0.856
17	Kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.959	0.831
18	Kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.911	0.770
<b>Rata-rata</b>		<b>0.924</b>	<b>0.814</b>

**Tabel 4.47** Perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat kuat geser tanah timbunan lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1

No	Kuat geser tanah timbunan (c)	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
1	Kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.940	0.853
2	Kondisi H10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.930	0.826

No	Kuat geser tanah timbunan (c)	Efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1
3	Kondisi H10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.907	0.779
4	Kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.951	0.846
5	Kondisi H10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.934	0.816
6	Kondisi H10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.875	0.746
7	Kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.923	0.894
8	Kondisi H10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.928	0.800
9	Kondisi H10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.902	0.770
10	Kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.962	0.869
11	Kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.943	0.833
12	Kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.900	0.780
13	Kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.931	0.861
14	Kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.949	0.837
15	Kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.903	0.779
16	Kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.930	0.818
17	Kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.940	0.846
18	Kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.902	0.759
19	Kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.947	0.866
20	Kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.915	0.843
21	Kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.913	0.791
22	Kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	0.936	0.837
23	Kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.943	0.835
24	Kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.915	0.778
25	Kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
26	Kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)	0.944	0.820
27	Kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)	0.908	0.768
<b>Rata-rata</b>		<b>0.926</b>	<b>0.817</b>

Ratio penurunan FS efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 bernilai **0.000** adalah perbandingan nilai FS pemodelan yang mengalami *collapse* sehingga nilainya dianggap tidak ada (nol).

Setelah dilakukan analisa terhadap *safety factor* untuk pemodelan lereng timbunan, efisiensi *interface* antara tanah-*subsurface drains* (geotekstil) berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Makin tinggi nilai efisiensi *interface* antara tanah – *subsurface drains* (geotekstil) maka kestabilan lereng akan lebih baik. Dalam hal ini jenis geotekstil yang menentukan. Tekstur geotekstil yang

lebih kasar akan menghasilkan efisiensi *interface* geotekstil - subsurface drains lebih besar.

Berikut adalah perbandingan rata-rata ratio penurunan FS akibat variabel pembanding pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1.

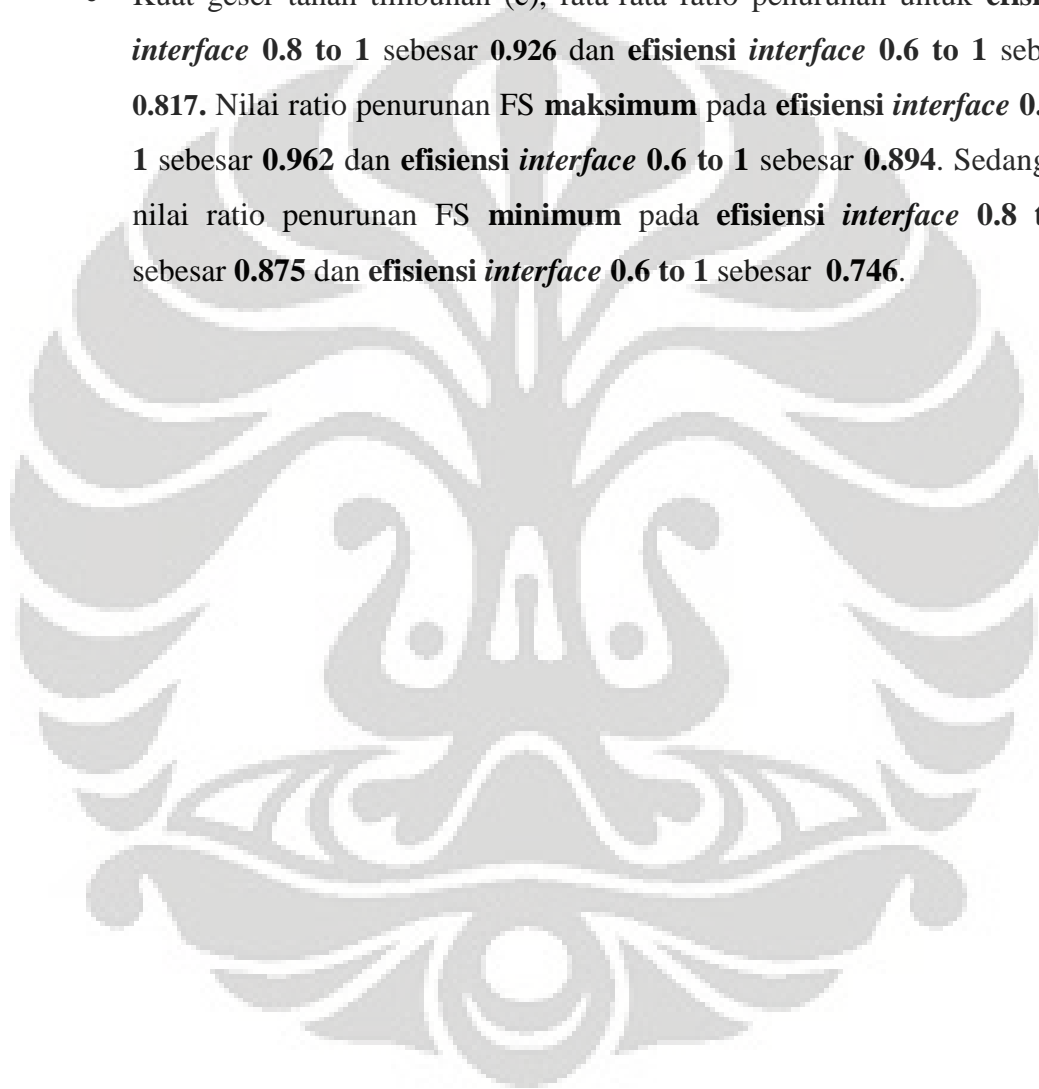
**Tabel 4.48** Perbandingan minimum, maksimum, median, dan rata-rata ratio penurunan FS akibat variabel pembanding pada efisiensi *interface* 0.8 to 1 dan efisiensi *interface* 0.6 to 1 seluruh kondisi pemodelan

Pengaruh Efisiensi <i>interface</i>	MAT		Sudut lereng timbunan ( $\beta$ )		Tinggi timbunan (H)		Kuat geser tanah timbunan (c)	
	efisiensi <i>interface</i> 0.8 to 1	Minimum	0.888	Minimum	0.892	Minimum	0.883	Minimum
Maksimum		0.968	Maksimum	0.944	Maksimum	0.963	Maksimum	0.962
Median		0.9225	Median	0.926	Median	0.925	Median	0.93
Rata-rata		0.927	Rata-rata	0.924	Rata-rata	0.924	Rata-rata	0.926
efisiensi <i>interface</i> 0.6 to 1	Minimum	0.76	Minimum	0.756	Minimum	0.755	Minimum	0.746
	Maksimum	0.881	Maksimum	0.845	Maksimum	0.873	Maksimum	0.894
	Median	0.833	Median	0.818	Median	0.831	Median	0.823
	Rata-rata	0.819	Rata-rata	0.812	Rata-rata	0.814	Rata-rata	0.817

Efisiensi *interface* subsurface drains-tanah timbunan berpengaruh terhadap kestabilan lereng tanah timbunan (FS). Semakin kecil efisiensi *interface* antara subsurface drains makin makin besar perlemahan yang diberikan dan begitu juga sebaliknya. Pada **Tabel 4.48** dapat dijelaskan bahwa pada variabel pembanding:

- Muka air tanah (MAT), rata-rata ratio penurunan FS untuk **efisiensi *interface* 0.8 to 1** sebesar **0.927** dan **efisiensi *interface* 0.6 to 1** sebesar **0.819**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi *interface* 0.8 to 1** sebesar **0.968** dan **efisiensi *interface* 0.6 to 1** sebesar **0.881**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi *interface* 0.8 to 1** sebesar **0.888** dan **efisiensi *interface* 0.6 to 1** sebesar **0.76**.
- Sudut lereng timbunan ( $\beta$ ), rata-rata ratio penurunan FS untuk **efisiensi *interface* 0.8 to 1** sebesar **0.924** dan **efisiensi *interface* 0.6 to 1** sebesar **0.812**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi *interface* 0.8 to 1** sebesar **0.944** dan **efisiensi *interface* 0.6 to 1** sebesar **0.845**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi *interface* 0.8 to 1** sebesar **0.892** dan **efisiensi *interface* 0.6 to 1** sebesar **0.756**.

- Tinggi timbunan (H), rata-rata ratio penurunan untuk **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.924** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.814**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.963** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.873**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.883** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.755**.
- Kuat geser tanah timbunan (c), rata-rata ratio penurunan untuk **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.926** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.817**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.962** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.894**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.875** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.746**.



## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

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

- Pemilihan material timbunan dan jenis geotekstil yang digunakan sebagai bahan susurface drain berpengaruh terhadap kestabilan lereng timbunan. Hal ini disebabkan karena terjadi perlemahan pada kekuatan tanah yakni adhesi dan sudut geser (geotekstil – tanah timbunan). Geotekstil yang lebih kasar teksturnya akan memberikan friksi yang lebih besar daripada geotekstil yang teksturnya lebih halus. Perbedaan friksi yang dihasilkan oleh geotekstil – tanah timbunan tersebut akan memberikan efisiensi interface yang berbeda pula. Makin kecil efisiensi interface antar subsurface drains – tanah timbunan maka makin kecil friksi yang dihasilkan. Kondisi ini juga akan didukung dengan adanya penggunaan material timbunan yang baik.
- Kestabilan lereng timbunan untuk setiap efisiensi interface akan:
  - a. berkurang seiring naiknya muka air tanah (MAT) pada properti dan geometri lereng timbunan yang sama.
  - b. berkurang seiring bertambah besarnya sudut lereng timbunan pada properti dan geometri lereng timbunan yang sama.
  - c. berkurang seiring bertambahnya tinggi lereng timbunan pada properti dan geometri lereng timbunan yang sama.
  - d. berkurang seiring berkurangnya kuat geser tanah timbunan lereng timbunan pada properti dan geometri lereng timbunan yang sama.
- Setelah dilakukan perbandingan analisa penurunan *safety factor* lereng timbunan dengan variabel-variabel pembanding seperti: muka air tanah, sudut lereng timbunan, tinggi lereng timbunan, dan kuat geser tanah timbunan didapatkan pengaruh penurunan *safety factor* sebagai berikut.

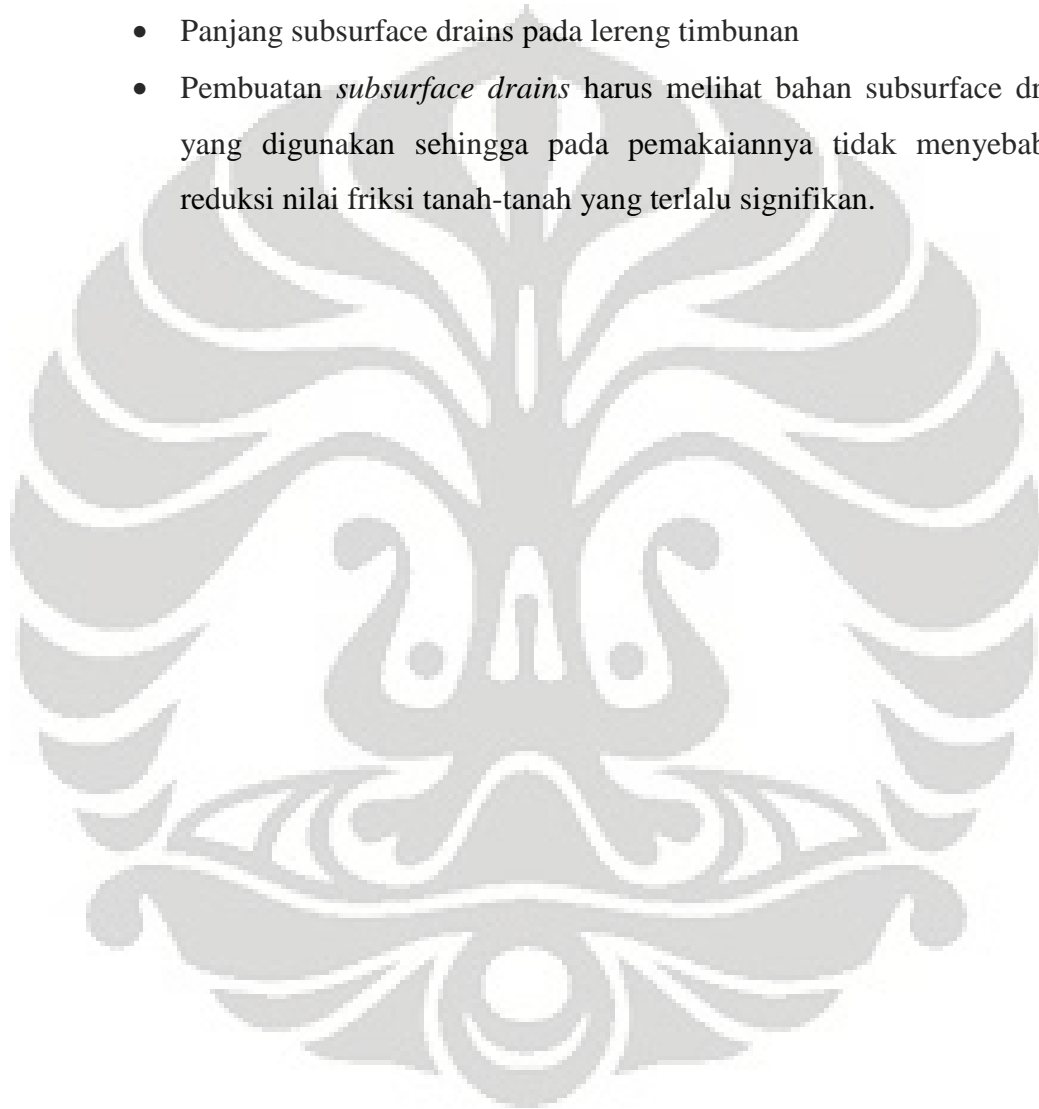
1. Muka air tanah (MAT), rata-rata ratio penurunan FS untuk **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.927** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.819**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.968** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.881**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.888** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.76**.
2. Sudut lereng timbunan ( $\beta$ ), rata-rata ratio penurunan FS untuk **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.924** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.812**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.944** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.845**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.892** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.756**.
3. Tinggi timbunan (H), rata-rata ratio penurunan untuk **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.924** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.814**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.963** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.873**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.883** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.755**.
4. Kuat geser tanah timbunan (c), rata-rata ratio penurunan untuk **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.926** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.817**. Nilai ratio penurunan FS **maksimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.962** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.894**. Sedangkan nilai ratio penurunan FS **minimum** pada **efisiensi interface 0.8 to 1** sebesar **0.875** dan **efisiensi interface 0.6 to 1** sebesar **0.746**.



## 5.2 SARAN

Berikut saran yang dapat peneliti sampaikan kepada peneliti/pembaca untuk melakukan penelitian lebih lanjut dari pengaruh efisiensi interface subsurface drains – tanah timbunan pada lereng timbunan, yaitu:

- Menambahkan variasi nilai sudut geser ( $\theta$ ) tanah timbunan.
- Tata letak subsurface drains (kemiringan subsurface drains)
- Panjang subsurface drains pada lereng timbunan
- Pembuatan *subsurface drains* harus melihat bahan subsurface drains yang digunakan sehingga pada pemakaiannya tidak menyebabkan reduksi nilai friksi tanah-tanah yang terlalu signifikan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Budhu, Muni. 2007. *Soil mechanics and foundations*. University of Arizona. Wiley & Sons, Inc. New York.
- Koerner, Robert M. 1994. *Design with geosynthetics*. 3<sup>rd</sup> edition. Prentice Hall. New Jersey.
- Forrester, Kevin. 2001. *Subsurface Drainage for Slope Stabilization*. ASCE Press. Virginia.
- Duncan, J Michael and Wright, Stephen G. 2005. *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Bromhead, E N. 1992. *The Stability of slopes*. 2<sup>nd</sup> edition. Edmundsbury Press. Kingston.
- 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.
- Prakoso, Widjojo A. dan Bahsan, Erly. 2009. *Jurnal Teknologi Studi Parametrik Kelongsoran Konstruksi Jalan Pada Geomaterial Batu Lempung, TWI Paper Nasional - JT Cipularang*. Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia. Depok.
- Gusesha, Liria. 2009. *Studi Friksi Antara Pasir dan Pasir Kelanauan dengan Geotekstil Menggunakan Alat Uji Geser Langsung*. Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia. Depok.
- 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.

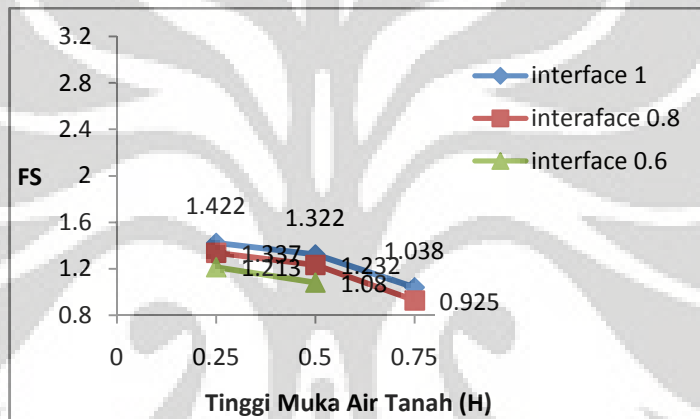


## A. VARIABEL PEMBANDING: MUKA AIR TANAH

- **Kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:1.5H)**

**Tabel L.1** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:1.5H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.422	1.337	1.213
0.5	1.322	1.232	1.08
0.75	1.038	0.925	collaps

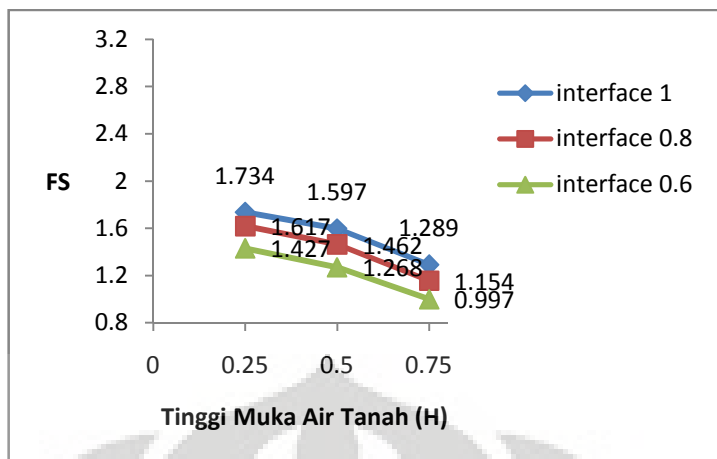


**Gambar L.1** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:2H)**

**Tabel L.2** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H10- $\beta$  (1v:2H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.734	1.617	1.427
0.5	1.597	1.462	1.268
0.75	1.289	1.154	0.997

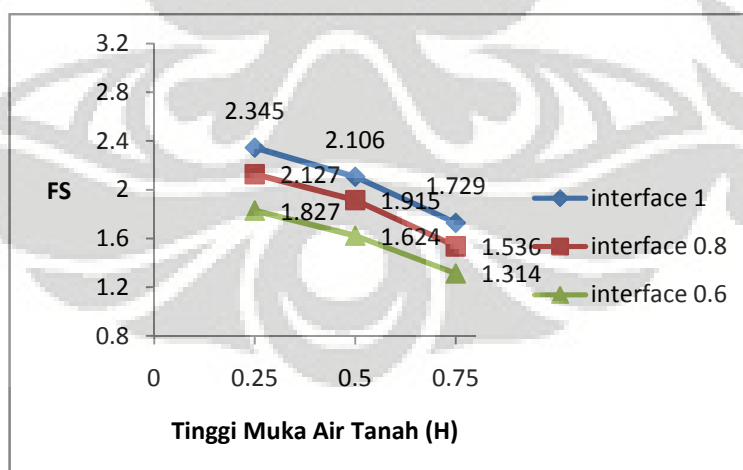


Gambar L.2 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H10-β (1v:2H)

- **Kondisi c10-H10-β (1v:3H)**

Tabel L.3 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H10-β (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	2.345	2.127	1.827
0.5	2.106	1.915	1.624
0.75	1.729	1.536	1.314

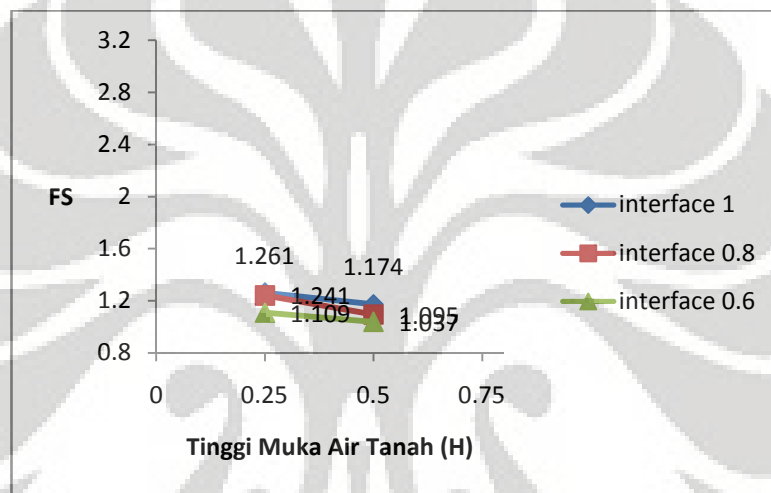


Gambar L.3 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H10-β (1v:3H)

- **Kondisi c10-H13-β (1v:1.5H)**

**Tabel L.4** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H13-β (1v:1.5H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.261	1.241	1.109
0.5	1.174	1.095	1.037
0.75	collaps	collaps	collaps

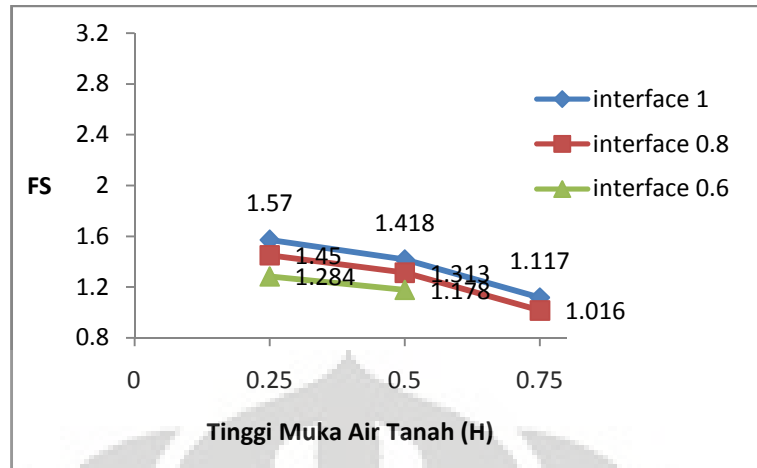


**Gambar L.4** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H13-β (1v:1.5H)

- **Kondisi Kondisi c10-H13-β (1v:2 H)**

**Tabel L.5** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H13-β (1v:2H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.57	1.45	1.284
0.5	1.418	1.313	1.178
0.75	1.117	1.016	collaps

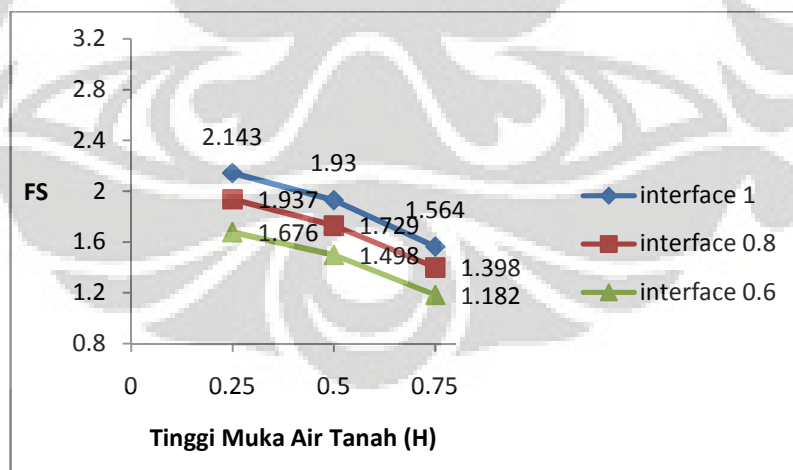


Gambar L.5 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H13- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi c10-H13- $\beta$  (1v:3H)**

Tabel L.6 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H13- $\beta$  (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	2.143	1.937	1.676
0.5	1.93	1.729	1.498
0.75	1.564	1.398	1.182

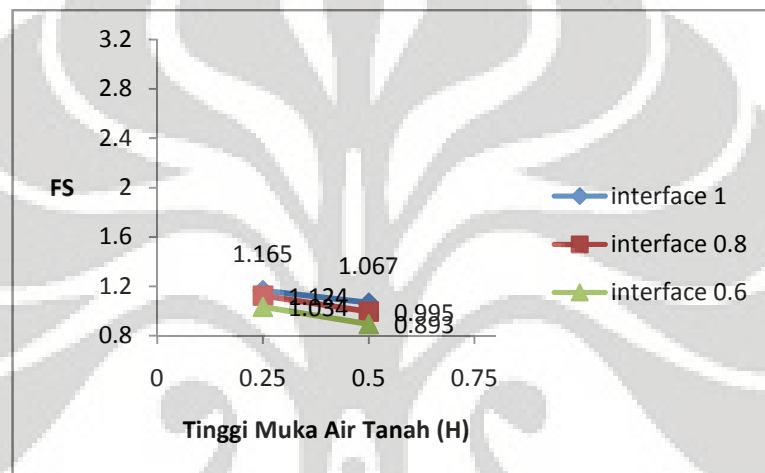


Gambar L.6 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H13- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi c10-H16- $\beta$  (1v:1.5H)**

**Tabel L.7** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H16- $\beta$  (1v:1.5H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.165	1.124	1.034
0.5	1.067	0.995	0.893
0.75	collaps	collaps	collaps



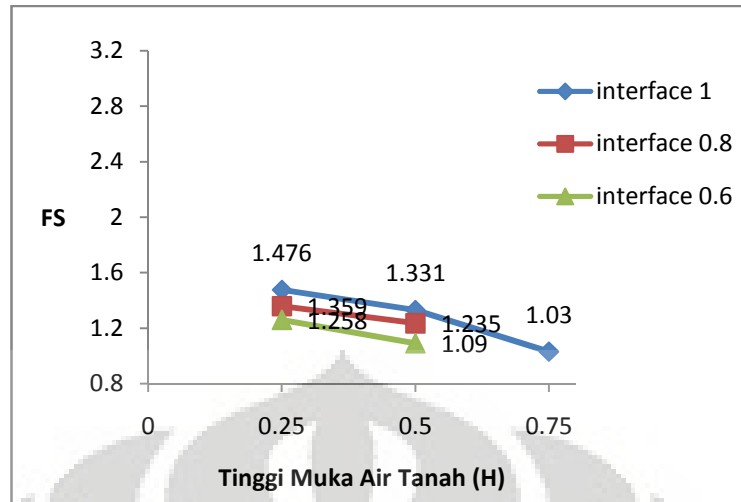
**Gambar L.7** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H16- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi c10-H16- $\beta$  (1v:2H)**

**Tabel L.8** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H16- $\beta$  (1v:2H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.476	1.359	1.258
0.5	1.331	1.235	1.09
0.75	1.03	collaps	collaps



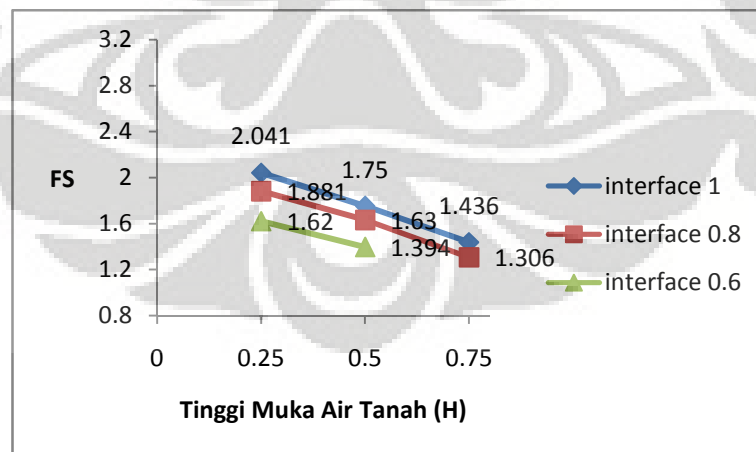


Gambar L.8 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H16-β (1v:2H)

- **Kondisi c10-H16-β (1v:3H)**

Tabel L.9 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-H16-β (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
	1	0.8	0.6
0.25	2.041	1.881	1.62
0.5	1.75	1.63	1.394
0.75	1.436	1.306	collaps

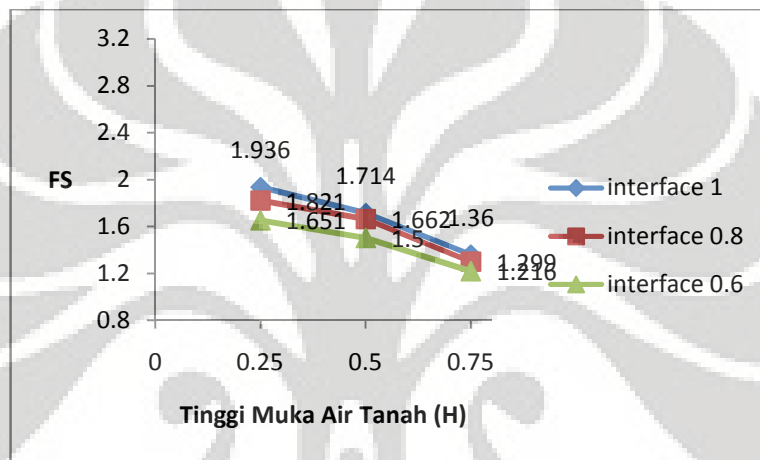


Gambar L.9 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c10-H16-β (1v:3H)

- **Kondisi c20-H10-β(1v:1.5H)**

**Tabel L.10** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H10-β (1v:1.5H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.936	1.821	1.651
0.5	1.714	1.662	1.5
0.75	1.36	1.299	1.216

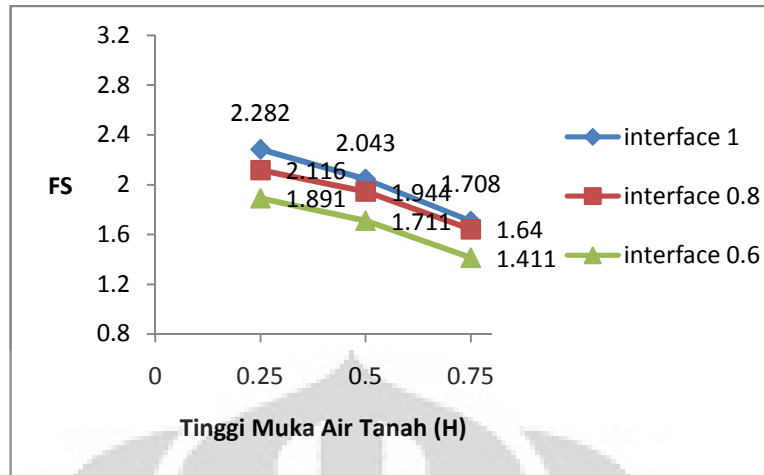


**Gambar L.10** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H10-β (1v:1.5H)

- **Kondisi c20-H10-β(1v:2H)**

**Tabel L.11** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H10-β (1v:2H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	2.282	2.116	1.891
0.5	2.043	1.944	1.711
0.75	1.708	1.64	1.411

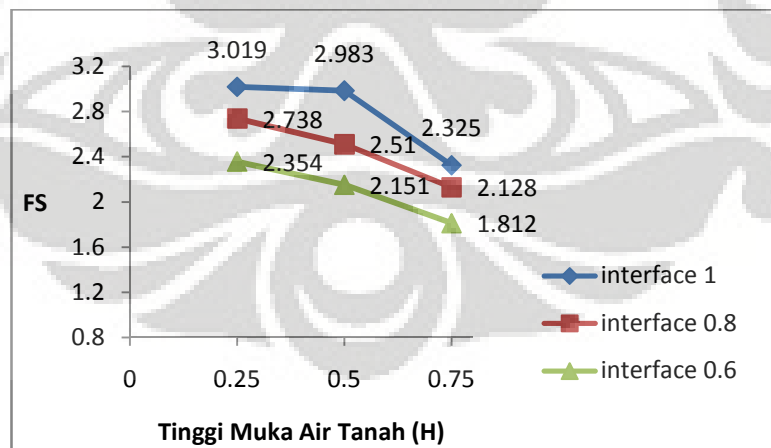


Gambar L.11 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H10- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi c20-H10- $\beta$ (1v:3H)**

Tabel L.12 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H10- $\beta$  (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	3.019	2.738	2.354
0.5	2.983	2.51	2.151
0.75	2.325	2.128	1.812

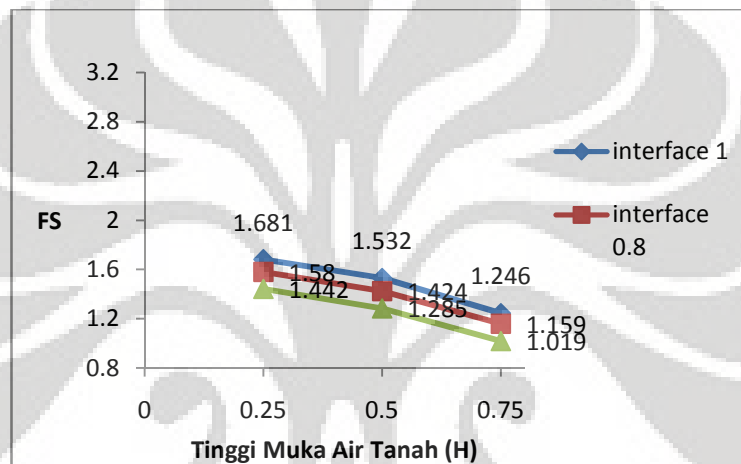


Gambar L.12 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H10- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi c20-H13-β(1v:1.5H)**

**Tabel L.13** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H13-β (1v:1.5H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.681	1.58	1.442
0.5	1.532	1.424	1.285
0.75	1.246	1.159	1.019

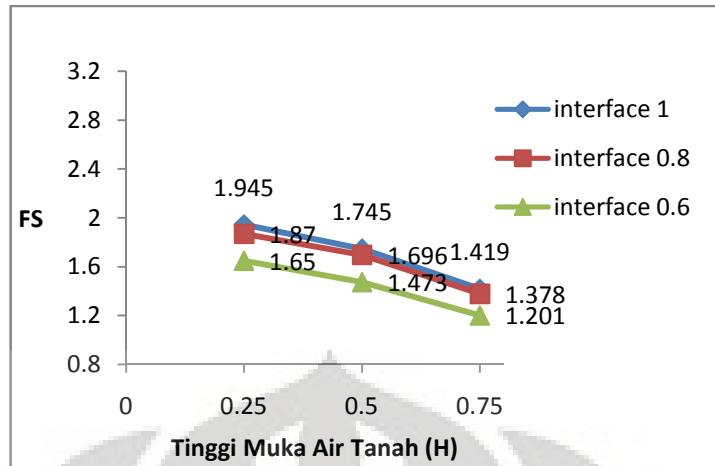


**Gambar L.13** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H13-β (1v:1.5H)

- **Kondisi c20-H13-β(1v:2 H)**

**Tabel L.14** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H13-β (1v:2H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.945	1.87	1.65
0.5	1.745	1.696	1.473
0.75	1.419	1.378	1.201

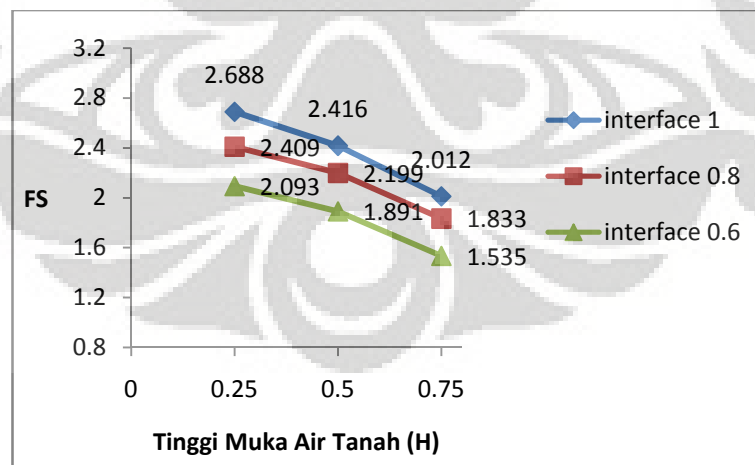


Gambar L.14 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H13-β (1v:2H)

- **Kondisi c20-H13-β(1v:3H)**

Tabel L.15 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H13-β (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	2.688	2.409	2.093
0.5	2.416	2.199	1.891
0.75	2.012	1.833	1.535

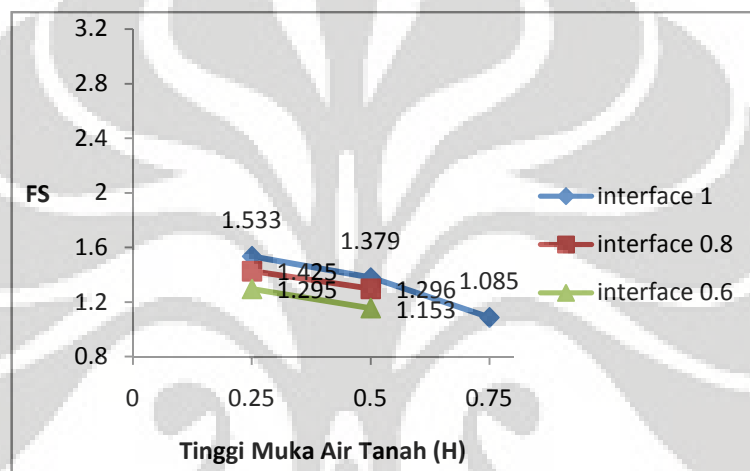


Gambar L.15 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H13-β (1v:3H)

- **Kondisi c20-H16-β(1v:1.5H)**

**Tabel L.16** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H16-β (1v:1.5H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.533	1.425	1.295
0.5	1.379	1.296	1.153
0.75	1.085	collaps	collaps

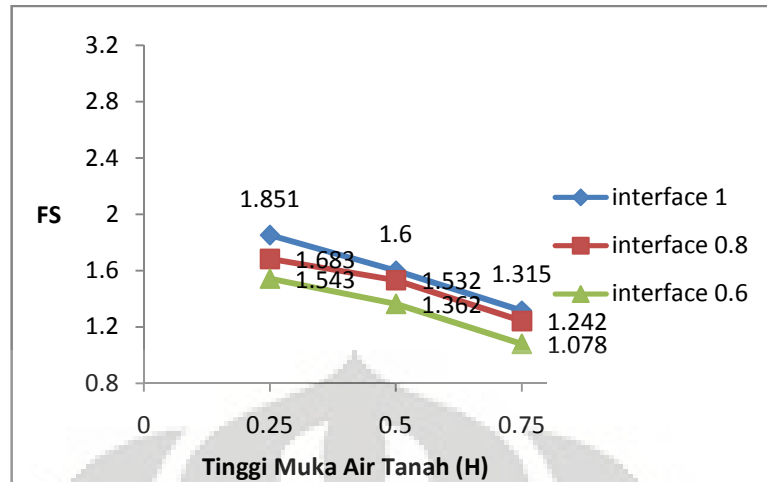


**Gambar L.16** Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H16-β (1v:1.5H)

- **Kondisi c20-H16-β(1v:2H)**

**Tabel L.17** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H16-β (1v:2H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	1.851	1.683	1.543
0.5	1.6	1.532	1.362
0.75	1.315	1.242	1.078

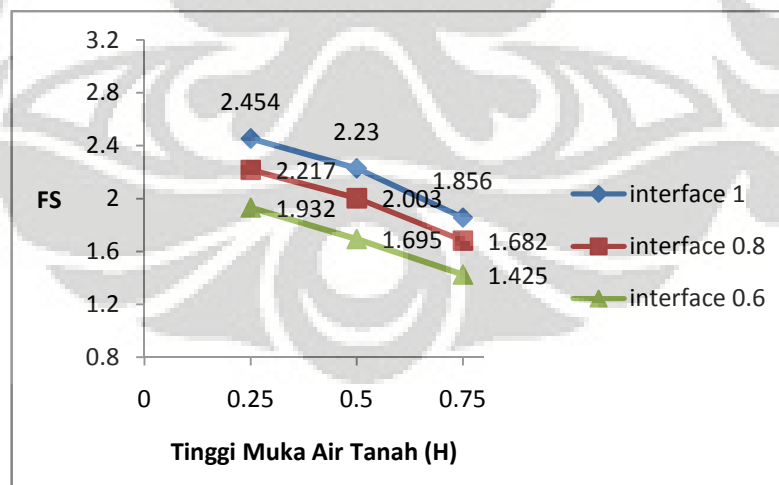


Gambar L.17 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H16-β (1v:2H)

- **Kondisi c20-H16-β(1v:3H)**

Tabel L.18 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan muka air tanah (MAT) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-H16-β (1v:3H)

MAT (H)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
0.25	2.454	2.217	1.932
0.5	2.23	2.003	1.695
0.75	1.856	1.682	1.425



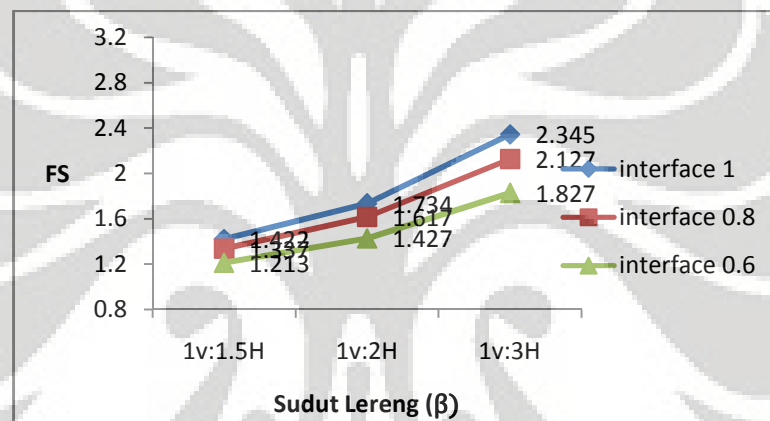
Gambar L.18 Penurunan nilai FS terhadap perubahan MAT pada kondisi c20-H16-β (1v:3H)

## B. VARIABEL PEMBANDING: SUDUT LERENG

- Kondisi c10-MAT 0.25H-H10**

**Tabel L.19** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- H10

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.422	1.337	1.213
1v:2H	1.734	1.617	1.427
1v:3H	2.345	2.127	1.827



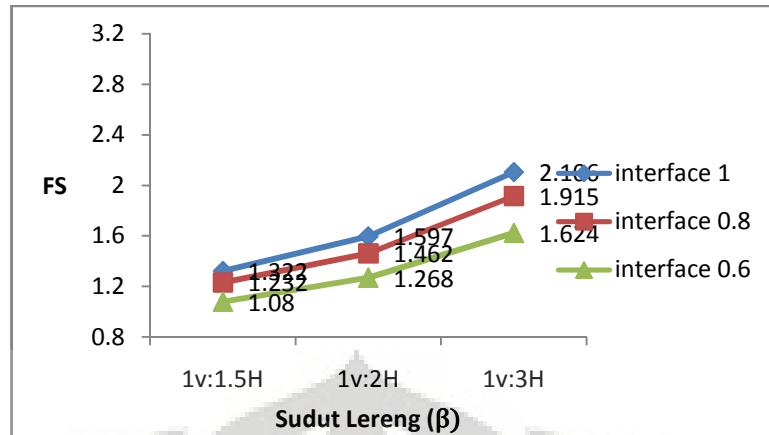
**Gambar L.19** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H-H10

- Kondisi c10-MAT 0.5H-H10**

**Tabel L.20** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H- H10

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.322	1.232	1.08
1v:2H	1.597	1.462	1.268
1v:3H	2.106	1.915	1.624



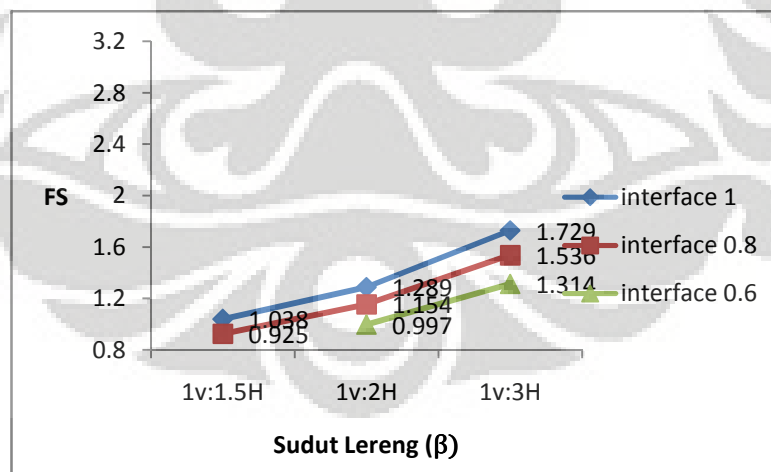


Gambar L.20 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H-H10

- Kondisi c10-MAT 0.75H-H10**

Tabel L.21 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.75H- H10

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.038	0.925	collaps
1v:2H	1.289	1.154	0.997
1v:3H	1.729	1.536	1.314

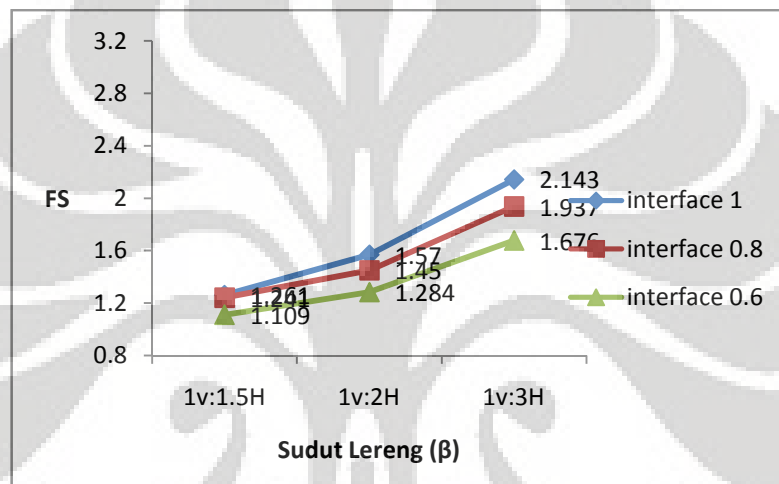


Gambar L.21 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.75H-H10

- **Kondisi c10-MAT 0.25H-H13**

**Tabel L.22** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- H13

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
<b>1v:1.5H</b>	<b>1.261</b>	<b>1.241</b>	<b>1.109</b>
<b>1v:2H</b>	<b>1.57</b>	<b>1.45</b>	<b>1.284</b>
<b>1v:3H</b>	<b>2.143</b>	<b>1.937</b>	<b>1.676</b>

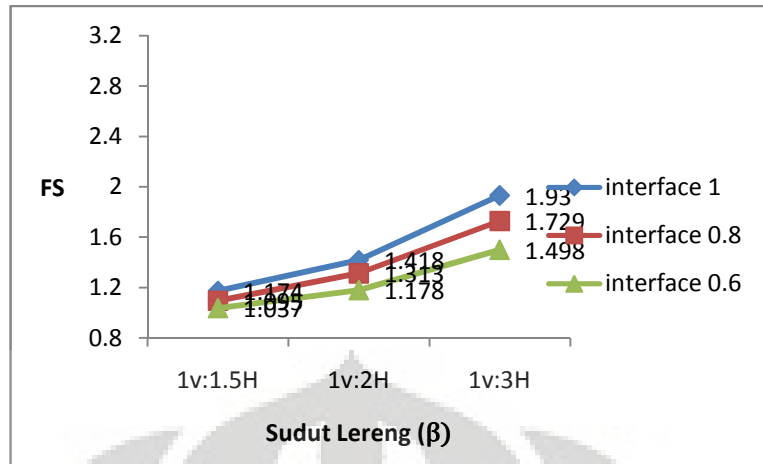


**Gambar L.22** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H-H13

- **Kondisi c10-MAT 0.5H-H13**

**Tabel L.23** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H- H13

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
<b>1v:1.5H</b>	<b>1.174</b>	<b>1.095</b>	<b>1.037</b>
<b>1v:2H</b>	<b>1.418</b>	<b>1.313</b>	<b>1.178</b>
<b>1v:3H</b>	<b>1.93</b>	<b>1.729</b>	<b>1.498</b>

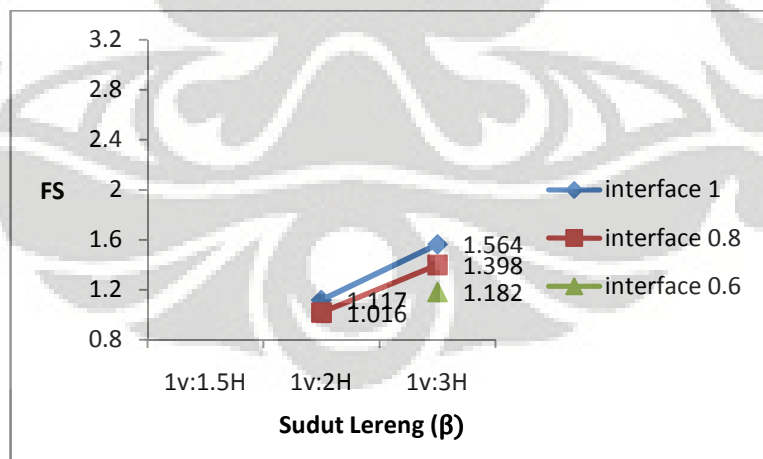


**Gambar L.23** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H-H13

- Kondisi c10-MAT 0.75H-H13**

**Tabel L.24** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.75H- H13

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	collaps	collaps	collaps
1v:2H	1.117	1.016	collaps
1v:3H	1.564	1.398	1.182

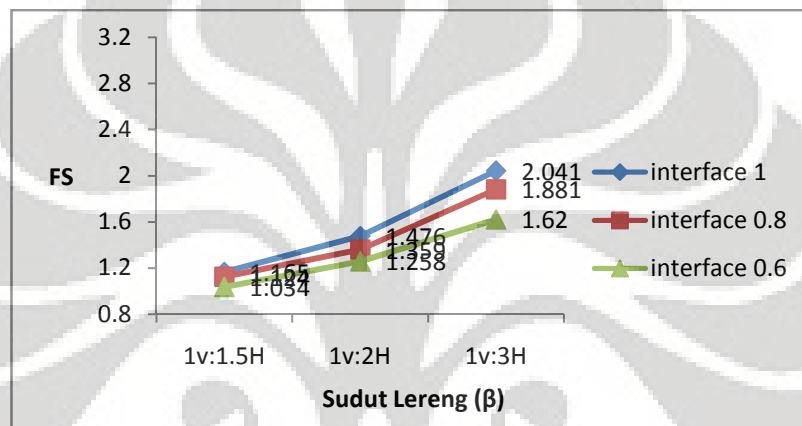


**Gambar L.24** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.75H-H13

- **Kondisi c10-MAT 0.25H-H16**

**Tabel L.25** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- H16

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.165	1.124	1.034
1v:2H	1.476	1.359	1.258
1v:3H	2.041	1.881	1.62

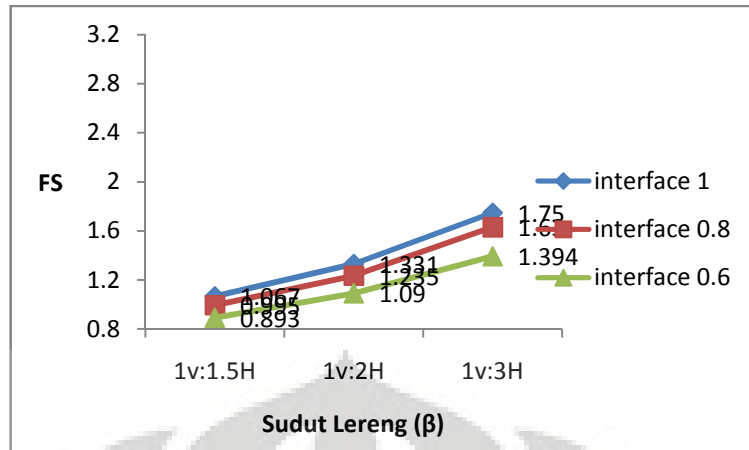


**Gambar L.25** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H-H16

- **Kondisi c10-MAT 0.5H-H16**

**Tabel L.26** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H- H16

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.067	0.995	0.893
1v:2H	1.331	1.235	1.09
1v:3H	1.75	1.63	1.394

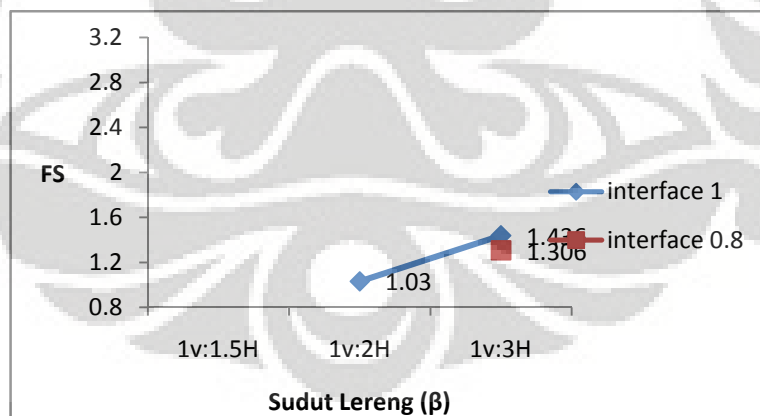


Gambar L.26 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H-H16

- **Kondisi c10-MAT 0.5H-H16**

Tabel L.25 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.75H- H16

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	collaps	collaps	collaps
1v:2H	1.03	collaps	collaps
1v:3H	1.436	1.306	collaps

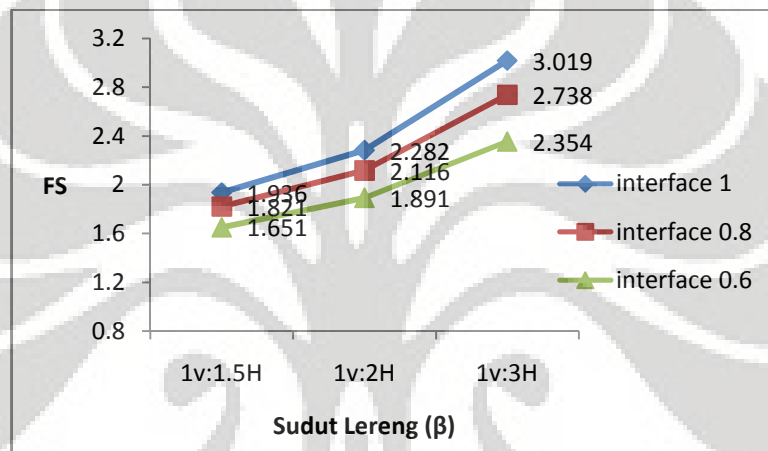


Gambar L.27 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c10-MAT 0.75H-H16

- **Kondisi c20-MAT 0.25H-H10**

**Tabel L.28** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H10

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.936	1.821	1.651
1v:2H	2.282	2.116	1.891
1v:3H	3.019	2.738	2.354

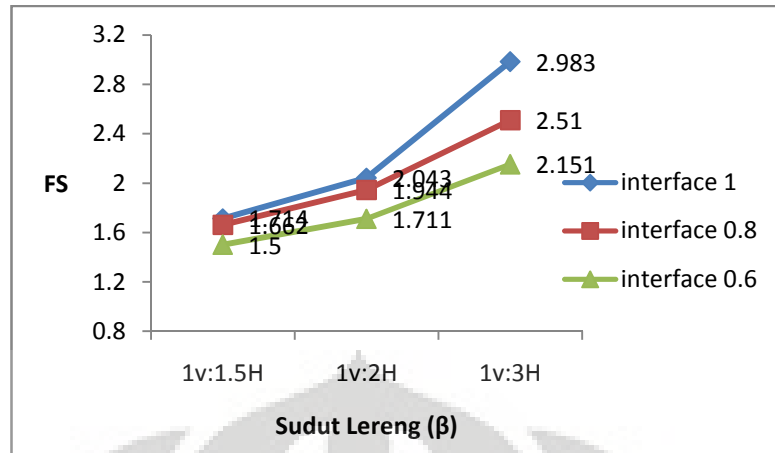


**Gambar L.28** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H10

- **Kondisi c20-MAT 0.5H-H10**

**Tabel L.29** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.5H- H10

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.714	1.662	1.5
1v:2H	2.043	1.944	1.711
1v:3H	2.983	2.51	2.151

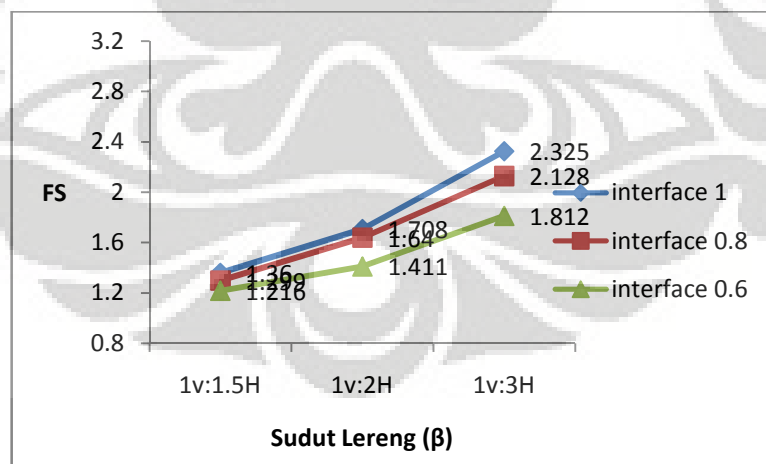


Gambar L.29 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.5H-H10

- **Kondisi c20-MAT 0.75H-H10**

Tabel L.30 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.75H- H10

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.36	1.299	1.216
1v:2H	1.708	1.64	1.411
1v:3H	2.325	2.128	1.812

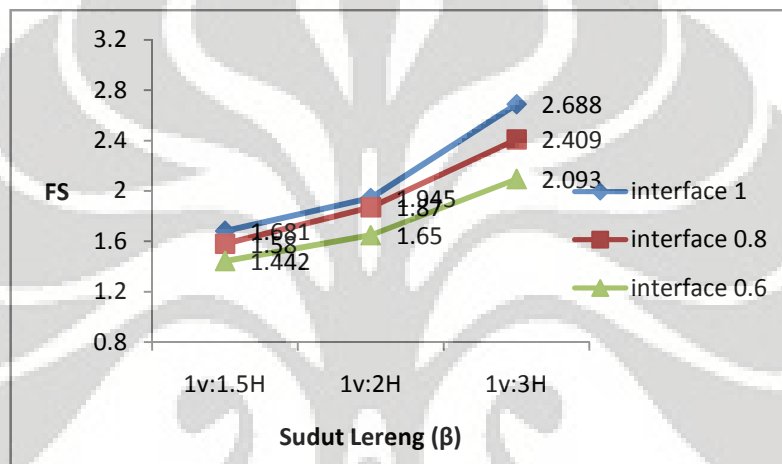


Gambar L.30 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H-H10

- **Kondisi c20-MAT 0.25H-H13**

**Tabel L.31** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H13

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.681	1.58	1.442
1v:2H	1.945	1.87	1.65
1v:3H	2.688	2.409	2.093



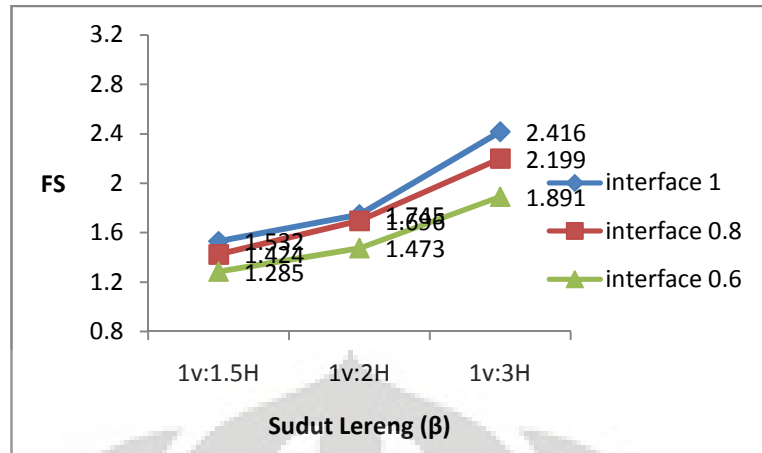
**Gambar L.31** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H13

- **Kondisi c20-MAT 0.5H-H13**

**Tabel L.32** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.5H- H13

$\beta$ ( $^{\circ}$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.532	1.424	1.285
1v:2H	1.745	1.696	1.473
1v:3H	2.416	2.199	1.891



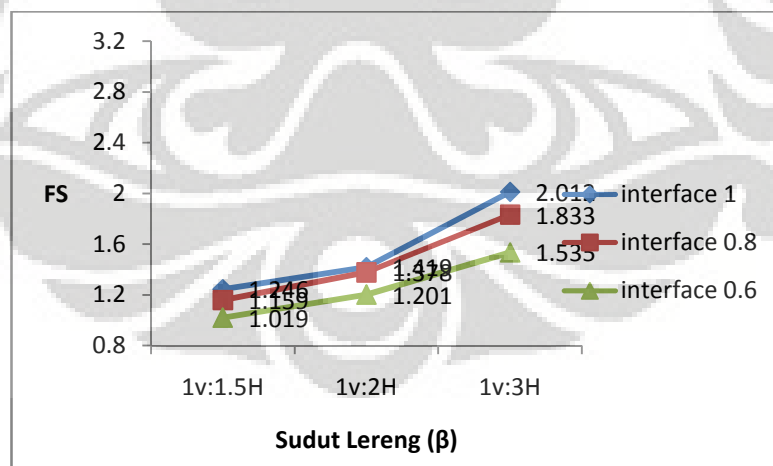


Gambar L.32 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.5H-H13

- **Kondisi c20-MAT 0.75H-H13**

Tabel L.33 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.75H- H13

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.246	1.159	1.019
1v:2H	1.419	1.378	1.201
1v:3H	2.012	1.833	1.535

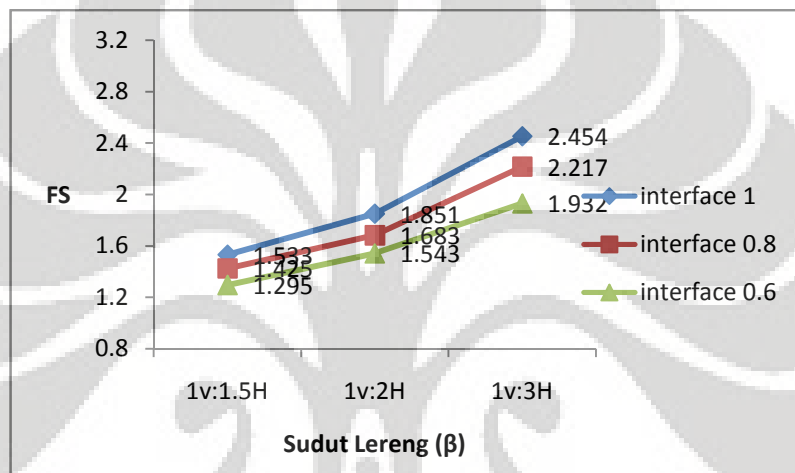


Gambar L.33 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H-H13

- **Kondisi c20-MAT 0.25H-H16**

**Tabel L.34** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- H16

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.533	1.425	1.295
1v:2H	1.851	1.683	1.543
1v:3H	2.454	2.217	1.932

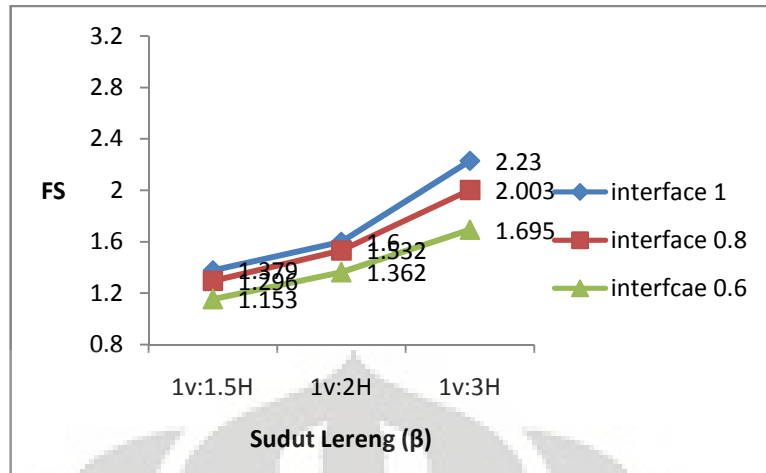


**Gambar L.34** Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H-H16

- **Kondisi c20-MAT 0.5H-H16**

**Tabel L.35** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.5H- H16

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.379	1.296	1.153
1v:2H	1.6	1.532	1.362
1v:3H	2.23	2.003	1.695

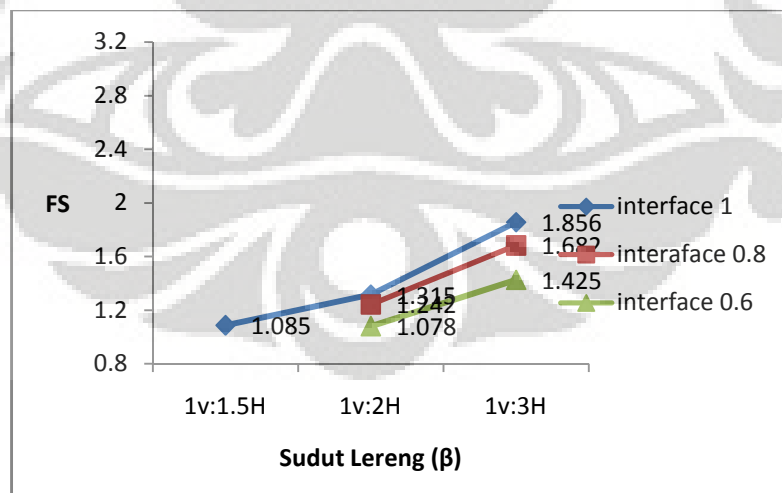


Gambar L.35 Penurunan nilai FS terhadap perubahan sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.5H-H16

- **Kondisi c20-MAT 0.75H-H16**

Tabel L.36 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan sudut lereng timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.75H- H16

$\beta$ ( $^\circ$ )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
1v:1.5H	1.085	collaps	collaps
1v:2H	1.315	1.242	1.078
1v:3H	1.856	1.682	1.425



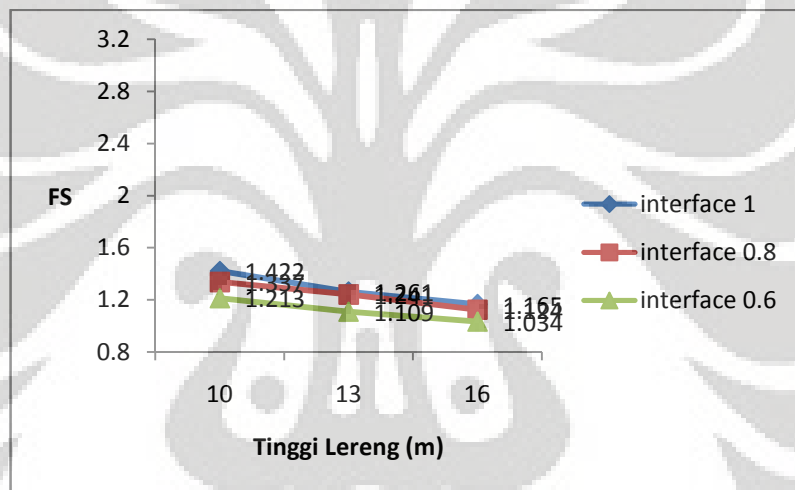
Gambar L.36 Penurunan nilai FS terhadap perubahan M sudut lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H-H16

### C. VARIABEL PEMBANDING: TINGGI LERENG

- **Kondisi c10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.37** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.422	1.337	1.213
13	1.261	1.241	1.109
16	1.165	1.124	1.034

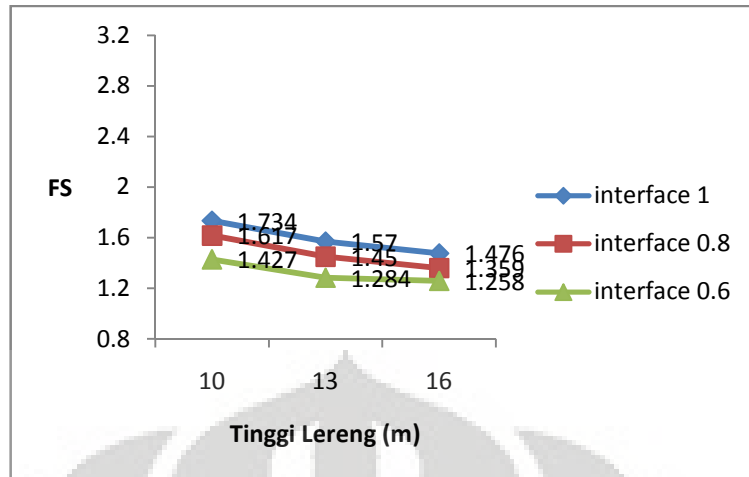


**Gambar L.37** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi c10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.38** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:2H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.734	1.617	1.427
13	1.57	1.45	1.284
16	1.476	1.359	1.258

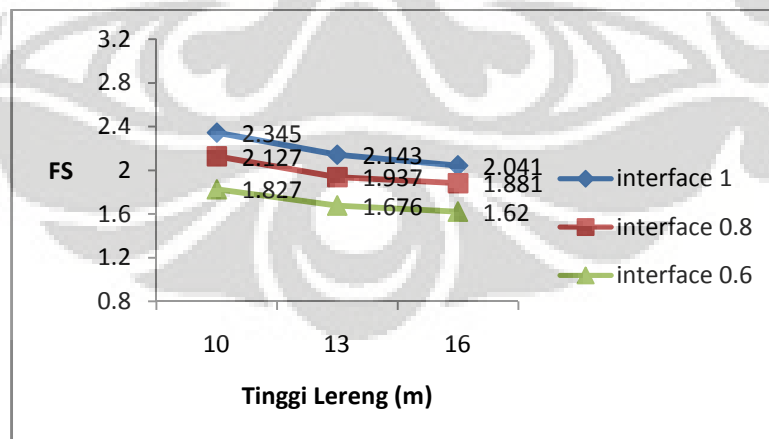


**Gambar L.38** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi c10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.39** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.345	2.127	1.827
13	2.143	1.937	1.676
16	2.041	1.881	1.62

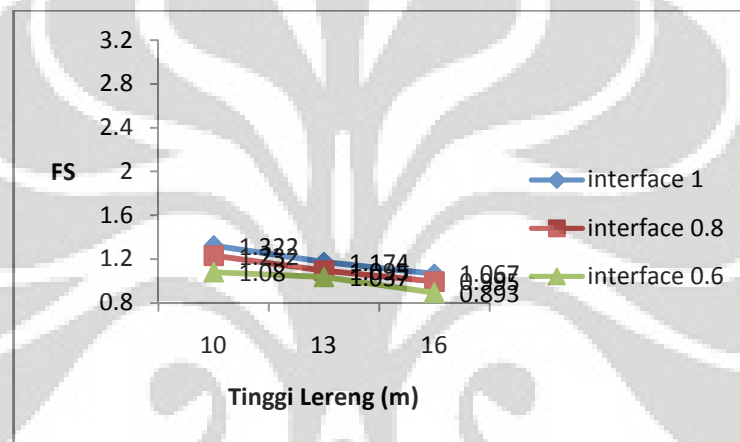


**Gambar L.39** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi c10-MAT 0.5 H-β(1v:1.5H)**

**Tabel L.40** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H-β(1v:1.5H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.322	1.232	1.08
13	1.174	1.095	1.037
16	1.067	0.995	0.893

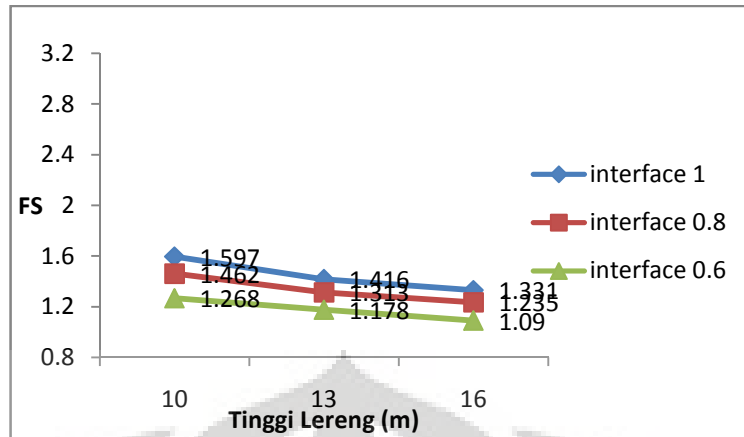


**Gambar L.40** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H-β (1v:1.5H)

- **Kondisi c10-MAT 0.5 H-β(1v:2H)**

**Tabel L.41** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H-β(1v:2H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.597	1.462	1.268
13	1.416	1.313	1.178
16	1.331	1.235	1.09

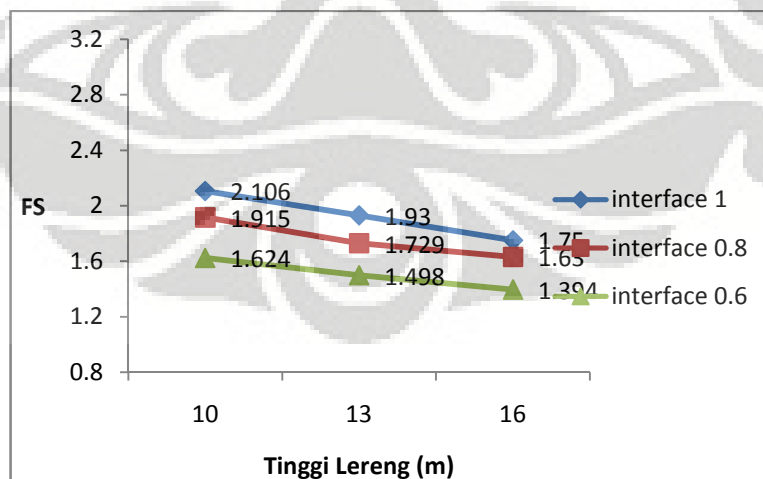


Gambar L.41 Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi c10-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:3H)**

Tabel L.42 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.106	1.915	1.624
13	1.93	1.729	1.498
16	1.75	1.63	1.394

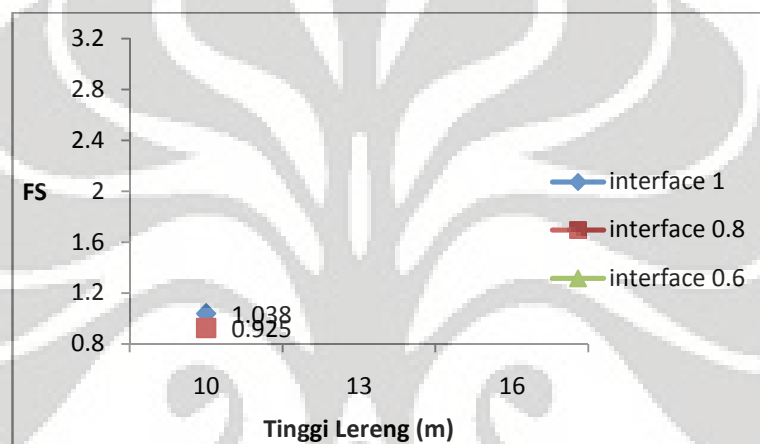


Gambar L.42 Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi c10-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.43** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:1.5H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.038	0.925	collaps
13	collaps	collaps	collaps
16	collaps	collaps	collaps



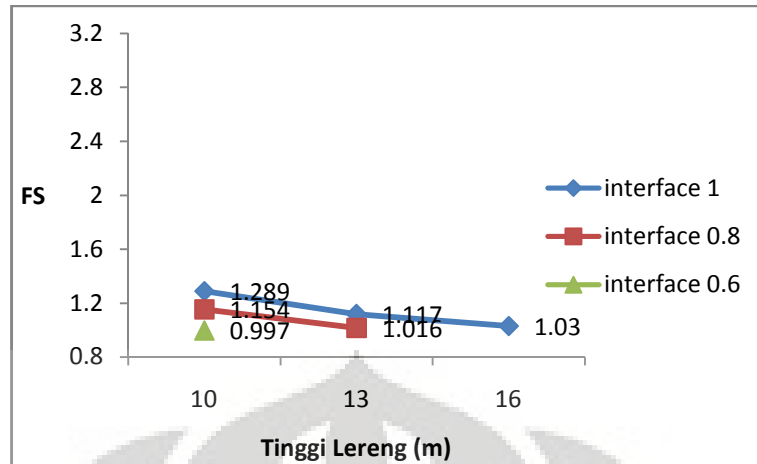
**Gambar L.43** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi c10-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.44** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:2H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.289	1.154	0.997
13	1.117	1.016	collaps
16	1.03	collaps	collaps



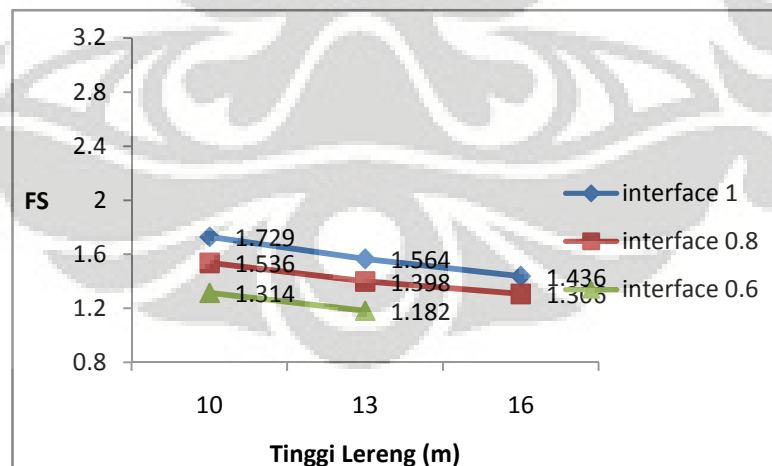


**Gambar L.44** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:2H)

- Kondisi c10-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.45** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.729	1.536	1.314
13	1.564	1.398	1.182
16	1.436	1.306	collaps

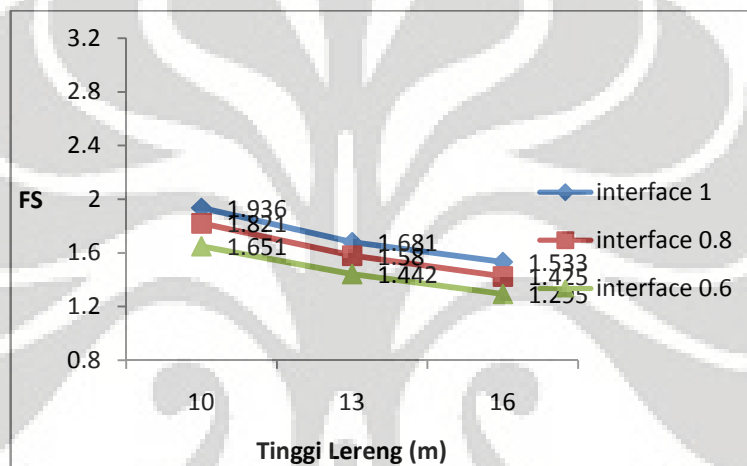


**Gambar L.45** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c10-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi c20-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.46** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.936	1.821	1.651
13	1.681	1.58	1.442
16	1.533	1.425	1.295

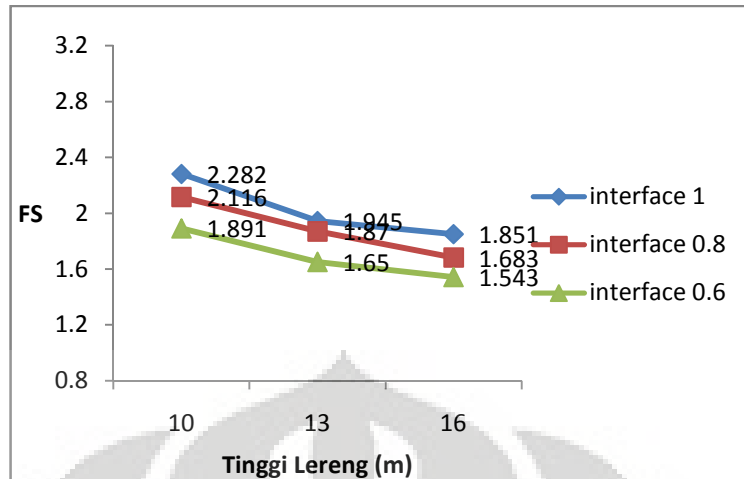


**Gambar L.46** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi c20-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.47** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:2H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.282	2.116	1.891
13	1.945	1.87	1.65
16	1.851	1.683	1.543

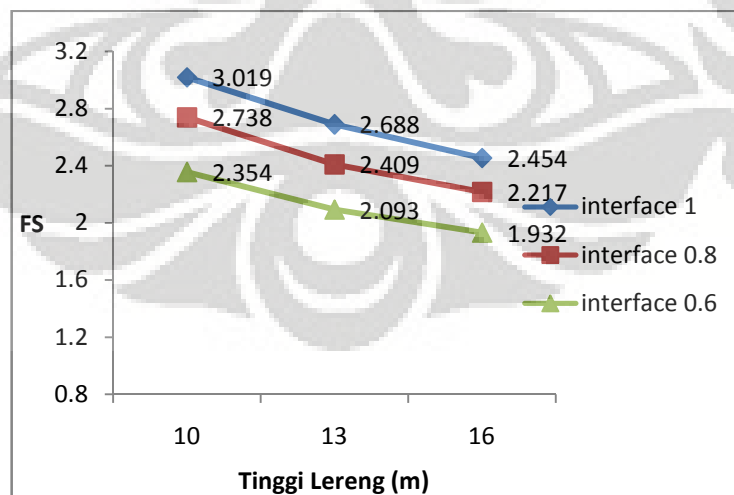


Gambar L.47 Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi c20-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

Tabel L.48 Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	3.019	2.738	2.354
13	2.688	2.409	2.093
16	2.454	2.217	1.932

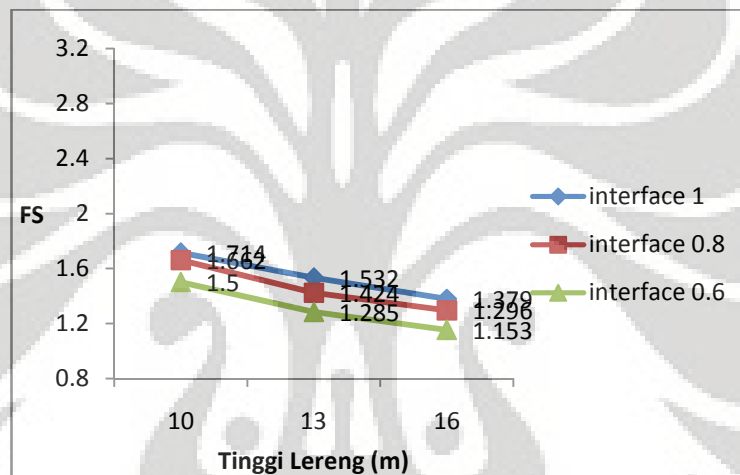


Gambar L.48 Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi c20-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.49** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:1.5H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.714	1.662	1.5
13	1.532	1.424	1.285
16	1.379	1.296	1.153

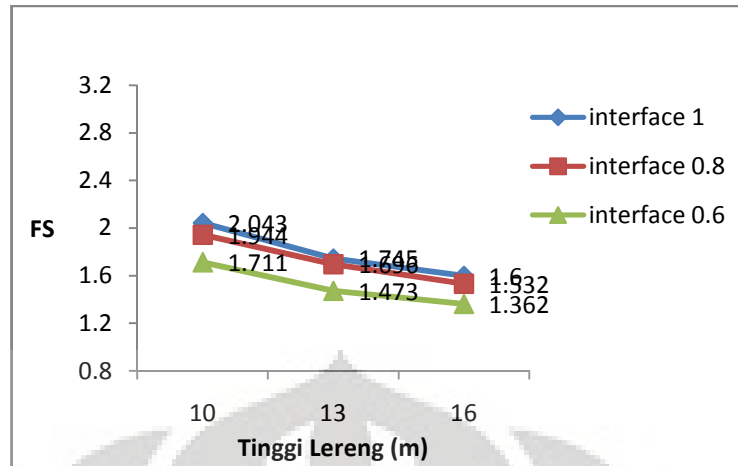


**Gambar L.49** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi c20-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.50** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.043	1.944	1.711
13	1.745	1.696	1.473
16	1.6	1.532	1.362

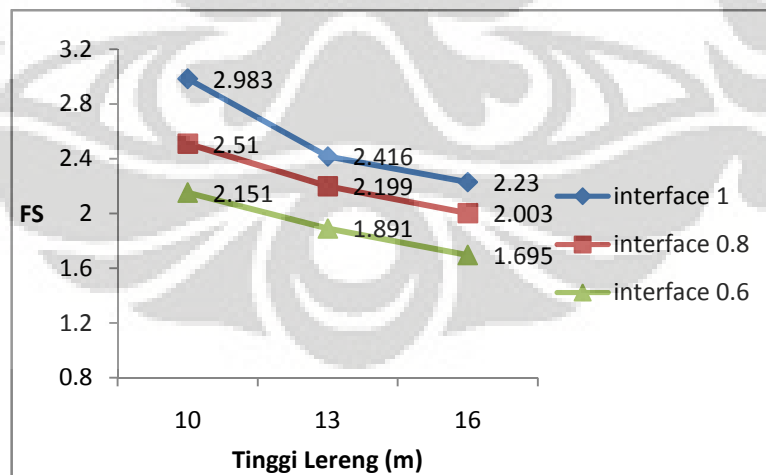


**Gambar L.50** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:2H)

- Kondisi c20-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.51** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.983	2.51	2.151
13	2.416	2.199	1.891
16	2.23	2.003	1.695

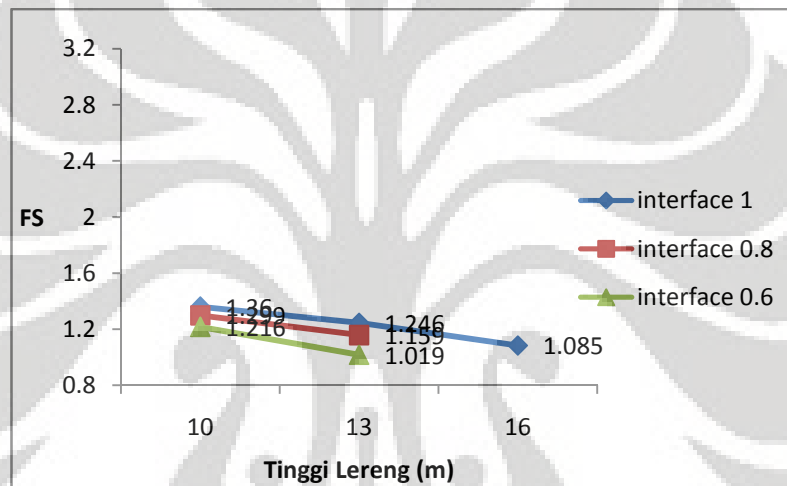


**Gambar L.51** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi c20-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.52** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:1.5H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.36	1.299	1.216
13	1.246	1.159	1.019
16	1.085	collaps	collaps

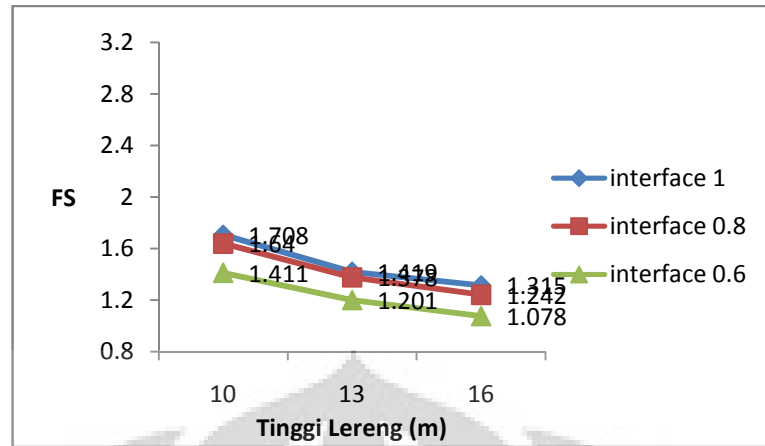


**Gambar L.52** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi c20-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.53** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:2H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.708	1.64	1.411
13	1.419	1.378	1.201
16	1.315	1.242	1.078

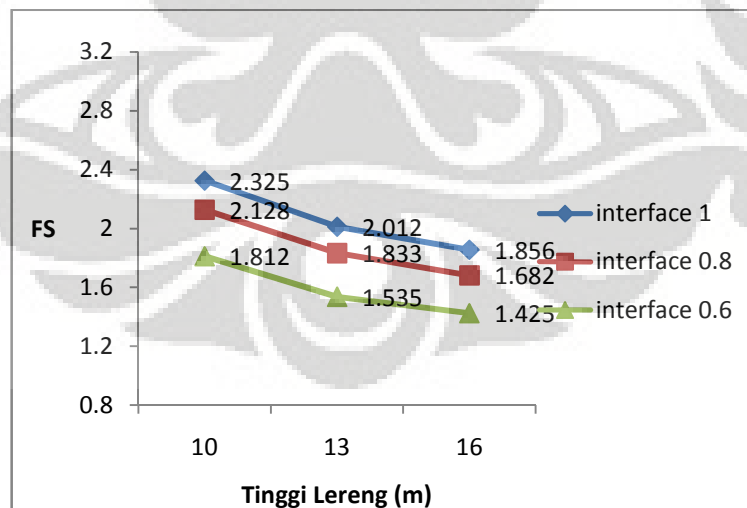


**Gambar L.53** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:2H)

- Kondisi c20-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.54** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan tinggi lereng timbunan (H) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)

Tinggi Timbunan (m)	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.325	2.128	1.812
13	2.012	1.833	1.535
16	1.856	1.682	1.425



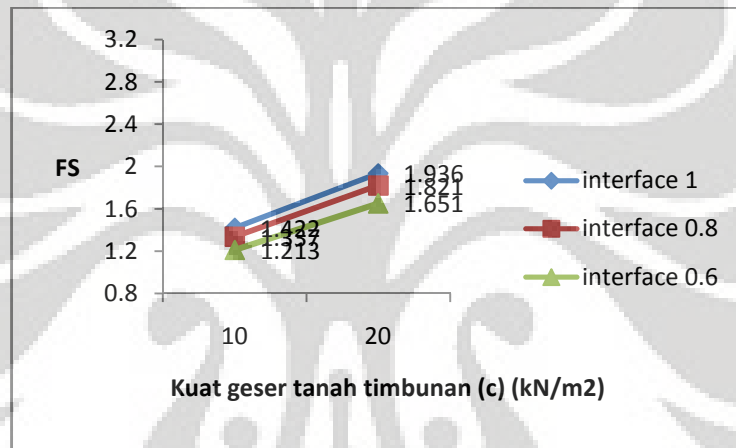
**Gambar L.54** Penurunan nilai FS terhadap perubahan tinggi lereng pada kondisi c20-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H)

#### D. VARIABEL PEMBANDING: KUAT GESER TANAH TIMBUNAN

- **Kondisi H10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.55** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.422	1.337	1.213
20	1.936	1.821	1.651



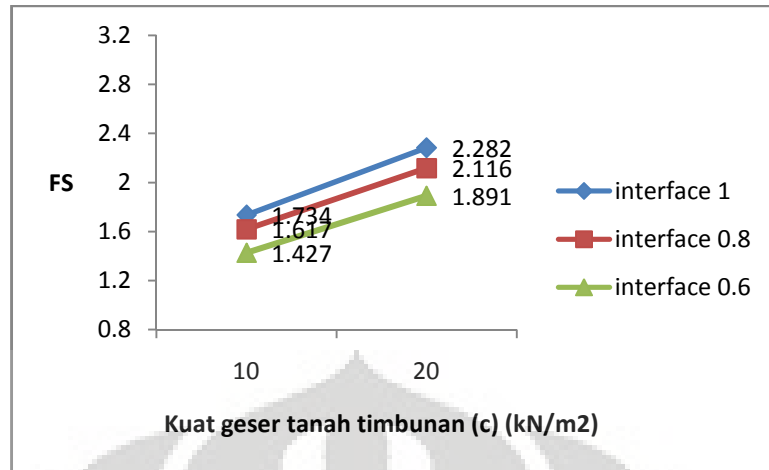
**Gambar L.55** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi H10-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.56** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.734	1.617	1.427
20	2.282	2.116	1.891



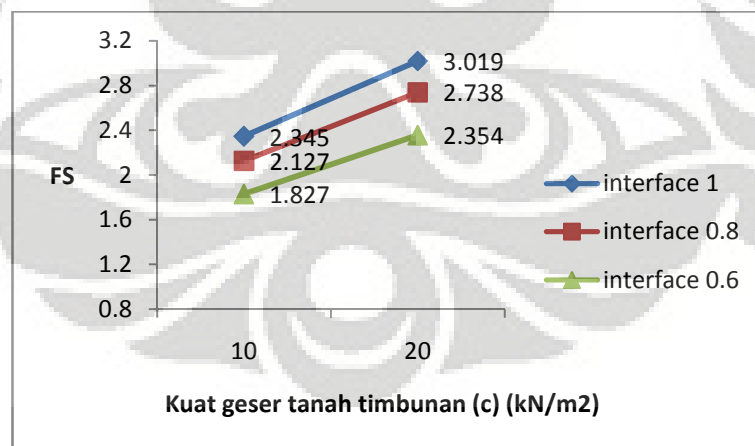


**Gambar L.56** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.25H-β (1v:2H)

- **Kondisi H10-MAT 0.25 H-β(1v:3H)**

**Tabel L.57** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.25H-β(1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.345	2.127	1.827
20	3.019	2.738	2.354

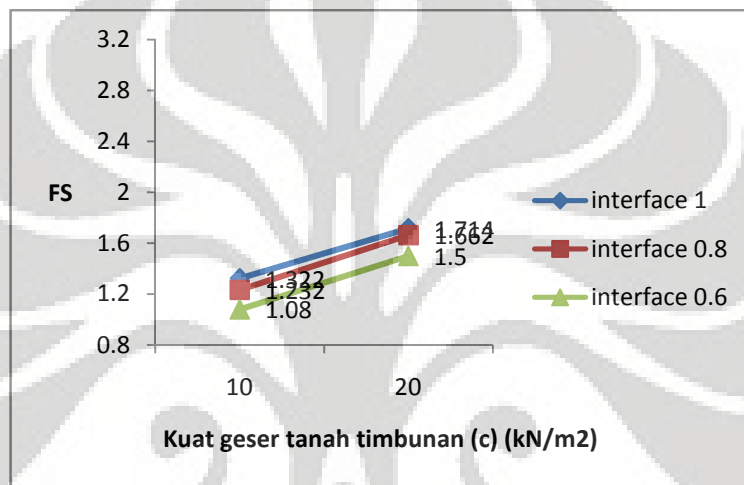


**Gambar L.57** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.25H-β (1v:3H)

- **Kondisi H10-MAT 0.5 H-β(1v:1.5H)**

**Tabel L.58** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.5H-β(1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.322	1.232	1.08
20	1.714	1.662	1.5

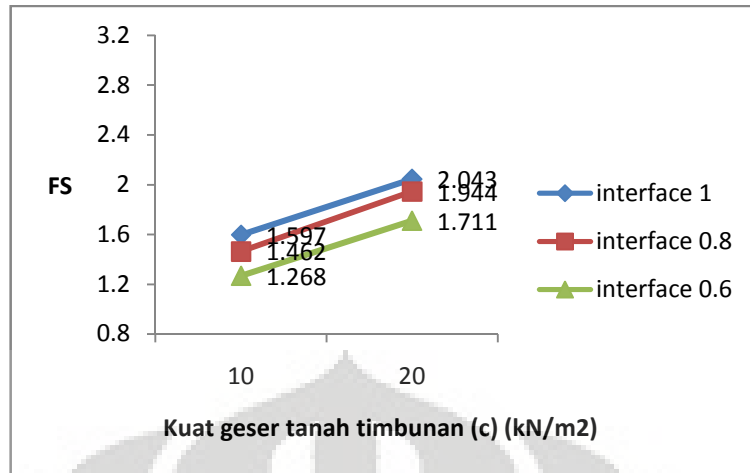


**Gambar L.58** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.5H-β (1v:1.5H)

- **Kondisi H10-MAT 0.5 H-β(1v:2H)**

**Tabel L.59** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.5H-β(1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.597	1.462	1.268
20	2.043	1.944	1.711

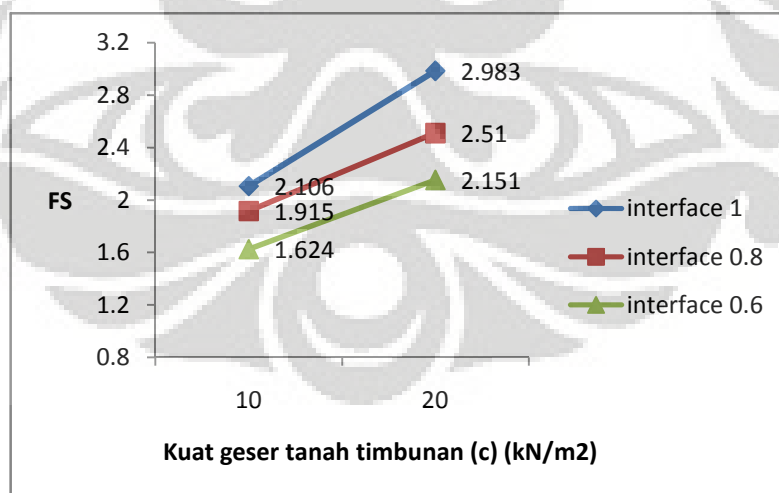


**Gambar L.59** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi H10-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.60** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.106	1.915	1.624
20	2.983	2.51	2.151

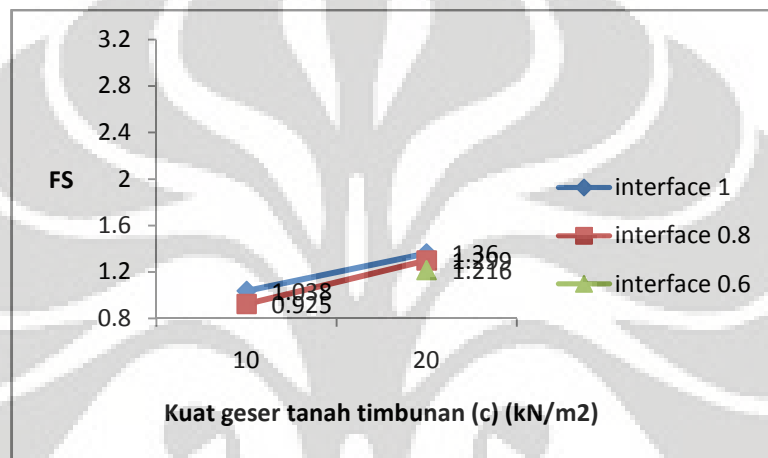


**Gambar L.60** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi H10-MAT 0.75 H-β(1v:1.5H)**

**Tabel L.61** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.75H-β(1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.038	0.925	collapses
20	1.36	1.299	1.216

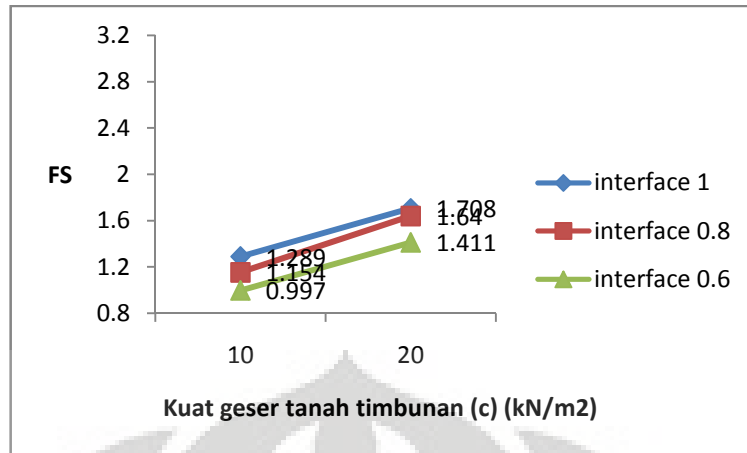


**Gambar L.61** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.75H-β (1v:1.5H)

- **Kondisi H10-MAT 0.75 H-β(1v:2H)**

**Tabel L.62** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.75H-β(1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.289	1.154	0.997
20	1.708	1.64	1.411

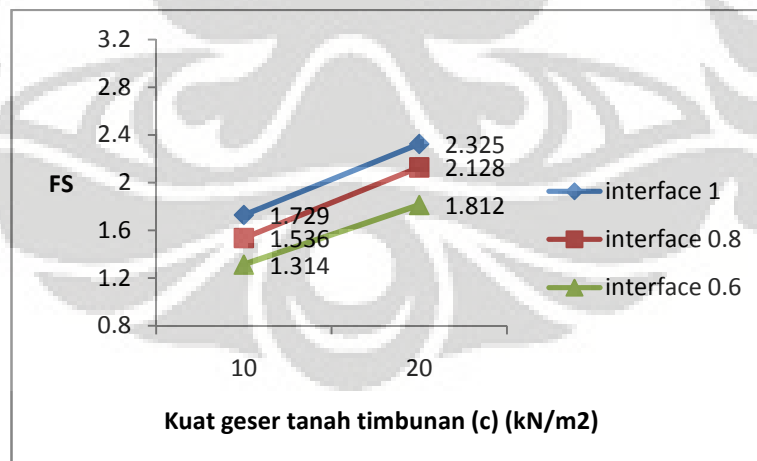


**Gambar L.62** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi H10-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.63** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H10-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.729	1.536	1.314
20	2.325	2.128	1.812

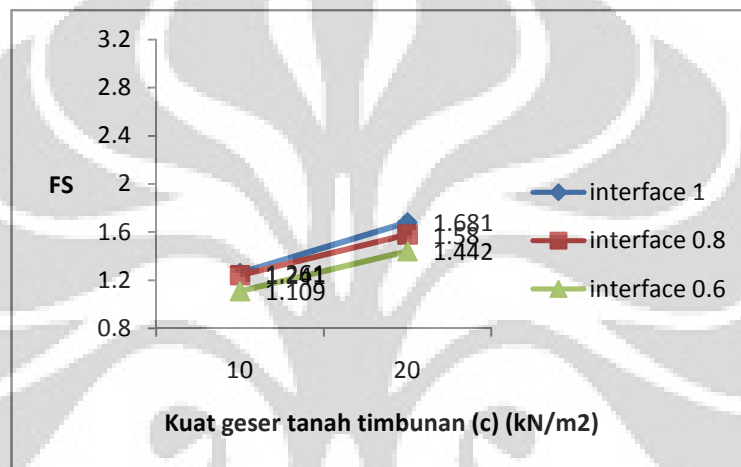


**Gambar L.63** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H10-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi H13-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.64** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.261	1.241	1.109
20	1.681	1.58	1.442

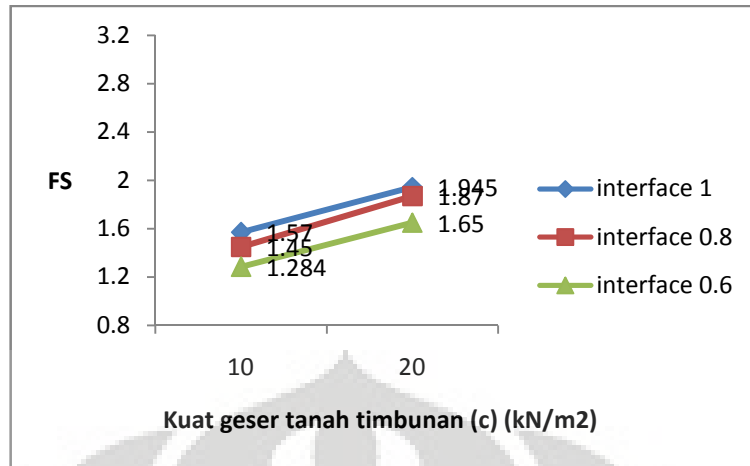


**Gambar L.64** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi H13-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.65** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.57	1.45	1.284
20	1.945	1.87	1.65

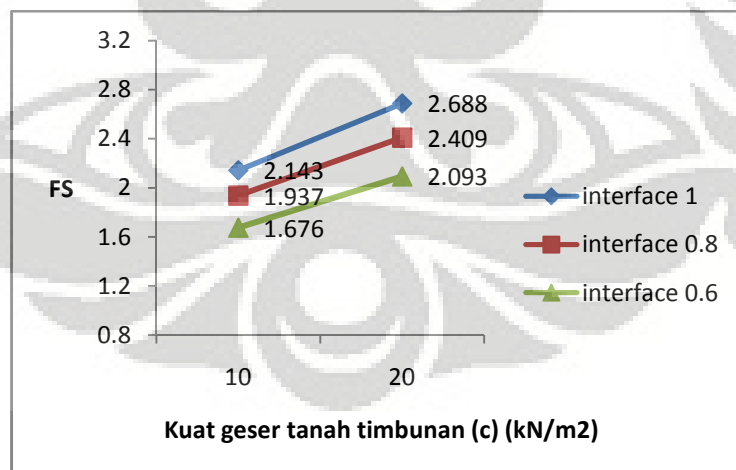


**Gambar L.65** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi H13-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.66** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.143	1.937	1.676
20	2.688	2.409	2.093

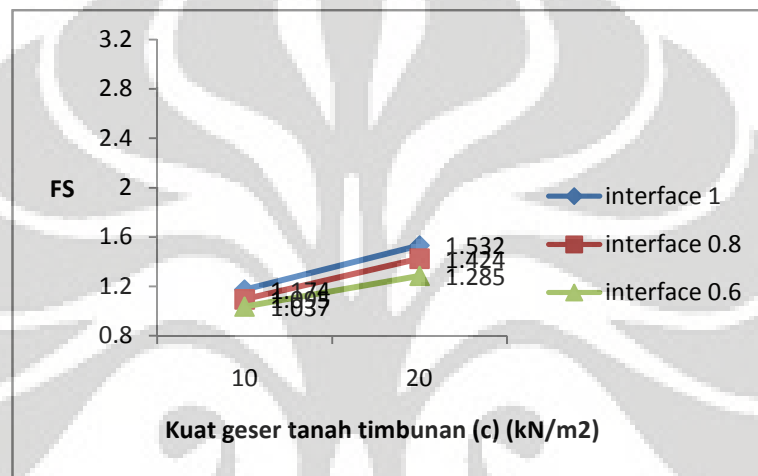


**Gambar L.66** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi H13-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.67** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.174	1.095	1.037
20	1.532	1.424	1.285



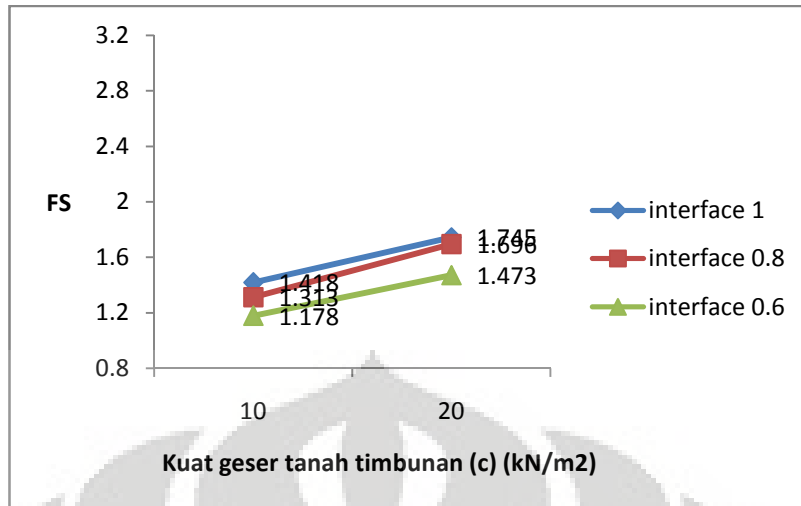
**Gambar L.67** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi H13-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.68** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.418	1.313	1.178
20	1.745	1.696	1.473



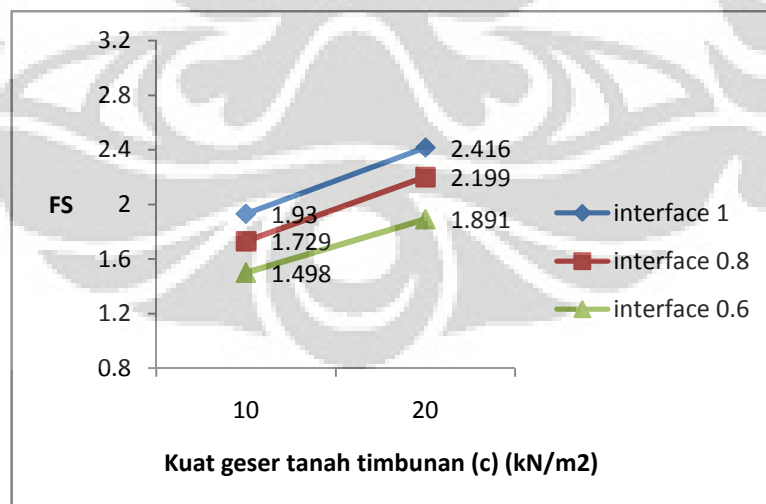


**Gambar L.68** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi H13-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.69** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan ( $\beta$ ) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.93	1.729	1.498
20	2.416	2.199	1.891

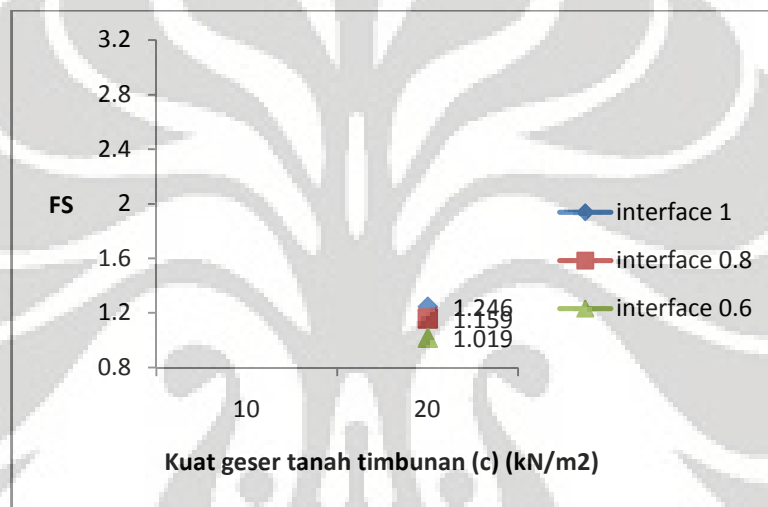


**Gambar L.69** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi H13-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.70** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	collapses	collapses	collapses
20	1.246	1.159	1.019

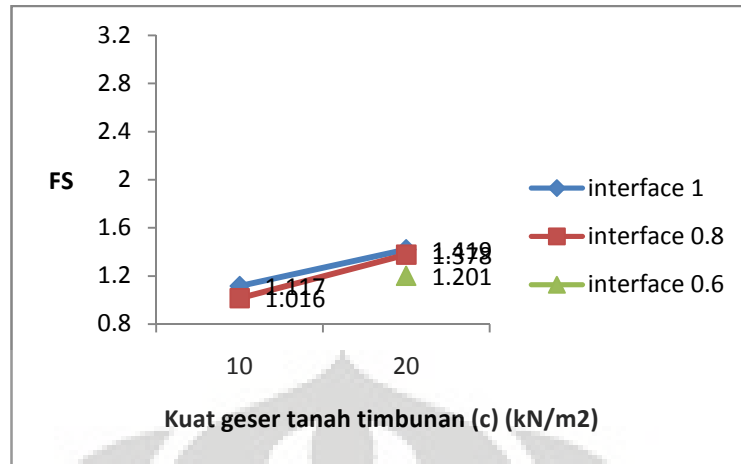


**Gambar L.70** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi H13-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.71** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.117	1.016	collapses
20	1.419	1.378	1.201

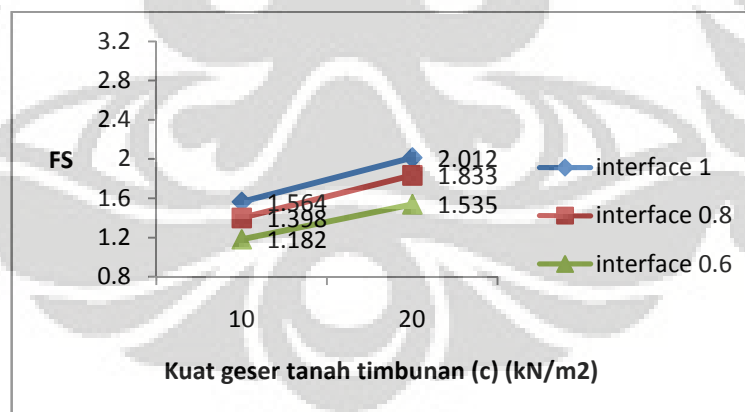


**Gambar L.71** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi H13-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.72** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.564	1.398	1.182
20	2.012	1.833	1.535

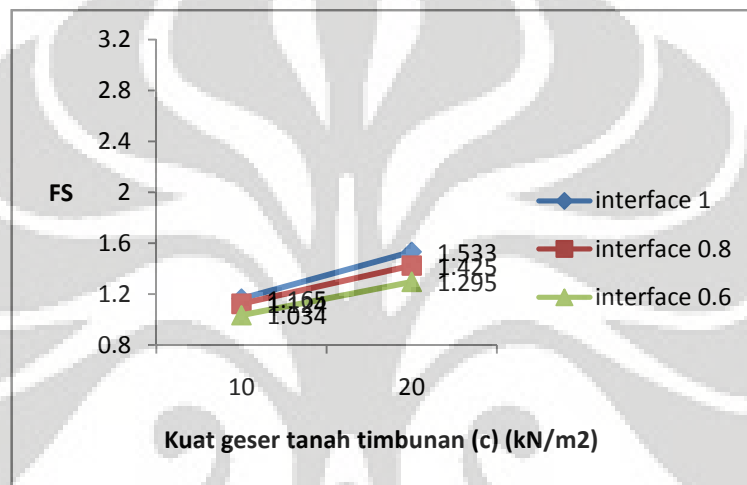


**Gambar L.72** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H13-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi H16-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:1.5 H)**

**Tabel L.73** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.165	1.124	1.034
20	1.533	1.425	1.295

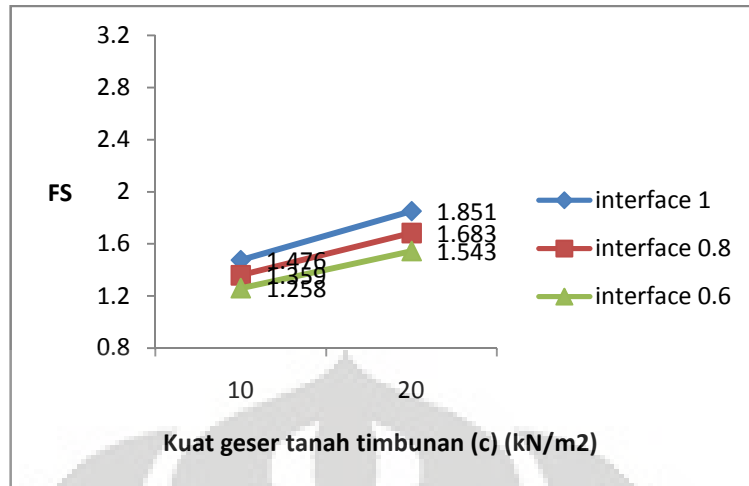


**Gambar L.73** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi H16-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:2 H)**

**Tabel L.74** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.476	1.359	1.258
20	1.851	1.683	1.543

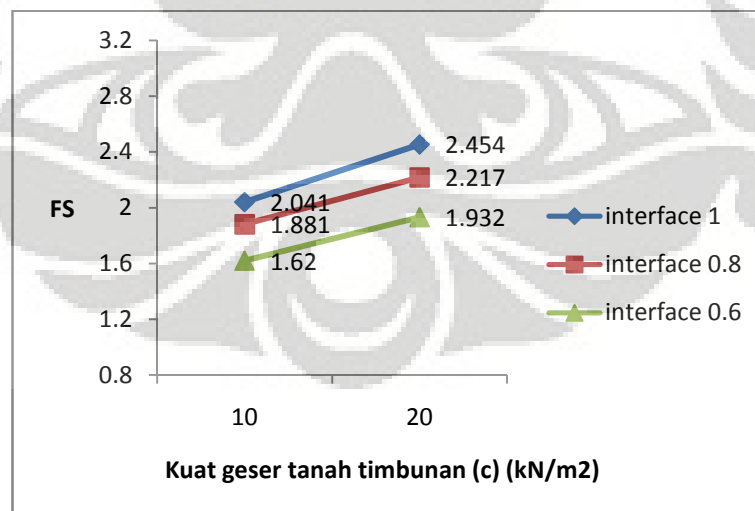


**Gambar L.74** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi H16-MAT 0.25 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.75** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	2.041	1.881	1.62
20	2.454	2.217	1.932

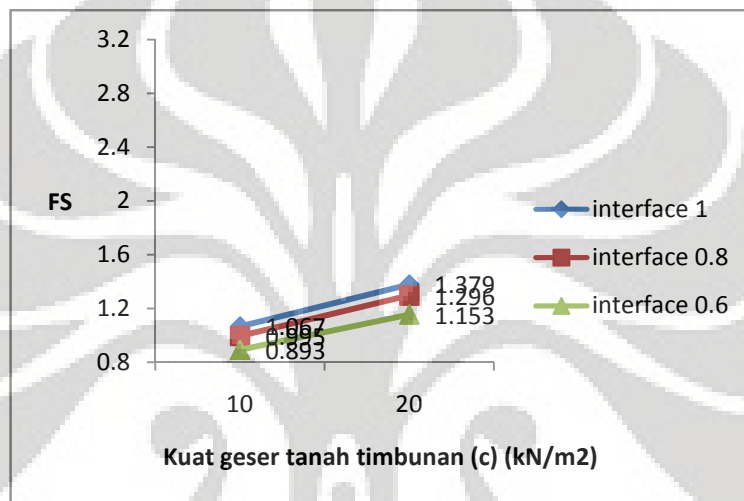


**Gambar L.75** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.25H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi H16-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:1.5 H)**

**Tabel L.76** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.067	0.995	0.893
20	1.379	1.296	1.153

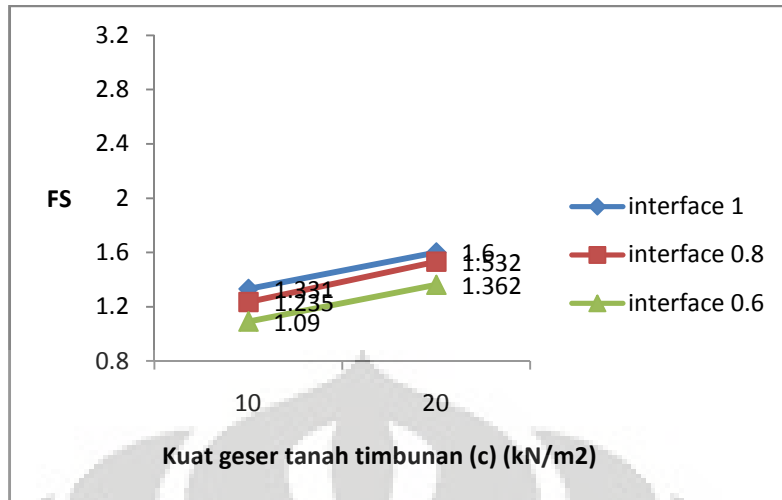


**Gambar L.76** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi H16-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:2 H)**

**Tabel L.77** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.331	1.235	1.09
20	1.6	1.532	1.362

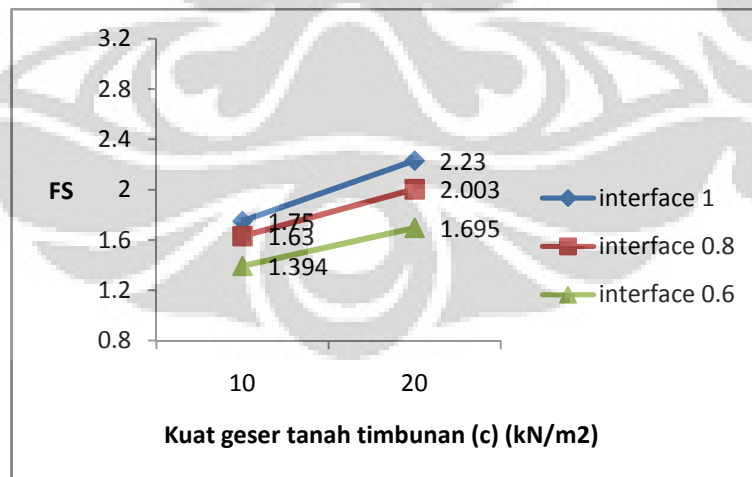


**Gambar L.77** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:2 H)

- **Kondisi H16-MAT 0.5 H- $\beta$ (1v:3 H)**

**Tabel L.78** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.75	1.63	1.394
20	1.75	1.63	1.394

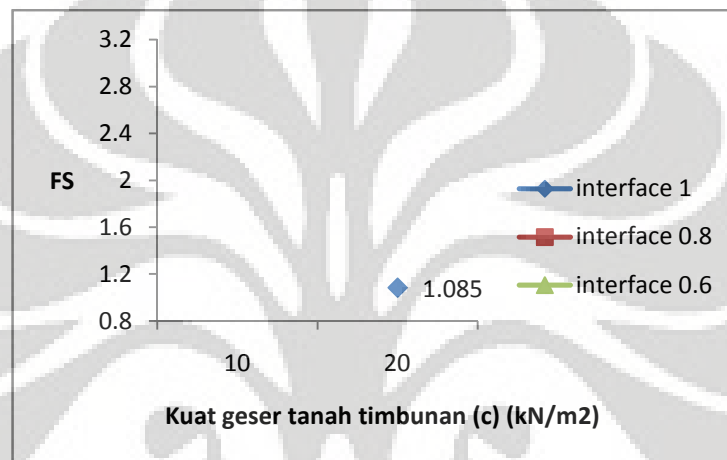


**Gambar L.78** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.5H- $\beta$  (1v:3H)

- **Kondisi H16-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:1.5H)**

**Tabel L.79** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:1.5H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	collapses	collapses	collapses
20	1.085	collapses	collapses



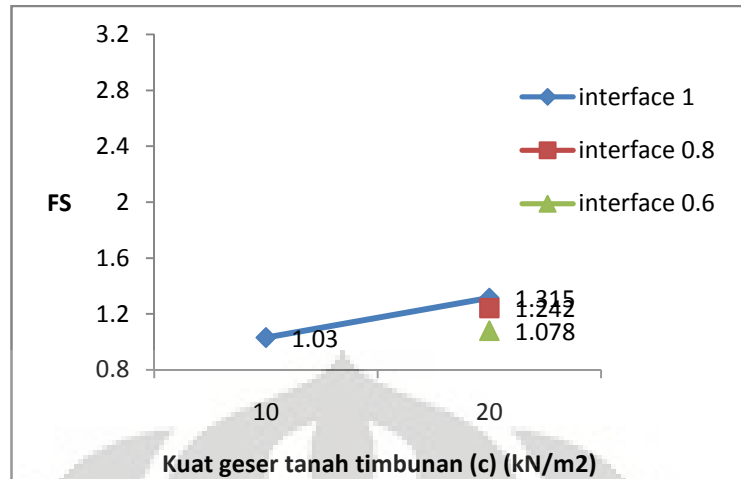
**Gambar L.79** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:1.5H)

- **Kondisi H16-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:2H)**

**Tabel L.80** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:2H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.03	collapses	collapses
20	1.315	1.242	1.078



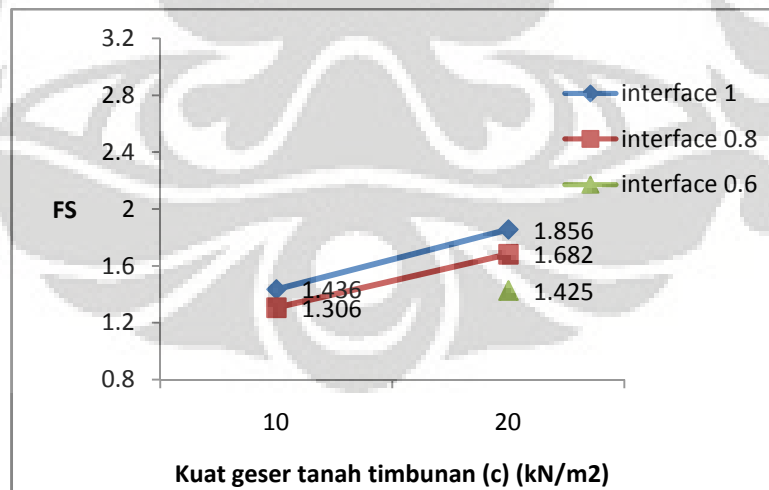


**Gambar L.80** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:2H)

- **Kondisi H16-MAT 0.75 H- $\beta$ (1v:3H)**

**Tabel L.81** Penurunan nilai safety factor terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan (c) pada efisiensi interface 1, 0.8, dan 0.6 kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$ (1v:3H)

c (kN/m <sup>2</sup> )	FS		
	efisiensi interface 1	efisiensi interface 0.8	efisiensi interface 0.6
10	1.436	1.306	collapses
20	1.856	1.682	1.425



**Gambar L.81** Penurunan nilai FS terhadap perubahan kuat geser tanah timbunan pada kondisi H16-MAT 0.75H- $\beta$  (1v:3H)