

20.611/H/04



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN *TYRESOIL* TERHADAP STABILITAS LERENG PADA TANAH LANAU DI GUNUNG KAWI (DENGAN UJI MODEL DI LABORATORIUM)

Oleh :

TEMMY APRIANDONO
NRP. 3101109606

RSS
624.151.363

Apr

P

2004



PERPUSTAKAAN
ITS

Tgl. Terima

16-7-2004

Terima Dari

H

No. Agenda Prp.

220302

PROGRAM SARJANA (S-1) EKSTENSI
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004



LEMBAR PENGESAHAN



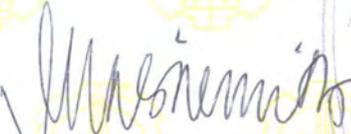
TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN TYRESOIL TERHADAP
STABILITAS LERENG PADA TANAH LANAU
DI GUNUNG KAWI
(DENGAN UJI MODEL DI LABORATORIUM)**

**Surabaya, Juli 2004
Mengetahui / Menyetujui**

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


DR. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng


Ir. Moesdarjono Soetojo, M.Sc

**PROGRAM SARJANA (S-1) EKSTENSI
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004**



ABSTRAK



ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN *TYRESOIL* TERHADAP STABILITAS LERENG PADA TANAH LANAU DI GUNUNG KAWI (DENGAN UJI MODEL DI LABORATORIUM)

Analisa stabilitas lereng diperlukan untuk mengetahui keseimbangan antara gaya dorong dan gaya penahan melalui bidang gelincir, yakni bagian tanah yang mempunyai kuat geser terendah. Daerah gunung Kawi didominasi oleh tanah lanau, mempunyai banyak kasus kelongsoran, sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut dicoba menggunakan material *tyre-soil*. *Tyre-soil* merupakan kombinasi dari unsur ban bekas (*old tyres*) dan tanah (*soils*).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh adanya perkuatan lapisan *tyre-soil* terhadap stabilitas lereng (angka keamanan), daya dukung, serta penurunan pondasi dengan variasi jarak pembebanan akibat beban vertikal dengan benda uji dalam kondisi kering. Tanah lanau yang dipakai adalah tanah residual berasal dari daerah gunung Kawi, kecamatan Wonosari, dengan kadar air $\pm 51\%$ - 52% . Kemiringan lereng benda uji 80° , dengan ketinggian benda uji 25 cm. Bahan pengisi *tyresoil* digunakan pasir serta *copper slag*. Penelitian dilakukan dilaboratorium dengan bak permodelan berukuran 80 cm x 30 cm dengan tinggi 45 cm. *Tyre-soil* yang digunakan mempunyai ukuran diameter luar 6 cm, diameter dalam 3 cm dan tinggi 1,2 cm; dengan dua lapis perkuatan. Pengujian dilakukan dalam kondisi *unsaturated undrained*. Pembebanan dilakukan dengan kenaikan beban secara bertahap dengan penambahan beban sebesar 0,5 kg dengan variasi jarak 0 cm, 5 cm dan 10 cm dari tepi kemiringan lereng. Pembebanan dilakukan sampai lereng mengalami kelongsoran. Program *PLAXIS* digunakan untuk menghitung kembali daya dukung tanah, besarnya penurunan, serta faktor angka keamanan (*safety factor*) dengan analisa metode elemen hingga.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *tyre-soil* dapat meningkatkan angka keamanan, meningkatkan daya dukung, dan memperkecil penurunan. Kenaikan daya dukung yang optimal terjadi pada perkuatan dengan *tyresoil* dan *copper slag* I sebesar 22,08% dan 59,71%. Hasil perhitungan dengan program *PLAXIS* menunjukkan hasil yang sama, yaitu terjadi peningkatan daya dukung dan peningkatan penurunan yang optimal pada perkuatan lereng *tyresoil* dan *copper slag* I sebesar 30,27%, penurunan sebesar 50,29%. Hasil pengujian dilaboratorium dengan prgram *PLAXIS* mempunyai perbedaan nilai daya dukung dan penurunan. Perbedaan tersebut disebabkan oleh anggapan pada percobaan dilaboratorium bahwa benda uji tidak homogen, sedangkan pada program *PLAXIS* material benda uji dikatakan homogen.

Dari hasil penelitian ini terjadi peningkatan faktor angka keamanan, nilai daya dukung, serta penurunan sangat dipengaruhi oleh penggunaan material *tyre-soil* serta jarak pembebanan akibat beban vertikal, yang akan berpengaruh terhadap kestabilan lereng.

Kata-kata kunci : tanah lanau, *tyre-soil*, daya dukung, penurunan, *safety factor*, *copper slag*, program *PLAXIS*

+ KATA PENGANTAR



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya, maka penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini dapat penulis selesaikan.

Penelitian dan penulisan Tugas akhir ini merupakan syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Ekstensi Lintas Jalur pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Ria Asih A. Soemitro, M.Eng., sebagai pembimbing penulis dalam mengerjakan penelitian dan menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Moesdarjono Soetojo, M.Sc., sebagai pembimbing penulis dalam mengerjakan penelitian dan menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Sudjanarko Sudirham, M.Eng., sebagai anggota tim penguji pada seminar proposal Tugas Akhir yang banyak memberikan masukan kepada penulis dalam melakukan penelitian.
4. Bapak Ir. Chomaedhi, CES Geo., sebagai anggota tim penguji pada seminar proposal Tugas Akhir yang banyak memberikan bantuan dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Ir. Fifi Sofia, selaku Koordinator Pelaksana Program Sarjana Ekstensi Lintas Jalur Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang telah memberikan bantuan dan masukan kepada penulis dalam menempuh study di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc. Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat melakukan study di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Sarjana Ekstensi Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, atas segala bantuan dan sumbang sarannya.

8. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
9. Dan terakhir kepada Ibu dan Bapak yang telah berkorban dan memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini serta Kakakku Novarino Handika, Adikku Ryska Yulita, Keluarga di Malang “*Kertoleksono-29*” dan di Surabaya “*M-sednat*”, [Cia Cayang](#) yang tercinta dan tersayang *end* yang tak dapat dilupakan atas Jasanya IBU “*Jangan Begitu Itu Tidak Baik*”.

Akhirnya penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini. Untuk itu saran dan kritik dari pembaca, penulis nantikan, dan semoga penelitian ini bisa menambah khasanah pengetahuan kita serta dapat diterapkan pada lingkungan alam kita. Amin.

Surabaya, Juni 2004

Temmy Apriandono



DAFTAR ISI



DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah	3
1.3 Perumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II STUDI LITERATUR	
2.1 Umum	6
2.2 Tanah	7
2.2.1 Tanah Jenuh (<i>Saturated Soils</i>).....	8
2.2.2 Tanah Tidak jenuh (<i>Unsaturated Soils</i>).....	8
2.3 Tanah Lanau	12
2.4 Uji Geser Langsung	14
2.5 Tegangan Geser	15
2.5.1 Tegangan Geser Tanah Jenuh.....	15
2.5.2 Tegangan Geser Tanah Tidak Jenuh.....	16
2.6 Gerakan Tanah dan longsoran	18

2.6.1	Pengertian Gerakan tanah dan Longsoran	18
2.6.2	Mekanisme/Karakteristik Gerakan Tanah dan Longsoran	18
2.6.3	Jenis-jenis Gerakan Tanah dan Longsoran	19
2.6.4	Klasifikasi berdasarkan jenis gerakan.....	20
2.6.5	Penyebab Gerakan Tanah dan longsoran.....	22
2.7	Konsep angka Keamanan.....	25
2.8	Analisa Stabilitas Lereng.....	27
2.9	Analisis stabilitas Lereng dengan Tinggi Terbatas.....	31
2.9.1	Analisis Stabilitas lereng dengan Cara Prosedur Massa.....	33
2.9.2	Analisis Stabilitas Lereng Metode Irisan.....	35
2.9.3	Analisis Stabilitas Lereng Metode Irisan yang Disederhanakan ...	37
2.10	Daya dukung.....	40
2.10.1	Teori Daya Dukung	41
2.10.2	Mekanisme Keruntuhan Pondasi Dangkal.....	42
2.10.3	Tipe-tipe Keruntuhan Pondasi	46
2.10.4	Analisa Daya Dukung Tanah menurut Teori Terzaghi.....	49
2.10.5	Kapasitas daya Dukung menurut Terzaghi.....	53
2.10.6	Gaya yang diterima oleh <i>Tyresoil</i>	55
2.10.7	Penurunan Pondasi pada Tanah Lanau	56
2.11	Penggunaan Material <i>Tyresoil</i>	57
2.11.1	Penggunaan <i>Tyresoil</i> untuk Perkuatan Lereng	57
2.11.2	Karakteristik dan Cara Menggunakan Material <i>Tyresoil</i>	58
2.11.3	Manfaat Penggunaan Material <i>Tyresoil</i>	59
2.11.4	<i>Tyresoil</i> Sebagai Penguat Sistem Tanah.....	65
2.11.5	Aplikasi Penggunaan <i>Tyresoil</i>	66
2.12	Program <i>PLAXIS</i>	67
2.12.1	Dasar Teori	68
2.12.2	Pemasukan Data (<i>Input</i>) dan <i>Output</i> Program <i>PLAXIS</i>	70
2.12.3	Parameter <i>Input</i> Program <i>Plaxis</i>	73
2.12.4	Cara Kerja Program <i>Plaxis</i>	75
2.12.5	Output yang didapat Program <i>Plaxis</i>	75
2.13	Material Granuler.....	77

2.13.1 Karakteristik Bahan Granuler pada Material Komposit <i>Tyresoil</i> terhadap Kestabilan Lereng	78
2.13.2 Pasir	79
2.13.3 <i>Copper Slag</i>	81

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Persiapan Material	82
3.1.1 Bak Permodelan.....	82
3.1.2 Tanah	84
3.1.3 <i>Copper Slag</i>	85
3.1.4 <i>Tyresoil</i>	85
3.2 Langkah-langkah Penelitian	86
3.3 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Tanah.....	87
3.4 Pembuatan Benda Uji	88
3.5 Pengujian Pembebanan di Laboratorium.....	89
3.5.1 Pengujian pembebanan tanpa <i>Tyresoil</i>	89
3.5.2 Pengujian pembebanan menggunakan dua lapis perkuatan <i>Tyresoil</i>	90
3.6 Percobaan Geser Langsung.....	91
3.7 Parameter Input Data Program <i>Plaxis</i>	92
3.7.1 Perhitungan Program <i>Plaxis</i> dengan Studi Pendekatan Model Percobaan	93
3.7.2 Langkah Kerja <i>PLAXIS</i>	94

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah	96
4.1.1 Klasifikasi Menurut <i>AASHTO</i>	97
4.1.2 Klasifikasi Menurut <i>USCS</i>	98
4.2 Model Simulasi Lereng.....	99

4.3	Penggunaan Program <i>PLAXIS</i> untuk Studi terhadap Hasil Penelitian.....	100
4.3.1	Analisa Hasil Perhitungan Program <i>Plaxis</i> untuk Benda Uji Tanpa <i>Tyresoil</i> dan Dengan Perkuatan <i>Tyresoil</i> Dengan Material Granuler (Pasir maupun <i>Copper Slag</i>) Tanpa Pembebanan.....	101
4.3.2	Analisa Hasil Perhitungan Program <i>Plaxis</i> untuk Benda Uji Tanpa <i>Tyresoil</i> dan Dengan Perkuatan <i>Tyresoil</i> Dengan Material Granuler (Pasir maupun <i>Copper Slag</i>) Dengan Pembebanan.....	112
4.3.3	Angka Keamanan Lereng Hasil Perhitungan Program <i>Plaxis</i>	122
4.3.3.1	Angka Keamanan Lereng Tanpa <i>Tyresoil</i> Dengan Pembebanan.....	123
4.3.3.2	Angka Keamanan Lereng Dengan Bahan Komposit (<i>Tyresoil</i> dan Pasir).....	124
4.3.3.3	Angka Keamanan Lereng Dengan Bahan Komposit (<i>Tyresoil</i> dan <i>Copper Slag</i>).....	124
4.3.3.4	Angka Keamanan Lereng pada Model Simulasi Lereng I.....	125
4.3.3.5	Angka Keamanan Lereng pada Model Simulasi Lereng II.....	126
4.3.3.6	Angka Keamanan Lereng pada Model Simulasi Lereng III.....	127
4.3.4	Analisis Perbandingan Hasil Perhitungan Program <i>Plaxis</i>	127
4.4	Analisis Mekanisme Keruntuhan Benda Uji Hasil Percobaan Di Laboratorium.....	128
4.4.1	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa <i>Tyresoil</i>	129
4.4.1.1	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa <i>Tyresoil</i> Simulasi Model I Manual.....	129
4.4.1.2	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa <i>Tyresoil</i> Simulasi Model II Manual.....	130

4.4.1.3	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa <i>Tyresoil</i> Simulasi Model III Manual.....	131
4.4.2	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan Bahan Komposit (<i>Tyresoil</i> dan Pasir maupun <i>Tyresoil</i> dan <i>Copper Slag</i>).....	131
4.4.2.1	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan <i>Tyresoil</i> Simulasi Model I.....	131
4.4.2.2	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan <i>Tyresoil</i> Simulasi Model II.....	132
4.4.2.3	Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan <i>Tyresoil</i> Simulasi Model III	133
4.5	Analisis Perbandingan Antara Model Tanpa <i>Tyresoil</i> dan Model yang menggunakan <i>Tyresoil</i>	134
4.6	Hasil Pengujian di Laboratorium antara Model Perkuatan Lereng Tanpa <i>Tyresoil</i> dan Dengan <i>Tyresoil</i> dengan Material Granuler (Pasir dan <i>Copper Slag</i>) dengan Variasi Pembebanan	135
4.6.1	Analisis Hasil Pengujian di Laboratorium antara Model Tanpa <i>Tyresoil</i> dan Model Dengan <i>Tyresoil</i> untuk Berbagai Variasi Pembebanan	136
4.6.2	Hasil Pengujian di Laboratorium antara Model Perkuatan Lereng Tanpa <i>Tyresoil</i> dan Dengan <i>Tyresoil</i> dengan Material Granuler (Pasir dan <i>Copper Slag</i>) akibat Variasi Perkuatan	139
4.7	Penambahan Momen yang diterima oleh <i>Tyresoil</i>	142

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	143
5.2	Saran	147

DAFTAR PUSTAKA

 **DAFTAR LAMPIRAN**



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN TABEL :	Halaman
A.1 Tabel kadar air (w), <i>specific gravity</i> (G_s) dan berat volume (γ_t)	151
A.2 Tabel hasil uji <i>Atterberg Limits</i>	152
A.3 Tabel uji gradasi butiran	153
A.4 Tabel koefisien rembesan (k)	154
A.5 Tabel analisa ayakan <i>copperslag</i>	155
A.6 Tabel <i>specific gravity</i> (G_s) pasir dan <i>copperslag</i>	156
B.1 Tabel perhitungan tegangan geser dan displacement horizontal benda uji	157
B.2 Tabel tes kadar air tanah uji langsung beban 2 kg	159
B.3 Tabel tes kadar air tanah uji langsung beban 4 kg	160
B.4 Tabel tes kadar air tanah uji langsung beban 8 kg	161
C.1 Tabel cek kadar air model lereng (manual I)	162
C.2 Tabel cek kadar air model lereng (manual II)	163
C.3 Tabel cek kadar air model lereng (manual III)	164
C.4 Tabel cek kadar air model lereng (perkuatan pasir I)	165
C.5 Tabel cek kadar air model lereng (perkuatan pasir II)	166
C.6 Tabel cek kadar air model lereng (perkuatan pasir III)	167
C.7 Tabel cek kadar air model lereng (perkuatan <i>copper slag</i> I)	168
C.7 Tabel cek kadar air model lereng (perkuatan <i>copper slag</i> II)	169
C.7 Tabel cek kadar air model lereng (perkuatan <i>copper slag</i> III)	170
D.1 Tabel hasil pengujian pembebanan model lereng di laboratorium untuk tanah lanau dengan tidak menggunakan perkuatan lereng	171
D.2 Tabel hasil pengujian pembebanan model lereng di laboratorium untuk tanah lanau dengan tidak menggunakan perkuatan lereng <i>tyresoil</i> + pasir	172

D.3	Tabel hasil pengujian pembebanan model lereng di laboratorium untuk tanah lanau dengan tidak menggunakan perkuatan lereng <i>tyresoil + copper slag</i>	173
D.4	Tabel hasil pengujian pembebanan model lereng di laboratorium untuk tanah lanau dengan model lereng I.....	174
D.5	Tabel hasil pengujian pembebanan model lereng di laboratorium untuk tanah lanau dengan model lereng II.....	175
D.6	Tabel hasil pengujian pembebanan model lereng di laboratorium untuk tanah lanau dengan model lereng III	176
F.1	Angka keamana simulasi lereng	213
F.2	Klasifikasi tanah menurut <i>AASHTO</i>	214

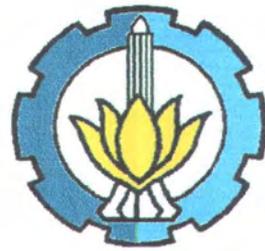
LAMPIRAN GAMBAR :

E.1	<i>Deformed mesh</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL).....	177
E.2	<i>Total displacement (shading)</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL)	181
E.3	<i>Total displacement (arrow)</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL)	185
E.4	<i>Vertical displacement</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL)	189
E.5	<i>Horizontal displacement</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL).....	193
E.6	<i>Total stresses</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL)	197
E.7	<i>Effective stresses</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL).....	201
E.8	<i>Mean stresses</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL).....	205
E.7	<i>Relative shear stresses</i> simulasi lereng benda uji tanah lanau (TL).....	209





DAFTAR GAMBAR



DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman
2.1 Penggolongan ilmu mekanika tanah.....	10
2.2 Diagram phase tanah	10
2.3 Diagram skematik alat uji geser langsung.....	14
2.4 Garis keruntuhan Mohr-Coulomb untuk tanah jenuh.....	16
2.5 Keruntuhan Mohr-Coulomb untuk tanah tidak jenuh.....	17
2.6 Jenis longsoran (1) Runtuhan (2) Pengelupasan (3) Longsoran (4) Spread (5) Aliran tanah.....	23
2.7 Ilustrasi aliran tanah/Earth and Debris flow.....	24
2.8 Jenis-jenis longsoran rotasi.....	25
2.9 Geometri lereng “Penyederhanaan metode irisan Bishop”	31
2.10 Kelongsoran ujung dasar talud	32
2.11 Kelongsoran talud dangkal	32
2.12 Kelongsoran dasar talud	33
2.13 Analisis stabilitas lereng tanah lempung yang homogen.....	33
2.14 Lereng yang dibagi dalam beberapa irisan.....	36
2.15 Metode irisan menurut Bishop yang disederhanakan, (a) Gaya-gaya yang bekerja pada irisan nomor n dan (b) Poligon gaya untuk keseimbangan	37
2.16 Stabilitas lereng dengan rembesan yang konstan	39
2.17 Keruntuhan pondasi dangkal : (a) keruntuhan geser umum, (b) keruntuhan geser lokal, (c) keruntuhan penetrasi	43
2.18 Analisa keruntuhan daya dukung	44
2.19 Penurunan dan keruntuhan pondasi untuk pembebanan kondisi <i>undrained</i>	45
2.20 Mekanisme keruntuhan plastis pondasi pada pembebanan <i>undrained</i>	46
2.21 Fase-fase keruntuhan pondasi.....	47

2.22	Macam keruntuhan pondasi	
	(a) Keruntuhan geser umum (<i>general shear failure</i>)	
	(b) Keruntuhan geser lokal (<i>local shear failure</i>)	
	(c) Keruntuhan penetrasi (<i>penetration failure</i>).....	48
2.23	Daya dukung batas tanah pondasi dangkal.....	50
2.24	Analisa keruntuhan daya dukung	51
2.25	Faktor daya dukung Terzaghi untuk keruntuhan geser umum	52
2.26	Pemakaian <i>tyresoil</i> untuk perkuatan lereng.....	58
2.27	Material <i>tyresoil</i>	59
2.28	Profil struktur <i>tyresoil</i> sebagai <i>slope stability</i>	60
2.29	Hubungan antara <i>displacement</i> dan ketinggian urugan yang dicapai.....	61
2.30	Hubungan jarak antar lapisan (e) dengan ketinggian urugan yang dicapai dengan variasi harga n.....	61
2.31	Hasil pengujian pembebanan : Kurva hubungan tegangan dan penurunan untuk tanah LC + 15 % FA	64
2.32	Hasil pengujian pembebanan : Kurva hubungan tegangan dan penurunan untuk tanah lempung WL 100 %	65
2.33	Hypothesis dari luar gaya tarik.....	66
2.34	Sistem koordinat tiga dimensi dan konversi tanda untuk tegangan.....	69
3.1	(a) Tampak depan bak permodelan	
	(b) tampak atas bak permodelan.....	83
3.2	Skema bak permodelan.....	84
3.3	Rangkaian 2 lapisan perkuatan <i>tyresoil</i>	86
3.4	Bagan alir tahap pengujian di laboratorium	87
3.5	Skematis penempatan benda uji dan beban uji geser langsung	91
4.1	Hubungan waktu dan penurunan simulasi lereng benda uji $\beta = 80^\circ$, $h = 20$ cm dan jarak pembebanan $d = 0$ cm.....	101
4.2	Gambar <i>total displacement (shading)</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	103

4.3	Gambar <i>total displacement (arrow)</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	104
4.4	Gambar <i>vertical displacements</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	105
4.5	Gambar <i>horizontal displacements</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	106
4.6	Gambar <i>deformed mesh</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	107
4.7	Gambar <i>total stresses</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	108
4.8	Gambar <i>effective stresses</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	109
4.9	Gambar <i>mean stresses</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	110
4.10	Gambar <i>relative shear stresses</i> hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> tanpa pembebanan vertikal.....	111
4.11	Gambar <i>total displacement (shading)</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	113
4.12	Gambar <i>total displacement (arrow)</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	114

4.13	Gambar <i>vertical displacements</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	115
4.14	Gambar <i>horizontal displacements</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	116
4.15	Gambar <i>deformed mesh</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	117
4.16	Gambar <i>total stresses</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	118
4.17	Gambar <i>effective stresses</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	119
4.18	Gambar <i>mean stresses</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	120
4.19	Gambar <i>relative shear stresses</i> model simulasi I hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i> untuk benda uji tanah tanpa <i>tyresoil</i> dan dengan <i>tyresoil</i> dengan pembebanan vertikal	121
4.20	Perbandingan angka keamanan tanpa <i>tyresoil</i> dengan variasi jarak pembebanan vertikal.....	123
4.21	Perbandingan angka keamanan dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir) dengan variasi jarak pembebanan vertikal	124
4.22	Perbandingan angka keamanan dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>) dengan variasi jarak pembebanan vertikal	124
4.23	Perbandingan angka keamanan tanpa <i>tyresoil</i> dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir maupun <i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>) pada simulasi model lereng I tanpa pembebanan dan dengan pembebanan vertikal	125

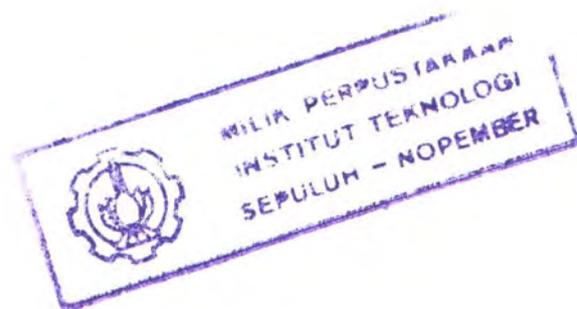
4.24	Perbandingan angka keamanan tanpa <i>tyresoil</i> dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir maupun <i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>) pada simulasi model lereng II tanpa pembebanan dan dengan pembebanan vertikal.....	126
4.25	Perbandingan angka keamanan tanpa <i>tyresoil</i> dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir maupun <i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>) pada simulasi model lereng III tanpa pembebanan dan dengan pembebanan vertikal.....	127
4.26	Mekanisme keruntuhan tanpa <i>tyresoil</i> simulasi model I manual	129
4.27	Mekanisme keruntuhan tanpa <i>tyresoil</i> simulasi model II manual	130
4.28	Mekanisme keruntuhan tanpa <i>tyresoil</i> simulasi model III manual.....	131
4.29	Mekanisme keruntuhan dengan <i>tyresoil</i> simulasi model I manual.....	132
4.30	Mekanisme keruntuhan dengan <i>tyresoil</i> simulasi model II manual	133
4.31	Mekanisme keruntuhan dengan <i>tyresoil</i> simulasi model III manual.....	134
4.32	Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa <i>tyresoil</i>	136
4.33	Kurva hubungan tegangan dan penurunan dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir maupun <i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>).....	137
4.34	Kurva hubungan tegangan dan penurunan dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>)	138
4.35	Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa <i>tyresoil</i> dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir maupun <i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>) pada benda uji I.....	139
4.36	Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa <i>tyresoil</i> dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir maupun <i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>) pada benda uji II	140
4.37	Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa <i>tyresoil</i> dengan bahan komposit (<i>tyresoil</i> dan pasir maupun <i>tyresoil</i> dan <i>copper slag</i>) pada benda uji III.....	141

 **DAFTAR TABEL**



DAFTAR TABEL

TABEL :	Halaman
2.1 Nilai-nilai faktor daya dukun Terzaghi	53
2.2 Nilai perkiraan angka poisson untuk tanah.....	72
2.3 Nilai perkiraan modulus elastisitas dan angka poisson	72
2.4 Nilai perkiraan sudut geser tanah	73
3.1 Skematik permodelan sistem lereng.....	89
3.2 Parameter-parameter untuk perhitungan <i>PLAXIS</i>	93
4.1 Hasil uji sifat fisik.....	97
4.2 Hasil perhitungan program <i>PLAXIS</i>	128
4.3 Persentase peningkatan angka keamanan, daya dukung serta pengurangan penurunan hasil program <i>PLAXIS</i> dengan pembebanan.....	128
4.4 Perbandingan hasil pengujian Laboratorium dengan program <i>PLAXIS</i>	135



BAB I



- PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pegunungan didaerah tropis seringkali terbentuk dari tanah residual yang terjadi karena proses pelapukan dari batuan asal. Kondisi iklim tropis yang mempunyai pergantian musim panas dan musim hujan mempercepat proses pelapukan batuan.

Daerah gunung Kawi yang didominasi oleh tanah lanau, mempunyai banyak kasus kelongsoran. Curah hujan dengan intensitas yang tinggi dalam waktu yang lama merupakan salah satu faktor penyebab tanah longsor. Meskipun hujan bukan merupakan satu-satunya penyebab kelongsoran, tetapi keberadaan air dalam tanah memiliki peran utama dalam stabilitas lereng.

Kestabilan lereng tergantung dari kekuatan geser suatu tanah yang tidak mampu memikul suatu kondisi beban kerja yang berlebihan. Dengan kata lain, keruntuhan suatu lereng sering diakibatkan oleh meningkatnya tegangan geser suatu massa tanah atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. Masalah lain dari stabilitas lereng adalah terjadinya penurunan atau retakan jika lapisan tanah mengalami pembebanan. Penurunan yang terjadi disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/air didalam tanah tersebut. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

Ada beberapa sebab terjadinya penurunan akibat pembebanan, yaitu :

1. Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampauinya daya dukung tanah.
2. Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada pondasinya.
3. Distorsi geser (*shear distortion*) dari tanah pendukungnya.
4. Turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

Sebagian besar penurunan diakibatkan oleh pengurangan angka pori. Hampir semua jenis tanah akan berkurang angka porinya bila beban vertikal bertambah dan angka pori akan bertambah bila beban dikurangi.

Longsoran akan terjadi, bila dalam suatu massa tanah tidak ada keseimbangan antara gaya dorong dan gaya penahan. Dimana, gaya dorong tersebut tidak dapat ditahan oleh gaya penahan. Dan pergerakan tanah yang longsor dari suatu lereng, akan bergeser melalui bidang gelincir, yakni bagian tanah yang mempunyai kuat geser terendah. Untuk mendapatkan keseimbangan yang baru, perlu diupayakan penanganan dengan mengubah besaran dari salah satu gaya, yakni dengan menambah gaya penahan atau memperkecil gaya pendorong.

Untuk mengantisipasi kelongsoran pada lereng diperlukan rekayasa geoteknik dengan menggunakan teknik-teknik perkuatan tanah baik *biotechnical stabilisation* (kombinasi penggunaan tanaman hidup dengan material buatan (*hard structure*), *bioengineering* (penggunaan tanaman hidup dan bagian-bagian dari tanaman terutama akar, cabang, dan ranting serta batangnya yang berfungsi sebagai struktur utama), atau material perkuatan lereng seperti *geotextile*, *pile*, *strip bar*, dan lain-lain.

Selain itu usaha perbaikan tanah menggunakan *tyresoil* bisa dijadikan sebagai alternatif dengan asumsi lapisan pneusol *tyresoil* pada kemiringan lereng akan mampu mengurangi kelongsoran (meningkatkan faktor angka keamanan lereng), karena pneusol mempunyai karakteristik elastis dan kuat tarik yang cukup besar. *Tyresoil* atau ban bekas adalah bahan yang cukup mudah didapat dan murah. Penggunaan ban bekas yang tidak dapat didaur ulang ini kebanyakan kurang digunakan untuk sesuatu yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi.

Penggunaan *tyresoil* ini telah diteliti oleh peneliti sebelumnya, seperti penggunaan *tyresoil* untuk perkuatan *embankment* telah memungkinkan untuk menaikkan tegangan tanah urugan, serta membatasi tebal yang diperlukan (Long, 1984). Indarto et al (2000) melakukan studi laboratorium tentang penggunaan *tyresoil* untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi besarnya penurunan yang terjadi di atas tanah lempung lunak. Munira Sungkar et al (2002) melakukan studi laboratorium tentang pengaruh penggunaan *tyresoil* terhadap daya dukung pondasi dangkal dan besarnya penurunan yang terjadi pada tanah lempung jenuh natural dan yang distabilisasi dengan *fly-ash*. Sedangkan Feriyanto et al (2003) melakukan studi laboratorium tentang pengaruh adanya perkuatan lapisan *tyresoil* terhadap daya dukung pondasi dangkal dan besarnya penurunan yang terjadi pada tanah lempung jenuh natural.

Pada penelitian ini yang dipelajari adalah tentang pengaruh penggunaan *tyresoil* terhadap kestabilan lereng pada tanah lanau gunung Kawi dengan kadar air $\pm 51\%$ - 52% , dua lapisan perkuatan *tyresoil* serta penggunaan material granuler pasir dan *copper slag* dengan uji model di laboratorium. Dalam penelitian ini pula akan dipelajari tentang penurunan dan keruntuhan pondasi akibat beban vertikal secara berangsur-angsur dengan jarak pembebanan bervariasi terhadap tepi kemiringan lereng.

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat mengetahui apakah stabilitas lereng dengan perkuatan *tyresoil* (dua lapisan) akan lebih besar faktor angka keamanan (*safety factor*) baik menerima tekanan vertikal dan besarnya tegangan geser jika dibandingkan dengan lereng tanpa perkuatan. Sebagai pembandingan hasil percobaan ini dicoba dianalisis lebih rinci dengan metode elemen hingga menggunakan program *PLAXIS*, agar dapat memberikan gambaran distribusi deformasi dan tegangan yang lebih informatif.

1.2 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang memadai, tinjauan dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Sampel tanah atau bahan uji digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lanau (diperoleh dari daerah Gunung Kawi, kecamatan Wonosari, kabupaten Malang, propinsi Jawa Timur).
2. *Copper Slag* yang diperoleh dari PT. (Persero) Semen Gresik Tbk.
3. Pasir Sungai Brantas Malang.
4. Pengujian stabilitas lereng dalam kondisi *undrained* terhadap tanah dilakukan didalam bak pemodelan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Pengujian kuat geser dilakukan dengan alat uji geser langsung (*direct shear test*).
6. Pengujian dilakukan dengan kadar air yang digunakan sebesar $\pm 51\%$ - 52% , dimana Kadar air tersebut diperoleh dari hasil identifikasi tanah.

7. Pembebanan dilakukan dengan kenaikan beban secara bertahap dengan penambahan beban sebesar 0,5 kg sampai lereng mengalami kelongsoran.
8. Stabilitas lereng didalam bak pemodelan dilakukan dengan sebagai berikut :
 - a. Sudut kemiringan (β) : 80° .
 - b. Ketinggian (h) : 25 cm.
 - c. Jarak pembebanan dari pinggir atas lereng (d) bervariasi : 0 cm, 5 cm, 10 cm.
9. Tidak membahas usia dan tingkat keausan dari material ban bekas itu sendiri.

1.3 Perumusan Masalah

Masalah akan dikaji pada penelitian ini mencakup :

1. Bagaimana kelongsoran yang terjadi tanpa *tyresoil* maupun dengan penggunaan *tyresoil* akibat pengaruh ketinggian (h) : 25 cm, dan jarak pembebanan dari pinggir atas lereng (b) : 0 cm, 5 cm, 10 cm, terhadap sudut kemiringan lereng (β) : 80° .
2. Bagaimana hasil yang didapat dari perhitungan dengan program *Plaxis* untuk menghitung kelongsoran lereng yang terjadi, sehingga didapat kesesuaian dengan hasil pengujian dilaboratorium.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi kemiringan lereng, ketinggian lereng, dan pemakaian *tyresoil* terhadap variasi pembebanan terbesar yang masih bisa ditahan lereng.
2. Mengetahui pengaruh variasi kemiringan lereng, ketinggian lereng, variasi pembebanan dan pemakaian *tyresoil* terhadap angka keamanan yang dihitung dengan program *Plaxis*.

1.5 Manfaat Penelitian

Sejauh ini mengenai pengaruh ban bekas (*old tyres*) dalam teknik sipil di Indonesia masih terbatas. Jika hasil dari penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan, maka akan memberikan manfaat sebagai berikut :

- a. Pemakaian *tyresoil* akan memperkecil gaya pendorong atau menambah gaya penahan.
- b. Membuka peluang untuk pemanfaatan ban bekas (*old tyres*) secara lebih luas.
- c. Dapat dijadikan salah satu alternatif dalam penanggulangan longsor.

BAB II



• STUDI LITERATUR

BAB II

STUDI LITERATUR



2.1 Umum

Kestabilan lereng dapat dibedakan atas lereng alam (*natural slopes*) dan lereng buatan (*man made slopes*). Lereng buatan dapat terjadi dengan pemotongan tebing (penggalian) atau pembangunan suatu *embankment* (lereng timbunan). Pada setiap macam lereng ini, kemungkinan terjadinya kelongsoran atau keruntuhan lereng selalu ada, sehingga untuk mengantisipasi masalah ini diperlukan suatu analisis stabilitas lereng. Tujuan utama dari analisis kestabilan lereng adalah memberikan suatu tinjauan dan perencanaan lereng yang aman dan ekonomis.

Peristiwa kelongsoran lereng tanah merupakan salah satu bencana alam yang memiliki frekuensi yang sangat tinggi pada akhir musim penghujan sehingga peristiwa kelongsoran sering dikaitkan dengan hujan. Padahal, hujan bukanlah merupakan satu-satunya penyebab, namun terkadang hanya merupakan pemicu dari peristiwa kelongsoran tersebut. Masuknya air hujan kedalam tanah melalui celah-celah sehingga penjuhan tanah pada saat hujan dapat berlangsung dengan cepat, yang kemudian akan mengakibatkan meningkatkan tegangan air pori sepanjang bidang gelincir, tanah menjadi jenuh dan mudah gembur. Sehingga kemudian akan berpotensi mengurangi tekanan normal dan tegangan geser efektif, yang mengakibatkan lamba laun lereng mengalami keruntuhan akibat berkurangnya kuat geser tanah dalam mempertahankan stabilitas lereng.

Terjadinya kenaikan tegangan geser atau mengurangi kuat geser massa tanah, yaitu antara lain akibat gravitasi dan gaya-gaya lainnya seperti aliran air, gempa bumi, kelebihan pembebanan, pergerakan lereng secara alami, dan sebagainya. Bila sudah terjadi keruntuhan pada lereng, berarti kekuatan geser tanah tersebut terlampaui, artinya perlawanan geser pada permukaan runtuh tidak cukup besar untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada permukaan lereng tersebut. Oleh karena itu, untuk menentukan stabilitas suatu lereng perlu diketahui kekuatan geser tanah pada lereng tersebut.

Analisis dilakukan dengan bantuan Program *PLAXIS 7.2* untuk mengetahui mekanisme kelongsoran yang terjadi, berdasarkan metode elemen hingga. Stabilitas lereng dianalisis atas dasar angka keamanan yang menurut terminologi yang digunakan dalam metode elemen hingga adalah perbandingan antara parameter kekuatan minimal yang diperlukan dalam kondisi keseimbangan. Angka keamanan diperoleh dengan melakukan reduksi parameter kekuatan tanah pada kondisi aktual sampai dicapai kondisi keruntuhan.

2.2 Tanah

Batuan dan *tanah* adalah material geologi atau material bumi yang utama dalam rekayasa geoteknik. Formasi tanah dan massa batuan mempunyai keunikan “karakter” masing-masing yang tidak hanya menunjang pengaruh sejarah geologinya, tetapi juga mengontrol gambaran perilaku pada pekerjaan rekayasa. Karakter tersebut dapat diketahui dari identifikasi dan klasifikasi dengan melakukan *pengujian* dan *pengamatan langsung* untuk memperoleh sifat-sifatnya. Estimasi sifat-sifat karakteristik untuk memperoleh korelasi formasi tanah dan massa batuan, dapat dilakukan jika identifikasi dan klasifikasi keduanya dilakukan dengan layak. Formasi tanah dan batuan mempunyai gambaran karakteristik yang menetapkan dasar-dasar untuk interpretasi dan menentukan unsur-unsurnya, yang juga merupakan dasar-dasar untuk mengestimasi sifat-sifat mekanisnya.

Tanah di klasifikasikan berdasarkan rekayasa, yaitu : gradasi, plastisitas, dan kandungan organik serta digambarkan secara umum seperti kohesi dan non kohesif, berbutir atau tidak berbutir. Sedangkan menurut kelompoknya, dapat dilakukan dengan kriteria berdasarkan sebagai berikut :

1. **Karakteristik mekanis**, seperti : keras atau lunak, sensitif atau tidak sensitif, dapat dipadatkan atau tidak dipadatkan, mengembang atau tidak mengembang, kedap atau tidak kedap.
2. **Fenomena fisik**, seperti : mudah tererosi, sensitif terhadap cuaca, mudah runtuh.
3. **Gradasi**, seperti : kerikil, pasir, lanau, lempung, organik dan campuran.

2.2.1 Tanah Jenuh (*Saturated Soils*)

Jika pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali, jadi pori-pori tersebut penuh berisi air. Tanah jenuh (*saturated soil*), merupakan istilah untuk tanah yang mempunyai tegangan air pori positif yang kebanyakan terletak dibawah muka air tanah (sungai, danau, kolam, sawah dan sebagainya).

Tingkat kejenuhan tanah dinyatakan dengan derajat kejenuhan (*degree of saturation*), S_r . Derajat kejenuhan adalah merupakan presentase dari volume ruang kosong total yang mengandung air. Tanah jenuh apabila pori-pori tanah penuh oleh air, maka tanah adalah jenuh, $S_r = 100$ persen.

2.2.2 Tanah Tidak Jenuh (*Unsaturated Soil*)

Kondisi tanah di alam secara alami dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu pertama, tanah tersebut mengalami kondisi jenuh sempurna (*fully saturated*) dan kedua, tanah tersebut mengalami kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Kondisi kejenuhan yang berbeda ini dapat disebabkan oleh adanya perbedaan fase di dalam struktur partikel-partikel yang membentuk suatu massa tanah. Pada kondisi tanah yang jenuh sempurna, pori-pori tanah dapat terisi oleh fase air dan fase udara.

Teori tentang mekanika tanah klasik yang dipelopori oleh Terzaghi mendasarkan prinsip-prinsip perhitungannya kepada suatu asumsi, bahwa kondisi suatu tanah adalah jenuh sempurna (*fully saturated*). Lingkup pembahasan tentang mekanika tanah klasik ini dapat dibagi menjadi 3 (tiga) masalah utama, yaitu :

1. Analisis rembesan (*seepage*), yang dapat terbagi menjadi analisis aliran *confined* atau *unconfined* (Casagrande, 1936).
2. Analisis plastisitas dan batas keseimbangan (*limit equilibrium*), seperti masalah tentang stabilitas lereng (*slope stability*), daya dukung (*bearing capacity*) dan tekanan tanah lateral (*lateral earth pressures*).
3. Analisis perubahan volume, yang merupakan masalah utama pada prediksi penurunan (*settlement*) pada tanah lempung lunak.

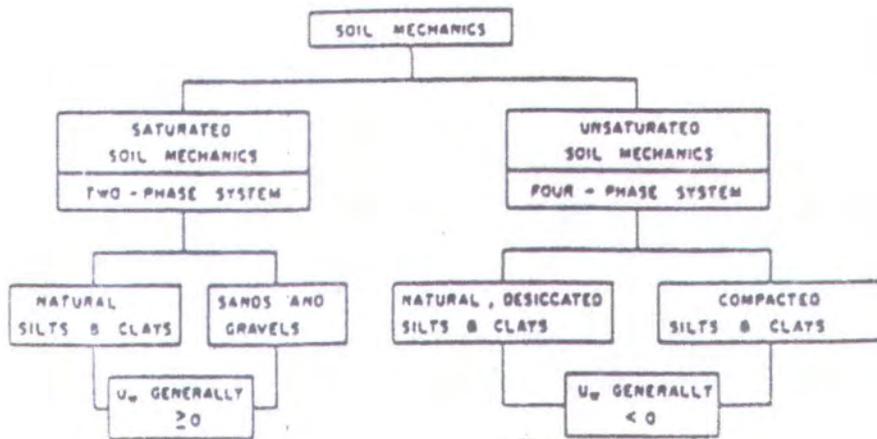
Menurut Bishop, persamaan tegangan efektif untuk tanah jenuh sebagian adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \sigma' + u_a \cdot \chi \cdot (u_a - u_w) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana χ adalah suatu parameter yang ditentukan dari percobaan yang berhubungan dengan tingkat kejenuhan suatu tanah. Untuk tanah jenuh $\chi = 1$ dan untuk tanah jenuh sebagian $\chi = 0$. Suku $(u_a - u_w)$ adalah besarnya suction, biasa disebut sebagai *matric suction*. Parameter u_a adalah besarnya tekanan udara pori (*pore air pressure*), dan u_w adalah tekanan air pori (*pore water pressure*).

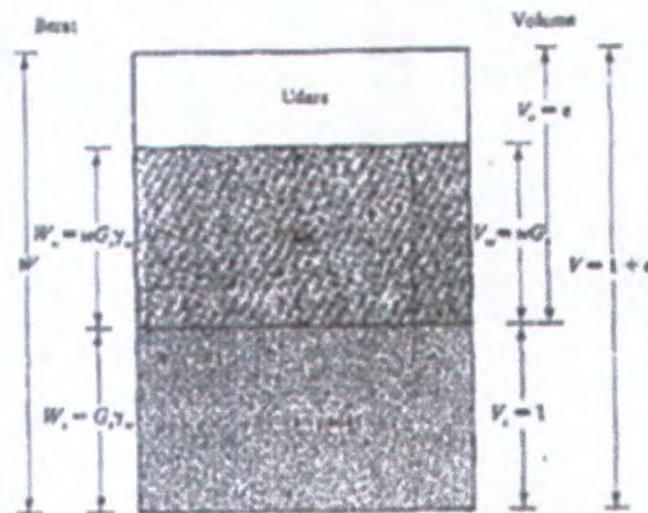
Tanah jenuh sebagian menggambarkan tanah yang tidak memiliki kejenuhan 100%, dalam istilah sekarang disebut sebagai tanah tidak jenuh (*unsaturated soil*). Istilah tanah tidak jenuh (*unsaturated soil*) dapat dikenakan pada semua jenis tanah yang memiliki tegangan air pori negatif (Fredlund dan Rahardjo, 1993). Dalam hal ini, istilah tidak jenuh tidaklah berarti bahwa suatu tanah memiliki derajat kejenuhan nol, tetapi hanya menggambarkan bahwa derajat kejenuhan tidak mencapai 100%. Sedangkan tanah jenuh (*saturated soil*) merupakan istilah untuk tanah yang mempunyai tegangan air pori positif, yang di alam terletak dibawah muka air tanah. Penggolongan ini menjadi penting untuk dilakukan, mengingat karakteristik dan perilakunya yang berbeda. Dengan demikian teori atau analisis tentang rembesan, kekuatan geser dan perubahan volume pada tanah tidak jenuh juga akan memiliki latar belakang yang berbeda dengan teori mekanika tanah klasik yang mendasarkan asumsinya pada tanah jenuh sempurna.

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 2.1, yang membagi pembahasan analisis mekanika tanah (*soil mechanics*) menjadi dua golongan utama, yaitu *saturated soil mechanics* dan *unsaturated soil mechanics*.



Gambar 2.1 Penggolongan ilmu mekanika tanah
(Fredlund, 1979)

Hubungan berat-volume partikel tanah, air dan udara dapat dilihat seperti Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram phase tanah
(Das, 1995)

Dari diagram tersebut didapat beberapa istilah sebagai berikut :

- a. Porositas (n)

$$n = \frac{V_v}{V} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

b. Angka pori (e)

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (2.3)$$

c. Derajat kejenuhan (S_r)

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

d. Kadar air (w)

$$w = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

e. Volumetric water content (θ_w)

$$\theta_w = \frac{V_w}{V} = \frac{S_r \cdot V_v}{V} = S_r \cdot n \dots\dots\dots (2.6.a)$$

$$\theta_w = \frac{S_r \cdot e}{1+e} \dots\dots\dots (2.6.b)$$

f. Berat volume (γ)

$$\gamma_t = \frac{G_s \cdot (1+w)}{1+e} \cdot \gamma_w = \frac{G_s + S_r \cdot e}{1+e} \cdot \gamma_w \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\gamma_w = \frac{G_s}{1+e} \cdot \gamma_w \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

V_v = volume pori

V_w = volume air

V_s = volume butir

V = volume total ($V = V_v + V_s$)

M_w = berat air

M_s = berat solid

γ_w = berat volume air

γ_t = berat volume total

γ_d = berat volume kering

2.3 Tanah Lanau

Sama halnya dengan kerikil dan pasir, sebagian besar fraksi lanau tersusun atas mineral bukan lempung (Mitchell, 1976). Karakteristik fisik tanah yang tersusun bukan dari mineral lempung (*nonclay mineral*) biasanya disebut sebagai *cohesionless soil*, ditentukan oleh : ukuran partikel, bentuk, tekstur permukaan dan distribusi ukuran. Material bukan lempung ini, umumnya dihasilkan dari suatu proses pelapukan pecahnya batuan asal akibat pengaruh cuaca. Menurut Mitchell (1976), batuan beku yang merupakan sumber material pembentuk tanah, mengandung mineral *feldspar* (sekitar 60%) dan *pyroxenes* beserta *amphibol* sekitar 17%. Selain *feldspar*, *pyroxenes* dan *amphibol*, batuan beku juga mengandung *quartz* sekitar 12%, *mika* 4% dan mineral lainnya 8%. Berdasarkan sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) dan *USCS* (*Unified Soils Classification System*), lanau dan lempung tergolong kedalam material berbutir halus.

Dalam ilmu mekanika tanah, maka yang dikatakan tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau campuran dari material berikut (Bowles, 1991) :

- a. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
- b. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*), yaitu partikel batuan yang berukuran 0,074 sampai 5 mm. Biasanya terdiri dari pasir kasar (ukuran 3 sampai 5 mm) dan pasir halus.
- d. Lanau (*silt*), yaitu partikel yang berukuran 0,002 sampai 0,074 mm. Lanau (dan lempung) dalam jumlah yang besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai. Deposit *loess* terjadi bila angin mengangkut partikel-partikel lanau ke suatu lokasi, dan partikel-partikel hasil angkutan angin ini biasanya mempunyai ukuran butiran yang hampir sama.
- e. Lempung (*clay*), adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.

Berdasarkan sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) dan *USCS* (*Unified Soils Classification System*), lanau dan lempung tergolong ke dalam material berbutir halus. Menurut Bowles (1991), yang dikatakan lanau (*silt*) adalah partikel-partikel mineral yang ukurannya berkisar antara maksimum 0,05 mm sampai 0,074 mm dan 0,002 mm dan 0,006 mm. Tanah lanau terkadang menunjukkan kohesi atau tarikan partikel dan adesi serta dapat juga mempunyai kohesi semu, yang bisa hilang karena pengeringan. Umumnya kohesi pada tanah lanau disebabkan oleh partikel-partikel lempung yang tersebar diseluruh massa tanah tersebut. Seringkali sejumlah kecil (5–8%) partikel lempung akan memberikan karakteristik lempung yang berpengaruh kepada lanau. Lanau pada umumnya bukan merupakan bahan pondasi yang baik, kecuali jika kering atau telah mengalami kompresi yang tinggi hingga menjadi batuan sedimen (batu lanau). Lanau biasanya lepas dan sangat kompresibel.

Walaupun terdiri dari partikel yang lebih besar dari lempung, lanau seringkali dikelompokkan bersama dengan lempung sebagai tanah berbutir halus dengan ukuran partikel lebih kecil dari 0,0074 mm. Lanau plastis terdiri dari butiran kwarsa lebih kurang seragam dan suatu saat ditunjukkan sebagai “tepung batu”. Lanau plastis mengandung sejumlah partikel berbentuk kepingan. Lanau digolongkan sebagai material anorganik, dengan sifat dari nonplastis sampai plastis. Jika dibasahi lanau bertekstur halus seperti lempung.

Karakteristik lanau :

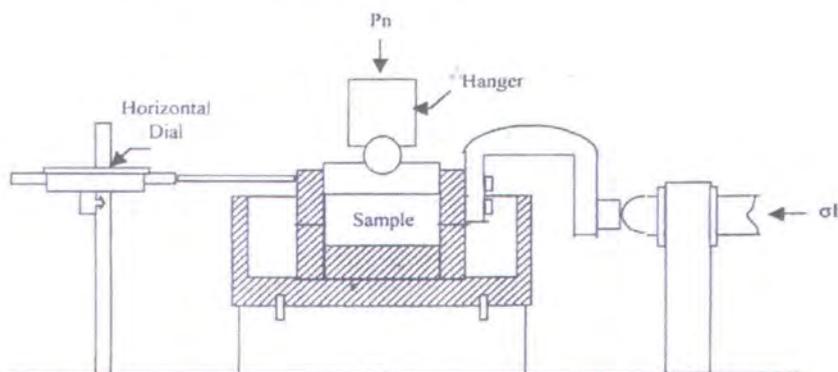
- a. ***Pemuaian*** (*dilatancy*), volume pada lanau akan berubah bersamaan dengan perubahan bentuknya; sedangkan lempung akan menahan volumenya bersamaan perubahan bentuknya (*plastisitas*). Butirannya halus, tetapi dibandingkan lempung, jarak pori pada lanau relatif besar, sehingga mempunyai sifat sensitivitas yang tinggi untuk mengubah tekanan pori, terutama dari peningkatan akibat getaran. Disebabkan oleh penampilan fisiknya dan kecenderungannya untuk berubah parameternya akibat getaran, lanau seringkali ditunjukkan sebagai “*bersifat khusus*”.
- b. ***Stabilitas***, dalam keadaan jenuh, lanau mempunyai kecenderungan menjadi “*quick*” dan mengalir sebagai suatu cairan kental.

- c. *Kohesi semu*, dihasilkan dari gaya kapiler memberikan suatu lekatan sesaat diantara partikel-partikel yang dapat rusak oleh kejenuhan atau kekeringan.

Tanah lanau mempunyai kohesi atau tarikan antara partikel dan adhesi serta dapat juga mempunyai kohesi semu. Adanya kohesi pada tanah lanau umumnya disebabkan oleh partikel-partikel mineral lempung yang tersebar di seluruh massa tanah tersebut. Seringkali sejumlah kecil (5% sampai 8%) partikel lempungan akan memberikan karakteristik lempung yang berpengaruh kepada lanau (Bowles, 1991). Tanah lanau bukan merupakan bahan pondasi yang baik, kecuali jika kering atau telah mengalami kompresi yang tinggi hingga menjadi batuan sediment (Bowles, 1991). Lebih lanjut Bowles (1991) mengatakan butiran-butiran lanau bersifat lepas dan sangat kompresibel.

2.4 Uji Geser Langsung

Uji geser langsung (*direct shear test*), merupakan pengujian yang sederhana. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sampel kedalam kotak geser seperti terlihat pada Gambar 2.3 Kotak ini terbagi dua, dengan setengah bagian bawah merupakan bagian yang tetap dan bagian atas bebas bertanslasi. Kotak ini tersedia dalam beberapa ukuran, namun yang biasa digunakan adalah bentuk lingkaran dengan diameter 6,4 cm atau bujur sangkar dengan sisi 5,0 cm.



Gambar 2.3 Diagram skematik alat uji geser langsung

Contoh tanah secara hati-hati diletakkan didalam kotak, kemudian sebuah blok pembebanan diletakkan diatas contoh tanah. Gaya normal diberikan pada sampel dengan meletakkan suatu beban P_n , sedangkan gaya geser diberikan dengan cara mendorong sisi kotak geser sebelah atas sampai terjadi keruntuhan geser pada contoh tanah.

Pada bidang runtuh terdapat dua gaya yang bekerja, yaitu gaya normal yang berasal dari beban vertikal sebesar P_n dan gaya geser akibat gaya horizontal sebesar P_h yang timbul pada saat kotak geser didorong. Tegangan normal (σ_n) dan tegangan geser (τ) yang terjadi dihitung dengan rumus :

$$\sigma_n = \frac{P_n}{A} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\tau = \frac{P_h}{A} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana A adalah luas penampang benda uji (luas kotak geser) dan biasanya tidak dikoreksi terhadap perubahan luas contoh tanah lateral akibat gaya geser P_h .

2.5 Tegangan Geser

2.5.1 Tegangan Geser Tanah Jenuh

Kuat geser pada tanah jenuh (*saturated soils*) dijabarkan dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dan konsep tegangan efektif dari Terzaghi (Terzaghi, 1936).

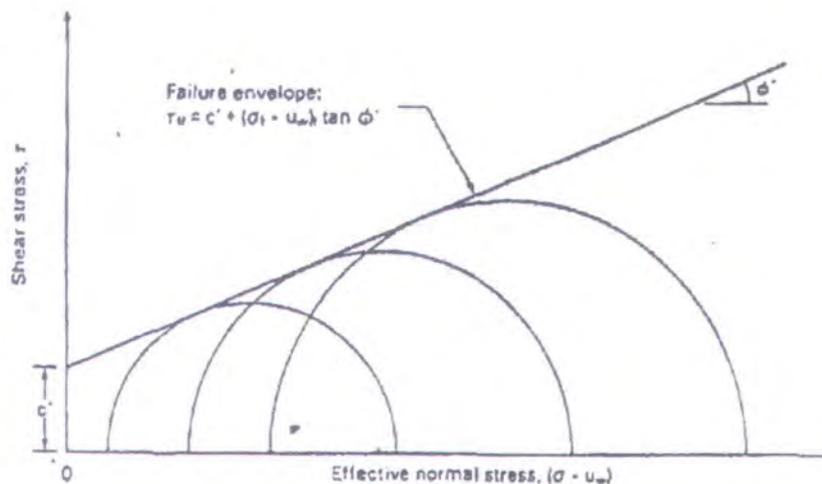
$$\tau = c' + (\sigma - u_w) \cdot \tan \phi' \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

di mana :

- τ = tegangan geser pada saat runtuh
- c' = kohesi efektif
- $(\sigma - u_w)$ = tegangan normal efektif pada saat runtuh
- ϕ' = sudut geser dalam efektif

Rumus 2.11 merupakan bentuk persamaan garis lurus seperti yang dilukiskan pada Gambar 2.4. Garis ini selanjutnya dinyatakan sebagai garis keruntuhan (*failure envelope*). Kemiringan garis keruntuhan merupakan harga dari sudut geser dalam efektif

(ϕ') dan titik perpotongan antara garis keruntuhan dengan sumbu ordinat merupakan nilai kohesi efektif (c').



Gambar 2.4 Garis keruntuhan Mohr-Coulomb untuk tanah jenuh (Fredlund dan Rahardjo, 1993).

2.5.2 Tegangan Geser Tanah Tidak Jenuh

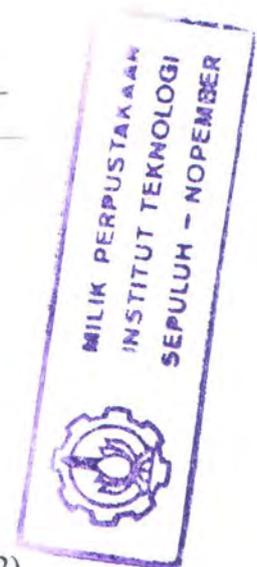
Kuat geser tanah tidak jenuh dapat ditentukan seperti berikut ini :

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \cdot \tan \phi' + (u_a - u_w) \cdot \tan \phi^b \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

di mana :

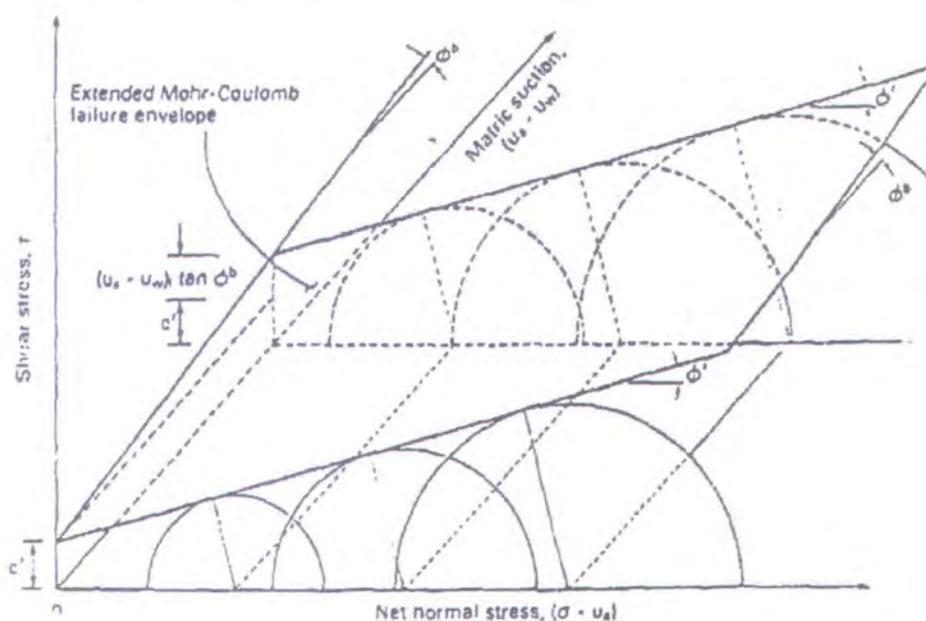
- τ = tegangan geser pada saat runtuh
- c' = kohesi efektif
- $(\sigma - u_a)$ = tegangan normal efektif pada saat runtuh
- ϕ' = sudut geser dalam efektif
- $(u_a - u_w)$ = *matric suction*
- ϕ^b = sudut yang terjadi karena penambahan kuat geser akibat *matric suction*

Berdasarkan persamaan 2.11 dan 2.12 diketahui bahwa, persamaan kuat geser pada tanah tidak jenuh merupakan pengembangan dari persamaan kuat geser tanah



jenuh. Untuk tanah tidak jenuh, terdapat dua variabel tegangan yang digunakan untuk menggambarkan kuat gesernya yaitu tegangan normal ($\sigma - u_a$) dan *matric suction* ($u_a - u_w$), sedangkan untuk tanah jenuh hanya terdapat satu variabel yaitu tegangan normal efektif ($\sigma - u_w$).

Pada kasus tanah tidak jenuh, lingkaran Mohr dapat digambarkan dalam tiga dimensi, seperti terlihat pada Gambar 2.5. Ketiga dimensi tersebut terdiri dari tegangan geser (τ), sebagai ordinat dan dua variabel yang lain yaitu : tegangan normal ($\sigma - u_a$) dan *matric suction* ($u_a - u_w$) sebagai absis. Bidang frontal menggambarkan tanah dalam kondisi jenuh, dimana *matric suction* sama dengan nol. Pada bidang depan ini, sumbu ($\sigma - u_a$) sama dengan sumbu ($\sigma - u_w$), karena pada kondisi ini tegangan udara pori (u_a) sama dengan tegangan air pori (u_w).



Gambar 2.5 Keruntuhan Mohr-Coulomb untuk tanah tidak jenuh
(Fredlund dan Rahardjo, 1993)

Perpotongan antara garis keruntuhan dengan sumbu ordinat (tegangan geser) pada Gambar 2.5 memberikan nilai kohesi (c'). Garis keruntuhan memiliki kemiringan sudut ϕ^a dan ϕ^b berturut-turut untuk sumbu ($\sigma - u_a$) dan ($\sigma - u_w$). Perpotongan kohesi (c') dan sudut kemiringan ϕ^a dan ϕ^b merupakan parameter kuat geser tanah. Nilai parameter kuat geser tanah ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti : kepadatan, angka pori,

derajat kejenuhan, komposisi mineral dan sejarah tegangan (Fredlund dan Rahardjo, 1993).

Perilaku mekanik tanah tidak jenuh dipengaruhi oleh perubahan tegangan normal dan perubahan *matric suction* (Jennings dan Burland, 1962). Peningkatan kuat geser akibat penambahan tegangan normal dinyatakan dalam sudut geser (ϕ'), dan peningkatan kuat geser akibat penambahan nilai *matric suction* digambarkan oleh sudut ϕ^b . Harga sudut ϕ^b biasanya sama dengan atau lebih kecil dari sudut ϕ' (Fredlund dan Rahardjo, 1993).

2.6 Gerakan Tanah dan Longsoran

2.6.1 Pengertian Gerakan Tanah dan Longsoran

Gerakan tanah adalah suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula, karena pengaruh gravitasi, arus air dan beban luar. Dalam pengertian ini tidak termasuk erosi, aliran lahar, amblesan, penurunan tanah karena konsolidasi, dan pengembangan.

Longsoran adalah suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah miring dari kedudukan semula (sehingga terpisah dari massa yang mantap), karena pengaruh gravitasi; dengan jenis gerakan berbentuk rotasi dan tranlasi.

2.6.2 Mekanisme/Karakteristik Gerakan Tanah dan Longsoran

Varnes (1978) dan Hutchinson (1988) mengusulkan klasifikasi gerakan lereng dengan mempertimbangkan jenis gerakan dan jenis material. Jenis gerakan diklasifikasikan misalnya atas runtuhan (*falls*), pengelupasan (*topples*), pergerakan lateral (*lateral spread*), aliran (*flow*) dan kombinasi dari keempat di atas. Untuk jenis material, Varnes mengklasifikasikan atas 3 kategori yaitu batuan (*bed rock*), tanah dan debris. Menurut Leroueil et al. (1996), klasifikasi tersebut belum menggambarkan perilaku tanah dan batuan secara umum dan oleh karenanya ditambahkan dengan tahapan pergerakan yang dibagi menjadi 4 yaitu :

1. Tahap sebelum runtuh (*prefailure stage*), yaitu pada saat massa tanah dan batuan masih bersifat *intact*. Pada tahap ini faktor yang mengontrol pergerakannya adalah fenomena keruntuhan progresif dan rangkak (*creep*).
2. Tahap kritis (*onset of failure*), yang dikarakterisasikan oleh pembentukan bidang geser menerus melalui seluruh massa tanah atau batuan. Karena keruntuhan dipengaruhi oleh efek kecepatan peregangan, pelembehan akibat peregangan (*stran softening*), keruntuhan progresif dan diskontinuitas, parameter yang relevan untuk menentukan ini amat sulit dirumuskan.
3. Tahap sesudah runtuh (*post failure stage*), termasuk didalamnya pergerakan dari massa tanah atau batuan, mulai dari awal pergerakan sampai berhenti mencapai keseimbangannya. Perilaku dari material yang bergerak pada tahap ini umumnya tergantung daripada redistribusi energi potensial yang tersedia pada saat keruntuhan menjadi energi gesekan (*friction energy*), energi peremasan (*remoulding energy* atau *disaggregating energy*) dan energi kinetik. Perilaku dalam tahap ini tergantung tidak saja pada karakteristik material tetapi juga sifat fisis dan karakteristik geometri dari lereng.
4. Tahap longsor aktif kembali (*reactivation stage*), pada saat massa tanah atau batuan bergerak sepanjang salah satu atau beberapa bidang geser yang telah terbentuk semula. Tahap ini bisa bersifat kadang-kadang atau bersifat kontinu dengan variasi musiman terhadap kecepatan pergerakan. Perilaku ini jelas di kontrol oleh gesekan residual dari tanah dan semua pergerakan hanya dikontrol oleh tegangan geser.

Pada keempat tahapan diatas, faktor yang berpengaruh terhadap pergerakan lereng berbeda-beda dan oleh karenanya tingkat resikonya juga berbeda.

2.6.3 Jenis-jenis Gerakan Tanah dan Longsoran

Gerakan tanah dan longsoran dapat diklasifikasi dalam banyak cara, dan masing-masing memiliki kegunaannya dalam menekankan pentingnya kepada cara pengenalan, cara penanggulangan, kontrol dan keperluan klasifikasi yang lain. Diantara atribut yang

digunakan untuk kriteria identifikasi dan klasifikasi adalah : jenis gerakan, jenis material longsoran, kecepatan gerakan, geometri, penyebab longsoran/gerakan tanah, dan kondisi aktivitasnya.

2.6.4 Klasifikasi berdasarkan jenis gerakan

Berdasarkan jenis gerakan, lereng dapat dibagi sebagai berikut :

1. Runtuhan (*Falls*)

Gerakan massa jatuh melalui udara. Umumnya massa yang jatuh ini terlepas dari lereng yang curam dan tidak ditahan oleh suatu geseran dengan material yang berbatasan. Pada jenis runtuhan batuan umumnya terjadi dengan cepat dan ada kemungkinan tidak didahului dengan gerakan awal.

2. Pengelupasan (*Topples*)

Gerakan ini berupa rotasi keluar dari suatu unit massa yang berputar terhadap suatu titik akibat gaya gravitasi atau gaya-gaya lain seperti adanya air dalam rekahan

3. Aliran Tanah (*Earth Flow*)

Jenis gerakan tanah ini dapat dimasukkan ke dalam kategori diatas karena merupakan fenomena yang berbeda. Pada umumnya jenis gerakan tanah ini terjadi pada kondisi tanah yang amat sensitif atau sebagai akibat dari gaya gempa. Bidang gelincir terjadi karena gangguan mendadak dan gerakan tanah yang terjadi umumnya bersifat cepat tetapi dapat juga lambat misalnya pada rayapan atau creep.

4. Longsoran (*Slides*)

Dalam longsoran yang sebenarnya, gerakan ini terdiri dari peregangannya secara geser dan peralihan sepanjang suatu bidang atau beberapa bidang gelincir yang dapat nampak secara visual. Gerakan ini dapat bersifat *progresif* yang berarti bahwa keruntuhan geser tidak terjadi seketika pada seluruh bidang gelincir melainkan merambat dari suatu titik. Massa yang bergerak menggelincir melainkan dari suatu titik. Massa bergerak menggelincir diatas lapisan batuan

atau tanah asli dan terjadi pemisahan (*separasi*) dari kedudukan semula. Sifat gerakan biasanya lambat hingga amat lambat.

Longsoran berdasarkan bentuk bidang gelincirnya dapat dibagi menjadi :

1. *Longsoran Rotasi*

Longsoran rotasi adalah yang paling sering dijumpai oleh para rekayasawan sipil. Longsoran jenis ini dapat terjadi pada batuan maupun pada tanah. Pada kondisi tanah homogen, longsoran rotasi ini dapat berupa busur lingkaran, tetapi dalam kenyataan sering dipengaruhi oleh adanya diskontinuitas oleh adanya sesar, lapisan lembek, dan lain-lain. Analisis kestabilan lereng yang mengasumsi bidang longsoran berupa busur lingkaran dapat menyimpang bilamana tidak memperhatikan hal ini.

2. *Longsoran Translasi*

Dalam longsoran translasi suatu massa bergerak sepanjang bidang gelincir berbentuk bidang rata. Perbedaan terhadap longsoran rotasi dan translasi merupakan kunci penting dalam penanggulangannya. Gerakan dari longsoran translasi umumnya dikendalikan oleh permukaan yang lembek. Longsoran translasi ini dapat bersifat menerus dan luas dan dapat pula dalam blok.

Terjadinya kelongsoran pada lereng sering diakibatkan oleh suatu proses dimana tegangan geser massa tanah bertambah besar atau kuat geser massa tanah berkurang, yaitu antara lain akibat dari gravitasi dan gaya-gaya lainnya, misalnya aliran air, gempa bumi, kelebihan pembebanan, pergerakan lereng secara alami (Edil, 1982). Bila sudah terjadi kelongsoran atau keruntuhan pada lereng, berarti kekuatan geser tanah tersebut telah dilampaui, artinya perlawanan geser pada permukaan runtuh tidak cukup besar untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada permukaan. Karena itu, untuk menentukan stabilitas suatu lereng perlu diketahui kekuatan geser tanah pada lereng tersebut.

2.6.5 Penyebab Gerakan Tanah dan Longsoran

Penyebab gerakan tanah dan longsoran terdiri dari suatu seri kejadian yang dapat berasal dari alam maupun oleh manusia. Dalam banyak kasus, penyebab tersebut sering tidak dapat dihindarkan. Penyebab yang paling umum adalah unsur geologi, topografi, dan iklim. Jarang sekali penyebab gerakan ini bersifat tunggal, tetapi pada umumnya kombinasi dari beberapa faktor. Penyebab gerakan tanah dan longsoran ini harus lebih dahulu dimengerti sebelum suatu tindakan pencegahan atau tindakan remedial dilakukan.

Semua longsoran pada tanah terjadi oleh tegangan geser, oleh sebab itu tinjauan yang dapat dilakukan adalah faktor yang menyebabkan peningkatan tegangan geser dan faktor yang menyebabkan penurunan dari tahanan geser atau kuat geser (Edil, 1982).

a. Faktor-faktor yang menyebabkan peningkatan tegangan geser

1. Kehilangan dukungan (*lateral* dan *vertikal*)

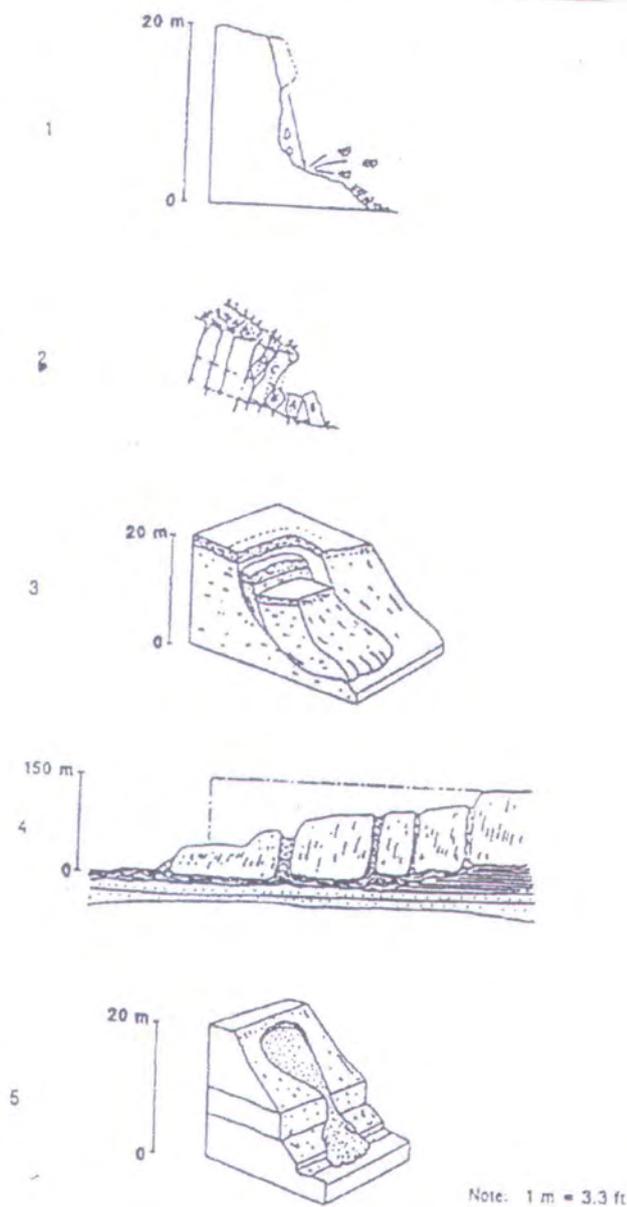
- Erosi oleh sungai
- Proses pelapukan
- Penggalan permukaan oleh manusia
- Penambangan

2. Beban permukaan dan Beban lain

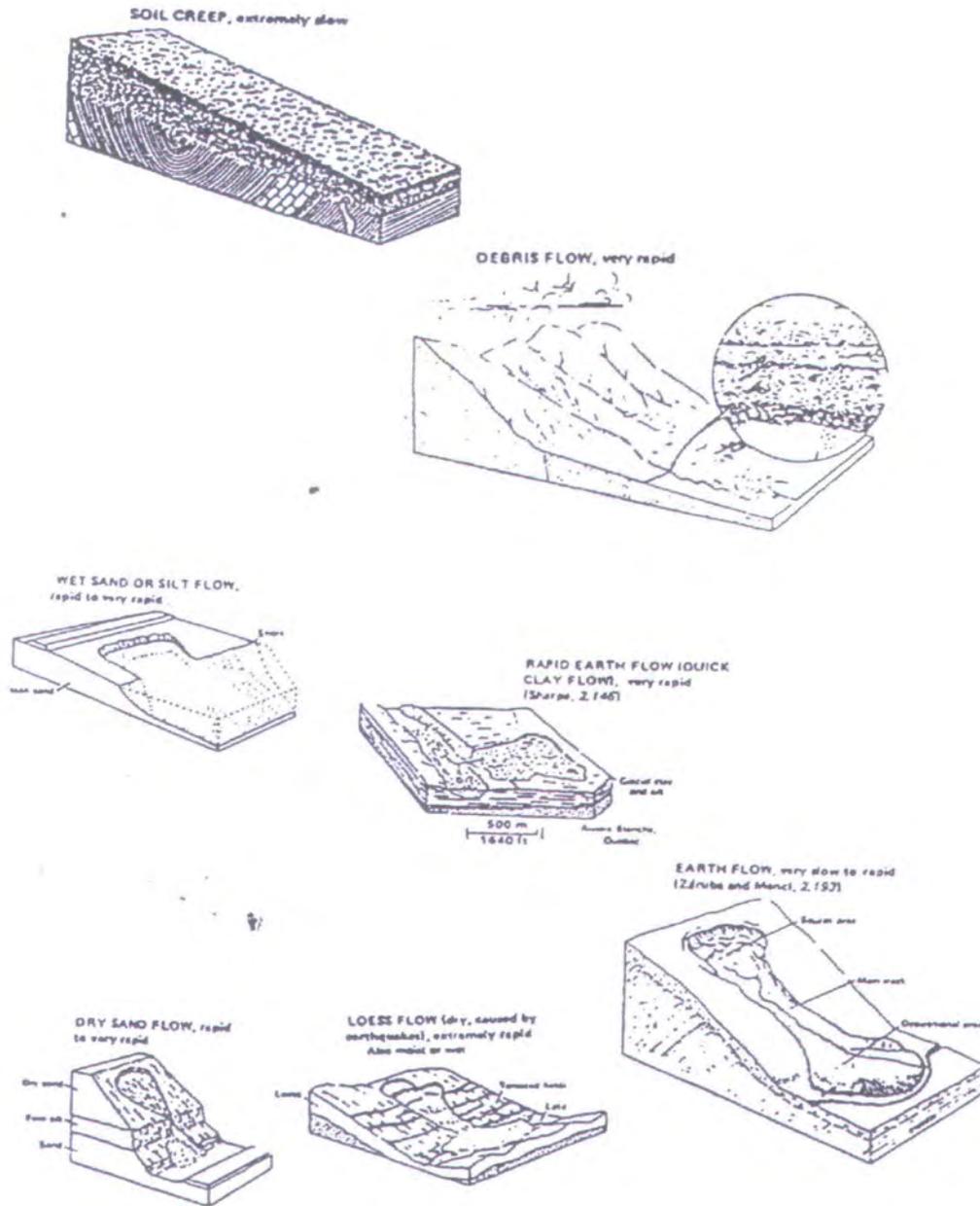
- Pelaksanaan penimbunan
- Beban bangunan dan konstruksi sipil yang lain
- Vegetasi
- Akumulasi talus
- Air hujan yang merembes ke dalam tanah atau rekahan
- Tekanan rembesan

b. Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan kuat geser

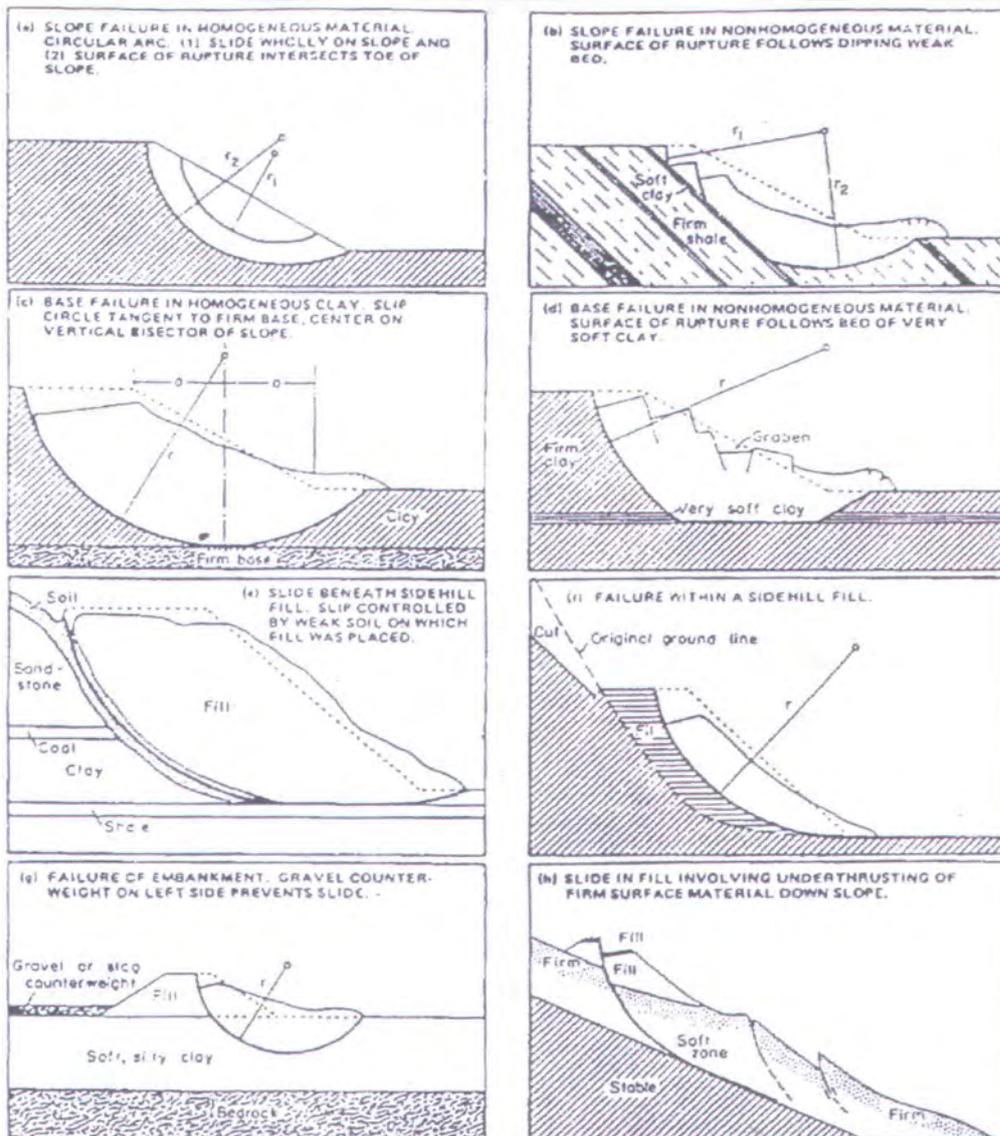
1. Perubahan kadar air
2. Pelembekan pada *fissured clay*
3. Disintegrasi fisis dari batuan



Gambar 2.6 Jenis Longsoran (1) Runtuhan (2) Pengelupasan (3) Longsoran (4) Spread (5) Aliran tanah (Cruden & Varnes, 1992)



Gambar 2.7 Ilustrasi aliran tanah/Earth and Debris flow (TRB, 1978)



Gambar 2.8 Jenis-jenis longsor rotasi
(Varnes, 1958)

2.7 Konsep Angka Keamanan

Pemahaman terhadap angka keamanan merupakan hal yang penting dalam merencanakan lereng. Lereng terbentuk oleh material yang sangat beragam dan banyaknya faktor ketidakpastian, maka dalam mendesain suatu penanggulangan selalu

dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan menaikkan faktor keamanannya.

Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis kemantapan lereng, seperti parameter kekuatan tanah, distribusi tekanan air pori dan lapisan tanah. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi tiga, yaitu : *tinggi*, *menengah*, dan *rendah*. Dalam analisis harus dipertimbangkan kondisi beban yang menyangkut gempa dan tanpa gempa (normal). Secara umum. Semakin kecil kualitas dari investigasi lapangan, maka semakin tinggi angka keamanan yang harus diberikan terutama bila seorang perencana memiliki pengalaman yang terbatas.

Craig (1987) dan Abramson et al. (1996) menyebutkan bahwa didalam praktek, analisis stabilitas lereng dibuat berdasarkan konsep atau metode keseimbangan batas (*limit equilibrium methods*), dengan menganggap bahwa keruntuhan lereng akan terjadi pada titik disepanjang permukaan runtuh yang diasumsikan maupun yang diketahui. Kekuatan geser yang dibutuhkan untuk mempertahankan keseimbangan batas dibandingkan dengan kekuatan geser yang ada pada tanah, akan memberikan suatu faktor keamanan rata-rata sepanjang permukaan runtuh tersebut, atau dengan kata lain faktor keamanan lereng terhadap longsoran bergantung pada angka perbandingan antara kuat geser tanah (S) dan tegangan geser yang bekerja (τ_m).

$$FS = \frac{S}{\tau_m} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

FS = aktor keamanan terhadap longsoran

= 1 kritis

> 1 mantap/aman

< 1 longsor

S = kuat geser tanah

τ_m = tegangan geser yang bekerja

Pada analisis keseimbangan batas yang sering dijumpai, perhitungan tegangan geser yang diperlukan sepanjang bidang keruntuhan potensial hanya cukup untuk mempertahankan keseimbangan dan harus dibandingkan dengan kekuatan geser yang

ada. Pada kasus ini angka keamanan diasumsikan konstan untuk seluruh bidang keruntuhan, sehingga kekuatan geser yang ada dirata-ratakan dengan proporsi yang sama pada setiap titik dibidang keruntuhan untuk menahan gaya yang meruntuhkan.

$$\text{Untuk tegangan total : } FS = c_u / \tau_{req} \dots\dots\dots (2.14)$$

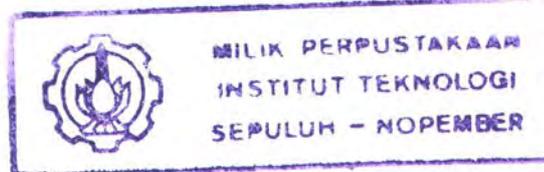
$$\text{Untuk tegangan efektif : } FS = (c' + \sigma' \cdot \tan \phi') / \tau_{req} \dots\dots\dots (2.15)$$

Definisi lain dari angka keamanan adalah selalu memperhitungkan perbandingan antara gaya yang menahan total gaya yang meruntuhkan untuk bidang keruntuhan yang datar. Pada sisi lain, angka keamanan untuk bidang keruntuhan busur lingkaran adalah perbandingan antara momen total yang menahan terhadap momen yang meruntuhkan.

$$FS = \frac{\text{Jumlah gaya yang menahan}}{\text{Jumlah gaya yang meruntuhkan}} \dots\dots\dots (2.16.a)$$

$$FS = \frac{\text{Momen yang menahan}}{\text{Momen yang meruntuhkan}} \dots\dots\dots (2.16.b)$$

2.8 Analisis Stabilitas Lereng



Tujuan utama dari analisis kestabilan lereng adalah untuk memberikan suatu tinjauan dan perencanaan lereng yang aman dan ekonomis. Metode analisis untuk kestabilan lereng tidak dapat dilepaskan dari pengetahuan mengenai mekanisme dari keruntuhan lereng, jenis material dan asal usulnya, topografi dan kondisi geologi setempat. Kondisi tersebut menentukan batasan-batasan dari penerapan metode yang dipilih.

Cara yang dipakai untuk menganalisis kestabilan lereng adalah dengan menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium methods*). Perhitungan keseimbangan batas berdasarkan atas asumsi bentuk bidang runtuh yang diasumsikan. faktor keamanan, FS (*factor safety*), didefinisikan sebagai perbandingan antara shear strength yang terjadi atau ada dengan kekuatan geser (*shear strength*) yang dibutuhkan untuk mempertahankan lereng dalam kondisi keseimbangan batas.

Dalam merencanakan lereng agar stabil, harus diperhatikan prinsip-prinsip dalam perencanaan lereng maupun penanggulangan longsoran, antara lain :

1. Karena sifat dari tanah dan kondisi geologis dari masing-masing lereng memiliki karakteristik berlainan maka solusi untuk setiap masalah tidak sama.
2. Dasar mekanika yang digunakan untuk perhitungan dari kestabilan galian maupun lereng timbunan tidak sama. Perbedaannya terletak pada pengambilan harga parameter tanah sesuai dengan jenis analisis yang dilakukan.
3. Penentuan dari cara yang tepat untuk analisis hanya merupakan suatu bagian dari masalah perencanaan. Perencanaan kestabilan lereng mencakup juga penyelidikan lapangan, penelitian dilaboratorium, dan pengawasan dan pengendalian mutu pekerjaan dilapangan. Rincian dari pekerjaan ini tidak dapat distandarkan karena diperlukan fleksibilitas sehubungan dengan keunikan pada masing-masing masalah. Judgment, pengalaman, dan intuisi digabung dengan pengumpulan data dan teknik analisis, semuanya memberikan kontribusi pada penyelesaian masalah.

Cara analisis dari kestabilan lereng memberikan perbandingan dari berbagai alternatif. Prosedur dari perencanaan lereng dapat dipisahkan atas 3 buah kategori, yaitu :

1. mengeliminasi masalah
2. mereduksi gaya-gaya yang menyebabkan longsor
3. meningkatkan gaya-gaya yang menahan gerakan atau memberikan kestabilan
 - mengeliminasi masalah
 - a. Relokasi lereng
 - b. Pembuangan atau penggantian lereng
 - c. Pembuatan jembatan
 - mereduksi gaya-gaya yang menyebabkan longsor
 - a. Mengubah kemiringan lereng
 - b. Memberikan drainase di permukaan
 - c. Memberikan sub-drain
 - d. Mengurangi berat
 - meningkatkan gaya penahan
 - a. Memberikan sub-drain
 - b. Penggunaan beban kontra

- c. Konstruksi dinding penahan atau turap
- d. Penggunaan pondasi tiang
- e. Pemasangan jangkar
- f. Pencampuran dengan bahan kimia

Dalam melakukan pemilihan analisis kestabilan atau kemantapan lereng, harus diperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhinya, antara lain :

- a. Sifat-sifat tanah, termasuk penentuan parameter yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

- **Kuat Geser**

Kuat geser terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

- **Tekanan air pori**

Tekanan air pori diperlukan untuk perhitungan kemantapan lereng jangka panjang. Parameter ini dapat diperoleh dari "flow net", tinggi muka air tanah dan secara langsung dari hasil pembacaan pisometer di lapangan.

- **Berat isi**

Berat isi diperlukan untuk memperhitungkan beban guna analisis kemantapan lereng. Berat isis dibedakan menjadi berat isi asli, berat isi jenuh, dan berat isi terendam air yang penggunaannya tergantung kondisi lapangan.

- b. Bentuk keruntuhan lereng/bidang longsoran

Bentuk dan kedalaman bidang kelongsoran sangat penting dalam analisis kemantapan lereng untuk menentukan dimensi dan kestabilan lereng. Bidang longsoran juga penting dalam menentukan letak dan kedalaman struktur penanggulangan.

Dalam praktek analisis stabilitas lereng didasarkan pada keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud dari analisis stabilitas lereng adalah menentukan faktor aman bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng beberapa anggapan telah dibuat antara lain :

- Kelongsoran lereng terjadi disepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.

- Massa tanah yang longsor dianggap berupa benda yang masip.
- Tahanan geser tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor atau dianggap isotropis.
- Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang permukaan longsor.

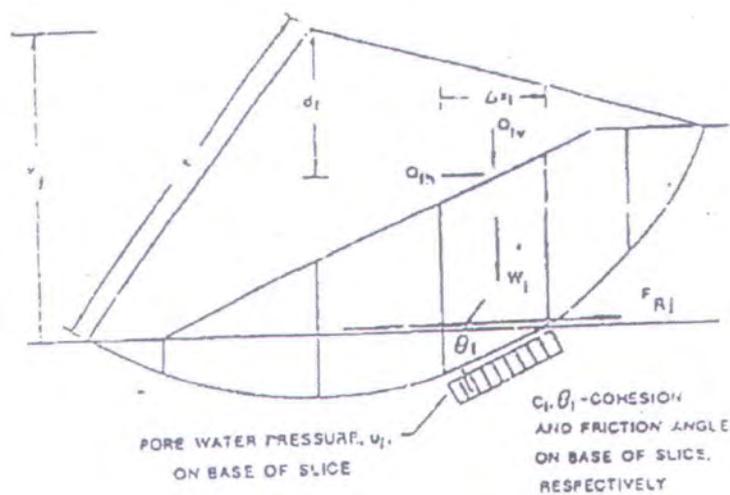
Banyak metode yang dapat digunakan untuk menganalisa stabilitas lereng, salah satunya adalah metode keseimbangan batas. Untuk memprediksi terjadi kelongsoran, dimana bidang kelongsoran berupa lingkaran dilakukan analisa stabilitas lereng dengan program komputer *STABL*, yang berdasarkan *Ordinary Method of Slices (OMS)* dan *Bishop's Modified Method (BMM)*. Kedua metode tersebut berdasarkan pada keseimbangan batas, dimana untuk *OMS* memperhitungkan keseimbangan momen masing-masing potongan, dan *BMM* memperhitungkan keseimbangan momen secara keseluruhan dari massa tanah yang runtuh terhadap titik pusat lingkaran longsor (O) yang diuji coba, serta menggunakan pemodelan matrial *Mohr-Coulomb*.

Pada penyederhanaan metode Bishop, diasumsikan slip surface berbentuk lingkaran dan dibagi menjadi beberapa *slice*. Slip surface dan gaya-gaya yang bekerja pada suatu *slice* terlihat pada Gambar 2.9. Safety faktor dihitung dengan persamaan :

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{c_i \cdot \Delta x_i + (W_i + Q_{iv} - u_i \cdot \Delta x_i)}{\cos \phi_i + \frac{\sin \theta_i \cdot \tan \phi_i}{SF}} \right]}{\sum_{i=1}^n (W_i + Q_{iv}) \sin \theta_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Q_{ih} \cdot d_i \right)}{r} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n F_{Rj} \cdot y_i \right)}{r \cdot SF}} \dots\dots\dots (2.17)$$

dimana :

- W_i = berat irisan/potongan ke-i
- Q_{iv} = beban vertical pada irisan i
- Q_{ih} = beban horizontal pada irisan i
- d_i = lengan momen Q_{ih}
- u_i = tekanan air pori pada dasar irisan i
- Δx_i = lebar irisan i



Gambar 2.9 Geometri lereng “*Penyederhanaan metode irisan Bishop*”

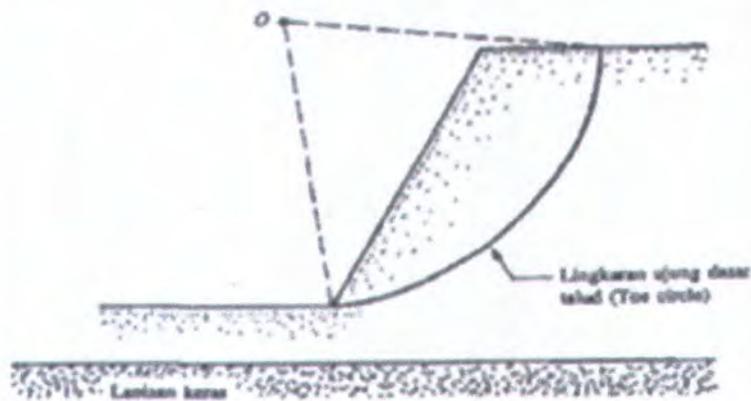
(dari : Manual *STABL*, Peter J. Bosscher, 1975)

- θ_i = inclinasi dasar irisan i
- c_i = kohesi pada dasar irisan i
- u_i = tekanan air pori pada dasar irisan/potongan i
- ϕ_i = sudut gesek pada dasar irisan i
- r = jari-jari lingkaran
- n = jumlah irisan
- F_{Rj} = gaya penahan pada lapisan j
- y_j = lengan momen tahanan layer j
- m = jumlah layer
- SF = safety faktor

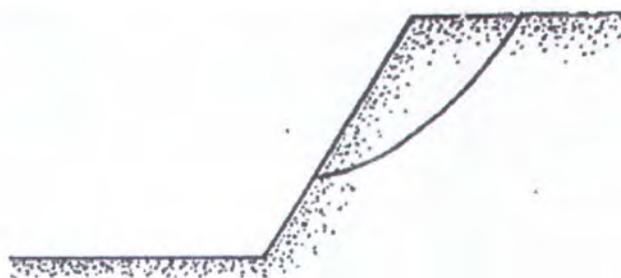
2.9 Analisis Stabilitas Lereng dengan Tinggi Terbatas

Menurut Das (1993), bentuk-bentuk keruntuhan lereng dengan tinggi terbatas terdiri dari :

1. Bila longsor terjadi sedemikian rupa sehingga permukaan bidang gelincir memotong talud pada atau di atas ujung dasarnya (Gambar 2.10), maka keadaan tersebut dinamakan longsor talud (*slope failure*). Dalam kondisi tertentu, adalah mungkin untuk mempunyai kelongsoran talud dangkal seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11.
2. Bila longsor terjadi sedemikian rupa sehingga permukaan bidang gelincir berada agak jauh di bawah ujung dasar talud (Gambar 2.12), keadaan tersebut dinamakan sebagai longsor dasar (*base failure*).



Gambar 2.10 Kelongsoran ujung dasar talud
(Das, 1993)



Gambar 2.11 Kelongsoran talud dangkal
(Das, 1993)

Untuk membuat analisis stabilitas, kita dapat memilih suatu potensi bidang gelincir percobaan AED yang merupakan busur lingkaran berjari-jari r dan pusat lingkaran terletak pada titik O. Dengan memperhatikan satu-satuan tebal yang tegak lurus dari bagian yang kita tinjau, maka berat tanah yang berada diatas lengkung (kurva) AED dapat kita ketahui melalui $W = W_1 + W_2$, dimana :

$$W_1 = \text{luasan FCDEF} \times \gamma \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

$$W_2 = \text{luasan ABFEA} \times \gamma \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Keruntuhan lereng mungkin terjadi karena massa tanah yang menggelincir, Momen gaya yang mendorong terhadap titik O yang menyebabkan ketidakstabilan lereng adalah :

$$M_d = W_1 l_1 - W_2 l_2 \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

M_d = momen dorong

W_1 = massa tanah pada bagian kanan pusat bidang longsor

W_2 = massa tanah pada bagian kiri pusat bidang longsor

L = lengan momen

Perlawanan terhadap kelongsoran berasal dari kohesi yang bekerja sepanjang bidang gelincir. Bila c_d adalah kohesi yang dibutuhkan untuk terbentuk, maka momen gaya perlawanan terhadap titik O adalah :

$$M_R = c_d (AED) (l) (r) = c_d r^2 \theta \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Untuk keseimbangan maka $M_R = M_D$, sehingga dapat ditulis :

$$c_d r^2 \theta = W_1 l_1 - W_2 l_2 \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

$$c_d = \frac{W_1 l_1 - W_2 l_2}{r^2 \theta} \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Angka keamanan terhadap kelongsoran kita dapatkan sebagai :

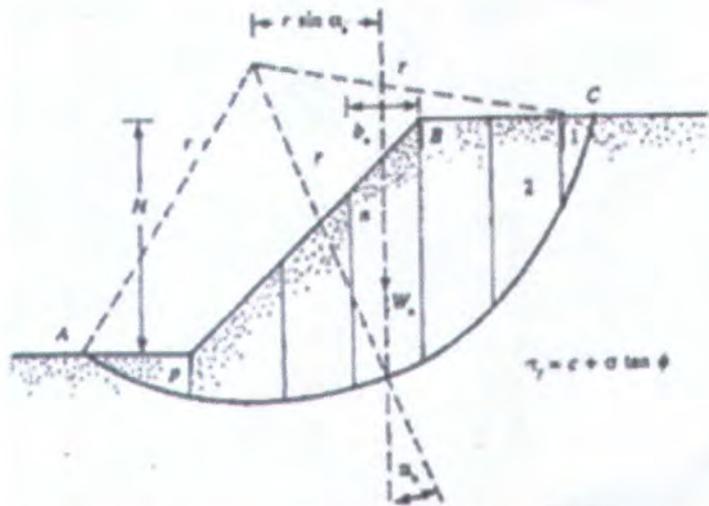
$$FS = \frac{\tau_f}{c_d} = \frac{c_u}{c_d} \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Di sini perlu dicatat bahwa potensi bidang gelincir AED, dipilih secara acak. Bidang longsor kritis akan terjadi bila bidang longsor yang mempunyai rasio c_u terhadap cd adalah minimum. Untuk mendapatkan bidang gelincir yang kritis, dapat dibuat sejumlah percobaan dengan bidang gelincir yang berbeda-beda.

2.9.2 Analisis Stabilitas Lereng Metode Irisan

Pada prosedur ini, tanah yang berada diatas bidang gelincir dibagi menjadi beberapa irisan paralel tegak. Stabilitas dari tiap-tiap irisan dihitung secara terpisah. Metode ini lebih teliti karena tanah yang tidak homogen dan tekanan air pori juga dapat kita masukkan dalam perhitungan.

Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode irisan, dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 2.14, dengan AC merupakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang longsor percobaan. Tanah yang berada diatas bidang longsor percobaan dibagi dalam beberapa irisan tegak. Lebar dari tiap-tiap irisan tidak harus sama. Perhatikan satu-satuan tebal tegang lurus irisan melintang lereng seperti Gambar 2.15.a, gaya-gaya yang bekerja pada irisan tertentu (irisan ke- n) ditunjukkan dalam Gambar 2.15.a. W_n adalah berat irisan. Gaya-gaya N_r dan T_r adalah komponen tegak dan sejajar dari reaksi R , P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi-sisi irisan. Demikian juga gaya geser yang bekerja pada sisi irisan adalah T_n dan T_{n+1} . Untuk memudahkan, tegangan air pori dianggap sama dengan nol. Gaya P_n , P_{n+1} , T_n dan T_{n+1} adalah sulit ditentukan. Tetapi kita dapat membuat asumsi perkiraan bahwa resultan P_n dan T_n adalah sama besar dengan resultan P_{n+1} dan T_{n+1} demikian juga garis-garis kerjanya segaris.



Gambar 2.14 Lereng yang dibagi dalam beberapa irisan
(Das, 1993)

Untuk pengamatan keseimbangan :

$$N_r = W_n \cdot \cos \alpha_n \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Gaya geser perlawanan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$T_r = \tau_d (\Delta L_n) = \frac{\tau_f (\Delta L_n)}{F_s} = \frac{1}{F_s} [c + \sigma \tan \phi] \Delta L_n \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

Tegangan normal σ dalam persamaan di atas adalah sama dengan :

$$\frac{N_r}{\Delta L_n} = \frac{W_n \cdot \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Untuk keseimbangan blok percobaan ABC, momen gaya dorong terhadap titik O adalah sama dengan momen gaya perlawanan terhadap titik O, atau

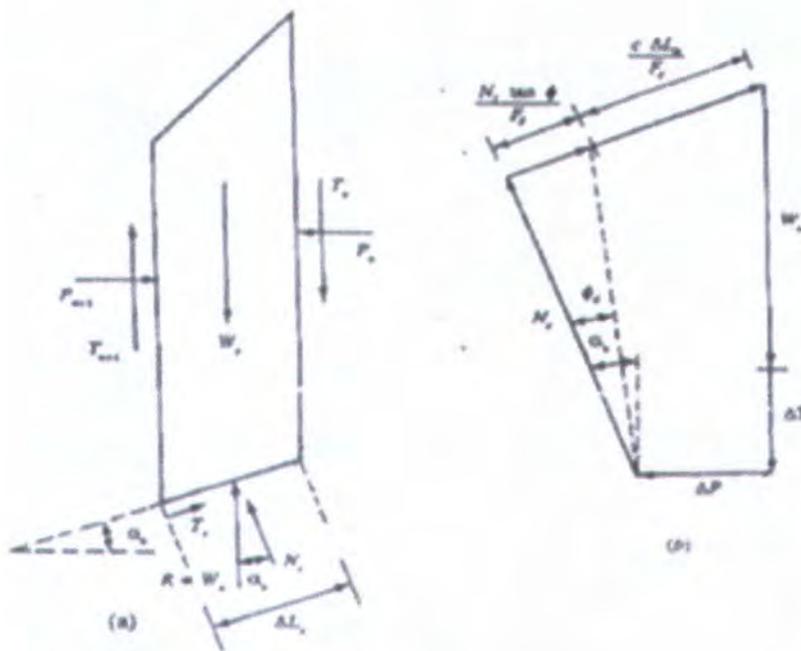
$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{F_s} \left(c + \frac{W_n \cdot \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \cdot \tan \phi \right) \Delta L_n \cdot r \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot \Delta L_n + W_n \cdot \cos \alpha_n \cdot \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha_n} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Catatan : ΔL_n dalam persamaan diatas diperkirakan sama dengan $(b_n)/(\cos \alpha_n)$ dengan b_n adalah lebar potongan nomor n.

2.9.3 Analisis Stabilitas Lereng Metode Irisan yang Disederhanakan

Pada tahun 1955, Bishop memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti dari pada metode irisan yang disederhanakan. Dalam metode ini, pengaruh gaya-gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan. Gambar 2.14 memperlihatkan analisis stabilitas lereng dengan metode Bishop yang disederhanakan. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan nomor n, ditunjukkan dalam Gambar 2.15.a



Gambar 2.15 Metode irisan menurut Bishop yang disederhanakan, (a) Gaya-gaya yang bekerja pada irisan nomor n dan (b) Poligon gaya untuk keseimbangan.

Sekarang, misalkan $P_n - P_{n+1} = \Delta P$; $T_n - T_{n+1} = \Delta T$. Dapat juga ditulis :

$$T_r = N_r (\tan \phi_d) + c_d \cdot \Delta L_n = N_r \left(\frac{\tan \phi}{F_s} \right) + \frac{c \cdot \Delta L_n}{F_s} \dots \dots \dots (2.30)$$

Gambar 2.15.b menunjukkan poligon gaya untuk keseimbangan dari irisan nomor n. Penjumlahan gaya dalam arah vertikal adalah :

$$W_n + \Delta T = N_r \cdot \cos \alpha_n + \left(\frac{N_r \cdot \tan \phi}{F_s} + \frac{c \cdot \Delta L_n}{F_s} \right) \cdot \sin \alpha_n \dots \dots \dots (2.31)$$

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \frac{c \cdot \Delta L_n}{F_s} \sin \alpha_n}{\cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha_n}{F_s}} \dots \dots \dots (2.32)$$

Untuk kesimbangan blok ABC, ambil momen terhadap titik O

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot r \cdot \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} T_r \cdot r \dots \dots \dots (2.33)$$

dengan

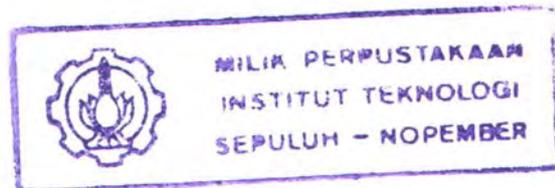
$$T_r = \frac{1}{F_s} (c + \sigma \tan \phi) \Delta L_n = \frac{1}{F_s} (c \cdot \Delta L_n + N_r \tan \phi) \dots \dots \dots (2.34)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.32) dan (2.34) ke dalam persamaan (2.33) didapatkan

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot b_n + W_n \tan \phi + \Delta T \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha_n} \dots \dots \dots (2.35)$$

dengan

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha_n}{F_s}$$



Untuk penyederhanaan, bila ΔT diumpamakan sama dengan nol, maka persamaan menjadi :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot b_n + W_n \cdot \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha_n} \dots \dots \dots (2.36)$$

dimana :

- F_s = angka keamanan
- c = kohesi tanah
- ϕ = sudut geser dalam
- W_n = berat irisan ke-n
- ΔL_n = panjang bidang longsor irisan ke-n
- b_n = lebar irisan ke-n
- α_n = sudut bidang longsor dengan sumbu horisontal
- u_n = tegangan air pori
- h_n = tinggi muka air di atas bidang longsor irisan ke-n
- γ_n = berat volume tanah irisan ke-n

2.10 Daya Dukung

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Daya dukung batas adalah tekanan maksimum yang dapat diterima oleh tanah akibat beban yang bekerja dengan tidak menimbulkan kelongsoran geser didalam tanah.

Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian bawah struktur (*substructure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur (*superstructure*) ke lapisan tanah dibawahnya dengan tidak mengakibatkan :

- keruntuhan geser tanah
- penurunan tanah saat penurunan pondasi yang berlebihan

Selain tergantung pada faktor ekonomi maupun situasi lingkungan, pemilihan jenis pondasi pada pokoknya tergantung pada kondisi atau sifat karakteristik tanah dasar atau tanah pendukungnya.

Analisa daya dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja diatasnya. Bila tanah mengalami pembebanan seperti beban pondasi, tanah akan mengalami distorsi dan penurunan. Jika beban ini berangsur-angsur ditambah, maka penurunan juga bertambah. Akhirnya, pada suatu saat terjadi kondisi

dimana pada beban yang tetap, pondasi mengalami penurunan yang sangat besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa keruntuhan daya dukung telah terjadi.

2.10.1 Teori Daya Dukung

Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya.

Perancangan pondasi harus dipertimbangkan terhadap keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk itu perlu dipenuhi dua kriteria, yaitu : kriteria stabilitas dan kriteria penurunan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan pondasi yaitu :

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung harus dipenuhi. Dalam hitungan daya dukung, umumnya digunakan faktor aman 3.
2. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan yang tak seragam (*differential settlement*) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Untuk terjaminnya stabilitas jangka panjang, perletakan dasar pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi resiko erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah, dan gangguan tanah disekitar pondasi. Analisis daya dukung dilakukan dengan cara pendekatan untuk memudahkan perhitungan. Persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan asumsi bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan bersifat plastis. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Prandtl (1921), yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955), De Beer dan Vesic (1958).

2.10.2 Mekanisme Keruntuhan Pondasi Dangkal

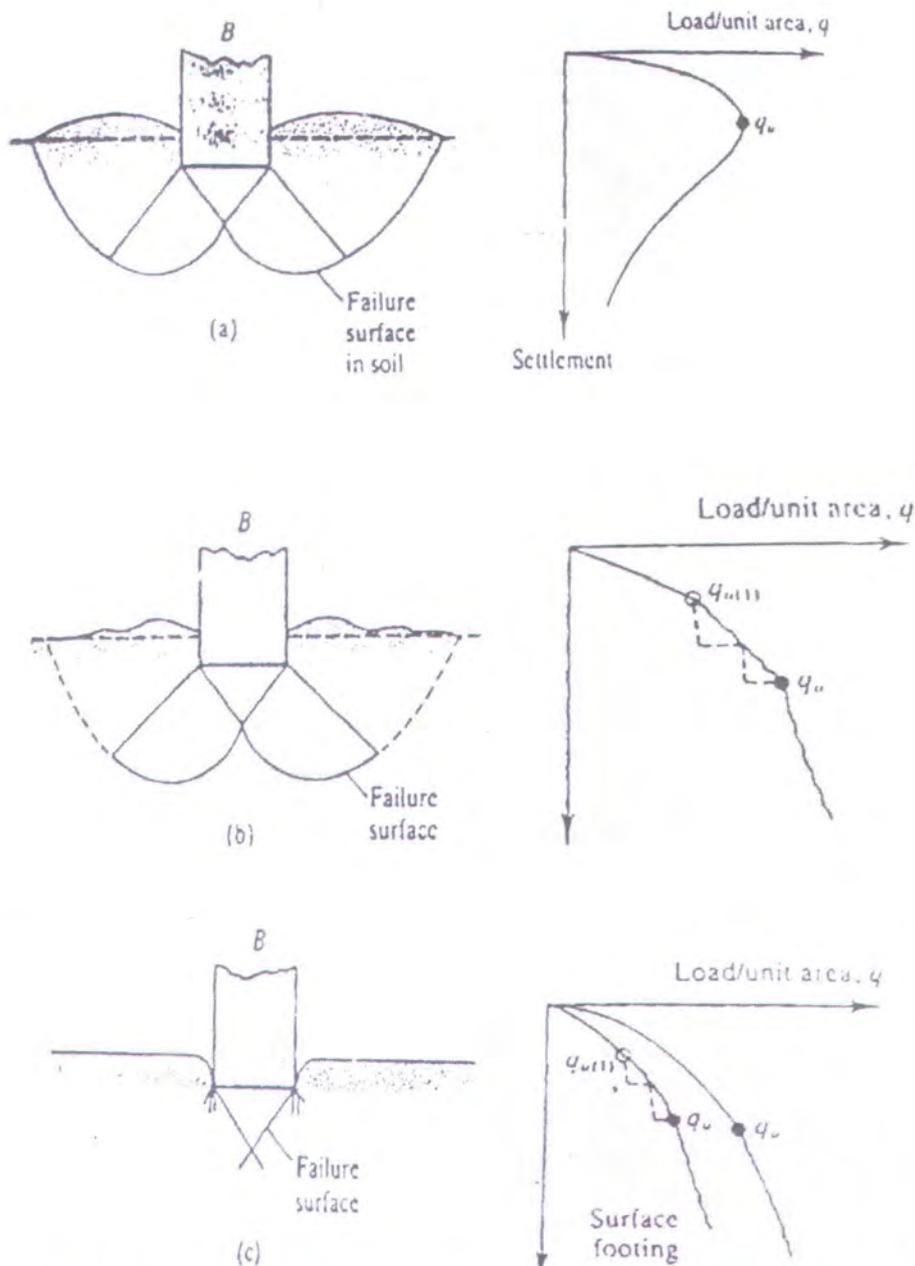
Pondasi merupakan suatu struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ke tanah yang terletak dibawahnya. Perancangan yang seksama diperlukan agar beban pondasi tidak mengakibatkan timbulnya tekanan yang berlebihan pada tanah dibawahnya karena tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan yang besar bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan.

Apabila tanah mengalami pembebanan seperti beban pondasi, tanah akan mengalami distrorsi dan penurunan. Untuk dapat memahami konsep daya dukung batas tanah dan bentuk keruntuhan geser dalam tanah, ditunjukkan pada sebuah pondasi berbentuk persegi dengan lebar B yang terletak diatas tanah pasir padat atau tanah lempung kaku. Jika beban terbagi rata q diatas pondasi ditambah, maka penurunan yang terjadi juga akan bertambah. Tetapi pada titik tertentu bila besar $q = q_u$ (Gambar 2.17.a) telah dicapai, maka keruntuhan daya dukung akan terjadi dimana tanah disebelah kanan dan kiri pondasi akan menyembul dan bidang kelongsoran akan mencapai permukaan. Untuk keadaan ini didefinisikan q_u sebagai daya dukung batas. Keruntuhan daya dukung yang dijelaskan diatas dinamakan keruntuhan geser menyeluruh (*general shear failure*).

Pada kondisi yang berbeda dimana pondasi terletak diatas pasir atau tanah lempung (Gambar 2.17.b). Apabila beban dinaikkan maka penurunan juga akan bertambah. Tetapi bila beban per satuan luas pada pondasi sama dengan $q_{u(1)}$, maka pondasi akan mengalami gerakan kebawah yang diiringi dengan sentakan secara tiba-tiba, tetapi tidak seperti keruntuhan geser menyeluruh, bidang keruntuhan berakhir disuatu tempat didalam tanah. Walaupun demikian keruntuhan permukaan akan terjadi secara berangsur-angsur dimana tanah akan terangkat disekitar pondasi. Dalam keadaan ini apabila q (beban per satuan luas) = q_u maka q_u didefinisikan sebagai daya dukung batas dari tanah, sedangkan $q_{u(1)}$ didefinisikan sebagai the first failure load (Vesic, 1963). Tipe keruntuhan ini dinamakan keruntuhan geser setempat (*local shear failure*).

Apabila pondasi terletak diatas tanah lunak (*fairly loose soil*), hubungan antara beban dan penurunan seperti terlihat pada (Gambar 2.17.c), dimana untuk kondisi ini dapat dikatakan keruntuhan geser tanah tidak terjadi.

Akibat bebannya, pondasi hanya menembus dan menekan tanah kesamping yang menyebabkan pemampatan tanah didekat pondasi. Jika beban melewati batas keruntuhan q_u , penurunan pondasi bertambah hampir secara linier dan bertingkat dengan penambahan bebannya. Tipe keruntuhan ini dinamakan keruntuhan penetrasi (*punching shear failure*).



Gambar 2.17 Keruntuhan pondasi dangkal : (a) keruntuhan geser umum, (b) keruntuhan geser lokal, (c) keruntuhan penetrasi (redrawn after Vesic, 1973)

Dengan menggunakan analisa keseimbangan, Terzaghi menyatakan daya dukung batas dengan rumus :

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana :

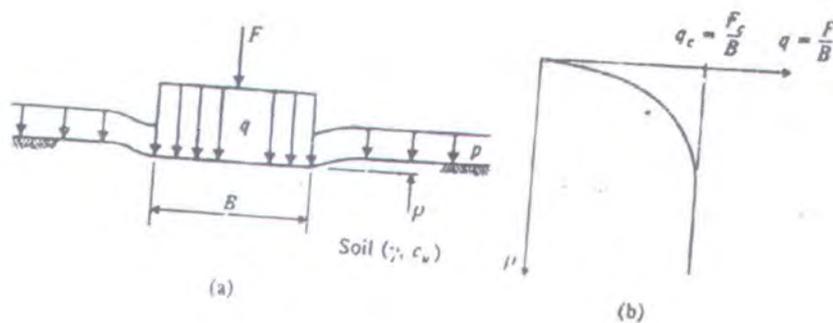
c = kohesi

γ = berat volume tanah

q = $\gamma \cdot D_f$

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah menurut Terzaghi

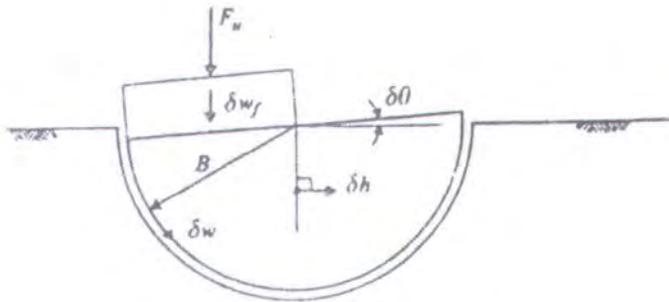
Mekanisme keruntuhan seperti yang telah disebutkan diatas adalah mekanisme keruntuhan tanah untuk kondisi *drained*. Pada kondisi *undrained*, apabila sebuah pondasi dengan lebar B seperti pada Gambar 2.19.a, mendapat beban sebesar F , maka tekanan daya dukung tanah yang terjadi adalah sebesar $q = F/B$. Apabila beban tersebut ditambah, maka settlement sebesar p akan bertambah pula seperti Gambar 2.19.b. Ketika beban tersebut mencapai beban runtuh F_c (*collapse load*), maka keruntuhan daya dukung terjadi yang berarti settlement bisa meningkat tanpa adanya penambahan beban. Sehingga tekanan runtuh $q_c = F_c/B$ dinamakan sebagai daya dukung batas tanah pondasi.



Gambar 2.19 Penurunan dan keruntuhan pondasi untuk pembebanan kondisi *undrained*
(J.H. Atkinson, 1980)

Sebuah mekanisme keruntuhan plastis pada tanah dengan kondisi *undrained* yang terjadi pada perletakan kaku pada bidang semicircular dengan titik pusat pada ujung pondasi seperti Gambar 2.20. Keruntuhan tersebut terjadi karena adanya rotasi

pada bidang perletakan dengan sudut sebesar $\delta\phi$, settlement vertikal yang terjadi pada pusat pondasi adalah sebesar δw_f . Keruntuhan terjadi dengan cara menggelincir secara horisontal sehingga gaya berat perletakan tidak bekerja.



Gambar 2.20 Mekanisme keruntuhan plastis pondasi pada pembebanan *undrained* (J.H. Atkinson, 1980)

2.10.3 Tipe-tipe Keruntuhan Pondasi

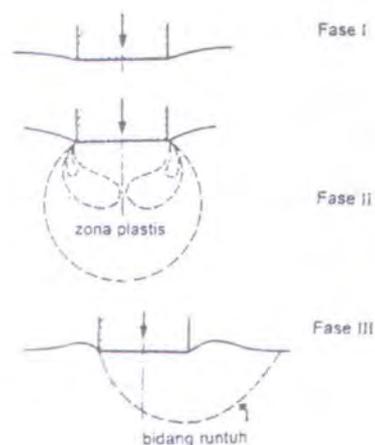
Untuk mempelajari perilaku tanah pada saat permulaan pembebanan sampai mencapai keruntuhan, dilakukan tinjauan terhadap suatu pondasi kaku pada kedalaman dasar pondasi yang tidak lebih dari lebar pondasinya. Penambahan beban pondasi dilakukan secara berangsur-angsur. Gambar fase-fase keruntuhan pondasi yang terjadi diperlihatkan pada Gambar 2.21.

Fase I. Saat awal penerapan beban, tanah dibawah pondasi turun yang diikuti oleh deformasi tanah secara lateral dan vertikal ke bawah. Sejauh beban yang diterapkan kecil, penurunan yang terjadi kira-kira sebanding dengan besarnya beban yang diterapkan. Dalam keadaan ini, tanah dalam kondisi keseimbangan elastis. Maka tanah yang terletak dibawah pondasi mengalami kompresi yang mengakibatkan kenaikan kuat geser tanah, dengan demikian menambah daya dukungnya.

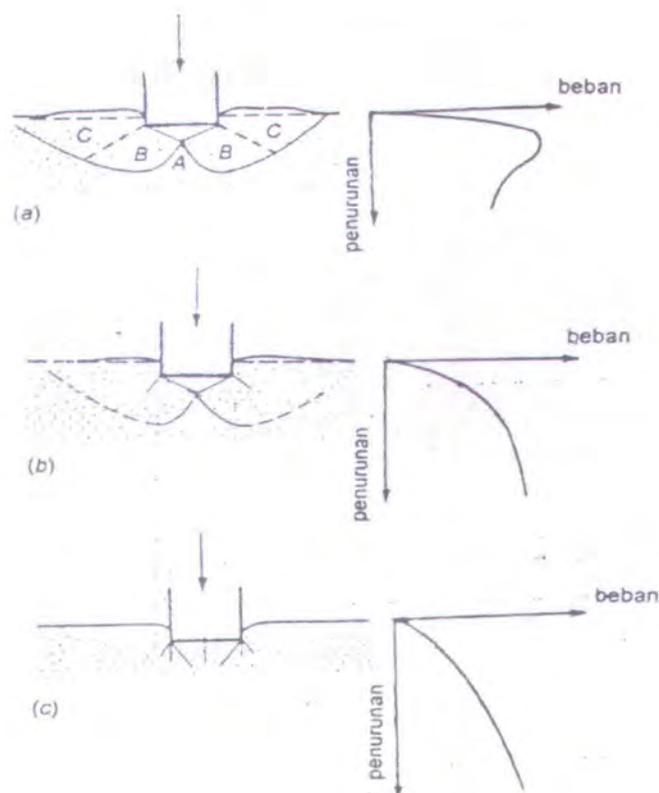
Fase II. Pada penambahan beban selanjutnya, baji tanah terbentuk tepat didasar pondasi dan deformasi plastis tanah menjadi semakin dominan. Gerakan tanah pada kedudukan plastis dimulai dari tepi pondasi, dan dengan bertambahnya beban, zona plastis berkembang. Gerakan tanah ke arah lateral menjadi semakin nyata yang diikuti oleh retakan lokal dan geseran tanah di sekeliling tepi pondasi. Dalam zona plastis, kuat geser tanah sepenuhnya berkembang untuk menahan bebannya.

Fase III. Fase ini dikarakteristikkan oleh kecepatan deformasi yang semakin bertambah seiring dengan penambahan beban. Deformasi tersebut diikuti oleh gerakan tanah ke arah luar yang diikuti oleh mengembungannya tanah permukaan dan kemudian tanah pendukung pondasi mengalami keruntuhan dengan bidang runtuh yang berbentuk lengkungan dan garis, yang disebut *bidang geser radial* dan *bidang geser linier*.

Vesic (1963), membagi mekanisme keruntuhan pondasi menjadi 3 macam, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.21 Fase-fase keruntuhan pondasi
(Hardiyatmo, 1996)



Gambar 2.22 Macam keruntuhan pondasi (Vesic, 1963)

- (a) Keruntuhan geser umum (*general shear failure*)
- (b) Keruntuhan geser lokal (*local shear failure*)
- (c) Keruntuhan penetrasi (*penetration failure*)

Keruntuhan geser umum. Keruntuhan pondasi terjadi menurut bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas. Suatu baji tanah terbentuk tepat pada dasar pondasi (zona A) yang menekan tanah ke bawah hingga menyebabkan aliran tanah secara plastis pada zona B. Gerakan ke arah luar di kedua zona tersebut, ditahan oleh tahanan pasif dibagian C. Saat tahanan tanah pasif bagian C terlampaui, terjadi gerakan tanah yang mengakibatkan pengembangan tanah disekitar pondasi. Keruntuhan geser umum terjadi dalam waktu yang relatif mendadak, yang diikuti oleh penggulingan pondasi.

Keruntuhan geser lokal. Tipe Keruntuhanannya hampir sama dengan keruntuhan geser umum, namun bidang runtuh yang terbentuk tidak sampai mencapai permukaan tanah. Jadi, bidang runtuh yang kontinu tidak berkembang. Pondasi tenggelam akibat bertambahnya beban pada kedalaman yang relatif dalam, yang menyebabkan tanah



didekatnya mampat. Tetapi mampatnya tanah tidak sampai mengakibatkan kedudukan kritis keruntuhan tanahnya, sehingga zona plastis tidak berkembang seperti pada keruntuhan geser umum. Pada tipe keruntuhan geser lokal, terdapat sedikit pengembangan tanah disekitar pondasi, namun tak terjadi penggulingan pondasi.

Keruntuhan penetrasi. Pada tipe keruntuhan ini, dapat dikatakan keruntuhan geser tanah tidak terjadi. Akibat adanya beban, pondasi hanya menembus dan menekan tanah ke samping yang menyebabkan pemampatan tanah di dekat pondasi. Penurunan pondasi bertambah hampir secara linier dengan penambahan beban. Pemampatan tanah akibat penetrasi pondasi, berkembang hanya pada zona terbatas tepat di dasar dan di sekitar tepi pondasi. Penurunan yang terjadi tak menghasilkan cukup gerakan arah lateral yang menuju kedudukan kritis keruntuhan tanahnya, sehingga kuat geser ultimit tanah tidak dapat berkembang. Pondasi menembus tanah ke bawah dan baji tanah yang berbentuk di bawah dasar pondasi hanya menyebabkan tanah menyisih. Saat keruntuhan, bidang runtuh tidak terlihat sama sekali.

2.10.4 Analisa Daya Dukung Tanah menurut Teori Terzaghi

Prinsip-prinsip teori Terzaghi mempunyai anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. Tahanan geser yang melewati bidang horisontal dibawah pondasi diabaikan.
2. Tahanan geser tersebut digantikan oleh beban sebesar $q = \gamma \cdot D_f$
3. Membagi distribusi tegangan dibawah pondasi menjadi tiga bagian.
4. Tanah adalah material yang homogen, *isotropis* dengan kekuatan gesernya yang mengikuti hukum *Coulumb* :

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi \quad \dots\dots\dots (2.40)$$

dimana :

τ = tegangan geser

c = kohesi tanah

σ = tegangan normal

φ = sudut geser dalam tanah

5. Untuk pondasi menerus penyelesaian masalah seperti pada analisa dua dimensi.

Zona I

Bagian langsung dibawah pondasi dicegah bergeser langsung oleh gaya friksi dan adesi antara tanah dengan permukaan pondasi (dasar pondasi). Bagian ini tetap dalam keseimbangan elastis dan tetap menjadi bagian dari pondasi.

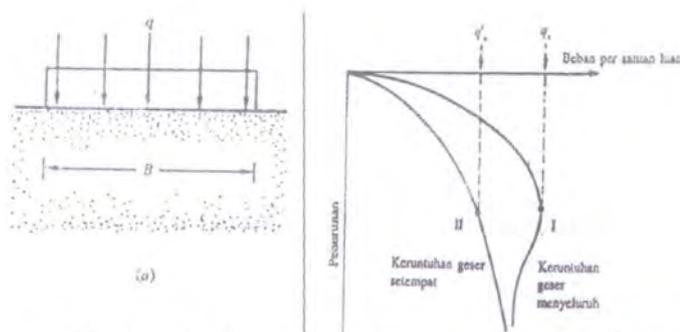
Zona II

Disebut zona geser radial karena zona ini dibentuk oleh gaya radial yang bekerja pada busur spiral logaritma dengan pusat ujung pondasi.

Zona III

Dinamakan zona geser linear (zona pasif menurut Rankine) dimana bidang tegangannya merupakan bidang longsor yang mengakibatkan bidang geser diatas bidang horisontal tidak ada dan digantikan dengan beban sebesar $q = \gamma \cdot D_f$.

Menurut Das (1990), untuk analisis daya dukung tanah, ditinjau suatu pondasi berbentuk memanjang tak terhingga, dengan lebar B yang terletak di atas tanah yang homogen dan dibebani terbagi rata q_u , seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.23.

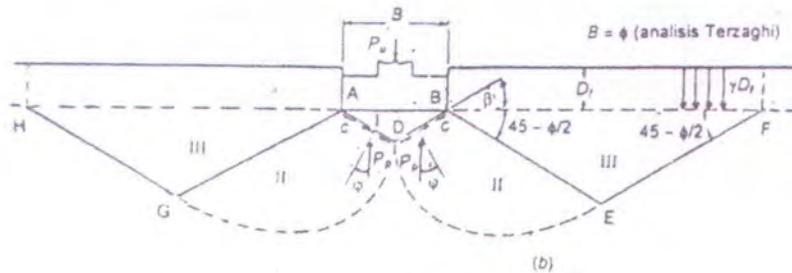


Gambar 2.23 Daya Dukung batas tanah pondasi dangkal
(Braja M. Das, 1985)

Beban total pondasi per satuan panjang adalah sebesar $P_u = q_u \cdot B$. Karena pengaruh beban P_u tersebut, tanah yang berada tepat di bawah pondasi akan membentuk sebuah baji yang menekan tanah ke bawah. Gerakan baji memaksa tanah disekitarnya bergerak sehingga menghasilkan zona geser radial yang berdekatan dengan baji, dan zona geser linier yang merupakan bagian kelanjutan dari zona geser radial.

Daya dukung tanah menyatakan tahanan tanah terhadap geseran untuk melawan penurunan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya. Keruntuhan daya dukung pada pondasi dengan beban P_u ditahan oleh gaya-

gaya pada kedua bidang AB, seperti diperlihatkan Gambar 2.24. Gaya-gaya penahanan sebelum tanah mengalami keruntuhan ini adalah resultan gaya-gaya tekanan tanah pasif P_p dan kohesi (c), yang bekerja disepanjang permukaan baji AB.



Gambar 2.24 Analisa keruntuhan daya dukung
(Terzaghi, 1943)

Persamaan umum daya dukung *ultimate* menurut Terzaghi (1943) untuk pondasi memanjang :

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.41)$$

dimana :

c = kohesi

γ = berat volume tanah

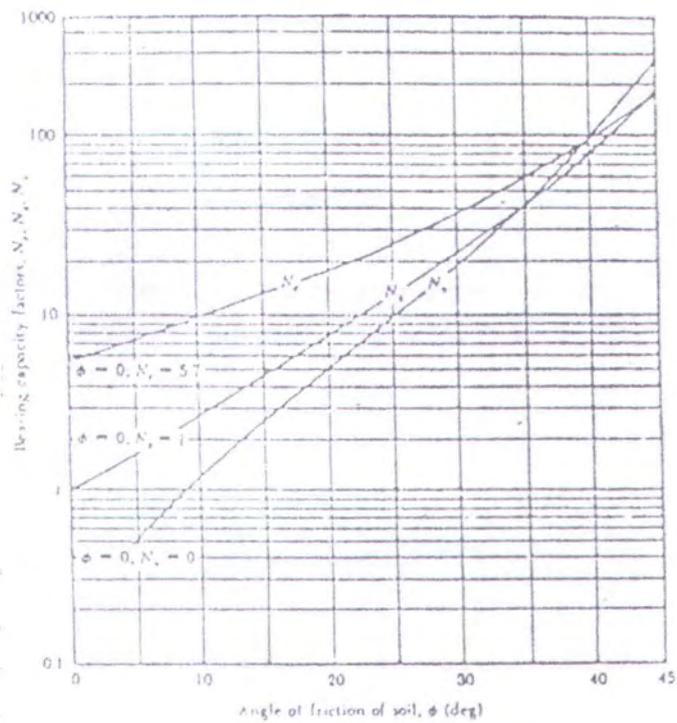
q = $\gamma \cdot D_f$

D_f = kedalaman pondasi

B = lebar pondasi

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah menurut Terzaghi

Nilai-nilai N_c, N_q, N_γ , adalah fungsi dari besarnya sudut gesek dalam (ϕ) yang diberikan Terzaghi dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 2.25 sedangkan nilai-nilai numeriknya diberikan dalam Tabel 2.1.



Gambar 2.25 Faktor daya dukung Terzaghi untuk keruntuhan geser umum (Das, 1990)

Tabel 2.1 Nilai-nilai Faktor Daya Dukung Terzaghi

	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	35,6	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber : (Das, 1990)

2.10.5 Kapasitas Daya Dukung menurut Terzaghi

Untuk menghitung kapasitas daya dukung suatu pondasi khususnya pondasi dangkal, Terzaghi memberikan beberapa rumus sesuai dengan bentuk geometri pondasi tersebut. Rumus-rumus yang dimaksud untuk *general shear failure*, antara lain :

1. Kapasitas daya dukung pondasi menerus dengan lebar B

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.42)$$

2. Kapasitas daya dukung pondasi lingkaran dengan jari-jari R

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,6 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.43)$$

3. Kapasitas daya dukung pondasi bujur sangkar dengan sisi S

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.44)$$

4. Kapasitas daya dukung pondasi persegi empat (B,L)

$$q_u = c \cdot N_c (1 + 0,3 \cdot B/L) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (1 - 0,2 \cdot B/L) \quad \dots\dots\dots (2.45)$$

dimana :

- q_u = daya dukung maksimum
 c = kohesi tanah
 γ = berat isi tanah
 D_f = kedalaman pondasi
 N_c, N_d, N_γ = faktor daya dukung menurut Terzaghi

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cdot \cos^2 \cdot (45^\circ + \phi/2)} \rightarrow a = e^{(0,75 \cdot \pi - 0,5 \cdot \phi) \cdot \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cotan \phi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left[\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right]$$

Sedangkan untuk tanah dengan keruntuhan geser setempat (*local failure*) harga c diganti dengan $c' = 2/3 \cdot c$ dan harga ϕ diganti dengan $\phi' = \arctan (2/3 \tan \phi)$. Dari nilai c' dan ϕ' didapatkan faktor-faktor daya dukung untuk kondisi keruntuhan lokal : N_c ; N_q ; N_γ . Sehingga rumus-rumus sebelumnya untuk kondisi keruntuhan geser setempat menjadi :

1. Kapasitas daya dukung pondasi menerus dengan lebar B

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.46)$$

2. Kapasitas daya dukung pondasi lingkaran dengan jari-jari R

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,6 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.47)$$

3. Kapasitas daya dukung pondasi bujur sangkar dengan sisi S

$$q_u = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

4. Kapasitas daya dukung pondasi persegi empat (B,L)

$$q_u = c \cdot N_c (1 + 0,3 \cdot B/L) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (1 - 0,2 \cdot B/L) \quad \dots\dots\dots (2.49)$$

2.10.6 Gaya Yang diterima oleh *Tyresoil*

Longsoran akan terjadi, bila dalam suatu massa tanah tidak ada keseimbangan antara gaya dorong dan gaya penahan. Untuk mendapatkan keseimbangan yang baru, perlu diupayakan salah satu gaya, yakni dengan menambah gaya penahan atau memperkecil gaya pendorong. Penambahan gaya yang harus diterima oleh *tyresoil* sebesar :

$$SF = \frac{M_R + \Delta M_R}{M_D} > 1 \quad \dots\dots\dots (2.50)$$

$$\Delta M_D = SF \cdot M_D - M_R \quad \dots\dots\dots (2.51)$$

dimana :

SF = *safety factor* = faktor angka keamanan

M_R = momen perlawanan

M_D = momen dorong

ΔM_R = momen perlawanan tambahan yang diterima oleh rangkaian pasangan perkuatan *tyresoil*.

Besarnya gaya yang diterima oleh rangkaian *tyresoil* No. $i = P_i$

$$P_i = \frac{\tau_{tyi} \cdot A_{s i}}{\cos \beta_i} \quad \dots\dots\dots (2.52)$$

dimana :

τ_{tyi} = *shear strength* pada rangkaian *tyresoil*

$A_{s i}$ = luas penampang *tyresoil*

β_i = kemiringan bidang longsor pada *tyresoil* no. i

$$\Delta M_R = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot R) \quad \dots\dots\dots (2.53)$$

dimana :

R = jari-jari bidang longsor

2.10.7 Penurunan Pondasi pada Tanah Lanau

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun pengurangan rongga pori atau air di dalam tanah. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). Umumnya penurunan tak seragam (*differential settlement*) lebih membahayakan bangunan daripada penurunan total.

Penurunan yang terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus yang kering atau tak jenuh terjadi dengan segera penerapan bebannya. Penurunan pada kondisi ini disebut penurunan segera. Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah (tanah lempung jenuh). Penurunan yang terjadi memerlukan waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanahnya.

Menurut Hardiyatmo (1994), penurunan konsolidasi dapat dibagi dalam 3 fase, yaitu :

Fase awal, yaitu dimana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari pengujian konsolidasi.

Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanah akibat adanya tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanah, seperti permeabilitas, kompressibilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horizontal dari zona mampat, dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

Fase konsolidasi sekunder, merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan karena pengaruhnya sangat kecil. Kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung tak organis yang sangat mudah mampat.

Jika pondasi terletak pada lempung homogen, berat bangunan tidak hanya menyebabkan kompresi tanah, namun juga menyebabkan luluh lateral tanah dibawah pondasi. Jika tanah dasar pondasi elastik sempurna dan homogen, penurunan akibat pengembangan tanah akan lebih besar dari pengurangan volumenya. Untuk tanah lempung jenuh, penurunan akibat pengembangan arah lateral ini kecil dibandingkan dengan penurunan totalnya.

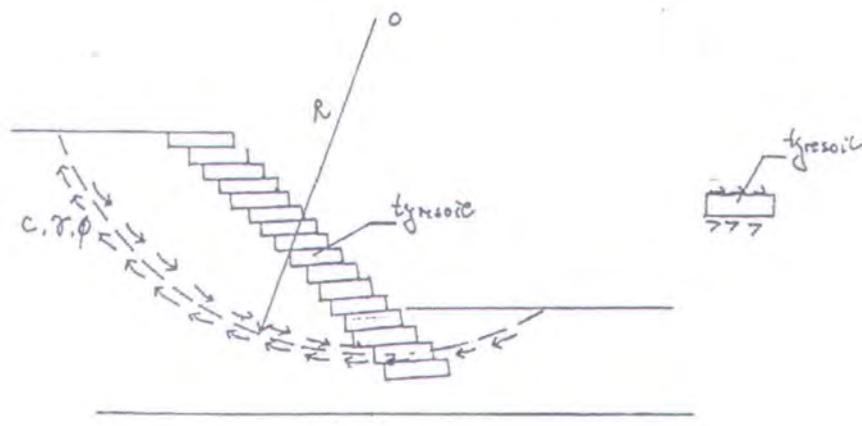
2.11 Penggunaan Material Tyresoil

Tyresoil telah digunakan sejak tahun 1974, terbuat dari kombinasi ban bekas atau bagian ban bekas (telapak dan bagian sisinya) dengan tanah natural, buatan atau material dari industri, yang mampu menahan tegangan tarik yang tinggi. Ban yang digunakan disini adalah ban-ban bekas dari mobil atau truck.

Di Perancis *tyresoil* yang lebih dikenal dengan nama "*Pneusol*", merupakan kombinasi dari ban dan tanah, yang kegunaannya tidak hanya untuk memanfaatkan ban bekas, tetapi juga dapat memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah (Long, 1984).

2.11.1 Penggunaan Tyresoil untuk Perkuatan Lereng

Penggunaan material *tyresoil* dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, faktor angka keamanan (*SF*) tanah juga meningkat. Asumsi yang dipergunakan dalam konstruksi *tyresoil* dapat dilihat pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Pemakaian tyresoil untuk perkuatan lereng

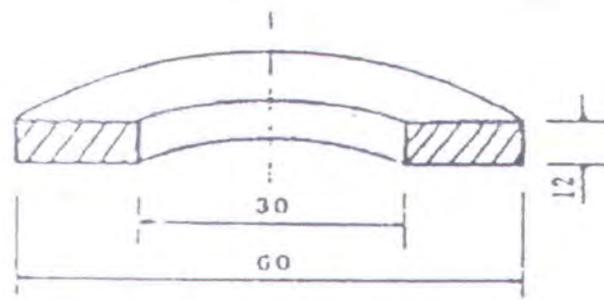
Material *tyresoil* terdiri dari kombinasi ban bekas (truck atau mobil) dengan *material granular*; pemasangannya dapat dilakukan dengan cara dihubungkan menjadi satu atau ditempatkan secara bersusun sehingga membentuk suatu rangkaian.

Material *tyresoil* yang dibuat dari ban truck memiliki karakteristik sebagai berikut : kerapatan antara 8 – 10 kN/m³, modulus dinamik sekitar 10 – 12 MPa. (Long et Al, 1990). *Tyresoil* diharapkan mampu menahan tegangan tarik yang tinggi.

2.11.2 Karakteristik dan Cara Menggunakan Material Tyresoil

Material *tyresoil* yang terdiri dari kombinasi ban bekas (truck atau mobil) dengan tanah, pemasangannya dapat dilakukan dengan cara dihubungkan menjadi satu sehingga membentuk suatu rangkaian atau ditempatkan secara bersusun. Karet merupakan suatu bahan yang sensitif untuk menghantam, permukaan dari pemasangan yang lebih luas, tetapi karet ini tidak berfungsi sebagai tindakan bersifat menghancurkan lahan.

Untuk pemodelan digunakan *tyresoil* dengan ukuran kecil, seperti yang pernah dilakukan pada penelitian di Perancis. *Tyresoil* yang digunakan dari bahan *polystyrene foam*, dengan tebal 12 mm, diameter dalam 30 mm, dan diameter luar 60 mm (sekitar 1/20 dari ukuran truck).



Gambar 2.27 Material *tyresoil* (Lareal & Long, 1988)

2.11.3 Manfaat Penggunaan Material Tyresoil

Tyresoil telah digunakan sejak tahun 1974, terbuat dari kombinasi ban bekas atau bagian ban bekas (telapak dan bagian sisinya) dengan tanah natural, buatan atau material dari industri, yang mampu menahan tegangan tarik yang tinggi. Ban yang digunakan disini adalah ban-ban bekas dari mobil atau truck.

Di Perancis *tyresoil* lebih dikenal dengan nama "*Pneusol*". Material ini merupakan kombinasi dari ban dan tanah, yang kegunaannya tidak hanya untuk memanfaatkan ban bekas, tetapi juga dapat memperbaiki sifat-sifat mekanis tanah (Long, 1990).

Saat ini lebih dari 250 struktur yang menggunakan *tyresoil* telah dibangun di Perancis dan beberapa bagian di dunia, meliputi aplikasi di bidang teknik sipil terutama untuk memperkuat struktur tanah, dengan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan menggunakan teknologi konvensional.

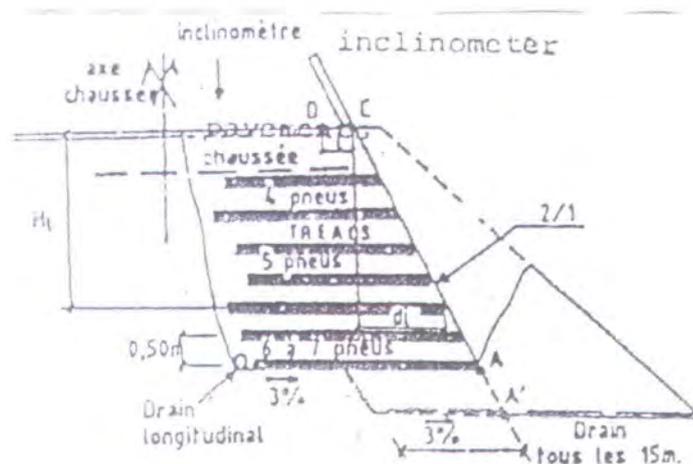
Menurut Long (1990), salah satu keuntungan dengan menggunakan ban bekas (*old tyres*) adalah tidak langsung menimbulkan polusi kecuali jika dibakar diudara terbuka. Pengaruhnya terhadap lingkungan berlangsung dalam jangka waktu yang lama (*long term*) karena ban bekas tidak dapat diuraikan atau membusuk karena bakteri. Oleh karena itu telah banyak dilakukan penelitian terhadap penggunaan material *tyresoil* sebagai struktur penguat pada aplikasi teknik sipil.

Menurut Long (1984), salah satu keuntungan dengan menggunakan ban bekas (*old tyres*) adalah tidak langsung menimbulkan polusi kecuali jika dibakar diudara

terbuka. Pengaruhnya terhadap lingkungan berlangsung dalam jangka waktu yang lama (*long term*) karena ban bekas tidak dapat didaur ulang atau membusuk karena bakteri. Oleh karena itu telah banyak dilakukan penelitian terhadap penggunaan material *tyresoil* sebagai struktur penguat pada aplikasi teknik sipil, diantaranya :

➤ *Tyresoil* sebagai *slope stability* (Audeoud et al, 1986)

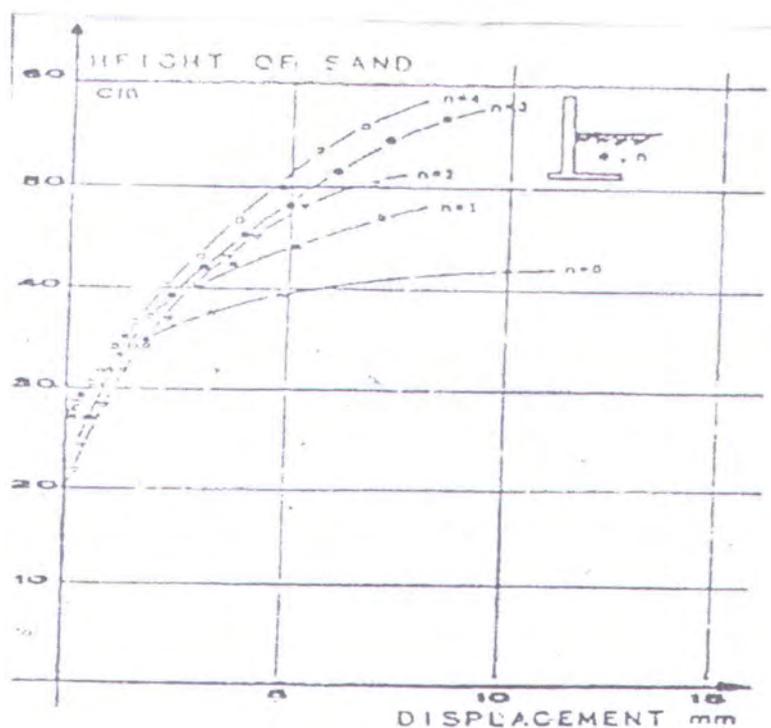
Penggunaan *tyresoil* sebagai *slope stability* dapat dilakukan dengan cara diikatkan pada tepinya dengan jarak masing-masing *tyresoil* 50 cm. Material ini digunakan untuk *slope stability* di Kruth, dimana dibangun dinding penahan sepanjang 80 m dengan tinggi 4 m yang terletak pada *slope* yang tidak stabil. Dinding perkuatan dibangun pada lapisan batuan seperti pada Gambar 2.28, yang berfungsi sebagai dinding yang fleksibel yang mampu memperkuat tanah sampai ketinggian 5-6 m. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dinding tersebut dapat menahan kekuatan yang besar sekitar 50-75 kN.



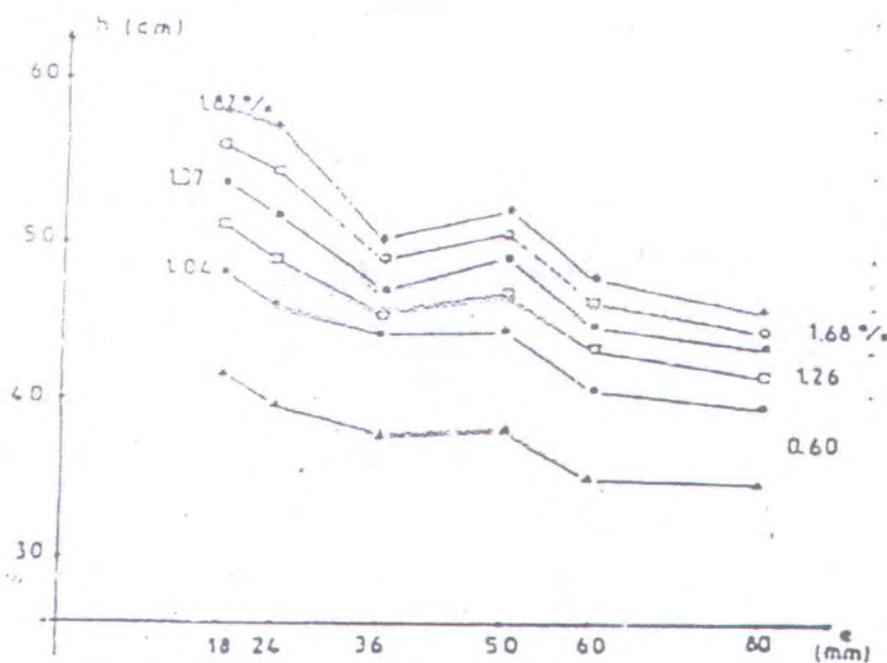
Gambar 2.28 Profil struktur *tyresoil* sebagai *slope stability*
(Audeoud et al, 1986)

➤ *Tyresoil* sebagai struktur pereduksi tekanan tanah aktif (Lareal et al, 1988)

Pada penelitian ini *tyresoil* digunakan dibelakang dinding penahan (*retaining wall*) yang berfungsi mereduksi tekanan tanah aktif. Percobaan ini dibuat dengan model skala kecil yang ditempatkan pada bak persegi dengan tinggi 80 cm, lebar 80 cm dan panjang 120 cm. Parameter berpengaruh yang diselidiki adalah ketebalan lapisan pasir dengan distribusi ban yang seragam pada lapisan yang lebih tinggi.



Gambar 2.29 Hubungan antara *displacement* dan ketinggian urugan yang dicapai (Lareal et al, 1988)



Gambar 2.30 Hubungan jarak antar lapisan (e) dengan ketinggian urugan yang dicapai dengan variasi harga n (Lareal & Long, 1988)

Gambar 2.29 memperlihatkan bahwa pengaruh banyaknya ban (n) tiap lapisan untuk jarak lapisan yang konstan sebesar 18 mm terhadap displacement yang terjadi. Dalam pengujian tersebut n bervariasi antara 0 sampai 4. Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa pada ketinggian 30-35 cm banyaknya ban (n) belum berpengaruh terhadap displacement yang terjadi. Tetapi setelah ketinggian mencapai 40 cm keatas, banyaknya ban (n) berpengaruh terhadap displacement yang terjadi. Pada ketinggian yang sama, yang menggunakan ban paling banyak ($n=4$) pada tiap lapisan terlihat mengalami displacement yang paling kecil.

Sedangkan jarak antar lapisan, yaitu ketebalan pasir antar lapisan bervariasi juga berpengaruh terhadap tinggi urugan yang dicapai. Gambar 2.30 menunjukkan bahwa untuk banyaknya ban yang konstan ($n=3$), terlihat bahwa semakin tipis jarak antar lapisan (ketebalan pasir), maka semakin besar ketinggian yang bisa dicapai oleh urugan untuk suatu displacement yang terjadi.

➤ *Tyresoil* sebagai penyerap energi (Long et al, 1990)

Pemikiran *tyresoil* sebagai pegas penyerap energi dari observasi yang dilakukan pada kehidupan sehari-hari. Ban sering juga digunakan disudut atau dipojok tempat yang berbahaya pada sirkuit balap untuk melindungi mobil yang selip dan keluar dari trek. Ban juga digantung satu-satu atau kelompok pada papan kayu disepanjang dinding dok pelabuhan untuk mengurangi benturan dari kapal.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa koefisien restitusi energi dari *tyresoil* sangat rendah yaitu sebesar 0,1 (ini adalah rasio tinggi pantulan H dari beban yang jatuh pada ketinggian H_0 dimana beban tersebut dijatuhkan). Hal ini berarti material *tyresoil* menyimpan energi yang sangat kecil dan daya serap yang sangat besar.

Di Perancis dan bahkan beberapa negara di dunia, telah banyak struktur yang dibangun dengan menggunakan material *tyresoil*. Menurut Audeoud et al (1986), aplikasi dari penggunaan material *tyresoil* ini antara lain :

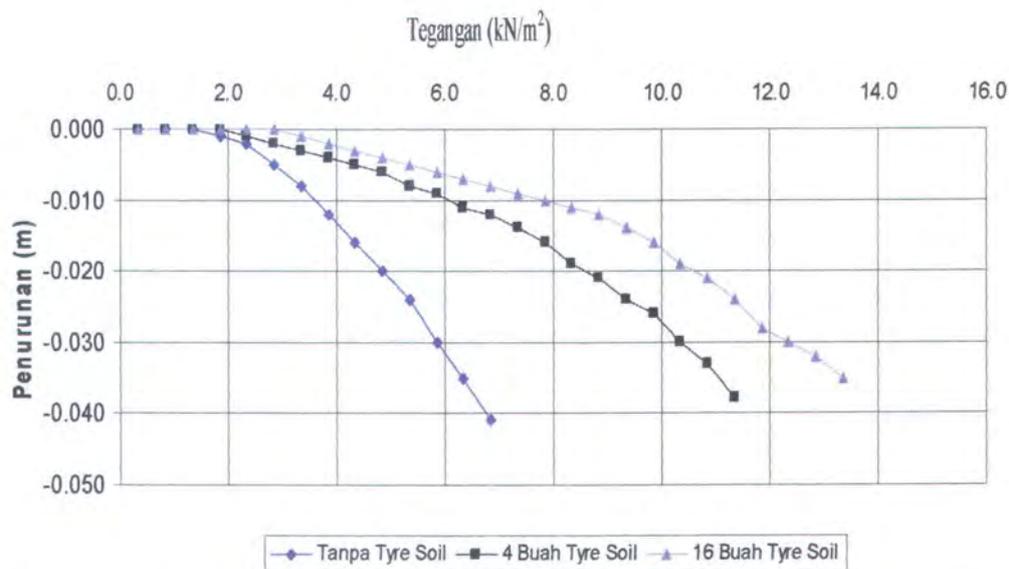
- *dinding penahan*
- *pengerasan slope*
- *pondasi rakit*
- *embankment kelas ringan*

Menurut Boulebnane dan Lareal (1993), salah satu kegunaan material *tyresoil* adalah mendistribusi tegangan vertikal yang bekerja pada pondasi. Aplikasi terakhir dari material *tyresoil* digunakan sebagai pondasi pada permukaan timbunan *slab* dangkal yang kaku. Penelitian menggunakan *tyresoil* juga telah dilakukan oleh Indarto et al (2000) dalam upaya untuk meningkatkan daya dukung tanah lunak.

Indarto et al (2000) mengemukakan peningkatan daya dukung akibat adanya *tyresoil* adalah disebabkan oleh meningkatnya kohesi pada bidang *rupture* (runtuh) yang melewati *tyresoil*, sehingga perumusan $q_u = 5,14 c$, dimana c bukan lagi c tanah melainkan c material komposit *tyresoil*. Sebagai pembandingan hasil percobaan maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan program *PLAXIS*.

➤ *Tyresoil* sebagai perkekuatan tanah untuk penggunaan pondasi dangkal (Munira Sungkar et al, 2002)

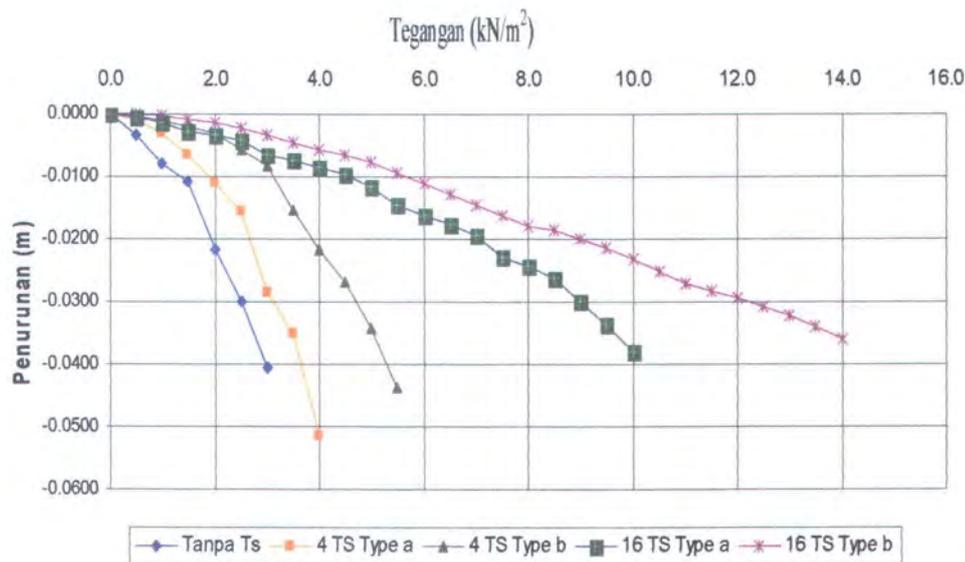
Pada penelitian ini *tyresoil* digunakan sebagai perkuatan tanah pada berbagai tanah kelempungan jenuh untuk penggunaan pondasi dangkal, yang berfungsi untuk meningkatkan daya dukung dan memperkecil penurunan. Pada penelitian ini digunakan tanah lempung jenuh natural dan yang distabilisasi dengan *fly-ash*. Tanah lempung natural yang dipakai adalah tanah lempung residual berasal dari Citra Raya, mempunyai batas cair 96,78% dan indeks plastisitas 67,03%. Prosentase *fly-ash* yang dipakai adalah 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat kering. Penelitian dilakukan di laboratorium dengan bak permodelan berukuran 50 cm x 50 cm dengan tinggi 30 cm. *Tyre-soil* yang digunakan mempunyai ukuran diameter luar 6 cm, diameter dalam 3 cm, dan tinggi 1 cm; dengan 4 buah dan 16 buah rangkaian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilisasi dengan *fly-ash* dan penggunaan *tyre-soil* dapat meningkatkan daya dukung dan memperkecil penurunan. Kenaikan daya dukung yang optimal terjadi pada penambahan 15% *fly-ash* seperti ditunjukkan Gambar 2.31. Penggunaan 4 buah dan 16 buah *tyre-soil* pada campuran tanah dengan 15% *fly-ash* meningkatkan daya dukung tanah masing-masing sebesar 61,8% dan 81,8%, sedangkan pengurangan penurunan masing-masing sebesar 28% dan 40%. Pada tanah lempung jenuh natural ada peningkatan daya dukung masing-masing sebesar 10% dan 26% dengan penambahan 4 dan 16 *tyre-soil*, sedangkan penurunan berkurang masing-masing sebesar 12% dan 28%.



Gambar 2.31 Hasil pengujian pembebanan : Kurva hubungan tegangan dan penurunan untuk tanah LC + 15% FA
(Munira Sungkar, 2002)

Dengan adanya penambahan *fly-ash* dapat meningkatkan nilai daya dukung dan memperkecil penurunan, karena semakin besar kadar persentase *fly-ash* maka struktur tanah akan menjadi lebih padat ditunjukkan dengan semakin besar nilai intensitas (*count*) dan semakin mengecilnya nilai *d-spacing*.

Menurut Feriyanto (2003), peningkatan daya dukung pondasi dangkal dan pengurangan penurunan pondasi dangkal pada tanah lempung jenuh natural akibat penggunaan *tyre-soil* tanpa stabilisasi tanah dengan *fly-ash*, tetapi dengan pasir dan bentonite sebagai bahan campuran. Tanah lempung yang dipakai adalah tanah residual berasal dari daerah Arjosari Malang yang mempunyai batas cair 52%, pada benda uji dilakukan variasi batas cair 40%, 60%, 80% dan 100%. Penelitian dilakukan di laboratorium dengan bak permodelan berukuran 50 cm x 50 cm dengan tinggi 30 cm. *Tyresoil* yang digunakan terdiri dari dua macam, type a mempunyai ukuran diameter luar 6 cm, diameter dalam 3 cm dan tinggi 1 cm, sedangkan type b mempunyai diameter luar 6 cm, diameter dalam 5,4 cm dan tinggi 1 cm; dengan 4 buah dan 16 buah rangkaian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *tyresoil* dapat meningkatkan daya dukung dan memperkecil penurunan.



Gambar 2.32 Hasil pengujian pembebanan : Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanah lempung WL 100% (Feriyanto, 2003)

Peningkatan daya dukung yang optimal terjadi pada tanah lempung WL 100% yang menggunakan 16 *tyresoil* type b sebesar 7,5 kN/m² dari daya dukung pada tanah yang sama tanpa *tyresoil* 1,9 kN/m² sedangkan pengurangan penurunan dari 0,019 m menjadi 0,011 m. Peningkatan daya dukung dan pengurangan penurunan juga terjadi pada tanah lempung yang mempunyai batas cair yang lebih kecil.

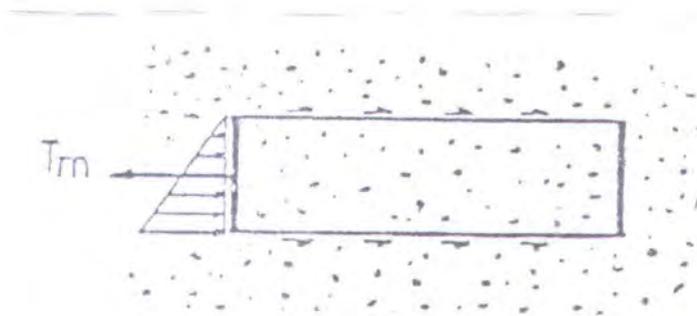
2.11.4 Tyresoil Sebagai Penguat Sistem Tanah

Tyresoil merupakan kombinasi antara ban dan tanah yang bila digunakan sebagai penguat struktur tanah dapat meningkatkan sifat mekanis tanah baik secara penguat struktur tanah dapat meningkatkan sifat mekanis tanah baik secara *anisotropik* (berupa lapisan) maupun *isotropik* (berupa rangkaian elemen dengan material pengisi). Untuk mempermudah pengisian dan pemadatan pada material pengisi kedalam ban, maka ban dipotong menjadi tiga bagian yakni satu bagian telapak dan dua bagian sisi samping dengan variasi pemasangan sebagai berikut :

- Sisi samping ban (*Side wall flat*)
- Telapak ban ditepi (*Tread on edge*)
- Telapak ban datar (*Tread fattened*)

Dari variasi diatas dalam pemasangan dirangkai dan diikat dalam suatu lapisan atau disusun bertingkat untuk memperkuat posisi ban. Pada sistem *flattened tread* kekuatan berdasarkan daya lekat antara ban dengan tanah, tetapi sistem *tread on edge* kekuatan tarik yang terjadi akibat perlawanan dari :

- Gaya gesek tanah dan ban pada sisi luar permukaan vertikal,
- Tekanan tanah pasif didepan sisi vertikal ban,
- Gesekan tanah sepanjang dua permukaan sisi mengikat sisi tepi dari telapak ban.



Gambar 2.33 Hypothesis dari luar gaya tarik (N.T. Long, 1984)

2.11.5 Aplikasi Penggunaan Tyresoil

Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan *tyresoil* dapat digunakan sebagai konstruksi penguat tanah, antara lain :

- *Perkuatan Timbunan*

Sebagai struktur penguat timbunan tanah konstruksinya terdiri dari, *tyresoil* yang dipotong pada kedua sisinya, kemudian dirangkai dalam satu rangkaian lapisan menggunakan tali yang tahan busuk (*polyster*) dan disusun bertingkat dengan jarak 0,35 m sampai 0,50 m diatas timbunan yang telah dipadatkan selanjutnya diisi dengan material galian (diameter maksimal 250 mm), dimana karakteristik material

ini harus diperhatikan terutama kandungan kadar airnya sehingga tidak menimbulkan masalah pada saat pemadatan.

- *Stabilitas Kemiringan*

Penggunaan *tyresoil* sebagai penguat stabilitas lereng dilakukan dengan cara memasang lapisan *tyresoil* posisi treads on edge setiap jarak 50 cm dan terletak diatas lapisan batu. Sistem ini dapat juga digunakan sebagai dinding penahan tanah untuk ketinggian 5 m sampai 6 m. Dari hasil tes regangan yang dilakukan pada lapisan *tyresoil* maupun menahan gaya dengan kekuatan yang cukup besar sekitar 50 kN sampai 57 kN. Desain strukturnya menggunakan prinsip *gravity wall* dengan kemiringan lereng antara 2/1 sampai 3/1. Untuk *overall stability*, faktor keamanan bidang gelincirnya menunjukkan adanya peningkatan dengan adanya lapisan *tyresoil*.

- *Penyerap Energi*

Dasar pemikiran *tyresoil* sebagai pegas penyerap energi dari observasi yang dilakukan pada kegiatan sehari-hari, dimana sering terlihat tumpukan ban dipasang disudut atau tempat yang berbahaya pada sirkuit balap untuk menahan mobil yang slip dan keluar dari track. Ban juga digantung satu-satu atau berkelompok disepanjang dinding dok pelabuhan untuk menahan benturan dari kapal. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien restitusi energi dari ban sangat rendah sekitar 0,1 (artinya rasio tinggi pantulan H dari beban yang jatuh pada ketinggian H_0 dimana beban tersebut dijatuhkan). Hal ini berarti material *tyresoil* hanya menyimpan energi yang sangat kecil dan mempunyai daya serap yang sangat besar. Menurut Boulebnane dan Lareal (1993), salah satu kegunaan material *tyresoil* adalah mendistribusi tegangan vertikal yang bekerja pada pondasi. Aplikasi terakhir dari material *tyresoil* yaitu digunakan sebagai pondasi pada permukaan timbunan slab dangkal yang kaku.

2.12 Program PLAXIS

Plaxis adalah suatu program komputer dengan dasar metode elemen hingga yang sangat sesuai untuk menganalisis berbagai permasalahan yang dijumpai pada tanah dan

batuan (Brinkgreve dan Vermer, 1998). Dalam menganalisis persoalan yang ada, program *plaxis* menggunakan model analisis tegangan pada bidang dan analisis persamaan salib sumbu.

Menurut Brinkgreve dan vermer (1998), model analisis tegangan pada bidang, digunakan untuk kondisi struktur yang mempunyai penampang permukaan berupa bidang regangan/tekanan dan pembebanan yang bekerja pada jarak tertentu dalam arah tegak lurus, dengan perpindahan yang terjadi diasumsikan sama dengan nol.

Model material yang digambarkan pada program *plaxis* adalah merupakan bentuk persamaan matematika yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan. Model material ini sering diekspresikan dalam bentuk pertambahan dari tegangan (yang disebut sebagai kecepatan tegangan), dan pertambahan dari regangan (yang disebut sebagai kecepatan regangan). Semua model material yang diimplementasikan pada program *Plaxis* adalah berdasarkan atas hubungan antara kecepatan tegangan efektif σ .

2.12.1 Dasar Teori

Plaxis adalah merupakan suatu program komputer dengan dasar metode elemen hingga yang sangat sesuai untuk menganalisis berbagai problem yang dijumpai pada tanah dan batuan. Dalam menganalisis persoalan yang ada, program *PLAXIS* menggunakan model analisis tegangan pada bidang dan analisis salib sumbu.

Model analisis tegangan pada bidang digunakan untuk kondisi struktur yang mempunyai penampang permukaan bidang, regangan atau tekanan, dan pembebanan yang bekerja pada jarak tertentu dalam arah tegak lurus, dengan perpindahan yang terjadi diasumsikan sama dengan nol.

Model analisis persamaan salib sumbu digunakan untuk kondisi struktur berbentuk lingkaran yang mempunyai penampang permukaan bidang dan pembebanan yang bekerja pada jarak tertentu dalam arah sekitar salib sumbu, dengan perpindahan dan regangan atau tegangan yang terjadi diasumsikan sama dalam segala arah radial.

Model material yang digambarkan pada program *PLAXIS* adalah merupakan bentuk persamaan matematika yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan

regangan. Model material ini sering diekspresikan dalam bentuk pertambahan dari tegangan (yang disebut sebagai kecepatan tegangan), dan pertambahan dari regangan (yang disebut sebagai kecepatan regangan). Semua model material yang diimplementasikan pada program *PLAXIS* adalah berdasarkan atas hubungan antara kecepatan tegangan efektif, σ' , dan kecepatan regangan efektif, ϵ' , yang dapat diimplementasikan dalam bentuk persamaan :

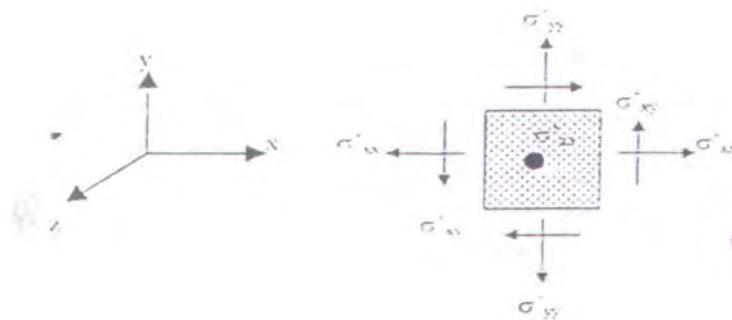
$$\sigma' = M \cdot \epsilon' \quad \dots\dots\dots (2.54)$$

dimana :

M = matriks kekakuan material

$$\sigma' = (\sigma'_{xx}, \sigma'_{yy}, \sigma'_{zz}, \sigma'_{xy}, \sigma'_{yz}, \sigma'_{zx})$$

$$\epsilon' = (\epsilon'_{xx}, \epsilon'_{yy}, \epsilon'_{zz}, \epsilon'_{xy}, \epsilon'_{yz}, \epsilon'_{zx})$$



Gambar 2.34 Sistem koordinat tiga dimensi dan konversi tanda untuk tegangan

Tegangan utama biasanya lebih banyak digunakan untuk merumuskan beberapa model material, yang dapat dihitung dengan rumus tegangan Cartesian, sebagai berikut :

$$\sigma'_1 = \frac{1}{2} (\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy}) - \sqrt{ \frac{1}{4} (\sigma'_{xx} - \sigma'_{yy})^2 + (\sigma'_{xy})^2 } \quad \dots\dots\dots (2.55)$$

$$\sigma'_2 = \sigma'_{zz} \quad \dots\dots\dots (2.56)$$

$$\sigma'_3 = \frac{1}{2} (\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy}) + \sqrt{ \frac{1}{4} (\sigma'_{xx} - \sigma'_{yy})^2 + (\sigma'_{xy})^2 } \quad \dots\dots\dots (2.57)$$

Dalam *PLAXIS* tegangan utama diatur dalam bentuk aturan aljabar, sebagai berikut :

$$\sigma'_1 \leq \sigma'_2 \leq \sigma'_3$$

Model material yang paling sederhana dalam *PLAXIS* adalah dengan menggunakan hukum *Hooke*, tentang perilaku *elastis linier isotropik* dari material, yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} \sigma'_{xx} \\ \sigma'_{yy} \\ \sigma'_{zz} \\ \sigma'_{zz} \end{bmatrix} = \frac{2 \cdot G}{1-2\nu} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon'_{xx} \\ \varepsilon'_{yy} \\ \varepsilon'_{zz} \\ \varepsilon'_{xy} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.58)$$

dimana :

G = modulus geser

V = angka rasio Poisson efektif

Hubungan antara modulus geser, G, angka rasio *Poisson*, ν , dan *modulus Young*, E, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E = 2 (1 + \nu) \cdot G \dots\dots\dots (2.59)$$

2.12.2 Pemasukan Data (Input) dan Output Program *PLAXIS*

Metode elemen hingga adalah sebuah prosedur komputer yang dapat digunakan untuk memperoleh atau memecahkan masalah analisa deformasi secara matematis di dalam *geotechnical engineering* atau teknik sipil yang menggunakan model *Mohr-Coulomb*, sehingga dapat diprediksi skenario dan mekanisme keruntuhan yang mungkin terjadi. Untuk analisis pergerakannya, metode elemen hingga dengan kondisi *plane strain* (regangan bidang) digunakan untuk memperoleh informasi tentang tegangan dan regangan pada lereng. Didalam mekanika tanah biasanya digunakan dua tipe analisa. Ketika sebuah elemen tanah dibebani, maka sebelum air dapat mengalir ke dalam pori-pori tanah, pembebanan dikatakan *undrained*. Sedangkan jika pembebanan dilakukan dalam waktu yang cukup lama sehingga tekanan pori akibat pembebanan mencapai angka nol, maka pembebanan dikatakan sebagai *undrained*.

Analisa menggunakan program komputer *PLAXIS* dikembangkan oleh Dr. R. B. J. Brikgreve di Belanda (Plaxis B. V., Netherlands) dan Prof. P. A. Vermeer (*University*

of Stuttgart, Germany). Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 3 nodal, 6 nodal dan 15 nodal. Pada penggunaan program *PLAXIS* selama perhitungan digunakan analisa undrained serta menggunakan elemen segitiga dengan 15 nodal agar dapat dilakukan interpolasi dari peralihan nodal menggunakan turunan derajat pangkat dua. Dengan elemen ini akurasi hasil sudah cukup teliti dan dapat diandalkan.

Model *plane strain* digunakan dengan asumsi bahwa lereng tersebut memiliki potongan melintang dan struktur relatif sama serta peralihannya dalam arah tegak lurus dianggap tidak terjadi.

Program ini mampu memodelkan tahapan konstruksi sehingga dapat lebih realities dalam memperoleh hasil akhir. Disamping itu program komputer *PLAXIS* mempunyai kemampuan didalam menampilkan data *output* dan pemplotan hasil analisis untuk interpretasi yang layak.

Parameter-parameter yang digunakan pada *input* dari program *PLAXIS* dicari terlebih dahulu, kemudian hasil dari perhitungan dari program *PLAXIS* tersebut disajikan dalam bentuk gambar.

Dalam penggunaan program *PLAXIS*, modul yang digunakan model *Mohr-Coulomb*, dimana parameter yang dipakai :

- γ_d = berat volume kering (kN/m^3)
- γ_w = berat volume basah (kN/m^3)
- E_U = *young's modulus* (kN/m^2)
- ν = *poisson's ratio*
- μ = *friction angle* ($^\circ$)
- c_u = *cohesion* (kN/m^2)
- PI = *plasticity index* (%)

Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam perhitungan *PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 2.2 sampai Tabel 2.4. Nilai modulus elastisitas tanah dalam keadaan *undrained* menurut Brinkgreve dan Vermeer (1998) dapat dihitung dengan rumus :

$$E_U = \frac{15.000 \times C_u}{IP\%} \dots\dots\dots (2.60)$$

dimana :

E_U = Modulus elastisitas kondisi *undrained*

C_U = *Undrained shear strength*

IP = Indeks Plastisitas

Tabel 2.2 Nilai Perkiraan Angka *Poisson* untuk Tanah

Macam Tanah	ν
Pasir halus	0,25
Pasir kasar	0,35
Pasir padat	0,2 - 0,4
Lanau	0,3 - 0,5
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung jenuh	0,4 - 0,5
Batu	0,1 - 0,4
Loses	0,1 - 0,3

Sumber : Bowles (1997)

Tabel 2.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas dan Angka *Poisson*

Material	E (MPa)	ν
Steel	205.000	0,25 - 0,33
Rubber	41 - 75	0,45 - 0,50

Sumber : Khurmi (1984)

Tabel 2.4 Nilai Perkiraan Sudut Geser Tanah

Macam Tanah	Sudut geser dalam (°)
Lempung	0 (jenuh)
Lanau	
Tidak padat	20 - 22
Padat	25 - 30
Pasir	
Kering dan tidak padat	28 - 34
Jenuh dan tidak padat	28 - 34
Kering dan padat	35 - 46
Jenuh dan padat	1 - 2 (kurang dari kering dan padat)

Sumber : Bowles (1977)

2.12.3 Parameter Input Program *PLAXIS*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa metodologi perencanaan atau perhitungan yang digunakan pada program *PLAXIS* didasarkan atas kompilasi hubungan antara kecepatan tegangan efektif, σ' , dan kecepatan regangan efektif, ϵ' . Parameter-parameter dasar yang digunakan dalam melakukan analisis dan perencanaan stabilitas lereng atau timbunan meliputi :

- a. *Data konfigurasi rangkaian*
- b. *Kondisi batas*
- c. *Data elemen tanah*
- d. *Kondisi muka air tanah dan bentuk geometri lereng atau timbunan*

a. *Data konfigurasi rangkaian*

Data konfigurasi rangkaian berisikan informasi yang diperlukan untuk menganalisis kestabilan lereng atau timbunan, yaitu titik-titik nodal koordinat, jumlah titik-titik nodal, dan titik-titik tegangan yang ada untuk seluruh elemen yang digunakan.

b. Kondisi batas

Kondisi batas pada program *PLAXIS* dapat didefinisikan pada sembarang titik-titik grid utama yang mengelilingi konfigurasi rangkaian. Kondisi batas juga merupakan pendefinisian dari masing-masing blok konfigurasi rangkaian yang akan dianalisis. Perpindahan, gaya tarik, batas perhitungan permukaan air tanah, dan batas analisis konsolidasi dapat didefinisikan pada sembarang titik-titik *grid* utama. Beban terpusat dapat ditentukan pada semua titik kecuali titik-titik bagian dalam dari elemen 15 titik (*15 noded elements*).

c. Data elemen tanah

Data elemen tanah yang diperlukan pada program *PLAXIS* adalah untuk jenis tanah *isotropik* dan *anisotropik*. Untuk jenis tanah yang *isotropik*, parameter tanah yang diperlukan adalah berat satuan tanah yang meliputi berat tanah kering dan berat tanah jenuh, kohesi tanah (c), dan sudut geser dalam tanah (φ). Sedangkan untuk jenis tanah yang *anisotropik*, maka parameter tanah seperti kohesi tanah (c), dan sudut geser dalam tanah (φ), yang dimasukkan, umumnya tidak sama pada setiap lapisan tanah dan untuk seluruh arah. Sehingga kita dapat memasukkan beberapa parameter tanah dari lapisan tanah lereng atau timbunan yang ditinjau.

d. Kondisi muka air tanah dan bentuk geometri lereng atau timbunan

Input data ini memberikan gambaran dari lereng atau timbunan yang akan dianalisis. Gambaran dari lereng atau timbunan ini ditampilkan dengan memasukkan nilai koordinat-koordinat dari lereng atau timbunan tersebut. Data permukaan air tanah pada lereng atau timbunan dimasukkan kedalam input data untuk geometri lereng atau timbunan. Jika tekanan air pori sama dengan nol, maka opsi untuk kondisi permukaan air tanah diabaikan. Pada input data untuk geometri lereng atau timbunan ini, beban gravitasi lereng dapat dimasukkan, jika ada.

2.12.4 Cara Kerja Program *PLAXIS*

Setelah kita memasukkan semua data yang diperlukan seperti diatas, maka proses analisis dari menu *Stability analysis* dapat dilakukan. Pada bagian ini, program *PLAXIS* akan melakukan pencarian nilai faktor keamanan dari lereng atau timbunan sesuai dengan data yang kita masukkan diatas.

Cara kerja dari program *PLAXIS* dalam mencari nilai faktor keamanan adalah dengan menggunakan metode elemen. Dalam mencari nilai faktor keamanan pada keruntuhan bidang permukaan yang diinginkan, maka dapat dilihat dari kurva $\sum -Msf$ vs perpindahan yang terdapat pada modul kurva perpindahan gaya atau beban untuk semua titik referensi yang telah dimasukkan pada parameter input data.

Dari titik ini akan dibuat perhitungan angka keamanan dengan menggunakan modul nomor pembebanan untuk setiap penambahan (*increment*) nilai *Msf* yang akan diambil.

Hasil analisis yang diperlukan adalah merupakan nilai stabilitas lereng dan keruntuhan atau gelincir sisi kiri, sisi kanan, maupun kedua sisi dari lereng atau timbunan, serta daya dukung dan penurunan yang terjadi atau diperlukan.

2.12.5 Output yang didapat Program *PLAXIS*

Analisis yang digunakan oleh program *PLAXIS* dalam menentukan faktor angka keamanan (*FS*) terhadap keruntuhan yang bekerja pada permukaan lereng dapat dilihat dari kurva $\sum -Msf$ vs perpindahan yang terdapat pada modul kurva perpindahan gaya atau beban untuk semua titik referensi yang telah dimasukkan pada parameter input data lereng atau timbunan dan tanah dasar sesuai dengan beban yang ada, biasanya mencakup pada :

- a. Perhitungan faktor keamanan kestabilan lereng
- b. Perhitungan konsolidasi

a. Perhitungan faktor keamanan kestabilan lereng

Persamaan umum yang digunakan untuk menghitung besarnya nilai faktor angka keamanan stabilitas lereng pada program *PLAXIS* adalah sebagai berikut :

$$Safety\ Factor = \frac{S_{maksimum\ yang\ ada}}{S_{kondisi\ batas}} \dots\dots\dots (2.61)$$

dimana :

S = kekuatan geser tanah

Dengan menggunakan kondisi standar yang dipakai oleh *Coulomb*, maka besarnya faktor angka keamanan stabilitas lereng menjadi :

$$Safety\ Factor\ (SF) = \frac{c + \sigma \cdot \tan \varphi}{c_r + \sigma \cdot \tan \varphi_r} \dots\dots\dots (2.62)$$

Dimana c_r dan φ_r merupakan parameter kekuatan tanah pengurang yang berpengaruh untuk menjaga kondisi keseimbangan atau batas. Dalam program *PLAXIS*, pengurangan nilai parameter kekuatan tanah c dan φ dilakukan dalam proporsi yang sama, yaitu :

$$\frac{c_r}{c} = \frac{\tan \varphi_r}{\tan \varphi} \dots\dots\dots (2.63)$$

$$c_r = \frac{c}{\sum Msf} \dots\dots\dots (2.64)$$

$$\tan \varphi_r = \frac{\tan \varphi}{\sum Msf} \dots\dots\dots (2.65)$$

Sehingga besarnya faktor keamanan (*SF*) dapat pula didefinisikan sebagai :

$$FS = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} \dots\dots\dots (2.66)$$

Pada kondisi keruntuhan, besarnya faktor angka keamanan sama dengan $\sum Msf$. Pengurangan nilai parameter kekuatan tanah dan hasil perhitungan yang terlihat pada tabel tersebut hanya berarti jika telah dicapai kondisi keseimbangan (*steady state*). Kondisi *steady state* ditunjukkan dengan kurva dari $\sum -Msf$ vs perpindahan yang cukup datar, dimana pada kondisi inilah besarnya nilai faktor angka keamanan didapat yaitu

pada saat terjadi keseimbangan antara gaya yang meruntuhkan dan daya tahan dari kuat geser tanah pada lereng tersebut.

Harga-harga $\sum -M_{sf}$ lain sebelum dicapai kondisi *steady state* tersebut tidak memiliki arti fisik yang berarti. Harga-harga tersebut hanya digunakan untuk proses numerik. Total perpindahan yang diperoleh akibat perhitungan *Phi/c reduction* juga tidak memiliki arti fisik yang berarti. Sedangkan perpindahan bertahap memiliki arti yang cukup penting untuk menunjukkan mekanisme keruntuhan paling kritis.

b. Perhitungan konsolidasi

Persamaan konsolidasi yang dianalisis dalam program *PLAXIS* adalah rumusan dari konsolidasi *Biot*. Sedangkan aliran air dianalisis dengan menggunakan rumusan *Darcy*.

2.13 Material Granuler

Material Granuler adalah butiran tanah yang dapat mengendap pada larutan suspensi secara individu tak tergantung pada butiran yang lain, (butiran lebih besar 0.02mm) berupa susunan tunggal misalnya, tanah, pasir, kerikil atau berupa campuran pasir dan lanau. Berat butiran yang menyebabkan butiran itu mengendap. Susunan tanah mungkin tidak padat (angka pori rendah atau kerapatan tinggi). Angka pori tergantung pada distribusi ukuran butiran, susunan serta kerapatan butirannya.

Kerapatan relatif sangat berpengaruh pada sifat teknis tanah granuler, karena itu diperlukan pengujian terhadap contoh-contoh tanah pasir pada kondisi kerapatan relatif yang sama seperti kondisi lapangannya. Akan tetapi, pengambilan contoh benda uji untuk tanah pasir yang longgar di lapangan, sangat sulit. Karena itu, digunakan beberapa macam alat penetrasi untuk mengetahui sifat-sifat tanah granuler.

Perlu diperhatikan bahwa dalam banyak masalah teknis, karakteristik tanah granuler tidak cukup hanya ditinjau kerapatan relatifnya saja, sebab ada kemungkinan dua tanah pasir dengan angka pori dan kerapatan relatif sama, mempunyai susunan butiran yang berbeda. Kondisi yang demikian akan mengakibatkan perbedaan pada sifat teknisnya. Sejarah tegangan yang pernah dialami pada waktu yang lampau, merupakan

suatu faktor yang harus dipertimbangkan. Lapisan tanah granuler yang pernah mengalami pembebanan yang lebih besar dari tekanan yang ada sekarang, akan mempunyai sifat tegangan-regangan dan penurunan yang sangat berbeda dari berbeda jenis tanah granuler yang belum pernah menderita beban yang lebih besar dari sekarang (Lambrectts dan Loenard, 1978).

Tinjauan struktur tanah meliputi pertimbangan komposisi mineral dan sifat-sifat elektrik dari partikel padatnya. Demikian juga mengenai bentuk, penyesuaian terhadap yang lain, sifat dan kelakuannya terhadap air tanah, komposisi ion, serta gaya tarik antar partikelnya. Gaya tarik antar partikel pada tanah-tanah berbutir kasar sangat kecil. Pada tanah jenis ini, bentuk partikel akan sangat mempengaruhi sifat teknisnya misalnya sedimen pasir khususnya butiran yang besar, sedikit perubahan dari bentuk bulat ke bentuk kubus cukup menyebabkan variasi yang besar pada karakteristik permeabilitas dalam arah paralel maupun tegak lurus. Selanjutnya, posisi butiran relatif juga akan berpengaruh terhadap stabilitas, permeabilitas dan karakteristik perubahan bentuk dan juga akan berpengaruh pada distribusi tegangan didalam lapisan tanahnya.

Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya bila mendapat mendapat tekanan, tetapi tanah yang mengalami pembebanan yang berangsur-angsur bertambah hingga terlampaui daya dukung batasnya, seperti beban pondasi akan mengalami distorsi dan penurunan karena tegangan geser didalam tanah suatu saat akan terlampaui. Hal ini akan mengakibatkan keruntuhan geser pada tanah pondasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keruntuhan daya dukung telah terjadi maka dari itu daya dukung batas suatu tanah dibawah beban pondasi tergantung pada kuat geser untuk melawan penurunan.

2.13.1 Karakteristik Bahan Granuler pada Material Komposit *Tyresoil* terhadap Kestabilan Lereng

Longsoran akan terjadi, bila dalam suatu massa tanah tidak ada keseimbangan antara gaya dorong dan gaya penahan. Dimana gaya dorong tersebut tidak dapat ditahan oleh gaya penahan. Dari pergerakan tanah yang longsor dari suatu lereng, akan bergeser

melalui bidang gelincirnya, yakni bagian tanah yang mempunyai kekuatan geser terendah.

Untuk mendapatkan keseimbangan yang baru, perlu diupayakan dengan mengubah besaran dalam salah satu gaya, yakni dengan menambah gaya penahan atau memperkecil gaya pendorong.

Material *tyresoil* dengan bahan pengisi (*material granuler*) merupakan suatu material komposit. Kekuatan perkuatan ini terletak pada modulus Elastisitas bahan material ban, dengan menggunakan bahan pengisi berupa material granuler yang dapat berupa tanah, atau bahan lain yang lebih efektif, mudah didapat dan ekonomis. Penggunaan material granuler yang berbeda mengakibatkan pada peningkatan gaya penahan yang dapat mempengaruhi faktor angka keamanan/stabilitas lereng. Hal ini disebabkan oleh parameter sifat fisik atau mekanik material granuler yang berbeda, yaitu kuat geser material granuler. Kuat geser material granuler dipengaruhi oleh komposisi mineral dan susunan (butiran) partikel pembentuk. Peningkatan kuat geser bahan/material granuler menyebabkan faktor angka keamanan akan meningkat pula, mengurangi settlement (compressibility) tanah dan meningkatkan daya dukung tanah serta menaikkan sifat mekanis lahan atau lereng.

Material granuler menggunakan *copper slag*, disebabkan pemanfaatan limbah industri logam. Selain itu susunan partikel *copper slag* hampir sama dengan butiran pasir. Pada penelitian ini menggunakan pasir dan *copper slag* dengan kondisi kering, sehingga dapat membandingkan faktor angka keamanan yang terjadi dengan program *Plaxis*. Pada output program *Plaxis* diperoleh peningkatan faktor angka keamanan pada *copper slag* lebih besar dibandingkan dengan menggunakan pasir.

2.13.2 Pasir

Pasir adalah partikel butiran batuan yang lolos ayakan no.4 dengan bukaan 4,75 mm dan tertahan pada ayakan no.200 dengan bukaan (75 μ m) yang pembagiannya sebagai berikut :

1. Kasar (coarse), lolos ayakan no.4 (4,75 mm) dan tertahan pada ayakan no.10 (2,00 mm)

2. sedang (medium), lolos ayakan no.10 dan tertahan pada ayakan no.40 (425 μm)
3. Halus (fine), lolos ayakan no.40 (425 μm) dan tertahan pada ayakan no.200 (75 μm).

Sifat dari pasir ini tidak mempunyai kekuatan tarik pada lapisannya, bila pasir ini mengalami perombakan yang cukup besar, maka gesekan butir-butir meningkat sehingga kekuatan gesernya besar.

2.13.3 *Copper Slag*

Copper slag merupakan suatu rangkaian dengan produksi logam, tembaga, adapun proses tersebut adalah dengan adanya bahan baku tembaga yang berasal dari beberapa negara diantaranya adalah Indonesia, Australia, Kanada dan lain-lain. Setelah itu dimasukkan dalam bak pengolah, dengan pengeringan (sekitar 500 °C) bahan baku tersebut dipilah-pilah sehingga menghasilkan beberapa senyawa, yaitu konsentrasi tembaga kering yang dihasilkan. Proses selanjutnya dilakukan pemanasan melalui tungku (sekitar 1200 °C) didapatkan *copper slag* dan buih tembaga. Buih tembaga ini diolah melalui electrical system yang menghasilkan logam tembaga (M.J. Bradley dan S.E. Wiberly, 1993).

Adapun Sifat *copper slag* sebagai berikut :

a. Sifat kimia

Sebagaimana informasi yang didapat dari (*Mitsubhisi Copper Slag, 1991*) menyebutkan, bahwa komponen utama yang terdapat dari *copper slag* adalah *besi oksida, silikon dioksida, kalsium oksida* serta *aluminium oksida*. Prosentase senyawa kimia tersebut adalah sebagai berikut :

- Besi Oksida (Fe_2O_3) : 45 – 55 %
- Silikon Dioksida (SiO_2) : 30 – 36 %
- Calcium oksida (CaO) : 2 – 7 %
- Aluminium Oksida (Al_2O_3) : 3 – 6 %

b. Sifat Fisika

Kandungan besi yang tinggi pada *copper slag* menyebabkan berat jenis/*specific gravity* tinggi (3,5 – 3,7), lebih tinggi dari pasir alami serta sifatnya sebagai

penghantar panas (*termal conductivity*) yang baik (Hwang dan Laiw, 1989). Kandungan besi yang tinggi menyebabkan kekerasan dari butiran *copper slag* sangat tinggi. Karena merupakan sisa dari olahan industri pertambangan, sehingga tidak terdapat kadar organik ataupun kadar lumpur sebagaimana yang terdapat pada pasir alam (*natural sand*). Terdapatnya kandungan senyawa logam, maka porositas yang terjadi sangat kecil mengakibatkan kepadatan tinggi, sehingga *copper slag* memiliki kekedapan yang tinggi pula, hal ini dapat ditinjau dari bentuk fisiknya.¹⁾

¹⁾ Sarasanty, Diah, *Makalah Seminar Tugas Akhir S-1 Ekstensi Lintas Jalur "Optimasi Gradasi Copper Slag Sebagai Agregat Halus Untuk Mendapatkan Beton Mutu Tinggi"*, Surabaya:2004.

BAB III



- METODOLOGI PENELITIAN



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium mekanika tanah Teknik Sipil ITS. Benda uji yang dipersiapkan berupa tanah lanau yang berasal dari tanah lanau Gunung Kawi, kecamatan Wonosari, kabupaten Malang, propinsi Jawa Timur dengan kadar air $\pm 51\% -52\%$. Benda uji dalam kondisi kering dilakukan pengujian pada pemodelan lereng tanpa perkuatan maupun dengan 2 lapisan perkuatan "*tyresoil*". Pengujian stabilitas lereng dilakukan dalam kondisi *unsaturated undrained* terhadap tanah didalam bak pemodelan. Pembebanan dilakukan secara bertahap. Beban tersebut didiamkan, sehingga dianggap cukup untuk menyebabkan penurunan. Apabila penurunan yang terjadi kecil sekali (dapat diabaikan), maka penambahan beban dilakukan lagi. Begitu seterusnya penambahan beban dilakukan sampai model lereng menunjukkan adanya kelongsoran. Apabila model lereng menunjukkan adanya kelongsoran, maka pembebanan dihentikan. Kemudian melakukan perhitungan secara analitis dengan program *PLAXIS* untuk mencari angka keamanan dari setiap kondisi pembebanan. Agar lebih lengkap dan mudah dipahami berikut dijelaskan persiapan, langkah-langkah dan sistematika pengujian yang dilakukan.

3.1 Persiapan Material

Persiapan material yang digunakan pada penelitian ini meliputi pengadaan tanah lanau Gunung Kawi, *copper slag*, *tyresoil*, dan pembuatan bak pemodelan.

3.1.1 Bak Permodelan

Bak permodelan yang dibuat berukuran 80 cm x 30 cm dengan tinggi 45 cm, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.1.



(a)

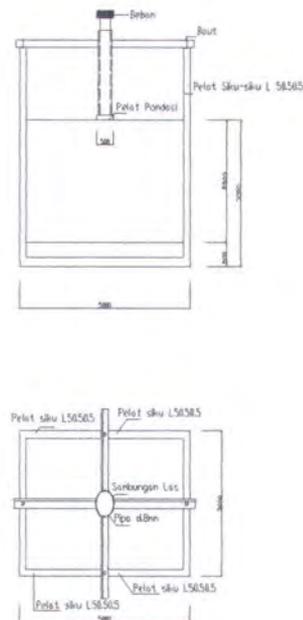


(b)

Gambar 3.1 (a) Tampak depan bak permodelan
(b) Tampak atas bak permodelan

Dinding bak permodelan untuk satu sisi (depan) dibuat dari kaca dengan ketebalan 8 mm, sedangkan ketiga bagian lainnya dari pelat. Alat yang digunakan untuk mengukur penurunan yang terjadi menggunakan dial penurunan. Dial penurunan tersebut diletakkan diatas pelat acuan sebagai dasar. Pelat besi yang digunakan sebagai pondasi berukuran 5 cm x 5 cm dan tebal 2 mm. Benda uji tanah dimasukkan ke dalam bak setinggi 25 cm dan diatas tanah diletakkan pelat pondasi. Berat pelat besi sebesar

1650 gr, sedangkan berat pipa bagian atas pondasi dan ditambah pelat untuk perletakan beban sebesar 380 gr. Skema bak permodelan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema bak permodelan

3.1.2 Tanah

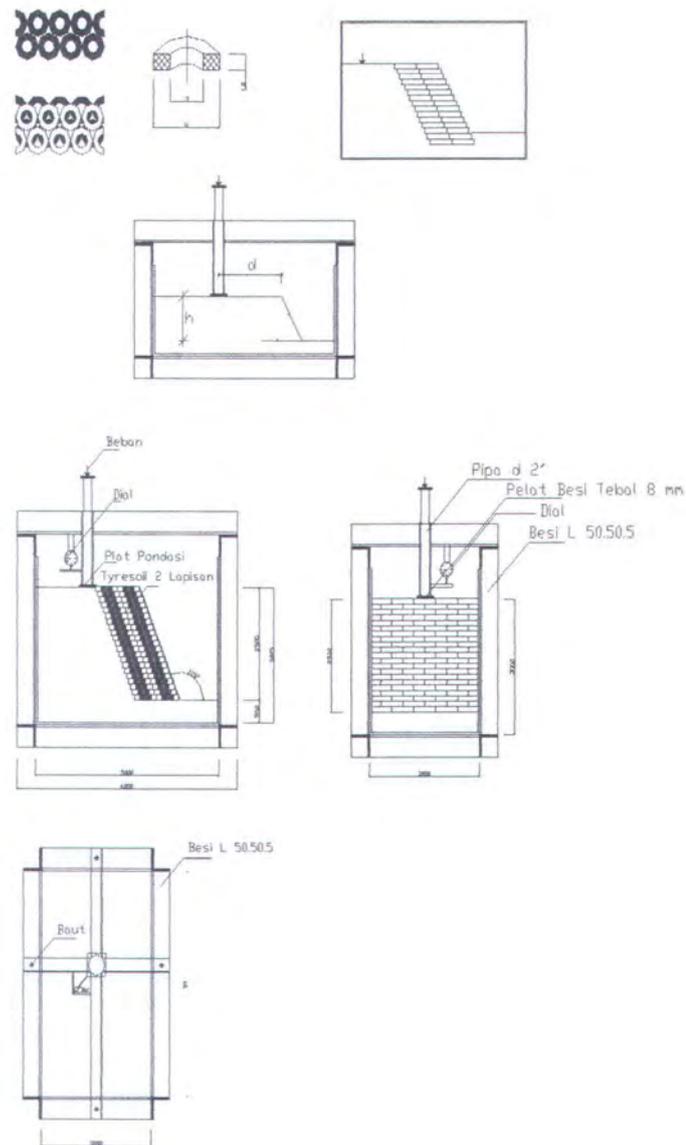
Tanah yang digunakan adalah tanah lanau yang diambil dari lokasi Gunung Kawi, kecamatan Wonosari, kabupaten Malang, propinsi Jawa Timur. Tanah tersebut merupakan tanah lanau residual yang kemudian dikeringkan dan dihancurkan hingga menjadi butiran tanah yang lolos saringan no.30. Butiran tanah yang berupa bubuk tanah tersebut dikeringkan kembali hingga mendekati kering sempurna (Kadar air $\pm 0 - 2\%$).

3.1.3 *Copper slag*

Copper slag yang digunakan pada penelitian ini diambil dari PT. Semen Gresik Tbk. digunakan untuk material pengisi *tyresoil* (*material granular*)

3.1.4 *Tyresoil*

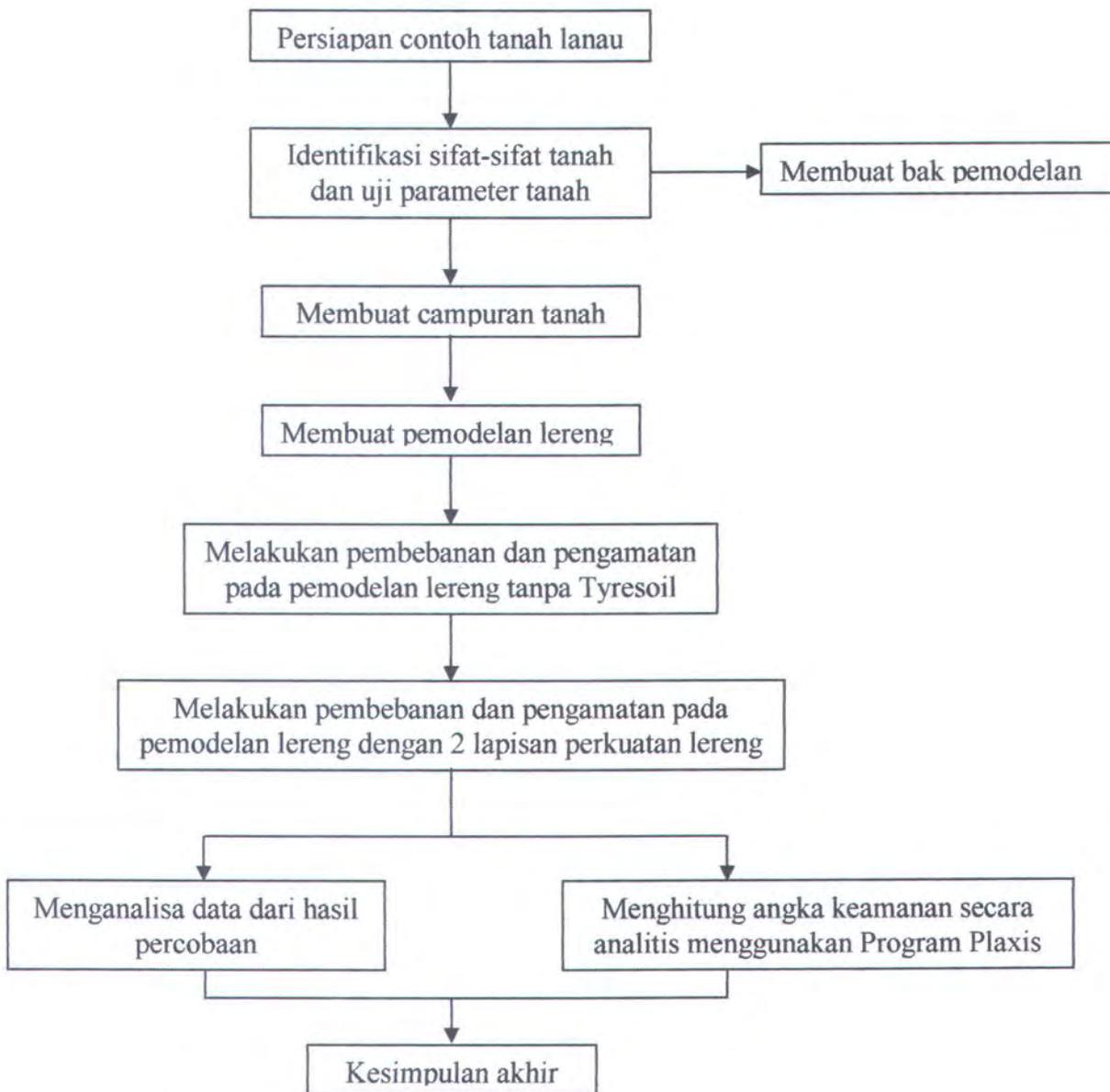
Material *tyresoil* yang digunakan pada penelitian ini adalah *tyresoil* dengan ukuran skala kecil, sebagai acuan diambil ukuran skala seperti yang pernah dilakukan pada penelitian di Perancis yaitu *tyresoil* dengan diameter luar 60 mm, diameter dalam 30 mm, dan tinggi 12 mm seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.3. Berat 1 buah *tyresoil* sebesar 4,3 gr. Material *tyresoil* tersebut dirangkai dengan satu ikatan, sehingga terbentuk rangkaian 2 lapisan perkuatan arah melintang. Gambar susunan rangkaian *tyresoil* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian 2 Lapisan perkuatan *tyresoil*

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Jenis pengujian dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian secara sistematis ditunjukkan pada Gambar 3.4. Uraian berikut ini merupakan penjelasan lebih rinci dari diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Bagan alir tahap pengujian di laboratorium

3.3 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisik Tanah

Pengujian yang dilakukan untuk identifikasi sifat-sifat fisik atau karakteristik tanah lanau Gunung Kawi dilaboratorium meliputi : *volumetric gravimetric*, *tes batas-batas Atterberg limits* (batas cair, batas plastis), dan *test granulometri*. Pengujian dilakukan menurut standart uji ASTM.

Untuk analisis stabilitas permodelan lereng, kuat geser tanah lanau diperoleh dari pengujian geser langsung.

3.4 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan untuk pengujian dalam kondisi tanah lanau tidak jenuh (*unsaturated*) dengan kadar air $\pm 51\%$ - 52% , dimana kadar air tersebut diperoleh dari hasil pencampuran tanah lanau dengan berat air yang diperlukan. Benda uji yang dipersiapkan berupa tanah lanau tidak jenuh yang berasal dari tanah lanau Gunung Kawi. Setelah pembuatan benda uji dibuat dengan kemiringan lereng, ketinggian lereng yang direncanakan dalam bak permodelan baik tanpa perkuatan lereng maupun dengan 2 lapisan perkuatan lereng *tyresoil* kemudian dilakukan pengujian pembebanan dalam kondisi *unsaturated undrained* terhadap tanah didalam bak permodelan. Pengujian dilakukan pada tanah tanpa *tyresoil* dan dengan 2 lapisan perkuatan lereng *tyresoil* seperti pada Tabel 3.1. Pembebanan diberikan secara bertahap. Beban tersebut dibiarkan, sehingga dianggap cukup untuk menyebabkan penurunan. Apabila penurunan yang terjadi kecil sekali (dapat diabaikan), maka penambahan beban dilakukan lagi. Begitu seterusnya penambahan beban dilakukan sampai model lereng menunjukkan adanya kelongsoran. Apabila model lereng menunjukkan adanya kelongsoran, maka pembebanan dihentikan.

Tabel 3.1 Skematik Permodelan Sistem Lereng

Model Lereng		Sudut Kemiringan Lereng β (°)	Ketinggian Lereng h (cm)	Jarak Pembebanan d (cm)
Tanpa Perkuatan Lereng		80	25	0
		80	25	5
		80	25	10
Dengan Perkuatan Lereng	2 Lapisan <i>Tyresoil</i> + <i>Copper Slag</i>	80	25	0
		80	25	5
		80	25	10
	2 Lapisan <i>Tyresoil</i> + <i>Pasir</i>	80	25	0
		80	25	5
		80	25	10

3.5 Pengujian Pembebanan di Laboratorium

Pengujian pembebanan dan pengamatan penurunan pada permodelan lereng yang dilakukan di laboratorium terdiri dari dua macam model, yaitu :

1. Pengujian tanpa *tyresoil*
2. Pengujian menggunakan 2 lapisan perkuatan lereng dengan *tyresoil*

3.5.1 Pengujian pembebanan tanpa *tyresoil*

Langkah-langkah percobaan yang dilakukan adalah :

1. Membuat campuran tanah Lanau Gunung Kawi
2. Memasukkan tanah kedalam bak permodelan
3. Membuat permodelan lereng sesuai dengan kemiringan lereng, ketinggian lereng sesuai dengan permodelan yang dikehendaki



4. Sebelum pelat membebani lapisan tanah lanau, terlebih dahulu meletakkan dial penurunan pada dasar pelat pondasi dengan jarak pembebanan yang dikehendaki dalam permodelan lereng
5. Melakukan pembebanan dan pengamatan pada model lereng. Beban diberikan secara bertahap. Beban tersebut didiamkan, sehingga dianggap cukup untuk menyebabkan penurunan. Apabila penurunan yang terjadi kecil sekali (dapat diabaikan), maka penambahan beban dilakukan lagi. Begitu seterusnya penambahan beban dilakukan sampai model lereng menunjukkan adanya kelongsoran. Apabila model lereng menunjukkan adanya kelongsoran, maka pembebanan dihentikan

3.5.2 Pengujian pembebanan menggunakan dua lapis perkuatan tyresoil

Langkah-langkah percobaan dilakukan adalah :

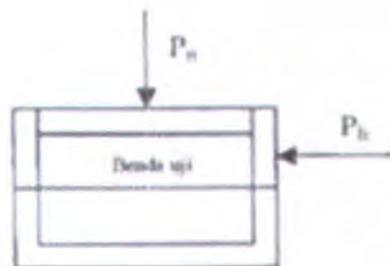
1. Membuat campuran tanah Lanau Gunung Kawi
2. Memasukkan tanah kedalam bak permodelan
3. Membuat permodelan lereng sesuai dengan kemiringan lereng, ketinggian lereng sesuai dengan permodelan yang dikendaki
4. Rangkaian *tyresoil* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.3 diletakkan sampai dasar bak permodelan
5. Rangkaian *tyresoil* tersebut diisi dengan material granular "*copper slag*" maupun dengan *pasir* lapis demi lapis sesuai dengan ketinggian yang dikehendaki dalam permodelan lereng
6. Pinggiran *tyresoil* ditutupi dengan tanah lanau
7. Sebelum pelat membebani lapisan tanah lanau, terlebih dahulu meletakkan dial penurunan pada dasar pelat pondasi dengan jarak pembebanan yang dikehendaki dalam permodelan lereng
8. Melakukan pembebanan dan pengamatan pada model lereng. Beban diberikan secara bertahap. Beban tersebut didiamkan, sehingga dianggap cukup untuk menyebabkan penurunan. Apabila penurunan yang terjadi kecil sekali (dapat diabaikan), maka penambahan beban dilakukan lagi. Begitu seterusnya

penambahan beban dilakukan sampai model lereng menunjukkan adanya kelongsoran. Apabila model lereng menunjukkan adanya kelongsoran, maka pembebanan dihentikan

3.6 Percobaan Geser Langsung

Uji geser langsung (*direct shear test*) didasarkan pada standard *ASTM* (*American Standard for Testing and Materials*), dilakukan dengan menempatkan benda uji ke dalam kotak geser seperti terlihat pada Gambar 3.5. Kotak ini terbagi dua, dengan setengah bagian bawah merupakan bagian yang tetap dan bagian atas bebas bertanslasi. Kotak ini terbuat dari besi dengan diameter dalam 6,348 cm.

Benda uji tanah secara hati-hati diletakkan di dalam kotak geser, sebuah pembebanan diletakkan di atas benda uji. Gaya normal diberikan pada benda uji dengan meletakkan beban 2 kg, 4 kg, dan 8 kg, setelah beban diletakkan diatas benda uji, kemudian dilanjutkan dengan pemberian gaya geser arah horizontal, yaitu dengan cara mendorong sisi kotak geser sebelah atas, sampai benda uji mengalami keruntuhan.



Gambar 3.5 Skematis penempatan benda uji dan beban pada uji geser langsung

Pada uji geser langsung, bidang geser tanah ditentukan sepanjang pergeseran antara kotak bagian atas dengan kotak bagian bawah. Pada bidang geser ini terdapat dua gaya yang bekerja, yaitu gaya normal yang berasal dari beban vertikal sebesar P_n dan gaya geser akibat gaya horizontal sebesar P_h yang timbul pada saat kotak geser

didorong. Tegangan normal (σ_n) dan tegangan geser (τ) yang terjadi dihitung dengan rumus (2.9) dan (2.10) pada Bab II.

3.7 Parameter Input Data Program *Plaxis*

Parameter-parameter input data yang diperlukan untuk menghitung angka stabilitas lereng dengan program bantu *Plaxis* didapat dari hasil perhitungan sifat fisis dan sifat mekanis tanah. Adapun parameter-parameter yang diperlukan adalah : berat volume, indeks plastis, kohesi dan sudut geser dalam. Sedangkan untuk parameter-parameter lainnya seperti modulus elastisitas tanah dan angka poisson didapat dengan menggunakan rumus korelasi. Program *Plaxis* ini bertujuan untuk mencari angka keamanan dari suatu lereng yang memiliki ketinggian dan kemiringan yang bervariasi. Untuk *mesh Plaxis*, digunakan tipe elemen segitiga *plan strain* dengan 15 node tiap elemen dan model *Mohr-Coulomb*.

Nilai-nilai *poisson rasio* dalam perhitungan ditentukan dengan rumus korelasi :

$$v = \frac{k_0}{1+k_0} \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana :

$$k_0 = 1 - \sin\phi$$

Nilai modulus elastisitas (E) tanah menurut Brinkgreve dan Vermeer (1998) dapat dihitung dengan rumus :

$$E = \frac{2(1+v)}{3} \cdot E_u \dots\dots\dots (3.2a)$$

Sedangkan E_u dihitung dengan rumus :

$$E_u = \frac{15000 \cdot c}{IP} \dots\dots\dots (3.2.b)$$

dimana :

$$E_u = \text{modulus elastisitas kondisi } undrained \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

IP = Indeks plastisitas

Parameter yang digunakan untuk program *PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter-parameter untuk Perhitungan *PLAXIS*

Jenis Tanah	γ_{dry} (kN/m^3)	γ_{wet} (kN/m^3)	$E_u =$ ($15000 \cdot C_u$)/PI (kN/m^2)	ν	Sudut geser ϕ	C_u (kN/m^2)	Dilatancy ψ	PI (%)
Lanau								
Gn. Kawi (TL)	13.244	14.85	553507,516	0.297	35,321	10,31	0,00	27,94
Plat	38.050	38.050	$2,2 \times 10^8$	0.30	-	-	-	-
Tyresoil + Pasir	1.650	1.850	$6,0 \times 10^4$	0.350	-	3.12	-	-
Tyresoil + Copper Slag	2.20	2.450	$6,0 \times 10^4$	0,350	-	3,12	-	-

3.7.1 Perhitungan Program *PLAXIS* dengan Studi Pendekatan Model Percobaan

Parameter-parameter yang digunakan pada *input* dari program *PLAXIS* dicari terlebih dahulu, kemudian hasil (*output*) dari perhitungan dari program *PLAXIS* tersebut disajikan dalam bentuk gambar :

1. *Deformed mesh*
2. *Total displacement*
3. *Vertical displacement*
4. *Horizontal displacement*
5. *Total stresses*
6. *Effective stress*
7. *Mean stress*
8. *Relative shear stress*

Penggunaan program *PLAXIS* ini bertujuan untuk mengamati dan menganalisa pengaruh beban pada model percobaan. Untuk *mesh PLAXIS* digunakan tipe elemen segitiga *plane strain*, 15 *nodes* tiap elemen. Dalam penggunaan program *PLAXIS*, model yang digunakan adalah *Mohr-Coloumb* dimana parameter yang dipakai :

γ_{dry} = Berat volume kering (kN/m^3)

γ_{wet} = Berat volume basah (kN/m^3)

E_u = *Young's modulus* (kN/m^2)

ν = *Poisson's ratio*

ψ = *Dilatancy angle* ($^\circ$)

C_u = Cohesion (kN/m^2)

PI = Plasticity index (%)

3.7.2 Langkah kerja PLAXIS

Langkah-langkah kerja untuk perhitungan dengan program *PLAXIS* adalah sebagai berikut :

A. Input data

➤ Input geometri

1. Pembuatan model percobaan dengan *geometri line*
2. Menetapkan *boundary condition*/kondisi batas

Kondisi batas yang digunakan adalah idealisasi sendi pada dasar bak penahan tanah dimana tidak terjadi deformasi pada dasar dinding, sedangkan idealisasi rol pada batas atas dimana terjadi deformasi pada arah horizontal.

3. Menentukan jenis material

Material yang digunakan dalam percobaan dimasukkan seperti tanah lanau (*silt*), pelat dan *tyresoil*. Kemudian dimasukkan nilai parameter yang digunakan untuk setiap material seperti yang disajikan pada Tabel 3.1. Selanjutnya menentukan nilai *soil interface* (R_{inter}). Nilai R_{inter} untuk menyatakan hubungan atau kelekatan antar material. Pengambilan besarnya nilai R_{inter} dilihat berdasarkan tingkat kelekatan material tersebut, yang mempunyai nilai antara 0,6 – 1. Semakin tinggi nilai R_{inter} mengindikasikan material semakin menyatu. Nilai R_{inter} yang dimasukkan pada program *PLAXIS* yaitu :

- Bila tanpa *tyresoil*

Untuk hubungan kelekatan tanah dengan pondasi, diambil nilai R_{inter} sebesar 0,7

- Bila menggunakan *tyresoil*

Hubungan kelekatan tanah dengan *tyresoil*, $R_{inter} = 0,6$

4. Meletakkan beban. Beban yang dipilih distribusi beban merata

5. Pembuatan *finite element mesh*

Dengan cara *refine global mesh* secara berulang kali dan juga diatur secara manual dengan mengatur ukuran *mesh* yang dekat beban diperkecil, sedangkan bagian yang tidak terlalu berpengaruh diperbesar sehingga didapat *mesh* yang paling sesuai.

➤ Kondisi awal (*Initial condition*)

1. Menentukan letak muka air tanah pada model yang telah dibuat
2. Memasukkan γ_{air}
3. *Generate water pressure*
4. *Generate initial stresses*

B. Analisa perhitungan

1. *Plastic type calculation*

Adalah tipe kalkulasi yang sering digunakan pada aplikasi geoteknis yang menggunakan analisis deformasi elastis-plastis.

2. *Staged construction*

Staged construction dipakai untuk mensimulasikan model konstruksi dan dapat dipakai untuk merubah tekanan air pada model.

3. Memilih titik yang diamati (*select point*). Titik yang diamati dipilih yang terletak dibawah pondasi.

C. Output

Hasil *output* dari program *PLAXIS* adalah berupa gambar :

1. *Deformed mesh*
2. *Total displacement*
3. *Vertical displacement*
4. *Horizontal displacement*
5. *Total stresses*
6. *Effective stress*
7. *Mean stress*
8. *Relative shear stress*

BAB IV



- HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan parameter tanah dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah, dilakukan perhitungan faktor angka keamanan stabilitas lereng dengan program bantu *Plaxis*. Hasil penelitian akan disajikan dalam bentuk tabel dan kurva yang menunjukkan hubungan antara parameter yang akan dibahas. Tabel dan kurva tersebut kemudian dianalisa untuk mengetahui fenomena yang terjadi dan menjelaskan kemungkinan yang menjadi penyebabnya.

4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Gunung Kawi, Kecamatan Wonosari, Kabupaten Malang, Propinsi Jawa Timur dan pengujian yang dilakukan didasarkan uji standard ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Hasil pengujian sifat fisik terhadap tanah lanau daerah Gunung Kawi, disajikan dalam Tabel 4.1 dibawah ini, dan hasil perhitungan selengkapnya disajikan pada lampiran A, Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 4.1 Hasil Uji Sifat Fisik

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan
Konsistensi		
1. <i>Liquid Limit</i> (LL)	90.9	%
2. <i>Plastic Limit</i> (PL)	62.96	%
3. <i>Shrinkage Limit</i> (SL)	27,44	%
4. <i>Plasticity Index</i> (PI)	27,95	%
5. <i>Grop Index</i> (GI)	0	%
Gravimetri & Granulometri		
1. Berat Volume Tanah, γ_t	1,485	gr/cm ³
2. Kadar Air, w	51-52	%
3. Berat Volume Kering, γ_d	0,919	gr/cm ³
4. Angka pori, e	1,875	
5. Derajat Kejenuhan, S_r	86,96	%
<i>Specific Gravity</i> , G_s	2,640	
Distribusi Ukuran Butir dan Analisa Hidrometer		
1. Fraksi Kerikil (<i>gravel</i>)	0,00	%
2. Fraksi Pasir (<i>sand</i>)	20,00	%
3. Fraksi Lanau (<i>silt</i>)	52,00	%
4. Fraksi Lempung (<i>clay</i>)	28,00	%

4.1.1 Klasifikasi Menurut AASHTO

Pengklasifikasian tanah pada system klasifikasi AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), didasarkan pada analisa saringan dan uji konsistensi. Menurut sistem klasifikasi AASHTO, tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir kasar, dimana butiran tanah lolos saringan no. 200 lebih kecil atau sama dengan 35%. Untuk tanah dengan butiran lolos saringan no. 200 lebih besar dari 35%, maka tanah diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Untuk lebih jelas mengenai klasifikasi sistem AASHTO ini dapat dilihat pada lampiran F, Tabel 2.

Dari hasil analisa saringan didapat bahwa 99,84% tanah lolos saringan no. 4, dan lolos saringan no. 200 sebesar 80,84%, sehingga sesuai dengan system klasifikasi AASHTO seperti yang terlihat pada Lampiran F Tabel 2, tanah dapat digolongkan pada kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Jika dilihat nilai batas cair, maka tanah digolongkan pada kelompok A-5, A-7-5 atau A-7-6 dan dari nilai plastis indeks ($IP < LL = 30$), maka tanah termasuk golongan A-7-5 dengan indeks kelompok sama dengan nol. Sehingga menurut system klasifikasi AASHTO, tanah yang digunakan pada penelitian ini dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok A-7-5(0).

4.1.2 Klasifikasi Menurut USCS

Seperti pada klasifikasi AASHTO, sistem klasifikasi USCS (*Unified Soils Classification System*) juga didasarkan pada uji analisa saringan dan uji konsistensi. Sistem klasifikasi *unified* ini, tanah dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar, terdiri dari tanah kerikil dan pasir, dimana butiran tanah yang lolos saringan no. 200 lebih kecil dari 50%.
2. Tanah berbutir halus, yaitu tanah dengan butiran lolos saringan no. 200 lebih besar dari 50%. Tanah yang termasuk dalam klasifikasi ini terdiri dari lanau dan lempung.

Pemberian nama pada klasifikasi tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol seperti GW, GP, GM, GC, SW, SM dan SC, dimana huruf G berarti kerikil (*gravel*), S adalah pasir (*sand*). Sedangkan huruf W dan P menunjukkan tingkat gradasi yaitu W berarti bergradasi baik dan P bergradasi buruk. Adapun huruf SM dan SC masing-masing merupakan simbol untuk kelompok pasir berlanau dan pasir berlempung. Sama seperti tanah berbutir kasar, klasifikasi tanah berbutir halus juga diberi simbol berupa gabungan huruf-huruf, seperti : ML, CL, OL, MH, CH dan OH. Tanah dengan simbol CH artinya tanah termasuk dalam kelompok lempung dengan plastisitas tinggi.

Berdasarkan hasil analisa saringan (lolos saringan no. 200 lebih dari 50%), maka menurut system *unified*, tanah pada penelitian ini termasuk pada kelompok ML, CL, OL, MH, CH atau OH. Dilihat dari nilai batas cair ($LL > 50\%$), maka tanah masuk pada

kelompok : MH dan CH. Sedangkan berdasarkan nilai plastisitas indeks ($IP=27,95\%$) dan batas cair ($LL=90,90\%$) maka sesuai dengan batas plastisitas seperti Tabel 4.1, maka tanah termasuk dalam kelompok lanau anorganik dengan kompresibilitas tinggi dan lempung organik (MH atau OH).

4.2 Model Simulasi Lereng

Untuk simulasi ini, dibuat satu bentuk geometri dengan kemiringan lereng (β) yaitu 80° dan ketinggian lereng (h) = 25 cm dengan lapisan dasar setinggi 5 cm, dimana masing-masing bentuk geometri tersebut diberi pembebanan secara bertahap sejarak (d) 0 cm, 5 cm, 10 cm terhadap tepi kemiringan lereng pada masing-masing model simulasi lereng serta tidak diberi pembebanan pada masing-masing model simulasi lereng dengan jarak 0 cm terhadap tepi kemiringan lereng baik tanpa perkuatan *tyresoil* (manual) maupun 2 lapis *tyresoil* (2 Lp. TS) dengan bahan pengisi pasir maupun *copper slag*.

Adapun model simulasi lereng tersebut sebagai berikut :

- A. Tanpa pembebanan (*lapisan dasar 5 cm, $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 0 \text{ cm}$*)
 1. Tanpa perkuatan lereng (*manual*)
 2. Dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* + pasir
 3. Dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* + *copper slag*
- B. Dengan pembebanan (*lapisan dasar 5 cm*)
 1. Tanpa perkuatan lereng (*manual*) :
 - a. Manual I : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 0 \text{ cm}$
 - b. Manual II : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 5 \text{ cm}$
 - c. Manual III : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 10 \text{ cm}$
 2. Dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* + pasir (2 Lp. TS + Pasir) :
 - a. 2 Lp. TS + Pasir I : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 0 \text{ cm}$
 - b. 2 Lp. TS + Pasir II : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 5 \text{ cm}$
 - c. 2 Lp. TS + Pasir III : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 10 \text{ cm}$
 3. Dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* + *copper slag* (2 Lp. TS + *Copper slag*) :
 - a. 2 Lp. TS + *Copper slag* I : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 0 \text{ cm}$
 - b. 2 Lp. TS + *Copper slag* II : $\beta = 80^\circ, h = 25 \text{ cm}, d = 5 \text{ cm}$

c. 2 Lp. TS + *Copper slag* III : $\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm

Dari keseluruhan simulasi ini kemudian dihitung faktor angka keamanan dengan menggunakan metode *Bishop's Modified*, dengan asumsi kelongsoran lereng berbentuk sirkular dan kondisi *undrained*.

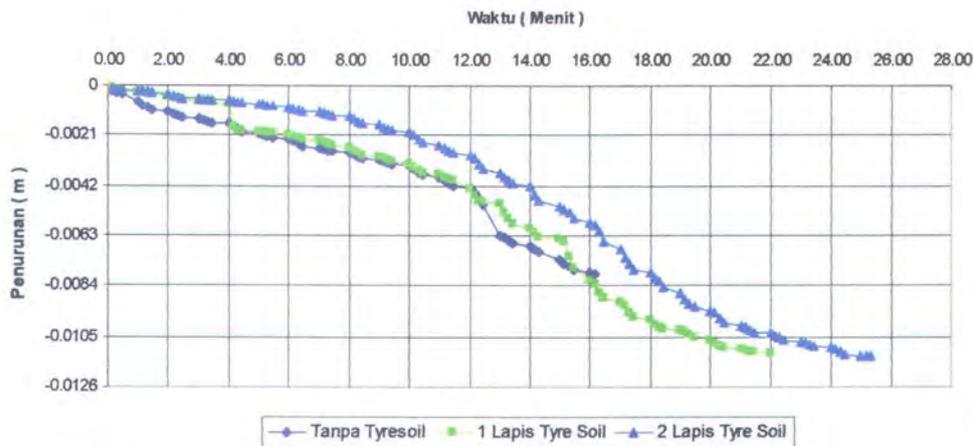
4.3 Penggunaan Program *PLAXIS* untuk Studi Terhadap Hasil Penelitian

Model percobaan ini juga dihitung dengan menggunakan program *PLAXIS*, dimana perhitungan dengan program ini dilakukan untuk model benda uji lereng tanpa *tyresoil* maupun dengan menggunakan bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*). Adapun perkuatan lereng yang digunakan untuk kestabilan lereng menggunakan 2 (dua) lapis *tyresoil*. Hal ini ditunjukkan dengan Gambar 4.1, dimana hasil yang diperoleh menunjukkan perbedaan sedikit manfaat penggunaan dari *tyresoil*, antara lereng manual dengan lereng diperkuat dengan 1 (satu) lapis *tyresoil*.

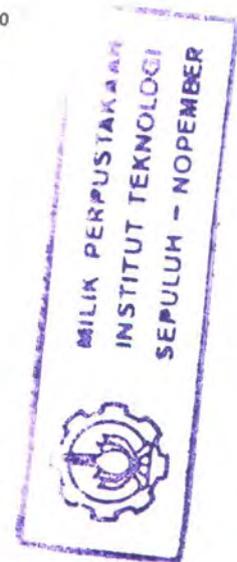
Hasil perhitungan program *PLAXIS* memiliki kecenderungan faktor angka keamanan yang sedikit meningkat serta pengurangan penurunan yang lebih kecil. Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk program *PLAXIS* dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tampilan dan hasil perhitungan (*output*) dari program *PLAXIS* dapat dilihat pada Lampiran E. Hasil yang disajikan pada lampiran tersebut berupa gambar :

1. *Deformed mesh*
2. *Total displacement*
3. *Vertical displacement*
4. *Horizontal displacement*
5. *Total stresses*
6. *Effective stress*
7. *Mean stress*
8. *Relative shear stress*



Gamabr 4.1 Hubungan waktu dan penurunan simulasi lereng benda uji $\beta = 80^\circ$, $h = 20$ cm dan jarak pembebanan $d = 0$ cm.



4.3.1 Analisa Hasil Perhitungan Program *PLAXIS* Untuk Benda Uji Tanpa *Tyresoil* dan Dengan Perkuatan *Tyresoil* Dengan Material Granuler (Pasir maupun *copper slag*) Tanpa Pembebanan

Gambar 4.1 memperlihatkan kurva hubungan tegangan dan penurunan hasil perhitungan program *PLAXIS*, tanpa ada pembebanan pada permukaan tanah, baik untuk benda uji *natural*, bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*). Berdasarkan Gambar 4.1 terlihat bahwa terjadi peningkatan faktor angka keamanan, daya dukung dan pengurangan penurunan pada benda uji dengan perkuatan lereng 2 lapis *tyresoil* (bahan komposit) baik menggunakan bahan pengisi (*material granuler*) pasir maupun *copper slag* dengan tidak diberi beban vertikal.

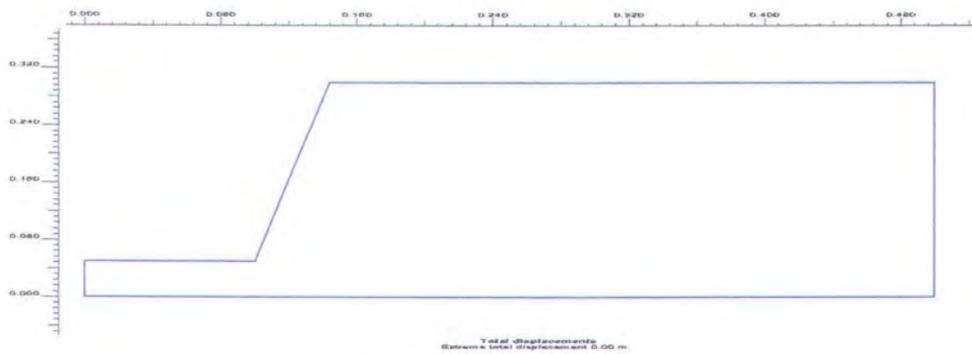
Perhitungan program *PLAXIS* dilakukan berdasarkan banyaknya jumlah titik (*nodes*) pada setiap *mesh*. Jumlah titik pada setiap *mesh*. Jumlah titik pada setiap *mesh* sebanyak 15 buah titik (*nodes*), ini berarti program *PLAXIS* melakukan perhitungan sebanyak 15 kali. Sehingga dari hasil perhitungan tersebut didapat nilai yang berlainan, yang implikasinya terjadi perbedaan nilai yang dapat dilihat pada warna yang muncul (dapat dilihat pada gambar) pada hasil program *PLAXIS*. Perbedaan nilai ini mungkin disebabkan oleh pengambilan nilai-nilai parameter yang telah ditentukan oleh program

PLAXIS sendiri, bukan parameter yang dimasukkan dalam *input* program *PLAXIS*. Fenomena lain yang menyebabkan terjadinya perbedaan nilai distribusi tegangan dibawah pondasi mungkin disebabkan oleh asumsi program *PLAXIS* yang menganggap bahwa hubungan pelat dengan tanah tidak homogen. Hal ini dilihat berdasarkan nilai R_{inter} dari buku paduan program *PLAXIS* yaitu sebesar 0,5.

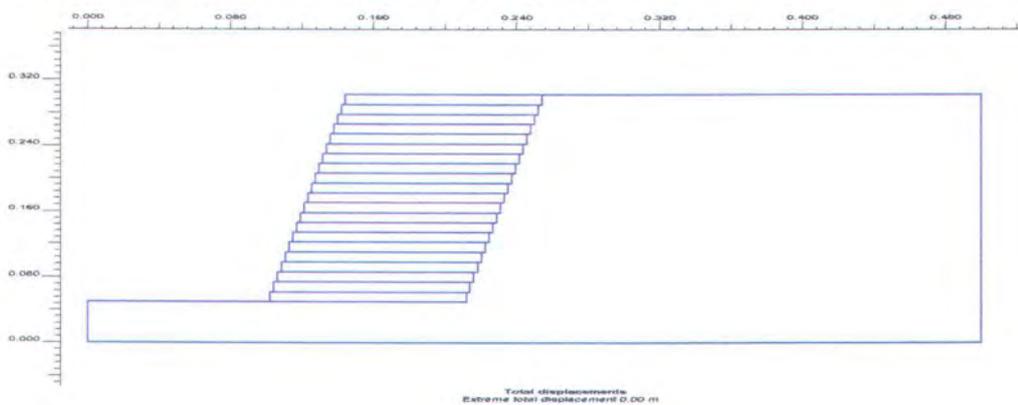
Hasil perhitungan program *PLAXIS* berupa gambar (*output*) untuk benda uji tanpa pembebanan baik dengan perkuatan lereng maupun tidak menggunakan perkuatan lereng, diperlihatkan pada Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.10. Hasil selengkapnya dari *output* program *PLAXIS* untuk seluruh simulasi benda uji dapat dilihat pada Lampiran E.1 sampai Lampiran E.9.

Gambar 4.2 memperlihatkan gambar *total displacement (shading)* yang terjadi pada simulasi benda uji tanpa pembebanan baik dengan perkuatan *tyresoil* maupun tidak menggunakan perkuatan *tyresoil*. Terlihat bahwa penurunan tidak terjadi pada model benda uji tanpa perkuatan lereng maupun dengan *tyresoil*.

Gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.5 memperlihatkan gambar *total displacement*, *vertical displacement* dan *horizontal displacement (arrow)* untuk benda uji tanpa perkuatan dan dengan menggunakan perkuatan *tyresoil* tanpa diberi beban vertikal. Dari gambar tersebut dapat dilihat tidak adanya pola keruntuhan yang terjadi pada model simulasi tersebut. Pola keruntuhan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.6 yaitu gambar *deformend mesh* yang menunjukkan tidak menunjukkan keruntuhan (kelongsoran lereng) yang terjadi. Gambar *total stresses* dan *effective stress* hasil perhitungan program *PLAXIS* yang disajikan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8, merupakan gambar penyebaran tegangan yang terjadi pada benda uji tanah lanau (TL) tanpa perkuatan lereng dan dengan perkuatan lereng tanpa diberi beban vertikal yang menunjukkan tidak adanya tegangan pada model simulasi tersebut.



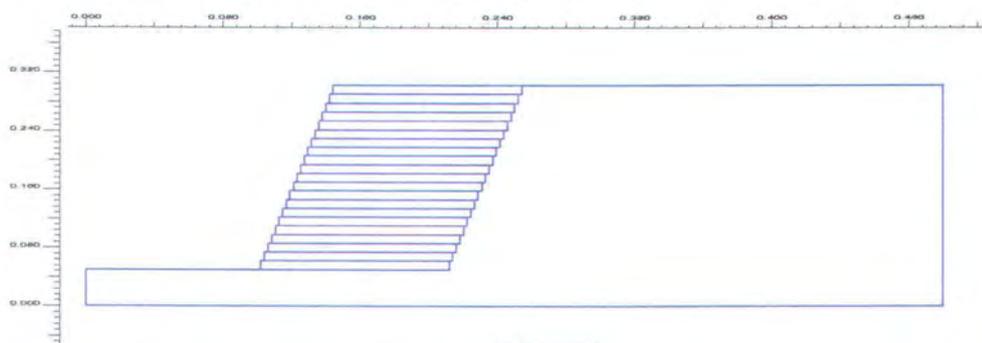
A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan



Total displacements

Extreme total displacement 0.00 m

B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan

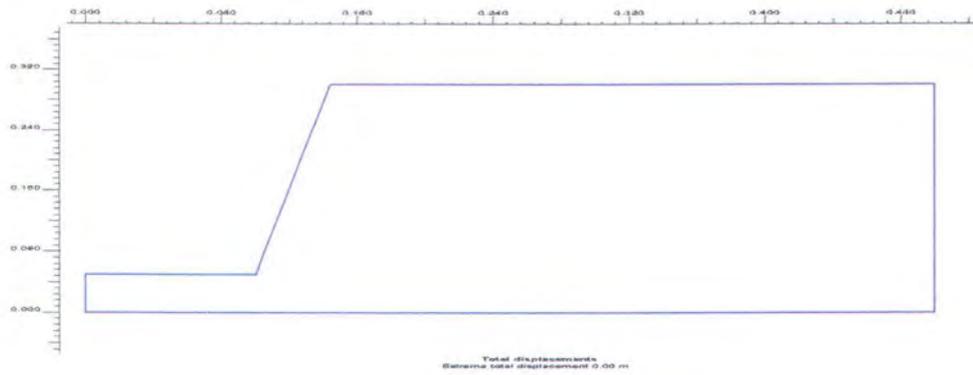


Total displacements

Extreme total displacement 0.00 m

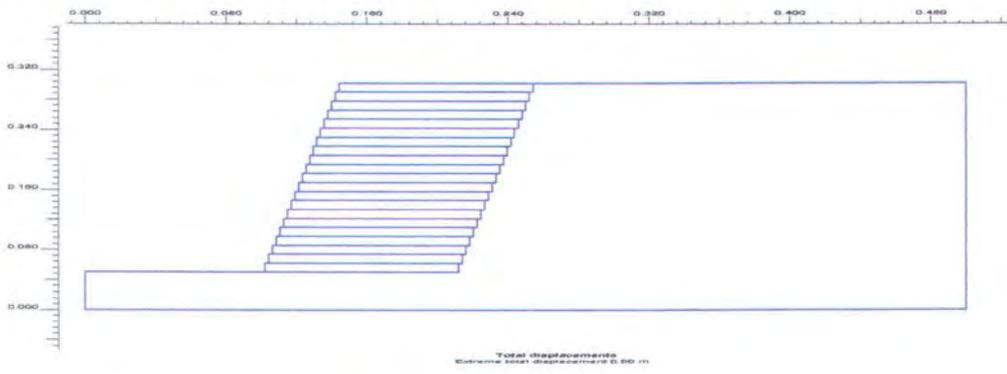
C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag Tanpa Pembebanan

Gambar 4.2 Gambar *total displacement (shading)* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



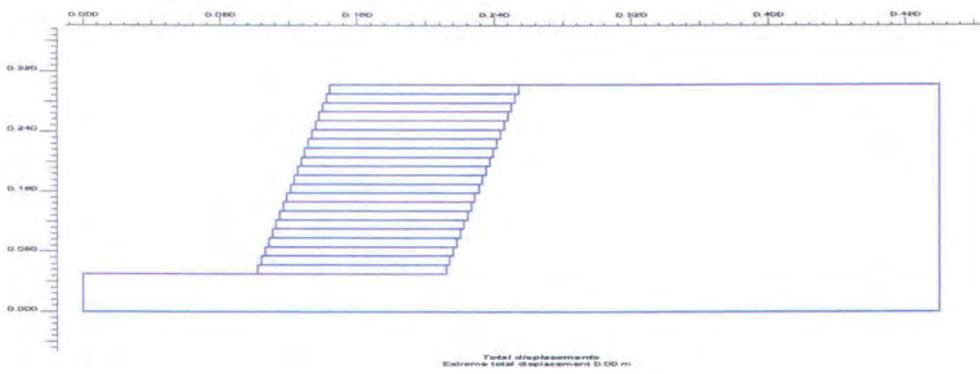
Total displacements
Extreme total displacement 0.00 m

A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan



Total displacements
Extreme total displacement 0.00 m

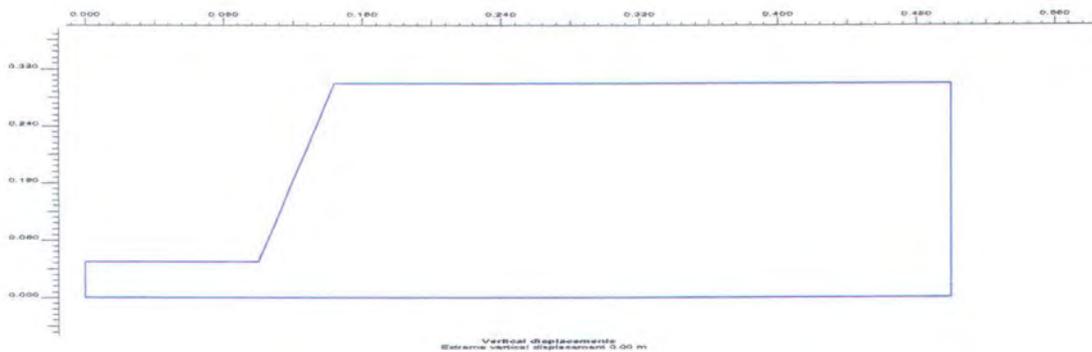
B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan



Total displacements
Extreme total displacement 0.00 m

C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag Tanpa Pembebanan

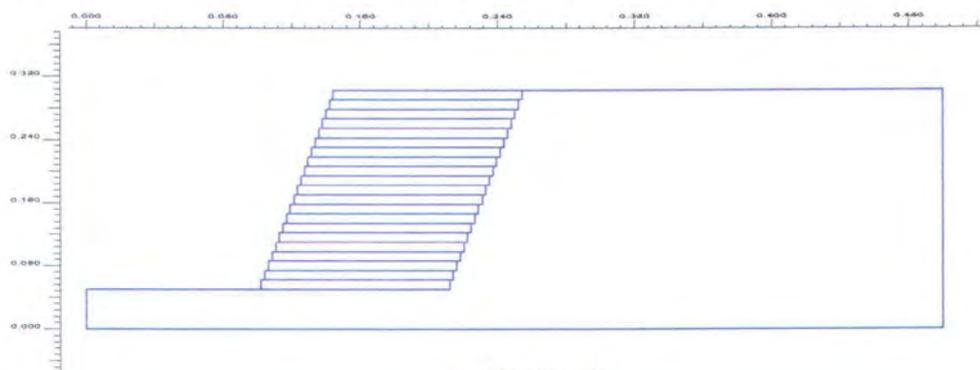
Gambar 4.3 Gambar *total displacement* (arrow) hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



Vertical displacements

Extreme vertical displacement 0.00 m

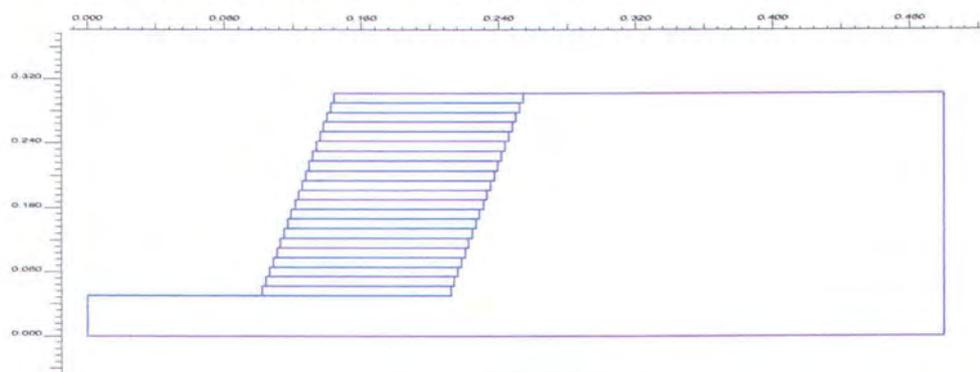
A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan



Vertical displacements

Extreme total displacement 0.00 m

B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan

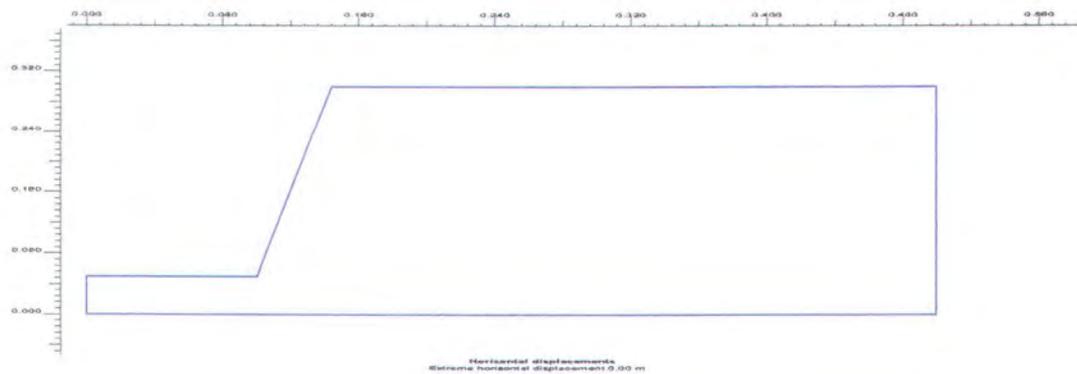


Vertical displacements

Extreme vertical displacement 0.00 m

C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag Tanpa Pembebanan

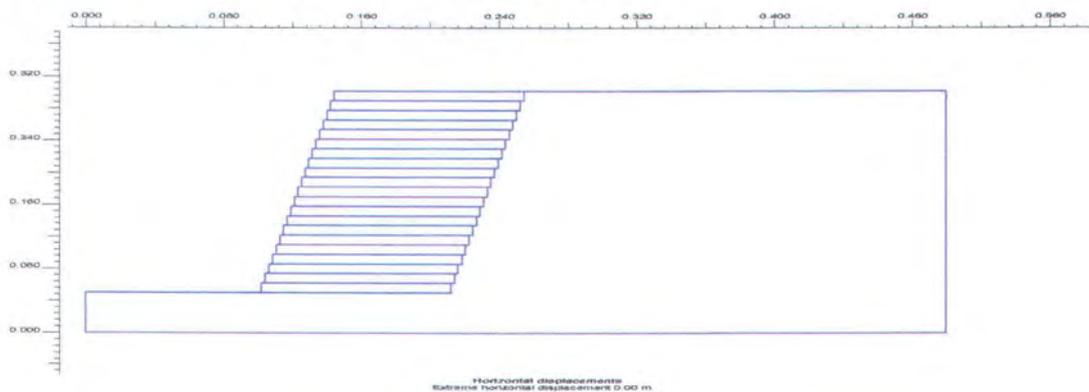
Gambar 4.4 Gambar *vertical displacements* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



Horizontal displacements

Extreme horizontal displacement 0.00 m

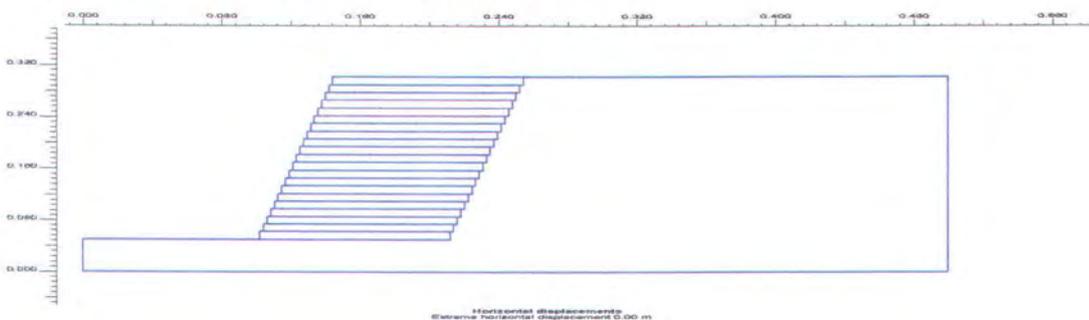
A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan



Horizontal displacements

Extreme horizontal displacement 0.00 m

B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan

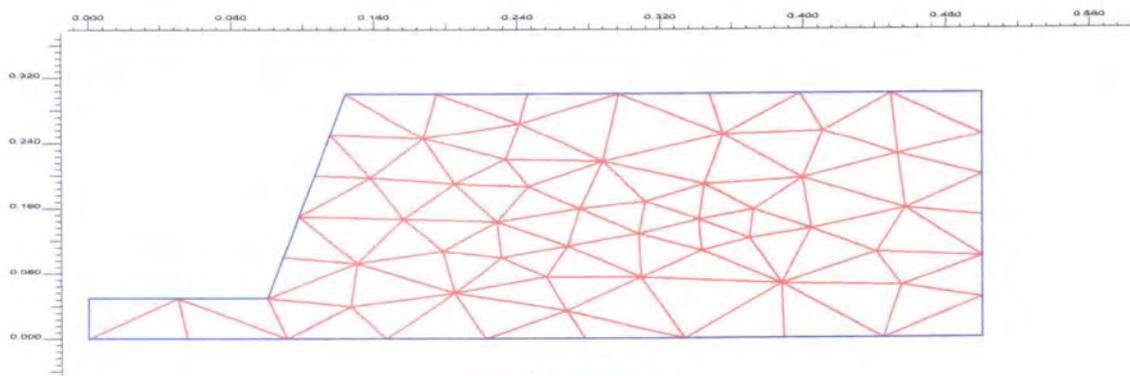


Horizontal displacements

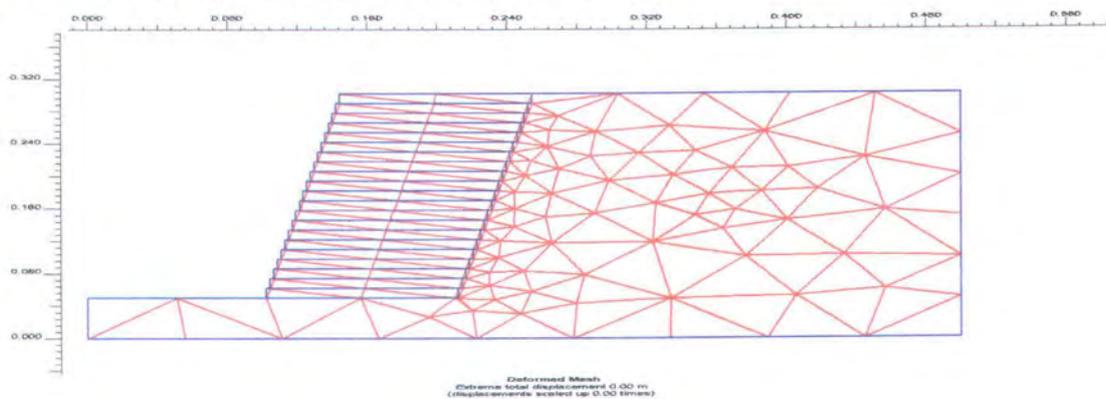
Extreme horizontal displacement 0.00 m

C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag Tanpa Pembebanan

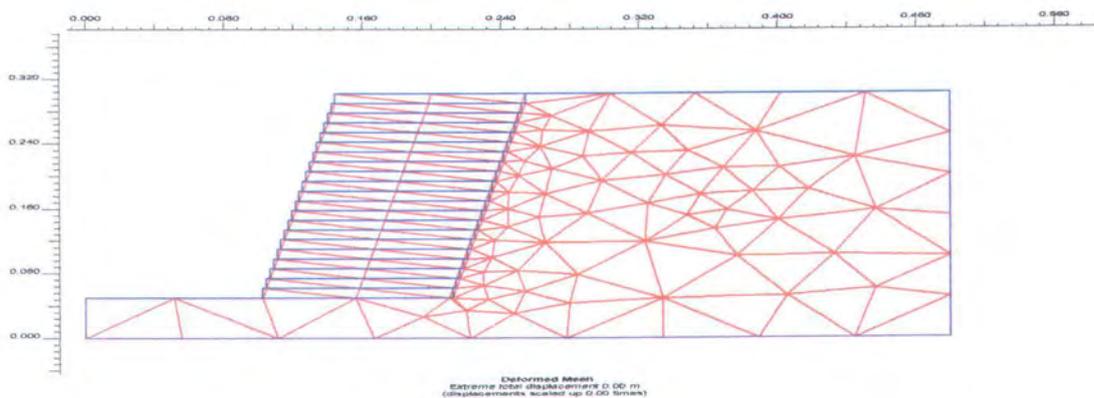
Gambar 4.5 Gambar *horizontal displacements* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan

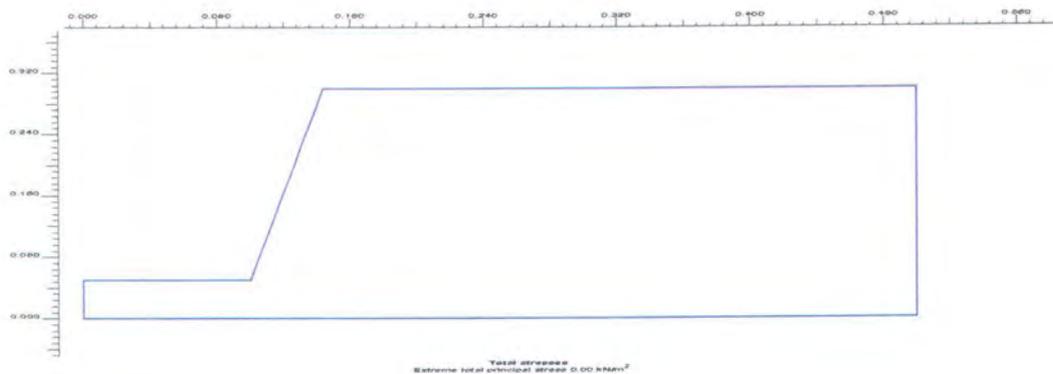


B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan

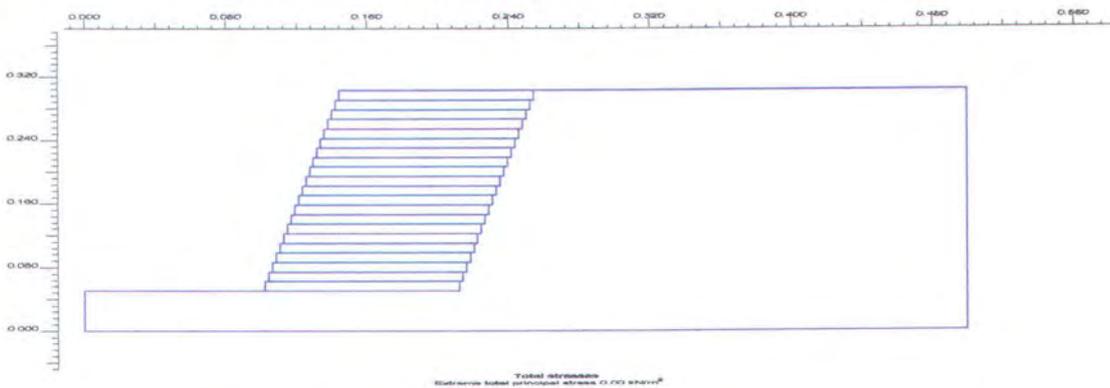


C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + *Copper Slag* Tanpa Pembebanan

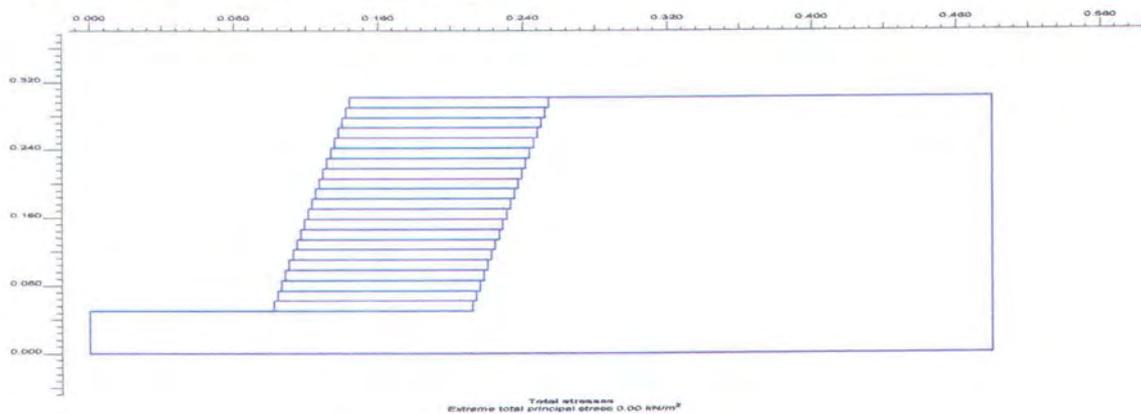
Gambar 4.6 Gambar *deformed mesh* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan

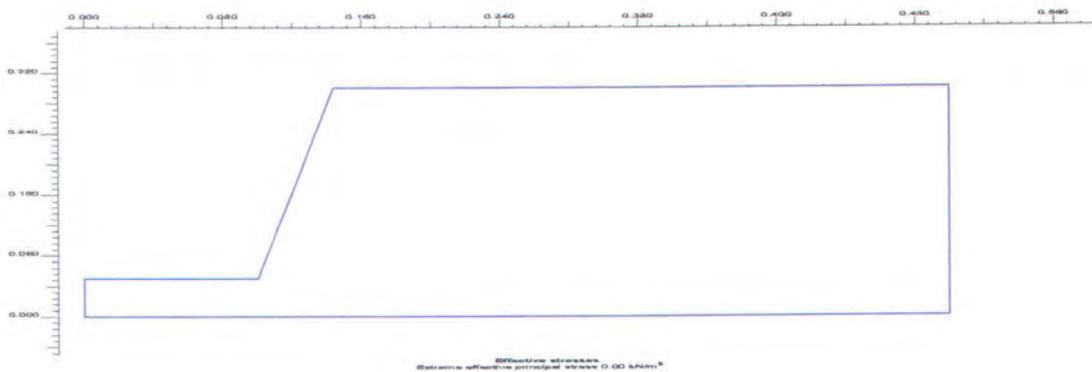


B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan

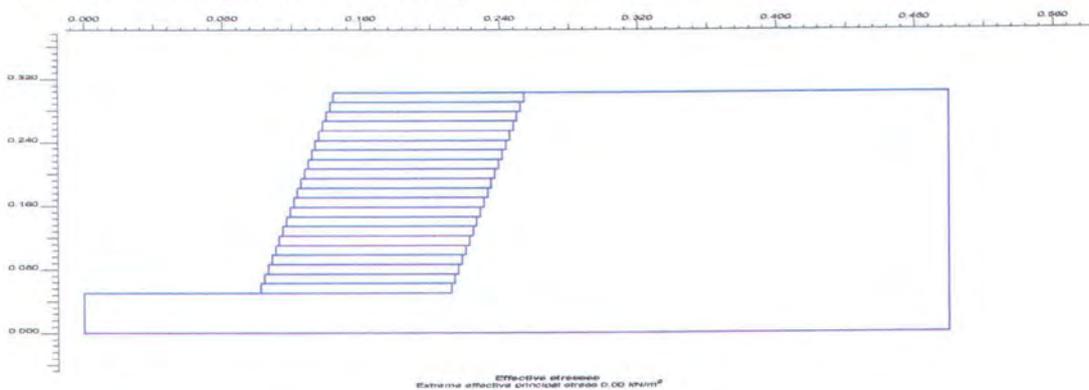


C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + *Copper Slag* Tanpa Pembebanan

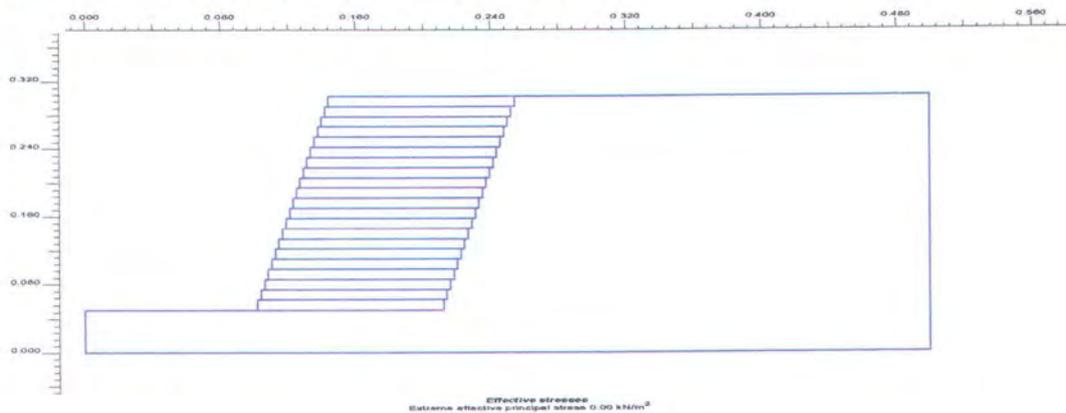
Gambar 4.7 Gambar *total stresses* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan

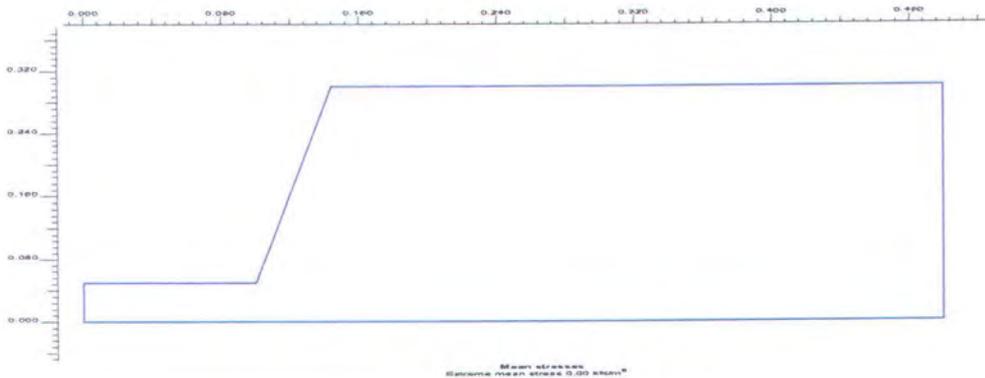


B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan



C. Tanah TL + 2 Lps TS + Copper Slag Tanpa Pembebanan

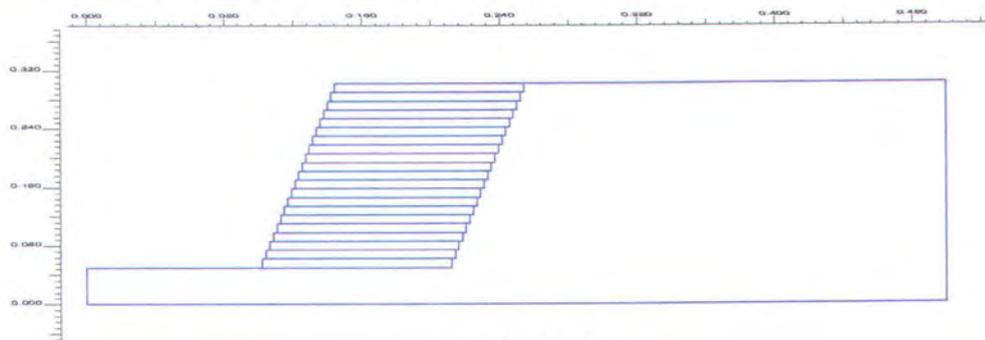
Gambar 4.8 Gambar *effective stresses* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



Mean stresses
Extreme mean stress 0.00 kN/m²

Mean stresses
Extreme mean stress 0.00 kN/m²

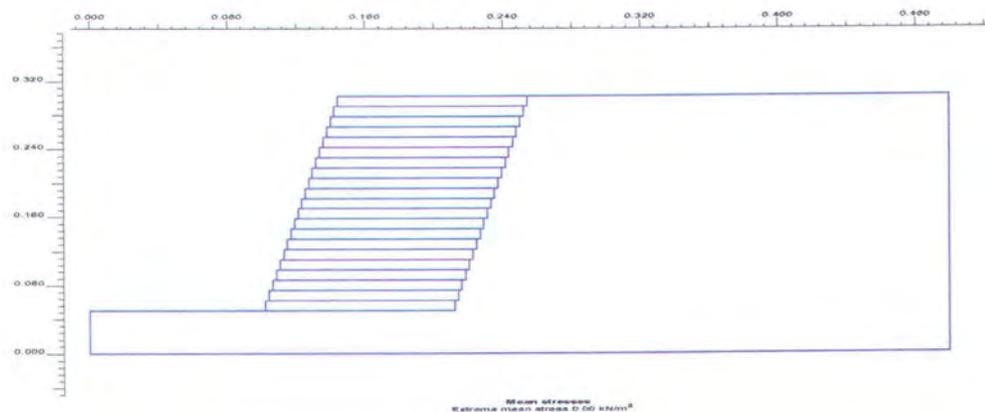
A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan



Mean stresses
Extreme mean stress 0.00 kN/m²

Mean stresses
Extreme mean stress 0.00 kN/m²

B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan

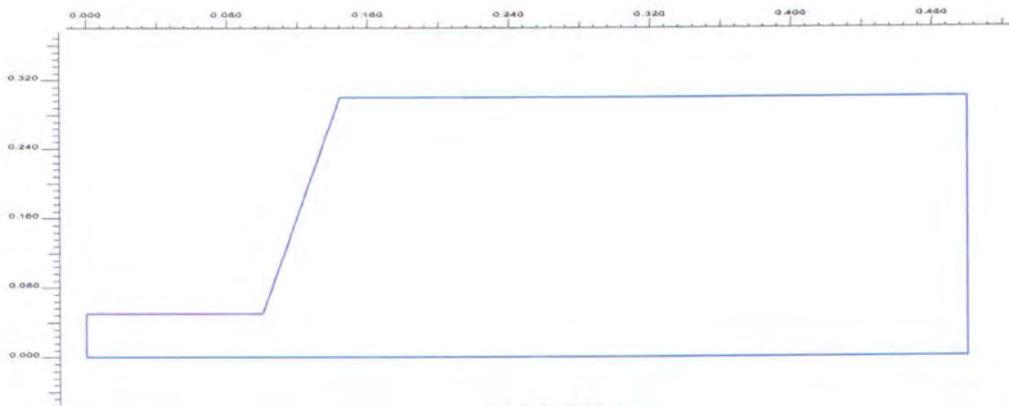


Mean stresses
Extreme mean stress 0.00 kN/m²

Mean stresses
Extreme mean stress 0.00 kN/m²

C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + *Copper Slag* Tanpa Pembebanan

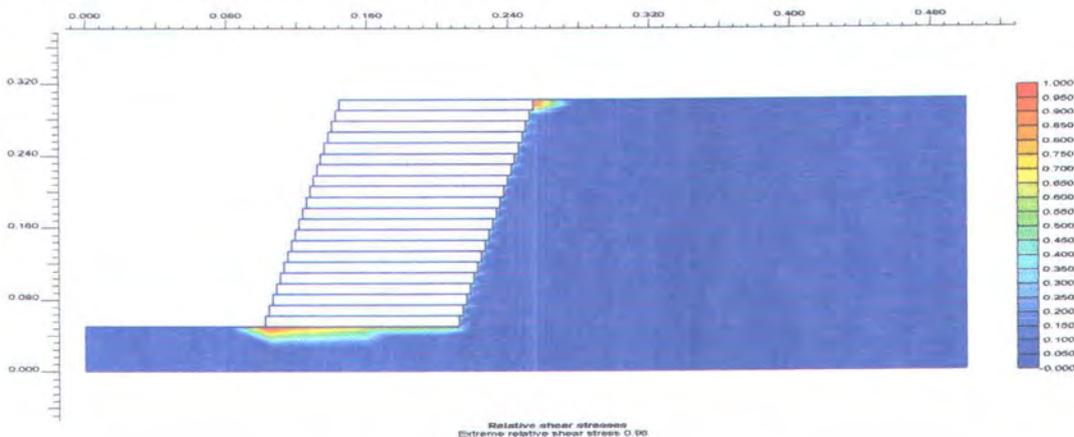
Gambar 4.9 Gambar *mean stresses* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal



Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.00

Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.00 kN/m²

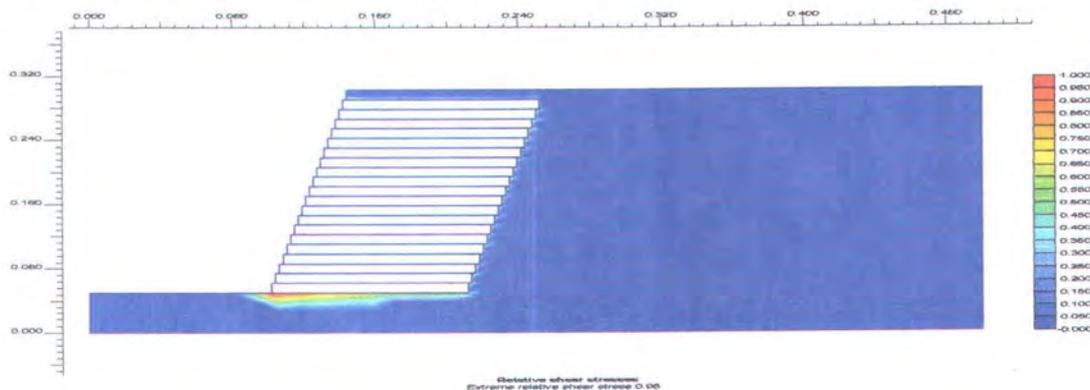
A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng Tanpa Pembebanan



Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.98

Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.98 kN/m²

B. Tanah TL + 2 Lps TS + Pasir Tanpa Pembebanan



Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.98

Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.98 kN/m²

C. Tanah TL + 2 Lps TS + *Copper Slag* Tanpa Pembebanan

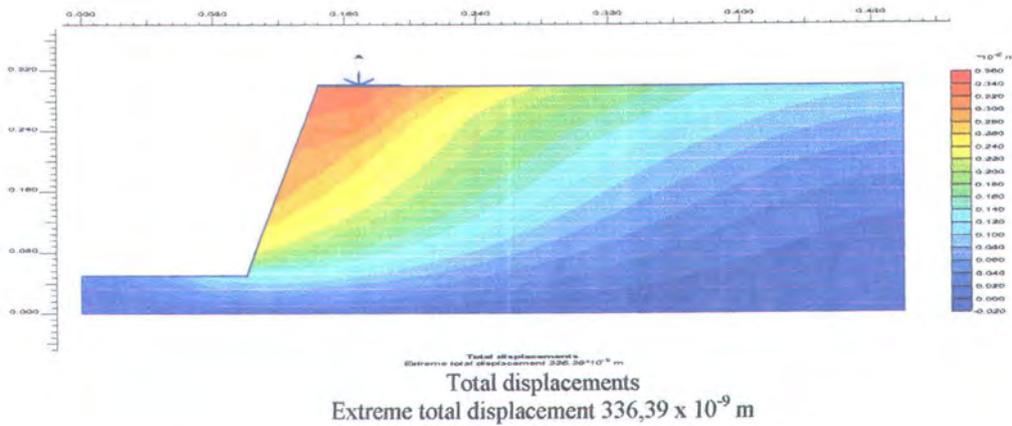
Gambar 4.10 Gambar *relative shear stresses* hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* tanpa pembebanan vertikal

Berdasarkan Gambar 4.9 yaitu gambar *mean stresses* pada tanah lanau TL tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* 2 lapis tanpa pembebanan terlihat bahwa tidak adanya tegangan. *Mean stresses* menunjukkan tegangan normal yang bekerja pada model simulasi lereng, sehingga pada tanah menggunakan *tyresoil* (Gambar 4.9).

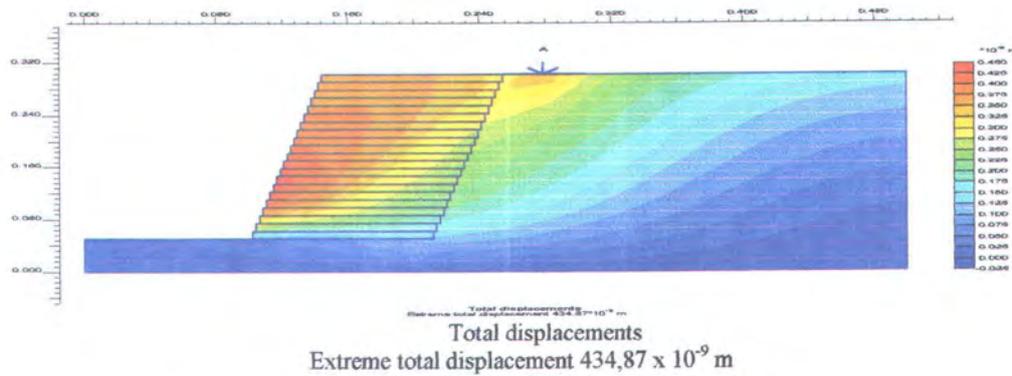
Gambar 4.10 memperlihatkan gambar *relative shear stresses* pada tanah lanau TL tanpa *tyresoil* dan dengan 2 lapis *tyresoil* tanpa pembebanan dengan tidak terjadinya tegangan.

4.3.2 Analisa Hasil Perhitungan Program *PLAXIS* Untuk Benda Uji Tanpa *Tyresoil* dan Dengan Perkuatan *Tyresoil* Dengan Material Granuler Pasir Dan *Copper Slag* Dengan Pembebanan

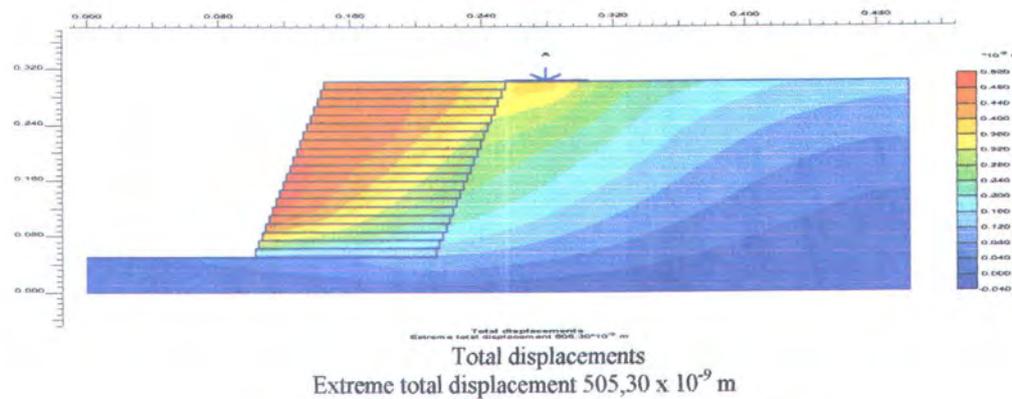
Gambar 4.11 memperlihatkan gambar *total displacement (shading)* yang terjadi pada simulasi benda uji dengan pembebanan baik dengan perkuatan *tyresoil* maupun tanpa perkuatan *tyresoil*. Terlihat bahwa penurunan paling besar terjadi pada model benda uji tanpa perkuatan lereng yang ditandai dengan bidang kelongsoran berbentuk sirkular ke arah dasar lereng (dari gambar dapat dilihat pada bagian yang berwarna merah), karena gaya geser (ϕ) dan kohesi (c) hanya terjadi pada elemen tanah lereng saja. Pada benda uji yang menggunakan *tyresoil* (Gambar 4.11b), maka bidang kelongsoran (sirkular) terjadi peningkatan gaya geser (ϕ) dan kohesi (c) dari material *tyresoil* dan material granuler pada perkuatan lereng, sehingga tegangan tidak hanya elemen tanah yang menerima tetapi material perkuatan lereng mempunyai fungsi meningkatkan kestabilan lereng (penurunan).



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan

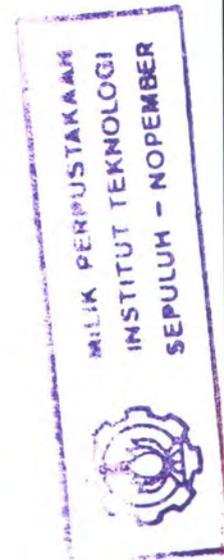


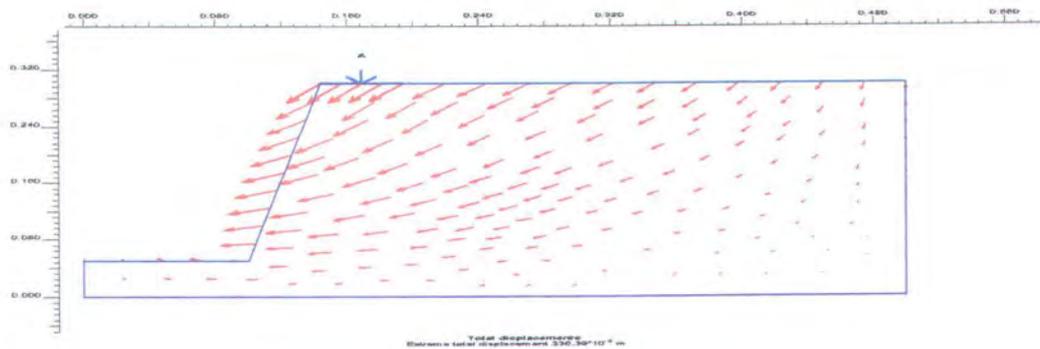
B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan



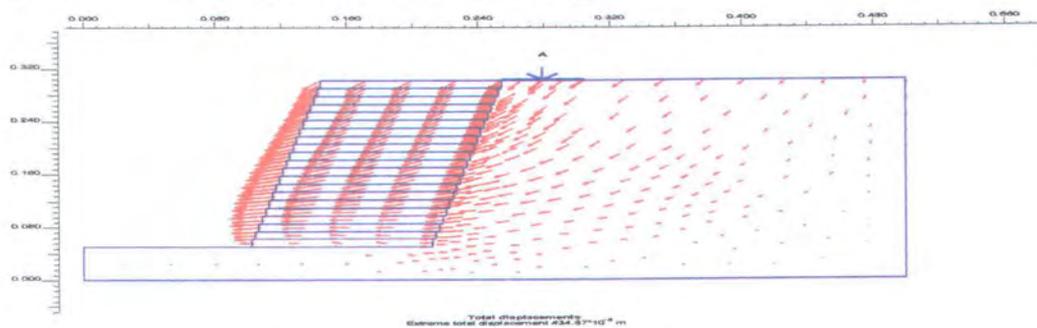
C. Tanah TL + 2 Lps TS + Copper Slag I Dengan Pembebanan

Gambar 4.11 Gambar total displacement (shading) model simulasi I hasil perhitungan program PLAXIS untuk benda uji tanah tanpa tyresoil dan dengan tyresoil dengan pembebanan vertikal

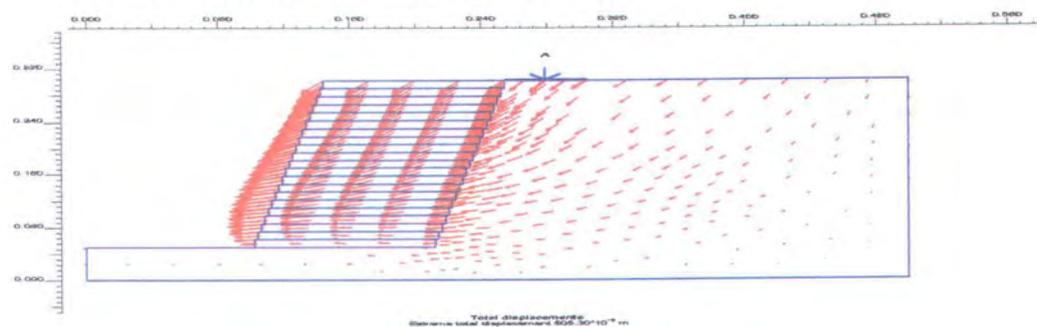




A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan

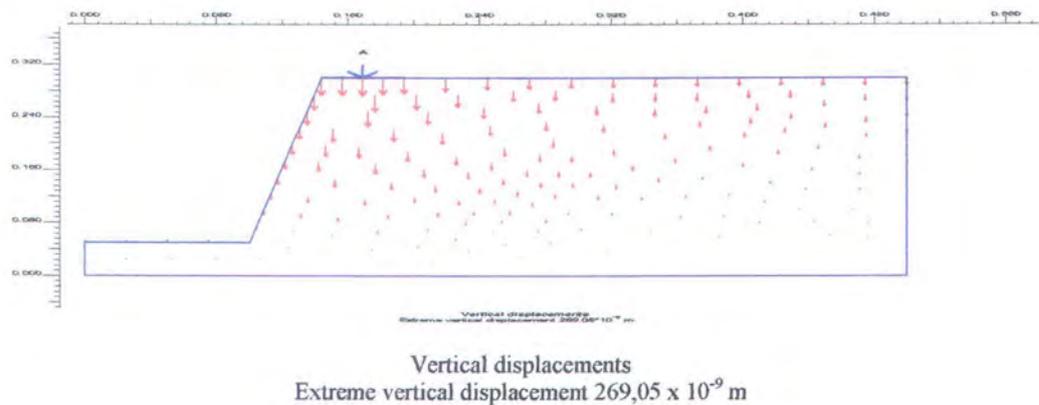


B. Tanah TL + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan

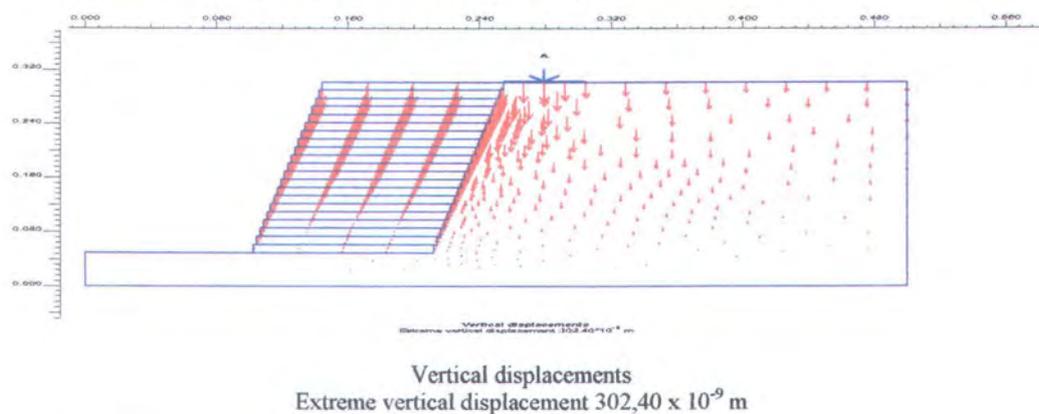


C. Tanah TL + 2 Lps TS + Copper Slag I Dengan Pembebanan

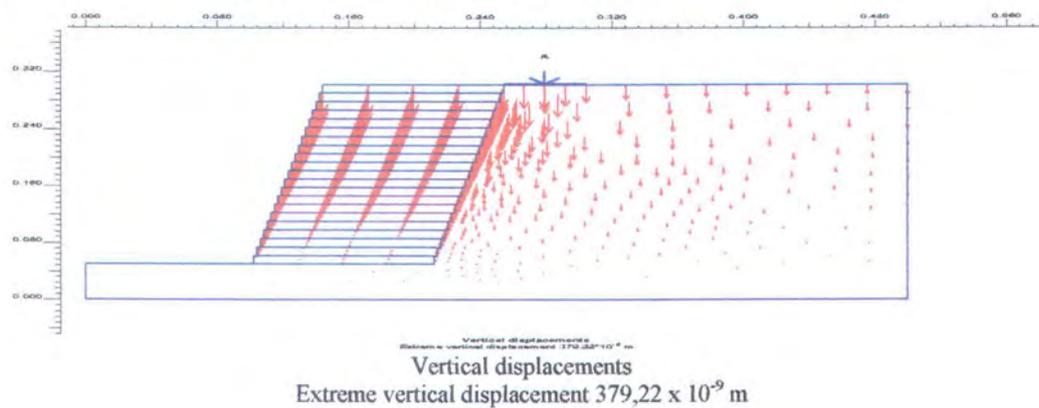
Gambar 4.12 Gambar *total displacement* (arrow) model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan

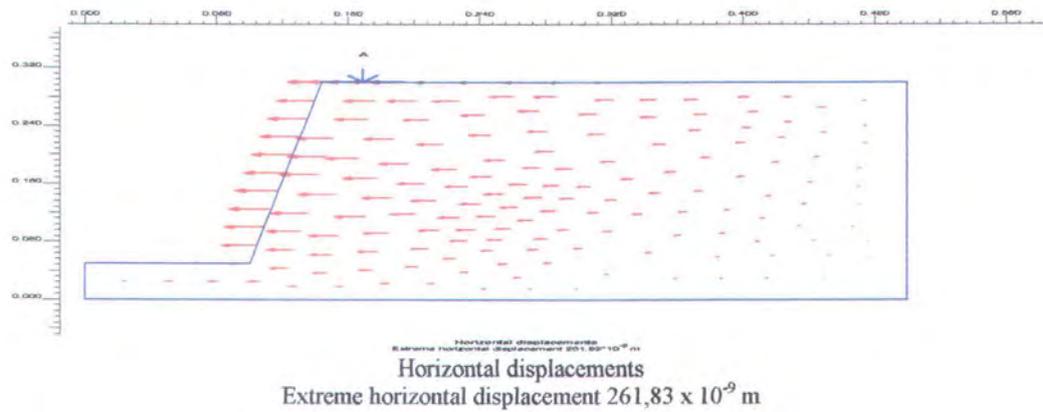


B. Tanah TL + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan

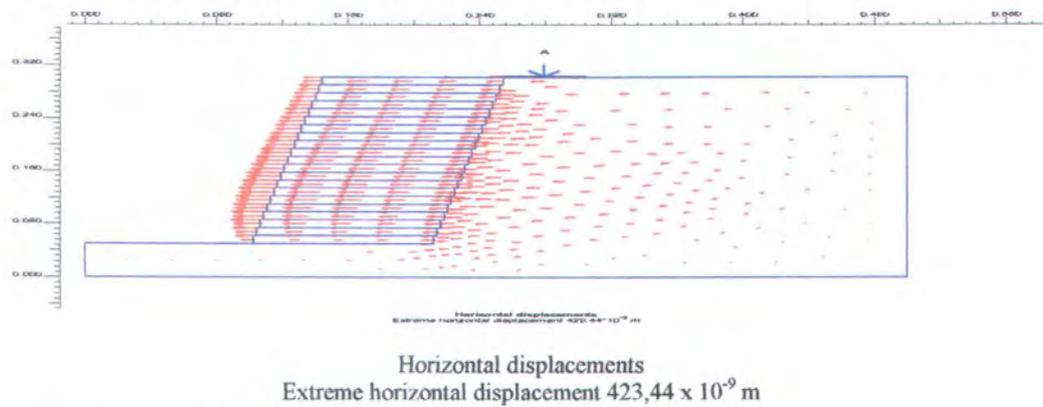


C. Tanah TL + 2 Lps TS + *Copper Slag* I Dengan Pembebanan

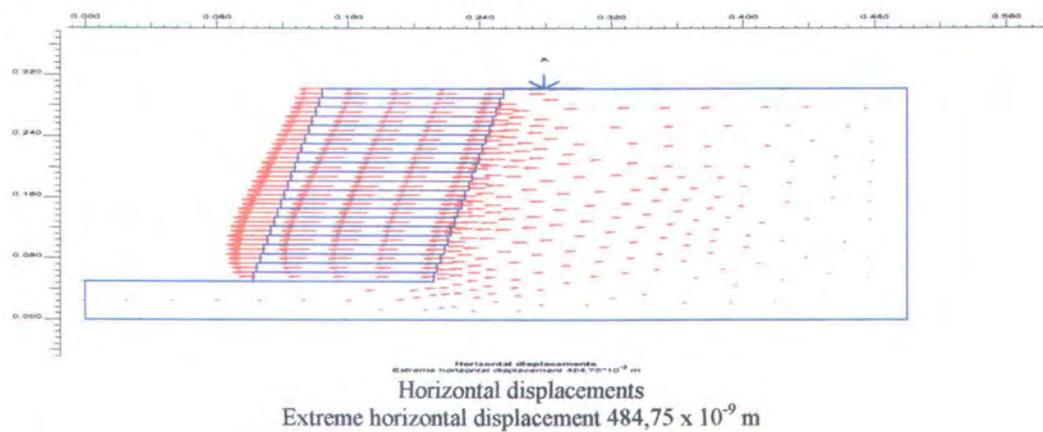
Gambar 4.13 Gambar *vertical displacements* model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan

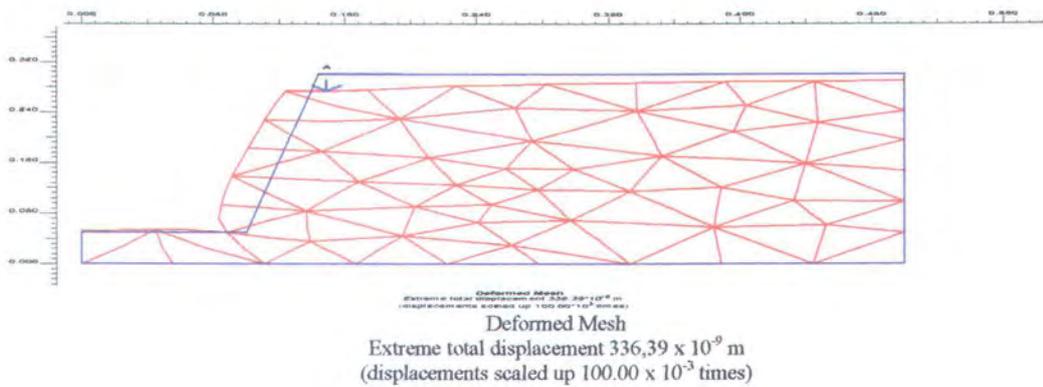


B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan

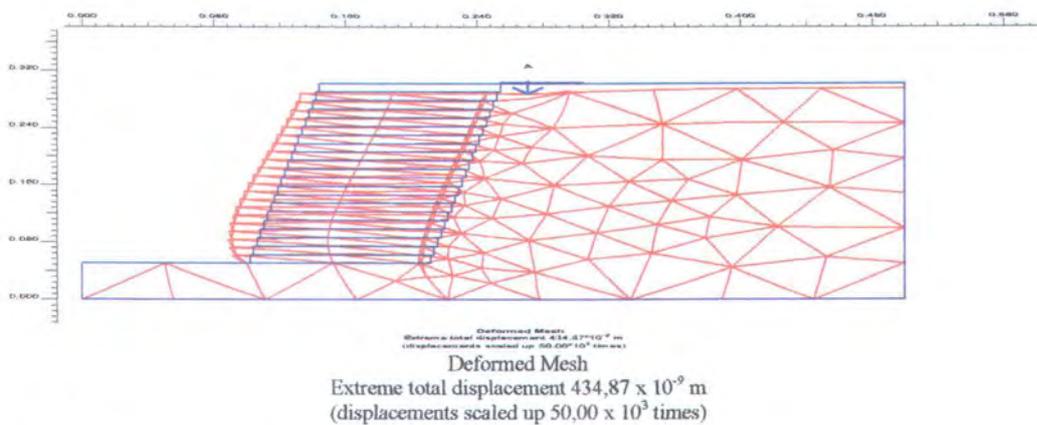


C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag I Dengan Pembebanan

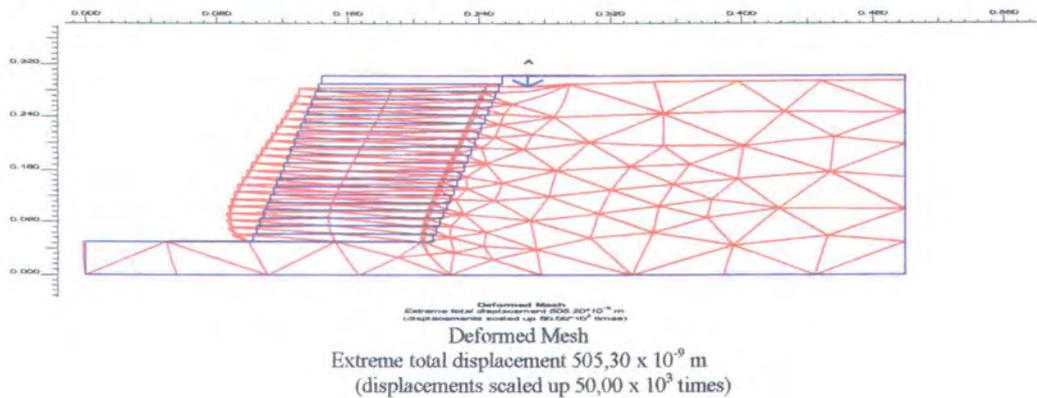
Gambar 4.14 Gambar *horizontal displacements* model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan

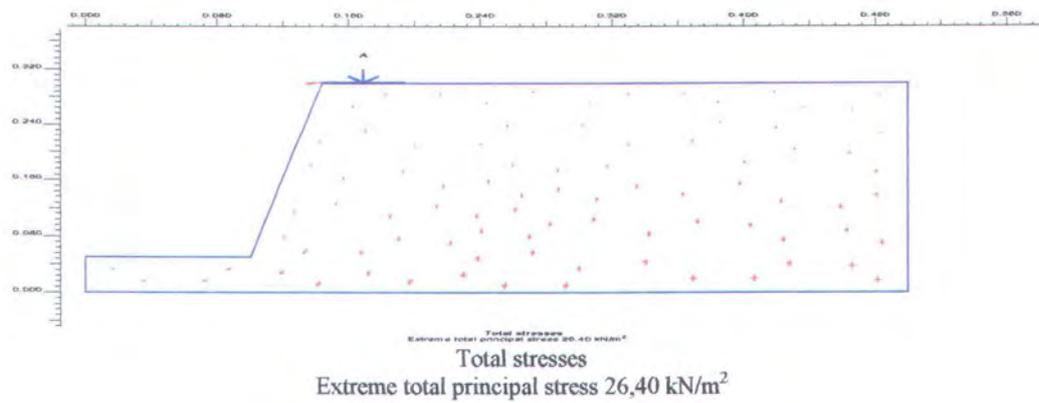


B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan

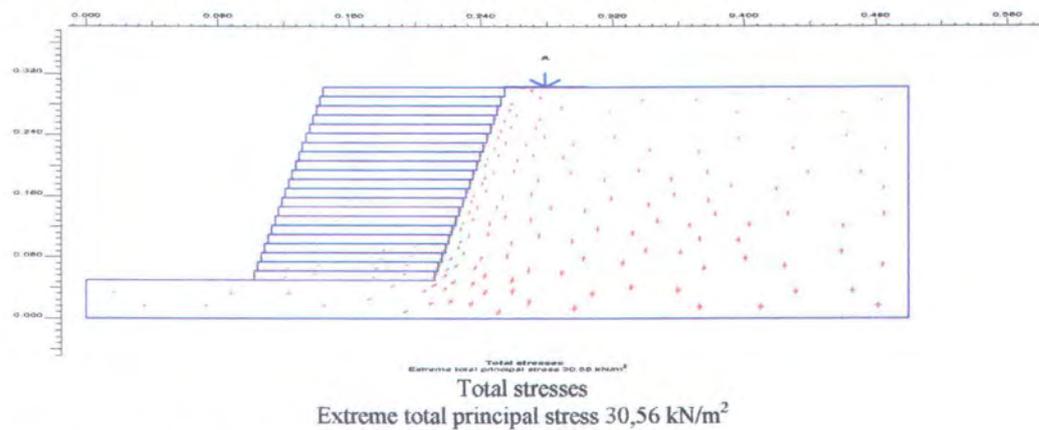


C. Tanah TL + 2 Lps TS + Copper Slag I Dengan Pembebanan

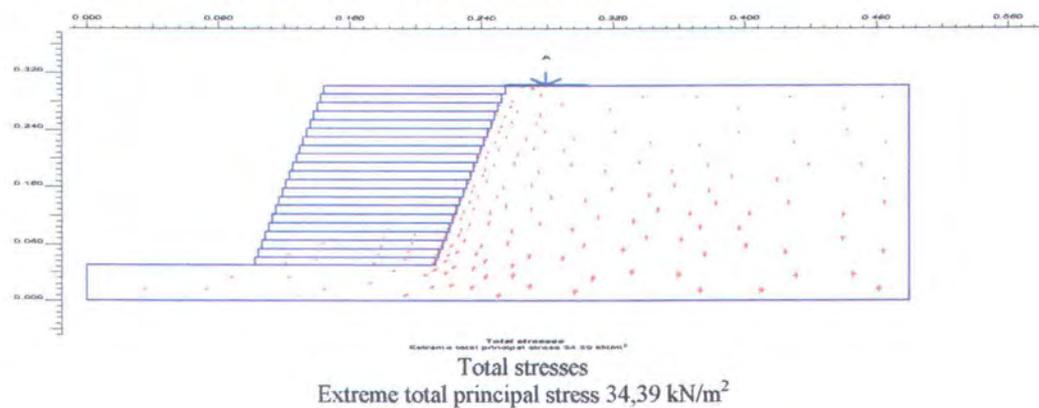
Gambar 4.15 Gambar *deformed mesh* model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan

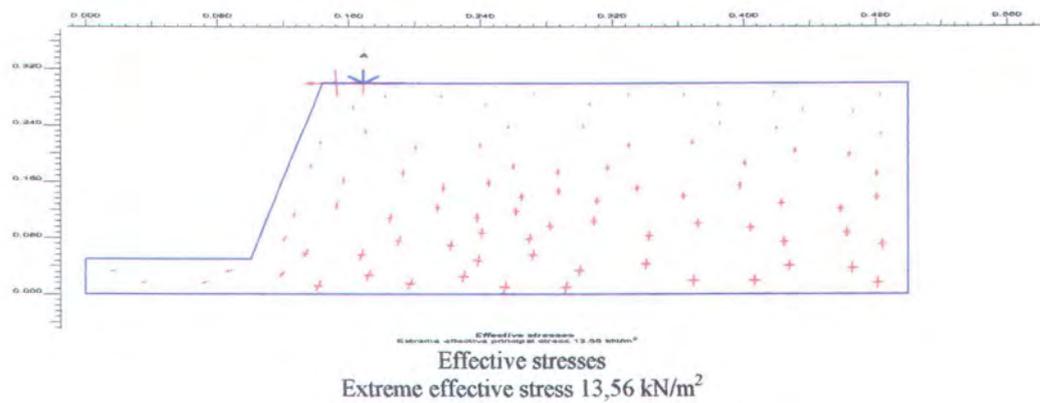


B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan

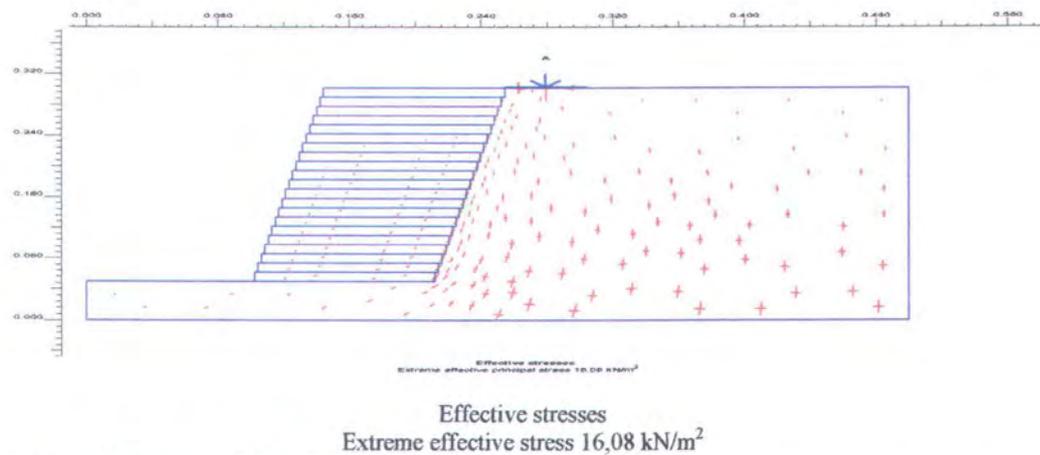


C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag I Dengan Pembebanan

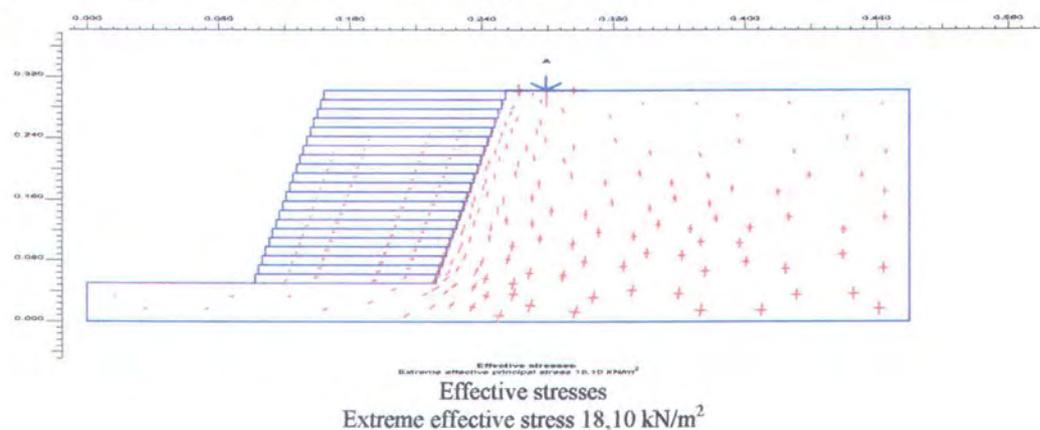
Gambar 4.16 Gambar *total stresses* model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal



A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan

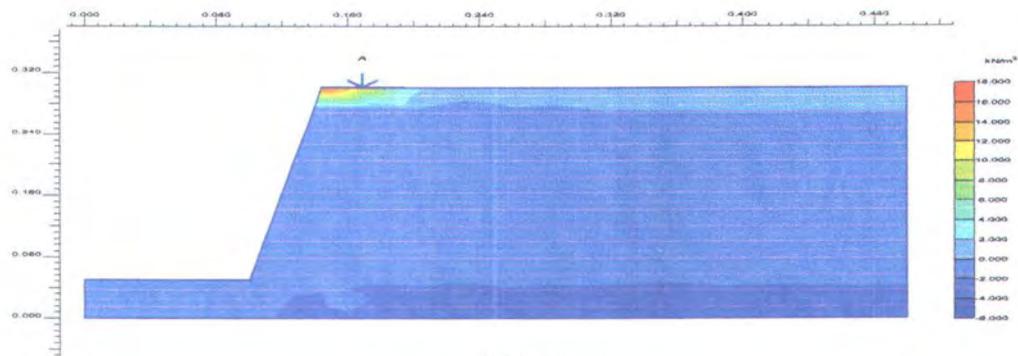


B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan



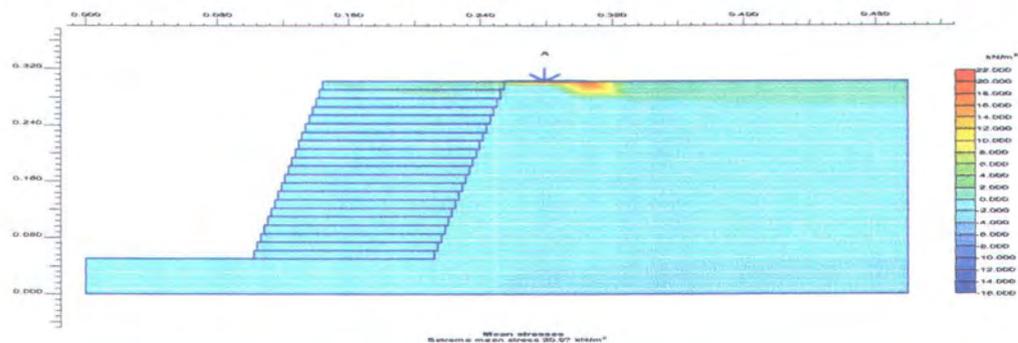
C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag I Dengan Pembebanan

Gambar 4.17 Gambar *effective stresses* model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal



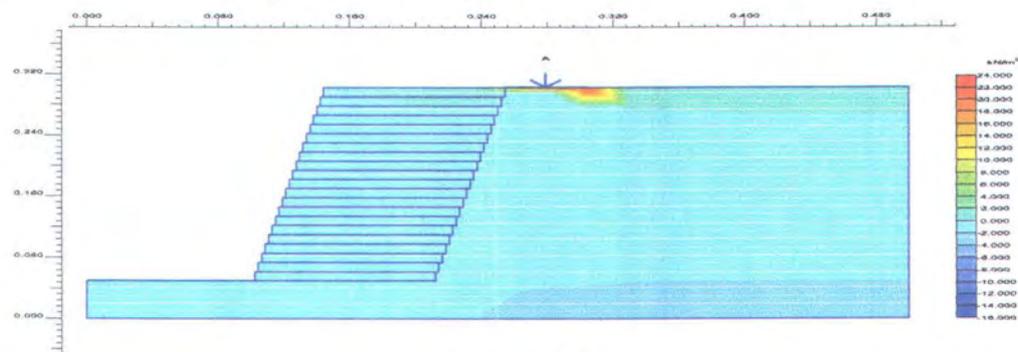
Mean stresses
Extreme mean stress 10.97 kN/m²
Extreme mean stress -6.05 kN/m²

A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan



Mean stresses
Extreme mean stress 20.97 kN/m²
Extreme mean stress 20.97 kN/m²

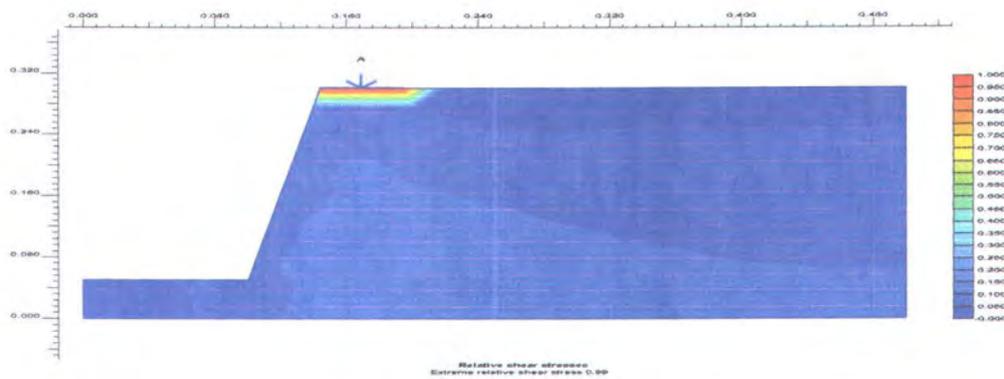
B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan



Mean stresses
Extreme mean stress 23.42 kN/m²
Extreme mean stress 23.42 kN/m²

C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Copper Slag I Dengan Pembebanan

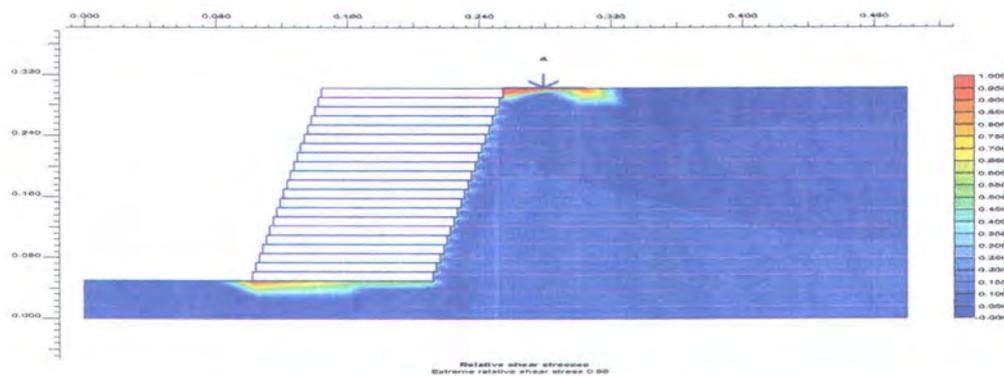
Gambar 4.18 Gambar *mean stresses* model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal



Relative shear stresses

Extreme relative shear stress 0.99 kN/m^2

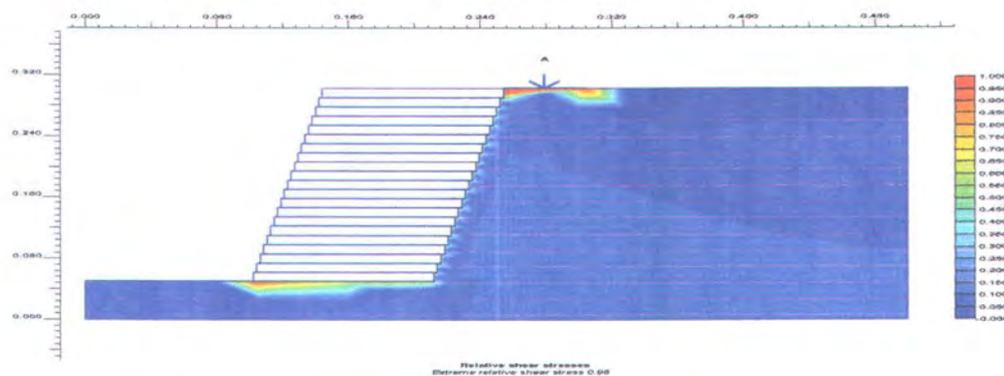
A. Tanah Lanau Tanpa Perkuatan Lereng I Dengan Pembebanan



Relative shear stresses

Extreme relative shear stress 0.98 kN/m^2

B. Tanah Lanau + 2 Lps TS + Pasir I Dengan Pembebanan



Relative shear stresses

Extreme relative shear stress 0.98 kN/m^2

C. Tanah Lanau + 2 Lps TS + *Copper Slag* I Dengan Pembebanan

Gambar 4.19 Gambar *relative shear stresses* model simulasi I hasil perhitungan program *PLAXIS* untuk benda uji tanah tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dengan pembebanan vertikal

Gambar 4.12 sampai dengan Gambar 4.14 memperlihatkan gambar *total displacement*, *vertical displacement* dan *horizontal displacement (arrow)* untuk benda uji tanpa perkuatan dan dengan menggunakan perkuatan *tyresoil* dengan diberi beban vertikal. Dari gambar tersebut dapat dilihat pola keruntuhan yang terjadi dan didaerah mana penurunan yang paling besar terjadi. Penurunan yang terjadi dapat dilihat dari arah *displacement (arrow)*, dimana konsentrasi *displacement* yang terbesar terjadi dibidang kemiringan lereng. Pola keruntuhan yang terjadi dapat dilihat dari arah panah (*arrow*) yang lebih terkonsentrasi pada permukaan kemiringan lereng. Pola keruntuhan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.16 yaitu gambar *deformend mesh* yang menunjukkan jenis keruntuhan (kelongsoran lereng) yang terjadi untuk kondisi *undrained*. Bidang kelongsoran terjadi dengan cara menggelincir secara sirkular dan terdapat sedikit pengembangan tanah di sekitar dasar lereng.

Gambar *total stress* dan *effective stress* ditunjukkan pada gambar 4.16 dan gambar 4.17 yang merupakan gambar penyebaran tegangan ke arah vertikal kebawah dan ke arah horizontal sejajar dengan kemiringan lereng dan dengan adanya *tyresoil* maka penyebaran tegangan lebih mendekati pada perkuatan *tyresoil*, sehingga daerah pada kemiringan perkuatan mempunyai nilai tegangan yang timbul menjadi lebih kecil. Selain itu nilai *effective stress* dan *total stress* mengalami peningkatan pada perkuatan yang menggunakan *tyresoil*. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh penambahan gaya penahan diakibatkan oleh material granuler yaitu kuat geser dan kohesi dari pasir maupun *copper slag* serta kuat tarik dari material *tyresoil*.

Ket :

- I. $\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm.
- II. $\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm.
- III. $\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm.

4.3.3 Angka Keamanan Lereng Hasil Perhitungan Program PLAXIS

Dari hasil pengolahan data sifat fisis dan sifat mekanis tanah, maka dihitung faktor angka keamanan stabilitas lereng dengan menggunakan program *PLAXIS*. Hasil perhitungan kemudian dituangkan dalam bentuk grafik hubungan antara faktor angka

keamanan dengan model simulasi lereng. Grafik ini dibuat dalam model simulasi lereng dengan pembebanan.

4.3.3.1 Angka Keamanan Lereng Tanpa *Tyresoil* Dengan Pembebanan



Gambar 4.20 Perbandingan Angka Keamanan Tanpa *Tyresoil* dengan variasi jarak pembebanan vertikal

Berdasarkan Gambar 4.20 faktor angka keamanan (*SF*) pada model simulasi manual II terjadi peningkatan faktor angka keamanan sebesar 202,79% dari model simulasi I, sedangkan pada simulasi III sebesar 217,30% dari model simulasi I. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa peningkatan faktor angka keamanan terjadi dengan penempatan jarak beban vertikal. Jarak beban vertikal akibat beban vertikal semakin jauh dari tepi kemiringan lereng akan berpengaruh angka keamanan atau stabilitas lereng yang akan semakin besar pula.

4.3.3.2 Angka Keamanan Lereng Dengan Bahan Komposit (*Tyresoil* dan pasir)



Gambar 4.21 Perbandingan Angka Keamanan Dengan Bahan Komposit (*Tyresoil* dan pasir) dengan variasi jarak pembebanan vertikal.

Dari Gambar 4.21 menunjukkan terjadinya peningkatan faktor angka keamanan pada model simulasi II dan model simulasi III sebesar 0.75% dari model simulasi I. Dari data tersebut dapat disimpulkan penempatan dari beban vertikal terhadap jarak tepi kemiringan lereng akan berpengaruh terhadap peningkatan faktor angka keamanan.

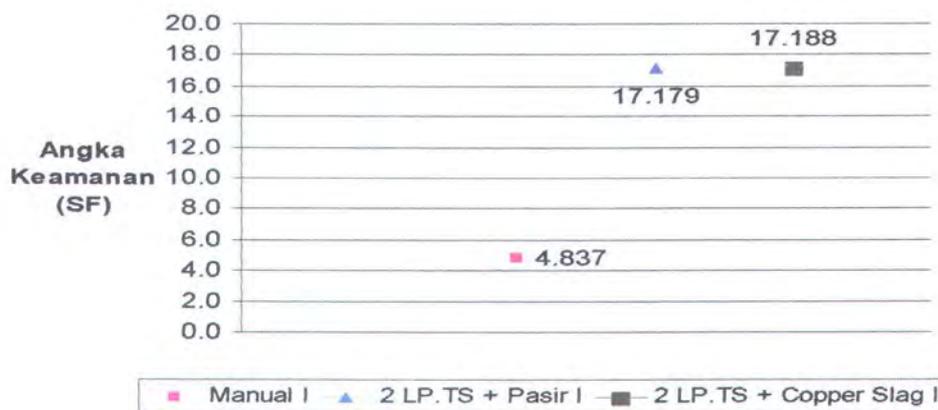
4.3.3.3 Angka Keamanan Lereng Dengan Bahan Komposit (*tyresoil* dan *copper slag*)



Gambar 4.22 Perbandingan Angka Keamanan Dengan Bahan Komposit (*Tyresoil* dan *copper slag*) dengan variasi jarak pembebanan vertikal

Dari Gambar 4.22 menunjukkan terjadinya peningkatan faktor angka keamanan pada model simulasi II sebesar 0,97% dan peningkatan faktor angka keamanan pada model simulasi II sebesar 0,98% dari model simulasi I. Dari data tersebut dapat disimpulkan penempatan dari beban vertikal semakin jauh dari tepi kemiringan lereng akan berpengaruh terhadap peningkatan angka faktor keamanan.

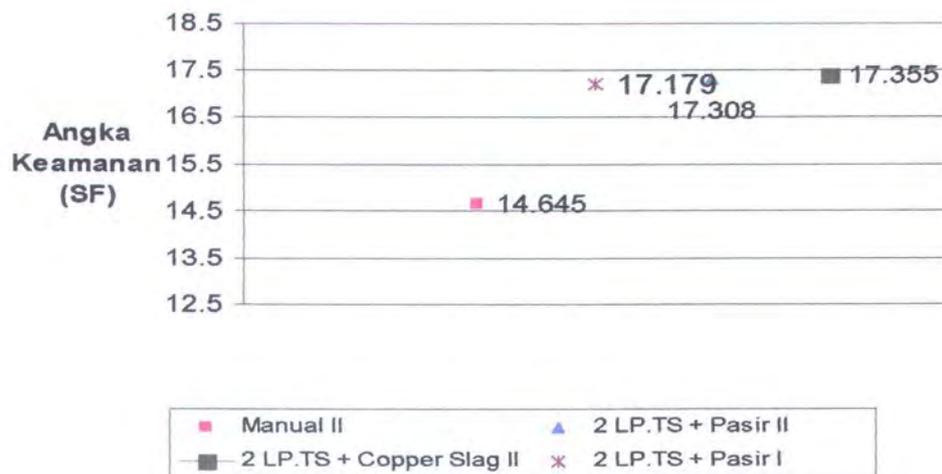
4.3.3.4 Angka Keamanan Lereng pada Model Simulasi Lereng I



Gambar 4.23 Perbandingan Angka Keamanan Tanpa *Tyresoil* dan Dengan Bahan Komposit (*Tyresoil* dan pasir maupun *Tyresoil* dan *copper slag*) pada Simulasi Model Lereng I dengan pembebanan vertikal

Berdasarkan Gambar 4.23 faktor angka keamanan yang terjadi pada lereng dengan pembebanan tanpa *tyresoil* 4.837. Sedangkan akibat penggunaan material pengisi *tyresoil* pada pasir terjadi peningkatan angka keamanan sebesar 255,158%, dan pada material pengisi *tyresoil* yaitu *copper slag* terjadi peningkatan faktor angka keamanan sebesar 255,344%. Sedangkan peningkatan akibat bahan pengisi material *tyresoil* antara pasir dengan *copper slag* sebesar 0.052%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya perkuatan dengan material *tyresoil* dapat meningkatkan faktor angka keamanan lereng.

4.3.3.5 Angka Keamanan Lereng pada Model Simulasi Lereng II



Gambar 4.24 Perbandingan Angka Keamanan Tanpa *Tyresoil* dan Dengan Bahan Komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*) pada Simulasi Model Lereng II dengan pembebanan vertikal

Dari Gambar 4.24 faktor angka keamanan yang terjadi akibat penggunaan material pengisi *tyresoil* pada pasir terjadi peningkatan angka keamanan sebesar 18,18% pada pasir, dan pada material pengisi *tyresoil* yaitu *copper slag* terjadi peningkatan faktor angka keamanan sebesar 18,50%. Sedangkan perbandingan dari peningkatan faktor angka keamanan terhadap bahan pengisi *tyresoil* antara pasir dengan *copper slag* terjadi peningkatan sebesar 0,27%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa akibat penggunaan perkuatan *tyresoil* serta material granuler dapat meningkatkan faktor angka keamanan lereng terjadi peningkatan faktor angka keamanan dan akibat peningkatan nilai kuat geser pada material granuler dapat meningkatkan faktor angka keamanan pula.



4.3.3.6 Angka Keamanan Lereng pada Model Simulasi Lereng III



Gambar 4.25 Perbandingan Angka Keamanan Tanpa *Tyresoil* dan Dengan Bahan Komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*) pada Simulasi Model Lereng III dengan pembebanan vertikal

Hasil program *PLAXIS* berupa faktor angka keamanan akibat penggunaan material pengisi *tyresoil* pada pasir terjadi peningkatan faktor angka keamanan sebesar 12,77% pada pasir, dan pada material pengisi *tyresoil* yaitu *copper slag* terjadi peningkatan faktor angka keamanan sebesar 11,99%. Sedangkan pada pengurangan dari material pasir terhadap *copper slag* sebesar 0,70%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya perkuatan *tyresoil* dapat meningkatkan faktor angka keamanan.

4.3.4 Analisis Perbandingan Hasil Perhitungan Program *PLAXIS*

Hasil perhitungan program *PLAXIS* meliputi faktor angka keamanan, daya dukung dan penurunan untuk semua benda uji baik tanpa pembebanan maupun dengan pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Program *PLAXIS*

Model Simulasi Lereng		β (°)	h (cm)	d (cm)	Angka Keamanan (SF)	Daya dukung (kN/m ²)	Penurunan (m)
Tanpa Pembebanan	Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng	80	25	0	-	-	-
	TL + 2 Lapisan TS + Pasir	80	25	0	-	-	-
	TL + 2 Lapisan TS + <i>Copper Slag</i>	80	25	0	-	-	-
Dengan Pembebanan	Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng	80	25	0	12.847	26.40	0.00000034
		80	25	5	14.970	31.20	0.00000031
		80	25	10	15.426	32.79	0.00000029
	TL + 2 Lapisan TS + Pasir	80	25	0	17.179	30.56	0.00000043
		80	25	5	17.308	32.49	0.00000044
		80	25	10	17.308	34.10	0.00000042
	TL + 2 Lapisan TS + <i>Copper Slag</i>	80	25	0	17.188	34.39	0.00000051
		80	25	5	17.305	35.51	0.00000050
		80	25	10	17.351	37.17	0.00000049

Berdasarkan Tabel 4.2 dibuat perbandingan presentase peningkatan faktor angka keamanan, daya dukung dan pengurangan penurunan yang terjadi pada model simulasi lereng, seperti disajikan pada Tabel 4.3. Peningkatan nilai faktor angka keamanan paling besar terjadi pada tanah lanau dengan perkuatan lereng 2 lapis *tyresoil* dan material pengisi *copper slag* tepat ditepi kemiringan lereng.

4.4 Analisa Mekanisme Keruntuhan Benda Uji Hasil Percobaan di Laboratorium

Tabel 4.3 Persentase Peningkatan Angka Keamanan, Daya Dukung serta Pengurangan Penurunan Hasil Program *PLAXIS* Dengan Pembebanan

Model Simulasi Lereng	β (°)	h (cm)	d (cm)	Tanpa Perkuatan Lereng			Akibat 2 Lapisan <i>Tyresoil</i> + Pasir			Akibat 2 Lapisan <i>Tyresoil</i> + <i>Copper Slag</i>		
				Angka Keamanan	Daya Dukung	Penurunan	Angka Keamanan	Daya Dukung	Penurunan	Angka Keamanan	Daya Dukung	Penurunan
				(SF)	(kN/m ²)	(m)	(SF)	(%)	(%)	(SF)	(%)	(%)
TL I	80	25	0	4.837	26.40	0.000000336	33.72	15.76	29.28	33.79	30.27	50.21
TL II	80	25	5	14.645	31.20	0.000000309	15.62	4.13	41.12	15.60	13.81	62.78
TL III	80	25	10	15.348	32.79	0.000000294	12.20	4.00	43.88	12.48	13.36	66.57

Dari pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk pembebanan pada kondisi *undrained* dalam kondisi kering, dapat ditunjukkan pada pola keruntuhan atau mekanisme keruntuhan yang terjadi. Mekanisme yang akan dianalisis diambil jenis tanah lanau dengan kondisi tanpa *tyresoil*, dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* dengan bahan pengisi pasir dan *copper slag* dengan variasi jarak pembebanan sejarak 0 cm, 5 cm, 10 cm dari tepi kemiringan lereng.

4.4.1 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa *Tyresoil*.

4.4.1.1 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa *Tyresoil* Simulasi Model I Manual

Berdasarkan data penurunan dan gerakan tanah ke permukaan di sekitar plat perletakan pola keruntuhan serta bidang gelincir kelongsoran lereng yang terjadi pada diasumsikan untuk benda uji model I tanpa *tyresoil* ditunjukkan pada Gambar 4.26.



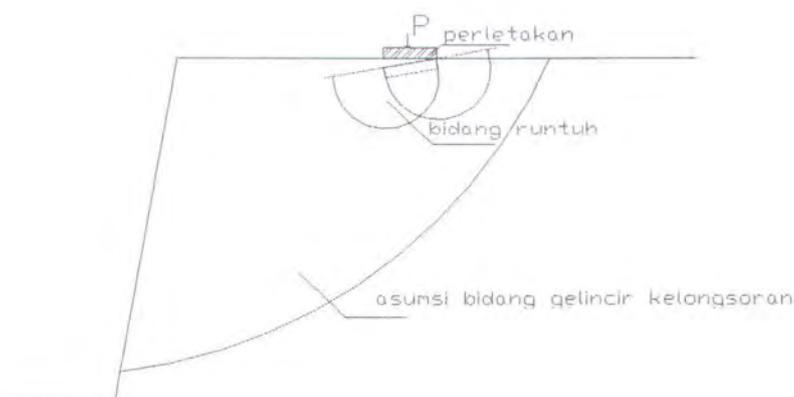
Gambar 4.26 Mekanisme keruntuhan tanpa *tyresoil* simulasi model I Manual

Dari Gambar 4.26 menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi pada pengujian pembebanan tanah lanau tanpa *tyresoil* menyebabkan penurunan tidak seragam (*differential settlement*) pada plat pondasi. Hal ini terlihat dari kemiringan plat perletakan yang menunjukkan bahwa telah terjadi keruntuhan plastis pada tanah karena adanya rotasi pada bidang perletakan, sesuai dengan anggapan awal bahwa bila kondisi

undrained pola keruntuhan yang terjadi adalah setengah lingkaran yang telah dikemukakan oleh Terzaghi (1943). Dan bentuk atau pola keruntuhan lereng (bidang gelincir) dengan tinggi terbatas sesuai menurut Das (1993). Bidang gelincir lereng yang terjadi merupakan asumsi. Akan tetapi pada percobaan di laboratorium maupun hasil program *PLAXIS* tidak terjadi kelongsoran lereng atau dapat dikatakan lereng stabil.

4.4.1.2 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa *Tyresoil* Simulasi Model II Manual

Pada keruntuhan yang terjadi pada percobaan simulasi model lereng II manual di laboratorium untuk tanah lanau dengan jarak pembebanan 5 cm dapat diasumsikan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.27.

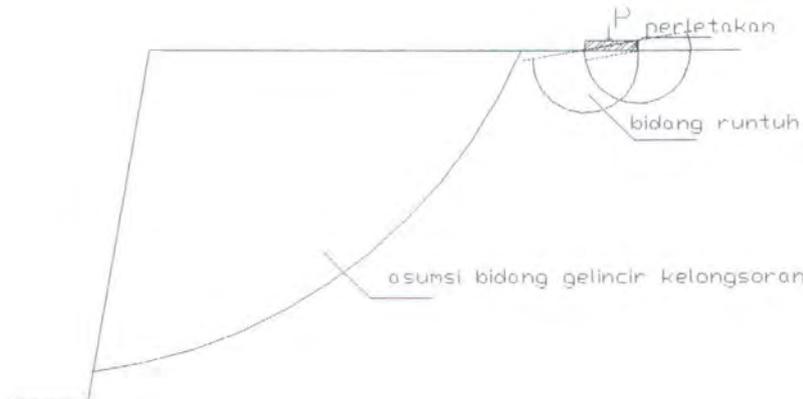


Gambar 4.27 Mekanisme keruntuhan tanpa *tyresoil* simulasi model II Manual

Berdasarkan Gambar 4.27 pola keruntuhan pondasi yang terjadi memiliki pola keruntuhan yang sama dengan simulasi model lereng I manual (tanpa *tyresoil*). Dengan adanya penambahan jarak dari tepi kemiringan lereng akan berpengaruh terhadap peningkatan faktor angka keamanan suatu lereng.

4.4.1.3 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Tanpa *Tyresoil* Simulasi Model III Manual

Pola keruntuhan yang terjadi pada percobaan di laboratorium untuk tanah lanau TL pada simulasi model lereng III manual dengan jarak 10 cm dari tepi kemiringan lereng diasumsikan seperti pada Gambar 4.28.



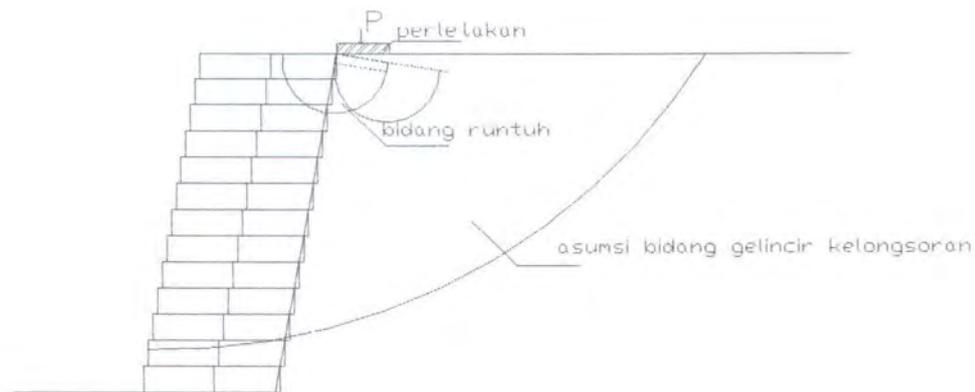
Gambar 4.28 Mekanisme keruntuhan tanpa *tyresoil* simulasi model III Manual

Berdasarkan Gambar 4.28 terlihat bahwa benda uji pada simulasi model lereng III manual memiliki pola keruntuhan *undrained* serta bidang gelincir lereng sesuai dengan teori Das, 1993. Akibat penambahan jarak yang lebih besar angka meningkatkan faktor angka keamanan dari jarak terdekat dari kemiringan tepi lereng.

4.4.2 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan Bahan Komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*)

4.4.2.1 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan *Tyresoil* Simulasi Model I

Pola keruntuhan yang terjadi pada percobaan di laboratorium untuk tanah lanau TL dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* dengan pembebanan vertikal tepat pada pinggir lereng dari tepi kemiringan lereng diasumsikan seperti pada Gambar 4.29.

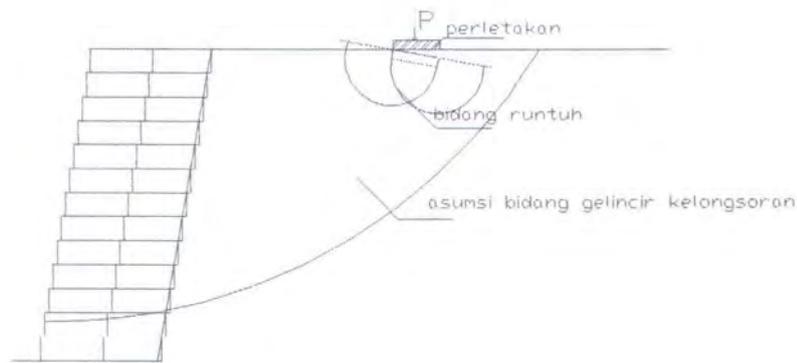


Gambar 4.29 Mekanisme keruntuhan dengan *tyresoil* simulasi model I Manual

Pola keruntuhan pondasi maupun bidang gelincir lereng sama dengan simulasi model I manual. Bidang keruntuhan pondasi maupun bidang gelincir lereng diasumsikan memotong perkuatan lereng sehingga manfaat penggunaan material *tyresoil* maupun bahan material *granuler* (pasir maupun *copper slag*) dapat meningkatkan tahanan geser tanah. Bila tahanan geser meningkat, maka faktor angka keamanan (SF) tanah juga meningkat dibandingkan tanpa perkuatan *tyresoil*.

4.4.2.2 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan *Tyresoil* Simulasi Model II

Pola keruntuhan yang terjadi pada percobaan di laboratorium untuk tanah lanau TL dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* dengan pembebanan vertikal sejarak 5 cm dari tepi kemiringan lereng diasumsikan seperti pada Gambar 4.30.

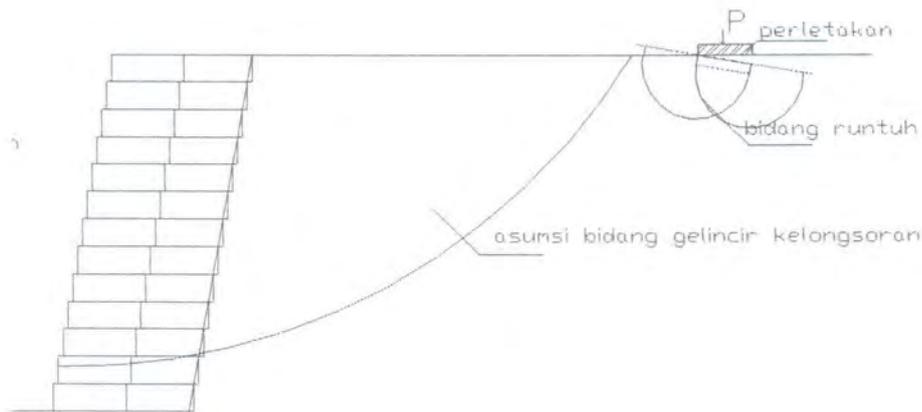


Gambar 4.30 Mekanisme keruntuhan dengan *tyresoil* simulasi model II Manual

Pola keruntuhan pondasi maupun bidang gelincir lereng sama dengan simulasi model lereng II manual. Bidang gelincir lereng memotong perkuatan lereng sehingga manfaat penggunaan material *tyresoil* maupun bahan material granuler (pasir maupun *copper slag*) dapat meningkatkan tahanan geser tanah. Bila tahanan geser meningkat, maka faktor angka keamanan (SF) tanah juga meningkat dibandingkan tanpa perkuatan *tyresoil*, tetapi terjadi peningkatan faktor angka keamanan dibandingkan simulasi model lereng I dan simulasi model lereng .

4.4.2.3 Mekanisme Keruntuhan Hasil Percobaan Dengan *Tyresoil* Simulasi Model III

Pola keruntuhan yang terjadi pada percobaan di laboratorium untuk tanah lanau TL dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* dengan pembebanan vertikal sejarak 10 cm dari tepi kemiringan lereng diperlihatkan pada Gambar 4.31



Gambar 4.31 Mekanisme keruntuhan dengan *tyresoil* simulasi model III Manual

Berdasarkan Gambar 4.31 terlihat bahwa simulasi model III dengan perkuatan 2 lapis *tyresoil* dapat diasumsikan pola keruntuhan baik keruntuhan pondasi maupun bidang gelincir lereng sama dengan simulasi model III manual. Dengan adanya perkuatan *tyresoil* dapat meningkatkan gaya penahan berupa penambahan gaya geser akibat kelongsoran lereng. Hal ini mengakibatkan terjadi peningkatan faktor angka keamanan dibandingkan dengan simulasi model II lereng. Penambahan faktor angka keamanan lereng seiring dengan parameter bahan pengisi *tyresoil* yaitu kuat geser maupun kohesi dari material *granuler* itu sendiri.

4.5 Analisis Perbandingan Antara Model Tanpa *Tyresoil* dan Model yang menggunakan *Tyresoil*.

Dari hasil penelitian yang diperoleh, maka dibuat perbandingan hasil penelitian dengan program *PLAXIS* disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Pengujian Laboratorium dengan Program *Plaxis*

Model Simulasi Lereng	Analisis Program <i>PLAXIS</i>			Percobaan Laboratorium	
	q ult (kPa)	Penurunan (m)	Faktor angka Keamanan	q ult (kPa)	Penurunan (m)
TL Manual I	26.40	0.000000306	4.837	25.45	0.006085
TL Manual II	31.20	0.000000309	14.645	30.42	0.004239
TL Manual III	32.79	0.000000294	15.348	31.64	0.005249
TL + 2 Lap. TS + Pasir I	30.56	0.000000435	17.179	29.94	0.004690
TL + 2 Lap. TS + Pasir II	32.49	0.000000436	17.308	30.67	0.003700
TL + 2 Lap. TS + Pasir III	34.10	0.000000422	17.308	31.87	0.003710
TL + 2 Lap. TS + <i>Copper slag</i> I	34.39	0.000000505	17.188	31.07	0.003810
TL + 2 Lap. TS + <i>Copper slag</i> II	35.51	0.000000503	17.350	31.15	0.003460
TL + 2 Lap. TS + <i>Copper slag</i> III	37.71	0.000000489	17.351	33.21	0.003300

Dari seluruh percobaan dapat disimpulkan bahwa perbandingan antara percobaan dengan program *PLAXIS* terjadi perbedaan antara model tanpa *tyresoil* dan model yang menggunakan perkuatan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun dengan *copper slag* dengan benda uji dalam keadaan kering. Hal ini terjadi perbedaan asumsi, pada percobaan lereng di laboratorium benda uji dianggap *tidak homogen*, sedangkan pada simulasi model pada program *PLAXIS* benda uji dianggap *homogen*, sehingga menghasilkan nilai daya dukung dan penurunan yang berbeda dengan hasil *output* program *PLAXIS*. Berdasarkan hasil percobaan maupun *output* program *PLAXIS* dapat ditarik kesimpulan bahwa tanpa perkuatan *tyresoil* akibat penambahan jarak akan mengakibatkan peningkatan daya dukung serta pengurangan penurunan.

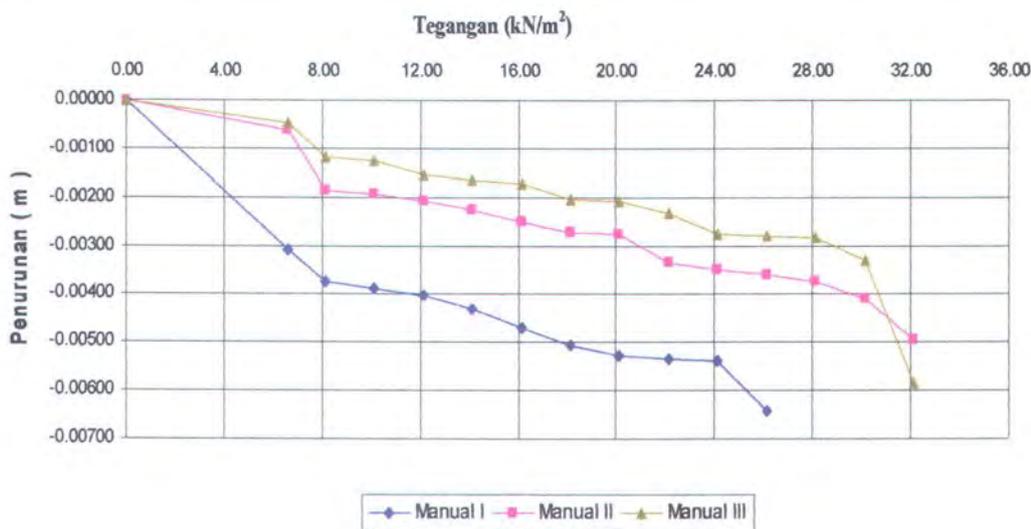
4.6 Hasil Pengujian di Laboratorium antara Model Perkuatan Lereng Tanpa *Tyresoil* dan Dengan *Tyresoil* dengan Material *Granuler* (Pasir dan *Copper Slag*) dengan Variasi Pembebanan

Seperti telah dijelaskan pada bab III, model penelitian dilakukan dalam dua macam yaitu tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil*. Tujuannya untuk membandingkan daya dukung dan penurunan tanah pada permodelan perkekuatan lereng sebelum dan sesudah menggunakan *tyresoil*. Benda uji menggunakan perkuatan lereng 2 lapis *tyresoil*

menggunakan dua buah material pengisi yaitu pasir dan *copper slag*. Hal ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh dari parameter fisik material tersebut yaitu kuat geser dan kohesi yang menghasilkan daya dukung dan pengurangan nilai penurunan yang terjadi.

4.6.1 Analisis Hasil Pengujian di Laboratorium antara Model Tanpa *Tyresoil* dan Model Dengan *Tyresoil* untuk Berbagai Variasi Pembebanan

Data pengujian di laboratorium untuk tanah Lanau gunung Kawi (TL) tanpa *tyresoil* dan dengan *tyresoil* dapat dilihat pada lampiran D . Hasil pengujian berupa kurva hubungan antara tegangan dan penurunan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.32.

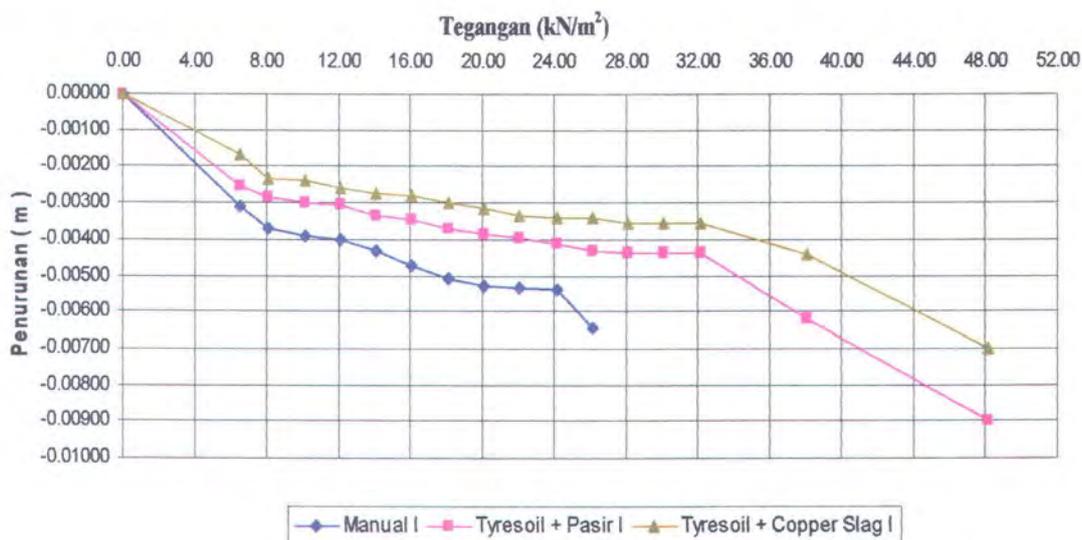


Gambar 4.32 Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa *tyresoil*

Dari Gambar 4.32 menunjukkan adanya perbedaan tegangan dan penurunan yang lebih besar seiring dengan pertambahan jarak pembebanan. Fenomena ini sangat mungkin terjadi oleh pola keruntuhan pondasi akibat beban vertikal serta bidang gelincir lereng. Akibat jarak beban vertikal sangat mempengaruhi penambahan gaya dorong dengan gaya gelincir lereng yang menyebabkan kestabilan lereng terganggu. Bila ditinjau dari beban vertikal yang sama sebesar 5,53 kg, sesuai dengan lampiran D.17

terjadi pengurangan penurunan pada manual I dari 0,00534 m menjadi 0,00334 m pada benda uji II serta terjadi pengurangan penurunan pada model III sebesar 0,00232 m. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan jarak pembebanan akan mengurangi penurunan yang terjadi akibat beban vertikal. Adapun pengurangan terhadap model benda uji I sebesar 59,88% dari model II, dan pada model benda uji III sebesar 130,17%.

Sedangkan nilai tegangan mengalami peningkatan sebesar 145% pada model benda uji II, pada model benda uji III sebesar 153% dibandingkan dengan model benda uji I, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak pembebanan terhadap kemiringan lereng maka semakin tinggi peningkatan daya dukungnya.

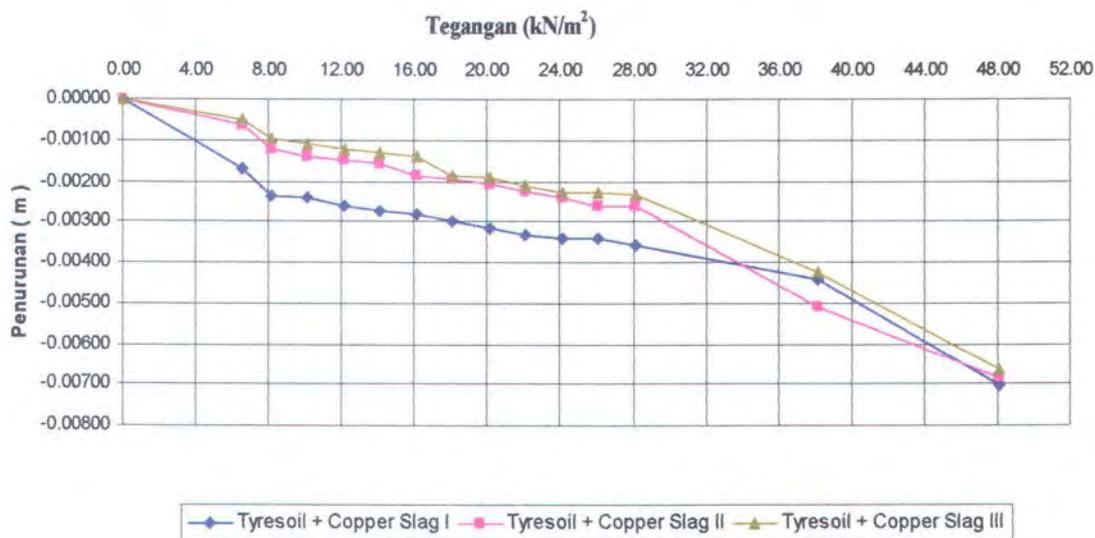


Gambar 4.33 Kurva hubungan tegangan dan penurunan dengan bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*)

Hasil pengujian dibuat dalam bentuk hubungan antara tegangan dan penurunan. Dari Gambar 4.33 menunjukkan adanya perbedaan tegangan yang meningkat dan pengurangan penurunan seiring dengan penambahan jarak pembebanan pada perkuatan 2 lapis *tyresoil* dengan bahan pengisi pasir. Jika dilihat dari Lampiran D.18 dengan beban vertikal 12,03 kg terjadi penurunan sebesar 0,00900 m pada model simulasi I, pada model simulasi II penurunan terjadi sebesar 0,00887 serta sebesar 0,00716 m pada simulasi model III. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan jarak

pembebanan akibat beban vertikal terjadi pengurangan penurunan sebesar 1,47% pada model simulasi II, serta pada model simulasi III sebesar 25,70% terhadap model simulasi I.

Ditinjau dari tegangan yang terjadi terjadi peningkatan daya dukung sebesar 41,54% pada simulasi model II, pada model simulasi model III sebesar 44,21% dibandingkan dengan simulasi model I. Maka dapat disimpulkan dengan penambahan jarak pembebanan akibat beban vertikal mengakibatkan pengurangan penurunan dan peningkatan daya dukung.



Gambar 4.34 Kurva hubungan tegangan dan penurunan dengan bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*)

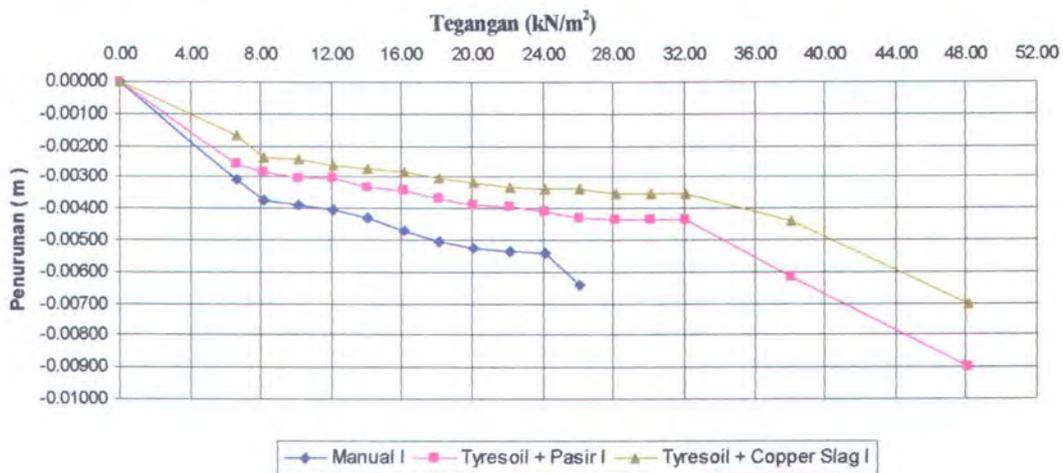
Hasil pengujian dibuat dalam bentuk hubungan antara tegangan dan penurunan. Dari Gambar 4.34 menunjukkan adanya perbedaan tegangan yang meningkat dan pengurangan penurunan seiring dengan penambahan jarak pembebanan pada perkuatan 2 lapis *tyresoil* dengan bahan pengisi *copper slag*. Jika dilihat dari Lampiran D.18 dengan beban vertikal 12,03 kg terjadi penurunan sebesar 0,00690 m pada model simulasi I, pada model simulasi II penurunan terjadi sebesar 0,00688 serta sebesar 0,00667 m pada simulasi model III. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan jarak pembebanan akibat beban vertikal terjadi pengurangan penurunan

sebesar 0,29% pada model simulasi II, serta pada model simulasi III sebesar 3,45% terhadap model simulasi I.

Ditinjau dari tegangan yang terjadi terjadi peningkatan daya dukung sebesar 1,16% pada simulasi model II, pada model simulasi model III sebesar 10,60% dibandingkan dengan simulasi model I. Maka dapat disimpulkan dengan penambahan jarak pembebanan akibat beban vertikal mengakibatkan pengurangan penurunan dan peningkatan daya dukung.

4.6.2 Hasil Pengujian di Laboratorium antara Model Perkuatan Lereng Tanpa *Tyresoil* dan Dengan *Tyresoil* dengan Material *Granuler* (Pasir dan *Copper Slag*) akibat Variasi Perkuatan

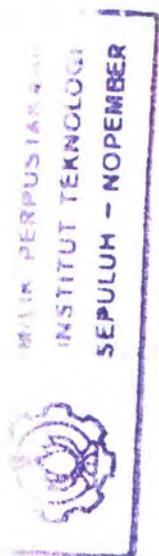
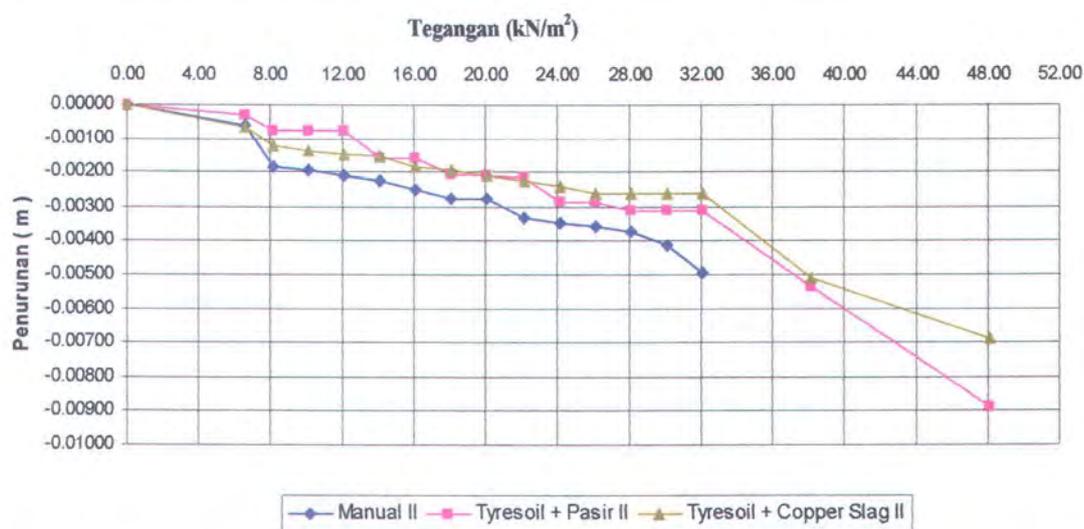
Berdasarkan Gambar 4.35 terlihat bahwa dengan adanya perkuatan lereng (*tyresoil*) terjadi peningkatan daya dukung, dan pengurangan, pada tegangan yang sama, terjadi perbedaan penurunan akibat perkuatan lereng dengan 2 lapis *tyresoil*, dengan bahan pengisi pasir maupun *copper slag*.



Gambar 4.35 Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa *tyresoil* dan dengan bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*) pada benda uji I

Fenomena ini sangat mungkin terjadi oleh karena penggunaan material *tyresoil* diasumsikan dapat menaikkan tahanan geser. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, pengurangan penurunan dan peningkatan daya dukung meningkat pula. Bila ditinjau dari penurunan yang terjadi pada tegangan 24,12 kN/m² terjadi perbedaan penurunan dari 0,00539 m menjadi 0,00441 m pada perkuatan *tyresoil* dengan bahan pengisi pasir, 0,00340 m pada perkuatan *tyresoil* dengan bahan pengisi *copper slag*. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perkuatan *tyresoil* dengan pasir mengakibatkan pengurangan penurunan sebesar 22,22%, dan 58,53% dengan menggunakan *tyresoil* dengan bahan pengisi *copper slag*.

Berdasarkan Gambar 4.36 terlihat bahwa dengan adanya perkuatan lereng terjadi peningkatan daya dukung, dan pengurangan, pada tegangan yang sama, terjadi perbedaan penurunan akibat perkuatan lereng dengan 2 lapis *tyresoil*, dengan bahan pengisi pasir maupun *copper slag*.

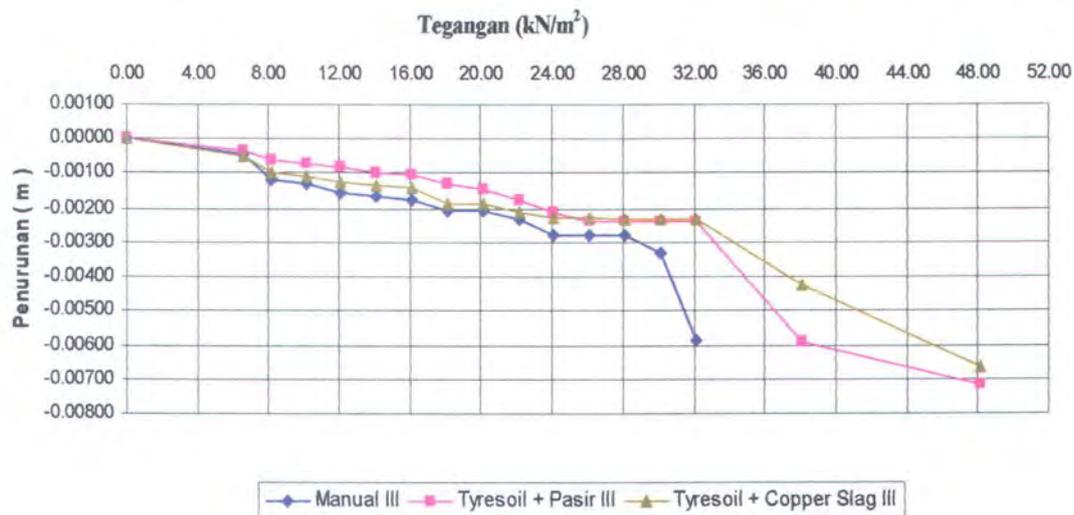


Gambar 4.36 Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa *tyresoil* dan dengan bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*) pada benda uji II

Fenomena ini sangat mungkin terjadi oleh karena penggunaan material *tyresoil* diasumsikan dapat menaikkan tahanan geser. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, pengurangan penurunan dan peningkatan daya dukung meningkat pula. Bila ditinjau dari penurunan yang terjadi pada tegangan 28,12 kN/m² terjadi perbedaan

penurunan dari 0,00372 m menjadi 0,00313 m pada perkuatan *tyresoil* dengan bahan pengisi pasir, 0,00262 m pada perkuatan *tyresoil* dengan bahan pengisi *copper slag*. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perkuatan *tyresoil* dengan pasir mengakibatkan pengurangan penurunan sebesar 18,85%, dan 41,98% dengan menggunakan *tyresoil* dengan bahan pengisi *copper slag*.

Berdasarkan Gambar 4.37 terlihat bahwa dengan adanya perkuatan lereng terjadi peningkatan daya dukung, dan pengurangan, pada tegangan yang sama, terjadi perbedaan penurunan akibat perkuatan lereng dengan 2 lapis *tyresoil*, dengan bahan pengisi pasir maupun *copper slag*.



Gambar 4.37 Kurva hubungan tegangan dan penurunan tanpa *tyresoil* dan dengan bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*) pada benda uji III

Fenomena ini sangat mungkin terjadi oleh karena penggunaan material *tyresoil* diasumsikan dapat menaikkan tahanan geser. Bila tahanan tanah terhadap geser meningkat, pengurangan penurunan dan peningkatan daya dukung meningkat pula. Bila ditinjau dari penurunan yang terjadi pada tegangan 26,12 kN/m² terjadi perbedaan penurunan dari 0,00359 m menjadi 0,00287 m pada perkuatan *tyresoil* dengan bahan pengisi pasir, 0,00260 m pada perkuatan *tyresoil* dengan bahan pengisi *copper slag*.

Maka dapat disimpulkan bahwa dengan adanya perkuatan *tyresoil* dengan pasir mengakibatkan pengurangan penurunan sebesar 25,09%, dan 38,07% dengan menggunakan *tyresoil* dengan bahan pengisi *copper slag*.

4.7 Penambahan Momen yang diterima oleh *Tyresoil*

Untuk mendapatkan keseimbangan yang baru, perlu diupayakan penanganan dengan mengubah dari salah satu gaya, yakni dengan menambah gaya penahan atau memperkecil gaya pendorong. Suatu lereng akan dikatakan aman jika faktor angka keamanan (*safety factor SF*) :

$$SF = \frac{M_R + \Delta M_R}{M_D} > 1 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

dimana :

ΔM_R = momen perlawanan tambahan yang diterima oleh rangkaian perkuatan *tyresoil*.

Jika $M_D = 1$ kN, maka momen perlawanan yang diterima oleh *tyresoil* untuk :

- | | |
|--|---------------------|
| a. TL + 2 Lap. TS + Pasir I | sebesar 12,342 kNm. |
| b. TL + 2 Lap. TS + Pasir II | sebesar 2,663 kNm. |
| c. TL + 2 Lap. TS + Pasir III | sebesar 1,960 kNm. |
| d. TL + 2 Lap. TS + <i>Copper slag</i> I | sebesar 12,351 kNm. |
| e. TL + 2 Lap. TS + <i>Copper slag</i> II | sebesar 2,705 kNm. |
| f. TL + 2 Lap. TS + <i>Copper slag</i> III | sebesar 2,003 kNm. |

BAB V



- KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian didapat faktor angka keamanan, daya dukung dan penurunan yang terjadi tanpa *tyresoil* dengan kondisi benda uji dalam keadaan kering sebagai berikut :

a. Percobaan di laboratorium

Model Simulasi Lereng	Daya dukung (kN/m ²)	Penurunan (m)
TL Manual I	25,45	0,006085
TL Manual II	30,42	0,004239
TL Manual III	31,64	0,005249

b. Hasil perhitungan program *PLAXIS*

Model Simulasi Lereng	Faktor angka keamanan (<i>SF</i>)	Daya dukung (kN/m ²)	Penurunan (m)
TL Manual I	4,837	26,40	3,06 x 10 ⁻⁷
TL Manual II	14,645	31,20	3,09 x 10 ⁻⁷
TL Manual III	15,348	32,79	2,94 x 10 ⁻⁷

2. Hasil penelitian didapat faktor angka keamanan, daya dukung, dan penurunan yang terjadi dengan 2 (dua) lapis bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*) dengan kondisi benda uji dalam keadaan kering.

a. Percobaan di laboratorium

Model Simulasi Lereng	Daya dukung (kN/m ²)	Penurunan (m)
TL + 2 Lap. TS + Pasir I	29,94	0,00469
TL + 2 Lap. TS + Pasir II	30,67	0,00370
TL + 2 Lap. TS + Pasir III	31,87	0,00371
TL + 2 Lap. TS + <i>copper slag</i> I	31,07	0,00381
TL + 2 Lap. TS + <i>copper slag</i> II	31,15	0,00346
TL + 2 Lap. TS + <i>copper slag</i> III	33,21	0,00330

b. Hasil perhitungan program *PLAXIS*

Model Simulasi Lereng	Faktor angka Keamanan (<i>SF</i>)	Daya dukung (kN/m ²)	Penurunan (m)
TL + 2 Lap. TS + Pasir I	17,179	30,56	4,35 x 10 ⁻⁷
TL + 2 Lap. TS + Pasir II	17,308	32,49	4,36 x 10 ⁻⁷
TL + 2 Lap. TS + Pasir III	17,308	34,10	4,22 x 10 ⁻⁷
TL + 2 Lap. TS + <i>copper slag</i> I	17,188	34,39	5,05 x 10 ⁻⁷
TL + 2 Lap. TS + <i>copper slag</i> II	17,350	35,51	5,03 x 10 ⁻⁷
TL + 2 Lap. TS + <i>copper slag</i> III	17,351	37,71	4,89 x 10 ⁻⁷

3. Pada percobaan perkuatan tanpa *tyresoil* didapat daya dukung dan penurunan pada manual I sebesar 25,45 kPa dan 0,006085 m, untuk manual II sebesar 30,42 kPa dan 0,004239 m, untuk manual III sebesar 31,64 kPa dan 0,005249 m.
4. Pada percobaan dengan menggunakan bahan komposit (*tyresoil* dan pasir maupun *tyresoil* dan *copper slag*) didapat nilai daya dukung dan penurunan. Pada perkuatan *tyresoil* dengan pasir didapat nilai dukung dan penurunan untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir I sebesar 29,94 kPa dan 0,00469 m, untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir II sebesar 30,67 kPa dan 0,00370 m, untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir III sebesar 31,87 kPa dan 0,003710 m. Pada perkuatan *tyresoil* dengan *copper slag* nilai daya dukung dan penurunan untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag* I sebesar 31,07 kPa dan 0,00381 m, untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag* II sebesar 31,15 kPa dan 0,00346 m, dan untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag* III sebesar 33,21 kPa dan 0,00330 m.
5. Peningkatan prosentase nilai daya dukung dan pengurangan penurunan yang terjadi pada percobaan dengan menggunakan *tyresoil* dengan pasir, untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir I sebesar 17,64 % dan 29,74%, untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir II sebesar 0,82% dan 15,94%, untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir III sebesar 0,72% dan 41,48%. Pada perkuatan *tyresoil* dengan *copper slag* nilai daya dukung dan penurunan untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag* I sebesar 22,08% dan 59,71%, untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag* II sebesar 2,40% dan 22,51%, dan untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag*

III sebesar 4,96% dan 59,06%. Terlihat bahwa peningkatan daya dukung dan pengurangan penurunan yang optimal terjadi pada perkuatan lereng dengan *tyresoil* dengan *copper slag* (TL + 2 Lap. TS + *copper slag* I), Fenomena ini kemungkinan disebabkan akibat penggunaan bahan komposit (*tyresoil* dan *copper slag*), dan jarak pembebanan akibat beban vertikal minimum dari tepi lereng yang menghasilkan penambahan nilai daya dukung. Fenomena ini juga disebabkan oleh peningkatan nilai kohesi pada material *copper slag* lebih besar dari pasir.

6. Hasil perhitungan dengan program *PLAXIS* menunjukkan bahwa perkuatan lereng dengan 2 lapis bahan komposit (*tyresoil* dengan material granuler : pasir dan *copper slag*) pada jarak pembebanan yang sama akibat beban vertikal mampu meningkatkan faktor angka keamanan lereng, nilai daya dukung, dan mengurangi penurunan yang terjadi. Kenaikkan faktor angka keamanan yang optimal terjadi pada perkuatan *tyresoil* dengan *copper slag* I sebesar 30,26%, sedangkan pengurangan penurunan terjadi sebesar 50,30%.
7. Hasil perhitungan *PLAXIS* menunjukkan penurunan ataupun peningkatan faktor angka keamanan, nilai daya dukung, dan penurunan yang terjadi akibat jarak pembebanan akibat beban vertikal. Pada hasil perhitungan *PLAXIS* ini pengurangan faktor angka keamanan terjadi akibat jarak pembebanan akibat beban vertikal pada manual II sebesar 202,77%, untuk manual III sebesar 217,30% terhadap model manual I. Pada perkuatan dengan menggunakan *tyresoil* dan pasir mengalami penurunan faktor angka keamanan untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir II sebesar 0,75% dan peningkatan faktor angka keamanan untuk TL + 2 Lap. TS + Pasir III sebesar 0,75% terhadap TL + 2 Lap. TS + Pasir I. Sedangkan pada perkuatan dengan *tyresoil* dengan *copper slag* mengalami peningkatan faktor angka keamanan untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag* II sebesar 0,94%, keamanan untuk TL + 2 Lap. TS + *copper slag* III sebesar 0,95% terhadap TL + 2 Lap. TS + *copper slag* I. Terlihat terjadi peningkatan faktor angka keamanan yang dipengaruhi oleh jarak pembebanan akibat beban vertikal. Fenomena ini terjadi pada simulasi model manual maupun dengan perkuatan *tyresoil* dan pasir kemungkinan disebabkan jarak untuk pembebanan yang lebih dekat dengan tepi lereng akan memperkecil faktor angka

keamanan lereng. Fenomena tersebut dapat diatasi meletakkan beban sejauh mungkin dari tepi lereng. Disamping itu dengan meningkatkan parameter material granuler yaitu nilai kohesi (c), sehingga akibat perpotongan bidang gelincir lereng dengan material komposit tidak mengurangi faktor angka keamanan sebaliknya akan meningkatkan faktor angka keamanan seperti yang terjadi pada perkuatan lereng dengan *copper slag*. Fenomena ini juga disebabkan oleh berat perkuatan lereng yang akan mempengaruhi nilai koefisien geser pada bidang gelincir lereng.

8. Hasil perhitungan program *PLAXIS* menunjukkan bahwa akibat penggunaan bahan komposit yaitu material granuler (pasir maupun *copper slag* I) dapat menambah pengaruh terhadap peningkatan angka faktor keamanan, daya dukung serta pengurangan penurunan yang terjadi, peningkatan faktor angka keamanan sebesar 255,34%, pengurangan daya dukung sebesar 30,26%, pengurangan penurunan sebesar 50,30%. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh material komposit yaitu *tyresoil* serta material granuler terjadi adanya peningkatan kuat geser dan kohesi.
9. Dari uraian diatas menunjukkan perbedaan nilai hasil akhir (*output*) baik nilai daya dukung dan besarnya penurunan pada percobaan di laboratorium maupun *output* perhitungan program *PLAXIS*. Hal ini disebabkan fenomena yang terjadi pada kestabilan lereng pada benda uji maupun simulasi model pada program *PLAXIS* berbeda. Pada percobaan di laboratorium benda uji dapat dikatakan tidak homogen, sedangkan simulasi model lereng pada program *PLAXIS* bahwa material benda uji dapat dikatakan homogen, sehingga perilaku dari tegangan yang ditimbulkan dalam tanah berbeda yang menghasilkan hasil akhir yang berbeda baik pada pengujian di laboratorium maupun pada *PLAXIS*.
10. Material *tyresoil* dengan bahan pengisi (*material granuler*) merupakan suatu material komposit. Kekuatan perkuatan ini terletak pada modulus Elastisitas bahan material ban, dengan menggunakan bahan pengisi berupa material granuler yang dapat berupa tanah, atau bahan lain yang lebih efektif, mudah didapat dan ekonomis. Penggunaan material granuler yang berbeda mengakibatkan pada

peningkatan gaya penahan yang dapat mempengaruhi faktor angka keamanan/stabilitas lereng. Hal ini disebabkan oleh parameter sifat fisik atau mekanik material granuler yang berbeda, yaitu kuat geser material granuler. Kuat geser material granuler dipengaruhi oleh komposisi mineral dan susunan (butiran) partikel pembentuk. Peningkatan kuat geser bahan/material granuler menyebabkan faktor angka keamanan akan meningkat pula, mengurangi *settlement* (compressibility) tanah dan meningkatkan daya dukung tanah serta menaikkan sifat mekanis lahan atau lereng. Material granuler menggunakan *copper slag*, disebabkan pemanfaatan limbah industri logam. Selain itu susunan partikel *copper slag* hampir sama dengan butiran pasir. Pada penelitian ini menggunakan pasir dan *copper slag* dengan kondisi kering, sehingga dapat membandingkan faktor angka keamanan yang terjadi dengan program *Plaxis*. Pada output program *Plaxis* diperoleh peningkatan faktor angka keamanan pada *copper slag* lebih besar dibandingkan dengan menggunakan pasir. Fenomena ini terjadi akibat nilai berat jenis (*specific gravity, Gs*) *copper slag* lebih besar daripada nilai *specific gravity* pasir. Semakin besar nilai *Gs* maka parameter kohesi dan sudut geser dalam akan semakin bertambah besar pula. Peningkatan kohesi dan sudut geser dalam dapat meningkatkan geseran antar partikel, dan sifat saling mengunci (*interlocking*) antar partikel, sehingga tahanan geser pada material *tyresoil* meningkat yang dapat meningkatkan faktor angka keamanan pula.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diajukan sebagai berikut :

1. Bahan komposit (*tyresoil* dan *material granuler*) sebagai perkuatan lereng dapat meningkatkan angka keamanan lereng terhadap kestabilan atau kelongsoran lereng. Penggunaan *tyresoil* sebagai struktur atau perkuatan tanah maupun lereng dapat dijadikan salah satu alternatif dalam upaya penanganan longsor melalui rekayasa geoteknik.

2. Perlu dilakukan percobaan dengan skala sebenarnya seperti kondisi lereng alam dengan ketinggian yang maksimal dan kemiringan yang terjal pada model uji di laboratorium sehingga didapatkan faktor angka keamanan yang kritis yang menyebabkan longsor dengan menggunakan *tyresoil* dan menggunakan setelah mengetahui kemampuan bahan komposit (*tyresoil* dan *material granuler*) sebagai perkuatan lereng.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan *tyresoil* dengan pengujian atau permodelan hujan (tetesan air) buatan dengan model uji di laboratorium terhadap parameter-parameter yang telah diuji saat ini. Sehingga mendapatkan kondisi kritis yang merupakan faktor utama penyebab tanah longsor. Dengan demikian dapat diketahui manfaat utama bahan komposit (*tyresoil* dan *material granuler*) terhadap keberadaan air yang memiliki peranan utama dalam stabilitas lereng.



DAFTAR PUSTAKA



DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E., 1991, **Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah**. Jakarta : Erlangga.
- Brinkgreve, R.B.J., dan P.A. Vermeer, 1998, "**PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analyses**", A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Cernica, John N., 1994, **Geotechnical Engineering : SOIL MECHANICS**, New York : John Wiley & Sons.
- DAS, B.M., 1998, **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)**, Terjemahan oleh: Noor Endah Mochtar dan Indrasurya B. Mochtar, Jakarta : Erlangga.
- Dunn, I.S., Anderson, L.R., dan Kiefer, F.W., 1992, **Dasar-dasar Analisis Geoteknik**, New York; John Wiley & Sons.
- Feriyanto, 2003, "**Perkuatan Tanah dengan Tyresoil pada Berbagai Tanah Kelempungan Jenuh untuk Penggunaan Pondasi Dangkal**", Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Indarto, et al, 2000, "**Penggunaan Tyresoil untuk Meningkatkan Daya Dukung dan Mengurangi Penurunan pada Tanah Lunak**", Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Kanok N., Worsak, Tingsanchali, Tawatchai, dan Bergado, Dennes, 2001, "Used Rubber Tires: Trash or Cash ?", **Asian Infrastructure**, November Vol. 3 No.2 : 9 - 14.
- Lambe, William T., dan Whitman Robert V., 1969, **Soil Mechanics**, New York : John Wiley & Sons.
- Lane, P.A., dan Griffiths, D.V., 2000, "Assessment of Stability of Slopes under Drawdown Conditions", **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, May : 443-450.
- Lareal, P. dan N.T. Long, 1988, "**Pneusol To Reduce Active Earth Pressure**", Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris.
- Long, N.T., 1984, "**Pneusol Tyresoil**", Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris.

- Long, N.T., et al, 1990, "**Characteristics Ang Uses of Pneusol Light Ground Fill**", Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, Paris.
- Michalowski, Radoslaw L., dan You Liangzhi, 200, "Displacements of Reinforced Slopes Subjected to Seismic Loads", **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Agustus : 635-684.
- Michalowski, Radoslaw L., 2000, "Secondary Reinforcement For Slope", **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Desember : 1166-1173.
- Sarasanty, Diah, 2004, "**Optimasi Gradasi Copper Slag Sebagai Agregat Halus Untuk Mendapatkan Beton Mutu Tinggi**", Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sungkar, Munira, 2002, "**Pengaruh Penggunaan Tyresoil Terhadap Daya dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Lempung Jenuh natural dan yang Ditambah Fly-ash (Dengan Uji Model di Laboratorium)**", Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Terzaghi, Karl, Peck, Ralph B., dan Mesri, Gholamreza, 1996, **Soil Mechanics in Engineering Practice**. Third Edition, New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Thanh Long Nguyen, 1990, **The Pneusol**. Serie Geotechnique GT 44, Paris : Laboratoire Central des Ponts et Chaussees.

LAMPIRAN A



- HASIL PENGUJIAN SIFAT FISIK
 - PERMEABILITAS
- TEGANGAN AIR PORI NEGATIF (*SUCTION*)

Lampiran A : Tabel 1

KADAR AIR (w), SPECIFIC GRAVITY (Gs) DAN BERAT VOLUME (γ_t)

KADAR AIR (w)

Nomor Test		1	2	3	4	5
No. Cawan		141	202	329	C-89	C-123
Berat cawan kosong	W_1 gr	42.60	40.45	46.20	40.55	43.85
Berat cawan + tanah basah	W_2 gr	106.10	107.90	96.20	93.95	116.50
Berat cawan + tanah kering	W_3 gr	81.70	82.10	77.30	73.60	89.00
Berat air	$W_4 = W_2 - W_3$ gr	24.40	25.80	18.90	20.35	27.50
Berat tanah Kering	$W_5 = W_3 - W_1$ gr	39.10	41.65	31.10	33.05	45.15
Kadar air, w	$w = (w_4/w_5) \times 100$ %	62.40	61.94	60.77	61.57	60.91
Kadar air rata-rata, w	%	61.52				

SPECIFIC GRAVITY (Gs)

Nomor Test		1	2	3	4
Nomor bejana volumetri		9	24	30	62
Berat bejana volumetri	W_1 gr	121.65	134.05	108.15	125.60
Berat bejana volumetri + tanah	W_2 gr	174.50	193.00	167.25	185.05
Berat volumetri + air	W_3 gr	369.75	382.30	356.50	373.85
Berat volumetri + tanah + air	W_4 gr	402.60	418.90	393.40	411.00
Berat tanah kering	$W_5 = W_2 - W_1$ gr	52.85	58.95	59.10	59.45
Temperatur campuran	T_1 °C	29.00	29.50	29.00	29.50
Specific gravity pada $G_s(T_1^0C)$	$G_s = W_5 / \{(W_3 + W_5) - W_4\}$	2.6425	2.6376	2.6622	2.6659
Koreksi, A		0.9954	0.9953	0.9954	0.9953
Specific Gravity pada $T=20^0C$	$G_s(T_1^0C) = G_s(T_1^0C) \times A$	2.63	2.63	2.65	2.65
Specific Gravity, G_s rata-rata		2.640			

BERAT VOLUME (γ_t)

Nomor Test		1	2	3
Nomor cawan		C-110	C-78	326
Berat cawan	W_1 gr	49.70	43.90	38.87
Berat cawan + Tanah	W_2 gr	67.85	60.50	57.00
Berat tanah basah	$W_3 = W_2 - W_1$ gr	18.15	16.60	18.13
Berat mangkok peluber	W_4 gr	40.60	40.60	40.60
Berat raksa + mangkok peluber	W_5 gr	210.60	186.40	210.20
Berat Hg yang dipindahkan	$W_6 = W_5 - W_4$ gr	170.00	145.80	169.60
Volume tanah	$V = W_6 / 13.6$ cm ³	12.500	10.721	12.471
Berat volume tanah	$\gamma_t = W_3 / V$ gr/cm ³	1.452	1.548	1.454
Berat volume tanah, γ_t rata-rata	gr/cm³	1.485		

PARAMETER LAINNYA

Angka Pori, e	$e = \{[(1+w)G_s \gamma_w] / \gamma_{p1}\} - 1$	1.8715
Porositas, n	$n = e / (1+e)$	0.6517
Derajat Kejenuhan, Sr	$Sr = (w\% \times G_s) / e$ %	86.78



Lampiran A: Tabel 2

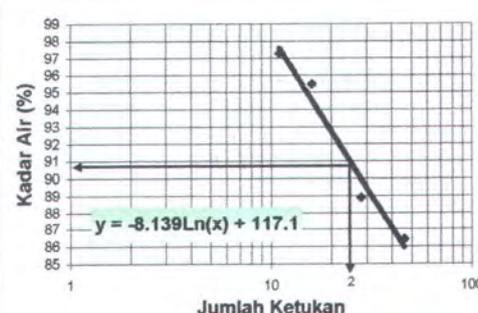
HASIL UJI ATTERBERG LIMITS

Pelaksana : Temmy Apriandono	
Proyek : Tugas Akhir 2004	
Lokasi : Gunung Kawi	

LIQUID LIMIT TEST					
		1	2	3	4
No. Cawan		338	312	C-110	326
Berat cawan kosong	W_1	gr 47.75	40.12	48	38.87
Berat cawan + tanah basah	W_2	gr 65.8	58.75	65	62.6
Berat tanah basah	$W_3 = W_2 - W_1$	gr 18.05	18.63	17.00	23.73
Berat cawan + tanah kering	W_4	gr 56.9	49.65	57	51.6
Berat tanah kering	$W_5 = W_4 - W_1$	gr 9.15	9.53	9.00	12.73
Berat air	$W_6 = W_3 - W_5$	gr 8.90	9.10	8.00	11.00
Kadar air	$W_c = W_6 / W_5$	% 97.27	95.49	88.89	86.41
Jumlah pukulan	N kali	11	16	28	46
Liquid Limit	%	90.9			

PLASTIC LIMIT TEST		
No. Cawan		
Berat cawan kosong	W_1	gr 43.95 41.8
Berat cawan + tanah basah	W_2	gr 56.6 52.7
Berat tanah basah	$W_3 = W_2 - W_1$	gr 12.65 10.90
Berat cawan + tanah kering	W_4	gr 51.7 48.5
Berat tanah kering	$W_5 = W_4 - W_1$	gr 7.75 6.70
Berat air	$W_6 = W_3 - W_5$	gr 4.90 4.20
Kadar air	$W_c = W_6 / W_5$	% 63.23 62.69
Plastic limit, W_c rata-rata	PL	% 62.96

SHRINKAGE LIMIT TEST				
No. Cawan		3	4	5
Berat cawan logam	W_1	gr 19.8	18.5	16.7
Berat cawan + tanah basah	W_2	gr 42.1	41.4	39.05
Berat tanah basah	$W_3 = W_2 - W_1$	gr 22.30	22.90	22.35
Berat cawan + tanah kering	W_4	gr 29.3	28.25	26.3
Berat tanah kering	$W_5 = W_4 - W_1$	gr 9.50	9.75	9.60
Berat air	$W_6 = W_3 - W_5$	gr 12.80	13.15	12.75
Kadar air	$W_c = W_6 / W_5$	% 134.74	134.87	132.81
Brt cawan logam + Hg	W_7	gr 244.8	245.8	240.3
Berat Hg	$W_8 = W_7 - W_1$	gr 225.00	227.30	223.60
Brt mangkok peluberan	W_9	gr 40.6	40.6	40.6
Berat Hg + peluber	W_{10}	gr 124.9	124.5	123.5
Berat Hg yang luber	$W_{11} = W_{10} - W_9$	gr 84.30	83.90	82.90
$w = \{(w_8 - w_{11}) / (13.6w_5)\} \times 100\%$	%	108.90	108.14	107.77
Shrinkage Limit	SL = $W_c - w$	% 25.84	26.73	25.05
Shrinkage Limit rata-rata	SL	% 25.87		



PI : 27.94 %

Lampiran A : Tabel 3

UJI GRADASI BUTIRAN

Proyek : Tugas Akhir 2004
 Jenis tanah : Tanah Lanau Gunung Kawi

A. ANALISA AYAKAN

Berat total : 230 gram

Ayakan No. - ϕ (mm)	Berat tertahan	Berat lolos (gr)	% Berat tertahan	% Berat lolos	% Komulatif	
					tertahan	lolos
3" - 75						
2" - 50						
1" - 25						
3/4" - 18						
3/8" - 9.5						
4 - 4.75						
10 - 2.0						
20 - 0.85	0.14	229.86	0.061	99.939	0.061	99.939
40 - 0.425	0.24	229.62	0.104	99.835	0.165	99.835
60 - 0.25						
100 - 0.15	29.7	199.92	12.913	86.922	13.078	86.922
120 - 0.125						
200 - 0.075	14	185.92	6.087	80.835	19.165	80.835
Pan						

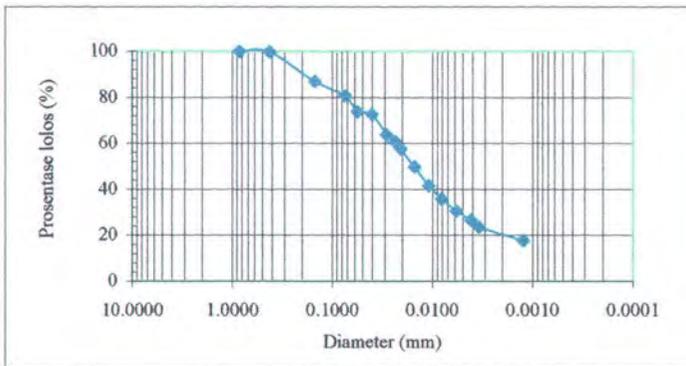
B. ANALISA HIDROMETER

Berat total : 50 gram

a = 1.002301

Gs : 2.64

Waktu (menit)	Suhu ($^{\circ}$ C)	Ra	Rep	Rcl	L cm	L/t	A	% butiran halus	D (mm)
0.5	30	33.0	36.8	34.0	10.70	21.40	0.0122	73.77	0.0564
1	30	32.5	36.3	33.5	10.80	10.80	0.0122	72.77	0.0401
2	30	28.0	31.8	29.0	11.10	5.55	0.0122	63.75	0.0287
3	30	26.5	30.3	27.5	11.35	3.78	0.0122	60.74	0.0237
4	30	25.0	28.8	26.0	11.60	2.90	0.0122	57.73	0.0208
8	30	21.0	24.8	22.0	12.20	1.53	0.0122	49.71	0.0151
16	30	17.0	20.8	18.0	12.90	0.81	0.0122	41.70	0.0110
30	30	14.0	17.8	15.0	13.40	0.45	0.0122	35.68	0.0082
60	30	11.5	15.3	12.5	13.80	0.23	0.0122	30.67	0.0059
120	30	9.5	13.3	10.5	14.10	0.12	0.0122	26.66	0.0042
180	30	8.0	11.8	9.0	14.40	0.08	0.0122	23.65	0.0035
1440	30	5.0	8.8	6.0	14.90	0.01	0.0122	17.64	0.0012



Kerikil = 0.00 %
 Pasir = 20.00 %
 Lanau = 52.00 %
 Lempung = 28.00 %

Lolos # 4 = 0.00 %
 Lolos # 10 = 0.00 %
 Lolos # 20 = 99.94 %
 Lolos # 40 = 99.83 %
 Lolos # 100 = 86.92 %
 Lolos # 200 = 80.83 %

Lampiran A : Tabel 4

KOEFISIEN REMBESAN (k)

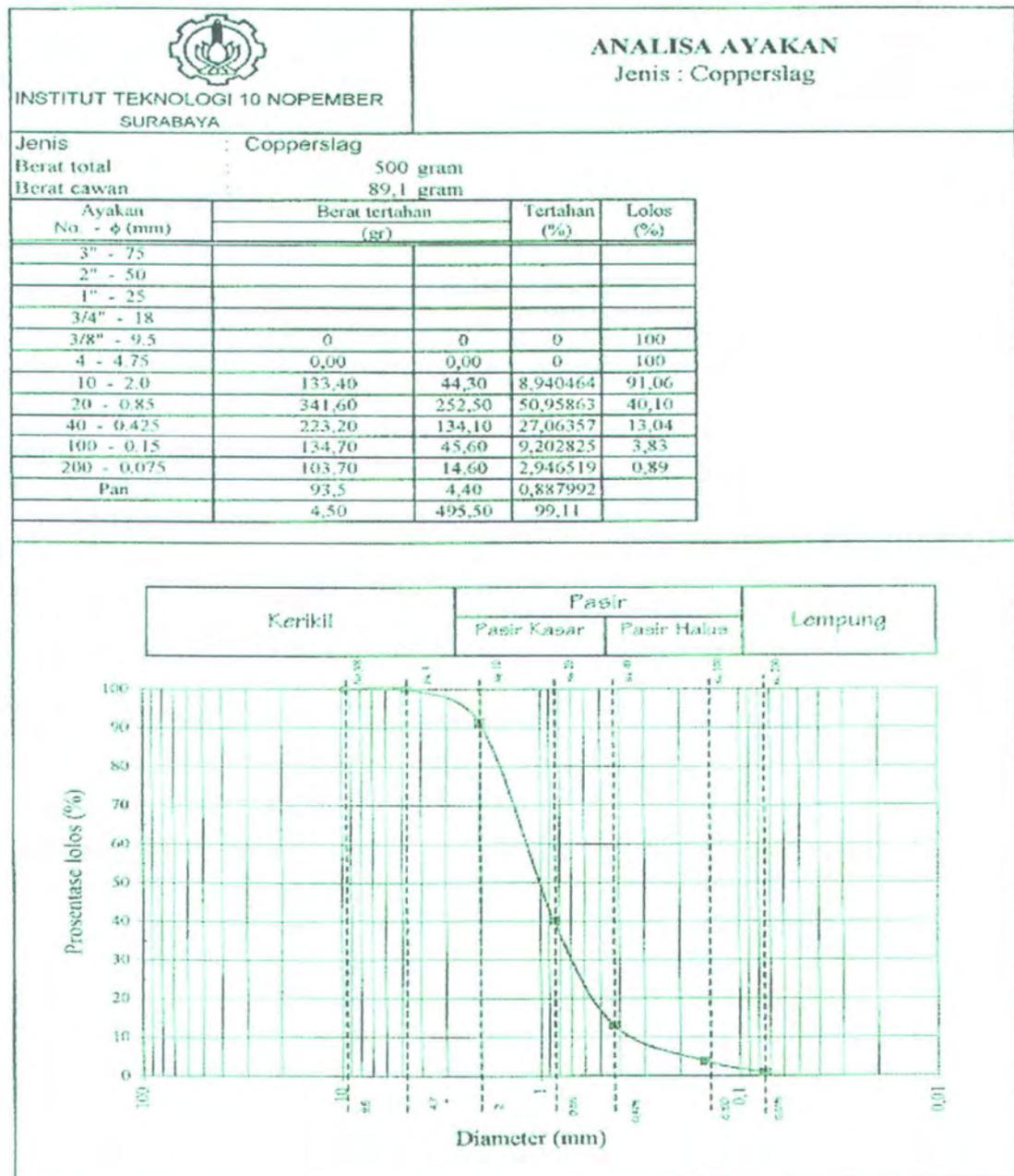
Uji Tinggi Jatuh

$$k = 2,303 \times \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

Dimensi sampel	:		Buret	:				
Diameter, D	:	5.62 cm	Diameter, D	:	1.435 cm			
Panjang, L	:	2.45 cm	Luas, A	:	1.617 cm ²			
Luas, A	:	24.806 cm ²						

Waktu Pengamatan	Lama Pengamatan	Lama Pengamatan		Pembacaan Burret		Tinggi Jatuh (cm)		Koefisien Rembesan, k cm/detik
		menit	detik	Strip	cm	awal	akhir	
						h1	h2	
25 Okt. 03	15.30 - 17.40	130	7800	50	5.75	92	86.25	1.3219E-06
25 Okt. 03	18.15 - 05.02	647	38820	200	23	86.25	63.25	1.2764E-06
26 Okt. 03	05.07 - 08.27	200	12000	74	8.51	92	83.49	1.2922E-06
26 Okt 03	08.30 - 12.50	260	15600	93	10.695	92	81.305	1.2656E-06
26 Okt. 03	12.50 - 19.00	370	22200	120	13.8	81.305	67.505	1.3386E-06
27 Okt. 03	8	480	28800	157	18.055	92	73.945	1.2119E-06
Koefisien rembesan rata-rata, k (cm/detik)								1.2844E-06

Lampiran A : Tabel 5



Lampiran A : Tabel 6

 INSTITUT TEKNOLOGI 10 NOPEMBER SURABAYA		PENGUJIAN SPECIFIC GRAVITY (Gs) Jenis Pengujian : Pasir, Copperslag	
PASIR			
Nomor Test		1	2
Berat pikno + air	W1 gr	332,40	332,20
Berat pikno + tanah + air	W2 gr	365,70	364,00
Berat tanah kering	W3 gr	50,00	50,00
Temperatur campuran air + tanah	T1 °C	28,00	28,00
GS pada T1 °C	$W4 = W3 / (W1 + W3) - W2$	2,99	2,75
Koreksi, A		0,998	0,998
Specific Gravity pada T=20°C	$G_s (20^{\circ}C) = G_s (T1^{\circ}C) \times A$	2,99	2,74
Specific Gravity, Gs rata-rata		2,865	
COPPERSLAG			
Nomor Test		1	2
Berat pikno + air	W1 gr	332,30	367,80
Berat pikno + tanah + air	W2 gr	369,70	404,30
Berat tanah kering	W3 gr	50,00	50,00
Temperatur campuran air + tanah	T1 °C	28,00	28,00
GS pada T1 °C	$W4 = W3 / (W1 + W3) - W2$	3,97	3,70
Koreksi, A		1,00	1,00
Specific Gravity pada T=20°C	$G_s (20^{\circ}C) = G_s (T1^{\circ}C) \times A$	3,96	3,70
Specific Gravity, Gs rata-rata		3,828	

LAMPIRAN B



- HASIL PENGUJIAN GESER LANGSUNG
KONDISI SIMULASI MODEL LERENG

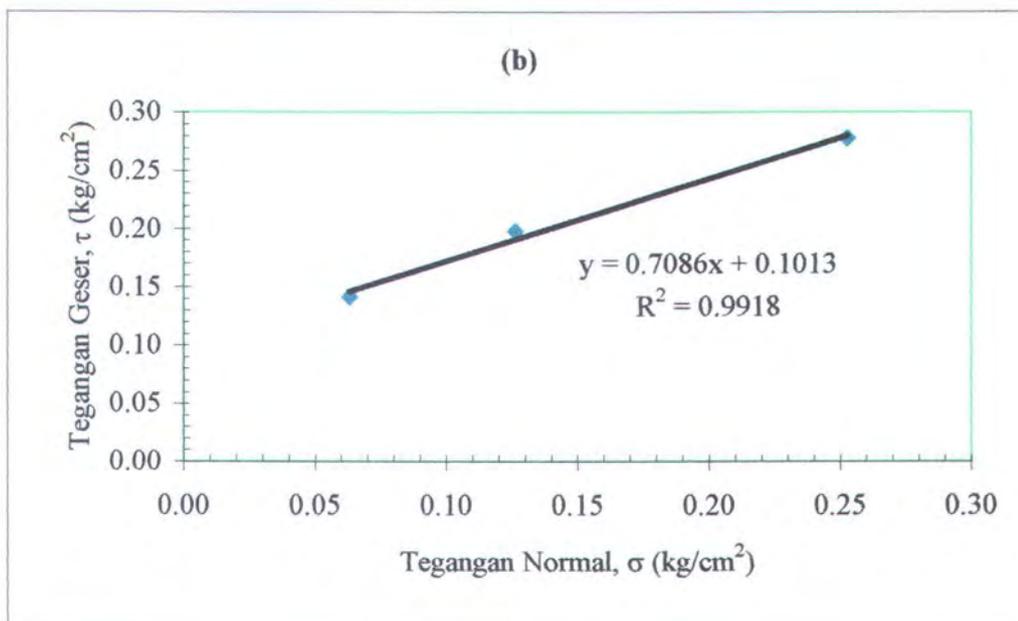
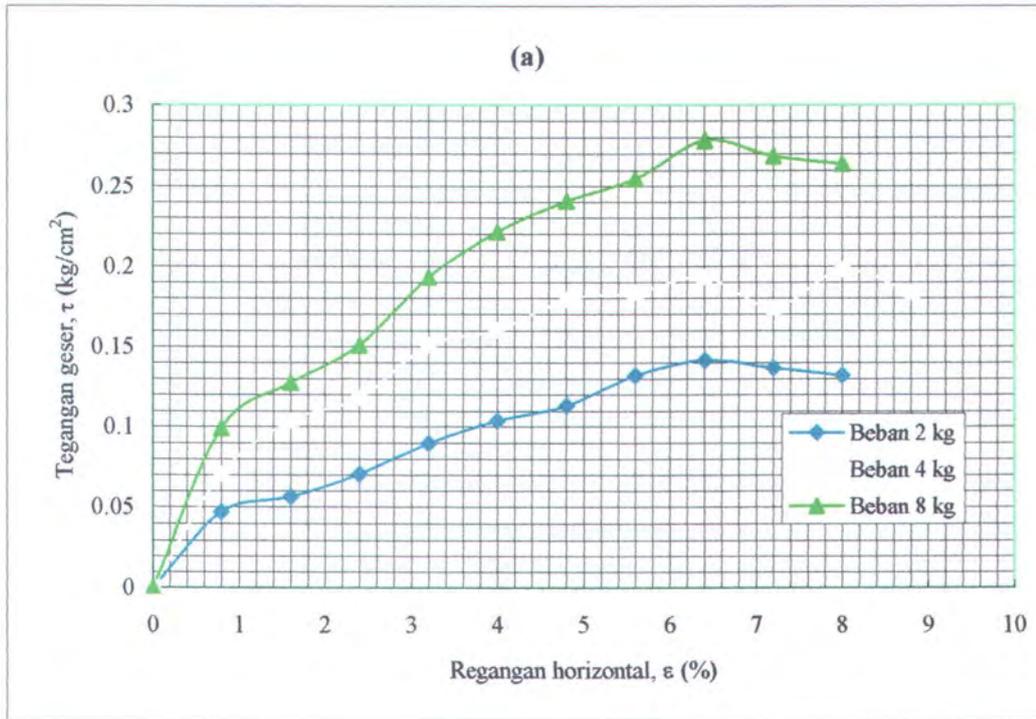
Lampiran B : Tabel 1

PERHITUNGAN TEGANGAN GESER DAN DISPLACEMENT HORIZONTAL BENDA UJI

Sampel	I11	I12	I13	displ. horoztl %	I11	I12	I13
Beban (kg)	2	4	8		2	4	8
Pemb. dial horiztl	Pembacaan Dial Beban			0	Tegangan geser kg/cm ²		
0	0	0	0		0	0	0
20	8	13	19	0.80	0.047	0.071	0.099
40	10	20	25	1.60	0.057	0.104	0.127
60	13	23	30	2.40	0.071	0.118	0.151
80	17	30	39	3.20	0.090	0.151	0.193
100	20	32	45	4.00	0.104	0.160	0.222
120	22	36	49	4.80	0.113	0.179	0.240
140	26	37	52	5.60	0.132	0.184	0.255
160	28	39	57	6.40	0.141	0.193	0.278
180	27	35	55	7.20	0.137	0.174	0.269
200	26	40	54	8.00	0.132	0.198	0.264
220		37		8.80		0.184	
Tegangan Geser (kg/cm²)					0.1414	0.1980	0.2781
Tegangan Normal (kg/cm²)					0.0632	0.1264	0.2528

Lampiran B.1 :

KONDISI MODEL SIMULASI LERENG



Gambar B.1 (a). Grafik hubungan tegangan geser dengan displasemen horizontal dan
(b). Grafik hubungan tegangan geser dengan tegangan normal

Lampiran B : Tabel 2

Proyek	: Tugas Akhir <i>Tyresoil '2004</i>	Tanggal Pengujian	: 07 Maret 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

TES KADAR AIR TANAH UJI GESER LANGSUNG Beban 2 Kg.
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan		295
Berat cawan	(W1) gram	49.1
Berat cawan + tanah basah	(W2) gram	163.7
Berat cawan + tanah kering	(W3) gram	124.7
Berat air	(Ww) gram	39
Berat tanah kering	(Ws) gram	75.6
Kadar air	(%)	51.59
Kadar air rata-rata	(%)	51.59

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulann :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata sebesar 51,59 %.

Lampiran B : Tabel 3

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 07 Maret 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

TES KADAR AIR TANAH UJI GESER LANGSUNG Beban 4 Kg.
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan		286
Berat cawan	(W1) gram	48.7
Berat cawan + tanah basah	(W2) gram	176.3
Berat cawan + tanah kering	(W3) gram	132.8
Berat air	(Ww) gram	43.50
Berat tanah kering	(Ws) gram	84.1
Kadar air	(%)	51.72
Kadar air rata-rata	(%)	51.72

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulann :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata sebesar 51,72 %.



Lampiran B : Tabel 4

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 07 Maret 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

TES KADAR AIR TANAH UJI GESER LANGSUNG Beban 8 Kg.	
(ASTM D 2216 - 80)	

No. Cawan	333
Berat cawan (W1) gram	47.5
Berat cawan + tanah basah (W2) gram	175.4
Berat cawan + tanah kering (W3) gram	131.9
Berat air (Ww) gram	43.5
Berat tanah kering (Ws) gram	84.4
Kadar air (%)	51.54
Kadar air rata-rata (%)	51.54

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulann :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata sebesar 51,54 %.

LAMPIRAN C



- KONTROL KADAR AIR MODEL SIMULASI LERENG

Lampiran C : Tabel 1

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (Manual I)
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan	202	302
Berat cawan (W1) gram	40.10	43.10
Berat cawan + tanah basah (W2) gram	71.80	78.70
Berat cawan + tanah kering (W3) gram	61.00	66.50
Berat air (Ww) gram	10.80	12.20
Berat tanah kering (Ws) gram	20.90	23.40
Kadar air (%)	51.67	52.14
Kadar air rata-rata (%)	51.91	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (**Manual I**) sebesar 51.91 %.

Ket : Manual I : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 0 cm. (Tanpa Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 2

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (*Manual II*)
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan	79	C 99
Berat cawan (W1) gram	35.80	42.70
Berat cawan + tanah basah (W2) gram	71.00	75.70
Berat cawan + tanah kering (W3) gram	59.10	64.50
Berat air (Ww) gram	11.90	11.20
Berat tanah kering (Ws) gram	23.30	21.80
Kadar air (%)	51.07	51.38
Kadar air rata-rata (%)	51.22	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (*Manual II*) sebesar 51.22 %.

Ket : *Manual II* : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 5 cm. (Tanpa Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 3

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (*Manual III*)
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan	C 165	37
Berat cawan (W1) gram	46.50	31.20
Berat cawan + tanah basah (W2) gram	83.90	76.60
Berat cawan + tanah kering (W3) gram	71.35	60.80
Berat air (Ww) gram	12.55	15.80
Berat tanah kering (Ws) gram	24.85	29.60
Kadar air (%)	50.50	53.38
Kadar air rata-rata (%)	51.94	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (*Manual III*) sebesar 51.94 %.

Ket : *Manual III* : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 10 cm. (Tanpa Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 4

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (Perkuatan Pasir I)			
(ASTM D 2216 - 80)			
No. Cawan		C 89	C 54
Berat cawan	(W1) gram	40.30	42.40
Berat cawan + tanah basah	(W2) gram	71.60	83.60
Berat cawan + tanah kering	(W3) gram	60.80	69.80
Berat air	(Ww) gram	10.80	13.80
Berat tanah kering	(Ws) gram	20.50	27.40
Kadar air	(%)	52.68	50.36
Kadar air rata-rata	(%)	51.52	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (Perkuatan Pasir I) sebesar 51.52 %.

Ket : Perkuatan Pasir I : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 0 cm. (Dengan Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 5

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (Perkuatan Pasir II)
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan	SOX	C 54
Berat cawan (W1) gram	49.80	42.60
Berat cawan + tanah basah (W2) gram	83.00	93.25
Berat cawan + tanah kering (W3) gram	71.80	75.80
Berat air (Ww) gram	11.20	17.45
Berat tanah kering (Ws) gram	22.00	33.20
Kadar air (%)	50.91	52.56
Kadar air rata-rata (%)	51.73	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (Perkuatan Pasir II) sebesar 51.73 %.

Ket : Perkuatan Pasir II : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 5 cm. (Dengan Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 6

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (Perkuatan Pasir III)			
(ASTM D 2216 - 80)			
No. Cawan		SOX	C 54
Berat cawan	(W1) gram	49.80	42.60
Berat cawan + tanah basah	(W2) gram	83.00	93.25
Berat cawan + tanah kering	(W3) gram	71.80	75.80
Berat air	(Ww) gram	11.20	17.45
Berat tanah kering	(Ws) gram	22.00	33.20
Kadar air	(%)	50.91	52.56
Kadar air rata-rata	(%)	51.73	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (Perkuatan Pasir III) sebesar 51.73 %.

Ket : Perkuatan Pasir III : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 10 cm. (Dengan Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 6

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (Perkuatan Pasir III)
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan	SOX	C 54
Berat cawan (W1) gram	49.80	42.60
Berat cawan + tanah basah (W2) gram	83.00	93.25
Berat cawan + tanah kering (W3) gram	71.80	75.80
Berat air (Ww) gram	11.20	17.45
Berat tanah kering (Ws) gram	22.00	33.20
Kadar air (%)	50.91	52.56
Kadar air rata-rata (%)	51.73	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulann :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (Perkuatan Pasir III) sebesar 51.73 %.

Ket : Perkuatan Pasir III : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 10 cm. (Dengan Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 7

Proyek	: Tugas Akhir <i>Tyresoil '2004</i>	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG(<i>Perkuatan Copper Slag I</i>)			
(ASTM D 2216 - 80)			
No. Cawan		C 91	212
Berat cawan	(W1) gram	42.80	48.50
Berat cawan + tanah basah	(W2) gram	64.40	77.60
Berat cawan + tanah kering	(W3) gram	57.00	67.70
Berat air	(Ww) gram	7.40	9.90
Berat tanah kering	(Ws) gram	14.20	19.20
Kadar air	(%)	52.11	51.56
Kadar air rata-rata	(%)	51.84	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (*Perkuatan Copper Slag I*) sebesar 51.84 %.

Ket : *Perkuatan Copper Slag I* : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 0 cm. (Dengan *Perkuatan Lereng*)

Lampiran C : Tabel 8

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (Perkuatan Copper Slag II)			
(ASTM D 2216 - 80)			
No. Cawan		332	181
Berat cawan	(W1) gram	47.20	42.40
Berat cawan + tanah basah	(W2) gram	77.70	74.50
Berat cawan + tanah kering	(W3) gram	67.40	63.60
Berat air	(Ww) gram	10.30	10.90
Berat tanah kering	(Ws) gram	20.20	21.20
Kadar air	(%)	50.99	51.42
Kadar air rata-rata	(%)	51.20	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (Perkuatan Copper Slag II) sebesar 51.20 %.

Ket : Perkuatan Copper Slag II : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 5 cm. (Dengan Perkuatan Lereng)

Lampiran C : Tabel 9

Proyek	: Tugas Akhir Tyresoil '2004	Tanggal Pengujian	: 06 Mei 2004
Lokasi	: Gunung Kawi - Malang	Dikerjakan	: Temmy Apriandono
Jenis Tanah	: Lanau	Diperiksa	: -

CEK KADAR AIR MODEL LERENG (Perkuatan Copper Slag III)
(ASTM D 2216 - 80)

No. Cawan	C 71	295
Berat cawan (W1) gram	42.80	49.20
Berat cawan + tanah basah (W2) gram	79.70	75.35
Berat cawan + tanah kering (W3) gram	67.00	66.50
Berat air (Ww) gram	12.70	8.85
Berat tanah kering (Ws) gram	24.20	17.30
Kadar air (%)	52.48	51.16
Kadar air rata-rata (%)	51.82	

Keterangan :

Ww = W2 - W3
Ws = W3 - W1
Kadar air = (Ww/Ws) x 100%

Kesimpulan :

Dari hasil pengujian didapat kadar air rata-rata (Perkuatan Copper Slag II) sebesar 51.82 %.

Ket : Perkuatan Copper Slag III : $\beta = 80^\circ$, H = 25 cm, d = 10 cm. (Dengan Perkuatan Lereng)

LAMPIRAN D



- HASIL PENGUJIAN DAN PEMBEBANAN DI LABORATORIUM

TABEL D.1 Tabel Hasil Pengujian Pembebanan Model Lereng di Laboratorium Untuk Tanah Lanau Dengan Tidak Menggunakan Perkuatan Lereng

Tegangan (kN/m ²)	Penurunan		
	Manual I (m)	Manual II (m)	Manual III (m)
0.00	0.00000	0.00000	0.00000
6.60	-0.00309	-0.00060	-0.00046
8.12	-0.00373	-0.00185	-0.00120
10.12	-0.00389	-0.00195	-0.00127
12.12	-0.00403	-0.00208	-0.00156
14.12	-0.00429	-0.00225	-0.00164
16.12	-0.00471	-0.00250	-0.00174
18.12	-0.00506	-0.00273	-0.00205
20.12	-0.00527	-0.00275	-0.00207
22.12	-0.00534	-0.00334	-0.00232
24.12	-0.00539	-0.00349	-0.00278
26.12	-0.00643	-0.00359	-0.00280
28.12		-0.00372	-0.00282
30.12		-0.00411	-0.00331
32.12		-0.00497	-0.00586

Ket :

I → $\beta = 80^\circ$, h = 25 cm, d = 0 cm.

II → $\beta = 80^\circ$, h = 25 cm, d = 5 cm.

III → $\beta = 80^\circ$, h = 25 cm, d = 10 cm.



TABEL D.2 Tabel Hasil Pengujian Pembebanan Model Lereng di Laboratorium Untuk Tanah Lanau Dengan Menggunakan Perkuatan Lereng Tyresoil + Pasir

Tegangan (kN/m^2)	Penurunan		
	Tyresoil + Pasir I (m)	Tyresoil + Pasir II (m)	Tyresoil + Pasir III (m)
0.00	0.00000	0.00000	0.00000
6.60	-0.00256	-0.00029	-0.00035
8.12	-0.00282	-0.00078	-0.00061
10.12	-0.00301	-0.00078	-0.00072
12.12	-0.00305	-0.00078	-0.00084
14.12	-0.00336	-0.00159	-0.00100
16.12	-0.00345	-0.00159	-0.00101
18.12	-0.00370	-0.00203	-0.00129
20.12	-0.00387	-0.00210	-0.00145
22.12	-0.00396	-0.00212	-0.00176
24.12	-0.00411	-0.00287	-0.00214
26.12	-0.00431	-0.00287	-0.00237
28.12	-0.00436	-0.00313	-0.00239
38.12	-0.00617	-0.00536	-0.00593
48.12	-0.00900	-0.00887	-0.00716

Ket :

I $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm.

II $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm.

III $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm.

TABEL D.3 Tabel Hasil Pengujian Pembebanan Model Lereng di Laboratorium Untuk Tanah Lanau Dengan Menggunakan Perkuatan Lereng *Tyresoil + Copper Slag*

Tegangan (kN/m^2)	Penurunan		
	<i>Tyresoil + Copper Slag</i> I (m)	<i>Tyresoil + Copper Slag</i> II (m)	<i>Tyresoil + Copper Slag</i> III (m)
0.00	0.00000	0.00000	0.00000
6.60	-0.00167	-0.00064	-0.00049
8.12	-0.00236	-0.00122	-0.00097
10.12	-0.00240	-0.00139	-0.00110
12.12	-0.00261	-0.00148	-0.00122
14.12	-0.00275	-0.00155	-0.00133
16.12	-0.00281	-0.00186	-0.00139
18.12	-0.00301	-0.00195	-0.00186
20.12	-0.00316	-0.00207	-0.00188
22.12	-0.00334	-0.00223	-0.00212
24.12	-0.00340	-0.00240	-0.00226
26.12	-0.00340	-0.00260	-0.00229
28.12	-0.00356	-0.00262	-0.00231
38.12	-0.00441	-0.00510	-0.00425
48.12	-0.00702	-0.00688	-0.00667

Ket :

I $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm.

II $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm.

III $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm.

TABEL D.4 Tabel Hasil Pengujian Pembebanan Model Lereng di Laboratorium Untuk Tanah Lanau Dengan Model Lereng I

Tegangan (kN/m^2)	Penurunan		
	Manual I (m)	Tyresoil + Pasir I (m)	Tyresoil + Copper Slag I (m)
0.00	0.00000	0.00000	0.00000
6.60	-0.00309	-0.00256	-0.00167
8.12	-0.00373	-0.00282	-0.00236
10.12	-0.00389	-0.00301	-0.00240
12.12	-0.00403	-0.00305	-0.00261
14.12	-0.00429	-0.00336	-0.00275
16.12	-0.00471	-0.00345	-0.00281
18.12	-0.00506	-0.00370	-0.00301
20.12	-0.00527	-0.00387	-0.00316
22.12	-0.00534	-0.00396	-0.00334
24.12	-0.00539	-0.00411	-0.00340
26.12	-0.00643	-0.00431	-0.00340
28.12		-0.00436	-0.00356
30.12		-0.00436	-0.00356
32.12		-0.00436	-0.00356
38.12		-0.00617	-0.00441
48.12		-0.00900	-0.00702

Ket :

I \rightarrow $\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm.

TABEL D.5 Tabel Hasil Pengujian Pembebanan Model Lereng di Laboratorium Untuk Tanah Lanau Dengan Model Lereng II

Tegangan (kN/m^2)	Penurunan		
	Manual II (m)	Tyresoil + Pasir II (m)	Tyresoil + Copper Slag II (m)
0.00	0.00000	0.00000	0.00000
6.60	-0.00060	-0.00029	-0.00064
8.12	-0.00185	-0.00078	-0.00122
10.12	-0.00195	-0.00078	-0.00139
12.12	-0.00208	-0.00078	-0.00148
14.12	-0.00225	-0.00159	-0.00155
16.12	-0.00250	-0.00159	-0.00186
18.12	-0.00273	-0.00203	-0.00195
20.12	-0.00275	-0.00210	-0.00207
22.12	-0.00334	-0.00212	-0.00223
24.12	-0.00349	-0.00287	-0.00240
26.12	-0.00359	-0.00287	-0.00260
28.12	-0.00372	-0.00313	-0.00262
30.12	-0.00411	-0.00313	-0.00262
32.12	-0.00497	-0.00313	-0.00262
38.12		-0.00536	-0.00510
48.12		-0.00887	-0.00688

Ket :

II $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25 \text{ cm}$, $d = 5 \text{ cm}$.

TABEL D.6 Tabel Hasil Pengujian Pembebanan Model Lereng di Laboratorium Untuk Tanah Lanau Dengan Model Lereng III

Tegangan (kN/m^2)	Penurunan		
	Manual III (m)	Tyresoil + Pasir III (m)	Tyresoil + Copper Slag III (m)
0.00	0.00000	0.00000	0.00000
6.60	-0.00046	-0.00035	-0.00049
8.12	-0.00120	-0.00061	-0.00097
10.12	-0.00127	-0.00072	-0.00110
12.12	-0.00156	-0.00084	-0.00122
14.12	-0.00164	-0.00100	-0.00133
16.12	-0.00174	-0.00101	-0.00139
18.12	-0.00205	-0.00129	-0.00186
20.12	-0.00207	-0.00145	-0.00188
22.12	-0.00232	-0.00176	-0.00212
24.12	-0.00278	-0.00214	-0.00226
26.12	-0.00280	-0.00237	-0.00229
28.12	-0.00282	-0.00239	-0.00231
30.12	-0.00331	-0.00239	-0.00231
32.12	-0.00586	-0.00239	-0.00231
38.12		-0.00593	-0.00425
48.12		-0.00716	-0.00667

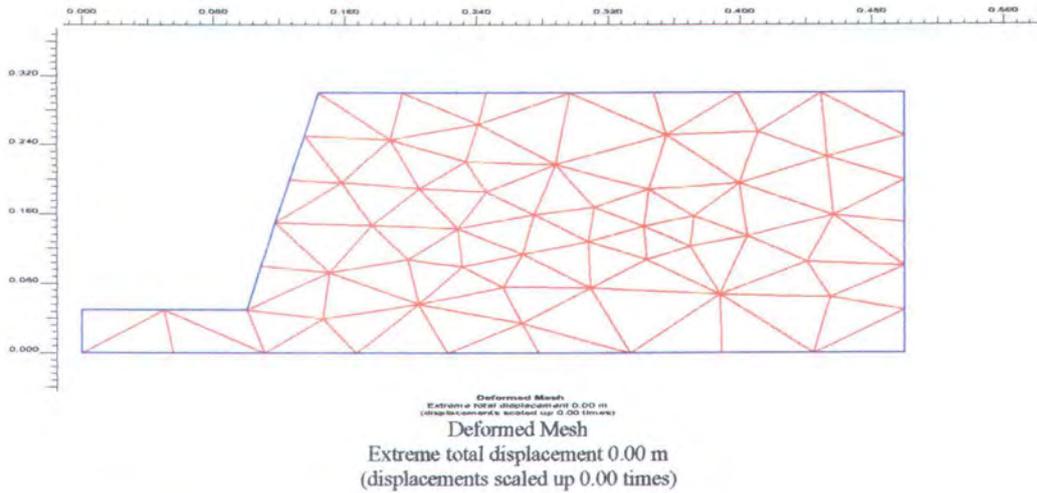
Ket :

III $\rightarrow \beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm.

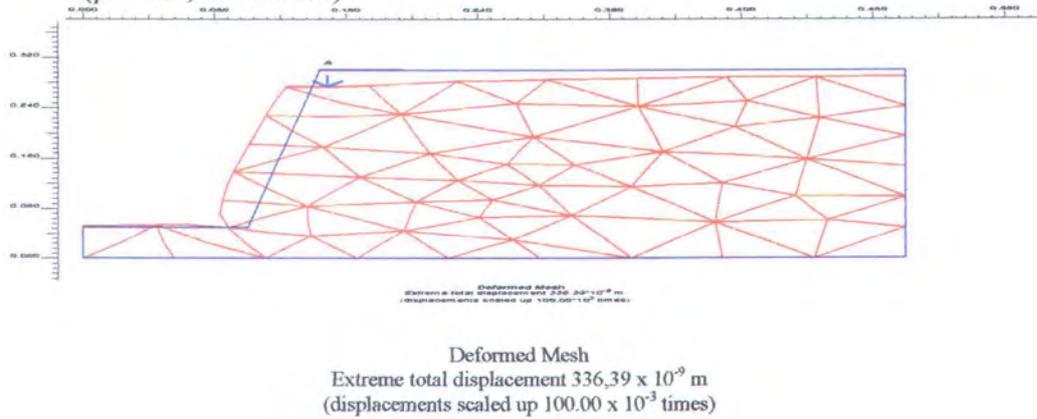
LAMPIRAN E



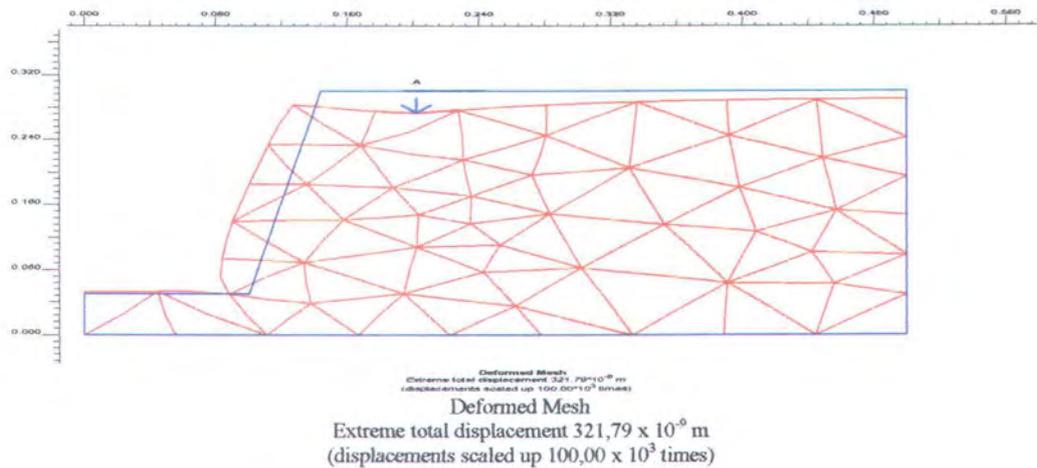
- HASIL PROGRAM *PLAXIS*



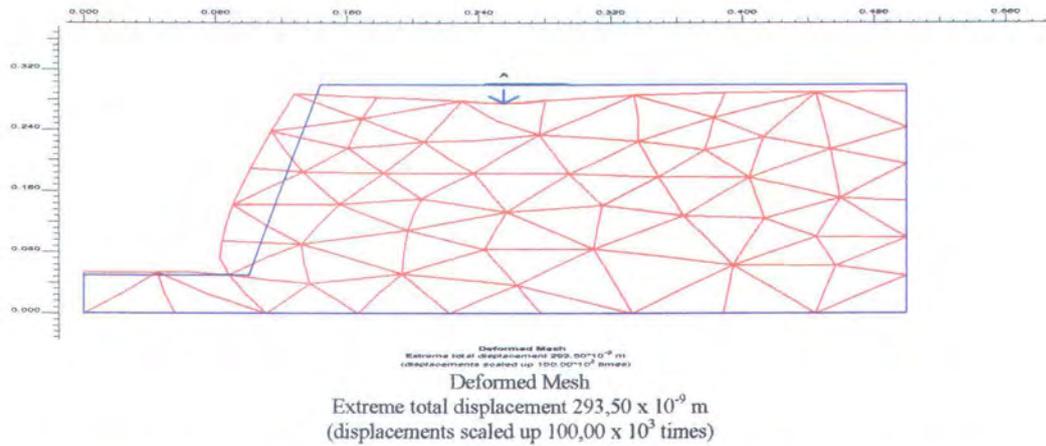
A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



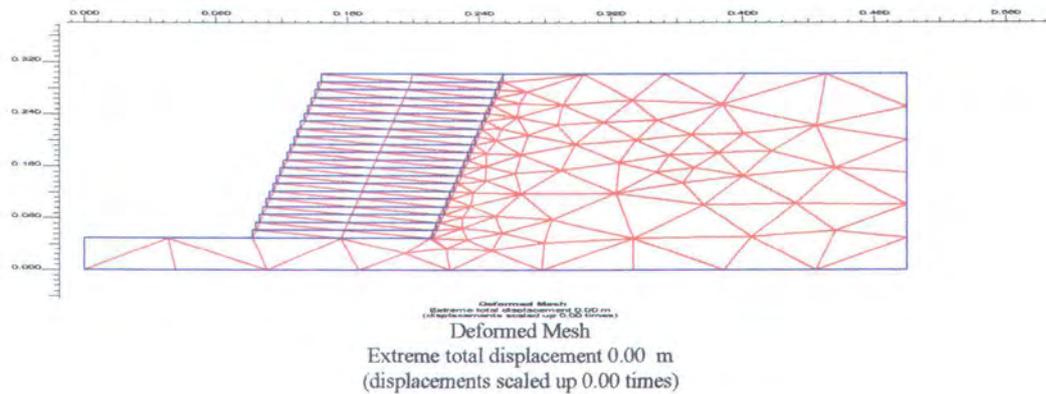
B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



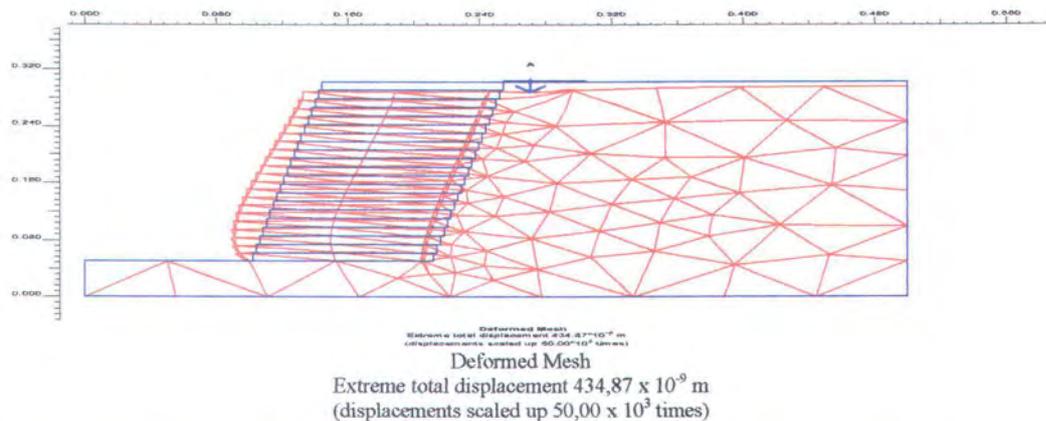
C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



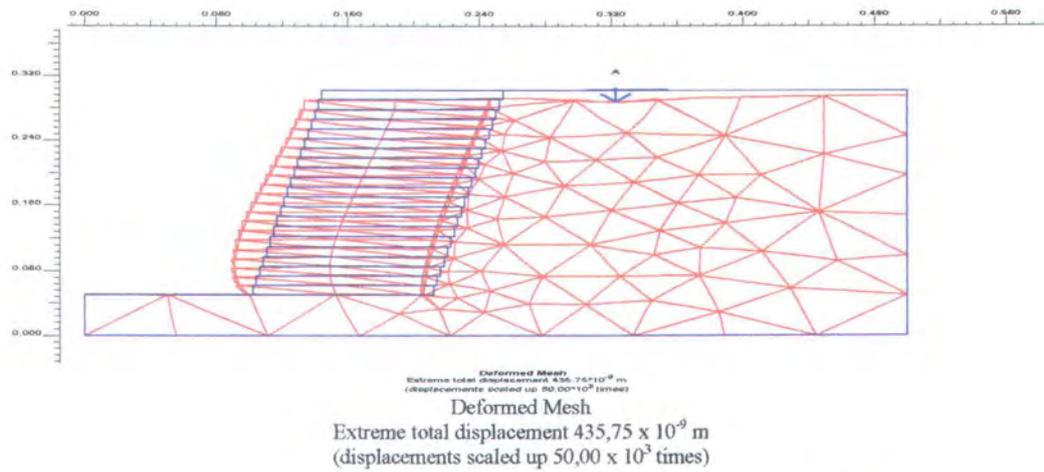
D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



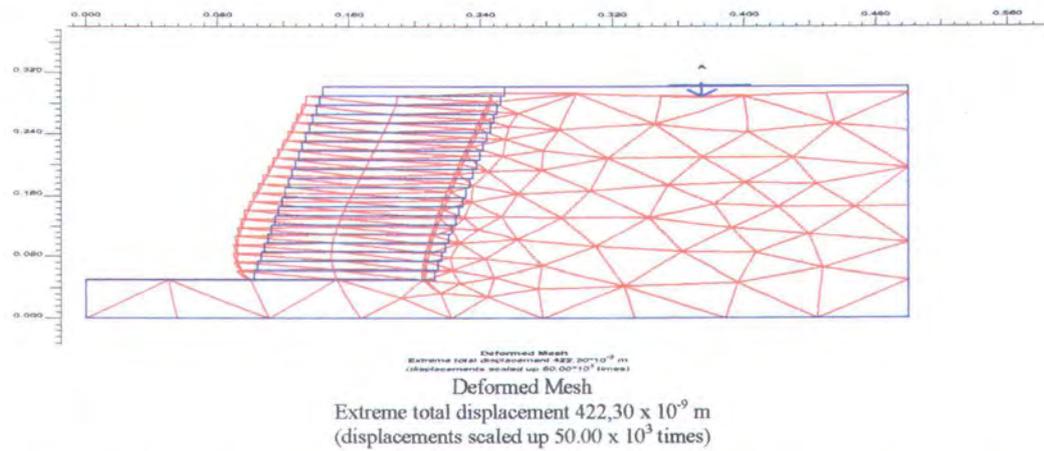
E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



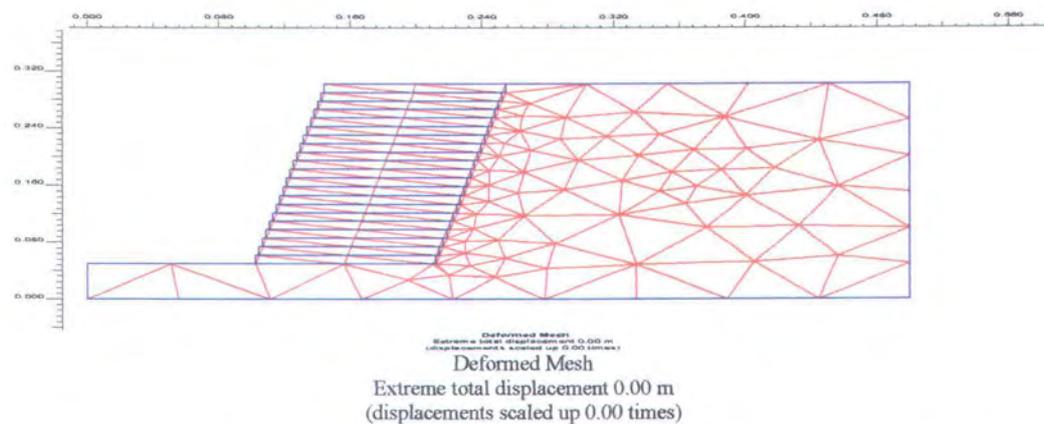
F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



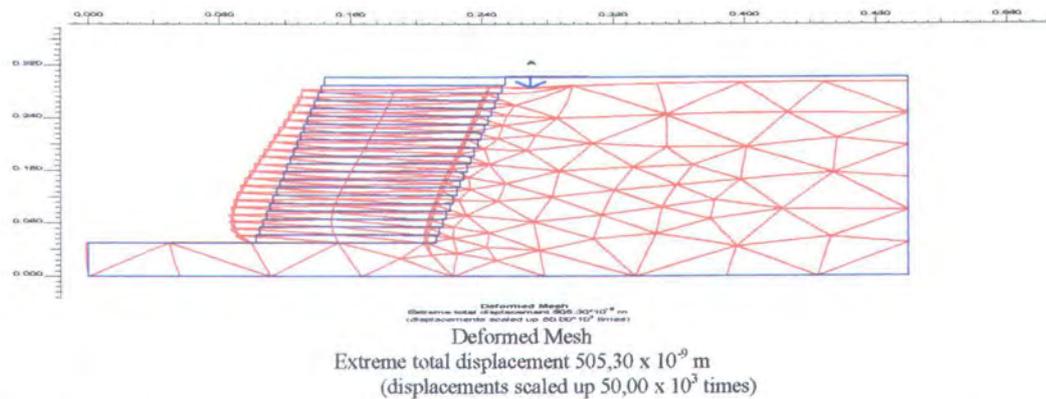
G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



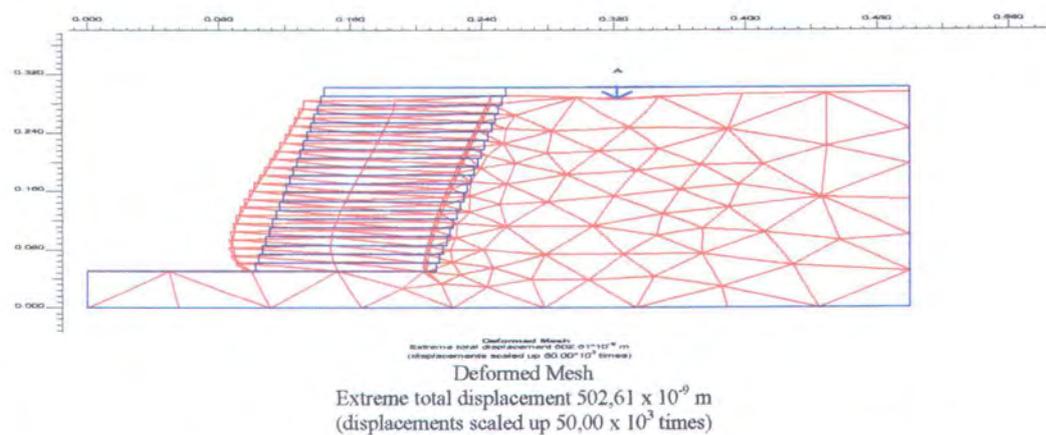
H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



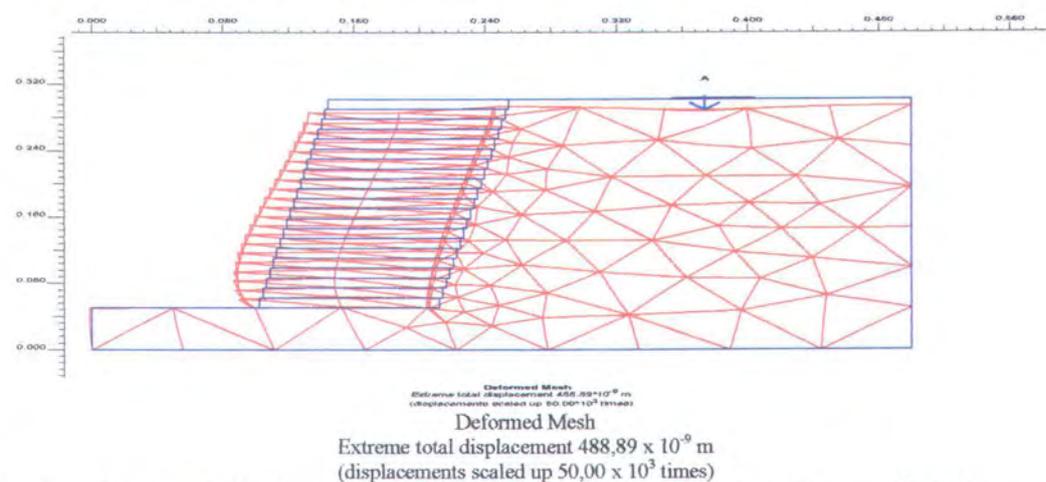
I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Copper Slag (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* I (CS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

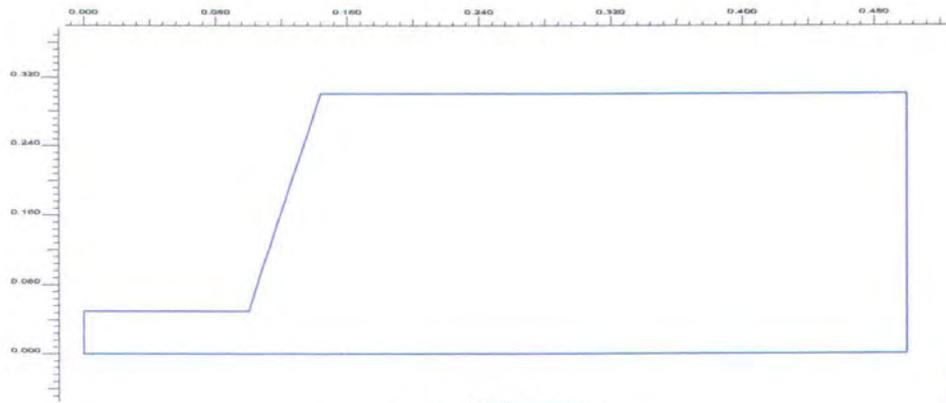


- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* II (CS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)

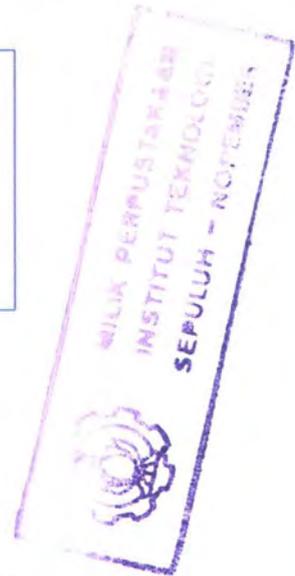


- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* III (CS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

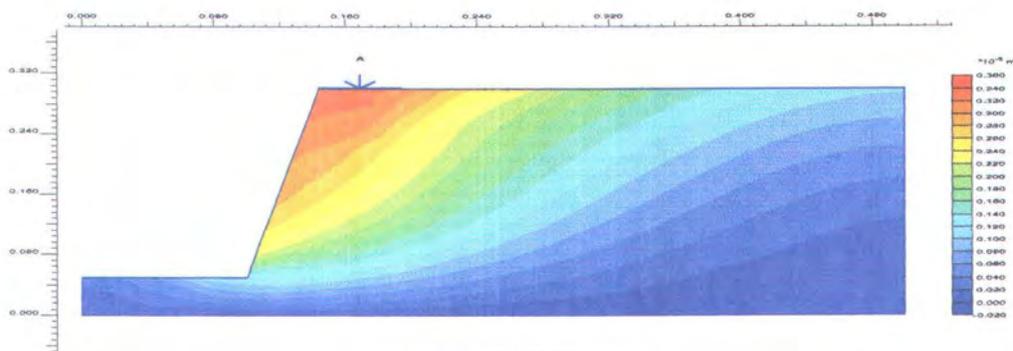
Gambar E.1 *Deformed Mesh* Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)



Total displacements
Extreme total displacement 0.00 m

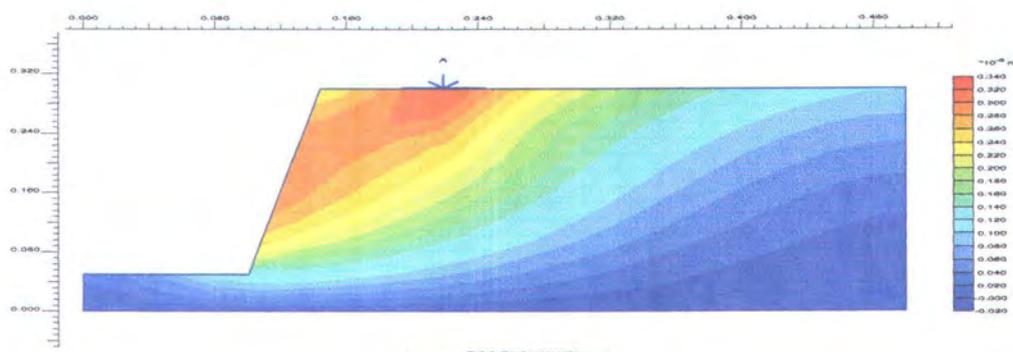


A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



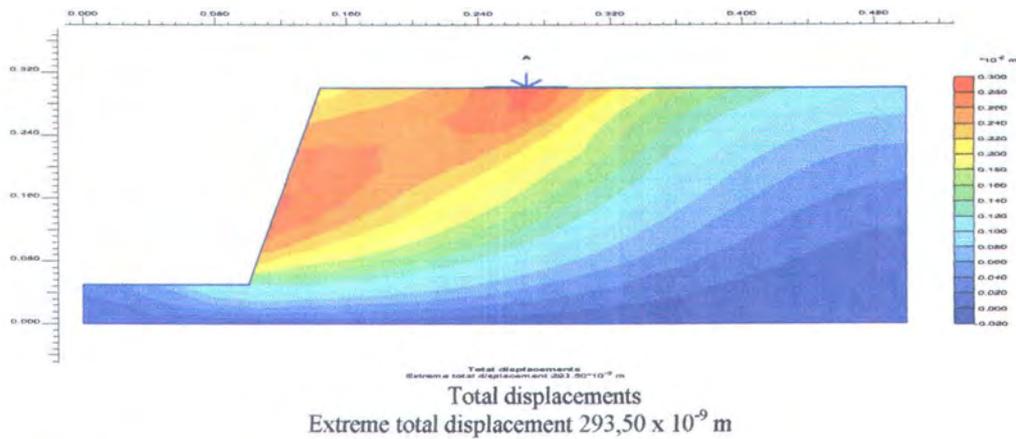
Total displacements
Extreme total displacement $336,39 \times 10^{-9}$ m

B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

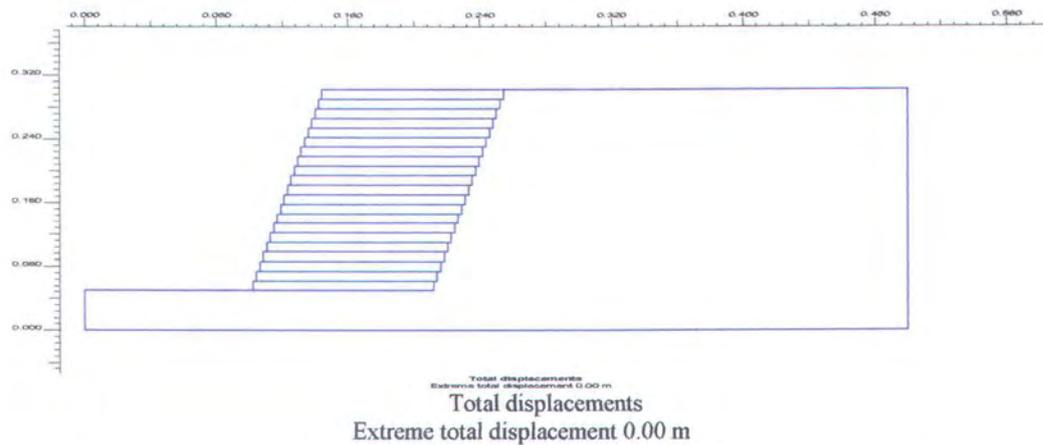


Total displacements
Extreme total displacement $321,79 \times 10^{-9}$ m

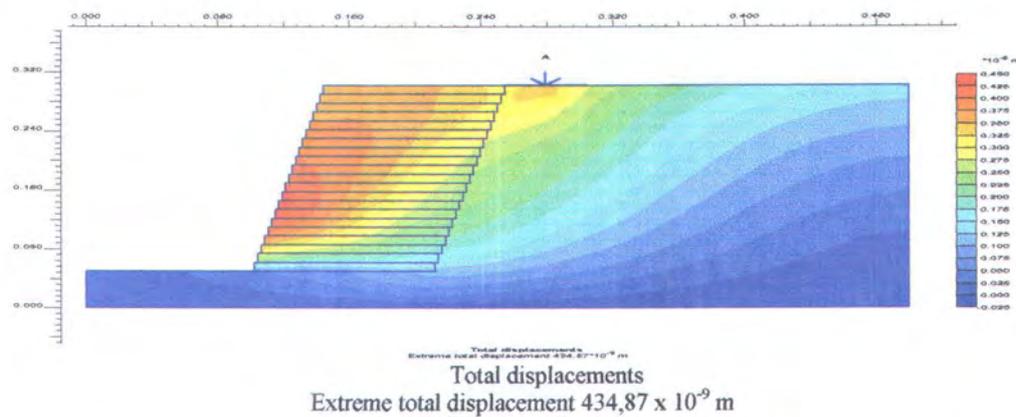
C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



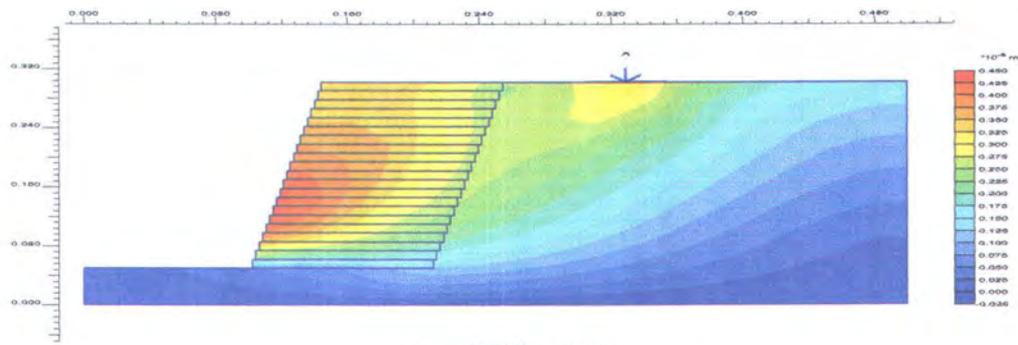
D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



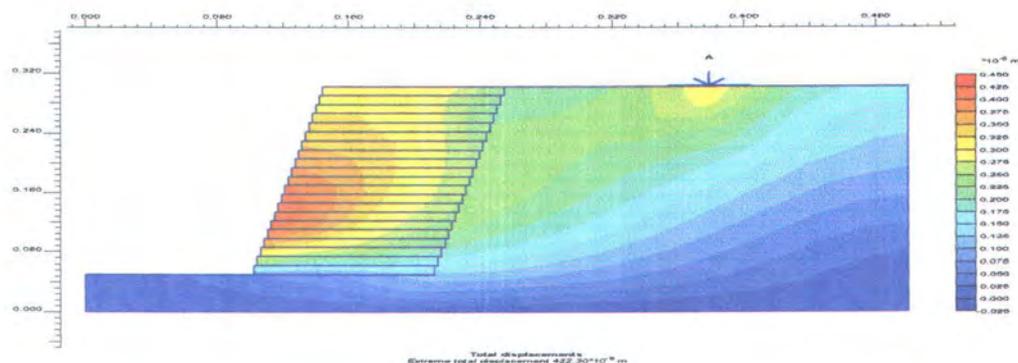
E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



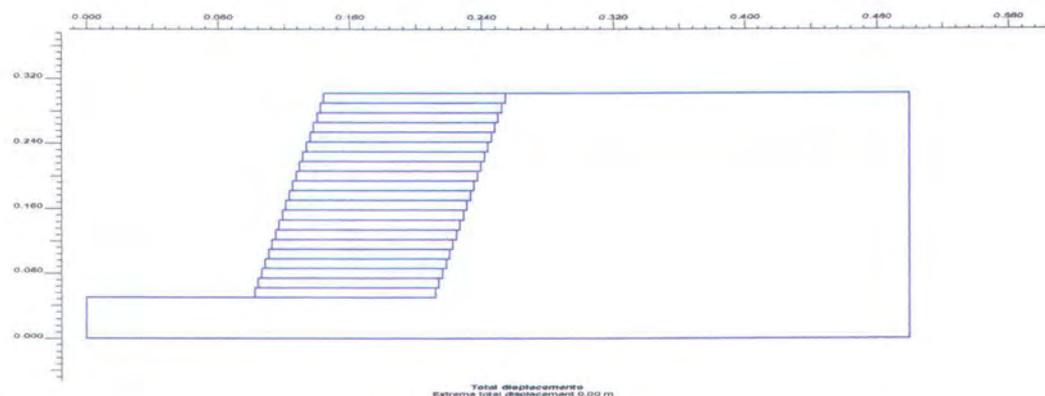
F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



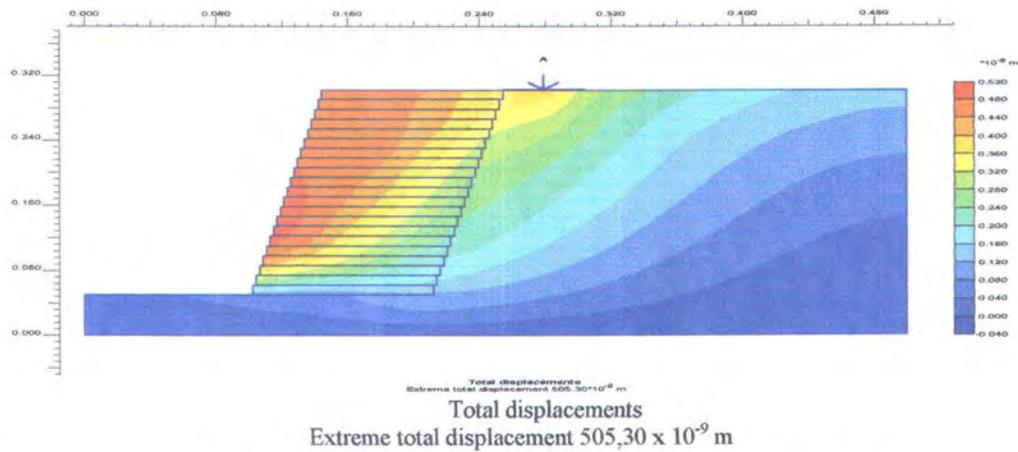
G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



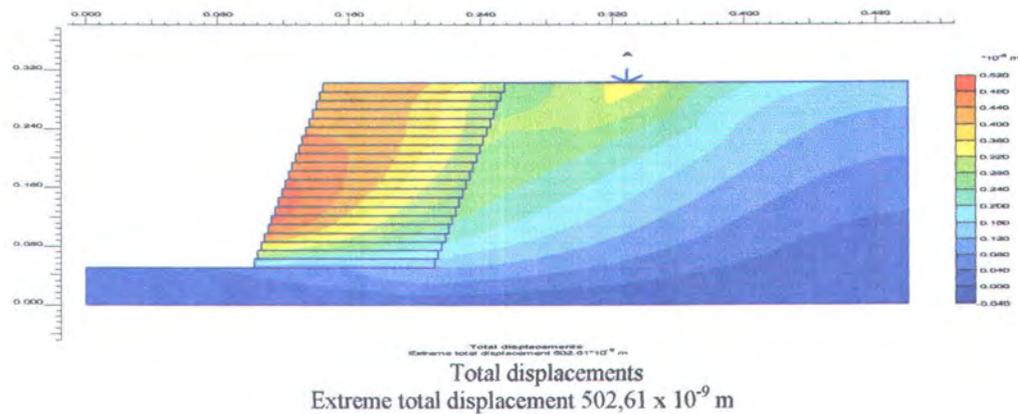
H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



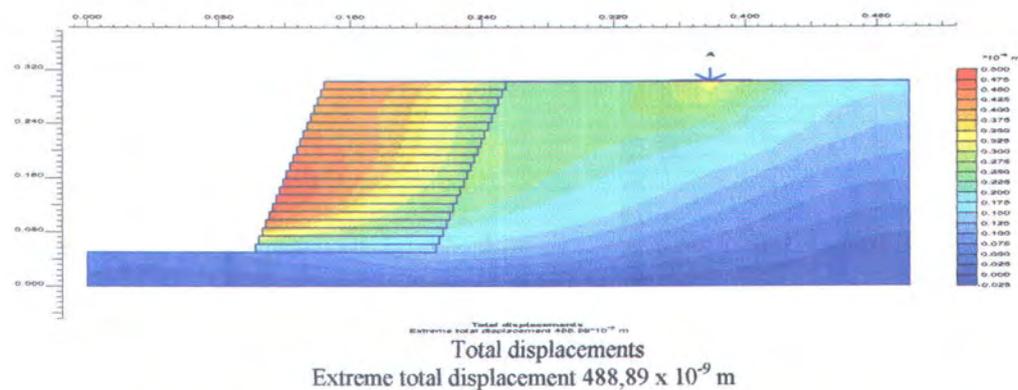
I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Copper Slag (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* I (CS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

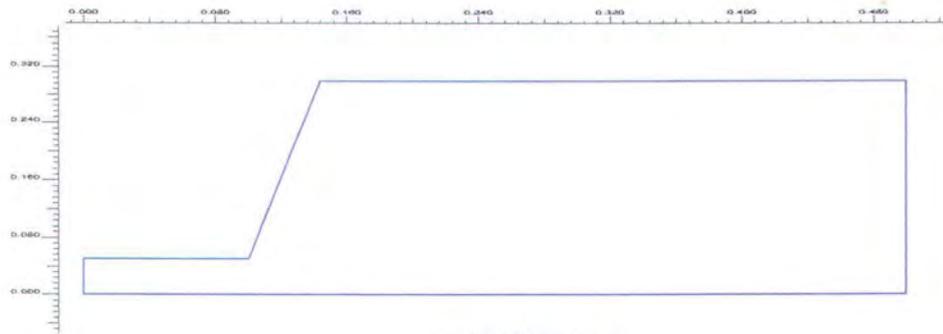


- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* II (CS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



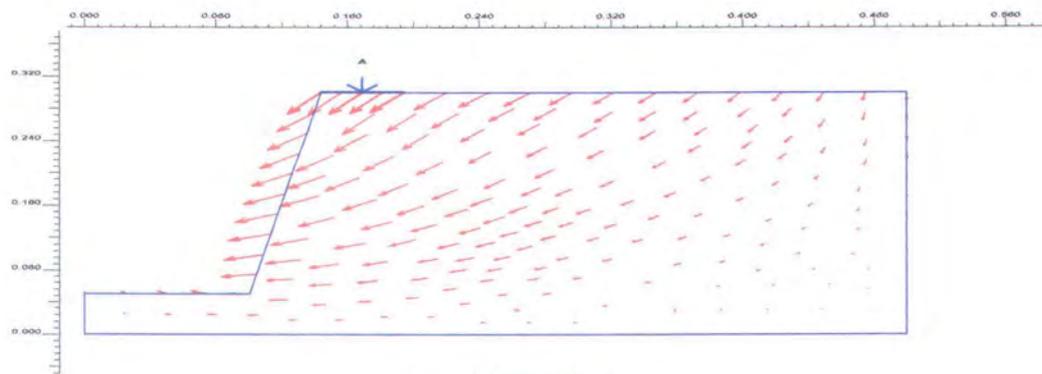
- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* III (CS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

Gambar E.2 Total Displacement (Shading) Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)



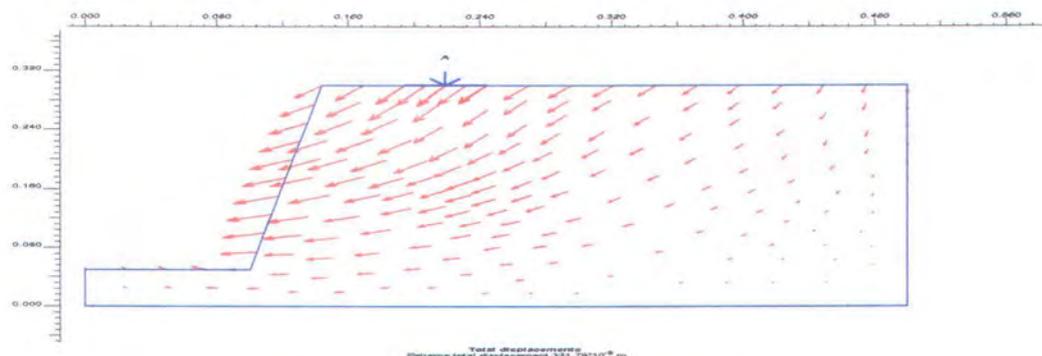
Total displacements
Extreme total displacement 0.00 m

A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



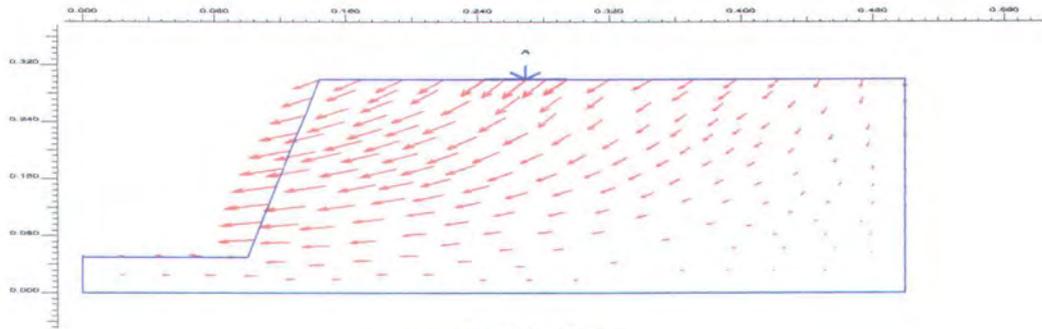
Total displacements
Extreme total displacement $336,39 \times 10^{-9}$ m

B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



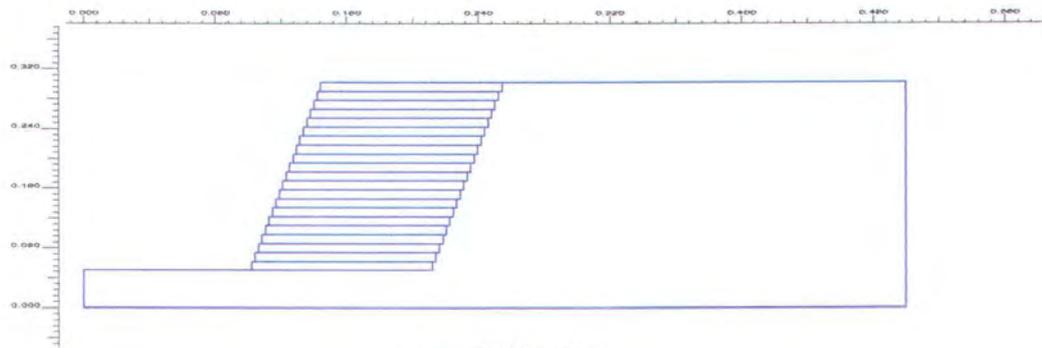
Total displacements
Extreme total displacement $321,79 \times 10^{-9}$ m

C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



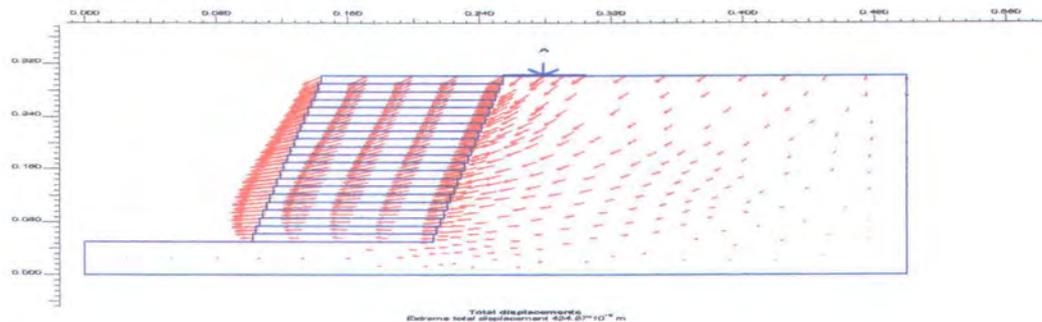
Total displacements
Extreme total displacement $293,50 \times 10^{-9}$ m

- D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



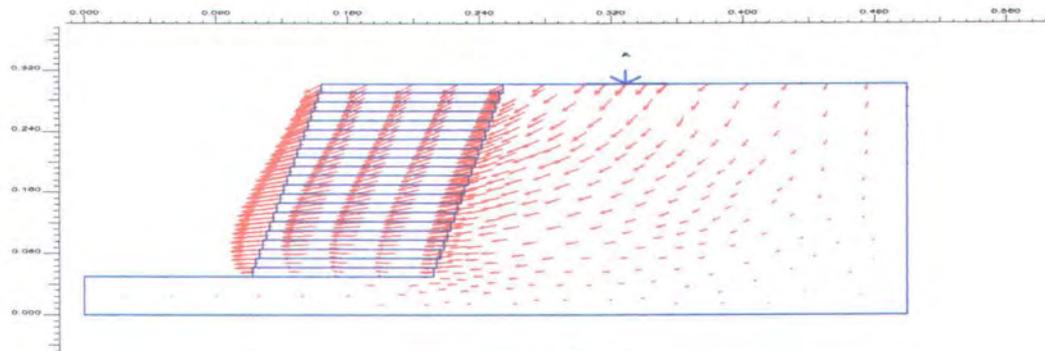
Total displacements
Extreme total displacement 0.00 m

- E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



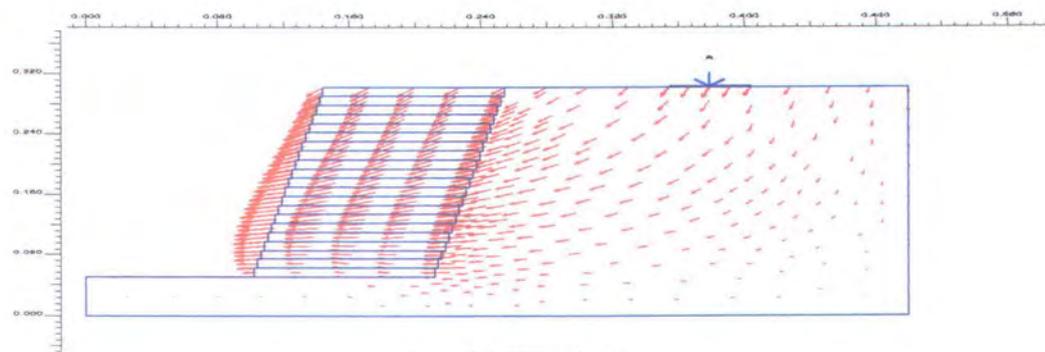
Total displacements
Extreme total displacement $434,87 \times 10^{-9}$ m

- F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



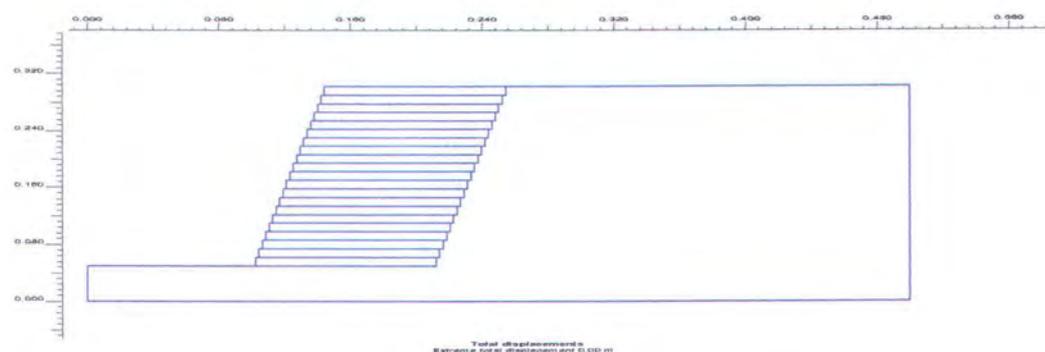
Total displacements
Extreme total displacement $435,75 \times 10^{-9}$ m

- G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



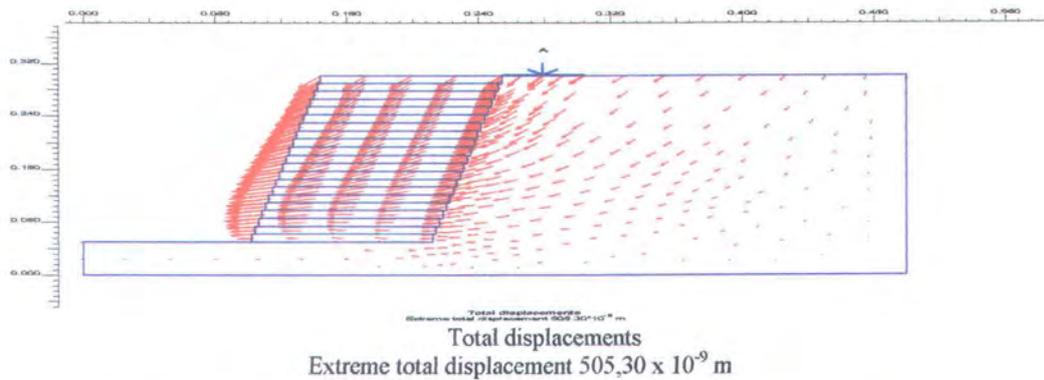
Total displacements
Extreme total displacement $422,30 \times 10^{-9}$ m

- H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

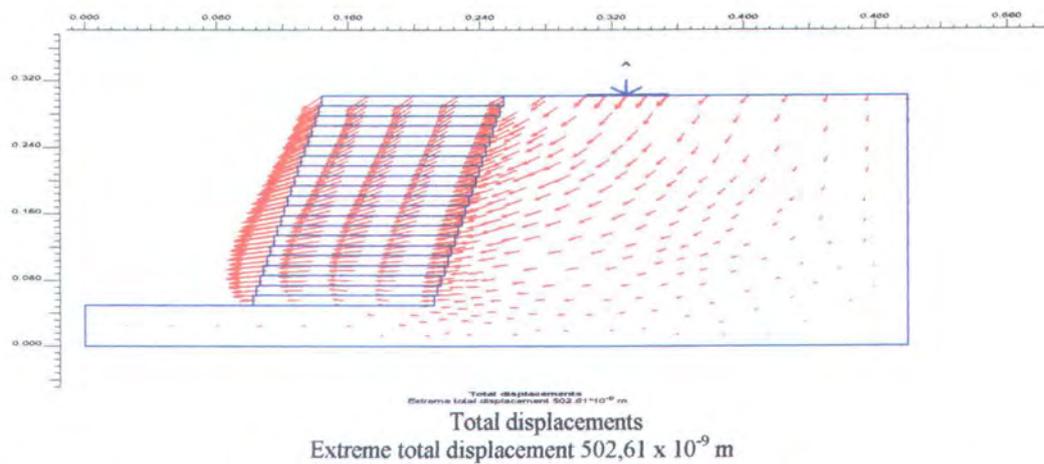


Total displacements
Extreme total displacement 0.00 m

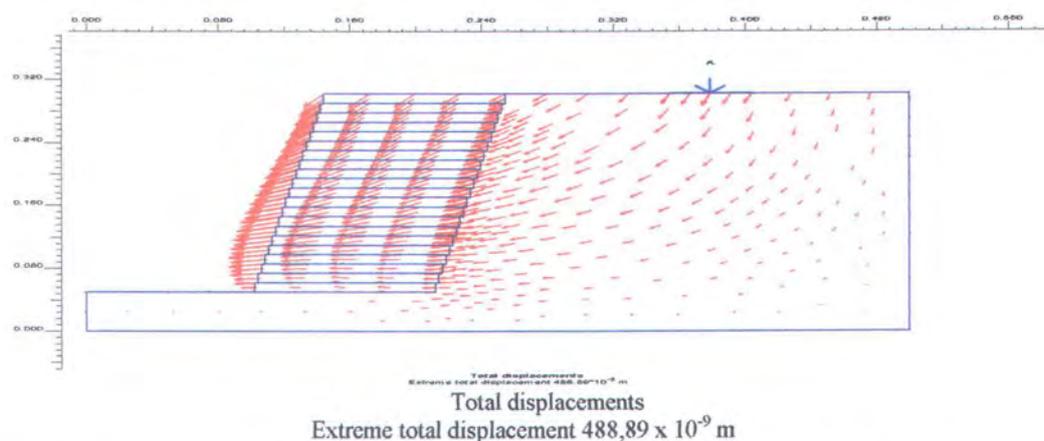
- I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* I (CS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25 \text{ cm}$, $d = 0 \text{ cm}$)



- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* II (CS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25 \text{ cm}$, $d = 5 \text{ cm}$)

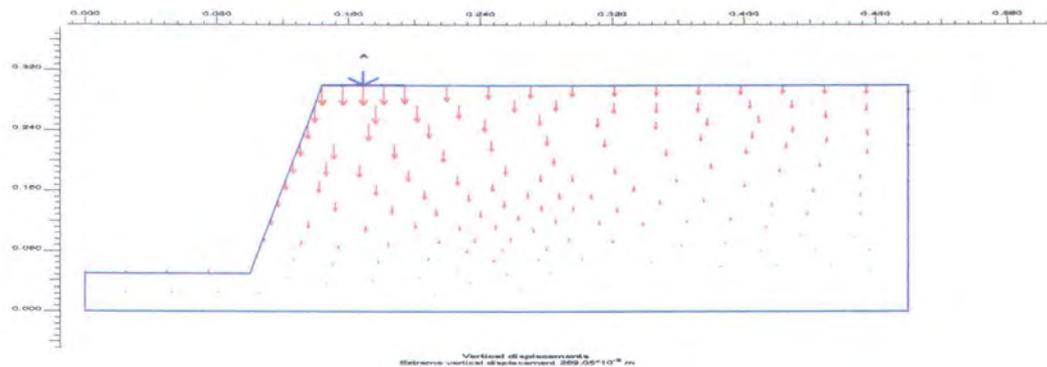


- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* III (CS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25 \text{ cm}$, $d = 10 \text{ cm}$)

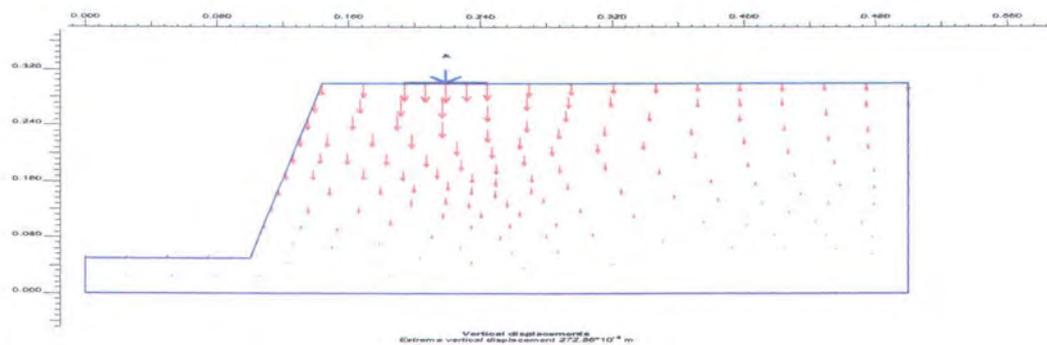
Gambar E.3 *Total Displacement (Arrow) Simulasi Benda Uji Lereng Tanah Lanau (TL)*



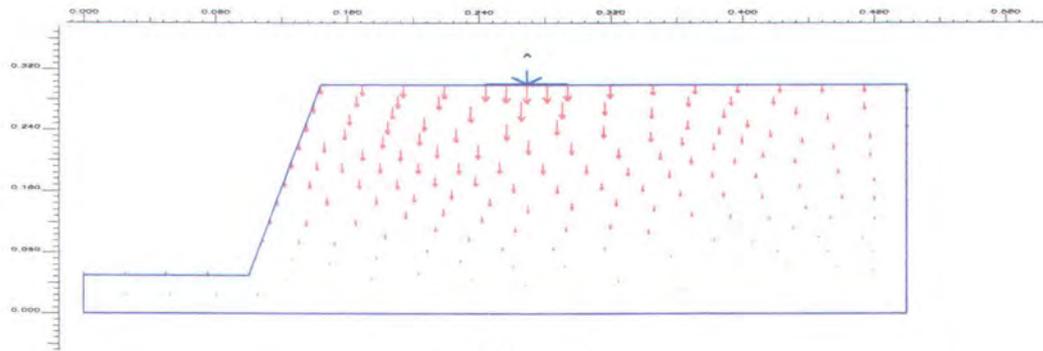
- A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



- B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

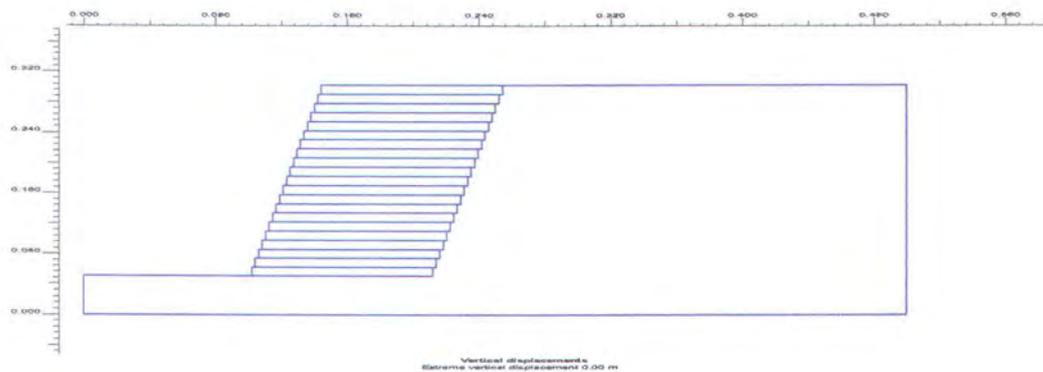


- C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



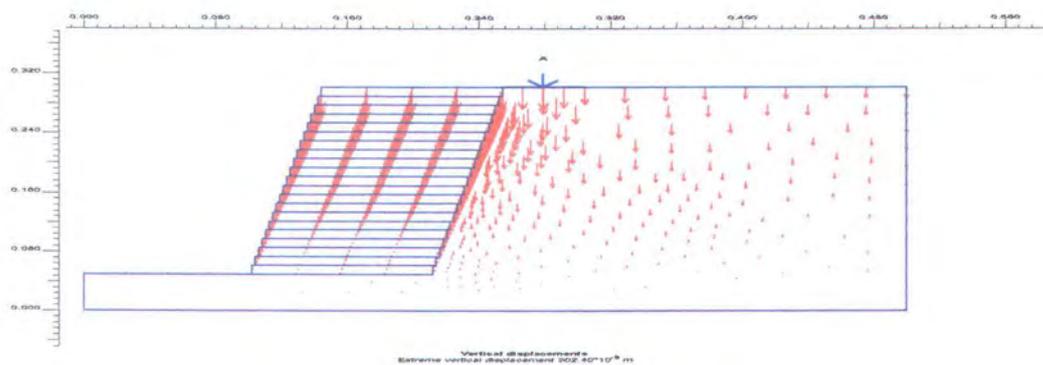
Vertical displacements
Extreme vertical displacement $258,26 \times 10^{-9}$ m

- D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



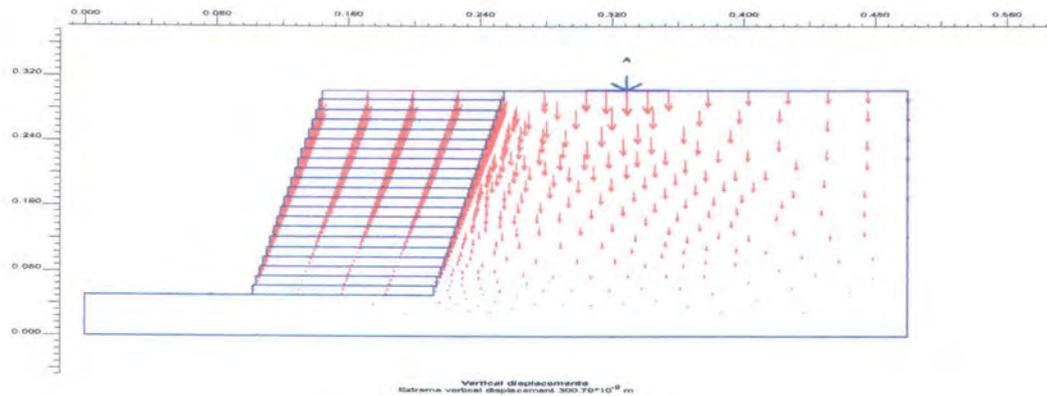
Vertical displacements
Extreme vertical displacement 0.00 m

- E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



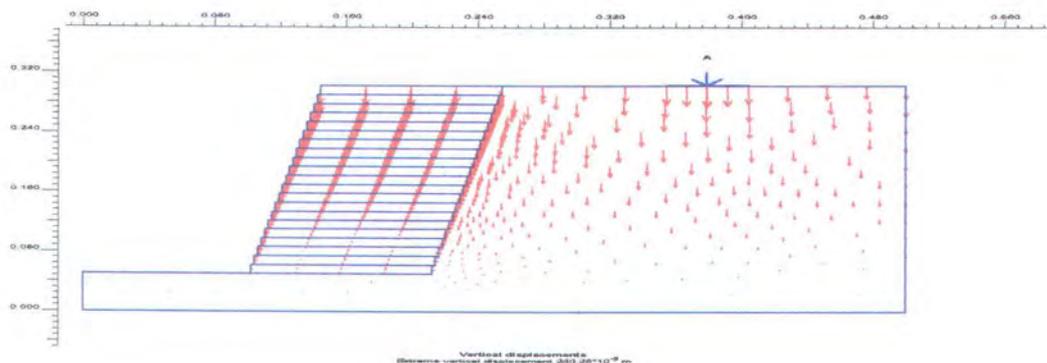
Vertical displacements
Extreme vertical displacement $302,40 \times 10^{-9}$ m

- F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



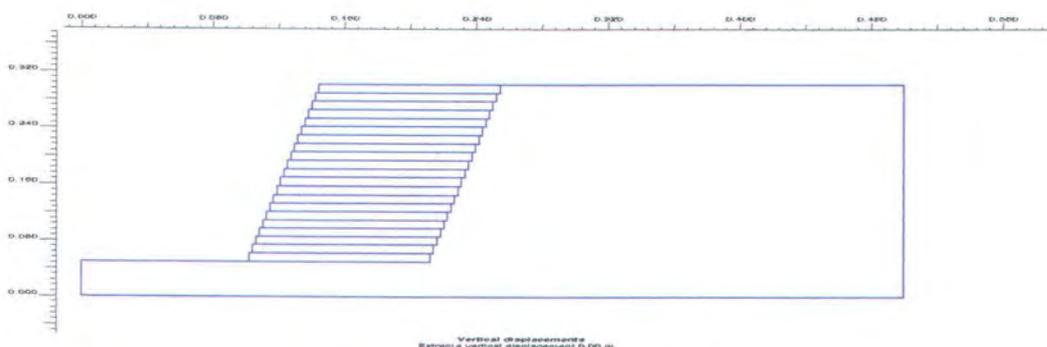
Vertical displacements
Extreme vertical displacement $300,70 \times 10^{-9}$ m

G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



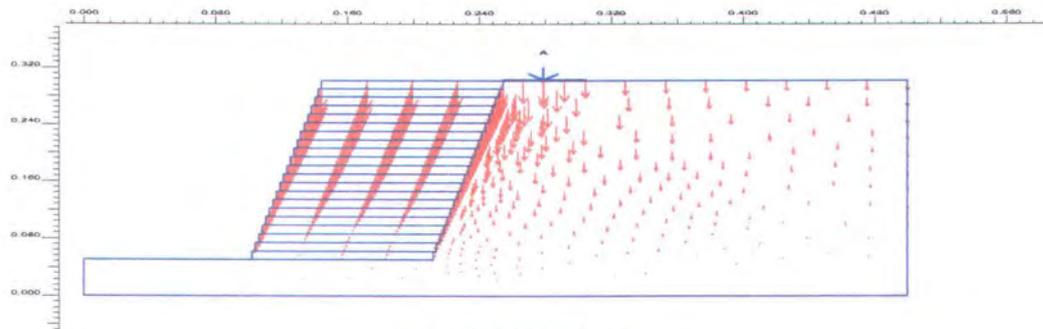
Vertical displacements
Extreme vertical displacement $280,25 \times 10^{-9}$ m

H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



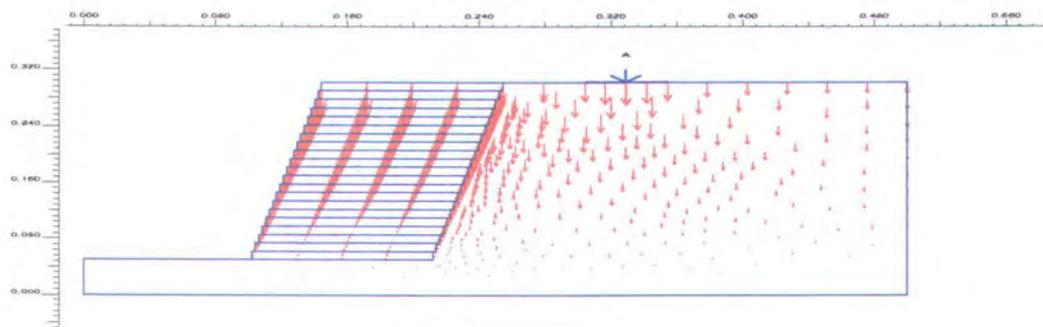
Vertical displacements
Extreme vertical displacement 0.00 m

I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



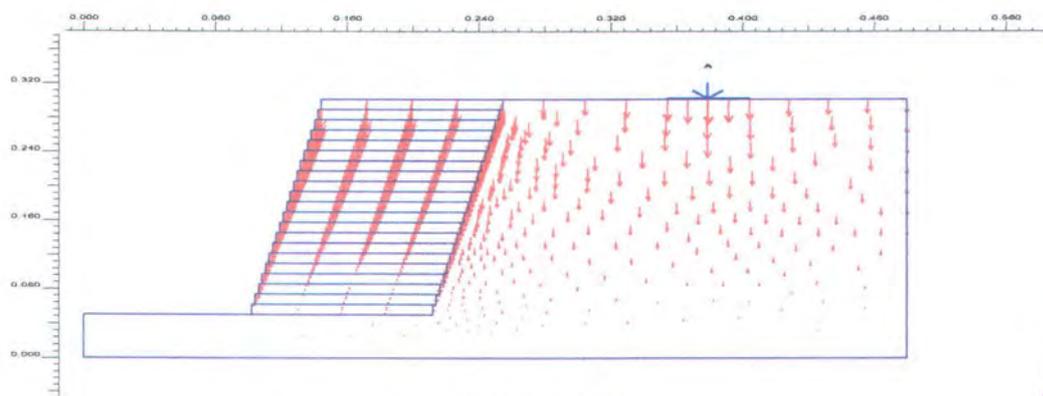
Vertical displacements
Extreme vertical displacement $379,22 \times 10^{-9}$ m

- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag I (CS I)*
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



Vertical displacements
Extreme vertical displacement $350,34 \times 10^{-9}$ m

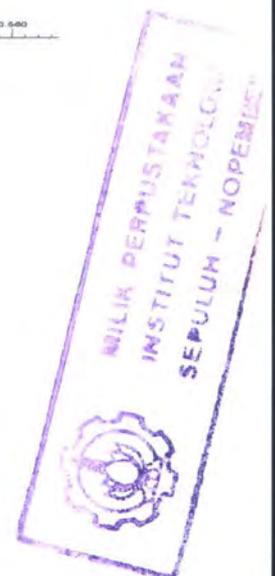
- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag II (CS II)*
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



Vertical displacements
Extreme vertical displacement $335,43 \times 10^{-9}$ m

- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag III (CS III)*
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

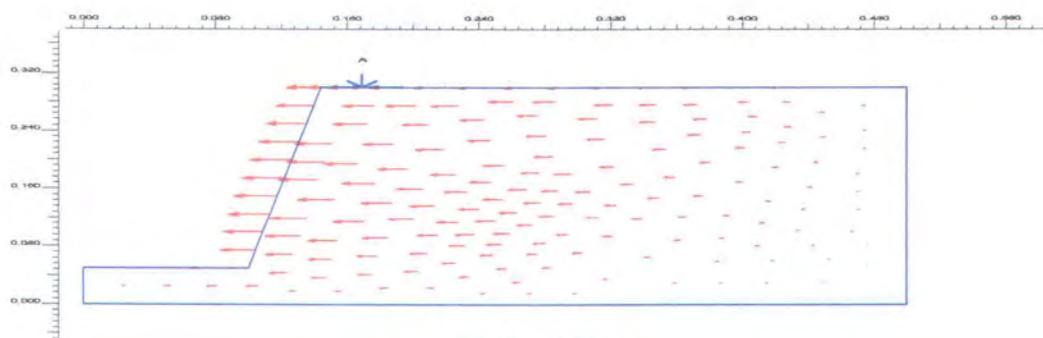
Gambar E.4 Vertical Displacement Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)





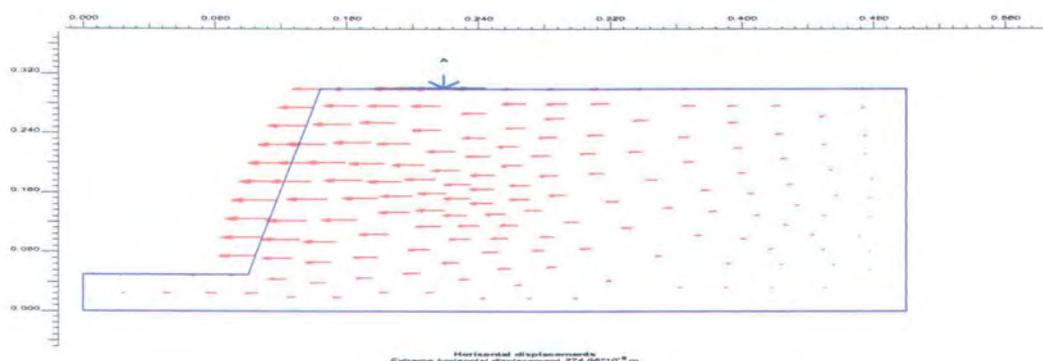
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement 0.00 m

A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



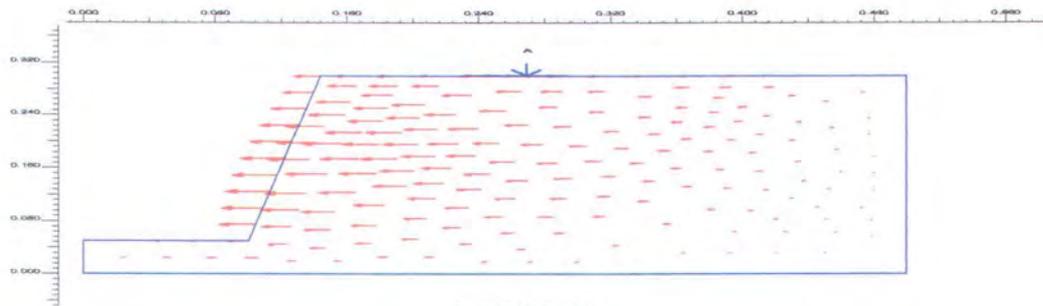
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $261,83 \times 10^{-9}$ m

B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



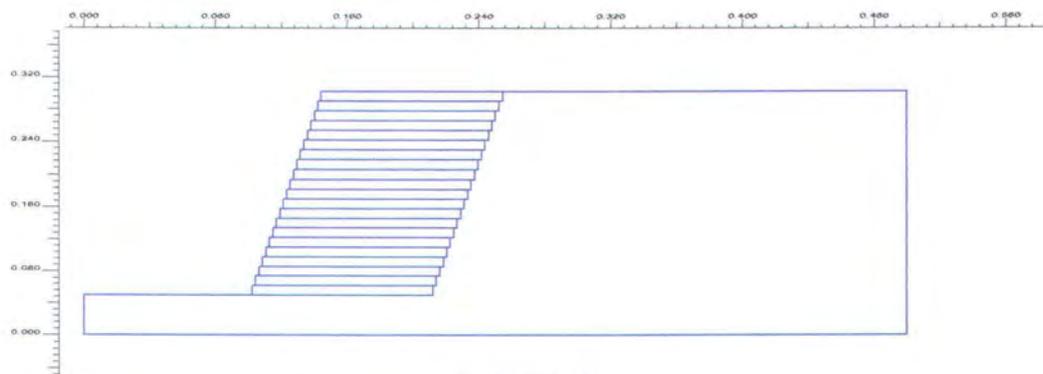
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $274,96 \times 10^{-9}$ m

C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



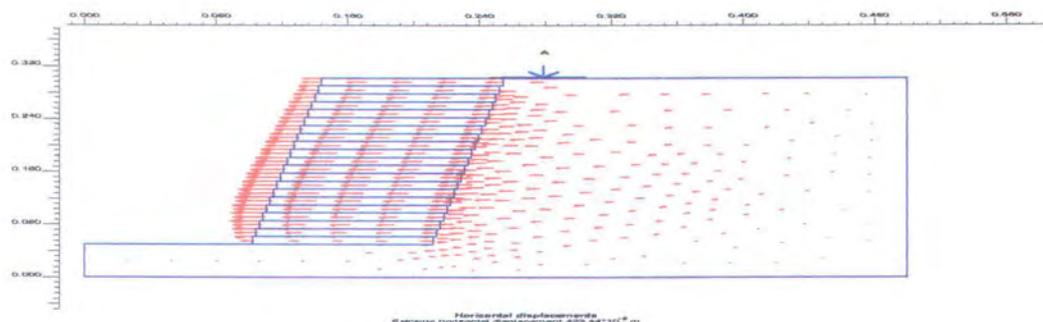
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $273,42 \times 10^{-9}$ m

- D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



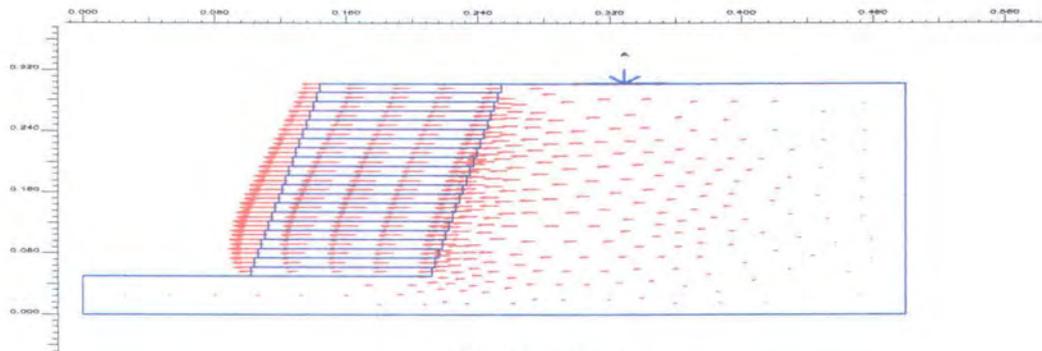
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement 0.00 m

- E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



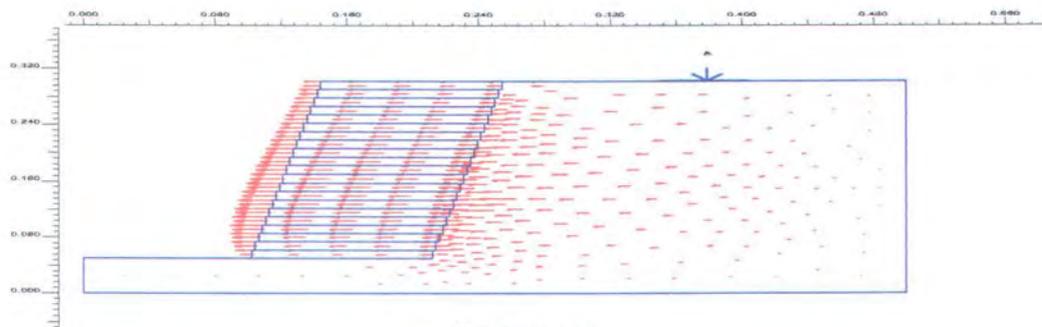
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $423,44 \times 10^{-9}$ m

- F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (TPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



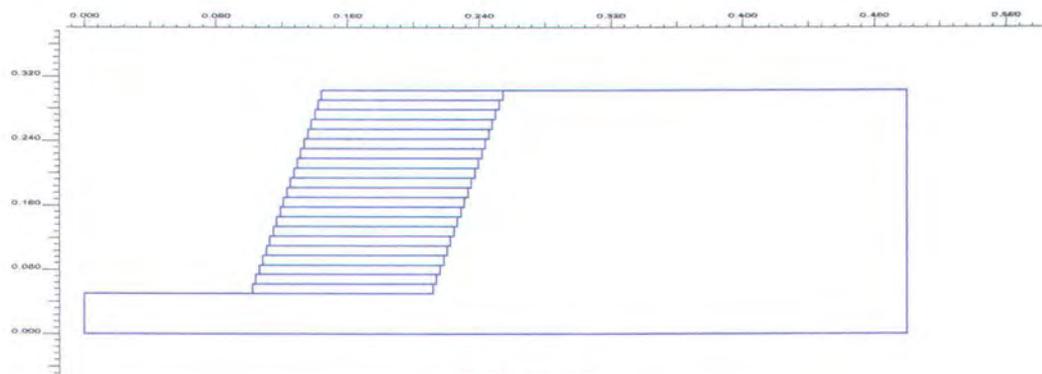
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $426,77 \times 10^{-9}$ m

- G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



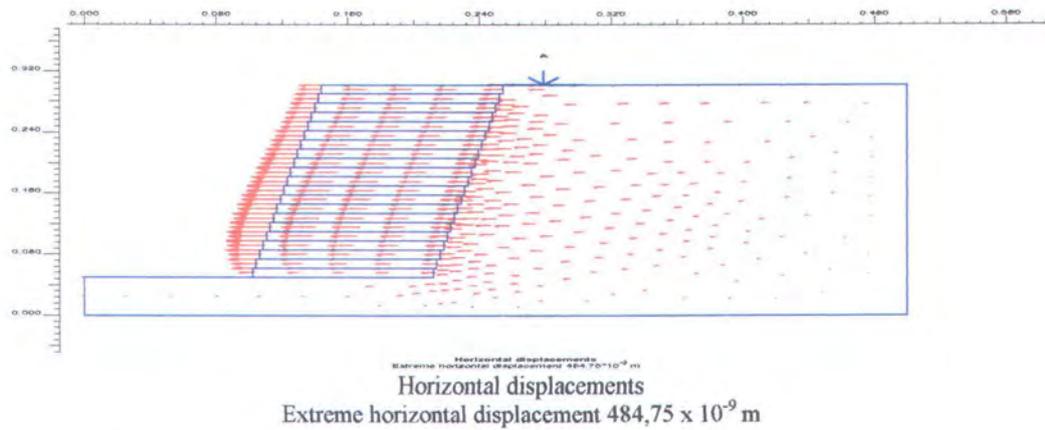
Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $414,34 \times 10^{-9}$ m

- H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

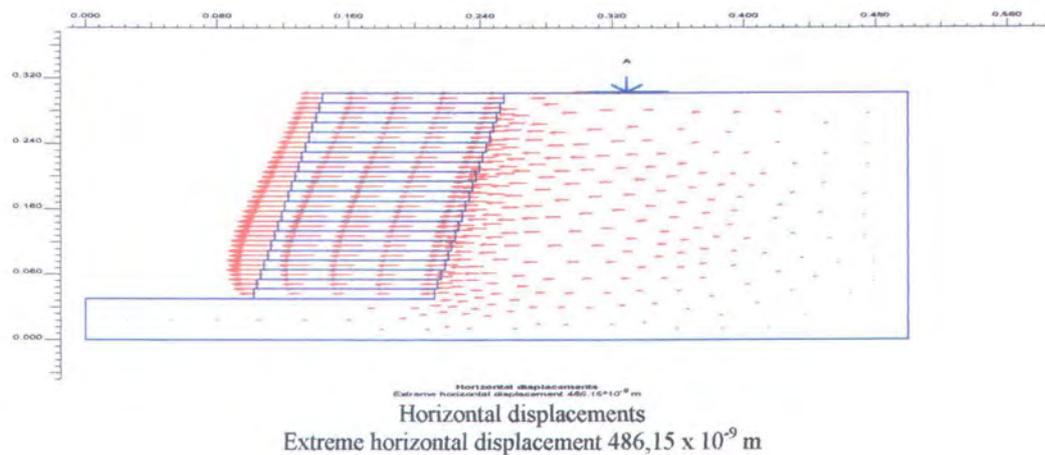


Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement 0.00 m

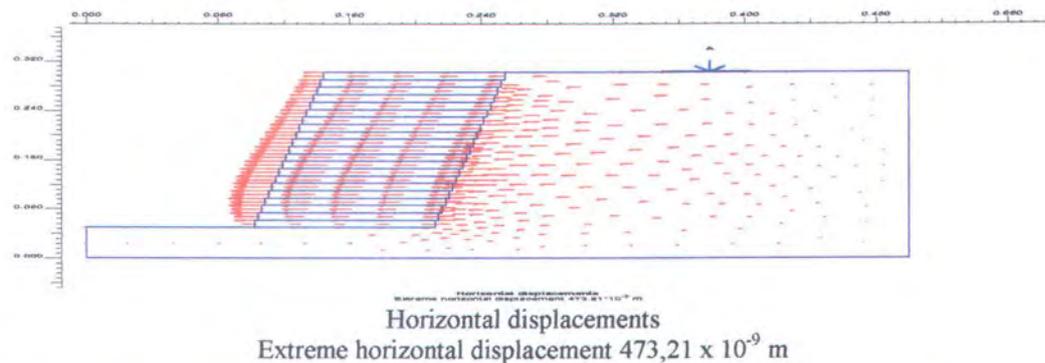
- I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* I (CS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

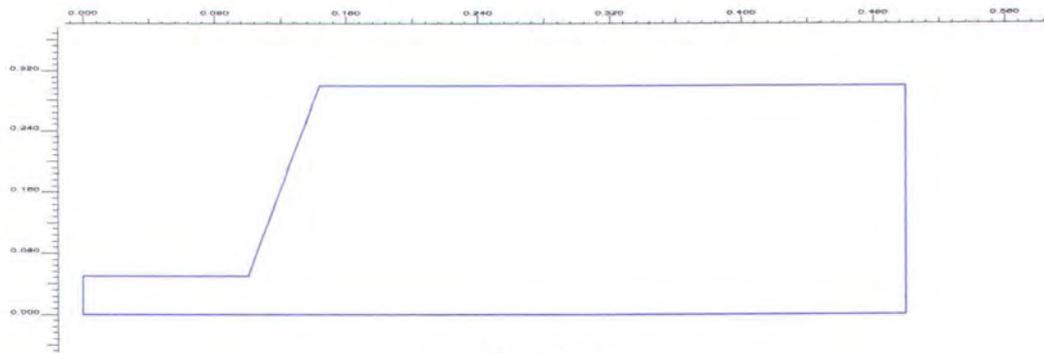


- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* II (CS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



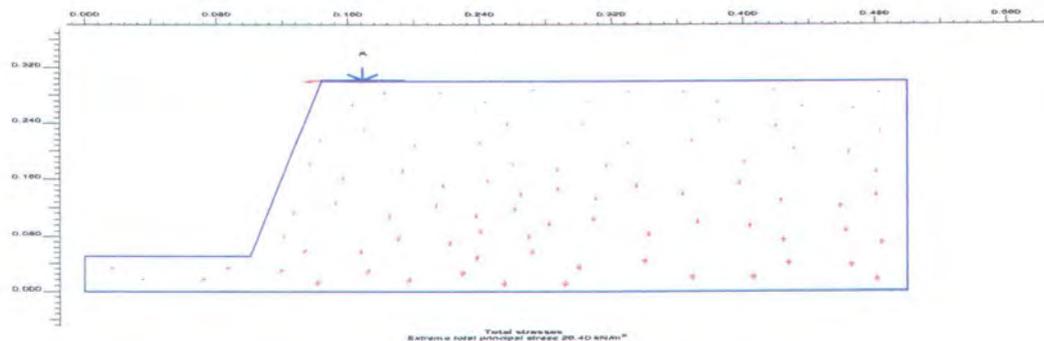
- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* III (CS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

Gambar E.5 Horizontal Displacement Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)



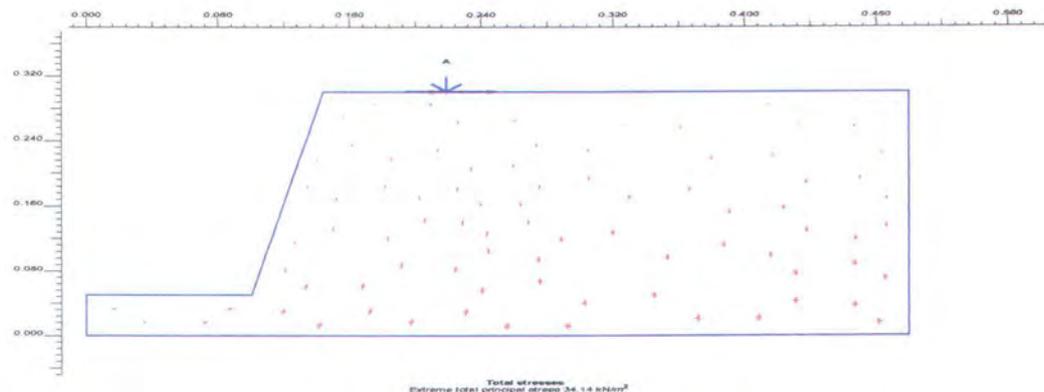
Total stresses
Extreme total principal stress 0.00 kN/m²

A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



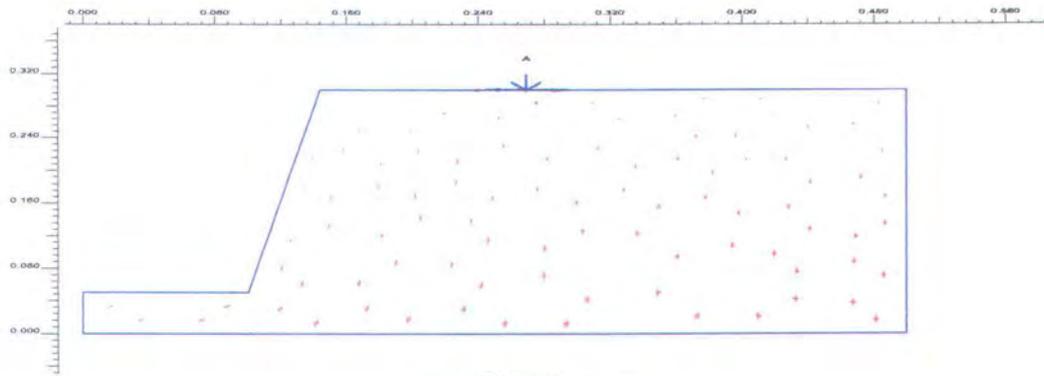
Total stresses
Extreme total principal stress 26,40 kN/m²

B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



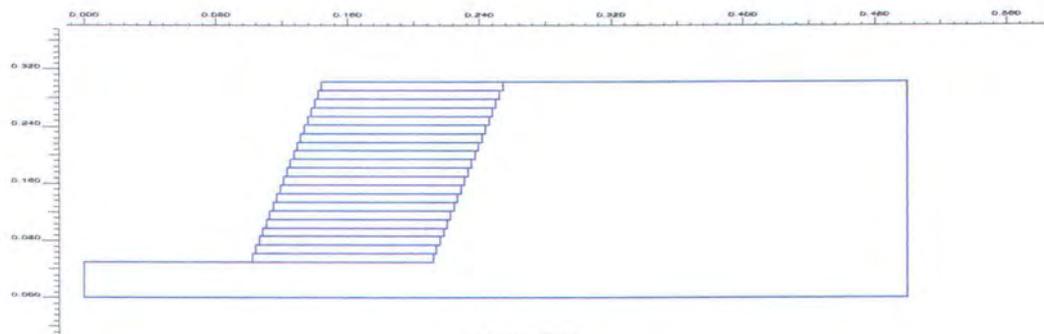
Total stresses
Extreme total principal stress 34,14 kN/m²

C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



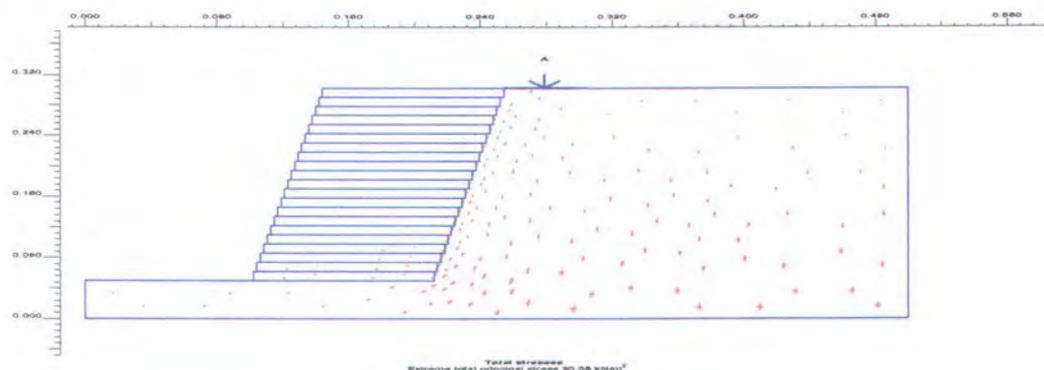
Total stresses
Extreme total principal stress 32,79 kN/m²

D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



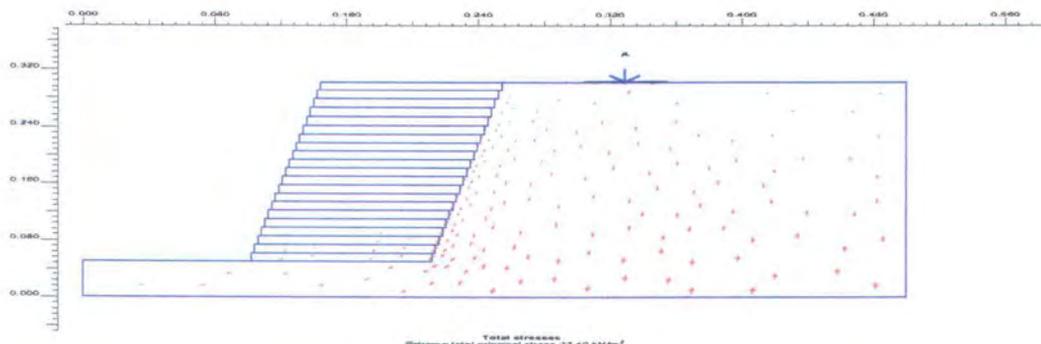
Total stresses
Extreme total principal stress 0.00 kN/m²

E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



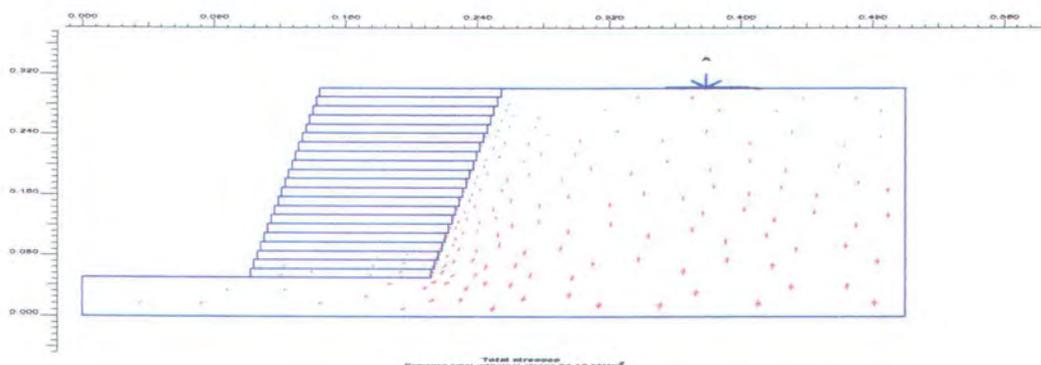
Total stresses
Extreme total principal stress 30,56 kN/m²

F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



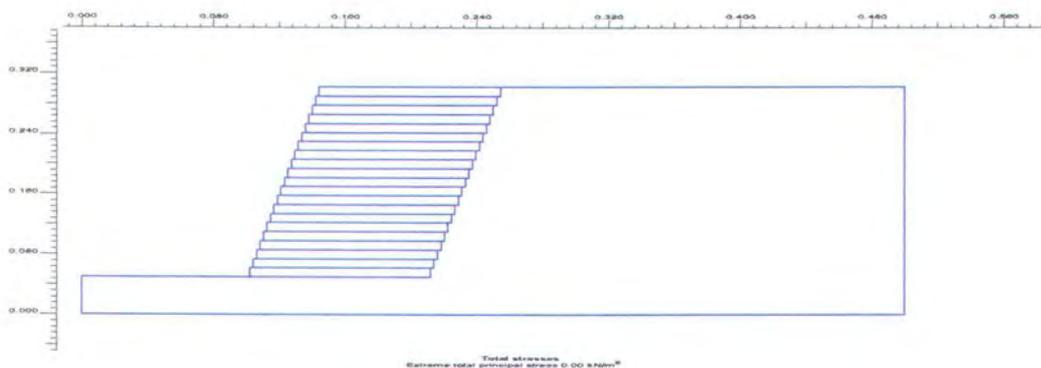
Total stresses
Extreme total principal stress 32,49 kN/m²

- G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



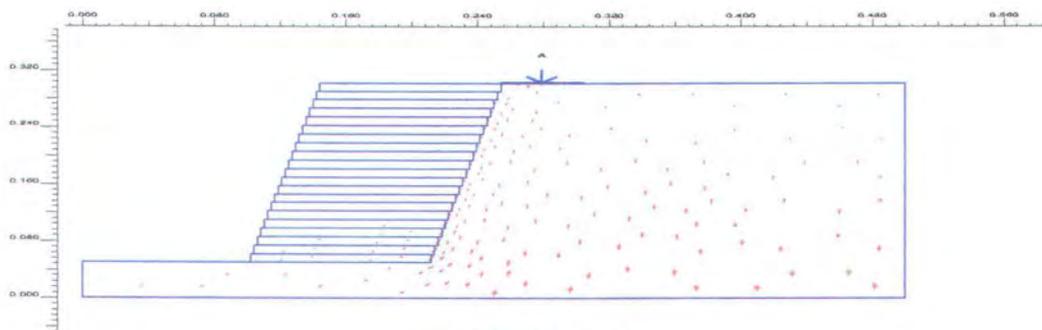
Total stresses
Extreme total principal stress 34,10 kN/m²

- H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



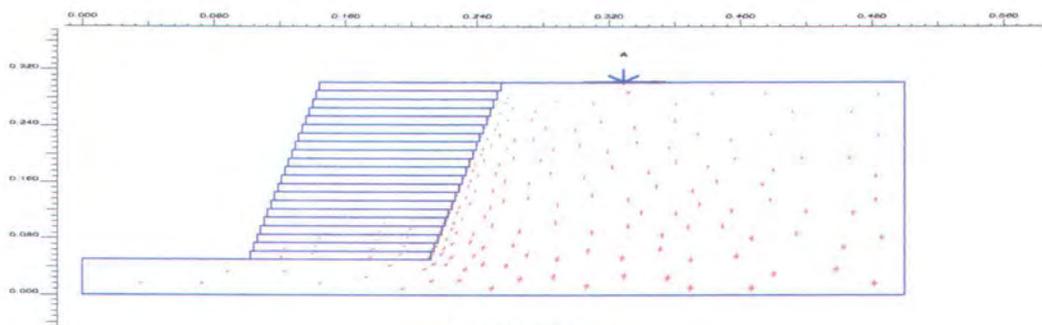
Total stresses
Extreme total principal stress 0.00 kN/m²

- I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



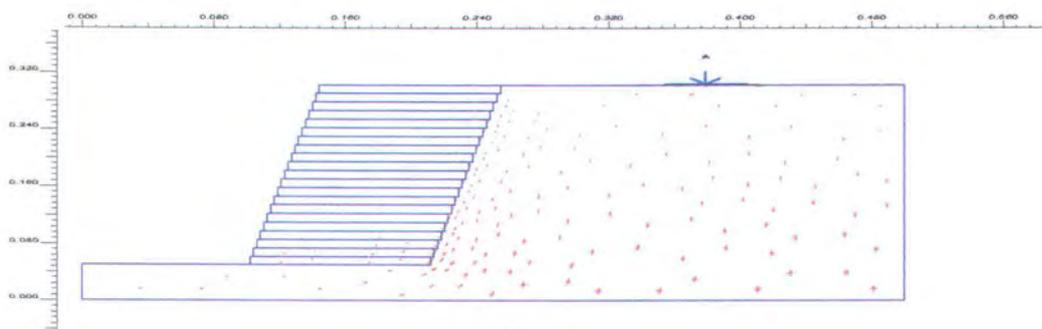
Total stresses
 Extreme total principal stress 34,39 kN/m²

- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag I (CS I)*
 ($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



Total stresses
 Extreme total principal stress 35,51 kN/m²

- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag II (CS II)*
 ($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



Total stresses
 Extreme total principal stress 37,17 kN/m²

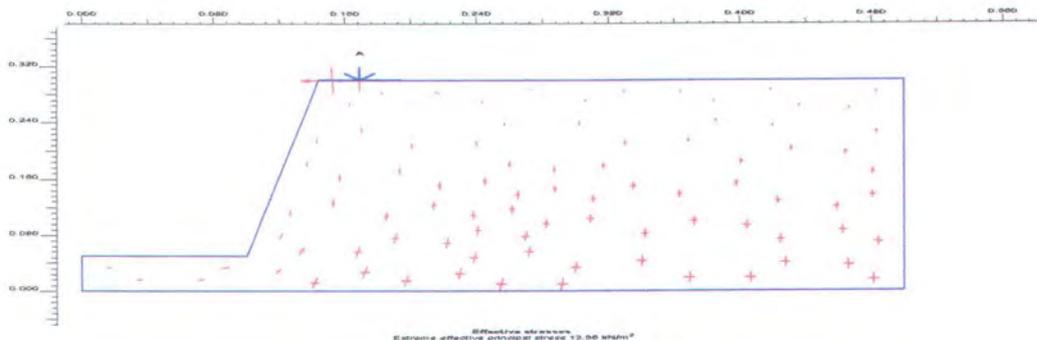
- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag III (CS III)*
 ($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

Gambar E.6 Total Stresses Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)



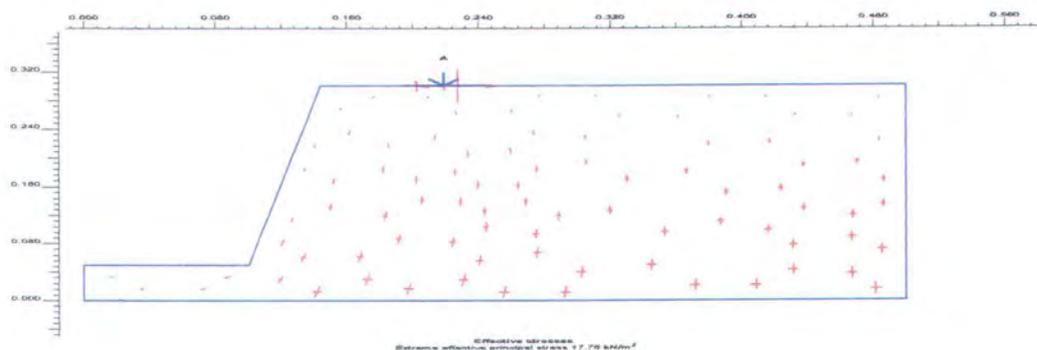
Effective stresses
Extreme effective stress 0.00 kN/m²

- A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



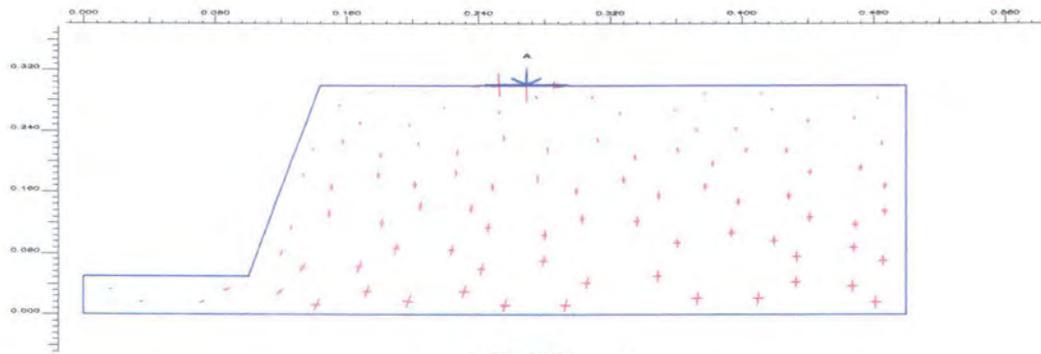
Effective stresses
Extreme effective stress 13,56 kN/m²

- B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



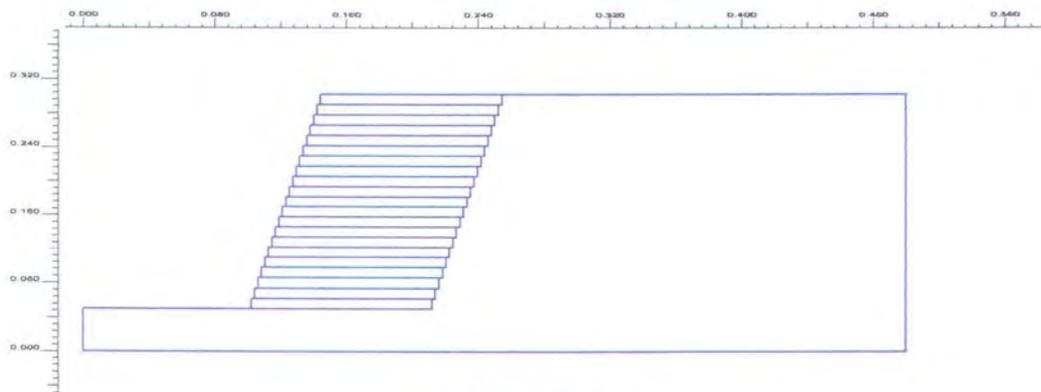
Effective stresses
Extreme effective principal stress 17,76 kN/m²

- C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



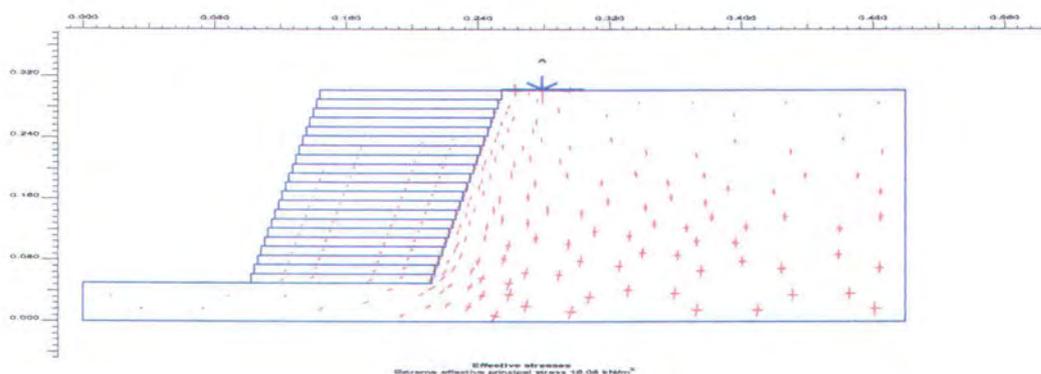
Effective stresses
Extreme effective stress 17,36 kN/m²

- D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



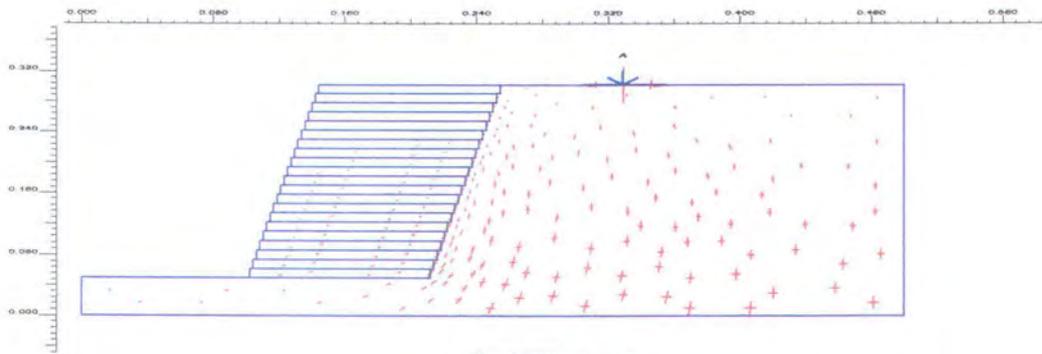
Effective stresses
Extreme effective stress 0.00 kN/m²

- E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)

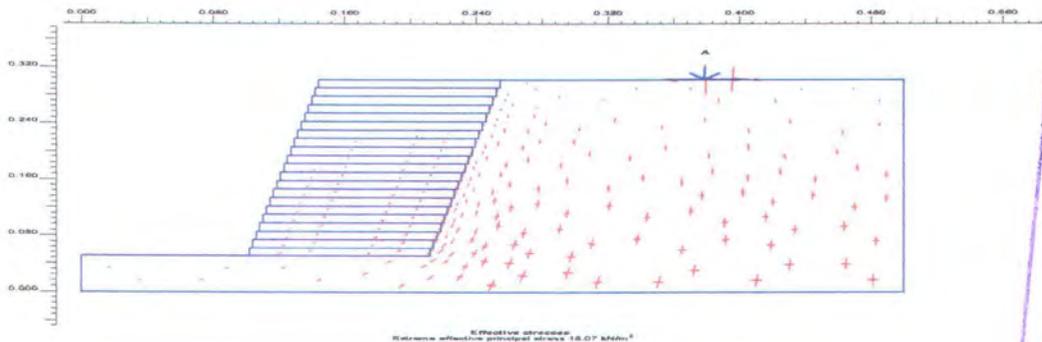


Effective stresses
Extreme effective stress 16,08 kN/m²

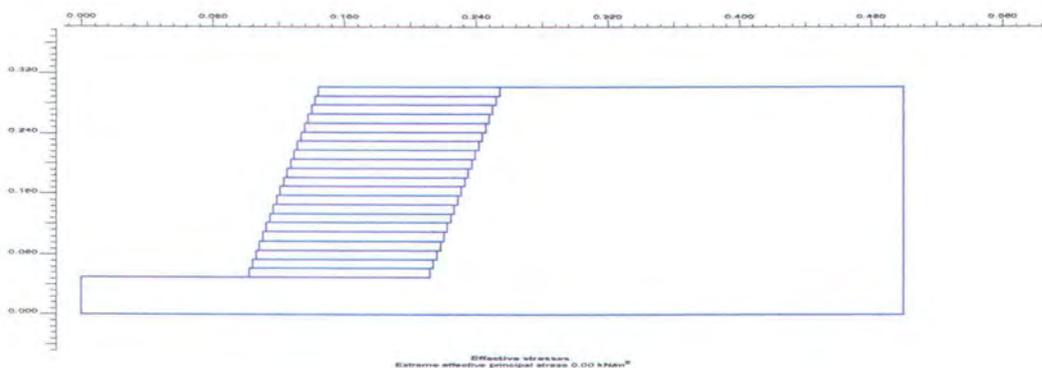
- F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



- G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



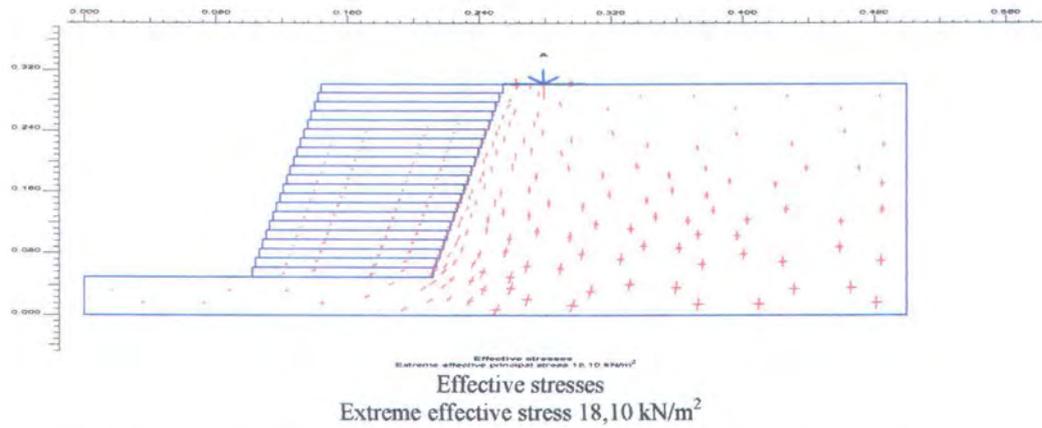
- H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



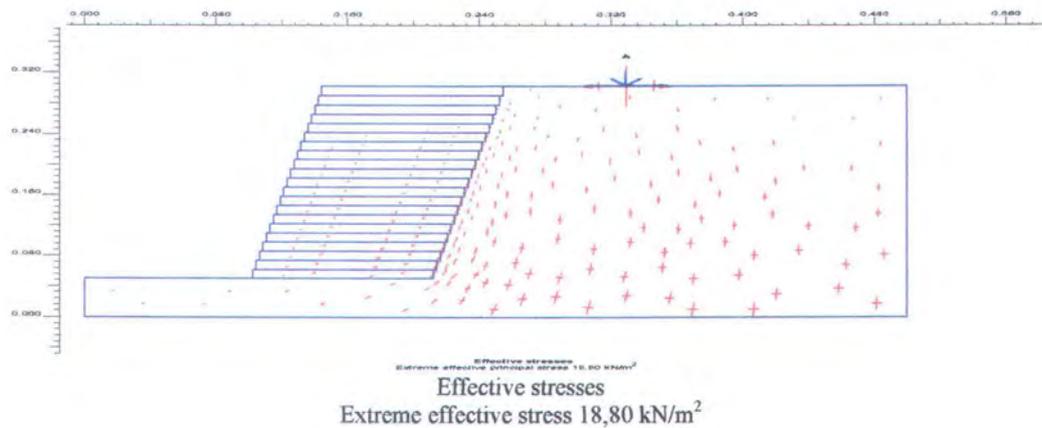
- I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)

WILIA PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

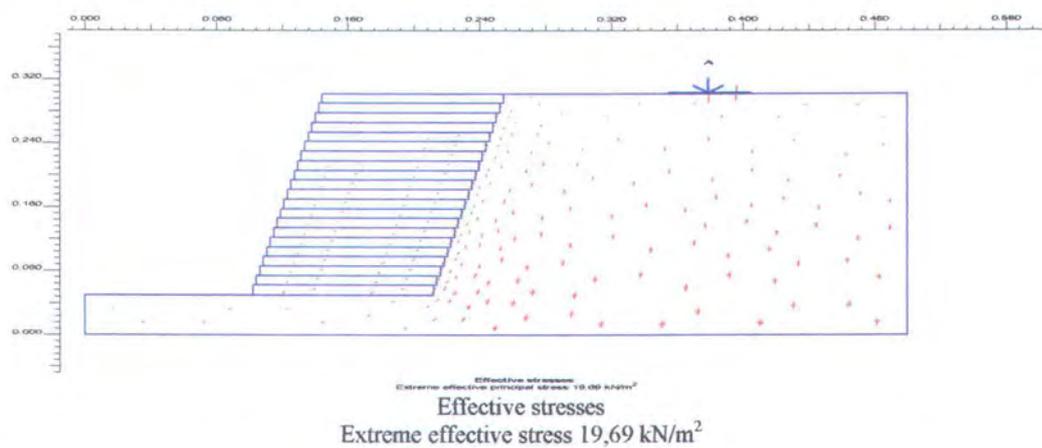




- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* I (CS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

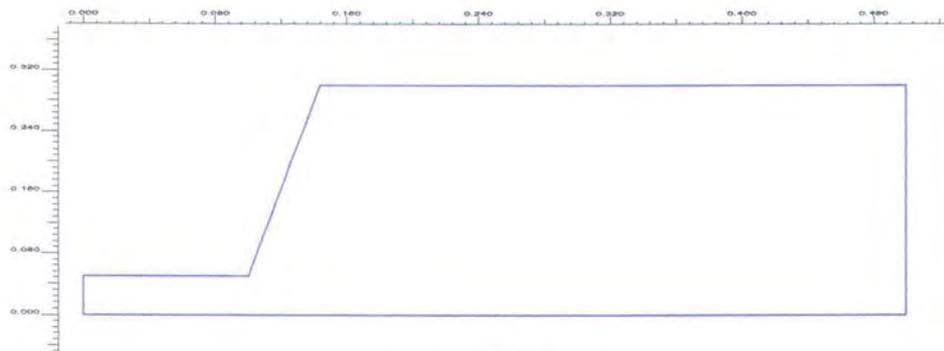


- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* II (CS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



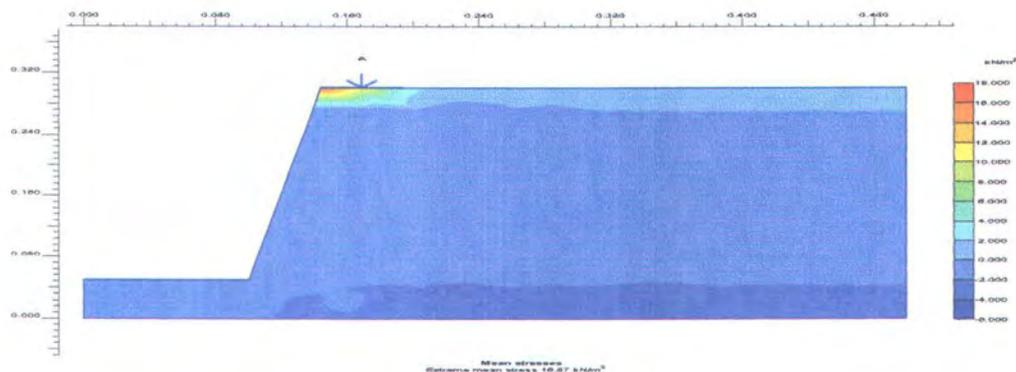
- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* III (CS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

Gambar E.7 *Effective Stresses* Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)



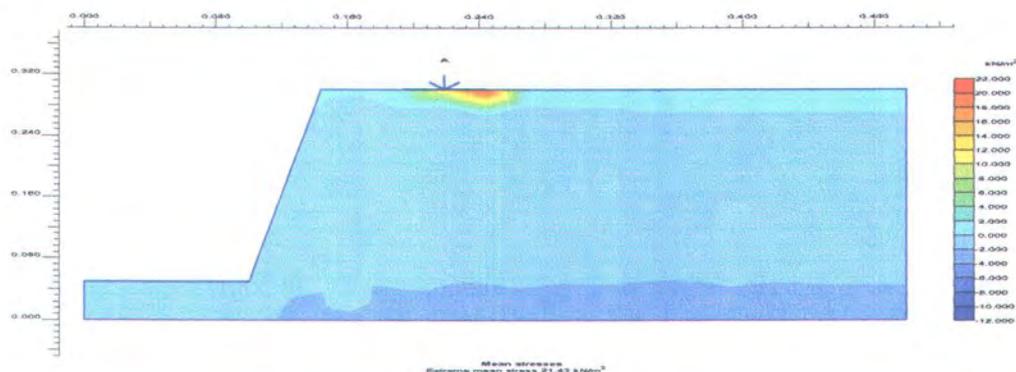
Mean stresses
Extreme mean stress 0.00 kN/m²

A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



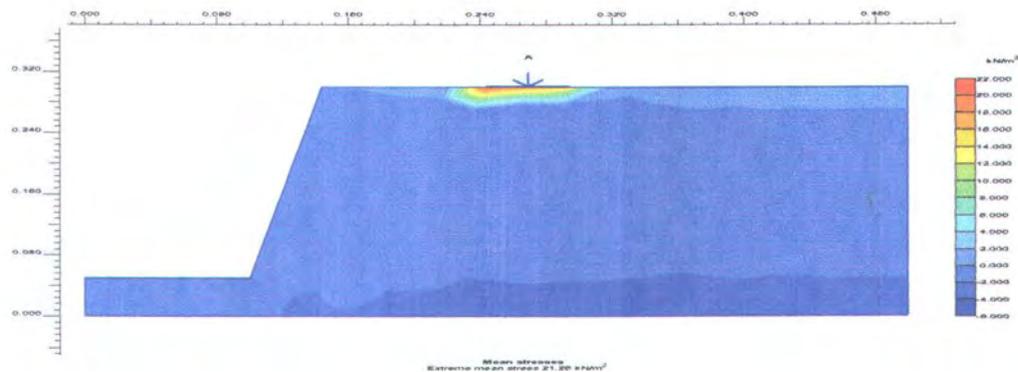
Mean stresses
Extreme mean stress -6.05 kN/m²

B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



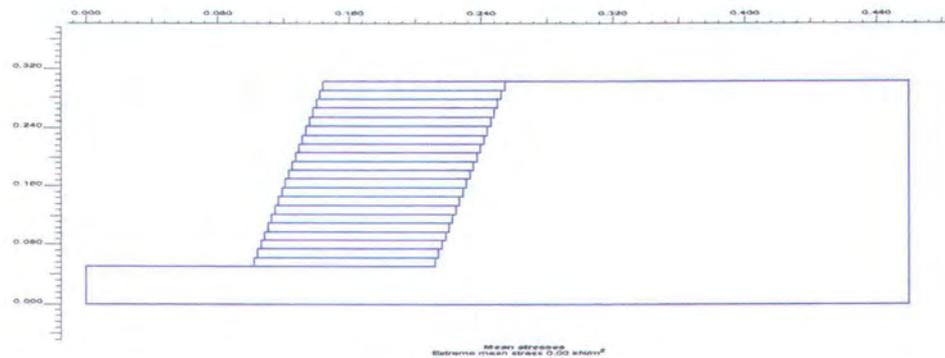
Mean stresses
Extreme mean stress 21,43 kN/m²

C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



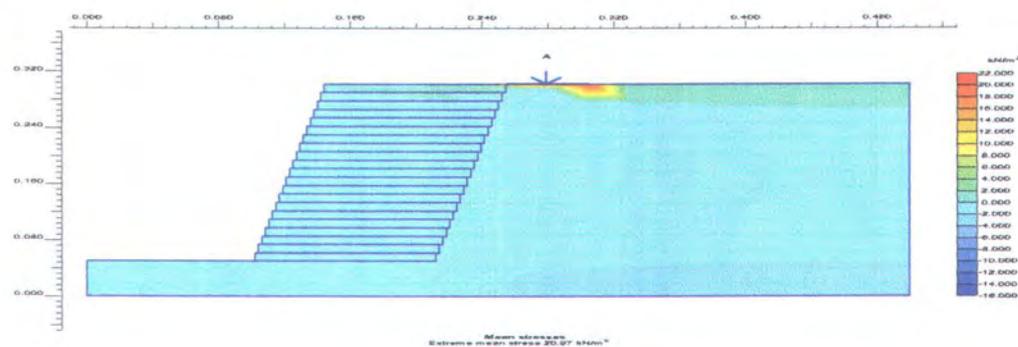
Mean stresses
Extreme mean stress 21,26 kN/m²

D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



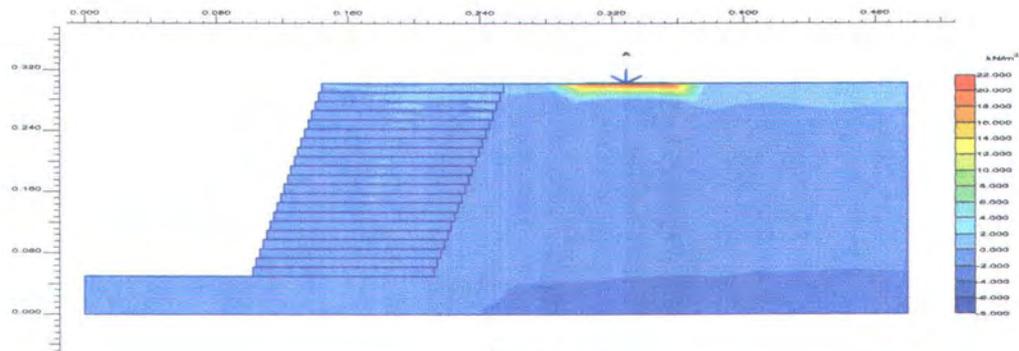
Mean stresses
Extreme mean stress 0,00 kN/m²

E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



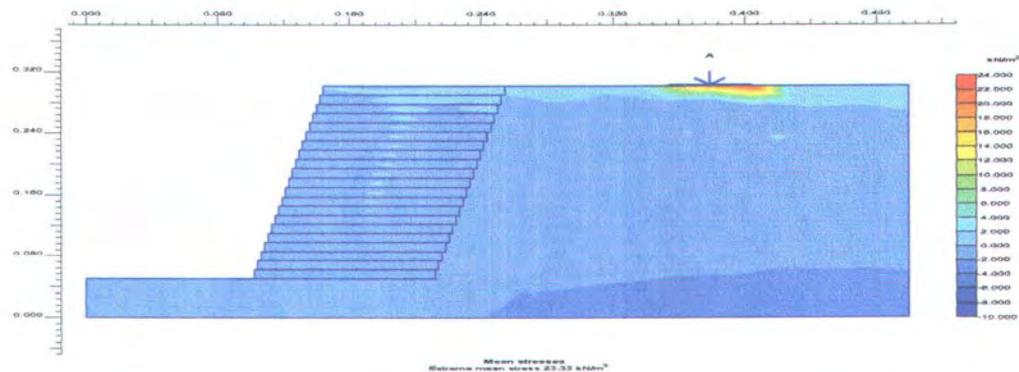
Mean stresses
Extreme mean stress 20,97 kN/m²

F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



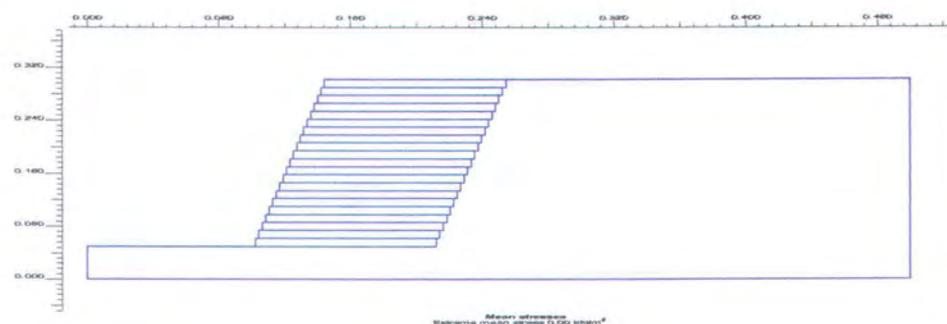
Mean stresses
Extreme mean stress 21,16 kN/m²

- G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



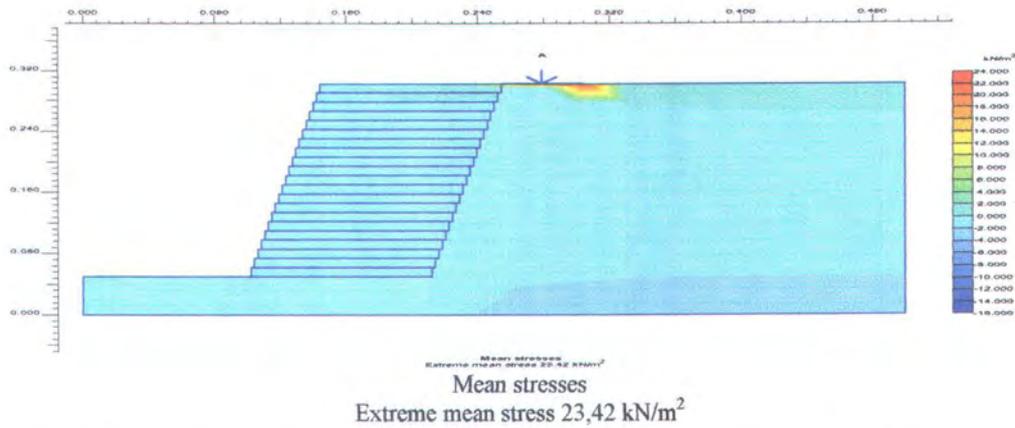
Mean stresses
Extreme mean stress 23,33 kN/m²

- H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

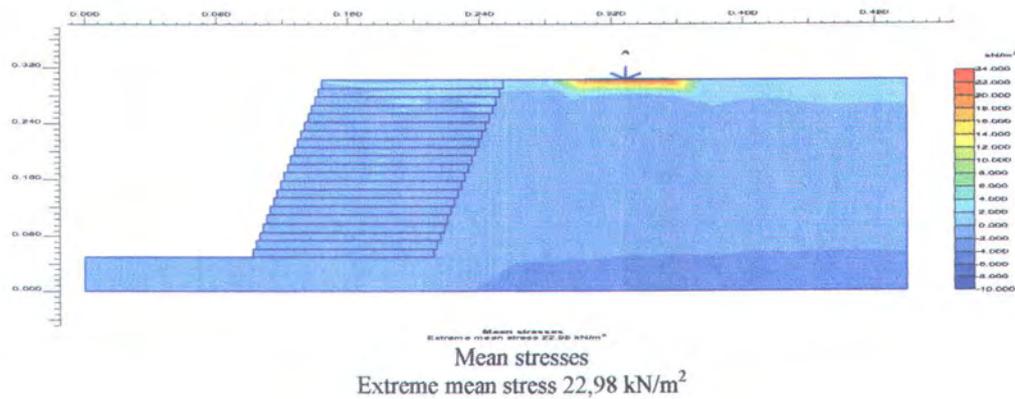


Mean stresses
Extreme mean stress 0,00 kN/m²

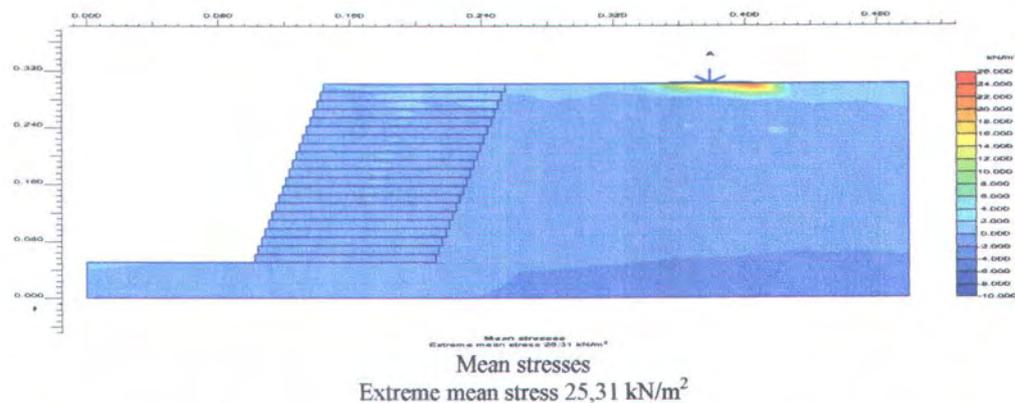
- I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Copper Slag (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* I (CS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

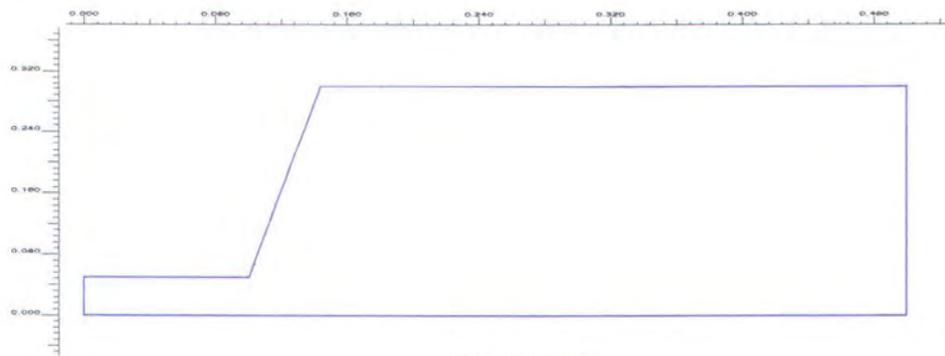


- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* II (CS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



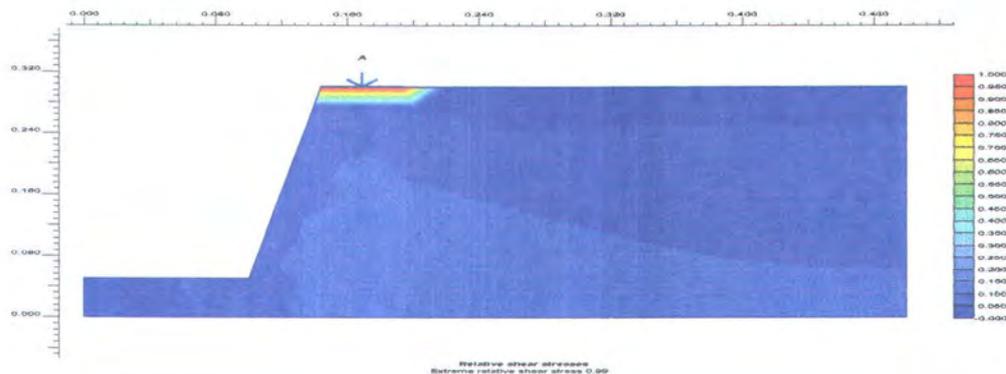
- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* III (CS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

Gambar E.8 Mean stresses Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)



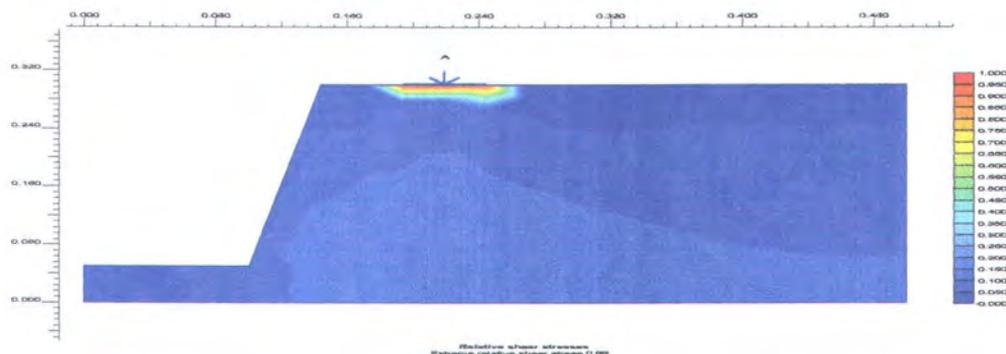
Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.00 kN/m²

A. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



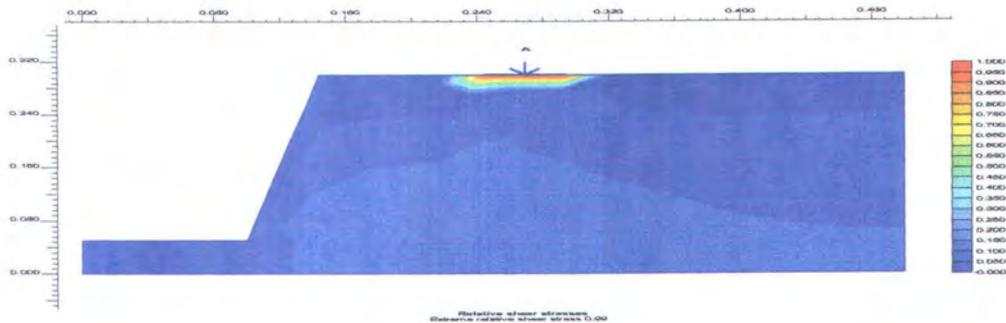
Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.99 kN/m²

B. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual I (M I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)

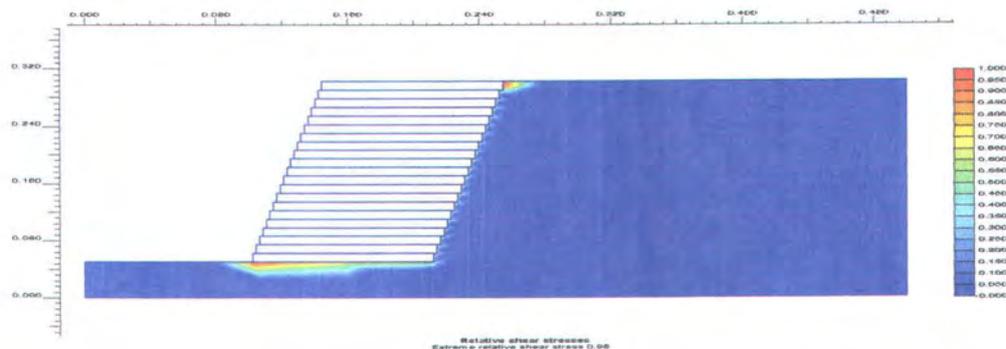


Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.99 kN/m²

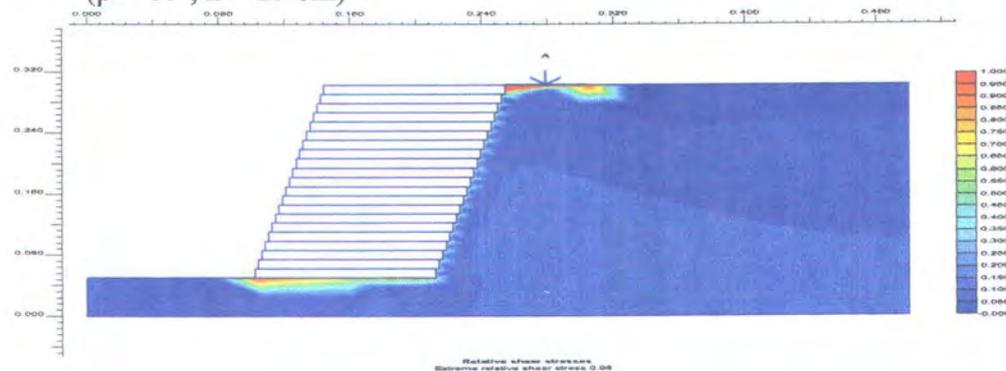
C. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual II (M II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



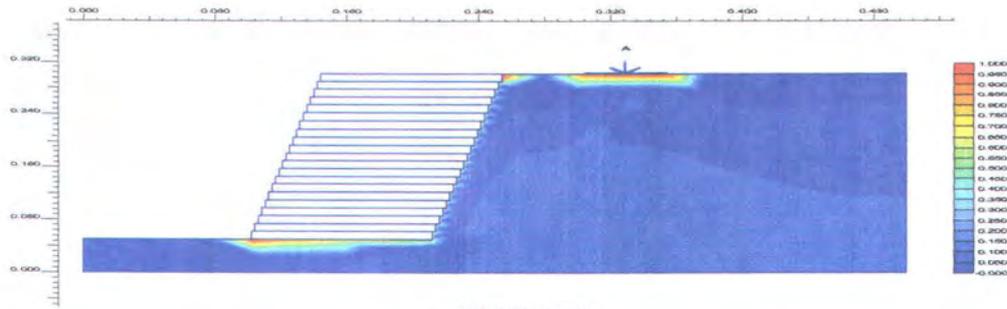
D. Tanah Lanau (TL) Tanpa Perkuatan Lereng (TPL) Manual III (M III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)



E. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir (PS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)

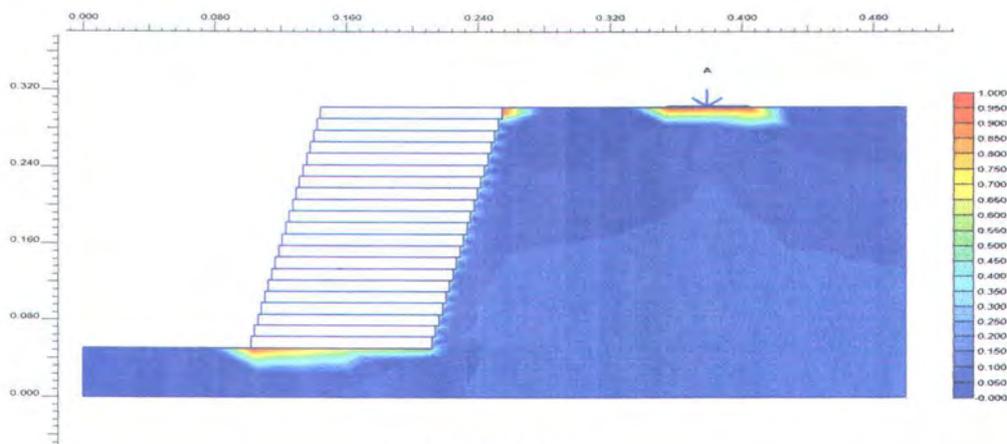


F. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (TPL) + Pasir I (PS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



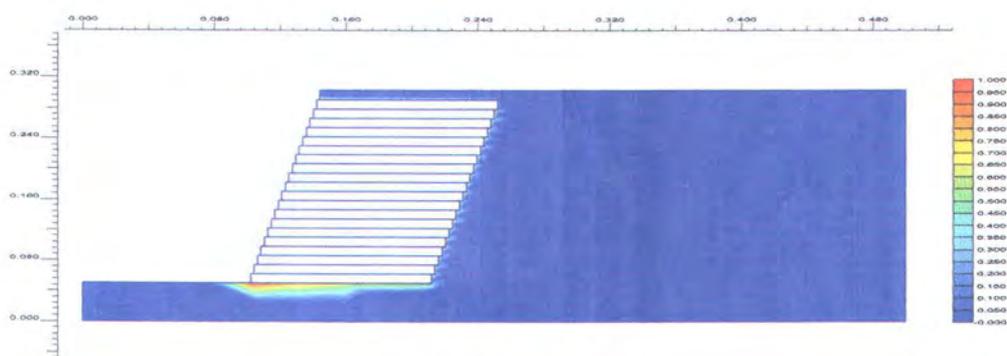
Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.98 kN/m²

G. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir II (PS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



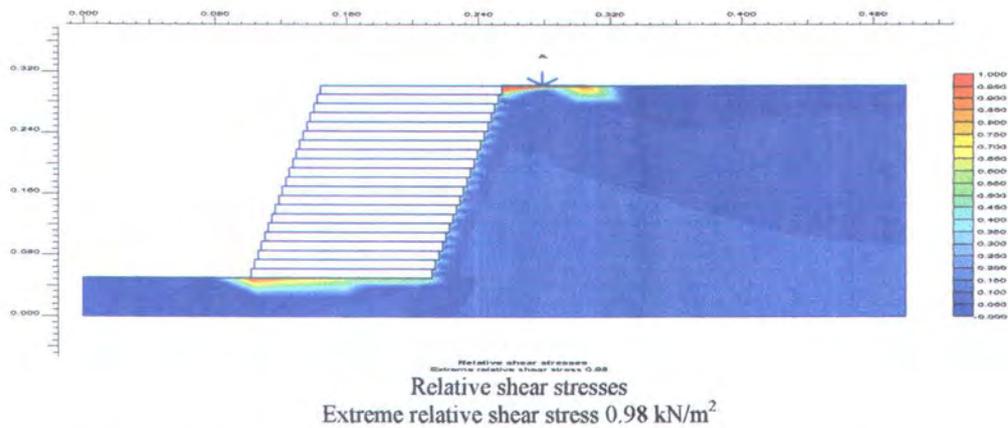
Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.98 kN/m²

H. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Pasir III (PS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

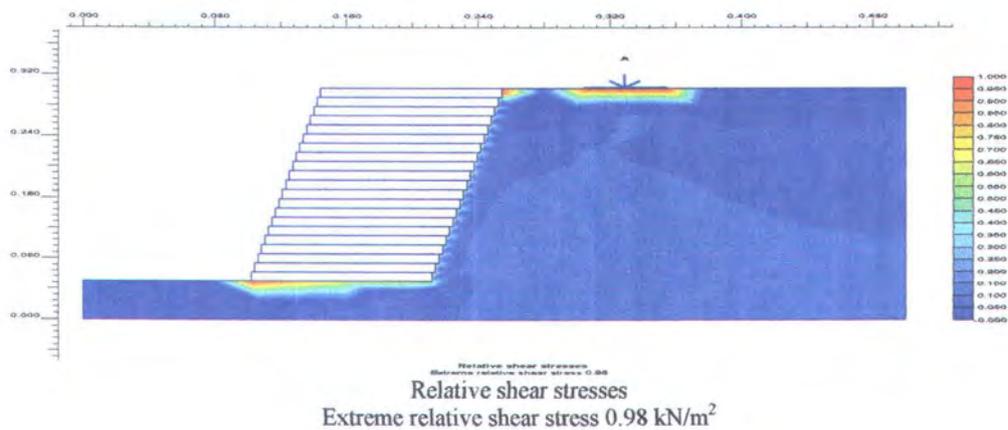


Relative shear stresses
Extreme relative shear stress 0.98 kN/m²

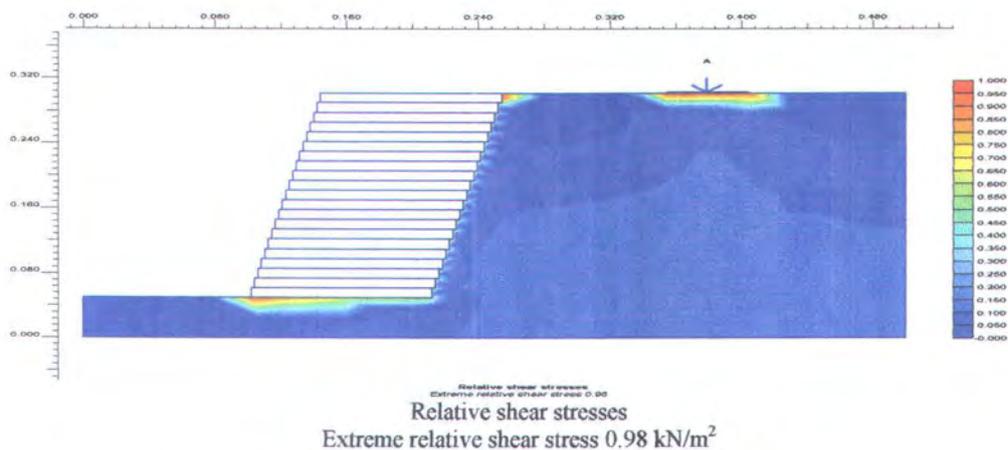
I. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + Copper Slag (CS)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm)



- J. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* I (CS I)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 0$ cm)



- K. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* II (CS II)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 5$ cm)



- L. Tanah Lanau (TL) Dengan Perkuatan Lereng (DPL) + *Copper Slag* III (CS III)
($\beta = 80^\circ$, $h = 25$ cm, $d = 10$ cm)

Gambar E.9 *Relative Shear Stresses* Simulasi Lereng Benda Uji Tanah Lanau (TL)

LAMPIRAN F



- FAKTOR ANGKA KEAMANAN MODEL SIMULASI LERENG
 - KLASIFIKASI TANAH MENURUT *AASHTO*



Lampiran F : Tabel 1
Faktor Angka Keamanan Simulasi Lereng

Model Simulasi Lereng		Faktor Angka Keamanan	
Dengan Pembebanan	Dengan Perkuatan	Manual I	4.837
		Manual II	14.645
		Manual III	15.348
		2 LP.TS + Pasir I	17.179
		2 LP.TS + Pasir II	17.308
		2 LP.TS + Pasir III	17.308
		2 LP.TS + <i>Copper Slag</i> I	17.188
		2 LP.TS + <i>Copper Slag</i> II	17.355
2 LP.TS + <i>Copper Slag</i> III	17.351		

Lampiran F : Tabel 2 Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Klasifikasi umum	Bahan-bahan berbutir (35% atau kurang lolos No. 200)							Bahan-bahan lanau dan lempung (Lebih dari 35% lolos No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisa saringan: Persen lolos: No. 10 No. 40 No. 200	maks. 50 maks. 30 maks. 15	maks. 50 maks. 25	min. 50 maks. 10	maks. 35	maks. 35	maks. 35	maks. 35	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36
Karakteristik fraksi yang lolos No. 40 Batas cair Indeks plastis				maks. 40 maks. 10	min. 41 maks. 10	maks. 40 min. 11	min. 41 min. 11	maks. 41 maks. 10	min. 41 maks. 10	maks. 40 min. 11	min. 41 min. 11
Indeks kelompok	0		0	0		maks. 4		maks. 8	maks. 12	maks. 16	maks. 20
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagai tanah	Sangat baik sampai baik							sedang sampai buruk			

Catatan: A-8, merupakan tanah gambut dan rawang, ditentukan dengan klasifikasi visual dan tidak diperlihatkan dalam tabel

Sumber : Bowles (1991)