

**UJI MODEL STABILITAS LERENG DENGAN VARIASI
SUDUT KEMIRINGAN LERENG AKIBAT BEBAN
DINAMIS PADA TANAH LEMPUNG BERPASIR**

SKRIPSI

KONSENTRASI GEOTEKNIK

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

SYAFI'AH 0610610080

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL**

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**UJI MODEL STABILITAS LERENG DENGAN VARIASI SUDUT
KEMIRINGAN LERENG AKIBAT BEBAN DINAMIS PADA
TANAH LEMPUNG BERPASIR**

SKRIPSI

KONSENTRASI GEOTEKNIK

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

SYAFI'AH

NIM. 0610610080-61

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Yulvi Zaika, Dr. Eng., MT

NIP.19680707 199403 2 002

Ir. As'ad Munawir, MT

NIP. 19591111 198601 1 003

**UJI MODEL STABILITAS LERENG DENGAN VARIASI SUDUT
KEMIRINGAN LERENG AKIBAT BEBAN DINAMIS PADA
TANAH LEMPUNG BERPASIR**

SKRIPSI

KONSENTRASI GEOTEKNIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

SYAFI'AH (0610610080)

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Desember 2010

Dosen Penguji

Ir.Suroso, Dipl.HE, M.Eng

19520301 197603 1 001

Yulvi Zaika,Dr.Eng.,MT

NIP.19680707 199403 2 002

Ir. As'ad Munawir, MT

NIP. 19591111 198601 1 003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.Sugeng P.Budio,MS

NIP.19610125 198601 1 001

PERNYATAAN**ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, didalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Adanya beberapa naskah pada skripsi ini yang memang disamakan dengan rekan satu penelitian, telah disepakati oleh pihak-pihak yang bersangkutan yaitu Syafi'ah, Syarifah, dan Moch Abu Naim dan telah disepakati oleh pihak-pihak yang tersebut sebelumnya bahwa itu merupakan salah satu unsur plagiasi.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi (selain naskah skripsi milik Syarifah dan Moch. Abu Naim) ini dapat dibuktikan terdapat ungu-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh (sarjana teknik) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003 pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Desember 2010

Mahasiswa,

Nama : SYAFI'AH

NIM : 0610610080

Jurusan: Teknik Sipil

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan tiada henti-hentinya memberi rahmat-Nya sehingga skripsi yang merupakan persyaratan terakhir akademis yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya ini dapat terselesaikan walaupun dengan berbagai macam kendala yang terjadi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian skripsi ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS selaku Ketua Jurusan Sipil
2. Ibu Siti Nurlina ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Sipil
3. Ibu Dr. Eng. Yulvi Zaika MT selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak Ir. As'ad Munawir, MT selaku Dosen Pembimbing II
5. Bapak Ir. Suroso Dipl. HE, M.Eng selaku Dosen Penguji Skripsi
6. Ibu, Ayah, Om, Tante, Kekasih, Kakak, Adik yang telah memberikan dukungan moril
7. Teman seperjuangan Syarifah dan Naim
8. Pak Ketut selaku laboran Mekanika Tanah
9. Teman-teman asisten Mektan, Musdalifa Aco dan M. Firmansyah
10. Teman-teman yang telah membantu dan memberi dukungan.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, 30 Desember 2010

Penulis



DAFTAR ISI

Kata Pengantar i

Daftar Isi ii

Daftar Tabel iv

Daftar Gambar v

Daftar Lampiran vii

Ringkasan viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Rumusan Masalah 3

1.5 Tujuan 3

1.6 Manfaat 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lereng 4

2.2 Longsor 4

2.3 Klasifikasi Tanah Longsor 10

2.4 Tipe Keruntuhan Lereng 12

2.5 Stabilitas Lereng 13

2.6 Analisa Talud dengan Tinggi Terbatas dengan Bidang Longsor Silindris
Lingkaran Umum 16

2.7 Analisis Stabilitas Lereng Akibat Getaran dengan Metode Irisan Vertikal ..21

2.8 Program Penghitungan Kestabilan Lereng dengan Program Plaxis 24

2.9 Percobaan Laboratorium 25

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 27

3.2 Alat dan Bahan 27

3.3 Metode Pengujian 27

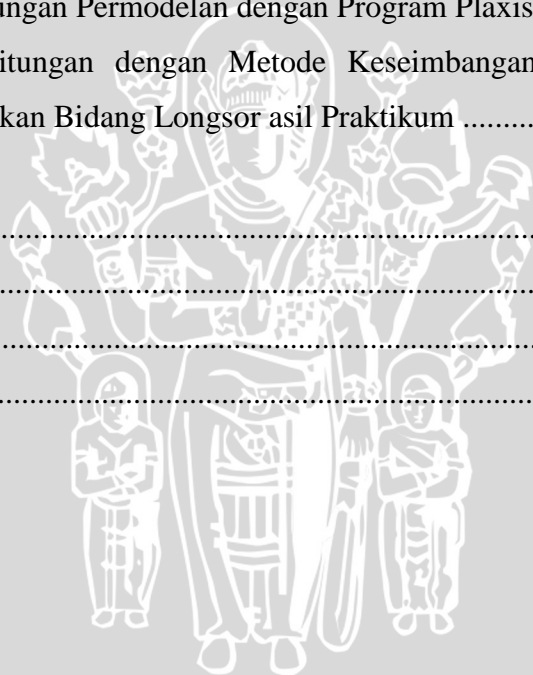
 3.3.1 Uji Dasar 27

 3.3.2 Model Test 28

3.4 Rancangan Percobaan 30



3.5 Variabel Penelitian	30
3.6 Bagan Alir Tahapan Penelitian	31
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian	
4.1.1 Pemeriksaan Berat Jenis Tanah	32
4.1.2 Pemeriksaan Batas Plastis	35
4.1.3 Pemeriksaan Berat Isi Tanah	36
4.1.4 Pengujian Triaxial	37
4.1.5 Pemeriksaan Kadar Air Optimum Melalui Uji Pemadatan	39
4.1.6 Penentuan Sudut Initial Lereng	39
4.1.7 Penelitian Pemberian Beban Dinamis pada Lereng	41
4.2 Pembahasan Hasil Penelitian	
4.2.1 Hasil Perhitungan Permodelan dengan Program Plaxis	46
4.2.2 Hasil Perhitungan dengan Metode Keseimbangan Batas Permodelan dengan menggunakan Bidang Longsor asil Praktikum	48
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	55



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Metode Pengujian Sifat Fisik Tanah dan Sifat Mekanis Tanah	28
Tabel 3.2	Rancangan Percobaan dengan Getaran	30
Tabel 4.1	Hasil Kalibrasi Labu Ukur	32
Tabel 4.2	Berat Jenis Tanah Labu G	34
Tabel 4.3	Berat Jenis Tanah Labu H	34
Tabel 4.4	Berat Jenis Tanah Labu I	35
Tabel 4.5	Hasil Batas Plastis	35
Tabel 4.6	Hasil Pemeriksaan Berat Isi dengan Kadar Air 26,007 % (Plastis)	36
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Berat Isi dengan Kadar Air 20,245 % (OMC)	36
Tabel 4.8	Angka Keamanan Pada Kondisi OMC	46
Tabel 4.9	Angka Keamanan Pada Kondisi Plastis	46
Tabel 4.10	Angka Keamanan Pada Kondisi OMC	46
Tabel 4.11	Angka Keamanan Pada Kondisi Plastis	46
Tabel 4.12	Persentase Perbedaan Nilai Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis Pada Kondisi OMC	50
Tabel 4.12	Persentase Perbedaan Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Dinamis Pada Kondisi OMC	50
Tabel 4.12	Persentase Perbedaan Nilai Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis Pada Kondisi Plastis	51
Tabel 4.12	Persentase Perbedaan Nilai Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis Pada Kondisi Plastis	51

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Kondisi Bawah Permukaan Lereng di Sebelah Timur Laut dan Barat Daya lokasi Longsor Hasil Pengukuran dengan Geoscanner	6
Gambar 2.2	Longsor di Tawangmangu di Lihat dari Arah Barat Daya	6
Gambar 2.3	Longsor di Perbatasan Dusun Mogol dan Longsor di Dusun Mogol	6
Gambar 2.4	Sumber Gempa dan jarak Terhadap Kota-kota di Sekitarnya yang Mengalami Dampak Bencana dan Peta Lokasi Terjadinya Longsor	7
Gambar 2.5	Morfologi Kawasan Longsor Cikangkareng dan Sekitarnya	8
Gambar 2.6	Kejadian Longsor dilihat dari Puncak Bukit Sebelah Barat Lokasi Bencana	9
Gambar 2.7	Tanah Longsor Tipe Jatuhan	10
Gambar 2.8	Tanah Longsor Tipe Robohan	10
Gambar 2.9	Tanah Longsor Tipe Gelincir	11
Gambar 2.10	Tanah Longsor Tipe Aliran	11
Gambar 2.11	Tanah Longsor Tipe Rayapan	12
Gambar 2.12	Tipe Keruntuhan Lereng	13
Gambar 2.13	Gaya Gravitasi Pada Permukaan Rata	13
Gambar 2.14	Gaya Gravitasi Pada Lereng	14
Gambar 2.15	<i>Angle of Repose</i> pada Butiran Tanah Kering	15
Gambar 2.16	<i>Angle of Repose</i> pada Butiran Tanah Agak Basah	15
Gambar 2.17	<i>Angle of Repose</i> pada Butiran Tanah Jenuh Air	15
Gambar 2.18	Analisis Talud dalam Tanah yang Homogen dengan $\emptyset > 0$	19
Gambar 2.19	Grafik Hubungan Antara Angka Stabilitas dengan Sudut Kemiringan Talud, $\emptyset > 0$	20
Gambar 2.20	Gaya-gaya yang Bekerja Pada Irisan Lereng Menurut Bishop	22
Gambar 2.21	Model Lereng dengan Keruntuhan Berbentuk Vertikal dan Irisan Vertikal	23
Gambar 2.22	Gaya-gaya yang Bekerja pada Irisan	23
Gambar 3.1	Model Fisik Percobaan di Laboratorium	29

Gambar 3.2	Bagan Alir Tahapan Penelitian	31
Gambar 4.1	Grafik Kalibrasi Labu Ukur G.	33
Gambar 4.2	Grafik Kalibrasi Labu Ukur H	33
Gambar 4.3	Grafik Kalibrasi Labu Ukur I	33
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Regangan dan Tegangan Uji Triaxial	37
Gambar 4.5	Lingkaran Mohr Triaxial Pada Kondisi OMC	37
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Regangan dan Tegangan Uji Triaxial	38
Gambar 4.7	Lingkaran Mohr Triaxial Pada Kondisi Plastis	38
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Isi Kering	39
Gambar 4.9	Pola Kelongsoran Pada Kondisi Plastis	43
Gambar 4.10	Pola Kelongsoran Pada Kondisi OMC	45
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Angka Keamanan dan Sudut Kemiringan Lereng Pada Kondisi OMC	47
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Angka Keamanan dan Sudut Kemiringan Lereng Pada Kondisi Plastis	47
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Angka Keamanan dan Sudut Kemiringan Lereng pada Kondisi OMC	49
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Angka Keamanan dan Sudut Kemiringan Lereng pada Kondisi Plastis	49



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Percobaan Berat Jenis (<i>Spesific Gravity</i>)	59
Lampiran 2	Pemeriksaan Batas Plastis	63
Lampiran 3	Percobaan Pemadatan (<i>Compaction Test</i>)	64
Lampiran 4	Percobaan Berat Isi (<i>Density Test</i>)	69
Lampiran 5	Percobaan Triaxial	71
Lampiran 6	Sudut Initial	77
Lampiran 7	Data Percobaan dan Pembebanan	79
Lampiran 8	Perhitungan Angka Keamanan dengan Metode Keseimbangan Batas	84
Lampiran 9	Pola Kelongsoran Hasil Analisis dengan program Plaxis	156



RINGKASAN

Syafi'ah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2010, *Uji Model Stabilitas Lereng Dengan Variasi Sudut Kemiringan Lereng Akibat Beban Dinamis Pada Tanah Lempung Berpasir*, Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT dan Ir. As'ad Munawir, MT.

Lereng adalah kenampakan permukaan alam yang memiliki beda tinggi A . Apabila beda tinggi dua tempat tersebut dibandingkan dengan jarak lurus mendatar, akan diperoleh besarnya kelerengan (slope). Hal ini erat kaitannya dengan masalah stabilitas lereng. Longsoran dapat terjadi antara lain karena hujan dan gempa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah beban dinamis dan kadar air berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Untuk tujuan tersebut dilakukan pemodelan lereng di laboratorium dengan pembebanan dinamis berupa getaran yang berasal dari *shieve shaker*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan variasi sudut yaitu 65° , 70° , 75° , 80° dan pada kondisi kadar air OMC dan plastis. Percepatan getaran diukur dengan menggunakan sensor getaran yang diletakkan pada model.

Dari hasil penelitian dengan menggunakan beban dinamis didapatkan pola kelongsoran lereng (*Slope Failure*). Perhitungan stabilitas lereng akibat getaran dilakukan dengan metode irisan vertikal dengan pengaruh beban dinamis dan tanpa pengaruh beban dinamis. Selain itu digunakan juga program Plaxis untuk membandingkan hasil angka keamanan yang telah di hitung dengan metode irisan vertikal .

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa sudut kritis semakin besar pada sat kadar air semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air berpengaruh terhadap perubahan. Dengan analisis menggunakan metode irisan vertikal dan program Plaxis didapatkan hasil bahwa pada kondisi OMC tanpa beban dinamis menunjukkan angka keamanan yang lebih besar di bandingkan dengan analisis menggunakan beban dinamis. Begitu juga pada kondisi plastis menunjukkan hasil yang sama. Hasil ini memberikan kesimpulan bahwa beban dinamis mempunyai pengaruh dalam stabilitas lereng yaitu memperkecil angka keamanan.

Kata kunci : lereng, longsor, stabilitas lereng, beban dinamis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lereng adalah kenampakan permukaan alam yang memiliki beda tinggi A. Apabila beda tinggi dua tempat tersebut dibandingkan dengan jarak lurus mendatar, akan diperoleh besarnya kelerengan (slope). Bentuk lereng tergantung pada proses erosi gerakan tanah dan pelapukan. Lereng memiliki parameter topografi yang terbagi dalam dua bagian, yaitu kemiringan lereng dan beda tinggi relief (Bowles & Joseph, E., 2001).

Stabilitas lereng sangat erat kaitannya dengan longsor atau gerakan tanah yang merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Pergerakan tanah ini terjadi karena perubahan keseimbangan daya dukung tanah dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru. Longsoran umumnya terjadi jika tanah sudah tidak mampu menahan berat lapisan tanah di atasnya karena ada penambahan beban pada permukaan lereng dan berkurangnya daya ikat antara butiran tanah relief (Bowles & Joseph, E., 2001).

Beberapa parameter penting sebagai pemicu tanah longsor antara lain adalah kemiringan lereng. Semakin besar sudut lereng semakin besar pula daya dorong disebabkan meningkatnya tegangan geser berbanding terbalik dengan tegangan normal berupa kekuatan penahan. Selain itu adanya beban dinamis juga akan berpengaruh terhadap besarnya sudut kemiringan tersebut. Didaerah yang mempunyai pengaruh beban dinamis yang tinggi, maka sudut kemiringan lerengnya harus lebih kecil jika dibandingkan dengan daerah yang pengaruh beban dinamisnya rendah. Beban dinamis dapat berupa gempa maupun kegiatan manusia (lalu lintas kendaraan, pengurangan tanaman).

Apabila terjadi gempa bumi, maka pertama-tama yang merasakan getaran adalah tanah disekeliling pusat gempa. Getaran akibat gempa kemudian disebarkan kesegala penjuru sampai pada ke lokasi pencatat gempa di permukaan tanah. Selama getaran menjalar dari pusat gempa sampai kepermukaan tanah, maka faktor tanah sebagai penghantar getaran mempunyai peran yang sangat penting.

Kondisi geologi dan kondisi tanah tertentu, akan menyebabkan respon tanah akibat beban dinamis menjadi berlainan. Untuk keperluan tersebut, maka disini akan diadakan sebuah penelitian dengan pembuatan model tes lereng pada tanah campuran lempung pasir pada beberapa kondisi kadar air yang akan menyelidiki perubahan sudut kemiringan kritis suatu lereng ketika diberi beban dinamis. Disini juga akan diselidiki pola keruntuhan serta menentukan angka keamanan (*safety factor*) pada model lereng.

1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam studi ini antara lain :

- a. Waktu yang dibutuhkan untuk frekuensi getaran tertentu sehingga mengalami longsor untuk tanah pada kondisi plastis dan pada kadar air optimum.
- b. Pengaruh kadar air terhadap perubahan sudut kritis
- c. Pengaruh beban dinamis terhadap sudut kritis.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini kajian masalah yang diamati dibatasi oleh beberapa batasan masalah antara lain :

- a. Jenis tanah yang digunakan berupa campuran tanah lempung dan pasir
- b. Jenis tanah lempung yang dipakai adalah kaolinit
- c. Pasir yang digunakan terdiri dari tiga jenis campuran yaitu pasir bergradasi halus, bergradasi sedang, dan bergradasi kasar dengan perbandingan 1:2:3
- d. Campuran kaolinit 60% dengan tanah pasir 40%
- e. Sudut kemiringan lereng telah ditentukan
- f. Suhu ruangan sekitar diabaikan
- g. Sumber getaran berasal dari *sieve shaker* dengan frekuensi yang telah ditentukan
- h. Pola gempa yang digunakan adalah gempa dengan gerakan horizontal
- i. Air yang digunakan adalah air PDAM Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Brawijaya.
- j. Tinggi lereng telah ditentukan.
- k. Waktu yang dibutuhkan untuk pengamatan setiap sudut lereng adalah sama

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan dibahas antara lain :

- a. Bagaimana pengaruh kadar air terhadap perubahan sudut kritis ?
- b. Bagaimana pengaruh beban dinamis terhadap sudut kritis ?
- c. Berapakah besarnya faktor keamanan ?

1.5 Tujuan

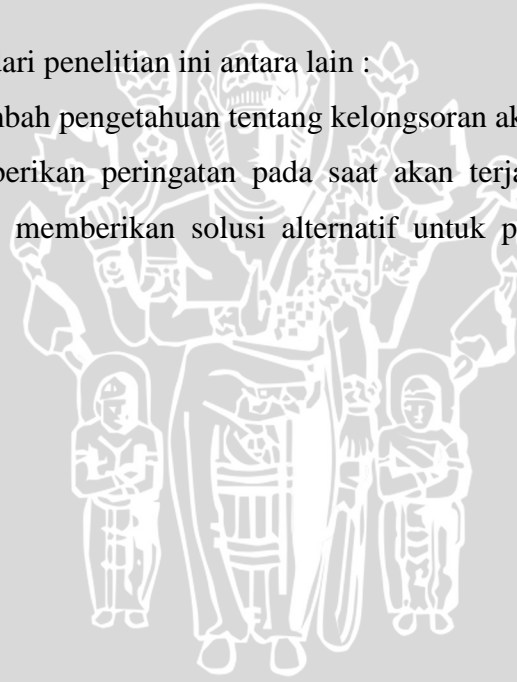
Tujuan dari penelitian ini antara lain :

- a. Mengetahui pengaruh kadar air terhadap perubahan sudut kritis
- b. Mengetahui pengaruh beban dinamis terhadap sudut kritis
- c. Mengetahui faktor keamanan

1.6 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain :

- a. Bagi peneliti, menambah pengetahuan tentang kelongsoran akibat beban dinamis.
- b. Bagi praktisi, memberikan peringatan pada saat akan terjadinya longsor akibat beban dinamis serta memberikan solusi alternatif untuk perencanaan perkuatan lereng.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lereng

Lereng adalah kenampakan permukaan alam yang memiliki beda tinggi A . Apabila beda tinggi dua tempat tersebut dibandingkan dengan jarak lurus mendatar, akan diperoleh besarnya kelerengan (slope). Bentuk lereng tergantung pada proses erosi gerakan tanah dan pelapukan. Lereng memiliki parameter topografi yang terbagi dalam dua bagian, yaitu kemiringan lereng dan beda tinggi relief (Bowles & Joseph, E., 2001).

Stabilitas lereng sangat erat kaitannya dengan longsor atau gerakan tanah yang merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Pergerakan tanah ini terjadi karena perubahan keseimbangan daya dukung tanah dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru. Longsoran umumnya terjadi jika tanah sudah tidak mampu menahan berat lapisan tanah di atasnya karena ada penambahan beban pada permukaan lereng dan berkurangnya daya ikat antara butiran tanah relief (Bowles & Joseph, E., 2001).

Dilihat dari cara terbentuknya, lereng dapat dibedakan menjadi :

- a. lereng alami, yaitu lereng yang terdapat pada bukit dan tebing sungai
- b. lereng buatan, ada 2 tipe :
 - lereng galian, baik itu berupa saluran maupun pemotongan lahan, biasa disebut cut slopes
 - lereng akibat timbunan, misalnya untuk urugan ataupun sebagai bendungan, biasa disebut fill slopes.

Sedangkan dalam analisis dapat dibedakan menjadi :

- a. Lereng tak berhingga (*infinite slopes*), atau lereng yang dianggap tidak terhingga ketinggiannya.
- b. Lereng berhingga (*finite slopes*), atau lereng dengan tinggi terbatas.

2.2 Longsor

Pengertian tanah longsor sebagai respon yang merupakan faktor utama dalam proses geomorfologi akan terjadi di mana saja di atas permukaan bumi, terutama permukaan relief pegunungan yang berlereng terjal, maupun permukaan lereng bawah

laut. Tanah longsor didefinisikan sebagai tanah longsor batuan atau tanah di atas lereng permukaan kearah bawah lereng bumi disebabkan oleh gravitasi/gaya berat.

Berikut beberapa Contoh Longsoran yang terjadi di Indonesia :

1. Longsor Di **Dusun Mogol, Desa Legoksari, Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah yang diakibatkan oleh air hujan**

Bencana tanah longsor terjadi pada hari Rabu, 26 Desember 2007 sekitar jam 3.00 WIB melanda sekitar 12 rumah di Dusun Mogol, Desa Ledoksari, Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah, tepatnya pada koordinat $111^{\circ} 07' 24,9''$ BT dan $07^{\circ} 40' 36,8''$ LS. Dari jalan utama Karanganyar - Tawangmangu menuju lokasi bencana berjarak kurang lebih 2 km, meskipun terbuat dari aspal, jalan itu berupa tanjakan dan turunan dengan kemiringan $(60 - 70)^{\circ}$.

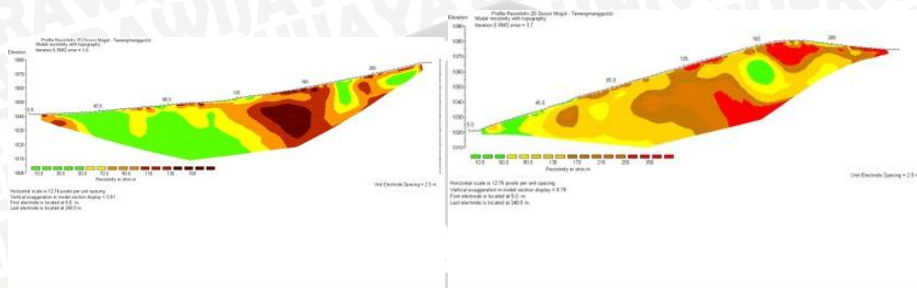
Beberapa penyebab yang mungkin untuk bencana longsor di Tawangmangu ini adalah curah hujan yang tinggi, kondisi geologi, perubahan penggunaan lahan, kondisi hidrologi dan kemiringan lereng.

- Curah hujan tinggi abnormal yang turun sebelumnya selama beberapa hari berturut-turut (komunikasi lisan dengan petugas Posko Kabupaten Karanganyar serta penduduk setempat), menyebabkan tanah jenuh air.
- Tebing yang terjal dengan kemiringan sekitar 50° .
- Litologi di tempat kejadian bencana, berupa breksi vulkanik dan tuf yang telah lapuk menjadi lempung pasir dan bongkah-bongkah batuan ukuran kecil hingga besar.
- Sifat fisik tanah pelapukan batuan berupa lempung pasir yang lunak, mudah hancur dan luruh bila terkena air karena telah melewati batas kejenuhan.

Longsor terjadi pada saat curah hujan yang tinggi. Pada musim kering longsor tidak terjadi sedangkan pada saat hujan longsor terjadi. Oleh karena itu curah hujan mempunyai peranan yang besar untuk terjadinya longsor. Berdasarkan informasi diketahui bahwa pada saat yang bersamaan beberapa daerah dilanda banjir termasuk kota Solo. Di kota Solo ini banjir besar seperti ini terjadi terakhir pada tahun 1966. Dengan demikian curah hujan merupakan faktor penting dalam terjadinya longsor. Kondisi hidrologi menunjukkan bahwa daerah ini subur akan air.

Di saat musim kemarau debit air di sungai-sungai tetap besar sehingga secara umum kondisi hidrologinya tidak ada perbedaan yang besar.

Berdasarkan pengamatan tersebut didapatkan kesimpulan bahwa longsor di daerah ini lebih banyak disebabkan oleh faktor curah hujan dan litologi.



Gambar 2.1 Kondisi bawah permukaan lereng di sebelah timur laut dan barat daya lokasi longsor hasil pengukuran dengan geoscanner.



Gambar 2.2 Longsor di Tawangmangu di lihat dari arah barat daya. Lingkaran menunjukkan pohon yang jatuh akibat longsor. Perhatikan panjang akar pohon tersebut yang hanya sekitar 2 meter dibandingkan dengan kedalaman batuan yang longsor yang sekitar 6 meter.



Gambar 2.3 Longsor di perbatasan dusun Mogol dan Longsor di dusun Mogol

Jenis gerakan tanah adalah longsor bahan rombakan berasal dari salah satu tebing yang ada di desa Mogol. Material longsor didominasi oleh endapan material tanah, pasir dan bongkah batuan bercampur dengan air dari sungai yang ada di tepi tebing serta pepohonan yang tumbang, kemudian bergerak dengan cepat sejauh kurang lebih 150 m melalui lembahnya menimpa rumah penduduk yang ada di bawahnya. Lebar total aliran bahan rombakan yang berasal dari longsor-longsor tebing mencapai 250 meter dengan arah umum longsor N 240° E. Gambar 5 menunjukkan ilustrasi terjadinya longsor di Desa Mogol.

2. Longsor di Desa Cikangkareng dan Desa Pamoyanan, Kecamatan Cibinong, Kabupaten Cianjur Selatan, Jawa Barat pada 2 September 2009.

Gempa dengan kekuatan 7,3 SR telah melanda Pulau Jawa pada tanggal 2 September 2009 dan telah menyebabkan dampak yang sangat besar. Data dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah sebagai berikut :

- Hiposenter : 8,24° Lintang Selatan dan 107,32° Bujur Timur
- Kedalaman : 30 km
- Magnituda : 7,3 SR
- Waktu Gempa : 2 September 2009, jam 14:55:00 WIB
- Posisi : 142 km barat daya Tasikmalaya



Gambar 2.4 Sumber gempa dan jarak terhadap kota-kota disekitarnya yang mengalami dampak bencana (sumber: Kompas).

Di beberapa wilayah Jawa Barat bagian selatan, banyak terdapat pada zona kerentanan longsor menengah hingga tinggi, maka gempabumi ini berpotensi diikuti oleh kejadian tanah longsor. Kejadian bencana longsor di Desa Cikangkareng dan

Desa Pamoyanan, Kecamatan Cibinong, Kabupaten Cianjur 2 September 2009 sebagai dampak terjadinya guncangan gempa yang berpusat di Samudera Hindia.



Lokasi terjadinya tanah longsor di Desa Cikangkareng dan Desa Pamoyanan, Kecamatan Cibinong, Kabupaten Cianjur.

Secara umum morfologi di Cibinong dan sekitarnya terbentuk oleh perbukitan dengan kelerengan sedang sampai sangat curam. Lokasi bencana termasuk pada posisi lembah yang dikelilingi oleh bukit-bukit dengan kelerengan curam sampai sangat curam. Kabupaten Cianjur khususnya Kecamatan Cibinong, sebagian terbentuk oleh perbukitan dengan kelerengan curam yang mempunyai kerentanan tanah longsor tinggi. Tanah longsor yang terjadi umumnya lebih banyak memakan korban akibat permukiman yang berada pada daerah rawan longsor.



Gambar 2.5 Morofologi kawasan longsor Cikangkareng dan sekitarnya.



Gambar 2.6 Kejadian longsor dilihat dari puncak bukit sebelah barat lokasi bencana.

Di Jawa Barat dijumpai 18 buah gunungapi yang membentuk geografi termasuk Jawa Barat bergunung-gunung dan berlereng terjal. Hasil letusan gunungapi membentuk batuan berukuran lempung, pasir, kerikil, kerakal, dan kadang-kadang bongkah, bersifat kurang kuat serta beberapa batuan ada yang kuat. Karena proses alam maka batuan akan lapuk menjadi tanah yang relatif tebal. Apabila tanah longsor dan endapan letusan gunungapi terletak pada lereng yang relatif terjal akan mudah terjadi tanah longsor terutama bila dipicu oleh hujan dan gempa bumi.

Kejadian-kejadian bencana alam tanah longsor di Cianjur dan sekitarnya pada umumnya berada pada zona kerentanan menengah sampai sangat tinggi. Daerah Cibinong dan sekitarnya sebagian besar merupakan perbukitan, tanah hasil pelapukan atau soil yang tebal, banyak terjadi retakan dan patahan, dan ditunjang dengan curah hujan tinggi sehingga menyebabkan tingkat tanah longsor juga tinggi.

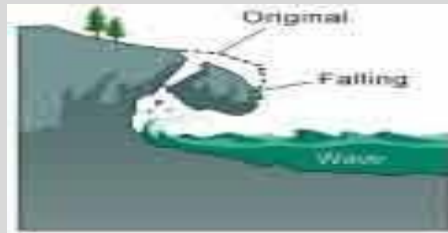
Daerah sekitar longsor merupakan daerah perbukitan bergelombang sedang dimana bagian selatannya merupakan tebing dengan kemiringan lereng sekitar 85° hingga 90° . Bongkah batuan yang longsor mempunyai ukuran lanau - lempung yaitu tanah bagian atas (*silt - clay*) hingga bongkah batuan berukuran beberapa meter (*boulder*). Bahan material longsor didominasi oleh batuan dan sebagian berupa tanah dan material ukuran pasir sehingga jenis longsor ini dapat diklasifikasikan sebagai longsor jenis *rock fall*. Gerakan longsor didominasi oleh gerakan jatuhan dan menggelondong (*falling and rolling*).

2.3 Klasifikasi Tanah Longsor

Tanah longsor yang disesuaikan dengan dasar klasifikasi yang dipergunakan masing-masing ahli, berikut ini dijelaskan nama-nama kelas gerakan tanah yang umum dipakai (Ritter, 1986) :

a. Tanah Longsor tipe jatuhan (*falls*)

Tanah longsor tipe ini, material batuan atau tanah atau campuran keduanya bergerak dengan cara jatuh bebas karena gaya beratnya sendiri. Proses tanah longsor semacam ini umumnya terjadi pada lereng terjal, bias dalam bentuk bongkah individual batuan berukuran besar atau dalam bentuk guguran fragmen bongkah bercampur dengan bongkah-bongkah yang berukuran lebih kecil.



Gambar 2.7 Tanah Longsor Tipe Jatuhan

b. Tanah longsor tipe robohan (*Topples*)

Gerakan massa tipe robohan hamper serupa dengan tanah longsor tipe falls, pada tipe topples ini gerakannya dimulai dengan bagian paling atas dari bongkah lepas dari batuan induknya karena adanya celah retakan pemisah, bongkah terdorong ke depan hingga tidak dapat menahan bebannya sendiri.

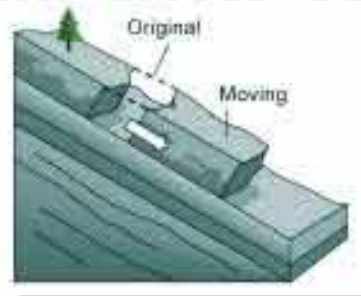


Gambar 2.8 Tanah Longsor Tipe Robohan

c. Tanah longsor tipe gelincir (*Slides*)

Tanah longsor tipe gelincir adalah tanah longsor batuan atau tanah atau campuran keduanya yang bergerak melalui bidang gelincir tertentu yang bertindak sebagai bidang diskontinuitas , berupa bidang perlapisan batuan atau bidang sesar/patahan, bidang kekar, bidang batas pelapukan. Jika bidang-bidang

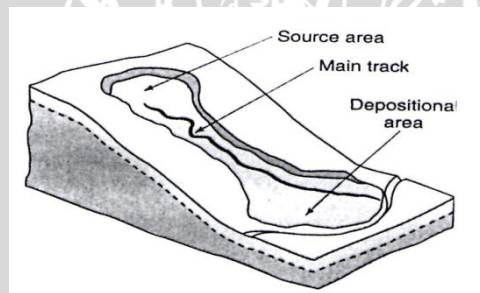
diskontinuitas tersebut sejajar dengan bidang perlapisan, maka semakin besar peluang terjadinya tanah longsor.



Gambar 2.9 Tanah Longsor Tipe Gelincir

d. Tanah longsor tipe aliran (*Flows*)

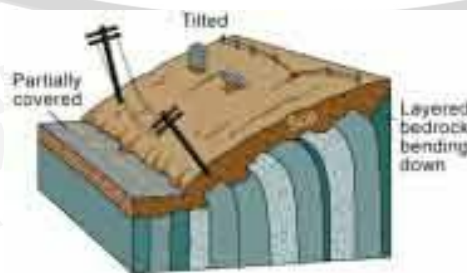
Tanah longsor tipe aliran adalah tanah longsor tanah atau bercampur dengan bongkah-bongkah batuan bergerak pada saluran tertentu yang disebabkan massa tanah yang kehilangan daya rekatnya karena penjujukan oleh air meresap kedalam tanah sangat banyak karena intensitas hujan yang sangat tinggi dan lama atau pencairan gletser di daerah yang beriklim dingin.



Gambar 2.10 Tanah Longsor Tipe Aliran

e. Tanah longsor tipe rayapan (*Creep*)

Gerakan tipe tanah rayapan (*creep*) adalah tanah longsor yang bergerak sangat lambat, gerakannya tidak spontan (tidak mendadak), gerakan ini hanya diketahui dari retakan pada agungan permanen, tiang listrik pohon-pohon miring condong ke arah bawah lereng.



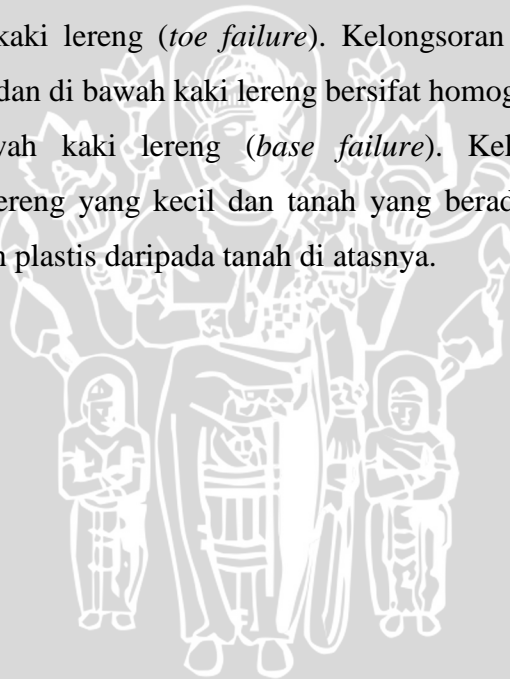
Gambar 2.11 Tanah Longsor Tipe Rayapan

2.4 Tipe Keruntuhan Lereng

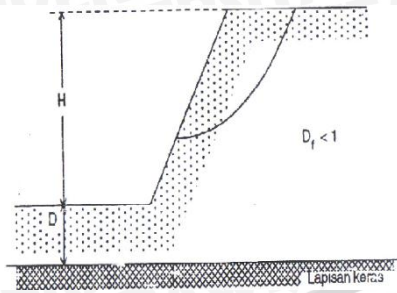
Pengamatan longsor lereng oleh Collin (1846) menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa longsor tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Keruntuhan lereng dari jenis tanah kohesif banyak terjadi karena bertambahnya kadar air tanah. Sebab terjadinya longsor adalah karena tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan gerakan tanah longsor ke bawah, pada bidang longornya.

Bentuk bidang longsor lereng yang normal terjadi dapat dibagi atas:

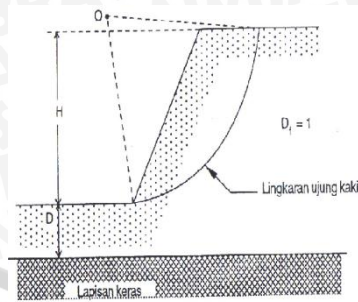
1. Kelongsoran pada lereng (*slope failure*)
Kelongsoran ini terjadi karena sudut lereng sangat besar dan tanah yang dekat dengan kaki lereng tersebut memiliki kekuatan yang tinggi.
2. Kelongsoran pada kaki lereng (*toe failure*). Kelongsoran ini terjadi ketika tanah yang berada di atas dan di bawah kaki lereng bersifat homogen.
3. Kelongsoran dibawah kaki lereng (*base failure*). Kelongsoran ini terutama diakibatkan sudut lereng yang kecil dan tanah yang berada di bawah kaki lereng lebih halus dan lebih plastis daripada tanah di atasnya.



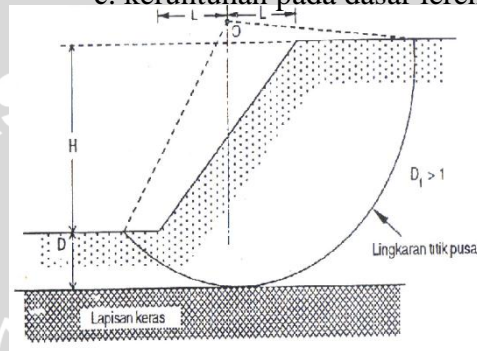
a. keruntuhan pada lereng



b. keruntuhan pada kaki lereng



c. keruntuhan pada dasar lereng



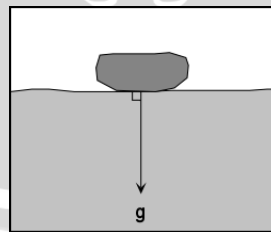
Gambar 2.12 Tipe Keruntuhan Lereng

2.5 Stabilitas Lereng

Faktor – faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng antara lain :

a. Gravitasi

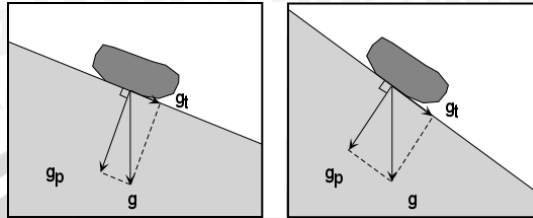
Pada permukaan yang rata gaya gravitasi bekerja ke bawah. Selama materi tetap pada permukaan datar tidak akan bergerak di bawah gaya gravitasi.



Gambar 2.13 Gaya gravitasi pada permukaan rata

Pada lereng, gaya gravitasi dapat dipecahkan menjadi dua komponen, komponen pertama yang bekerja tegak lurus terhadap lereng dan komponen kedua bekerja pada komponen tangensial ke lereng.

Keterangan gambar :

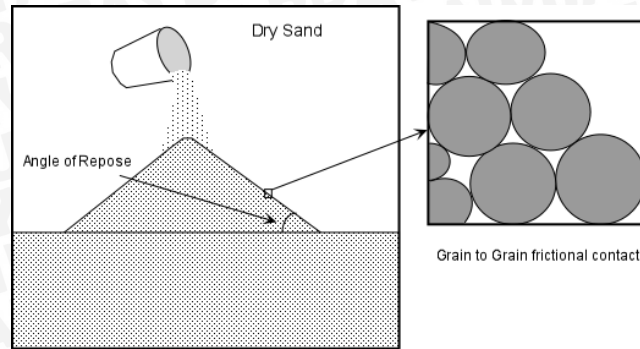


Gambar 2.14 Gaya gravitasi pada lereng

- a. Komponen yang tegak lurus gravitasi (g_p) membuat benda tetap berada pada lereng. Komponen tangensial gravitasi (g_t) mengakibatkan tegangan geser sejajar dengan lereng yang menarik benda sejajar dengan kemiringan lereng.
- b. Pada lereng yang curam, tegangan geser atau komponen tangensial gravitasi (g_t) meningkat, sedangkan komponen tegak lurus gravitasi (g_p) berkurang.
- b. Peranan Air

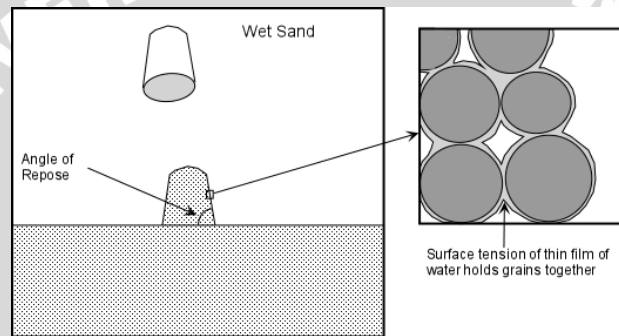
Meskipun air tidak selalu terlibat langsung sebagai media pada proses kelongsoran, air mempunyai peranan penting antara lain :

1. Penambahan air dari hujan atau salju yang mencair akan menambah beban lereng. Air dapat meresap ke dalam tanah atau batu dan mengisi udara pada pori atau patahan. Air yang lebih berat daripada udara akan meningkatkan beban pada tanah. Berat adalah gaya, dan gaya adalah tegangan di bagi luas area, pada saat tegangan meningkat maka lereng menjadi tidak stabil.
2. Air mempunyai kemampuan untuk mengubah sudut kemiringan yang merupakan sudut stabil untuk lereng (*angle of repose*)
 - a. Butiran-butiran tanah kering yang terkonsolidasi akan membentuk lereng dengan sudut kemiringan yang ditentukan oleh *angle of repose*. *Angle of repose* adalah sudut paling curam yang menjadikan butiran yang terkonsolidasi menjadi tetap stabil, dan dikendalikan oleh gesekan antar butir. Secara umum, untuk material kering *angle of repose* meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran butir, biasanya terletak antara $30^\circ - 37^\circ$.



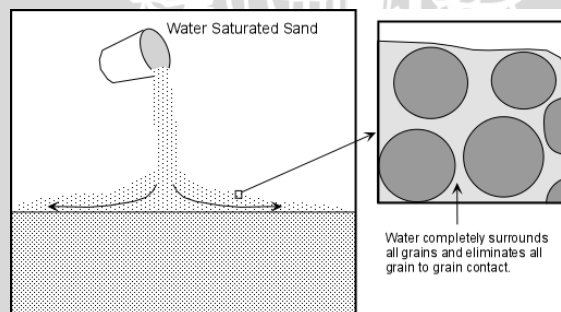
Gambar 2.15 *Angle of Repose* pada butiran tanah kering

- b. Tanah agak basah yang terkonsolidasi mempunyai *angle of repose* yang sangat tinggi karena tegangan permukaan antara air dan butiran padat cenderung menahan butiran pada tempatnya.



Gambar 2.16 *Angle of Repose* pada butiran tanah agak basah

- c. Pada saat tanah jenuh air, *angle of repose* akan berkurang dan tanah cenderung mengalir seperti fluida. Hal ini disebabkan air menghilangkan gesekan antar butiran tanah.



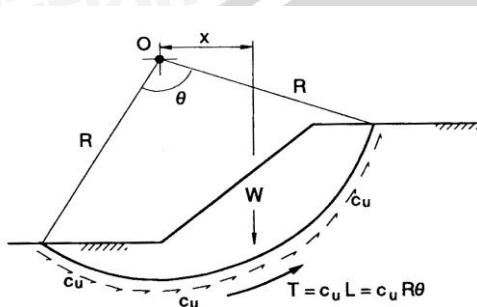
Gambar 2.17 *Angle of Repose* pada saat tanah jenuh air

3. Air dapat diserap atau ditolak oleh mineral yang terkandung dalam tanah. Penyerapan terjadi karena molekul polar air menempel pada permukaan mineral. Penyerapan menyebabkan mineral menarik molekul ke dalam strukturnya. Dengan menambahkan air dengan cara ini, berat tanah atau batu akan meningkat. Selain itu penyerapan dapat menghilangkan gesekan antara butiran mineral yang

mengakibatkan hilangnya kohesi, sehingga mengurangi kekuatan tanah. Secara umum tanah liat basah memiliki kekuatan lebih rendah daripada tanah liat kering, dengan demikian penyerapan air menyebabkan berkurangnya kekuatan tanah liat.

2.6 Analisa Talud dengan Tinggi Terbatas dengan Bidang Longsor Silindris Lingkaran Umum

Faktor keamanan didasarkan pada keseimbangan momen, antara jumlah momen yang menahan dengan jumlah momen yang menggerakkan.



$$FS = \frac{\text{momen penahan}}{\text{momen penyebab}} = \frac{\text{jumlah momen yang menahan}}{\text{jumlah momen yang menggerakkan}}$$

$$FS = \frac{\sum Mr}{\sum Md} = \frac{R \cdot c \cdot L_{AC}}{W \cdot y} \quad (2-1)$$

dengan,

F = faktor keamanan

W = berat tanah yang akan longsor (kN)

L_{AC} = panjang lengkungan (m)

c = kohesi (kN/m²)

R = jari-jari lingkaran bidang longsor yang ditinjau (m)

y = jarak pusat berat W terhadap O (m)

$$\Sigma M_r = \Sigma M_d$$

$$c_d R^2 \cdot \alpha = W_1 y_1 - W_2 y_2$$

$$c_d = \frac{(W_1 y_1 - W_2 y_2)}{R^2 \cdot \alpha} \quad (2-6)$$

Angka keamanan kelongsoran didapatkan sebagai

$$F_s = \frac{c_u}{c_d}$$

$$F_s = \frac{c_u (R^2 \cdot \alpha)}{(W_1 y_1 - W_2 y_2)} \quad (2-7)$$

Masalah-masalah stabilitas dari tipe ini telah dipecahkan secara analitis oleh Fellenius dan Taylor. Untuk kasus lingkaran kritis, besar kohesi yang dibutuhkan dapat dinyatakan dengan hubungan berikut :

$$N_d = \frac{c_d}{\gamma \cdot H} \quad (2-8)$$

Karena

$$F_s = \frac{c_u}{c_d}, \text{ maka :}$$

$$N_d = \frac{c_u}{F_s \cdot \gamma \cdot H} \quad (2-9)$$

$$H_c = \frac{c_u}{N_d \cdot \gamma} \quad (2-10)$$

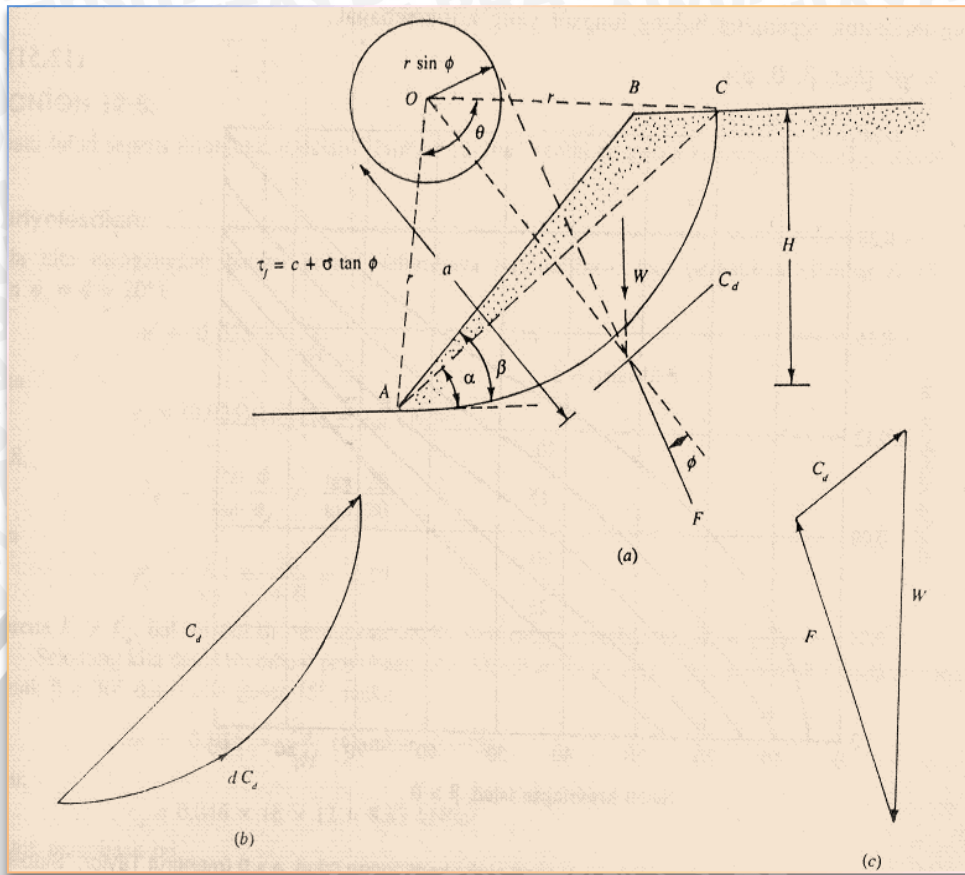
Namun, untuk tanah yang memiliki c dan ϕ , penyelesaiannya akan lebih sulit dibanding tanah yang hanya memiliki kohesi (c). Pada tanah kohesif, tahanan geser sepanjang bidang longsor tidak tergantung pada tegangan normal yang bekerja pada bidang tersebut. Pada tanah yang mempunyai nilai ϕ , distribusi gaya normal mempengaruhi tahanan gesernya.

Suatu talud dalam tanah homogen pada gambar dibawah, memiliki kekuatan geser tanah yang dapat di tulis dalam persamaan

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2-11)$$

Untuk keseimbangan, gaya lain yang bekerja pada blok adalah sebagai berikut :

1. C_d adalah resultan gaya kohesi yang besarnya sama dengan satuan kohesi yang diperlukan dikalikan dengan panjang tali busur AC. Besaran C_d yang kita peroleh dari gambar 2.18 b



Gambar 2.18 Analisa talud dalam tanah yang homogen dengan $\phi > 0$

C_d bekerja dalam arah sejajar dengan tali busur AC gambar 2.18b, dan pada jarak a dari pusat lingkaran O sehingga :

$$C_d(a) = cd(AC)r \quad (2-12)$$

Atau

$$a = a = \frac{c_d(AC)r}{C_d} = \frac{AC}{AC}r$$

2. F – resultan gaya normal dan gaya geser yang bekerja sepanjang permukaan bidang longsor. Untuk keseimbangan, garis kerja gaya F akan melalui titik perpotongan garis kerja dari W dan C_d' . Karena arah W , C_d dan F diketahui, dan besaran W juga diketahui, maka poligon gaya dalam gambar 2.18 c dapat diberikan (diplot). Besaran C_d tadi dapat ditentukan dari poligon gaya. Jadi semua koehsi yang diperlukan dapat dicari dengan :

$$cd = \frac{C_d}{AC} \quad (2-13)$$

Penentuan besarnya harga c_d yang dijelaskan diatas didasarkan pada bidang longsor percobaan. Beberapa percobaan harus dibuat untuk mendapatkan bidang longsor yang paling kritis sepanjang mana kohesi yang dibutuhkan adalah maksimum. Oleh karena itu, adalah mungkin untuk menuliskan kohesi maksimum yang terbentuk sepanjang bidang longsor yang kritis sebagai

$$c_d = \gamma H [f(\alpha, \beta, \theta, \phi)] \tag{2-14}$$

Untuk keseimbangan kritis, yaitu $F_c = F_\phi = F_s = 1$, kita dapat menggantikan $H = H_{cr}$ dan $c_d = c$ dalam persamaan

$$c = \gamma H_{cr} [f(\alpha, \beta, \theta, \phi)] \tag{2-15}$$

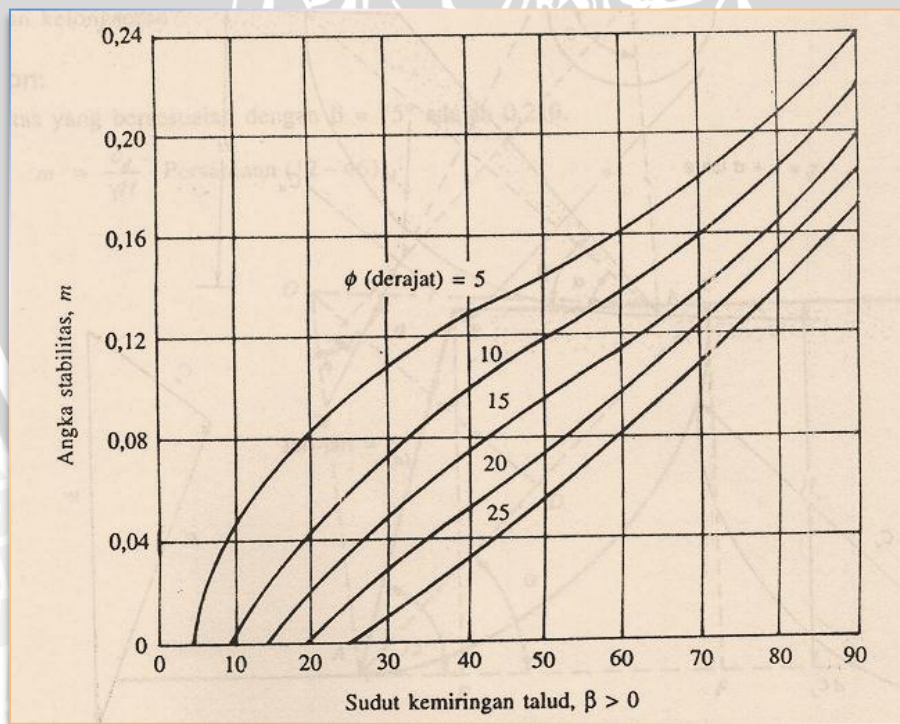
atau

$$\frac{c}{\gamma H_{cr}} = [f(\alpha, \beta, \theta, \phi)] = m \tag{2-16}$$

Dengan

$m =$ angka stabilitas

Harga m untuk bermacam- macam harga ϕ dan β diberikan dalam gambar 2.19



Gambar 2.19 Grafik hubungan antara angka stabilitas dengan sudut kemiringan talud, $\phi > 0$ (menurut Taylor, " *Stability of Earth Slope*", *Journal of The Boston Society of Civil Engineers*, 1937)

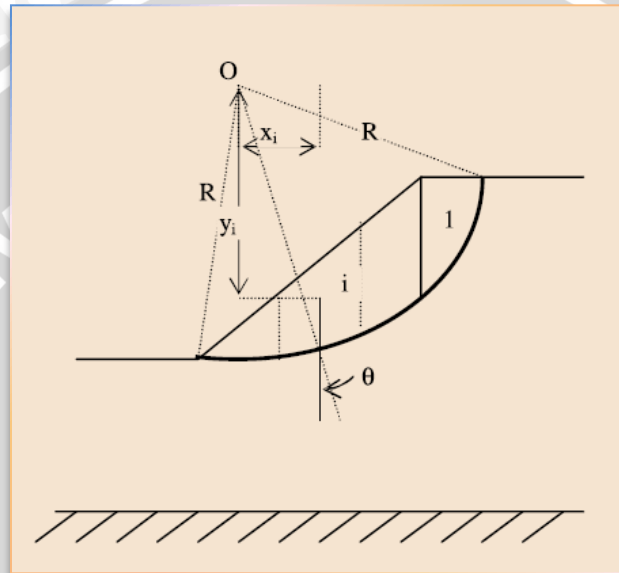
2.7 Analisis Stabilitas Lereng Akibat Getaran dengan Metode Irisan Vertikal

Analisis stabilitas yang lereng berkaitan dengan faktor keamanan sangat penting untuk menentukan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas biasanya dilakukan dengan pembebanan statis. Namun di area yang aktif seismik gempa bumi adalah salah satu penyebab keruntuhan lereng. Oleh karena itu diperlukan analisis pada lereng dalam kondisi dinamis.

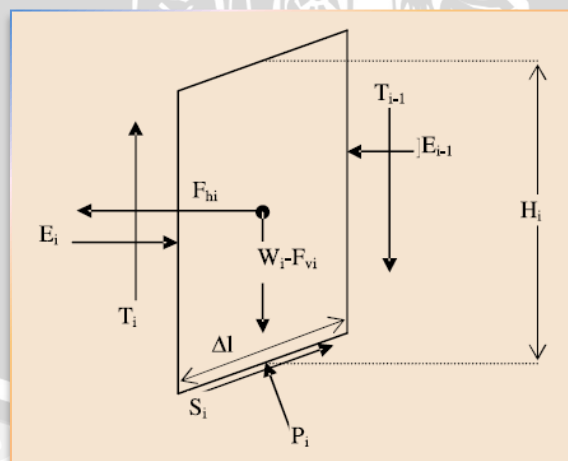
Bentuk stabilitas lereng berdasarkan gempa atau respon dinamis umumnya dianalisis dengan tiga pendekatan yaitu pseudostatic, Newmark's dan analisis numerik. Pendekatan dengan pseudostatic menentukan faktor keamanan untuk koefisien seismik horizontal (k_h). Metode Newmark digunakan untuk mengevaluasi perpindahan yang didapatkan dari integrasi persamaan gerak untuk keruntuhan blok pada bidang miring. Metode numerik menghitung perpindahan rencana dikembangkan dari hubungan antara tegangan dan regangan dari masa tanah. Perkiraan sederhana dari pendekatan pseudostatic dengan waktu dan parameter awal dibutuhkan untuk metode numerik, sehingga metode Newmark umumnya diterima dengan lebih mudah. Untuk memenuhi integrasi ganda dari hasil percepatan (gempa bumi atau buatan), perlu mengetahui nilai batas kecepatan (*limiting acceleration value*) untuk faktor keamanan di bawah satu. Pembatasan percepatan dihitung dengan mengalikan berat tanah dalam keadaan tidak stabil dengan koefisien percepatan kritis seismic/ *critical seismic acceleration* (k_c). Hasil dari koefisien percepatan kritis biasanya disebut fraksi dari percepatan gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$).

Nilai k_c umumnya diperoleh daricoba-coba analisis persamaan batas. Salah satu contoh metode persamaan batas adalah metode Bishop. Metode ini sangat mudah diterapkan dan terbukti dapat memberikan angka keamanan yang lebih tepat. Untuk lereng homogen sederhana dari permukaan yang diasumsikan slip lingkaran, metode Bishop cukup akurat.

Metode irisan vertikal ini digunakan berdasarkan perhitungan angka keamanan minimum dengan memasukkan analisis pseudo-static gaya seismik horizontal dan vertikal. Gaya seismik horizontal dan vertikal dinyatakan dalam koefisien percepatan seismik horizontal (k_h) dan vertikal (k_v) dan berat dari kekuatan tanah untuk bergeser. Gaya seismik mengurangi angka keamanan dengan mengurangi gaya perlawanan dan menaikkan gaya yang bekerja. Gaya vertikal pseudo-static dapat diabaikan pada perhitungan angka keamanan.



Gambar 2.21 Model lereng dengan keruntuhan berbentuk lingkaran dan irisan vertikal



Gambar 2.22 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan

Perhitungan angka keamanan adalah sebagai berikut :

$$SF = \frac{(P_i \tan \phi + cL)R + \{-\Delta E(R \cos \theta - H_i/3) + E_{i-1} L \sin \theta\}}{(W + F_{v_i})R \sin \theta + F_{h_i}(R \cos \theta - H_i/2)} \quad (2-18)$$

Dimana,

$$P_i = \frac{cL \cos \theta - F_{h_i} - (E_{i-1} - E_i) \cos \theta}{\sin \theta - \tan \phi \cos \theta} \quad (2-19)$$

$$L = b/\cos \theta \quad (2-20)$$

b = lebar potongan (m)

$$f = \tan (\theta - \phi) \quad (2-21)$$

$$\Delta E = cL - \frac{F_{h_i} + (W + F_{v_i})f}{f \sin \theta + \cos \theta} \quad (2-22)$$

W = berat per potongan (kg)

2.8 Program Penghitungan Kestabilan Lereng dengan Program Plaxis

Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rakayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputasi secara terperinci. Proses perhitungannya sendiri sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik yang canggih.

Metode elemen hingga pada pokoknya membagi-bagi tanah yang kontinyu menjadi elemen kecil berhingga (finite element). Elemen-elemen ini saling dihubungkan pada titik-titik nodalnya dan dibatasi oleh suatu batas yang telah ditentukan terlebih dahulu. Metode perpindahan (displacement method) yang diformulasikan dalam metode elemen hingga secara tipikal digunakan untuk pemakaian dalam bidang geoteknik dan

hasilnya dalam bentuk perpindahan (displacement), tegangan (stress) dan regangan (strain) pada titik-titik nodal. Pada perhitungan dengan program Plaxis juga didapatkan bidang runtuh yang paling kritis.

2.9 Percobaan Laboratorium

2.9.1 Berat Jenis tanah

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lolos saringan no. 40 dengan picnometer. Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

2.9.2 Pengujian Batas Cair dan Batas Plastis

Uji batas-batas *Atterberg* dapat dilakukan dengan mengacu pada standar uji SNI 03-1966-1990 dan SNI 03-1967-1990 atau ASTM D 4318. Tujuan uji ini adalah menggambarkan konsistensi dan plastisitas tanah berbutir halus dengan perubahan derajat kadar air.

Uraian prosedur dan penjelasan uji adalah sebagai berikut:

- a) Batas cair (*Liquid Limit*) ditentukan sebagai kadar air dengan 25 ketukan alat batas cair yang dapat menutup potongan alur standar dalam ketukan tanah berjarak 12,7 mm. Prosedur pengganti (di Eropa dan Canada) telah dilakukan dengan menggunakan alat konus jatuh (*fall cone*) untuk mendapatkan hasil uji yang lebih baik
- b) Batas plastis (*Plastic Limit*) adalah kadar air pada saat gulungan kecil tanah yang digulung pada diameter 3 mm akan pecah/hancur.

2.9.3 Pengujian berat volume (*density*)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat volume . Berat volume tanah adalah berat tanah per satuan volume. Dalam Sistem Internasional, satuan yang digunakan adalah Newton per meter kubik.

2.9.4 Pengujian Kepadatan Berat (*modified*)

Percobaan pemadatan bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air optimum dan berat isi kering maksimum dari kadar air dan berat isi kering yang diperoleh dari hasil percobaan tersebut.

Pada dasarnya pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kepadatan tanah dengan pemakaian energy mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel, sehingga tanah yang dipadatkan meningkat kekuatannya. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah dan meningkatkan kemampuan lereng timbunan. Energi pemadatan dapat diperoleh dari alat pemadatan getaran dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan.

2.9.5 Pengujian *Triaxial*

Pengujian ini untuk mendapatkan parameter kekuatan geser pada tanah kohesif, yaitu c dan ϕ . Parameter-parameter ini akan sangat menentukan daya dukung tanah tersebut. Pada sampel tanah lempung, pengujian menggunakan alat ini sangat memudahkan dalam mendapatkan parameter tersebut.

Pada pengujian ini sampel tanah yaitu tanah lempung dimasukkan ke dalam *Triaxial Chamber* yang kemudian diberi tekanan dari sekelilingnya. Dari pengujian ini akan didapatkan nilai tegangan normal dan tegangan geser yang pada akhirnya akan diplotkan untuk mendapatkan parameter tanah lempung tersebut yaitu c dan ϕ .

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan dilaksanakan bulan Mei sampai Juli 2010.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Bahan

- Tanah pasir halus, sedang, dan kasar
- Tanah kaolin
- Air PDAM dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Brawijaya

b. Peralatan yang digunakan

- Bak uji
- Vibrator (*sieve shaker*)
- Alat pengukur frekuensi getaran
- Saringan no.4 s.d no.200
- Labu ukur
- *Thermometer*
- Satu set peralatan uji *Triaxial*
- Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
- Satu set peralatan pemadatan
- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
- Oven

3.3 Metode Pengujian

3.3.1. Uji dasar

Langkah pertama sebelum memulai penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap bahan dasarnya terlebih dahulu yaitu campuran tepung kaolin 60% dan pasir 40%.



Tabel 3.1 Metode pengujian sifat fisik tanah dan sifat mekanis tanah

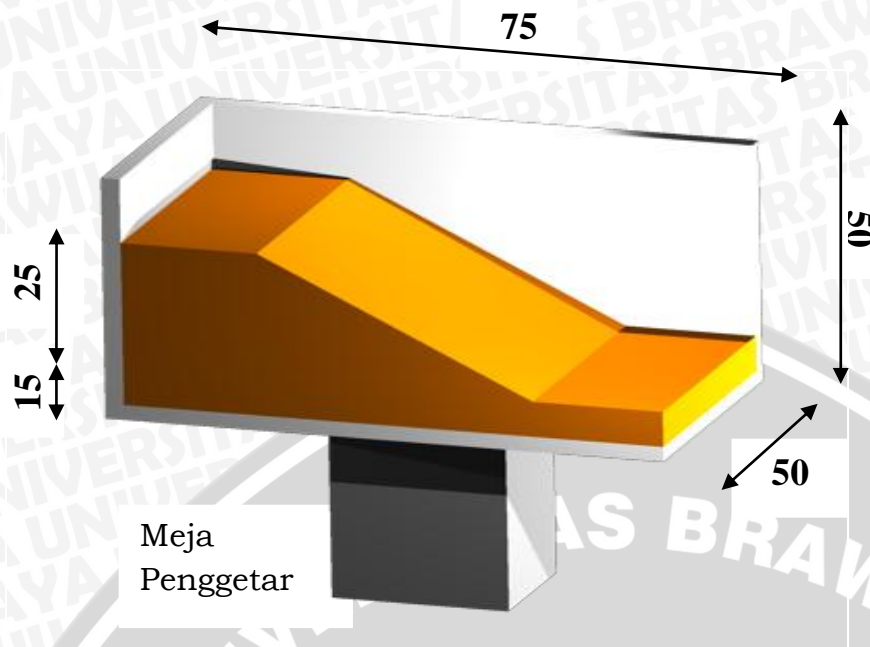
No	Jenis Pengujian	Kode SNI
1	Berat Jenis Tanah	03-1964-1990
2	Batas Plastis Tanah	03-1966-1990
3	Kepadatan Tanah Maksimum dengan Kadar Air Optimum	03-2832-1992
4	Uji Triaxial	03-4813-1998

3.3.2 Model test

Langkah kedua dilakukan model test kelongsoran

Langkah-langkah percobaan pada model test yaitu:

1. Mempersiapkan tanah dalam keadaan plastis dan OMC
2. Memasukkan per bagian tanah ke dalam bak kemudian diratakan dengan *rolling pin* sebanyak 3 lapis.
3. Membuat kemiringan lereng dengan sudut yang telah ditentukan.
4. Memasang sensor pengukur frekuensi pada tanah model.
5. Memberi getaran pada model dengan menggunakan vibrator pada frekuensi yang telah di tentukan.
6. Melakukan pengamatan terhadap model test
7. Pengamatan dilakukan sampai model test mulai terjadi longsor.



Gambar 3.1 Model fisik percobaan di laboratorium

Sensor yang digunakan merupakan sensor getar yang menghasilkan getaran sinusoidal. Sensor ini memiliki sensitivitas sebesar 800 mV/g dengan percepatan pada skala 4 yaitu $2,573 \text{ m/s}^2$ untuk arah X dan $2,573 \text{ m/s}^2$ untuk arah Z.

3.4 Rancangan Percobaan

Tabel 3.2 Rancangan percobaan dengan getaran

Kadar air tanah	Sudut kemiringan lereng							
	65		70		75		80	
	waktu	Bidang Longsor	Waktu	Bidang Longsor	waktu	Bidang Longsor	waktu	Bidang Longsor
Plastis (dari uji batas Atterberg)								
OMC (dari uji pemadatan)								

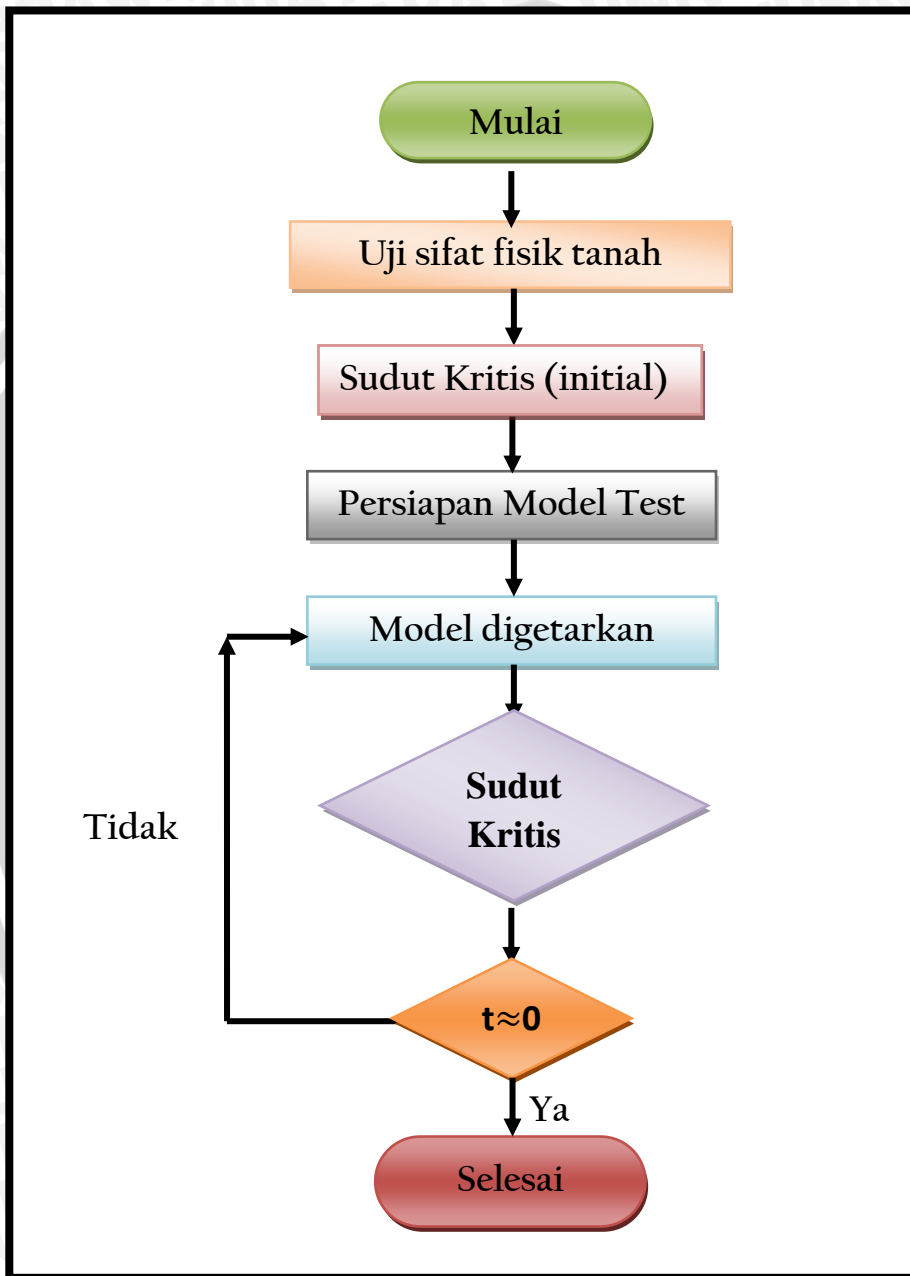
3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut :

- Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kandungan air dalam tanah dan frekuensi beban dinamis sampai terjadi longsor
- Variabel terikat adalah sudut kritis yang mengalami perubahan akibat beban dinamis.

3.6 Bagan Alir Tahapan Penelitian

Bagan alir tahapan penelitian disajikan pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Bagan alir tahapan penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

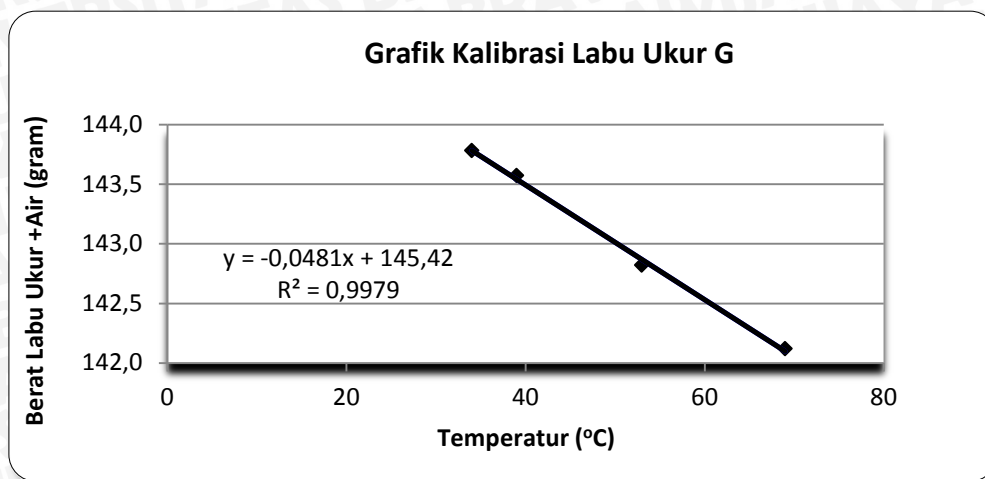
4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Pemeriksaan Berat Jenis Tanah

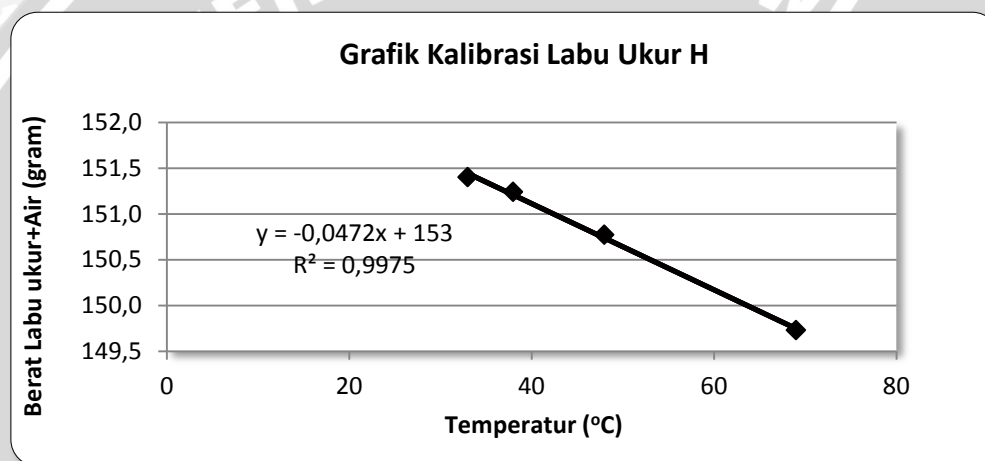
Percobaan berat jenis tanah dilakukan untuk menentukan perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air suling pada temperatur dan volume yang sama. Tanah yang akan diuji adalah campuran antara tanah kaolin dan pasir yang lolos saringan, no.10, no.20, dan no. 40 (0,42 mm) sebanyak 20 gram pada tiap labunya. Pemeriksaan berat jenis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga buah labu ukur (*picnometer*) dengan kapasitas 100 ml yang dikalibrasi terlebih dahulu untuk mengetahui berat air pada suhu tertentu. *Picnometer* dicuci dengan air, dikeringkan, dan kemudian diisi dengan air sampai 2/3 bagian dan dipanaskan. Setelah mendidih tambahkan air sampai penuh kemudian ditutup. Catat berat *picnometer* dan suhu air setelah penambahan air pertama hingga suhu air mencapai suhu ruang, sehingga diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Kalibrasi Labu Ukur

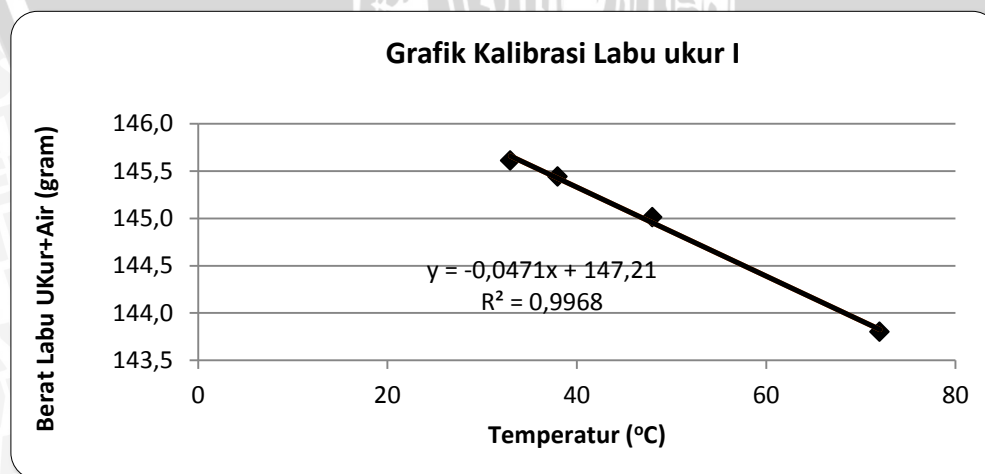
Pemeriksaan	Labu Ukur G		Labu Ukur H		Labu Ukur I	
	Berat Labu Ukur + Air (gram)	Suhu (°C)	Berat Labu Ukur + Air (gram)	Suhu (°C)	Berat Labu Ukur + Air (gram)	Suhu (°C)
1	142,12	69	149,73	69	143,80	72
2	142,82	53	150,77	48	145,01	48
3	143,57	39	151,24	38	145,44	38
4	143,78	34	151,40	33	145,61	33



Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi Labu Ukur G



Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi Labu Ukur H



Gambar 4.3 Grafik Kalibrasi Labu Ukur I

Tanah kaolin yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam picnometer kemudian ditambah air sampai dengan 2/3 bagian. Kemudian dipanaskan selama 10 menit atau lebih sehingga udara dalam benda uji keluar seluruhnya. Kemudian picnometer diisi dengan air suling lagi dan didinginkan sampai mencapai suhu kamar, kemudian ditimbang dan didapatkan berat picnometer + tanah kaolin + air pada temperatur tertentu. Dari persamaan pada grafik kalibrasi diperoleh berat picnometer + air pada temperatur tersebut.

Berat jenis tanah ditentukan dengan rumus:
$$G_s = \frac{G_t \cdot (W_s)}{W_s - W_1 + W_2}$$

Hasil dari kedua percobaan berat jenis seperti terlihat berikut ini:

Tabel 4.2 Berat Jenis Tanah Labu G

Labu Ukur	G			
Berat Labu Ukur	43,73			
Berat Tanah Kering (Ws)	20			
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	152,35	155,9	156,32	156,44
Suhu (°C)	74	48	39	34
Berat Labu Ukur + Air (W2)	141,848	143,096	143,528	143,768
Berat Jenis Air (Gt)	0,9755	0,9890	0,9926	0,9944
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,0541	2,7487	2,7542	2,7140
Rata- rata Berat Jenis	2,5678			

Tabel 4.3 Berat Jenis Tanah Labu H

Labu Ukur	H			
Berat Labu Ukur	51,89			
Berat Tanah Kering (Ws)	20			
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	160,84	163,33	163,7	163,19
Suhu (°C)	71	47	38	35
Berat Labu Ukur + Air (W2)	149,663	150,791	151,214	151,355
Berat Jenis Air (Gt)	0,9772	0,9890	0,9930	0,9941
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,2151	2,6511	2,6431	2,4350
Rata- rata Berat Jenis	2,4861			

Tabel 4.4 Berat Jenis Tanah Labu I

Labu Ukur	I			
Berat Labu Ukur	44,95			
Berat Tanah Kering (Ws)	20			
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	153,11	157,31	157,89	158,08
Suhu (°C)	72	48	38	35
Berat Labu Ukur + Air (W2)	143,816	144,944	145,414	145,555
Berat Jenis Air (Gt)	0,9767	0,9890	0,9930	0,9941
Berat Jenis Tanah (Gs)	1,8246	2,5910	2,6396	2,6598
Rata- rata Berat Jenis	2,4287			

Hasil percobaan diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah sebesar:

$$G_{s_{rata-rata}} = \frac{2,5678 + 2,4861 + 2,4287}{3} = 2,4942$$

Berdasarkan berat jenisnya, tanah ini termasuk dalam jenis tanah lempung ($G_s = 2,55-2,65$).

4.1.2 Pemeriksaan Batas Plastis

Batas Plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 1/8 inchi mulai retak-retak.

Tabel 4.5 Hasil Batas Plastis

Batas Plastis			
Nomor Cawan	1	2	3
Berat Cawan (gr)	5,64	5,66	5,44
Berat Cawan + tanah basah (gr)	8,78	9,37	7,75
Berat Cawan + tanah kering (gr)	8,14	8,60	7,27
Berat Air (gr)	0,64	0,77	0,48
Berat Tanah Kering (gr)	2,50	2,94	1,83
Kadar Air (%)	25,600	26,190	26,230

Dari percobaan yang dilakukan didapatkan batas plastis kaolin pada kadar air 26,007 %.

4.1.3 Pemeriksaan Berat Isi Tanah

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya berat isi tanah lempung berpasir dengan kadar air pada kondisi OMC (20,245 %) dan pada kondisi plastis (26,007 %). Pemeriksaan ini menggunakan 3 sampel dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Berat Isi dengan Kadar Air 26,007 % (PLASTIS)

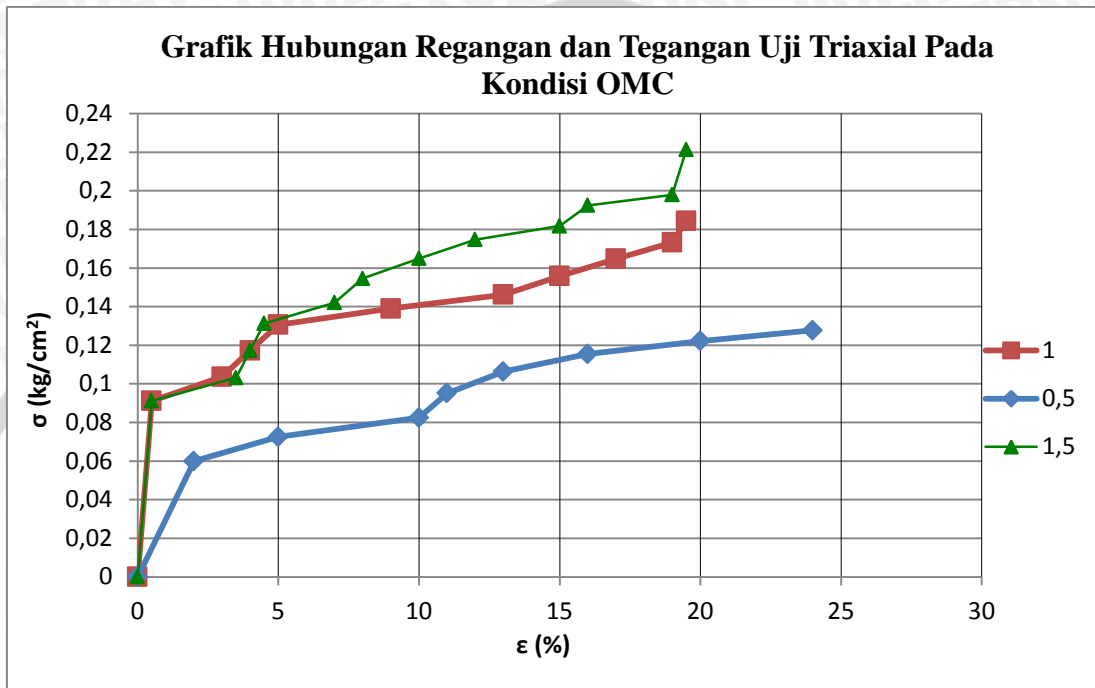
Titik No. / Kedalaman	Satuan	1	2	3
Tinggi Ring	cm	2,65	2,25	2,1
Diameter Ring (tabung)	cm	2,5	2,5	2,5
1. Berat Ring	gr	19,72	16,83	15,37
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	40,55	35,23	33,12
3. Berat Tanah Basah (2)- (1)	gr	20,83	18,4	17,75
4. Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	13,002	11,039	10,303
5. Berat Isi Tanah (3) / (4)	gr/cm ³	1,602	1,667	1,723
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,550	28,990	26,870
7. Berat Tanah Kering (6) - (1)	gr	14,830	12,160	11,500
8. Berat Air (3)- (7)	gr	6,000	6,240	6,250
9. Kadar Air (8) / (7) x 100%	%	40,459	51,316	54,348
10. γ_d (7) / (4)	gr/cm ³	1,141	1,102	1,116
11. Berat Isi rata-rata	gr/cm ³		1,1194	

Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Berat Isi dengan Kadar Air 20,245 % (OMC)

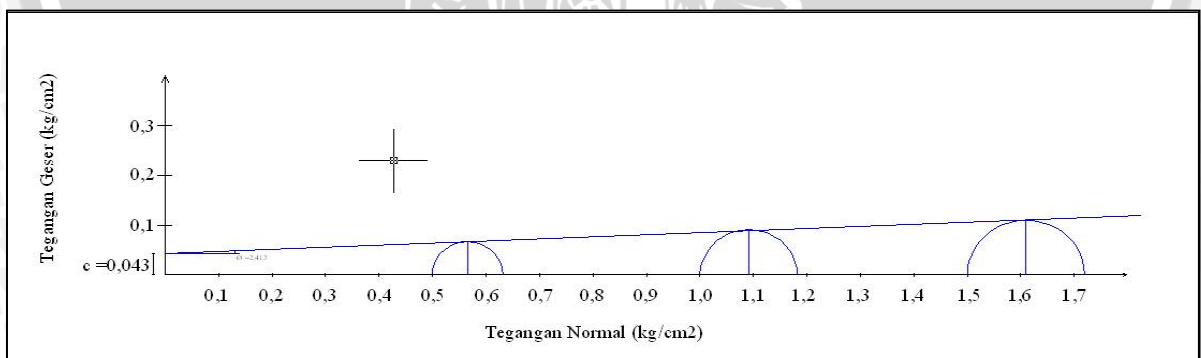
Titik No. / Kedalaman	Satuan	1	2	3
Tinggi Ring	cm	2,5	1,88	1,7
Diameter Ring (tabung)	cm	2,5	2,5	2,5
1. Berat Ring	gr	18,99	14,69	13,62
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	40,27	30,34	29,28
3. Berat Tanah Basah (2)- (1)	gr	21,28	15,65	15,66
4. Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	12,266	9,224	8,341
5. Berat Isi Tanah (3) / (4)	gr/cm ³	1,735	1,697	1,878
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	36,020	27,120	26,150
7. Berat Tanah Kering (6) - (1)	gr	17,030	12,430	12,530
8. Berat Air (3)- (7)	gr	4,250	3,220	3,130
9. Kadar Air (8) / (7) x 100%	%	24,956	25,905	24,980
10. γ_d (7) / (4)	gr/cm ³	1,388	1,348	1,502
11. Berat Isi rata-rata (γ_d)	gr/cm ³		1,4128	

4.1.4 Pengujian Triaxial

Pemeriksaan geser triaxial ini dilakukan dengan tipe *Unconsolidated-undrained* (U-U test), yaitu contoh tanah dimasukkan kedalam membran karet kemudian dimasukkan dalam sebuah tabung yang terisi air dengan tegangan sel (σ_3) yang diberikan antara lain 0,5 kg/cm²; 1 kg/cm²; 1,5 kg/cm².



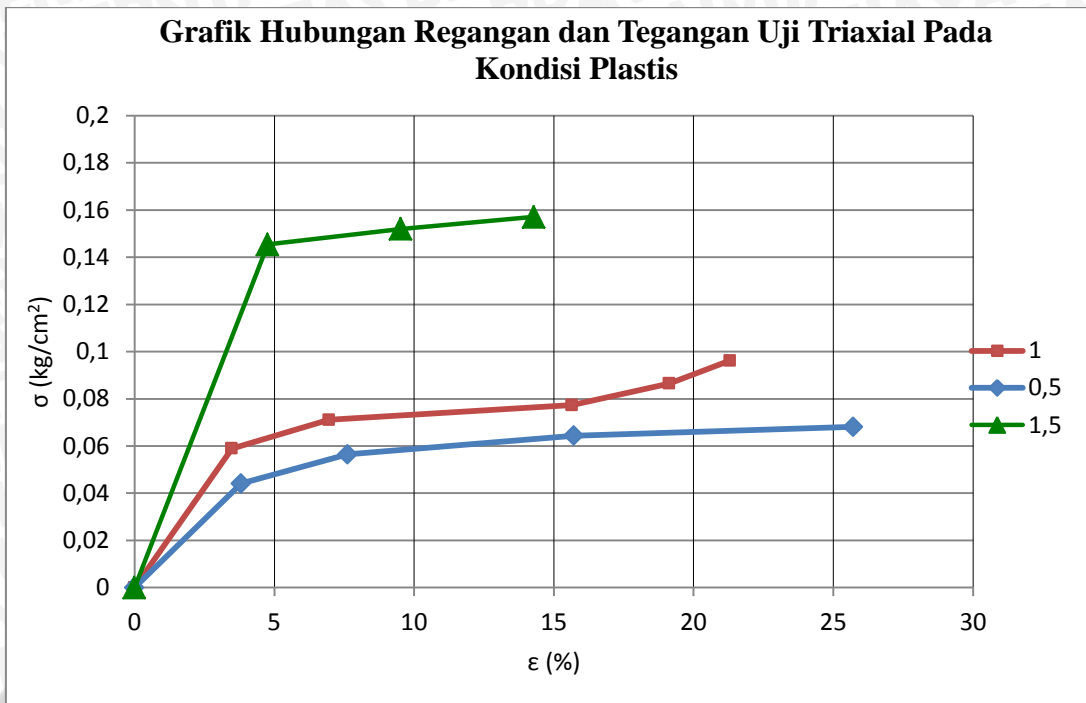
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Regangan dan Tegangan Uji Triaxial



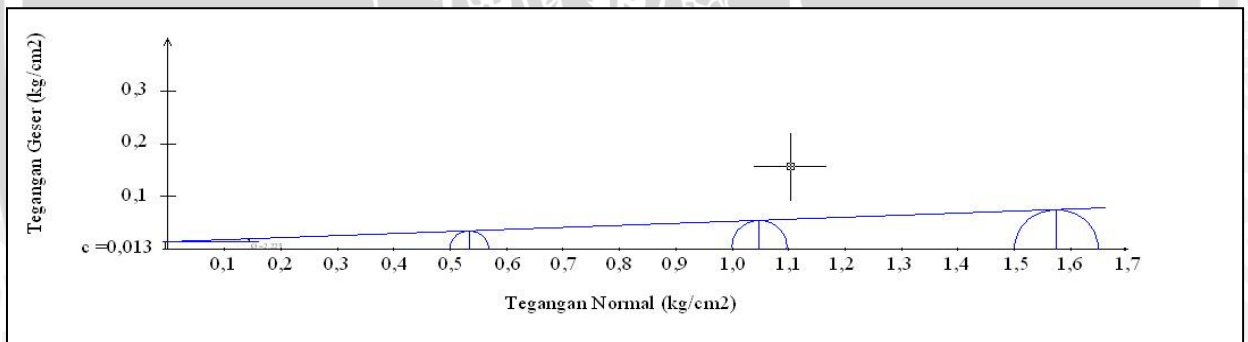
Gambar 4.5 Lingkaran Mohr Triaxial pada kondisi OMC

$$c = 0,043 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi = 2,413^\circ$$



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Regangan dan Tegangan Uji Triaxial



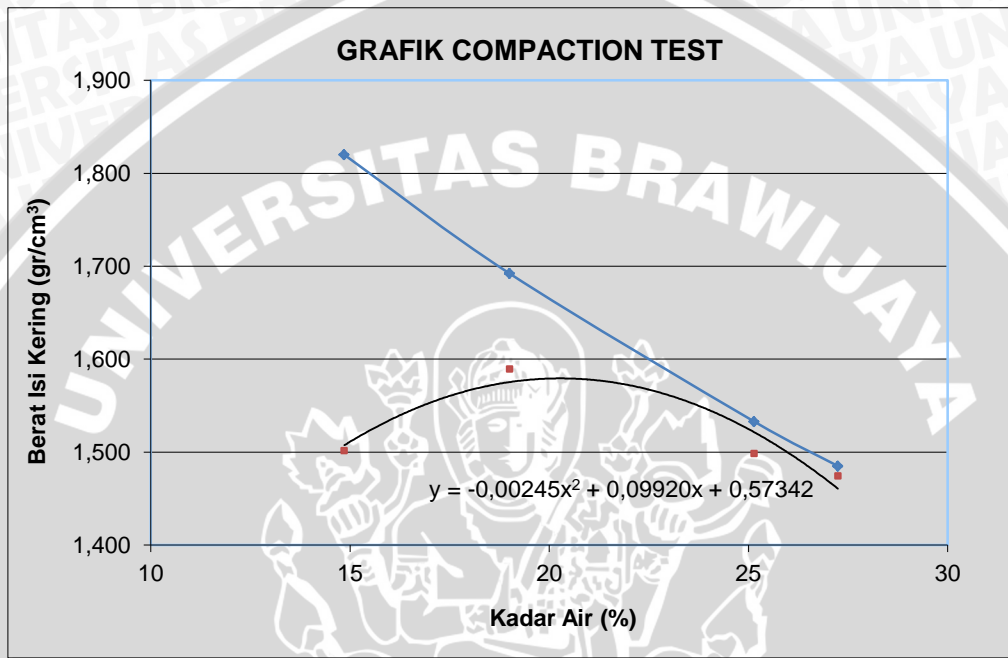
Gambar 4.7 Lingkaran Mohr Triaxial pada kondisi plastis

$$c = 0,013 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi = 2,225^\circ$$

4.1.5 Pemeriksaan Kadar Air Optimum Melalui Uji Pemadatan

Uji pemadatan yang dilakukan adalah uji proctor standar, tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder berdiameter 10 cm. Tanah dicampur air dengan kadar air berbeda-beda kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Pemadatan tersebut dilakukan per lapis sebanyak tiga lapisan dan jumlah tumbukan 25 kali setiap lapisan. Hasil penelitian adalah sebagai berikut



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Isi Kering

Didapatkan kadar air optimum sebesar 20,245 % dan berat isi kering sebesar 1,578 kg/cm³.

4.1.6 Penentuan Sudut Initial Lereng

Dalam menentukan variabel dari sudut kemiringan dipakai rumus :

$$m = \frac{c}{Hc\gamma}$$

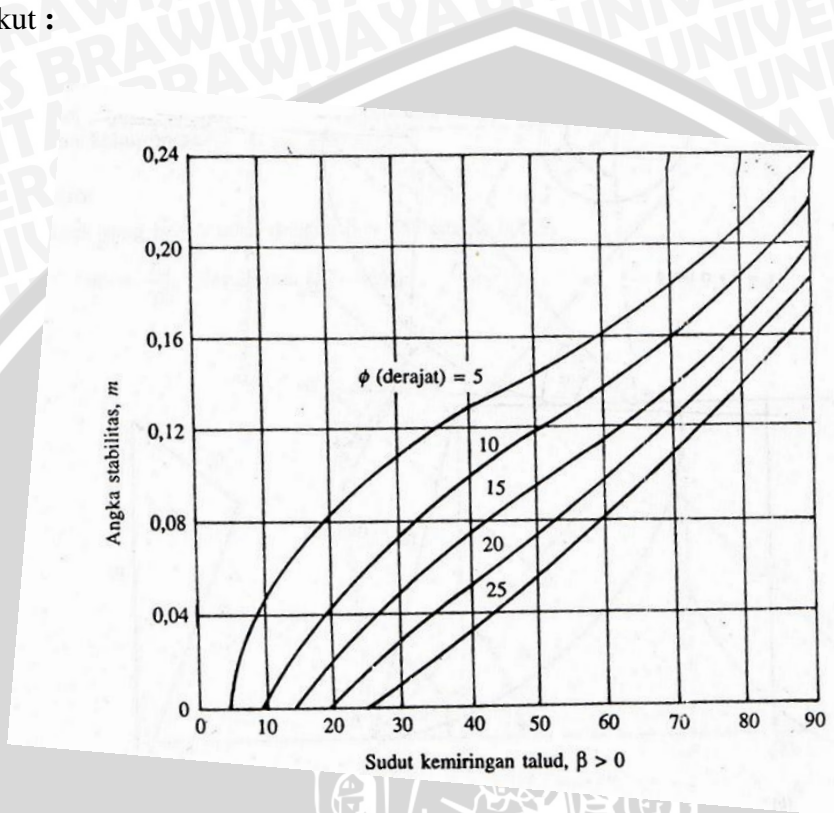
- Kondisi OMC

Tinggi kritis lereng (H_c) telah ditentukan setinggi 25 cm dengan sudut geser 2,431° dan $c = 43 \text{ gr/cm}^2$, $\gamma = 1,119 \text{ gr/cm}^3$.

$$m = \frac{c}{H\gamma}$$

$$m = \frac{43}{25 \times 1,119} = 1,437$$

Nilai β didapat dari grafik hubungan m dengan sudut kemiringan (β) sebagai berikut :



Dari grafik tersebut didapat nilai $\beta > 90^\circ$. Karena sudut initial terlalu besar maka diambil variasi sudut kemiringan lereng $60^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$.

- Kondisi Plastis

Tinggi kritis lereng (H_c) telah ditentukan setinggi 25 cm dengan sudut geser 2,255 dan $c = 13 \text{ gr/cm}^2, \gamma = 1,413 \text{ gr/cm}^3$.

$$m = \frac{c}{H\gamma}$$

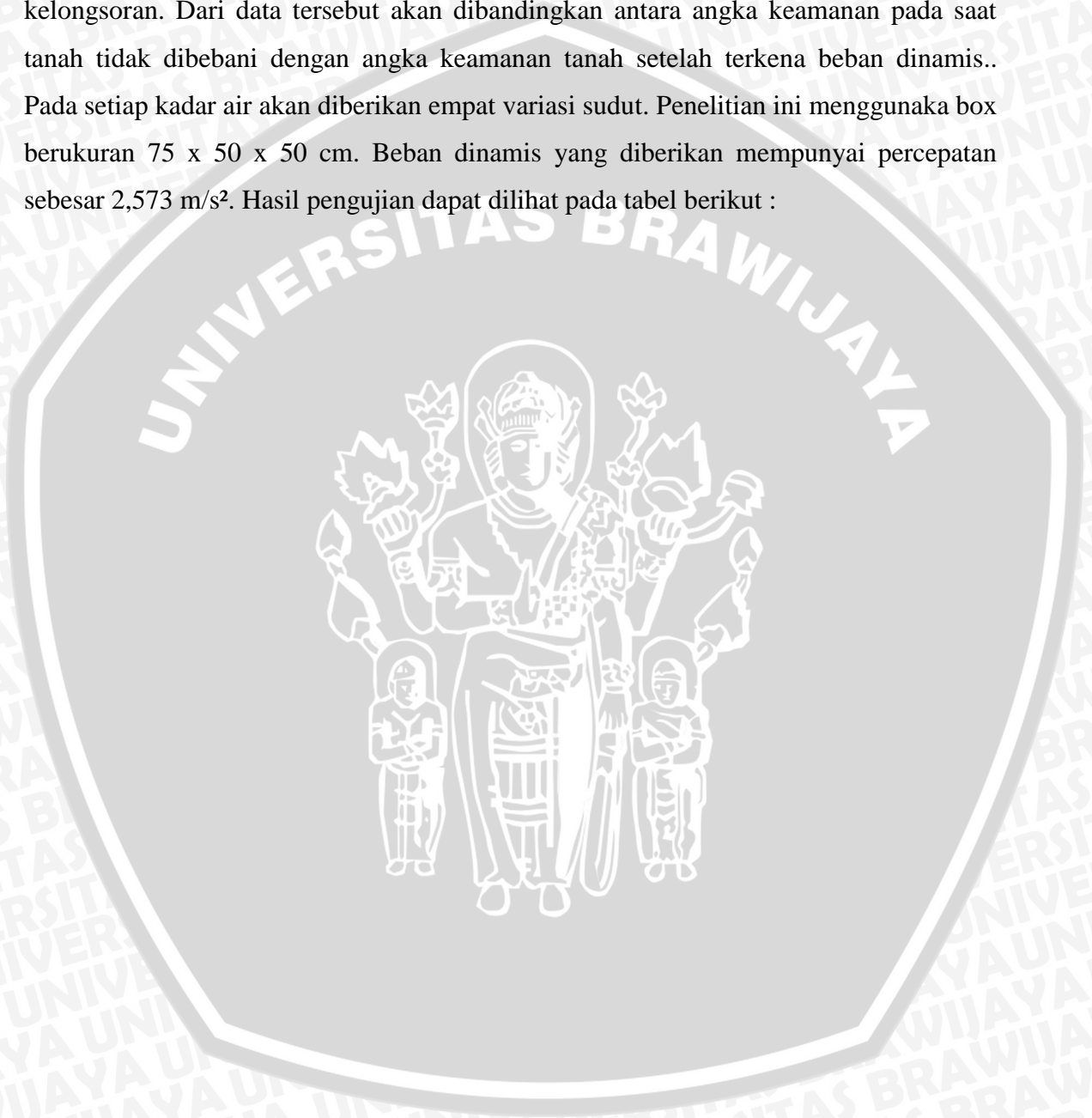
$$m = \frac{13}{25 \times 1,413} = 0,368$$

Dari grafik tersebut didapat nilai $\beta > 90^\circ$. Karena sudut initial terlalu besar maka diambil variasi sudut kemiringan lereng $60^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$.



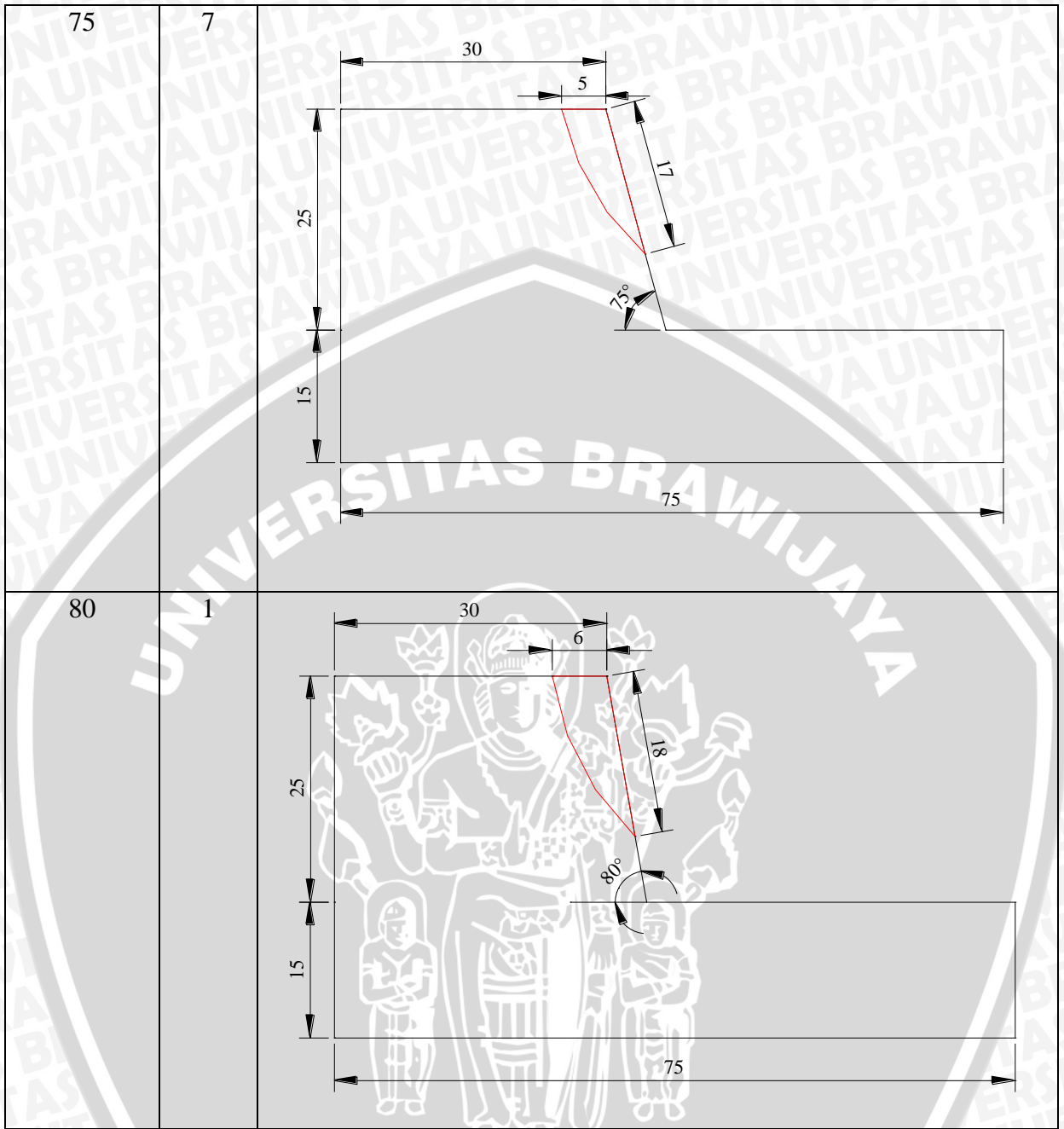
4.1.7 Penelitian Pemberian Beban Dinamis pada Lereng

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban dinamis terhadap sudut kritis lereng serta menentukan angka keamanannya. Dalam penelitian ini digunakan dua macam kadar air tanah, yaitu pada kondisi plastis dan kadar air pada kondisi optimum. Data yang diambil adalah waktu kelongsoran dan bentuk kelongsoran. Dari data tersebut akan dibandingkan antara angka keamanan pada saat tanah tidak dibebani dengan angka keamanan tanah setelah terkena beban dinamis.. Pada setiap kadar air akan diberikan empat variasi sudut. Penelitian ini menggunakan box berukuran 75 x 50 x 50 cm. Beban dinamis yang diberikan mempunyai percepatan sebesar $2,573 \text{ m/s}^2$. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut :



a. Kadar air pada kondisi plastis

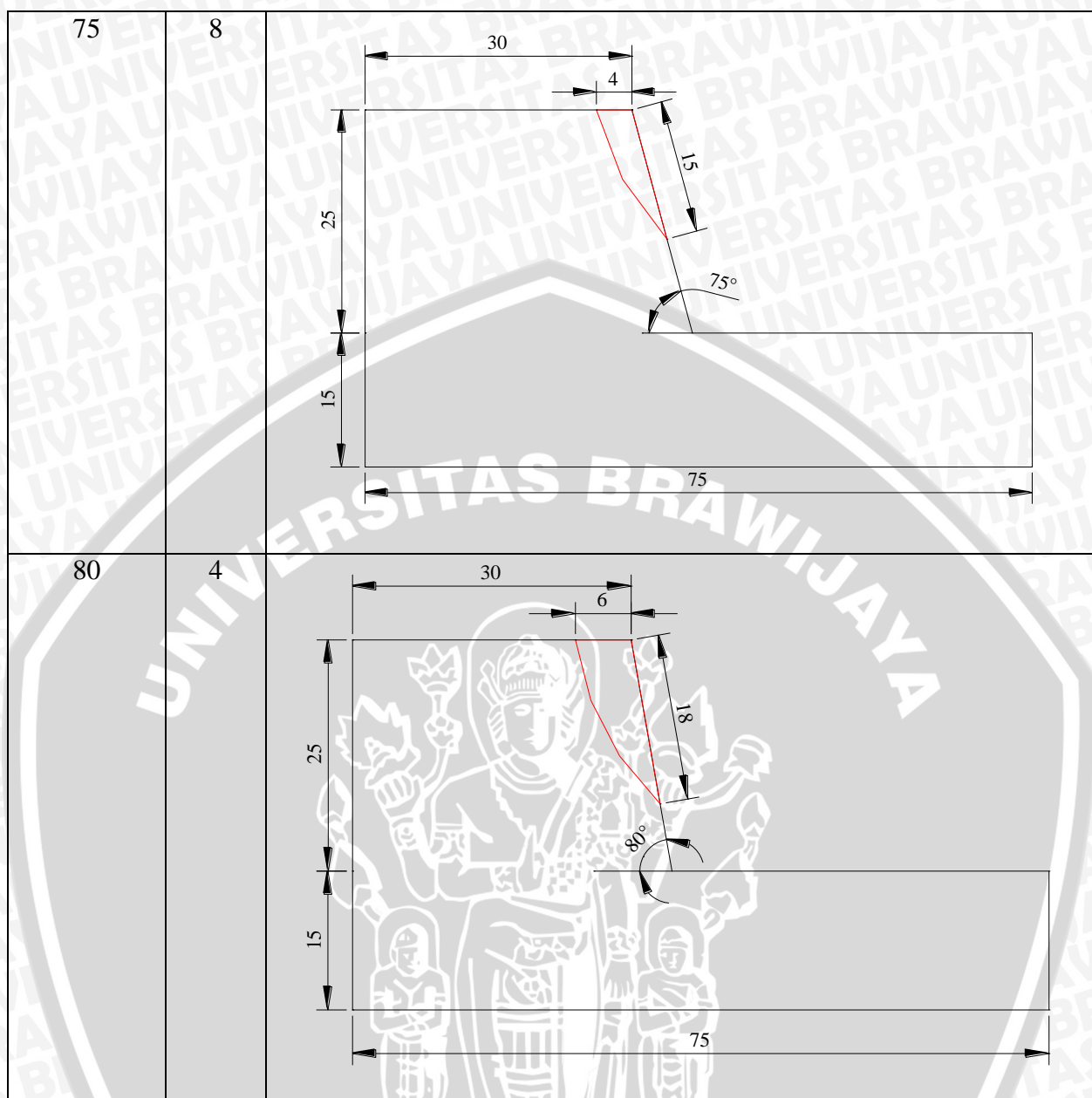
Sudut Kemiringan Lereng	Waktu (detik)	Pola Kelongsoran
60	27	
70	8	



Gambar 4.9 Pola Kelongsoran pada kondisi Plastik

b. Kadar air pada kondisi optimum

Sudut Kemiringan Lereng	Waktu (detik)	Pola Kelongsoran
60	46	
70	11	



Gambar 4.10 Pola Kelongsoran Pada Kondisi OMC

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Hasil Perhitungan Permodelan dengan program Plaxis

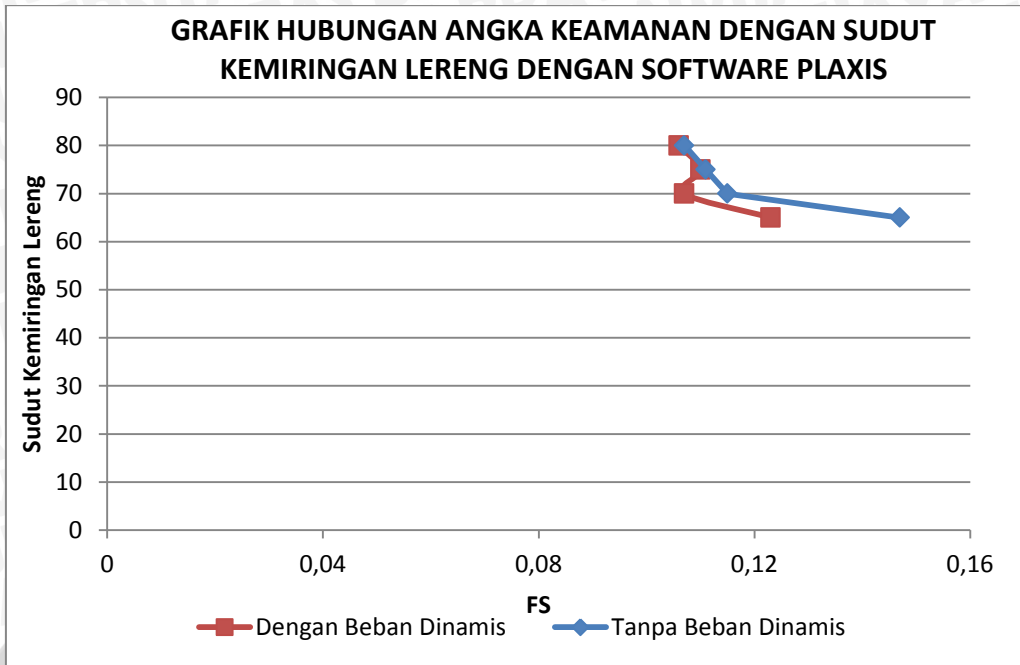
Tabel 4.8 Angka Keamanan pada Kondisi OMC

Sudut Kemiringan Lereng	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
60	0,147	0,145
70	0,115	0,107
75	0,111	0,11
80	0,107	0,106

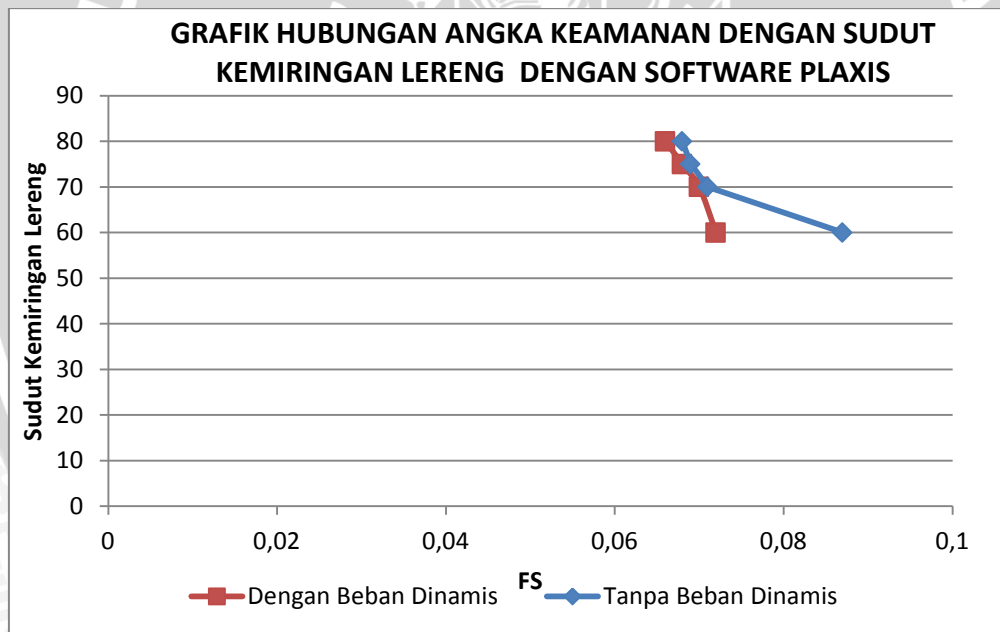
Tabel 4.9 Angka Keamanan pada Kondisi Plastis

Sudut Kemiringan Lereng	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
60	0,087	0,072
70	0,071	0,070
75	0,069	0,068
80	0,068	0,066

Nilai – nilai angka keamanan pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 didapat dengan cara memasukkan nilai kohesi, sudut geser tanah, density yang berasal dari penelitian tetapi pola bidang longsor yang digunakan adalah bidang longsor teoritis. Dari perhitungan faktor keamanan pada kondisi OMC lebih besar dari faktor keamanan pada kondisi Plastis. Angka keamanan pada saat tidak diberikan beban dinamis besar dibandingkan angka keamanan pada saat diberikan beban dinamis. Dapat dikatakan bahwa kadar air dan getaran akan berpengaruh pada tingkat stabilitas lereng tersebut.



Gambar 4.11 Grafik hubungan angka keamanan dan sudut kemiringan lereng pada kondisi OMC



Gambar 4.12 Grafik hubungan angka keamanan dan sudut kemiringan lereng pada kondisi Plastis

Dari grafik di atas terlihat bahwa angka keamanan semakin menurun seiring dengan bertambahnya sudut kemiringan lereng, selain itu angka keamanan menjadi semakin turun akibat adanya beban dinamis pada lereng. Kadar air juga berpengaruh terhadap angka keamanan, pada keadaan kadar air optimum, angka keamanan lebih besar daripada keadaan kadar air pada kondisi plastis.

4.2.2 Hasil Perhitungan dengan Metode Keseimbangan Batas Permodelan dengan menggunakan Bidang Longsor Hasil Praktikum

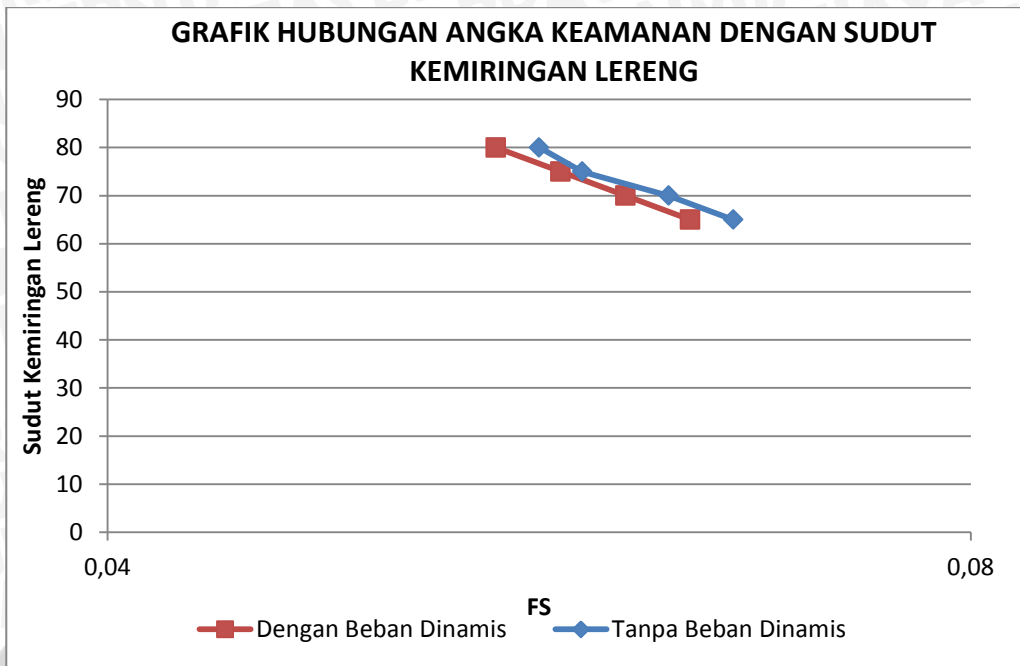
Tabel 4.10 Angka Keamanan pada Kondisi OMC

Sudut Kemiringan Lereng	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
60	0,089	0,082
70	0,087	0,079
75	0,080	0,078
80	0,076	0,074

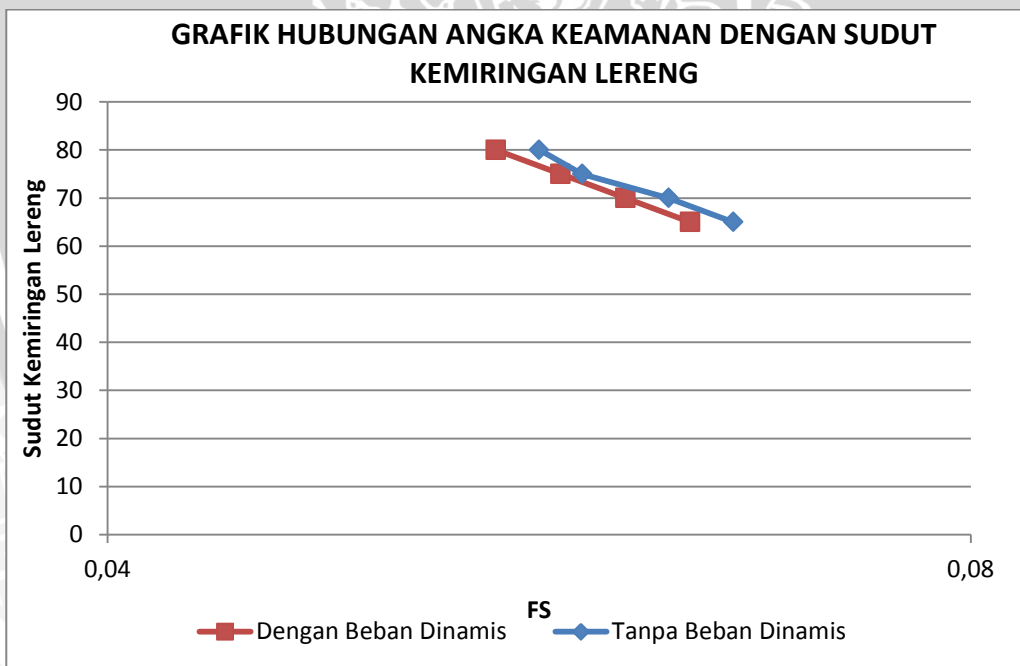
Tabel 4.11 Angka Keamanan pada Kondisi Plastis

Sudut Kemiringan Lereng	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
65	0,069	0,067
70	0,066	0,064
75	0,062	0,061
80	0,060	0,058

Nilai – nilai angka keamanan pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 didapat dengan cara memasukkan nilai kohesi, sudut geser tanah, density yang berasal dari penelitian tetapi pola bidang longsor yang digunakan adalah bidang longsor yang terjadi pada saat penelitian. Dari perhitungan faktor keamanan pada tabel 4.18 dan tabel 4.19 dapat dilihat bahwa tingkat stabilitas lereng menurun berbanding terbalik dengan peningkatan sudut kemiringan lereng. Angka keamanan pada saat tidak diberikan beban dinamis besar dibandingkan angka keamanan pada saat diberikan beban dinamis. Sehingga dapat dikatakan bahwa getaran akan berpengaruh pada tingkat stabilitas lereng tersebut



Gambar 4.13 Grafik hubungan angka keamanan dan sudut kemiringan lereng pada kondisi OMC



Gambar 4.14 Grafik hubungan angka keamanan dan sudut kemiringan lereng pada kondisi Plastik

Dari grafik di atas terlihat bahwa angka keamanan semakin menurun seiring dengan bertambahnya sudut kemiringan lereng, selain itu angka keamanan menjadi semakin turun akibat adanya beban dinamis pada lereng. Kadar air juga berpengaruh

terhadap angka keamanan, pada keadaan kadar air optimum, angka keamanan lebih besar daripada keadaan kadar air pada kondisi plastis.

Dari hasil perhitungan di atas dapat kita ketahui perbandingan hasil perhitungan antara *software* Plaxis dengan perhitungan manual. Hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Perbandingan Nilai Angka Keamanan Hasil Perhitungan Plaxis Terhadap Metode Keseimbangan Batas Tanpa Beban Dinamis Pada Kondisi OMC

Sudut Kemiringan Lereng	Plaxis	Keseimbangan Batas	Perbandingan
60	0,147	0,089	0,395
70	0,115	0,087	0,243
75	0,111	0,080	0,279
80	0,107	0,076	0,289

Rata-rata perbandingan = 0,301

Tabel 4.13 Perbandingan Nilai Angka Keamanan Hasil Perhitungan Plaxis Terhadap Metode Keseimbangan Batas Dengan Beban Dinamis Pada Kondisi OMC

Sudut Kemiringan Lereng	Plaxis	Keseimbangan Batas	Perbandingan
60	0,145	0,082	0,435
70	0,107	0,079	0,262
75	0,11	0,078	0,288
80	0,106	0,074	0,032

Rata-rata perbandingan = 0,254

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Angka Keamanan Hasil Perhitungan Plaxis Terhadap Metode Keseimbangan Batas Tanpa Beban Dinamis Pada Kondisi Plastis

Sudut Kemiringan Lereng	Plaxis	Keseimbangan Batas	Persentase Perbedaan
60	0,087	0,069	0,018
70	0,071	0,066	0,070
75	0,069	0,062	0,101
80	0,068	0,060	0,307

Rata-rata perbandingan = 0,124

Tabel 4.15 Perbandingan Nilai Angka Keamanan Hasil Perhitungan Plaxis Terhadap Metode Keseimbangan Batas Dengan Beban Dinamis Pada Kondisi Plastis

Sudut Kemiringan Lereng	Plaxis	Keseimbangan Batas	Persentase Perbedaan
60	0,072	0,067	0,069
70	0,070	0,064	0,086
75	0,068	0,061	0,103
80	0,066	0,058	0,121

Rata-rata perbandingan = 0,095

Dari perbandingan tersebut dapat dikatakan bahwa perhitungan menggunakan Plaxis didapatkan hasil angka keamanan yang lebih besar karena pada *software* Plaxis digunakan metode *finite element*, dimana pada perhitungan dengan metode *finite element*, tanah di atas bidang longsor akan dibagi menjadi elemen – elemen yang lebih detail daripada metode irisan vertikal sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat. Selain itu dari tabel menunjukkan bahwa angka keamanan pada kondisi OMC lebih besar daripada kondisi Plastis.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

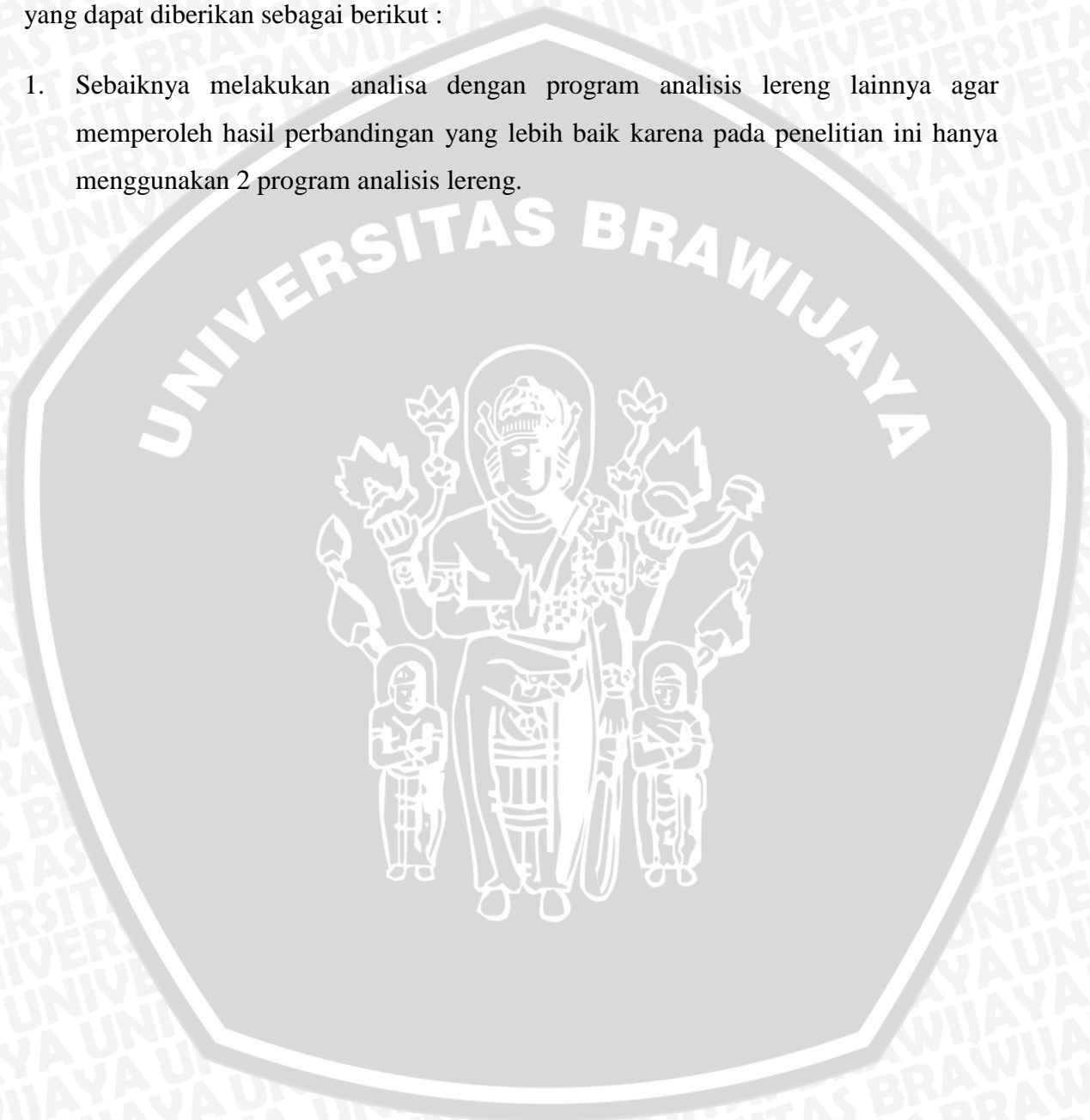
Dengan dilakukannya analisa data dan pembahasan hasil pengujian di atas, penelitian ini mencapai beberapa kesimpulan antara lain :

1. Kadar air berpengaruh pada perubahan sudut kritis, semakin besar kadar air maka sudut kritis juga akan semakin besar.
2. Pada saat lereng diberikan beban dinamis, sudut kritis akan berubah menjadi lebih kecil.
3. Semakin besar sudut kemiringan lereng, angka keamanan semakin kecil.
4. Perhitungan menggunakan Plaxis didapatkan hasil angka keamanan yang lebih besar karena pada *software* Plaxis digunakan metode *finite element*, dimana pada perhitungan dengan metode *finite element*, tanah di atas bidang longsor akan dibagi menjadi elemen – elemen yang lebih detail daripada metode irisan vertikal sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat.
5. Perbandingan angka keamanan tanpa beban dinamis antara perhitungan dengan menggunakan *software* Plaxis terhadap perhitungan manual untuk kondisi OMC adalah sebesar 0,301. Sedangkan pada saat dengan beban dinamis perbandingannya adalah 0,254. Pada kondisi Plastis tanpa beban dinamis perbandingannya adalah 0,124, dan pada saat dengan beban dinamis perbandingannya adalah 0,095
6. Perbedaan antara analisis Plaxis yaitu finite elemen dengan metode keseimbangan batas adalah pada metode finite elemen hubungannya adalah dengan tegangan dan regangan, sedangkan pada metode keseimbangan batas hubungannya adalah dengan kuat geser tanah. Misalnya pada saat tanah di bebani, jika dianalisis dengan metode finite elemen maka yang di cari adalah berapa tegangan dan regangan yang terjadi pada tanah tersebut. Sedangkan jika di analisis dengan metode keseimbangan batas maka yang di cari adalah membandingkan antara kuat geser yang dimiliki tanah dengan kuat geser akibat beban luar yang bekerja pada tanah tersebut.

5.2 Saran

Selama melakukan penelitian tentang uji model stabilitas lereng dengan variasi sudut akibat beban dinamis pada tanah lempung berpasir, maka ada beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Sebaiknya melakukan analisa dengan program analisis lereng lainnya agar memperoleh hasil perbandingan yang lebih baik karena pada penelitian ini hanya menggunakan 2 program analisis lereng.



DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 1991. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Cetakan ke dua. Alih Bahasa Ir. Noor Endah Mochtar M.Sc, Ph.D; Ir. Indrasurya B Mochtar M.Sc, Ph.D. Jakarta :Penerbit Eralangga.
- Das, Braja M. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 2. Alih Bahasa Ir. Noor Endah Mochtar M.Sc, Ph.D; Ir. Indrasurya B Mochtar M.Sc, Ph.D. Jakarta :Penerbit Eralangga.
- Hardiyatmo, Harry C. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Hardiyatmo, Harry C. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- J. Bojorque, G. De Roeck. *Determination of The Critical Seismic Acceleration Coefficient in Slope Stability Analysis Using Finite Element Methods*. Belgium
- Longsor Cibinong. <http://sirrma.bppt.go.id/home/rapid-assessment/>. (diakses tanggal 14 November 2010)
- Longsor Karanganyar. <http://sirrma.bppt.go.id/home/rapid-assessment/>. (diakses tanggal 14 November 2010)
- Nelson, Stephen A. 2004. *Slope Stability, Triggering Events, Mass Wasting Events*. Tulane University
- S. Basu. 2005. *Seismic Slope Stability Analysis By Method of Vertical Slices*. India.



LAMPIRAN 1

PERCOBAAN BERAT JENIS (*SPECIFIC GRAVITY*)

Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *specific gravity* (GS) dari tanah sampel.

1. Persiapan Benda Uji

Tanah sampel yang akan diuji sebelumnya dikeringkan dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$, selama ± 24 jam. Tanah sampel yang digunakan seberat 20 gram.

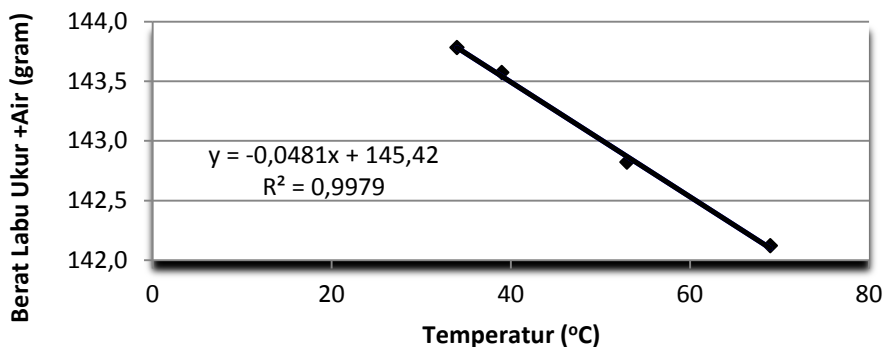
2. Kalibrasi Labu Ukur

Kalibrasi picnometer dilakukan sebelum melakukan pemeriksaan berat jenis. Picnometer yang digunakan sebanyak tiga buah yaitu No. 1, No.2, No.3. Labu ukur dicuci dan dikeringkan kemudian diitimbang. Berat labu ukur No.1 adalah 51,75 gram, No.2 adalah 49,68 gram dan labu No.3 adalah 45,10 gram. Setelah ditimbang picnometer diisi berat dan suhunya. Dari hasil percobaan didapat data sebagai berikut :

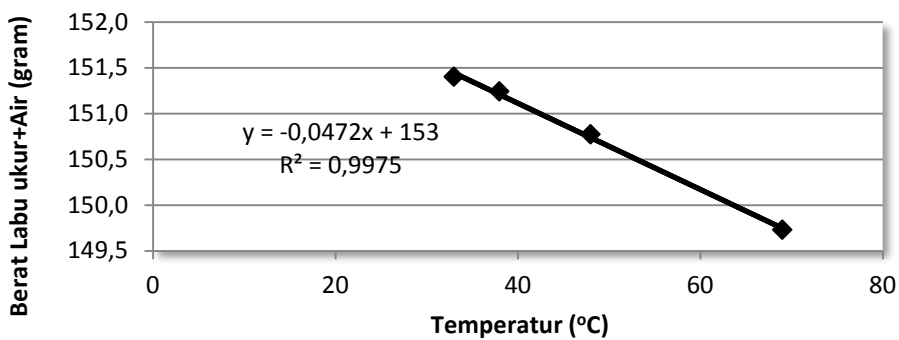
3. Hasil Percobaan Kalibrasi Labu Ukur

Pemeriksaan	Labu Ukur G		Labu Ukur H		Labu Ukur I	
	Berat Labu Ukur + Air (gram)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Berat Labu Ukur + Air (gram)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Berat Labu Ukur + Air (gram)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
1	142,12	69	149,73	69	143,80	72
2	142,82	53	150,77	48	145,01	48
3	143,57	39	151,24	38	145,44	38
4	143,78	34	151,40	33	145,61	33

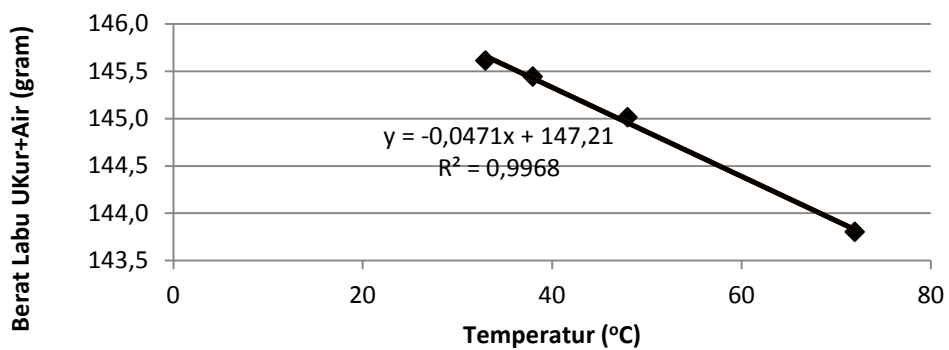
Grafik Kalibrasi Labu Ukur G



Grafik Kalibrasi Labu Ukur H



Grafik Kalibrasi Labu ukur I



4. Pemeriksaan Berat Jenis Tanah Sampel

Tanah kaolin yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam picnometer kemudian ditambah air sampai dengan 2/3 bagian. Kemudian dipanaskan selama 10 menit atau lebih sehingga udara dalam benda uji keluar seluruhnya. Kemudian picnometer diisi dengan air suling lagi dan didinginkan sampai mencapai suhu kamar, kemudian ditimbang dan didapatkan berat picnometer + tanah kaolin + air pada temperatur tertentu. Dari persamaan pada grafik kalibrasi diperoleh berat picnometer + air pada temperatur tersebut.

5. Hasil Percobaan Berat Jenis

Berat jenis tanah ditentukan dengan rumus: $G_s = \frac{G_t \cdot (W_s)}{W_s - W_1 + W_2}$.

Hasil dari kedua percobaan berat jenis seperti terlihat berikut ini:

Labu Ukur	G			
Berat Labu Ukur	43,73			
Berat Tanah Kering (Ws)	20			
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	152,35	155,9	156,32	156,44
Suhu (°C)	74	48	39	34
Berat Labu Ukur + Air (W2)	141,848	143,096	143,528	143,768
Berat Jenis Air (Gt)	0,9755	0,9890	0,9926	0,9944
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,0541	2,7487	2,7542	2,7140
Rata-rata Berat Jenis	2,5678			

Labu Ukur	H			
Berat Labu Ukur	51,89			
Berat Tanah Kering (Ws)	20			
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	160,84	163,33	163,7	163,19
Suhu (°C)	71	47	38	35
Berat Labu Ukur + Air (W2)	149,663	150,791	151,214	151,355
Berat Jenis Air (Gt)	0,9772	0,9890	0,9930	0,9941
Berat Jenis Tanah (Gs)	2,2151	2,6511	2,6431	2,4350
Rata-rata Berat Jenis	2,4861			

Labu Ukur	I			
Berat Labu Ukur	44,95			
Berat Tanah Kering (Ws)	20			
Berat Labu Ukur + Air + Tanah (W1)	153,11	157,31	157,89	158,08
Suhu (°C)	72	48	38	35
Berat Labu Ukur + Air (W2)	143,816	144,944	145,414	145,555
Berat Jenis Air (Gt)	0,9767	0,9890	0,9930	0,9941
Berat Jenis Tanah (Gs)	1,8246	2,5910	2,6396	2,6598
Rata-rata Berat Jenis	2,4287			

Hasil percobaan diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah sebesar:

$$Gs_{rata-rata} = \frac{2,5678 + 2,4861 + 2,4287}{3} = 2,4942$$

Berdasarkan berat jenisnya, tanah ini termasuk dalam jenis tanah lempung ($G_s = 2,55-2,65$).

6. Contoh Perhitungan (Labu Ukur I)

Berat labu + air + tanah (W1) = 153,11 gram

Pembacaan temperaur = 72°

Berat labu + air (W2) y
 = -0,047 x + 147,2
 = -0,046 (72) + 147,2
 = 143,816 gram

Berat kering (Ws) = 20 gram

Berat jenis air pada TC = GT dari pembacaan table didapatkan nilai 0,9767

Berat jenis tanah

$$G_s = \frac{G_t \cdot W_s}{W_s + W_1 - W_2}$$

$$= \frac{0,9767 \times 20}{20 + 153,11 - 143,816}$$

$$= 1,8246$$



LAMPIRAN 2

PEMERIKSAAN BATAS PLASTIS

Batas Plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 1/8 inchi mulai retak-retak.

Tabel 4.5 Hasil Batas Plastis

Batas Plastis			
Nomor Cawan	1	2	3
Berat Cawan (gr)	5,64	5,66	5,44
Berat Cawan + tanah basah (gr)	8,78	9,37	7,75
Berat Cawan + tanah kering (gr)	8,14	8,60	7,27
Berat Air (gr)	0,64	0,77	0,48
Berat Tanah Kering (gr)	2,50	2,94	1,83
Kadar Air (%)	25,600	26,190	26,230

Dari percobaan yang dilakukan didapatkan batas plastis kaolin pada kadar air 26,007 %.

LAMPIRAN 3

PERCOBAAN PEMADATAN (COMPACTION TEST)

Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai OMC (Optimum Moisture Content) dari tanah sampel dan mengetahui berat kering maksimum tanah sampel.

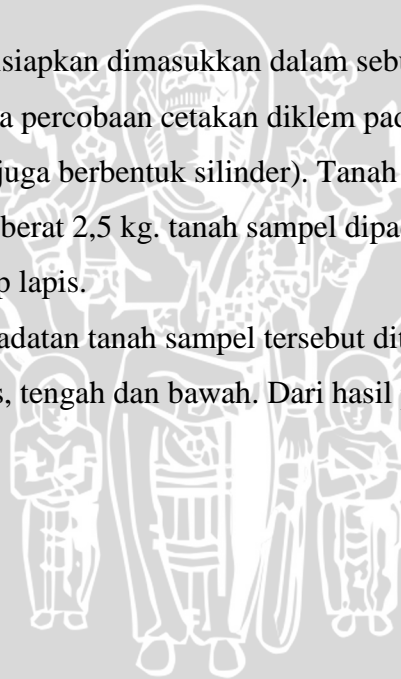
1. Persiapan Benda Uji

Tanah sampel yang akan digunakan ditimbang masing – masing 2,5 kg sebanyak 5 kantong. Masing – masing sampel diberi penambahan air sebanyak 8%, 10%, 12%, dan 14% kemudian dicampur dan didiamkan \pm 24 jam.

2. Uji Pemadatan

Benda uji yang telah disiapkan dimasukkan dalam sebuah cetakan silinder dengan diameter 10 cm. selama percobaan cetakan diklem pada sebuah plat dasar dan diatasnya diberi perpanjangan (juga berbentuk silinder). Tanah dipadatkan dengan menggunakan *proctor* dengan berat 2,5 kg. tanah sampel dipadatkan dengan 3 lapis sebanyak 25 x tumbukan setiap lapis.

Setelah dilakukan pemadatan tanah sampel tersebut ditimbang dan diambil kadar airnya pada 3 bagian yaitu atas, tengah dan bawah. Dari hasil percobaan didapat hasil sebagai berikut :



3. Hasil Percobaan Pemadatan

Pemeriksaan Kadar air

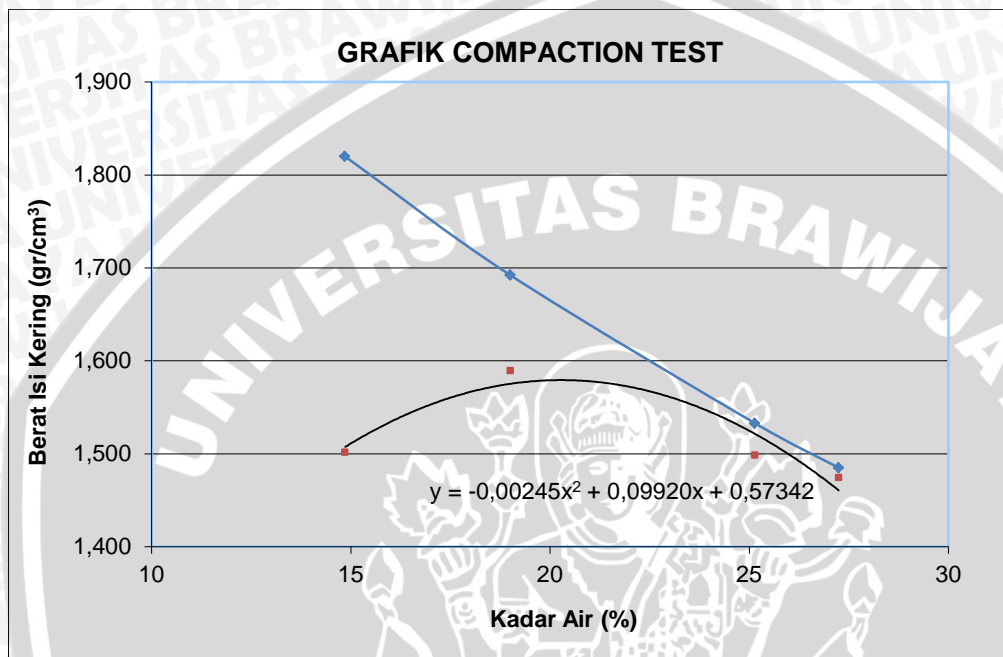
Penambahan Air	ml	15%			19%			23%			27%		
Berat Cawan	gr	5,6	4,23	5,64	4,15	5,65	5,63	4,16	5,64	4,31	5,91	5,55	5,62
Berat Tanah Basah + Cawan	gr	27,7	30,84	21,87	28,43	28,8	33,12	45,49	33,29	26,53	40,46	29,45	36,58
Berat Tanah Kering + Cawan	gr	24,8	27,4	19,8	24,6	25	28,8	37,21	27,8	22	33,2	24,2	30
Berar Air (Ww)	gr	2,9	3,44	2,07	3,83	3,8	4,32	8,28	5,49	4,53	7,26	5,25	6,58
Berat Tanah Kering (Ws)	gr	19,2	23,17	14,16	20,45	19,35	23,17	33,05	22,16	17,69	27,29	18,65	24,38
Kadar Air	%	15,104	14,847	14,619	18,729	19,638	18,645	25,053	24,774	25,608	26,603	28,150	26,989
Kadar Air Rata-rata	%	14,857			19,004			25,145			27,248		

Pemeriksaan Berat Isi

Berat Cetakan	gr	4220	4220	4220	4220
Berat Tanah Basah + Cetakan	gr	5749	5830	6016	5945
Berat Tanah Basah	gr	1529	1610	1796	1725
Isi Cetakan	cm ³	902,750	902,750	902,750	902,750
Berat Isi Basah (γ_w)	gr/cm ³	1,694	1,783	1,989	1,911
Berat Isi Kering (γ_d)	gr/cm ³	1,475	1,499	1,590	1,502

Pemeriksaan Berat Isi

Kadar Air (w)	27,248	25,145	19,004	14,857
Gs	2,494192629			
Berat Jenis Air (γ_w)	1	1	1	1
Berat Jenis Air Zero Air Void (γ_{zad})	1,485	1,533	1,692	1,820



Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat kering

Dari persamaan grafik hubungan kadar air dan berat kering diatas dimana

$$y = -0,00245x^2 + 0,09920x + 0,57342$$

maka dapat diketahui Kadar air optimum (OMC) yaitu :

$$y' = 0$$

$$-0,0049x + 0,0992 = 0$$

$$x = 0,0992/0,0049$$

$$= 20,245 \%$$

Sehingga :

$$y = 1,578 \text{ gr/cm}^3$$

4. Contoh Perhitungan

- **Perhitungan Kadar Air Penambahan 15% (atas)**

$$\text{Berat cawan} = 5,6 \text{ gram}$$

$$\text{Berat tanah basah + cawan} = 27,7 \text{ gram}$$

$$\text{Berat tanah kering + cawan} = 24,8 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air (Ww)} &= (\text{Berat tanah basah + cawan}) - (\text{Berat tanah kering + cawan}) \\ &= 27,7 - 24,8 \\ &= 2,9 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah kering (Ws)} &= (\text{Berat tanah kering + cawan}) - \text{Berat cawan} \\ &= 24,8 - 5,6 \\ &= 19,2 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar air} &= \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering}} \times 100\% \\ &= \frac{2,9}{19,2} \times 100\% = 14,857\% \end{aligned}$$

- **Perhitungan Pemeriksaan Berat Isi**

$$\text{Berat cetakan} = 4220 \text{ gram}$$

$$\text{Berat tanah basah + cetakan} = 5749 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah basah} &= (\text{Berat tanah basah + cetakan}) - \text{Berat cetakan} \\ &= 5749 - 4220 \\ &= 1529 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Isi cetakan} &= 1/4\pi d^2 \times \text{tinggi} \\ &= 1/4\pi (10)^2 \times 11,5 \\ &= 902,750 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Isi Basah } (\gamma_w) &= \text{Berat tanah basah} / \text{Isi cetakan} \\ &= 1529 / 902,750 \\ &= 1,694 \text{ gr/ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi kering} &= \frac{\gamma_w \cdot 100}{w_{rata} - \text{rata} + 100} \\ &= \frac{1,694 \times 100}{14,857 + 100} \\ &= 1,475 \text{ gr/ cm}^3 \end{aligned}$$

- **Perhitungan Berat Isi Zero Air Void**

$$\text{Kadar air rata - rata (w)} = 27,248\%$$

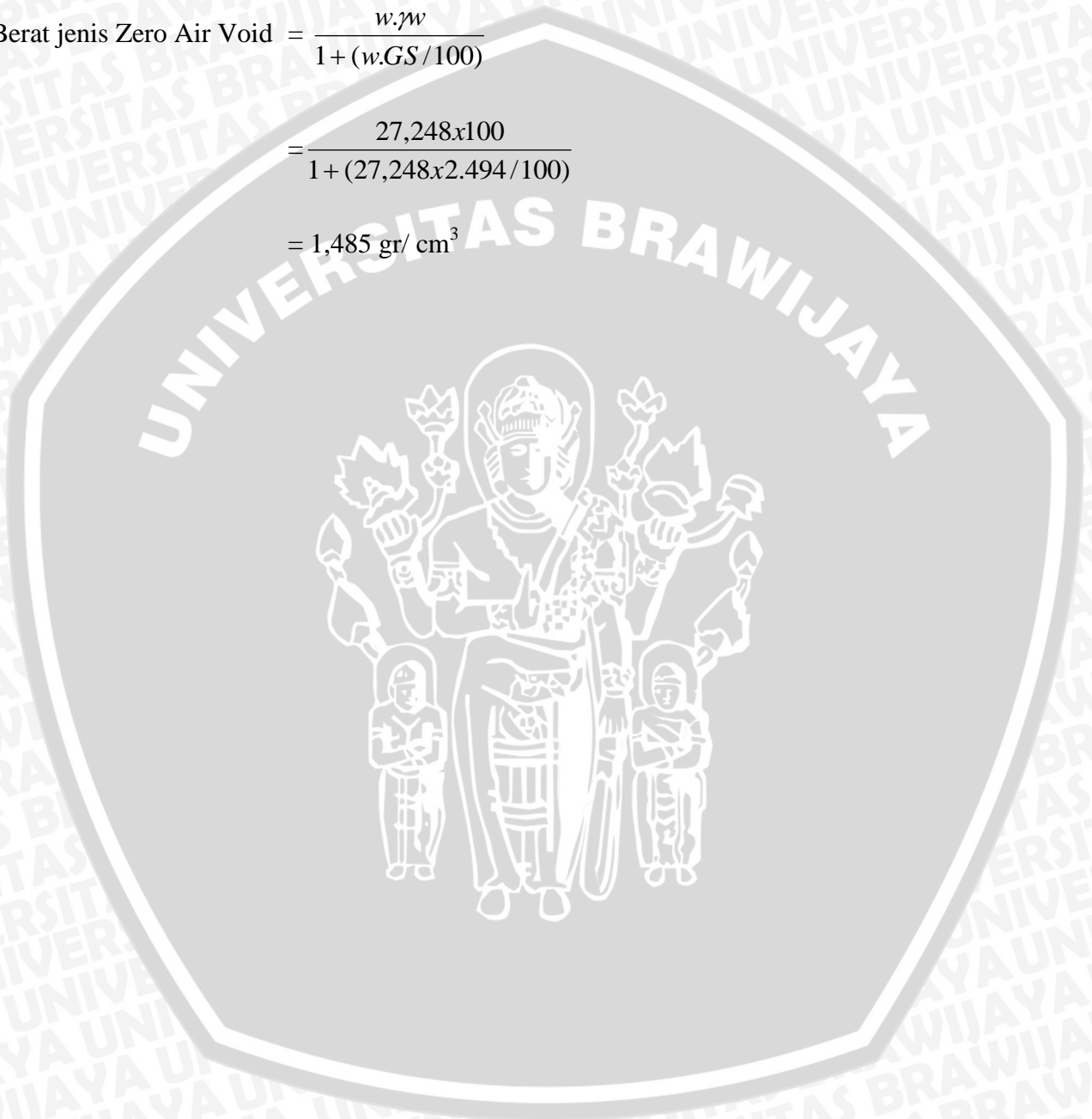
$$\text{GS} = 2,494$$

$$\text{Berat jenis air } \gamma_w = 1 \text{ gr/ cm}^3$$

$$\text{Berat jenis Zero Air Void} = \frac{w \cdot \gamma_w}{1 + (w \cdot \text{GS} / 100)}$$

$$= \frac{27,248 \times 100}{1 + (27,248 \times 2,494 / 100)}$$

$$= 1,485 \text{ gr/ cm}^3$$



LAMPIRAN 4

PERCOBAAN BERAT ISI (*DENSITY*)

Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan berat isi tanah sampel pada keadaan OMC dan kadar air plastis.

1. Persiapan Benda Uji

Sampel tanah yang telah diberikan penambahan kadar air dipadatkan pada box kemudian dipadatkan setinggi 5 cm sebanyak 3 lapis. Pemadatan dilakukan dengan menggunakan *spin roll*.

2. Uji Berat Isi (*Density*)

Benda uji yang telah disiapkan dilakukan sampling dengan menggunakan ring sebanyak 3 buah. Sebelumnya ring diukur diameter, tinggi dan ditimbang beratnya. Setelah sampling dilakukan berat sampel ditimbang kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu $\pm 110^\circ$ selama ± 24 jam. Setelah kering sampel ditimbang kembali. Dari percobaan didapatkan data sebagai berikut :

Pemeriksaan Density (Kondisi OMC)

Titik No. / Kedalaman	Satuan	1	2	3
Tinggi Ring	cm	2,5	1,88	1,7
Diameter Ring (tabung)	cm	2,5	2,5	2,5
1. Berat Ring	gr	18,99	14,69	13,62
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	40,27	30,34	29,28
3. Berat Tanah Basah (2)- (1)	gr	21,28	15,65	15,66
4. Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	12,266	9,224	8,341
5. Berat Isi Tanah (3) / (4)	gr/cm ³	1,735	1,697	1,878
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	36,020	27,120	26,150
7. Berat Tanah Kering (6) - (1)	gr	17,030	12,430	12,530
8. Berat Air (3)- (7)	gr	4,250	3,220	3,130
9. Kadar Air (8) / (7) x 100%	%	24,956	25,905	24,980
10. γ_d (7) / (4)	gr/cm ³	1,388	1,348	1,502
11. Berat Isi rata-rata (γ_d)	gr/cm ³	1,4128		

Pemeriksaan Density (Kondisi Plastis)

Titik No. / Kedalaman	Satuan	1	2	3
Tinggi Ring	cm	2,65	2,25	2,1
Diameter Ring (tabung)	cm	2,5	2,5	2,5
1. Berat Ring	gr	19,72	16,83	15,37
2. Berat Ring + Tanah Basah	gr	40,55	35,23	33,12
3. Berat Tanah Basah (2)- (1)	gr	20,83	18,4	17,75
4. Volume Tanah (Volume Ring)	cm ³	13,002	11,039	10,303
5. Berat Isi Tanah (3) / (4)	gr/cm ³	1,602	1,667	1,723
6. Berat Ring + Tanah Kering	gr	34,550	28,990	26,870
7. Berat Tanah Kering (6) - (1)	gr	14,830	12,160	11,500
8. Berat Air (3)- (7)	gr	6,000	6,240	6,250
9. Kadar Air (8) / (7) x 100%	%	40,459	51,316	54,348
10. γ_d (7) / (4)	gr/cm ³	1,141	1,102	1,116
11. Berat Isi rata-rata	gr/cm ³	1,1194		

3. Contoh Perhitungan

• **Perhitungan Density Kondisi OMC Ring 1**

Tinggi ring = 2,65 cm

Diameter ring = 2,5 cm

Berat ring = 19,72 gram

Berat ring + tanah basah = 40,55 gram

Berat tanah basah = (Berat ring + tanah basah) - Berat ring
 = 40,55 - 19,72
 = 20,83 gram

Volume tanah = $1/4\pi d^2 \times$ tinggi
 = $1/4\pi (2,5)^2 \times 2,40$
 = 11,78 cm³

Berat isi tanah = $\frac{\text{Berat Tanah}}{\text{Volume Tanah}} = \frac{20,83}{11,78} = 1,602 \text{ gram/cm}^3$



LAMPIRAN 5

PERCOBAAN TRIAXIAL

Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan parameter tanah sampel dari kondisi OMC dan pada kadar air plastis. Parameter yang akan didapatkan adalah kohesi (c) dan sudut geser (ϕ).

1. Persiapan Benda Uji

Sampel tanah yang digunakan sebelumnya diberikan penambahan kadar air pada kondisi OMC dan kondisi plastis. Sampel tanah yang telah diberikan penambahan kadar air dipadatkan pada box kemudian dipadatkan setinggi 12 cm sebanyak 3 lapis. Pemadatan dilakukan dengan menggunakan *spin roll*.

2. Uji Triaxial

Pemeriksaan geser triaxial ini dilakukan dengan tipe *Unconsolidated-undrained* (U-U test), yaitu contoh tanah dimasukkan kedalam membran karet kemudian dimasukkan dalam sebuah tabung yang terisi air dengan tegangan sel (σ_3) yang diberikan antara lain $0,5 \text{ kg/cm}^2$; 1 kg/cm^2 ; $1,5 \text{ kg/cm}^2$. Dari hasil percobaan didapatkan hasil sebagai berikut.

3. Hasil Percobaan**• Pada Kondisi OMC**

Tinggi Sampel	:	10 cm
Diameter Sampel	:	5 cm
Faktor Kalibrasi	:	0,6
σ_3	:	$0,5 \text{ kg/cm}^2$

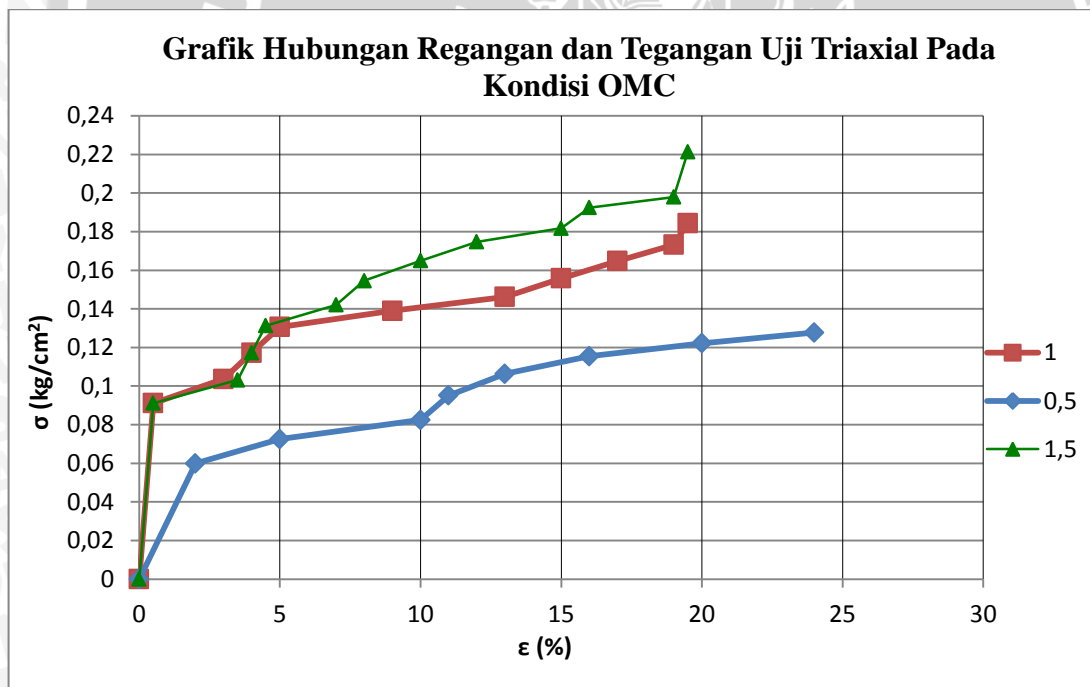
t	ΔH	ϵ	1- ϵ	Luas Mula2 A_0	Luas terkoreksi A'	Proving Ring	Beban P	$P/A'=\sigma_1-\sigma_3$	σ_1	σ_3
	cm	%		cm ²	cm ²	strip	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	1	19.643	19.643	0.000	0	0.000	0.500	0.5
1	0.1	2	0.98	19.643	20.044	2.000	1.2	0.060	0.560	0.5
5	0.5	5	0.950	19.643	20.677	2.500	1.5	0.073	0.573	0.5
10	1	10	0.900	19.643	21.825	3.000	1.8	0.082	0.582	0.5
11	1.1	11	0.890	19.643	22.071	3.500	2.1	0.095	0.595	0.5
13	1.3	13	0.870	19.643	22.578	4.000	2.4	0.106	0.606	0.5
16	1.6	16	0.840	19.643	23.384	4.500	2.7	0.115	0.615	0.5
20	2	20	0.800	19.643	24.554	5.000	3	0.122	0.622	0.5
24	2.4	24	0.760	19.643	25.846	5.500	3.3	0.128	0.628	0.5

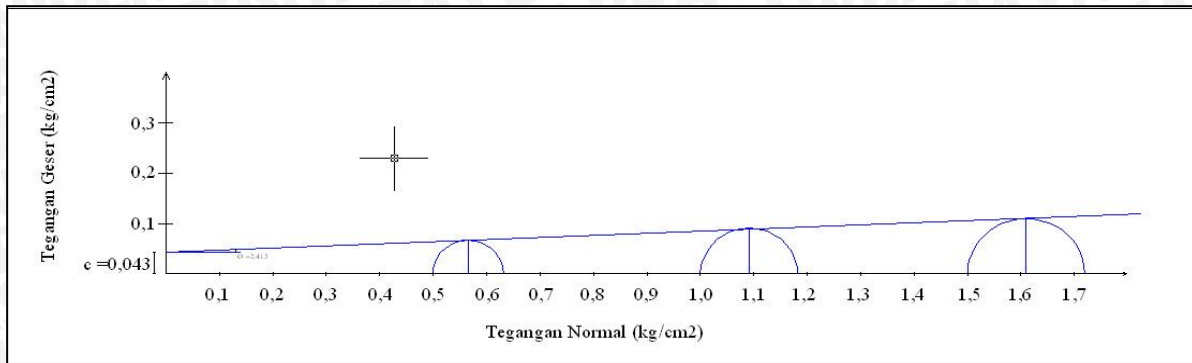
Tinggi Sampel : 10 cm
 Diameter Sampel : 5 cm
 Faktor Kalibrasi : 0,6
 σ_3 : 1 kg/cm²

t	ΔH	ϵ	1- ϵ	Luas Mula2 A_0	Luas terkoreksi A'	Proving Ring	Beban P	$P/A'=\sigma_1-\sigma_3$	σ_1	σ_3
	cm	%		cm ²	cm ²	strip	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	1	19.643	19.643	0.0	0	0	1	1
0.5	0.05	0.5	0.995	19.643	19.742	3.0	1.8	0.091	1.091	1
3	0.3	3	0.970	19.643	20.250	3.50	2.1	0.104	1.104	1
4	0.4	4	0.960	19.643	20.461	4.0	2.4	0.117	1.117	1
5	0.5	5	0.950	19.643	20.677	4.50	2.7	0.131	1.131	1
9	0.9	9	0.910	19.643	21.586	5.00	3	0.139	1.139	1
13	1.3	13	0.870	19.643	22.578	5.5	3.3	0.146	1.146	1
15	1.5	15	0.850	19.643	23.109	6.0	3.6	0.156	1.156	1
17	1.7	17	0.830	19.643	23.666	6.5	3.9	0.165	1.165	1
19	1.9	19	0.810	19.643	24.250	7.0	4.2	0.173	1.173	1
19.5	1.95	19.5	0.805	19.643	24.401	7.50	4.5	0.184	1.184	1

Tinggi Sampel : 10 cm
 Diameter Sampel : 5 cm
 Faktor Kalibrasi : 0,6
 σ_3 : 1,5 kg/cm²

t	ΔH	ϵ	1- ϵ	Luas	Luas	Proving	Beban	P/A'= σ_1 - σ_3	σ_1	σ_3
				Mula2	terkoreksi					
				A ₀	A'					
menit	cm	%		cm ²	cm ²	Ring	P	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	1	19.643	19.643	0.0	0.0	0	1.5	1.5
0.5	0.05	0.5	0.995	19.643	19.742	3.0	1.8	0.091	1.591	1.5
3.5	0.35	3.5	0.965	19.643	20.355	3.50	2.1	0.103	1.603	1.5
4	0.4	4	0.960	19.643	20.461	4.0	2.4	0.117	1.617	1.5
4.5	0.45	4.5	0.955	19.643	20.568	4.50	2.7	0.131	1.631	1.5
7	0.7	7	0.930	19.643	21.121	5.0	3.0	0.142	1.642	1.5
8	0.8	8	0.920	19.643	21.351	5.5	3.3	0.155	1.655	1.5
10	1	10	0.900	19.643	21.825	6	3.6	0.165	1.665	1.5
12	1.2	12	0.880	19.643	22.321	6.5	3.9	0.175	1.675	1.5
15	1.5	15	0.850	19.643	23.109	7	4.2	0.182	1.682	1.5
16	1.6	16	0.840	19.643	23.384	7.5	4.5	0.192	1.692	1.5
19	1.9	19	0.810	19.643	24.250	8	4.8	0.198	1.698	1.5
19.5	1.95	19.5	0.805	19.643	24.401	9	5.4	0.221	1.721	1.5





Lingkaran Mohr Triaxial pada kondisi OMC

$c = 0,043 \text{ kg/cm}^2$

$\Phi = 2,413^\circ$

- Pada Kondisi Plastis

Tinggi Sampel : 10 cm
 Diameter Sampel : 5 cm
 Faktor Kalibrasi : 0,6
 σ_3 : 0,5 kg/cm²

t	ΔH	ϵ	1- ϵ	Luas Mula2 A_0	Luas terkoreksi A'	Proving Ring	Beban P	$P/A' = \sigma_1 - \sigma_3$	σ_1	σ_3
menit	cm	%		cm ²	cm ²	strip	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	1	19.643	19.643	0.000	0	0.000	0.500	0.5
4	0.4	3.809524	0.962	19.643	20.421	1.500	0.9	0.044	0.544	0.5
8	0.8	7.619048	0.924	19.643	21.263	2.000	1.2	0.056	0.556	0.5
16.5	1.65	15.71429	0.843	19.643	23.305	2.500	1.5	0.064	0.564	0.5
27	2.7	25.71429	0.743	19.643	26.442	3.000	1.8	0.068	0.568	0.5

Tinggi Sampel : 10 cm

Diameter Sampel : 5 cm

Faktor Kalibrasi : 0,6

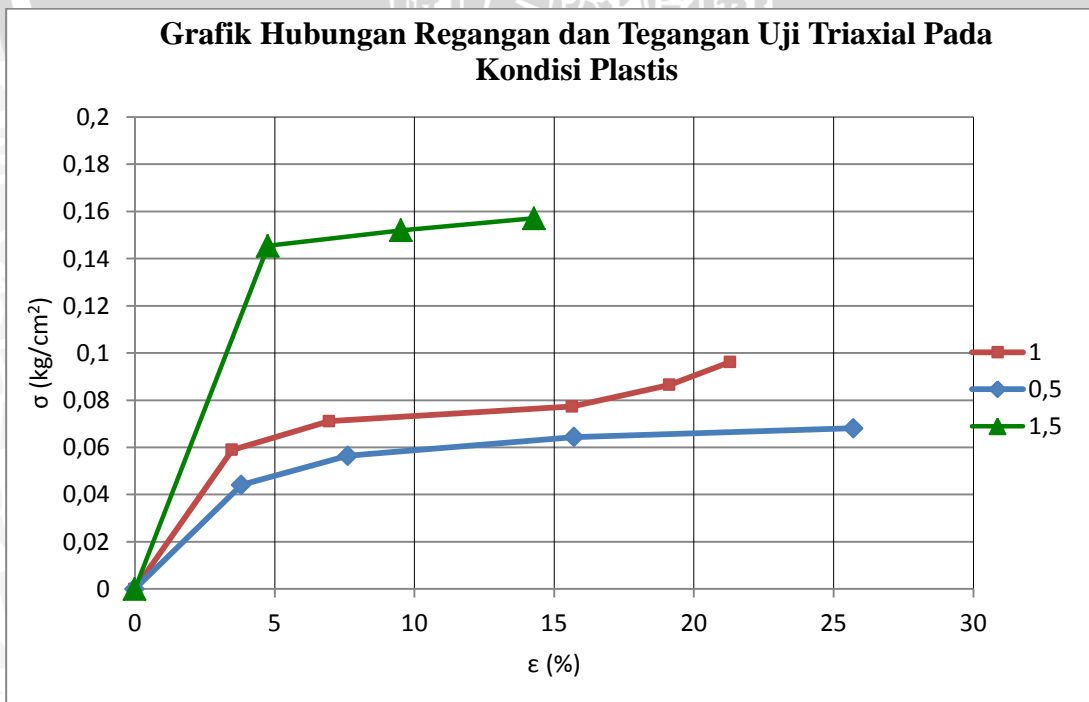
σ_3 : 1 kg/cm²



t	ΔH	ϵ	$1-\epsilon$	Luas Mula2 A_0	Luas terkoreksi A'	Proving Ring	Beban P	$P/A'=\sigma_1-\sigma_3$	σ_1	σ_3
menit	cm	%		cm ²	cm ²	strip	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	1	19.643	19.643	0.0	0	0	1	1
4	0.4	3.478261	0.965	19.643	20.351	2.00	1.2	0.059	1.059	1
8	0.8	6.956522	0.930	19.643	21.111	2.50	1.5	0.071	1.071	1
18	1.8	15.65217	0.843	19.643	23.288	3.00	1.8	0.077	1.077	1
22	2.2	19.13043	0.809	19.643	24.290	3.5	2.1	0.086	1.086	1
24.5	2.45	21.30435	0.787	19.643	24.961	4	2.4	0.096	1.096	1

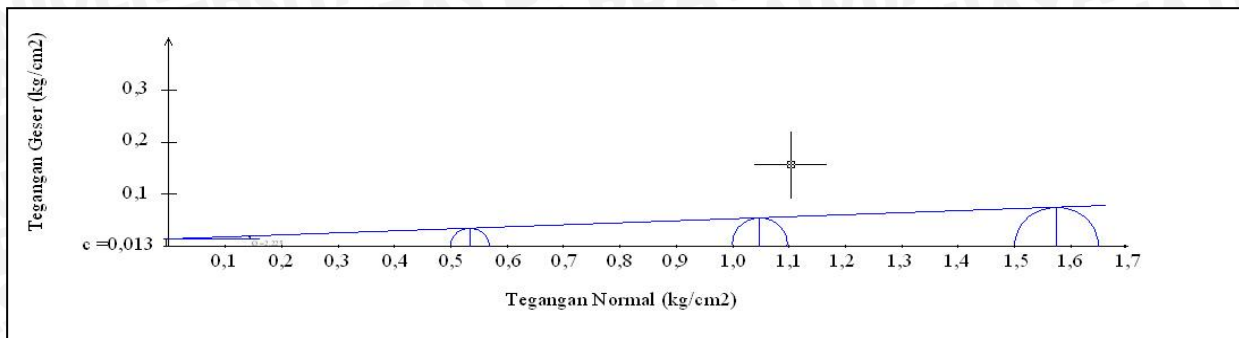
Tinggi Sampel : 10 cm
 Diameter Sampel : 5 cm
 Faktor Kalibrasi : 0,6
 σ_3 : 1,5 kg/cm²

t	ΔH	ϵ	$1-\epsilon$	Luas Mula2 A_0	Luas terkoreksi A'	Proving Ring	Beban P	$P/A'=\sigma_1-\sigma_3$	σ_1	σ_3
menit	cm	%		cm ²	cm ²	strip	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	1	19.643	19.643	0.0	0.0	0	1.5	1.5
5	0.5	4.761905	0.952	19.643	20.625	5.0	3.0	0.145	1.645	1.5
10	1	9.52381	0.905	19.643	21.711	5.5	3.3	0.152	1.652	1.5
15	1.5	14.28571	0.857	19.643	22.917	6	3.6	0.157	1.657	1.5



Grafik Hubungan Regangan dan Tegangan Uji Triaxial

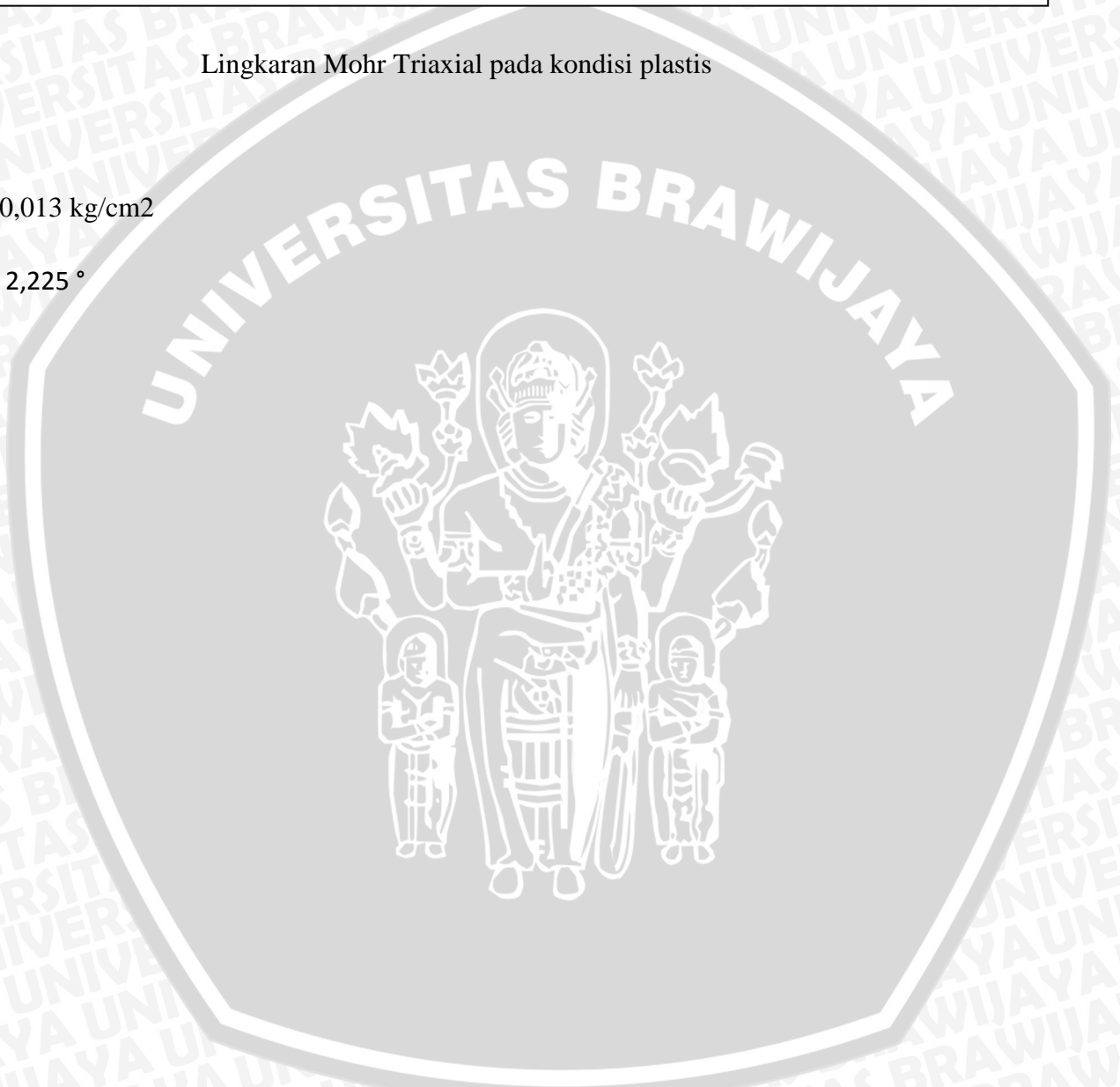




Lingkaran Mohr Triaxial pada kondisi plastis

$c = 0,013 \text{ kg/cm}^2$

$\Phi = 2,225^\circ$



LAMPIRAN 6

SUDUT INITIAL

Dalam menentukan variable dari sudut kemiringan dipakai rumus acuan :

$$m = \frac{c}{Hc\gamma}$$

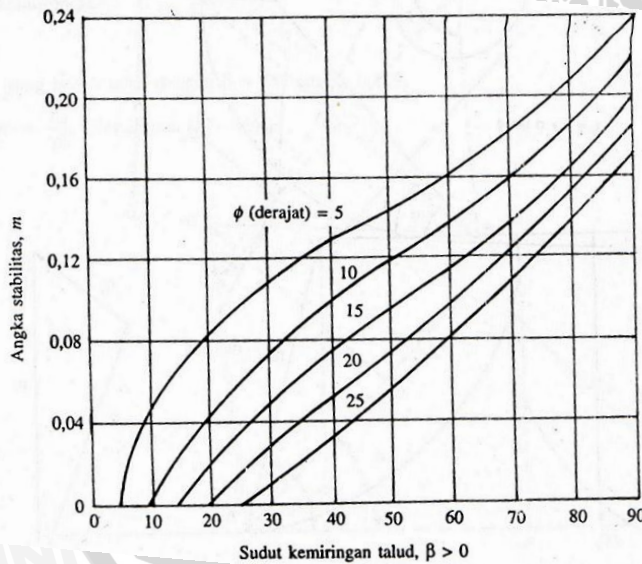
- Kondisi OMC

Tinggi kritis lereng (Hc) telah ditentukan setinggi 25 cm dengan sudut geser 2,431° dan $c = 43 \text{ gr/cm}^2$, $\gamma = 1,413 \text{ gr/cm}^3$.

$$m = \frac{c}{Hc\gamma}$$

$$m = \frac{43}{25 \times 1,413} = 1,437$$

Nilai β didapat dari grafik hubungan m dengan sudut kemiringan (β) sebagai berikut :



Dari grafik tersebut didapat nilai $\beta > 90^\circ$. Karena sudut initial terlalu besar maka diambil variasi sudut kemiringan lereng 65°, 70°, 75°, 80°.

- Kondisi Plastis

Tinggi kritis lereng (Hc) telah ditentukan setinggi 25 cm dengan sudut geser 2,255 dan $c = 13 \text{ gr/cm}^2$, $\gamma = 1,119 \text{ gr/cm}^3$.



$$m = \frac{c}{Hc\gamma}$$

$$m = \frac{13}{25 \times 1,119} = 0,368$$

Dari grafik tersebut didapat nilai $\beta > 90^\circ$. Karena sudut initial terlalu besar maka diambil variasi sudut kemiringan lereng $60^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$.

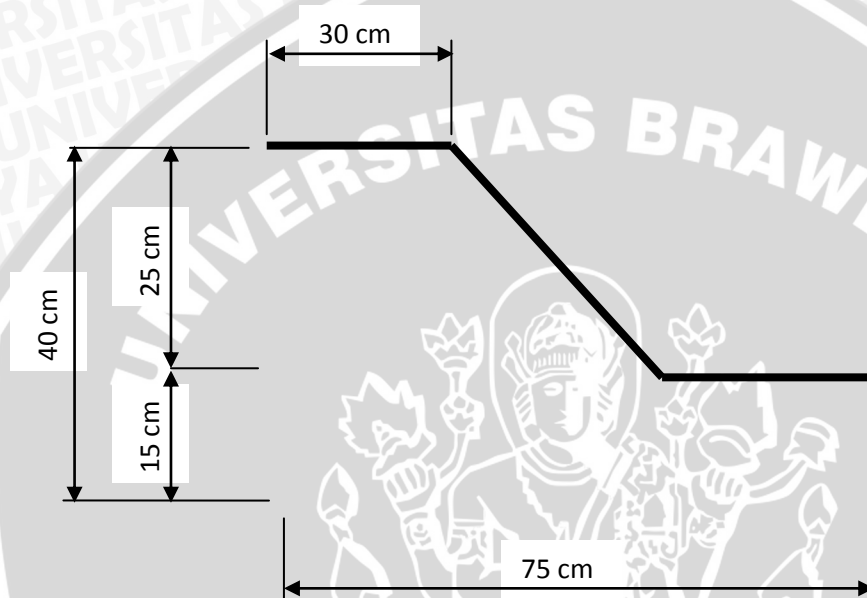


LAMPIRAN 7

DATA PERCOBAAN DAN PEMBEBANAN

1. Persiapan Benda Uji

Tanah sampel yang telah dicampur diberi penambahan air pada kondisi OMC dan kondisi plastis. Tanah sampel dibuat model lereng dengan tinggi lereng ditentukan 25 cm. Model lereng dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 12.1 Gambar Model Lereng

2. Pembebanan

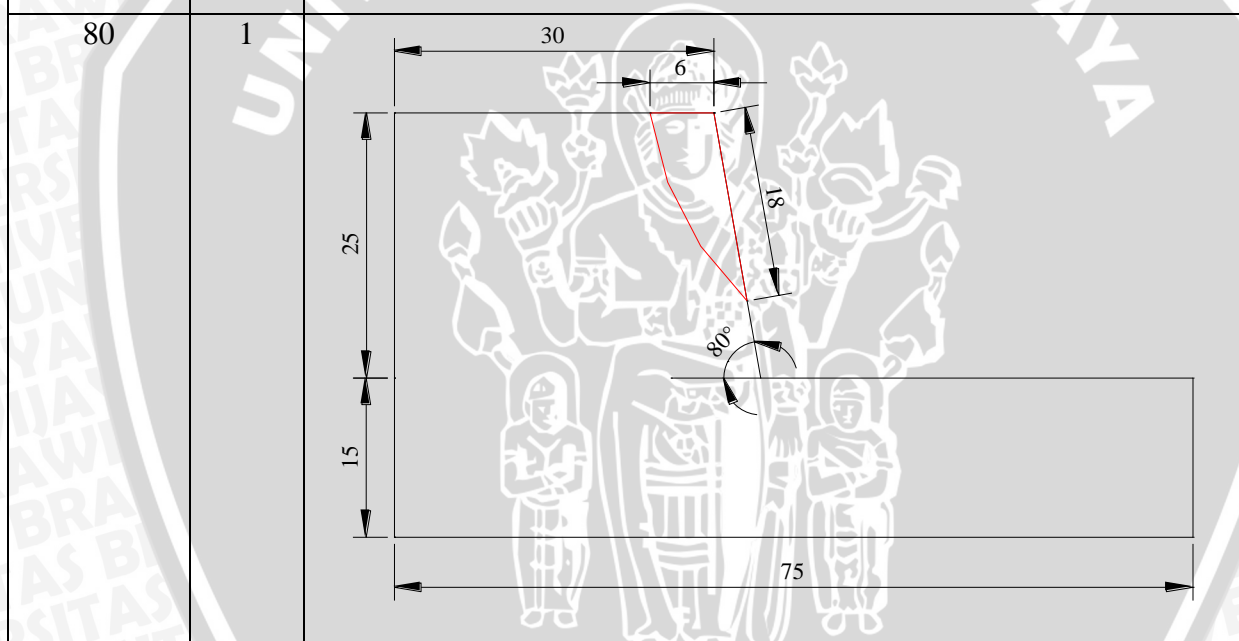
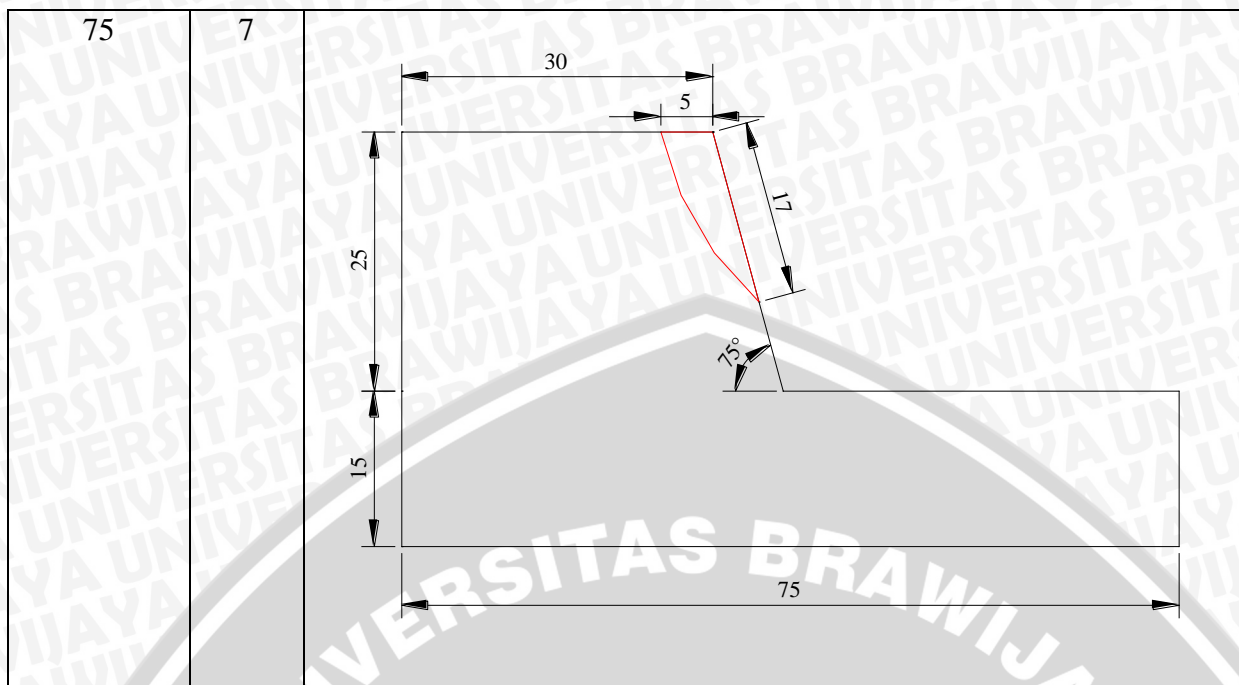
Setelah benda uji disiapkan, pembebanan bisa dilakukan. Sebelumnya disiapkan stop watch untuk mencatat waktu model hingga mulai terjadi longsor. Beban dinamis berasal dari shieve shaker dengan menggunakan skala yang telah ditentukan yaitu skala 4. Dalam percobaan ini dilakukan 3 kali pengulangan untuk meminimalkan kesalahan. Pembebanan dilakukan sampai model mulai longor dan kemudian dicatat waktun serta pola kelongsorannya.

3. Pola Kelongsoran

Dari hasil pembebanan yang telah dilakukan berikut pola – pola kelongsoran yang terjadi pada model :

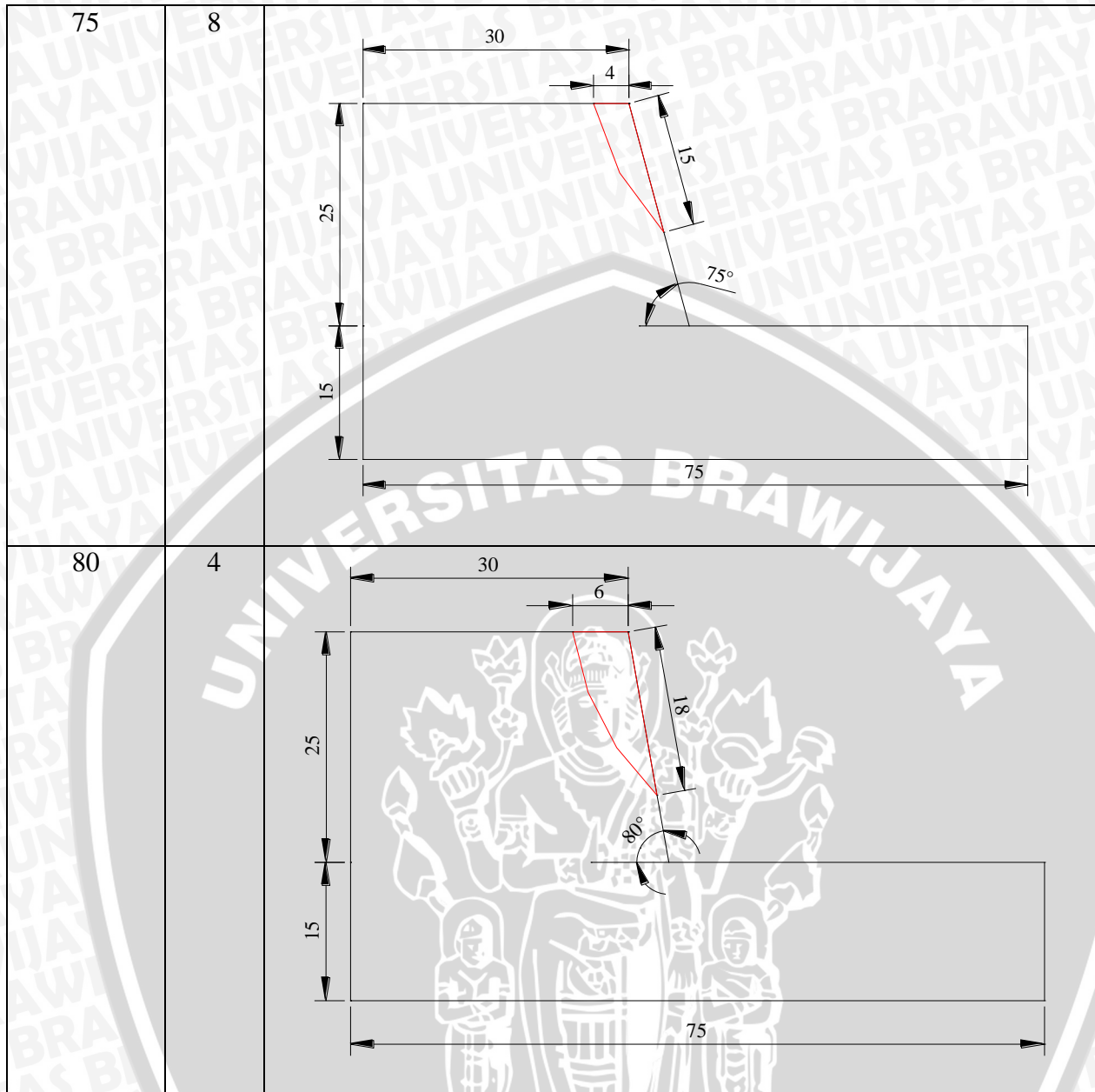
c. Bidang Longsor pada Kondisi Plastis

Sudut Kemiringan Lereng	Waktu (detik)	Bidang Longsor
65	27	
70	8	



d. Bidang Longsor pada kondisi optimum

Sudut Kemiringan Lereng	Waktu (detik)	Bidang Longsor
60	46	
70	11	



LAMPIRAN 8
PERHITUNGAN ANGKA KEAMANAN DENGAN METODE
KESETIMBANGAN BATAS

Untuk sudut 60° pada kondisi OMC

$$\Phi = 2,413^\circ$$

$$R = 0,4674 \text{ m}$$

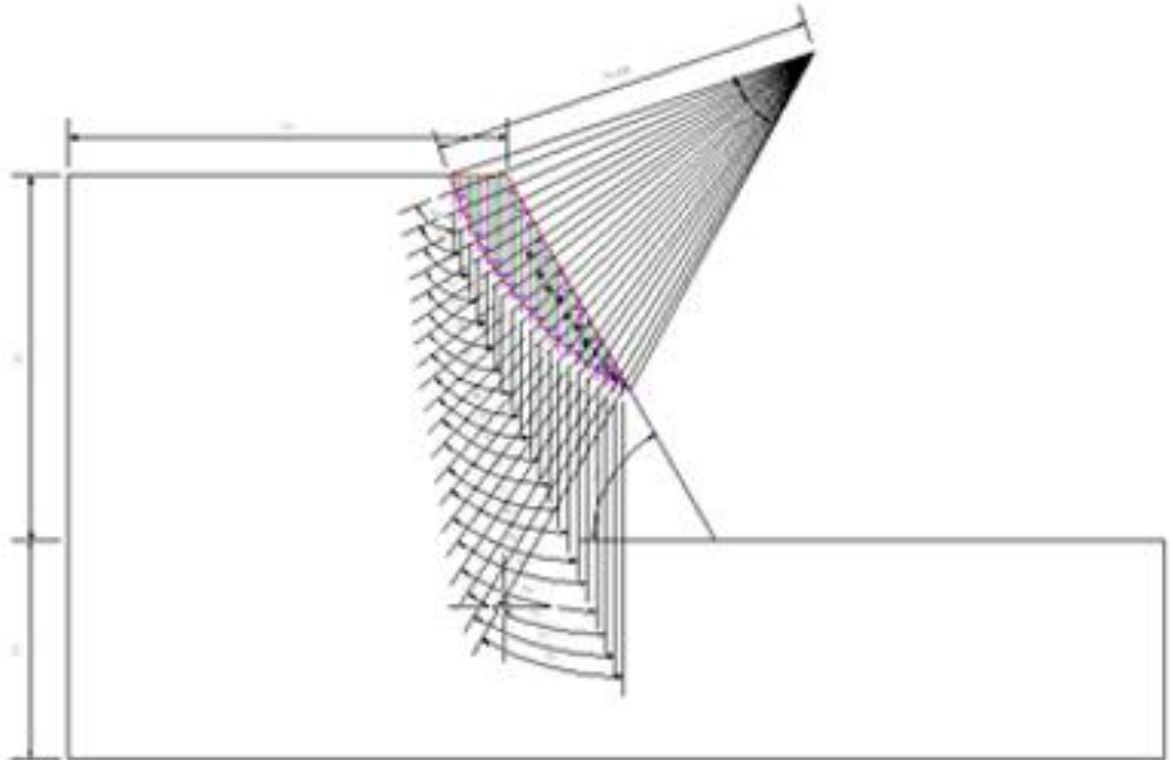
$$\gamma = 1413 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 430 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{percepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Pecepatan arah X} = 2,573 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Pecepatan arah Z} = 2,573 \text{ m/s}^2$$



OMC-sudut 60°



- Tanpa Beban Dinamis

slice	luasan (m ²)	θ	W (kg)	cosθ	sin θ	W cosθ N	W sinθ T
1	4.34E-05	69	0.60159	0.358368	0.93358	0.215591	0.561633
2	0.000124	66	1.714671	0.406737	0.913545	0.69742	1.56643
3	0.000193	63	2.672503	0.45399	0.891007	1.213291	2.381218
4	0.000478	61	6.62997	0.48481	0.87462	3.214273	5.798702
5	0.000456	58	6.326402	0.529919	0.848048	3.352482	5.365093
6	0.00043	56	5.961844	0.559193	0.829038	3.333821	4.942593
7	0.0004	54	5.550157	0.587785	0.809017	3.2623	4.490171
8	0.000368	52	5.098271	0.615661	0.788011	3.138809	4.017492
9	0.000332	49	4.607573	0.656059	0.75471	3.02284	3.477379
10	2.52E-05	47	0.349311	0.681998	0.731354	0.238229	0.25547
11	0.0004	45	5.550157	0.707107	0.707107	3.924553	3.924553
12	0.000368	43	5.098271	0.731354	0.681998	3.728639	3.477012
13	0.000332	41	4.607573	0.75471	0.656059	3.477379	3.02284
14	0.000295	40	4.083607	0.766044	0.642788	3.128224	2.624892
15	0.000255	38	3.529146	0.788011	0.615661	2.781005	2.172759
16	0.000212	36	2.944189	0.809017	0.587785	2.381899	1.730551
17	0.000168	34	2.332895	0.829038	0.559193	1.934058	1.304539
18	0.000122	33	1.695265	0.838671	0.544639	1.421769	0.923308
19	7.46E-05	31	1.03407	0.857167	0.515038	0.886371	0.532585
20	2.52E-05	30	0.349311	0.866025	0.5	0.302512	0.174655
						45.65547	52.74387

$$SF = \frac{cR\beta + \tan \phi \Sigma N}{\Sigma T} = 0,089$$

Dengan beban Dinamis

Perhitungan koefisien Percepatan Seismik

$$k_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n W_i \frac{h_i}{2R}} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[cb_i + (W_i - ub_i) \tan \phi \left(\frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \phi \tan \alpha_i} \right) \right] - \sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i \right\}$$

$$= 1,351$$

Part 1	cbi	tanΦ	secαi	tanαi	1+tanφtanαi	Part 2	Part 3
Wih/2R							Wi sin αi
0.0068	2.451	0.0421	2.7904	2.6051	1.1098	2.5147	0.5616
0.0413	2.451	0.0421	2.4586	2.2460	1.0946	2.6133	1.5664
0.0981	2.451	0.0421	2.2027	1.9626	1.0827	2.6801	2.3812
0.3192	2.451	0.0421	2.0627	1.8040	1.0760	2.9866	5.7987
0.3682	2.451	0.0421	1.8871	1.6003	1.0674	2.9223	5.3651
0.4031	2.451	0.0421	1.7883	1.4826	1.0625	2.8739	4.9426
0.4233	2.451	0.0421	1.7013	1.3764	1.0580	2.8271	4.4902
0.4019	2.795	0.0421	1.6243	1.2799	1.0539	3.1261	4.0175
0.3465	2.795	0.0421	1.5243	1.1504	1.0485	3.0773	3.4774
0.0248	2.795	0.0421	1.4663	1.0724	1.0452	2.8157	0.2555
0.3663	2.795	0.0421	1.4142	1.0000	1.0421	3.1124	3.9246
0.3092	2.795	0.0421	1.3673	0.9325	1.0393	3.0776	3.4770
0.2524	2.795	0.0421	1.3250	0.8693	1.0366	3.0432	3.0228
0.1975	2.795	0.0421	1.3054	0.8391	1.0354	3.0120	2.6249
0.1484	2.795	0.0421	1.2690	0.7813	1.0329	2.9777	2.1728
0.1036	2.795	0.0421	1.2361	0.7265	1.0306	2.9438	1.7306
0.0649	2.795	0.0421	1.2062	0.6745	1.0284	2.9103	1.3045
0.0346	2.795	0.0421	1.1924	0.6494	1.0274	2.8779	0.9233
0.0132	2.795	0.0421	1.1666	0.6009	1.0253	2.8446	0.5326
0.0019	2.795	0.0421	1.1547	0.5774	1.0243	2.8116	0.1747
3.9250						58.0480	52.7439

Part 1 :

$$\sum_{i=1}^n W_i \frac{h_i}{2R}$$

Part 2 :

$$\left[\sum_{i=1}^n \left[cb_i + (W_i - ub_i) \tan \phi \left(\frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \phi \tan \alpha_i} \right) \right] \right]$$

Part 3 :

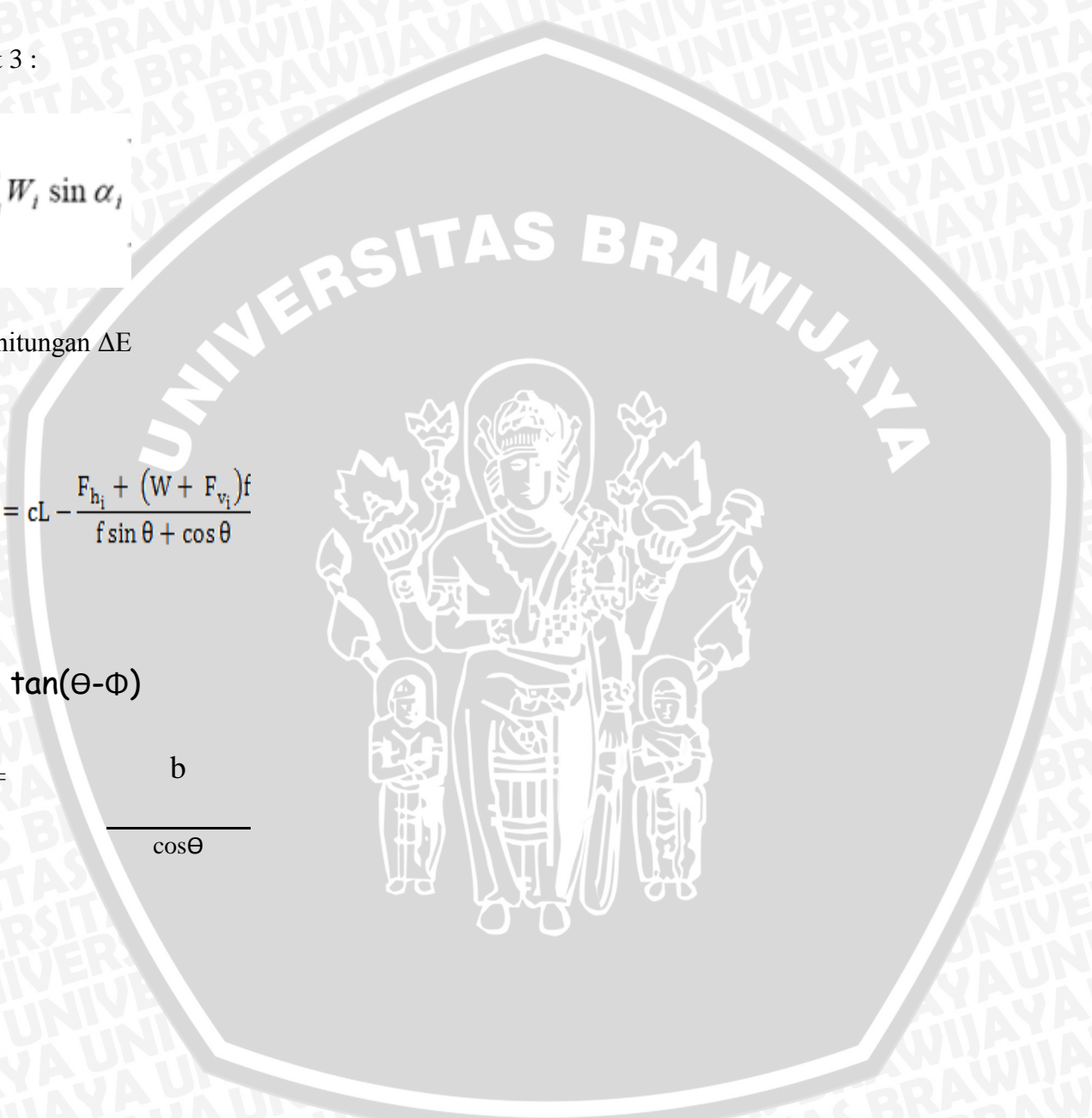
$$\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i$$

Perhitungan ΔE

$$\Delta E = cL - \frac{F_{hi} + (W + F_{vi})f}{f \sin \theta + \cos \theta}$$

$$f = \tan(\theta - \phi)$$

$$L = \frac{b}{\cos \theta}$$



slice	luasan (m ²)	b (m)	Hi	θ (derajat)	L (m)	W (kg)	c (kg/m ²)	c.L (kg/m)	Fhi	Fvi	f (derajat)	sin θ (derajat)	cosθ (derajat)	Δ E
1	0.0000434	0.0057	0.0105	69	0.0159	0.6016	430	6.8393	0.1578	0.1578	2.3094	0.9336	0.3584	6.0791
2	0.0001237	0.0057	0.0225	66	0.0140	1.7147	430	6.0260	0.4497	0.4497	2.0133	0.9135	0.4067	3.8856
3	0.0001928	0.0057	0.0343	63	0.0126	2.6725	430	5.3988	0.7010	0.7010	1.7738	0.8910	0.4540	2.1130
4	0.0004783	0.0057	0.0450	61	0.0118	6.6300	430	5.0556	1.7389	1.7389	1.6374	0.8746	0.4848	-3.0002
5	0.0004564	0.0057	0.0544	58	0.0108	6.3264	430	4.6252	1.6593	1.6593	1.4598	0.8480	0.5299	-2.9073
6	0.0004301	0.0057	0.0632	56	0.0102	5.9618	430	4.3831	1.5637	1.5637	1.3557	0.8290	0.5592	-2.6076
7	0.0004004	0.0057	0.0713	54	0.0097	5.5502	430	4.1699	1.4557	1.4557	1.2611	0.8090	0.5878	-2.2297
8	0.0003678	0.0065	0.0737	52	0.0106	5.0983	430	4.5398	1.3372	1.3372	1.1745	0.7880	0.6157	-1.2321
9	0.0003324	0.0065	0.0703	49	0.0099	4.6076	430	4.2603	1.2085	1.2085	1.0570	0.7547	0.6561	-0.7996
10	0.0000252	0.0065	0.0663	47	0.0095	0.3493	430	4.0983	0.0916	0.0916	0.9857	0.7314	0.6820	3.7231
11	0.0004004	0.0065	0.0617	45	0.0092	5.5502	430	3.9527	1.4557	1.4557	0.9191	0.7071	0.7071	-1.8651
12	0.0003678	0.0065	0.0567	43	0.0089	5.0983	430	3.8217	1.3372	1.3372	0.8567	0.6820	0.7314	-1.3853
13	0.0003324	0.0065	0.0512	41	0.0086	4.6076	430	3.7034	1.2085	1.2085	0.7979	0.6561	0.7547	-0.8728
14	0.0002946	0.0065	0.0452	40	0.0085	4.0836	430	3.6486	1.0711	1.0711	0.7697	0.6428	0.7660	-0.3478
15	0.0002546	0.0065	0.0393	38	0.0082	3.5291	430	3.5469	0.9256	0.9256	0.7156	0.6157	0.7880	0.1988
16	0.0002124	0.0065	0.0329	36	0.0080	2.9442	430	3.4548	0.7722	0.7722	0.6641	0.5878	0.8090	0.7532
17	0.0001683	0.0065	0.0260	34	0.0078	2.3329	430	3.3714	0.6119	0.6119	0.6149	0.5592	0.8290	1.3059
18	0.0001223	0.0065	0.0191	33	0.0078	1.6953	430	3.3327	0.4446	0.4446	0.5911	0.5446	0.8387	1.8597
19	0.0000746	0.0065	0.0119	31	0.0076	1.0341	430	3.2607	0.2712	0.2712	0.5449	0.5150	0.8572	2.3972
20	0.0000252	0.0065	0.0052	30	0.0075	0.3493	430	3.2274	0.0916	0.0916	0.5225	0.5000	0.8660	2.9417
			0.5115		0.1970	70.7368	430	84.7166	18.5531	18.5531	22.0242	14.3832	13.2817	8.0098

Perhitungan Pi

$$P_i = \frac{cL \cos \theta - F_{hi} - (E_{i-1} - E_i) \cos \theta}{\sin \theta - \tan \theta \cos \theta}$$

slice	c (kg/m ²)	c.L (kg/m)	θ (derajat)	sin θ (derajat)	cosθ (derajat)	Fhi	E _{i-1}	E _i	E _{i-1} - E _i	tan Φ (derajat)	cL x cos θ	E _{i-1} - E _i cosθ
1	430	6.839339	69	0.933580426	0.358368	0.157787	0	6.0791	-6.07911	0.04214	2.451	-2.17856
2	430	6.026012	66	0.913545458	0.406737	0.44973	6.07911368	3.8856	2.193517	0.04214	2.451	0.892184
3	430	5.398791	63	0.891006524	0.45399	0.700953	3.88559623	2.1130	1.772583	0.04214	2.451	0.804736
4	430	5.055593	61	0.874619707	0.48481	1.738931	2.11301309	-3.0002	5.113192	0.04214	2.451	2.478925
5	430	4.625233	58	0.848048096	0.529919	1.65931	-3.00017916	-2.9073	-0.09287	0.04214	2.451	-0.049214
6	430	4.383103	56	0.829037573	0.559193	1.563693	-2.90730768	-2.6076	-0.29976	0.04214	2.451	-0.167622
7	430	4.16989	54	0.809016994	0.587785	1.455714	-2.60755043	-2.2297	-0.37783	0.04214	2.451	-0.222081
8	430	4.539833	52	0.788010754	0.615661	1.337192	-2.22972386	-1.2321	-0.99764	0.04214	2.795	-0.61421
9	430	4.260287	49	0.75470958	0.656059	1.20849	-1.23208167	-0.7996	-0.43245	0.04214	2.795	-0.283712
10	430	4.09825	47	0.731353702	0.681998	0.091618	-0.79963339	3.7231	-4.52277	0.04214	2.795	-3.084524
11	430	3.952727	45	0.707106781	0.707107	1.455714	3.72314013	-1.8651	5.588277	0.04214	2.795	3.951509
12	430	3.82168	43	0.68199836	0.731354	1.337192	-1.86513721	-1.3853	-0.47979	0.04214	2.795	-0.350894
13	430	3.703411	41	0.656059029	0.75471	1.20849	-1.38534978	-0.8728	-0.51258	0.04214	2.795	-0.38685
14	430	3.648613	40	0.64278761	0.766044	1.071062	-0.87276807	-0.3478	-0.52493	0.04214	2.795	-0.402119
15	430	3.546906	38	0.615661475	0.788011	0.925636	-0.34783962	0.1988	-0.54661	0.04214	2.795	-0.430735
16	430	3.45481	36	0.587785252	0.809017	0.772212	0.19877048	0.7532	-0.55443	0.04214	2.795	-0.448546
17	430	3.371379	34	0.559192903	0.829038	0.61188	0.75320348	1.3059	-0.55267	0.04214	2.795	-0.45818
18	430	3.332655	33	0.544639035	0.838671	0.44464	1.30586891	1.8597	-0.55383	0.04214	2.795	-0.464478
19	430	3.26074	31	0.515038075	0.857167	0.271219	1.85969544	2.3972	-0.53755	0.04214	2.795	-0.460772
20	430	3.227388	30	0.5	0.866025	0.091618	2.39724777	2.9417	-0.54449	0.04214	2.795	-0.471545
		84.71664	946	14.38319733	13.28166	18.55308	5.06807835	8.0098	-2.94174	0.04214	53.492	-2.346688

Perhitungan SF

$$\frac{(P_i \tan \phi + cL)R + \{-\Delta E(R \cos \theta - H_i/3) + E_{i-1} L \sin \theta\}}{(W + F_{v_i})R \sin \theta + F_{h_i}(R \cos \theta - H_i/2)}$$

R cosθ	ΔE(R cosθ - Hi/3)	Ei-1 Lsin θ	(W+Fvi)Rsin θ	(R cosθ-Hi/2)Fhi
0.1675	0.9970	0.0903	0.3556	0.0346
0.1901	0.7095	0.0497	0.9917	0.1087
0.2122	0.4242	0.0236	1.5075	0.1848
0.2266	-0.6348	-0.0309	3.6710	0.4796
0.2477	-0.6674	-0.0265	3.3965	0.4944
0.2614	-0.6266	-0.0220	3.1290	0.4855
0.2747	-0.5596	-0.0175	2.8426	0.4703
0.2878	-0.3243	-0.0103	2.5433	0.4534
0.3066	-0.2265	-0.0060	2.2014	0.4434
0.3188	1.1045	0.0260	0.1617	0.0354
0.3305	-0.5781	-0.0121	2.4845	0.5895
0.3418	-0.4474	-0.0084	2.2012	0.5665
0.3528	-0.2930	-0.0049	1.9137	0.5343
0.3580	-0.1193	-0.0019	1.6617	0.4855
0.3683	0.0706	0.0010	1.3755	0.4361
0.3781	0.2766	0.0036	1.0956	0.3774
0.3875	0.4947	0.0057	0.8259	0.3097
0.3920	0.7172	0.0079	0.5845	0.2298
0.4006	0.9509	0.0094	0.3372	0.1447
0.4048	1.1857	0.0110	0.1106	0.0498
6.2078	2.4540	0.0877	33.3904	6.9133

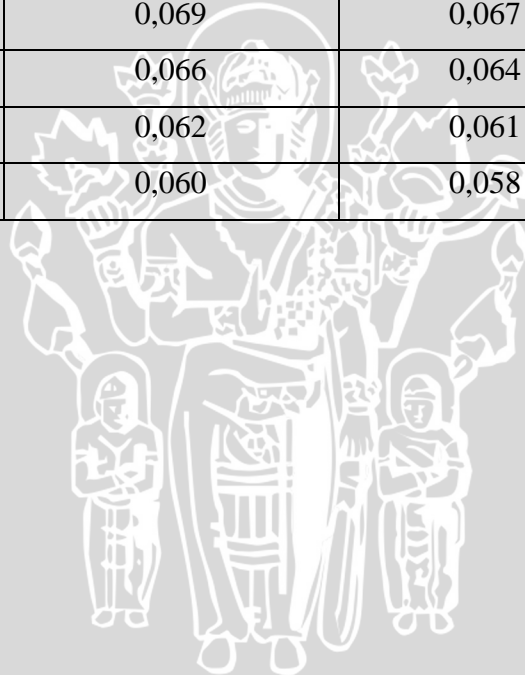
SF = 0,082

Dengan cara yang sama untuk kondisi OMC sudut 70°, 75° dan 80° didapatkan hasil sebagai berikut :

Sudut Kemiringan Lereng	R (cm)	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
70	30,134	0,087	0,079
75	54,532	0,080	0,078
80	85,629	0,076	0,074

Untuk Kondisi Plastis didapatkan hasil sebagai berikut :

Sudut Kemiringan Lereng	R (cm)	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
65	44,811	0,069	0,067
70	56,554	0,066	0,064
75	75,22	0,062	0,061
80	92,393	0,060	0,058



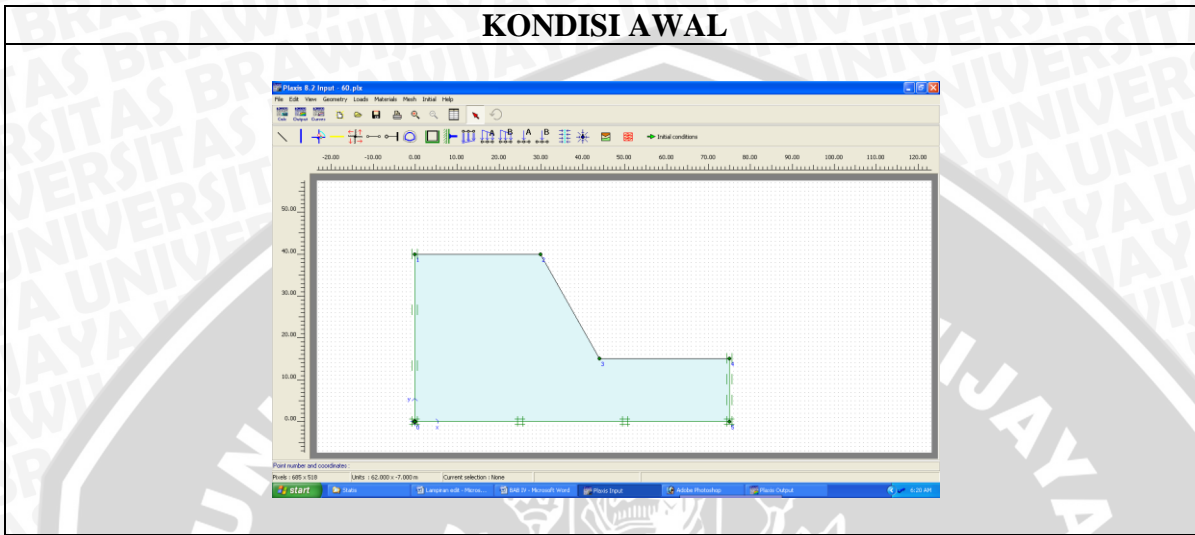
LAMPIRAN 9

POLA KELONGSORAN HASIL ANALISIS DENGAN PROGRAM PLAXIS

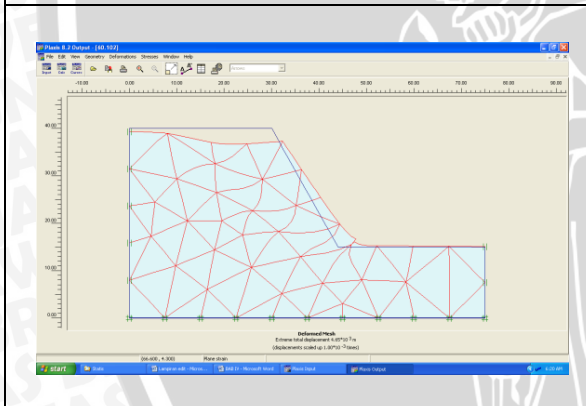
Pada Kondisi OMC

Sudut Kemiringan lereng 60°

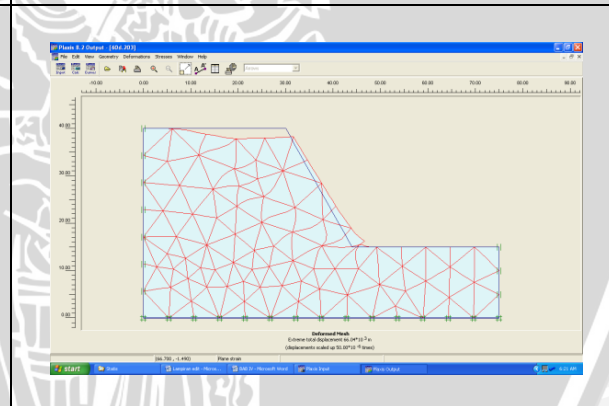
KONDISI AWAL



POLA KELONGSORAN TANPA BEBAN DINAMIS



POLA KELONGSORAN DENGAN BEBAN DINAMIS



Tabel Hasil Iterasi Software Plaxis Tanpa Beban Dinamis

Point	Step	U [m]	Sum-Msf
0	0	0.00E+00	1.00E+00
1	1	1.15E-03	1.00E+00
2	2	2.31E-03	1.00E+00
3	3	1.56E+01	1.59E+00
4	4	3.86E+01	1.54E+00
5	5	6.51E+01	1.49E+00
6	6	9.33E+01	1.44E+00
7	7	1.22E+02	1.39E+00
8	8	1.52E+02	1.34E+00

9	9	1.81E+02	1.30E+00
10	10	2.10E+02	1.25E+00
11	11	2.40E+02	1.20E+00
12	12	2.69E+02	1.15E+00
13	13	2.98E+02	1.11E+00
14	14	3.26E+02	1.06E+00
15	15	3.55E+02	1.01E+00
16	16	3.83E+02	9.63E-01
17	17	4.11E+02	9.15E-01
18	18	4.39E+02	8.68E-01
19	19	4.66E+02	8.21E-01
20	20	4.93E+02	7.74E-01
21	21	5.19E+02	7.28E-01
22	22	5.45E+02	6.81E-01
23	23	5.70E+02	6.35E-01
24	24	5.95E+02	5.89E-01
25	25	6.19E+02	5.43E-01
26	26	6.43E+02	4.98E-01
27	27	6.65E+02	4.53E-01
28	28	6.87E+02	4.08E-01
29	29	7.07E+02	3.64E-01
30	30	7.25E+02	3.21E-01
31	31	7.42E+02	2.78E-01
32	32	7.56E+02	2.36E-01
33	33	7.68E+02	1.96E-01
34	34	7.76E+02	1.57E-01
35	35	7.79E+02	1.20E-01
36	36	7.80E+02	1.25E-01
37	37	7.80E+02	1.30E-01
38	38	7.80E+02	1.35E-01
39	39	7.80E+02	1.35E-01
40	40	7.80E+02	1.36E-01
41	41	7.80E+02	1.38E-01
42	42	7.80E+02	1.40E-01
43	43	7.80E+02	1.43E-01
44	44	7.80E+02	1.46E-01
45	45	7.80E+02	1.48E-01
46	46	7.80E+02	1.48E-01
47	47	7.80E+02	1.48E-01
48	48	7.80E+02	1.48E-01
49	49	7.80E+02	1.47E-01
50	50	7.80E+02	1.47E-01
51	51	7.80E+02	1.47E-01
52	52	7.81E+02	1.47E-01
53	53	7.81E+02	1.47E-01

54	54	7.82E+02	1.47E-01
55	55	7.83E+02	1.47E-01
56	56	7.84E+02	1.47E-01
57	57	7.86E+02	1.47E-01
58	58	7.88E+02	1.47E-01
59	59	7.89E+02	1.47E-01
60	60	7.91E+02	1.47E-01
61	61	7.94E+02	1.47E-01
62	62	7.97E+02	1.47E-01
63	63	8.00E+02	1.47E-01
64	64	8.07E+02	1.47E-01
65	65	8.13E+02	1.47E-01
66	66	8.20E+02	1.47E-01
67	67	8.26E+02	1.47E-01
68	68	8.33E+02	1.47E-01
69	69	8.46E+02	1.47E-01
70	70	8.59E+02	1.47E-01
71	71	8.71E+02	1.47E-01
72	72	8.84E+02	1.47E-01
73	73	8.97E+02	1.47E-01
74	74	9.23E+02	1.47E-01
75	75	9.49E+02	1.47E-01
76	76	9.75E+02	1.47E-01
77	77	1.00E+03	1.47E-01
78	78	1.03E+03	1.47E-01
79	79	1.05E+03	1.47E-01
80	80	1.11E+03	1.47E-01
81	81	1.16E+03	1.47E-01
82	82	1.21E+03	1.47E-01
83	83	1.26E+03	1.47E-01
84	84	1.32E+03	1.47E-01
85	85	1.37E+03	1.47E-01
86	86	1.42E+03	1.47E-01
87	87	1.47E+03	1.47E-01
88	88	1.53E+03	1.47E-01
89	89	1.63E+03	1.47E-01
90	90	1.74E+03	1.47E-01
91	91	1.85E+03	1.47E-01
92	92	1.95E+03	1.47E-01
93	93	2.06E+03	1.47E-01
94	94	2.27E+03	1.47E-01
95	95	2.48E+03	1.47E-01
96	96	2.70E+03	1.47E-01
97	97	2.91E+03	1.47E-01
98	98	3.12E+03	1.47E-01

99	99	3.34E+03	1.47E-01
100	100	3.55E+03	1.47E-01
101	101	3.76E+03	1.47E-01
102	102	3.98E+03	1.47E-01

Tabel Hasil Iterasi *Software* Plaxis Dengan Beban Dinamis

Point	Step	U [m]	Sum-Msf
0	0	0.00E+00	1.00E+00
1	1	8.58E-06	1.00E+00
2	2	7.68E-04	1.00E+00
3	3	3.58E-03	1.00E+00
4	4	8.77E-03	1.00E+00
5	5	1.66E-02	1.00E+00
6	6	2.71E-02	1.00E+00
7	7	4.08E-02	1.00E+00
8	8	5.70E-02	1.00E+00
9	9	7.54E-02	1.00E+00
10	10	9.53E-02	1.00E+00
11	11	1.16E-01	1.00E+00
12	12	1.37E-01	1.00E+00
13	13	1.59E-01	1.00E+00
14	14	1.82E-01	1.00E+00
15	15	2.08E-01	1.00E+00
16	16	2.36E-01	1.00E+00
17	17	2.67E-01	1.00E+00
18	18	3.00E-01	1.00E+00
19	19	3.36E-01	1.00E+00
20	20	3.74E-01	1.00E+00
21	21	4.13E-01	1.00E+00
22	22	4.53E-01	1.00E+00
23	23	4.94E-01	1.00E+00
24	24	5.37E-01	1.00E+00
25	25	5.81E-01	1.00E+00
26	26	6.27E-01	1.00E+00
27	27	6.76E-01	1.00E+00
28	28	7.27E-01	1.00E+00
29	29	7.80E-01	1.00E+00
30	30	8.36E-01	1.00E+00
31	31	8.93E-01	1.00E+00
32	32	9.52E-01	1.00E+00
33	33	1.01E+00	1.00E+00
34	34	1.07E+00	1.00E+00

35	35	1.14E+00	1.00E+00
36	36	1.20E+00	1.00E+00
37	37	1.27E+00	1.00E+00
38	38	1.34E+00	1.00E+00
39	39	1.41E+00	1.00E+00
40	40	1.48E+00	1.00E+00
41	41	1.56E+00	1.00E+00
42	42	1.63E+00	1.00E+00
43	43	1.71E+00	1.00E+00
44	44	1.79E+00	1.00E+00
45	45	1.87E+00	1.00E+00
46	46	1.96E+00	1.00E+00
47	47	2.04E+00	1.00E+00
48	48	2.13E+00	1.00E+00
49	49	2.22E+00	1.00E+00
50	50	2.31E+00	1.00E+00
51	51	2.40E+00	1.00E+00
52	52	2.50E+00	1.00E+00
53	53	2.59E+00	1.00E+00
54	54	2.69E+00	1.00E+00
55	55	2.79E+00	1.00E+00
56	56	2.89E+00	1.00E+00
57	57	3.00E+00	1.00E+00
58	58	3.10E+00	1.00E+00
59	59	3.21E+00	1.00E+00
60	60	3.32E+00	1.00E+00
61	61	3.43E+00	1.00E+00
62	62	3.54E+00	1.00E+00
63	63	3.66E+00	1.00E+00
64	64	3.78E+00	1.00E+00
65	65	3.89E+00	1.00E+00
66	66	4.01E+00	1.00E+00
67	67	4.14E+00	1.00E+00
68	68	4.26E+00	1.00E+00
69	69	4.39E+00	1.00E+00
70	70	4.51E+00	1.00E+00
71	71	4.64E+00	1.00E+00
72	72	4.77E+00	1.00E+00
73	73	4.91E+00	1.00E+00
74	74	5.04E+00	1.00E+00
75	75	5.18E+00	1.00E+00
76	76	5.32E+00	1.00E+00
77	77	5.46E+00	1.00E+00
78	78	5.60E+00	1.00E+00
79	79	5.74E+00	1.00E+00

80	80	5.89E+00	1.00E+00
81	81	6.04E+00	1.00E+00
82	82	6.19E+00	1.00E+00
83	83	6.34E+00	1.00E+00
84	84	6.49E+00	1.00E+00
85	85	6.65E+00	1.00E+00
86	86	6.80E+00	1.00E+00
87	87	6.96E+00	1.00E+00
88	88	7.12E+00	1.00E+00
89	89	7.28E+00	1.00E+00
90	90	7.45E+00	1.00E+00
91	91	7.61E+00	1.00E+00
92	92	7.78E+00	1.00E+00
93	93	7.95E+00	1.00E+00
94	94	8.12E+00	1.00E+00
95	95	8.29E+00	1.00E+00
96	96	8.47E+00	1.00E+00
97	97	8.65E+00	1.00E+00
98	98	8.82E+00	1.00E+00
99	99	9.01E+00	1.00E+00
100	100	9.19E+00	1.00E+00
101	101	2.08E+01	5.24E-01
102	102	3.78E+01	4.79E-01
103	103	56.96313	0.433715
104	104	7.66E+01	3.89E-01
105	105	9.57E+01	3.46E-01
106	106	1.14E+02	3.02E-01
107	107	1.30E+02	2.60E-01
108	108	1.44E+02	2.19E-01
109	109	1.54E+02	1.79E-01
110	110	1.61E+02	1.63E-01
111	111	1.65E+02	1.26E-01
112	112	1.66E+02	1.31E-01
113	113	1.66E+02	1.36E-01
114	114	1.66E+02	1.41E-01
115	115	1.66E+02	1.42E-01
116	116	1.66E+02	1.43E-01
117	117	1.66E+02	1.44E-01
118	118	1.66E+02	1.45E-01
119	119	1.66E+02	1.46E-01
120	120	1.66E+02	1.46E-01
121	121	1.66E+02	1.46E-01
122	122	1.66E+02	1.45E-01
123	123	1.66E+02	1.45E-01



124	124	1.66E+02	1.44E-01
125	125	1.66E+02	1.44E-01
126	126	1.67E+02	1.44E-01
127	127	1.67E+02	1.44E-01
128	128	1.67E+02	1.44E-01
129	129	1.68E+02	1.44E-01
130	130	1.69E+02	1.45E-01
131	131	1.70E+02	1.45E-01
132	132	1.72E+02	1.45E-01
133	133	1.73E+02	1.45E-01
134	134	1.75E+02	1.45E-01
135	135	1.76E+02	1.45E-01
136	136	1.78E+02	1.45E-01
137	137	1.81E+02	1.45E-01
138	138	1.85E+02	1.45E-01
139	139	1.88E+02	1.45E-01
140	140	1.91E+02	1.45E-01
141	141	1.98E+02	1.45E-01
142	142	2.04E+02	1.45E-01
143	143	2.11E+02	1.45E-01
144	144	2.17E+02	1.45E-01
145	145	2.24E+02	1.45E-01
146	146	2.37E+02	1.45E-01
147	147	2.50E+02	1.45E-01
148	148	2.63E+02	1.45E-01
149	149	2.89E+02	1.45E-01
150	150	3.16E+02	1.45E-01
151	151	3.42E+02	1.45E-01
152	152	3.68E+02	1.45E-01
153	153	3.94E+02	1.45E-01
154	154	4.47E+02	1.45E-01
155	155	4.99E+02	1.45E-01
156	156	5.52E+02	1.45E-01
157	157	6.04E+02	1.45E-01
158	158	6.57E+02	1.45E-01
159	159	7.09E+02	1.45E-01
160	160	7.62E+02	1.45E-01
161	161	8.67E+02	1.45E-01
162	162	9.72E+02	1.45E-01
163	163	1.08E+03	1.45E-01
164	164	1.18E+03	1.45E-01
165	165	1.29E+03	1.45E-01
166	166	1.39E+03	1.45E-01
167	167	1.50E+03	1.45E-01
168	168	1.60E+03	1.45E-01



169	169	1.81E+03	1.45E-01
170	170	2.02E+03	1.45E-01
171	171	2.23E+03	1.45E-01
172	172	2.44E+03	1.45E-01
173	173	2.65E+03	1.45E-01
174	174	3.07E+03	1.45E-01
175	175	3.49E+03	1.45E-01
176	176	3.91E+03	1.45E-01
177	177	4.33E+03	1.45E-01
178	178	4.76E+03	1.45E-01
179	179	5.18E+03	1.45E-01
180	180	5.60E+03	1.45E-01
181	181	6.02E+03	1.45E-01
182	182	6.86E+03	1.45E-01
183	183	7.70E+03	1.45E-01
184	184	8.54E+03	1.45E-01
185	185	9.38E+03	1.45E-01
186	186	1.02E+04	1.45E-01
187	187	1.11E+04	1.45E-01
188	188	1.19E+04	1.45E-01
189	189	1.27E+04	1.45E-01
190	190	1.36E+04	1.45E-01
191	191	1.53E+04	1.45E-01
192	192	1.69E+04	1.45E-01
193	193	1.86E+04	1.45E-01
194	194	2.03E+04	1.45E-01
195	195	2.20E+04	1.45E-01
196	196	2.37E+04	1.45E-01
197	197	2.70E+04	1.45E-01
198	198	3.04E+04	1.45E-01
199	199	3.38E+04	1.45E-01
200	200	3.71E+04	1.45E-01
201	201	4.05E+04	1.45E-01
202	202	4.72E+04	1.45E-01
203	203	5.39E+04	1.45E-01

Dengan cara yang sama untuk kondisi OMC sudut 70°, 75° dan 80° didapatkan hasil sebagai berikut :

Sudut Kemiringan Lereng	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
70	0,115	0,107
75	0,111	0,11
80	0,107	0,106

Untuk Kondisi Plastis didapatkan hasil sebagai berikut :

Sudut Kemiringan Lereng	Angka Keamanan Tanpa Beban Dinamis	Angka Keamanan dengan Beban Dinamis
65	0,087	0,072
70	0,071	0,070
75	0,069	0,068
80	0,068	0,066