



Disertasi - RC143505

STUDI PENINGKATAN TAHANAN GESEN TANAH KOHESIF AKIBAT ADANYA PERKUATAN TIANG- TIANG VERTIKAL BERDASARKAN PEMODELAN DI LABORATORIUM

***STUDY ON THE INCREAMENT OF SHEAR RESISTANCE OF SOFT SOIL DUE TO
VERTICAL PILES REINFORCEMENT BASED ON MODELING IN LABORATORY***

RUSDIANSYAH
3112301001

PROMOTOR:
Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM DOKTOR
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar
Doktor (Dr.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RUSDIANSYAH
3112301001

Tanggal Ujian : 22 DESEMBER 2015
Periode Wisuda :

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP. 195107081976032001

2. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing II)
NIP. 195304081976031002

3. Prof. Dr. Ir. Indarto (Penguji)
NIP. 195010111982031002

4. Prof. Dr. I Nyoman Budiantara, M.S. (Penguji)
NIP. 196506031989031003

5. Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng. (Penguji)
NIP. 195105051978021001



Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

**STUDI PENINGKATAN TAHANAN GESER TANAH KOHESIF LUNAK AKIBAT
ADANYA PERKUATAN TIANG-TIANG VERTIKAL BERDASARKAN PEMODELAN
DI LABORATORIUM**

Nama mahasiswa	: Rusdiansyah
NRP	: 3112301001
Promotor	: Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D
Co-Promotor	: Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Sampai dengan saat ini, pengembangan teori tentang konstruksi perkuatan cerucuk (tiang vertikal) pada tanah lunak guna menambah kekuatan gesernya (yang mendekati kondisi di lapangan) masih sangat sedikit dan belum memadai. Hanya saja untuk pengembangannya tersebut sangat diperlukan informasi yang rinci dan jelas tentang interaksi antara tanah lunak dengan cerucuk (atau tiang-tiang vertikal). Informasi tersebut dapat diperoleh dari penelitian skala laboratorium yang dibuat mendekati kondisi lapangan.

Penelitian ini dilaksanakan dengan cara membuat model fisik skala laboratorium yang perlakunya dibuat mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Pendekatan dilakukan dengan cara memodifikasi alat uji geser langsung di laboratorium dimana kotaknya dibuat berukuran besar sehingga cerucuk atau tiang vertical yang dibuat dengan ukuran mini dapat ditanamkan pada contoh tanah didalam kotak dan cerucuknya tidak terpengaruh dinding kotak yang bersangkutan. Pengujian kuat geser tanah-cerucuk dilaksanakan dengan beberapa variasi yaitu: variasi rasio tancap cerucuk, variasi spasi kelompok cerucuk, variasi jumlah cerucuk, variasi diameter cerucuk, variasi posisi cerucuk, variasi pola pemasangan cerucuk, serta variasi jenis tanah. Hasil dari semua variasi pengujian tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan analitis menurut rumus didalam NAVFAC DM-7 (1971) untuk memperoleh nilai koreksi.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tahanan geser tanah mengalami peningkatan seiring dengan semakin panjangnya cerucuk (tiang vertikal) dibawah bidang longsor. Selain itu bahwa apabila kelompok cerucuk menggunakan spasi cerucuk sebesar 3D sampai 5,5D, tahanan geser tanah mengalami peningkatan. Akan tetapi pada spasi cerucuk dalam rentang nilai spasi 5,5D sampai 8D tahanan geser tanah cenderung mengalami penurunan. Spasi cerucuk sebesar 5,5D dapat menghasilkan tahanan geser tanah yang optimum. Pada pengaruh jumlah cerucuk menunjukkan faktor efisiensi mempengaruhi tahanan geser tanah yang diperkuat kelompok cerucuk yang menerima gaya geser horizontal (longsoran). Selain itu hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa pola pemasangan cerucuk mempengaruhi tahanan geser tanah. Dimana semakin banyak jumlah cerucuk dalam susunan baris yang sejajar menerima arah gaya geser maka semakin meningkat pula tahanan geser tanah yang dihasilkan. Namun peningkatan yang dihasilkan relatif kecil dan tidak signifikan. Diameter cerucuk (kekakuan) mempengaruhi tahanan geser tanah. Semakin besar diameter cerucuk yang digunakan maka semakin besar pula tahanan geser tanah yang dihasilkan. Pada tinjauan terhadap posisi tancap cerucuk menunjukkan bahwa posisi tancap tiang cerucuk pada garis lengkung bidang kelongsoran lereng dapat menghasilkan pengaruh yang signifikan. Posisi tiang cerucuk yang tepat memotong garis lengkung bidang longsor yang membentuk sudut 30° dan 45° menghasilkan tahanan geser yang lebih besar dibandingkan pada sudut 0° . Untuk pengaruh jenis tanah, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jumlah cerucuk pada jenis tanah lempung lunak (*Soft Clay*) lebih berpengaruh daripada jenis tanah lempung sedang (*Medium Clay*).

Usulan model persamaan untuk menentukan jumlah cerucuk memiliki faktor koreksi (F_k), terhadap persamaan yang berasal dari NAVFAC DM-7(1971). Faktor koreksi (F_k) yang dihasilkan tersebut dipengaruhi oleh : rasio tancap, diameter cerucuk, spasi antar cerucuk, dan jumlah cerucuk.

Kata kunci: Cerucuk/tiang vertikal, rasio tancap, spasi antar tiang vertikal, jumlah tiang vertikal, diameter tiang vertikal, posisi tiang vertikal, dan pola pemasangan tiang vertikal, serta tahanan geser tanah.

STUDY ON THE INCREAMENT OF SHEAR RESISTANCE OF SOFT SOIL DUE TO VERTICAL PILES REINFORCEMENT BASED ON MODELING IN LABORATORY

Student name	: Rusdiansyah
NRP	: 3112301001
Promotor	: Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D
Co-Promotor	: Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Nowadays, development theory of strengthening vertical piles on soft soil is not adequate enough. Detail informations, interaction between soft soil and vertical piles in laboratory works were needed to complete it.

This research was conducted by physical model of laboratory scale using practise behaviour approach. The approach is modifying direct shear test with large box. The large box is used to avoid friction effect between vertical piles and vertical plane of the box. The shear strength test was applied by several variations, namely ; ratio of pile insertion, spacing of piles group, piles number, piles diameter, piles positions, pile configuration and soils types. The test results were compared to NAVFAC DM-7 (1971) formula for obtaining correction values.

The results showed that shear resistance of soil is increase by increasing of length piles below the sliding surfaces and spasing piles of 3D to 5.5D. Shear resistance of soil decreases for piles spacing of 5.5D to 8D. Maximum shear resistance was reached by pile spacing of 5.5D. Piles number on parallel shear force improves the shear resistance as well. Piles diameter also affect the shear resistance of soil, larger diameter increase it than lower diameter. Piles penetration on the sliding surface affects shear resistance of soil significantly; intersection 30° and 45° to sliding surface increase the shear resistance of soil compared to 0° . The results also showed that increasing of ceruk number on soft clay soil was resulting greater effects than that on the medium clay soil

The proposed equation of the ceruk number is the formula corrected by modification factor, F_k . The formula contained a modification factor, F_k , to an existing formula derived from NAVFAC DM-7 (1971), in which the modification factor, F_k , was mainly influenced by the depth of pile insertion, the spacing distance between pile, the number of piles in row, and the diameter of piles.

Keywords: vertical piles/ceruk, embedded ratio, the spacing distance between pile, the number of piles in row, the diameter of pile, vertical piles position and formations of vertical piles, and shear resistance of soil.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Fakta Kelemahan Penggunaan Turap Dalam Mengatasi Kelongsoran Lereng.....	5
1.3 Perlunya Teori Cerucuk yang Relevan untuk Mengatasi Kelongsoran Lereng.....	6
1.4 Kelemahan Asumsi Teori Tiang Lateral Bila Digunakan Pada Cerucuk yang Memperkuat Stabilitas Lereng.....	9
1.5 Permasalahan Utama Penelitian.....	10
1.6 Batasan Penelitian.....	11
1.7 Tujuan Penelitian.....	11
1.8 Manfaat Penelitian	12
1.9 Originalitas Penelitian (<i>State of the Art</i>)	13
BAB II. LANDASAN TEORI DAN STUDI PUSTAKA.....	25
2.1 Kemantapan Lereng dan Analisis Stabilitas Lereng.....	25
2.2 Kekuatan Geser Tanah.....	28
2.3 Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear Test</i>).....	30
2.4 Perkembangan Teori mengenai Cerucuk	32

2.4.1 Gaya Cerucuk Penahan Gaya Geser Longsoran Lereng	32
2.4.2 Parameter yang Mempengaruhi Faktor Keamanan	
(SF) Stabilitas Lereng yang diperkuat dengan	
Cerucuk.....	43
2.4.3 Pengujian Lereng-Cerucuk Model Skala Lapangan	48
2.4.4 Pengujian Lereng-Cerucuk Model Skala Laboratori	51
2.5 Penggunaan Asumsi Cerucuk pada Contoh Kasus Lapangan	55
2.6 Analisis Regresi	62
2.7 Kerangka Kerja Konseptual	68
 BAB III. METODE PENELITIAN	 71
3.1 Rancangan Penelitian	71
3.2 Modifikasi Alat Uji Geser Langsung.....	73
3.3 Pembuatan dan Pengujian Model Cerucuk.....	79
3.4 Survey Lokasi dan Pengambilan Sampel Tanah	81
3.5 Pengujian Benda Uji (Sampel Tanah).....	83
3.6 Prosedur Penelitian dan Pengambilan Data Uji Geser Model	
Tanah-Cerucuk dengan Variasi Perlakuan	84
3.7 Cara Analisis Hasil Penelitian	103
3.8 Validasi Model Persamaan.....	109
 BAB IV. HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM	 111
4.1 Alat Uji Geser Tanah-Cerucuk.....	111
4.2 Hasil Pengujian Tanah	113
4.3 Uji Tarik dan Lentur Model Cerucuk Mini	114
4.4 Metode Pengambilan Data	118
4.5 Pengaruh Penambahan Cerucuk Terhadap Kuat Geser Tanah..	121
4.6 Prosedur Perhitungan Rasio Plab/Panalitis	136
 BAB V. ANALISIS PENGARUH DAN MODEL PERSAMAAN CERUCUK	 149
5.1 Pengaruh Panjang Tancapan Cerucuk Terhadap	

Peningkatan Tahanan Geser Tanah	149
5.2 Pengaruh Spasi Cerucuk Terhadap Peningkatan	
Tahanan Geser Tanah	154
5.3 Pengaruh Jumlah Cerucuk Terhadap Peningkatan	
Tahanan Geser Tanah	160
5.4 Pengaruh Diameter Cerucuk Terhadap Peningkatan	
Tahanan Geser Tanah	164
5.5 Pengaruh Posisi Tancap Cerucuk Terhadap Peningkatan	
Tahanan Geser Tanah	166
5.6 Pengaruh Pola Pemasangan Cerucuk Terhadap Peningkatan	
Tahanan Geser Tanah	170
5.7 Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Peningkatan	
Tahanan Geser Tanah	173
5.8 Usulan Model Persamaan Peningkatan Tahanan Geser Tanah	
Akibat Adanya Cerucuk.....	176
5.9 Keandalan Model Persamaan Peningkatan Tahanan Geser	
Tanah Akibat Adanya Cerucuk.....	180
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	185
6.1 Kesimpulan	185
6.2 Saran	189
DAFTAR PUSTAKA	191

LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data pengujian tarik kayu*
- Lampiran 2 Sebagian data hasil pengujian geser tanah-cerucuk*
- Lampiran 3 Sebagian Perhitungan Pmax 1 cerucuk*
- Lampiran 4 Perhitungan Statistik*
- Lampiran 5 Dokumentasi lapangan dan laboratorium*
- Lampiran 6 Daftar Riwayat Hidup*

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi penggunaan cerucuk untuk <i>embankment</i> jalan.....	2
Gambar 1.2 Ilustrasi penggunaan cerucuk sebagai perkuatan lereng <i>embankment</i> jalan	3
Gambar 1.3 Ilustrasi penggunaan cerucuk sebagai perkuatan lereng yang dapat memotong lingkaran kelongsoran dalam.....	3
Gambar 1.4 Ilustrasi penggunaan cerucuk sebagai perkuatan lereng yang tidak memotong lingkaran kelongsoran dalam.....	4
Gambar 1.5 Persyaratan overall stability untuk turap.....	5
Gambar 2.1 Mekanisme keruntuhan pada lereng	25
Gambar 2.2 Gaya-gaya yang bekerja pada lereng dengan metode irisan	27
Gambar 2.3 Selubung keruntuhan Mohr dan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb ..	29
Gambar 2.4 Hasil uji tekanan tak tersekap	30
Gambar 2.5 Skema pengujian <i>Direct Shear Test</i>	31
Gambar 2.6 Tipikal hasil uji geser langsung	32
Gambar 2.7 Prosedur desain untuk tiang yang menerima beban lateral.....	34
Gambar 2.8 Asumsi kedudukan cerucuk/micropiles sebagai penahan terhadap keruntuhan geser di lapangan	34
Gambar 2.9 Asumsi tiang pancang kelompok menahan gaya lateral yang digunakan sebagai dasar mencari tahanan geser cerucuk)	35
Gambar 2.10 Grafik untuk mencari besarnya F_M	36
Gambar 2.11 Mencari Harga f untuk berbagai jenis tanah	38
Gambar 2.12 Deformasi plastis pada tanah disekitar tiang	40
Gambar 2.13 Lereng Masseria Marino, sebelah Selatan Itali	46
Gambar 2.14 Perpindahan kumulatif gerakan permukaan tanah longsoran	47
Gambar 2.15 Model pengujian lereng-cerucuk	51
Gambar 2.16 Skema alat uji gaya lateral tiang	52
Gambar 2.17 a.Model perkuatan tanah type 3 alternatif 1.....	56
Gambar 2.17 b.Model perkuatan tanah type 3 alternatif 2	57
Gambar 2.18 Sisi jalan Lasem yang mengalami pergerakan/kelongsoran tanah	58

Gambar 2.19 Ruas Porong-Gempol lokasi terjadinya kelongsoran.....	60
Gambar 2.20 Ilustrasi <i>scatter plot</i> regresi linier (parametrik)	63
Gambar 2.21 Ilustrasi <i>scatter plot</i> regresi kuadratik (parametrik).....	64
Gambar 2.22 Ilustrasi <i>scatter plot</i> regresi kubik (parametrik).....	64
Gambar 2.23 Ilustrasi model non parametrik dengan pola tidak beraturan.....	65
Gambar 2.24 Ilustrasi model non parametrik dengan pola beraturan tetapi berubah pada sub interval tertentu.....	65
Gambar 2.25 Hubungan antar variabel dalam penelitian (<i>Conceptual Frame Work</i>)	69
Gambar 3.1 Bagan Alir Tahapan Rancangan Penelitian	71
Gambar 3.2 Alat uji geser langsung modifikasi	74
Gambar 3.3a <i>Shear Box</i> tipe 1 untuk cerucuk diameter 3mm dan 4,5mm	75
Gambar 3.3b <i>Shear Box</i> tipe 1 untuk cerucuk diameter 6mm	76
Gambar 3.4 <i>Shear Box</i> tipe 2 untuk gaya geser miring	77
Gambar 3.7 Ilustrasi test lentur cerucuk	81
Gambar 3.8 Ilustrasi Tancap Model Cerucuk	87
Gambar 3.9 Ilustrasi posisi cerucuk dalam lereng di lapangan dengan sudut kemiringan tancap cerucuk model laboratorium 90°	88
Gambar 3.10 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi ratio tancap	89
Gambar 3.11 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 3mm dan spasi 3D dalam kotak geser	90
Gambar 3.12 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 3mm dan spasi 5D dalam kotak geser	90
Gambar 3.13 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 3mm dan spasi 8D dalam kotak geser	90
Gambar 3.14 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi jenis tanah	91
Gambar 3.15 Konfigurasi model cerucuk 4 batang untuk diameter 3mm dan spasi 3D dan 5D.....	92

Gambar 3.16 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi jumlah cerucuk dan arah gaya geser sejajar	94
Gambar 3.17 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi jumlah cerucuk dan arah gaya geser tegak lurus	95
Gambar 3.18 Konfigurasi model cerucuk 6 batang untuk diameter 3mm dan spasi 5D	95
Gambar 3.19 Ilustrasi benda uji dalam <i>shear box</i> dengan arah pemberian gaya geser	96
Gambar 3.20 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 4,5mm dan spasi 5D (kotak geser tipe 1 : 20 cm x 15 cm)	97
Gambar 3.21 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 6mm dan spasi 5D (kotak geser tipe 2 : 30 cm x 20 cm)	97
Gambar 3.22 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi diameter cerucuk.....	98
Gambar 3.23 Ilustrasi pola pemasangan cerucuk	99
Gambar 3.24 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi pola pemasangan cerucuk	99
Gambar 3.25 Ilustrasi posisi cerucuk di lapangan dan sudut kemiringan tancap cerucuk model laboratorium (untuk arah gaya geser atau gaya dorong tegak lurus barisan cerucuk).....	100
Gambar 3.26 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi sudut kemiringan tancap cerucuk	101
Gambar 3.27 Bagan alir penelitian	102
Gambar 3.28 Bagan alir analisis data pengaruh rasio tancap	103
Gambar 3.29 Bagan alir analisis data pengaruh jenis tanah	104
Gambar 3.30 Bagan alir analisis data pengaruh diameter cerucuk	104
Gambar 3.31 Bagan alir analisis data pengaruh jumlah cerucuk	105
Gambar 3.32 Bagan alir analisis data pengaruh pola pemasangan cerucuk	106
Gambar 3.33 Bagan alir analisis data pengaruh spasi kelompok cerucuk	106

Gambar 3.34 Bagan alir analisis data pengaruh posisi cerucuk (sudut kemiringan tancap cerucuk).....	107
Gambar 4.1 Alat uji geser tanah-cerucuk	112
Gambar 4.2 Tampak atas alat uji geser langsung tanah-cerucuk.....	112
Gambar 4.3 Posisi <i>shear box</i> pada alat uji geser tanah-cerucuk.....	113
Gambar 4.4 Alat uji tarik kayu dan proses pengujian tarik cerucuk kayu mini	115
Gambar 4.5 Kurva tegangan vs regangan sampel cerucuk kayu mini ke-1.....	116
Gambar 4.6 Kegiatan sampling test Pits lapangan (Desember 2013).....	119
Gambar 4.7 Kegiatan sampling test Pits lapangan (Februari 2014)	119
Gambar 4.8 Kegiatan persiapan benda uji sebelum pengujian geser langsung	120
Gambar 4.9 Kegiatan pengujian geser langsung tanah-cerucuk	120
Gambar 4.10 Hubungan Plabrata-rata dan Rasio Tancap.....	123
Gambar 4.11 Hubungan Plabrata-rata dan Spasi	123
Gambar 4.12 Hubungan Plabrata-rata dan Jumlah	125
Gambar 4.13 Hubungan Plabrata-rata dan Posisi Tancap	126
Gambar 4.14 Hubungan Plabrata-rata dan Diameter.....	127
Gambar 4.15 Kurva mencari harga f untuk berbagai jenis tanah	137
Gambar 4.16 Grafik untuk mencari besarnya FM	138
Gambar 5.1 Kurva hubungan variasi rasio tancap dan rasio Plab/Panalitis	151
Gambar 5.2 Kurva hubungan rasio $Plab_{(L/D=15)}$ /Plab _(L/D=15) dan rasio tancap (L/D).....	153
Gambar 5.3 Kurva hubungan variasi spasi cerucuk dan rasio Plab/Panalitis	157
Gambar 5.4 Ilustrasi perilaku cerucuk akibat pengaruh spasi cerucuk.....	158
Gambar 5.5 Hubungan rasio $Plab_{(S/D=5)}/Plab_{(S/D=5)}$ dan Spasi Cerucuk	160
Gambar 5.6 Hubungan rasio Plab/Panalitis dan Jumlah Cerucuk	160
Gambar 5.7 Hubungan tegangan-regangan variasi jumlah cerucuk	160
Gambar 5.8 Sketsa peningkatan kekuatan geser tanah akibat pemasangan cerucuk (Mochtar, 2000)	160
Gambar 5.9 Hubungan rasio $Plab_{(n=2)}/Plab_{(n=2)}$ dan Jumlah Cerucuk	163
Gambar 5.10 Hubungan rasio $Plab_{(D=3mm)}/Plab_{(D=3mm)}$ dan rasio D/T	166

Gambar 5.11 Ilustrasi posisi tiang cerucuk pada garis kelongsoran dengan sudut di lapangan	167
Gambar 5.12 Hubungan rasio Plab/Panalitis dan sudut garis bidang kelongsoran ..	168
Gambar 5.13 Ilustrasi daerah kerja (luasan) variasi sudut garis kelongsoran	169
Gambar 5.14 Ilustrasi deformasi pola pemasangan cerucuk 2x3 dan 3x2.....	172
Gambar 5.15 Hubungan tegangan-regangan pola pemasangan 2x3 dan 3x2	172
Gambar 5.16 Hubungan tegangan-regangan pola pemasangan 1x6 dan 6x1	173
Gambar 5.17 Hubungan rasio Plab/Panalitis dan rasio Cu/E	175
Gambar 5.18 Prosedur desain jumlah cerucuk	179
Gambar 5.19 Kelongsoran ruas badan jalan dan dampak kelongsorannya	181
Gambar 5.20 Kelongsoran badan jalan pada area lainnya.....	181
Gambar 5.21 Asumsi kelongsoran berbentuk lingkaran untuk overall stability.....	182
Gambar 5.22 Hasil/Output Geoslope terhadap benda uji	184
Gambar 5.23 Hasil/Output Geoslope terhadap benda uji dengan asumsi.....	184

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kegiatan Penelitian Parameter Tanah Yang Telah Dilakukan	19
Tabel 1.2 Matrik Originalitas Penelitian Yang Akan Dilakukan.....	23
Tabel 1.3 Usaha Penelitian Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Akibat Adanya Cerucuk	24
Tabel 3.1 Spesifikasi Cerucuk Mini	80
Tabel 3.2 Jenis Bahan Cerucuk, m_{\max} , dan M_{\max}	80
Tabel 3.3 Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung).....	83
Tabel 3.4 Benda Uji Model Tanah (tanpa cerucuk).....	84
Tabel 3.5 Unsur Kode Karakteristik Benda Uji.....	85
Tabel 3.6 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Ratio Tancap	89
Tabel 3.7 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Jenis Tanah	91
Tabel 3.8 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Spasi Kelompok Cerucuk	93
Tabel 3.9 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Jumlah Cerucuk Arah dan Gaya Geser Sejajar	94
Tabel 3.10 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Jumlah Cerucuk Arah dan Gaya Geser Tegak lurus.....	95
Tabel 3.12 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Diameter Cerucuk	98
Tabel 3.13 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Pola Pemasangan Cerucuk.....	99
Tabel 3.14 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Sudut Kemiringan Tancap Cerucuk	101
Tabel 4.1 Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Kondisi <i>Undisturbed</i>	114
Tabel 4.2 Nilai Modulus Elastisitas Rata-rata Cerucuk Kayu Mini	117
Tabel 4.3 Tegangan Tarik Cerucuk Kayu Mini	118
Tabel 4.4 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Rasio Tancap	121
Tabel 4.5 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Spasi Kelompok Cerucuk.....	122
Tabel 4.6 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Jumlah Cerucuk (sejajar).....	124
Tabel 4.7 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Jumlah Cerucuk (tegak lurus)	124
Tabel 4.8 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Posisi Cerucuk.....	125
Tabel 4.9 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Pola Pemasangan Cerucuk	126
Tabel 4.10 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Diameter Cerucuk	127

Tabel 4.11 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Jenis Tanah.....	127
Tabel 4.12 Nilai Plab Hasil Uji Geser Tanpa Cerucuk.....	128
Tabel 4.13 Penambahan Gaya Geser Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Rasio Tancap	129
Tabel 4.14 Penambahan Gaya Geser Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Spasi	130
Tabel 4.15 Penambahan Gaya Geser Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Jumlah Cerucuk (sejajar).....	131
Tabel 4.16 Penambahan Gaya Geser Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Jumlah Cerucuk (tegak lurus)	132
Tabel 4.17 Penambahan Gaya Geser Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Posisi	133
Tabel 4.18 Penambahan Gaya Geser Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Diameter	134
Tabel 4.19 Penambahan Gaya Geser Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Jenis Tanah.....	134
Tabel 4.20 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Rasio Tancap Cerucuk	142
Tabel 4.21 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Spasi Cerucuk	143
Tabel 4.22 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Jumlah Cerucuk (sejajar)	144
Tabel 4.23 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Jumlah Cerucuk (tegak lurus)	145
Tabel 4.24 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Posisi Tancap Cerucuk	146
Tabel 4.25 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Pola Pemasangan Cerucuk	147
Tabel 4.26 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Diameter Cerucuk	147
Tabel 4.27 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Jenis Tanah	148
Tabel 5.1 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Rasio Tancap Untuk Spasi 3D	150
Tabel 5.2 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Rasio Tancap Untuk Spasi 5D	150
Tabel 5.3 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Rasio Tancap Untuk Spasi 8D	151
Tabel 5.4 Nilai Rasio rasio $Plab_{(L/D=15)}/Plab_{(L/D=15)}$ dan rasio Plab/Panalitis	152
Tabel 5.5 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Spasi Cerucuk Untuk L/D=5	154
Tabel 5.6 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Spasi Cerucuk Untuk L/D=10	155
Tabel 5.7 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Spasi Cerucuk Untuk L/D=15	155

Tabel 5.8 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Spasi Cerucuk Untuk L/D=20	155
Tabel 5.9 Nilai Rasio rasio $Plab_{(S/D=5)}$ /Plab _(S/D=5) dan rasio Plab/Panalitis	159
Tabel 5.10 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Jumlah Cerucuk (Gaya Sejajar)	161
Tabel 5.11 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Jumlah Cerucuk (Gaya Tegak lurus)	162
Tabel 5.12 Nilai Rasio rasio $Plab_{(n=1)}$ /Plab _(n=1) dan rasio Plab/Panalitis	162
Tabel 5.13 Nilai Rasio rasio $Plab_{(D=3mm)}$ /Plab _(D=3mm) dan rasio Plab/Panalitis	165
Tabel 5.14 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Sudut Garis Bidang KelongSORAN	168
Tabel 5.15 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Pola Pemasangan.....	171
Tabel 5.16 Nilai Rasio Plab/Panalitis dan Variasi Jenis Tanah	175
Tabel 5.17 Prosentasi Penambahan Gaya Geser Cerucuk Pada Variasi Jenis Tanah	176
Tabel 5.18 Model Persamaan Cerucuk Untuk Masing-Masing Variasi Perlakuan..	177
Tabel 5.19 Perbandingan jumlah cerucuk dari berbagai metode.....	183

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daya dukung tanah yang rendah merupakan akibat yang ditimbulkan oleh tanah yang memiliki tahanan geser yang rendah. Hal ini karena tahanan geser merupakan unsur utama daya dukung tanah. Tahanan geser yang rendah selalu dimiliki oleh kondisi tanah dengan konsistensi sangat lunak sampai lunak. Tahanan geser tanah yang rendah sering menimbulkan masalah, antara lain terjadinya pergerakan tanah yang berlebihan secara horisontal pada jalan berlereng tinggi dan tidak landai. Masalah lainnya adalah terjadinya kelongsoran lereng. Hal-hal tersebut merupakan dampak dari tahanan geser tanah yang tidak cukup memiliki gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan akibat beban yang bekerja.

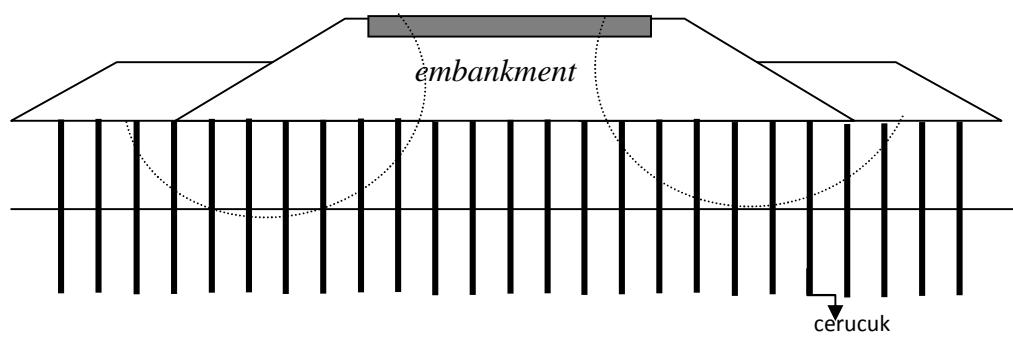
Upaya untuk meningkatkan tahanan geser tanah lunak yang rendah dapat dilakukan antara lain melalui metode perkuatan tanah. Metode perkuatan tanah bertujuan untuk menambah kekuatan tanah agar lebih mampu mendukung beban yang bekerja padanya. Saat ini tersedia beragam metode perkuatan tanah dengan teknologi yang memadai dan metode tersebut telah berkembang dengan baik. Namun perlu dijadikan perhatian bahwa suatu metode perkuatan tanah tertentu belum tentu cocok untuk jenis tanah yang lain, apalagi bila ada permasalahan spesifik yang ditimbulkan oleh tanah tersebut.

Salah satu metode perkuatan tanah yang efektif untuk mengatasi kelongsoran jalan dan stabilitas lereng adalah dengan menggunakan perkuatan tiang-tiang vertikal yang berperilaku seperti sistem cerucuk. Sistem cerucuk adalah istilah yang dikenal di Indonesia, di mana tiang pancang kecil berdiameter 7,5cm–25cm dipasangkan sebagai group tiang atau tiang satu-satu secara vertikal atau miring. Penggunaan tiang pancang (cerucuk) sebagai elemen penahan tanah sudah dilakukan di masa lalu, karena cara ini dapat memberikan solusi yang efisien, antara lain karena tiang (cerucuk) dapat dilaksanakan dengan mudah tanpa mengganggu keseimbangan lereng (DeBeer dan Wallays, 1970; Ito dkk, 1981).

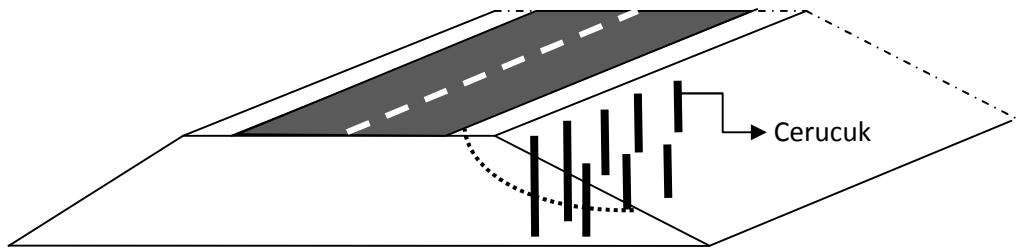
Tiang pancang kayu (cerucuk) pernah digunakan sebagai perkuatan stabilitas lereng tanah yang sangat lunak di Swedia walaupun pada saat itu penggunaan tiang bor dengan diameter 1,5 m sedang populer digunakan di Eropa dan Amerika untuk meningkatkan stabilitas kelongsoran lereng pada tanah lempung kaku (Bulley, 1965, dan Offenberger, 1981).

Selama ini pemakaian cerucuk cukup efektif sebagai metode alternatif perkuatan stabilitas lereng maupun perkuatan *embankment* jalan. Pada *embankment* jalan, cerucuk digunakan sebagai bahan yang kaku berfungsi untuk menaikkan stabilitas tanah. Adanya cerucuk di bawah *embankment* jalan (ilustrasi seperti dalam Gambar 1.1) dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar dan mengurangi penurunan yang akan terjadi. Hal ini karena cerucuk dapat menghasilkan hambatan terhadap keruntuhan geser. Sebagai perkuatan lereng, cerucuk sangat efektif berfungsi sebagai pasak/tulangan yang dapat memotong bidang kelongsoran lereng (ilustrasi seperti dalam Gambar 1.2 dan 1.3). Jadi, cerucuk dapat memberikan tambahan gaya geser pada lereng dan mampu melawan gaya geser longsoran yang terjadi. Tambahan gaya geser yang dihasilkan oleh cerucuk tersebut dapat meningkatkan angka keamanan (*safety factor*) stabilitas lereng (Mochtar, 2011).

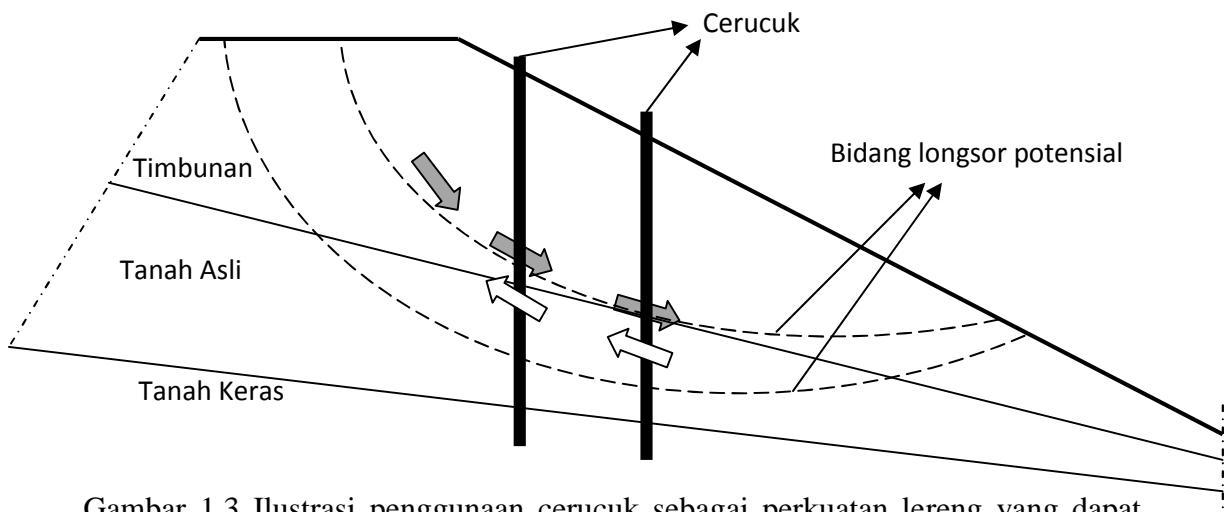
Pada awalnya penggunaan cerucuk terbuat dari bahan kayu. Pengalaman menunjukkan pemakaian bahan seperti kayu mempunyai keterbatasan tentang umur material, memerlukan pemeliharaan dan penggantian dengan kayu yang baru dalam jangka waktu tertentu. Selain itu juga panjang batang kayu yang utuh (tanpa sambungan) umumnya terbatas.



Gambar 1.1 Ilustrasi penggunaan cerucuk untuk *embankment* jalan



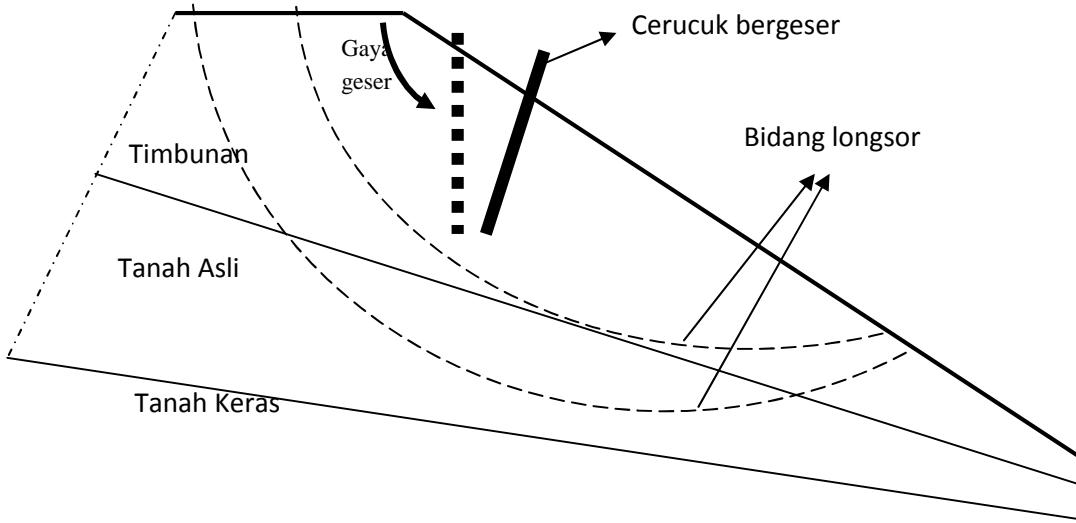
Gambar 1.2 Ilustrasi penggunaan cerucuk sebagai perkuatan lereng *embankment* jalan



Gambar 1.3 Ilustrasi penggunaan cerucuk sebagai perkuatan lereng yang dapat memotong lingkaran kelongsoran dalam

Dalam aplikasi selanjutnya di lapangan, penggunaan tiang pancang sebagai cerucuk tidak lagi terbatas hanya pada penggunaan cerucuk kayu saja. Pada kondisi bila tinggi timbunan makin tinggi akan terjadi kemungkinan bidang kelongsoran yang makin dalam. Kondisi seperti ini tidak memungkinkan penggunaan cerucuk kayu karena cerucuk kayu memiliki panjang terbatas ($L = 3\text{m}$ sampai 6m) padahal panjang cerucuk harus melampaui bidang gesernya. Hal ini dapat mengakibatkan cerucuk kayu bergeser/longsor bersama dengan bidang tanah yang longsor (Gambar 1.4). Tiang cerucuk dapat diganti dengan tiang pancang mini (minipiles) dari beton atau pipa baja dengan panjang 6m sampai

12m dan dapat disambung, karena panjang cerucuk harus melebihi bidang kelongsoran yang terdalam. Disini cerucuk merupakan tiang pondasi yang berfungsi sebagai perkuatan stabilitas lereng.



Gambar 1.4 Ilustrasi penggunaan cerucuk sebagai perkuatan lereng yang tidak memotong lingkaran kelongsoran dalam

Beberapa kajian penanganan kelongsoran jalan dan stabilitas talud di lapangan menunjukkan bahwa cerucuk telah terbukti dapat meningkatkan tahanan geser tanah, (Mochtar, 2011). Selain itu juga dijelaskan oleh Mochtar (2011) bahwa pada banyak kasus penggunaan turap sebagai dinding penguat didalam tanah yang lunak ternyata *overall stability*nya lebih menentukan bagi stabilitas turap. Walaupun perhitungan secara turap sudah memenuhi syarat tetapi pada kenyataannya turap tersebut mengalami keruntuhan dengan bidang keruntuhan diperkirakan melewati bawah kaki turap. Pada kondisi seperti ini asumsi yang lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan adalah asumsi konstruksi cerucuk. Dikatakan oleh Mochtar (2011) bahwa cerucuk memiliki kemampuan yang lebih dibandingkan turap dalam mengatasi *overall stability*. Alasannya berdasarkan pada kemampuan cerucuk yang dapat menghambat pergeseran tanah pada bidang longsornya. Cerucuk dapat dipancang sampai melewati asumsi

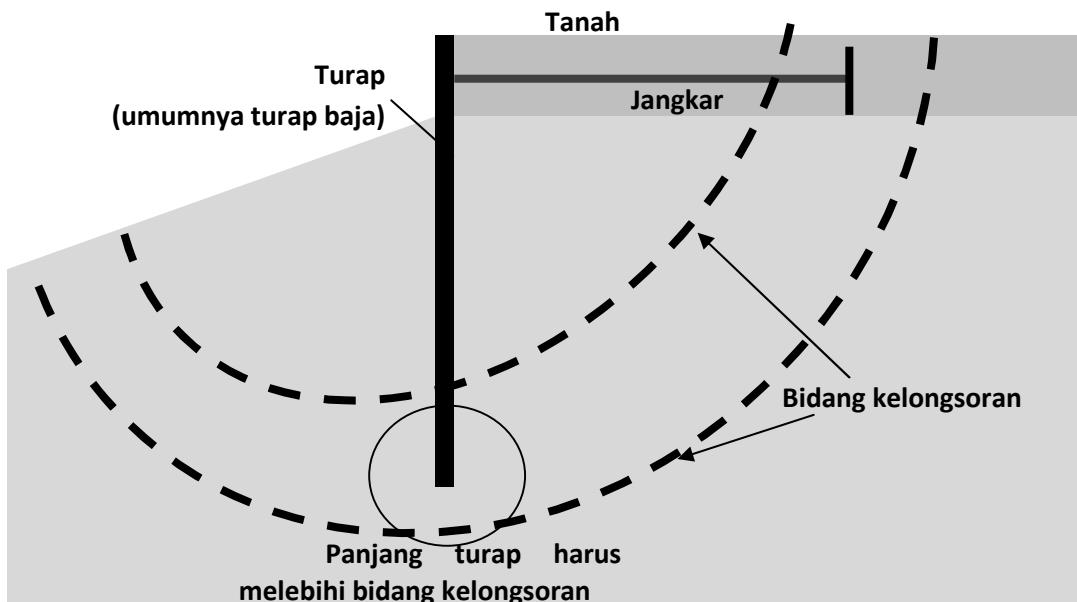
bidang keruntuhan sirkuler yang terdalam. Pada perencanaan turap, bidang keruntuhan sirkuler yang terdalam tersebut tidak diperlukan.

1.2 Fakta Kelemahan Penggunaan Turap Dalam Mengatasi Kelongsoran Lereng

Mochtar (2011) telah melakukan observasi di lapangan dan menjumpai bahwa penanganan kelongsoran lereng dengan tanah sangat lunak cukup tebal yang telah diatasi dengan pemasangan turap, peristiwa kelongsoran ataupun pergerakan tanah yang berlebihan secara horizontal masih tetap saja terjadi. Menurut Mochtar (2011) ada beberapa hal yang menjelaskan hal tersebut, yaitu :

1. Perhitungan turap pada daerah yang memiliki lapisan tanah-tanah yang sangat lunak yang cukup tebal umumnya **yang lebih menentukan adalah overall stability dari sistem konstruksi tanah dan turap**. Jadi perencanaan turapnya sendiri seringkali telah memenuhi syarat, tetapi overall stability-nya yang tidak memenuhi syarat, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 1.5
2. Bila overall stability lebih menentukan dalam perhitungan stabilitas turap dan penjangkarnya, maka asumsi perhitungan yang lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan adalah asumsi konstruksi cerucuk. Asumsi cerucuk didasarkan pada kemampuan turap atau tiang berfungsi serupa cerucuk, yang dapat memberikan perlindungan tambahan terhadap geser pada saat akan terjadinya pergeseran keruntuhan menurut asumsi kelongsoran berbentuk lingkaran (*circular sliding plane*). Hal ini apabila panjang turap melebihi asumsi bidang kelongsorannya.
3. Dengan kondisi *overall stability* lebih menentukan, apabila salah satu bidang kelongsoran (dengan $SF < 1,0$) ternyata melampaui ujung terdalam dari turap, jelas turap tidak akan berfungsi sebagai penahan geser sama sekali. Jadi asumsi turap tidak dapat digunakan.

Semua uraian diatas menunjukkan bahwa masih perlu adanya pemahaman yang cukup dan memadai tentang metode perkuatan tanah yang tersedia dan kesesuaiannya dalam mengatasi permasalahan di lapangan.



Gambar 1.5 Persyaratan overall stability untuk turap

1.3 Perlunya Teori Cerucuk yang Relevan untuk Mengatasi Kelongsoran Lereng

Untuk menunjang perhitungan konstruksi cerucuk yang mendekati kondisi yang ada di lapangan sangat dibutuhkan teori yang relevan mengenai cerucuk. Teori tentang cerucuk dalam perhitungan perkuatan tanah lunak untuk menambah kekuatan geser relatif sangat sedikit dan kurang memadai. Padahal pengetahuan mendalam mengenai mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk sangat diperlukan agar perancangan perkuatan tanah dengan cerucuk lebih akurat.

Cukup banyak penelitian di laboratorium maupun di lapangan yang menunjukkan bahwa pengaruh gaya lateral tanah pada tiang adalah berbeda-beda pada beberapa kasus, dan belum ada teori secara menyeluruh yang dapat mengembangkan teori untuk penggunaan secara praktis (Chen, 1994). Beberapa hasil penelitian mengenai tiang lateral berupa analisis teori maupun metode empiris telah dikembangkan oleh para peneliti selama ini namun hal itu berlaku

hanya untuk kasus dan permasalahan tertentu saja, sebagai contoh : Poulus (1995), Poulus dan Chen (1996, 1997), dan Chen dan Poulus (1996).

Teori-teori tentang cerucuk yang ada saat ini masih sangat sedikit dan masih belum relevan untuk diaplikasikan di lapangan. Teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk oleh Mochtar (2000) masih didasarkan pada teori tiang pancang penahan gaya horizontal oleh NAVFAC DM-7 (1971). Kemudian juga hasil koreksi dan pengembangan teori Mochtar (2000) oleh Mochtar dan Arya (2002) juga masih belum memuaskan dan belum mendekati kejadian sebenarnya di lapangan.

Dalam Persamaan 1.1 ditunjukkan gaya horisontal (P_{max}) yang mampu ditahan oleh 1(satu) cerucuk (menurut Mochtar, 2000). Sedangkan pada Persamaan 1.2 Mochtar dan Arya (2002) mengusulkan pengembangan dan koreksi terhadap Persamaan 1.1. Persamaan 1.2 tersebut dihasilkan berdasarkan hanya pada pengaruh diameter cerucuk, pengaruh panjang tancapan, dan pengaruh kekuatan tanah.

$$P_{\max \text{ (1 cerucuk)}} = \frac{M_p_{\max \text{ (1 cerucuk)}}}{fm \cdot T} , \text{ menurut Mochtar (2011)} \quad (1.1)$$

$$P_{\max \text{ (1 cerucuk)}} = \frac{M_p_{\max \text{ (1 cerucuk)}}}{fm \cdot T} \times Fk \quad (1.2)$$

Dimana Fk (Mochtar dan Arya, 2002) :

$$Fk = 2,643 \left[\frac{0,89 + 0,12L/D}{2,69} \right] \left[\frac{0,855Cu^{-0,392}}{2,865} \right] \quad (1.3)$$

Keterangan :

P_{max} = gaya horizontal yang bekerja pada cerucuk (kg).

T = Faktor kekakuan relatif (cm).

M_p = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P (kg.cm).

fm = koefisien momen akibat gaya lateral P .

L = Panjang tancap cerucuk.

D = diameter cerucuk.

Cu = kuat geser tanah undrained.

Dari Persamaan 1.2, menurut Mochtar dan Arya (2002) dihasilkan penambahan gaya geser yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan menurut Mochtar (2000). Nilai ratio antara P_{lab} dan P_{max} analitis selalu lebih besar dari satu. Kemudian Mochtar (2011) juga berpendapat bahwa teori cerucuk yang dikembangkan oleh Mochtar (2000) dan dikoreksi oleh Mochtar dan Arya (2002) belum cukup akurat. Diduga masih ada faktor lain yang berpengaruh di lapangan yang belum terwakili dalam asumsi persamaan menurut Mochtar (2000) maupun Mochtar dan Arya (2002) tersebut. Jadi masih diperlukan lagi penyelidikan lebih lanjut.

Ditinjau dalam pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan oleh Mochtar dan Arya (2002), ilmu pendekatan untuk cerucuk dirasa belum mendekati kondisi sebenarnya seperti yang ada di lapangan. Perlakuan benda uji pada model skala laboratorium (alat maupun bahan) belum representatif dapat mewakili seperti kondisi di lapangan. Ukuran kotak geser yang digunakan pada rangkaian alat geser langsung berukuran relatif sangat kecil, sehingga sebaran gaya yang bekerja pada interaksi tanah-cerucuk menjadi tidak optimal. Dalam penelitian oleh Mochtar dan Arya (2002) juga digunakan jumlah benda uji yang relatif sedikit. Selain itu benda uji yang ditancapi cerucuk kelompok tanpa mempertimbangkan jarak (spasi) antar cerucuk dan pengaruh posisi cerucuk dalam menerima gaya geser penyebab longsoran. Jadi dapat dinyatakan sampai saat ini belum diperoleh cukup keyakinan bagi para praktisi geoteknik bahwa perhitungan cerucuk secara empiris yang ada telah mendekati kejadian sebenarnya di lapangan.

Dalam analisis perkuatan lereng dengan menggunakan cerucuk diperlukan gaya yang bekerja pada cerucuk akibat massa tanah yang menekan cerucuk (tahanan geser tanah) dan hasil reaksi cerucuk didalam lereng. Gaya akibat tekanan massa tanah (tahanan geser tanah) pada barisan cerucuk dapat diwakili oleh kekuatan tanah, diameter cerucuk, panjang tancap cerucuk, jumlah cerucuk, dan jarak antar cerucuk (Ito dkk, 1981; Yang dkk, 2011)

Untuk mengetahui secara mendalam mengenai mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk tersebut, masih diperlukan penelitian lebih lanjut. Penelitian yang akan dilaksanakan melalui salah satu cara pendekatan model skala laboratorium, namun perilakunya dibuat mendekati perilaku sebenarnya di lapangan. Bidang kelongsoran lereng yang terjadi di lapangan didekati dengan bidang geser yang sengaja dibuat di laboratorium dengan menggeser contoh tanah yang terdapat dalam kotak geser hasil modifikasi yang berukuran relatif besar dengan alat geser langsung. Cerucuk yang akan digunakan berupa cerucuk mini dan ditanamkan pada contoh tanah tadi. Ada beberapa variabel pengujian yang akan dilakukan, yaitu variasi konsistensi tanah kohesif lunak sampai medium, variasi rasio tancap (L/D) dan spasi cerucuk, variasi diameter dan kekakuan cerucuk, variasi pola pemasangan cerucuk, variasi posisi cerucuk (sudut bidang geser), serta variasi arah pemberian gaya geser terhadap konfigurasi cerucuk kelompok. Variasi ini sudah sesuai dengan yang diberikan pada Mochtar (2000) dan Mochtar dan Arya (2002). Diharapkan dari perilaku skala kecil tersebut dihasilkan teori mengenai cerucuk dan perumusan cerucuk yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

Penelitian ini sangat penting dilakukan untuk pemutakhiran teori perancangan konstruksi tanah-cerucuk. Formula empiris cerucuk yang akan dihasilkan dapat mendekati kondisi sebenarnya yang ada di lapangan. Kebutuhan teori dan perumusan empiris cerucuk saat ini adalah sangat mendesak. Hal ini didasarkan adanya keterbatasan lahan dan perkembangan penduduk yang terus berkembang sangat pesat disuatu wilayah. Kondisi ini menyebabkan orang terpaksa membangun pada lahan yang kurang memenuhi syarat antara lain adanya tanah lunak yang tebal dan kurang stabil dimana konstruksi tanah-cerucuk sangat diperlukan.

1.4 Kelemahan Asumsi Teori Tiang Lateral Bila Digunakan Pada Cerucuk yang Memperkuat Stabilitas Lereng

Selama ini secara praktis tiang yang berfungsi sebagai perkuatan stabilitas lereng dianalisis dengan menggunakan teori tiang lateral. Teori tiang pancang

penahan gaya horisontal oleh NAVFAC DM-7 (1971) adalah paling sering diaplikasikan dalam desain cerucuk penahan longsoran (Mochtar, 2000).

Ada beberapa kelemahan asumsi apabila cerucuk yang berfungsi sebagai penahan kelongsoran lereng menggunakan teori tiang lateral, yaitu :

- Asumsi letak gaya geser horisontal maksimum pada cerucuk tidak selamanya berada pada kepala tiang seperti halnya pada tiang yang berfungsi sebagai tiang lateral.
- Letak bending moment dan defleksi maksimum cerucuk sangat tergantung kedalaman tancap cerucuk yang dapat memotong bidang geser kelongsoran. Hal ini berbeda dengan tiang yang berfungsi sebagai tiang lateral dimana bending moment dan defleksi maksimum sangat tergantung pada kondisi kepala tiang (*free head/fixed head/rotational head*).

Sehingga apabila analisis desain cerucuk yang memperkuat stabilitas lereng masih menggunakan teori tiang pancang penahan gaya horisontal maka hasil perhitungan berpotensi menjadi *underestimate* (Mochtar dan Arya, 2002).

1.5 Permasalahan Utama Penelitian

Disertasi ini dibuat untuk menjawab permasalahan utama, yaitu bagaimana perilaku interaksi tanah dengan cerucuk dalam peningkatan tahanan geser tanah lunak. Selain itu juga untuk mendapatkan bentuk perumusan empiris untuk perhitungan cerucuk yang lebih mendekati kejadian sebenarnya di lapangan. Sedangkan rincian permasalahannya adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar pengaruh kedalaman tancap dankekakuan cerucuk dalam peningkatan kuat geser tanah lunak.
2. Bagaimana pengaruh jarak antar cerucuk (spasi) terhadap peningkatan tahanan geser tanah.
3. Bagaimana pengaruh penambahan jumlah cerucuk terhadap peningkatan tahanan geser tanah lunak.
4. Bagaimana pengaruh posisi dan pengaruh pola pemasangan cerucuk pada lereng terhadap peningkatan tahanan geser tanah.

5. Bagaimana bentuk perumusan empiris perhitungan cerucuk yang lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

1.6 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Jenis tanah yang digunakan adalah jenis tanah kohesif yang diperkuat dengan tiang vertikal berperilaku seperti cerucuk untuk menahan gaya geser horizontal. Jenis tanah yang kaku dan kepasiran (non cohesive) tidak digunakan.
- Rasio panjang tiang terhadap diameter untuk perkuatan (cerucuk) ditentukan oleh panjang tiang tancap yang terpendek (panjang tiang yang berada dibawah bidang geser kelongsoran).
- Dasar perumusan cerucuk dalam penelitian ini mengacu pada rumus Design Manual, NAVFAC DM-7 (1971) khusus untuk tiang lateral kasus 2.
- Variabel semua jenis bahan tiang perkuatan dalam rumus cerucuk diwakili dengan EI dari model tiang. Sedangkan model tanah diwakili dengan harga f tanah tersebut, yang didapat dari variabel Cu, untuk tanah kohesif kondisi *undrained*.
- Beban vertikal kebawah tidak diberikan terhadap benda uji saat pengujian.
- Kekuatan geser tanah kohesif ditentukan dengan alat uji geser langsung (*direct shear*).

1.7 Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini ditentukan model empiris penambahan tahanan geser tanah akibat adanya cerucuk. Model empiris tersebut ditentukan berdasarkan faktor-faktor pengaruh yang lebih mendekati kondisi seperti yang terjadi di lapangan. Faktor-faktor pengaruh tersebut adalah : 1) pengaruh kedalaman tancap cerucuk (ratio tancap cerucuk); 2) pengaruh jenis tanah; 3) pengaruh jarak (spasi) antar cerucuk; 4) pengaruh jumlah cerucuk kelompok (konfigurasi) dan arah gaya

geser yang diberikan; 5) pengaruh posisi cerucuk; 6) pengaruh diameter (kekakuan) cerucuk; 7) pengaruh pola pemasangan cerucuk.

Pada tinjauan terhadap pengaruh kedalaman tancap cerucuk (ratio tancap cerucuk, L/D), ingin diketahui efek panjang cerucuk yang tertahan dibawah atau diatas bidang gelincir terhadap penambahan tahanan geser tanah. Sedangkan pada tinjauan pengaruh jarak (spasi) antar cerucuk ingin diketahui seberapa besar pengaruh spasi antar cerucuk dapat meningkatkan tahanan geser tanah, dan apakah efisiensi cerucuk kelompok berlaku pada perhitungan mekanisme tambahan geser tanahnya. Jumlah cerucuk kelompok (konfigurasi) dalam menerima gaya geser juga akan dikaji untuk mendalami interaksi tanah-cerucuk kelompok. Sehingga dapat diketahui apakah konfigurasi barisan cerucuk kelompok yang sejajar berbeda dengan konfigurasi barisan cerucuk kelompok yang tegak lurus dalam hal menerima gaya geser penyebab longsor yang terjadi. Sedangkan pada tinjauan posisi cerucuk yaitu ingin mengetahui posisi cerucuk (apakah disisi kaki lereng, tengah lereng, atau sisi atas lereng) yang akan menghasilkan gaya geser maksimum penahan longsoran. Dalam hal ini diterapkan dalam bentuk sudut tancap cerucuk pada benda uji model laboratoriumnya.

Berdasarkan hal-hal yang telah diuraikan diatas maka tujuan penelitian disertasi ini dilakukan adalah untuk :

1. Mengembangkan teori tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk.
2. Mendapatkan pengetahuan mengenai perilaku interaksi tanah dengan kelompok cerucuk dalam meningkatkan tahanan geser tanah lunak.
3. Mendapatkan rumusan empiris cerucuk yang lebih mendekati kejadian sebenarnya di lapangan.

1.8 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat antara lain :

1. Memberikan sumbangan pengetahuan berupa adanya teori cerucuk yang memadai dalam mengatasi keruntuhan geser yang mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

2. Terciptanya perumusan perhitungan cerucuk yang lebih mendekati kejadian sebenarnya di lapangan sesuai dengan keberagaman kondisi di lapangan.
3. Terciptanya alat geser langsung (*direct shear apparatus*) yang dimodifikasi di laboratorium yang relevan dalam pengujian perkuatan tanah dengan cerucuk yang mendekati kejadian sebenarnya di lapangan.

1.9 Originalitas Penelitian (*State of the Art*)

Tahanan geser tanah lunak setelah diperkuat dengan cerucuk dapat ditentukan nilainya di laboratorium dengan melakukan pengujian geser (*Direct shear Test*) terhadap tanah-cerucuk model skala laboratorium. Untuk menunjang hasil pengujian tahanan geser tanah-cerucuk model skala laboratorium yang representatif dengan kondisi sebenarnya di lapangan, maka dalam pengujinya dengan mendekati karakteristik dan perilaku tanah-cerucuk seperti kondisi di lapangan. Karakteristik dan perilaku tanah-cerucuk yang dimaksud tergantung dari : ukuran box geser yang mencukupi persyaratan sebaran gaya, tingkat konsistensi tanah, jumlah cerucuk, panjang dan diameter cerucuk, jarak antar cerucuk, pola pemasangan cerucuk, posisi cerucuk, kedalaman pemancangan terhadap permukaan bidang geser (longsor), dan arah pemberian gaya geser terhadap konfigurasi cerucuk kelompok.

Studi laboratorium mengenai tahanan geser tanah lunak setelah diperkuat dengan cerucuk seperti perlakuan kondisi di lapangan sampai saat ini belum dilakukan. Sebagian besar penelitian laboratorium mengenai tanah-cerucuk yang telah dilakukan terbatas hanya untuk mengetahui kemampuan 1(satu) cerucuk/tiang atau jumlah cerucuk tertentu dalam menahan gaya geser tanpa memperhatikan faktor-faktor pengaruh yang mendekati kondisi permasalahan di lapangan.

Poulos dkk (1995) telah melakukan studi model tes laboratorium terhadap tiang tunggal yang menahan gaya lateral tanah. Dalam penelitian ini benda uji menggunakan tanah pasir kering yang ditancapi tiang tunggal. Penelitian ini

menghasilkan besaran pengaruh deformasi tanah terhadap momen lentur tiang (cerucuk). Penelitian ini terbatas pada perilaku tiang lateral yang tidak berada dalam sistem lereng. Mochtar dan Arya (2002) telah melakukan pengujian tahanan geser tanah lunak yang ditancapi cerucuk skala model laboratorium dengan menggunakan alat Direct Shear Test standar. Dalam pengujinya menggunakan box geser berukuran relatif kecil, serta jumlah dan jarak cerucuk belum representatif untuk menjawab permasalahan kondisi di lapangan. Hasil penelitian ini memberikan faktor koreksi terhadap teori Mochtar (2000). Namun faktor koreksi tersebut masih belum mewakili perilaku interaksi tanah-cerucuk pada stabilitas lereng seperti yang ada di lapangan. Masih ada faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian sebenarnya di lapangan yang belum terwakili dalam pelaksanaan pengujinya, seperti jumlah cerucuk dengan variasi arah gaya geser yang akan diberikan, spasi cerucuk kelompok, pola pemasangan cerucuk, dan posisi cerucuk.

Muthukumaran dkk (2004) telah melakukan studi laboratorium mengenai pengaruh permukaan tanah miring dan tanah datar yang diperkuat dengan 1(satu) batang cerucuk. Dalam penelitian tersebut digunakan model pengujian sistem rangka beban dan tangki yang berisi benda uji dari tanah pasir kering yang ditancapi dengan cerucuk tunggal. Hasil penelitian ini belum mewakili semua permasalahan kondisi lereng-cerucuk di lapangan karena terbatasnya jenis tanah, kedalaman cerucuk, jumlah cerucuk, pola pemasangan cerucuk, posisi cerucuk, diameter cerucuk, dan kekakuan cerucuk.

Liliwarti (2007) telah melakukan studi laboratorium menentukan karakteristik mekanik gesekan antara tanah dan cerucuk dengan menggunakan alat Direct Shear test. Penelitian tersebut menggunakan benda uji tanah pasir kering dan tanah lempung jenis tertentu yang ditancapi dengan 1(satu) batang cerucuk. Dalam hasil penelitiannya hanya menunjukkan besaran parameter kuat geser tanah akibat adanya cerucuk tanpa memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi tanah-cerucuk pada stabilitas lereng di lapangan. Pada pengujinya menggunakan box geser berukuran relatif kecil (6 cm x 6 cm). Damoerin dkk (2012) juga telah melakukan studi laboratorium mengenai

penggunaan cerucuk kayu dan bambu sebagai perkuatan tanah. Dalam penelitian tersebut digunakan benda uji tanah lanau berpasir berukuran kecil yang ditancapi 1(satu) batang cerucuk ($\varnothing 3$ mm, L=5cm) kemudian diuji menggunakan alat triaxial terkonsolidasi. Penelitian ini hanya menjawab besaran parameter kuat geser tanah setelah adanya cerucuk. Penelitian ini belum mewakili seperti kondisi sebenarnya di lapangan karena menggunakan jenis tanah tertentu, ukuran benda uji yang relatif kecil, serta belum memperhatikan faktor-faktor pengaruh interaksi tanah-cerucuk pada stabilitas lereng di lapangan.

Selain menggunakan model skala laboratorium, perilaku interaksi tanah-cerucuk pada stabilitas lereng juga telah diteliti oleh para peneliti menggunakan skala penuh di lapangan. Lirer (2012) telah melakukan penelitian skala lapangan untuk stabilitas lereng yang diperkuat dengan barisan cerucuk (5 buah tiang berdiameter 0,4m dan panjang 10m). Penelitian ini hanya membahas mengenai hasil pengamatan gerakan longsoran (deformasi) selama 3 tahun setelah diperkuat dengan cerucuk. Hasil penelitian ini belum dapat menjawab perilaku interaksi tanah (lereng)-cerucuk secara lengkap karena belum meninjau pengaruh variasi kedalaman tancap cerucuk, variasi jumlah dan spasi cerucuk, variasi diameter dan kekakuan cerucuk, variasi pola pemasangan cerucuk, serta variasi posisi cerucuk. Penelitian ini juga belum menghasilkan perumusan cerucuk untuk kebutuhan perancangan stabilitas lereng.

Frank dan Pouget (2008) juga telah melakukan penelitian skala lapangan mengenai stabilitas lereng *embankment* jalan dengan perkuatan 1(satu) batang cerucuk. Penelitian ini hanya menganalisa deformasi dan momen lentur yang terjadi pada cerucuk selama 16 tahun. Penelitian ini belum memperhatikan faktor pengaruh variasi kedalaman tancap cerucuk, variasi jumlah dan spasi cerucuk, variasi diameter dan kekakuan cerucuk, variasi pola pemasangan cerucuk, serta variasi posisi cerucuk. Padahal faktor-faktor tersebut yang dapat menjawab secara lengkap perilaku interaksi tanah-cerucuk stabilitas lereng di lapangan. Penelitian ini juga belum menghasilkan perumusan empiris mengenai cerucuk yang memperkuat stabilitas lereng.

Belakangan ini analisis studi perkuatan stabilitas lereng menggunakan tiang (dalam hal ini dapat disebut dengan istilah cerucuk) dengan pemodelan matematis/metode numerik seperti *finite element* maupun *finite difference* telah cukup banyak dilakukan. Ashour dan Ardalan (2012) menganalisis pengaruh kedalaman tancap cerucuk, spasi cerucuk, diameter cerucuk, dan posisi cerucuk terhadap faktor keamanan (SF) stabilitas lereng. Analisis menggunakan model keseimbangan dan bantuan *software* PSSLOPE. Penelitian ini belum menghasilkan perumusan cerucuk untuk perkuatan stabilitas lereng. Hasil analisisnya juga masih belum mewakili perilaku interaksi tanah-cerucuk stabilitas lereng seperti kondisi di lapangan. Masih ada faktor lain yang belum ditinjau dalam analisisnya seperti pengaruh jenis tanah, pengaruh pola pemasangan cerucuk, pengaruh jumlah cerucuk, dan pengaruh variasi arah gaya geser yang bekerja terhadap konfigurasi cerucuk kelompok.

Kourkolis dkk (2012) telah mengevaluasi tahanan geser tanah yang diperlukan untuk meningkatkan angka keamanan stabilitas lereng setelah adanya tiang (cerucuk) dengan menggunakan metode analisis *finite element*. Faktor pengaruh perilaku interaksi tanah-cerucuk yang ditinjau hanya kedalaman tancap dan spasi cerucuk. Sehingga hasil kajian ini juga belum menjawab semua permasalahan interaksi tanah-cerucuk pada stabilitas lereng di lapangan. Selain itu penelitian ini juga belum menghasilkan perumusan mengenai cerucuk.

Lee dkk (1995) telah menggunakan metode *finite element* untuk menentukan pengaruh diameter cerucuk, spasi cerucuk, dan posisi cerucuk terhadap faktor keamanan (SF) stabilitas lereng. Namun untuk pengaruh kedalaman tancap cerucuk tidak ditinjau dalam analisisnya. Dalam analisisnya menggunakan data tanah asumsi jenis tanah lempung medium saja. Penelitian ini belum menghasilkan perumusan cerucuk yang memperkuat stabilitas lereng. Yang dkk (2011) juga telah menunjukkan suatu analisis perilaku tiang (cerucuk) yang memperkuat lereng melalui pemodelan matematis. Parameter interaksi tanah-cerucuk yang ditinjau hanya kedalaman cerucuk, spasi cerucuk, dan jenis tanah. Sehingga permasalahan interaksi tanah-cerucuk dalam stabilitas lereng di

lapangan belum terjawab secara lengkap. Penelitian ini juga belum menghasilkan perumusan cerucuk untuk stabilitas lereng.

Ito dan Matsui (1975) menggunakan pemodelan matematis untuk menganalisis stabilitas lereng yang diperkuat dengan cerucuk. Pemodelan tersebut menghasilkan perumusan gaya lateral yang bekerja pada cerucuk. Perumusan yang dihasilkan berdasarkan pendekatan asumsi tanah berdeformasi plastis disekitar cerucuk. Hasil analisis tersebut belum mendekati secara menyeluruh seperti kondisi yang ada di lapangan, karena perumusan yang dihasilkan hanya berlaku untuk kondisi cerucuk *rigid* dan panjang cerucuk terbatas. Ito dkk (1981) telah melakukan analisis dengan metode keseimbangan batas dan pemodelan matematis mengenai perilaku interaksi tanah-cerucuk untuk stabilitas lereng. Parameter yang dikaji meliputi pengaruh kedalaman cerucuk, pengaruh diameter dan kekakuan cerucuk, dan pengaruh spasi cerucuk terhadap faktor keamanan (SF) stabilitas lereng. Namun dalam analisisnya belum menghasilkan perumusan cerucuk yang relevan untuk stabilitas lereng.

Jeong dkk (2003) dan Won dkk (2005) juga telah melakukan analisis untuk menentukan posisi cerucuk dalam stabilitas lereng yang dapat menghasilkan faktor keamanan (SF) yang maksimal. Analisisnya menggunakan metode *finite element* dan bantuan *software* komputer. Dalam analisisnya belum meninjau pengaruh variasi diameter, pengaruh pola pemasangan cerucuk, dan kedalaman tancap cerucuk, serta pengaruh jenis tanah. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisisnya belum dapat menjawab semua permasalahan perilaku interaksi tanah-cerucuk dalam stabilitas lereng di lapangan. Hasil analisisnya juga belum menghasilkan perumusan mengenai cerucuk untuk stabilitas lereng. Wei dan Cheng (2009) juga telah menunjukkan hasil analisis mengenai pengaruh spasi cerucuk, diameter cerucuk, dan posisi cerucuk terhadap peningkatan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng. Dalam analisisnya belum meninjau faktor pengaruh kedalaman tancap cerucuk, pengaruh pola pemasangan cerucuk, dan pengaruh jumlah cerucuk. Selain itu juga hasil analisis belum menunjukkan perumusan cerucuk dalam memperkuat stabilitas lereng.

Dalam Tabel 1.1 dan 1.2 menunjukkan kegiatan penelitian parameter tanah yang telah dilakukan. Semua pengujian model skala laboratorium, model skala

lapangan, maupun hasil simulasi numerik yang telah dilakukan dan dirangkum dalam Tabel 1.1 dan 1.2 tersebut belum menghasilkan formula empiris yang dapat menjawab permasalahan peningkatan tahanan geser tanah lunak setelah diperkuat cerucuk seperti kondisi di lapangan. Selain itu juga bahwa para peneliti sebelumnya dalam melakukan studi mengenai cerucuk kebanyakan menggunakan cerucuk tunggal atau cerucuk dengan jumlah tertentu (tidak bervariasi) dalam analisa pengujinya. Padahal pada kebanyakan kasus menunjukkan bahwa analisa tiang (cerucuk) tunggal tidak dapat dengan mudah diaplikasikan untuk kondisi tiang (cerucuk) kelompok (Poulus, 1973; Viggiani, 1981).

Kegiatan penelitian laboratorium yang telah dilakukan pada disertasi doktor ini adalah pengujian tahanan geser tanah lunak yang diperkuat dengan cerucuk dengan mendekati karakteristik dan perilaku tanah-cerucuk seperti kondisi di lapangan. Karakteristik dan perilaku tanah-cerucuk akan memperhatikan ukuran box geser yang mencukupi persyaratan sebaran gaya, tingkat konsistensi tanah, jumlah cerucuk (tunggal dan kelompok), panjang dan diameter cerucuk, jarak antar cerucuk, kedalaman pemancangan terhadap permukaan bidang geser (longsor), pola pemasangan cerucuk, posisi cerucuk, dan arah pemberian gaya geser terhadap konfigurasi cerucuk kelompok. Sehingga penelitian mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk berdasarkan pemodelan empiris di laboratorium seperti yang ada dalam disertasi ini belum dilakukan oleh peneliti lain.

Pada Tabel 1.3 ditunjukkan rangkuman usaha kegiatan penelitian yang berhubungan dengan peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk. Kegiatan penelitian yang dilakukan pada disertasi doktor ini adalah pengujian di laboratorium, yaitu penelitian mengenai mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk. Pelaksanaan pengujian geser tanah-cerucuk di laboratorium dengan memperhatikan faktor-faktor yang dapat mewakili perilaku kondisi tanah-cerucuk pada stabilitas lereng seperti kejadian sebenarnya di lapangan. Pengujian geser tanah-cerucuk dengan faktor pengaruh :

1. variasi rasio tancap cerucuk (L/D)

2. variasi jenis tanah (kekuatan geser tanah)
3. variasi diameter (D) cerucuk
4. variasi posisi cerucuk
5. variasi jumlah cerucuk dengan variasi arah gaya geser yang diberikan
6. variasi spasi cerucuk
7. variasi pola pemasangan cerucuk

Tabel 1.1 Kegiatan Penelitian Parameter Tanah Yang Telah Dilakukan

Kondisi Penelitian	Metode Kajian Penelitian	Analisis Interaksi Tanah-Cerucuk	Referensi
Perilaku interaksi tanah dan tiang lateral atau cerucuk	Gaya lateral pada tiang	Analisis momen lentur tiang akibat gaya lateral. Model skala laboratorium menggunakan tangki berisi pasir dan tiang dalam sistem pembebahan	Poulos dkk (1995)
	Tahanan geser (gaya horisontal) yang diterima cerucuk	Analisis gaya geser maksimum yang mampu ditahan cerucuk. Pengujian tahanan geser sistem tanah-cerucuk di laboratorium dengan pengaruh variasi diameter cerucuk dan kekakuan, panjang tancapan, dan jenis tanah	Mochtar dan Arya (2002)
	Defleksi tiang (cerucuk) pada tanah miring (lereng).	Analisis defleksi tiang akibat sudut permukaan tanah. Model skala laboratorium menggunakan sistem pembebahan vertikal pada tangki yang berisi pasir dan cerucuk	Muthukumaran, dkk (2004)
	Karakteristik mekanis tanah-cerucuk	Studi parameter kuat geser tanah akibat adanya cerucuk. Pengujian menggunakan alat direct shear standar. Model skala laboratorium tanah	Liliwarti (2007)

Sambungan Tabel 1.1

Perilaku interaksi tanah dan cerucuk		lempung dan pasir kering yang ditancapi 1(satu) batang cerucuk	
	Deformasi lereng-cerucuk	Studi parameter kuat geser tanah setelah adanya cerucuk. Model skala laboratorium tanah lanau berpasir yang ditancapi 1(satu) batang cerucuk. Pengujian dengan menggunakan alat triaxial.	Damoerin dkk (2012)
	Deformasi lereng-cerucuk	Model skala lapangan lereng tanah lempung yang ditancapi dengan barisan cerucuk (5 tiang berdiameter 0,4m dan panjang 10m). Pengamatan dan pencatatan terhadap deformasi tanah-cerucuk akibat gerakan longsor selama periode waktu 3 tahun	Lirer (2012)
	Pengaruh tiang (cerucuk) terhadap faktor keamanan (SF) stabilitas lereng menggunakan metode keseimbangan batas dan	Model skala lapangan lereng dengan embankment jalan diatasnya. 1(satu) batang cerucuk ditancapkan pada sisi bagian bawah kaki lereng. Pengamatan dan pencatatan deformasi dan momen lentur cerucuk akibat gerakan longsoran selama periode waktu 16 tahun.	Frank dan Pouget (2008)

Sambungan Tabel 1.1

	simulasi numerik.	Analisis pengaruh kedalaman cerucuk dan spasi cerucuk terhadap faktor keamanan stabilitas lereng (SF). Analisis menggunakan metode finite element dan software XTRACT.	Kourkoulis dkk (2011)
		Analisis pengaruh diameter cerucuk, spasi cerucuk, dan posisi cerucuk terhadap faktor keamanan stabilitas lereng (SF). Analisis menggunakan metode finite element.	Lee dkk (1995)
Perilaku interaksi tanah dan cerucuk	Pengaruh tiang (cerucuk) terhadap faktor keamanan (SF) stabilitas lereng menggunakan metode keseimbangan batas dan simulasi numerik.	Analisis pengaruh kedalaman cerucuk, spasi cerucuk, diameter cerucuk, dan posisi cerucuk terhadap faktor keamanan stabilitas lereng (SF). Analisis menggunakan metode finite element dan software FLAC-3D.	Yang dkk (2011)
		Analisis gaya lateral yang bekerja pada tiang (cerucuk). Menghasilkan perumusan cerucuk untuk stabilitas lereng. Perumusan hanya berlaku untuk cerucuk rigid dan panjang terbatas. Analisis menggunakan metode pemodelan matematis.	Ito dan Matsui (1975)
		Analisis pengaruh diameter cerucuk, kekakuan cerucuk, dan spasi cerucuk terhadap faktor keamanan stabilitas lereng (SF). Analisis menggunakan metode keseimbangan batas dan pemodelan matematis	Ito dkk (1981)

Sambungan Tabel 1.1

		<p>Analisis pengaruh posisi cerucuk dan spasi cerucuk terhadap faktor keamanan stabilitas lereng (SF). Analisis menggunakan metode finite element dan software ABAQUS.</p>	Jeong dkk (2003)
		<p>Analisis posisi cerucuk, kekakuan cerucuk, dan spasi cerucuk terhadap faktor keamanan stabilitas lereng (SF). Analisis menggunakan metode finite element dan software FLAC-3D.</p>	Won dkk (2005)
		<p>Analisis pengaruh diameter cerucuk, posisi cerucuk dan spasi cerucuk terhadap faktor keamanan stabilitas lereng (SF). Analisis menggunakan metode finite element dan metode SRM.</p>	Wei dan Cheng (2009)
	Kemampuan cerucuk menahan gaya geser yang terjadi	<p>Analisis penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk. Perumusan cerucuk dihasilkan berdasarkan analisis matematis dari pengembangan teori tiang pancang penahan gaya horizontal oleh NAVFAC DM-7 (1971).</p>	Mochtar (2000)

Tabel 1.2 Matrik Originalitas Penelitian Yang Akan Dilakukan

No.	Referensi	Variasi Perlakuan (Interaksi Tanah-Cerucuk)						Output		Metode Output
		Panjang Tancap	Jenis Tanah	Diameter dst	Posisi	Jumlah dan Arah Gaya Geser	Spasi	Pola Pemasangan	Analisis Pengaruh	
1	Poulus dkk (1995)									Model Laboratorium (Tiang Lateral)
2	Mochtar dan Arya (2002)									Model Laboratorium
3	Muthukumaran dkk (2004)									Model Laboratorium
4	Liliwarti (2007)									Model Laboratorium
5	Damoerin dkk (2012)									Model Laboratorium
6	Lirer (2012)									Model Lapangan (Pengamatan 3 thn)
7	Frank dan Pouget (2008)									Model Lapangan (Pengamatan 16 thn)
8	Ashore dan Ardalan (2012)									Metode Keseimbangan Batas dan bantuan <i>Software Comp.</i>
9	Kourkoulis dkk (2011)									Simulasi Numerik
10	Lee dkk (1995)									Simulasi Numerik
11	Yang dkk (2011)									Simulasi Numerik
12	Ito dan Matsui (1975)									Pemodelan Matematis
13	Ito dkk (1981)									Metode Keseimbangan Batas dan Pemodelan Matematis
14	Jeong dkk (2003)									Simulasi Numerik
15	Won dkk (2005)									Simulasi Numerik
16	Wei dan Cheng (2009)									Simulasi Numerik
17	Mochtar (2000)									Analisis Matematis
18	"Disertasi ini" (2015)									Model Laboratorium

Keterangan : = telah dilakukan peneliti sebelumnya

= dilakukan dalam disertasi ini

Tabel 1.3 Usaha Penelitian Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Akibat Adanya Cerucuk

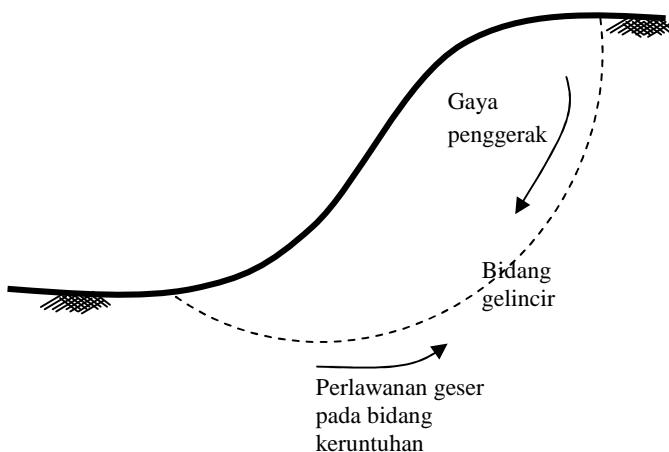
Kondisi Penelitian	Metode Kajian Penelitian	Analisis Interaksi Tanah-Cerucuk	Referensi
Perilaku interaksi tanah-cerucuk	Mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk dan analisis untuk menghasilkan perumusan empiris cerucuk yang lebih mendekati kejadian sebenarnya di lapangan.	<p>Penelitian model skala laboratorium dengan pengujian geser tanah-cerucuk. Pelaksanaan pengujian memperhatikan faktor-faktor yang dapat mewakili perilaku kondisi tanah-cerucuk seperti kejadian sebenarnya di lapangan. Pengujian geser tanah-cerucuk dengan faktor pengaruh :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. variasi panjang tancap cerucuk 2. variasi jenis tanah 3. variasi diameter dan kekakuan cerucuk 4. variasi posisi cerucuk 5. variasi jumlah cerucuk 6. variasi spasi cerucuk 7. variasi arah gaya geser terhadap konfigurasi cerucuk. 	<p>Belum ada publikasi penelitian.</p> <p>Akan dilakukan dalam kegiatan penelitian pada proposal disertasi ini</p>
		Penelitian model skala lapangan dengan pengujian geser tanah-cerucuk. Pelaksanaan pengujian memperhatikan faktor-faktor yang dapat mewakili perilaku kondisi tanah-cerucuk seperti kejadian sebenarnya di lapangan.	Belum ada publikasi penelitian.
	Mekanisme peningkatan daya dukung timbunan jalan yang diperkuat dengan cerucuk	Penelitian model skala lapangan dengan memperhatikan pengaruh : variasi panjang tancap cerucuk, variasi konfigurasi cerucuk kelompok, dan variasi jumlah dan spasi cerucuk.	<p>Belum ada publikasi penelitian.</p> <p>Sedang dilakukan oleh mahasiswa doktor di perguruan tinggi lain.</p>

BAB II

LANDASAN TEORI DAN STUDI PUSTAKA

2.1 Kemantapan Lereng dan Analisis Stabilitas Lereng

Ketidak-mantapan lereng umumnya disebabkan oleh adanya gaya penggerak. Gaya tersebut berasal dari berat tanah itu sendiri dan gaya penahan yang berasal dari kuat geser tanah, sedangkan gaya luar biasanya tidak ada. Analisa awal sangat dibutuhkan untuk menentukan kepastian pola keruntuhan yang akan terjadi. Pada lereng yang didominasi dengan tanah seragam, keruntuhan umumnya terjadi pada bidang yang mendekati busur lingkaran, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Mekanisme keruntuhan pada lereng

Analisis awal umumnya dilakukan dengan meninjau momen keseimbangan massa tanah pada lingkaran tersebut, yang dianggap sebagai bidang keruntuhan (bidang gelincir). Analisis ini akan menentukan tegangan geser yang bekerja pada bidang ini. Pada bidang keruntuhan tersebut juga dapat menentukan kuat geser tanah maksimum berdasarkan parameter kuat geser tanah. Dalam setiap kasus, tanah yang tidak datar akan menghasilkan komponen gravitasi dari berat yang

cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Ketidak-mantapan (keruntuhan) akan terjadi jika tegangan geser melebihi kekuatan yang tersedia.

Bilamana terjadi kelongsoran pada bidang gelincir suatu lereng, maka hal itu berarti kekuatan geser tanah telah dilampaui yaitu perlawanan pada bidang gelincir tidak cukup besar untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada bidang tersebut. Hal ini merupakan kondisi ketidak-mantapan lereng. Kemantapan lereng dinyatakan dengan istilah faktor keamanan (SF) ditentukan sebagai berikut :

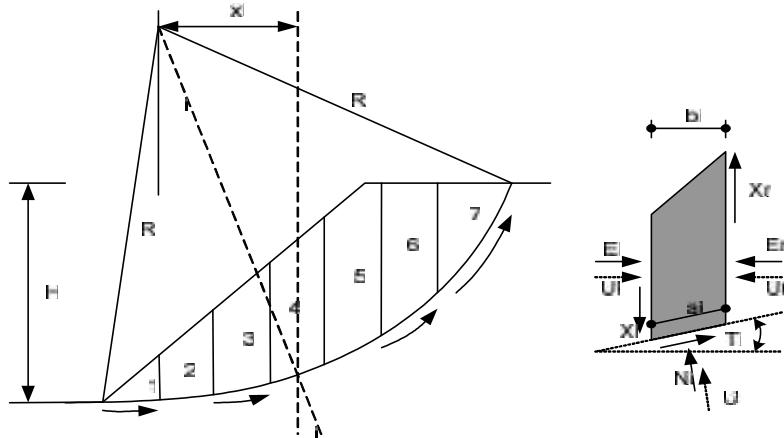
$$SF = \frac{\tau \text{ yang tersedia untuk menahan gelincir / longsoran}}{\tau \text{ yang menggerakkan / membuat jadi longsor}}$$

dengan τ adalah kuat geser tanah

Salah satu metode pendekatan yang dapat dilakukan dalam analisa stabilitas lereng adalah metode irisan. Cara perhitungan dengan metode ini diawali dengan terlebih dahulu membuat irisan atau pias untuk lereng yang ditinjau. Analisis dengan cara ini dapat digunakan untuk lereng tanah yang homogen maupun lereng tanah nonhomogen, dengan adanya permukaan air atau tanpa permukaan air tanah. Dalam Gambar 2.2 ditunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada lereng dengan menggunakan metode irisan.

Pada metode irisan, massa tanah pada lereng dibagi menjadi beberapa pias atau irisan. Tiap-tiap pias atau irisan memberikan kestabilan terhadap lereng. Bentuk kelongsoran yang terjadi pada lereng didekati dengan pola berbentuk lingkaran dengan pusat longsoran di titik O. Sehingga untuk pusat lingkaran O yang berada diatas lereng, terdapat pias tanah yang menambah kestabilan lereng, dan terdapat massa tanah yang melongsorkan lereng. Massa tanah pada lereng tersebut dibagi dalam beberapa irisan. Keseimbangan tiap irisan ditentukan oleh gaya-gaya yang bekerja pada irisan itu. Gaya-gaya itu adalah gaya geser (X_r dan X_l), gaya normal efektif (E_r dan E_l), resultan gaya geser efektif (T_i), dan resultan

gaya normal efektif (N_i). Pada irisan juga bekerja tekanan air pori di kedua sisi (U_r dan U_l) dan dari bawah irisan (U_b).



Gambar 2.2 Gaya-gaya yang bekerja pada lereng dengan metode irisan (Das, 1999)

Fellinius (1927) dan Bishop (1955) telah mengembangkan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng berdasarkan metode irisan. Faktor keamanan menurut Fellinius (1927) ditunjukkan dalam Persamaan 2.1, sedangkan faktor keamanan menurut Bishop (1955) ditunjukkan dalam Persamaan 2.2.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c \cdot a_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i \cdot a_i) \cdot \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin \theta_i} \quad (2.1)$$

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i \cdot (1 + \tan \theta_i \cdot \tan \phi' / SF)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin \theta_i} \quad (2.2)$$

Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 menyatakan bahwa keamanan lereng terhadap bahaya longsoran sangat tergantung pada nilai kohesi tanah (c'), berat

massa tanah yang akan longsor (W_i) , sudur gesek dalam tanah (ϕ), dan tekanan air pori yang ada dalam lereng tersebut (u_i). Dalam hal ini tekanan air pori akan berupa tekanan air dalam tanah pada lereng.

2.2 Kekuatan Geser Tanah

Dalam menganalisa masalah stabilitas tanah seperti daya dukung stabilitas lereng dan tekanan tanah kesamping pada lereng maupun dinding penahan tanah, terlebih dahulu harus diketahui karakteristik kemampuan internal tanah persatuan luasan. Hal ini yang disebut dengan kekuatan geser dalam suatu massa tanah. Besarnya kekuatan geser tanah yang dimiliki tanah akan dapat menahan dari pergeseran atau kelongsoran yang terjadi disepanjang bidang longsor.

Kekuatan geser dalam suatu massa tanah ditentukan berdasarkan teori tentang kekuatan geser tanah oleh Mohr (1900). Dalam teorinya, Mohr (1900) meninjau teori keruntuhan suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Hal ini dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.3 yang menyatakan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada suatu bidang kelongsoran.

$$= f(\) \quad (2.3)$$

dimana τ adalah tegangan geser dan σ adalah tegangan normal pada bidang longsor (runtuh). Apabila garis kelongsoran dibentuk berdasarkan Persamaan 2.3 maka akan menghasilkan bentuk garis yang lengkung. Dengan meninjau sebagian besar permasalahan mekanika tanah dimana tegangan geser pada bidang runtuh merupakan garis lurus dari tegangan normal, maka Coulumb (1776) menyempurnakan Persamaan 2.3 menjadi Persamaan 2.4 dibawah ini. Dalam Persamaan 2.4 menyatakan bahwa sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linier antara tegangan normal dan tegangan geser.

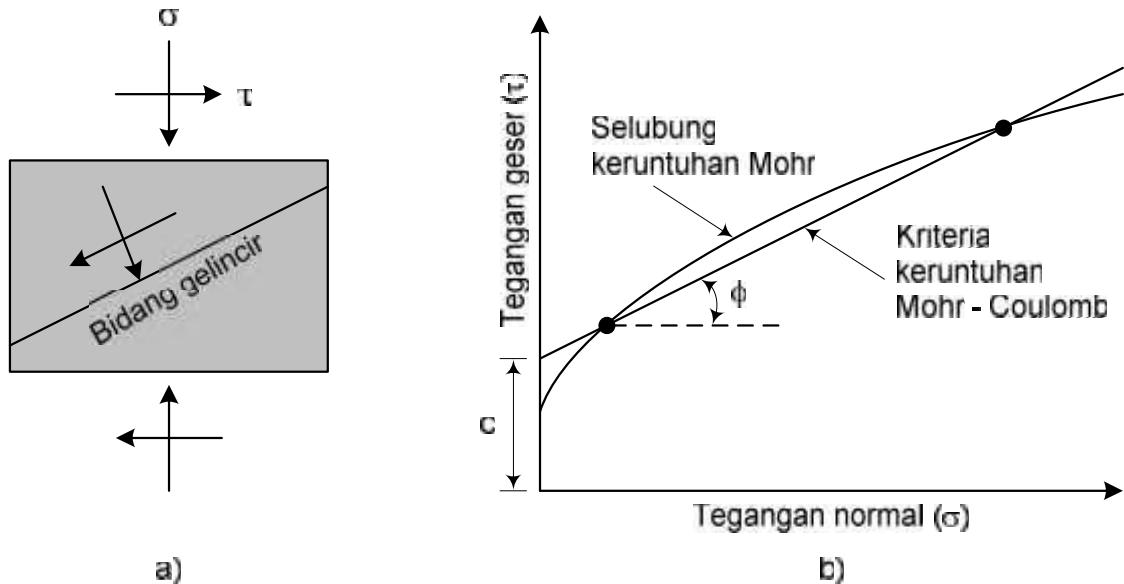
$$\tau = f(\sigma) = c + \sigma \tan \phi \quad (2.4)$$

dengan :

c = kohesi tanah

= sudut geser dalam tanah.

Hubungan fungsional yang dijelaskan dalam Persamaan 2.4 disebut juga sebagai kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb. Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4 dapat dinyatakan kedalam bentuk grafis yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Selubung keruntuhan Mohr dan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb

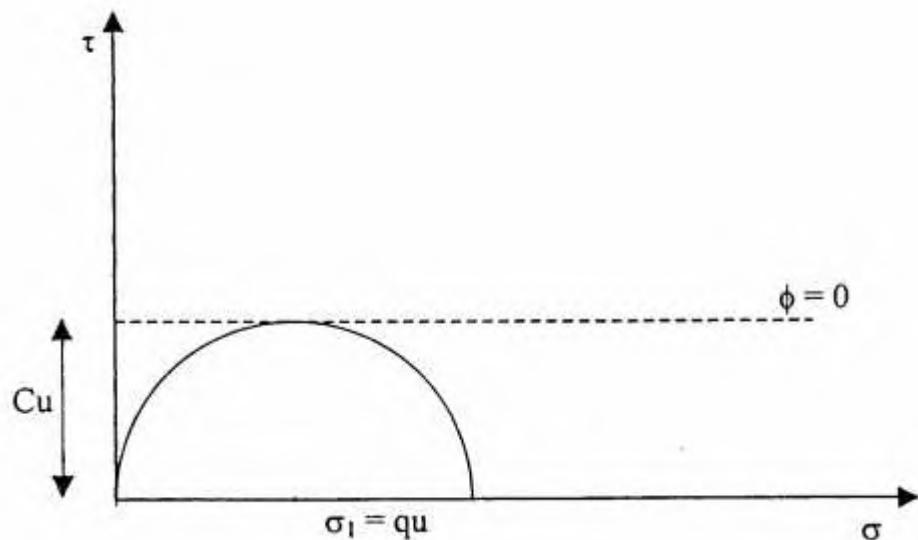
Dalam kondisi tanah jenuh, Persamaan 2.4 dapat ditulis menjadi :

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \phi = c + \sigma \tan \phi \quad (2.5)$$

Pada tanah kohesif dan mengalami kondisi *undrained* dimana $u = 0$ maka persamaan Mohr-Coulumb menjadi $\tau = Cu$. Dimana Cu adalah kekuatan geser tak teralirkkan (undrained shear strength). Untuk mencari harga Cu di laboratorium dapat dilakukan dengan melakukan uji triaxial, uji tekanan tak tersekap, atau

dengan uji geser langsung (*direct shear*). Pada uji tekanan tak tersekap dan geser langsung, pengujian dilakukan dengan relatif cepat sampai mencapai keruntuhan, untuk menjamin kondisi tanah dalam keadaan undrained. Pada Gambar 2.4 memperlihatkan tegangan aksial maksimum yang dihasilkan dari uji tekanan tak tersekap, dimana q_u adalah kekuatan tanah kondisi tak tersekap yang nilainya sama dengan tegangan total utama besar (1), sedangkan tegangan total utama kecil (3) adalah sama dengan nol. Hal ini menghasilkan Persamaan 2.6 dibawah ini.

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = C_u \quad (2.6)$$



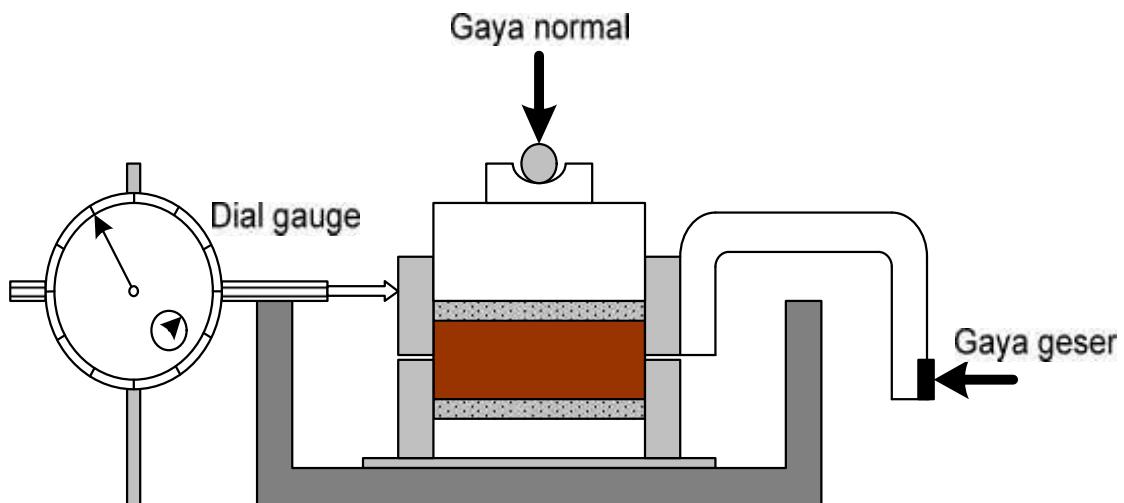
Gambar 2.4 Hasil uji tekanan tak tersekap

2.3 Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Kekuatan geser tanah dapat ditentukan baik di lapangan maupun di laboratorium. Pengujian kuat geser tanah di lapangan dapat dilakukan dengan

menggunakan diantaranya adalah kipas geser (*Vane Shear Test*), sedangkan pengujian kekuatan geser tanah di laboratorium adalah uji geser langsung (*Direct Shear Test*) dan uji triaksial (*Triaxial Test*). Dalam pembahasan ini hanya ditinjau pengujian kekuatan geser tanah menggunakan uji geser langsung.

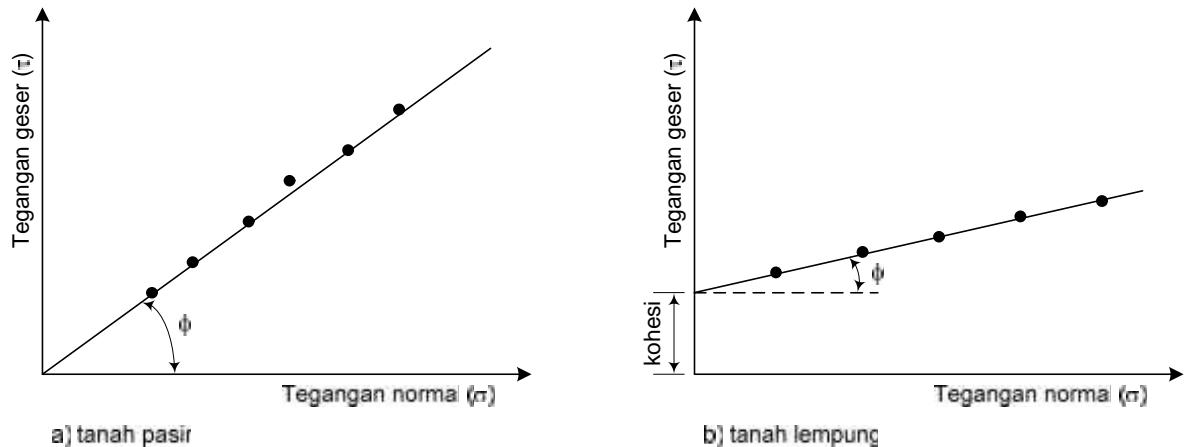
Bagian alat yang paling penting untuk mengukur kekuatan geser tanah pada alat uji geser langsung (*direct shear test*) adalah kotak geser (*box geser*). Alat ini ditunjukkan dalam Gambar 2.5. Benda uji tanah berukuran luas antara 3 sampai 4 inch² dan tinggi 1 inch dimasukkan kedalam kotak geser yang terdiri dari belahan atas dan belahan bawah.



Gambar 2.5 Skema pengujian *Direct Shear Test*

Selama pengujian, air dapat keluar atau masuk dari benda uji tanah melalui batu pori yang diletakkan di atas dan di bawah benda uji. Tegangan normal (vertikal) diberikan pada benda uji melalui pemberian beban dengan sistem gantungan. Gaya geser berupa gaya horisontal diberikan pada bagian atas kotak geser. Sementara bagian bawahnya tetap diam. Gaya horisontal diberikan dalam kecepatan deformasi yang tetap. Pengamatan dan pengukuran dilakukan terhadap deformasi dan gaya yang terjadi.

Pengujian geser langsung dilakukan pada tegangan normal yang berbeda-beda. Serangkaian pengujian tersebut menghasilkan masing-masing data yang kemudian diplot kedalam bentuk grafik (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Tipikal hasil uji geser langsung

Tegangan geser yang bekerja pada bidang geser adalah gaya geser dibagi dengan luas penampang tanah. Sedangkan tegangan normal adalah gaya normal dibagi luas penampang tanah. Tegangan normal dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7. Sedangkan tegangan geser yang terjadi untuk setiap pergeseran dihitung menggunakan Persamaan 2.8.

$$\sigma = \frac{\text{gaya normal}}{\text{luas penampang benda uji}} \quad (2.7)$$

$$\tau = \frac{\text{gaya geser}}{\text{luas penampang benda uji}} \quad (2.8)$$

2.4 Perkembangan Teori mengenai Cerucuk

2.4.1 Gaya Cerucuk Penahan Gaya Geser Longsoran Lereng

Teori Mochtar (2000) dan Teori Mochtar dan Arya (2002) Berdasarkan NAVFAC DM-7

NAVFAC DM-7 merupakan pedoman yang berasal dari Amerika untuk dapat digunakan dalam mendesain pada bidang geoteknik, seperti mendesain pondasi dalam, dinding penahan tanah, dan lain-lain. Dalam pedoman tersebut pada sub bahasan tiang pondasi yang menerima gaya lateral terdapat 3 kasus kondisi tiang lateral (lihat Gambar 2.7), yaitu :

- 1. Kasus 1**

Kondisi dimana tiang pondasi dengan *flexible cap* atau perletakan engsel. Dimana gaya horisontal dan momen yang bekerja terletak pada bagian kepala tiang dan dalam kondisi bebas berotasi.

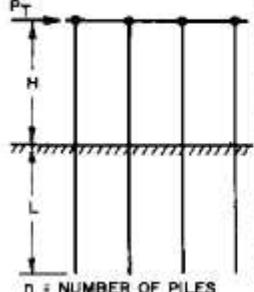
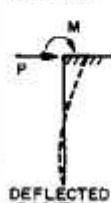
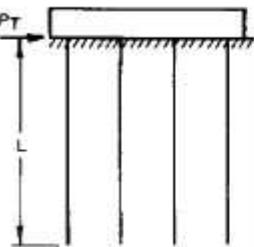
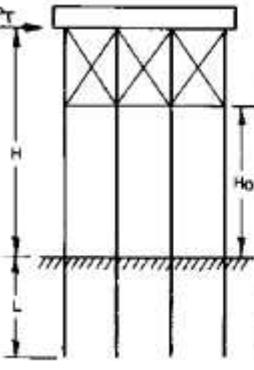
- 2. Kasus 2**

Kondisi dimana tiang pondasi dengan *rigid cap* dapat melawan gaya yang berotasi dipermukaan. Gaya horizontal bekerja pada kepala tiang.

- 3. Kasus 3**

Kondisi dimana tiang pondasi dengan *rigid cap* yang memiliki ketinggian diatas permukaan tanah. Gaya yang berotasi dari tiang tergantung dengan pengaruh dari struktur atas dan kemampuan dibawah permukaan tanah.

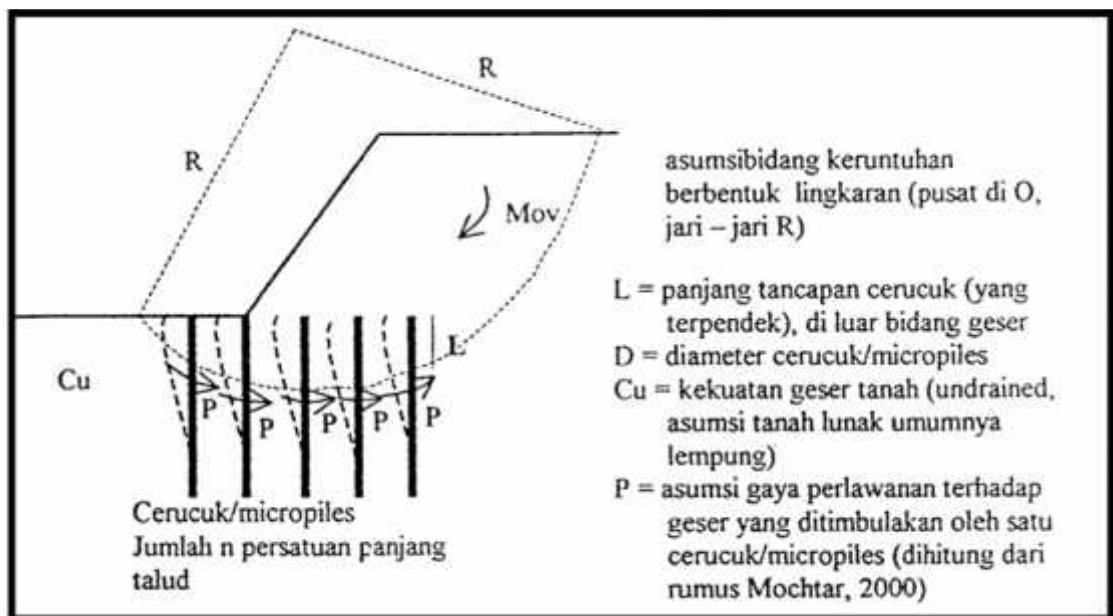
Mochtar (2000) telah mengembangkan teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk. Teori ini berdasarkan pada teori tiang pancang penahan gaya horisontal oleh NAVFAC DM-7 (1971) khusu pada kondisi kasus 2 diatas. Pada teori tersebut daya dukung geser tiang pancang terhadap gaya lateral pada suatu tanah dipengaruhi oleh : kekakuan dan kekuatan lentur dari tiang pancang tersebut, panjang penetrasi tiang yang masuk pada tanah diukur dari permukaan tanah, kekuatan geser tanahnya sendiri, dan jumlah tiang pancang. Berdasarkan teori tiang pancang ini Mochtar (2000) mengembangkan teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk.

CASE I. FLEXIBLE CAP, ELEVATED POSITION		
CONDITION	LOAD AT GROUND LINE	DESIGN PROCEDURE
	FOR EACH PILE: $P = \frac{P_T}{n}$ $M = PH$ 	FOR DEFINITION OF PARAMETERS SEE FIGURE 12 1. COMPUTE RELATIVE STIFFNESS FACTOR. $T = (\frac{EI}{L})^{1/3}$ 2. SELECT CURVE FOR PROPER $\frac{L}{H}$ IN FIGURE 11. 3. OBTAIN COEFFICIENTS F_B , F_M , F_V AT DEPTHS DESIRED. 4. COMPUTE DEFLECTION, MOMENT AND SHEAR AT DESIRED DEPTHS USING FORMULAS OF FIGURE 11. NOTE: "f" VALUES FROM FIGURE 9 AND CONVERT TO LB/IN ³ .
CASE II. PILES WITH RIGID CAP AT GROUND SURFACE		
		1. PROCEED AS IN STEP 1, CASE I. 2. COMPUTE DEFLECTION AND MOMENT AT DESIRED DEPTHS USING COEFFICIENTS F_B , F_M AND FORMULAS OF FIGURE 12. 3. MAXIMUM SHEAR OCCURS AT TOP OF PILE AND EQUALS $P = \frac{P_T}{n}$ IN EACH PILE.
CASE III. RIGID CAP, ELEVATED POSITION		
	DEFLECTED POSITION 	1. ASSUME A HINGE AT POINT A WITH A BALANCING MOMENT M APPLIED AT POINT A. 2. COMPUTE SLOPE θ_2 ABOVE GROUND AS A FUNCTION OF M FROM CHARACTERISTICS OF SUPERSTRUCTURE. 3. COMPUTE SLOPE θ_1 FROM SLOPE COEFFICIENTS OF FIGURE 13 AS FOLLOWS: $\theta_1 = F_B \left(\frac{P_T^2}{EI} \right) + F_B \left(\frac{MT}{EI} \right)$ 4. EQUATE $\theta_1 = \theta_2$ AND SOLVE FOR VALUE OF M . 5. KNOWING VALUES OF P AND M , SOLVE FOR DEFLECTION, SHEAR, AND MOMENT AS IN CASE I. NOTE: IF GROUND SURFACE AT PILE LOCATION IS INCLINED, LOAD P TAKEN BY EACH PILE IS PROPORTIONAL TO I/H_0^3 .

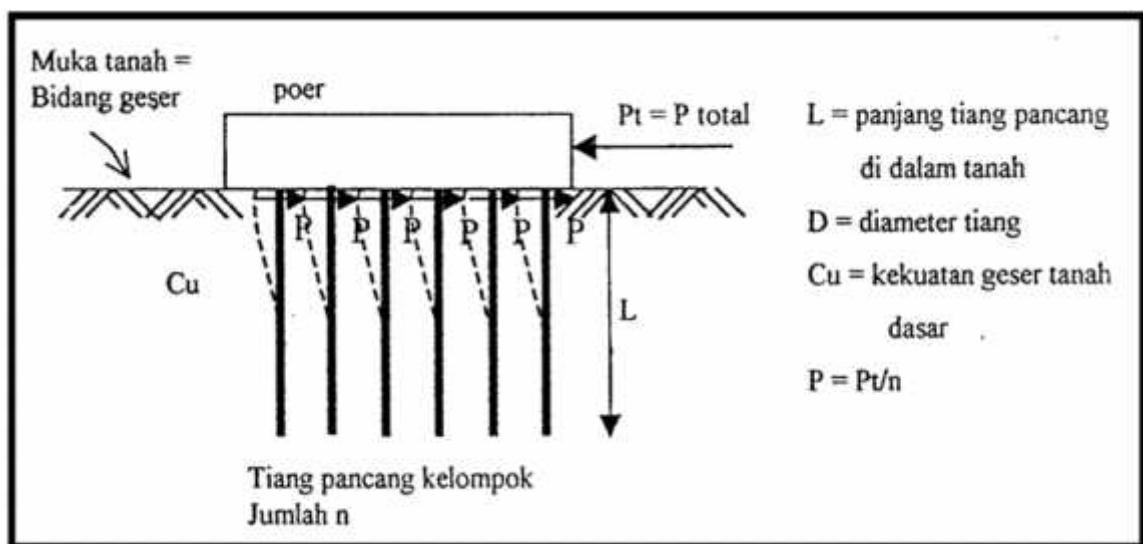
Gambar 2.7 Prosedur desain untuk tiang yang menerima beban lateral

Dalam Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 asumsi-asumsi yang digunakan dalam teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk oleh Mochtar (2000) adalah sebagai berikut :

1. Kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang dengan *rigid cap* di muka tanah yang menerima gaya horisontal.
2. Gaya horisontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang gelincir.



Gambar 2.8. Asumsi kedudukan cerucuk/micropiles sebagai penahan terhadap keruntuhan geser di lapangan

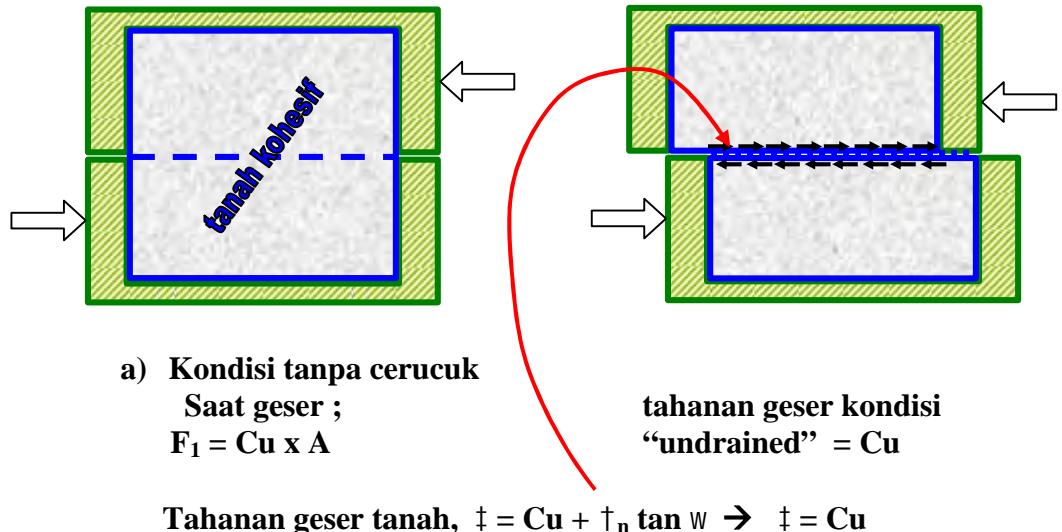


Gambar 2.9. Asumsi tiang pancang kelompok menahan gaya lateral yang digunakan sebagai dasar mencari tahanan geser cerucuk (Mochtar 2000, dari NAVFAC DM-7, 1971)

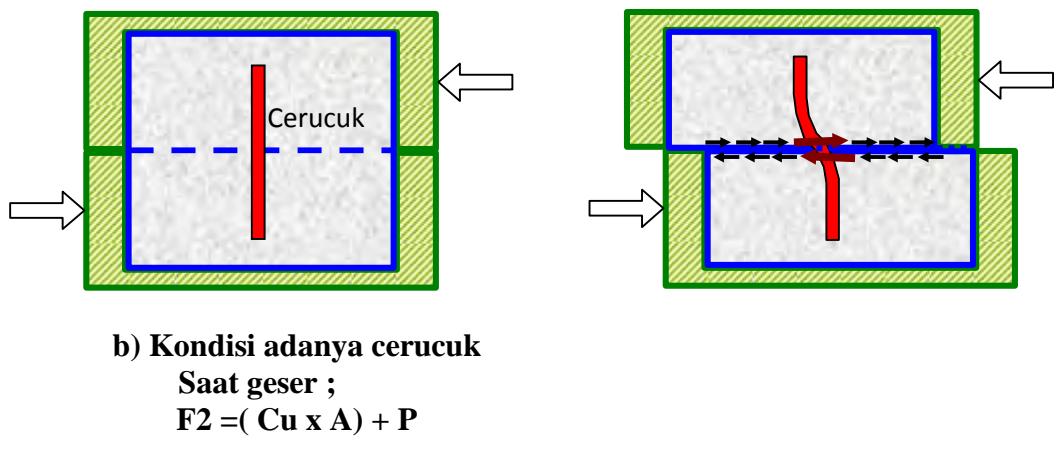
Cerucuk digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan tahanan geser tanah. Apabila komponen tahanan tanah terhadap geser meningkat maka daya dukung tanah juga menjadi meningkat. Cerucuk dapat berfungsi menahan gaya geser lebih besar dibandingkan dengan tanah. Dalam Gambar 2.10 menjelaskan

bahwa dengan adanya cerucuk pada tanah maka kekuatan geser tanah menjadi meningkat dibandingkan pada kondisi tanpa cerucuk.

TANAH LEMPUNG / TANAH KOHESIF ($C_u = C_u$, $w = 0^\circ$)



(a)



Gambar 2.10 Sketsa peningkatan kekuatan geser tanah akibat pemasangan cerucuk

- (a) Kondisi tanpa cerucuk
- (b) Kondisi adanya cerucuk

Dalam teori Mochtar (2000) untuk menghitung kebutuhan cerucuk per meter, terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1(satu) cerucuk untuk menahan gaya horisontal. Pada Persamaan 2.9 menunjukkan gaya horisontal (P) yang mampu ditahan oleh 1(satu) tiang. Dalam persamaan tersebut, gaya horisontal (P) adalah merupakan fungsi perbandingan dari momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P (Mp) dengan koefisien momen akibat gaya lateral P (Fm) dan faktor kekakuan relatif (T).

$$P = \frac{Mp}{F_M \times T} \quad (2.9)$$

dengan :

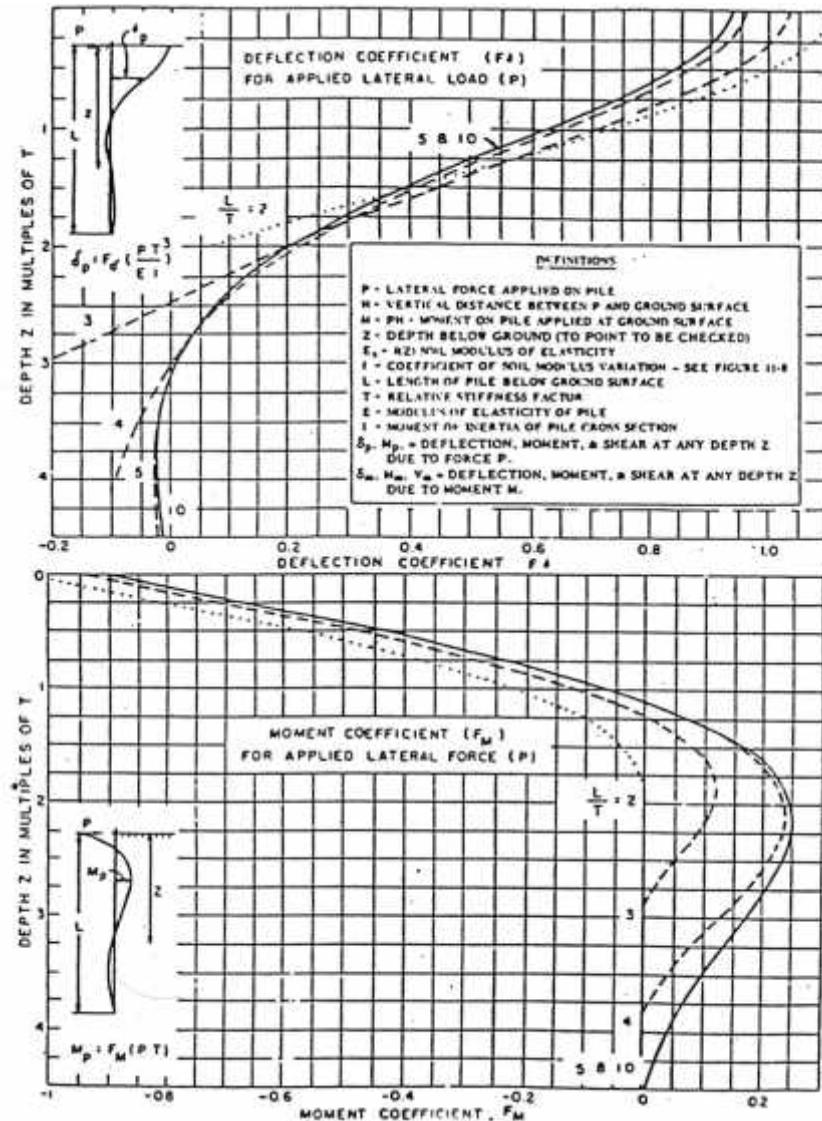
M_p = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban P, kg-cm

F_M = koefisien momen akibat gaya lateral P

P = gaya horisontal yang diterima cerucuk, kg

T = faktor kekakuan relatif, cm

Momen lentur yang bekerja pada cerucuk (M_p) ditentukan dengan terlebih dahulu mengetahui kekuatan bahan cerucuk (σ_{max} bahan) dan dimensi cerucuk. Persamaan momen lentur yang bekerja pada cerucuk ditunjukkan dalam Persamaan 2.10. Sedangkan koefisien momen akibat gaya lateral P (Fm) dapat ditentukan dengan menggunakan *chart* pada Gambar 2.10 (dari *design manual*, NAVFAC DM-7 1971). Variabel yang diperlukan pada *chart* tersebut adalah panjang cerucuk yang tertahan dibawah bidang gelincir (L) pada lingkaran kelongsoran lereng dan faktor kekakuan relatif (T).



Gambar 2.10 Grafik untuk mencari besarnya F_M (Sumber : NAVFAC DM-7, 1971)

Momen lentur yang bekerja pada cerucuk (M_p) :

$$M_{p_{\max}} \text{ lcerucuk} = \frac{\text{t}_{\max} \text{ bahan} \times \text{In}}{C} \quad (2.10)$$

Atau :

$$MP_{\max} I_{cerucuk} = \frac{f_{\max}}{C} \cdot w \quad (2.11)$$

dengan :

f_{\max} = Tegangan tarik/tekan maksimum dari bahan cerucuk.
 I_n = Momen inersia penampang cerucuk terhadap garis yang melewati penampang.

$C = \frac{1}{2} D$, D = diameter cerucuk.

$w = \frac{In}{C}$

Selain itu variabel faktor kekakuan relatif (T) juga ditentukan terlebih dahulu dan ditunjukkan dalam Persamaan 2.12 seperti yang telah dijelaskan dalam NAVFAC DM-7, 1971.

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.12)$$

dengan:

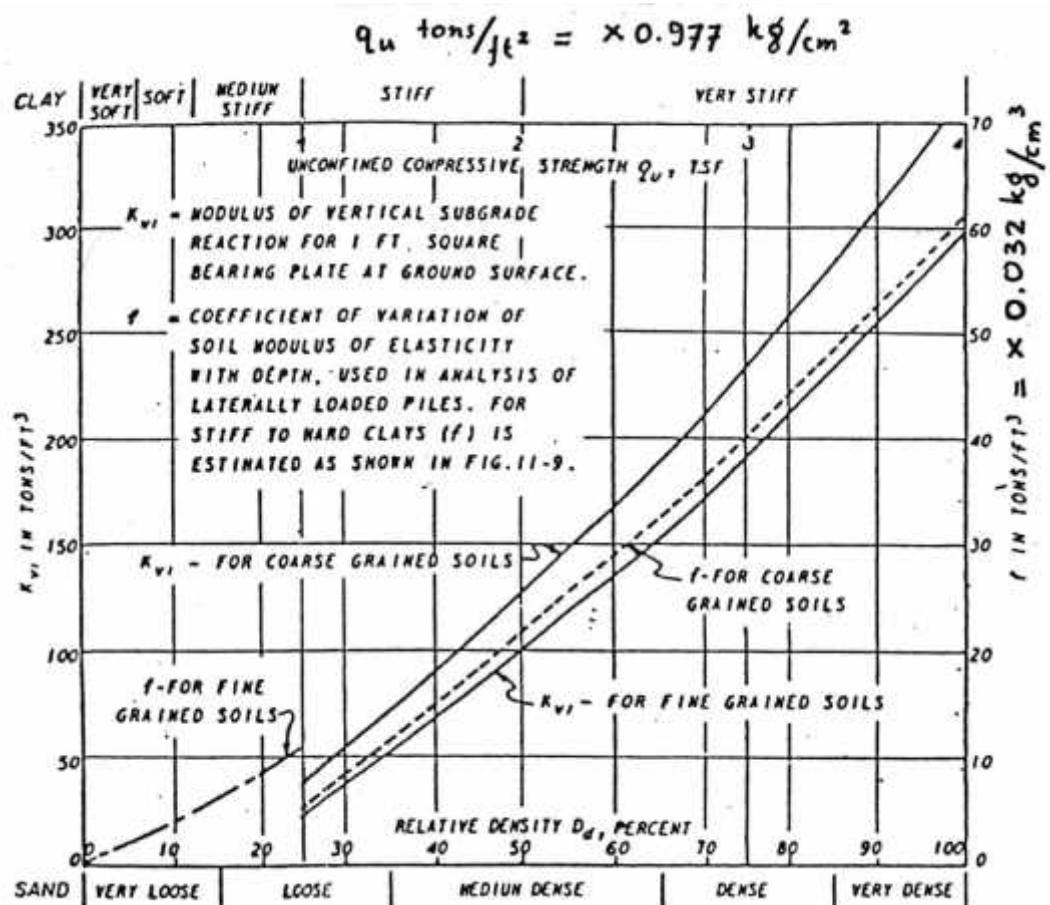
E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm^2

I = momen inersia tiang (cerucuk), cm^4

F = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm^3

T = faktor kekakuan relatif, cm

Dalam Persamaan 2.12 terdapat variabel f (koefisien dari variasi modulus tanah) yang ditentukan menggunakan kurva yang dijelaskan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Mencari Harga f untuk berbagai jenis tanah.

Jadi

$$P_{\max} \text{ 1 cerucuk} = \frac{M p_{\max} \text{ 1cerucuk}}{F_M x T} \quad (2.13)$$

Persamaan 2.13 diatas adalah untuk menentukan kekuatan 1(satu) buah cerucuk untuk menahan gaya horisontal oleh Mochtar (2000). Persamaan tersebut kemudian dikembangkan oleh Mochtar dan Arya (2002). Mochtar dan Arya (2002) telah menambahkan faktor koreksi yang mempertimbangkan pengaruh

jenis tanah, kedalaman tancap cerucuk, diameter cerucuk, dan jumlah cerucuk. Sehingga Persamaan 2.13 menjadi :

$$P_{\max(1 \text{ cerucuk})} = \frac{Mp_{\max(1 \text{ cerucuk})}}{fm.T} \times Fk \quad (2.14)$$

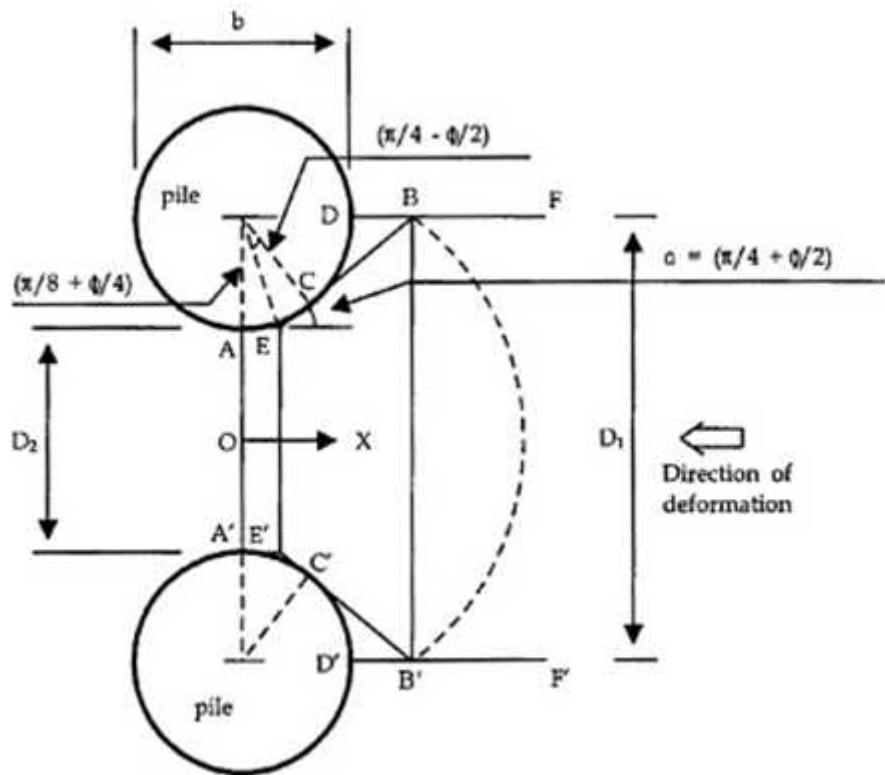
Dimana :

$$Fk = 2,643 \left[\frac{0,89 + 0,12L/D}{2,69} \right] \left[\frac{0,855Cu^{-0,392}}{2,865} \right]$$

Teori Ito dan Matsui (1975) dan Teori Ito dkk (1979, 1982)

Teori gaya lateral tiang (cerucuk) telah dikembangkan oleh Ito dan Matsui (1975) dan Ito dkk (1979, 1982) dengan menggunakan pemodelan matematis. Teori tersebut berdasarkan analisis posisi tiang (cerucuk) yang berada dalam tanah yang mengalami deformasi plastis seperti pergerakan longsoran tanah. Dalam analisisnya menyatakan bahwa mekanisme gaya lateral pada cerucuk yang berfungsi sebagai perkuatan merupakan deformasi plastis sehingga gaya lateral pada cerucuk dapat diestimasi dengan teori deformasi plastis.

Gaya lateral yang bekerja pada cerucuk merupakan fungsi dari pergerakan longsoran massa tanah. Gaya lateral akan bernilai nol pada kondisi batas tidak ada pergerakan, dan akan bernilai ekstrim pada kondisi batas ultimit. Ito dan Matsui (1975) telah menunjukkan dengan mengestimasi nilai dari gaya lateral diantara dua batas ekstrim diatas. Kondisi analisis dinyatakan bahwa tidak ada pengurangan tahanan geser sepanjang bidang gelincir selama terjadi pergerakan longsoran. Kondisi ini mengasumsikan kondisi keseimbangan plastis yang memenuhi kriteria Mohr-Coulumb terjadi disekitar cerucuk. Sedangkan kondisi keseimbangan lereng tidak diperhitungkan dalam mengestimasi gaya lateral yang terjadi pada cerucuk. Pendekatan ini mengasumsikan tanah berdeformasi plastis disekitar cerucuk. Dalam Gambar 2.12 dijelaskan asumsi berdasarkan teori deformasi plastis.



Gambar 2.12 Deformasi plastis pada tanah disekitar tiang (Ito dan Matsui, 1975)

Dalam Gambar 2.12 dinyatakan sebagai berikut :

1. Ketika lapisan tanah berdeformasi, dua bidang runtuh, AEB dan A'E'B', membentuk sudut $[(\pi/4) + (\phi/2)]$ dengan axis-x.
2. Tanah dalam kondisi keseimbangan plastik hanya dalam daerah AEBB'E'A' dimana kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb berlaku.
3. Tekanan tanah aktif bekerja pada garis AA'.
4. Kondisi *plane strain* terjadi sesuai dengan kedalaman.
5. Tiang adalah kaku.
6. Gaya gesek pada permukaan AEB dan A'E'B' diabaikan ketika distribusi tegangan pada tanah diperhitungkan.

Kondisi tegangan dalam daerah EBB'E' dan AEE'A' dapat dihitung dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb pada kondisi deformasi plastis. Gaya lateral per satuan tebal lapisan yang bekerja pada tiang, P ditunjukkan dalam Persamaan

2.15. Persamaan ini ditentukan melalui pemodelan matematis dan hanya berlaku pada kondisi cerucuk rigid dan panjang cerucuk terbatas.

$$\begin{aligned}
 p(z) = & c D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1)} \left[\frac{1}{N_\phi \tan \phi} \left\{ \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \tan \phi \right. \right. \right. \\
 & \times \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \left. \left. \left. - 2 N_\phi^{1/2} \tan \phi - 1 \right\} + \frac{2 \tan \phi + 2 N_\phi^{1/2} + N_\phi^{-1/2}}{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} \right] \\
 & - c \left\{ D_1 \frac{2 \tan \phi + 2 N_\phi^{1/2} - N_\phi^{-1/2}}{N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1} - 2 D_1 N_\phi^{-1/2} \right\} + \frac{\gamma z}{N_\phi} \left\{ D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(N_\phi^{1/2} \tan \phi + N_\phi - 1)} \right. \\
 & \left. \times \exp \left(\frac{D_1 - D_2}{D_2} N_\phi \tan \phi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\phi}{4} \right) \right) - D_1 \right\}
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

dengan :

C = kohesi

D₁ = jarak antara dua tiang tiang dari pusat lingkaran

D₂ = jarak antara dua tiang dari lingkaran luar

= sudut gesek dalam tanah

= berat volume tanah

z = kedalaman dari permukaan tanah

N = $\tan^2(\phi/4 + \pi/2)$

2.4.2 Parameter yang Mempengaruhi Faktor Keamanan (SF) Stabilitas Lereng yang diperkuat dengan Cerucuk

Ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi interaksi lereng-cerucuk di lapangan. Parameter-parameter tersebut adalah : 1) pengaruh panjang atau kedalaman cerucuk, 2) pengaruh jenis tanah, 3) pengaruh diameter dan kekakuan cerucuk, 4) pengaruh posisi cerucuk, 5) pengaruh jumlah cerucuk, 6) pengaruh spasi cerucuk, dan 7) pengaruh konfigurasi cerucuk kelompok terhadap arah gaya geser yang bekerja.

Belakangan ini beberapa peneliti telah melakukan analisis terhadap sebagian parameter tersebut dengan menggunakan metode simulasi numerik (*finite element, finite difference, dll*) dan metode analisis keseimbangan batas.

Berikut diuraikan hasil kajian para peneliti mengenai hal itu, diantaranya Ashour dan Ardalan (2012) telah melakukan kajian analisis mengenai stabilisasi lereng dengan tiang (dalam hal ini dapat disebut sebagai cerucuk) berdasarkan model keseimbangan interaksi tanah-cerucuk.

Dalam kajian analisisnya, Ashour dan Ardalan (2012) menggunakan bantuan bahasa pemrograman PSSLOPE yang merupakan kombinasi bahasa fortran dan visual basic. Parameter tanah yang digunakan merupakan data asumsi jenis tanah lempung berkualitas baik, tanah pasir, dan batu.

Hasil kajian menunjukkan bahwa kedalaman cerucuk pada sistem lereng yang diperkuat cerucuk harus tertanam pada tanah yang stabil dibawah permukaan bidang gelincir. Hal ini karena dapat memperkecil deformasi yang terjadi pada cerucuk. Apabila jenis tanah yang berada diatas permukaan bidang gelincir tergolong tanah yang tidak menguntungkan (jelek) maka akan menghasilkan tekanan yang besar terhadap cerucuk.

Ashore dan Ardalan (2012) juga menyatakan bahwa pada spasi (jarak) cerucuk tertentu, semakin besar diameter cerucuk yang digunakan maka semakin meningkatkan faktor keamanan (SF). Namun pada rasio antara panjang cerucuk diatas permukaan bidang longsor dan diameter cerucuk yang kecil justru dapat memperkecil SF dengan semakin besarnya diameter cerucuk yang digunakan. Selain itu dari kajian menunjukkan bahwa lokasi cerucuk yang tepat berada ditengah lereng (diantara sisi kaki lereng dan atas/kepala lereng) dapat menghasilkan SF yang maksimum. Sedangkan terkait dengan spasi (jarak) cerucuk, bahwa spasi cerucuk yang meningkat akan menurunkan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng.

Kourkoulis dkk (2011) telah melakukan analisis pemodelan lereng-cerucuk menggunakan metode *finite element* dan bantuan *software* XTRACT. Asumsi jenis tanah yang digunakan adalah jenis tanah pasir kelanauan dan batuan lunak.

Dalam hasil analisisnya menyatakan bahwa semakin dalam cerucuk yang ditancapkan dibawah permukaan bidang kelongsoran maka semakin kecil deformasi yang akan terjadi pada bagian kepala cerucuk. Deformasi pada bagian kepala cerucuk akan mengecil apabila cerucuk tertanam pada jenis tanah yang

keras. Spasi cerucuk yang kecil (rapat) dapat meningkatkan gaya penahan geser, memperkecil momen lentur, dan memperkecil deformasi pada bagian kepala cerucuk.

Hasil kajian Kourkoulis dkk (2011) juga menunjukkan bahwa apabila lapisan tanah memiliki ketebalan yang tipis maka cerucuk berperilaku seperti rigid dan menyerupai perilaku dinding penahan tanah atau pondasi kaisson, sehingga efek dari cerucuk kelompok menjadi tidak berpengaruh. Sebaliknya apabila ketebalan lapisan tanah besar (tebal), maka cerucuk berperilaku fleksibel dan efek cerucuk kelompok menjadi berpengaruh.

Lee dkk (1995) telah menunjukkan identifikasi dan optimalisasi beberapa faktor penting yang dapat mengontrol kemampuan tiang (dalam hal ini dapat disebut dengan istilah cerucuk) yang digunakan untuk memperkuat stabilitas lereng. Faktor-faktor penting tersebut berdasarkan hasil analisis menggunakan metode elemen batas yang disederhanakan. Dalam hal mendapatkan lingkaran kelongsoran lereng digunakan metode konvensional cara Bishop yang disederhanakan. Parameter tanah yang digunakan pada model lereng merupakan data asumsi jenis tanah lempung dengan tingkat konsistensi medium sampai kaku.

Hasil analisis menunjukkan bahwa diameter cerucuk, spasi cerucuk, dan tekanan batas sistem tanah-cerucuk merupakan faktor yang mempengaruhi kemampuan stabilitas lereng-cerucuk. Faktor keamanan (SF) stabilitas lereng menjadi meningkat dengan meningkatnya diameter cerucuk yang digunakan. Apabila spasi cerucuk yang diterapkan semakin besar maka kontribusi kemampuan cerucuk terhadap momen penahan menjadi semakin kecil. Faktor keamanan stabilitas lereng yang maksimal dapat dihasilkan oleh cerucuk yang diposisikan pada lokasi dekat kaki lereng maupun kepala (atas) lereng dibandingkan tepat ditengah lereng. Dimana posisi cerucuk yang lebih mendekati dengan kaki lereng akan menghasilkan faktor keamanan (SF) yang paling efektif.

Yang dkk (2011) telah melakukan studi mengenai pengaruh panjang tancap tiang pada lereng yang diperkuat dengan 1(satu) baris tiang (dalam hal ini dapat disebut sebagai cerucuk). Parameter-parameter yang telah distudi adalah panjang tancap cerucuk, jarak antar cerucuk, kekakuan cerucuk, sifat tanah sepanjang cerucuk, dan perilaku cerucuk.

Dalam analisis studinya menggunakan pemodelan matematis dengan simulasi numerik dan *finite element* dengan bantuan bahasa pemrograman FLAC-3D. Metode reduksi tegangan geser elastoplastis-3D juga digunakan untuk menganalisa panjang tancap cerucuk penahan kelongsoran.

Hasil studinya menunjukkan bahwa kondisi jarak cerucuk dan kondisi kepala cerucuk dapat memberikan pengaruh terhadap panjang tancapan kritis cerucuk. Semakin meningkatnya panjang tancap cerucuk akan meningkatkan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng. Panjang tancap cerucuk akan menjadi kecil pada lereng dengan jenis tanah lempung dibandingkan daripada jenis tanah pasir. Selain itu juga dijelaskan bahwa spasi cerucuk yang kecil (rapat) dan modulus Young cerucuk yang besar dapat meningkatkan kemampuan stabilitas lereng yang menghasilkan faktor keamanan lereng yang semakin besar. Sedangkan momen lentur cerucuk dapat meningkat seiring dengan semakin panjangnya cerucuk.

Ito dkk (1981) telah menunjukkan sebagian parameter-parameter yang mempengaruhi stabilitas lereng dengan tiang (cerucuk). Metode analisis yang digunakan yaitu metode keseimbangan batas dan pemodelan matematis (pengembangan teori Ito dan Matsui: 1975, 1979). Dalam hasil analisisnya menyimpulkan bahwa spasi (jarak) antar cerucuk dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap stabilitas kelongsoran. Faktor keamanan (SF) stabilitas lereng-cerucuk akan meningkat seiring dengan meningkatnya rasio D_2/D_1 (D_2 adalah jarak antar cerucuk diukur dari sisi terluar cerucuk yang saling berdekatan, D_1 adalah jarak antar titik pusat penampang cerucuk). Pada penggunaan diameter dan kekakuan cerucuk yang semakin besar akan dapat meningkatkan faktor keamanan stabilitas lereng tersebut.

Hasil penelitian tersebut juga telah menyimpulkan bahwa faktor keamanan stabilitas lereng akan semakin menurun apabila panjang cerucuk diatas permukaan bidang longsor semakin besar. Hal ini disebabkan karena reaksi lateral yang terjadi pada cerucuk akan meningkat seiring dengan meningkatnya panjang cerucuk diatas bidang longsor.

Jeong dkk (2003) telah melakukan kajian sistem lereng-tiang (cerucuk) untuk menahan gaya lateral berdasarkan studi analitis dan studi numerik.

Penentuan parameter-parameter yang mempengaruhi permasalahan stabilitas lereng cerucuk menggunakan pendekatan numerik yang disederhanakan dengan *finite element* non linier 3D dan bantuan bahasa pemrograman.

Hasil studi menyimpulkan bahwa apabila posisi cerucuk diletakkan diantara sisi tengah lereng dan sisi kaki lereng akan menghasilkan faktor keamanan stabilitas lereng yang efektif. Namun faktor keamanan stabilitas lereng akan menurun bila posisi cerucuk terletak diantara sisi tengah lereng dan sisi atas lereng (kepala lereng). Selain itu juga disimpulkan bahwa semakin besar spasi cerucuk yang diberikan maka semakin kecil faktor keamanan stabilitas lereng yang dihasilkan.

Won dkk (2005) telah melakukan studi analisis sistem tiang (cerucuk) dan lereng pada model stabilitas lereng tanah lempung. Studi analisis menggunakan analisa keseimbangan batas dan metode *finite element* dan bantuan bahasa pemrograman FLAC-3D. Hasil studi menunjukkan bahwa kekakuan cerucuk dapat mempengaruhi perpindahan cerucuk didalam lereng, dimana semakin kaku cerucuk maka semakin kecil perpindahan cerucuk yang akan terjadi. Posisi cerucuk yang berada tepat dibagian tengah lereng akan menghasilkan faktor keamanan stabilitas lereng yang terbesar (hal ini bertolak belakang dengan hasil studi Lee dkk, 1995). Disamping itu apabila spasi cerucuk yang digunakan adalah besar, maka akan menurunkan faktor keamanan stabilitas lereng.

Wei dan Cheng (2009) telah melakukan studi analisis reduksi tegangan pada lereng yang diperkuat oleh 1 baris cerucuk. Pemodelan *finite element* dan metode SRM (reduksi tegangan geser) digunakan dalam studi analisisnya. Dalam analisisnya bentuk lereng dimodelkan memiliki ketinggian 10m dan ditancapi dengan cerucuk sampai kedalaman tanah keras dengan 1 baris cerucuk (3 batang) yang berdiameter 0,8m. Hasil studi menunjukkan bahwa faktor keamanan (SF) stabilitas lereng akan menjadi kecil apabila spasi cerucuk semakin besar. Pada cerucuk dengan spasi yang rapat akan menghasilkan letak permukaan longsoran kritis yang dangkal. Selain itu dalam analisisnya juga menjelaskan bahwa posisi cerucuk tepat dibagian tengah lereng akan menghasilkan SF yang terbesar namun hal ini masih tergantung dengan rasio S/D (S adalah spasi cerucuk, D adalah diameter cerucuk).

2.4.3 Pengujian Lereng-Cerucuk Model Skala Lapangan

Penelitian mengenai tiang (cerucuk) sebagai perkuatan stabilitas lereng model skala lapangan telah dilakukan oleh Lirer (2012). Penelitian tersebut bertujuan untuk mendapatkan pengaruh barisan tiang (cerucuk) terhadap gerakan longsoran tanah pada lereng yang berpotensi mengalami kelongsoran. Sehingga dalam penelitian ini tiang (cerucuk) tidak dirancang untuk menghasilkan faktor keamanan yang menyatakan lereng tidak longsor.

Penelitian ini dilakukan pada lokasi lereng Masseria Marino, sebelah Selatan Itali, Panjang lereng yang akan mengalami longsoran tersebut adalah 370 m dengan lebar 30 m dan sudut kemiringan lereng 11^0 (lihat Gambar 2.13). Lereng tersebut didominasi oleh lapisan tanah lempung berplastisitas tinggi.

Dalam pelaksanaan penelitiannya, Lirer (2012) menggunakan tiang pipa baja berdiameter 0,4m dan panjang 10m. Sebanyak 1 barisan tiang (cerucuk) yang terdiri dari 5 tiang ditancapkan disisi tengah lereng sampai kedalaman 10m. Instrumen pengukur gerakan longsoran berupa inclinometer dipasang pada salah satu tiang (cerucuk) dan area sekitar tiang (didepan dan dibelakang barisan tiang yang menghadap arah gerakan longoran).

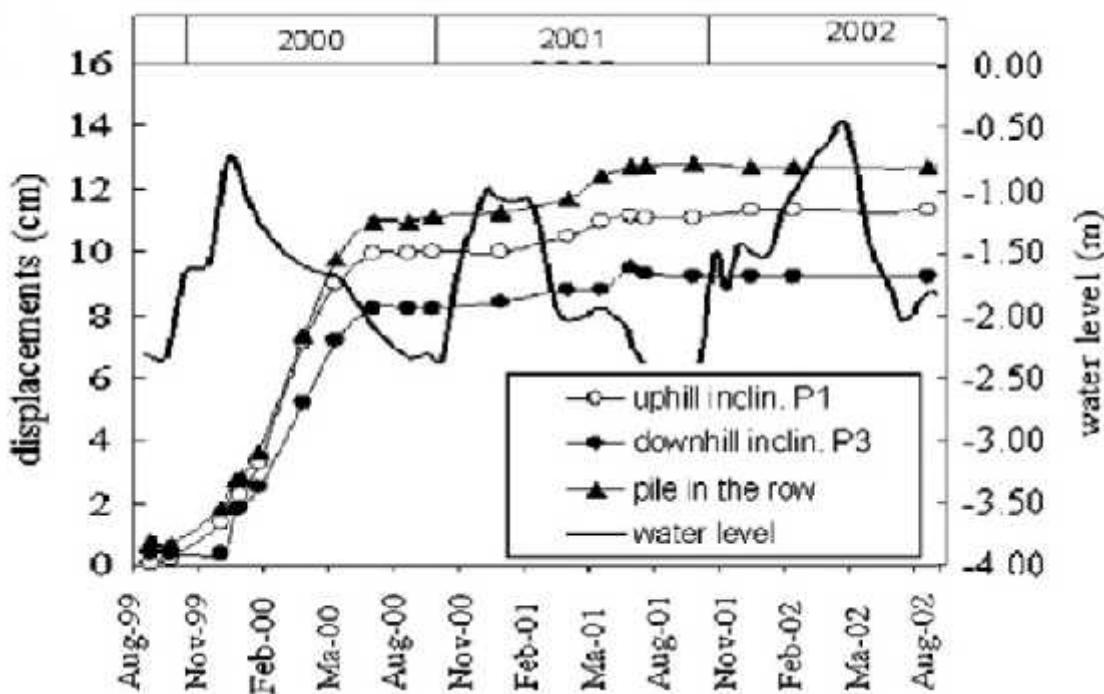


Gambar 2.13 Lereng Masseria Marino, sebelah Selatan Itali

(Sumber Lirer, 2012)

Pengamatan gerakan longsoran tanah diamati dan dicatat secara periodik setiap bulan dan berlangsung selama 3 tahun. Selama pengamatan berlangsung telah terjadi perubahan musim secara kontinyu (musim basah dan musim kering), serta adanya fluktuasi muka air tanah (akibat perubahan musim) yang dapat mempengaruhi kondisi perilaku sistem lereng-cerucuk di lapangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya tiang (cerucuk) pada lereng yang mengalami longsoran dapat menambah tahanan geser tanah. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 2.14 yang merupakan hasil pengamatan di lapangan. Pada Gambar 2.14 menunjukkan bahwa besaran pergerakan tanah longsoran dibelakang barisan cerucuk, P3 lebih kecil daripada didepan barisan cerucuk, P1 (dimana arah longsoran terdapat didepan barisan cerucuk).



Gambar 2.14 Perpindahan kumulatif gerakan permukaan tanah longsoran
(Sumber Lirer, 2012)

Selain itu dalam hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa permukaan bidang gelincir terdapat pada kedalaman 5m dari permukaan tanah. Hal ini karena

deformasi horisontal pada kepala tiang terjadi sampai kedalaman 5m dari permukaan lereng.

Frank dan Pouget (2008) juga telah melakukan penelitian dalam waktu jangka panjang mengenai stabilitas lereng dengan tiang (cerucuk) jangka panjang melalui model skala lapangan. Lokasi penelitian di area berlereng Salledes, Perancis. Penelitian tersebut bermaksud untuk menganalisa gerakan tanah dalam periode waktu jangka panjang akibat adanya timbunan tanah setinggi 5,4 meter diatas lereng tersebut. Lapisan tanah dibawah timbunan jalan terbentuk dari jenis tanah colluvial lunak berplastisitas tinggi dengan ketebalan 5-8 meter, dimana dibawah lapisan tersebut terdapat lapisan tanah keras.

Pada sisi bagian bawah kaki lereng dipancang tiang (cerucuk) pipa baja dengan panjang 12 meter dan berdiameter 0,915 meter. Tiang pipa baja tersebut tertanam kebawah permukaan lereng sedalam 11 meter, dimana sepanjang 7,5 meter tertanam dalam lapisan tanah tidak stabil, dan sedalam 3,5 m pada lapisan tanah keras. Sedangkan tinggi kepala tiang diatas permukaan lereng adalah 1 meter dan terhubung dengan angkur.

Pada tiang yang tertanam dipasang instrumen alat pengukur gerakan tanah berupa *inclinometer* dan *strain gauge*. Sedangkan area tanah disekeliling tiang juga dipasang *inclinometer*. Khusus pada bagian pipa penghubung antara kepala tiang dan angkur dipasang 4(empat) buah *load cell*.

Penelitian ini berlangsung cukup lama, yaitu selama 16 tahun (dari Tahun 1983 sampai Tahun 1999). Selama periode tersebut dilakukan pengamatan dan pencatatan gerakan tanah, perpindahan tiang, dan momen lentur tiang. Dalam hasil penelitiannya menyatakan bahwa selama 8 tahun pertama (1983-1991) kondisi lereng dan tiang (cerucuk) telah mengalami pergeseran horisontal sebesar 10 cm. Dan selama 16 tahun, total pergeseran horisontal permukaan lereng dengan perkuatan tiang (cerucuk) akibat adanya gerakan longsoran adalah sebesar 25 cm. Pergeseran horisontal yang terjadi pada area permukaan lereng dibelakang tiang (cerucuk) adalah 20% lebih kecil dibandingkan pada area permukaan lereng disisi kiri-kanan tiang (cerucuk). Selain itu juga telah diketahui letak bidang gelincir terdapat pada kedalaman 6,15 meter dari permukaan lereng, dimana lapisan tanah keras terdapat pada kedalaman 7 meter.

Dalam hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa momen lentur maksimum yang terjadi pada tiang terdapat pada kedalaman 3,75 meter (mendekati bagian tengah tebal lapisan tanah yang tidak stabil). Berdasarkan pengamatan selama 16 tahun menunjukkan bahwa momen lentur yang terjadi pada tiang semakin mengecil seiring dengan berjalannya waktu.

2.4.4 Pengujian Lereng-Cerucuk Model Skala Laboratorium

Studi penelitian mengenai cerucuk sebagai perkuatan tanah dengan model skala laboratorium belum begitu banyak dilakukan oleh para peneliti. Terdapat beberapa peneliti yang pernah melakukan penelitian terkait mengenai perkuatan tanah dengan cerucuk. Diantaranya : Mochtar dan Arya (2002), Liliwarti (2007), Damoerin dkk (2012), Muthukumaran dkk (2004), dan Poulus (1995).

Mochtar dan Arya (2002) telah melakukan penelitian pada model tanah-cerucuk dengan skala yang lebih kecil di laboratorium. Keadaan yang nyata dilapangan didekati dengan model tersebut dan perlakunya dibuat mendekati perilaku sebenarnya di lapangan. Kelongsoran lereng melalui bidang geser yang terjadi di lapangan didekati dengan bidang geser yang sengaja dibuat di laboratorium dengan menggeser massa tanah dengan alat geser langsung. Sedangkan cerucuk yang digunakan adalah model cerucuk mini skala laboratorium yang sengaja dibuat sebagai aplikasi dari cerucuk yang menahan pergeseran massa tanah dilapangan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan faktor koreksi terhadap teori Mochtar (2000).

Pemodelan skala laboratorium menggunakan alat *direct shear* namun dilakukan modifikasi pada bagian ring gesernya. Ring geser yang digunakan sedikit lebih besar daripada ring geser standard, yaitu ring geser modifikasi dibuat dengan diameter 9,5 cm dan tinggi 12 cm.

Dalam pelaksanaan penelitiannya Mochtar dan Arya (2002) memberikan variasi perlakuan terhadap benda uji dengan tujuan untuk mengakomodasi kondisi seperti yang terjadi di lapangan. Variasi perlakuan tersebut yaitu : variasi jenis tanah (lempung sangat lunak sampai sedang), variasi kedalaman tancap cerucuk, variasi diameter cerucuk (2mm, 3mm, dan 4mm), dan variasi jumlah cerucuk (1,

2, 4, dan 6 batang). Dari empat jenis variasi yang dilakukan seperti yang telah diuraikan di atas maka koreksi yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

- Pengaruh w/T : $Fk1 = 2,643$ untuk semua diameter cerucuk.
- Pengaruh ratio L/D :

$$Fk2 = \left[\frac{0,89 + 0,12L/D}{2,69} \right]$$

- Pengaruh jumlah cerucuk $Fk3=1$
- Pengaruh jenis tanah

$$Fk4 = \left[\frac{0,855.Cu^{-0,392}}{2,865} \right]; Cu [kg/cm^2]$$

atau :

$$Fk4 = \left[\frac{2,1087.Cu^{-0,392}}{2,865} \right]; Cu [ton/m^2]$$

- Koreksi secara keseluruhan adalah :

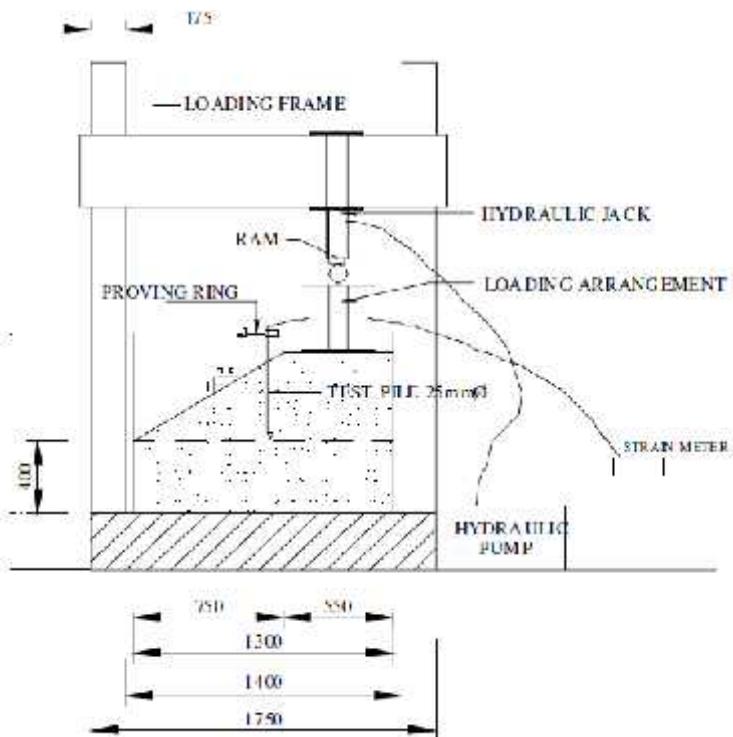
$$Fk = 2,643 \cdot \left[\frac{0,89 + 0,12L/D}{2,69} \right] \left[\frac{0,855Cu^{-0,392}}{2,865} \right] \quad (2.16)$$

Harga Fk dalam Persamaan 2.16 diatas berkisar antara 1,047 sampai dengan 3,877 untuk sebagian besar kasus penggunaan di lapangan ($L/D=10$ pada tanah medium clay sampai dengan $L/D=20$ untuk tanah very soft clay). Hasil penelitian ini merupakan pengembangan teori oleh Mochtar (2000).

Liliwati (2007) telah melakukan studi laboratorium untuk mempelajari dan menentukan karakteristik mekanik gesekan antara tanah dan cerucuk. Dalam penelitiannya menggunakan alat uji geser langsung standar (*direct shear*). Pada kotak geser (6cm x 6cm) yang terdapat pada alat uji geser langsung tersebut dimasukkan tanah lempung atau tanah pasir, dan ditancapi dengan 1(satu) batang cerucuk mini berbahan kayu atau bambu. Hasil penelitiannya menunjukkan nilai parameter kuat geser tanah (c dan ϕ) setelah adanya cerucuk. Parameter kuat geser tanah menjadi meningkat setelah adanya cerucuk.

Damoerin dkk. (2012) telah melakukan penelitian di laboratorium mengenai pengaruh adanya cerucuk terhadap karakteristik tanah lanau berpasir. Benda uji tanah lanau berpasir yang berbentuk silinder ditancapi cengan 1(satu) batang cerucuk, kemudian dilakukan pengujian dengan alat triaxial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya cerucuk dapat memperbaiki sifat tanah, yaitu kohesi menurun, sudut geser dalam meningkat, dan modulus elastisitas tanah juga meningkat.

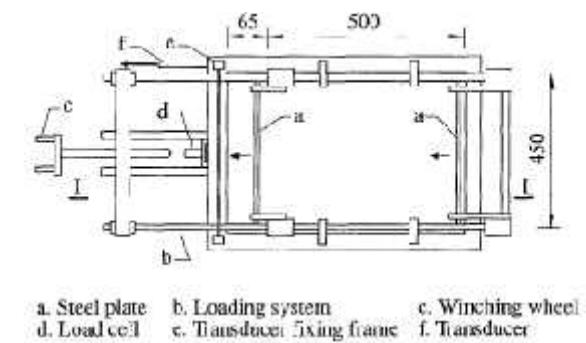
Muthukkumaran dkk. (2004) telah melakukan studi laboratorium mengenai pengaruh kemiringan lereng yang diperkuat tiang (cerucuk) terhadap defleksi yang terjadi pada tiang (cerucuk) tersebut. Pelaksanaan penelitian menggunakan sebuah tangki yang diisi dengan tanah pasir kering berbentuk lereng (lihat Gambar 2.15). Pada sisi lereng bagian atas ditancapkan 1(satu) batang tiang (cerucuk) berdiameter 25 mm, dimana pada bagian kepala tiang dihubungkan dengan alat pengukur defleksi *strain meter*. Beban *surcharge* dari hydraulic jack yang terhubung dengan loading frame diberikan pada benda uji.



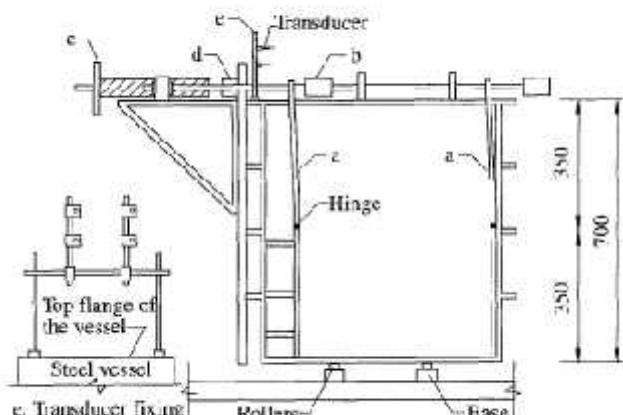
Gambar 2.15 Model pengujian lereng-cerucuk (Muthukkumaran dkk, 2004)

Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa defleksi kepala tiang yang berada didalam tanah miring (lereng) adalah lebih besar 1,5 kali dibandingkan berada didalam tanah datar. Kepadatan relatif tanah pasir mempengaruhi defleksi pada kepala tiang, dimana semakin menurun nilai kepadatan relatif pasir maka semakin meningkat deflkesi pada kepala tiang.

Studi laboratorium mengenai momen lentur pada tiang setelah mengalami gaya lateral telah dilakukan oleh Poulos dkk. (1995). Dalam penelitiannya menggunakan seperangkat alat berbentuk seperti tangki segi empat yang dilengkapi dengan sistem pembebangan dan instrumen pengukurnya (Gambar 2.16). Tanah pasir kering dimasukkan kedalam tangki tersebut dan ditancapi dengan model tiang yang berdiameter 25 mm – 50 mm, dan memiliki panjang 1 m.



(a) Plan view



(b) Elevation view

Gambar 2.16 Skema alat uji gaya lateral tiang (Poulos dkk., 1995)

Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa adanya tiang didalam tanah dapat meningkatkan kepadatan tanah. Momen lentur yang terjadi pada tiang akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya deformasi tanah. Pada kondisi kepala tiang terjepit dapat mereduksi momen lentur sebesar 17% dibandingkan pada kondisi bebas.

2.5 Penggunaan Asumsi Cerucuk pada Contoh Kasus Lapangan

Kajian-kajian penanganan kelongsoran dengan perkuatan menggunakan asumsi cerucuk telah banyak dilakukan oleh Mochtar sejak Tahun 2011 hingga Tahun 2015. Diantaranya ada beberapa kasus yang dapat diuraikan dibawah ini :

Contoh Kasus I

Kelongsoran Jalan dan Stabilitas Talud Pada Proyek Pembangunan jalan dengan turap, Sepanjang lokasi Jln. Marsma. Iswahyudi, STA 0 +000 s/d 0 +796, Kota Tanjung Redep, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, Juli 2011.

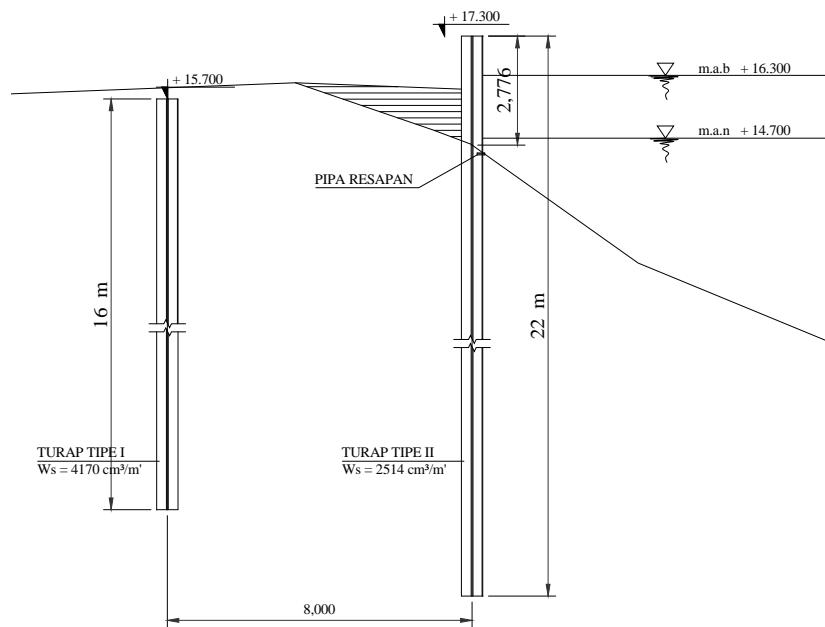
Mochtar (2011) telah melakukan kajian kelongsoran jalan dan alternatif penanganan dengan perkuatan cerucuk di Provinsi Kalimantan Timur. Dideskripsikan oleh Mochtar (2011) bahwa pada suatu hari di bulan Juli 2011, sebagian badan jalan dan tebing sungai pada Jln. Marsma. Iswahyudi, Kota Tanjung Redep, Kabupaten Berau, mengalami kelongsoran, yaitu antara Sta. 0 + 035 s/d Sta. 0 + 250. Bagian jalan ini berada tepat di tepi Sungai Segah. Kelongsoran ini terjadi juga semasa pelaksanaan proyek pembangunan pelebaran tersebut, yaitu dari lebar jalan semula hanya sekitar 15 meter dilebarkan menjadi 4 lajur/2 arah dengan lebar total sekitar 20 meter, termasuk untuk lajur pejalan kaki (trotoire).

Sesuai dengan rencana awalnya, pekerjaan pelebaran jalan Jln. Marsma Iswahyudi tersebut dilakukan dengan cara menimbun sebagian tepi sungai (S. Segah) setebal antara 1.0 s/d 3.0 meter, dan diperlukan penambahan turap baja di sisi terluar dari badan jalan (di tepi sungai) sebagai konstruksi penguat dan pelindung urugan tanah terhadap kelongsoran dan kikisan air sungai. Turap baja tersebut dibangun sebagai kesatuan dengan konstruksi jangkar (angkur) berupa

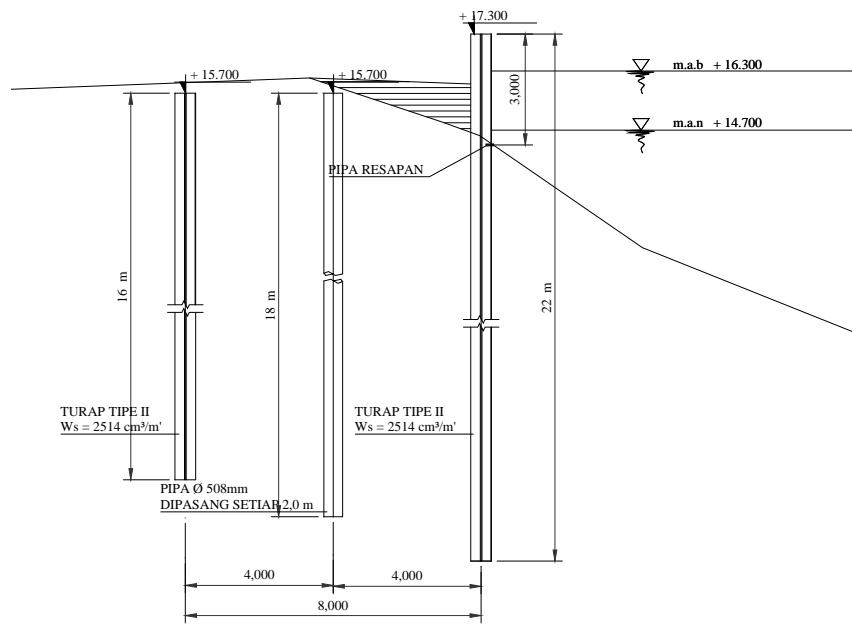
pelat beton yang di bangun di tepi lain dari jalan, dan antara turap baja dan konstruksi jangkarnya dihubungkan dengan kabel baja (tie back cable), setiap jarak antara 2 s/d 3 meter.

Ketika pembangunan turap dan pelebaran jalan sudah hampir menyelesaikan s/d Tahap I, antara Sta. 0 + 000 s/d 0 + 305, sebagian section jalan antara Sta. 0 +077 s/d Sta. 0 +241 mengalami kelongsoran, setelah terjadinya hujan lebat di suatu hari di bulan Juli 2011. Kemudian kelongsoran jalan selama beberapa minggu menjalar ke sisi lainnya, menjadi mulai Sta. 0 +035 s/d Sta. 0 +250.

Mochtar (2011) kemudian memberikan alternatif penanganan kelongsoran dengan menggunakan cerucuk dimana dalam perhitungan perancangannya menggunakan rumus cerucuk Mochtar (2000) yang berdasarkan rumus pada NAVFAC DM-7. Diantara hasil perancangan oleh Mochtar (2011) dapat dilihat pada **Gambar 2.17a dan 2.17b**. Hasil perancangan dengan menggunakan asumsi cerucuk tersebut telah dilaksanakan (diaplikasikan) di lapangan, hingga saat ini (2016) kontruksi cerucuk tersebut masih tetap aman dan tetap kokoh.



Gambar 2.17a. Model perkuatan tanah Type-3 alternatif 1 (Mochtar, 2011)



Gambar 2.17b. Model perkuatan tanah Type-3, alternatif 2 (Mochtar, 2012)

Contoh Kasus II

Pergerakan/Kelongsoran Tanah Pada Boezem Morokrembangan, Surabaya. (Januari 2012)

Mochtar (2012) melakukan analisa dan penanggulangan pergerakan/kelongsoran tanah pada Boezem Morokrembangan, Surabaya. Dalam laporannya Mochtar (2012) menyebutkan bahwa pada hari Selasa tanggal 10 Januari 2012, sebagian tebing tanah di sisi selatan - timur kolam penampungan air pada Boezem Morokrembangan mengalami pergerakan/ kelongsoran yang berupa amblesnya sebagian badan jalan pada Jln. Lasem. Kelongsoran ini terus berlanjut sehingga s/d seminggu kemudian keretakan tanah memanjang telah terbentuk sepanjang kira-kira 300 meter-an. Yang dikhawatirkan adalah 2 hal sebagai berikut: (a).kelongsoran akan terus berlanjut dan dapat membahayakan keberadaaan pipa Pertamina (dialiri minyak bertekanan tinggi) yang tepat berada di bawah bagian tanah yang retak/longsor tersebut. Harus dicegah jangan sampai pipa Pertamina tersebut retak atau bocor karena pergerakan tanah tersebut. (b).pada bagian sisi lain dari Jln. Lasem yang membentang sepanjang tepi Boezem Morokrembangan tersebut terdapat pemukiman kampung dengan rumah-

rumah penduduk yang relatif sangat rapat. Dikhawatirkan pergerakan/kelongsoran tersebut dapat berlanjut dan menjalar ke sisi rumah penduduk dan akan membahayakan rumah-rumah penduduk tersebut. Selain itu, kerawanan pada pipa Pertamina juga akan membahayakan bagi keselamatan penduduk di sepanjang pemukiman kampung tersebut. Kondisi kelongsoran di lapangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.18.a dan 2.18.b. di bawah ini.



(a)

(b)

Gambar 2.18.a. Sisi Jln. Lasem yang mengalami pergerakan/kelongsoran tanah; dan 1.b. Sisi sebelah (kanan) tepi jalan yang berbatasan dengan tepi kolam Boezem Morokrembangan (Mochtar, 2012).

Kemudian Mochtar (2012) memberikan saran penanganan untuk mengatasi hal diatas. Diantaranya untuk saran tindakan jangka menengah dan jangka panjang yaitu : (a).Pengamanan jangka menengah (tetapi harus segera dilakukan) adalah pengamanan tebing dari bahaya kelongsoran berikutnya. Stabilitas lereng harus ditingkatkan dengan adanya penahan tiang cerucuk atau turap yang berasumsi serupa cerucuk yang memotong bidang gelincir kelongsoran tanah yang terdalam. Cerucuk atau turap penahan ini harus direncanakan dapat menjaga kestabilan tanah tebing di tepi danau Boezem pada kondisi permukaan air yang paling ekstrim, yaitu pada saat air Boesem dikosongkan dan pada kondisi hujan lebat. (b). Untuk penanggulangan jangka panjang, harus diupayakan

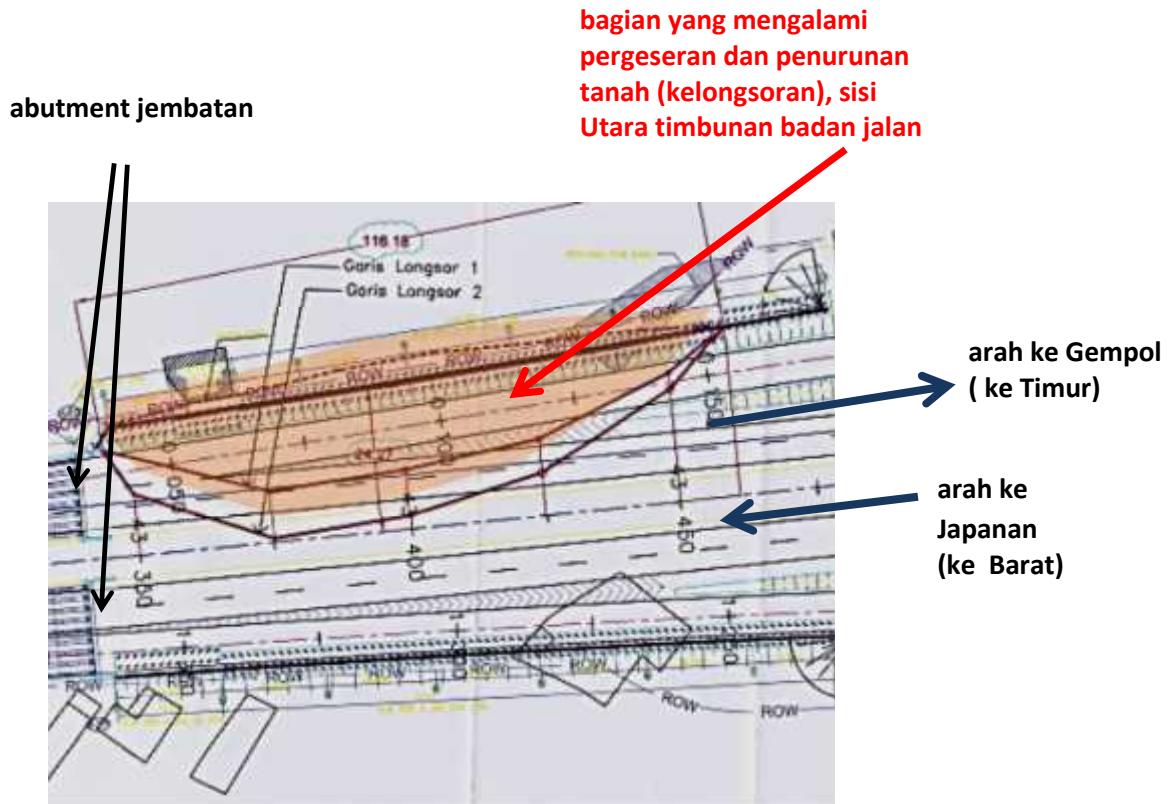
agar stabilitas tanah di tepi kolam Bozem Morokrembangan, minimal di sepanjang daerah yang mengalami kelongsoran, dapat mencapai Angka Keamanan terhadap kelongsoran > 1.0 . Upaya peningkatan stabilitas tanah ini untuk kondisi tanah yang sangat lunak di sini dilakukan dengan pemancangan tiang pancang atau turap dengan asumsi sebagai cerucuk, bukan sebagai turap. Dari semua kondisi di atas, dan dengan asumsi bahwa tanah masih belum sepenuhnya sembuh dari akibat kelongsoran sehingga tanah dianggap masih dalam kondisi ekstrim lunak, maka Mochtar (2012) member saran agar digunakan 1 (satu) baris turap W-500-A-1000 untuk perkuatan lereng sepanjang tepi kolam Boezem tersebut. Setiap jarak 8.5 meter dipasangkan tiang pancang penguat untuk kemudahan dalam pelaksanaan turap, dengan 2 buah tiang diameter 50 cm dipasang sampai dengan kedalaman tanah keras atau $L=18$ meter. Satu tiang pancang lurus, satu tiang pancang miring dengan kemiringan 1:8 (1H:8V). Kontruksi asumsi cerucuk berdasarkan kajian Mochtar (2012) tersebut telah dilaksanakan pembangunannya pada saat itu dan hingga sekarang (Tahun 2016) konstruksi asumsi cerucuk tersebut masih aman dan tetap kokoh.

Contoh Kasus III

Penurunan dan Pergeseran Tanah Badan Jalan, STA 43+340 s/d 43+480, Pada Proyek Pembangunan Relokasi Jalan Tol Surabaya - Gempol, (Maret, 2014)

Mochtar (2014) kembali melakukan kajian penanganan penurunan dan pergeseran tanah badan jalan Tol Surabaya. Dalam laporannya dideskripsikan bahwa pada Tahun 2014 telah terjadi penurunan dan pergeseran tanah (kelongsoran) pada tanah timbunan badan jalan di lokasi ruas jalan tol Porong—Gempol pada Sta 43+340 s/d 43+456.8 Jawa Timur, seperti terlihat pada Gambar 1. Kelongsoran terjadi pada tanah timbunan sisi Utara (pada jalur arah ke Gempol) di belakang abutment jembatan. Pergeseran dan penurunan tanah ini berdampak pada bergesernya *retaining wall* (tembok penahan tanah) di sisi Utara dan turunnya timbunan sedalam 3.50 meter pada lokasi Sta 43+340 sd 43+456.8.

Kelongsoran tanah tidak terjadi pada sisi Selatan timbunan, hanya *retaining wall* di sisi Selatan pada umumnya mengalami pergerakan maju sebesar 10 s/d 20 cm.



Gambar 2.19. Ruas Porong Gempol Sta 43+340 s/d 43+480, lokasi terjadinya kelongsoran tanah.

Ruas jalan tol ini dibangun di atas tanah dasar bekas area persawahan yang memiliki daya dukung rendah sehingga pada tanah dasar telah lebih dahulu dilakukan perbaikan tanah dasar dengan sistem PVD dan PHD yang dikombinasikan dengan timbunan. Timbunan yang dibangun di lokasi ini memiliki ketinggian-awal maksimum ($= H_{awal}$) = 11.10 meter, di belakang abutment jembatan, dan ketinggian ini menurun ke arah Timur. Timbunan setinggi 11,10 m tersebut terdiri dari timbunan borrow material dan timbunan *surcharge*. Tinggi timbunan borrow material adalah 9.80 meter dan tebal timbunan *surcharge* (*preloading*) adalah 1.30 meter. Karena diharapkan akan terjadi penurunan total tanah akibat konsolidasi pada tanah dasar sebesar 2,0 m, maka setelah timbunan *surcharge* setebal 1,30 m dibongkar akan dihasilkan ketinggian final ($= H_{final}$) timbunan mencapai + 7,80 m.

Timbunan surcharge 1,30 m yang akan dibongkar dianggap mewakili beban ekivalen lapisan perkerasan jalan beton dan beban rencana lalu-lintas.

Pekerjaan penimbunan dilakukan secara bertahap, lapis per lapis yang dipadatkan, dengan tebal per lapisan 20-cm. Proses pentahapan penimbunan dilaksanakan mulai bulan Juli 2013 hingga 17 Maret 2014. Pada 30 Januari 2014, dilaporkan telah terjadi keretakan pada beberapa rumah warga disekitar lokasi di sisi sebelah kanan (di sisi Selatan, jalur arah ke Japanan). Kemudian disusul sekitar 1 bulan kemudian pada 4 Maret 2014 terjadi kerusakan/retakan rumah warga disekitar lokasi sisi kiri (di sisi Utara, jalur arah ke Gempol). Rumah yang memiliki keretakan berat berjarak 1,5 meter hingga 15 meter dari tepi timbunan. Kemudian keretakan rumah terus bertambah hingga pada tanggal 18 Maret terjadinya kelongsoran dan retakan pada timbunan yang berada di belakang *retaining wall* sisi Utara. Sebagian besar rumah-rumah yang berada di sisi Utara dari timbunan yang longsor mengalami kerusakan yang cukup parah.

Dampak yang terjadi akibat kelongsoran pada sisi kiri (Utara) ruas jalan Gempol-Porong ini antara lain :

- a) Terjadi kerusakan pada dinding penahan (*retaining wall*) di sisi kiri sepanjang 116.8 meter;
- b) Sejumlah 8 rumah rusak berat dan 14 rumah rusak ringan (tidak ada korban jiwa) ;
- c) Jalan desa yang diperkeras menggunakan beton mengalami kerusakan ;
- d) Tanah masyarakat di luar retaining wall bergeser dan terangkat ± 2.5 meter.

Selain masalah di atas juga terlihat adanya retak-retak arah diagonal pada dinding tegak pemikul utama dari abutment jembatan sisi Selatan. Kerusakan yang lebih ringan juga terjadi pada konstruksi abutment jembatan di sisi Utara, yaitu abutment yang bersebelahan dengan bagian tanah yang longsor. Sebelum kelongsoaran tanah terjadi, peristiwa keretakan pada abutment tersebut didahului dengan adanya pergerakan maju dari kedua abutment (maju ke arah Barat) sebesar ± 5 s/d 10 cm, sehingga abutment jembatan terlihat rapat menjepit galagar jembatannya, baik apada abutment maupun pada pilar jembatan di depannya. Pada saat tersebut belum terlihat adanya keretakan melintang pada dinding tegak

abutment. Setelah kelongsoran terjadi, keretakan secara melintang pada dinding tegak abutment terlihat, terutama pada abutment sisi Selatan.

Menurut Mochtar (2011) untuk tanah sangat lunak seperti pada kasus ini, kondisi yang lebih menentukan untuk stabilitas tanah dengan perkuatan tembok penahan tanah (*retaining wall*) yang menggunakan pondasi tiang pancang adalah berdasarkan *overall stability*, dengan menganggap pondasi tiang pancang seperti “cerucuk” yang dapat menahan keruntuhan geser. Pada kondisi timbunan di atas tanah sangat lunak seperti ini, perhitungan kekuatan *retaining wall* berdasarkan gaya tekanan tanah horizontal (tekanan tanah aktif dan pasif, dan berdasarkan asumsi tembok penahan tanah tidak geser, tidak terguling, dan tidak “ambles”) pada umumnya tidak terlalu berbahaya dibandingkan *overall stability* dari timbunan yang berdasarkan *rotational sliding*. Jadi perhitungan stabilitas timbunan berdasarkan *rotational sliding* dengan pondasi tiang pancang berfungsi sebagai “cerucuk” penahan geser perlu diutamakan pada kasus ini.

Kemudian dalam penanganan kasus ini Mochtar (2014) memberikan saran penanggulangan, diantaranya dengan menggunakan asumsi cerucuk. Dalam perhitungan perancangannya digunakan rumus cerucuk yang berdasarkan NAVFAC DM-7 yang telah memasukkan faktor koreksi. Dengan alternatif penggunaan sejumlah cerucuk hasil perancangan Mochtar (2014) untuk mengatasi kelongsoran dalam tersebut diyakini pergeseran tidak akan terjadi lagi.

2.6 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan salah satu teknik untuk melihat hubungan antara 2 variabel atau lebih. Kemudian mengestimasi hubungan tersebut menjadi sebuah model yang dapat menjadi sebuah persamaan yang dapat menghubungkan variabel tergantung (*dependent variable*) terhadap variabel –variabel bebas (*independent variable*). Dalam teori regresi variabel bebas disebut dengan variabel prediktor (x), sedangkan variabel tergantung disebut dengan variabel respon (y). Hubungan fungsional antara variabel respon (y) dengan variabel prediktor (x) dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut :

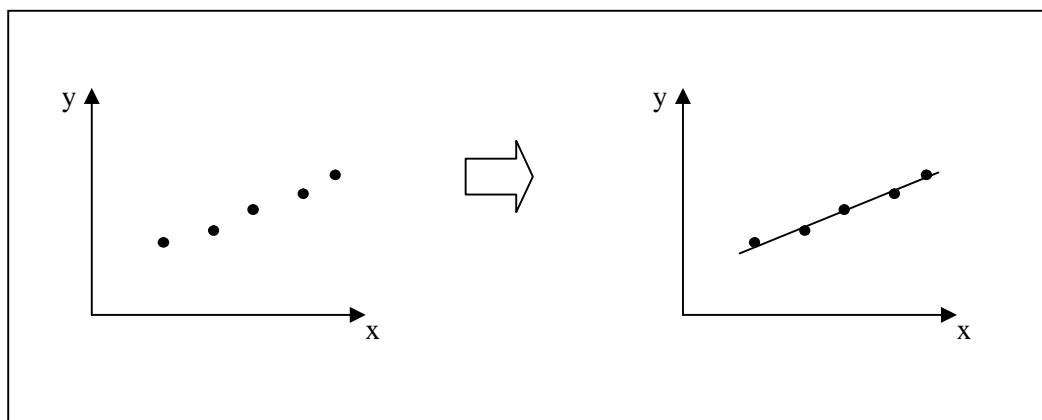
$$y = f(x) + \epsilon \quad (2.17)$$

dengan :

adalah *error* persamaan

Tujuan utama dalam analisis regresi adalah mencari bentuk estimasi dari kurva regresi. Kurva regresi dibentuk dari data berpasangan (x_i, y_i) kemudian menetapkan kedudukan data berpasangan dalam sistem koordinat yang disebut dengan *scatter plot* atau diagram pancar. *Scatter plot* merupakan tahapan awal pendugaan kurva regresi $f(x)$. Apabila hasil *scatter plot* menghasilkan kecendrungan data mengikuti pola linier (Gambar 2.20) maka estimasi hubungan menggunakan model regresi linier (parametrik). Sehingga Persamaan 2.17 dapat membentuk persamaan model regresi linier menjadi :

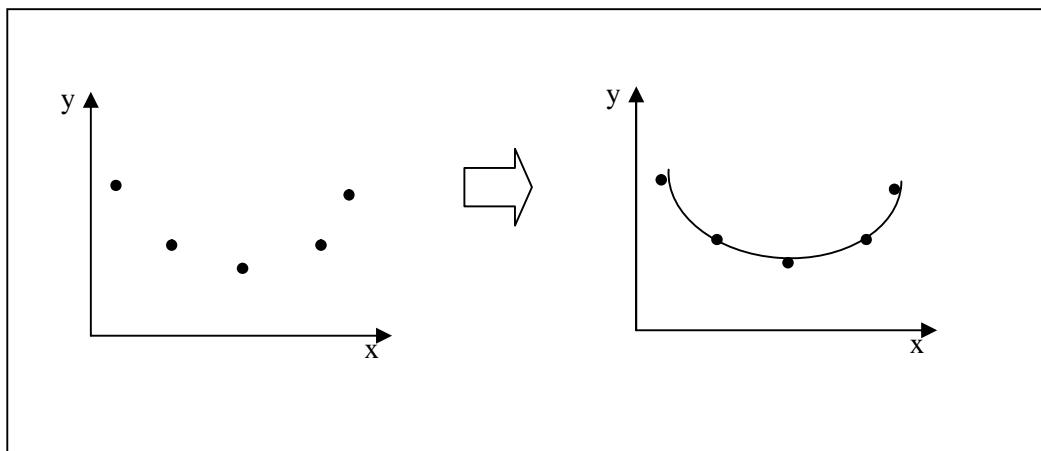
$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (2.18)$$



Gambar 2.20 Ilustrasi *scatter plot* regresi linier (parametrik)

Apabila hasil *scatter plot* data memiliki kecendrungan bentuk pola kuadratik (Gambar 2.21) maka digunakan model regresi kuadratik (parametrik) sehingga model regresi Persamaan 2.18 menjadi

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \epsilon \quad (2.19)$$

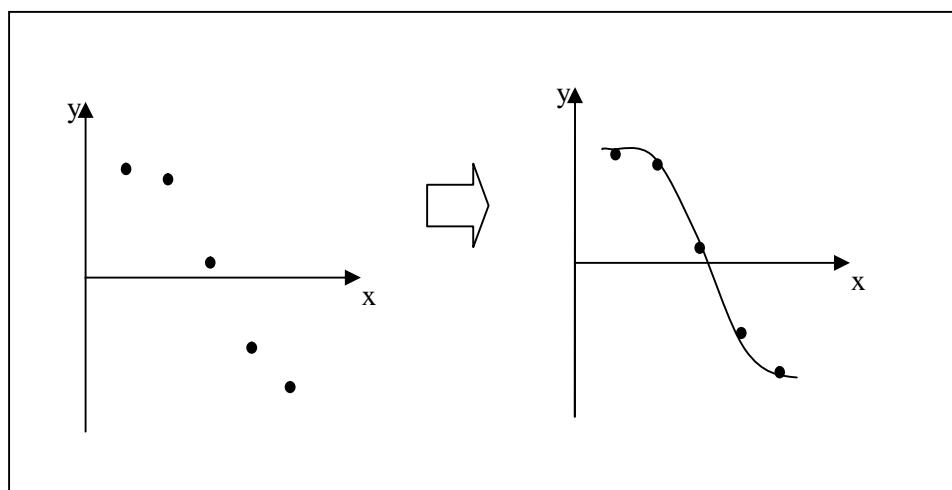


Gambar 2.21 Ilustrasi *scatter plot* regresi kuadratik (parametrik)

Bentuk pola data regresi kuadratik seperti yang dijelaskan dalam Gambar 2.21 tidak dapat dipaksakan menggunakan regresi linier (garis lurus) karena akan menghasilkan *error* yang besar dan pola hubungan yang dihasilkan menjadi tidak rasional.

Jika hasil *scatter plot* data ada kecendrungan bentuk pola kubik (Gambar 2.22) maka digunakan kurva regresi kubik dan persamaan 2.19 menjadi :

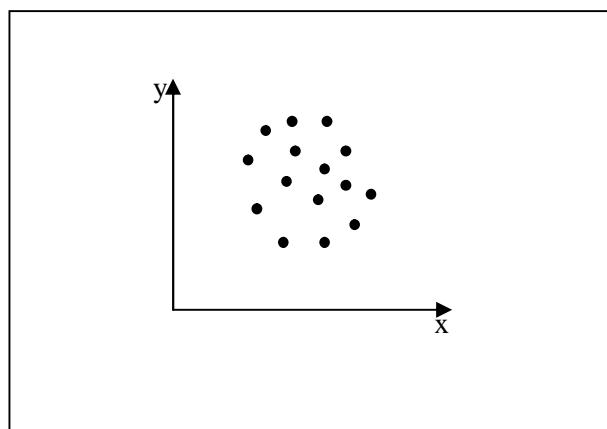
$$y = \alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + \epsilon \quad (2.20)$$



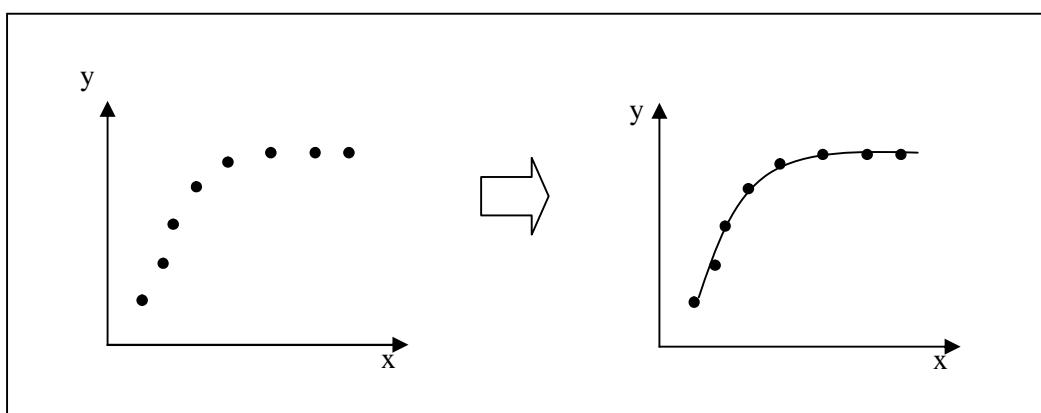
Gambar 2.22 Ilustrasi *scatter plot* regresi kubik (parametrik)

Untuk kecendrungan *scatter plot* bentuk lain, maka regresi yang digunakan mengikuti kecendrungan *scatter plot* tersebut.

Semua bentuk regresi yang telah diuraikan diatas adalah tergolong regresi parametrik. Regresi parametrik adalah model regresi dimana kurva regresinya dengan bentuk yang dapat diketahui (linier, kuadrat, kubik, polinomial, dan seterusnya). Pada beberapa kasus dapat menghasilkan data dalam *scatter plot* dengan bentuk yang tidak beraturan (Gambar 2.23). Model dengan pola seperti ini tidak dapat diketahui bentuknya. Model tersebut tergolong dalam regresi non parametrik. Regresi non parametrik adalah regresi dimana kurva regresi bentuknya diasumsikan tidak diketahui. *Scatter plot* dari regresi non parametrik juga dapat berupa data dengan pola yang beraturan tetapi berubah-ubah pada sub interval tertentu (Gambar 2.24).



Gambar 2.23 Ilustrasi model non parametrik dengan pola tidak beraturan



Gambar 2.24 Ilustrasi model non parametrik dengan pola beraturan tetapi berubah pada sub interval tertentu

Selain itu ada kalanya pola-pola data dapat menghasilkan 2(dua) komponen sekaligus, yaitu komponen parameterik dan non parameterik. Model regresi ini disebut sebagai semi parameterik. Regresi semi parameterik bersifat lebih fleksibel dibandingkan model linier karena dapat mencakup hubungan antara variabel tidak bebas (respon) dan variabel bebas (prediktor) yang bersifat linier, dan hubungan antar variabel bebas dan tidak bebas yang bersifat non linier. Model regresi semi parameterik ditunjukkan pada Persamaan 2.21 berikut ini :

$$y_i = \alpha + \beta x_i + f(z_i) + \epsilon \quad (2.21)$$

dengan :

- $\alpha + \beta x_i$ = model komponen parameterik
- $f(z_i)$ = model komponen non parameterik
- ϵ = error persamaan

Misalkan dalam *scatter plot* komponen regresi non parameterik didalam model semi parameterik terdapat kecendrungan pola perubahan perilaku fungsi pada interval tertentu maka regresi yang dapat digunakan adalah regresi spline. Regresi spline mampu menangani fungsi yang bersifat mulus (*smooth*) dan memiliki kemampuan yang sangat baik untuk menangani data yang perilakunya berubah-ubah pada sub-sub interval tertentu (Budiantara, 2009).

Regresi spline diselesaikan dengan titik knot. Titik knot adalah titik perpaduan bersama dimana terjadi pola perubahan perilaku fungsi. Titik knot berfungsi sebagai parameter penghalus pada *smoothing* spline. Pada perhitungannya perlu dipilih titik knot optimal agar diperoleh spline yang terbaik. Apabila titik knot yang dipilih adalah banyak maka akan menghasilkan fungsi spline yang sangat besar. Sebaliknya dengan titik knot yang sedikit akan menghasilkan fungsi spline yang mulus.

Persamaan regresi spline merupakan pendekatan fungsi spline terhadap kurva regresi non parameterik. Bentuk persamaan regresi spline ditunjukkan pada Persamaan 2.22.

$$y_i = f(t_i) + \epsilon = S(t_i) + \epsilon \quad (2.22)$$

dengan :

$f(t_i) = S(t_i)$ adalah fungsi spline

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Parameter dalam fungsi spline dapat diestimasi dengan menyajikan model regresi dalam bentuk matrik berikut :

$$\bar{y}_i = x_i^T \beta + \epsilon \quad (2.23)$$

Apabila pada Persamaan 2.23 di atas merupakan persamaan Spline linier dengan satu titik knot maka $\bar{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$, $\beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$, dan $x = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & (t_1 - k_1)_+^1 \\ 1 & t_2 & (t_2 - k_1)_+^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & t_n & (t_n - k_1)_+^1 \end{pmatrix}$.

Sedangkan jika Persamaan 2.23 merupakan persamaan Spline kuadratik dengan dua titik knot maka $\bar{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$, $\beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{pmatrix}$, dan $x = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & (t_1)^2 & (t_1 - k_1)_+^2 & (t_1 - k_2)_+^2 \\ 1 & t_2 & (t_2)^2 & (t_2 - k_1)_+^2 & (t_2 - k_2)_+^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n & t_n & (t_n)^2 & (t_n - k_1)_+^2 & (t_n - k_2)_+^2 \end{pmatrix}$

Fungsi Spline secara umum yang mempunyai derajat m dan titik knot sebanyak k diberikan dalam Persamaan 2.24 berikut:

$$S(t) = \sum_{i=0}^m \alpha_i t^i + \sum_{j=1}^k \beta_j (t - k_j)_+^m \quad 2.24$$

$$\text{dengan } (t - k_j)_+^m = \begin{cases} (t - k_j)^m, & t \geq k_j \\ 0, & \text{yang lain} \end{cases}$$

2.7 Kerangka Kerja Konseptual

Hubungan antar variabel penelitian sangat penting diidentifikasi secara jelas agar dapat diketahui bagaimana bentuk hubungan yang terjadi antar variabel dalam penelitian. Hubungan antar variabel penelitian tersebut divisualisasikan dalam sebuah diagram skematis dari kerangka berpikir yang disebut dengan kerangka kerja konseptual (*Conceptual Frame Work*). Dalam penelitian ini diidentifikasi terdapat 2(dua) variabel penelitian, yaitu :

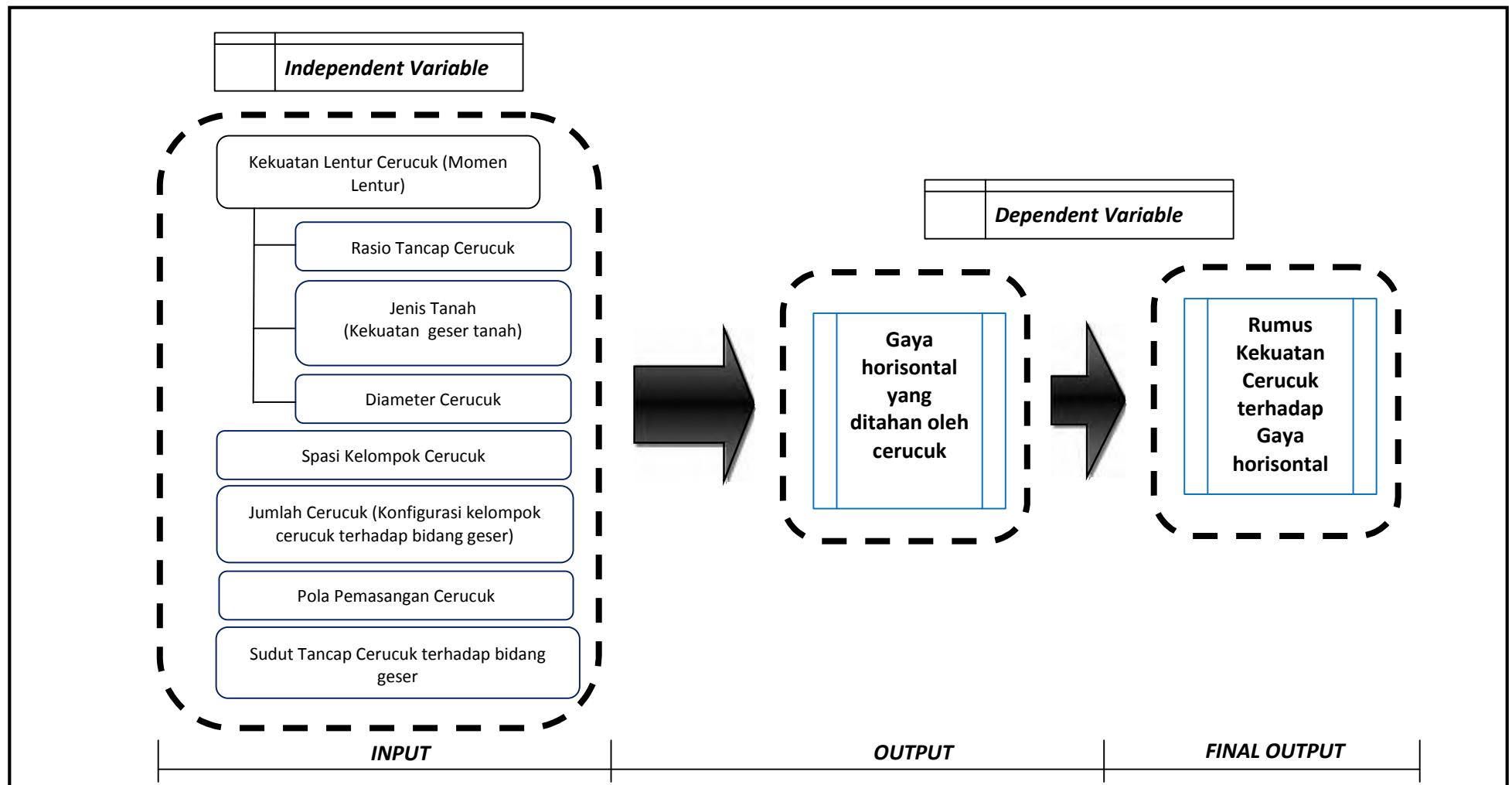
a. Variabel Utama (*Dependent Variable*)

Variabel utama merupakan suatu variabel yang menjadi tujuan akhir dari penelitian yang akan dilakukan. Variabel utama sangat dipengaruhi oleh variabel-variabel lainnya. Variabel utama yang menjadi tujuan akhir dalam penelitian ini adalah gaya horisontal yang ditahan oleh cerucuk. Gaya horisontal yang ditahan oleh cerucuk tersebut akan menghasilkan rumus kekuatan cerucuk terhadap gaya horisontal.

b. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi variabel utama. Dengan kata lain bahwa variasi dari variabel utama ditentukan oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah kekuatan lentur cerucuk yang terdiri dari : rasio tancap cerucuk, jenis tanah (kekuatan geser tanah), dan diameter cerucuk. Variabel bebas lainnya yaitu : spasi kelompok cerucuk, jumlah cerucuk (konfigurasi kelompok cerucuk terhadap bidang geser), pola pemasangan cerucuk, dan sudut tancap cerucuk terhadap bidang geser.

Hubungan antar kedua variabel diatas ditunjukkan dalam skema kerangka kerja konseptual (*Conceptual Frame Work*) pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Hubungan antar variabel dalam penelitian (*Conceptual Frame Work*)

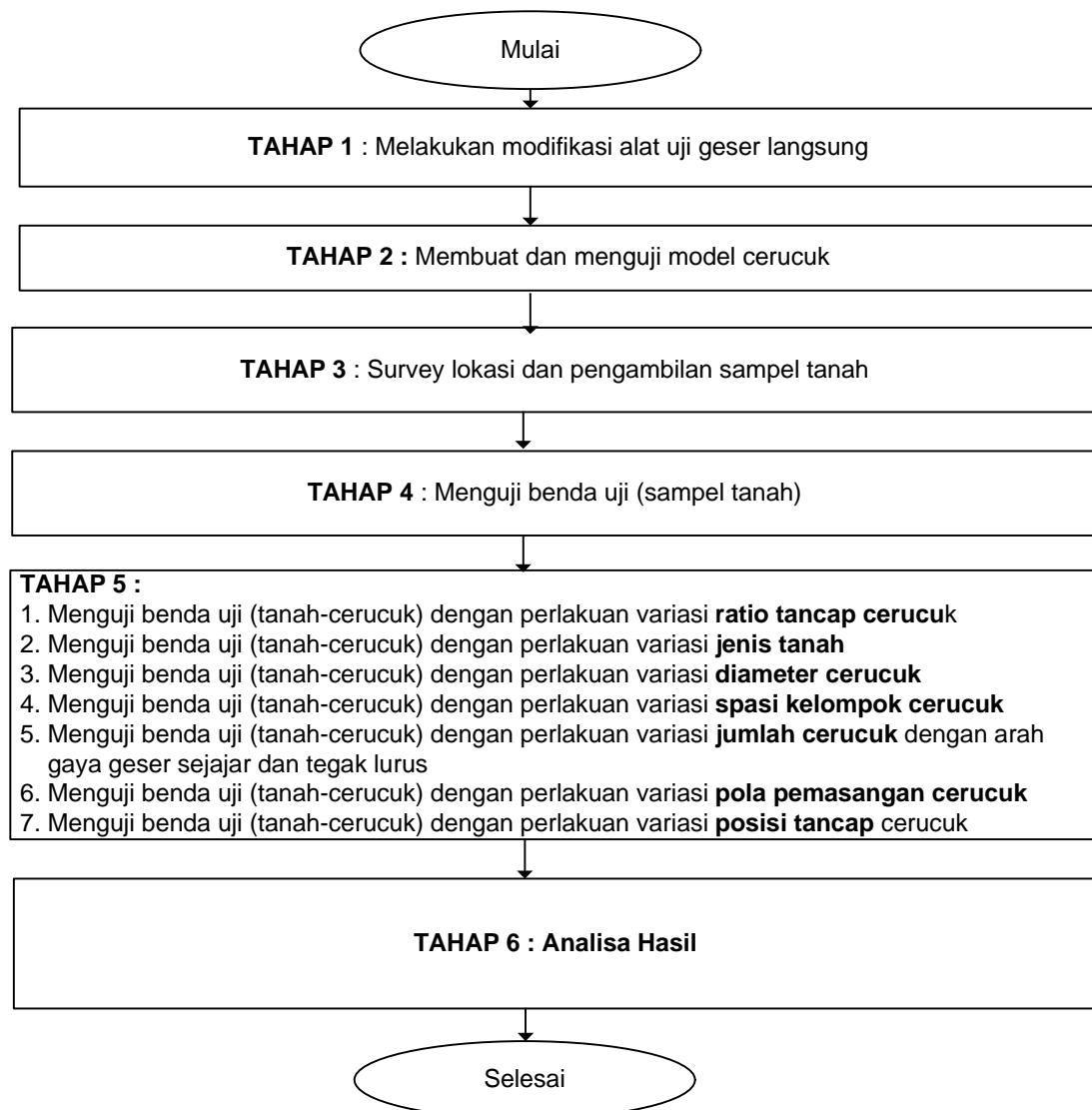
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Tahapan penelitian mekanisme peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya cerucuk berdasarkan pemodelan empiris di laboratorium ditunjukkan pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Bagan Alir Tahapan Rancangan Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Mekanika Tanah. Kegiatan penelitian tersebut melalui beberapa tahapan kegiatan (Gambar 3.1), yaitu: 1) tahap modifikasi alat uji geser langsung (*direct shear*), 2) tahap pembuatan dan pengujian model cerucuk, 3) tahap survey dan pengambilan sampel tanah, 4) tahap pengujian karakteristik sampel tanah, 5) tahap pengujian geser tanah-cerucuk dengan variasi perlakuan benda uji, 6) analisis hasil.

Kegiatan modifikasi alat uji geser langsung (*direct shear*) adalah melakukan modifikasi pada bagian-bagian tertentu dari alat uji geser langsung yang biasa digunakan di laboratorium sehingga alat tersebut dapat memodelkan kondisi yang mendekati kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan. Modifikasi alat uji geser langsung dilakukan di salah satu bengkel pembuatan alat yang ada di wilayah Sidoarjo (Jawa Timur). Durasi waktu kegiatan modifikasi alat dibutuhkan selama 7(tujuh) bulan. Pada tahap pembuatan dan pengujian model cerucuk yaitu batang kayu dengan bahan penyusun yang bersifat homogen diraut dengan alat bantu peraut (mesin serut mekanis) sehingga menghasilkan cerucuk kayu yang berdiameter 3mm, 4,5mm, dan 6mm. Kebutuhan panjang cerucuknya telah disesuaikan dengan kebutuhan variasi perlakuan benda uji. Cerucuk kayu tersebut diuji tarik untuk mendapatkan kuat tarik dan modulus elastisitas untuk masing-masing ukuran diameter dengan tetap menjamin sifat homogenitas bahan cerucuknya.

Pada tahap survey lokasi dan pengambilan sampel tanah adalah kegiatan identifikasi sifat fisik tanah langsung di lapangan. Pengambilan sampel tanah langsung dilapangan dilakukan dengan cara tes pits. Sampel tanah yang didapat dari lapangan diuji karakteristiknya agar memenuhi rentang konsistensi tanah benda uji yang diinginkan dari penelitian ini.

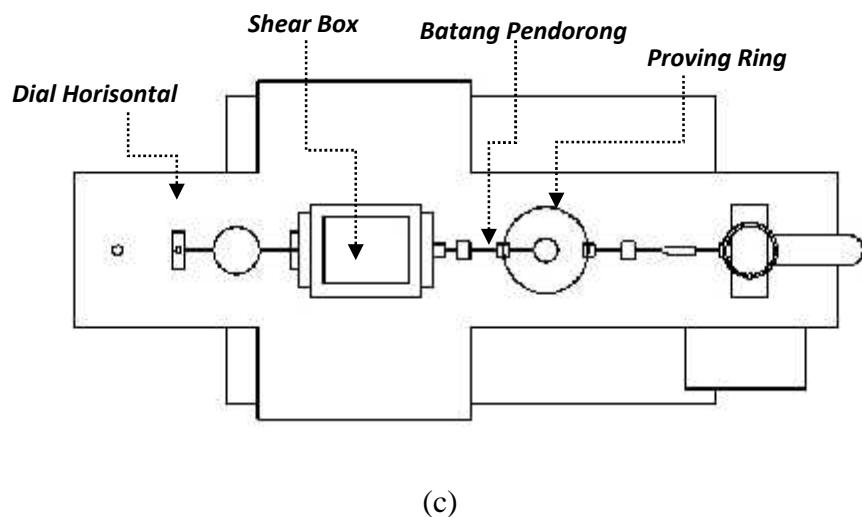
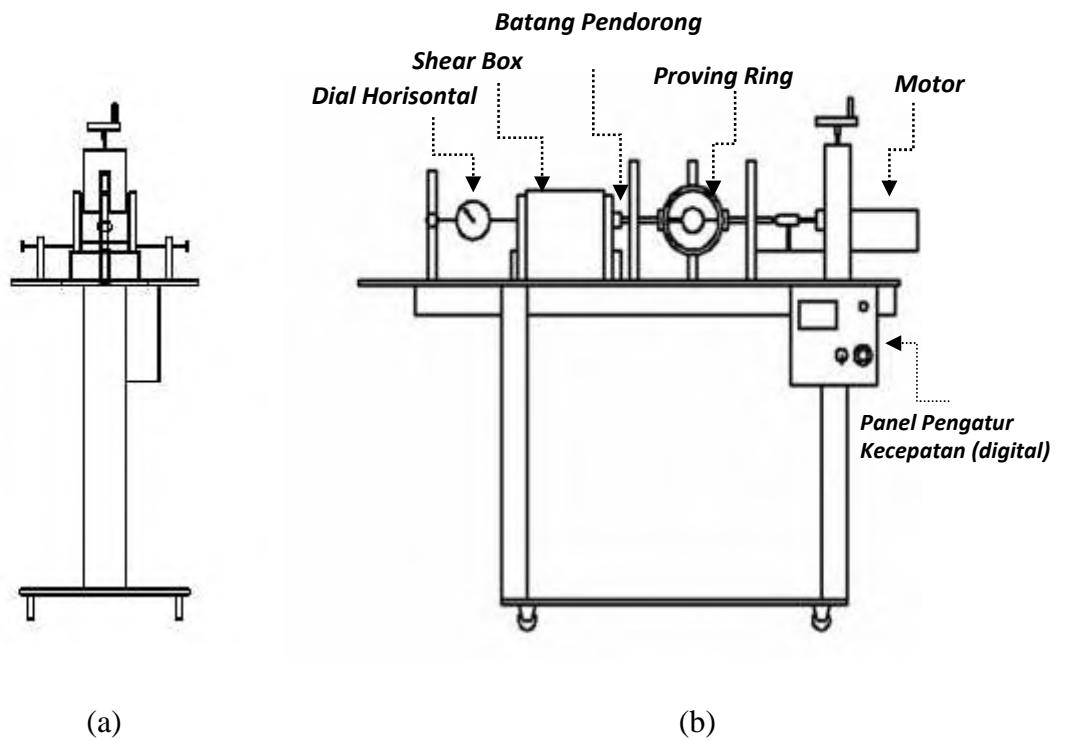
Pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian kuat geser tanah-cerucuk dengan variasi perlakuan benda uji. Pada tahap ini pengujinya menggunakan alat uji geser langsung yang telah dimodifikasi. Variasi perlakuan benda uji yang akan dilaksanakan adalah variasi rasio tancap cerucuk (L/D), variasi spasi kelompok cerucuk, variasi jumlah cerucuk (konfigurasi cerucuk) dengan pemberian arah gaya geser sejajar dan tegak lurus, variasi diameter cerucuk, variasi posisi cerucuk (sudut tancap cerucuk terhadap bidang geser), variasi pola

pemasangan cerucuk, dan variasi jenis tanah. Langkah terakhir adalah menganalisis kekuatan geser tanah sebelum dan sesudah adanya cerucuk dengan berbagai variasi perlakunya. Pada langkah ini akan dihasilkan model empiris cerucuk yang memperkuat stabilitas lereng.

3.2 Modifikasi Alat Uji Geser Langsung

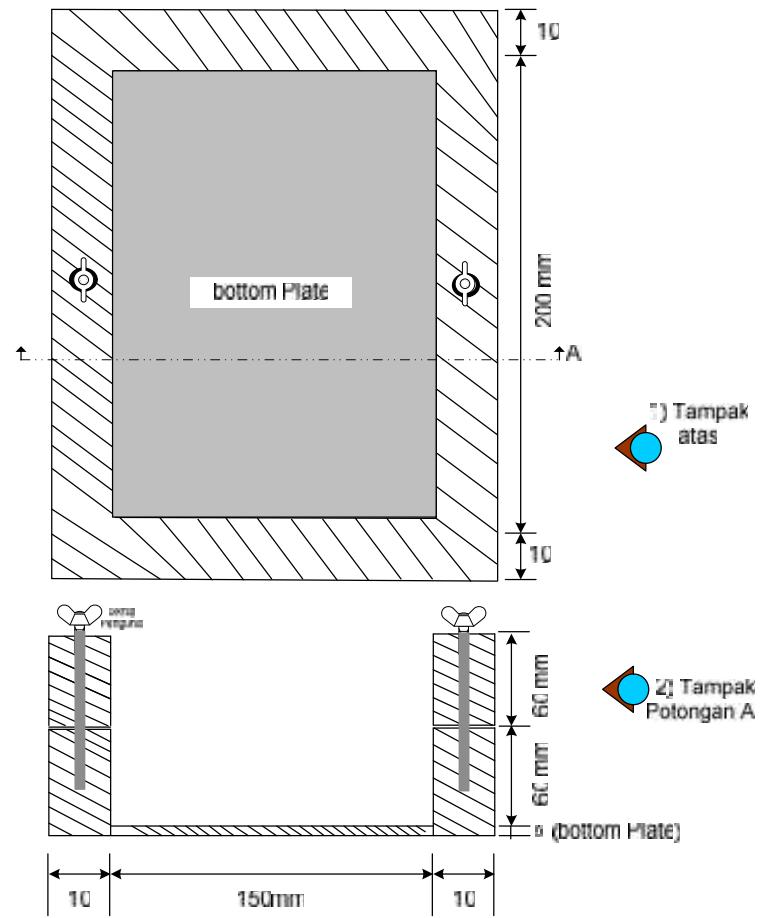
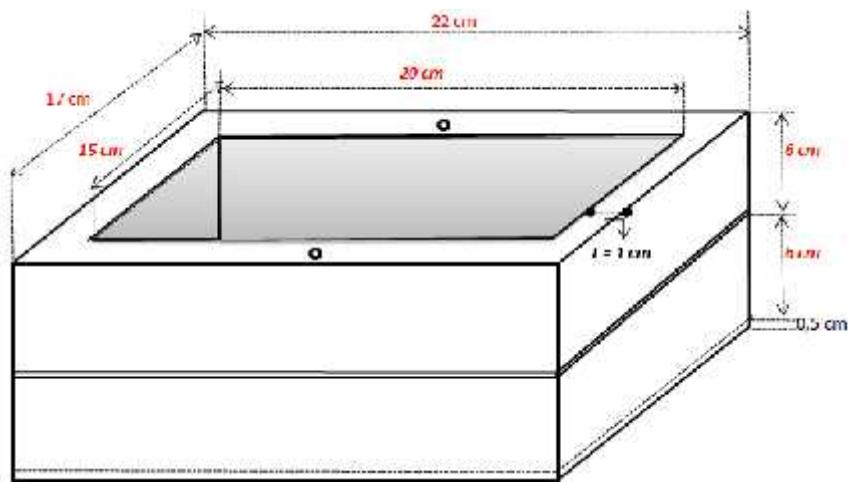
Alat uji geser langsung (*Direct Shear*) konvensional yang biasa digunakan di laboratorium dimodifikasi pada bagian tertentu dari sistem alat tersebut. Model alat geser langsung hasil modifikasi sebagian besar bentuknya menyerupai alat uji geser langsung konvensional. Perbedaannya terdapat pada bentuk kotak geser (*shear box*) yang digunakan. Model alat geser langsung hasil modifikasi memiliki kotak geser (*shear box*) yang berukuran relatif besar dan berbentuk segi empat sedangkan pada alat uji geser langsung konvensional memiliki kotak geser berukuran kecil dan berbentuk silinder. Selain itu pada model alat uji geser langsung yang dimodifikasi tidak membutuhkan balok beban dan dial vertikal karena dalam penelitian ini hanya untuk mengetahui kemampuan cerucuk menahan gaya geser horisontal. Ilustrasi model alat uji geser langsung yang dimodifikasi dapat dilihat dalam Gambar 3.2.

Ada beberapa komponen yang terdapat dalam alat uji geser langsung yang dimodifikasi, yaitu *proving ring* gaya geser horisontal dan batang pendorong, motor penggerak (dengan kecepatan penggeseran berkisar 0,1mm/menit sampai 2mm/menit disesuaikan dengan jenis tanah yang dites), dial horisontal, dan kotak geser (*shear box*). Semua komponen tersebut ditopang oleh rangka penopang dan berada diatas plat dasar berbentuk oval. *Proving ring* gaya geser horisontal dan batang pendorong merupakan rangkaian system menyalurkan gaya horisontal pada benda uji yang dihasilkan dari motor penggerak. Dial horisontal digunakan untuk mencatat perpindahan horisontal dari benda uji. Benda uji (cerucuk-tanah) yang akan mengalami gaya geser diletakkan kedalam kotak geser (*shear box*) yang telah dimodifikasi. Ilustrasi kotak geser modifikasi dapat dilihat dalam Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.

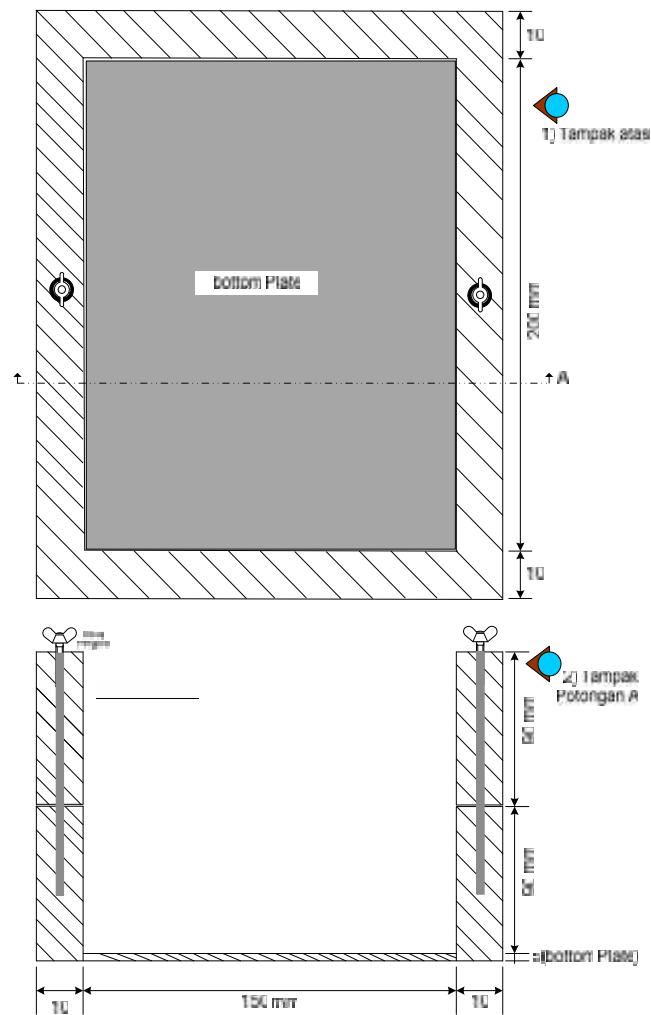
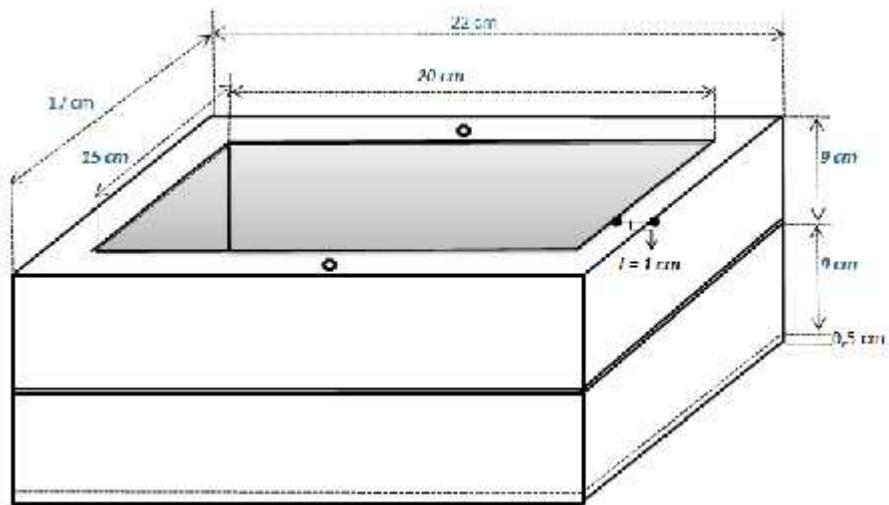


Gambar 3.2 Alat uji geser langsung modifikasi

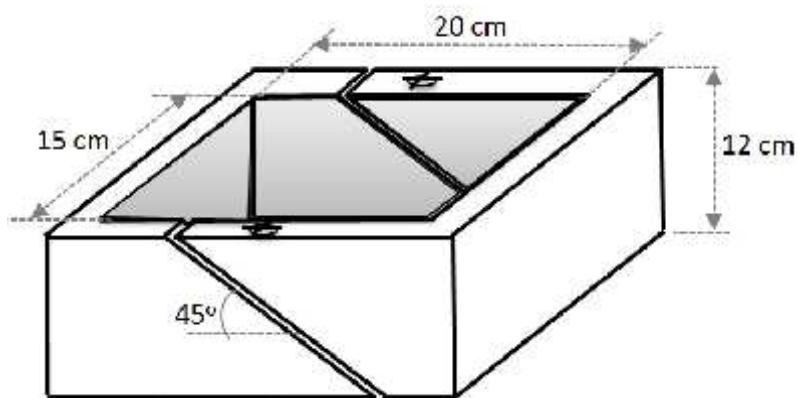
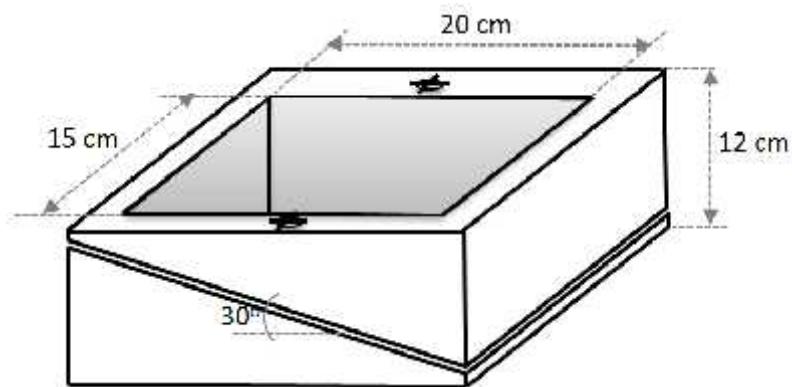
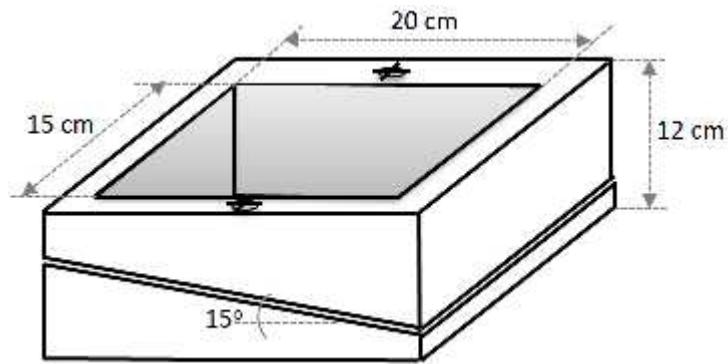
- tampak muka
- tampak samping
- tampak atas



Gambar 3.3a *Shear Box* Tipe 1 untuk gaya geser 0° dan untuk cerucuk diameter 3mm dan 4,5mm

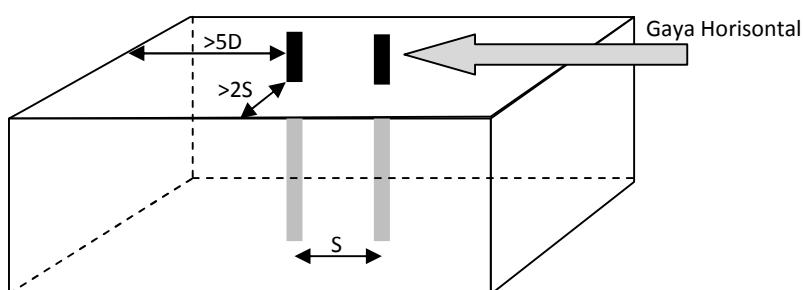


Gambar 3.3b *Shear Box* Tipe 1 untuk gaya geser 0° dan untuk cerucuk diameter 6mm



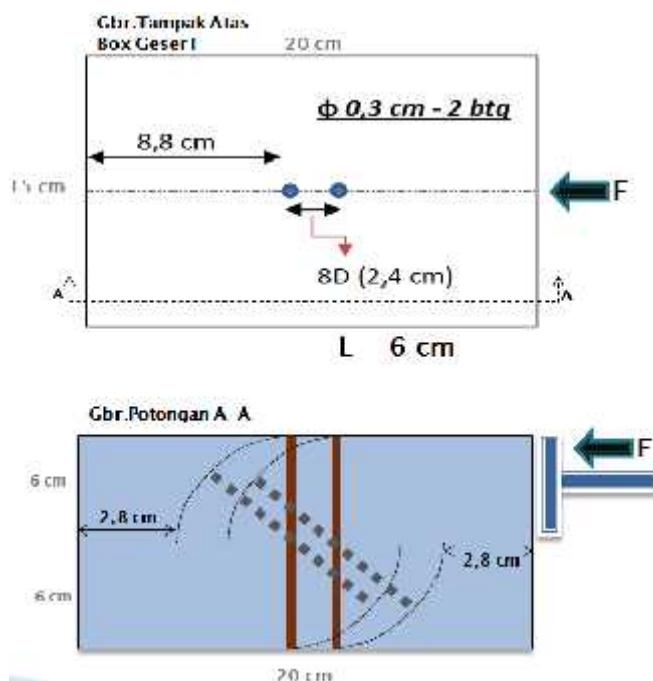
Gambar 3.4 *Shear Box* Tipe 2 untuk gaya geser miring (sudut 15°, 30°, dan 45°)

Dalam Gambar 3.3 dan 3.4 ditunjukkan bahwa *shear box* yang akan digunakan sebanyak 2(dua) tipe dengan ukuran yang disesuaikan panjang, jumlah, dan diameter cerucuk yang akan digunakan. Secara umum *shear box* terdiri atas kotak geser belahan atas dan kotak geser belahan bawah (dengan alas penutup/bottom plate). Pada *shear box* dilengkapi dengan skrup pengunci yang berfungsi menyatukan kotak geser belahan atas dan bawah yang bersifat sementara sebelum gaya geser diberikan. Ukuran atau dimensi kotak geser ditetapkan 20cm x 15cm berdasarkan pertimbangan untuk menyediakan ruang bebas (space) dari zona pengaruh reaksi cerucuk saat menerima gaya horizontal. Menurut Reese dan Van Impe (2001) bahwa zona pengaruh tiang saat menerima gaya horizontal adalah tidak lebih dari 5D (D= diameter tiang). Hal ini dijelaskan dalam Gambar 3.5



Gambar 3.5 Zona pengaruh reaksi tiang akibat gaya horizontal (Reese et al,2001)

Selain itu ruang bebas (space) juga mempertimbangkan sifat tanah sebagai media bagi tiang dimana apabila $\text{soil}=0$ (kondisi jenuh) maka batas zona pengaruh adalah sebesar jarak maksimum sepanjang tiang yang tertanam pada batas bawahnya. Dalam Gambar 3.6 ditunjukkan zona pengaruh reaksi tiang pada box geser dalam penelitian ini akibat gaya horizontal ($\text{soil}=0$).



Gambar 3.6 Zona pengaruh reaksi tiang pada box geser dalam penelitian ini akibat gaya horizontal (soil=0)

3.3 Pembuatan dan Pengujian Model Cerucuk

Dalam penelitian ini model cerucuk yang digunakan berbahan kayu dengan alasan: kemudahan dalam pembuatannya, kemampuan kotak geser, dan juga mempertimbangkan kemampuan motor penggerak alat uji geser langsung dalam menghasilkan gaya geser terhadap tanah-cerucuk kelompok. Model cerucuk tersebut berukuran mini dengan diameter dan panjang yang digunakan seperti yang dijelaskan dalam Tabel 3.1. Model cerucuk mini berbahan kayu tersebut dibuat dengan cara meraut batang kayu yang memiliki sifat bahan yang homogen dengan bantuan alat peraut (mesin serut mekanis).

Untuk mendapatkan kekuatan 1(satu) batang cerucuk dalam hal menahan gaya lateral, terlebih dahulu diketahui tegangan tarik/lentur maksimum dan modulus elastisitas bahan cerucuk. Tegangan tarik maksimum ditentukan dengan cara melakukan test tarik untuk masing-masing variasi bahan dan diameter cerucuk di laboratorium. Ilustrasi tes tarik cerucuk ditunjukkan dalam Gambar 3.7. Modulus elastisitas bahan ditentukan berdasarkan gradien garis lurus dari

kurva tegangan-regangan yang dihasilkan dari pengujian tarik di laboratorium. Pada tes lentur dilakukan untuk menghasilkan σ_{max} untuk masing-masing cerucuk. Dalam Tabel 3.2 dijelaskan jenis bahan cerucuk, σ_{max} , dan M_{max} yang akan dihasilkan.

Tabel 3.1 Spesifikasi Cerucuk Mini

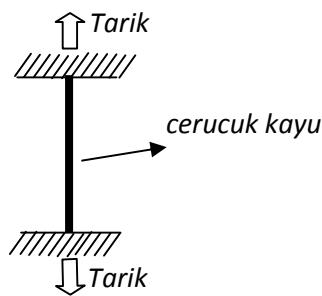
Jenis Bahan	Diameter	Panjang Maksimal (*)	Jumlah Minimal(**)
Kayu	3mm	120mm	204 batang
	4,5mm	180mm	18 batang
	6mm	240mm	6 batang

(*) berdasarkan rasio tancap terbesar

(**) untuk 3 kali pengulangan

Tabel 3.2 Jenis Bahan Cerucuk, σ_{max} , dan M_{max}

Jenis	Bahan	Diameter (D)	σ_{max}	M_{max}
1	Kayu	3mm	$\sigma_{max} 1$	$M_{max} 1$
2	Kayu	4,5mm	$\sigma_{max} 2$	$M_{max} 2$
3	Kayu	6mm	$\sigma_{max} 3$	$M_{max} 3$



Gambar 3.7 Ilustrasi test tarik cerucuk

Pada saat penelitian, pemasangan model cerucuk kedalam model tanah dilaksanakan dengan cara menekan cerucuk dengan tangan. Posisi cerucuk dipastikan vertikal terhadap bidang *shear box* dan berada pada area tengah *shear box*. Alat bantu dapat digunakan untuk mengatur posisi cerucuk tersebut.

3.4 Survey Lokasi dan Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang diinginkan berupa jenis tanah lempung dalam kondisi *undisturbed* dan memiliki tingkat konsistensi yaitu : lunak (*soft*) dan sedang (*medium*). Sebelum melakukan pengambilan sampel tanah terlebih dahulu melakukan survey lapangan untuk mendapatkan informasi lokasi lahan yang memiliki tanah dengan tingkat konsistensi yang diinginkan.

Metode pengambilan sampel tanah di lapangan dilakukan dengan cara tes pits. Sebelum melakukan tes pits terlebih dahulu menyiapkan kotak sampel tanah dan peralatan penunjang lainnya. Kotak sampel tanah yang akan digunakan berukuran relatif besar, yaitu : 20cm x 15cm (tinggi 18cm) dan 20cm x 15cm (tinggi 12cm). Pada salah satu sisi kotak tersebut terdapat penutup (*bottom plate*) yang bersifat sementara.

Adapun prosedur pengambilan sampel tanah dengan cara tes pits adalah sebagai berikut :

- a. Lahan yang telah dipilih dibersihkan dan dikupas (digali) pada bagian permukaannya sampai kedalaman lebih kurang 50cm – 100cm (tergantung kondisi lahan).
- b. Pada bagian sisi dalam dari kotak sampel tanah diolesi dengan gel pelumas. Kemudian kotak sampel tanah tersebut (bagian yang terdapat penutup/*bottom plate* berada diatas) dimasukkan kedalam tanah dengan cara ditekan atau dipukul secara hati-hati sampai seluruh kotak sampel tanah masuk dan tanah terisi penuh didalam kotak.
- c. Kemudian melakukan penggalian (pengupasan) tanah yang terdapat pada sisi luar sekeliling kotak sampel tanah dengan tetap mempertahankan bagian tengah (kotak contoh tanah) dalam keadaan utuh dan dalam kondisi *undisturbed*.
- d. Melakukan pemotongan sisi bawah contoh tanah dengan menggunakan pisau pemotong.
- e. Untuk menghindari adanya penguapan air yang terkandung didalam contoh tanah tersebut, pada bagian permukaan contoh tanah yang terbuka ditutup dengan penutup kotak test pits dan kemudian di isolatip dengan rapat.
- f. Semua kotak benda uji yang telah terisi dengan tanah hasil tes Pits kemudian dipindah ke Laboratorium Mekanika Tanah FTSP ITS dengan menggunakan mobil pengangkut. Selama perjalanan yang membutuhkan waktu kurang dari 30 menit, dan dalam rentang waktu relative singkat tersebut benda uji tidak banyak mengalami gangguan/goyangan yang berarti.
- g. Di Laboratorium Mekanika Tanah FTSP ITS, benda uji dalam kotak tes Pits selanjutnya dipindahkan langsung kedalam kotak geser yang telah diberi gel pelumas dengan bantuan alat pendorong tanah vertical (benda uji tanpa didiamkan dalam rentang waktu lebih dari 1 hari). Kelebihan tanah permukaan pada bagian atas kotak geser selanjutnya dipotong dan diratakan dengan spatula.
- h. Selanjutnya benda uji siap dites. Selama pengetesan untuk 1(satu) benda uji membutuhkan durasi waktu kurang lebih 20-30 menit.
- i. Semua benda uji hasil sampling tes Pits dites pada hari yang sama, sehingga perubahan sifat benda uji (kadar air dan kepadatan) dapat dihindari.

3.5 Pengujian Benda Uji (Sampel Tanah)

Pada tahap ini dilakukan pengujian karakteristik sampel tanah yang telah diperoleh dari kegiatan sampling di lapangan. Karakteristik fisik dan mekanis sampel tanah yang akan dihasilkan dari pengujian laboratorium harus berada dalam rentang nilai masing-masing tingkat konsistensi tanah yang diinginkan dari penelitian ini.

Pada Tabel 3.3 ditunjukkan rentang konsistensi tanah yang dijadikan sebagai rujukan dalam penelitian ini. Sampel tanah yang telah diperoleh selanjutnya ditentukan karakteristik fisik dan mekanis melalui pengujian :

- a) Uji sifat fisik untuk mendapatkan data kadar air (), berat volume (), angka pori (e), porositas (n), berat jenis (Gs).
- b) Uji plastisitas untuk mendapatkan data batas konsistensi tanah (LL, SL, PL).
- c) Uji geser untuk mendapatkan c_u (*cohesion undrained shear strength*)

Model tanah yang telah diperoleh dari hasil pengambilan sampel tanah di lapangan dalam kondisi *undisturbed* selanjutnya dimasukkan kedalam *shear box*. Kegiatan ini merupakan bagian dari pengujian geser untuk mendapatkan tahanan geser tanah sebelum adanya perkuatan tiang (cerucuk) dan sesudah adanya perkuatan tiang (cerucuk) dengan berbagai variasi perlakuan.

Tabel 3.3 Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung).

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C_u			Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q_c (dari Sondir)	
	kPa	ton/ m ²	kg/cm ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0–0.125	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5–25	1.25–2.5	0.125–0.25	2.5 – 5	10 – 20	1000–2000

Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.	0.25 – 0.5	5 – 10	20 – 40	2000–4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10.	0.5 – 1.0	10 – 20	40 – 75	4000–7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10. – 20.	1.0 – 2.0	20 – 40	75–150	7500–5000
Keras (hard)	> 200	> 20.	> 2.0	> 40	> 150	> 15000

Sumber : Mochtar (2006), Revised (2010)

Pada tahap uji geser terhadap sampel tanah sebelum adanya perkuatan tiang (cerucuk) dilakukan dengan maksud untuk mengetahui tahanan geser tanah sebelum mengalami perkuatan. Jumlah benda uji yang akan ditest untuk model tanah tanpa perkuatan tiang (cerucuk) ditunjukkan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Benda Uji Model Tanah (tanpa cerucuk)

No.	Konsistensi Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1.	Lempung Lunak	1 x 3
2.	Lempung Medium	1 x 3
Total Benda Uji		6 buah

3.6 Prosedur Penelitian dan Pengambilan Data Uji Geser Model Tanah-Cerucuk dengan Variasi Perlakuan

Kegiatan penelitian uji geser model tanah-cerucuk dengan variasi perlakuan adalah kegiatan untuk mendapatkan besar gaya geser yang dapat ditahan oleh model tanah-cerucuk (Plab) untuk masing-masing variasi perlakuan. Adapun variasi perlakuan benda uji yang akan dilakukan sebagai berikut :

- 1) Variasi rasio tancap cerucuk (L/D)
- 2) Variasi spasi kelompok cerucuk

- 3) Variasi jumlah cerucuk dengan pemberian gaya geser arah sejajar dan tegak lurus
- 4) Variasi diameter cerucuk
- 5) Variasi pola pemasangan cerucuk
- 6) Variasi posisi tancap cerucuk (sudut kemiringan bidang geser)
- 7) Variasi jenis tanah (Kekuatan geser tanah)

Masing-masing benda uji dengan variasi perlakuan dites dengan alat uji geser langsung yang telah dimodifikasi. Uji geser langsung ini dilakukan dalam waktu yang relatif cepat (rata-rata selama lebih kurang 1jam per benda uji).

Untuk mempermudah pengelompokan variasi perlakuan benda uji, diperlukan kode (simbol) benda uji yang dapat menjelaskan karakteristik perlakuanannya. Adapun unsur penyusun kode benda uji tersebut dijelaskan dalam Tabel 3.5.

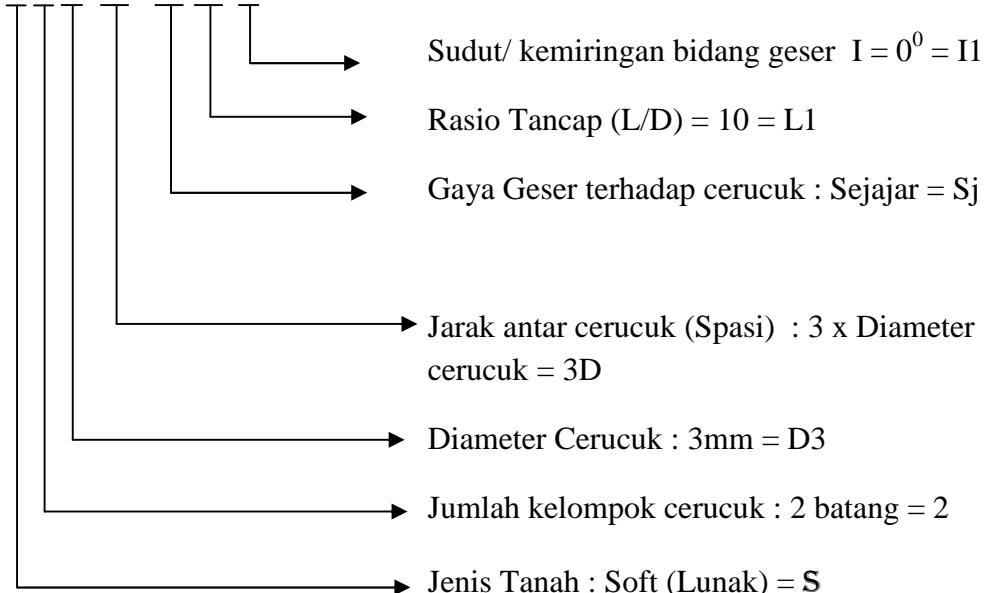
Tabel 3.5 Unsur Kode Karakteristik Benda Uji

Karakteristik		Kode
Jenis Tanah	Soft (Lunak)	S
	Medium (Sedang)	M
Jumlah Batang Cerucuk	1 batang	1
	2 batang	2
	4 batang	4
	6 batang	6
Pola Pemasangan Cerucuk	6 batang (2x3)	2x3
	6 batang (3x2)	3x2
Diameter Cerucuk	3 mm	D3
	4,5 mm	D4
	6 mm	D6
Jarak Antar Cerucuk (Spacing)	Tanpa Spasi (1 cerucuk)	0
	Spasi 3 x Diameter cerucuk	3D
	Spasi 5 x Diameter cerucuk	5D
	Spasi 8 x Diameter cerucuk	8D

Arah pemberian Gaya Geser terhadap Cerucuk Kelompok	Sejajar	Sj
	Tegak Lurus	Tg
Rasio Tancap	L/D = 10	L1
	L/D = 15	L2
	L/D = 20	L3
	L/D = 5	L4
Sudut/ kemiringan bidang geser	I = 0 ⁰	I1
	I = 45 ⁰	I2
	I = 30 ⁰	I3
	I = 15 ⁰	I4

Contoh Kode Benda Uji :

S(2D3.3D).Sj.L1.I1

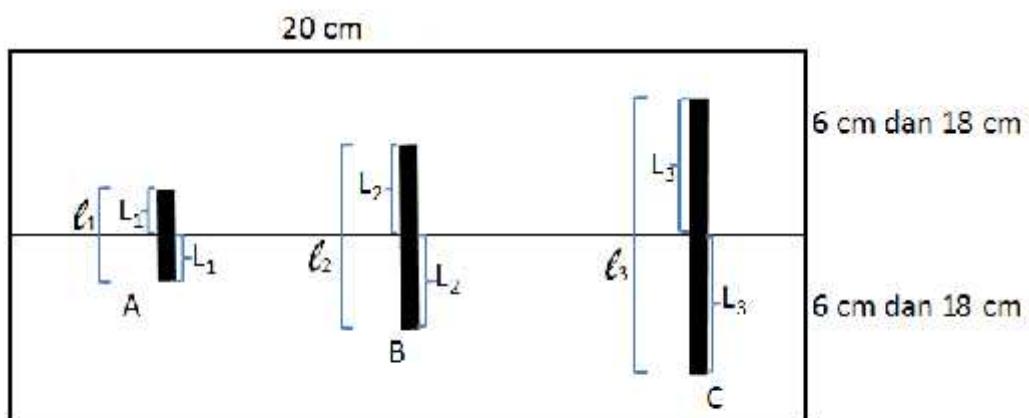


Catatan : Simbol yang bergaris bawah menunjukkan variabel yang akan divariasi (kombinasi)

Penjelasan dari tiap variasi perlakuan benda uji tersebut dijelaskan dalam uraian berikut.

1) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi rasio tancap cerucuk

Pengujian ini dilakukan terhadap benda uji tanah lempung lunak yang telah ditancapi dengan 2 batang cerucuk diameter 3 mm. Cerucuk ditancap kedalam benda uji dengan panjang tancapan cerucuk dibuat sama antara bagian bawah dengan atas bidang geser. Perbandingan panjang cerucuk (L) yang terletak dibagian atas atau bawah bidang geser terhadap diameter (D) model cerucuk yang tertancap disebut rasio tancap (L/D). Dalam penelitian ini rasio tancap (L/D) yang digunakan sebesar 10, 15, dan 20. Pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9 diilustrasikan posisi model cerucuk dengan variasi rasio tancap dimana sudut kemiringan bidang geser yang diterapkan sebesar 0^0 (bidang geser tidak membentuk sudut terhadap garis horisontal). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh panjang tancapan cerucuk terhadap besar gaya geser yang dapat ditahan oleh model tanah-cerucuk.



$$A = L_1/D = 10$$

$$B = L_2/D = 15$$

$$C = L_3/D = 20$$

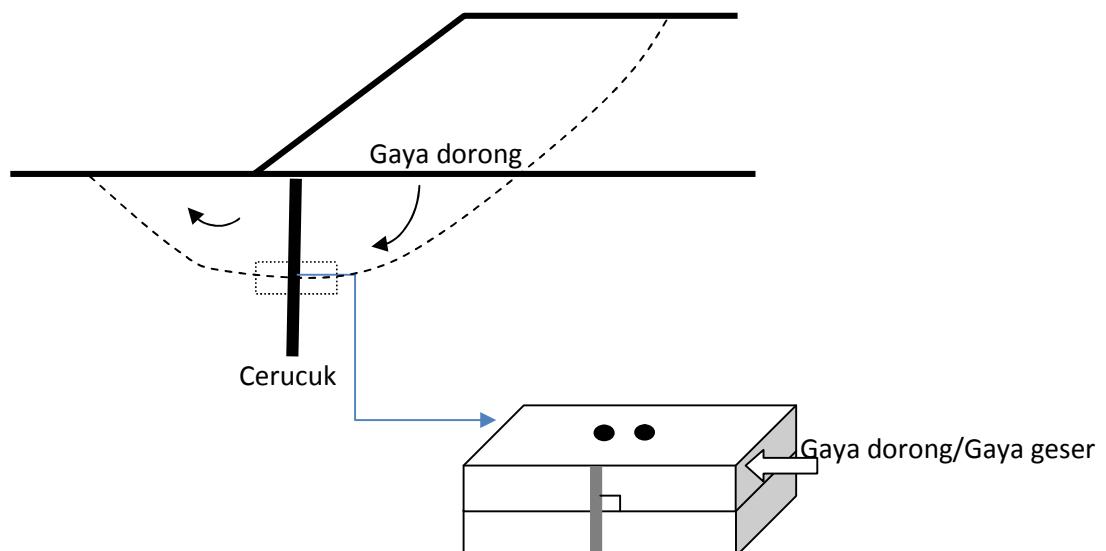
Gambar 3.8 Ilustrasi Tancap Model Cerucuk

- Untuk $D = 0,3 \text{ cm}$	maka	$L_3/D = 20$	$L_3 = 6 \text{ cm}$	$l_3 = 12 \text{ cm}$
		$L_2/D = 15$	$L_2 = 4,5 \text{ cm}$	$l_2 = 9 \text{ cm}$
		$L_1/D = 10$	$L_1 = 3 \text{ cm}$	$l_1 = 6 \text{ cm}$

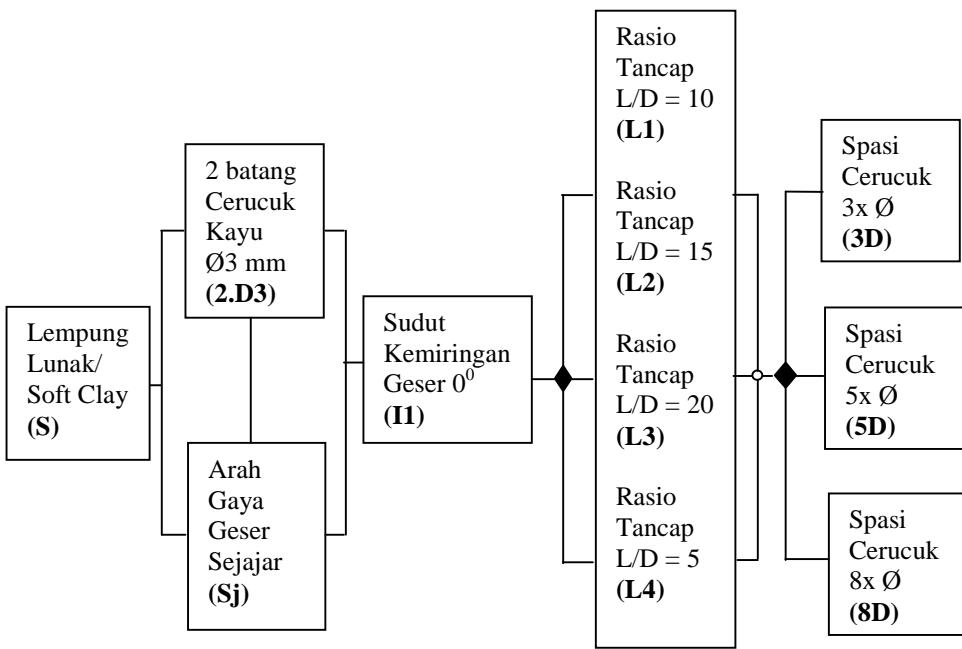
- Untuk $D = 0,45 \text{ cm}$	maka	$L_3/D = 20$	$L_3 = 9 \text{ cm}$	$l_3 = 18 \text{ cm}$
		$L_2/D = 15$	$L_2 = 6,75 \text{ cm}$	$l_2 = 13,5 \text{ cm}$
		$L_1/D = 10$	$L_1 = 4,5 \text{ cm}$	$l_1 = 9 \text{ cm}$

$$\begin{array}{llll}
 \text{- Untuk } D = 0,6 \text{ cm} & \text{maka } L_3/D = 20 & L_3 = 12 \text{ cm} & l_3 = 24 \text{ cm} \\
 & L_2/D = 15 & L_2 = 9 \text{ cm} & l_2 = 18 \text{ cm} \\
 & L_1/D = 10 & L_1 = 6 \text{ cm} & l_1 = 12 \text{ cm}
 \end{array}$$

Pada Gambar 3.10 ditunjukkan bagan alir pengujian geser langsung benda uji dengan perlakuan variasi rasio tancap. Pada saat pelaksanaan pengujian, arah gaya geser yang diberikan oleh alat uji geser langsung terhadap deret cerucuk adalah sejajar. Sudut kemiringan bidang geser yang akan digunakan pada pengujian ini sebesar 0° . Berdasarkan Gambar 3.10 dapat ditentukan banyaknya benda uji yang diperlukan. Kebutuhan benda uji dalam pengujian ini ditunjukkan dalam Tabel 3.6



Gambar 3.9 Ilustrasi posisi cerucuk dalam lereng di lapangan dengan sudut kemiringan bidang geser pada kotak geser 0° .



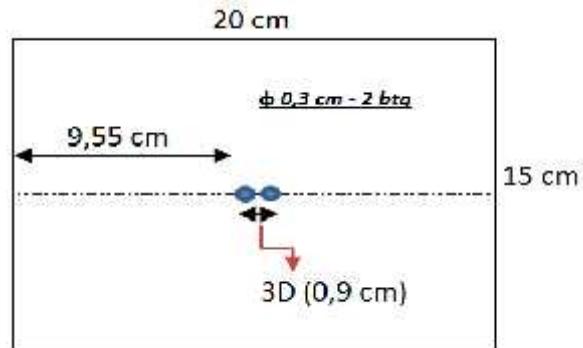
Gambar 3.10 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi rasio tancap cerucuk

Tabel 3.6 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Rasio Tancap

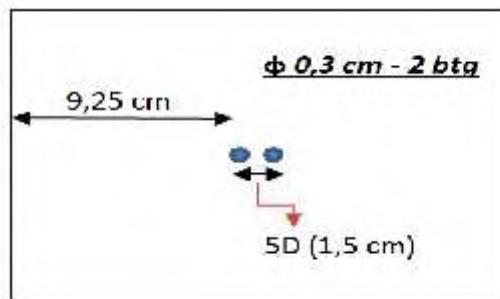
No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	<u>S(2.D3.3D)</u> . Sj. <u>L1.I1</u>	1 x 3	
2.	<u>S(2.D3.5D)</u> . Sj. <u>L1.I1</u>	1 x 3	
3.	<u>S(2.D3.8D)</u> . Sj. <u>L1.I1</u>	1 x 3	
4.	<u>S(2.D3.3D)</u> . Sj. <u>L2.I1</u>	1 x 3	
5.	<u>S(2.D3.5D)</u> . Sj. <u>L2.I1</u>	1 x 3	
6.	<u>S(2.D3.8D)</u> . Sj. <u>L2.I1</u>	1 x 3	
7.	<u>S(2.D3.3D)</u> . Sj. <u>L3.I1</u>	1 x 3	
8.	<u>S(2.D3.5D)</u> . Sj. <u>L3.I1</u>	1 x 3	
9.	<u>S(2.D3.8D)</u> . Sj. <u>L3.I1</u>	1 x 2	
10.	<u>S(2.D3.3D)</u> . Sj. <u>L4.I1</u>	1 x 3	
11.	<u>S(2.D3.5D)</u> . Sj. <u>L4.I1</u>	1 x 3	
12.	<u>S(2.D3.8D)</u> . Sj. <u>L4.I1</u>	1 x 3	
Total Benda Uji		35 buah	

Pada pengujian ini jarak antar cerucuk juga dibuat bervariasi, yaitu 3D (3 kali diameter cerucuk), 5D (5 kali diameter cerucuk), dan 8D (8 kali diameter

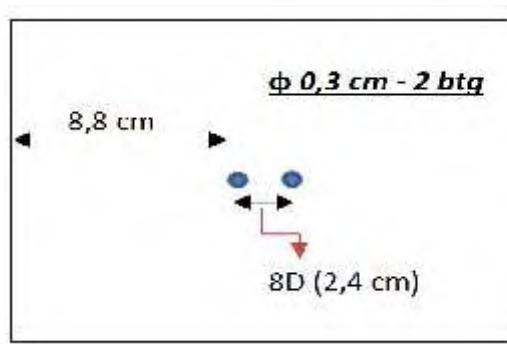
cerucuk). Ilustrasi konfigurasi cerucuk dalam kotak geser dengan spasi yang bervariasi ditunjukkan berturut-turut dalam Gambar 3.11, 3.12, dan 3.13.



Gambar 3.11 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 3mm dan spasi 3D dalam kotak geser



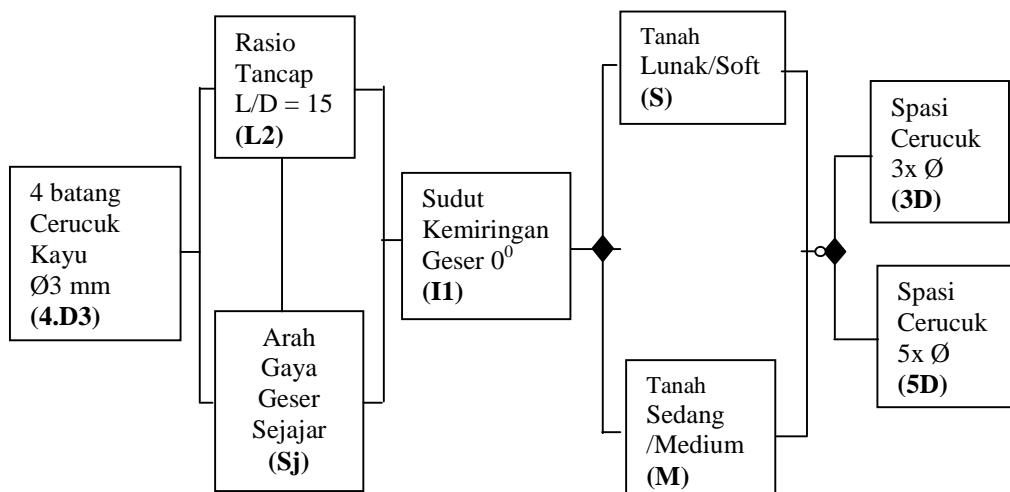
Gambar 3.12 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 3mm dan spasi 5D dalam kotak geser



Gambar 3.13 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 3mm dan spasi 8D dalam kotak geser

2) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi Jenis Tanah

Untuk mengetahui pengaruh jenis tanah yang ditancapi cerucuk terhadap nilai kuat gesernya, maka dilakukan pengujian kuat geser dengan jenis tanah yang bervariasi. Dalam pengujian ini benda uji model tanah yang digunakan memiliki 2(dua) tingkatan konsistensi, yaitu : 1) lempung lunak (*soft*), 2) lempung sedang (*medium*). Bagan alir pengujian geser benda uji dengan variasi jenis tanah ditunjukkan pada Gambar 3.14. Pada masing-masing benda uji tersebut akan ditancapi cerucuk sebanyak 4 batang disusun berderet (1 baris) dengan rasio tancap (L/D) sebesar 15. Cerucuk yang akan digunakan tersebut memiliki diameter 3mm. Dalam Tabel 3.7 ditunjukkan jumlah benda uji yang diperlukan dalam pengujian ini.

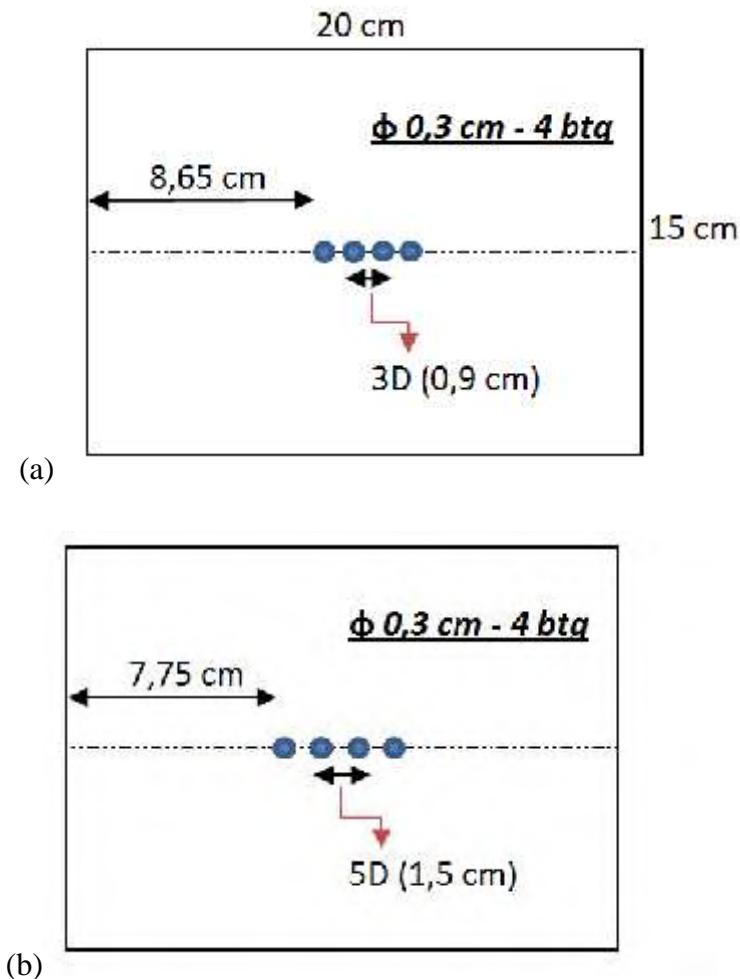


Gambar 3.14 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi jenis tanah

Tabel 3.7 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Jenis Tanah

No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	<u>S</u> (4.D3. <u>3D</u>). Sj.L2.I1	1 x 2	
2.	<u>S</u> (4.D3. <u>5D</u>). Sj.L2.I1	1 x 3	
3.	<u>M</u> (4.D3. <u>3D</u>). Sj.L2.I1	1 x 3	
4.	<u>M</u> (4.D3. <u>5D</u>). Sj.L2.I1	1 x 3	
Total Benda Uji		11 buah	

Dalam Gambar 3.14 dijelaskan bahwa jarak antar cerucuk (spasi) ditetapkan bervariasi, yaitu 3D dan 5D. Ilustrasi spasi cerucuk tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Konfigurasi model cerucuk 4 batang untuk diameter 3mm dan spasi 3D dan 5D

3) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi spasi kelompok cerucuk

Tes ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak antar cerucuk yang ditancap kedalam tanah terhadap besar gaya geser yang dapat ditahan oleh

sistem tanah-cerucuk. Data hasil pengujian ini diambil dari sebagian data hasil pengujian sebelumnya, yaitu pengujian untuk variasi rasio tancap. Pada Tabel 3.8 menunjukkan data yang telah diperoleh dari pengujian sebelumnya untuk menunjang tahap analisis perilaku kuat geser tanah-cerucuk dengan pengaruh spasi kelompok cerucuk.

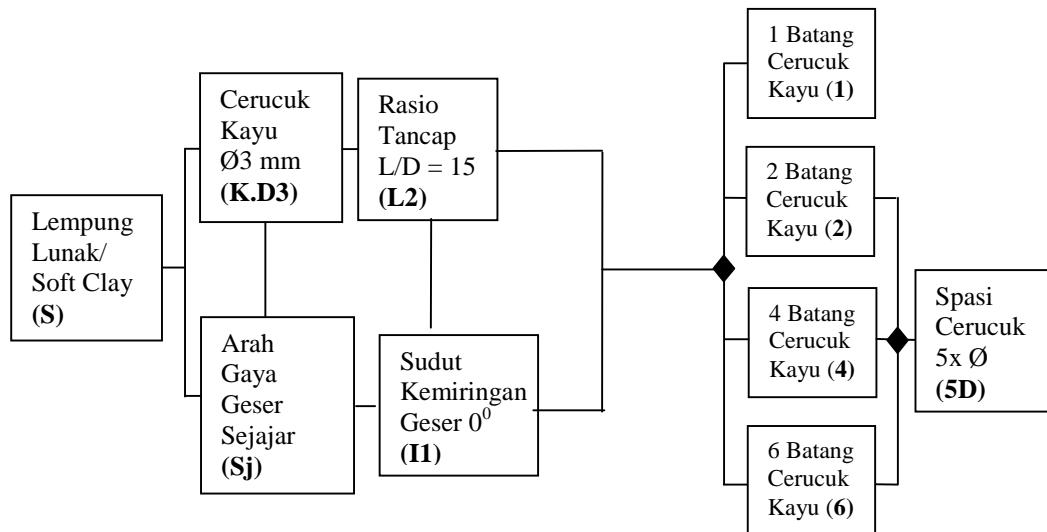
Tabel 3.8 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Spasi Kelompok Cerucuk

No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	S(2.D3.<u>3D</u>). Sj.<u>L2.I1</u>	1 x 3	
2.	S(2.D3.<u>5D</u>). Sj.<u>L2.I1</u>	1 x 3	
3.	S(2.D3.<u>8D</u>). Sj.<u>L2.I1</u>	1 x 3	
Total Benda Uji		9 buah	

4) *Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi jumlah cerucuk dengan pemberian gaya geser arah sejajar dan tegak lurus*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah cerucuk terhadap besar gaya geser yang dapat ditahan oleh tanah-cerucuk apabila gaya geser yang diberikan dalam arah sejajar dan tegak lurus terhadap barisan cerucuk. Pengujian ini dilakukan terhadap benda uji lempung lunak yang ditancapi cerucuk kayu dengan diameter 3mm dan rasio tancap (L/D) sebesar 15. Sudut kemiringan bidang geser yang diterapkan sebesar 0^0 . Bagan alir pengujian ini dapat dilihat dalam Gambar 3.16 dan 3.17. Sedangkan jumlah benda uji dalam pengujian ini dijelaskan dalam Tabel 3.9 dan 3.10. Dalam pengujian ini jumlah cerucuk yang akan ditancap kedalam benda uji sebanyak 1 batang, 2 batang, 4 batang, dan 6 batang. Untuk kelompok cerucuk, batang-batang cerucuk akan disusun dalam 1 baris untuk masing-masing benda uji dengan jarak antar (spasi) cerucuk kelompok ditetapkan sebesar 5D. Ilustrasi posisi cerucuk dengan spasi 5D dapat dilihat pada Gambar 3.12, 3.15, dan 3.18. Pada saat pelaksanaan pengujian, gaya geser yang diberikan dalam 2(dua) arah yaitu sejajar dan tegak lurus terhadap baris cerucuk. Ilustrasi arah gaya geser

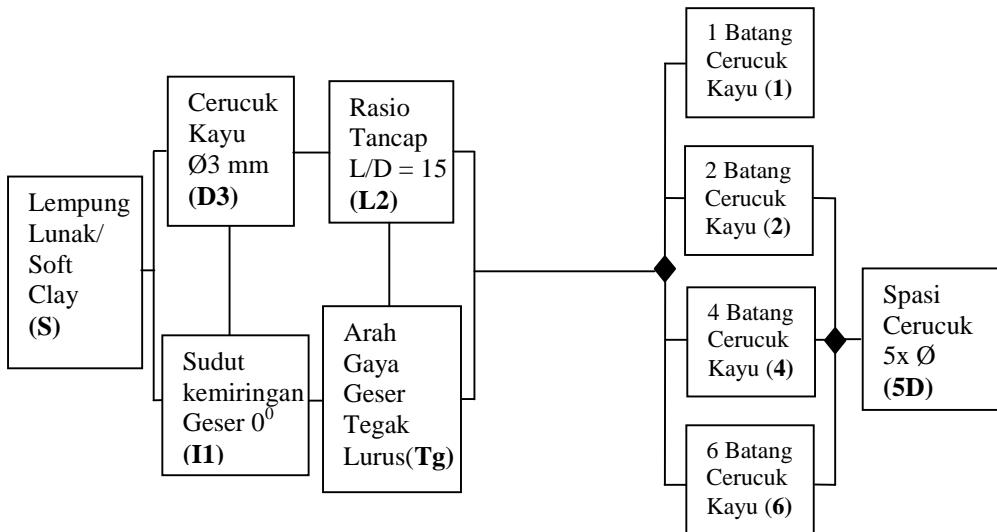
terhadap kotak geser yang telah terisi dengan tanah-cerucuk ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.16 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi jumlah cerucuk dan arah gaya geser sejajar

Tabel 3.9 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Jumlah Cerucuk Arah dan Gaya Geser Sejajar

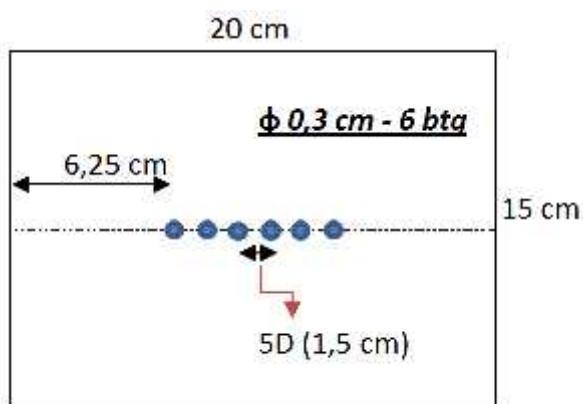
No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	S(1.D3.). Sj.L2.I1	1 x 3	
2.	S(2.D3.5D). Sj.L2.I1	1 x 3	
3.	S(4.D3.5D). Sj.L2.I1	1 x 3	Pengujian yang sama pada variasi rasio tancap dan variasi jenis tanah.
4.	S(6.D3.5D). Sj.L2.I1	1 x 3	
Total Benda Uji		12 buah	



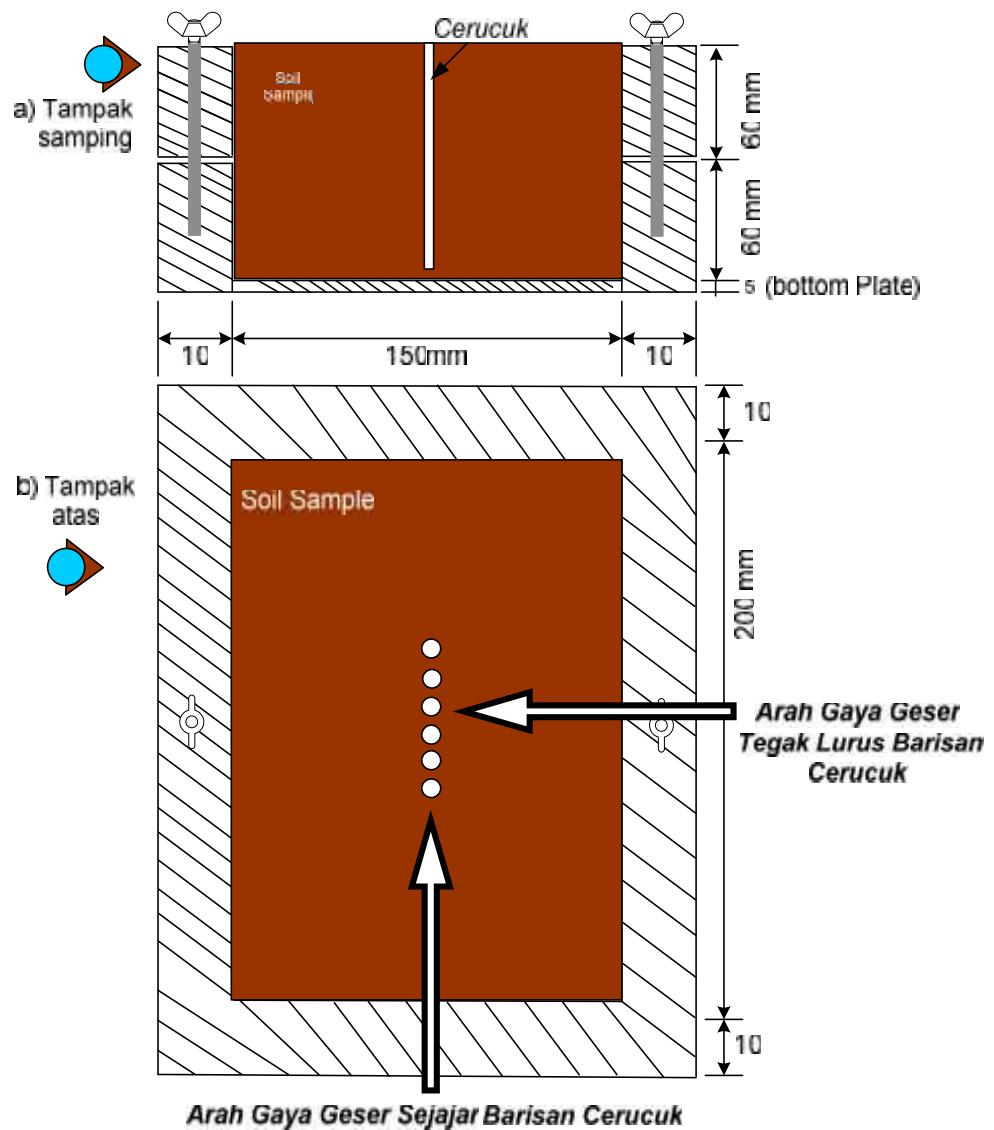
Gambar 3.17 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi jumlah cerucuk dan arah gaya geser tegak lurus

Tabel 3.10 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Jumlah Cerucuk Arah dan Gaya Geser Tegaklurus

No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	S(1.D3.). Tg.L2.I1	1 x 2	
2.	S(2.D3.5D). Tg.L2.I1	1 x 3	
3.	S(4.D3.5D). Tg.L2.I1	1 x 3	
4.	S(6.D3.5D). Tg.L2.I1	1 x 3	
Total Benda Uji		11 buah	



Gambar 3.18 Konfigurasi model cerucuk 6 batang untuk diameter 3mm dan spasi 5D

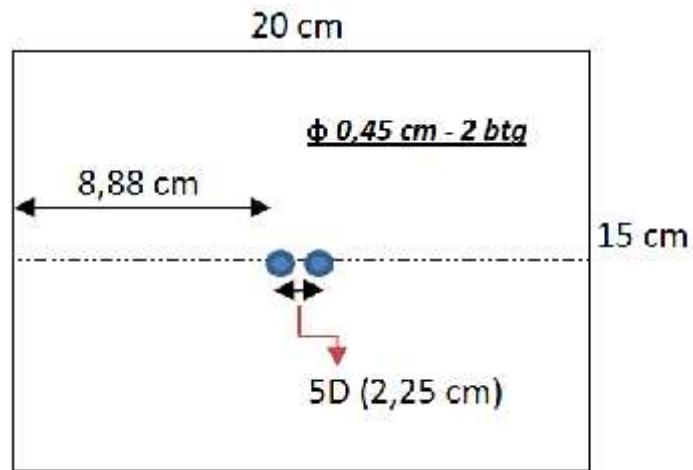


Gambar 3.19 Ilustrasi benda uji dalam *shear box* dengan arah pemberian gaya geser

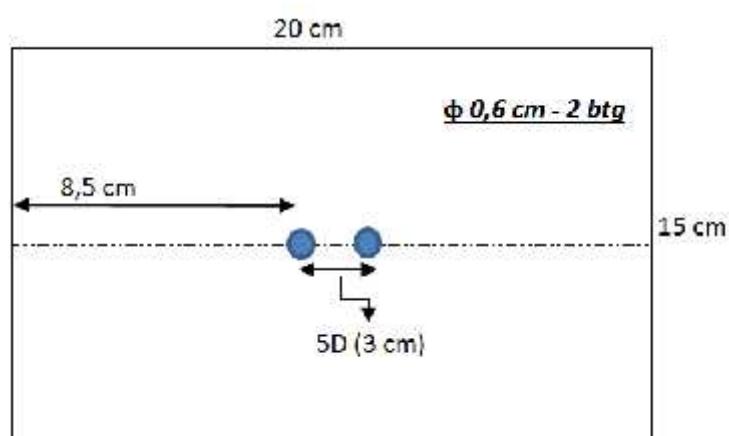
5) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi diameter cerucuk

Tes ini dilakukan terhadap benda uji tanah lunak yang akan ditancapi dengan 2 batang cerucuk kayu dengan diameter yang bervariasi. Diameter cerucuk yang digunakan dalam tes ini sebesar 3mm, 4,5mm, dan 6 mm. Adapun rasio tancap (L/D) ditetapkan sebesar 15 dan sudut kemiringan bidang geser sebesar 0^0 terhadap bidang geser. Jarak antar cerucuk yang diterapkan adalah 5D.

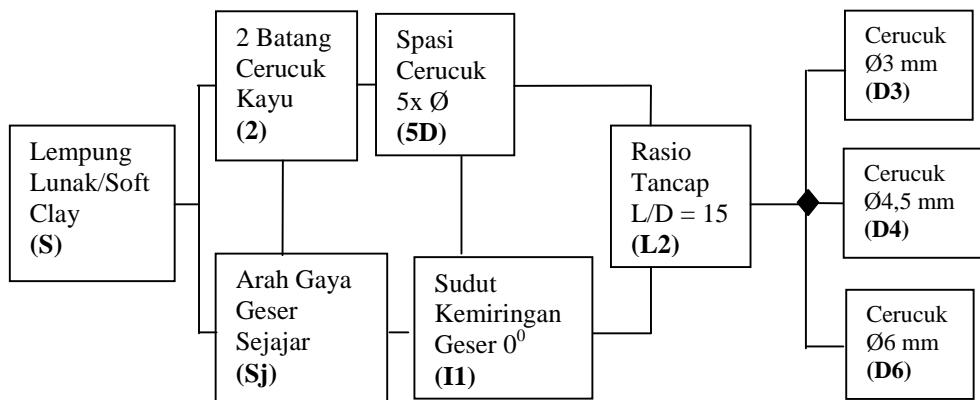
Ilustrasi spasi cerucuk sebesar 5D ditunjukkan dalam Gambar 3.20, dan 3.21. Pada Gambar 3.22 ditunjukkan bagan alir pengujian ini, sedangkan banyaknya benda uji ditunjukkan dalam Tabel 3.12.



Gambar 3.20 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 4,5mm dan spasi 5D (kotak geser tipe 1 : 20 cm x 15 cm x 12 cm)



Gambar 3.21 Konfigurasi model cerucuk 2 batang untuk diameter 6mm dan spasi 5D (kotak geser tipe 2 : 20 cm x 15 cm x 18 cm)



Gambar 3.22 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi diameter cerucuk

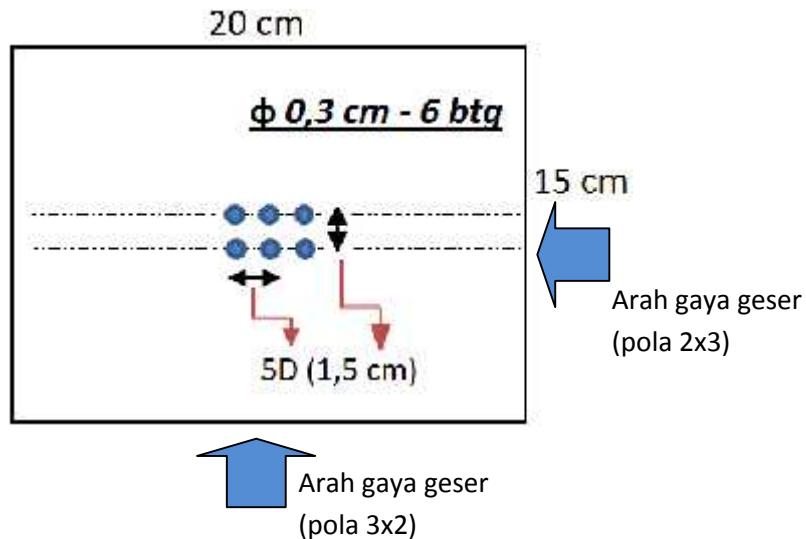
Tabel 3.12 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Diameter Cerucuk

No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	S(2.D3.5D). Sj.L2.I1	1 x 3	Pengujian yang sama pada variasi rasio tancap
2.	S(2.D4.5D). Sj.L2.I1	1 x 3	
3.	S(2.D6.5D). Sj.L2.I1	1 x 2	
Total Benda Uji		8 buah	

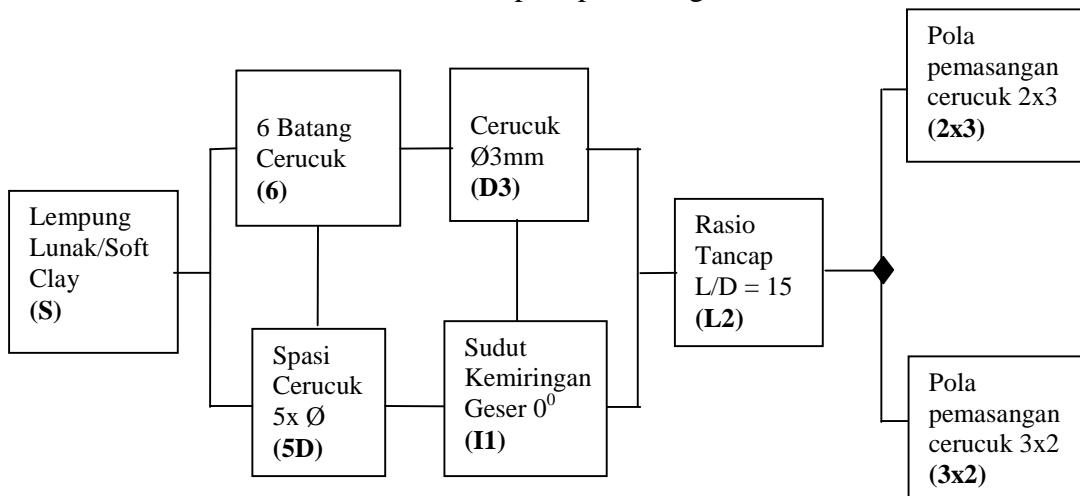
6) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi pola pemasangan cerucuk

Dalam pengujian ini terdapat 2(dua) variasi pola pemasangan cerucuk kelompok, yaitu pola 2x3 dan pola 3x2 (lihat ilustrasi Gambar 3.23). Kedua variasi pola pemasangan dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan perbandingan peningkatan tahanan geser tanah lunak akibat adanya pola pemasangan cerucuk. Dalam pengujian ini menggunakan benda uji dari tanah lempung lunak (S) yang ditancapi sejumlah 6 batang cerucuk berdiameter 3mm dengan spasi 3D. Adapun rasio tancap (L/D) yang diterapkan adalah 15. Dalam Gambar 3.22 ditunjukkan bagan alir pengujian variasi pola

pemasangan cerucuk, sedangkan dalam Tabel 3.13 dijelaskan kebutuhan jumlah benda uji yang diperlukan dalam pengujian ini.



Gambar 3.23 Ilustrasi pola pemasangan cerucuk



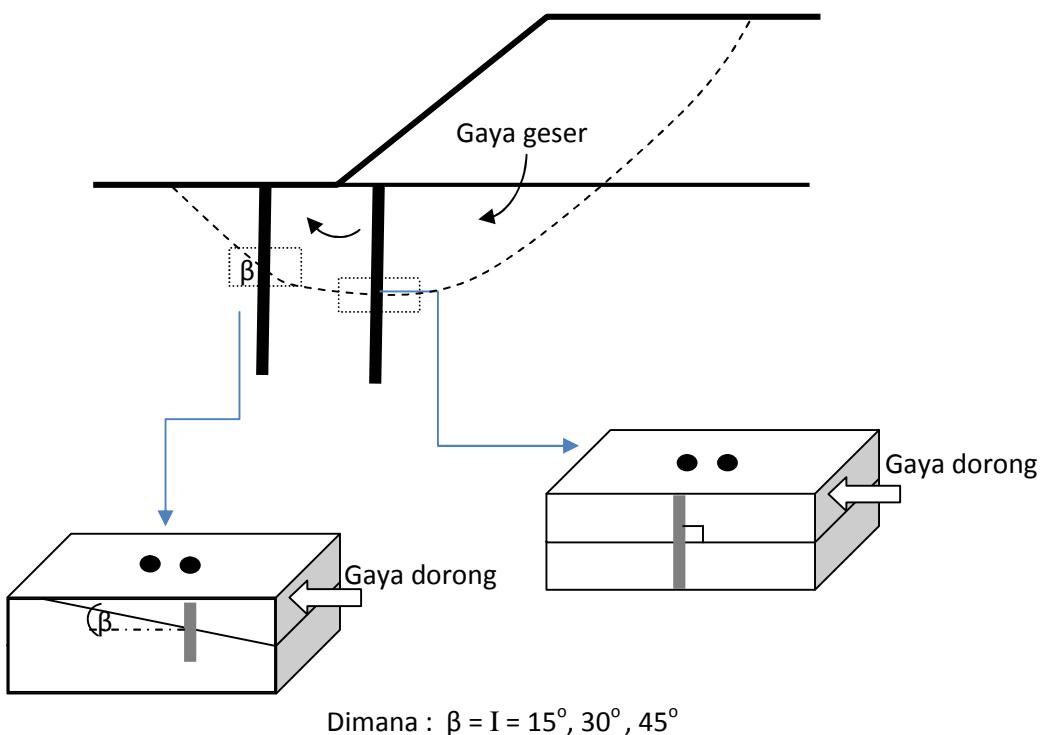
Gambar 3.24 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi pola pemasangan cerucuk

Tabel 3.13 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Pola Pemasangan Cerucuk

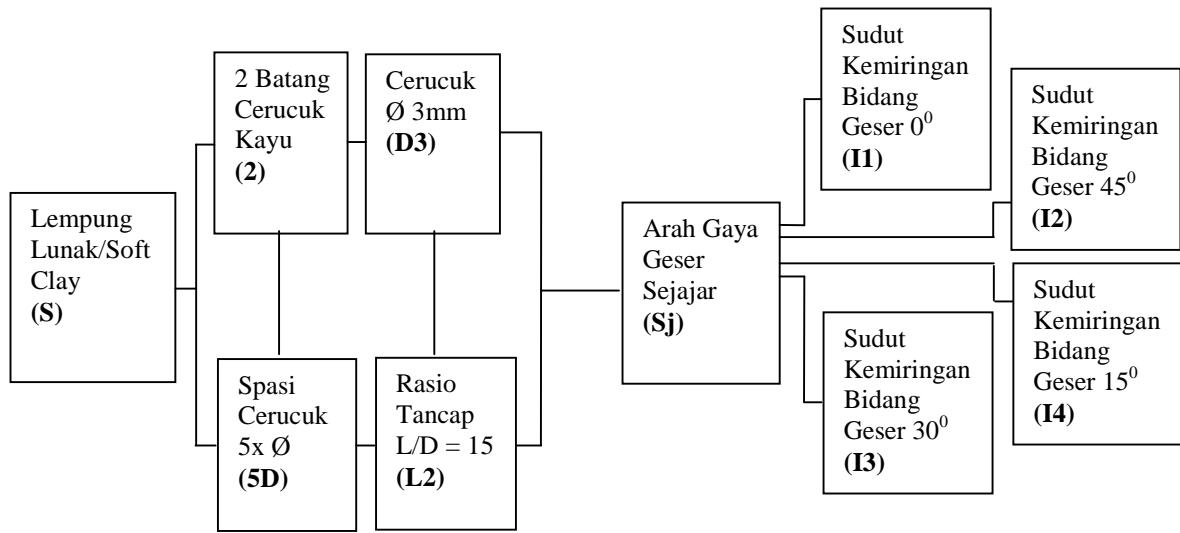
No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	S(6.2x3D3.5D). L2.I1	1 x 3	
2.	S(6.3x2D3.5D). L2.I1	1 x 3	
Total Benda Uji		6 buah	

7) Uji geser tanah-cerucuk dengan variasi posisi tancap cerucuk

Pengujian ini dilakukan untuk menggambarkan posisi cerucuk seperti yang dijelaskan dalam Gambar 3.25. Variasi sudut kemiringan bidang geser pada benda uji yang akan diberikan adalah sebesar 0° , 45° , 30° , dan 15° . Masing-masing sudut kemiringan bidang geser tersebut diterapkan pada benda uji dengan jenis tanah lempung lunak (S) yang ditancapi dengan cerucuk sebanyak 2 batang dan memiliki diameter 3mm (2.D3). Rasio tancap L/D yang digunakan adalah 15 (L2) dan spasi cerucuk sebesar 5D. Bagan alir pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 3.26, sedangkan kebutuhan benda uji untuk pengujian ini dijelaskan dalam Tabel 3.14.



Gambar 3.25 Ilustrasi posisi cerucuk di lapangan dan sudut kemiringan bidang geser model laboratorium.

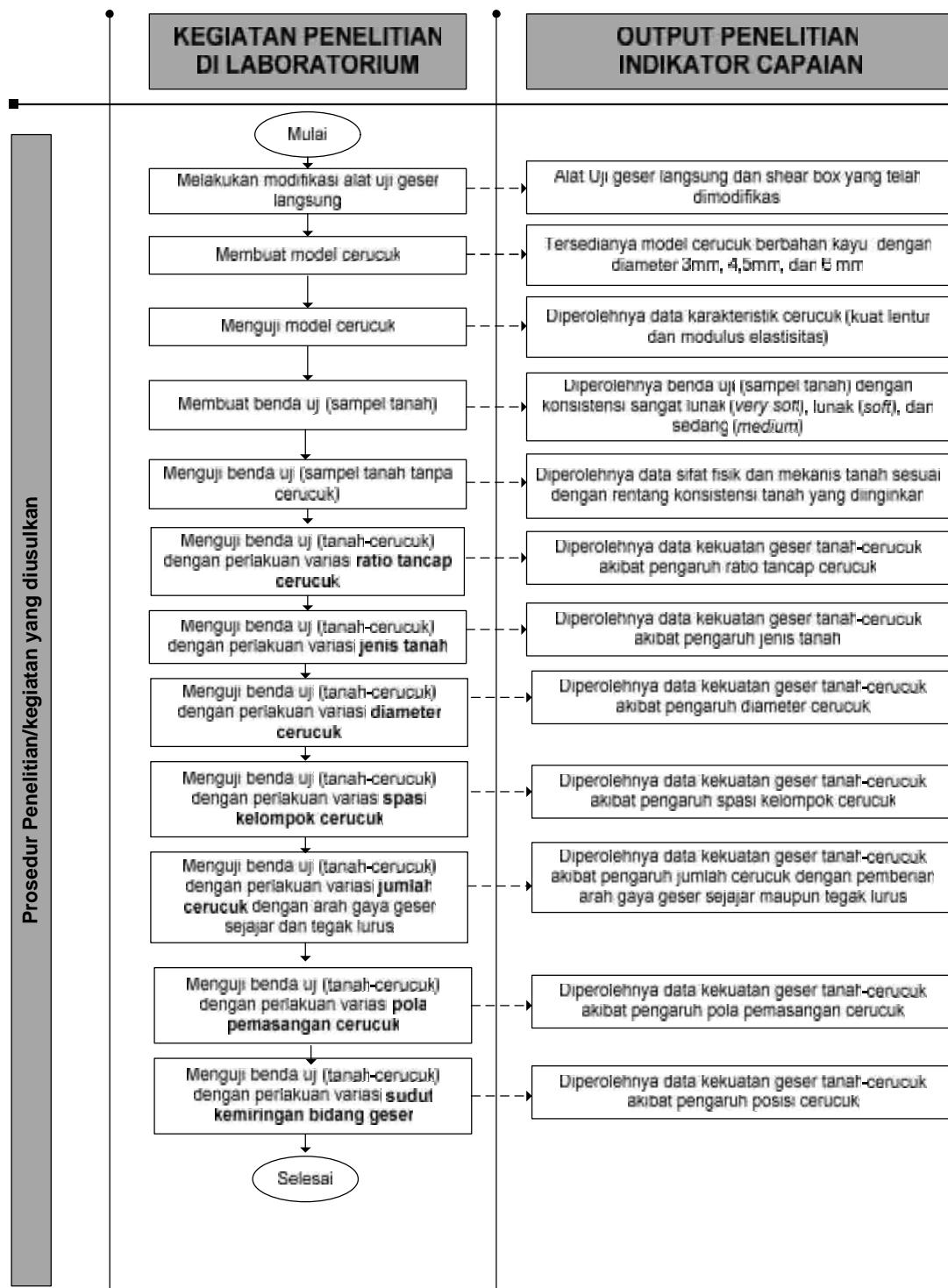


Gambar 3.26 Bagan alir pengujian geser langsung benda uji tanah-cerucuk dengan perlakuan variasi posisi tancap cerucuk

Tabel 3.14 Kode dan Jumlah Benda Uji Variasi Posisi Tancap Cerucuk

No.	Kode	Jumlah Benda Uji	Keterangan
1.	S(2.D3.5D). Sj.L2. <u>I1</u>	1 x 3	Pengujian yang sama pada variasi rasio tancap
2.	S(2.D3.5D). Sj.L2. <u>I2</u>	1 x 3	
3.	S(2.D3.5D). Sj.L2. <u>I3</u>	1 x 3	
4.	S(2.D3.5D). Sj.L2. <u>I4</u>	1 x 3	
Total Benda Uji		12 buah	

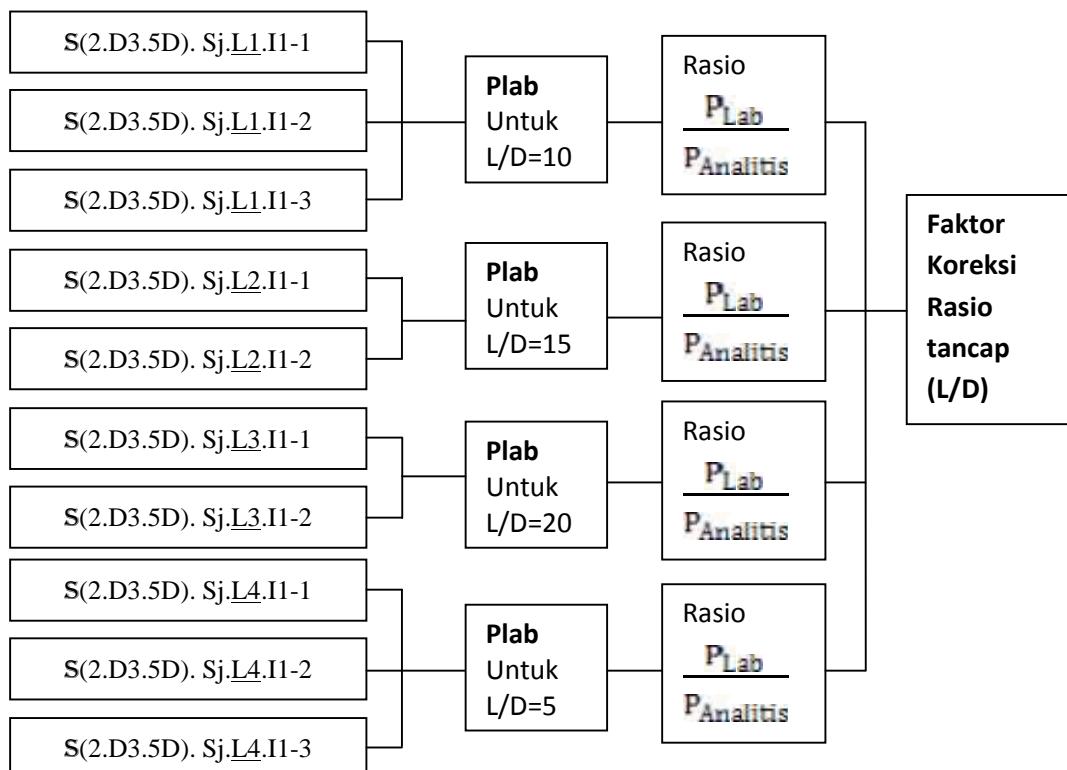
Rangkaian kegiatan penelitian ini secara keseluruhan dengan output penelitian dan indikator capaian ditunjukkan pada Gambar 3.27.



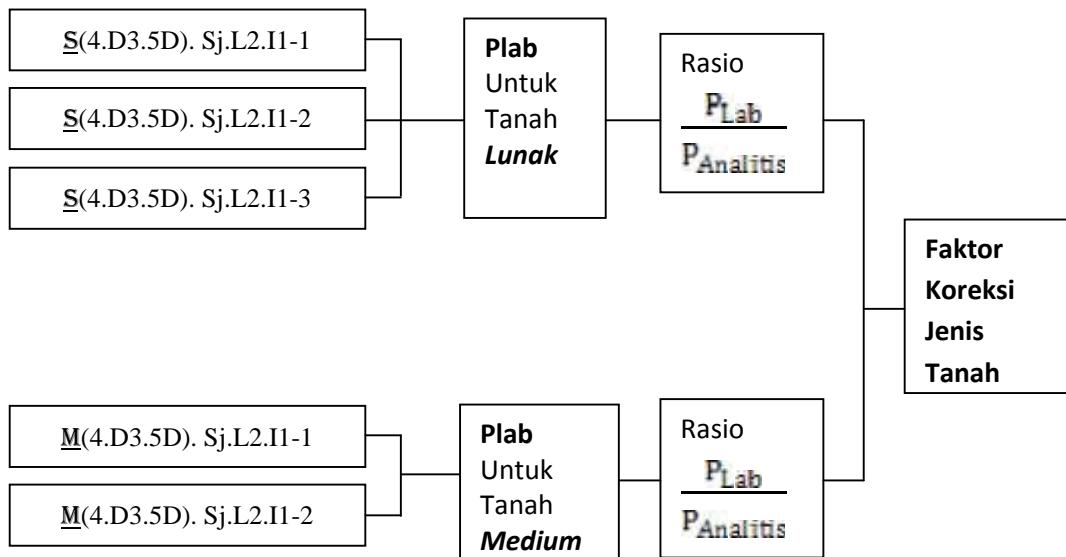
Gambar 3.27 Bagan alir penelitian

3.7 Cara Analisis Hasil Penelitian

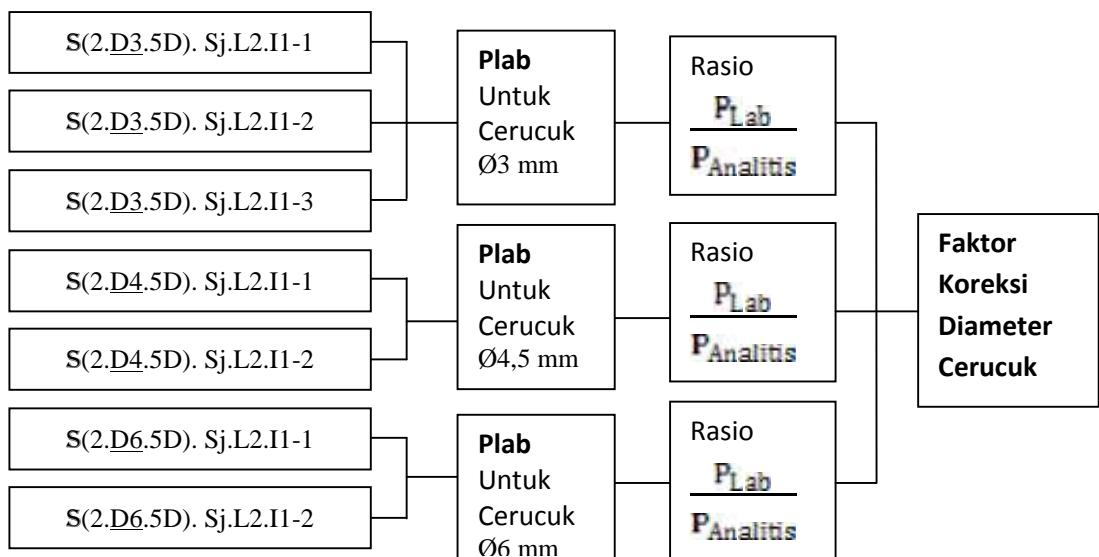
Semua pengujian terhadap benda uji dengan variasi perlakuan yang akan dilakukan menghasilkan besar gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji tersebut (Pgeser atau Plab). Plab untuk masing-masing variasi perlakuan dari hasil percobaan laboratorium akan dibandingkan dengan Panalitis. Dimana Panalitis adalah gaya geser yang ditentukan secara analitis dengan menggunakan rumus NAVFAC DM.7. Perbandingan ini akan menghasilkan nilai koreksi. Selain itu hubungan Plab untuk masing-masing variasi perlakuan akan diplot kedalam bentuk korelasi grafis. Pada akhirnya akan dapat ditentukan pemodelan empiris untuk kekuatan geser cerucuk dalam tanah dengan faktor-faktor koreksi. Berikut dalam Gambar 3.28 sampai Gambar 3.34 ditunjukkan bagan-bagan alir analisis data.



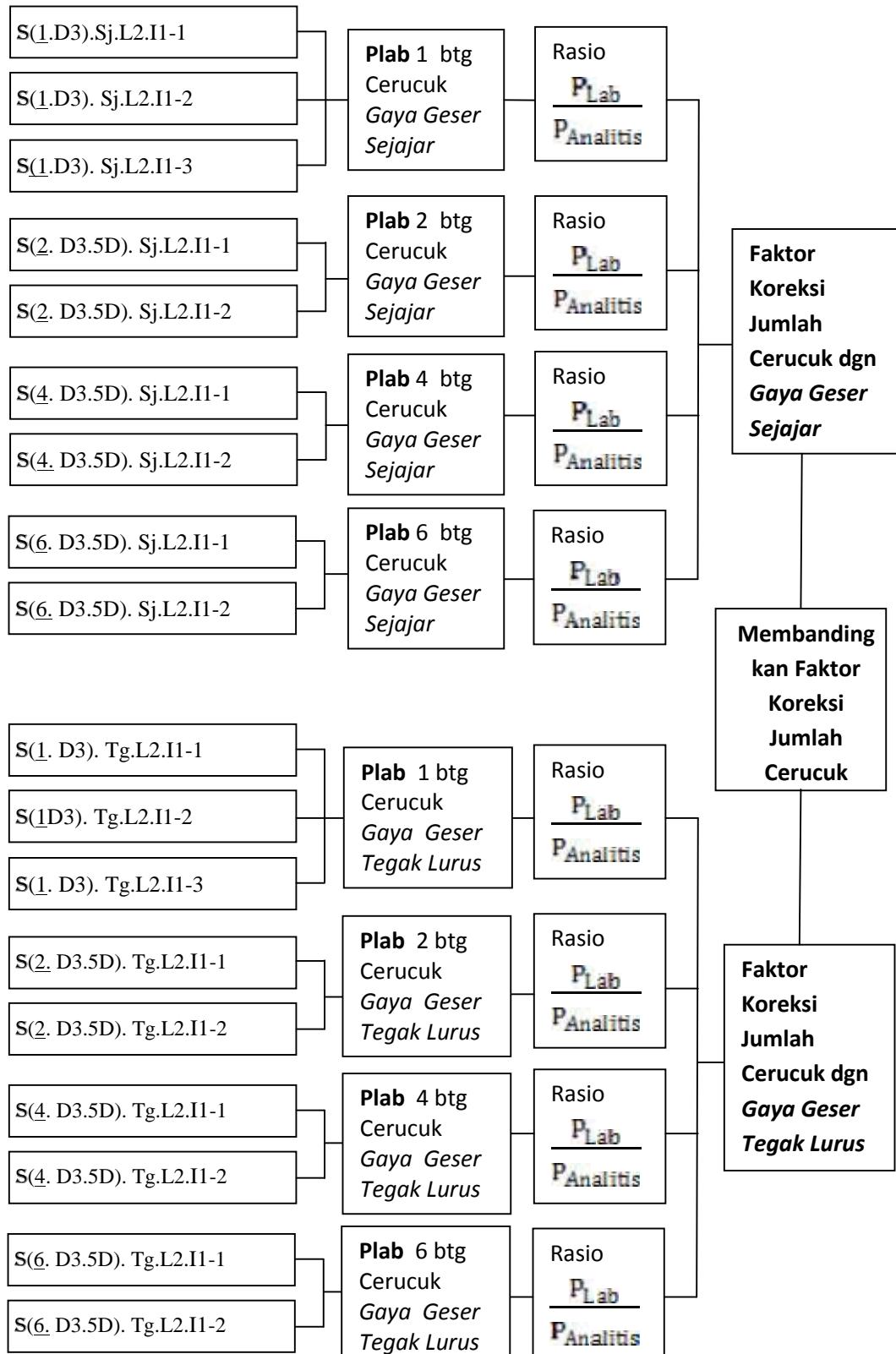
Gambar 3.28 Bagan alir analisis data pengaruh rasio tancap



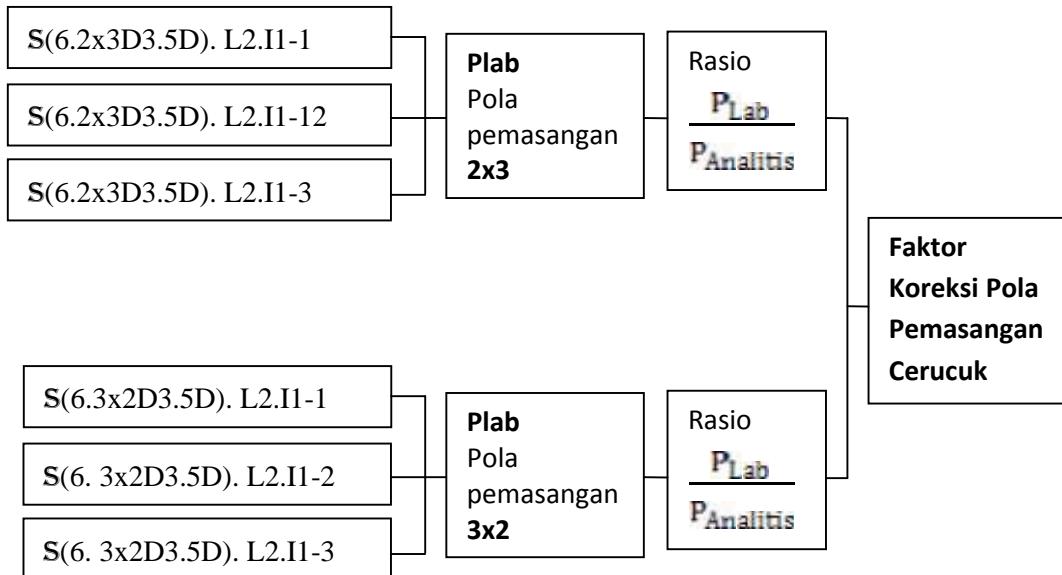
Gambar 3.29 Bagan alir analisis data pengaruh jenis tanah



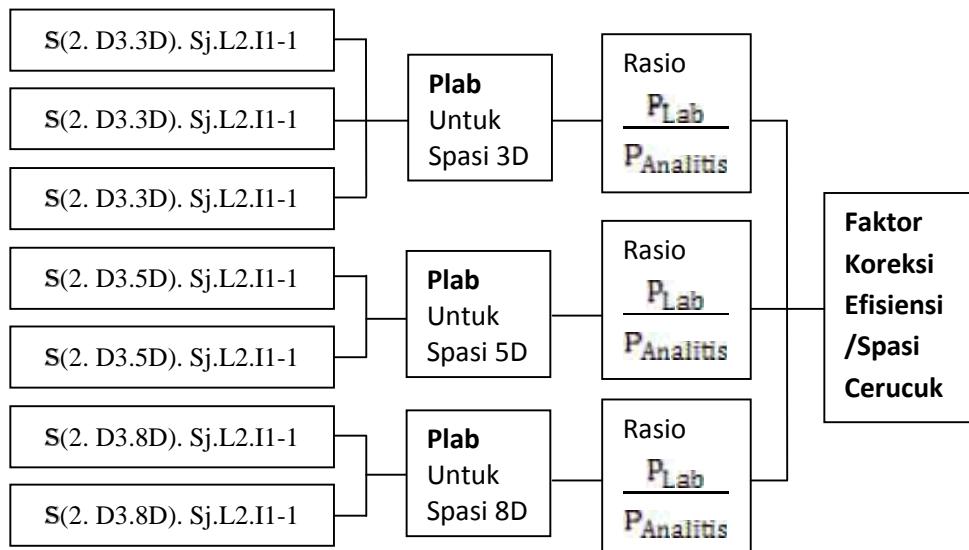
Gambar 3.30 Bagan alir analisis data pengaruh diameter cerucuk



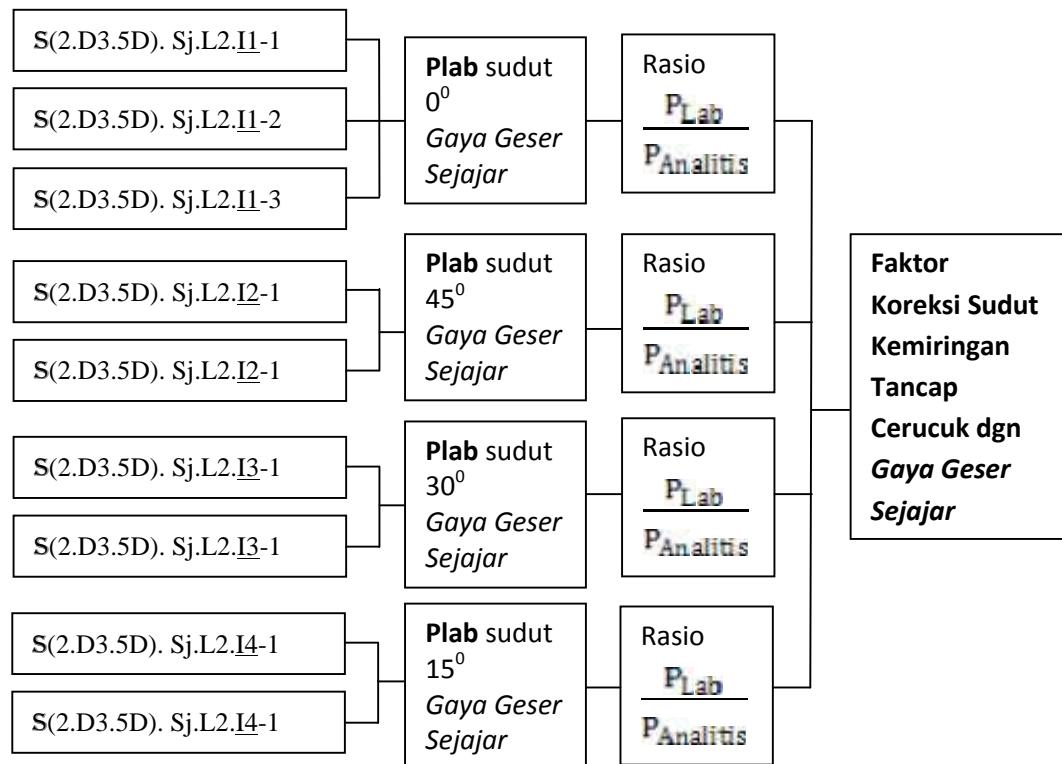
Gambar 3.31 Bagan alir analisis data pengaruh jumlah cerucuk



Gambar 3.32 Bagan alir analisis data pengaruh pola pemasangan cerucuk



Gambar 3.33 Bagan alir analisis data pengaruh spasi kelompok cerucuk



Gambar 3.34 Bagan alir analisis data pengaruh posisi cerucuk (sudut kemiringan bidang geser)

Dari masing-masing *flowchart* tersebut menunjukkan faktor koreksi masing-masing variasi pengaruh (perlakuan) tanah-cerucuk yang didapatkan dari nilai rasio Plab/Panalitis. Kemudian nilai tersebut akan diplot kedalam kurva hubungan regresi dengan masing-masing perkiraan bentuk formula dan variabel sebagai berikut :

Fk_1 = faktor koreksi rasio tancap (L/D)

$$= L + D$$

Fk_2 = faktor koreksi diameter cerucuk

$$= \delta_D + D_1$$

Fk_3 = faktor koreksi jumlah cerucuk dengan arah gaya geser sejajar

$$= n + A_1$$

Fk_4 = faktor koreksi spasi cerucuk

$$= f(x_1)$$

Persamaan akhir faktor koreksi (Fkg) ditentukan dengan mengalikan semua faktor koreksi dari masing-masing variasi, maka :

$$Fk_g = Fk_1 \times Fk_2 \times Fk_3 \times Fk_4$$

$$Fk_g = (L + D) \times (\delta_D + D_1) \times (n + A_1) \times f(x_1)$$

Faktor koreksi gabungan (Fkg) tersebut merupakan unsur variabel dari fungsi gaya horizontal yang mampu ditahan oleh satu buah cerucuk (P_{max}). Dimana masing-masing variabel dari semua variasi akan saling berhubungan dan saling berpengaruh satu sama lainnya.

Dengan menggunakan formula menurut NAVFAC DM.7, maka perhitungan gaya horizontal yang mampu ditahan oleh satu buah cerucuk (P_{max}) adalah ditunjukkan dalam Persamaan 3.1.

$$P_{\max(1\ cerucuk)} = \frac{Mp_{\max(1\ cerucuk)}}{fm.T} \times Fk_g \quad (3.1)$$

Keterangan :

P_{max} = gaya horizontal yang bekerja pada cerucuk (kg).

Fk_g = faktor koreksi gabungan

M_{pmax} = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P (kg.cm).

fm = koefisien momen akibat gaya lateral P .

D = diameter cerucuk.

T = Faktor kekakuan relatif (cm).

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm²

I = momen inersia tiang (cerucuk), cm⁴

f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm³

Harga f didapat dengan bantuan Gambar kurva dalam Design Manual, NAVFAC DM-7 (1971) yang merupakan grafik hubungan antara f dengan *unconfined compression strength*, $q_u = 2 Cu$.

3.8 Validasi Model Persamaan

Setelah model persamaan atau rumus cerucuk dihasilkan dengan menambahkan faktor koreksi gabungan maka selanjutnya dilakukan tahap validasi agar model persamaan atau rumus cerucuk dihasilkan dapat dinyatakan valid. Dalam tahap validasi ini dilakukan pendekatan dengan cara melakukan perbandingan-perbandingan terhadap hasil perancangan jumlah cerucuk yang telah dihasilkan oleh rumus cerucuk yang baru dengan berbagai metode yang relevan. Kasus nyata di lapangan digunakan sebagai objek perancangan perhitungan jumlah cerucuk tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM

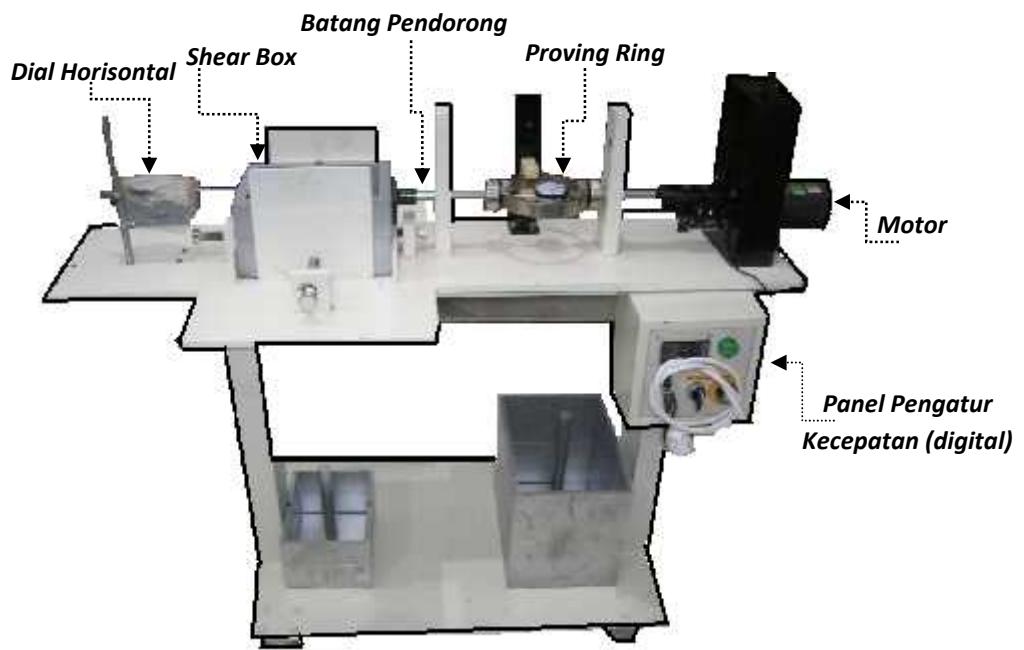
4.1 Alat Uji Geser Tanah-Cerucuk

Dalam pelaksanaan kegiatan penelitian utama, diawali dengan melakukan kegiatan pembuatan alat uji geser langsung tanah-cerucuk. Pembuatan alat uji geser langsung tanah-cerucuk dilakukan di bengkel las dan mesin UD.Surya Buana, Sidoarjo.

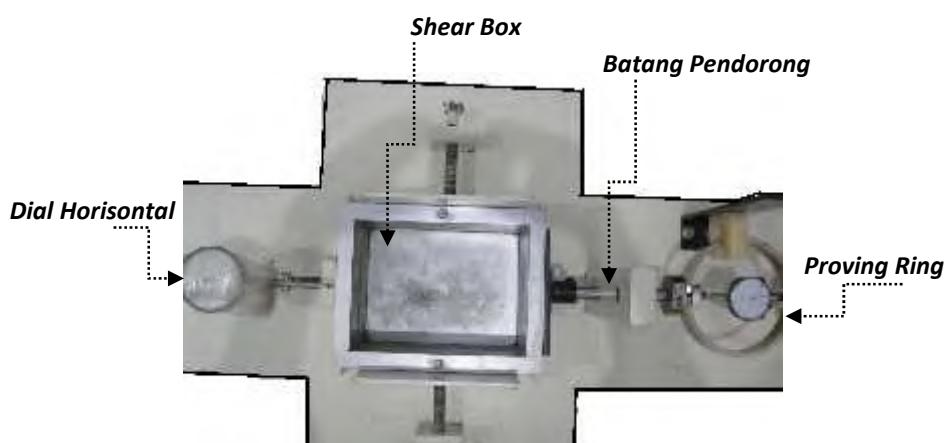
Dalam Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan konstruksi alat uji geser langsung tanah-cerucuk yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini. Beberapa komponen penting yang terdapat dalam alat uji geser langsung tanah-cerucuk tersebut, yaitu : 1(satu) set *proving ring* dengan kapasitas 500kgf (dial merk TOKI) dalam kondisi telah dikalibrasi oleh MBT Bandung, 1(satu) set batang pendorong, 1(satu) buah dial horisontal dengan kapasitas 50mm merk *Mitutoyo* Japan, 1(satu) unit motor penggerak kecepatan automatic kapasitas 60Hz merk *Tung Lee Electrical* buatan Korea dilengkapi dengan panel pengatur kecepatan secara digital, dan kotak geser (*shear box*) yang berukuran relative besar, yaitu 20cm x 15cm x 12cm (lihat Gambar 4.3). Berdasarkan hasil kalibrasi *proving ring* oleh perusahaan MBT Bandung menyatakan bahwa persamaan kalibrasi yang digunakan untuk alat tersebut adalah : $P_{lab} = (3.416 * Div) + 2.0383$ (dimana Div adalah satuan garis dalam alat ukur dial *proving ring*)

Gaya geser horisontal diberikan pada benda uji (kotak geser) setelah motor penggerak yang telah diatur kecepatannya menyalurkan gaya horisontal melalui batang pendorong. Besaran gaya geser horisontal terbaca melalui dial pada *proving ring* tersebut. Bersamaan dengan itu pula besaran deformasi horisontal dari benda uji terbaca pada dial horisontal yang terdapat pada alat uji geser langsung tanah-cerucuk tersebut. Sebelum melakukan pengujian geser terlebih dahulu pada bagian kedua sisi belahan atas dan bawah kotak geser yang saling bersentuhan diolesi dengan gel pelumas. Sehingga selama gaya geser diberikan, kedua sisi belahan atas dan bawah dari kotak geser (untuk belahan kotak geser

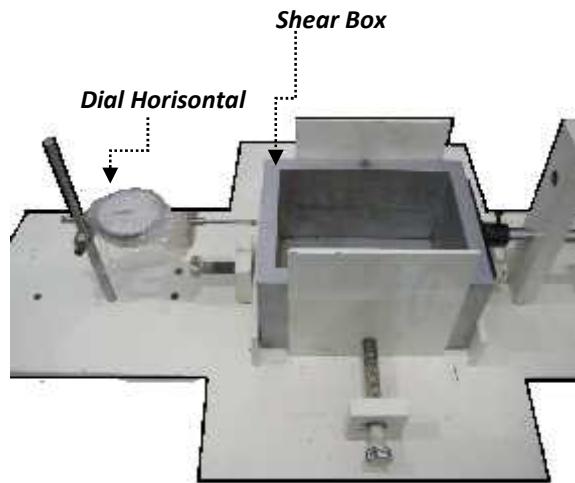
bersudut 0° , 15° , 30° , dan 45°) tidak terjadi gesekan. Hal ini terbukti saat diberikan gaya geser terhadap kotak geser tanpa terisi benda uji (tanah) maka jarum penunjuk *dial gauge* pada proving ring tidak bergerak (bernilai nol). Tidak terjadinya gesekan juga karena luasan area gesekan pada kotak geser adalah sangat kecil (ketebalan dinding kotak geser relatif tipis).



Gambar 4.1 Alat Uji Geser Tanah-Cerucuk



Gambar 4.2 Tampak atas alat uji geser langsung tanah-cerucuk.



Gambar 4.3 Posisi *shear box* pada alat uji geser tanah-cerucuk

4.2 Hasil Pengujian Tanah

Dalam penelitian ini jenis tanah lempung yang digunakan ada 2(dua) jenis, yaitu tanah lempung dengan tingkat konsistensi lunak (soft clay, $C_u=0,190\text{kg/cm}^2$ dan $C_u=0,127\text{kg/cm}^2$), dan tanah lempung dengan tingkat konsistensi sedang (medium clay, $C_u=0,366\text{kg/cm}^2$). Untuk jenis lempung lunak diambil dari daerah lingkungan kampus ITS, yaitu tanah yang terdapat pada lahan belakang Gedung Robotica ITS Surabaya. Sedangkan untuk jenis tanah lempung sedang diambil dari Desa Kedamean, daerah Gresik, Jawa Timur.

Pada Tabel 4.1 disajikan rekapitulasi karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung tersebut. Dalam Tabel 4.1 menunjukkan bahwa jenis lempung lunak yang digunakan dalam penelitian ini menurut klasifikasi metode USCS tergolong memiliki tingkat plastisitas yang tinggi (CH). Sedangkan menurut klasifikasi metode AASHTO tergolong A-7 (tanah berlempung). Demikian pula untuk jenis tanah lempung dengan tingkat konsistensi sedang (*medium clay*) tergolong kedalam A-7 (tanah berlempung) menurut metode AASHTO. Dalam Tabel 4.1 juga ditunjukkan bahwa pada kolom *handboring Undisturbed II* nilai batas cair (LL) sebesar 95,64% yang tergolong relatif tinggi. Namun nilai tersebut tidak mengindikasikan jenis tanahnya tergolong jenis tanah lempung kembang susut. Hal ini berdasarkan data yang ada sebelumnya dan keadaan historis tanah pada

lokasi sekitar kampus ITS Sukolilo Surabaya bukanlah tergolong daerah yang memiliki tanah lempung kembang susut.

Tabel 4.1 Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Kondisi *Undisturbed*

	Handboring		
	<i>Undisturbed I</i>	<i>Undisturbed II</i>	<i>Undisturbed III</i>
Lokasi	Robotica ITS, Surabaya.	Robotica ITS, Surabaya.	Desa Kedamean, Gresik.
Kedalaman Sampel	-1,20m	-1,20m	-0,50m
Kedalaman M.A.T	-1,20m	0,00m	-
Kondisi Cuaca	Hujan Ringan- Hujan Sedang	Hujan Lebat- Sangat Lebat	Cerah
Waktu (bulan)	November 2013	Februari 2014	Maret 2014
<i>Karakteristik :</i>			
Berat Volume, t	1,424 gr/cm3	1,360 gr/cm3	1,544 gr/cm3
Kadar Air, Wc	92,21%	114,21%	44,13%
Angka Pori, e	2,567	3,149	1,592
Derajat Kejenuhan, Sr	100%	100%	77,09%
Berat Jenis, Gs	2,643	2,633	2,77
Batas Cair, LL	64,90%	95,64%	71,60%
Batas Plastis, PL	30,33%	39,94%	36,73%
Indeks Plastisitas, PI	34,57%	55,70%	34,87%
Fraksi Lempung	75,44%	74,02%	32,73%
Fraksi Lanau	17,32%	25,06%	18,36%
Fraksi Pasir	7,24%	0,93%	48,91%
Kohesi Undrained, Cu	0,190 kg/cm2	0,127 kg/cm2	0,366 kg/cm2
Klasifikasi Konsistensi	Lempung Lunak (<i>Soft</i>)	Lempung Lunak (<i>Soft</i>)	Lempung Sedang (<i>Medium</i>)
Klasifikasi USCS	CH	CH	MH
Klasifikasi AASHTO	A-7 (Tanah Berlempung)	A-7 (Tanah Berlempung)	A-7 (Tanah Berlempung)

4.3 Uji Tarik dan Lentur Model Cerucuk Mini

Model cerucuk mini yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan kayu jenis Meranti (kayu kelas II). Model cerucuk dibuat dalam bentuk

batang silinder dengan diameter 3mm, 4,5mm, dan 6mm, dan dengan ukuran panjang batang yang disesuaikan dengan kebutuhan variasi perlakuan dalam penelitian ini. Untuk menjamin sifat homogenitas bahan kayu dari batang model cerucuk mini tersebut maka pemilihan kayu Meranti yang akan digunakan dalam penelitian ini telah memperhatikan karakteristik kayu sebagai berikut :

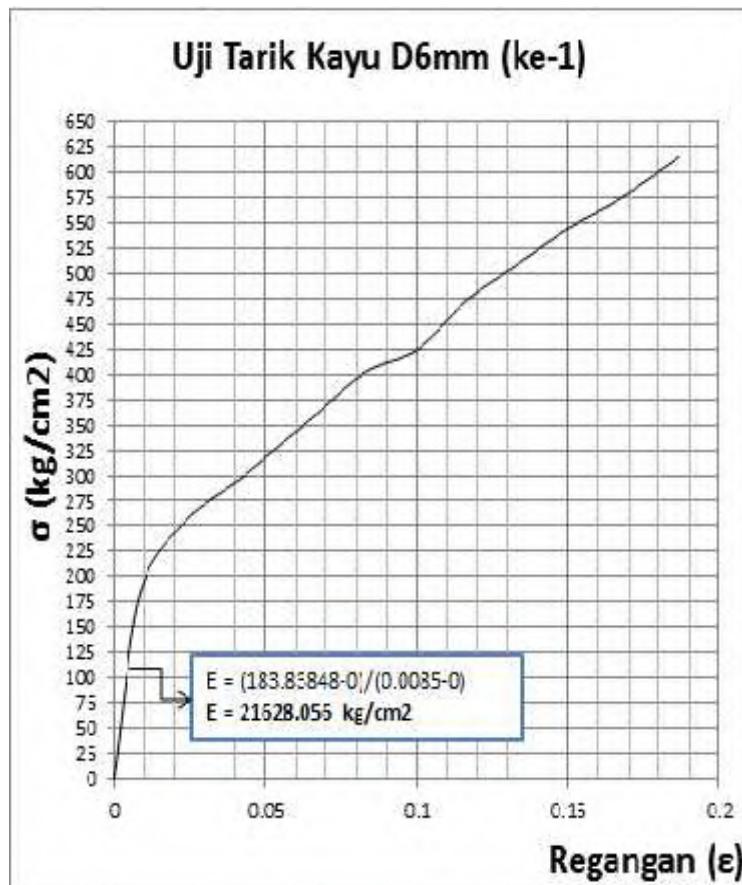
- Batang kayu yang dipilih memiliki jenis yang sama serta pengelompokan masing-masing batang cerucuk kayu mini
- Batang kayu dipilih tidak memiliki cacat/lubang/mata kayu
- Batang kayu memiliki fisik yang lurus dan tidak bengkok maupun patah
- Secara visual batang kayu memiliki serat kayu yang sejajar dan simetris
- Batang kayu memiliki kadar air yang relatif rendah dan kering homogen, serta memiliki warna visual yang relatif sama. Dalam hal ini berdasarkan pengujian kadar air dan berat volume, kayu yang telah dipilih sebagai bahan penelitian ini memiliki kadar air rata-rata sebesar 14,87 % dan berat volume rata-rata kayu sebesar 0,55gr/cm³.

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dari model cerucuk mini berbahan kayu tersebut maka dilakukan pengujian tarik pada model cerucuk mini tersebut. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat *universal tensile strength*. Pada Gambar 4.4 ditunjukkan alat uji tarik kayu dan alat uji lentur kayu.



Gambar 4.4 Alat uji tarik dan lentur cerucuk kayu mini

Pengujian tarik kayu menghasilkan kurva regangan-tegangan bahan kayu yang diuji. Pada uji lentur kayu diperoleh nilai tegangan maksimum kayu tersebut. Dalam Gambar 4.5 ditunjukkan salah satu contoh hasil pengujian tarik sampel model cerucuk kayu mini berupa kurva regangan vs tegangan. Selanjutnya dari kurva tersebut dapat ditentukan nilai modulus elastisitasnya.



Gambar 4.5 Kurva tegangan vs regangan sampel cerucuk kayu mini ke-1

Dalam Tabel 4.2 disajikan rekapitulasi nilai modulus elastisitas bahan cerucuk kayu mini dari hasil pengujian tarik. Nilai-nilai yang terdapat dalam tabel tersebut menunjukkan bahwa variasi nilai modulus elastisitas sampel uji tarik masih dalam kategori relatif seragam. Selain itu juga nilai prosentasi standar deviasi terhadap rata-rata yang tergolong kecil (<20%). Hal ini mengindikasikan bahwa bahan kayu yang dipilih memiliki karakteristik yang relatif homogen.

Tabel 4.2 Nilai Modulus Elastisitas Rata-rata Cerucuk Kayu Mini

NO. TES / PENGULANGAN	Modulus Elastisitas (E)
	Kg/cm ²
1	21628.056
2	21628.056
3	22069.445
4	21297.320
5	22459.905
6	22069.445
7	21220.621
8	21628.056
9	21212.981
10	22910.019
E RATA - RATA (kg/cm²)	21812.390
<i>STANDAR DEVIASI</i>	561.044
<i>Rasio Standar Deviasi terhadap Rata-rata (%)</i>	2.572

Sedangkan dalam Tabel 4.3 disajikan nilai tegangan lentur yang diperoleh dari hasil uji lentur cerucuk. Dalam tabel tersebut juga dinyatakan nilai rata-rata tegangan lentur yang dihasilkan.

Tabel 4.3 Tegangan Lentur Cerucuk Kayu Mini

NO TEST / PENGULANGAN	PEMBACAAN BEBAN (P)	PEMBACAAN LENDUTAN (L)	MOMEN (kg.cm)	TEG. LENTUR MAKS (kg/cm ²)
	KG	CM		
1	2.727	0.145	2.045	772.003
2	2.577	0.135	1.933	729.427
3	2.577	0.14	1.933	729.427
4	2.878	0.16	2.158	814.579
5	2.727	0.125	2.045	772.003
6	2.878	0.155	2.158	814.579
7	3.028	0.167	2.271	857.155
8	2.577	0.175	1.933	729.427
9	2.878	0.178	2.158	814.579
10	2.727	0.134	2.045	772.003
RATA - RATA	2.757	0.151	2.068	780.518
STANDAR DEVIASI	0.155	0.018		

4.4 Metode Pengambilan Data

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah FTSP-ITS Surabaya sejak bulan Oktober 2013. Sebelum melakukan penelitian utama di laboratorium terlebih dahulu melakukan pengambilan benda uji tanah kondisi tidak terganggu (*undisturbed*) dengan cara Test Pits langsung di lapangan.

Pengambilan benda uji tanah di lapangan dengan cara Test Pits melalui penggalian tanah sampai kedalaman dibawah muka air tanah. Saat berlangsungnya kegiatan Test Pits, tinggi muka air tanah pada saat penelitian relatif bervariasi tergantung frekwensi dan lamanya hujan yang terjadi pada saat itu (lihat Gambar 4.6 dan Gambar 4.7).

Pengambilan benda uji tanah menggunakan kotak Test Pits yang berukuran hampir sama dengan ukuran kotak geser (*shear box*) pada alat uji geser langsung tanah-cerucuk. Jumlah benda uji yang dibutuhkan dari lapangan disesuaikan dengan jumlah kebutuhan pengujian geser untuk berbagai variasi

perlakuan dan memperhatikan jumlah pengulangan-pengulangan (*error*) dari pengujian.

Setelah memperoleh benda uji di lapangan selanjutnya melakukan pengujian geser tanah-cerucuk dengan macam pengujian sesuai kebutuhan variasi perlakuan yang diinginkan. Prosedur pengujian geser tanah-cerucuk mengacu pada hasil penelitian Mochtar dan Arya (2002).



Gambar 4.6 Kegiatan Sampling Test Pits Lapangan (Desember, 2013)

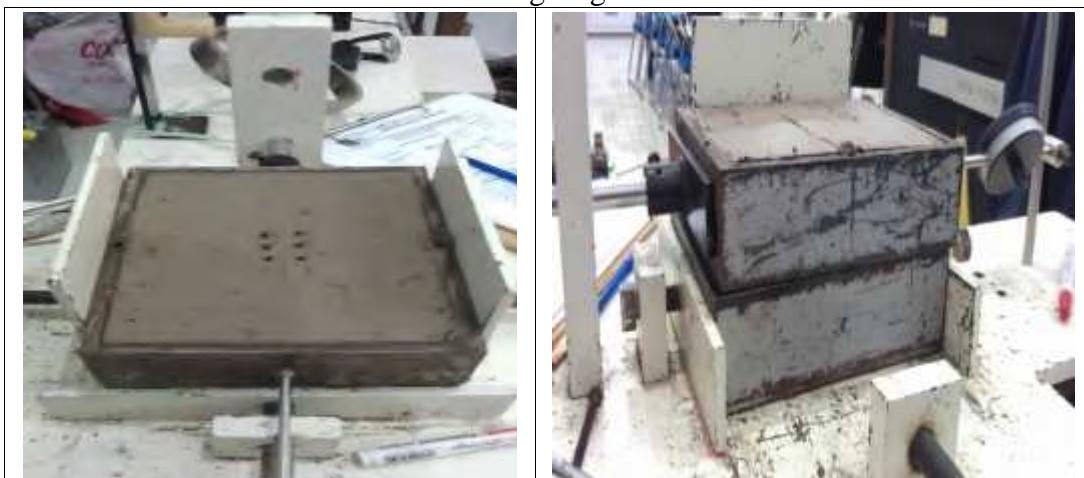


Gambar 4.7 Kegiatan Sampling Test Pits Lapangan (Februari, 2014)

Dalam Gambar 4.8 disajikan visualisasi kegiatan persiapan benda uji dan visualisasi kegiatan pemasangan model cerucuk kayu mini pada benda uji tanah *undisturbed*. Sedangkan dalam Gambar 4.9 diilustrasikan pelaksanaan pengujian geser tanah-cerucuk.



Gambar 4.8 Kegiatan persiapan benda uji sebelum pengujian geser langsung



Gambar 4.9 Kegiatan pengujian geser langsung tanah-cerucuk

Hasil pengujian geser yang telah dilakukan yaitu berupa nilai Plab dalam satuan kg. Nilai Plab langsung diukur saat pengamatan pengujian berlangsung. Di mana nilai Plab maksimum ditentukan berdasarkan nilai maksimum dari semua besaran Plab dalam satu pengujian benda uji untuk masing-masing variasi

perlakuan. Nilai Plab maksimum untuk semua variasi perlakuan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 4.4 sampai Tabel 4.12.

4.5 Pengaruh Penambahan Cerucuk terhadap Kuat Geser Tanah

Pengujian geser terhadap benda uji tanpa cerucuk dan benda uji yang dipasangi cerucuk untuk berbagai variasi perlakuan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan cerucuk terhadap kuat geser tanah. Hasil pengujian dan perhitungan ini disajikan dalam Tabel 4.13 sampai Tabel 4.19.

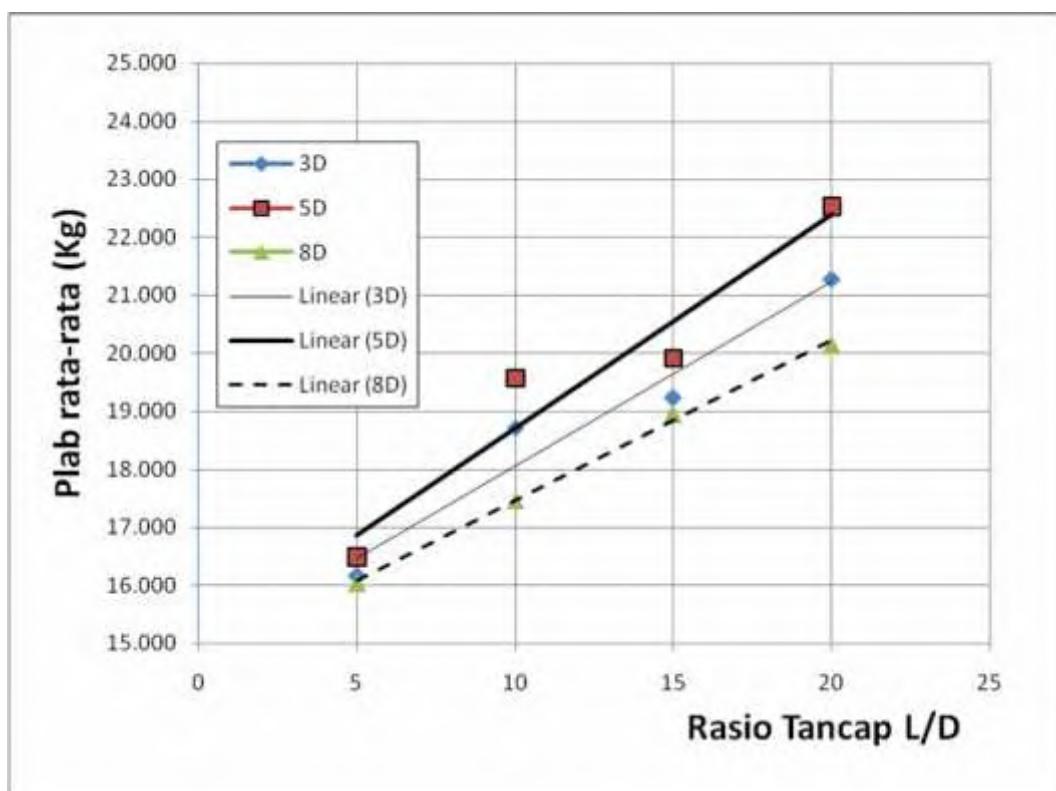
Tabel 4.4 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Rasio Tancap

<i>Lempung Lunak, 2 btg cerucuk - D3mm</i>			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)			
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	Rata2
1	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 5	<i>Plab</i>	16.044	16.215	16.215	16.158
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.10	4.15	4.15	
2	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 5	<i>Plab</i>	16.556	16.556	16.386	16.499
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.25	4.25	4.20	
3	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 5	<i>Plab</i>	16.044	16.044	16.044	16.044
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.10	4.10	4.10	
4	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 10	<i>Plab</i>	18.777	18.435	18.948	18.720
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.90	4.80	4.95	
5	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 10	<i>Plab</i>	19.802	19.460	19.460	19.574
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.20	5.10	5.100	
6	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 10	<i>Plab</i>	17.240	17.752	17.410	17.467
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.45	4.60	4.50	
7	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 15	<i>Plab</i>	19.118	19.118	19.460	19.232
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.00	5.00	5.10	
8	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	<i>Plab</i>	19.972	19.802	19.972	19.915
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.25	5.20	5.25	

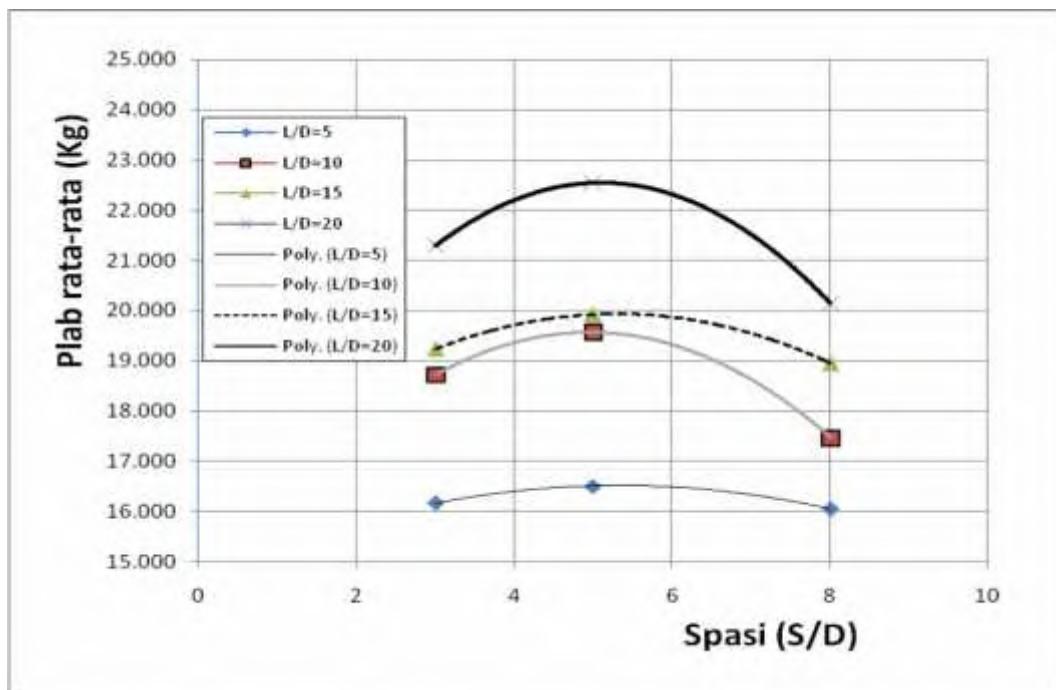
9	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 15	<i>Plab</i>	19.118	18.777	18.948	18.948
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.00	4.90	4.95	
10	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 20	<i>Plab</i>	20.485	21.851	21.510	21.282
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.40	5.80	5.70	
11	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 20	<i>Plab</i>	22.876	22.534	22.193	22.534
		<i>Proving Ring(Div)</i>	6.10	6.00	5.90	
12	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 20	<i>Plab</i>	20.143	20.143		20.143
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.30	5.30		

Tabel 4.5 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Spasi Kelompok Cerucuk

<i>Lempung Lunak, 2 btg cerucuk D3mm - Ratio Tancap L/D 15</i>			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)			
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	Rata2
1	Spasi 3D	<i>Plab</i>	19.118	19.118	19.460	19.232
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.00	5.00	5.10	
2	Spasi 5D	<i>Plab</i>	19.972	19.802	19.972	19.915
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.25	5.20	5.25	
3	Spasi 8D	<i>Plab</i>	19.118	18.777	18.948	18.948
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.00	4.90	4.95	



Gambar 4.10 Hubungan Plab rata-rata dan Rasio Tancap Cerucuk



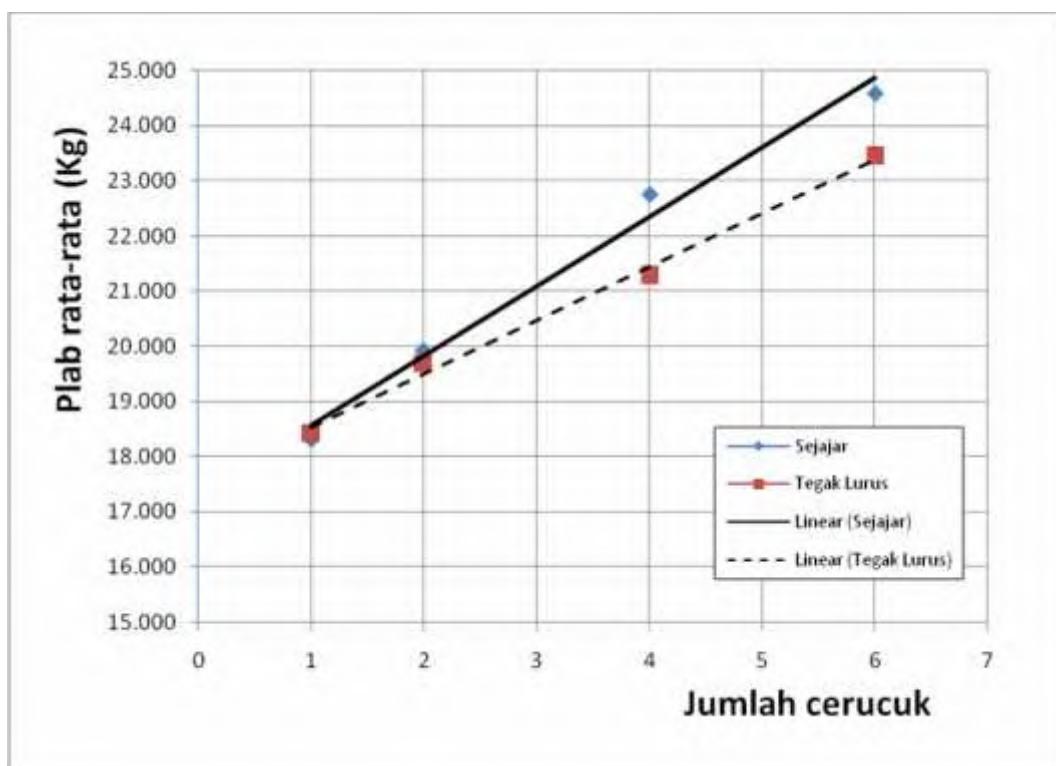
Gambar 4.11 Hubungan Plab rata-rata dan Spasi Cerucuk

Tabel 4.6 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Jumlah Cerucuk (Arah Gaya Sejajar)

<i>Lempung Lunak, cerucuk D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D</i>			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)			
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	Rata2
1	Cerucuk 1 btg	<i>Plab</i>	18.264	18.435	18.264	18.321
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.75	4.80	4.75	
2	Cerucuk 2 btg	<i>Plab</i>	19.972	19.802	19.972	19.915
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.25	5.20	5.25	
3	Cerucuk 4 btg	<i>Plab</i>	22.705	22.876	22.705	22.762
		<i>Proving Ring(Div)</i>	6.05	6.10	6.05	
4	Cerucuk 6 btg	<i>Plab</i>	24.926	24.242	24.584	24.584
		<i>Proving Ring(Div)</i>	6.70	6.50	6.60	

Tabel 4.7 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Jumlah Cerucuk (Arah Gaya Tegak Lurus)

<i>Lempung Lunak, cerucuk D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D</i>			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)			
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	Rata2
1	Cerucuk 1 btg	<i>Plab</i>	18.435	18.435		18.435
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.80	4.80		
2	Cerucuk 2 btg	<i>Plab</i>	19.802	19.631	19.631	19.688
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.20	5.15	5.15	
3	Cerucuk 4 btg	<i>Plab</i>	21.851	21.851	20.143	21.282
		<i>Proving Ring(Div)</i>	5.80	5.80	5.30	
4	Cerucuk 6 btg	<i>Plab</i>	22.876	23.901	23.559	23.445
		<i>Proving Ring(Div)</i>	6.10	6.40	6.30	



Gambar 4.12 Hubungan Plab rata-rata dan Jumlah Cerucuk

Tabel 4.8 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Posisi Cerucuk

Lempung Lunak, 2 btg cerucuk-D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	RATA2	Jenis
1	Sudut Bidang Longsor 0°	Plab	19.972	19.802	19.972	19.915	HB1
		Proving Ring(Div)	5.25	5.20	5.25		
2	Sudut Bidang Longsor 45°	Plab	31.023	31.505	30.787	31.105	HB2
		Proving Ring(Div)	8.485	8.626	8.416		
3	Sudut Bidang Longsor 30°	Plab	36.403	38.863	36.711	37.326	HB2
		Proving Ring(Div)	10.060	10.780	10.150		
4	Sudut Bidang Longsor 15°	Plab	21.851	22.159	21.168	21.726	
		Proving Ring(Div)	5.80	5.89	5.60		



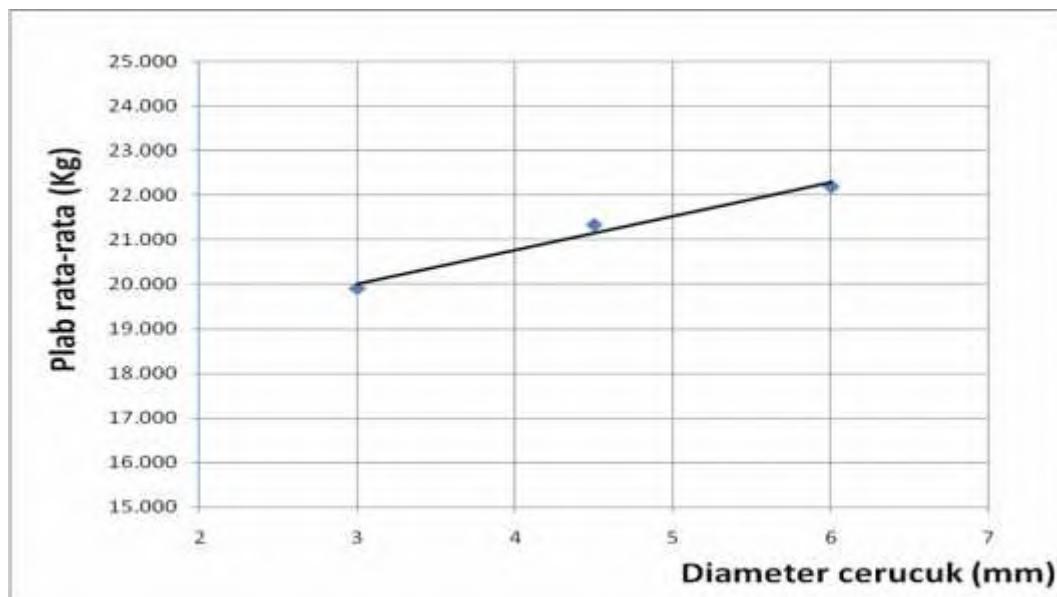
Gambar 4.13 Hubungan Plab rata-rata dan Posisi Tancap Cerucuk pada Sudut Bidang Longsor

Tabel 4.9 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Pola Pemasangan Cerucuk

Lempung Lunak, 6 btg cerucuk-D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)			
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	RATA2
1	Pola 3 x 2	Plab	23.218	23.047	22.876	23.047
		Proving Ring(Div)	6.2	6.15	6.1	
2	Pola 2 x 3	Plab	24.072	23.73	23.901	23.901
		Proving Ring(Div)	6.45	6.35	6.4	

Tabel 4.10 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Diameter Cerucuk

Lempung Lunak, 2 btg cerucuk Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)			
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	Rata2
1	Cerucuk Diameter 3mm	Plab	19.972	19.802	19.972	19.915
		Proving Ring(Div)	5.25	5.20	5.25	
2	Cerucuk Diameter 4,5mm	Plab	21.168	21.168	21.680	21.339
		Proving Ring(Div)	5.60	5.60	5.75	
3	Cerucuk Diameter 6mm	Plab	22.193	22.193		22.193
		Proving Ring(Div)	5.90	5.90		



Gambar 4.14 Hubungan Plab rata-rata dan Diameter Cerucuk

Tabel 4.11 Nilai Plab Hasil Uji Geser Variasi Jenis Tanah

4 btg cerucuk - D3mm Ratio Tancap L/D 15			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)			
No.	Macam Perlakuan		I	II	III	Rata2
1	Soft Clay Spasi cerucuk 3D	Plab	21.168	21.168		21.168
		Proving Ring(Div)	5.60	5.60		
2	Soft Clay Spasi cerucuk 5D	Plab	23.047	22.876	22.534	22.819
		Proving Ring(Div)	6.15	6.10	6.0	
3	Medium Clay Spasi cerucuk 3D	Plab	34.661	35.515	34.490	34.889
		Proving Ring(Div)	9.55	9.80	9.50	

4	Medium Clay Spasi cerucuk 5D	<i>Plab</i>	36.198	37.565	37.906	37.223
		<i>Proving Ring(Div)</i>	10.00	10.40	10.50	

Tabel 4.12 Nilai Plab Hasil Uji Geser Tanpa Cerucuk

UJI GESEN TANPA CERUCUK			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Konsistensi Benda Uji		I	II	III	IV	V
1	Lempung Lunak	<i>Plab</i>	16.727	16.386	16.556	15.702	15.361
		<i>Proving Ring(Div)</i>	4.30	4.20	4.25	4.05	3.90
		<i>Pelaksanaan</i>	HB1 (DES13-JAN14)			HB2 (FEB14)	
2	Lempung Medium	<i>Plab</i>	28.000	27.658	28.683		
		<i>Proving Ring(Div)</i>	7.60	7.50	7.80		
		<i>Pelaksanaan</i>	HB3 (Maret2014)				

Tabel 4.13 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Rasio Tancap

<i>Lempung Lunak, 2 btg cerucuk - D3mm</i>		Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Kode	Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
<i>Cu = 0.055 kg/cm2 (Tanpa Cerucuk)</i>						
1	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 10	S(2.D3. <u>3D</u>). Sj. <u>L1</u> .I1	16.560	18.777	2.217	1.109
			16.560	18.435	1.875	0.938
			16.560	18.948	2.388	1.194
2	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 10	S(2.D3. <u>5D</u>). Sj. <u>L1</u> .I1	16.560	19.802	3.242	1.621
			16.560	19.460	2.900	1.450
			16.560	19.460	2.900	1.450
3	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 10	S(2.D3. <u>8D</u>). Sj. <u>L1</u> .I1	16.560	17.240	0.680	0.340
			16.560	17.752	1.192	0.596
			16.560	17.410	0.850	0.425
4	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 15	S(2.D3. <u>3D</u>). Sj. <u>L2</u> .I1	16.560	19.118	2.558	1.279
			16.560	19.118	2.558	1.279
			16.560	19.460	2.900	1.450
5	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	S(2.D3. <u>5D</u>). Sj. <u>L2</u> .I1	16.560	19.972	3.412	1.706
			16.560	19.802	3.242	1.621
			16.560	19.972	3.412	1.706
6	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 15	S(2.D3. <u>8D</u>). Sj. <u>L2</u> .I1	16.560	19.118	2.558	1.279
			16.560	18.777	2.217	1.109
			16.560	18.948	2.388	1.194
7	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 20	S(2.D3. <u>3D</u>). Sj. <u>L3</u> .I1	16.560	20.485	3.925	1.963
			16.560	21.851	5.291	2.646
			16.560	21.510	4.950	2.475
8	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 20	S(2.D3. <u>5D</u>). Sj. <u>L3</u> .I1	16.560	22.876	6.316	3.158
			16.560	22.534	5.974	2.987
			16.560	22.193	5.633	2.817
9	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 20	S(2.D3. <u>8D</u>). Sj. <u>L3</u> .I1	16.560	20.143	3.583	1.792
			16.560	20.143	3.583	1.792

Sambungan...

No.	Kode		Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
$Cu = 0.053 \text{ kg/cm}^2$ (Tanpa Cerucuk)							
10	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 5	S(2.D3. <u>3D</u>). Sj. <u>L4.II</u>	15.930	16.044	0.114	0.057	0.114
			15.930	16.215	0.285	0.143	
			15.930	16.215	0.285	0.143	
11	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 5	S(2.D3. <u>5D</u>). Sj. <u>L4.II</u>	15.930	16.556	0.626	0.313	0.285
			15.930	16.556	0.626	0.313	
			15.930	16.386	0.456	0.228	
12	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 5	S(2.D3. <u>8D</u>). Sj. <u>L4.II</u>	15.930	16.044	0.114	0.057	0.057
			15.930	16.044	0.114	0.057	
			15.930	16.044	0.114	0.057	

Tabel 4.14 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Spasi

Lempung Lunak, 2 btg cerucuk D3mm - Ratio Tancap L/D 15			Gaya lateral yang dapat ditahan, P_{lab} (kg)				
No.	Kode		Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
$Cu = 0.055 \text{ kg/cm}^2$ (Tanpa Cerucuk)							
1	Spasi 3D	S(2.D3. <u>3D</u>). Sj. <u>L2.II</u>	16.560	19.118	2.558	1.279	1.336
			16.560	19.118	2.558	1.279	
			16.560	19.460	2.900	1.450	
2	Spasi 5D	S(2.D3. <u>5D</u>). Sj. <u>L2.II</u>	16.560	19.972	3.412	1.706	1.678
			16.560	19.802	3.242	1.621	
			16.560	19.972	3.412	1.706	
3	Spasi 8D	S(2.D3. <u>8D</u>). Sj. <u>L2.II</u>	16.560	19.118	2.558	1.279	1.194
			16.560	18.777	2.217	1.109	
			16.560	18.948	2.388	1.194	

Tabel 4.15 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Jumlah Cerucuk (Sejajar)

Lempung Lunak, cerucuk D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Kode		Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
<i>Cu = 0.055 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>							
1	Cerucuk 1 btg	S(1.D3.). Sj.L2.I1	16.560	18.264	1.704	1.704	1.761
			16.560	18.435	1.875	1.875	
			16.560	18.264	1.704	1.704	
2	Cerucuk 2 btg	S(2.D3.5D). Sj.L2.I1	16.560	19.972	3.412	1.706	3.355
			16.560	19.802	3.242	1.621	
			16.560	19.972	3.412	1.706	
3	Cerucuk 4 btg	S(4.D3.5D). Sj.L2.I1	16.560	22.700	6.140	1.535	6.199
			16.560	22.876	6.316	1.579	
			16.560	22.700	6.140	1.535	
4	Cerucuk 6 btg	S(6.D3.5D). Sj.L2.I1	16.560	24.926	8.366	1.394	8.024
			16.560	24.242	7.682	1.280	
			16.560	24.584	8.024	1.337	

Tabel 4.16 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Jumlah Cerucuk (Tegak Lurus)

Lempung Lunak, cerucuk D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Kode		Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
<i>Cu = 0.055 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>							
1	Cerucuk 1 btg	S(1.D3.). Tg.L2.I1	16.560	18.435	1.875	1.875	1.875
			16.560	18.435	1.875	1.875	
2	Cerucuk 2 btg	S(2.D3.5D). Tg.L2.I1	16.560	19.802	3.242	1.621	3.128
			16.560	19.631	3.071	1.536	
			16.560	19.631	3.071	1.536	
3	Cerucuk 4 btg	S(4.D3.5D). Tg.L2.I1	16.560	21.851	5.291	1.323	5.291
			16.560	21.851	5.291	1.323	
4	Cerucuk 6 btg	S(6.D3.5D). Tg.L2.I1	16.560	22.876	6.316	1.053	6.885
			16.560	23.901	7.341	1.224	
			16.560	23.559	6.999	1.167	

Tabel 4.17 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Posisi

Lempung Lunak, 2 btg cerucuk-D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Kode		Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
<i>Cu = 0.055 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>							
1	Sudut Bidang Longsor 0°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I1	16.560	19.972	3.412	1.706	1.678
			16.560	19.802	3.242	1.621	
			16.560	19.972	3.412	1.706	
<i>Cu = 0.052 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>							
2	Sudut Bidang Longsor 45°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I2	15.530	31.023	15.493	7.747	7.788
			15.530	31.505	15.975	7.988	
			15.530	30.787	15.257	7.629	
3	Sudut Bidang Longsor 30°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I3	15.530	36.403	20.873	10.437	10.898
			15.530	38.863	23.333	11.667	
			15.530	36.711	21.181	10.591	
4	Sudut Bidang Longsor 15°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I4	15.530	21.851	6.321	3.161	3.098
			15.530	22.159	6.629	3.315	
			15.530	21.168	5.638	2.819	

Tabel 4.18 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Diameter

Lempung Lunak, 2 btg cerucuk Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Kode		Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
<i>Cu = 0.055 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>							
1	Cerucuk Diameter 3mm	S(2.D3.5D). Sj.L2.II	16.560	19.972	3.412	1.706	1.678
			16.560	19.802	3.242	1.621	
			16.560	19.972	3.412	1.706	
2	Cerucuk Diameter 4,5mm	S(2.D4.5D). Sj.L2.II	16.560	21.168	4.608	2.304	2.389
			16.560	21.168	4.608	2.304	
			16.560	21.680	5.120	2.560	
3	Cerucuk Diameter 6mm	S(2.D6.5D). Sj.L2.II	16.560	22.193	5.633	2.817	2.817
			16.560	22.193	5.633	2.817	

Tabel 4.19 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Pola Pemasangan

Lempung Lunak, 6 btg cerucuk-D3mm Ratio Tancap L/D 15 - Spasi 5D			Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Kode		Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
<i>Cu = 0.055 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>							
1	Pola 3 x 2	S(6.3x2D3.5D). L2.II	16.560	23.218	6.658	1.110	1.081
			16.560	23.047	6.487	1.081	
			16.560	22.876	6.316	1.053	
2	Pola 2 x 3	S(6.2x3D3.5D). L2.II	16.560	24.072	7.512	1.252	1.224
			16.560	23.730	7.170	1.195	
			16.560	23.901	7.341	1.224	

Tabel 4.20 Penambahan Gaya Lateral Akibat Adanya Cerucuk Untuk Variasi Jenis Tanah

4 btg cerucuk - D3mm Ratio Tancap L/D 15		Gaya lateral yang dapat ditahan, Plab (kg)				
No.	Kode	Tanpa Cerucuk (Kg)	Dengan Cerucuk (kg)	Penambahan Gaya Lateral P (Kg)	P per Cerucuk (Kg)	P 1 cerucuk Rata-rata (Kg)
<i>Cu = 0.055 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>						
1	Soft Clay Spasi cerucuk 3D	S(4.D3. <u>3D</u>). Sj.L2.I1	16.560 16.560	21.168 21.168	4.608 4.608	1.152 1.152
2	Soft Clay Spasi cerucuk 5D	S(4.D3. <u>5D</u>). Sj.L2.I1	16.560 16.560 16.560	23.047 22.876 22.534	6.487 6.316 5.974	1.622 1.579 1.494
<i>Cu = 0.094 kg/cm² (Tanpa Cerucuk)</i>						
3	Medium Clay Spasi cerucuk 3D	<u>M</u> (4.D3. <u>3D</u>). Sj.L2.I1	28.114 28.114 28.114	34.661 35.515 34.490	6.547 7.401 6.376	1.637 1.850 1.594
4	Medium Clay Spasi cerucuk 5D	<u>M</u> (4.D3. <u>5D</u>). Sj.L2.I1	28.114 28.114 28.114	36.198 37.565 37.906	8.084 9.451 9.792	2.021 2.363 2.448

4.6 Perhitungan Rasio Plab/Panalitis

Plab merupakan besaran gaya geser yang dapat ditahan oleh benda uji. Plab menghasilkan nilai yang bervariasi tergantung hasil pengujian dari masing-masing variasi perlakuan penelitian di Laboratorium. Plab untuk masing-masing variasi perlakuan dari hasil pengujian laboratorium dibandingkan dengan Pmax geser teoritis. Pmax geser teoritis dalam disertasi ini dinyatakan sebagai Panalitis. Dimana Pmax geser teoritis atau Panalitis adalah gaya geser yang ditentukan secara analitis dengan menggunakan rumus NAVFAC DM.7.

Prosedur Penentuan Pmax atau Panalitis

Berdasarkan teori Mochtar(2000) menyatakan bahwa untuk menghitung kebutuhan cerucuk per meter lapangan terlebih dahulu ditentukan kekuatan 1(satu) cerucuk untuk menahan gaya geser atau gaya horizontal (Pmax). Rumus Pmax atau Panalitis merupakan fungsi perbandingan momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat beban Pmax (Mp) dengan koefisien momen akibat beban Pmax (Fm), dan factor kekakuan relatif tiang cerucuk (T).

Rumus Pmax atau Panalitis :

$$P_{\max(1 \text{ cerucuk})} = \frac{M_p_{\max(1 \text{ cerucuk})}}{f_m T}$$

Adapun tahapan perhitungan penentuan nilai Pmax atau Panalitis, yaitu :

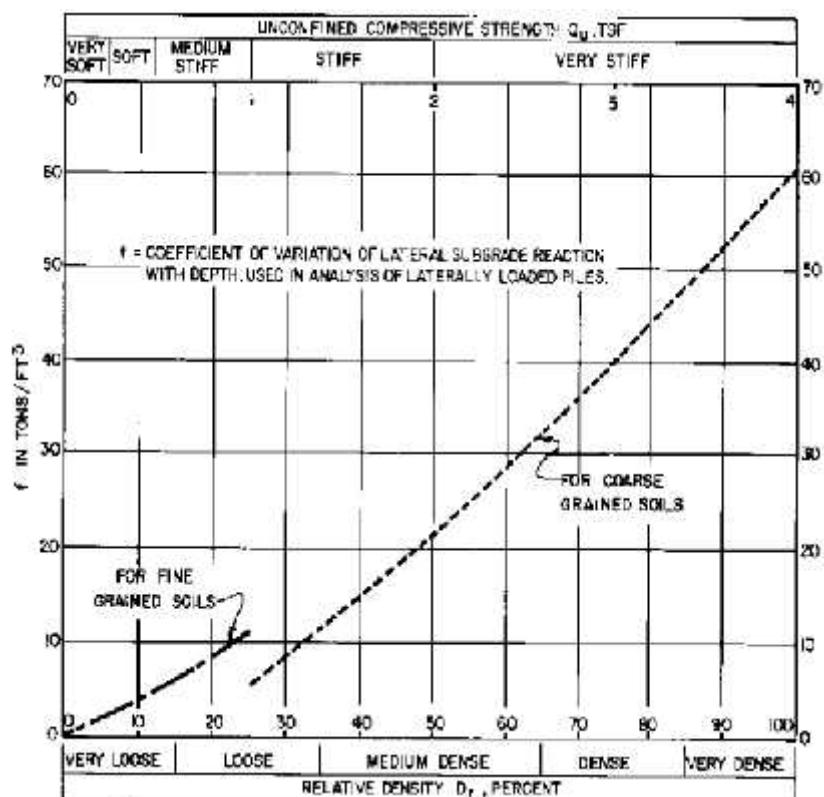
1. Menentukan momen inersia cerucuk (I)

Momen nersia cerucuk ditentukan dengan menggunakan rumus dasar inersia bahan untuk penampang bulat, yaitu :

$$I = \frac{\pi}{64} (D)^4, \text{ dimana } D \text{ adalah diameter penampang.}$$

2. Menentukan koefisien variasi modulus tanah (f)

Koefisien variasi modulus tanah (f) didapat dengan bantuan Gambar 4.15 (dari Design Manual, NAVFAC DM-7) yang merupakan grafik hubungan antara f dengan Unconfined Compression Strength, $q_u=2C_u$.



Gambar 4.15 Mencari Harga f untuk berbagai jenis tanah.

Catatan :

- f dalam kg/cm²
 - qu (TSF) = ... x 0,977 kg/cm²

3. Menentukan faktor kekakuan relatif cerucuk (T)

Nilai faktor kekakuan relatif dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan (E), momen inersia bahan (I), dan koefisien dari variasi modulus tanah (f).

Rumusnya :

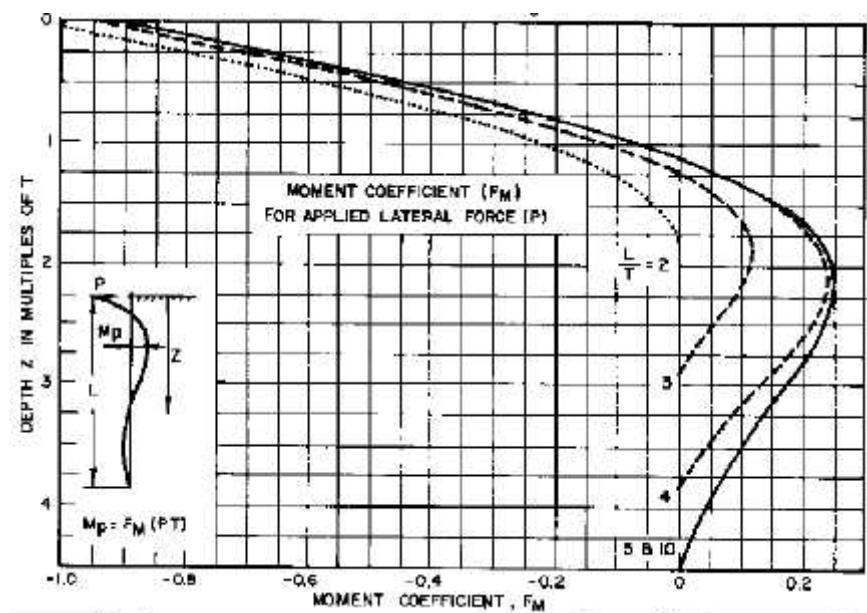
$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

Dimana :

- T dalam cm

- E (modulus elastisitas bahan) ditentukan berdasarkan hasil pengujian tarik bahan cerucuk.
4. Menentukan koefisien momen akibat gaya geser P_{max} yang akan bekerja (F_M)

Koefisien momen (F_M) ditentukan berdasarkan proyeksi dari hasil perpotongan garis Z (kedalaman) dan kurva L/T (lihat Gambar 4.16). Dimana L/T adalah rasio panjang cerucuk yang tertahan dibawah/diatas bidang gelincir (L) dan faktor kekakuan relative (T).



Gambar 4.16 Grafik untuk mencari besarnya F_M (Sumber : NAVFAC DM-7, 1971)

5. Menentukan momen tarik maksimum yang bekerja pada cerucuk akibat gaya geser Pmax.

Rumus momen tarik maksimum (MPmax) adalah :

$$MP_{\max} \text{ lcerucuk} = \frac{\tau_{\max} \text{ bahan} \times I_n}{C}$$

Atau :

$$MP_{\max} \text{ lcerucuk} = \tau_{\max} \cdot w$$

Dimana :

τ_{\max} = Tegangan tarik/tekan maksimum dari bahan cerucuk.

I = Momen inersia penampang cerucuk terhadap garis yang melewati penampang.

C = $\frac{1}{2} D$, D = diameter cerucuk.

w = $\frac{I}{C}$

Selanjutnya berdasarkan nilai Pmax atau Panalitis yang didapat dari hasil perhitungan NAVFAC DM.7, serta nilai Plab yang telah ditentukan berdasarkan hasil pengujian di Laboratorium, maka dapat ditentukan nilai rasio Plab/Panalitis.

Berikut contoh perhitungan menentukan rasio Plab/Panalitis untuk sampel perlakuan variasi rasio tancap.

Data :

Kode sampel	: S(2.D3.3D).Sj.L1.I1
Jenis perlakuan	: variasi rasio tancap
Kohesi undrained, Cu	: 0,055 kg/cm ² = 0,054 TSF (saat pengujian)
Jumlah cerucuk	: 2 batang
Panjang cerucuk, L (dari bidang gelincir)	: 3cm
Diameter cerucuk	: 3mm = 0,3cm (penampang bulat)
Modulus Elastisitas cerucuk (E)	: 21812,39 kg/cm ² (dari hasil Uji Tarik)
Tegangan Tekan maksimum (max)	: 780,518 kg/cm ² (dari hasil Uji Lentur)

Perhitungan :

1. Menentukan momen inersia cerucuk (I)

$$I = \frac{f}{64} (D)^4 = \frac{f}{64} (0,3)^4 = 0,0003977679 \text{ cm}^4$$

2. Menentukan koefisien variasi modulus tanah (f)

Dengan menggunakan grafik hubungan antara f dengan Unconfined Compression Strength, qu=2Cu. (dari Design Manual, NAVFAC DM-7) didapatkan f = 1,04TCF = 0,033 kg/cm³

3. Menentukan faktor kekakuan relatif cerucuk (T)

$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{21812,39 * 0.0003977679}{0,033} \right)^{\frac{1}{5}} = 3,050 \text{ cm}$$

maka L/T = (3/3,050) = 0,985

- Menentukan koefisien momen akibat gaya geser Pmax yang akan bekerja (Fm).

Berdasarkan proyeksi dari hasil perpotongan garis Z(kedalaman = 0) dan kurva L/T pada grafik untuk mencari besarnya F_M (Sumber : NAVFAC DM-7, 1971), maka didapatkan F_m = 1,00.

- Menentukan momen tarik maksimum yang bekerja pada cerucuk akibat gaya geser Pmax.

$$MP_{\max \text{ 1cerucuk}} = \frac{\dagger_{\max} \text{ bahan} \times In}{C}$$

$$MP_{\max \text{ 1cerucuk}} = \frac{780,518 * 0,0003977679}{0,15}$$

$$MP_{\max \text{ 1cerucuk}} = 2,070 \text{ kg.cm}$$

Sehingga

$$P_{\max \text{ (1 cerucuk)}} = \frac{MP_{\max \text{ (1 cerucuk)}}}{fm.T}$$

$$P_{\max \text{ (1 cerucuk)}} = \frac{2,070}{1,00 * 3,050}$$

$$P_{\max \text{ (1 cerucuk)}} = 0,680 \text{ kg}$$

Dengan nilai Plab yang telah didapat dari pengujian sebesar 1,109 kg, maka rasio Plab/Pmax atau Plab/Panalitis :

$$\text{Rasio Plab/Panalitis} = (1,109 / 0,680) = 1,632$$

Selanjutnya untuk semua variasi perlakuan, perhitungan rasio Plab/Panalitis dapat dilihat dalam lampiran dari buku laporan ini, sedangkan rekapitulasi hasil perhitungannya disajikan melalui tabel-tabel perhitungan (Tabel 4.20 sampai Tabel 4.27) dibawah ini :

Tabel 4.20 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Rasio Tancap Cerucuk

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P lab 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalts)
1	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 10	S(2.D3.3D). Sj.L1.II	2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.109	1.632
			2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	0.938	1.380
			2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.194	1.757
2	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 10	S(2.D3.5D). Sj.L1.II	2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.621	2.385
			2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.450	2.134
			2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.450	2.134
3	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 10	S(2.D3.8D). Sj.L1.II	2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	0.340	0.500
			2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	0.596	0.877
			2	0.300	3.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	0.425	0.625
4	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 15	S(2.D3.3D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.279	1.882
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.279	1.882
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.450	2.134
5	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 15	S(2.D3.5D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.706	2.510
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.621	2.385
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.706	2.510
6	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 15	S(2.D3.8D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.279	1.882
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.109	1.632
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	0.985	1.000	1.564	0.680	1.194	1.757
7	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 20	S(2.D3.3D). Sj.L3.II	2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	1.963	2.847
			2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	2.646	3.838
			2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	2.475	3.590
8	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 20	S(2.D3.5D). Sj.L3.II	2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	3.158	4.580
			2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	2.987	4.332
			2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	2.817	4.086
9	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 20	S(2.D3.8D). Sj.L3.II	2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	1.792	2.599
			2	0.300	6.000	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.050	1.970	0.986	1.564	0.689	1.792	2.599

Sambungan...

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P lab 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalts)
10	Spasi 3D Ratio Tancap L/D 5	S(2.D3.3D). Sj.L4.II	2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.057	0.085
			2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.143	0.212
			2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.143	0.212
11	Spasi 5D Ratio Tancap L/D 5	S(2.D3.5D). Sj.L4.II	2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.313	0.464
			2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.313	0.464
			2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.228	0.338
12	Spasi 8D Ratio Tancap L/D 5	S(2.D3.8D). Sj.L4.II	2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.057	0.085
			2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.057	0.085
			2	0.300	1.500	0.000397768	0.053	0.104	0.994	0.032	3.070	0.489	1.000	1.564	0.674	0.057	0.085

Tabel 4.21 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Spasi Cerucuk

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P lab 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalts)
1	Spasi 3D	S(2.D3.3D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.279	1.882
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.279	1.882
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.450	2.134
2	Spasi 5D	S(2.D3.5D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.706	2.510
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.621	2.385
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.706	2.510
3	Spasi 8D	S(2.D3.8D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.279	1.822
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.109	1.632
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.194	1.757

Tabel 4.22 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Jumlah Cerucuk (sejajar)

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P lab Cerucuk Kel. (Kg)	Ratio (Plab/Panalts) Kelompok
1	Cerucuk 1 btg	S(1.D3.). Sj.L2.II	1	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.704	2.507
			1	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.875	2.759
			1	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.704	2.507
2	Cerucuk 2 btg	S(2.D3.5D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	3.412	5.020
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	3.242	4.770
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	3.412	5.020
3	Cerucuk 4 btg	S(4.D3.5D). Sj.L2.II	4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	6.145	9.034
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	6.316	9.293
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	6.145	9.034
4	Cerucuk 6 btg	S(6.D3.5D). Sj.L2.II	6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	8.366	12.310
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	7.682	11.303
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.032	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	8.024	11.806

Tabel 4.23 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Jumlah Cerucuk (Tegaklurus)

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	q _u (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	F _m	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P lab Cerucuk Kel. (Kg)	Ratio (Plab/ Panalts) Kelompok
1	Cerucuk 1 btg	S(1.D3.). Tg.L2.II	1	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.875	2.759
			1	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.875	2.759
2	Cerucuk 2 btg	S(2.D3.5D). Tg.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	3.242	4.770
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	3.071	4.519
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	3.071	4.519
3	Cerucuk 4 btg	S(4.D3.5D). Tg.L2.II	4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	5.291	7.785
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	5.291	7.785
4	Cerucuk 6 btg	S(6.D3.5D). Tg.L2.II	6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	6.316	9.293
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	7.341	10.801
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	6.999	10.298

Tabel 4.24 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Posisi Tancap Cerucuk

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P lab 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalts)
1	Sudut Bidang Longsor 0°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I ₁	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.706	2.510
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.621	2.385
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.706	2.510
2	Sudut Bidang Longsor 45°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I ₂	2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	7.747	11.539
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	7.988	11.898
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	7.629	11.363
3	Sudut Bidang Longsor 30°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I ₃	2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	10.437	15.545
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	11.667	17.377
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	10.591	15.775
4	Sudut Bidang Longsor 15°	S(2.D3.5D). Sj.L2.I ₄	2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	3.161	4.708
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	3.315	4.938
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.052	0.102	0.970	0.031	3.083	1.460	1.000	1.564	0.671	2.819	4.199

Tabel 4.25 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Pola Pemasangan Cerucuk

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P _{lab} 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalts)
1	Pola 3 x 2	S(6.3x2D 3.5D). L2.II	6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.110	1.633
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.081	1.591
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.053	1.549
2	Pola 2 x 3	S(6.2x3D 3.5D). L2.II	6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.252	1.842
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.195	1.758
			6	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.04	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.224	1.801

Tabel 4.26 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Diameter Cerucuk

No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P _{lab} 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalts)
1	Cerucuk Diameter 3mm	S(2,D3.5D). Sj.L2.II	2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.498	1.000	1.564	0.680	1.706	2.509
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.498	1.000	1.564	0.680	1.621	2.384
			2	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.498	1.000	1.564	0.680	1.706	2.509
2	Cerucuk Diameter 4,5mm	S(2,D4.5D). Sj.L2.II	2	0.450	6.750	0.002013700	0.055	0.107	1.040	0.033	4.212	1.602	0.999	5.278	2.644	2.304	0.871
			2	0.450	6.750	0.002013700	0.055	0.107	1.040	0.033	4.212	1.602	0.999	5.278	2.644	2.304	0.871
			2	0.450	6.750	0.002013700	0.055	0.107	1.040	0.033	4.212	1.602	0.999	5.278	2.644	2.56	0.968
3	Cerucuk Diameter 6mm	S(2,D6.5D). Sj.L2.II	2	0.600	9.000	0.006364286	0.055	0.107	1.040	0.033	5.302	1.697	0.996	12.510	3.688	2.817	0.764
			2	0.600	9.000	0.006364286	0.055	0.107	1.040	0.033	5.302	1.697	0.996	12.510	3.688	2.817	0.764

Tabel 4.27 Rasio Plab/Panalitis untuk Variasi Jenis Tanah

4 btg cerucuk - D3mm Ratio Tancap L/D 15			VARIASI JENIS TANAH														
No.	Kode		Jumlah Cerucuk (bh)	Diameter Cerucuk (cm)	L (cm)	I (cm ⁴)	Cu (kg/cm ²)	qu (TSF)	f (TCF)	f (kg/cm ²)	T (cm)	L/T	Fm	M _p (kg.cm)	Panalts cerucuk (kg)	P lab 1 Cerucuk (Kg)	Ratio (Plab/Panalts)
1	Soft Clay Spasi cerucuk 3D	S(4.D3.3D). Sj.L2.II	4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.152	1.694
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.152	1.694
2	Soft Clay Spasi cerucuk 5D	S(4.D3.5D). Sj.L2.II	4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.622	2.385
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.579	2.322
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.055	0.107	1.040	0.033	3.045	1.478	1.000	1.564	0.680	1.494	2.197
3	Medium Clay Spasi cerucuk 3D	M(4.D3.3D). Sj.L2.II	4	0.300	4.500	0.000397768	0.094	0.184	1.820	0.058	2.720	1.655	0.995	1.564	0.765	1.637	2.140
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.094	0.184	1.820	0.058	2.720	1.655	0.995	1.564	0.765	1.850	2.418
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.094	0.184	1.820	0.058	2.720	1.655	0.995	1.564	0.765	1.594	2.084
4	Medium Clay Spasi cerucuk 5D	M(4.D3.5D). Sj.L2.II	4	0.300	4.500	0.000397768	0.094	0.184	1.820	0.058	2.720	1.655	0.995	1.564	0.765	2.021	2.642
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.094	0.184	1.820	0.058	2.720	1.655	0.995	1.564	0.765	2.363	3.089
			4	0.300	4.500	0.000397768	0.094	0.184	1.820	0.058	2.720	1.655	0.995	1.564	0.765	2.448	3.200

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang diperkuat dengan cerucuk selain dipengaruhi oleh parameter momen maksimum yang bekerja pada cerucuk (M_{maks}), koefisien momen (F_m), dan faktor kekakuan cerucuk (T), (Mochtar, 2000), juga dipengaruhi oleh : a) panjang tancap cerucuk, b) jarak atau spasi antar cerucuk, c) jumlah cerucuk dan faktor efisiensi, d) diameter cerucuk, e) posisi tancap cerucuk, f) pola pemasangan cerucuk, dan g) jenis tanah.
2. Nilai gaya geser yang dihasilkan dari percobaan di laboratorium (P_{lab}) lebih besar daripada yang dihasilkan melalui perhitungan analitis (Panalitis) menurut NAVFAC DM.7. Hal ini menunjukkan adanya koreksi terhadap Persamaan NAVFAC DM.7 akibat adanya faktor-faktor yang berpengaruh yang mendekati kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan .
- 3 a. Tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang diperkuat dengan cerucuk mengalami peningkatan seiring dengan semakin panjangnya tiang cerucuk (ratio tancap, L/D) dibawah bidang longsor.
- b. Tahanan geser tanah akibat adanya pengaruh panjang tancap cerucuk yang ditentukan berdasarkan pengujian di laboratorium menghasilkan nilai 2,063 kali lebih besar daripada yang dihasilkan berdasarkan perhitungan analitis menurut Persamaan NAVFAC DM.7.
- c. Persamaan koreksi yang dihasilkan akibat rasio tancap cerucuk (Y_t) terhadap perhitungan analitis, yaitu : $Y_t=0,1(X_t)-0,35$, dimana X_t = rasio tancap cerucuk (L/D).
- 4 a. Diameter cerucuk memberikan pengaruh terhadap peningkatan tahanan geser tanah. Dimana semakin besar diameter cerucuk yang berarti kekakuan cerucuk menjadi meningkat maka semakin besar pula tahanan geser tanah yang terjadi.

- b. Tahanan geser tanah akibat adanya pengaruh diameter cerucuk berdasarkan laboratorium dihasilkan nilai 2,467 kali lebih besar daripada yang dihasilkan melalui perhitungan analitis menurut Persamaan NAVFAC DM.7.
 - c. Pengaruh diameter cerucuk menghasilkan persamaan koreksi (Y_D) terhadap persamaan NAVFAC DM.7 yaitu : $Y_D=46,616(X_D)-3.582$, dimana X_D =ratio D/T
- 5** a. Tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang diperkuat dengan cerucuk juga mengalami peningkatan apabila spasi cerucuk yang digunakan dalam rentang 3D sampai 5,5D. Namun apabila spasi cerucuk yang digunakan dalam rentang lebih dari 5,5D sampai 8D, maka tahanan geser tanah cenderung mengalami penurunan.
- b. Spasi cerucuk sebesar 5,5D menghasilkan tahanan geser tanah yang optimum.
 - c. Peningkatan tahanan geser akibat spasi cerucuk yang dihasilkan dari percobaan di laboratorium 2,360 kali lebih besar daripada yang dihasilkan melalui perhitungan analitis menurut Persamaan NAVFAC DM.7. Sedangkan tahanan geser tanah akibat adanya pengaruh jumlah cerucuk yang dihasilkan melalui pengujian di laboratorium memiliki nilai 2,590 kali lebih besar daripada yang dihasilkan melalui perhitungan analitis menurut Persamaan NAVFAC DM.7.
 - d. Koreksi karena pengaruh spasi cerucuk (Y_s) terhadap perhitungan analitis menurut Mochtar (2000) yaitu : $Y_s = -0,057(X_s)^2 + 0,614(X_s) - 0,658$, dimana X_s =spasi (S/D)
- 6** a. Faktor efisiensi mempengaruhi tahanan geser tanah yang diperkuat kelompok cerucuk yang menerima gaya geser horisontal (longsoran). Dimana kemampuan kelompok cerucuk dalam menahan geseran tidak akan sama dengan kemampuan masing-masing cerucuk dikalikan dengan jumlah cerucuk dalam kelompok yang bersangkutan. Nilai faktor efisiensi relatif semakin menurun seiring dengan semakin bertambahnya jumlah cerucuk didalam kelompoknya untuk menahan geseran horisontal. Besaran penurunan nilai faktor efisiensi yang terjadi sebesar 4,02%.
- b. Apabila ditinjau berdasarkan arah gaya geser yang diberikan terhadap baris kelompok cerucuk, maka besaran tahanan geser tanah-cerucuk yang menerima gaya geser arah sejajar (pola 1x6) menghasilkan nilai rata-rata 1,13 kali lebih besar daripada menerima gaya geser arah tegak lurus (pola 6x1). Perbedaan nilai

tahanan geser tanah akibat pengaruh arah gaya geser yang diberikan terhadap baris kelompok cerucuk tersebut relatif kecil dan tidak signifikan.

- c. Tahanan geser tanah pada stabilitas lereng yang diperkuat dengan cerucuk yang menggunakan pola pemasangan 2x3 dan 3x2 dihasilkan perbedaan besaran nilai yang relatif tidak signifikan. Dimana tahanan geser tanah yang dihasilkan oleh cerucuk dengan pola pemasangan 2x3 menghasilkan nilai 1,13 kali lebih besar daripada pola pemasangan 3x2.
 - d. Persamaan koreksi karena pengaruh factor efisiensi jumlah cerucuk (Y_n) terhadap persamaan NAVFAC DM.7 yaitu : $Y_n=1,051-0,047(X_n)$, dimana X_n =jumlah cerucuk
7. Posisi tancap tiang cerucuk terhadap tahanan geser tanah mempunyai pengaruh yang signifikan. Posisi tiang cerucuk yang tepat memotong garis lengkung bidang longsor tanah yang membentuk sudut 30° dan 45° terhadap horisontal menghasilkan tahanan geser yang lebih besar daripada yang dihasilkan pada sudut 0° .
8. Jenis tanah memberikan pengaruh terhadap tahanan geser tanah yang dihasilkan akibat adanya cerucuk. Penambahan gaya geser yang dihasilkan akibat adanya cerucuk yang berada di dalam jenis tanah lempung lunak/soft clay adalah lebih besar daripada didalam jenis tanah lempung sedang/medium clay. Hal ini menunjukkan dominasi fungsi cerucuk yang berperan sebagai tulangan (*reinforcement*) didalam tanah lunak.
9. Usulan model persamaan untuk menentukan jumlah cerucuk (koreksi empiris terhadap rumus NAVFAC DM.7) berdasarkan point 3 sampai point 6 diatas adalah sebagai berikut :

$$P_{\max(1 \text{ cerucuk})} = \frac{Mp_{\max(1 \text{ cerucuk})}}{fm.T} \times Fk_g$$

dengan syarat:

- Spasi cerucuk yang digunakan : 3D sampai 8D
- Rasio tancap yang digunakan: $L/D=5$ s.d. $L/D=20$
Untuk nilai $0 < L/D < 5$ maka digunakan persamaan $Y_t=0.02(X_t)$. Sedangkan untuk nilai $L/D > 20$ maka digunakan nilai $Y_t = 1.45$.
- Rasio D/T yang digunakan: 0.099 s.d. 0.113

$$(Y_D = 1.0 \text{ jika } D/T = 0.1) \\ (Y_D \min = 1.0 ; Y_D \max = 1.7.)$$

dimana : $F_{kg} = 2.30 * Y_t * Y_D * Y_s * Y_n$

F_{kg} = faktor koreksi gabungan
 $2,30$ = nilai rata-rata Plab/Panalitis (tahanan geser)
 Y_t = persamaan pengaruh rasio tancap cerucuk
 $= 0.1(X_t) - 0.35$
 X_t = rasio tancap (L/D)
 Y_D = persamaan pengaruh diameter cerucuk
 $= 46.616(X_D) - 3.582$
 X_D = rasio D/T
 Y_s = persamaan pengaruh spasi/jarak antar cerucuk
 $= -0.057(X_s)^2 + 0.614(X_s) - 0.658$
 X_s = spasi (S/D)
 Y_n = persamaan pengaruh jumlah cerucuk/Faktor Efisiensi
 $= 1.051 - 0.047(x_n)$
 X_n = Jumlah Cerucuk
 $P_{\max \text{ (1 cerucuk)}}$ = gaya horisontal maksimum yang diterima cerucuk, kg
 M_{pmax} = momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P (kg.cm).
 f_m = koefisien momen akibat gaya lateral P
 (dari kurva NAVFAC DM.7-1971)
 T = Faktor kekakuan relatif, cm (dari kurva NAVFAC DM.7-1971)
 D = diameter cerucuk, cm
 E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/cm²
 I = momen inersia tiang (cerucuk), cm⁴
 f = koefisien dari variasi modulus tanah, kg/cm³

6.2 Saran

1. Dalam prakteknya, rumus cerucuk (2015) tersebut disarankan memasukkan faktor keamanan (SF), yaitu :

SF = 2,0

(*untuk muatan sementara* dari bangunan yang relative kaku seperti gedung, bangunan beton dan bata)

SF = 3,0

(*untuk muatan tetap* dari bangunan yang relatif kaku seperti gedung, bangunan beton dan bata)

SF = 1,1

(*untuk muatan sementara* dari bangunan yang agak *flexible* seperti embankment jalan dan tanggul tanah).

SF = 1,5

(*untuk muatan tetap* dari bangunan yang agak *flexible* seperti embankment jalan dan tanggul tanah).

2. Dalam perancangan panjang cerucuk, rasio panjang tiang terhadap diameter untuk perkuatan (cerucuk) ditentukan oleh panjang tiang tancap yang terpendek (panjang tiang yang berada dibawah bidang geser kelongsoran).
3. Dapat dilakukan studi lanjut mengenai perilaku perubahan posisi tiang cerucuk yang dipancang pada garis lengkung kelongsoran bersudut 0° , 15° , 30° , dan 45° (terhadap garis horizontal) didalam tanah saat menerima gaya geser dengan berbagai variasi seperti yang dilakukan penelitian ini.
4. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dalam percobaan benda uji dilakukan secara simultan (masing-masing variabel predictor tergabung secara bersamaan).
5. Variasi pengaruh spasi yang optimal terhadap faktor efisiensi dapat pula dilakukan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson LW, Lee TS, Sharma S, dan Boyce GM., 1996, Slope Stability and Stabilisation Methods, John Wiley and Sons.
- Ashour M dan Ardalan H, 2012, Analysis of pile stabilized slopes based on soil-pile interaction, *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, 39:85-97.
- Atkinson, J.H, 1981, Foundations and Slopes An Introduction to Applications of Critical State Soil Mechanics, *MCGraw-Hill Book Company (UK) Limited*, London.
- Atkinson, John, 1993, An Introduction to The Mechanics of Soil and Foundations, *MCGraw-Hill International (UK) Limited*, London.
- Anagnastopoulos C, Hada M, dan Fukuoka M, 1991, Piles as Landslides Countermeasures-Model Study, *Landslides, (Bell, D.H. ed.)*, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Ausilio E, Conte E, dan Dente G., 2001, Stability Analysis of Slopes with Piles, *Computer Geotechnics*, 28: 591-611.
- Baguelin, F., Frank, R., and Said, Y.H, 1977, Theoretical study of lateral reaction mechanism of piles, *Geotechnique*, Vol. 27, No. 3, pp. 405-434.
- Bransby MF., 1996, The difference between load transfer relationships for laterally loaded pile groups: Active p-y or passive p-delta, *Journal of Geotechnics Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 12, pp. 1015-1033.
- Bransby, M.F., dan Springman, S., 1999, Selection of load transfer functions for passive lateral loading of pile groups, *Computers and Geotechnics*, Vol.24, pp. 155-184.
- Broms, B.B., 1965, Design of Laterally Loaded Piles, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol. 91, No. SM3, pp. 79-99.
- Bulley, W.A., 1965, Cylindrical Pile Retaining Wall Construction-Seattle Freeway, *Paper presented at Roads and Streets Conference*, Seattle, Washington.
- Broms, B., 1964, Lateral resistance of piles in cohesionless soils, *J. Soil Mech. Found. Div.*, 90(SM3), 123–156.
- Budiantara, I, N., 2009, Spline dalam regresi nonparametrik dan semiparametrik: Sebuah pemodelan statistika masa kini dan masa mendatang, *Pidato pengukuhan guru besar bidang ilmu matematika statistika dan probabilitas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, hal. 16

- Cai, F. dan Ugai, K., 2003, Response of flexible piles under laterally linear movement of the sliding layer in landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 40, 46-53.
- Chen, L., dan Poulos, H. G., 1994, A method of pile-soil interaction analysis for piles subjected to lateral soil movement, *Proc. 8th Int. Conf. on Compo Methods and Adv. in Geomech.*, 2311-2316.
- Chen, L. T., dan Poulos, H. G., 1996, The behaviour of piles subjected to lateral soil movements, *Res. Rep. No. 731*, Univ. of Sydney, Sydney, Australia.
- Chen, L. T., Poulos, H. G., and Hull, T. S, 1996, Model tests on pile groups subjected to lateral soil movement, *Soils and Found.*, Tokyo, Japan.
- Chen, L. T., Poulos, H. G., and Hull, T. S., 1997, Piles subjected to lateral soil movements, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 123(9), 802–811.
- Chen, C., dan Martin, G., 2002, Soil-structure interaction for landslide stabilizing piles, *Comput. Geotech.*, 29(5), 363–386.
- Chow, Y. K., 1996, Analysis of piles used for slope stabilization, *Inter J Nume.Anat. Meth. Geomech.*, Vol.20, pp.635-646.
- Chow, Y.K. dan Yong, K.Y., 1996, Analysis of piles subject to lateral soil movements, *Journal Institute of Engineers, Singapore*, Vol. 36, No. 2, pp. 43-49.
- Das, B.M., 1999, *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS Publishing, Boston
- DeBeer, E. E., dan Wallays, M., 1970, Stabilization of a slope in schist by means of bored piles reinforced with steel beams, *Proceeding 2nd International Congress Rock Mechanics*, Vol. 3, 361-369.
- De Beer E, Carpentier R, 1977, Discussions: Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles, *Soils Found.* 17(1): 68-82.
- D'Appolonia, E., Alperstein, R., dan D'Appolonia, D. J., 1977, Behavior of a colluvial slope, *J. Soil Mech. and Found. Div.*, ASCE, 93,447-473.
- Damoerin D, Prakoso W.A, dan Triwibowo A., 2012, Tinjauan penggunaan cerucuk kayu dan bambu sebagai metode perkuatan tanah lanau berpasir dengan uji triaxial terkonsolidasi tak terdrainase, *Proceeding 16th Annual Scientific Meeting, HATTI*. hal.177-182
- Finlay, P.J., Mosty, G.R., dan Fell, R., 1999, Lanslide risk assessment; Prediction of travel distance, *Canadian Geotechnical Journal No. 36*, 1999, pp. 556-562

- Frank, R., dan Pouget, P., 2008, Experimental pile subjected to long duration thrusts owing to a moving slope, *Geotechnique*, Vol.8 : 645-658.
- Firat S, Sarıbüyük M, Çelebi E., 2006, Lateral Load Estimation from Visco-Plastic Mud-Flow Around Cylindrical Row of Piles, *J. Appl. Math. Comput.* 73(2): 803-821.
- Firat, 2009, Stability analysis of pile-slope system. Scientific Research and Essay Vol.4 (9), pp. 842-852
- Fukuoka, M., 1977, The effects of horizontal loads on piles due to landslides, *Proc., 9th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, 27–42.
- Hassiotis, S., dan Chameau, J. L., 1984, Stabilization of slopes using piles, *Rep. No. FHWAIIN/JHRP-84/8*. Purdue Univ., West Lafayette, Ind
- Hassiotis, S., Chameau, J. L. dan Gunaratne, M., 1997, Design method for stabilization of slopes with piles, *J. Geotechnics and GeoEnviroment Engineering.*, ASCE, Vo1.123, No.4, pp.314-323.
- Head, K.H, 1982, Manual of Laboratory Testing, *Volume 2 : Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests*. Robert Hartnoll Limited, Bodmin, Cornwall.
- Hutagamissufardal, Rusdiansyah, dan Novitasari, 2009, Analisis hidrodinamika tekanan air dan penerapannya untuk mengatasi keruntuhan lereng tanah, *Laporan Penelitian Hibah Bersaing DP2M Dikti pada Lembaga Penelitian Universitas Lambung Mangkurat, tahun kedua*, Banjarmasin
- Hull, T. S., Lee, C. Y. dan Poulus, H. G., 1991, Mechanics of pile reinforcement for unstable slopes, *Research Report No. R636*, University of Sydney.
- Hull, T. S., 1993, Analysis of the stability of slopes with piles, *11th Southeast Asian Geotechnical Conf., Southeast Asian Geotechnical Society*, Bangkok, Thailand, 639–643.
- Ito, T. dan Matsui, T. 1975, Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles, *Soils and Foundations*, Vol. 15, No.4, pp43-59.
- Ito, T., Matsui, T., dan Hong, W. P., 1979, Design method for the stability analysis of the scope with landing pier, *Soils and Foundations*, Vol.19, No.4, pp.43-57.
- Ito, T., Matsui, T., dan Hong, W. P., 1981, Design method for stabilizing piles against landslide - one row of piles, *Soils and Foundations*, Vol.21, No.1, pp.21-37.

- Ito, T., Matsui, T., dan Hong, W. P., 1982, Extended design method for multi-row stabilizing piles against landslide, *Soils and Foundations*, Vol.22, No. 1, pp. 1-13.
- Ilyas, T., dan Supanji, B.S., 2001, Kinerja Grup Tiang Yang Menerima Beban Lateral Di Lapisan Lempung : Studi Model Centripuge, *Makalah Seminar Nasional HATTI, Bandung 7-8 Nopember 2001*.
- Ilyas, T., dan Hardjanto., 2003, Analisis Perilaku Pile Cap dari Group Tiang Terhadap Beban Lateral Statis : Studi pada Tanah Lempung dengan Memperhatikan “Shadowing Effect”, *Prosiding Konferensi Geoteknik Indonesia VI dan Pertemuan Ilmiah Tahunan VII, Jakarta 11-13 Agustus 2003*, ISBN 979-96668-3-X.
- Janbu, N., 1973, Slope Stability Computation, *Embankment-Dam Engineering, Cassagrande Volume*, edited by R.C.Hirschfeld and S.J. Poulos, John Wiley & Sons, New York, pp. 47-86.
- Jeoung S, Kim B, Won J, dan Lee J, 2003, Uncoupled analysis of stabilizing piles in weathered scopes, *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, 30(8), 671-682
- Kourkoulis, R., Gelagoti, F., Anastasopoulos, I., dan Gazetas, G., 2011, Slope stabilizing piles and pile-groups, Parametric study and design insights, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(7), 663–678.
- Kourkoulis, R., Gelagoti, F., Anastasopoulos, I., dan Gazetas, G., 2012, Hybrid method for analysis and design of slope stabilizing piles, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE.
- Kitazima, S., and Kishi, S., 1967, An effect of embedded pipes to increase resistance against circular slides in soft clay foundation, *Technical Note of Port and Harbour Research Institute*, Vol. 29, 63–94 (in Japanese).
- Langhaar, H. L., 1951, Dimensional analysis and theory of models, Wiley, New York.
- Ladd C.C, 1971, Strength Parameters and Stress-Strain Behaviour of Saturated Clays, *Massachusetts Institute of Technology*, Boston, Mass.
- Lee, C. Y., Hull, T. S., dan Poulos, H. G., 1995, Simplified pile-slope stability analysis, *Computers and Geotechnics-ELSIVIER*, Vol. 17, pp. 1-16.
- Liliwarti, 2007, Pengukuran geser pada interface kayu-tanah dengan pengujian geser langsung (Direct Shear), *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol III, No.1, hal.8-16
- Lirer S., 2012, Landslide stabilizing piles : Experimental evidences and numerical interpretation, *Engineering Geology-ELSEVIER*, 149-150: 70-77

- Matlock, H. dan Ripperger, E.A, 1956, Procedure and instrumentation for tests on a laterally loaded pile, *Proceedings of the 8th Texas Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Bureau of Engineering Research, University of Texas, Special Publication 29, 1-39.
- Mochtar, I. B., 2000, Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils), *Penerbit Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS*, Surabaya.
- Mochtar, I. B. dan Arya I.W., 2002, Pengaruh penambahan cerucuk terhadap peningkatan kuat geser tanah lunak pada pemodelan di laboratorium, *Tesis Bidang Geoteknik*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana ITS Surabaya.
- Mochtar, I. B., 2010, Masalah Pergerakan Tanah dan Turap Baja di Lereng Tebing Dekat Gedung Squash, Kota Balikpapan, *Laporan Penyelidikan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat LPPM, ITS*, untuk Pemda Kota Balikpapan.
- Mochtar, I. B., 2011, Kajian Kelongsoran Jalan dan Stabilitas Talud Pada Proyek Pembangunan Jalan dengan Turap, Sepanjang Lokasi Jln.Marsma.Iswahyudi, STA 0+000 s/d 0+796, Kota Tanjung Redeb, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. *Laporan Penyelidikan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat LPPM, ITS*, untuk Pemkab Berau.
- Mohr, O., 1900, Welche umstände bedingen die elastizitatsgrenze und den bruch eines materiales, *Zeitschrift des vereines deutscher ingenieure*, vol. 44, pp. 1524-1530, 1572-1577
- Maugeri, M., dan Motta, E, 1991, Stresses on piles used to stabilize landslides, *Landslides, ISBN 90 5410 032x*, Bell, ed., A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 785 -790.
- Muthukumaran, K, Sundaravadivelu, R, dan Gandhi, S.R., 2004, Effect of sloping ground on single pile load deflection behaviour under lateral soil movement, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper no.2147.
- Matsui, T., Hong, W.P. dan Ito, T., 1982, Earth Pressures on Piles in a Row due to Lateral Soil Movements. *Soils and Foundations*. 22 (2), 71-81.
- Martin GR dan Chen CY., 2005, Response of Piles due to Lateral Slope Movement, *Comput. Structure* 83: 588-598.

NAVFAC DM-7, 1971, Design Manual, Soil Mechanics, Foundation and Earth Structures, *Depth. Of the Naval Facilities Engineering Command*, Virginia, USA.

Nethero, M. F., 1982, Slide control by drilled pier walls. Application of walls to landslide control problems. *R. B. Reeves, ed., ASCE*. New York, N.Y., 19-29.

Offenberger, J.H, 1981, Hillside stabilized with concrete cylinder pile retaining wall, *Public Works*, Vol. 112, No. 9, pp. 82-86.

Pan, J. L., Goh, A. T. C., Wong, K. S. dan Teh, C. I, 2000, Model tests on single piles in soft clay. *Canadian Geotechnical Journal*. 37, 890-897.

Popescu, M. E., 1991, Landslide control by means of a row of piles, Keynote paper, *Proc. Inter Conf. Slope Stability Engineering*, Isle of Wight, pp.389-394.

Poulos, H.G., 1971, Behaviour of laterally loaded piles: I. single piles, *Journal of Soil Mechanics and Foundations Divisions, ASCE*, 97(SM5): 711-731.

Poulos, H. G., 1973, Analysis of piles in soils undergoing lateral movement, *J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, 99, 391-406.

Poulos, H. G., 1995, Design of reinforcing piles to increase slope stability, *Canadian Geotechnics Journal.*, Vol.32, pp. 808- 818.

Poulos, H.G., L.T. Chen, dan Hull T.S, 1995. Model tests on single piles subjected to lateral soil movement. *Soil and foundations*, Vol.35, No.4, pp.85-92.

Poulos, H.G. dan L.T. Chen, 1996. Pile response due to unsupported excavation-induced lateral soil movement. *Can. Geotech. J.* 33: 670-677.

Rowe, R. K., dan Poulos, H. G., 1979, A method for predicting the effect of piles on slope behaviour, *Proc., 3rd Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics*, Vol. 3, A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1073–1085.

Reese, L.C., Laterally Loaded Piles, *Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 103(GT4):pp287-305

Reese, L.C., and Van Impe, W.F (2001), Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading,

Stewart, D.P., Jewwll, R.J., dan Randolph, M.F., 1992, Piled bridge abutments on soft clay – experimental data and simple design methods, *Proceeding 6th, Aust., N.Z Conf. Geomech*, Vol.1. 199-204

- Spencer, E., 1967, A method for the analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces, *J.Geotechnique*, Vol. 17, No. 1, pp. 11 - 26
- Spencer, E., 1973, Thrust line criterion in embankment stability analysis, *Journal of Geotechnique*, Vol. 23, No. 1, pp. 85 - 100
- Taylor, D.W., 1937, Stability of Earth Slopes, *Journal of Boston Society of Civil Engineers*, Vol. 24, pp.187 – 246.
- Thompson, M.J., dan White, D.J., 2006, Design of Slope Reinforcement with Small-Diameter Piles. Proceedings of Sessions of GeoShanghai, Shanghai, China, In Advances in Earth Structures-Research to Practice. *Proceedings of Sessions of GeoShanghai*, Shanghai, China. Jie Han, P.E., Jian-Hua Yin, David J. White and Guoming Lin, P.E. Eds; Reston, VA: ASCE/GEO Institute.
- Tie. Kok Sien, Bujang B.K.Huat, Jamaloddin N, M.Saleh J, Gue See Sew, 2009, Modeling of passive piles – an overview, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.14.
- Viggiani, C.,1981, Ultimate lateral load on piles used to stabilize landslides, *Proc. 10th Inter Conf. SMFE*, Stockholm, Vol.3, pp.555-560.
- Winter, H., Schwarz, W., dan Gudehus, G., 1983, Stabilization of clay slopes by piles, *Proc., 8th Eur. Can. on Soil Mech. and Found. Engrg.*, Vol. 2,545.
- Won J, You K, Jeong S, dan Kim S., 2005, Coupled effects in stability analysis of pile-slope systems. *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, 32 (4): 304–315.
- Wei W.B. dan Cheng Y.M., 2009, Strength reduction analysis for slope reinforced with one row of piles, *Computers and Geotechnics-ELSEVIER*, Vol.36 : 1176-1185.
- Xu, K.J. dan Poulus, H.G., 2001, 3-D elastic analysis of vertical piles subjected to passive loadings, *Computers and Geotechnics*, Vol. 28, pp. 349-375.
- Yang S., Ren X., dan Zhang J., 2011, Study on embedded length of piles for slope reinforced with one row of piles, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 3(2):167-178

RIWAYAT HIDUP



IDENTITAS DIRI

Nama : **Rusdiansyah**
Tempat dan Tanggal Lahir : Banjarmasin, 9 Agustus 1974
Jenis Kelamin : Laki-laki Perempuan
Status Perkawinan : Kawin Belum Kawin
Agama : Islam
Pekerjaan : Dosen Fakultas Teknik Unlam Banjarbaru
Golongan / Pangkat : IVB / Pembina Tingkat I
Jabatan Fungsional Akademik : Lektor Kepala
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Alamat : Jl. Brigjend. Hasan Basry, Banjarmasin
Telp./Faks. : 0511-3304177/(0511)3305195
Alamat Rumah : Jl. Dahlina Raya I, B/79 RT.22. / RW.04
Banjarbaru
Telpon/Hp. : 0511 4787170 / 081348754958
Alamat e-mail : rusdinat@yahoo.com
Nama Isteri : Rusna Apriani
Nama Anak : Rif'at Syahdana dan Rifqi Aunur Rahman

RIWAYAT PENDIDIKAN PERGURUAN TINGGI

Tahun Lulus	Jenjang	Perguruan Tinggi	Jurusan/ Bidang Studi
1998	S1	Fakultas Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat	Teknik Sipil
2000	S2	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	Geoteknik
2012- sekarang	S3	Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya	Geoteknik

KEGIATAN SELAMA STUDI LANJUT S3
Publikasi Ilmiah : Jurnal Internasional

No.	Judul	Nama Jurnal	Susunan Penulis
1.	A Formula For The Increase of Shear Resistance of Soft to Medium Cohesive Soils Due to Reinforcement With Piles (An Experiment With Laboratory Modeling of Pile-Soil Interaction)"	KSCE Journal of Civil Engineering (ISSN 1226-7988) TerIndex SCOPUS <i>Under Review</i>	Rusdiansyah, Indrasurya B. Mochtar, Noor Endah Mochtar.
2.	Study on The Increment of Shear Resistance of Soft Soil due to Vertical Piles Reinforcement Based on Modeling in laboratory	International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11. No.8 (2016) pp 5934-5942 TerIndex SCOPUS <i>Published</i>	Rusdiansyah, Indrasurya B. Mochtar, Noor Endah Mochtar.

Publikasi Ilmiah : Seminar Internasional

No.	Judul	Nama Seminar	Susunan Penulis
1.	A Formula For The Increase of Shear Resistance of Soft to Medium Cohesive Soils Due to Reinforcement With Piles (An Experiment With Laboratory Modeling of Pile-Soil Interaction)"	2 nd International Conference on Civil Engineering Research (ICCR), 27 Januari 2016, Surabaya.	Rusdiansyah, Indrasurya B. Mochtar, Noor Endah Mochtar.

Publikasi Ilmiah : Seminar Nasional

No.	Judul	Nama Seminar	Susunan Penulis
1.	Efek Panjang Tancap Dan Spasi Cerucuk Dalam Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Berdasarkan Pemodelan Di Laboratorium	Seminar Nasional Teknik Sipil XI ITS, 18 Januari 2015, Surabaya. (<i>Predikat : Pemakalah Terbaik I</i>)	Rusdiansyah, Indrasurya B. Mochtar, Noor Endah Mochtar.
2.	Pengaruh Pola Pemasangan Dan Faktor Efisiensi Kelompok Cerucuk Dalam Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Berdasarkan Pemodelan Di Laboratorium	Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah-2015, Program Diploma Teknik Sipil	Rusdiansyah, Noor Endah Mochtar, Indrasurya B. Mochtar.

		ITS, 11 Juni 2015, Surabaya.	
3.	Pengaruh Kedalaman Tancap, Spasi, Dan Jumlah Cerucuk Dalam Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Berdasarkan Pemodelan Di Laboratorium	Seminar Nasional dan Pameran Teknik, Prodi S1 Teknik Sipil UNLAM dan Himpunan Ahli Kontruksi Indonesia (HAKI) Kalimantan Selatan, 16-17 Oktober 2015, Banjarbaru.	Rusdiansyah, Indrasurya B. Mochtar, Noor Endah Mochtar.
4.	Mekanisme Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Lahan Basah Dengan Menggunakan Cerucuk Berdasarkan Pemodelan Skala Di Laboratorium	Seminar Nasional FKPTPI, 29-30 September 2015, Banjarbaru.	Rusdiansyah

PESERTA KONFERENSI/SEMINAR/LOKAKARYA/SIMPOSIUM

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara	Panitia/Peserta /Pembicara
2012	Seminar Sehari Tantangan Problema Tanah Bermasalah	PT. Testana Surabaya	Peserta
2015	Seminar Nasional Teknik Sipil dan Pameran Teknik	HAKI dan Prodi Sipil FT.Unlam	Panitia (Moderator)

PENGHARGAAN

Piagam Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya X tahun dari Presiden RI, 30 April 2015

PENGALAMAN JABATAN

Jabatan	Institusi	Tahun .. s.d ..
Kepala Bagian Administrasi Umum	Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin-Banjarbaru	2006 – 2011

Ketua Laboratorium Topografi dan Surveying	Fakultas Teknik Unlam Banjarbaru	2008 – 2009
Kepala Bagian Administrasi Umum/Keuangan	Program Magister Teknik Sipil Fak. Teknik Unlam Banjarmasin	2001 – 2005
Person In Charge (PIC) Program I-MHERE	Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin	2007 – 2009

ORGANISASI PROFESI/ILMIAH

Tahun	Organisasi	Jabatan
2002 - Sekarang	Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI)	Anggota
2003 – Sekarang	Himpunan Pengembang Jalan Indonesia (HPJI)	Anggota
2004 – 2011	Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI)	Anggota
2007 - Sekarang	Persatuan Insinyur Indonesia (PII)	Anggota