

**EVALUASI STABILITAS LERENG TANAH REKLAMASI
DENGAN PERKUATAN CERUCUK BAMBU
MENGUNAKAN LEM**

ANDI WIRAMANDA

D012 17 1 038



**PROGRAM PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2021

**EVALUASI STABILITAS LERENG TANAH REKLAMASI
DENGAN PERKUATAN CERUCUK BAMBU
MENGUNAKAN LEM**

ANDI WIRAMANDA

D012 17 1 038



**PROGRAM PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

TESIS

EVALUASI STABILITAS LERENG TANAH REKLAMASI DENGAN PERKUATAN CERUCUK BAMBU MENGGUNAKAN LEM

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI WIRAMANDA

Nomor Pokok D012 17 1 038

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 31 Desember 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

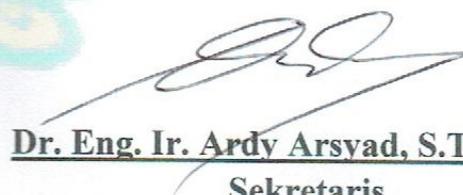
Menyetujui

Komisi Penasehat,



Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, S.T., M.T.

Ketua



Dr. Eng. Ir. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc.

Sekretaris

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. M. Isran Ramli, S.T., M.T.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

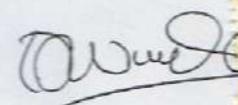
Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Wiramanda
Nomor mahasiswa : D012 1/1 038
Program studi : Teknik Sipil
Konsentrasi : Prasarana

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 31 Desember 2021

Yang menyatakan,



Andi Wiramanda



PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karuniaNya sehingga proposal tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan tesis ini, penulis banyak menghadapi kendala, namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka tesis ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, S.T., M.T. selaku Pembimbing 1 yang banyak membantu serta memberikan saran-saran dan bimbingan dengan penuh kesabaran.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc. selaku Pembimbing 2 dengan penuh kesabaran memberikan dorongan, bimbingan dan masukan yang sangat berarti bagi penulis.
3. Seluruh Dosen pengajar Prodi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Unhas yang telah membimbing dan memberikan bekal berupa penambahan wawasan serta ilmu pengetahuan
4. Puang, mamy, suamiku M. Syahrur Ramadhan, dan saudara-saudariku tercinta, terima kasih atas doa dan kebersamaan dalam suka dan duka, serta keluarga dan teman-teman yang senantiasa memanjatkan doa.
5. Kepada teman-teman yang telah membantu pelaksanaan penelitian serta pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu tetapi telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Kami menyadari ini masih jauh dari sempurna dan banyak kekurangan, maka dengan terbuka penulis menerima segala kritikan dan saran demi kesempurnaan tesis ini. Semoga ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya.

Makassar, 31 Desember 2021

Hormat Penulis,

Andi Wiramanda

ABSTRAK

ANDI WIRAMANDA. *Evaluasi Stabilitas Lereng Tanah Reklamasi dengan Perkuatan Cerucuk Bambu Menggunakan LEM (dibimbing oleh Tri Harianto dan Ardy Arsyad).*

Tanah timbunan yang tinggi pada tanah dasar yang lunak mempunyai potensi ketidakstabilan yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran pada tubuh timbunan. Oleh karena itu, perkuatan timbunan pada tanah dasar yang lunak sangat perlu sebagaimana pada studi kasus timbunan reklamasi pada pulau buatan. Pada studi ini, stabilitas lereng pada pulau buatan dengan perkuatan cerucuk bambu dianalisis dengan menggunakan *limit equilibrium method* (LEM) dengan parameter stabilitas nilai faktor keamanan (FK). Hasil analisis faktor keamanan lereng pulau buatan menunjukkan nilai FK = 3.31 menggunakan analisis numerik dan FK = 2.96 menggunakan analisis manual. Faktor keamanan lereng pulau buatan meningkat menjadi FK = 3.46 dengan analisis numerik dan FK = 3.18 pada analisis manual setelah diberi perkuatan cerucuk bambu dengan panjang 5 meter dan jarak pemasangan 1 meter. Perbandingan hasil analisis numerik dan analisis manual diperoleh selisih 0.35 untuk faktor keamanan lereng tanpa perkuatan dan 0.28 untuk faktor keamanan lereng dengan perkuatan cerucuk bambu.

Kata Kunci: *Stabilitas lereng, faktor keamanan, limit equilibrium method (LEM), bambu, perkuatan tanah.*

ABSTRACT

ANDI WIRAMANDA. *Slope Stability Evaluation of a Reclaimed Soil with Bamboo Pile as Reinforcement Using LEM (supervised by **Tri Harianto dan Ardy Arsyad**).*

High embankment on soft soil would result in low slope stability, which can eventually lead to a landslide in the body of embankment, particularly for the case of an artificial island embankment. In this study, the stability of the artificial island slope was analyzed by using *the limit equilibrium method* (LEM) with the conventional parameter of a safety factor. The results of the safety factor analysis presented the value of $FK = 3.31$ using numerical analysis and $FK = 2.96$ using manual analysis. After being reinforced by bamboo pile in an embankment with a length of 5 meters and a spacing of one meter, the safety factor increased to 3.46 based on numerical analysis and 3.18 based on the manual analysis. The comparison of the numerical and the manual analysis results was obtained with slight differences 0.35 for safety factor without soil reinforcement and 0.28 for safety factor with bamboo for soil reinforcement.

Keywords: *Slope stability, safety factor, limit equilibrium method (LEM), bamboo, soil reinforcement.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Karakteristik dan Permasalahan Tanah Lunak	5
B. Analisis Stabilitas Lereng	8
1. Faktor keamanan lereng.....	10
2. Metode irisan Fellenius.....	12
C. Cerucuk sebagai Perkuatan pada Tanah Lunak	15
1. Mekanisme teknik stabilisasi dengan cerucuk.....	16
2. Alternatif tiang cerucuk	17
3. Parameter yang mempengaruhi interaksi lereng-cerucuk.....	23
4. Perbaikan stabilitas lereng menggunakan cerucuk bambu	25
D. Penelitian Terdahulu	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
A. Rancangan Penelitian	34

B. Waktu dan Lokasi Penelitian	34
C. Alat dan Bahan Penelitian	36
D. Teknik Pengumpulan Data	36
E. Teknik Analisis	36
1. Kestabilan lereng dengan analisis numerik	38
2. Kestabilan lereng dengan analisis manual	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
A. Tahap Konstruksi	45
1. Pemasangan cerucuk bambu	45
2. Penimbunan	46
B. Analisis Kestabilan Lereng dengan Cara Numerik	47
C. Analisis Kestabilan Lereng dengan Cara Manual	49
D. Perbandingan Nilai Faktor Keamanan Lereng Berdasarkan Analisis Numerik dan Analisis Manual	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
A. Kesimpulan	57
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kondisi penanggulangan pada tanah lempung lunak	7
Gambar 2. Tipe keruntuhan timbunan di atas tanah lunak.....	8
Gambar 3. Keruntuhan <i>circular</i> & <i>non-circular</i>	9
Gambar 4. Model pembagian irisan dan gaya-gaya yang bekerja pada irisan	12
Gambar 5. Sketsa peningkatan kekuatan geser tanah akibat pemasangan	15
Gambar 6. Mekanisme teknik stabilisasi dengan cerucuk.....	17
Gambar 7. Grafik NAVFAC DM-7 untuk mencari harga f	29
Gambar 8. Grafik untuk mencari besarnya FM.....	30
Gambar 9. Lokasi sampel penyelidikan tanah	35
Gambar 10. Potongan melintang dan memanjang lereng pulau buatan ..	35
Gambar 11. <i>Boundary condition</i> pulau buatan yang terbentuk dari sedimentasi danau.....	38
Gambar 12. Uji model tanpa perkuatan cerucuk bambu	40
Gambar 13. Uji model dengan perkuatan cerucuk bambu	40
Gambar 14. Lereng yang telah diiris menjadi beberapa pias	43
Gambar 15. Contoh pias nomor 2.....	43
Gambar 16. Pemasangan cerucuk bambu	46
Gambar 17. Pekerjaan penimbunan bertahap.....	47
Gambar 18. Hasil uji pemodelan stabilitas lereng tanpa perkuatan cerucuk bambu.....	48
Gambar 19. Hasil uji pemodelan stabilitas lereng dengan perkuatan cerucuk bambu.....	49
Gambar 20. Geometri lereng beserta bidang gelincirnya yang telah dibagi menjadi beberapa bagian	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hubungan faktor keamanan dan kejadian longsor	11
Tabel 2. Kadar air dan berat jenis bambu petung	21
Tabel 3. Kuat acuan berdasarkan pemilahan secara mekanis.....	23
Tabel 4. Model persamaan cerucuk untuk masing-masing variasi perlakuan	27
Tabel 5. Data-data karakteristik tanah pada titik bor BH-5.....	38
Tabel 6. Hasil analisis kestabilan lereng tanpa perkuatan	48
Tabel 7. Hasil analisis kestabilan lereng dengan perkuatan	49
Tabel 8. Parameter tanah untuk analisis manual	50
Tabel 9. Data fisis cerucuk yang akan digunakan	52
Tabel 10. Kuat acuan cerucuk (MPa) berdasarkan pemilahan secara mekanis	52
Tabel 11. Faktor koreksi gabungan	54
Tabel 12. Perbandingan nilai faktor keamanan lereng analisis numerik dan analisis manual.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Reklamasi adalah proses membuat daratan baru pada daerah perairan, pesisir pantai, ataupun di daerah rawa. Hasil pekerjaan reklamasi bisa dimanfaatkan untuk sarana pemukiman, kawasan industri, pelabuhan, bandara, dan kebutuhan pengembangan wilayah lainnya. Ada beberapa permasalahan yang mungkin dihadapi pada pekerjaan reklamasi, baik pada saat pelaksanaan, maupun kondisi jangka panjang, yaitu salah satunya stabilitas timbunan yang rendah (Suhendra, 2013).

Kondisi tanah dengan konsistensi sangat lunak sampai lunak memiliki tahanan geser yang rendah, sehingga berdampak pada daya dukung tanah. Tanah dasar yang lunak serta tebal lapisan reklamasi yang tinggi mempunyai kecenderungan menyebabkan rendahnya stabilitas timbunan, yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran pada tubuh timbunan.

Upaya untuk meningkatkan tahanan geser tanah lunak yang rendah dapat dilakukan dengan pemasangan cerucuk bambu. Bambu dipandang sebagai material alternatif yang tepat, karena memiliki harga relatif murah dibanding material lain dan pertumbuhannya yang cepat. Selain itu, bambu memiliki keunggulan secara teknis dalam hal elastisitas, kekuatan

lentur, dan kekuatan tarik dibanding dengan kayu, serta kekuatan tarik bambu bisa disejajarkan dengan besi. Terkait hal tersebut, maka diperlukan suatu studi mengenai stabilitas lereng pulau buatan di atas tanah lunak dengan perkuatan cerucuk bambu. Dengan mempertimbangkan hal di atas, maka penulis melakukan penelitian yang berjudul: "*Evaluasi Stabilitas Lereng Tanah Reklamasi dengan Perkuatan Cerucuk Bambu Menggunakan LEM*".

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa faktor keamanan stabilitas lereng pulau tanpa dan dengan perkuatan cerucuk bambu?
2. Berapa perbandingan hasil perhitungan faktor keamanan lereng dengan analisis manual dan analisis numerik?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, adalah:

1. Mengevaluasi stabilitas lereng pulau tanpa dan dengan perkuatan cerucuk bambu.
2. Mengevaluasi perbandingan hasil perhitungan faktor keamanan lereng dengan analisis manual dan analisis numerik.

D. Batasan Masalah

Untuk membatasi objek penelitian dan memberikan langkah yang sistematis, perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah pada penelitian ini, sebagai berikut:

1. Lokasi kajian dilakukan pada pulau buatan yang terbentuk dari hasil reklamasi di atas tanah lunak.
2. Penelitian ini bersifat teoritis dan tidak dilakukan permodelan fisik di laboratorium.
3. Permodelan stabilitas lereng dikhususkan pada prinsip analisis *limit equilibrium* dengan bantuan program Geo5, sehingga penambahan tegangan dan kuat geser pada tanah (*gain strength*) setelah penimbunan tidak dapat ditentukan.
4. Metode yang digunakan dalam analisis lereng adalah metode irisan *Fellenius*.
5. Jenis perkuatan tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah cerucuk bambu.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat hasil analisis ini, antara lain:

1. Keilmuan: diversifikasi di bidang geoteknik, khususnya penggunaan cerucuk bambu sebagai perkuatan pada tanah.
2. Pribadi: Memberikan pengetahuan bagi peneliti, khususnya tentang penanggulangan tanah lunak.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memahami lebih jelas mengenai penelitian ini, maka materi-materi yang tertera pada isi tesis ini dikelompokkan menjadi beberapa sub bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan teori yang berupa pengertian dan definisi yang diambil dari kutipan buku serta beberapa *literature review* yang berkaitan dengan penyusunan tesis ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mendeskripsikan tentang jenis penelitian yang dipilih, standar-standar pengujian laboratorium yang digunakan (ASTM, AASTHO, SNI), serta parameter-parameter input yang berkaitan dengan stabilitas lereng yang akan dianalisis pada pemodelan numerik diperjelas pada bab ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil-hasil analisis menggunakan *software*, analisis secara manual, serta pemodelan *slope stability*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik dan Permasalahan Tanah Lunak

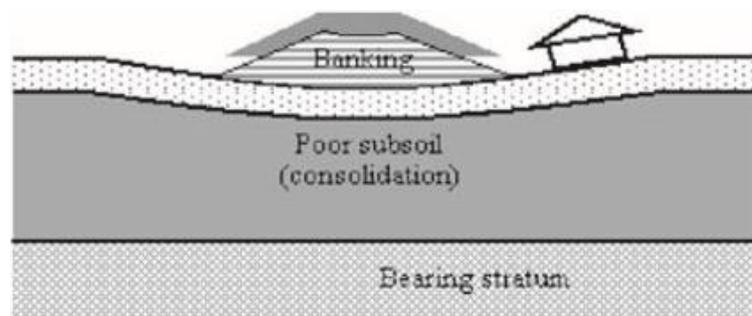
Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil, seperti lempung (*clay*) dan lanau (*silt*). Lapisan tanah lunak mempunyai sifat gaya geser yang rendah, kemampatan yang tinggi, koefisien permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah (Siska dan Yakin, 2016).

Tanah lunak mempunyai harga pengujian penetrasi standar (*Standart Penetration Test*) lebih kecil atau sama dengan 4. Demikian pula lapisan tanah berpasir yang dalam keadaan lepas mempunyai harga N yang kurang dari 10. Biasanya lapisan tanah lunak terbentuk oleh proses alamiah. Tebal, luas, dan stratifikasinya tergantung dari corak topografi dan geologi yang membentuk lapisan itu. Indikasi lapangan yang menunjukkan tanah lunak adalah bisa dibentuk dengan mudah oleh jari tangan dan akan keluar di antara jari jika diremas dengan kepalan tangan (Lestari, 2018).

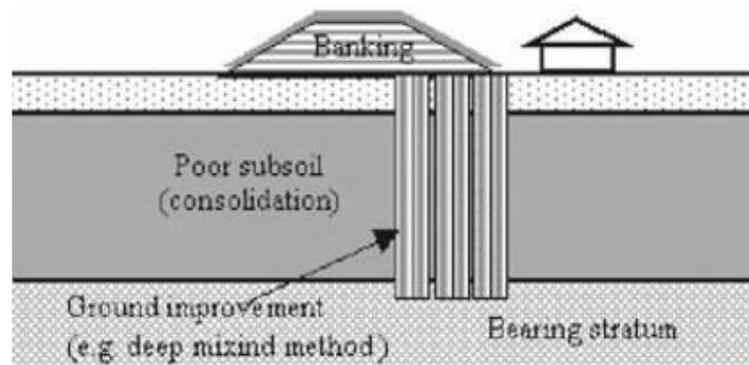
Konstruksi timbunan pada umumnya dilaksanakan di atas tanah lunak, yang dapat menyebabkan stabilitas pada timbunan menjadi kurang baik dan penurunan yang terjadi sangat besar. Timbunan yang dibuat di atas lapisan tanah lunak, dapat menyebabkan keruntuhan pada tanah di

bawah timbunan tersebut karena tanah timbunan biasanya lebih kaku dan kuat dibandingkan dengan lapisan tanah di bawahnya. Hal ini memungkinkan timbunan akan mengalami patah saat lapisan tanah di bawah berdeformasi, mengalami penurunan akibat berat sendiri, dan terjadi keruntuhan akibat tegangan dan regangan antara timbunan dan lapisan tanah di bawahnya (Fadilah dan Hamdhan, 2017).

Tanah lunak sebagai dasar timbunan dapat mengakibatkan deformasi lateral dan vertikal di sekitar timbunan tersebut yang ditunjukkan pada **Gambar 1a**. Tanah lunak dapat digunakan sebagai dasar timbunan apabila tanah tersebut telah dilakukan perbaikan ataupun digunakan penambahan struktur maupun non-struktur sebagai perbaikan tanah. Perbaikan tanah untuk mencegah deformasi dari tanah lunak di bawah timbunan yang ditunjukkan pada **Gambar 1b** (Harata et al., 2009).



Gambar 1a. Penurunan tanpa perbaikan



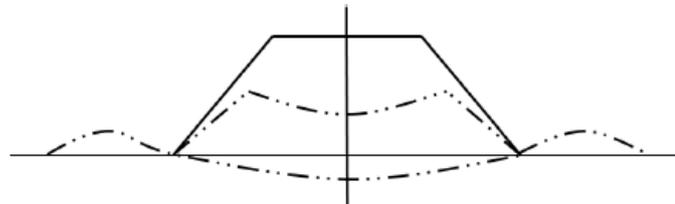
Gambar 1b. Penurunan dengan perbaikan tanah

Gambar 1. Kondisi penanggulangan pada tanah lempung lunak (Harata et al., 2009)

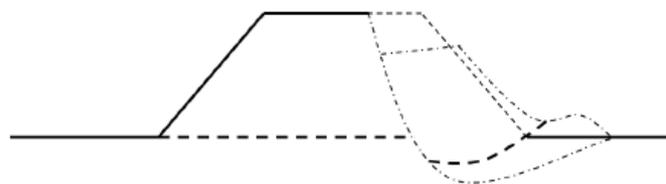
Proses tahapan pembebanan dengan timbunan dapat dilakukan dengan satu tahap (*single stage*) atau dengan beberapa tahap (*multi-stage loading*). Pada tahap pembebanan timbunan dengan satu tahap akan mengurangi tekanan total dan penimbunan yang sangat cepat mengakibatkan tekanan air pori tidak dapat terdisipasi. Stabilitas timbunan ini akan tergantung pada kekuatan geser *undrained*. Pembebanan dengan beberapa tahap pada tanah lunak dapat meningkatkan kekuatan tanah di bawah timbunan. Hal ini disebabkan tanah di bawah timbunan tersebut dapat terkonsolidasi akibat beban atau timbunan di atasnya, sehingga terjadi kenaikan kekuatan pada tanah tersebut. Namun dengan metode ini, waktu konstruksi yang dibutuhkan akan cukup lama.

Kriteria keruntuhan timbunan di atas tanah lunak terdapat 3 macam keruntuhan utama yang perlu diperhitungkan, yaitu stabilitas daya dukung,

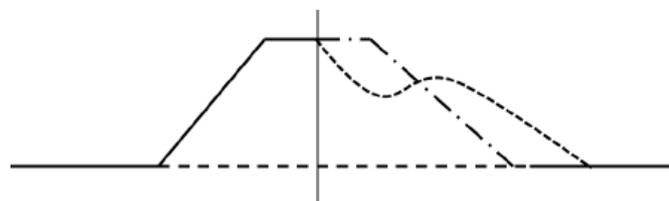
stabilitas rotasi, dan pergeseran horizontal (Hamdhan dan Fauziah, 2019) yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2a. Keruntuhan daya dukung



Gambar 2b. Keruntuhan rotasional



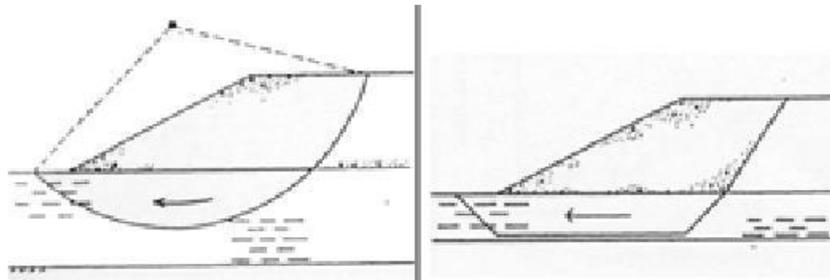
Gambar 2c. Keruntuhan lereng akibat pergeseran horisontal

Gambar 2. Tipe keruntuhan timbunan di atas tanah lunak (Manggada *et al.*,2015)

B. Analisis Stabilitas Lereng

Hal yang penting dalam analisis stabilitas lereng, yaitu mempertimbangkan keruntuhan yang akan terjadi. Keruntuhan tersebut ada dua, yaitu *circular* and *non-circular* (Tan, 2005) yang dapat dilihat pada **Gambar 3**. Keruntuhan *circular* tidak menghasilkan faktor keamanan

terkecil, seperti pada timbunan di atas tanah lunak yang tipis. Namun pada kegagalan yang terjadi, umumnya pada kegagalan translasi.



Gambar 3. Keruntuhan *circular & non-circular* (Tan, 2005)

Analisis stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng, yaitu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat terjadi akibat gerak relatif antar butirnya. Karena itu, kekuatannya tergantung pada gaya yang bekerja antar butirnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser terdiri atas (Das, 1994):

1. Bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah dan ikatan butirnya.
2. Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan musim/ iklim/ cuaca. Akibat adanya

gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng, menyebabkan material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir. Kecenderungan menggelincir ini ditahan oleh kekuatan geser material sendiri.

2. Faktor keamanan lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial, yaitu dengan menghitung besarnya kekuatan geser untuk mempertahankan kestabilan lereng dan menghitung kekuatan geser yang menyebabkan kelongsoran, kemudian keduanya dibandingkan. Dari perbandingan yang ada, didapat nilai faktor aman yang merupakan nilai kestabilan lereng yang dinyatakan dalam angka. Perbandingan ini dinyatakan dalam persamaan:

$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (1)$$

dengan:

FK = faktor keamanan

τ_f = kekuatan geser rata-rata tanah, kN/m².

τ_d = kekuatan geser rata-rata tanah yang bekerja pada permukaan tanah dengan potensi kegagalan, kN/m².

(Das, 2012, *Principle of Geotechnical Engineering 8th Edition*, 577)

Faktor keamanan (FK) lereng tanah dapat dihitung dengan berbagai metode. Longsoran dengan bidang gelincir (*slip surface*), FK dapat dihitung dengan metode sayatan (*slice method*) menurut Fellenius atau Bishop. Untuk suatu lereng dengan penampang yang sama, cara Fellenius dapat dibandingkan nilai faktor keamanannya dengan cara Bishop. Dalam mengantisipasi lereng longsor, sebaiknya nilai FK yang diambil adalah nilai FK yang terkecil, dengan demikian antisipasi akan diupayakan maksimal. Menurut Bowles (1989), nilai dari faktor keamanan ditinjau berdasarkan intensitas kelongsorannya seperti **Tabel 1**.

Tabel 1. Hubungan faktor keamanan dan kejadian longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kondisi Lereng	Keterangan
$FK < 1$	Memerlukan perbaikan stabilitas lereng	Tidak stabil
$1 < FK < 1,25$	Gangguan ketidakstabilan minor dapat mengganggu stabilitas	Agak Stabil
$1,25 < FK < 1,5$	Gangguan ketidakstabilan sedang dapat membuat ketidakstabilan	Cukup stabil

Sumber : Hardiyatmo, H.C, Mekanika Tanah II jilid 7, UGM Press

Data yang diperlukan dalam suatu perhitungan sederhana untuk mencari nilai FK (faktor keamanan lereng) adalah sebagai berikut:

- a. Data lereng, terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng, meliputi: sudut lereng, tinggi lereng, atau panjang lereng dari kaki lereng ke puncak lereng.

b. Data mekanika tanah

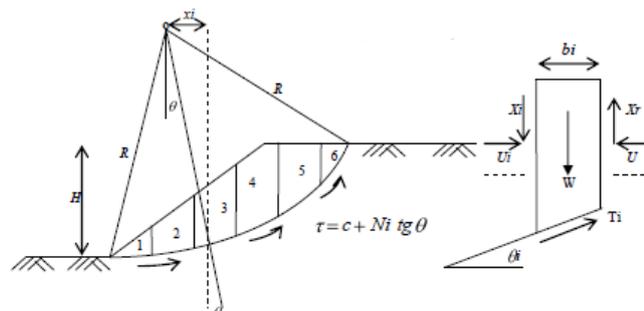
- sudut geser dalam (ϕ ; derajat)
- bobot satuan isi tanah basah (γ wet; kN/m^3)
- kohesi (c ; kN/m^2)
- kadar air tanah (ω ; %)

c. Faktor Luar

- Getaran akibat kegiatan peledakan,
- Beban alat mekanis yang beroperasi, dan lain-lain.

2. Metode irisan Fellenius

Metode irisan adalah metode perhitungan gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor dan dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal dengan memperhatikan keseimbangan dari tiap-tiap irisan. Metode Fellenius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor, serta bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Model pembagian irisan dan gaya-gaya yang bekerja pada irisan

Faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio antara jumlah momen dari tahanan geser pada bidang longsor dan momen dari berat massa tanah yang akan longsor, yang dapat dilihat pada persamaan (2):

$$F_k = \frac{\text{Jumlah Momen dari Tahanan Geser Sepanjang Bidang Longsor}}{\text{Jumlah Momen dari Berat Massa Tanah yang Longsor}} \quad (2)$$

(Hardiyatmo, 2002)

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka untuk momen tanah penyebab longsor dapat dilihat pada persamaan (3):

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=N} W_i \sin \theta_i \quad (3)$$

(Hardiyatmo, 2002)

Di mana:

R = Jari-jari bidang longsor, m.

N = Jumlah irisan

W_i = Berat massa tanah irisan ke- i , kN.

θ_i = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas, derajat.

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah yang akan longsor, dapat dilihat pada persamaan (4):

$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=N} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \phi) \quad (4)$$

(Hardiyatmo, 2002)

Karena itu, faktor keamanannya, dapat dilihat pada persamaan (5):

$$Fk = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \operatorname{tg} \phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (5)$$

(Hardiyatmo, 2002)

Bila terdapat air dalam lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (Ma), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran, sehingga faktor keamanan seperti persamaan (6) :

$$Fk = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (6)$$

(Hardiyatmo, 2002)

Di mana:

FK = Faktor Keamanan

c = Kohesi tanah, kN/m².

ϕ = Sudut geser dalam tanah, derajat.

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i , m.

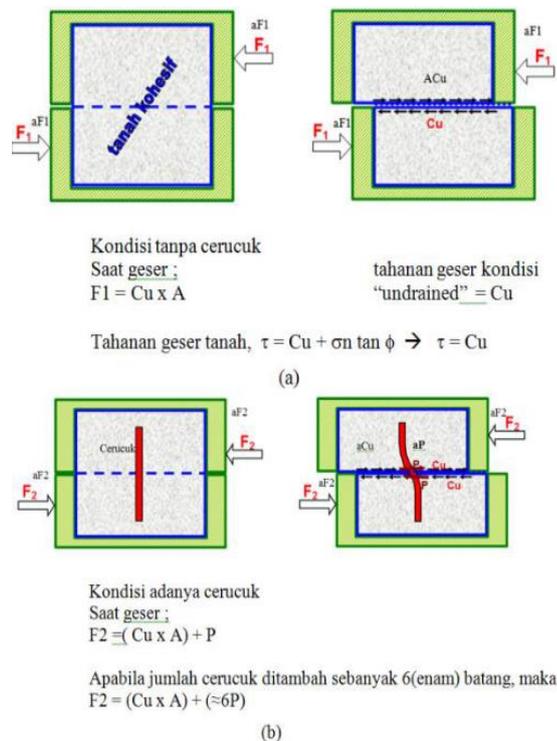
W_i = Berat irisan tanah ke- i , kN.

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke- i , kN/m².

θ_i = Sudut yang didefinisikan seperti pada **Gambar 4**, derajat.

C. Cerucuk sebagai Perkuatan pada Tanah Lunak

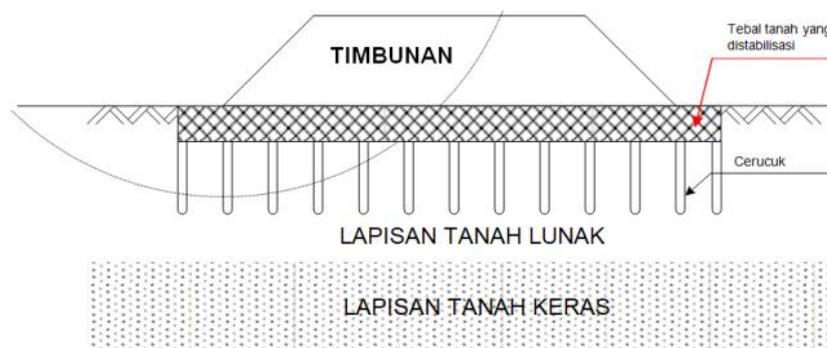
Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Pada saat tanah mengalami gaya geser, maka gaya penahan yang diberikan tanah hanya bergantung pada nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah. Tahanan geser pada kasus tanah lunak hanya ditahan oleh nilai kohesi di sepanjang bidang gelincir. Setelah ditambahkan cerucuk, tahanan geser tidak hanya dipikul oleh kohesi tanah saja, namun ada tambahan gaya dari cerucuk, sehingga kekuatan geser tanah meningkat (Rusdiansyah, 2015). Skema peningkatan kuat geser tanah dengan cerucuk bisa dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Sketsa peningkatan kekuatan geser tanah akibat pemasangan cerucuk (Rusdiansyah dkk, 2015).

1. Mekanisme teknik stabilisasi dengan cerucuk

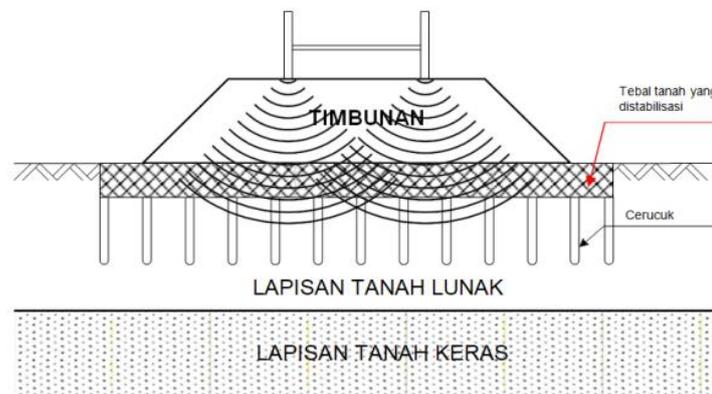
Teknik stabilisasi dengan cerucuk selain berpengaruh terhadap peningkatan stabilitas kemiringan lereng timbunan yang dibangun pada tanah lunak, juga akan memperkecil penurunan dengan cara menyalurkan tegangan ke lapisan tanah yang lebih dalam, serta mempunyai prinsip untuk memanfaatkan distribusi tegangan yaitu meningkatkan kekuatan lapisan tanah untuk mendapatkan kapasitas dukung yang lebih baik. Stabilisasi dengan cerucuk dapat ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6a. Meningkatkan stabilitas jangka pendek.



Gambar 6b. Mengurangi penurunan.



Gambar 6c. Distribusi tegangan.

Gambar 6. Mekanisme teknik stabilisasi dengan cerucuk (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

2. Alternatif tiang cerucuk

Ada beberapa alternatif tiang cerucuk yang dapat dijadikan sebagai sistem stabilisasi, yaitu (Departemen Pekerjaan Umum, 2005):

a. Tiang kayu

Biasanya tiang yang digunakan berukuran panjang 4-6 m dengan diameter 10 cm. Kayu harus dalam bentang yang lurus untuk kemudahan penancapan. Jenis kayu harus merupakan kayu yang tidak busuk jika terendam air, kayu tidak dalam kondisi busuk dan tidak dalam keadaan mudah patah jika ada pembebanan. Jenis kayu yang sering dipergunakan adalah: Kayu Gelam, Kayu Medang, Kayu Betangor, Kayu Ubah, dan Kayu Dolken.

b. Tiang beton

Untuk tanah lunak yang lebih dalam dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar diperlukan, penggunaan dari tiang beton

pracetak lebih cocok. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10-40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang cukup besar.

c. Tiang bambu

Faktor utama dalam penentuan pilihan perkuatan adalah efektivitas dan biaya. Bambu dipandang sebagai material alternatif yang tepat, karena memiliki harga relatif murah dibanding material lain dan pertumbuhannya yang cepat. Selain itu, bambu memiliki kuat tarik yang tinggi, massa ringan, serta mempunyai kuat lentur dan geser permukaan yang baik. Di sisi lain, bambu memiliki kelemahan dalam hal durabilitas yang relatif rendah, namun selama bambu digunakan pada kondisi lingkungan, jenis konstruksi, dan durasi waktu yang tepat, hal ini tidak menjadi masalah. Bambu yang tidak terlindung dari cuaca, maka hanya memiliki umur layan sekitar 1 hingga 3 tahun. Bambu yang terlindung dari cuaca luar, diprediksi umur layan bambu dapat mencapai antara 4 hingga 7 tahun, bahkan lebih. Bambu yang terpapar langsung dengan air laut diprediksi akan cepat hancur dalam waktu kurang dari satu tahun akibat serangan mikroorganisme laut. Bambu tanpa pengawetan, bila selalu terendam air atau selalu kering mampu bertahan 10-15 tahun dan jika dilakukan pengawetan bambu dapat bertahan > 15 tahun (Suwartanti, 2005; Suriani, 2017).

Di Indonesia terdapat lebih dari 13 spesies bambu yang biasa digunakan masyarakat untuk struktur bangunan. Dari ketiga belas jenis

bambu tersebut, yang mudah ditemui dan diaplikasikan sebagai bahan konstruksi paling banyak adalah *Gigantochloa Apus* (bambu apus, bambu tali), *Bambusa Spinosa Bluemeana* (bambu ori), *Gigantochloa Verticillite* (bambu wulung/ hitam), dan *Dendrocalamus Asper* (bambu petung). Bambu petung mempunyai panjang batang mencapai 10 meter sampai 14 meter, panjang ruas berkisar antara 40 cm sampai 60 cm, dengan diameter 6 cm sampai 15 cm, dan tebal dinding 10 mm sampai 15 mm (Morisco, 1999).

Kekuatan bambu sebagai bahan konstruksi dipengaruhi oleh sifat fisik dan mekaniknya. Sifat fisik bambu merupakan perilaku fisik bambu sebagai tanggapan terhadap perubahan kondisi udara di sekitar tempat tumbuh bambu. Bambu sangat sensitif terhadap perubahan kadar air udara atau kelembaban. Sifat fisik bambu meliputi kadar air dan berat jenis. Berat jenis mempunyai hubungan terbalik dengan kadar air. Semakin tinggi berat jenis bambu, semakin kecil kadar airnya.

Sifat mekanik bambu merupakan perilaku bambu terhadap beban luar yang mengenainya. Beberapa sifat-sifat mekanik bambu, seperti kuat tarik sejajar serat (*tensile strength*), kuat tekan sejajar dan tegak lurus serat (*compressive strength*), kuat lentur (*bending strength*), kuat geser (*shearing strength*), serta modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) (Desi dan Astuti, 2016).

1) Sifat fisik bambu petung

a) Berat jenis

Berat jenis bambu adalah perbandingan berat bambu terhadap berat suatu volume air yang sama dengan volume bambu tersebut. Berat jenis dan kerapatan bambu menentukan sifat fisika dan mekanikanya. Hal ini disebabkan nilai berat jenis dan kerapatan bambu ditentukan oleh banyaknya zat kayu. Berat jenis bambu berkisar antara 0,5-0,9 gr/cm³. (Krisdianto, Ginuk Sumarni dan Agus Ismanto, 2005).

b) Kandungan air

Bambu seperti halnya kayu merupakan zat higroskopis, artinya mempunyai afinitas terhadap air, baik dalam bentuk uap atau cairan. Kandungan air pada bambu akan berpengaruh pada kekuatan bambu. Menurut Janssen (1998) kekuatan suatu bahan menurun dengan naiknya kadar air pada bahan tersebut. Penyerapan dan pengeluaran air yang berulang-ulang biasanya diikuti dengan retak dan pecah pada bambu. Untuk mengatasi keadaan tersebut maka beberapa cara yang perlu diperhatikan diantaranya adalah menyimpan bambu pada ruang yang tidak lembab, lantai kering dan sirkulasi udara lancar. Morisco dan Triwiyono (2000) melakukan penelitian kadar air serta berat jenis bambu petung. Pengukuran kadar air dilakukan sehari setelah penebangan. Hasil penelitiannya tercantum pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kadar air dan berat jenis bambu petung

Posisi	Nomor	Bambu Basah		Bambu Kering	
		Kadar Air (%)	Berat Jenis (gr/cm ³)	Kadar Air (%)	Berat Jenis (gr/cm ³)
Pangkal	1	38,610	0,634	5,381	0,646
	2	34,256	0,680	4,390	0,663
	3	35,361	0,603	5,909	0,682
	Rata-rata	36,06	0,639	5,227	0,664
Tengah	1	41,129	0,695	6,250	0,711
	2	36,402	0,701	6,926	0,702
	3	35,965	0,712	6,859	0,769
	Rata-rata	37,832	0,703	6,678	0,727
Ujung	1	38,699	0,754	6,034	0,763
	2	36,078	0,712	8,756	0,697
	3	35,517	0,686	6,818	0,820
	Rata-rata	36,765	0,717	7,203	0,760

Sumber: Morisco dan Triwiyono, 2000.

2) Sifat mekanik bambu petung

a) Kuat tarik dan kuat tekan bambu

Bambu mempunyai kuat tarik dan kuat tekan yang baik. Kuat tarik atau keteguhan tarik bambu yaitu suatu ukuran kekuatan bambu dalam hal kemampuannya untuk menahan gaya-gaya yang cenderung menyebabkan bambu itu terlepas satu sama lain. Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama. Kuat tarik yang sama terdapat di sepanjang batang, sedangkan kuat tekannya semakin meningkat sesuai dengan umur bambu tersebut (Pathurahman, 1998; Fransiskus, 2013).

Penelitian oleh Morisco (1994-1999) yang membandingkan kuat tarik bambu Ori dan Petung dengan baja struktur bertegangan leleh

2400 kg/cm² mewakili baja beton yang banyak terdapat dipasaran, dilaporkan kuat tarik bambu Petung mencapai 3100 kg/cm².

Janssen (1980) menyatakan, bahwa kekuatan tarik bambu akan menurun dengan meningkatnya kadar air. Kekuatan tarik maksimum bagian luar bambu paling besar dibandingkan dengan bagian-bagian yang lain. Sel-sel di dalam internodia berorientasi ke arah sumbu aksial, sedangkan pada nodia sel-selnya mengarah pada sumbu transversal. Oleh karena itu, bagian batang yang bernodia mempunyai kekuatan tarik maksimum yang lebih rendah daripada bagian batang yang tidak bernodia.

b) Modulus elastisitas dan kuat geser bambu

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Tular dan Sutijan (1961), modulus elastisitas (E) bambu berkisar antara 98.070-294.200 kg/cm², sedangkan kuat geser bambu sangat rendah, maka dari itu perancangan bambu sebagai struktur batang tunggal lebih efektif bila dibandingkan batang ganda. **Tabel 3** berikut menunjukkan hasil pengujian material di laboratorium dengan mengikuti standar pemilahan mekanis yang baku.

Tabel 3. Kuat acuan (MPa) berdasarkan pemilahan secara mekanis

Kode Mutu	Modulus Elastisitas Lentur (Ew)	Kuat Lentur (b)	Kuat Tarik Sejajar Serat (Ft)	Kuat Tekan Sejajar Serat (Fc)	Kuat Geser (Fv)	Kuat Tekan Tegak Lurus Serat (FcL)
E26	26000	71	65	54	6.9	24
E25	25000	67	63	53	6.8	23
E24	24000	64	60	52	6.7	22
E23	23000	61	57	50	6.5	21
E22	22000	58	54	48	6.4	20

E21	21000	54	51	47	6.2	19
E20	20000	51	48	45	6.1	18
E19	19000	48	45	43	5.9	17
E18	18000	45	42	41	5.7	16
E17	17000	41	39	40	5.6	15
E16	16000	38	36	39	5.4	14
E15	15000	35	33	36	5.3	13
E14	14000	32	30	35	5.1	12
E13	13000	29	27	33	5.0	11
E12	12000	25	24	31	4.8	11
E11	11000	22	21	29	4.7	10
E10	10000	19	18	28	4.5	9
E9	9000	16	15	26	4.3	8
E8	8000	12	12	24	4.2	7
E7	7000	9	9	22	4.1	6

Sumber: Mektek Majalah Ilmiah, 2018.

3. Parameter yang mempengaruhi interaksi lereng-cerucuk

Menurut Rusdiansyah, dkk (2015) ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi interaksi lereng-cerucuk di lapangan. Parameter-parameter tersebut adalah:

a. Panjang tancapan cerucuk

Semakin panjang tiang cerucuk yang tertanam, maka semakin besar pula daerah kerja (daerah perlawanan) atau reaksi lateral yang dimiliki cerucuk untuk menghambat pergeseran tanah, sehingga penambahan tahanan geser yang dihasilkan oleh cerucuk menjadi semakin besar.

b. Spasi cerucuk

Spasi cerucuk yang rapat (3D sampai 5D) dapat memperkecil deformasi yang terjadi pada tanah. Pada rentang spasi tersebut, kinerja kelompok cerucuk lebih maksimal memberikan efek pasak pada

perkuatan tanah. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa pada jarak (spasi) tersebut dapat menghasilkan tahanan yang optimal antara tiang-tiang cerucuk terhadap dorongan (gaya geser) yang terjadi.

c. Diameter cerucuk

Semakin besar diameter cerucuk, maka semakin besar pula tahanan geser tanah yang menghasilkan kontribusi cerucuk untuk memberikan perlawanan terhadap gaya geser horisontal yang terjadi. Kondisi ini terjadi disebabkan karena semakin besar diameter tiang cerucuk yang digunakan, berarti kekakuan yang dimiliki oleh tiang cerucuk tersebut semakin meningkat, sehingga memperbesar kemampuan tiang cerucuk tersebut untuk menghasilkan penahan momen dan geser dari cerucuk untuk melawan geseran yang terjadi.

d. Posisi tancap cerucuk

Tahanan geser tanah mengalami peningkatan bila tiang cerucuk dipancang tepat memotong garis bidang kelongsoran pada sudut 30° dan 45° terhadap garis horisontal dibandingkan pada sudut 0° . Selain itu, posisi cerucuk tepat memotong garis bidang kelongsoran dengan sudut 0° adalah dalam kondisi kritis (minimum), di mana mobilisasi gaya geser lateral dalam kondisi maksimum dari massa tanah longsor. Cerucuk yang dipancang memotong garis kelongsoran yang membentuk sudut sebesar 45° , nilai tahanan geser sedikit mengalami penurunan dibandingkan yang dihasilkan oleh sudut 30° .

Peningkatan tahanan geser tanah akibat adanya cerucuk yang dipancang tepat memotong garis bidang longsor yang memiliki sudut 30° dan 45° adalah sangat signifikan. Kondisi ini terjadi karena pada saat massa tanah mengalami pergeseran garis lingkaran kelongsoran, posisi cerucuk yang berada pada garis bidang longsohnya yang memiliki sudut 30° dan 45° telah membentuk daerah kerja (luasan) massa tanah bersudut tumpul yang relatif lebih besar dibandingkan daerah kerja (luasan) massa tanah yang dihasilkan oleh sudut 0° . Hal ini mengakibatkan posisi cerucuk yang memotong garis kelongsoran bersudut 30° dan 45° dapat menghasilkan posisi yang lebih stabil serta dapat meningkatkan tahanan geser tanah menjadi lebih besar.

4. Perbaikan stabilitas lereng menggunakan cerucuk bambu

Perbaikan stabilitas lereng umumnya dilakukan untuk mereduksi gaya-gaya yang menggerakkan, menambah tahanan geser tanah atau keduanya. Teori Mochtar (2000) digunakan untuk menentukan kekuatan 1(satu) cerucuk untuk menahan gaya horizontal. Pada persamaan di bawah menunjukkan gaya horisontal (P) yang mampu ditahan oleh 1 (satu) tiang. Dalam persamaan (7) 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).

$$P_{\max (1 \text{ cerucuk})} = \frac{M_{p \max (1 \text{ cerucuk})}}{f_m T} \times F K_g \quad (7)$$

Di mana:

M_p = momen lentur yang bekerja pada cerucuk, kNm.

$F M$ = koefisien momen akibat gaya lateral P .

P = Gaya horizontal maksimum yang dapat ditahan 1 cerucuk, kN.

T = faktor kekakuan relatif, m.

$F K_g$ = Faktor koreksi gabungan, [2.30.yt.ys.yd.yn] (Persamaan untuk menghitung faktor koreksi dapat dilihat pada **Tabel (4)**)

Tabel 4. Model persamaan cerucuk untuk masing-masing variasi perlakuan.

Variasi perlakuan cerucuk	Model persamaan
Rasio Tancap (X_t)	$Y_t = 0,1(X_t) - 0,35$ ($Y_t=1$ bila $X_t=15$), (untuk $0 < L/D < 5$, $Y_t = 0.02 X_t$),
Spasi (X_s)	$Y_s = -0.057(X_s)^2 + 0.614(X_s) - 0.658$ ($Y_s=1$ bila $X_s=5$)
Jumlah (X_n)	$Y_n = -0.047 X_n + 1.051$ ($Y_n=1$ bila $X_n=1$)
Diameter (X_D)	$Y_D = 46.616(X_D) - 3.582$ ($Y_D=1$ bila $X_D=0.126$), ($Y_D \text{ min} = 1.0$; $Y_D \text{ max} = 1.70$)

Sumber: Rusdiansyah, 2016.

Untuk menghitung momen lentur yang bekerja pada cerucuk (M_p) maka digunakan persamaan (8) :

$$MP_{\max} \text{ cerucuk} = \frac{\sigma_{\max} \text{ bahan} \times I_n}{C} \quad (8)$$

Di mana:

σ_{\max} = Tegangan tarik/tekan maksimum dari bahan cerucuk, kN/m².

I_n = Momen inersia penampang cerucuk terhadap garis yang melewati

Penampang, m⁴.

$C = 1/2 D$, D = diameter cerucuk, m.

Selain itu variabel faktor kekakuan relatif (T) seperti pada persamaan (9) juga ditentukan terlebih dahulu dan ditunjukkan dalam Persamaan sebelumnya seperti yang telah dijelaskan dalam NAVFAC DM-7, 1971.

$$T = \left[\frac{EI}{f} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (9)$$

dengan:

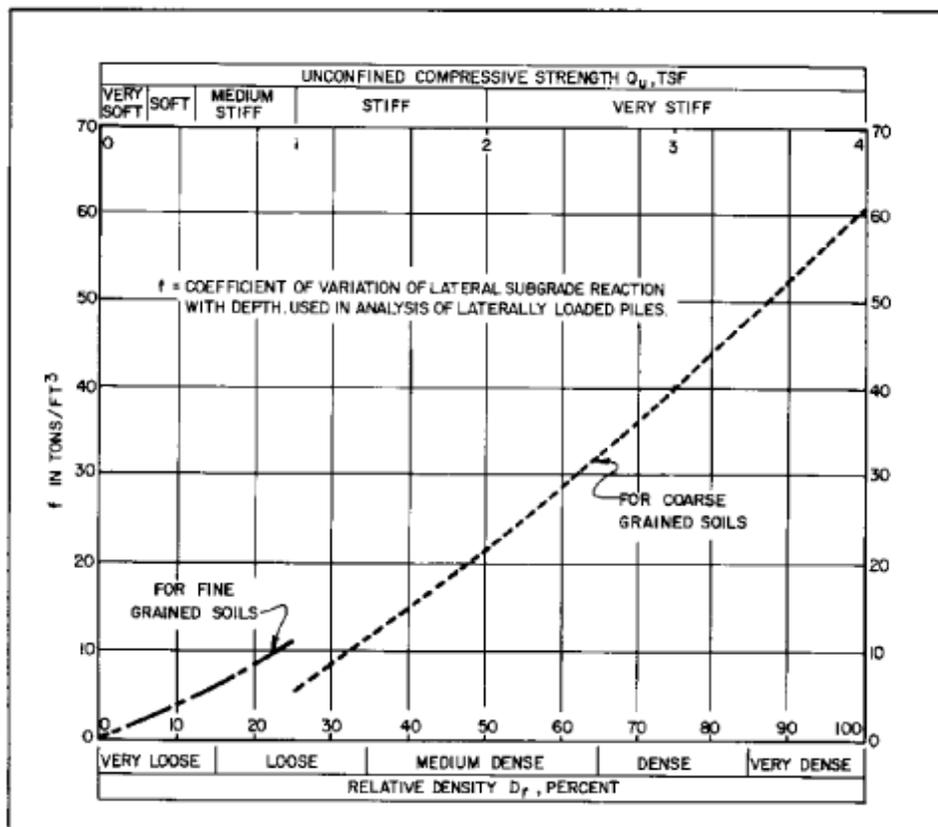
E = modulus elastisitas tiang (cerucuk), kN/m².

I = momen inersia tiang (cerucuk), m⁴.

F = koefisien dari variasi modulus tanah, kN/cm³.

T = faktor kekakuan relatif, m.

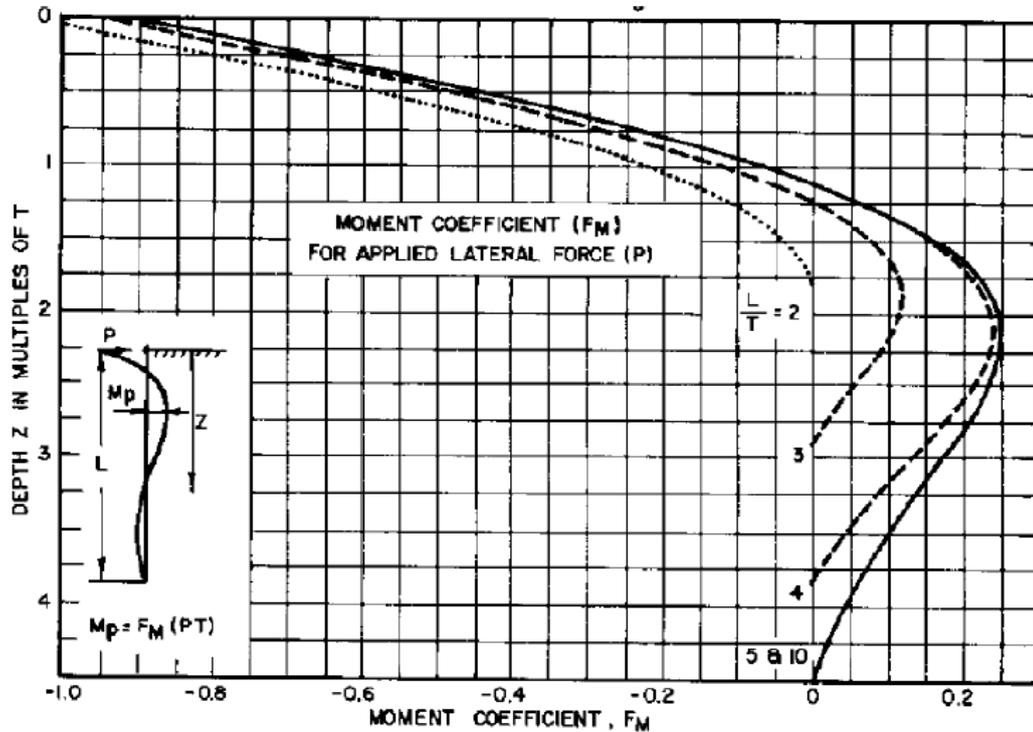
Dalam Persamaan tersebut terdapat variabel f (koefisien dari variasi modulus tanah) yang ditentukan menggunakan kurva yang



dijelaskan dalam **Gambar 7**.

Gambar 7. Grafik NAVFAC DM-7 untuk mencari harga f .

Koefisien momen akibat gaya lateral P (F_m) dapat ditentukan dengan menggunakan *chart* pada **Gambar 8** (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 8. Grafik untuk mencari besarnya FM
Sumber: NAVFAC DM-7, 1971.

Setelah mengetahui nilai $P_{\max 1 \text{cerucuk}}$ selanjutnya dapat dihitung faktor keamanan lereng berdasarkan tambahan momen penahan longsor oleh jumlah cerucuk. Maka untuk menghitung faktor keamanan lereng dengan mengetahui jumlah cerucuk yang akan digunakan, persamaan di atas dapat diturunkan menjadi persamaan (10) :

$$FK = FK_{\text{kawal}} + \frac{R \cdot P_{\max 1 \text{cerucuk}} \cdot n}{Md} \quad (10)$$

atau pada persamaan (11)

$$FK = \frac{R \sum C \cdot a_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i) \cdot \tan \Phi + R \cdot P_{\max 1 \text{cerucuk}} \cdot n}{R \sum W_i \cdot \sin \theta_i} \quad (11)$$

D. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu terkait analisis kestabilan lereng, di antaranya:

1. Analisis Kestabilan Tanah Timbunan (*Embankment*) pada Tanah Rawa dengan Menggunakan Bambu

Analisis pada kajian ini mengenai stabilitas timbunan pada tanah lunak. Bambu digunakan sebagai upaya perbaikan tanah rawa dengan timbunan di atasnya. Analisis dilakukan dengan percobaan skala laboratorium, meliputi analisis stabilitas tanpa dan dengan perkuatan bambu sebagai *micropile*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan, bahwa tanah rawa merupakan tanah yang memiliki daya dukung rendah dan pada umumnya memiliki kadar air yang cukup tinggi serta permeabilitas yang sangat rendah, sehingga menimbulkan masalah stabilitas. Hasil analisis ini juga menunjukkan, bahwa jika nilai ϕ dan c ditambahkan maka FK akan semakin meningkat. Sebaliknya jika nilai γ dan tinggi *embankment* (h) ditambahkan maka FK akan turun.

2. Asumsi Sistem Cerucuk sebagai Alternatif Solusi dalam Penanganan Kelongsoran Lereng Jalan di atas Tanah Lunak

Tujuan penelitian ini yaitu upaya untuk meningkatkan tahanan geser tanah lunak yang rendah dengan metode perkuatan tanah.

Metode perkuatan tanah yang digunakan adalah perkuatan tiang-tiang vertikal yang berperilaku seperti sistem cerucuk. Hasil penelitian ini menunjukkan 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. Hasil kajian ini juga menunjukkan bahwa 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), 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.

3. Pengaruh Penggunaan Cerucuk terhadap Kuat Geser Tanah Lempung Lunak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan cerucuk pada tanah lempung untuk meningkatkan kekuatan tanah lunak. Metode yang digunakan adalah dengan penambahan kayu (cerucuk) dengan diameter ± 8 cm yang

ditanam ke dalam tanah lempung lunak, kemudian akan diuji dengan kipas geser (*Vane Shear Test*) dengan variasi panjang dan jarak cerucuk. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan kekuatan geser tanah lempung dibandingkan dengan nilai kekuatan geser lempung tanpa cerucuk. Untuk panjang 60 cm dengan spasi cerucuk 2D, 3D, 5D, terjadi peningkatan berturut turut 5,25%, 2,20%, 1,06%. Untuk panjang cerucuk 80 cm dengan spasi cerucuk 2D, 3D, 5D, peningkatan masing-masing untuk 25,15%, 20,73%, 18,91%. Untuk panjang cerucuk 100 cm dengan jarak 2D, 3D, 5D, meningkat masing-masing untuk 33.80%, 31.63%, 29.93%. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang cerucuk dan semakin dekat jarak antara cerucuk, semakin dapat meningkatkan kekuatan geser tanah lempung.