

Analisis Kestabilan Tanah Timbunan (Embankment) Pada Tanah Rawa Dengan Menggunakan Bambu (Studi Kasus : Jalan Toll Manado-Bitung)

Mariati Indah Lestari ¹, Fabian J Manoppo ², Steeva Rondonuwu ³

¹⁾ Mahasiswa Program studi Teknik Sipil Pasca Sarjana Unsrat

^{2),3)} Staf Pengajar Program studi Teknik Sipil Pasca Sarjana Unsrat

e-mail : indahlestarimariati@gmail.com

ABSTRACT

Construction of the road structure in the form of embankment on soft ground conditions pose some problems, such as stability, seattlement, horizontal movement (lateral displacement), and collapse of ground slopes or uneven base decline (differential seattlement). This is because soft soils generally have strong shear and low permeability and great compressibility. Because the soft soil has a low permeability, the time required for consolidation is longer. At the time of consolidation, the ground stress at the beginning of the loading is borne entirely by the pore-water stress. Then slowly this stress is transferred to the effective stress of the soil, so that the soil has increased the strength and carrying capacity. Thus, if a construction is to be built on soft soil, in order to avoid a substantial settlement in the building and to obtain a good carrying capacity of the soil, the construction process should be carried out after the soil has been fully consolidated. In this study it will be on the analyze the stability problems on embankment on soft soil by using bamboo as micropile with case studies marshland improvement efforts to heap on it on a toll road project Manado Bitung in North Sulawesi.

The aims of this study are to obtain a graphic relationship between safety factor value and engineering properties of soil (c , ϕ , γ) and to obtain a graphic relationship between safety factor value and it's α value.

Methods used in this study are laboratory scale experiment using bamboo as micropile to simulate the soil stability and rockscience program forn slope stability analysis.

Results revealed that based on the analysis results of construction of embankment without bamboo as micro pile and construction of embankment with bamboo as micro pile, it can be concluded that as swamp land has low carrying capacity and generally have high water content and very low permeability so often cause problems inside construction of civil buildings. A common problem with soft soil is the problem of stability. The result of the analysis, showed that other data (ϕ , γ , c , h), if the value of ϕ increase then the safety factor will increase, also if the value of c increase then the safety factor will increase, but if the value of γ is decrease then the safety factor will decrease. By raising the h embankment height, will reduce the safety factor value.

Keywords: *slope stability, geological process, landslides, Rocscience slide program, safety factor*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan struktur badan jalan yang berupa timbunan pada kondisi tanah lunak menimbulkan beberapa masalah, diantaranya kemantapan (stabilitas) Penurunan (seattlement)

Pergerakan mendatar (lateral displacement) Keruntuhan lereng atau tanah dasar Penurunan yang tidak merata (differential seattlement) . Hal ini disebabkan karena tanah lunak umumnya memiliki kuat geser dan permeabilitas yang rendah serta kompresibilitas

yang besar. Karena tanah lunak memiliki permeabilitas yang rendah maka waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi lebih lama. Pada saat konsolidasi, tegangan tanah pada saat awal pembebanan ditanggung sepenuhnya oleh tegangan air pori. Kemudian secara perlahan tegangan ini ditransfer ke tegangan efektif tanah, sehingga tanah mengalami peningkatan kekuatan dan daya dukung tanah. Dengan demikian, jika suatu konstruksi akan dibangun di atas tanah lunak, maka untuk menghindari penurunan yang besar pada bangunan tersebut dan memperoleh daya dukung tanah yang cukup baik maka proses konstruksi sebaiknya dilakukan setelah tanah telah terkonsolidasi secara sempurna. Pada kajian ini akan di analisis tentang masalah stabilitas timbunan di atas tanah lunak dengan menggunakan metode bamboo sebagai micropile dengan studi kasus upaya perbaikan tanah rawa dengan timbunan di atasnya pada proyek Jalan Tol Manado Bitung Sulawesi Utara.

TINJAUAN PUSTAKA

Manoppo, et al Sand Compaction Pile merupakan metode dimana pasir dipadatkan untuk membentuk pile yang dapat berfungsi sebagai perkuatan dan drainase. Metode ini telah digunakan pada tanah yang memiliki kadar air tinggi (Hiroki Et Al. (2012)) sehingga pada kasus ini, akan dilakukan analisa terhadap pengaruh perkuatan Sand Compaction Pile terhadap tanah rawa dengan bantuan program yang menggunakan metode limit equilibrium berupa SLIDE dan dan RS2 (Phase2) dalam mencari pengaruh perkuatan kestabilan tanah yang terjadi akibat aplikasi Sand Compaction Pile. Perilaku tanah diselidiki dalam laboratorium, dan analisis perhitungan dilakukan menggunakan program SLIDE dan RS2 sebagai kesimpulan dari masalah. Dari hasil analisa pada program SLIDE dan RS2, Sand Compaction Pile dapat meningkatkan perkuatan pada tanah namun tidak secara cukup signifikan untuk membuat perkuatan yang aman pada timbunan dengan nilai Safety Factor sebesar 0.504 dibandingkan dengan nilai Safety Factor tanpa perkuatan yaitu 0.475, dan nilai

Total Deformation sebesar 71.6299 m2, dibandingkan dengan nilai Total Deformation tanpa perkuatan yaitu sebesar 87.0311 m2.

Richard Salauwe 2014, Liquefaction adalah salah satu fenomena dari Permanent Ground Deformation (PGD) yang terjadi pada kondisi gempa dengan skala besar, dimana tanah pasir jenuh kehilangan kekuatannya akibat meningkatnya tekanan air pori secara berlebihan dan menurunnya tegangan efektif tanah karena proses pemadatan yang terjadi akibat adanya getaran gempa. Tanah pasir ini kemudian memiliki perilaku lebih mirip cairan dari pada tanah itu sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Perkuatan tanah dengan bambu sebagai pemodelan micro pile untuk daya dukung aksial, perkuatan tanah dengan bambu sebagai pemodelan micro pile untuk daya dukung lateral, serta defleksi yang terjadi dengan bantuan plaxis 3D, serta aman terhadap penurunan yang terjadi, baik sebelum terlikifikasi, sesudah terlikifikasi, dan setelah perkuatan dengan bambu sebagai pemodelan micro pile.

Tri Harianto et al, mengevaluasi pola deformasi embankment pada tanah lunak tanpa perkuatan dan diperkuat kolom agregat. Menganalisis hubungan waktu, tahapan penimbunan, dan penurunan embankment tanpa perkuatan dan diperkuat kolom agregat. Pengujian trial embankment dengan skala penuh (full scale) dengan perkuatan kolom agregat geotextile yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Makassar New Port yang berlokasi di Jalan Sultan Abdullah Raya Kelurahan Buloa Kecamatan Tallo, Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan. Waktu pelaksanaan pengujian direncanakan dilakukan selama kurang lebih tiga bulan. Deformasi embankment pada tanah lempung lunak tanpa perkuatan kolom terjadi penurunan yang lebih besar dan membutuhkan waktu yang cukup lama sedangkan pada perkuatan kolom agregat membutuhkan waktu yang lebih singkat dengan penurunan yang lebih kecil dalam periode waktu yang sama. Selama 120 hari dilakukan pengamatan di lapangan, konstruksi tanpa perkuatan pada akhir penimbunan telah mengalami penurunan lapangan sekitar 796 mm (analisis 763mm). Jika dibandingkan konstruksi

dengan perkuatan kolom agregat terjadi penurunan akhir embankment lapangan sekitar 648 mm (analisis 676mm). Sehingga konstruksi dengan kolom agregat dapat mereduksi penurunan sebesar 20%.

Desland Tigs Christina. 2007, menganalisa perkuatan timbunan adalah dengan mengembangkan teknologi sederhana dengan sistem perkuatan (penulangan) timbunan menggunakan matras bambu (*Corduroy*) atau cerucuk bambu. Penggunaan geosintetik telah banyak berkembang, berbagai jenis dan ragam dari geosintetik telah dikembangkan, salah satunya untuk penggunaan perkuatan tanah, untuk itu diperlukan pengetahuan yang baik agar pengaplikasian jenis geosintetik tepat pada kebutuhan kondisi tanah dan bangunan. Nilai *displacement* tanpa perkuatan rata-rata sebesar 0,03 m dan dengan perkuatan didapatkan nilai terbesar sebesar 3,08.10 (Geosintetik BH 3), nilai terkecil didapatkan sebesar 1,4.10m (Cerucuk bambu BH 2).Nilai *displacement* timbunan untuk perkuatan dengan Geosintetik lebih stabil. Nilai Faktor keamanan minimum untuk konstruksi global dengan stabilitas eksternal (*excavation*) pada struktur sementara dan tetap (*permanent*) adalah sebesar 1,2 – 1,3. Faktor keamanan terbesar sebelum pembebanan adalah sebesar 8,5 (Cerucuk Bambu BH1) dan setelah pembebanan sebesar 5,5(*Corduroy* Bambu BH3).Faktor keamanan terkecil sebelum pembebanan adalah sebesar 4,4 (Geosintetik BH3) dan setelah pembebanan sebesar 2,9 (Geosintetik BH3). Geotekstil *non woven* dipandang cukup efektif untuk digunakan sebagai perkuatan tanah pada timbunan jalan diatas tanah gambut karena nilai faktor keamanan pada Geotekstil *non woven* (minimum 2,9) telah memenuhi syarat minimum Faktor Keamanan konstruksi (1,2 – 1,3). Pada penulisan ini menjelaskan penanggulangan masalah timbunan jalan diatas tanah Gambut yang dianalisa pada program PLAXIS 7.11 yang dengan metode elemen hingga. Yang hasil akhirnya berupa nilai Faktor keamanan dan *Displacement* timbunan.

Zata Atsarina, mengamati perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan pada tanah lunak. Untuk mengatasi masalah tersebut, perlu

dilakukan upaya-upaya perbaikan tanah (soil improvement). Konsolidasi merupakan salah satu prinsip yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah. Biasanya parameter-parameter yang diperbaiki adalah kuat geser, kekakuan, dan permeabilitas. Salah satu metode perbaikan tanah yang lazim digunakan adalah menggunakan beban timbunan dan prefabricated vertical drain (PVD). Prinsip metode perbaikan tanah ini adalah mempercepat proses konsolidasi dengan menyediakan jalur drainase yang lebih pendek. Kuat geser tanah akan bertambah karena adanya disipasi air pori.

Rosmitari Bella, mengamati permasalahan pada jenis tanah lunak, antara lain daya dukung tanah yang rendah dan penurunan (*settlement*) yang besar jika diberi beban. Hal ini disebabkan karena tanah lunak umumnya memiliki kuat geser dan permeabilitas yang rendah serta kompresibilitas yang besar. Kajian ini dilakukan untuk membandingkan kecepatan penurunan konsolidasi dan masalah stabilitas timbunan di atas tanah lunak akibat dari metode prapembebanan dan drainase vertikal. Hasil yang diperoleh adalah penggunaan metode prapembebanan dan drainase vertikal dapat meningkatkan kestabilan pada konstruksi timbunan.

Tanah Lempung di Indonesia

Tanah lempung lunak merupakan jenis tanah kohesif yang memiliki sudut gesek yang rendah sehingga jenis tanah ini tidak memiliki daya dukung yang cukup besar untuk menahan beban konstruksi diatasnya. Sehingga untuk meningkatkan daya dukung tanah, alternatif perkuatan yang diusulkan adalah perkuatan tanah dengan bambu sebagai pemodelan micro pile untuk daya dukung aksial, perkuatan tanah dengan bambu sebagai pemodelan micro pile untuk daya dukung lateral, serta defleksi.

1. Kriteria keruntuhan timbunan di atas tanah lunak terdapat tiga macam keruntuhan utama yang perlu diperhitungkan yaitu stabilitas daya

dukung, stabilitas rotasi, dan pergeseran horizontal (Holtz, dkk (1998)).

2. Karakteristik dan Permasalahan Tanah Lunak

Untuk membangun suatu konstruksi pada suatu lokasi perlu diadakan pengujian lapangan dan pengujian laboratorium dari sampel tanah. Uji lapangan yang banyak dilakukan adalah pengujian penetrasi standar (*Standard Penetration Test*) dan uji penetrasi kerucut statis.

Lapisan tanah lunak didefinisikan sebagai lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang 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. Selain memiliki kuat geser rendah dan kompresibilitas yang tinggi, lempung sebagai tanah lunak berbutir halus mempunyai plastisitas tinggi dan perubahan kembang susut yang relatif besar dimana dalam kondisi kadar airnya bertambah maka volumenya mengembang dan begitu pula sebaliknya akan menyusut dan pecah-pecah apabila dalam keadaan kering. Plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah berubah bentuk tanpa terjadinya perubahan isi. Selain itu tanah lempung juga memiliki sifat kohesif yaitu rekatan antar sesama partikel.

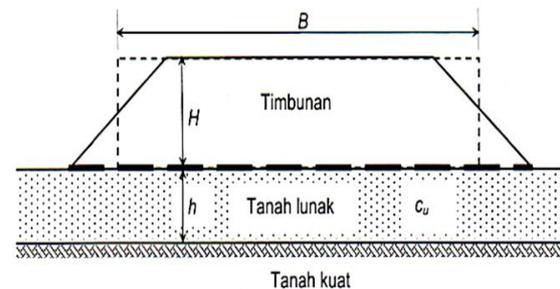
Tanah yang dalam keadaan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas untuk relatif menggelincir antara yang satu dengan lainnya, dengan kohesi antaranya tetap dipelihara. Ditinjau dari ukuran butirannya, lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (Das, 1985).

Namun demikian, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung. Sifat-sifat

dan perilaku lempung ini sangat bergantung pada komposisi mineral-mineralnya, unsur-unsur kimianya, tekstur lempung, dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya.

3. Daya Dukung Tanah

Analisis kapasitas dukung tanah bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam mendukung beban yang bekerja di atasnya. Hal ini diperlukan agar ketika beban bekerja tidak menimbulkan tekanan tanah yang dapat mengakibatkan penurunan besar atau keruntuhan. Kondisi tanah timbunan yang terletak di atas tanah lunak secara tipikal umumnya seperti pada Gambar 5, yaitu tanah lunak didasari oleh lapisan yang lebih kuat di bawahnya. Tebal tanah lunak (h) akan mempengaruhi kapasitas dukung tanah yang nilainya bergantung pada lebar pondasi timbunan (B).



Gambar 5 Lebar timbunan dan tebal lapis tanah lunak

Tebal tanah lunak sangat tebal

Jika tebal lapisan tanah lunak sangat tebal dibandingkan dengan lebar timbunan atau B/h sangat besar, kapasitas dukung tanah dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_u = c_u N_c$$

Pilarczyk (2000) menyarankan nilai $N_c = 3,5$ untuk lereng vertikal (galian) sampai $N_c = 5,5$ untuk lereng yang kemiringannya kurang dari 50° . Tinggi timbunan ijin dinyatakan dalam persamaan :

$$H_a = \frac{c_u N_c}{\gamma(SF)}$$

Dengan SF adalah faktor aman yang diambil antara 1,5 sampai 2.

4.Perbaikan dan Perkuatan Tanah

a. Perbaikan Tanah dengan Pembebanan Awal (*Preloading*)

Metode pembebanan awal (*preloading*) adalah metode penimbunan beban yang besarnya sama dengan besar beban konstruksi yang akan dilaksanakan. *Preloading* dilaksanakan ketika tanah dasar memiliki daya dukung yang tidak cukup kuat. Pemberian beban yang tinggi dan besar akan menyebabkan kelongsoran pada tanah tersebut sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tinggi timbunan rencana tergantung dari peningkatan daya dukung tanah dasarnya.

Pemberian beban tanah dasar akan memberikan tambahan tegangan serta menambah besar kuat geser pada tanah. Kondisi ini disebut dengan peristiwa *gain strength*.

Bila $H_{inisial} < H_a$ maka penimbunan dapat dilakukan setiap minggu tanpa penundaan. Tetapi bila $H_{inisial} > H_a$ maka penimbunan harus diletakkan berdasarkan peningkatan daya dukung tanah dasarnya. Jika harus dilakukan setiap minggunya maka harus didukung oleh perkuatan tanah misalnya *geotextile*.

Perhitungan besar penurunan akibat *preloading* atau timbunan bertahap.

Jika $P_0' + \Delta P_1 \leq P_c$:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0' + \Delta P_1}{P_0'} \right)$$

Jika $P_0' + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 > P_c$:

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0' + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3}{P_0' + \Delta P_1 + \Delta P_2} \right)$$

dimana:

H = tebal lapisan lempung (m)

e_0 = angka pori awal (*Initial Void Ratio*)

C_c = Indeks Pemampatan (*Compression Index*)

C_s = Indeks muai (*Swelling Index*)
(13)

ΔP = Penambahan tekanan vertikal (t/m²)

Kenaikan kekuatan tanah (*gain strength*) pada tanah kohesif merupakan kenaikan nilai kohesi yang ditunjukkan dalam persamaan :

$$\Delta C_u = U \cdot \tan \phi' \cdot \Delta p$$

Untuk menambah kecepatan konsolidasi digunakan beban tambahan yang sifatnya sementara atau prapembebanan (*preloading*). Beban tambahan (p_s), besarnya dihitung sedemikian sehingga sesudah pembongkaran penurunan konsolidasi dari sisa timbunan telah selesai. Johnson (1970) menyarankan persamaan penurunan konsolidasi primer akibat beban terbagi rata p_f dan $p_f + p_s$, sebagai berikut :

a.Drainase Vertikal

Stabilitas tanah menggunakan drainase vertikal digunakan pada tanah mampu mampat, jenuh air, seperti tanah lempung dan tanah berbutir halus lainnya. Tujuan utama dari drainase vertikal adalah untuk mempercepat proses konsolidasi dan mereduksi tekanan air pori dengan cara memperpendek lintasan aliran air pori, Gambar 6 menunjukkan skema drainase vertikal.

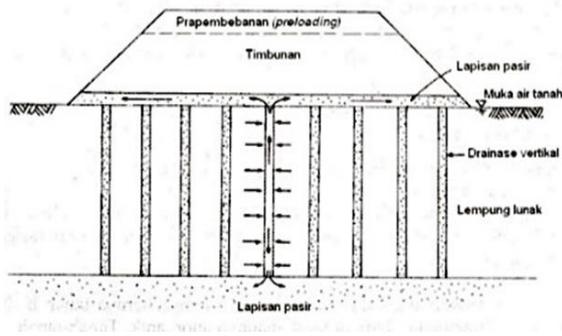
Ketika penurunan tanah timbunan mencapai penurunan tertentu atau kecepatan penurunan yang terjadi sangat rendah, maka kelebihan tanah *preloading* dapat bongkar.

Jika dikombinasi dengan *preloading*, keuntungan utama sistem drainase vertikal adalah :

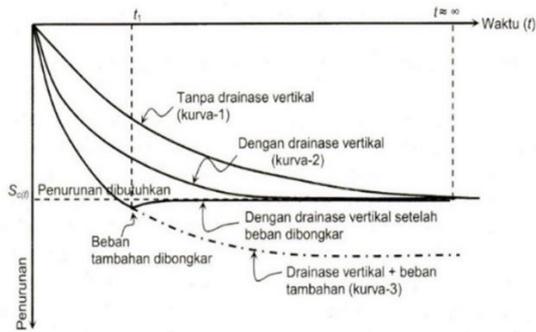
Mempercepat proses penurunan konsolidasi sehingga waktu pelaksanaan proyek lebih singkat.

Dapat mengurangi jumlah beban tambahan yang dibutuhkan guna mencapai nilai penurunan pada waktu yang telah ditentukan.

Mempercepat kenaikan kuat geser tanah dasar akibat proses konsolidasi.



Gambar 6 Skema stuktur dranase vertikal



Gambar 7 Proses konsolidasi kombinasi drainase vertikal dan preloading

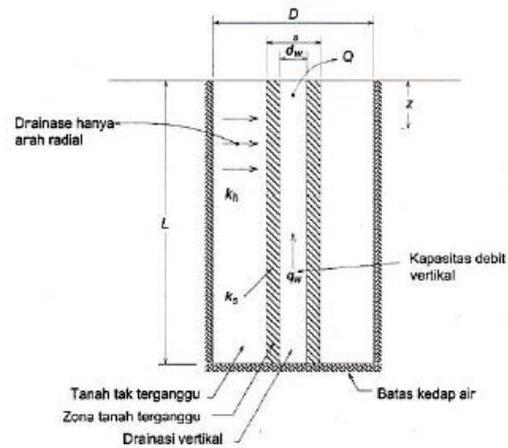
Dalam suatu koordinat silinder tiga dimensi, persamaan konsolidasi dengan perbedaan sifat tanah dalam arah horizontal dan vertikal sekaligus dapat ditulis sebagai berikut :

$$C_h = \left(\frac{k_h}{k_v} \right) C_v$$

Tabel 5 Rentang nilai rasio k_h/k_v pada tanah lempung

Kondisi tanah	k_h/k_v
Lapisan tanahnya seragam, tidak ditemukan lensa.	1.2±0.2
Lapisan lempung dengan lensa terputus dan lapisan tanahnya memiliki permeabilitas tinggi	1 - 1.5

Lapisan lempung dengan sesekali ditemukan lensa lanau secara acak	2 - 5
Lapisan lempung dengan lensa yang tidak menerus dan lapisan tanahnya memiliki permeabilitas tinggi	2 - 4



Prisma vertikal tanah di sekitar drainase vertikal dapat dianggap sebagai blok-blok silinder dengan jari-jari $r_e = D/2$ ($D =$ diameter pengaruh drainase vertikal) Gambar 8. Penyelesaian dapat dituliskan dalam dua bagian, yaitu :

$$U_v = f(T_v)$$

$$T_v = \frac{C_v}{H_{dr}^2} t$$

$$U_h = f(T_h)$$

(20)

$$T_h = \frac{C_h}{D^2} t$$

Persamaan T_h menunjukkan bahwa bila jarak drainase vertikal berkurang maka proses konsolidasi bertambah cepat

$$u = \frac{4u_{av}}{D^2 F(n)} \left[r_e^2 \ln \left(\frac{r}{r_w} \right) - \frac{r^2 - r_w^2}{2} \right]$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

$$t = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right)$$

$$U_h = 1 - e^{-\frac{8t}{F(n)D^2}}$$

Dimana :

t = waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h (dtk)

D = diameter equivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari equivalen *vertical drain* (cm)

C_h = koefisien konsolidasi akibat aliran arah horizontal (cm²/dtk)

U_h = derajat konsolidasi akibat aliran air arah horizontal (%)

Persamaan umum untuk kasus ideal tanpa gangguan (*smear*) yang sering digunakan untuk perancangan awal. Hasbo (1979) memberikan persamaan $F(n)$ yang berbeda, yaitu :

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left(\ln(n) - 0,75 + \frac{1}{n^2} \left\{ 1 - \frac{1}{4n^2} \right\} \right)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left(\ln(n) - 0,75 + \frac{1}{n^2} \right)$$

Dalam praktek, jarak drainase jarang sekali dibawah 0,8 m dan umumnya $n > 12$. Oleh karena itu, dengan sedikit kesalahan dapat disederhanakan menjadi :

$$F(n) = \ln(n) - 0,75$$

Dengan $n = D/d_w = r_e/r_w$ lebih sering digunakan dalam perancangan dalam penyelesaian aliran radial, untuk kasus regangan-vertikal sama (*equal vertical-strain*).

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

dimana:

U = derajat konsolidasi tanah akibat aliran vertikal dan radial

U_v = derajat konsolidasi vertikal

U_h = derajat konsolidasi radial

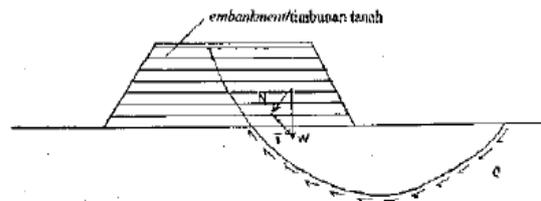
5. Analisa Kestabilan Lereng

Lereng pada suatu timbunan tanah /embankment cenderung untuk longsor karena adanya suatu gaya berat (W). Kelongsoran akan terjadi jika tegangan geser yang terjadi disepanjang bidang longsor (T) melampaui kekuatan geser tanah (c). Untuk menyelidiki kestabilan lereng inilah, maka dilakukan analisa kestabilan lereng.

Faktor ± faktor yang mempengaruhi perhitungan analisa kestabilan lereng antara lain :

- a. Bentuk bidang longsor, umumnya berbentuk lingkaran (*rotational slide*) kecuali pada tanah berbatu berbentuk translasi (*translation slide*) Tidak homogennya tanah
- b. Retak dipermukaan tanah
- c. Pengaruh beban dinamis/gempa
- d. Rembesan air Analisa kestabilan lereng umumnya memiliki empat pilihan metode, yaitu :

- a. Limit Equilibrium
- b. Limit analysis



- c. Finite Element Methode (FEM)
- d. Finite Difference Methode (FDM)

Metode perhitungan yang umum dipakai pada analisa stabilitas lereng adalah Limit Equilibrium, dengan prosedur sebagai berikut :

1. Pilih sebuah *slip surface* yang terjadi
2. Hitung besar momen yang menyebabkan longsor
3. Hitung SF yang terjadi
4. Pilih *slip surface* yang lain
5. Hitung kembali SF yang terjadi
6. Pilih diantara *slip surface-slip surface* tadi yang memiliki SF terkecil

Landasan Teori

1. Bambu

Bambu adalah tumbuhan yang memiliki banyak fungsi dan manfaat yang besar bagi alam, lingkungan dan penggunaannya oleh manusia. Oleh karenanya bambu dapat dikatakan sebagai material berkelanjutan (sustainable) karena berbagai kelebihanannya. Kecepatannya untuk tumbuh dan populasinya yang banyak di Indonesia, hendaknya menjadi sumber daya yang dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin tanpa mengganggu ekosistem untuk menjadi material konstruksi yang mudah didapat dan diharapkan menjadi murah. Tiang bambu sebagai pemodelan micro pile merupakan salah satu jenis tiang pancang yang merupakan bagian dari konstruksi yang dapat memperkuat struktur tanah seperti tanah liquefaction. Fungsi bambu sebagai tiang pancang ini untuk mentransfer beban-beban dari atas kelapisan tanah. Bentuk distribusi beban dapat berbentuk beban vertikal melalui dinding tiang. Beberapa kelebihan bambu jika dipergunakan untuk komponen bangunan:

1. Merupakan bahan yang dapat diperbarui (3-5 tahun sudah dapat ditebang),
2. Murah harganya serta mudah pengerjaannya karena tidak memerlukan tenaga terdidik, cukup dengan peralatan sederhana pada kegiatan pembangunan.
3. Mempunyai kekuatan tarik yang tinggi (beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang), ringan, berbentuk pipa beruas sehingga cukup lentur untuk dimanfaatkan sebagai komponen bangunan rangka,
4. Rumah dari bambu cukup nyaman ditempati,
5. Masa konstruksi cukup singkat sehingga biaya konstruksi menjadi murah.

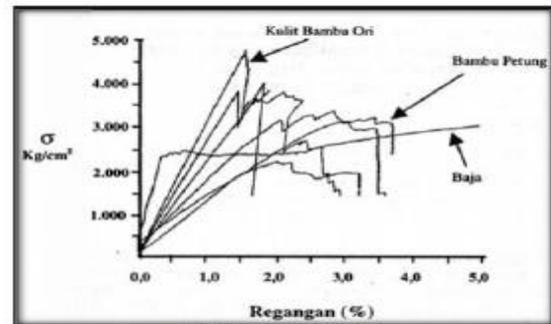
Bambu memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan material lain. Seperti

yang tercantum pada tabel perbandingan kuat mekanik beberapa bahan material konstruksi.

Material	Berat Jenis (BJ)	Modulus Elastis (MPa)	Kuat (MPa)		Rasio Kuat /BJ (1E+6 * 1mm)
	(kg/m ³)		Leleh	Ultimate	
Serat karbon	1760	150.305	-	5.650	321
Baja A 36	7850	200.000	250	400 – 550	5.1 – 7.0
Baja A 992	7850	200.000	345	450	5.7
Aluminium	2723	68.947	180	200	7.3
Besi cor	7000	190.000	-	200	2.8
Bambu	400	18.575	-	60*	15
Kayu	640	11.000	-	40*	6.25
Beton	2200	21.000 – 33.000	-	20 – 50	0.9 – 2

Sumber: makalah Pak Wiryanto Dewobroto dari Gran Melia.

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.



Sumber: Morisco, 1999.

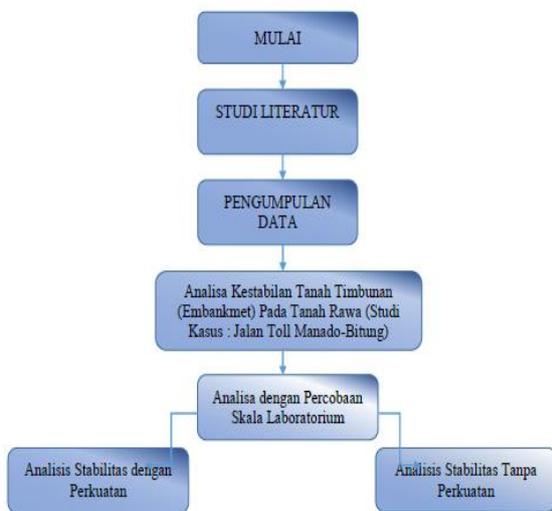
Kemudian literatur lain di dapat dari penelitian yang dilakukan oleh Janssen terkait sifat mekanik bambu pada tahun 1974, khususnya yang berkaitan dengan sambungan kuda-kuda untuk keperluan gedung sekolah dan bengkel. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi permintaan bantuan suatu Negara berkembang. Sebagai acuan awal untuk penelitian ini adalah berkas-berkas yang dibuat oleh kerajaan tentara Belanda tahun 1880-an. Berbagai pengujian telah dilakukan oleh Janssen di Laboratorium untuk mengetahui kekuatan bambu terhadap tarik, tekan, lentur dan geser dengan pembebanan jangka panjang dan jangka pendek. Dalam penelitian ini dipakai bambu dengan spesies *Bambusa blumeana* berumur 3 tahun. Dilaporkan dalam hasil penelitian bahwa kekuatan lentur rata-rata

adalah sebesar 84 Mpa, modulus elastisitas sebesar 20.000 Mpa. Kekuatan geser rata-rata cukup rendah yaitu 2,25 Mpa pada pembebanan jangka pendek dan 1 Mpa pada pembebanan jangka panjang (6 – 12 bulan). Dalam laporan juga dinyatakan bahwa kekuatan tarik sejajar serat cukup tinggi, yaitu 200 – 300 Mpa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan bambu sangat dipengaruhi oleh kelembaban bahan.

Pengertian Tiang Bambu Sebagai Micro Pile

Micropile, juga dikenal sebagai minipiles yaitu elemen tiang yang berkekuatan tinggi digunakan dalam bangunan-bangunan yang ada. Micro pile biasanya berdiameter kecil, sehingga kapasitas daya dukung bervariasi tergantung pada ukuran micropile dan profil permukaan tanah. Kapasitas micropile yang diijinkan lebih dari 1.000 ton. Bambu mempunyai kekuatan tarik dua kali lebih besar dibandingkan dengan kayu, sedangkan kuat tekannya 10 % lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan kayu. Apabila dibandingkan dengan baja yang mempunyai berat jenis antara 6.0 – 8.0 (sementara BJ bambu = 0.6 – 0.8), kuat tarik (tensile strength) baja hanya sebesar 2.3 - 3.0 lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tarik bambu, karena tiang bambu mempunyai kekuatan tarik per unit berat jenisnya sebesar 3–4 kali lebih besar dibandingkan dengan baja.

METODOLOGI PENELITIAN



Bagan Alir Penelitian

Persiapan Penelitian

Pada tahap persiapan, diperlukan kelengkapan alat serta bahan sebelum memulai kegiatan pengujian.

Alat yang digunakan adalah :

Box Akrilik

Pada pengujian ini menggunakan kotak, kotak tersebut terbuat dari akrilik dengan ukuran 1m x 0.5m x 0.5m. Penggunaan akrilik dimaksudkan untuk mempermudah pengamatan pada saat penelitian, terutama ketika benda uji diberi pembebanan dan terjadi longsor maka pengamatan dengan wadah transparan seperti akrilik merupakan pilihan yang baik. Pinggiran box dilapisi dengan besi siku yang bermanfaat menjaga box tidak rusak atau retak pada pinggiran pada saat dilakukan perlakuan pada tanah selama pengujian.



merupakan tanah lempung.



Pipa Paralon

Bahan yang digunakan selanjutnya adalah pipa PVC, pipa PVC digunakan sebagai material pengganti bambu untuk pengujian perkuatan tanah pemodelan skala laboratorium. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC $\phi 1/2''$.



Alat Pembebanan

Selanjutnya alat yang digunakan untuk pencatatan data adalah Dial Gauge yang telah dipasang pada bagian atas box yang akan digunakan untuk pengamatan.

Bahan

Pengujian skala laboratorium ini dimodelkan dengan dua lapisan tanah, yaitu lapisan pertama menggunakan tanah lempung dan lapisan kedua diatas tanah lempung adalah tanah timbunan.

Plat Besi

Setelah box akrilik untuk memudahkan pengamatan, dan pipa PVC sebagai pengganti bambu untuk perkuatan, alat dan bahan lain untuk menunjang pengujian ini adalah plat besi, plat dalam pengujian ini di maksudkan untuk memisahkan tanah lempung dan tanah timbunan selama proses pemadatan tanah timbunan agar tidak merusak tanah lapis pertama yang



Prosedur Pengujian

1. Kotak kaca dengan ukuran 1m x 0.5m x 0.5m.
2. Tanah di hampar dengan alat bantu (tinggi hampar dan kecepatan harus sama)
3. Uji homogenitas dengan sieve analysis (sebagai control homogeny)
4. Bentuk tanah model lereng melalui cut and field
5. Pasang dial pembebanan
6. Benda/model uji di teliti sampai pada beban maksimum hingga longsor kemudian di catat.
7. Pelaporan dibuat dalam bentuk grafik c , ϕ , γ , α

Analisis Pengolahan Data

Pengolahan data dilanjutkan dengan menggunakan program komputer Rocscience Slide. Pemodelan geometri embankment dilakukan secara langsung di Rocscience Slide. Langkah berikut adalah identifikasi dan parameter perhitungan kemudian identifikasi material serta penentuan bidang gelincir pada embankment yang di analisis, selanjutnya masuk pada langkah running atau kalkulasi dan interpretasi nilai FoS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Tanpa Perkuatan

Tanah lempung di letakkan pada box uji dengan ukuran 50 cm x 50 cm x 20 cm. Setelah itu plat baja di letakkan pada bagian atas tanah lempung dan di beri penyangga pada setiap sisi plat tersebut dengan ukuran yang lebih tinggi dari tebal tanah lempung lapisan pertama, hal ini dimaksudkan agar plat tidak memberikan beban atau mengganggu lapisan pertama dari tanah lempung. Plat baja berfungsi untuk pemisah awal antara tanah lempung dan tanah timbunan atau embankment yang akan diujikan. Kemudian letakkan tanah timbunan sebagai layer kedua dan dipadatkan di atas plat baja yang sebelumnya sudah di pasang. Tanah timbun di padatkan dan dibentuk seperti

embankment dengan model dan kondisi sesuai di lapangan. Plat pemisah antara tanah timbun dan tanah lempung kemudian dilepaskan secara perlahan agar tidak merusak kedua lapis layer tersebut. Setelah pemodelan antara tanah lempung dan tanah timbun siap, dilanjutkan dengan pemberian beban di atas tanah timbun mulai dari berat 1-40 kg, sampai embankment runtuh. Hasil pengujian kemudian dicatat dan diolah dengan menggunakan program komputer Rocscience Slide.



2. Pengujian dengan Perkuatan

Langkah pengujian dengan perkuatan adalah sama seperti langkah awal dengan pengujian tanpa pembebanan. Tanah lempung di letakkan pada box uji dengan ukuran 50 cm x 50 cm x 20 cm. Berikan perkuatan pada tanah lempung dengan meletakkan pipa paralone sebagai pengganti material bambu yang akan di gunakan dilapangan, pipa paralone diletakkan di atas tanah lempung dengan jarak 5cm satu sama lain. Setelah pipa di pasang pada tanah lempung, maka masuk pada tahap berikut adalah plat baja di letakkan pada bagian atas tanah lempung dan di beri penyangga pada setiap sisi plat tersebut dengan ukuran yang lebih tinggi dari tebal tanah lempung lapisan pertama, hal ini dimaksudkan agar plat tidak

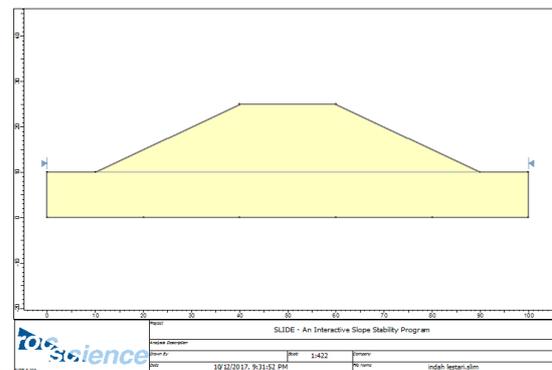
memberikan beban atau mengganggu lapisan pertama dari tanah lempung. Plat baja berfungsi untuk pemisah awal antara tanah lempung dan tanah timbunan atau embankment yang akan diujikan. Kemudian letakkan tanah timbunan sebagai layer kedua dan dipadatkan di atas plat baja yang sebelumnya sudah di pasang. Tanah timbun di padatkan dan dibentuk seperti embankment dengan model dan kondisi sesuai di lapangan. Plat pemisah antara tanah timbun dan tanah lempung kemudian dilepaskan secara perlahan agar tidak merusak kedua lapis layer tersebut. Setelah pemodelan antara tanah lempung dan tanah timbun siap, dilanjutkan dengan pemberian beban di atas tanah timbun mulai dari berat 1 sampai 40 kg sampai embankment runtuh. Hasil pengujian kemudian dicatat dan diolah dengan menggunakan program komputer Rocscience Slide.



3. Analisis Hasil Pengujian dengan Rocscience Slide

Pengolahan selanjutnya dengan menggunakan program komputer Rocscience Slide.

Langkah pertama adalah menambahkan geometri di Add External Boundari (Ctrl + 1) dan input geometri. Setelah input data geometri maka hasil yang akan diperoleh seperti gambar



Gambar Pemodelan Timbunan di Atas Tanah Lunak dengan Sebelum Pembebanan dan Perkuatan

Selanjutnya buat dua layer lapisan tanah untuk membagi dua properti tanah yang berbeda, yaitu tanah lempung dan tanah timbunan.

Pilih Assign Properties kemudian klik tanah yang akan dibagi menjadi material 1 dan material 2. Selanjutnya input material properties dan input sesuai data yang ada. Input Unit

Weight, Cohesion dan Phi serta strenght type adalah Mohr Coloumb.

Data Tanah Rawa

$$c = 1.270 \text{ t/m}^2 \text{ ke KPa } 12.454$$

$$\phi = 20.5^\circ$$

$$\gamma = 1,283 \text{ t/m}^3 \text{ ke KN/m } 12,581$$

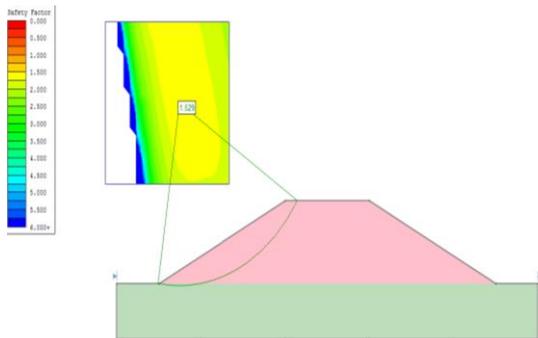
Data Tanah Timbun

$$c = 0.8 \text{ t/m}^2 \text{ ke Kpa } 7.845$$

$$\phi = 24^\circ$$

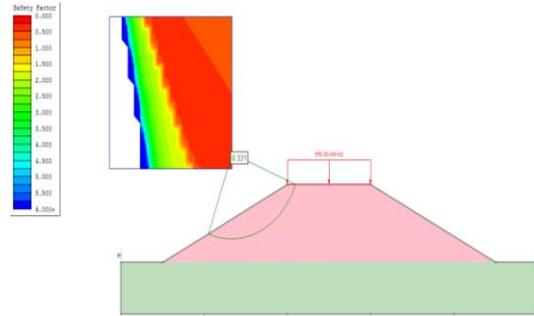
$$\gamma = 1,6 \text{ t/m}^3 \text{ ke KN/m } 15.690$$

Pemodelan Faktor Keamanan Timbunan di Atas Tanah Lunak dengan Sebelum Pembebanan dan Perkuatan kemudian di running, dan didapat hasil seperti gambar



Gambar Pemodelan Faktor Keamanan Timbunan di Atas Tanah Lunak dengan Sebelum Pembebanan dan Perkuatan

Pemodelan Faktor Keamanan Timbunan di Atas Tanah Lunak dengan Pembebanan tanpa Perkuatan kemudian di running



Gambar Pemodelan Faktor Keamanan Timbunan di Atas Tanah Lunak dengan Pembebanan tanpa Perkuatan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis konstruksi timbunan tanpa Bambu sebagai Micro Pile dan konstruksi timbunan dengan Bambu sebagai Micro Pile dapat disimpulkan sebagai Tanah rawa merupakan tanah yang memiliki daya dukung rendah dan pada umumnya memiliki kadar air yang cukup tinggi serta permeabilitas yang sangat rendah sehingga sering menimbulkan masalah di dalam konstruksi bangunan sipil. Masalah yang umumnya muncul berkaitan dengan tanah lunak ini adalah masalah stabilitas. Hasil analisa yang diperoleh, Jika data lain (ϕ , γ , c , h) jika nilai ϕ ditambahkan maka FK akan semakin naik, begitu juga dengan nilai c maka FK akan meningkat, namun jika nilai γ ditambahkan maka FK akan turun, sama halnya dengan menaikkan tinggi embankment h , akan mengurangi nilai FK

Saran

Karena pada penelitian kali ini menggunakan pengamatan melalui skala laboratorium, di harapkan ada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan penelitian dengan full-scale atau penelitian penuh di lapangan sehingga dari hasil tersebut dapat dilakukan perbandingan dengan

pengujian laboratorium dan pengujian skala penuh dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Joseph E. Bowles. 4th Editon. Foundation Analysis and Design. Penerbit Civil Engineering Series.
- Joseph E. Bowles. *Analisa dan Desain Pondasi*. Penerbit Erlangga Jakarta
- Joseph E. Bowles, Hainim J. K. 1989. Sifat – sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Edisi kedua Penerbit Erlangga Jakarta.
- Sorowako. 2008. Metode-Metode Dalam Analisis Kestabilan Lereng. Penerbit Azrunnas Hamzah Maulana.
- Terzaghi K. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Geology*. John Wiley & Sons Inc. New York
- Hardiyatmo H.C. 1992. Mekanika Tanah I. Gramedia Pustaka Utama Jakarta
- Butar-butur Robert Travolta.2006.Evaluasi Kestabilan Lereng. Penerbit Maranatha Edu.
- Atiyya Inayatillah. 2010.Analisis Kestabilan Lereng dengan Software Rocscience Rocscience Slide. Penerbit Rizki Slamet Nugroho
- Rekzyanti, Raifah. 2016. Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Studi Kasus: Iain Manado) Jurnal Tekno Vol.14 (66). Prodi Teknik Sipil.
- Wambes, Muhlis. 2015. Pengaruh Derajat Kejenuhan Terhadap Kuat Geser Tanah (Studi Kasus : di Sekitar Jalan Raya Manado-Tomohon) Jurnal Tekno Vol.13 (62). Prodi Teknik Sipil
- Virginia, Turangan. 2015. Analisa Kestabilan Lereng Metode Slice (Metode Janbu) (Studi Kasus: Jalan Tinoor) Jurnal Tekno Vol 13 (62). Prodi Teknik Sipil.
- Sutiyono, Dina Iis Iis. 2017. Analisis Stabilitas Lereng Akibat Gempa Di Ruas Jalan Noongan – Pangu. Jurnal Tekno Vol 15. (67). Prodi Teknik Sipil.
- Takwin, Gideon Allan. 2017. Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus : Diamond Hill Citraland) Jurnal Tekno Vol 15 (67). Prodi Teknik Sipil.