

KOMBINASI PRELOADING DAN PENGGUNAAN PRE-FABRICATED VERTICAL DRAINS UNTUK MEMPERCEPAT KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG LUNAK (STUDI KASUS TANAH LEMPUNG SUWUNG KANGIN)

Anissa Maria Hidayati¹ dan Made Dodiek Wirya Ardana¹

Abstrak: Pada umumnya kondisi tanah rawa pada hutan bakau atau *mangrove* merupakan tanah lunak yang terdiri dari tanah lempung (*clay*) dan tanah lanau (*silt*) yang memiliki kadar air tinggi. Tanah ini pada umumnya mempunyai daya dukung yang rendah dan memiliki sifat kompresibel tinggi dan permeabilitas yang sangat rendah. Karena memiliki sifat-sifat tersebut, tanah ini cenderung memiliki potensi penurunan konsolidasi yang besar dan dalam waktu yang cukup lama.

Kombinasi antara metode preloading dengan instalasi *pre-fabricated vertical drains* (PVD) merupakan salah satu metode untuk mempercepat proses konsolidasi. Kombinasi pada metode ini dilakukan dengan cara memberikan beban awal yaitu berupa timbunan (*preloading*) pada tanah lempung yang telah diberi sistem drainase vertikal berupa PVD. Studi ini dilakukan untuk mengetahui percepatan waktu yang dihasilkan dari proses konsolidasi konvensional dibandingkan waktu yang diberikan oleh kombinasi preloading dan PVD untuk mencapai konsolidasi primer pada derajat konsolidasi yang sama.

Hasil penelitian pada tanah berkonsistensi lunak di daerah Suwung Kangin yang memanfaatkan metode kombinasi *preloading* dan *pre-fabricated vertical drains* terbukti mampu mempercepat waktu konsolidasi dan meningkatkan daya dukung tanahnya. PVD yang dipasang dengan pola segitiga dan berjarak 1 m hingga kedalaman 16 m mampu mempercepat tercapainya konsolidasi primer sebesar 7276,84% terhadap beban rencana yang akan diterapkan pada tanah tersebut. Analisa stabilitas lereng timbunan *preloading* terhadap keruntuhan *circular* pada tanah lempung dibawah timbunan *preloading* secara bertahap (*Stepped Preloading*) memberikan angka keamanan yang aman ≥ 1 .

Kata kunci : *preloading*, *pre-fabricated vertical drain*, waktu konsolidasi.

PRELOADING AND PRE-FABRICATED VERTICAL DRAINS COMBINATION TO ACCELERATE CONSOLIDATION PROCESS IN SOFT CLAY (Case Study Suwung Kangin Soft Clay)

Abstract: In general, soil on mangrove forest formed from deposit of clay, silt and organic matter with high water content. The soil is impermeable with very high compressibility potential and provide low bearing capacity. Due to these soil characteristics, the soil tends to experience a large value of settlement.

A combination of preloading method and *pre-fabricated vertical drains* (PVD) installation is an improvement method to exceed the soil consolidation process. A series of pre-loading load are applied on a soil layer in order to produce stress to trigger the soil consolidation process. Whilst, the insertion of PVD is aimed to shorten the drainage path for the drained water from the soil body to the respective surface. The objective of the study is to determine the conventional consolidation time

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

and it's comparison to the consolidation time obtained from the combination of preloading and PVD in the same degree of primary consolidation.

The study results on soft clay soil on Suwung Kangin resort show a valuable result to speed up the time of primary consolidation process. In addition, the combination of preloading and *pre-fabricated vertical drains* demonstrate an improvement in soil bearing capacity. A equilateral triangular PVD insertion pattern with 1 m in spacing to a depth of 16 m in soft clay soil layer are able to speed up the primary consolidation time of 7276.84% on the design load. Slope stability analysis to circular failure on preloading embankment show a value of factor safety greater than 1.

Keywords : preloading, pre-fabricated vertical drain, consolidation time.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada kenyataannya tanah lempung bersifat kurang menguntungkan secara teknis untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Plastisitas yang tinggi, kem-bang susut yang tinggi dan daya dukung yang rendah serta kandungan air yang tinggi dan sulit terdrainasi karena permeabilitas tanah relatif rendah serta kompresibilitas yang besar menyebabkan tanah mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Hal ini seringkali menjadi kendala dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi. Salah satu metode untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan sistem *preloading* yang dikombinasikan dengan *pre-fabricated vertical drain*. *Preloading* atau pemberian beban awal dilakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah lempung akan termampatkan sebelum konstruksi didirikan. *Pre-fabricated vertical drain* adalah sistem drainase buatan yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah lunak. Sistem drainase vertikal ini mempunyai bentuk berupa sabuk berpenampang persegi panjang, terdiri dari bagian luar berupa penyaring/filter yang terbuat dari bahan *synthetic/geotextile*, kertas atau goni dan bagian dalam yang berfungsi sebagai media aliran air yang terbuat dari plastik atau serabut organik. Kombinasi sistem ini bertujuan untuk memperpendek waktu perbaikan lapisan tanah lempung yang cukup

tebal karena dengan penggunaan *prefabricated vertical drain* akan menyebabkan terjadinya aliran air pori arah radial/horisontal selain aliran arah vertikal yang menyebabkan air pori dapat dikeluarkan dengan lebih cepat.

Sebagai salah satu tinjauan mengenai pemakaian sistem *vertical drain* adalah hasil analisa penggunaan sistem vertical drain pada tanah lunak di daerah Surabaya-Gempol (Diana Dewi, 1998). Dari hasil analisisnya didapat bahwa dengan merencanakan parameter-parameter desain dari sistem *vertical drain*, waktu untuk mencapai penurunan tanah total dapat direncanakan/dipercepat agar sesuai dengan waktu dimulainya pelaksanaan yang diinginkan.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola pemasangan, ukuran, jarak *pre-fabricated vertical drain* yang paling optimal (*spacing*) dan sistem pemberian beban *preloading* yang dikombinasikan dengan *pre-fabricated vertical drain* untuk menghasilkan waktu perbaikan tanah yang paling cepat serta mengetahui pengaruh penggunaan kombinasi sistem *preloading* dan *prefabricated vertical drain* dalam perbaikan tanah lempung terhadap waktu penurunan, derajat konsolidasi dan besarnya penurunan yang ditimbulkan. Manfaat dari penelitian ini adalah diperolehnya alternatif solusi dalam mempercepat proses konsolidasi pada tanah lunak sekaligus memberikan tambahan daya dukung tanah lunak tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsolidasi Tanah Lempung

Konsolidasi merupakan proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah yang menyebabkan terjadinya perubahan volume tanah (memampat). Peristiwa konsolidasi umumnya dipicu oleh adanya beban/muatan diatas tanah. Muatan tersebut dapat berupa tanah atau konstruksi bangunan yang berdiri diatas tanah. Bila lapisan tanah mengalami beban diatasnya, maka air pori akan mengalir keluar dari lapisan tersebut dan volumenya akan berkurang atau dengan kata lain akan mengalami konsolidasi (Wesley, 1977). Pada umumnya konsolidasi akan berlangsung satu arah (*one dimensional consolidation*) yaitu pada arah vertikal saja, karena lapisan yang mengalami tambahan beban itu tidak dapat bergerak dalam jurusan horisontal karena ditahan oleh tanah disekitarnya (*lateral pressure*).

Koefisien Konsolidasi Vertikal (Cv)

Koefisien konsolidasi vertikal (Cv) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal, maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi.

Harga Cv dapat dicari mempergunakan persamaan berikut ini :

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t}$$

dimana :

Cv = koefisien konsolidasi (cm²/dtk)

Tv = faktor waktu tergantung dari derajat konsolidasi

T = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi U% (dtk)

H = tebal tanah (cm)

Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan penurunan tanah pada

waktu tertentu dengan penurunan tanah total.

Untuk U ≤ 60% maka :

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2$$

Untuk U > 60% maka :

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%)$$

Waktu Konsolidasi

Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan penggunaan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Perhitungan lamanya waktu konsolidasi dilapangan dapat mempergunakan rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$$

dimana :

Tv = Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi (U)

H = panjang maksimum lintasan drainase (cm)

Cv = koefisien konsolidasi (cm²/dtk)

t = waktu konsolidasi (dtk)

Perhitungan besarnya penurunan konsolidasi

Besarnya penurunan konsolidasi dapat dicari mempergunakan persamaan :

$$s = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o}$$

Sedangkan besarnya penurunan pada kondisi lempung yang terlalu terkonsolidasi adalah :

Apabila (Po + ΔP) < Pc

$$S = \frac{C_s}{1 + e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

$$S = \frac{C_s}{(1 + e_o)} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) + \frac{C_c}{(1 + e_o)} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

Apabila (Po + ΔP) > Pc

dimana :

S = pemampatan akibat proses konsolidasi (m), Cc = indeks kompresi tanah, Cs = indeks pengembangan tanah, Po = tegangan overburden efektif (l_m²), Pc = tegangan prakonsolidasi efektif (l_m²), ΔP = penambahan tegangan (l_m²),

e = angka pori, dan H= tebal lapisan tanah lembek yang memampat (m)

Preloading

Tinggi timbunan kritis beban *preloading* ini dihitung berdasarkan daya dukung tanah lempung mula-mula. Kekuatan geser tanah lempung, dalam hal ini kohesi tanah, akan mempengaruhi tinggi timbunan yang akan pergunakan. Daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban *preloading* dihitung sebagai berikut:

$$qu = 2 \cdot cu,$$

$$qu = \gamma_{timb} \cdot H_{cr}$$

maka :

$$H_{cr} = \frac{2 \cdot cu}{\gamma_{timb}}$$

dimana :

- cu = kohesi tanah dasar (t/m^2)
- γ_{timb} = berat volume tanah timbunan (t/m^3)
- H_{cr} = tinggi timbunan kritis (m)

Beban *Preloading* Bertahap

Besarnya beban *preloading* yang akan diberikan dapat ditentukan terlebih dahulu, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan atau beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu H kritis (H_{cr}). Apabila ternyata tinggi timbunan sebagai beban *preloading* yang akan diberikan lebih besar daripada H_{cr}, maka timbunan tersebut harus diletakkan secara bertahap (*stepped preloading*).

Langkah-langkah pemberian beban *preloading* secara bertahap (*stepped preloading*) adalah sebagai berikut :

1. Menghitung pemampatan yang akan terjadi akibat timbunan setinggi H_{cr} (beban tahap I)
2. Menghitung besar pemampatan untuk U rata-rata = 90 % dan waktu yang diperlukannya yaitu St₁ dan t₁.
3. Menghitung peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan sebesar St₁, dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta cu / Po' = 0,11 + 0,0037 PI$$

$$cu' = \Delta cu + cu \text{ dimana :}$$

Δcu = peningkatan kuat geser akibat pemampatan (t/m^2)

Po' = Tegangan overburden efektif setelah pemampatan (t/m^2)

PI = Plasticity Index (%)

cu = kuat geser mula-mula (t/m^2)

cu' = kuat geser setelah pemampatan (t/m^2)

4. Menghitung penambahan tinggi timbunan (beban tahap II) berdasarkan daya dukung tanah yang telah meningkat yang dihitung pada langkah no. 3.
5. Menghitung besar pemampatan akibat beban tahap II untuk U rata-rata = 90 % dan waktu yang diperlukannya, St₂ dan t₂.
6. Menghitung peningkatan daya dukung setelah pemampatan akibat beban tahap II terjadi.
7. Menentukan beban tahap III seperti langkah sebelumnya sehingga sampai total pemampatan yang harus dihilangkan tercapai.. Pada akhir tahap pemberian beban, dapat diketahui tinggi akhir dari timbunan harus sama dengan tinggi timbunan rencana.

Pre-fabricated vertical drain

Persamaan derajat konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan sistem PVD menurut Carrillo dalam Soedarmo G. D., dan S. J. Edy Purnomo, 1997 adalah sebagai berikut :

$$Uc = 1 - (1-Uh) (1-Uv)$$

dimana :

Uc = derajat konsolidasi tanah akibat aliran vertikal dan radial.

Uh = derajat konsolidasi radial

Uv = derajat konsolidasi vertikal.

Besarnya waktu konsolidasi akibat pemakaian PVD dicari menggunakan persamaan :

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

dimana :

T = waktu yang diperlukan untuk mencapai Uh (dtk)

D = diameter equivalen lingkaran (cm)

- =1,13 x S untuk pola susunan bujursangkar
- 1,05 x S untuk pola susunan segitiga
- Ch = koefisien konsolidasi aliran horisontal (cm²/dtk)
- F(n) = faktor hambatan disebabkan karena jarak antara PVD.
- Uh = derajat konsolidasi tanah arah horisontal (%)

METODE

Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah yang dilakukan dilapangan dan laboratorium meliputi parameter-parameter klasifikasi tanah, kadar air (w), berat volume (γ), angka pori (e_o), batas-batas Atterberg (LL dan PL), sudut geser dalam (Ø) Cc, Cv dan Cs.

Perencanaan Preloading Bertahap

Perencanaan *preloading* meliputi perhitungan beban timbunan *preloading*, perhitungan beban-beban bekerja dan besarnya penurunan tanah total yang akan terjadi, perhitungan waktu dan besarnya penurunan tanpa percepatan konsolidasi dengan kombinasi sistem *preloading* dan *pre-fabricated vertical drains* dan

perencanaan kombinasi sistem *preloading* dan *pre-fabricated vertical drains* berupa perencanaan *layout prefabricated vertikal drains*, perencanaan jarak antar *prefabricated vertical drains* dan perencanaan panjang *prefabricated vertical drains*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penyelidikan Tanah

Hasil penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium memberikan karakteristik seperti pada Tabel 1.

Perencanaan Beban Preloading Tinggi Timbunan Kritis

$$c_1 = 0,0278 \text{ kg/cm}^2 = 0,278 \text{ t/m}^2; \gamma_{\text{timb}} = 1,78 \text{ t/m}^3$$

maka :

$$H_{cr} = 2 \cdot c_u / \gamma_{\text{timb}}$$

$$H_{cr} = \frac{2 \cdot 0,278}{1,78}$$

$$H_{cr} = 0,3123 \text{ m} = 31,23 \text{ cm}$$

Dari hasil tersebut dapat kita lihat bahwa : $H_{\text{rencana}} > H_{cr}$, oleh karena itu beban *preloading* kita letakkan secara bertahap (*Stepped Preloading*).

Tabel 1. Data Tanah Dasar

Karakteristik	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3
Kedalaman , H (cm)	300	500	800
Kadar Air, W (%)	39,49	52,88	69,61
Berat Jenis, Gs (gr/cm ³)	2,78	2,655	2,71
Berat Volume, γ (gr/cm ³)	1,825	1,78	1,56
Batas Cair, LL (%)	21,6	29,4	44,1
Batas Plastis, PL (%)	17,05	19,47	24,77
Indeks Plastisitas, PI (%)	4,55	9,91	19,33
Kohesi, c (Kg/cm ²)	0,0278	0,0273	0,0426
Sudut Geser Dalam, φ (°)	20	18	10
Koef. Konsolidasi, Cv	130,023.10 ⁻⁴	108,994.10 ⁻⁴	98,4.10 ⁻⁴
Indeks Pemampatan, Cc	0,1295	0,3205	0,6095

Perencanaan Beban Preloading Secara Bertahap

Peletakan beban *preloading* secara bertahap ditentukan oleh daya dukung tanah dasar, berdasarkan hasil yang diperoleh $H_{\text{rencana}} > H_{cr}$ maka tinggi timbunan tahap I diambil sebesar 30 cm.

Analisa Stabilitas Lereng

Dalam analisa ini stabilitas lereng terhadap keruntuhan circular diperhitungkan dengan mempergunakan Program STABLE. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari program ini, maka untuk timbunan *preloading* tahap I dengan ketinggian 30 cm dan slope 1:1 nilai

Safety Factor (SF) paling kritis yang diperoleh adalah $3,101 \geq 1$.

Perhitungan Over Burden Pressure (Po)

Over burden pressure adalah tegangan awal yang disebabkan oleh beban lapisan tanah itu sendiri. Dapat dihitung dengan mempergunakan rumus sebagai berikut :

$$P_o = \gamma' \cdot H$$

$$P_o = (\gamma_{sat} - \gamma_w) H$$

dimana : H = tebal lapisan tanah yang ditinjau

γ_{sat} = berat volume jenuh/saturated

γ_w = berat volume air = 1 t/m^3

Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Perhitungan Beban Awal

Lapisan	γ_{sat} (t/m^3)	γ' (t/m^3)	H (m)	Po (t/m^2)
1	1,825	0,825	3,0	2,475
2	1,780	0,780	5,0	6,375
3	1,560	0,560	8,0	10,855

Perhitungan Beban Timbunan (ΔP)

Pengaruh beban tambahan sampai pada kedalaman tertentu dihitung dengan menggunakan grafik Osterberg. Untuk beban trapesium adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = 2 \cdot I \cdot q_o$$

dimana : $q_o = \gamma \cdot H$

I = Nilai pengaruh dari fungsi a/z dan b/z grafik Osterberg

Perhitungan q_o

Timbunan limestone

$$\gamma_t = 1,780 \text{ t/m}^3$$

$$H_t = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } q_o &= \gamma_t \cdot H_t \\ &= 0,534 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Tabel 3. Perhitungan Beban Tambahan Akibat Timbunan Setinggi 30 cm

Lapisan	I	q_o (t/m^2)	ΔP (t/m^2)
1	0,5	0,534	0,534
2	0,477	0,534	0,509
3	0,373	0,534	0,398

D. Perhitungan Penurunan Tanah (St)

Penurunan tanah yang terjadi akibat beban preloading tahap I, yaitu :

Tabel 4. Perhitungan Besar Penurunan Akibat Beban Tahap I

No Lapisan	Hi (m)	Po (t/m ²)	ΔP (t/m ²)	Po+ ΔP (t/m ²)	Pc (t/m ²)	Cc	Cs	e _o	St (cm)	St (U =90%) (cm)
1	3,0	2,475	0,534	3,009	14,3	0,1295	0,019	1,16	0,418	0,376
2	5,0	6,375	0,509	6,884	8,7	0,3205	0,013	1,88	0,075	0,067
3	8,0	10,855	0,398	11,253	10,1	0,6905	0,025	2,13	2,54	2,286
									Σ	2,729

Perhitungan Waktu Penurunan Tanah (t)

Waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan tanah sebesar 90%, yaitu :

Tabel 5. Perhitungan Waktu Penurunan Tanah

Lapisan	Cv (cm ² /dtk)	Tv	H(cm)	t(dtk)
1	$130,023 \cdot 10^{-4}$	0,848	300,0	5869730,74
2	$108,994 \cdot 10^{-4}$	0,848	500,0	19450611,96
3	$198,4 \cdot 10^{-4}$	0,848	800,0	55154471,54

Hasil konsolidasi yang terjadi akibat pemberian beban *preloading*, yaitu :

Tabel 6. Hasil Konsolidasi Pada Tanah Lempung Yang Diberi Beban Preloading

Beban Tahap	Hcr (m)	Ht (m)	H tambahan (m)	Pemampatan (St U=90%) (cm)	Pemampatan Kumulatif (cm)	H akhir (m)	Waktu (tahun)
1	0,3	0,3		2,73	2,73	0,273	1,75
2	1,770	1,750	1,45	21,190	23,92	1,538	1,74
3	2,540	2,50	0,75	28,248	52,168	1,978	1,68
4	3,325	3,0	0,5	32,706	84,874	2,151	1,61
						Σ	6,78

Perencanaan Sistem *Pre-fabricated vertical drains*

Perencanaan metode *pre-fabricated vertical drains* (PVD) untuk digunakan pada tanah lempung Suwung Kangin dalam analisa ini meliputi :

- a. Layout: pola segitiga samasisi (*equi-lateral triangular*.)
- b. Jarak Antar *spacing* (s) PVD : 1 m
- c. Panjang PVD : 16 m.

Perhitungan Penurunan Akibat Konsolidasi

Perhitungan besarnya penurunan akibat beban *preloading* yang dikombinasikan dengan PVD adalah sama hasilnya dengan perhitungan penurunan akibat beban *preloading*. Besarnya penurunan konsolidasi akibat beban *preloading* yang dikombinasikan dengan beban PVD, yaitu :

Tabel 7. Perhitungan Penurunan Akibat Kombinasi Preloading Dengan PVD

Beban Tahap	Hcr (m)	Ht (m)	H tambahan (m)	Pemampatan (St U=90%) (cm)	Pemampatan Kumulatif (cm)	H akhir (m)
1	0,3	0,3		2,73	2,73	0,273
2	1,770	1,750	1,45	21,190	23,92	1,538
3	2,540	2,50	0,75	28,248	52,168	1,978
4	3,325	3,0	0,5	32,706	84,874	2,151

Perhitungan Kecepatan Konsolidasi

Kecepatan konsolidasi tanah yang mempergunakan PVD memberikan hasil berikut:

Tabel 8. Perhitungan Waktu Konsolidasi Akibat Kombinasi Beban *Preloading* Tahap I Dengan PVD

Lapisan	Tv	Uv	Uh	Uc	t (hari)
1	0,087	0,333	0,889	0,926	7
2	0,030	0,195	0,877	0,901	8
3	0,0133	0,129	0,906	0,907	10

Hasil konsolidasi yang terjadi akibat kombinasi beban *preloading* dan pemakaian PVD pada tanah lempung Suwung Kangin disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Konsolidasi Pada Tanah Lempung Yang Diberi Kombinasi Beban *Preloading* Dan Pemakaian PVD

Beban Tahap	Hcr (m)	Ht (m)	H tambahan (m)	Pemampatan (St U=90%) (cm)	Pemampatan Kumulatif (cm)	H akhir (m)	Waktu (hari)
1	0,3	0,3		2,73	2,73	0,273	10
2	1,770	1,750	1,45	21,190	23,92	1,538	10
3	2,540	2,50	0,75	28,248	52,168	1,978	9
4	3,325	3,0	0,5	32,706	84,874	2,151	9
						Σ	38

Dari hasil yang kita dapatkan pada Tabel 9, dapat kita ketahui bahwa dengan menggunakan kombinasi sistem pembebanan *preloading* (tinggi timbunan akhir 3 m) dengan PVD pada tanah lempung rawa Suwung Kangin menghasilkan proses penurunan konsolidasi pertama (*primary consolidation settlement*) selama 38 hari dengan total penurunan (*settlement*) sebesar 84,874 cm.

Disini dapat dilihat bahwa waktu yang diperlukan sangat singkat (38 hari) dibandingkan dari waktu yang diperlukan

untuk pembebanan *preloading* saja (6,78 tahun).

Perbandingan Hasil Perhitungan dan Analisis

Hasil perhitungan dan analisa tanah lempung daerah hutan rawa Suwung Kangin yang diperbaiki menggunakan metode *preloading* dengan yang diperbaiki dengan kombinasi *preloading* dan *pre-fabricated vertical drains* akan disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Perhitungan dan Analisa Tanah Lempung Suwung Yang Diperbaiki Menggunakan Metode *preloading* Dengan Yang Diperbaiki Dengan Kombinasi *Preloading* dan *Pre-fabricated vertical drains*

No	Perhitungan	Metode <i>preloading</i>	Kombinasi <i>preloading</i> dengan PVD	Keterangan
1	Daya Dukung (t/m ²)	q _u = 0,934	q _u = 0,934	Tetap
2.	Penurunan /Settlement (cm)	84,874	84,874	Tetap
3.	Waktu Penurunan (hari)	2803,2	38	Dipercepat 7276,842%

Dari perbandingan diatas dapat dilihat bahwa hasil penurunan tanah maupun peningkatan daya dukung tanah baik akibat pembebanan *preloading* maupun akibat kombinasi *preloading* dan PVD tidak terdapat perbedaan, hal ini disebabkan karena PVD lebih dikhususkan untuk mempercepat proses konsolidasi yang terjadi. Pemakaian PVD yang dikombinasikan dengan beban *preloading* mengakibatkan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proses konsolidasi menjadi dipercepat sebesar 7276,842 % (dari 2803,2 hari dipersingkat menjadi 38 hari).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari gambaran analisis dan pembahasan diatas, maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. Metode pemberian beban *preloading* setinggi 3 m dilaksanakan dengan metode pembebanan secara bertahap (*stepped preloading*) karena daya

dukung tanah yang rendah, yaitu $H_{rencana} > H_{cr}$ atau 300 cm > 31,23 cm

2. Metode kombinasi *pre-fabricated vertical drains* untuk pemakaian pada tanah lunak Suwung Kangin untuk memperoleh hasil yang paling optimal, yaitu:
 Pola pemasangan PVD: pola segitiga sama sisi – *equilateral triangular*.
 Jarak pemasangan PVD: 1 m
 Panjang PVD: 16 m
3. Pemasangan *pre-fabricated vertical drains* dengan pola segitiga (point 3.) dapat mempercepat waktu konsolidasi yang diperlukan untuk penurunan pada derajat konsolidasi mencapai 90% (U=90%) sebesar 84,874 cm, dari waktu yang dibutuhkan selama 6,78 tahun (2803,2 hari) menjadi 38 hari atau sebesar 7276.84 %.
4. Analisa stabilitas lereng terhadap keruntuhan *circular* pada tanah lempung dibawah timbunan *preloading* secara bertahap (*Stepped Preloading*), memberikan angka keamanan yang aman ≥ 1 (tidak terjadi gelincir pada

lereng timbunan preloading). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kombinasi metode Preloading dengan PVD pada tanah lempung Suwung kangin tidak memerlukan tambahan kekuatan seperti geotekstil.

Saran

Berdasarkan simpulan diatas, maka dapat disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Perlu diadakan studi perbandingan antara penggunaan kombinasi metode preloading, PVD dan geotekstil untuk meningkatkan daya dukung tanah yang lebih besar sehingga tidak perlu dilakukan *preloading* bertahap. Dengan demikian waktu tunggu usainya konsolidasi dapat lebih dipercepat..
2. Perlu dilakukan kajian finansial terhadap biaya pengadaan dan instalasi bahan PVD dan keuntungan percepatan waktu pelaksanaan pekerjaan/proyek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada rekan-rekan dosen di bidang keahlian geoteknik dan staf/teknisi di Laboratorium Mekanika Tanah FT UNUD serta semua pihak yang telah membantu hingga selesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, D. 1998. *Studi Analisis Konsolidasi Dan Penurunan Tanah Pada Stabilisasi Tanah Lunak Dengan Menggunakan Sistem Vertikal Sand Drain*, Tugas Akhir Sarjana, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar
- Hardiyatmo, H.C. 1994 *Mekanika Tanah 2*, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- Mochtar, I.B. 1994. *Rekayasa Penanggulangan Masalah Pembangunan Tanah-Tanah Yang Sulit*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya.
- Rixner, J.J., Kramer, S.R., and Smith, A.D. 1986. *Pre-fabricated vertical drains Vol I*, Engineering Guidelines, U.S. Departement of Transportation
- Shirley L.H. 1987. *Penuntun Praktis Geoteknik dan Mekanika Tanah (Penyelidikan Lapangan dan Laboratarium)*, Penerbit Nova
- Soedarmo G. D., dan Purnomo, S.J.E. 1997. *Mekanika Tanah 1 dan Mekanika Tanah 2*, Penerbit Kanisius.
- Sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K. 1980. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramita.
- Wesley, L.D. 1997. *Mekanika Tanah, Cetakan VI*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.