

PERMODELAN TIMBUNAN PADA TANAH LUNAK DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS

Rosmiyati A. Bella ^{*)}

ABSTRACT

In civil construction frequently encountered problems in soft soils, such as low bearing capacity and large settlement if given the burden. It is because the soft soil generally has low shear strength, low permeability and large compressibility. The study was conducted to compare the speed of settlement and stability problems embankment on soft soil due to the method of preloading and vertical drains. The use of the method of preloading and vertical drains on the embankment can improve the stability of the construction.

Keyword : *consolidation, vertical drained, preloading*

ABSTRAK

Dalam pembangunan konstruksi sipil sering dijumpai 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.

Kata Kunci : *Konsolidasi, drainase vertikal, pembebanan awal.*

PENDAHULUAN

Dalam pembangunan konstruksi sipil sering dijumpai 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. 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

^{*)} Dosen Jurusan Teknik Sipil FST Undana

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. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan ini.

Dewasa ini, telah tersedia berbagai teknik perbaikan tanah. Pemilihan teknik perbaikan tanah umumnya dilakukan berdasarkan formasi geologi dari lapisan tanah, karakteristik tanah, biaya dan ketersediaan material serta pengalaman. Salah satu teknik perbaikan tanah yang sering digunakan dalam permasalahan tanah lunak adalah pembebanan awal (*preloading*) dan penggunaan drainase vertikal (*vertical drain*). Pembebanan awal atau *preloading* adalah metode perbaikan tanah dengan cara memberikan tambahan beban pada lokasi di mana akan dibangun konstruksi permanen hingga proses konsolidasi yang diinginkan tercapai, yaitu tercapainya penurunan primer (*primary settlement*). Ketika proses konsolidasi berlangsung, kekuatana geser tanah pun turut meningkat sehingga dapat memungkinkan penambahan beban (Craig, 2004). Namun, dengan ketatnya jadwal pelaksanaan suatu pekerjaan pembangunan maka metode *preloading* ini tidak layak digunakan sendiri. Oleh karena itu, sistem drainase vertikal atau *vertical drain* mulai diperkenalkan untuk mempercepat waktu konsolidasi dengan mengurangi panjang dari jalur aliran pada lapisan tanah lunak. Sistem ini umumnya digunakan sebagai pengganti *sand drain* (Das, 2002).

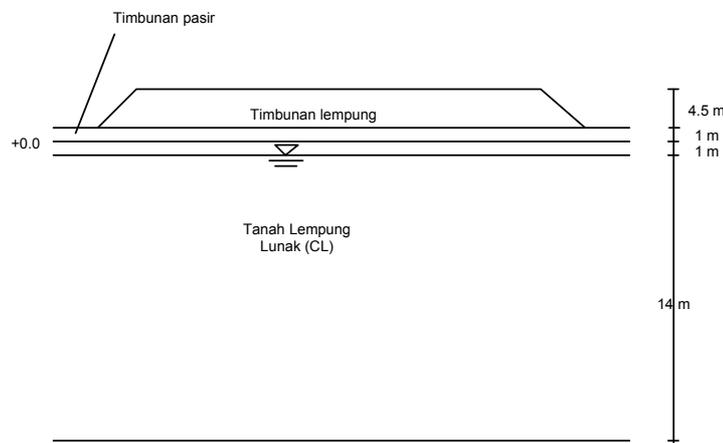
Pada kajian ini akan dianalisis tentang kecepatan penurunan konsolidasi dan masalah stabilitas timbunan di atas tanah lunak akibat dari metode prapembebanan dan drainase vertikal.

MATERI DAN METODE

Pada kajian ini, akan dibahas studi kasus tentang pemakaian metode pra pembebanan atau *preloading* dan drainase vertikal sebagai upaya perbaikan tanah lunak di daerah Teluk Banten, Cilegon Timur, yang akan dibangun terminal penerima LNG.

Tanah lunak yang akan menjadi dasar pondasi konstruksi tangki LNG tersebut merupakan jenis tanah lempung lunak terkonsolidasi normal. Di atas tanah lunak ini akan diberikan timbunan tanah berupa kombinasi tanah pasir dan

tanah lempung yang dipadatkan. Deskripsi kasus ini dapat dilihat pada **Gambar 1**. Pada kasus ini, penimbunan dilakukan bertahap karena kondisi tanah pondasinya tidak mampu menerima beban sekaligus. Keadaan ini pun disimulasikan dalam program PLAXIS melalui tahap-tahap konstruksi.



Gambar 1. Deskripsi kasus perbaikan tanah dengan metode pra-pembebanan

Pemodelan Tanah

Di dalam pengerjaan analisis metode elemen hingga menggunakan program PLAXIS, perlu ditentukan terlebih dahulu model perilaku tegangan-regangan tanah yang akan digunakan. Pemilihan model perilaku tegangan-regangan tanah harus menggambarkan keadaan tanah di lapangan untuk memperoleh hasil analisis yang sesuai. Untuk analisa pada kasus ini akan digunakan model tanah *Soft soil* pada tanah lunak. Model *soft soil* merupakan model yang digunakan untuk memodelkan perilaku tanah lunak seperti lempung terkonsolidasi normal dan gambut (Plaxis, 2005). Model ini paling baik digunakan untuk situasi kompresi primer.

Pada kasus timbunan tanah ini, untuk tanah lempung lunak, digunakan pemodelan *Soft-Soil* karena tanah tersebut tergolong tanah lunak terkonsolidasi normal. Konstruksi timbunan direncanakan dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan faktor keamanan lereng timbunan dan kecepatan konsolidasi dari tanah lunak sebagai pondasi dari timbunan. Perencanaan konstruksi timbunan ini dicoba-coba hingga mencapai suatu tahapan yang optimum sehingga dicapai waktu pelaksanaan konstruksi yang minimum tetapi menghasilkan daya dukung yang cukup untuk tahapan timbunan berikutnya.

Parameter data tanah yang digunakan merupakan hasil pengujian di lapangan, yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Parameter data tanah

Properties	Jenis Tanah		
	Tanah Lunak / Lempung (CL)	Timbunan Pasir	Timbunan Lempung
Model	Soft soil	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
c (kN/m ²)	16.1	1	10
ϕ (derajat)	5	35	35
ψ (derajat)	0	5	0
k_x (m/hari)	0.001728	9.7	0.00007
k_y (m/hari)	0.0001382	9.7	0.0000467
γ_{dry} (kN/m ³)	6.94	20	20
γ_{wet} (kN/m ³)	13.95	20	20
λ^*	0.128	-	-
κ^*	0.057	-	-
E (MPa)	-	20000	3000
ν	-	0.15	0.33

1. Metode Pra-Pembebanan

Pada metode ini akan direncanakan lamanya konsolidasi dan besarnya konsolidasi sehingga diperoleh elevasi timbunan akhir yang diinginkan. Kemiringan lereng timbunan yang digunakan adalah 1 : 2. Pembebanan dilakukan atas 3 tahap, yaitu

1. Tahap Pertama : tanah ditimbun setinggi 1 m dengan menggunakan material pasir lalu dikonsolidasi selama 30 hari.
2. Tahap Kedua : tanah ditimbun setinggi 2 m dengan menggunakan material lempung lalu dikonsolidasi selama 90 hari.
3. Tahap Ketiga : tanah ditimbun setinggi 1.5 m dengan menggunakan material lempung lalu dikonsolidasi hingga tekanan air pori mencapai 1 kN/m².

2. Metode Kombinasi Pra-Pembebanan dengan Drainase Vertikal

Pada metode kombinasi pra-pembebanan dengan drainase vertikal, proses tahapan konstruksi sama dengan pada metode pra-pembebanan saja. Perbedaannya adalah pada metode ini proses konsolidasi dipercepat dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), yaitu tiang pasir atau bahan

lain dengan koefisien permeabilitas yang besar dimana tiang ini ditanamkan ke dalam tanah lunak untuk memberikan jalan yang lebih singkat bagi air pori untuk terdisipasi. PVD yang digunakan adalah *Colbondrain CX 100* dengan spesifikasi teknis sebagai berikut :

- Jarak atau spasi PVD : 1.5 m
- Tebal PVD : 5 mm dan lebar PVD : 100 mm
- Koefisien permeabilitas PVD : 0.0015 m/detik = 129.6 m/hari
- Tebal mandrel : 12 cm
- Lebar mandrel : 6 cm

Drainase vertikal dipasang sampai kedalaman 14 m di bawah permukaan tanah dan diambil konfigurasi segiempat untuk pemasangan drainase vertikal.

Analisa perhitungan konsolidasi dengan PVD pada umumnya dilakukan dalam arah radial. Sedangkan pada kasus konstruksi timbunan ini, analisis yang dilakukan adalah pada arah *plane strain*. Oleh karena itu koefisien permeabilitas dalam arah radial perlu dikonversi terlebih dahulu sebelum dapat digunakan pada bidang *plane strain*. Konversi koefisien permeabilitas dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS.

Dalam model ini parameter permeabilitasnya adalah sebagai berikut :

1. $k_h = k_{h(axi)} = 0.001728$ m/hari
2. Nilai k_s diambil sama dengan $k_s = k_y = 0.001382$ m/hari
3. Nilai k_y (koefisien permeabilitas dalam arah vertikal) = 0.001382 m/hari

Perhitungan dimensi model PVD dalam bidang axisimetri adalah sebagai berikut :

$$k_{ax} = 0.001728 \text{ m/hari}$$

$$k_s = 0.0001382 \text{ m/day}$$

$$r_w = \frac{(a+b)}{\pi} = \frac{(0.1+0.005)}{\pi} = 0.0334 \text{ m}$$

$$r_e = 0.546S = 0.546 \times 1.5 = 0.819 \text{ m (untuk pemasangan drainase vertikal berbentuk bujursangkar).}$$

$$d_m = \text{jari-jari ekuivalen mandrel}$$

$$= \sqrt{\frac{4wl}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 120 \times 60}{\pi}} = 95.75 \text{ mm} = 0.09575 \approx 0.096 \text{ m}$$

$$r_s = 2.5 - 3 \text{ kali jari-jari mandrel} = 2.5 \times \frac{0.096}{2} = 0.12 \text{ m}$$

$$n = \frac{r_e}{r_w} = \frac{0.819}{0.0334} = 24.52$$

$$s = \frac{r_s}{r_w} = \frac{0.12}{0.0334} = 3.59$$

Sehingga

$$k_{pl} = \frac{\pi k_{ax}}{6 \left[\ln \left(\frac{24.52}{3.59} \right) + \frac{0.001728}{0.0001382} \ln 3.59 - \frac{3}{4} \right]} = 0.03k_{ax} = 0.00005184 \approx 0.000052 \text{ m/hari}$$

Pembebanan pada metode yang menggunakan kombinasi antara metode pra pembebanan dan drainase vertikal dilakukan atas 3 tahap, yaitu

1. Tahap Pertama : tanah ditimbun setinggi 1 m dengan menggunakan material pasir lalu dikonsolidasi selama 30 hari.
2. Tahap Kedua : tanah ditimbun setinggi 2 m dengan menggunakan material lempung lalu dikonsolidasi selama 90 hari.
3. Tahap Ketiga : tanah ditimbun setinggi 2 m dengan menggunakan material lempung lalu dikonsolidasi hingga tekanan air pori mencapai 1 kN/m^2 .

HASIL DAN BAHASAN

Dengan menggunakan program PLAXIS untuk kedua tipe timbunan, yaitu timbunan tanpa PVD dan timbunan dengan PVD, maka perlu diplot hasilnya pada titik-titik yang telah dipilih pada saat tahap perhitungan. Hasil yang perlu ditampilkan adalah :

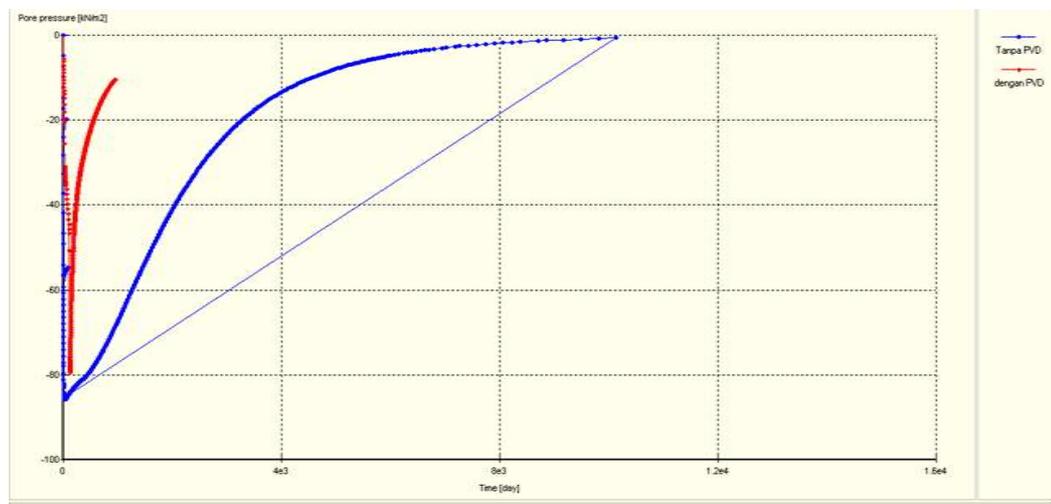
1. Hubungan eksese tekanan air pori terhadap waktu
2. Hubungan angka keamanan (*safety factor*) terhadap waktu
3. Hubungan penurunan terhadap waktu

Dari kurva-kurva tersebut dapat dibandingkan pengaruh adanya PVD terhadap besar dan lamanya konsolidasi serta faktor keamanan yang dihasilkan.

Hubungan Eksese Tekanan Air Pori terhadap Waktu

Berdasarkan hasil analisis konsolidasi menggunakan program PLAXIS untuk setiap tahapan konstruksi diperoleh grafik eksese air pori terhadap waktu yang menyatakan derajat konsolidasi yang terjadi pada setiap waktu terhitung sejak dimulainya konstruksi timbunan. Pada kasus ini, diharapkan konsolidasi pada saat 6 bulan setelah dimulainya konstruksi timbunan telah cukup kecil. Pada gambar berikut terlihat perbandingan grafik derajat konsolidasi terhadap waktu pada konstruksi timbunan tanpa PVD dan konstruksi timbunan dengan PVD.

Penggunaan PVD semakin memperpendek jalur drainase pada lapisan tanah lempung lunak. Untuk membandingkan nilai eksese air pori pada saat proses konsolidasi selesai, dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut ini.



Gambar 2 Grafik eksese air pori hingga tanah terkonsolidasi sempurna untuk konstruksi timbunan akhir setinggi 4.5 meter

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa untuk konstruksi tanah timbunan tanpa PVD, eksese air pori terdisipasi sempurna lebih cepat daripada konstruksi tanpa PVD. Penggunaan PVD semakin memperpendek jalur drainase pada lapisan tanah lempung lunak sehingga mempercepat proses disipasi. Sebelum diberikan PVD, arah disipasi eksese air pori hanya terjadi dalam arah vertikal. Namun, setelah digunakan PVD maka eksese air pori dapat terjadi dalam 2 arah yaitu vertikal dan horisontal.

Hubungan Faktor Keamanan Terhadap Waktu

Untuk timbunan di atas tanah lempung, kondisi kritis yang harus diperhatikan adalah kondisi pada saat akhir konstruksi atau *end of construction* dimana angka keamanan pada tahap ini merupakan angka keamanan terkecil. Seiring dengan terdisipasinya eksese air pori maka angka keamanan pada timbunan pada akan meningkat.

Pada **Tabel 2** ditunjukkan faktor keamanan lereng timbunan pada setiap akhir tahapan konstruksi hingga akhir konsolidasi. Faktor keamanan diambil pada saat setiap akhir tahapan konstruksi karena merupakan kondisi kritis pada lereng konstruksi timbunan. Sedangkan stabilitas jangka panjang pada lereng timbunan lebih tinggi daripada stabilitas jangka pendeknya. Dari grafik ini terlihat bahwa penggunaan PVD pada konstruksi timbunan dapat menambah kestabilan sehingga

stabilitas lerengnya sedikit lebih tinggi daripada konstruksi timbunan tanpa PVD. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekuatan geser tanah lunak yang pada akhirnya juga meningkatkan kestabilan lereng terhadap longsor.

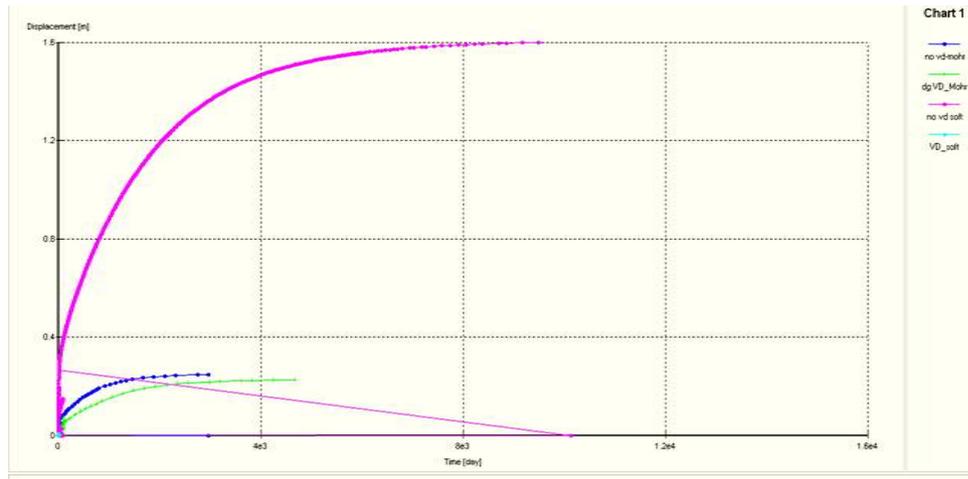
Tabel. 2 Perbandingan angka keamanan

No	Kegiatan	Angka Keamanan	
		Tanpa PVD	Dengan PVD
1	Timbun 1m pasir	70.426	62.77
2	Konsolidasi 30 hari		
3	Timbun 2 m lempung	2.2515	2.2315
4	Konsolidasi 30 hari		
5	Timbun 1.5 m lempung	1.3282	1.364
6	Konsolidasi hingga 1 kPa	1.4619	4.0517

Pada tabel ini juga terlihat bahwa semakin tinggi timbunan pada setiap penambahan tahapan konstruksi, maka faktor keamanannya akan menurun. Hal ini berkaitan dengan bertambahnya massa timbunan yang menyebabkan meningkatnya kekuatan geser yang meruntuhkan lereng timbunan.

Hubungan Penurunan Terhadap Waktu

Salah satu permasalahan yang dihadapi dalam pekerjaan timbunan pada lapisan tanah lunak adalah penurunan yang besar. Gambar 3 merupakan grafik perbandingan penurunan yang terjadi pada konstruksi timbunan tanpa PVD dan konstruksi timbunan dengan PVD. Pada gambar tersebut terlihat bahwa penurunan yang terjadi pada konstruksi timbunan tanpa PVD lebih besar daripada konstruksi timbunan dengan PVD. Hal ini disebabkan parameter kekuatan tanah lunak telah meningkat seiring dengan berjalannya proses konsolidasi. Pada konstruksi timbunan dengan PVD, proses konsolidasi berjalan lebih cepat dibandingkan dengan konstruksi timbunan tanpa PVD. Oleh karena itu pada waktu yang sama, parameter kekuatan tanah lunak pada timbunan dengan PVD lebih besar daripada konstruksi timbunan tanpa PVD, sehingga penurunan yang terjadi lebih kecil.



Gambar 3. Grafik Displacement vs Time pada konstruksi timbunan

Berdasarkan hasil seluruh keluaran program PLAXIS di atas, dapat dilihat bahwa perbaikan tanah dengan kombinasi antara metode pra-pembebanan dan drainase vertikal menghasilkan kecepatan konsolidasi yang lebih besar yang pada akhirnya berpengaruh terhadap *strength regain* dari tanah lunak tersebut pada saat dibebani, sehingga secara keseluruhan dapat meningkatkan stabilitas lereng dan konstruksi timbunan yang dibangun.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis konstruksi timbunan tanpa PVD dan konstruksi timbunan dengan PVD dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tanah lunak 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, besar penurunan dan faktor waktu.
2. Pengaruh dari penggunaan PVD di dalam konstruksi timbunan antara lain mempercepat waktu konsolidasi, meningkatkan stabilitas timbunan baik terhadap penurunan maupun terhadap lereng timbunan.

Daftar Rujukan

- Craig R.F., 2004, *Crag's Soil Mechanics*, Nostroad Reinhold Co., Ltd (U.K).
- Das B.M, 2002, *Principles of Geotechnical Enggineering*, Brooks/Cole, Singapore.
- Plaxis, 2005, *Reference Manual*.