



## Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)<sup>1</sup>

### *Planning of Soft Soil Improvement with Preloading and Prefabricated Vertical Drain Method*

Ana Crosita Ningsih<sup>a</sup>, M. Farid Ma'ruf<sup>b</sup>, Luthfi Amri Wicaksono<sup>b,2</sup>

<sup>a</sup> Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

#### ABSTRAK

Wilayah pesisir pantai utara Jawa seperti daerah Gresik dan sekitarnya mempunyai struktur tanah berupa *alluvium* yang terdiri dari batu kerikil/koral, pasir, tanah lempung dan pecahan kulit kerang. Kondisi tanah dasar yang cukup lunak menyebabkan terjadinya penurunan tanah (*settlement*). Adanya kebutuhan konstruksi yang semakin pesat menyebabkan wilayah perkotaan menjadi semakin sedikit untuk dijadikan lahan pembangunan. Hal ini mengharuskan dilakukannya upaya perbaikan tanah lunak agar bisa dijadikan lahan bangunan nantinya. Adapun pada metode yang akan dilakukan pada perencanaan ini menggunakan kombinasi metode *preloading* dan PVD untuk mempercepat proses penurunan tanah. Berdasarkan hasil perencanaan didapatkan total tinggi timbunan (*preloading*) adalah 3,5 m dan waktu perencanaan berlangsung 4 bulan. Perbaikan tanah lunak dilakukan sampai dengan kedalaman 25 m dengan desain PVD menggunakan pola segitiga dan spasi 1,3 m. Penurunan konsolidasi 95% akibat beban timbunan menyebabkan tanah turun sedalam 1,928 m. Pada perencanaan ini menggunakan pemodelan Plaxis 8.6 2D dan hasil penurunan tanah yang dihasilkan adalah sedalam 1,990 m.

*Kata kunci: Penurunan, Timbunan, PVD, Plaxis*

#### ABSTRACT

The northern coastal areas of Java such as Gresik and surrounding areas have a soil structure of alluvium consisting of gravel / coral, sand, clay soil and shells. Soil basic conditions are soft enough to cause land subsidence (*settlement*). The need for rapid construction causes the urban areas to become less and more for development land. This requires the improvement of soft soil to be used as a building site. As for the method to be done in this planning using a combination of preloading and PVD methods to accelerate the process of land degradation. Based on the planning result, the total height of embankment (*preloading*) is 3.5 m and the planning time lasted 4 months. Soft soil improvement is done up to 25 m depth with PVD design using triangle pattern and distance 1.3 m. The 95% consolidation decrease due to the load of embankment caused the soil to fall as deep as 1,928 m. In this planning use modeling Plaxis 8.6 2D and the resulting yield of soil is 1,990 m.

*Keywords: Settlement, Preloading, PVD, Plaxis*

<sup>1</sup> Info Artikel: Received 2 Mei 2018, Received in revised form 6 Juni 2018, Accepted 3 Juli 2018

<sup>2</sup> E-mail: [anacrosita@gmail.com](mailto:anacrosita@gmail.com) (A. C. Ningsih), [farid.teknik@unej.ac.id](mailto:farid.teknik@unej.ac.id) (M. F. Ma'ruf), [luthfiamri.teknik@unej.ac.id](mailto:luthfiamri.teknik@unej.ac.id) (L. A. Wicaksono)

## PENDAHULUAN

Keberadaan tanah dalam bidang konstruksi mempunyai peranan yang cukup penting karena sebagai pijakan suatu infrastruktur. Peranan ini mengharuskan kondisi tanah yang benar – benar baik agar bisa digunakan untuk kegiatan konstruksi. Keberadaan tanah di Indonesia tidak sama untuk tiap wilayahnya, terutama daerah pantai utara Jawa yang kondisi daratan berupa material tanah lunak. Tanah lunak selalu menjadi permasalahan sebelum memulai kegiatan pembangunan karena sifat tanahnya yang berdaya dukung rendah dan menyebabkan penurunan tanah apabila diberi beban bangunan di atasnya.

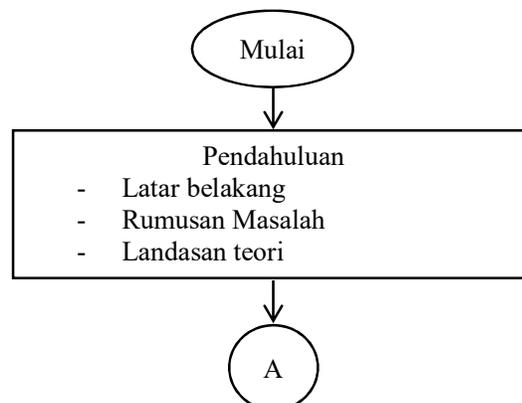
Bowles (1991), mengatakan apabila tanah yang terdapat dilapangan mempunyai sifat – sifat yang tidak diinginkan seperti sangat lunak, *compressible*, kembang susut yang besar sehingga diatas tanah tersebut tidak dapat didirikan suatu konstruksi bangunan, maka untuk memperbaiki sifat tanah tersebut agar dapat dipakai dengan baik sebagai pendukung kostruksi diatasnya adalah dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan cara menambah kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif, sehingga mempertinggi kohesi dan tahanan geser yang timbul, merendahkan muka air (*drainase*) dan mengganti tanah – tanah yang buruk.

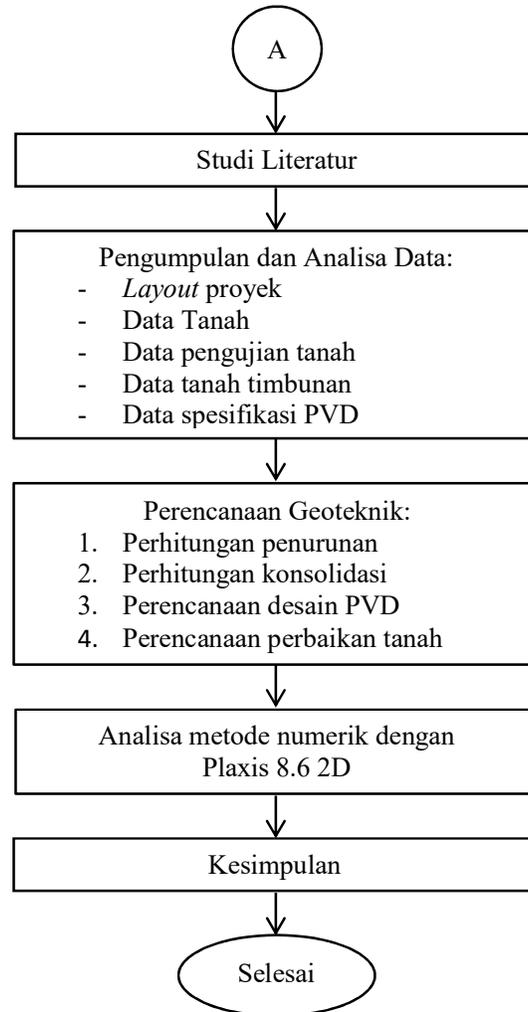
Metode umum yang sering di gunakan dalam mengatasi penurunan tanah adalah dengan pra – pembebanan (*preloading*). Caranya dengan memberi beban sementara di atas tanah lunak bisa berupa pasir, kerikil, atau campuran keduanya yang selanjutnya diambil kembali jika di rasa penurunan sudah cukup. Namun metode ini kurang efektif perlu adanya percepatan terhadap waktu konsolidasinya. Hal ini bisa di padukan dengan menggunakan *vertical drain* material yang digunakan adalah *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

Keberadaan PVD saat ini cukup populer dalam mengatasi tanah lunak, seperti pada beberapa jurnal tentang studi kasus timbunan Bontang, Kalimantan Timur (2012) dan proyek pengembangan Bandara Ahmad Yani, Semarang (2016). Pada tugas akhir ini akan merencanakan metode perbaikan tanah lunak menggunakan kombinasi *preloading* dan PVD, serta membandingkan hasil *monitoring* dengan pemodelan metode numerik.

## METODOLOGI

Metodologi tugas akhir ini diuraikan melalui skema dibawah ini:





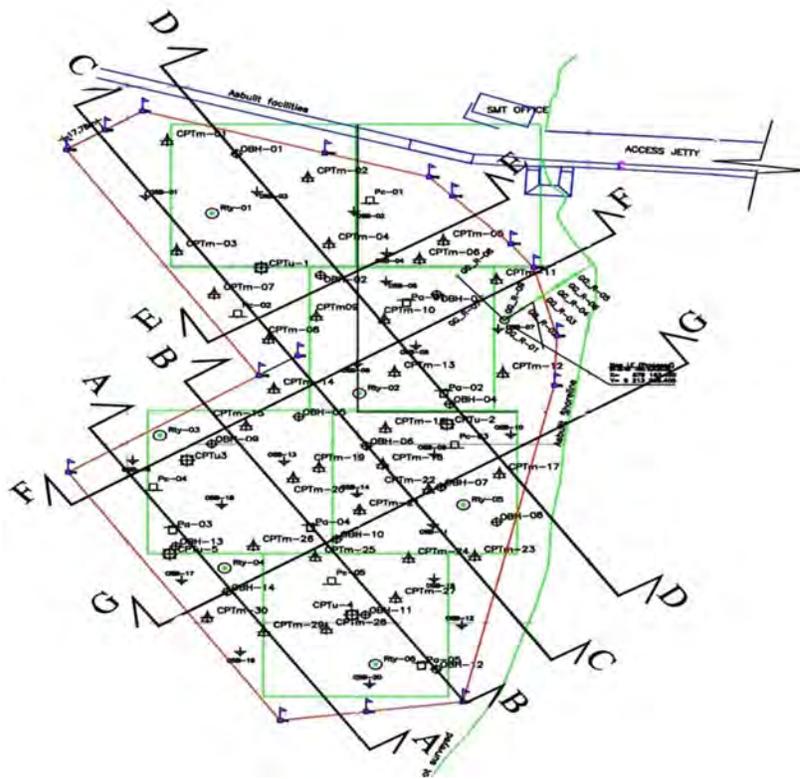
Gambar 1. Kerangka Alir Perencanaan

### Studi literatur

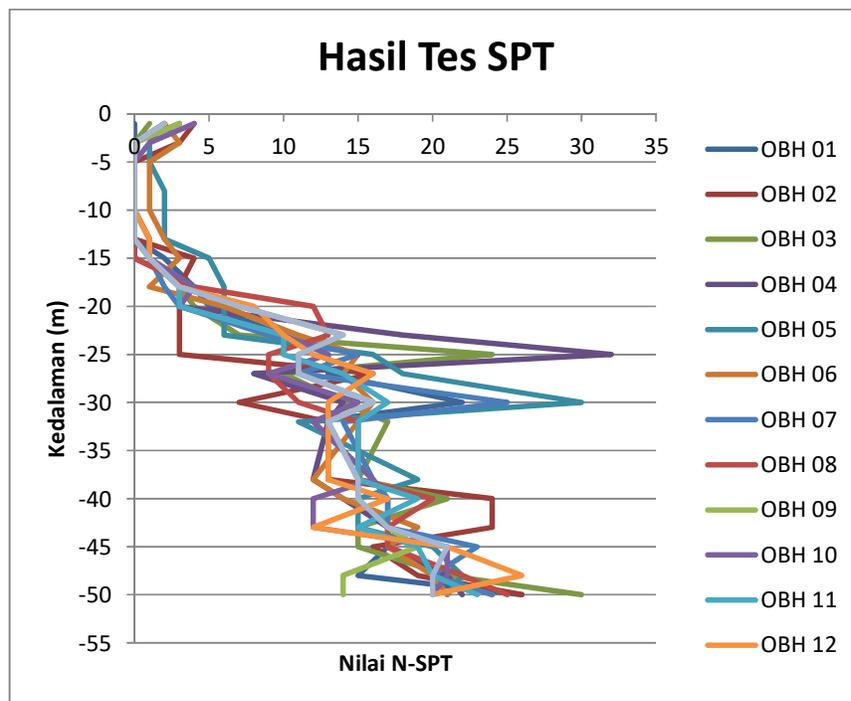
Studi literatur diperlukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini untuk menunjang dan menambah pengetahuan tentang tanah lempung, teori pemampatan, metode perbaikan tanah dan metode numerik Plaxis. Studi literatur didapat dari buku diktat kuliah, internet, jurnal, serta buku – buku penunjang yang berhubungan dengan penyelesaian Tugas akhir.

### Pengumpulan dan analisa data

Data yang digunakan dalam perencanaan Tugas Akhir ini adalah *layout* proyek, data tanah meliputi data pengujian di lapangan dan di laboratorium, data tanah timbunan dan spesifikasi bahan PVD. Penyelidikan tanah dilapangan yang telah di lakukan adalah SPT. Dari hasil tes yang dilakukan didapat klasifikasi tanah, susunan lapisan tanah pada tiap – tiap kedalaman yang tertentu dan tingkat kepadatan. Lokasi yang ditinjau pada studi ini adalah daerah Bukit Tua, Gresik (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi Bore Log



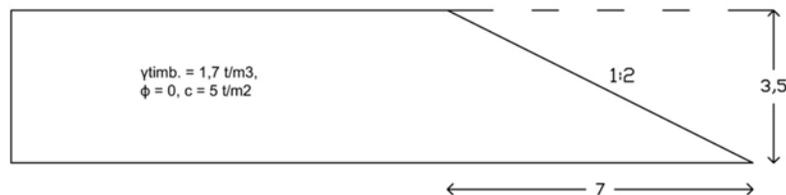
Gambar 3. Grafik Hasil Tes SPT

Data yang diberikan terdiri dari 14 Borehole, seluruh data tanah di analisa berdasarkan hasil penyelidikan tanah berupa data SPT pada Gambar 3 diatas. Didapat kedalaman tanah yang terkonsolidasi dengan nilai N-SPT < 10 yaitu hingga kedalaman 25 m. Kemudian data tanah yang akan digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1. Data tanah dasar berupa analisa parameter tanah dengan kedalaman

**Tabel 1. Data Tanah**

Kedalaman		Parameter Tanah										
		Wc (%)	Gs	$\gamma_d (t/m^3)$	$\gamma_{sat} (t/m^3)$	$\gamma (t/m^3)$	e	Cc	Cs	Cv (cm2/det)	Cu (t/m2)	Pc (t/m <sup>2</sup> )
0	2	75,50	2,53	0,87	1,46	1,47	2,04	1,01	0,18	1,2,E-03	0,75	4,70
2	6	75,93	2,52	0,84	1,44	1,43	2,12	0,90	0,16	1,2,E-03	0,75	4,70
6	7	74,83	2,52	0,87	1,46	1,48	1,97	0,90	0,16	1,2,E-03	0,75	4,70
7	9	71,27	2,55	0,88	1,46	1,47	1,97	0,88	0,15	1,2,E-03	0,75	4,70
9	10	84,25	2,52	0,81	1,46	1,49	2,14	0,92	0,18	2,2,E-03	0,80	4,45
10	14	82,06	2,52	0,85	1,49	1,54	1,99	0,88	0,17	2,2,E-03	0,80	4,45
14	15	76,16	2,52	0,87	1,45	1,53	1,90	0,79	0,13	2,2,E-03	0,80	4,33
15	16	77,56	2,51	0,86	1,44	1,52	1,94	0,89	0,15	2,2,E-03	0,80	4,33
16	17	69,43	2,49	0,85	1,44	1,44	1,94	0,92	0,16	1,3,E-03	0,80	4,33
17	18	91,77	2,43	0,74	1,44	1,34	2,51	1,25	0,20	1,2,E-03	0,80	4,33
18	19	94,26	2,42	0,72	1,43	1,32	2,60	1,01	0,15	1,8,E-03	0,80	4,33
19	20	101,09	2,42	0,67	1,40	1,29	2,77	1,13	0,19	1,8,E-03	0,79	4,28
20	21	112,41	2,36	0,65	1,38	1,34	2,79	1,32	0,19	1,8,E-03	0,79	4,28
21	23	90,01	2,42	0,66	1,42	1,26	2,79	0,88	0,15	1,8,E-03	0,79	6,40
23	25	75,68	2,44	0,79	1,50	1,35	2,43	0,88	0,15	1,8,E-03	0,79	6,53

Data tanah timbunan meliputi  $\gamma_t = 1,7 t/m^3$ ,  $\phi = 0$ ,  $c = 5 t/m^2$ , sedangkan tinggi timbunan yang total yang direncanakan yaitu 3,5 m seperti pada Gambar 4. Spesifikasi bahan PVD yang digunakan CeTau-Drain CT-D1008 berupa bahan sintetis dengan berat 65 gr/m, panjang 100 mm dan tebal 3 mm.



**Gambar 4. Potongan Melintang Timbunan**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan penurunan tanah

Penurunan tanah dihitung akibat beban timbunan yang setara dengan tinggi timbunan dikali  $\gamma_t = 1,7 t/m^3$ . Dalam Das (1985), besar penurunan akibat beban timbunan dihitung menggunakan persamaan berikut:

- Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC-soil)

$$S_{c-c} = \frac{H}{1+e_o} \left[ C_c \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (1)$$

- Untuk tanah terkonsolidasi lebih (OC-soil)

Bila  $(\sigma_o' + \Delta\sigma) \leq \sigma_c'$

$$S_{c-} = \frac{H}{1+e_o} \left[ C_s \log \left( \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_o'} \right) \right] \quad (2)$$

Bila  $(\sigma_o' + \Delta\sigma) > \sigma_c'$

$$S_{c-} = \left[ \frac{H}{1+e_o} C_s \log \frac{\sigma_c'}{\sigma_o'} \right] + \left[ \frac{H}{1+e_o} C_c \log \frac{\sigma_o' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right] \quad (3)$$

dengan  $S_c$  = penurunan tanah (m),  $H$  = tebal lapisan tanah *compressible*,  $e_o$  = angka pori awal,  $C_c$  = indeks kompresi,  $C_s$  = indeks mengembang,  $\Delta\sigma$  = penambahan beban *surcharge*,  $\sigma_o'$  = *effective overburden pressure*,  $\sigma_c'$  = *effective past overburden pressure*.

Lokasi perencanaan pada tanah reklamasi sehingga terdapat penambahan beban akibat lapisan tanah atas setinggi 2 meter. Oleh karena itu, beban timbunan ditambah sebesar 3,4 t/m<sup>2</sup>. Hasil perhitungan dari variasi timbunan dengan besarnya penurunan dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

**Tabel 2.** Perhitungan  $H_{\text{timb.}}$ ,  $Q$  dan  $S_c$

H timb. (m)	Q, t/m <sup>2</sup>	S <sub>c</sub> (m)
1,5	6,0	1,461
2,0	6,8	1,599
2,5	7,7	1,728
3,0	8,5	1,849
3,5	9,4	1,963
4,0	10,2	2,071
4,5	11,1	2,174

### Perhitungan waktu konsolidasi

Setelah mengetahui besarnya *settlement* di lapisan tanah dasar, diperlukan perhitungan terhadap lama pemampatan yang terjadi. Perhitungan pemampatan dihitung pada saat tanah mencapai 95%. Besarnya pemampatan tanah hanya mengandalkan nilai  $C_v$  saja. Berikut perhitungan untuk mencari waktu konsolidasi:

$$\begin{aligned} T_{v95\%} &= 1,129 \\ C_{v_{\text{gab.}}} &= 5,06 \text{ m}^2/\text{tahun} \\ H_{dr} &= 25 \text{ m} \end{aligned}$$

Waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95% menurut Terzaghi dalam Das (1985) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$t = \frac{T_v (H_{dr})^2}{C_v} = \frac{1,129 \cdot (25)^2}{5,06} = 139,41 \text{ tahun}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk pemampatan lapisan tanah lunak selama 139,41 tahun. Oleh karena itu diperlukan adanya *vertical drains* untuk memperpendek *drainage path* dari air pori sehingga mempercepat proses pemampatan tanah.

**Perencanaan desain PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)**

Pada perencanaan pemasangan PVD pola yang akan diperhitungkan ada dua macam yaitu pola segitiga dan segiempat. Dari masing – masing pola akan dicari derajat konsolidasi untuk jarak pemasangan yang bervariasi. Waktu yang direncanakan sesuai dengan perencanaan dilapangan yaitu 16 minggu. Untuk perhitungan S, dw dan F(n) disajikan dalam Tabel 3 dan 4 berikut ini:

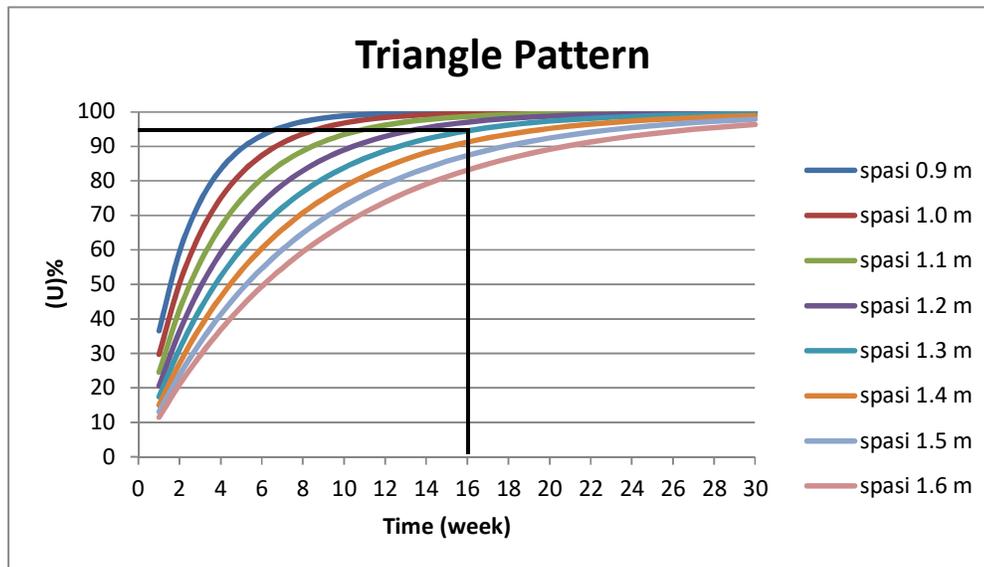
**Tabel 3.** Perhitungan S, dw, dan F(n) Pola Segitiga

Jarak PVD S (m)	D (m)	a (m)	b (m)	dw (m)	n	F(n)
0,9	0,954	0,1	0,003	0,0656	14,549	1,935
1,0	1,060	0,1	0,003	0,0656	16,165	2,040
1,1	1,166	0,1	0,003	0,0656	17,782	2,134
1,2	1,272	0,1	0,003	0,0656	19,399	2,220
1,3	1,378	0,1	0,003	0,0656	21,015	2,300
1,4	1,484	0,1	0,003	0,0656	22,632	2,373
1,5	1,590	0,1	0,003	0,0656	24,248	2,442
1,6	1,696	0,1	0,003	0,0656	25,865	2,506

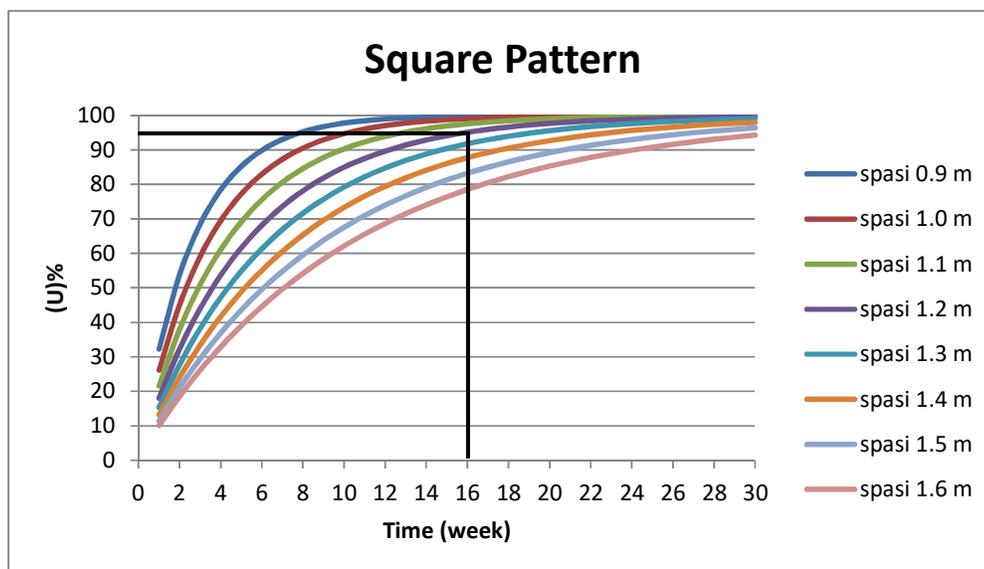
**Tabel 4.** Perhitungan S, dw, dan F(n) Pola Segiempat

Jarak PVD S (m)	D (m)	a (m)	b (m)	dw (m)	n	F(n)
0,9	1,017	0,1	0,003	0,0656	15,510	1,999
1	1,130	0,1	0,003	0,0656	17,233	2,103
1,1	1,243	0,1	0,003	0,0656	18,956	2,198
1,2	1,356	0,1	0,003	0,0656	20,680	2,284
1,3	1,469	0,1	0,003	0,0656	22,403	2,359
1,4	1,582	0,1	0,003	0,0656	24,126	2,433
1,5	1,695	0,1	0,003	0,0656	25,850	2,502
1,6	1,808	0,1	0,003	0,0656	27,573	2,567

Selanjutnya dilakukan perhitungan derajat konsolidasi gabungan rata – rata (u)%. Dalam perhitungannya, parameter yang dibutuhkan adalah nilai cv, tv, dan nilai ch menggunakan  $cv \times (kh/kv)$ , untk nilai  $kh/kv = 2$ . Dari perhitungan tersebut dibuat grafik hubungan antara waktu dengan (u)% yang diberikan pada gambar 5 untuk pola pemasangan segitiga dan gambar 6 untuk pola pemasangan segiempat.



Gambar 5. Grafik Hubungan Waktu Vs (U)% Pola Segitiga



Gambar 6. Grafik Hubungan Waktu Vs (U)% Pola Segiempat

Dapat dilihat pada kedua gambar diatas bahwa untuk mencapai derajat konsolidasi 95% pada tanah lempung direncanakan 16 minggu, maka pola dan jarak pemasangan PVD yang dipakai adalah pola segitiga dengan  $s = 1,3$  m, hal ini dikarenakan waktu tersebut tidak melebihi waktu maksimal yang diberikan.

### Perencanaan perbaikan tanah

Tinggi timbunan yang direncanakan adalah 3,5 m dalam waktu 16 minggu. Pada pelaksanaan dilapangan, tinggi timbunan tidak langsung diurug di atas tanah dasar. Sehingga pada pelaksanaan dilakukan penimbunan secara bertahap (*preloading*). Sebelum melakukan penimbunan dihitung terlebih dahulu tinggi timbunan kritis dengan persamaan

dari Jie Han (1964). Data yang digunakan yaitu  $\gamma_{\text{timb}} = 1,7 \text{ t/m}^3$ ,  $N_c = 5.14$  (Vesic, 1973;  $\phi = 0$ ),  $FS = 1,3$  dan  $C_u = 1,0 \text{ t/m}^2$

$$H_{cr} \leq \frac{C_u \times N_c}{SF \times \gamma_t} = \frac{1,0 \times 5,14}{1,3 \times 1,7} \leq 2,33 \text{ m}$$

Karena  $H_{cr} = 2,33 \text{ m}$  maka diambil tinggi timbunan pertama setinggi 2 m dengan kecepatan penimbunan 0,5 m/minggu. Desain PVD yang digunakan pola segitiga dan spasi 1,3 m. Total penurunan primer pada timbunan pertama dihitung berdasarkan Persamaan (2) didapatkan  $Sc_1 = 1,599 \text{ m}$  (Tabel 2).

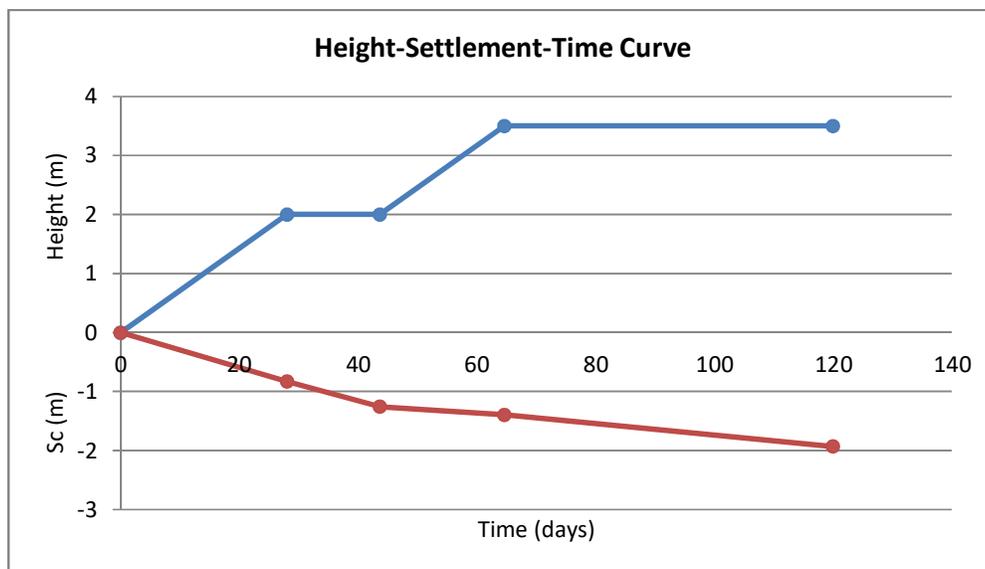
Kemudian dilakukan perhitungan derajat konsolidasi yang terjadi pada timbunan pertama ini yaitu sebesar 78,42%. Adanya pemampatan tanah dasar sebagai akibat beban timbunan secara bertahap mengakibatkan peningkatan daya dukung tanah. Kekuatan geser jenuh ( $C_u$ ) untuk tanah kohesif oleh Ladd, 1991 dalam Jie Han dihitung dengan persamaan:

$$\Delta C_u = 0,25U. \Delta \sigma = 0,25 \times 0,7842 \times (1,7 \times 2) = 0,667 \text{ t/m}^2$$

Karena penurunan konsolidasi yang terjadi masih kurang dari 95% maka dilakukan penambahan timbunan sesuai dengan langkah sebelumnya. Total tinggi timbunan yang diijinkan adalah sebagai berikut:

$$H_{cr} \leq \frac{(C_u + \Delta C_u) \times N_c}{SF \times \gamma_t} = \frac{(1,0 + 0,667) \times 5,14}{1,3 \times 1,7} = 3,88 \text{ m}$$

Total tinggi timbunan yang ditambahkan adalah 3,5 m, dengan  $Sc_2 = 1,963$  (Tabel 2) sehingga tinggi timbunan pada lapisan kedua akan setinggi  $3,5 - 2 = 1,5 \text{ m}$ . Perhitungan derajat konsolidasi pada saat  $t = 16$  minggu sudah mencapai 98,3% dengan *settlement* 1,928 m. Kemudian untuk penurunan akibat beban bangunan sebesar  $1 \text{ t/m}^2$  adalah 0,569 m. Sisa timbunan sebesar  $3,5 - 1,928 - 0,569 = 1,003 \text{ m}$  akan di *cutting* sampai elevasi 0. Perhitungan di atas dapat dianalisa dari grafik dibawah ini.



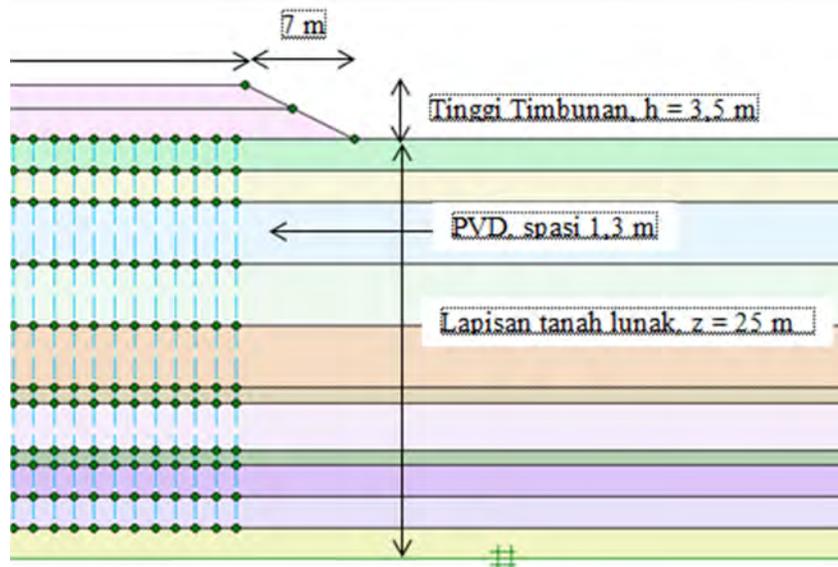
Gambar 7. Grafik Hubungan H, Sc, dan T

### Analisa Plaxis 8.6 2D

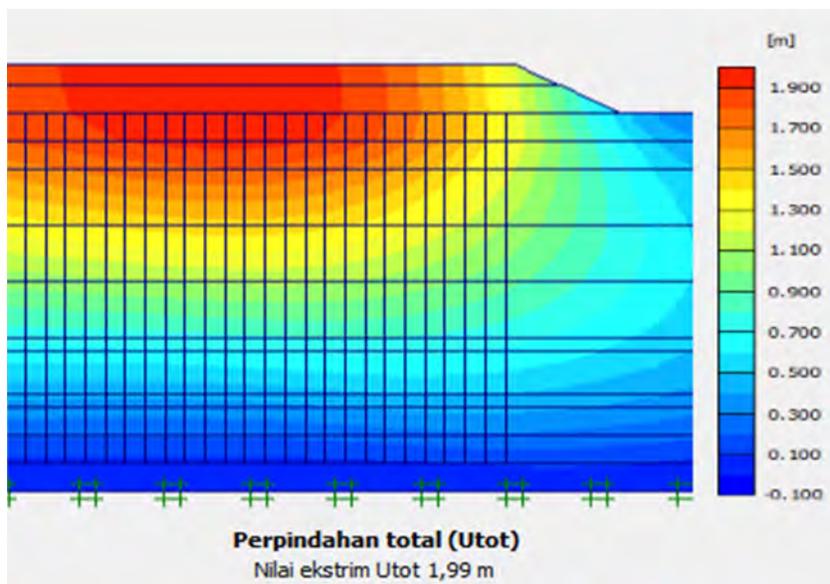
Selain menggunakan perhitungan analitis, penulis juga memodelkan kondisi aktual menggunakan pemodelan pada software Plaxis 8,6 2D. Perhitungan Plaxis ini berdasarkan parameter – parameter material tanah yang ditunjukkan pada Tabel 5. Selanjutnya model geometri timbunan dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 dibawah ini. Dari hasil perhitungan didapatkan penurunan yang terjadi sebesar 1,99 m.

**Tabel 5.** Data Parameter Material Tanah

No.	Material	$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E_{\text{ref}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$ (nu)	$C_{\text{ref}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
1.	Timbunan	17,0	17,0	12500	0,4	50	0
2.	Fill	17,0	17,0	2000	0,35	25	0
3.	Lapisan 1	14,6	14,6	500	0,35	15	0
4.	Lapisan 2	14,6	14,6	500	0,35	15	0
5.	Lapisan 3	14,9	14,9	500	0,35 </td <td>15</td> <td>0</td>	15	0
6.	Lapisan 4	14,5	14,5	500	0,35	15	0
7.	Lapisan 5	14,4	14,4	500	0,35	15	0
8.	Lapisan 6	14,3	14,3	500	0,35	15	0
9.	Lapisan 7	14,0	14,0	500	0,35	15	0
10.	Lapisan 8	14,4	14,4	500	0,35	15	0
11.	Lapisan 9	15,3	15,3	800	0,35	15	0
12.	Lapisan 10	14,4	14,4	500	0,35	15	0

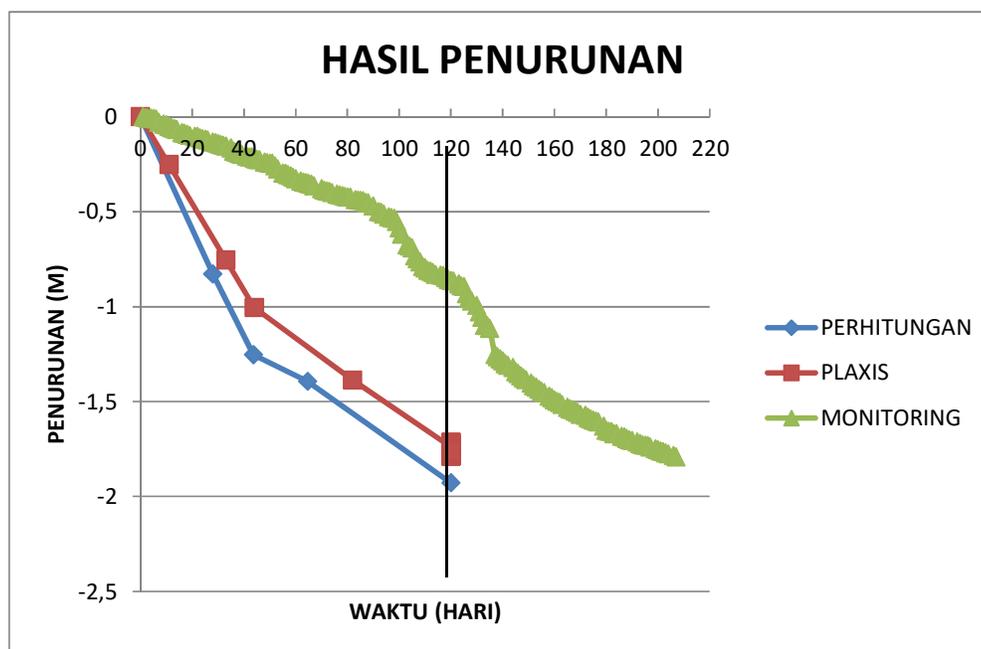


**Gambar 8.** Model Geometri Timbunan



Gambar 9. Hasil Perhitungan Plaxis

Dari hasil perhitungan yang sudah direncanakan dalam waktu 16 minggu didapatkan untuk perhitungan analitis terjadi penurunan 1,928 m, metode numerik Plaxis 1,990 m dan hasil monitoring dilapangan sekitar 0,86 m dan masih mengalami penurunan sampai waktu sekitar 3 bulan. Hal ini kemungkinan terjadi saat perencanaan perbaikan tanah ada faktor – faktor yang tidak diperhitungkan seperti ketebalan lapisan atas yang tidak dikonversikan sebagai beban tambahan.



Gambar 10. Grafik Hasil Perbandingan *Settlement*

## **KESIMPULAN**

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Tinggi timbunan awal yang dibutuhkan adalah sebesar 3,5 m dengan besar pemampatan yang harus dihilangkan sebesar 1,963 m.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 95% adalah 139,41 tahun.
3. Spesifikasi PVD yang dipakai adalah CT-D1008 dengan ukuran 100 mm x 3 mm, pola segitiga dengan spasi 1,3 m dan waktu mencapai  $U = 95\%$  selama 16 minggu.
4. Besar penurunan primer pada tanah reklamasi dengan tinggi timbunan setinggi 3,5 m adalah 1,928 m dan beban bangunan yang direncanakan  $1 \text{ t/m}^2$  adalah 0,569 m. Sedangkan sisa penurunan sebesar 1,003 m akan di *cutting* sampai elevasi 0.
5. Hasil penurunan selama 16 minggu pada analisa Plaxis menunjukkan sebesar 1,990 m sedangkan hasil monitoring dilapangan sekitar 0,860 m.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bowles, Joseph E. Johan K. Helnim. 1991. *Sifat – sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. PT. Erlangga. Jakarta.
- Craig, R.F. 1991. *Mekanika Tanah*. PT. Erlangga. Jakarta
- Das, Braja M., *Principle of Geotechnical Engineering 5<sup>th</sup> Edition*, 2002, PWS Publishing, Pacific Grove.
- Dept of The Navy, March 1971, Design Manual: *Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures (NAVFAC DM-7)*, Naval Facilities Engineering Command.
- Han, Jie., *Principle and Practice of Ground Improvement*, 2015. 432 pp. Hardback. ISBN: 9781118259917
- Hansbo, S., 1979. *Consolidation of Clay by Band – shaped Prefabricated Drains, Grounds Engineering*, Vol.12.
- Terzaghi, K., Peck, r. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Jakarta: Erlangga.