

Analisis Perbaikan Tanah Dasar Dan Perkuatan Stabilitas Timbunan Menggunakan Preloading dan PVD

Devi Retno Maghviroh¹, *Isnaniati¹, Himatul Farichah,¹

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya

*Email : isnaniati@ft.um-surabaya.ac.id

Abstract

The soil condition in the Gempol-Pasuruan toll road construction project is soft clay soil. This soil has a low bearing capacity, is highly compressible, and has very low permeability. Soils in this condition tend to have the potential for large consolidation settlement and a long period of time. To overcome the long settlement time, it is necessary to improve the soil in the project area to speed up the consolidation time. Subgrade improvement will be carried out using the Preloading & Prefabricated Vertical Drain (PVD) method which is a method to increase the bearing capacity of the subgrade and accelerate the time of consolidation compaction. The stability of the embankment is used Geotextile which functions to prevent landslide of landfills. Analysis of subgrade improvement using preloading and PVD methods with installation patterns (triangle, square), PVD installation distance ($s = 0.8; 1; 1.1\text{m}$), and embankment height variation ($H_{\text{final}} = 3\text{m}, 5\text{m}, 7\text{m}$). The planning results are obtained, to achieve $H_{\text{final}} = 3\text{m}$ it takes $H_{\text{initial}} = 4.25\text{m}$; to reach $H_{\text{final}} = 5\text{m}$ it takes $H_{\text{initial}} = 6.43\text{m}$; and to reach $H_{\text{final}} = 7\text{m}$ it takes $H_{\text{initial}} = 8.61\text{m}$. At the degree of consolidation 90% ($U = 90\%$) without PVD it took 67.94 years, while using PVD triangular fitting pattern with 1m spacing, it took 24 weeks. With a stockpile rate of 0.5m / week, for a 7m pile height a 18 week incremental pile time is required; 5m embankment height required 13 weeks incremental backfilling time; and 3m pile height required 9 weeks incremental backfilling time. 3 layers of reinforcement are required for the final 5m pile height, and 13 reinforcement layers for the 7m final height with 0.2m vertical geotextile spacing.

Keywords : preloading, PVD, geotextile.

Abstrak

Kondisi tanah pada proyek pembangunan Jalan Tol Gempol-Pasuruan merupakan tanah lempung lunak. Tanah ini mempunyai daya dukung rendah, kompresibel tinggi, dan permeabilitas yang sangat rendah. Tanah dengan kondisi tsb cenderung memiliki potensi penurunan konsolidasi yang besar dan waktu yang cukup lama. Untuk mengatasi waktu penurunan yang cukup lama, maka perlu dilakukan perbaikan tanah pada area proyek untuk mempercepat waktu konsolidasi. Perbaikan tanah dasar akan dilakukan menggunakan metode *Preloading & Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang merupakan salah satu metode untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar dan mempercepat waktu pemampatan konsolidasi. Stabilitas timbunan digunakan Geotextile yang berfungsi untuk mencegah terjadinya kelongsoran tanah timbunan. Dilakukan analisis mengenai perbaikan tanah dasar dengan metode preloading dan PVD dengan pola pemasangan (segitiga, bujur sangkar), jarak pemasangan PVD ($s = 0.8; 1; 1.1\text{m}$), dan variasi tinggi timbunan ($H_{\text{final}} = 3\text{m}, 5\text{m}, 7\text{m}$). Hasil perencanaan diperoleh, untuk mencapai $H_{\text{final}} = 3\text{m}$ dibutuhkan $H_{\text{initial}} = 4.25\text{m}$; untuk mencapai $H_{\text{final}} = 5\text{m}$ dibutuhkan $H_{\text{initial}} = 6.43\text{m}$; dan untuk mencapai $H_{\text{final}} = 7\text{m}$ dibutuhkan $H_{\text{initial}} = 8.61\text{m}$. Pada derajat konsolidasi 90% ($U=90\%$) tanpa PVD dibutuhkan waktu 67,94 tahun, sedangkan menggunakan PVD pola pemasangan segitiga dengan jarak pemasangan 1m, dibutuhkan waktu 24 minggu. Dengan kecepatan penimbunan 0,5m/minggu, untuk tinggi timbunan 7m dibutuhkan waktu penimbunan bertahap 18 minggu; tinggi timbunan 5m dibutuhkan waktu penimbunan bertahap 13 minggu; dan tinggi timbunan 3m dibutuhkan waktu penimbunan bertahap 9 minggu. Dibutuhkan sebanyak 3 lapis perkuatan untuk tinggi final timbunan 5m, dan 13 lapis perkuatan untuk tinggi final 7m dengan jarak pemasangan geotekstil vertikal 0,2m.

Kata kunci: Preloading, PVD, geotextile.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jalan tol Gempol-Pasuruan adalah sebuah jalan tol sepanjang 34,15 kilometer yang menghubungkan daerah Gempol dengan pasuruan. Jalan tol ini merupakan bagian dari jalan tol yang menghubungkan antar kota utama di Jawa Timur yaitu Surabaya-Banyuwangi dan menjadi bagian dari Jalan Tol Trans Jawa. Dengan adanya jalan tol ini diharapkan akan memacu pertumbuhan ekonomi disekitar kawasan yang dilalui. Bagi pemerintah daerah dan investor kehadiran jalan tol ini akan menjadi daya tarik untuk berinvestasi pada sektor industri manufaktur, properti, dan pariwisata pada koridor yang dilalui jalan tol ini.

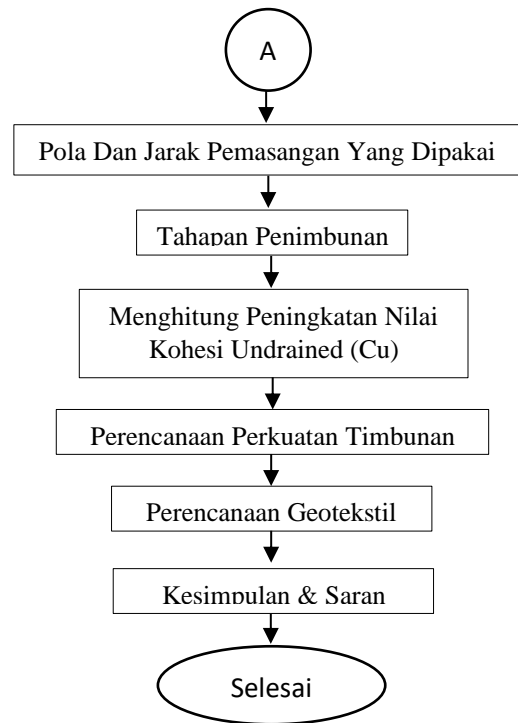
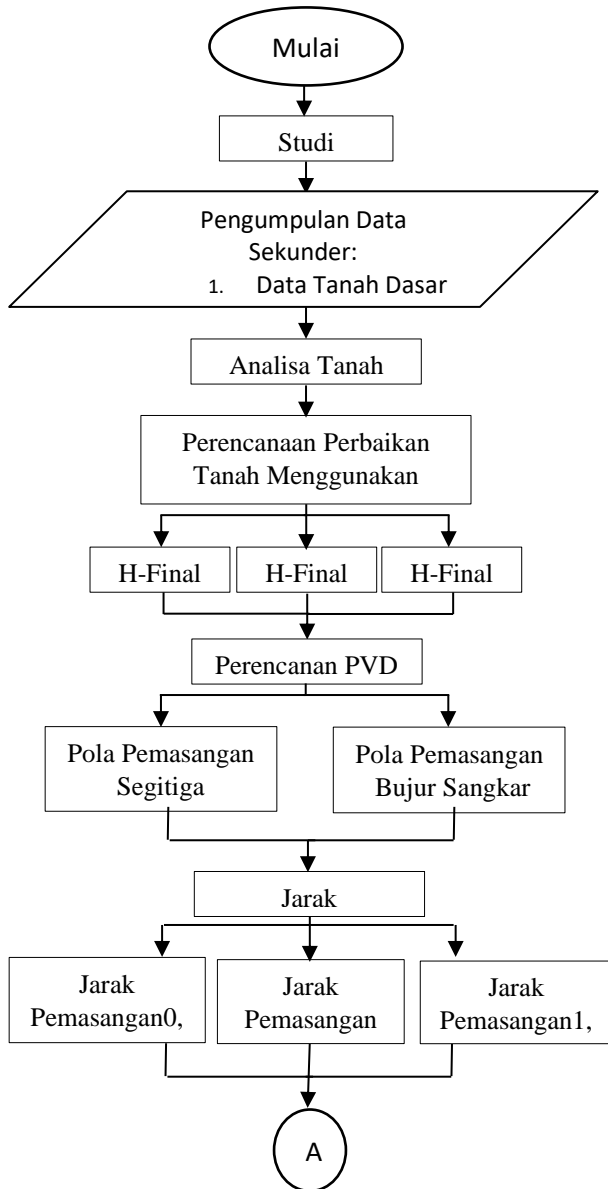
Jalan tol Gempol Pasuruan dibagi menjadi 3 seksi, seksi 1 dimulai dari STA 0+000-STA 13+900, untuk seksi 2 dari STA 13+900-22+000, dan seksi 3 dari STA 22+000-STA 34+150. Lokasi yang ditinjau disini adalah STA. 28+000-STA. 31+000. Pada STA 28+000-STA 31+000 diketahui

bahwa tanah lunak hingga medium ($N\text{-SPT} < 10$) mencapai kedalaman 10m dan variasi tinggi timbunan mencapai 3, 5, 7 meter.

Kondisi tanah pada proyek pembangunan Jalan Tol Gempol-Pasuruan merupakan tanah lempung lunak. Tanah ini pada umumnya mempunyai daya dukung 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. Untuk mengatasi waktu penurunan yang cukup lama, maka perlu dilakukan perbaikan tanah pada area proyek pembangunan Jalan Tol Gempol-Pasuruan untuk mempercepat waktu konsolidasi. Perbaikan tanah dasar akan dilakukan menggunakan metode *preloading Prevabricated Vertical Drain* (PVD), yang merupakan salah satu metode untuk meningkatkan daya dukung tanah dan untuk mempercepat proses konsolidasi. Sedangkan untuk stabilitas timbunan akan dilakukan

perkuatan dengan menggunakan *Geotextile* untuk mencegah terjadinya kelongsoran. Dengan demikian maka akan dilakukan analisis mengenai perbaikan tanah dasar dengan preloading untuk timbunan dengan variasi tinggi final 3m, 5m, 7m yang dikombinasikan dengan PVD dengan pola pemasangan segitiga dan bujur sangkar dan menggunakan jarak pemasangan PVD 0,8m, 1m, 1,1m.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Analisis data Perencanaan

1. Data Tanah

Data tanah yang digunakan disini adalah data tanah sekunder yang diperoleh dari pihak konsultan. Data Tanah disini digunakan untuk mengetahui sifat dan karakteristik tanah dasar yang akan diperbaiki.

Tabel 1. Data Tanah

Depth m	γ_d t/m ³	γ_{sat} t/m ³	Gs	e	LL %	PL %	IP %	Cu Kg/c m ²
1	1,1	1,6	2,6	1,6	81,3	36	45,3	0,19
2	1,1	1,6	2,6	1,6	81,3	36	45	0,19
3	1,1	1,6	2,6	1,6	81,3	36	45,3	0,19
4	1,1	1,7	2,6	1,5	81,5	35,2	46,3	0,21
5	1,1	1,7	2,6	1,5	81,5	35,2	46,3	0,21
6	1,1	1,6	2,6	1,6	79,5	36,1	43,4	0,2
7	1,1	1,6	2,6	1,6	79,5	36,1	43,4	0,2
8	1	1,6	2,6	1,8	84,5	37,1	47,3	0,2
9	1	1,6	2,6	1,8	84,5	37,1	47,3	0,2
10	1	1,6	2,6	1,6	81,4	37,1	44,3	0,2

2. Spesifikasi Bahan

Jenis PVD yang digunakan pada perencanaan ini adalah CeTeau Drain CT-D822.

Perhitungan Pemampatan (Sc), H-inisial dan H-final

Menurut Das (1985), besar pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah lempung setebal H dapat dihitung dengan persamaan berikut :

a. Untuk NC-Soil

$$Sc = \frac{c_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{vo} + \Delta \sigma}{\sigma'_{vo}} \right) \quad (1)$$

c. Untuk OC-Soil

- Apabila $\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_r \leq \sigma_c$ maka :

$$Sc = \frac{c_s H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_r}{\sigma'_{vo}} \right) \quad (2)$$

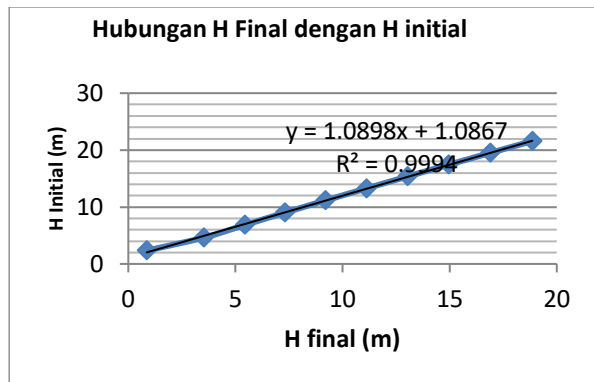
- Apabila $\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_r \geq \sigma_c$ maka :

$$Sc = \frac{c_s H}{(1+e_0)} \log \left(\frac{\sigma_c}{\sigma'_{vo}} \right) + \frac{c_s H}{(1+e_0)} \log \left(\frac{\sigma'_{vo} + \Delta\sigma_r}{\sigma_c} \right) \quad (3)$$

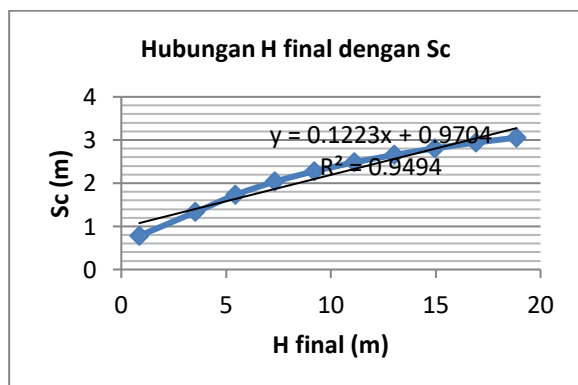
Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan H-inisial, H-final dan Sc untuk Kedalaman Seluruh Tanah

q	H _{inisial}	Sc	H	Tebal	Sc beban	H _{final}	Sc
t/m ²	m	m	m	m	m	m	m
3,7	2,3	0,63	1,4	0,6	0,1	0,8	0,7
7,4	4,6	1,2	0,4	0,6	0,09	3,5	1,3
11,1	6,9	1,58	0,3	0,6	0,08	5,4	1,7
14,8	9	1,9	0,3	0,6	0,07	7,3	2
18,5	11,2	2,13	0,3	0,6	0,06	9,2	2,2
22,2	13,3	2,3	0,3	0,6	0,05	11,1	2,4
25,9	15,4	2,5	0,3	0,6	0,05	13	2,6
29,6	17,4	2,67	0,3	0,6	0,05	15	2,7
33,7	19,5	2,81	0,3	0,6	0,05	16,9	2,9
37	21,6	2,9	0,3	0,6	0,04	18,8	3

Sumber: Hasil perhitungan (2020)



Gambar 2. Grafik Hubungan antara H-final dan H-inisial pada kedalaman seluruh tanah lunak
Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 3. Grafik Hubungan antara H-final dan Sc pada Kedalaman Seluruh Tanah Lunak
Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan H-inisial dan Sc untuk H-final 3m, 5m dan 7m.

Hfinal	Hinisial	Sc
--------	----------	----

m	m	m
3	4,356	1,264
5	6,427	1,509
7	8,6066	1,753

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Perencanaan Perbaikan Tanah

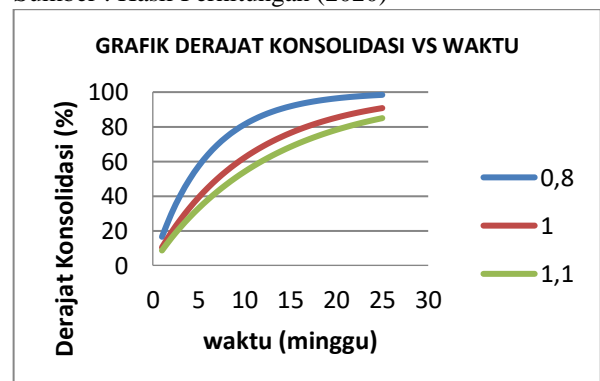
Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan konsolidasi cukup lama, sehingga direncanakan perbaikan tanah menggunakan metode *preloading* dan *Prevabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat waktu konsolidasi.

PVD yang digunakan dalam perencanaan ini adalah menggunakan pola pemasangan segitiga dan bujur sangkar dengan jarak pemasangan antar PVD adalah 0,8m, 1m dan 1,1m

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Gabungan untuk Pola Pemasangan Segitiga

t	U rata-rata %		
Minggu	S=0,8m	S=1m	S=1,1m
1	16,5	10,4	8,6
2	29,5	18,8	15,6
3	40,4	26,3	21,6
4	49,6	33,1	27,7
5	57,3	39,2	33
6	63,9	44,8	37,9
7	69,4	49,8	42,4
8	74,1	54,4	46,6
9	78	58,5	50,5
10	81,4	62,2	54,1
11	84,2	65,6	57,4
12	86,6	68,7	60,5
13	88,6	71,6	63,3
14	90,8	74,1	65,9
15	91,8	76,4	68,4
16	93,1	78,6	70,7
17	94,1	80,5	72,8
18	95	82,2	74,7
19	95,8	83,8	76,5
20	96,4	85,3	78,2
21	96,9	86,6	79,8
22	97,4	87,8	81,2
23	97,8	88,9	82,6
24	98,1	89,9	83,8
25	98,4	90,8	84,9

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)



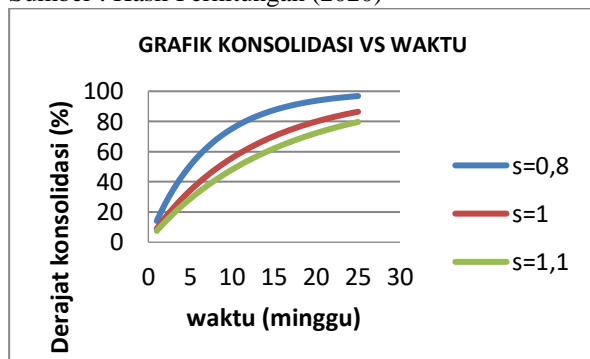
Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi (U) dan Waktu untuk Alternatif PVD Penuh untuk Pola Pemasangan Segitiga.

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Gabunga untuk Pola Pemasangan Segiempat

t Minggu	U rata-rata %		
	S=0,8m	S=1m	S=1,1m
1	14,1	8,9	7,5
2	25,4	16,3	13,5
3	35,2	22,8	19
4	43,6	28,9	24,1
5	50,9	34,4	28,8
6	57,2	39,4	33,2
7	62,7	44,4	37,4
8	67,5	48,3	41,2
9	71,7	52,3	44,8
10	75,3	55,9	48,2
11	78,5	59,3	51,4
12	81,2	62,4	54,3
13	83,6	65,2	57,1
14	85,7	67,8	59,7
15	87,6	70,3	62,1
16	89,1	72,5	64,4
17	90,5	74,6	66,6
18	91,7	76,5	68,6
19	92,8	78,3	70,5
20	93,7	79,9	72,3
21	94,5	81,4	73,9
22	95,2	82,8	75,5
23	95,8	84,1	76,9
24	96,4	85,3	78,4
25	96,8	86,4	79,7

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Derajat Konsolidasi (U) dan Waktu untuk Alternatif PVD Penuh untuk Pola Pemasangan Segiempat dengan Jarak Pemasangan.

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Penimbunan Bertahap

Untuk mencapai tinggi timbunan awal digunakan metode penimbunan secara bertahap.

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan Penimbunan Bertahap

H-final	H-inisial	Kecepatan Penimbunan	Jumlah Tahapan
m	m	m/minggu	
3	4,25	0,5	9
5	6,43	0,5	13
7	8,71	0,5	18

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Perhitungan Peningkatan Kohesi Undrained (Cu)

Perhitungan peningkatan nilai Cu perlu dilakukan untuk menentukan apakah tanah dasar cukup mampu

memikul beban timbunan tahapan selanjutnya dengan nilai Cu yang baru yang diperoleh dari penimbunan sebelumnya. Jika tanah dasar tidak sanggup maka akan dilakukan penundaan untuk beberapa minggu.

Tabel 6. Rekapitulasi Perhitungan Peningkatan nilai Cu untuk H-final 3m

Kedalaman m	Cu lama t/m ²	Cu baru t/m ²	Cu transisi t/m ²
0-1	1,85	2,316	2,083
1-2	1,85	2,466	2,158
2-3	1,85	2,595	2,223
3-4	2,05	2,728	2,389
4-5	2,05	2,849	2,450
5-6	1,95	2,944	2,447
6-7	1,95	3,053	2,501
7-8	1,7	3,108	2,404
8-9	1,7	3,204	2,452
9-10	1,8	3,361	2,580

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Peningkatan nilai Cu untuk H-final 5m

Kedalaman m	Cu lama t/m ²	Cu baru t/m ²	Cu transisi t/m ²
0-1	1,85	3,018	2,434
1-2	1,85	3,164	2,507
2-3	1,85	3,289	2,569
3-4	2,05	3,415	2,733
4-5	2,05	3,530	2,790
5-6	1,95	3,616	2,783
6-7	1,95	3,717	2,833
7-8	1,7	3,763	2,731
8-9	1,7	3,849	2,774
9-10	1,8	3,995	2,898

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 8. Rekapitulasi Perhitungan Peningkatan nilai Cu untuk H-final 7m

Kedalaman	Cu lama	Cu baru	Cu transisi
m	t/m ²	t/m ²	t/m ²
0-1	1,85	3,453	2,652
1-2	1,85	3,6	2,7265
2-3	1,85	3,726	2,788
3-4	2,05	3,854	2,952
4-5	2,05	3,972	3,011
5-6	1,95	4,062	3,006
6-7	1,95	4,167	3,059
7-8	1,7	4,218	2,959
8-9	1,7	4,309	3,055
9-10	1,8	4,462	3,131

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Perencanaan Perkuatan Stabilitas Timbunan Menggunakan Geotekstil

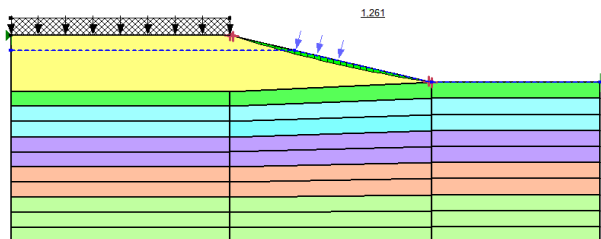
Stabilitas lereng dianalisis menggunakan program *Geostudio* pada penelitian ini meliputi, stabilitas lereng tanpa perkuatan, dan stabilitas lereng dengan perkuatan Geotekstil. Metode yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng adalah *Bishop*

Perhitungan Lereng Tanpa Perkuatan untuk H-final 3m

Tabel 9. Hasil Perhitungan lereng tanpa perkuatan untuk H-final 3m

SF	Circle centre		Radius	Mres	Md	ΔMR
	x	y	m	kNm	kNm	kNm
1,3	37,5	86,5	77,53	812	644	25

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)



Gambar 6. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan *Geostudio 2012* untuk H-final 3m

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Pada perhitungan ini nilai SF lebih dari 1 maka perkuatan tidak perlu di tambahkan untuk H-final Timbunan 3m.

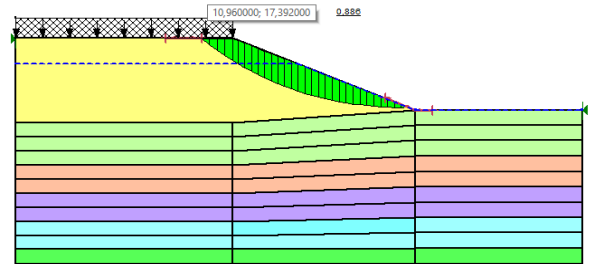
Perhitungan Perkuatan Stabilitas Timbunan untuk H-final 5m

Perhitungan Lereng tanpa perkuatan dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan jumlah perkuatan yang paling banyak, pada analisis ini percobaan dilakukan hingga 5 kali percobaan.

Tabel 10. Hasil perhitungan lereng tanpa perkuatan untuk H-final 5m

SF	Circle centre		Radius	Mres	Md	ΔMR
	x	y	m	kNm	kNm	kNm
0,711	24,7	27,2	17,21	755,4	1062,1	625,3

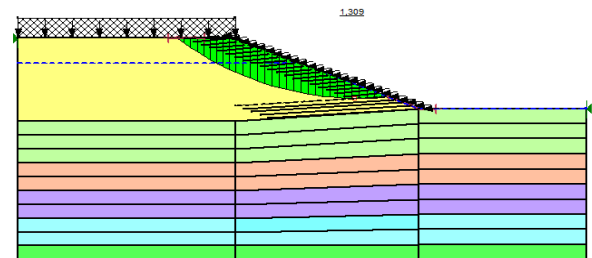
Sumber : Hasil Perhitungan (2020)



Gambar 7. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan *Geostudio 2012* untuk H-final 5m

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Pada perhitungan ini nilai SF kurang dari 1 maka perlu di tambahkan perkuatan *Geotextile* untuk memperkuat stabilitas timbunan. Hasil penambahan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil analisis stabilitas dengan perkuatan *Geotextile* lereng menggunakan *Geostudio 2012* pada H-final 5m.

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

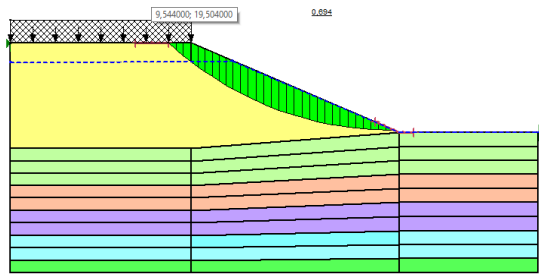
Perhitungan Perkuatan Stabilitas Timbunan untuk H-final 7m

Perhitungan lereng tanpa perkuatan pada H-final 7m juga dilakukan sebanyak 5 kali untuk mendapatkan jumlah perkuatan yang paling banyak

Tabel 11. Hasil Perhitungan Lereng tanpa perkuatan untuk H-final 7m

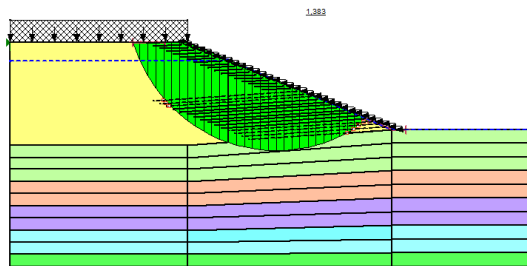
SF	Circle centre		Radius	Mres	Md	ΔMR
	x	y	m	kNm	kNm	kNm
0,694	27,4	33,9	23,7	288,7	4162,4	5122

Sumber : Hasil Perhitungan (2020)



Gambar 9. Hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan *Geostudio 2012* untuk H-final 7m
Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

Pada perhitungan ini nilai SF kurang dari 1 maka perlu di tambahkan perkuatan *Geotextile* untuk memperkuat stabilitas timbunan. Hasil penambahan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil analisis stabilitas dengan perkuatan *Geotextile* lereng menggunakan *Geostudio 2012* pada H-final 7m.
Sumber : Hasil Perhitungan (2020)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Besar pemampatan yang harus dihilangkan sebelum pembangunan dimulai adalah 2,933 m akibat beban timbunan $q=37 \text{ t/m}^2$. Waktu tersingkat yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% ($U=90\%$) adalah 67,93911 tahun. Waktu tersebut sangat lama sehingga dibutuhkan perencanaan *prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk percepatan waktu konsolidasi.
2. Tinggi timbunan awal yang dibutuhkan untuk H final 3m adalah 4,25m, pada H final 5m tinggi timbunan awal yang dibutuhkan adalah 6,43m, dan untuk H final 7m tinggi timbunan awal yang dibutuhkan adalah 8,61m. Pola pemasangan PVD yang memberikan perencanaan paling optimum dan ekonomis adalah pola segitiga dengan jarak pemasangan 1m. Dengan kecepatan penimbunan 0,5m/minggu didapatkan waktu yang dibutuhkan untuk penimbunan bertahap adalah 18 minggu. Dan didapatkan peningkatan nilai C_u rata-rata sebesar 2 kali lipat dari C_u lama.
3. Jenis perkuatan timbunan yang digunakan adalah Geotekstil, untuk tinggi timbunan 3m tidak perlu dipasang perkuatan karena nilai SF lebih dari 1, sedangkan untuk tinggi timbunan 5m jumlah perkuatan yang harus dipasang adalah 3 lapis dan

tinggi timbunan 7m jumlah geotekstil yang dibutuhkan sebanyak 13 lapis dengan jarak vertikal geotekstil adalah 0,2m.

Saran

1. Membandingkan dengan jenis perkuatan lain, misalnya dinding penahan tanah (*retaining wall*), soil nailing, dan lain-lain.
2. Membandingkan hasil penelitian dengan menggunakan software lain seperti Plaxis atau lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, dkk (2017), "Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar dan Perkuatan Stabilitas Timbunan Jalan Tol Pasuruan-Grati STA 30+100 s.d STA 31+500". *ejurnal.its.ac.id* (diakses pada 21 Juli 2019)
- Ardana, Made D dan Mochtar. (1999). "Pengaruh Tegangan Overburden Efektif dan Plastisitas Tanah Terhadap Kekuatan Geser Undrained Tanah Lempung Berkonsistensi Sangan Lunak Sampai Kaku yang Terkonsolidasi Normal. Surabaya". Thesis Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS
- Arif, Isnaniati (2014), "Perencanaan Perbaikan Tanah Metode Preloading Dikombinasikan dengan PVD (Studi Kasus Pengembangan Terminal Peti Kemas Belawan-Medan)", Universitas Muhammadiyah Surabaya
- Das, Braja M.c1993 *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Erlangga, Jakarta
- Das, Braja M. (1985) *Mekanika Tanah I*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Jakarta: Erlangga
- Das, Braja M. (1986) *Principles of Foundation Engineering. Second edition. United State* : PWA-KENT Publishing
- Das, Braja M. (1988). *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1*. Diterjemakan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga
- Das, Braja M. (1988). *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 2*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Michael. (2017). "Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan *Preloading* dan PVD dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Proyek Jalan Bebas Hambatan Medan-Kualanamu KM 36+100)". *Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Surabaya: *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

- Mochtar, Indrasurya B. (2000). "Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan Pada Tanah Bermasalah (*problematic Soils*)". Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS
- Mochtar, Noor Endah. (2012). *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS