

Studi Analisis Penyebab Kelongsoran Timbunan Dan Perencanaan Perkuatan Pada Ruas Jalan Tol Surabaya – Mojokerto STA 14+500 S.D. STA 15+350

* Rohmahillah Aviskanasya Septiandri¹, Noor Endah Mochtar², Trihanyndio Rendy Satrya³, Syaripin⁴, Ahmad Farid Ardiansyah⁵

^{1,4,5} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No. 37 – Kampus Bumi Tegal Boto Kotak Pos 159 Jember

^{2,3} Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Jawa Timur

^{*)} rohmahillah.teknik@unej.ac.id

Abstract

The Surabaya-Mojokerto toll road connects the cities of Surabaya and Mojokerto. In addition to the uneven topography, the road was built on a fill embankment with a height of 10 meters. At STA 14+500 to STA 15+350, the thickness of the soft soil layer reaches 9 meters. This is likely the cause of the instability observed when the embankment was 3 months old and stood at a height of 8 meters, which is still below the planned height of the embankment. Therefore, it is necessary to evaluate the causes of the instability and explore alternative solutions to prevent future occurrences.

Field observations and secondary data reveal that there were no reinforcements or the installation of Prefabricated Vertical Drains (PVDs) beneath the embankment. This observation is supported by stability analysis results using the XSTBL program, which yield Safety Factor (SF) values ranging from 0.887 to 1.157. These safety factors indicate that the embankment is unstable, meaning the bearing capacity of the soil beneath the embankment is insufficient to support the load of 8 meters, resulting in the observed instability.

To address this issue, a reinforcement system for the embankment is needed, which includes the installation of geotextile and spunpiles in the soil foundation beneath the embankment. In the design calculations, it is important to account for the increase in bearing capacity due to the compaction that has occurred over the 3 months by the existing 8-meter embankment.

The designs of both reinforcement alternatives are then evaluated to determine the most efficient solution. Of the two alternatives, the installation of spunpiles in the soil foundation was selected. The spunpiles, with a diameter of 30 cm and spacing of 6 meters, will require 38 spunpiles per meter of road length. The total material cost for both sides amounts to Rp 79,853,109,750.

Keywords: Strengthening of Stockpile Stability, Basic Soil Improvement, Geotextile, Spunpile, Surabaya - Mojokerto Toll.

Abstrak

Jalan tol Surabaya - Mojokerto merupakan jalan tol yang menghubungkan Kota Surabaya dan Kota Mojokerto. Selain kondisi topografi yang tidak rata, jalan tol Surabaya - Mojokerto juga dibangun di atas timbunan setinggi 10 meter. Pada STA 14+500 s.d STA 15+350 diketahui ketebalan lapisan tanah lunak mencapai 9 meter; hal ini kemungkinan menjadi penyebab terjadinya kelongsoran pada saat umur timbunan mencapai 3 bulan dengan ketinggian 8 meter dimana masih kurang dari tinggi timbunan rencana. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi penyebab kelongsoran dan alternatif perbaikannya agar kelongsoran tidak terjadi lagi pada ruas jalan tol tersebut.

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan data sekunder diketahui bahwa tidak ada perkuatan dan pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dibawah timbunan. Hal ini diperkuat dengan hasil analisis stabilitas lereng yang dilakukan menggunakan program bantu XSTBL diperoleh nilai SF 0,887 s/d 1,157. Angka keamanan ini menunjukkan bahwa timbunan tersebut tidak stabil, dengan kata lain daya dukung tanah dibawah timbunan tidak mencukupi untuk menahan beban setinggi 8 meter sehingga terjadi kelongsoran. Oleh karena itu, perlu direncanakan sistem perkuatan timbunan dengan pemasangan *geotextile* dan pemasangan *spunpile* pada tanah dasar dibawah timbunan. Untuk perhitungannya, perlu diperhatikan kenaikan daya dukung akibat pemampatan yang telah terjadi selama 3 bulan oleh timbunan eksisting setinggi 8 meter. Hasil perencanaan kedua alternatif tersebut kemudian dievaluasi untuk mendapatkan perencanaan yang paling efisien. Dari kedua alternatif yang telah direncanakan, pemasangan *spunpile* pada tanah dasar merupakan alternatif terpilih dengan $d = 30$ cm dan $p = 6$ m, diperlukan 38 buah *spunpile*/m panjang jalan; total biaya material sisi kanan kiri adalah Rp 79.853.109.750.

Kata Kunci: Perkuatan Stabilitas Timbunan, Perbaikan Tanah Dasar, *Geotextile*, *Spunpile*, Tol Surabaya – Mojokerto.

LATAR BELAKANG

Kurangnya ketersediaan lahan memerlukan upaya peningkatan lahan yang ada tanpa harus memedulikan kondisi tanah yang bersangkutan. Apabila tanah yang tersedia adalah tanah lembek maka harus ditingkatkan daya dukungnya dan dihilangkan pemampatannya agar mampu memikul beban yang ada diatasnya. Peningkatan daya dukung dapat dilakukan dengan memasang perkuatan pada tanah dasar atau pada timbunannya, sedangkan pemampatan yang besar dapat dihilangkan dengan metode *preloading*. Bilamana hal

tersebut tidak dilakukan maka kegagalan konstruksi dapat terjadi. Kasus seperti diatas telah terjadi pada timbunan jalan tol Surabaya – Mojokerto STA 15+350 yang dibangun diatas tanah lunak dengan ketebalan mencapai 8 meter. Kelongsoran terjadi pada saat timbunan berumur 3 bulan dan tinggi timbunan mencapai 8 meter; tinggi timbunan rencana adalah 10 meter. Berdasarkan MDPJ (Manual Desain Perkerasan Jalan) tahun 2017, pada tinggi timbunan lebih dari 2 meter kemiringan timbunannya tidak boleh kurang dari 1V:3H. Jika tinggi timbunan kurang dari 2 meter maka kemiringan 1V:2H dapat diterima atas persetujuan Direksi Pekerjaan. Oleh karena itu, untuk tetap

menggunakan kemiringan 1V:2H pada tinggi timbunan > 3 m maka perlu dilakukan analisis stabilitas timbunan oleh tenaga ahli geoteknik. Analisis stabilitas timbunan nantinya akan menghasilkan perkuatan yang diaplikasikan pada timbunan. Sedangkan, saat dilakukan pengamatan di lapangan tidak terdapat perkuatan tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah dan tidak ditemukan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*). Penggunaan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) merupakan salah satu metode perbaikan tanah untuk mempercepat proses konsolidasi. (Prasetyo dan Prihatiningsih, 2020).

Dalam rangka menangani kelongsoran yang telah terjadi maka perlu direncanakan perkuatan untuk meningkatkan daya dukung. Perkuatan timbunan dapat dilakukan dengan pemasangan *geotextile* dan *spunpile*. Penggunaan *geotextile* yang paling umum selain sebagai perkuatan tanah timbunan yaitu sebagai stabilisasi tanah dasar (Ndale, 2018). Hasil analisis stabilitas timbunan setelah terjadinya kelongsoran dijadikan acuan dalam perhitungan untuk mengetahui berapa banyak kebutuhan perkuatan, misalnya berapa lembar kebutuhan *geotextile* untuk meningkatkan stabilitas pada suatu tanah timbunan. Parameter yang mempengaruhi hasil pemasangan *geotextile* sebagai bahan perkuatan pada tanah adalah jumlah lembar atau lapis *geotextile* yang digunakan (Isbusandi dkk., 2018). Pemasangan *geotextile* sendiri juga merupakan alternatif yang sangat tepat untuk mengatasi kelongsoran yang terjadi dan sebagai filtrasi (Azizah dkk., 2014). Selain itu pada beberapa kasus di lapangan, material *geotextile* digunakan sebagai separator sehingga pada saat pekerjaan penimbunan badan jalan tidak terjadi pencampuran material tanah dasar yang berbutir halus dengan material timbunan yang berbutir kasar (Lubis, 2019). Penelitian mengenai kenaikan nilai SF (*safety factor*) untuk menunjukkan stabilitas akibat pengaruh pemasangan *geotextile* juga sudah banyak dilakukan salah satunya menggunakan program bantu Plaxis 2D, hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya penggunaan *geotextile* penurunan yang terjadi pada timbunan dengan perkuatan *geotextile* semakin kecil dan nilai angka keamanan (*safety factor*) yang diperoleh melebihi batas minimum nilai angka keamanan (*safety factor*) izin (Tay, 2014).

Penggunaan *spunpile* cukup efektif sebagai metode alternatif perkuatan stabilitas lereng maupun perkuatan embankment jalan. Pada embankment jalan, *spunpile* digunakan sebagai bahan yang kaku berfungsi untuk menaikkan stabilitas tanah. Adanya *spunpile* di bawah timbunan jalan dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar dan mengurangi penurunan yang akan terjadi. Hal ini karena *spunpile* dapat menghasilkan hambatan terhadap keruntuhan geser. Sebagai perkuatan lereng, *spunpile* sangat efektif berfungsi sebagai pasak/tulangan yang dapat memotong bidang kelongsoran lereng. Jadi, *spunpile* dapat memberikan tambahan gaya geser pada lereng dan mampu melawan gaya geser longsor yang terjadi. Tambahan gaya geser yang dihasilkan oleh *spunpile* tersebut dapat meningkatkan angka keamanan (*safety factor*) stabilitas lereng (Rusdiansyah dkk., 2015).

Dalam perencanaan kedua alternatif perkuatan tersebut perlu diperhatikan dimana perkuatan harus diletakkan mengikat sudah ada tanah timbunan setinggi 8

meter di atasnya. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan direncanakan perkuatan tanah yang efektif dengan memerhatikan kondisi eksisting di lapangan untuk mencegah terjadinya kelongsoran badan jalan tol Surabaya – Mojokerto STA 14+500 – STA 15+350 di masa yang akan datang.

METODOLOGI

Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap pertama dalam penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Pengambilan data sekunder dilakukan secara langsung di Jasamarga Surabaya Mojokerto. Adapun data – data yang didapatkan sebagai berikut:

1. Data umum proyek
2. Data pengujian tanah sebelum longsor di lapangan (Bor Log dan Sondir)
3. Data pengujian tanah sebelum longsor di laboratorium (parameter fisis dan mekanis tanah)
4. Potongan memanjang dan potongan melintang
5. Kondisi eksisting
6. Kondisi longsor pada ruas jalan

Studi Literatur

Dalam menganalisis dan menyelesaikan permasalahan tersebut perlu adanya tahapan studi literatur untuk mendukung pemahaman melalui bahan studi yang ada sehingga permasalahan dapat diselesaikan dengan tepat. Adapun bahan studi yang akan dipakai dalam analisis penyebab dan perencanaan perbaikan kelongsoran ini adalah:

1. Analisis data tanah
2. Studi literatur mengenai analisis data tanah sebelum dan sesudah pemampatan terjadi
3. Analisis stabilitas timbunan
4. Studi literatur mengenai stabilitas timbunan sebelum dan sesudah adanya perkuatan
5. Metode perkuatan timbunan dan perbaikan tanah
6. Studi literatur mengenai konsep dan perhitungan perkuatan timbunan yang akan dipakai dalam penyelesaian masalah (hasil perbandingan perkuatan *geotextile* dan *spunpile*)

Analisis Data Tanah Kondisi Sebelum Longsor

Analisis data tanah meliputi penggambaran profil melintang masing – masing lapisan tanah (statigrafi) menentukan perubahan parameter tanah setelah terjadinya longsor. Hasil analisis data tanah ini merupakan parameter yang akan digunakan dalam proses perencanaan perkuatan untuk meningkatkan daya dukung tanah.

Analisis Penyebab Kelongsoran

Berdasarkan data sekunder dan pengamatan di lapangan dapat dilakukan analisis penyebab kelongsoran. Data sekunder yang didapatkan dimodelkan menggunakan program bantu XSTBL sehingga akan didapatkan nilai SF (*safety factor*). Nilai SF (*safety factor*) digunakan sebagai dasar analisis untuk menentukan penyebab kelongsoran.

Pada tahap ini juga didapatkan perubahan parameter tanah setelah terjadinya longsor.

Perencanaan Perkuatan dan Penentuan Alternatif Terpilih

Perencanaan perkuatan dilakukan berdasarkan hasil analisis penyebab kelongsoran serta melihat kondisi di lapangan. Alternatif yang memungkinkan untuk diterapkan adalah:

1. Perkuatan timbunan dengan *geotextile*
 - Merencanakan jumlah lembar *geotextile*
 - Menghitung panjang *geotextile* yang dibutuhkan
2. Perkuatan tanah dasar dengan *spunpile*
 - Merencanakan kedalaman tiang
 - Merencanakan diameter tiang
 - Menghitung banyaknya tiang

Kedua alternatif tersebut harus dilakukan pengecekan stabilitas. Selanjutnya, perhitungan volume dan biaya material dilakukan hingga didapatkan alternatif yang paling efisien diantara keduanya.

Diagram alir untuk pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Perencanaan

Data Tanah Dasar Sebelum Longsor

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data tanah yang didapatkan hanya nilai N-SPT. Oleh karena itu untuk parameter lain dapat dicari menggunakan statistik distribusi. Contoh hasil pengolahan data tanah sebelum longsor dapat dilihat pada **Tabel 1**, **Tabel 2**, dan **Tabel 3**.

Tabel 1. Rekapitulasi data tanah STA 15+300 sebelum longsor

Kedalaman (meter)	Borlog N-SPT	Konsistensi Tanah	γ t/m ³	e_0	Gs	w_c %
0	0	Soft	1,630	1,424	2,55	53,90
0,5	2,5	Soft	1,630	1,424	2,55	53,90
1	2,5	Soft	1,630	1,424	2,55	53,90
1,5	2,5	Soft	1,630	1,424	2,55	53,90
2	3	Soft	1,630	1,424	2,55	53,90
2,5	3	Soft	1,630	1,424	2,55	53,90
3	4	Soft	1,630	1,424	2,55	53,90
3,5	5	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
4	5	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
4,5	6	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
5	7	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
5,5	7	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
6	7	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
6,5	8	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
7	8	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
7,5	8	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
8	9	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
8,5	9	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
9	9	Medium	1,670	1,244	2,55	46,92
9,5	11	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
10	11	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
10,5	12	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00

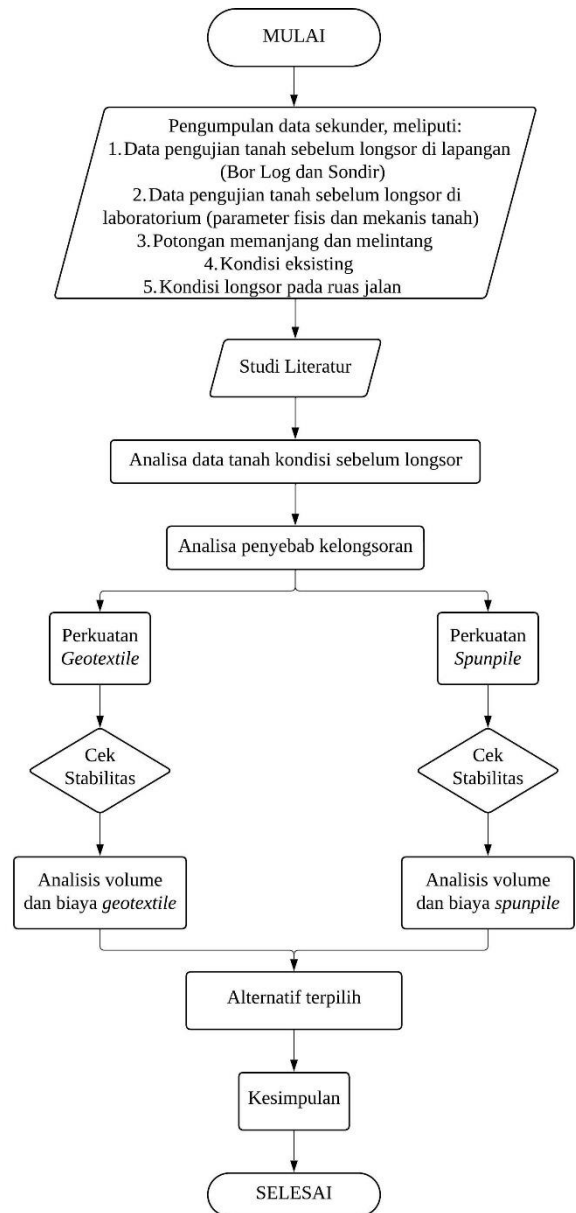
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2020)

Tabel 2. Rekapitulasi data tanah STA 15+300 sebelum longsor (*Lanjutan*)

Kedalaman (meter)	Borlog N-SPT	Konsistensi Tanah	γ t/m ³	e_0	Gs	w_c %
11	12	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
11,5	13	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
12	14	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00

12,5	14	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
13	14	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
13,5	14	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
14	15	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
14,5	16	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
15	17	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
15,5	17	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
16	18	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
16,5	18	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
17	18	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
17,5	18	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
18	19	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
18,5	19	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
19	19	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00
19,5	20	Stiff	1,690	1,280	2,54	50,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2020)



Gambar 1. Diagram Alir
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Tabel 3. Rekapitulasi data tanah STA 15+300 sebelum longsor (*Lanjutan*)

Kedalaman (meter)	Borlog N-SPT	LL	C _c	C _s	IP	c kg/cm ²	φ
0	0	69,36	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
0,5	2,5	69,36	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
1	2,5	69,36	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
1,5	2,5	69,36	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
2	3	69,36	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
2,5	3	69,36	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
3	4	69,36	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
3,5	5	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
4	5	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
4,5	6	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
5	7	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
5,5	7	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
6	7	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
6,5	8	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
7	8	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
7,5	8	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
8	9	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
8,5	9	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
9	9	73,94	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
9,5	11	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
10	11	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
10,5	12	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
11	12	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
11,5	13	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
12	14	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
12,5	14	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
13	14	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
13,5	14	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
14	15	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
14,5	16	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
15	17	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
15,5	17	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
16	18	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
16,5	18	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
17	18	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
17,5	18	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
18	19	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
18,5	19	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
19	19	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00
19,5	20	90,00	0,29	0,11	60,00	0,73	9,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2020)

Keterangan:

- γ = Berat volume tanah (t/m³)
- e₀ = Angka pori
- G_s = *Spesific gravity*
- w_c = Kadar air (%)
- LL = *Liquid limit*
- C_c = Koefisien pemampatan
- C_s = Koefisien pengembangan
- IP = *Plasticity index*
- c = Kohesi (kg/cm²)
- φ = Sudut geser (°)
- γ_{baru} = Berat volume tanah setelah 3 bulan akibat timbunan 8 meter/setelah longsor (t/m³)
- e₀ baru = Angka pori setelah 3 bulan akibat timbunan 8 meter/setelah longsor
- w_c baru = Kadar air setelah 3 bulan akibat timbunan 8 meter/setelah longsor (%)
- S_c = *Consolidation settlement/pemampatan konsolidasi* (m)

Data Tanah Dasar Setelah Longsor

Data tanah setelah longsor didapatkan dari perubahan parameter akibat timbunan 8 meter selama 3 bulan. Rekapitulasi data tanah setelah longsor dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**. Data tersebut yang nantinya akan digunakan untuk pengecekan stabilitas apabila ada tambahan timbunan setinggi 2 meter untuk mencapai timbunan rencana 10 meter serta digunakan untuk merencanakan perkuatan. Adanya pemampatan tanah

berpengaruh terhadap perubahan parameter terutama angka pori baru (e₀) dan berat volume (γ).

- Perhitungan perubahan angka pori baru (e₀)
Contoh perhitungan untuk kedalaman 0-1 m:
e₀ = 1,424
S_c = ΔH = 0,028 m
H = 1 meter
ΔH/H = 0,028
Δe = (1+e) x (ΔH/H)
= (1+1,42) x (0,028)
= 0,068
e₀ baru = e₀ - Δe
= 1,424 - 0,068
= 1,356

Hasil perubahan angka pori (e₀) tiap kedalaman ditabelkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perubahan Angka Pori (e₀)

No.	Kedalaman (m)	z (m)	e ₀	S _c (m)	ΔH/H (m)	Δe	e ₀ baru
1	0-1	0,5	1,424	0,028	0,028	0,068	1,356
2	1-2	1,5	1,424	0,023	0,023	0,055	1,368
3	2-3	2,5	1,424	0,020	0,020	0,048	1,375
4	3-4	3,5	1,244	0,016	0,016	0,037	1,207
5	4-5	4,5	1,244	0,015	0,015	0,033	1,210
6	5-6	5,5	1,244	0,014	0,014	0,031	1,213
7	6-7	6,5	1,244	0,013	0,013	0,029	1,215
8	7-8	7,5	1,244	0,012	0,012	0,027	1,217
9	8-9	8,5	1,244	0,011	0,011	0,025	1,219

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2020)

$$e_{0 \text{ lama}} = \frac{\text{jumlah total } e_{0 \text{ lama}}}{\text{banyaknya data}} = \frac{11,736}{9} = 1,304$$

$$e_{0 \text{ baru}} = \frac{\text{jumlah total } e_{0 \text{ baru}}}{\text{banyaknya data}} = \frac{11,38}{9} = 1,264$$

$$\% = \frac{|e_{0 \text{ baru}} - e_{0 \text{ lama}}|}{e_{0 \text{ lama}}} \times 100\%$$

$$= \frac{|1,264 - 1,304|}{1,304} \times 100\%$$

$$= 3,067\% = 3\%$$

Maka, perubahan rata - rata paramater e₀ untuk tanah *compressible* cenderung mengalami penurunan sebesar 3%.

- Perhitungan perubahan berat volume (γ)
Contoh perhitungan untuk kedalaman 0-1 m:
γ = 1,630 t/m³
w_c = 53,90%
G_s = 2,55
e₀ baru = 1,356
w_c baru = e₀ baru / G_s
= 1,356/2,55
= 53,21%
γ_{baru} = ((G_s (1 + w_c baru)) / (1 + e₀ baru)) x γ_w
= ((2,55(1 + 53,21)) / (1 + 1,356)) x 1
= 1,657 (t/m³)

Hasil perubahan berat volume (γ) tiap kedalaman ditabelkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perubahan Berat Volume

No.	Kedalaman (m)	z (m)	γ (t/m ³)	w_c (%)	Gs	e_0 baru	w_c (baru) (%)	γ_{baru} (t/m ³)
1	0-1	0,5	1,630	53,90	2,55	1,356	53,21	1,657
2	1-2	1,5	1,630	53,90	2,55	1,368	53,70	1,654
3	2-3	2,5	1,630	53,90	2,55	1,375	53,97	1,652
4	3-4	3,5	1,670	46,92	2,55	1,207	47,38	1,701
5	4-5	4,5	1,670	46,92	2,55	1,210	47,51	1,700
6	5-6	5,5	1,670	46,92	2,55	1,213	47,61	1,699
7	6-7	6,5	1,670	46,92	2,55	1,215	47,70	1,699
8	7-8	7,5	1,670	46,92	2,55	1,217	47,77	1,698
9	8-9	8,5	1,670	46,92	2,55	1,219	47,84	1,698

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2020)

$$\bar{\gamma}_{lama} = \frac{\text{jumlah total } \gamma \text{ lama}}{\text{banyaknya data}} = \frac{14,91}{9} = 1,657$$

$$\bar{\gamma}_{baru} = \frac{\text{jumlah total } \gamma \text{ baru}}{\text{banyaknya data}} = \frac{15,168}{9} = 1,685$$

$$\% = \frac{|\bar{\gamma}_{baru} - \bar{\gamma}_{lama}|}{\bar{\gamma}_{lama}} \times 100\%$$

$$= \frac{|1,685 - 1,656|}{1,656} \times 100\%$$

$$= 1,751\% = 2\%$$

Maka, perubahan rata – rata paramater γ untuk tanah *compressible* cenderung mengalami kenaikan sebesar 2%.

Tabel 6. Rekapitulasi data tanah STA 15+300 setelah longsor

No	Kedalaman (m)	z (m)	γ t/cm ³	e_0	Gs	w_c %	LL
1	0-1	0,5	1,657	1,356	2,55	53,90	69,36
2	1-2	1,5	1,654	1,368	2,55	53,90	69,36
3	2-3	2,5	1,652	1,375	2,55	53,90	69,36
4	3-4	3,5	1,701	1,207	2,55	53,90	69,36
5	4-5	4,5	1,700	1,210	2,55	46,92	73,94
6	5-6	5,5	1,699	1,213	2,55	46,92	73,94
7	6-7	6,5	1,699	1,215	2,55	46,92	73,94
8	7-8	7,5	1,698	1,217	2,55	46,92	73,94
9	8-9	8,5	1,698	1,219	2,55	46,92	73,94

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2020)

Tabel 7. Rekapitulasi data tanah STA 15+300 setelah longsor (*Lanjutan*)

No	Kedalaman (m)	z (m)	C_c	C_s	IP	c kg/cm ²	ϕ
1	0-1	0,5	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
2	1-2	1,5	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
3	2-3	2,5	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
4	3-4	3,5	0,37	0,12	38,94	0,23	9,50
5	4-5	4,5	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
6	5-6	5,5	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
7	6-7	6,5	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
8	7-8	7,5	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50
9	8-9	8,5	0,32	0,11	45,47	0,55	8,50

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2020)

Data Tanah Timbunan

Sifat fisik tanah timbunan:

$c = 0$
 $\gamma_{sat} = 2,155 \text{ t/m}^3$
 $\phi = 38,29^\circ$

Timbunan rencana pada STA 15+350 adalah 10 meter, sedangkan kelongsoran terjadi pada ketinggian 8 meter setelah 3 bulan penimbunan dilaksanakan.

Data Spesifikasi Bahan

• **Geotextile**

Pada penelitian ini digunakan *geotextile* dengan spesifikasi Geotextile Unwoven 250 (UW-250) yang memiliki nilai *tensile strength* sebesar 52/52 kNm.

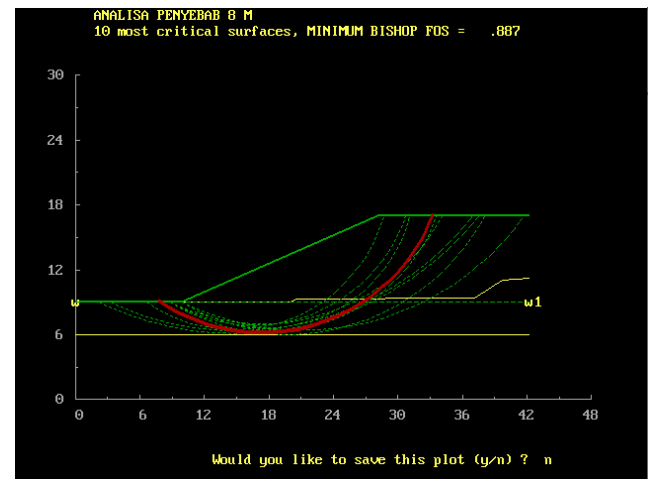
• **Spunpile**

Dalam pengerjaan penelitian ini direncanakan perkuatan *spunpile* Prestressed Concrete Piles $f'c = 52 \text{ MPa}$ diameter 300 mm (*class C*) dengan momen *crack* sebesar 4 t.m.

Penyebab Kelongsoran dan Rate of Settlement

Penyebab Kelongsoran

Cek *overall stability* dilakukan dengan menggunakan program bantu XSTBL. Pengecekan tersebut menggunakan parameter tanah sebelum longsor dengan ketinggian timbunan 8 meter untuk mengetahui SF (*safety factor*) dan garis kelongsoran. Hasil analisis stabilitas dapat dilihat pada **Tabel 8**.



Gambar 2. Hasil Analisis Stabilitas STA 15+350 untuk tinggi timbunan 8 m dengan Program Bantu XSTABL
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Tabel 8. Hasil Analisis Stabilitas STA 15+350 untuk tinggi timbunan 8 m dengan Program Bantu XSTABL

No	SF	Pusat		R m	Initial	Terminal	Mresistance kN.m
		x	y		x m	x m	
1	0,887	17,32	23	16,94	7,78	33,16	1,144,E+04
2	0,91	19,66	26,96	20,94	8,89	38,07	1,634,E+04
3	0,93	18,6	22,41	15,93	10	33,57	1,049,E+04
4	0,947	17,72	20,5	13,86	10	31,12	8,148,E+03
5	1,008	14,8	20,92	14,43	6,67	28,68	8,112,E+03
6	1,016	16,57	21,84	14,96	8,89	30,72	9,239,E+03
7	1,066	21,14	31,78	25,36	10	41,74	2,307,E+04
8	1,099	17,36	26,08	19,07	8,89	34,12	1,471,E+04
9	1,135	14,85	35,39	29,25	2,22	37,6	2,947,E+04
10	1,157	15,11	34,14	27,76	3,33	36,95	2,724,E+04

Sumber: Hasil Analisis Data (2020)

Keterangan:

SF = Safety factor/Angka keamanan

R = Jari – jari bidang kelongsoran

M_{resistance} = Momen perlawanan

Dari analisis stabilitas lereng diperoleh bahwa harga SF adalah 0,887 s/d 1,157. Pada **Gambar 8** juga dapat dilihat garis kelongsoran yang terbentuk untuk SF 0,887. Angka keamanan ini menunjukkan bahwa timbunan tersebut tidak stabil karena $< SF_{rencana} = 1,5$, dengan kata lain daya dukung tanah dibawah timbunan tidak mencukupi untuk menahan beban setinggi 8 meter sehingga terjadi kelongsoran. H_{cr} puncture yang didapatkan adalah 6 meter dengan SF = 1.014 > 1 dimana menunjukkan bahwa tanah dasar dalam kondisi kritis hanya mampu menahan beban timbunan setinggi 6 meter.

Rate of Settlement Akibat Timbunan 8 meter dan Timbunan Tambahan 2 meter

- Besar Pemampatan Tanah Dasar Akibat Beban 8 meter dan Besar Pemampatan Akibat Timbunan 8 meter Setelah 3 Bulan

Perhitungan pemampatan konsolidasi primer (*primary settlement*) yang terjadi dapat menggunakan persamaan.

$$S_c = \left[\frac{H_i}{1 + e_0} \left[C_s \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} \right) + C_c \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \right] \right] \quad (1)$$

Keterangan:

S_c = Besar pemampatan yang terjadi (m)

C_c = Indeks pemampatan (*compression index*)

C_s = Indeks pemuaiian (*swelling index*)

e₀ = Angka pori

σ'_o = Tegangan overburden efektif (t/m²)

Δσ = Penambahan beban vertikal (beban luar) (t/m²)

σ'_c = tegangan prakonsolidasi (t/m²)

Hasil pemampatan tiap kedalaman diakumulasikan sehingga didapatkan hasil pemampatan akibat timbunan 8 meter adalah 1,029 m seperti pada **Tabel 9**.

Besarnya pemampatan akibat timbunan 8 m selama 3 bulan didapatkan dengan mengalikan S_c tak hingga dengan U% selama 3 bulan pada tanah yang *compressible* yaitu sampai kedalaman 9 meter. Derajat konsolidasi (U%) didapatkan dengan menggunakan persamaan.

$$U = 2 \times \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

U = Derajat konsolidasi (%)

T_v = Faktor waktu

Setelah mendapatkan U% sebesar 14,708% untuk t = 3 bulan maka pemampatan akibat timbunan 8 meter selama 3 bulan adalah:

$$\begin{aligned} S_{c \text{ 3 bulan, 8 meter timbunan}} &= S_{c \text{ tak hingga, 8 meter timbunan}} \times U\% \\ &= 0,190 \times 14,708\% \\ &= 0,028 \text{ meter} \end{aligned}$$

Besar pemampatan akibat timbunan 8 meter selama 3 bulan dilakukan pada setiap kedalaman. Sehingga didapatkan hasil pemampatan yang telah terjadi selama 3 bulan adalah 0,151 m. Rekapitulasi besar pemampatan tanah dasar akibat beban 8 meter (S_c tak hingga timbunan 8 m) dan besar pemampatan akibat timbunan 8 meter selama

3 bulan (S_c 3 bulan timbunan 8 m) dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Besar Pemampatan Tanah Dasar Akibat Beban 8 meter dan besar Pemampatan Akibat Timbunan 8 meter selama 3 bulan

No	Kedalaman (m)	S _c tak hingga timbunan 8 m	S _c kum tak hingga timbunan 8 m	U%	S _c 3 bulan timbunan 8 m	S _c kum 3 bulan timbunan 8 m
		(m)	(m)		(m)	(m)
1	0-1	0,190	0,190	14,708	0,028	0,028
2	1-2	0,155	0,345		0,023	0,051
3	2-3	0,136	0,481		0,020	0,071
4	3-4	0,111	0,592		0,016	0,087
5	4-5	0,101	0,693		0,015	0,102
6	5-6	0,093	0,786		0,014	0,116
7	6-7	0,087	0,873		0,013	0,128
8	7-8	0,081	0,954		0,012	0,140
9	8-9	0,076	1,029		0,011	0,151

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

- Besar Pemampatan Tanah Dasar Akibat Timbunan 2 meter

Tinggi timbunan rencana Jalan Tol Surabaya-Mojokerto pada STA 15+350 adalah 10 meter. Sampai terjadinya kelongsoran penimbunan yang telah dilakukan adalah 8 meter. Sisa penimbunan yang belum dilakukan untuk mencapai H_{rencana/final} adalah 2 meter. Perhitungan pemampatan akibat penimbunan 2 meter dapat menggunakan **Persamaan 1**, hal ini ditujukan untuk mengetahui besar pemampatan tanah dasar akibat H_{rencana/final} 10 meter setelah terjadinya kelongsoran (penimbunan 8 meter selama 3 bulan) dengan menggunakan parameter tanah setelah terjadinya pemampatan selama 3 bulan/terjadinya longsor seperti pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**. Hasil pemampatan tiap kedalaman diakumulasikan dan didapatkan total pemampatan akibat timbunan tambahan 2 meter adalah 0,184 m seperti pada **Tabel 10**.

- Besar Sisa Pemampatan Tanah Dasar Akibat Timbunan 8 meter

S_c sisa akibat timbunan 8 meter setelah kelongsoran didapatkan sebagai berikut (kedalaman 0-1 meter):

$$\begin{aligned} S_{c \text{ sisa}} &= S_{c \text{ total}} \text{ akibat timbunan 8 meter timbunan} - S_{c \text{ akibat timbunan 8 meter selama 3 bulan}} \\ &= 0,190 \text{ meter} - 0,028 \text{ meter} = 0,162 \text{ meter} \end{aligned}$$

Sisa pemampatan tiap kedalaman dilakukan dengan cara yang sama dan diakumulasikan untuk mendapatkan S_c sisa kumulatif yang terjadi setelah kelongsoran (**Tabel 10**)

Tabel 10. Pemampatan sisa (S_c sisa) akibat timbunan 8 meter setelah kelongsoran dan S_c akibat Timbunan 2 meter

No	Tebal Lapisan		S_c	
	Kedalaman		H = 8 m (S_c sisa selama 3 bln)	H = 2 m
	(m)	(m)		
1	0-1	1	0,162	0,027
2	1-2	1	0,132	0,025
3	2-3	1	0,116	0,024
4	3-4	1	0,095	0,020
5	4-5	1	0,086	0,019
6	5-6	1	0,080	0,018
7	6-7	1	0,074	0,017
8	7-8	1	0,069	0,017
9	8-9	1	0,065	0,016
Sc kumulatif setelah terjadi kelongsoran (m)			0,878	0,184

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

• *Rate Of Settlement* Per Tahun

Dalam menentukan *rate of settlement* per tahun perlu dicari terlebih dahulu U% per tahunnya. Pada penelitian ini perhitungan *rate of settlement* dihitung per 3 bulan sampai 5 tahun kedepan. Setelah didapatkan U%, *rate of settlement* pada t = n bulan akan diperoleh dengan mengalikan U% dengan masing – masing nilai S_c sisa kumulatif setelah terjadi kelongsoran akibat timbunan 8 meter dan S_c kumulatif akibat timbunan tambahan 2 meter. Contoh perhitungan t = 3 bulan setelah terjadi kelongsoran sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Ros_{3\text{bulan}} &= U\%_{3\text{bulan}} \times S_c \text{ sisa kumulatif akibat timbunan 8} \\
 &= 14,708\% \times 0,878 \\
 &= 0,129 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

$$Ros = \text{Rate of Settlement}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan *rate of settlement* dapat dilihat pada **Tabel 11**. Berdasarkan **Tabel 11**, sehingga dapat digrafikkan seperti pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

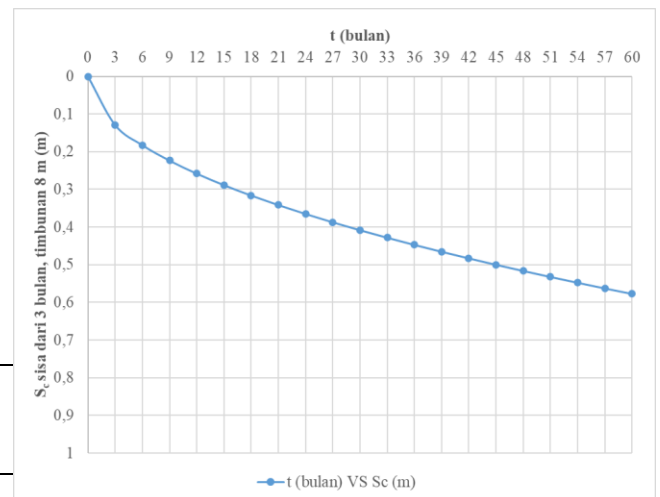
Tabel 11. *Rate of Settlement* per 3 bulan

t (bulan)	U%	Ros sisa akibat timbunan 8 m selama 3 m (m)	Ros akibat tambahan timbunan 2 m (m)	Ros (m)	Ros (cm)	Rate of settlement (cm/tahun)
0	0	0	0	0	0	
3	14,708	0,129	0,027	0,156	15,611	
6	20,800	0,183	0,038	0,221	22,077	
9	25,475	0,224	0,047	0,270	27,039	
12	29,416	0,258	0,054	0,312	31,222	31,222
15	32,888	0,289	0,060	0,349	34,908	
18	36,027	0,316	0,066	0,382	38,239	
21	38,913	0,342	0,071	0,413	41,303	
24	41,600	0,365	0,076	0,442	44,155	12,933
27	44,124	0,387	0,081	0,468	46,833	
30	46,510	0,408	0,085	0,494	49,367	
33	48,781	0,428	0,090	0,518	51,776	
36	50,950	0,447	0,094	0,541	54,079	9,924
39	53,030	0,466	0,097	0,563	56,287	
42	55,032	0,483	0,101	0,584	58,411	
45	56,963	0,500	0,105	0,605	60,462	
48	58,832	0,516	0,108	0,624	62,445	8,366
51	60,642	0,532	0,111	0,644	64,366	
54	62,400	0,548	0,115	0,662	66,232	
57	64,110	0,563	0,118	0,680	68,047	
60	65,776	0,577	0,121	0,698	69,815	7,371

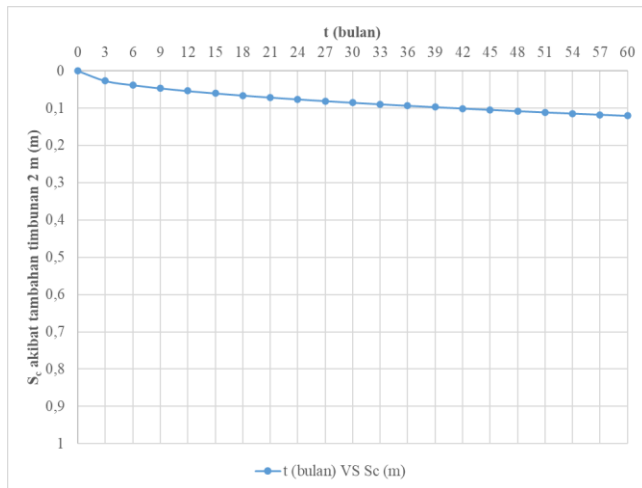
Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

- *Rate of settlement* antara tahun ke-0 sampai tahun ke-1 = 31,222 – 0 = 31,222 cm/tahun
- *Rate of settlement* antara tahun ke-1 sampai tahun ke-2 = 44,897 – 31,747 = 12,933 cm/tahun
- *Rate of settlement* antara tahun ke-2 sampai tahun ke-3 = 54,987 – 44,897 = 9,924 cm/tahun
- *Rate of settlement* antara tahun ke-3 sampai tahun ke-4 = 63,493 – 54,987 = 8,366 cm/tahun
- *Rate of settlement* antara tahun ke-4 sampai tahun ke-5 = 70,998 – 63,493 = 7,371 cm/tahun

Rate of settlement terbesar terjadi pada tahun ke-0 sampai tahun ke-1. *Rate of settlement* yang terjadi sampai tahun ke 5 > *rate settlement* ijin yaitu 1 cm/tahun (Manual Desain Perkerajaan Jalan (MDPJ), 2017). Hal ini membuktikan bahwa seharusnya perencanaan pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) diperlukan untuk mempercepat proses pemampatan, sehingga proses pemampatan dapat diselesaikan sebelum dilakukan penimbunan. Dengan adanya timbunan yang telah dipadatkan setinggi 8 meter maka perencanaan PVD tidak dapat dilakukan. Maka dari itu, perlu dilakukan perencanaan perkuatan terhadap tanah dasar dan tanah timbunan.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Waktu (bulan) dan Sisa *Settlement* (m) Akibat Timbunan 8 meter
Sumber: Hasil Analisis (2020)



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Waktu (bulan) dan Settlement (m) Akibat Timbunan 2 meter
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Perencanaan Perkuatan Stabilitas Timbunan
Perubahan Nilai *c_u*

Perencanaan perkuatan stabilitas timbunan yaitu *geotextile* maupun *spunpile* yang membutuhkan proses penggalian terlebih dahulu mengingat sudah terdapat timbunan setinggi 8 meter. Ketika peletakan *geotextile* dan *spunpile* dilaksanakan maka timbunan bertahap pun dilaksanakan. Dalam hal ini perencanaan timbunan bertahap difokuskan untuk mencari perubahan parameter tanah dasar yaitu *c_u*. Perhitungan kenaikan daya dukung tanah dasar (*c_u*) perlu dilakukan karena dengan adanya kenaikan tegangan yang diterima oleh tanah dasar maka akan menyebabkan terjadi kenaikan daya dukung tanah dasar. Perhitungan kenaikan daya dukung tanah dasar (*c_u*) menggunakan persamaan berikut.

$$c_{u \text{ baru}} = 0,737 + 90,1899 - 0.0016 \text{ PI} \sigma' \tag{3}$$

Keterangan:

c_u baru = daya dukung tanah baru (kg/cm²)

PI = indeks plastisitas tanah

σ' = tegangan yang terjadi pada lapisan tanah (kg/cm²)

Hasil perhitungan *c_u* baru pada setiap kedalaman dapat dilihat pada **Tabel 12**. Nilai *c_u* yang didapatkan digunakan untuk merencanakan *geotextile* dan *spunpile* dalam pemodelan pada XSTABL.

Tabel 12. Perubahan Nilai *c_u*

Kedalaman	IP	<i>c_u</i> lama (kPa)	<i>c_u</i> baru (kg/cm ²)	<i>c_u</i> baru (kN/m ²)	<i>c_u</i> transisi (kN/m ²)
0-1	39	22,97	0,110	11,026	17,000
1-2	39	22,97	0,119	11,945	17,460
2-3	39	22,97	0,128	12,816	17,895
3-4	39	22,97	0,139	13,904	18,439
4-5	45,5	55,50	0,142	14,203	34,850
5-6	45,5	55,50	0,150	15,033	35,265
6-7	45,5	55,50	0,159	15,859	35,678
7-8	45,5	55,50	0,167	16,682	36,089
8-9	45,5	55,50	0,175	17,502	36,500

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Perencanaan Geotextile

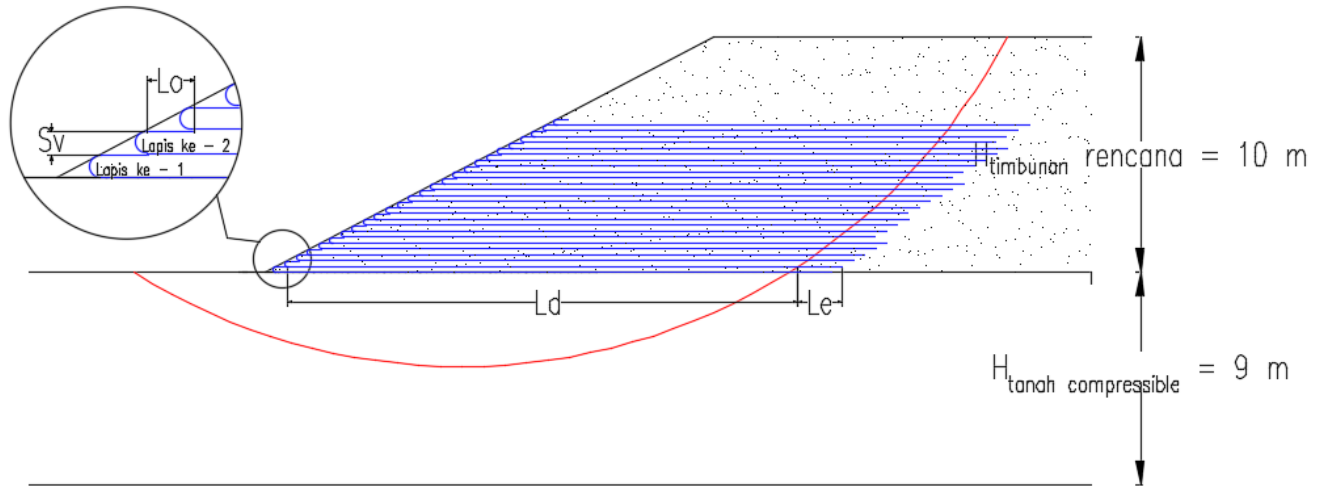
Pada perencanaan perkuatan Jalan Tol Surabaya Mojokerto STA 14+500 s.d 15+350 dengan metode *geotextile* direncanakan menggunakan *geotextile* UW-250 52/52 dengan jumlah 26 lapis dan per lapisnya terdapat 2 lembar *geotextile*. Rekapitulasi panjang *geotextile* dapat dilihat pada **Tabel 13** dan diilustrasikan pada **Gambar 5**.

Tabel 13. Rekapitulasi Panjang *Geotextile*

Lapis	Panjang (1 sisi)				
	n	Le (m)	Ld (m)	Lo (m)	L _{total} (m)
1	1	22,160	0,5	23,660	24
2	1	21,685	0,5	23,185	24
3	1	22,210	0,5	23,710	24
4	1	21,685	0,5	23,185	24
5	1	22,210	0,5	23,710	24
6	1	21,685	0,5	23,185	24
7	1	21,210	0,5	22,710	23
8	1	20,685	0,5	22,185	23
9	1	21,210	0,5	22,710	23
10	1	20,685	0,5	22,185	23
11	1	20,210	0,5	21,710	22
12	1	19,685	0,5	21,185	22
13	1	20,210	0,5	21,710	22
14	1	19,685	0,5	21,185	22
15	1	20,210	0,5	21,710	22
16	1	19,685	0,5	21,185	22
17	1	19,210	0,5	20,710	21
18	1	18,685	0,5	20,185	21
19	1	19,210	0,5	20,710	21
20	1	18,685	0,5	20,185	21
21	1	19,210	0,5	20,710	21
22	1	18,685	0,5	20,185	21
23	1	18,210	0,5	19,710	20
24	1	17,685	0,5	19,185	20
25	1	18,210	0,5	19,710	20
26	1	17,685	0,5	19,185	20

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

- Le = panjang *geotextile* di belakang bidang longsor
- Ld = panjang *geotextile* di depan bidang longsor
- Lo = panjang lipatan = ½ Le
- Sv = jarak vertikal pemasangan *geotextile* = 25 cm

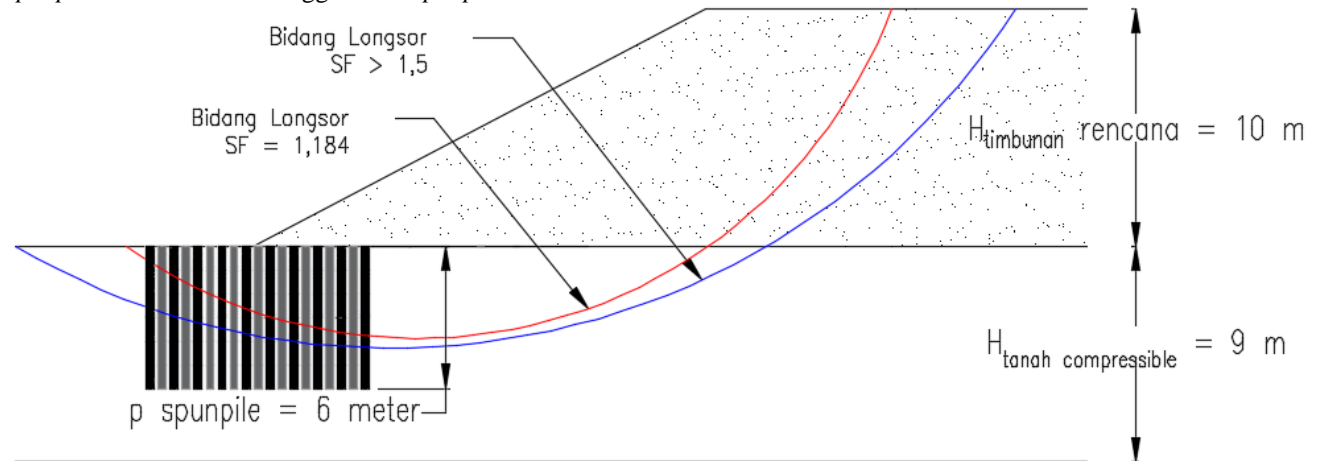


Gambar 5. Sketsa Pemasangan *Geotextile* Pada 1 Sisi Timbunan
Sumber: Hasil Analisis (2020)

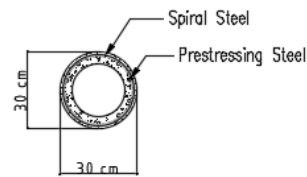
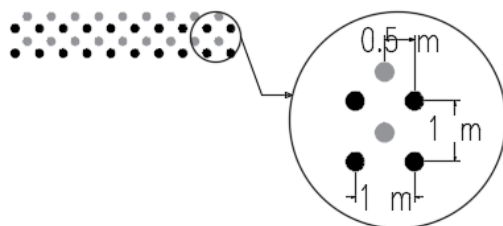
Perencanaan Spunpile

Pada perencanaan perkuatan Jalan Tol Surabaya Mojokerto STA 14+500 s.d 15+350 dengan metode *spunpile* direncanakan menggunakan *spunpile* diameter 30

cm dengan jumlah per meter adalah 19 buah, panjang 6 meter dan jarak antar *spunpile* adalah 1 meter. Ilustrasi pemasangan *spunpile* dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Tampak Atas Pemasangan Spunpile



Detail Prestressed Concrete Spunpile

Gambar 6. Sketsa Pemasangan *Spunpile* Pada 1 Sisi Timbunan
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Perhitungan Volume dan Biaya

Hasil perencanaan yang telah dilakukan digunakan sebagai dasar dalam mempehitungkan volume pekerjaan dari STA 14.500 s.d. STA 15+350. Item pekerjaan untuk pekuatan *geotextile* meliputi item pekerjaan pengadaan dan pemasangan *geotextile*, galian, dan urugan kembali, dan didapatkan biaya untuk satu sisi timbunan adalah Rp 53,498,311,500 seperti dijabarkan pada

Tabel 14. Sama halnya dengan pekerjaan *geotextile*, item pekerjaan *spunpile* dapat dilihat pada **Tabel 15** yang mana meliputi pekerjaan galian dan urugan kembali serta pengadaan dan pemasangan *spunpile* dengan biaya Rp 39,926,665,875 untuk satu sisi timbunan.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini.

- Sifat fisik tanah dasar pada kondisi inisial dan pada saat setelah terjadi pemampatan akibat timbunan setinggi 8 meter selama 3 bulan adalah tanah berbutir halus (lempung) yang bersifat lunak dengan kedalaman 9 meter sedangkan untuk sifat teknis tanah dasar pada kondisi inisial berbeda dengan saat setelah terjadi pemampatan akibat timbunan setinggi 8 meter selama 3 bulan dimana ketika setelah terjadi pemampatan terdapat perubahan parameter yaitu angka pori (e_0) dan berat volume (γ). Angka pori (e_0) mengalami penurunan sebesar 3% dan berat volume (γ) mengalami kenaikan sebesar 2%.
- Dari analisis stabilitas lereng diperoleh diperoleh bahwa harga SF 0,887 s/d 1,157. Angka keamanan ini menunjukkan bahwa timbunan tersebut tidak stabil, dengan kata lain daya dukung tanah dibawah timbunan tidak mencukupi untuk menahan beban setinggi 8 meter sehingga terjadi kelongsoran. H_{cr} *puncture* yang didapatkan adalah 6 meter dengan SF = 1,014 > 1 dimana menunjukkan bahwa tanah dasar dalam kondisi kritis hanya mampu menahan beban timbunan setinggi 6 meter.
- *Rate of settlement* yang terjadi sampai tahun ke 5 > *rate settlement* ijin yaitu 1 cm/tahun (Manual Desain Perkerajaan Jalan (MDPJ), 2017). Seharusnya perencanaan pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) diperlukan untuk mempercepat proses pemampatan, sehingga *settlement* yang ada dapat diselesaikan sebelum dilakukan penimbunan. Namun, berdasarkan observasi di lapangan diketahui tidak ada perkuatan dan PVD yang dipasang dibawah timbunan.
- Pemasangan PVD tidak memungkinkan untuk dilakukan di lapangan mengingat adanya timbunan yang telah dipadatkan setinggi 8 meter, sehingga hanya bisa dilakukan pemasangan perkuatan terhadap timbunan menggunakan *geotextile* dan tanah dasar menggunakan *spunpile*.
- Dari kedua alternatif yang telah direncanakan maka dapat dipilih alternatif yang efisien dari segi volume dan biaya material yaitu dengan menggunakan perkuatan *spunpile* pada tanah dasar. Alternatif perkuatan *spunpile* direncanakan memakai diameter 30 cm dengan jumlah per meter adalah 19 buah, panjang 6 meter dan jarak antar *spunpile* adalah 1 meter maka setiap meter panjang jalan diperlukan 38 buah *spunpile* untuk perkuatan di kanan kiri timbunan dengan total biaya material adalah Rp 79,853,109,750.

Tabel 14. Analisis Perhitungan Volume dan Biaya Material *Geotextile*

GEOTEXTILE									
Geotextile yang dipakai UW-250 52/52									
Lapis	Lebar	Lembar	Panjang	Luas	Ketersediaan pabrik	Kebutuhan	Harga satuan material	Total Biaya	
	m		m	m ²	4 m x 200 m/lembar	lembar	/lembar		
1	24	2	850	40800					
2	24	2	850	40800					
3	24	2	850	40800					
4	24	2	850	40800					
5	24	2	850	40800					
6	24	2	850	40800					
7	23	2	850	39100					
8	23	2	850	39100					
9	23	2	850	39100					
10	23	2	850	39100					
11	22	2	850	37400					
12	22	2	850	37400					
13	22	2	850	37400	800	1219,75	Rp	7.500	Rp 9.148.125
14	22	2	850	37400					
15	22	2	850	37400					
16	22	2	850	37400					
17	21	2	850	35700					
18	21	2	850	35700					
19	21	2	850	35700					
20	21	2	850	35700					
21	21	2	850	35700					
22	21	2	850	35700					
23	20	2	850	34000					
24	20	2	850	34000					
25	20	2	850	34000					
26	20	2	850	34000					
Total Luasan				975800					
GALIAN									
Dimensi		Volume		HSPK Penggalan Tanah dengan Alat Berat		Total Biaya			
p	area								
m	m	m ³		/m ³					
850	176,5	150025		Rp		49.256 Rp 7.389.631.400			

URUGAN					
Dimensi		Volume	HSPK Pengurangan Sirtu dengan Pemasatan Menggunakan Alat Berat		Total Biaya
p	area				
m	m	m ³	/m ³		
850	176,5	150025	Rp	307.279	Rp 46.099.531.975
Total Biaya Geotextile (1 sisi)					Rp 53.498.311.500
Total Biaya Geotextile (2 sisi, kanan – kiri)					Rp 106.996.623.000

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Tabel 15. Analisis Perhitungan Voulme dan Biaya Material *Spunpile*

SPUNPILE					
Panjang Tiang Pancang	Banyak	Harga Satuan ϕ 30 cm		Total Biaya	
m		/m			
6	16150	Rp	254.100	Rp	24.622.290.000
GALIAN					
Dimensi		Volume	HSPK Pengurangan Sirtu dengan Pemasatan Menggunakan Alat Berat		Total Biaya
p	area				
m	m	m ³	/m ³		
850	50,5	42925	Rp	49.256	Rp 2.114.313.800
URUGAN					
Dimensi		Volume	HSPK Bahan Pekerjaan Plat Bertulang		Total Biaya
p	area				
m	m	m ³	m ³		
850	50,5	42925	Rp	307.279	Rp 13.189.951.075
Total Biaya Spunpile (1 sisi)					Rp 39.926.554.875
Total Biaya Spunpile (2 sisi, kanan-kiri)					Rp 79.853.109.750

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, N. et. al. (2014). "Penggunaan Geotekstil pada Lereng Sungai Gajah Putih Surakarta". Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). "Manual Desain Perkerasan Jalan". Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Isbusandi, A. D., Widiastuti M., dan Sutanto H. (2018). "Analisis Pengaruh Penggunaan Geotekstil Terhadap Peningkatan Daya Dukung Fondasi Dangkal pada Tanah Lempung Di Kota Samarinda". J. Tekno. Sipil, vol. 2, no. 2, pp. 1-9, Nov.
- Lubis, M.K.Z. dan Lubis, K. (2019). "Evaluasi Perbaikan Tanah Menggunakan Geotekstil Untuk Meningkatkan Stabilitas Tanah Lapisan Subgrade Pekerjaan Jalan". J. of Civ. Eng., Build. and Transp., vol. 3, no. 2, pp. 40-48, Sep.
- Ndale, F. X. (2018). "Penggunaan Geotextile Sebagai Bahan Bangunan". J. Tekn. Univ. Flores, vol. 6, no. 2, pp. 1- 10, Oct.
- Prasetio, A. dan Prihatiningsih, A. (2020). "Analisis Penggunaan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD) pada Tanah Lempung Lunak yang Terdapat Lapisan Lensa". J. Mitra Tek. Sipil, vol. 3, no. 1, pp. 119-134, Feb.
- Rusdiansyah, Mochtar, I. B., dan Mochtar, N. E. (2015d). "Pengaruh Kedalaman Tancap, Spasi, Dan Jumlah Cerucuk Dalam Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Berdasarkan Pemodelan Di Laboratorium". Prosiding, Seminar Nasional dan Pameran Teknik, Prodi S1 Teknik Sipil UNLAM dan Himpunan Ahli Kontruksi Indonesia (HAKI) Kalimantan Selatan, 16-17 Oktober 2015, Banjbaru.
- Tay, P. A. (2014). "Analisis Perkuatan Geotekstil pada Timbunan Konstruksi Jalan dengan Plaxis 2D". Surabaya: Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, 2014.