

Studi Komparasi Perbaikan Tanah Lunak Dibawah *Embankment* Dengan *Stone Column* Dan *Geotextile*

Comparative Study of Soft Soil Improvement Under Embankment Using Stone Columns and Geotextiles

Syafirna Meidlyana¹⁾, Arief Alihudien²⁾, Pujo Priyono³⁾

¹⁾Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember
email: syafirnam@gmail.com

²⁾Dosen Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

³⁾Dosen Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember
email: pujopriyono@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Tanah lunak mempunyai karakteristik yang tidak stabil seperti daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi sehingga berisiko menyebabkan keruntuhan dan penurunan pada timbunan (*embankment*). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas kedua metode yaitu *geotextile* dan *stone column* dalam meningkatkan stabilitas dan mengurangi penurunan tanah lunak dibawah timbunan menggunakan perangkat lunak GEO5. Simulasi dilakukan berdasarkan data tanah dari proyek pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya pada STA 0+950 – 1+000. Evaluasi dilakukan terhadap nilai *safety factor* (SF) dan penurunan dengan variasi jarak pemasangan perkuatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode *stone column* dengan jarak 2,5 meter menghasilkan nilai *safety factor* (SF) 2,79 dan penurunan sebesar 0,26 m. Sementara itu, metode *geotextile* dengan jarak pemasangan 0,2 m menghasilkan nilai *safety factor* (SF) 2,38 dan penurunan sebesar 1,86 m.

Kata Kunci: Tanah lunak, *Embankment*, *Stone Column*, *Geotextile*, *Safety Factor*.

Abstract

Soft soil has unstable characteristics such as low bearing capacity, high compressibility, thus risking collapse and settlement of embankments. This study aims to compare the effectiveness of two methods, namely geotextile and stone column in increasing stability and reducing settlement of soft soil under embankments using GEO5 software. Simulations were conducted based on soil data from the Surabaya West Outer Ring Road construction project at STA 0+950 – 1+000. Evaluation was carried out on the safety factor (SF) and settlement values with variations in reinforcement installation distance. The analysis results show that the stone column method with a distance of 2.5 meters produces a safety factor (SF) value of 2.79 and a settlement of 0.26 m. Meanwhile, the geotextile method with an installation distance of 0.2 m produces a safety factor (SF) value of 2.38 and a settlement of 1.86 m.

Keywords: *Soft soil*, *Embankment*, *Stone Column*, *Geotextile*, *Safety Factor*.

1. PENDAHULUAN

Dalam proyek pekerjaan jalan sering ditemukan berbagai permasalahan, salah satunya adalah permasalahan tanah lunak. Tanah lunak dapat diartikan sebagai partikel mineral yang tidak memiliki ikatan antar partikel dan terbentuk karena pelupukan dari batuan (Idrus et al., 2021). Tanah dapat digolongkan tanah lunak

apabila nilai N-SPT < 15 (Eriyanto et al., 2017). Pada kota Surabaya, tanah lunak dapat dijumpai di daerah yang dekat dengan sungai dan pantai. Proyek Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya (JLLB) memiliki permasalahan tanah lunak. Proyek ini membangun jaringan jalan baru dengan panjang ± 19,8 meter dengan lebar 55 meter. Tanah keras untuk Proyek Jalan Lingkar

Luar Barat Surabaya (JLLB) berada pada kedalaman 21 m. Untuk mengatasi masalah ini penulis mengusulkan perbaikan tanah dengan *Stone Column* dan *Geotextile*.

Stone Column merupakan metode perkuatan tanah menggunakan kolom-kolom vertical dari material batu pecah (*crushed stone*) yang sudah dipadatkan (Suroso et al., 2021). Metode pelaksanaan *Stone Column* yaitu dengan memakai metode *vibro replacement* yang dimana alat *compaction probe* dimasukkan kedalam lapisan tanah lunak dan diisi dengan batu pecah lalu digetarkan hingga padat (Farichah, 2021). Di samping *Stone Column*, penggunaan *Geotextile* juga dapat memperbaiki karakteristik tanah lunak dan meningkatkan stabilitas tanah (Lubis Akbar Faizal Muhammad, 2023). *Geotextile* merupakan material lembaran yang terbuat dari bahan tekstil *polymeric* yang bersifat lolos air (Rachael Tunas Pratama et al., 2021).

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektifitas metode *Stone Column* dan *Geotextile* di bawah tanggul. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknik perbaikan tanah serta meningkatkan kualitas infrastruktur jalan di Indonesia, khususnya di wilayah Surabaya. Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana stabilitas tanah lunak dengan menggunakan perkuatan *geotextile* di bawah *embankment* ?
2. Bagaimana stabilitas tanah lunak dengan menggunakan perkuatan *stone column* di bawah *embankment* ?
3. Bagaimana perbandingan stabilitas tanah lunak dengan menggunakan perkuatan *geotextile* dan *stone column* di bawah *embankment* ?
4. Bagaimana perbandingan penurunan tanah lunak menggunakan *geotextile* dan *stone column* di bawah *embankment* ?

Dari rumusan masalah diatas, dapat diketahui tujuan nya, yaitu :

1. Untuk mengetahui stabilitas tanah lunak dengan menggunakan perkuatan *geotextile* di bawah *embankment*.

2. Untuk mengetahui stabilitas tanah lunak dengan menggunakan perkuatan *stone column* di bawah *embankment*.
3. Untuk mengetahui perbandingan kenaikan stabilitas tanah lunak dengan menggunakan perbaikan *geotextile* dan *stone column* di bawah *embankment*.
4. Untuk mengetahui perbandingan penurunan tanah lunak menggunakan *geotextile* dan *stone column* di bawah *embankment*.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini :

1. Data tanah yang digunakan untuk menganalisa di dapatkan dari hasil data pengujian di lapangan dan di laboratorium pada lokasi proyek.
2. Perbaikan tanah hanya menggunakan *geotextile* dan *stone column*.
3. Tidak menghitung manajemen waktu pelaksanaan (Kurva S).

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Tanah Lunak

Tipe tanah yang mempunyai masalah adalah tanah lunak. Tanah lunak mempunyai partikel yang sangat halus, kadar air yang tinggi, derajat kejenuhan yang tinggi, angka pori yang tinggi serta tekanan air pori awal yang tinggi. (Halawa, 2023). Tanah lunak membutuhkan waktu yang lama untuk proses konsolidasi, karena tanah lunak mempunyai sifat permeabilitas (kemampuan tanah untuk dilewati air) yang sangat kecil (Darmawandi et al., 2020). Tanah lunak mempunyai sifat yang tidak baik untuk tanah dasar kontruksi karena kuat geser yang rendah, daya dukung yang rendah, pemampatan yang tinggi serta nilai CBR yang rendah (Waruwu et al., 2021). Tanah lunak dapat dikatakan sangat lunak, lunak, sedang, kaku dan keras apabila mempunyai nilai kuat tekan bebas.(Anggrahini et al., 2022). Tanah dapat dikatakan tanah lunak apabila mempunyai nilai kuat tekan bebas $< 50 \text{ kN/m}^2$ dan dapat dikatakan sangat lunak apabila nilai kuat tekan bebas $< 25 \text{ kN/m}^2$ (Onggara et al., 2022).

B. Geotextile

Untuk merencanakan stabilitas dari *embankment* diatas tanah lunak yang diperkuat dengan bahan *geosynthetics* (Suyuti, 2020),

kondisi yang ditinjau yaitu hanya *Overall Stability* dengan menggunakan bantuan software GEO5 dengan memasukkan parameter-parameter tanah yang telah dilakukan pengujian di laboratorium maupun lapangan (Maulida, 2023).

➤ Overall Stability

- Momen penggerak = Berat segmen busur ABCDEA x jarak pusat berat ABCDEA terhadap O

$$M_{\text{penggerak}} = \sum_A^0 g h (dL) L = \sum_{\text{titik } A}^J g h L dL \quad (1)$$

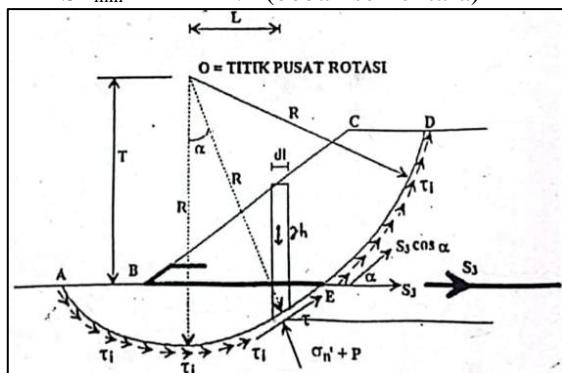
- Momen penahan =

$$\sum_{\text{titik } A}^D \tau_1 R dL + S_3 T = \sum_{\text{titik } A}^J \tau_1 R dL + S_3 T \quad (2)$$

$$\text{Syarat stability} = \frac{M_{\text{penahan}}}{M_{\text{penggerak}}} \geq SF$$

$$SF_{\min} = 1.25 \text{ (beban tetap)}$$

$$SF_{\min} = 1.1 \text{ (beban sementara)}$$

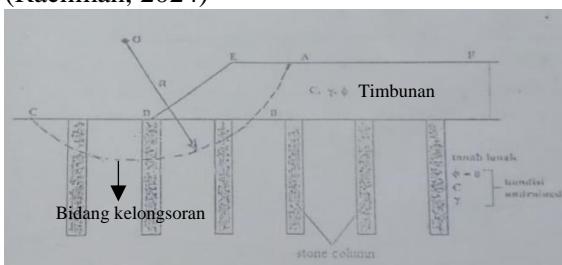


Gambar 1. Overall Stability

Sumber : Mochtar, 2000

C. STONE COLUMN

Teoritis stabilitas lereng *embankment* di atas tanah lembek dapat diperkuat dengan *stone column* menggunakan perhitungan keruntuhan lingkaran seperti gambar di bawah ini. (Rachman, 2024)



Gambar 2. Analisa Stabilitas Embankment

Sumber : Barksdale dan Bachus, 1983

Perhitungan *safety factor* pada kondisi tanpa *stone column* harus dilakukan dengan mengadakan perubahan terhadap harga *undrained shear strength* dan berat volume tanah dasar (Somantri et al., 2021) sebagai berikut :

$$C_{\text{rata-rata}} = (1 - a_s) C \quad (3)$$

$$\gamma_{\text{rata-rata}} = \gamma_s \cdot a_s + \gamma_e \cdot a_e \quad (4)$$

dengan :

a_s = *Area replacement ratio* untuk *stone column*
 $= As/A$

a_e = *Area replacement ratio* untuk tanah lunak
 $= Ac/A$

c = Harga undrained *shear strength*

γ_s = Berat volume *stone column* (kN/m^3)

γ_e = Berat volume tanah lunak (kN/m^3)

Harga SF_{\min} dapat dicari dengan cara coba-coba secara manual atau dengan bantuan computer, misalnya dengan menggunakan program GEO5. Dengan adanya *stone column* ABC akan memberikan tambahan perlawan sebagai berikut :

$$\tau'_z = (\sigma'_z \cos^2 \beta) \tan \phi \quad (5)$$

dengan :

τ'_z = Tegangan geser rata-rata yang bekerja Di dalam *stone column* pada bidang gelincir ABC di kedalaman z dari muka tanah lembek (kN/m^2)

σ'_z = Tegangan vertikal pada *stone column* yang bekerja pada bidang gelincir ABC pada kedalaman z dari permukaan tanah lembek (kN)

β = Sudut inklinasi antara garis singgung permukaan dengan bidang horizontal

ϕ_s = Sudut geser dalam *stone column*
 Harga σ'_z didapatkan dengan cara sebagai berikut :

$$\sigma'_z = \gamma_s z + \sigma \mu_s \quad (6)$$

dengan :

σ = H.gtanah timbunan (kN/m^2)

H = Tinggi timbunan tanah di atas *stone column* yang ditinjau (m)

M_s = Faktor konsentrasi tegangan untuk *stone column*

$$\mu_s = \frac{n}{1+(n-1)a_s} \quad (7)$$

Harga τ'_z pada masing-masing bidang gelincir *stone column* sudah dapat dihitung maka gaya geser maksimum akibat *stone column* pada bidang gelincir sebagai berikut :

$$P_{zi} = \frac{\tau^2 \cdot \pi \cdot A}{\cos \beta} \quad (8)$$

Tambahan momen penahan (*resisten moment* = M_g) akibat adanya *stone column* adalah :

$$\Delta M_R = \Sigma_{1-I}^m (P_{xi} x R) \quad (9)$$

dengan :

P_{zi} = Gaya penahan geser pada *stone column* no.1 (*stone column* i adalah semua yang masuk pada bidang gelincir bidang ABC) (kN)

Perhitungan *safety factor* (tanpa *stone column*) dapat dihitung sebagai berikut :

$$SF = \frac{M_z}{M_{ov}} \quad (10)$$

M_{ov} = Overturning Moment (kN m)
 = Momen penggerak (kN m)

Harga M_{ov} dapat dicari dari hasil perhitungan dengan program GEO5. Jadi dapat dicari :

$$M_R \text{ mula-mula} = SF_{min} + M_{ov} \quad (11)$$

Setelah adanya *stone column*, harga momen penahan berubah menjadi :

$$M_R \text{ akhir} = M_R \text{ mula-mula} + \Delta M_R$$

Jadi, dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

$$SF_{akhir} = \frac{M_R \text{ mula-mula} + \Delta M_R}{M_{ov}} > \text{persyaratan} \quad (12)$$

D. Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan volume tanah (memampat) (Cassiophea, 2014). Peristiwa konsolidasi dapat dipicu oleh adanya beban/muatan diatas tanah. Beban tersebut berupa tanah atau konstruksi bangunan yang berdiri diatas tanah. (Sutarman, 2017). *Overconsolidation Ratio* (OCR) untuk tanah di definiskan berikut :

$$OCR = \frac{\text{Tegangan Efektif Prakonsolidasi } (Po)}{\text{Tegangan Efektif Overburden } (Pc)} \quad (13)$$

dengan :

Apabila *Normal consolidated* nilai $OCR \neq 1$

Apabila *Over consolidated* nilai $OCR > 1$

Tanah yang terkonsolidasi normal, dapat dihitung penurunannya dibawah ini :

$$Sc = \left[\frac{Cc}{1+e_o} \log \frac{Po + \Delta P}{Po} \right] \times H \quad (14)$$

dengan :

Cc = Indeks Kompresi Tanah

e_o = Angka Pori Awal

Po' = Tegangan Efektif Overburden (t/m^2)

ΔP = Penambahan Tegangan Vertikal

ditengah Lapisan Akibat Beban
 H = Tebal Lapisan Tanah Lunak (m)

E. Penurunan Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan *Stone Column*

Dengan adanya *stone column* tidak menghilangkan penurunan tanah, tetapi harga total *settlement* akan berkurang. Misalkan S adalah total *settlement* primer lunak tanah tersebut setelah adanya *stone column*. (Iskandar & Hamdhan, 2016). Maka penurunan S_s dapat dicari dengan cara berikut :

$$S_t = \mu_c \cdot S \quad (15)$$

S_t dan S disini adalah *settlement* akibat konsolidasi primer dari tanah lempung akibat timbunan H .

3. DATA TEORI

A. Lokasi Penelitian

Lokasi proyek Pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya berada di daerah Osowilangan, Kecamatan Benowo, Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur.



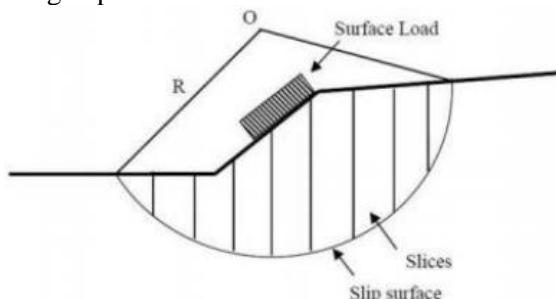
Gambar 3. Layout Lokasi Proyek Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya (JLBB)

Sumber : Google Earth, 2024

B. Metodologi Penelitian

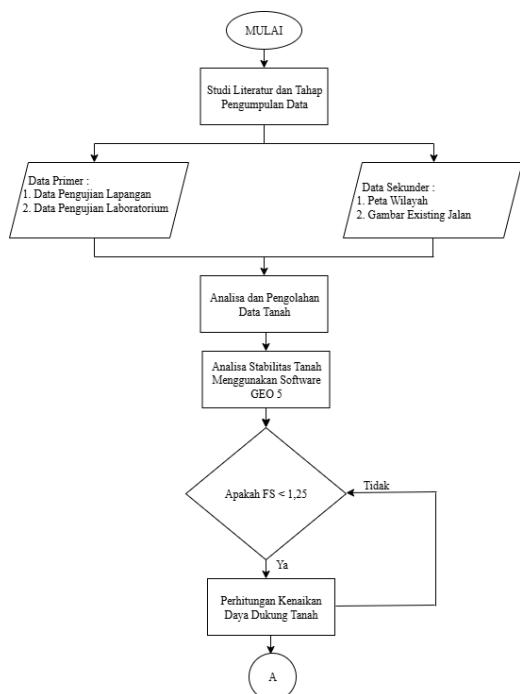
Untuk menganalisis stabilitas timbunan, penulis menggunakan bantuan aplikasi *software* GEO5. GEO5 program untuk memecahkan berbagai permasalahan atau pemodelan geoteknik, seperti *slope stability*, yang merupakan salah satu produk untuk menghitung dan mendapatkan hasil faktor keamanan lereng dengan mendesain dari segala aspek, seperti adanya beban tambahan, pengaruh muka air tanah, beban gempa dan kemiringan sudut lereng yang di desain. (Gilang Fadly Achmad & Aksan Kawanda, 2022).

Pada permasalahan tugas akhir ini, penulis menggunakan metode *Bishop* karena metode ini mampu memberikan pendekatan yang lebih akurat dalam menganalisis kestabilan lereng dengan mempertimbangkan gaya-gaya geser antar irisan tanah. Selain itu, metode *Bishop* banyak digunakan dalam analisis stabilitas lereng karena keseimbangannya dalam efisiensi komputasi dan tingkat akurasi hasil yang tinggi untuk kondisi tanah yang kompleks (Rajagukguk et al., 2014). Analisis dilakukan dengan membandingkan beberapa kondisi, yaitu kondisi awal tanpa perkuatan, kondisi dengan perkuatan geotextile, serta kondisi dengan perkuatan stone column.



Gambar 4. Metode Bishop
 Sumber : Google, 2024

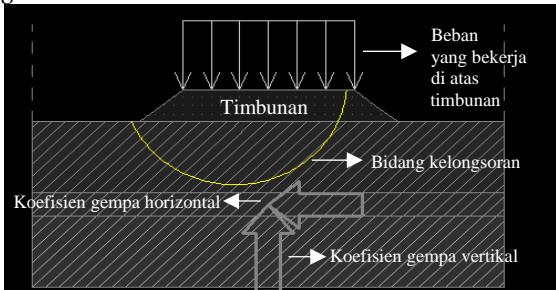
C. Flowchart



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Stabilitas Tanah Lunak Tanpa Perkuatan

Untuk mencari nilai *safety factor* pada tanah dalam kondisi alami, tanpa menggunakan perkuatan geotextile maupun stone column dapat dicari menggunakan aplikasi GEO5 dengan memasukkan parameter tanah hasil investigasi di lapangan maupun laboratorium, seperti berat volume tanah (γ) kohesi (c), berat volume tanah dalam keadaan jenuh (γ_{sat}) dan sudut geser untuk tanah timbunan. Sedangkan untuk tanah asli dapat memasukkan nilai berat volume tanah (γ) dan kohesi (c). Berikut tabel hasil analisis mencari nilai *safety factor* untuk tanah lunak sebelum diperkuat menggunakan *geotextile* atau *stone column*.



Gambar 5. Bidang Kelongsoran dengan Nilai Safety Factor 1,2
 Sumber : Hasil Analisis Software GEO5 Pribadi, 2025

Dapat dilihat melalui gambar diatas, mempunyai bidang gelincir yang sangat besar dengan $R = 13$ m. Oleh karena itu, penulis membandingkan metode *stone column* dan *geotextile* menggunakan nilai *safety factor* 1,2.

Berikut tabel nilai *safety factor* yang sudah dianalisis menggunakan bantuan *software GEO5* :

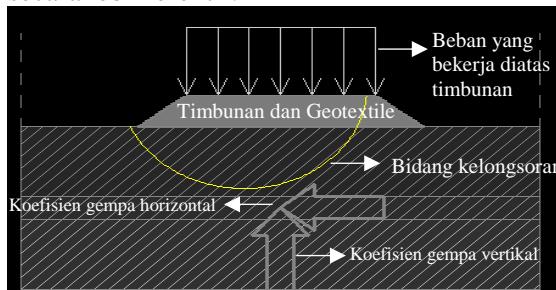
Tabel 1. Nilai Safety Factor (SF)

No	Nilai Safety Factor (SF)
1.	0,85
2.	0,90
3.	1,0
4.	1,05
5.	1,1
6.	1,2

Sumber : Hasil Analisis Software GEO5 Pribadi, 2025

B. Stabilitas Tanah Menggunakan Perkuatan Geotextile

Pada kondisi tanah lunak, pemasangan *geotextile* dapat meningkatkan nilai *safety factor*, sehingga struktur timbunan menjadi stabil terhadap potensi keruntuhan geser. Pemasangan *geotextile* untuk meningkatkan stabilitas pada tanah lunak menggunakan *geotextile* kuat tarik 100 kN/m dengan jumlah *geotextile* 1 lapis, 2 lapis, 3 lapis, 4 lapis, 10 lapis dan 20 lapis. Penambahan jumlah lapisan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kuantitatif terhadap peningkatan stabilitas lereng dan daya dukung tanah. Semakin banyak lapisan *geotextile* yang digunakan, diharapkan deformasi lateral dapat diminimalkan dan distribusi tegangan menjadi lebih merata, sehingga mampu menahan beban timbunan secara lebih efektif.



Gambar 6. Stabilitas Tanah Lunak Menggunakan 20 Lapis Geotextile dengan Nilai Safety Factor Awal 1,20

Sumber : Analisa Software GEO5 Pribadi, 2025

Sebagai perbandingan untuk metode *geotextile* dan *stone column*, penulis hanya menggunakan *geotextile* 20 lapis dengan jarak Pemasangan

0,2 meter, 0,4 meter, 1 meter, 1,3 meter, 2 meter dan 4 meter. Dibawah ini tabel yang menunjukkan nilai *safety factor* berdasarkan pemasangan *geotextile* :

Tabel 2. Nilai Safety Factor Akibat Pemasangan Geotextile

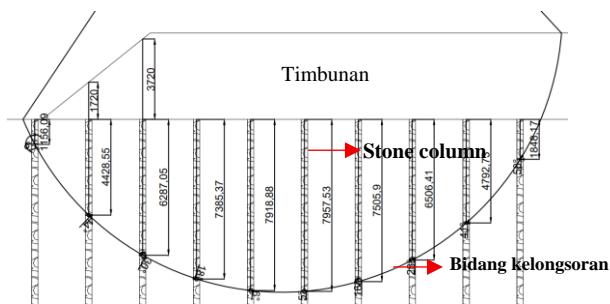
No	Jarak (m)	Nilai Safety Factor
1.	0,2	2,38
2.	0,4	1,67
3.	1	1,49
4.	1,3	1,48
5.	2	1,38
6.	4	1,32

Sumber : Analisa Software GEO5 Pribadi, 2025

Tabel diatas menunjukkan bahwa semakin banyak lapisan *geotextile* yang dipasang dengan jarak yang bervariasi, maka nilai *safety factor* akan naik.

C. Stabilitas Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Stone Column

Salah satu metode perbaikan tanah yang efektif untuk meningkatkan stabilitas tanah lunak adalah dengan memasang *stone column* atau kolom batu secara vertikal ke dalam tanah. Metode ini bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik tanah, mengurangi penurunan, serta meningkatkan daya dukung tanah terhadap beban timbunan. Pada penelitian ini, *stone column* dipasang dengan diameter 30 cm, jarak antar kolom sejauh 1 meter, 2 meter, 2,5 meter, 3 meter, 4 meter dan 5 meter dengan menggunakan pola pemasangan segi empat. Pemilihan diameter dan jarak antar kolom didasarkan pada efisiensi perbaikan tanah dan kebutuhan stabilitas timbunan. Dengan konfigurasi ini, diharapkan terjadinya peningkatan nilai *safety factor* dan pengurangan deformasi lateral secara signifikan, terutama pada area dengan kondisi tanah lunak yang memiliki potensi keruntuhan tinggi. Analisis stabilitas dilakukan menggunakan perangkat lunak *GEO5* dengan mempertimbangkan variasi jarak antar kolom untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi *stone column* terhadap nilai faktor keamanan lereng. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin rapat jarak antar kolom, semakin tinggi nilai *safety factor* yang dihasilkan.



Gambar 7. Bidang Gelincir Stone Column dengan Nilai Safety Factor 1,20 Jarak 2,5 meter
Sumber : Gambar Autocad Pribadi, 2025

Data perhitungan :

- γ_s untuk stone column 10 buah mempunyai nilai yang sama
 $\gamma_s : 21 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_{timbunan} : 18 \text{ kN/m}^3$
- z : merupakan kedalaman pemasangan stone column hingga ke bidang gelincir

Tabel 3. Kedalaman pemasangan stone column

No	Z (m)
1.	1,16
2.	4,43
3.	6,29
4.	7,39
5.	7,92
6.	7,96
7.	7,51
8.	6,51
9.	4,79
10.	1,85

Sumber : Analisa Pribadi, 2025

- H : Kedalaman muka stone column hingga tanah timbunan

Tabel 4. Kedalaman stone column

No	H (m)
1.	0,00
2.	1,72
3.	3,72
4.	4,00
5.	4,00
6.	4,00
7.	4,00
8.	4,00
9.	4,00
10.	4,00

Sumber : Analisa Pribadi, 2025

- σ : Tegangan vertikal pada stone column yang bekerja pada bidang gelincir

Tabel 5. Tegangan verikal stone column

No	σ (kN/m^2)
1.	0,00
2.	30,96
3.	66,96
4.	72,00
5.	72,00
6.	72,00
7.	72,00
8.	72,00
9.	72,00
10.	72,00

Sumber : Analisa Pribadi, 2025

- as : Area replacement ratio untuk stone column
 as : 0,15
- As : Luas penampang atas stone column
 As : $0,07 \text{ m}^2$
- A : Luas penampang atas (unit cell)
 A : $0,47 \text{ m}^2$
- ac : Area replacement ratio untuk tanah lunak
 ac : 0,85
- n : Faktor konsentrasi tegangan
 n : 8
- μ_s : Faktor konsentrasi tegangan untuk stone column
 $\mu_s : 3,90$
- σ_s : Tegangan pada stone column,
 tegangan ini sangat berperan penting dalam mendistribusikan beban vertikal dari timbunan ke lapisan tanah dasar yang lebih stabil, sehingga mengurangi konsolidasi berlebih pada tanah lunak di sekitarnya.

Tabel 6. Tegangan stone column

No	σ_s (kN/m^2)
1.	24,30
2.	213,82
3.	393,34
4.	436,07
5.	447,27
6.	448,08
7.	436,60
8.	417,61
9.	381,62
10.	319,79

Sumber : Perhitungan Pribadi, 2025

- B : Sudut inklanasi antara garis singgung permukaan dengan bidang horizontal

Tabel 7. Sudut inklanasi

No	B
1.	62°
2.	44°
3.	30°
4.	18°
5.	6°
6.	5°
7.	16°
8.	28°
9.	41°
10.	58°

Sumber : Analisa Pribadi, 2025

- Ø : Sudut geser dalam *stone column*
 $\tan(\theta) : 40$
- τ_{sz} : Tegangan geser rata-rata yang bekerja di dalam *stone column* pada bidang gelincir di kedalaman z dari muka tanah lunak

Tabel 8. Tegangan geser *stone column*

No	τ_{sz} (kN/m ²)
1.	7,94
2.	149,11
4.	364,12
No	τ_{sz} (kN/m ²)
5.	375,28
6.	375,98
7.	366,91
8.	340,47
9.	279,15
10.	139,35

Sumber : Perhitungan Pribadi, 2025

- P_{zi} : Gaya penahan geser pada *stone column*

Tabel 9. Gaya penahan geser *stone column*

No	P_{zi} (kN)
1.	7,97
2.	97,68
3.	172,88
4.	180,42
5.	177,82
6.	177,85
7.	179,87
8.	181,71
9.	174,30
10.	123,92

Sumber : Perhitungan Pribadi, 2025

- R : Jari-jari pada bidang gelincir
 $R : 13$ meter
- ΔMR = Tambahan momen penahan

Tabel 10. Momen Penahan

No	ΔMR (kN m)
1.	103,55
No	ΔMR (kN m)
2.	1269,86
3.	2247,5
4.	2345,46
5.	2311,69
6.	2312,07
7.	2338,31
8.	2362,27
9.	2265,88
10.	1610,98
	ΣMR 19167,68

Sumber : Perhitungan Pribadi, 2025

Untuk mencari SF akhir diperlukan data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 - \quad MR &= 5790 \times 2,5 \\
 &= 14476,03 \text{ kN m} \\
 - \quad MOV &= 4822,66 \times 2,5 \\
 &= 12056,7 \text{ kN m} \\
 - \quad \text{MR mula-mula} &= \text{MOV} \times \text{SF awal} \\
 &= 14467,98 \text{ kN m} \\
 - \quad \text{MR akhir} &= \text{MR mula-mula} + \Sigma MR \\
 &= 33635,56 \text{ kN m} \\
 - \quad \text{SF akhir} &= \frac{\Sigma \Delta MR + MR \text{ mula-mula}}{Mov} \\
 &= 2,79
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas merupakan salah satu contoh metode *stone column* untuk memperkuat tanah lunak dengan jarak pemasangan 2,5 meter dengan diameter 30 cm. Dibawah ini hasil nilai *safety factor* apabila tanah lunak diperkuat menggunakan *stone column*

Tabel 11. Nilai *Safety Factor* Akibat Pemasangan *Stone Column*

No	Jarak (m)	Nilai <i>Safety Factor</i>
1.	1	10,19
2.	2	3,46
3.	2,5	2,79
4.	3	2,21
5.	4	1,76
6.	5	1,57

Sumber : Perhitungan Pribadi, 2025

Dapat dilihat tabel diatas bahwa pemasangan *stone column* dapat meningkatkan *safety factor*

apabila pemasangan *stone column* dipasang dengan jarak yang begitu rapat.

D. Penurunan Tanah Lunak

$$Sc_1 = 0,865 \text{ m} = 86,507 \text{ cm}$$

$$Sc_2 = 0,404 \text{ m} = 40,416 \text{ cm}$$

$$Sc_3 = 0,595 \text{ m} = 59,546 \text{ cm}$$

$$S_{\text{total}} = 1,865 \text{ m} = 186,47 \text{ cm}$$

E. Penurunan Tanah Lunak Diperkuat Menggunakan Geotextile dan Stone Column

- Penurunan Tanah Lunak Diperkuat Menggunakan *Geotextile*

Penurunan *geotextile* sama dengan penurunan tanah lunak karena geotekstil hanya memperkuat tanah, bukan mengantikannya. *Geotextile* mengikuti deformasi tanah di bawahnya, dan meskipun dapat mengurangi besarnya penurunan secara keseluruhan, ia tetap mengalami penurunan yang sama dengan tanah tempat *geotextile* dipasang. Jadi, untuk penurunan tanah lunak yang diperkuat dengan menggunakan *geotextile* sebesar 1,865 m

- Penurunan Tanah Lunak Diperkuat Menggunakan *Stone Column*

$$St = 0,268 \text{ m}$$

$$St = 26,83 \text{ cm}$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Penggunaan *geotextile* secara signifikan meningkatkan stabilitas lereng dan timbunan di atas tanah lunak, ditunjukkan dengan peningkatan faktor keamanan dari 1,20 menjadi 1,32 dengan pemasangan 1 lapis *geotextile* pada dasar permukaan tanah, 1,38 dengan pemasangan 2 lapis *geotextile* jarak pemasangan 2 meter, 1,48 dengan pemasangan 3 lapis *geotextile* jarak pemasangan 1,3 meter, 1,49 dengan pemasangan 4 lapis *geotextile* jarak pemasangan 1 meter, 1,67 dengan pemasangan 10 lapis *geotextile* jarak pemasangan 0,2 meter dan 2,38 dengan pemasangan 20 lapis *geotextile* jarak pemasangan 0,4 meter dengan kuat tarik 100 kN/m.
2. Penggunaan *stone column* secara signifikan meningkatkan stabilitas lereng

dan timbunan diatas tanah lunak, ditunjukkan dengan peningkatan faktor keamanan dari 1,20 menjadi 10,19 setelah pemasangan *stone column* berjarak 1 meter dengan diameter 30 cm, 3,46 setelah pemasangan *stone column* berjarak 2 meter dengan diameter 30 cm, 2,79 setelah pemasangan *stone column* berjarak 2,5 meter dengan diameter 30 cm, 2,21 setelah pemasangan *stone column* berjarak 3 meter dengan diameter 30 cm, 1,76 setelah pemasangan *stone column* berjarak 4 meter dengan diameter 30 cm dan 1,57 setelah pemasangan *stone column* berjarak 5 meter dengan diameter 30 cm

3. Penggunaan *geotextile* maupun *stone column* terbukti efektif meningkatkan stabilitas lereng dan timbunan di atas tanah lunak. Namun, secara perbandingan, *stone column* memberikan peningkatan faktor keamanan yang lebih tinggi, yaitu dari 1,20 menjadi 2,79, dibandingkan dengan *geotextile* yang meningkat dari 1,20 menjadi 2,38
4. *Stone column* lebih efektif dalam mengurangi penurunan tanah lunak di bawah timbunan, dengan penurunan akhir hanya 0,268 m dibandingkan 1,865 m pada penggunaan geotekstil

B. Saran

Untuk meningkatkan efektivitas perbaikan tanah lunak di bawah timbunan, metode preloading dapat dipertimbangkan sebagai kombinasi tambahan, terutama pada kondisi tanah lunak. *Preloading* dapat membantu mempercepat konsolidasi dan mengurangi penurunan jangka panjang, baik pada sistem perkuatan dengan *stone column* maupun *geotextile*, sehingga hasil perbaikan menjadi lebih stabil.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anggraiani, N. Z., Pratikso, & Fitriyana, L. (2022). Studi Kasus Perbaikan Tanah Lunak Pada Proyek Tol Semarang-Demak (STA 20+300 - STA 20+500). *Jurnal Ilmiah Sultan Agung*, 668–681.
- Cassiophea, L. (2014). Relationship Of Pore Number With Consolidation Settlement

- Of Clay. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan BALANGA*, 2(2), 1–11.
- Darmawandi, A., Waruwu, A., Halawa, T., Harianto, D., & Muammar. (2020). Karakteristik Tanah Lunak Sumatera Utara Berdasarkan Pengujian Kuat Tekan Bebas. *Semnastek UISU*, 1(2002), 16–20.
- Eriyanto, D., Priadi, E., & Purwoko, B. (2017). Pemetaan Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai N-SPT di Kota Pontianak. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 3(3), 1–12.
https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMH_MS/article/view/18815
- Farichah, H. (2021). Jurnal Review: Metode Konstruksi Dan Perilaku Stone Column Sebagai Perkuatan Tanah Dasar Timbunan. *Agregat*, 6(1), 1–6.
- Gilang Fadhlly Achmad, & Aksan Kawanda. (2022). Perancangan Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Metode Bishop, Fellenius, Janbu, Dan Program Geo5. *Prosiding Seminar Intelektual Muda #8, Metode Mitigasi, Keselamatan Proyek Dan Kenyamanan Lingkungan Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Hidup*, 4(1), 185–190.
<https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/sim/article/view/16350>
- Halawa. (2023). 198110167 - Feberita Pantar Halawa - Fulltext.
- Idrus, S. T. H., Iswan, I., & Syah, A. (2021). Hubungan Sifat Sifat Fisik Tanah Yang Dicampur Dengan Kapur Terhadap Stabilitas Tanah Lempung Pada Tanggul. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 9(2), 289–302.
<https://doi.org/10.23960/jrsdd.v9i2.1778>
- Iskandar, F. F., & Hamdhan, I. N. (2016). Pemodelan Numerik Pada Perbaikan Tanah Menggunakan Stone Column Di Tanah Lempung Lunak Di Bawah Tanah Timbunan. *Jurnal*, 2(1), 1–12.
- Lubis Akbar Faizal Muhammad. (2023). Metode Perbaikan Tanah Dengan Geotextile. *Skripsi Universitas Medan Area*, 1–51.
- Maulida, A. R. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga (Stability Analysis Of Slope Road Embankment With Geotextile Reinforcement Using The Finite Element Method).
- Onggara, Y. F., Tjandra, D., & Suwono, J. I. (2022). Analisa Stabilisasi Tanah Lunak Dengan Campuran Portland Cement Dan Fly Ash Untuk Diaplikasikan Pada Bangunan Rumah Tinggal 2 Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 11(2), 230–237.
- Rachael Tunas Pratama, Fatma Sarie, & Okrobianus Hendri. (2021). Analisis Perbaikan Tanah Menggunakan Geotekstil Pada Lapisan Subgrade Proyek Pekerjaan Jalan (Studi Kasus: Peningkatan Jalan G.Obos Xxiv Kota Palangka Raya). *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 148–154. <https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2728>
- Rachman, M. (2024). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Keseimbangan Batas Dan Metode Elemen Hingga*.
- Rajagukguk, O. C. P., Turagan, A. E., & Monintja, S. (2014). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop. *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 140–147.
- Somantri, A. K., Febriansya, A., Rizkiya, D. P., & Azhari, R. N. F. (2021). Perbaikan Tanah Dasar yang Berpotensi Terjadi Likuefaksi dengan Metode Stone Column pada Junction Tebing Tinggi. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, 23(1), 67–76.
<https://doi.org/10.35313/potensi.v23i1.3602>
- Suroso, P., Nugroho, B., & Rajiv Yasmuna, M. (2021). Pengaruh Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Stone Column Terhadap Potensi Likuifaksi (Studi Kasus Jalan Tol Manado-Bitung sta 39+250). *Jurnal INERSIA*, 13(2), 7–16.
- Sutarman, E. (2017). Settlement Beberapa Jenis Tanah. *Istek*, 10(1), 226–239.
- Suyuti, S. (2020). Evaluasi Tinggi Embankment Jalan Pada Tanah Lunak Diperkuat Geotextile Dan Fondasi Cerucuk. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 224.
<https://doi.org/10.29103/tj.v10i2.320>

Waruwu, A., Zega, O., Rano, D., Panjaitan, B.
M. T., & Harefa, S. (2021). Kajian Nilai
California Bearing Ratio (CBR) Pada
Tanah lempung Lunak Dengan Variasi
Tebal Stabilisasi Menggunakan Abu
Vulkanik. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-*
Unand), 17(2), 116-
<https://doi.org/10.25077/jrs.17.2.116-130.2021>