

Analisis pengaruh kepadatan tanah *subgrade* dan perkuatan geotekstil terhadap nilai *safety factor* lereng

Minannur Rohman^{1*}, Galuh Chrismaningwang¹, Bambang Setiawan¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Kota Surakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Slope Stability
Geotextile
Slope/W
Reinforcement
Soft Soil

Corresponding Author:

Minannur Rohman
minannur21@student.uns.a
c.id

Abstract

One of the issues in constructing a structure is the presence of soft *subgrade* soil. The purpose of this study is to examine the impact of *subgrade* soil density on slope stability through geotextile reinforcement. The variations of *subgrade* soil in this research include a 1 m replacement using fill soil, a 2 m replacement using fill soil, a 1 m replacement using fill soil and 1 m using limestone, a 1 m replacement using substitute *subgrade* soil, a 2 m replacement using substitute *subgrade* soil, and a 1 m replacement using substitute *subgrade* soil and 1 m using limestone. The slope stability analysis was conducted using the SLOPE/W program in GeoStudio. The analysis results indicate that the slopes without reinforcement and with variations in *subgrade* soil density do not yield safe *safety factor* values. As the *subgrade* soil becomes weaker, the *safety factor* decreases. The variation of 1 m replacement using substitute *subgrade* soil and 1 m using limestone with reinforcement produces the highest *safety factor* value, which is 1,84.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia memiliki populasi yang terus bertumbuh dengan cepat, dan ini sejalan dengan pertumbuhan ekonominya yang semakin pesat, oleh karena itu kebutuhan akan infrastruktur dan transportasi yang memadai juga semakin meningkat, baik untuk transportasi darat, laut, maupun udara. Pembangunan struktur yang memadai sangat penting untuk mengoptimalkan pertumbuhan ekonomi. Jaringan jalan tol adalah salah satu infrastruktur yang perlu dikembangkan.

Dalam pembangunan jalan tol yang stabil dan memenuhi standar perancangan yang ditetapkan, perbaikan tanah dasar sangat penting untuk dilakukan pada tanah yang lunak. Konstruksi jalan bebas hambatan membutuhkan landasan yang kokoh dan stabil untuk menahan beban kendaraan yang sangat

berat dan gerakan tanah yang terjadi selama berlangsungnya lalu lintas.

Kepadatan tanah *subgrade* dan stabilitas lereng merupakan dua faktor kunci dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur. Tanah *subgrade* yang kurang padat dan tidak stabil menyebabkan penurunan muka jalan, longsor tanah, dan kerusakan pada struktur bangunan, oleh karena itu penting untuk memperhatikan kepadatan tanah *subgrade* dan stabilitas lereng saat merancang dan membangun infrastruktur. Penelitian tentang bagaimana peningkatan kekuatan dan perbaikan tanah fondasi berdampak pada stabilitas lereng timbunan jalan di tanah lunak dilakukan oleh (Aslam & Gofar, 2022). Hasil penelitian menunjukkan perbaikan tanah dengan PVD (*prefabricated vertical drain*) nilai keamanan masih lebih kecil dari 1,5. Nilai keamanan meningkat menjadi 2,41 setelah ditambahkan perkuatan menggunakan geosintetik.

Dalam meningkatkan stabilitas lereng, salah satu teknik yang dapat digunakan adalah perkuatan geotekstil. Penelitian oleh (Fadela, Setiawan, & Fitri, 2022) menyelidiki efek kekuatan tarik geotekstil pada stabilitas lereng dengan memeriksa perbedaan jarak geotekstil dan beban vertikal. Penelitian menemukan bahwa nilai keamanan lereng lebih besar jika kuat tarik geotekstil lebih besar, dan nilai keamanan lereng lebih kecil jika jarak geotekstil lebih kecil. Beban vertikal yang lebih besar menunjukkan nilai keamanan lereng yang lebih rendah.

Penelitian tentang hubungan antara kekuatan *shear key* dan *safety factor* serta penurunan maksimum pada timbunan di atas *soft soil* dilakukan oleh (Kurniawan, Setiawan, & Djarwanti, 2020). Pada penelitian ini kemiringan lereng timbunan 1:2 dan membagi jenis pemasangan dua arah, yaitu ke dalam dan luar timbunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemasangan perkuatan arah luar timbunan paling efisien karena nilai angka keamanan maksimumnya sebesar 1,419 dengan kenaikan 11,88% dan penurunan maksimum sebesar 0,353 m. Nilai *safety factor* maksimum adalah 1,313 dengan kenaikan SF 3,54% pada pemasangan arah dalam dengan *settlement* maksimum 0,409 m.

(Takwin, Emilie, & Rondonuwu, 2017) melakukan penelitian tentang analisis kestabilan lereng dari bidang longsor potensial. Metode ini membandingkan kekuatan geser yang menjaga kestabilan lereng dengan kekuatan geser yang menyebabkan kelongsoran. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi elemen keamanan bidang longsor yang mungkin terjadi. Hasil analisis menunjukkan faktor keamanan 0,202, yang menunjukkan bahwa kondisi lereng tidak stabil. Momen penyebab longsor atau gaya penggerak dapat diperkecil menggunakan *Soil nailing*. Setelah dilakukan perbaikan nilai *safety factor* meningkat menjadi 1,625, dengan nilai SF tersebut lereng dalam keadaan stabil.

Studi tentang penggunaan geotekstil di lereng sungai dilakukan oleh (Azizah, Surjandari, & As'ad, 2014). Analisis Hasil dalam

penelitiannya menyatakan bahwa geotekstil dapat digunakan memperkuat lereng sungai, pemasangan ini tepat untuk mengatasi kelongsoran dan sebagai filtrasi. Nilai faktor keamanan dipengaruhi oleh konfigurasi pemasangan geotekstil yang berbeda.

Penelitian tentang analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan program GeoStudio 2007 dengan variasi kemiringan yang dilakukan oleh (Adriyati, Dananjaya, & Surjandari, 2017). Peneliti melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan data primer, yaitu pengujian geser langsung dan uji properti. Untuk analisis statistik, dilakukan pengujian untuk menghitung persentase tingkat keyakinan dari hasil nilai faktor keamanan (SF), yaitu 95%, 90%, 85%, dan 80%. Nilai 95% adalah nilai tingkat keyakinan yang paling mendekati terjadinya keruntuhan lereng, dan nilai 5% adalah persentase data yang meleset dari analisis. Hasilnya menunjukkan bahwa lereng dengan kemiringan lebih dari 55° mengalami kondisi kritis.

Penelitian tentang bagaimana perbedaan lapis geosintetik berdampak pada faktor keamanan timbunan di atas tanah lunak dilakukan oleh (Setiawan, Dananjaya, & Anggraeni, 2020). Metode elemen hingga (MEH) dengan menggunakan data sekunder dilakukan untuk analisis secara kuantitatif. Hasil pada penelitian ini menyebutkan bahwa untuk meningkatkan nilai faktor keamanan sebesar 23,79 %, mengurangi nilai *settlement* sebesar 2,6 %, serta meningkatkan tegangan tanah sebesar 0,17 % diperlukan jumlah lapisan geosintetik yang ideal.

Penelitian telah dilakukan oleh (Pratama, Muhibibi, Atmanto, & Hardiyati, 2014) mengenai analisis stabilitas lereng serta opsi penanganannya. Program Plaxis V.8.2 dan Metode Fellenius digunakan untuk melakukan analisis pada penelitian ini. Hasil perhitungan menggunakan Metode Fellenius menghasilkan nilai *safety factor* (SF) sebesar 1,4701, sedangkan hasil perhitungan menggunakan program menghasilkan nilai *safety factor* (SF) sebesar 1,3476. Dengan nilai SF kurang dari 1,5 memungkinkan lereng

akan terjadi longsor. Ada dua opsi untuk penanganan, yaitu dengan *bored piles* 11 m atau *counterfort wall* ditambahkan *bored piles* 10 m. Berdasarkan hasil analisis perhitungan, alternatif ini meningkatkan nilai *SF* menjadi 1,6383.

Penelitian tentang stabilitas tanah timbunan yang diperkuat dengan sabut kelapa di atas tanah lunak dilakukan oleh (Fahrhani, 2016). Hasil analisis menunjukkan bahwa perkuatan menggunakan sabut kelapa dapat meningkatkan kestabilan lereng timbunan.

Penelitian tentang analisis stabilitas lereng menggunakan metode *fellenius* dilakukan oleh (Pangemanan, Emilie, & Sompie, 2014). Penelitian ini menghasilkan nilai angka keamanan sebesar 0,193. Perkuatan *soil nailing* dipilih untuk perkuatan karena lereng tersebut tidak stabil. Setelah analisis, perkuatan nilai *SF* menjadi 1,926, yang menunjukkan bahwa lereng tersebut stabil.

(Aji, Setiawan, & Dananjaya, 2017) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh ketebalan lapisan *subbase course* pada *subgrade soft soil*. Penelitian ini menyelidiki hal yang mempengaruhi nilai *CBR* dan k_v , salah satunya adalah ketebalan *subbase course*. Hasilnya menunjukkan bahwa pada kombinasi lapisan lengkap *subgrade*, lapisan *subbase course*, plastik, dan lapisan *base course*, lapisan *subbase course* yang ketebalannya bertambah setiap 5 cm mampu menaikkan nilai k_v dan *CBR* secara signifikan. Selain itu, nilai modulus reaksi *subgrade* sebesar 26,35% dapat ditingkatkan dengan menambah perkuatan geosintetik yaitu menggunakan *geotextile woven* yang tipe 250.

Kepadatan tanah *subgrade* sangat mempengaruhi efektivitas perkuatan tanah menggunakan geotekstil. Penelitian ini melakukan analisis bagaimana pengaruh kepadatan tanah *subgrade* dan perkuatan geotekstil terhadap nilai *safety factor* lereng untuk mengetahui hasil analisis menggunakan program *SLOPE/W* dalam *GeoStudio*. Variasi

kepadatan tanah *subgrade* adalah subjek penelitian ini.

LANDASAN TEORI

Tanah Dasar (Subgrade)

Tanah dasar memiliki peran yang penting dalam perkuatan lereng karena dapat memberikan dukungan dan stabilitas yang dibutuhkan oleh lereng. Untuk menilai stabilitasnya terhadap pembebanan, dibutuhkan suatu rekayasa perkuatan untuk meningkatkan kekuatan strukturnya. Banyak hal yang mempengaruhi daya dukung tanah dasar, seperti tingkat kepadatan tanah, jenis tanah, kadar air dan lain sebagainya.

Tanah dasar terdiri dari berbagai jenis tanah, seperti tanah liat, pasir, kerikil atau campuran dari beberapa jenis tanah. Komposisi tanah dasar akan mempengaruhi sifat-sifat fisik dan mekaniknya, seperti kekuatan, kepadatan, dan drainase. Tanah dasar harus memiliki kemampuan yang cukup untuk mendukung lereng di atasnya. Ini termasuk kekuatan dan kekakuan yang memadai untuk menahan gaya lateral dari lereng. Tanah dasar yang lereng lemah atau tidak stabil dapat menyebabkan kegagalan lereng. Tanah dasar yang terlalu jenuh air atau drainase yang buruk menyebabkan penurunan kestabilan lereng. Tanah dasar berinteraksi langsung dengan lereng di atasnya. Hal ini termasuk adanya gaya geser antara tanah dasar dan lereng, serta perpindahan air dan deformasi tanah dasar yang dapat mempengaruhi stabilitas keseluruhan lereng.

(Kurdin & Ahmad, 2013) melakukan penelitian tentang sifat teknik tanah sebagai *subgrade* dengan *clay content* yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana kekuatan tanah dasar yang dipengaruhi oleh kadar lempung, serta bagaimana persentase pengurangan dan penambahan kadar lempung mempengaruhi kekuatan tanah dasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan dan penurunan kadar lempung, nilai indeks plastis tanah liat rendah meningkat dan menurun. Semakin sedikit

kadar lempung yang ditambahkan, semakin rendah indeks plastisnya.

Stabilitas Lereng

Hasil analisis stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh banyak variabel. Kondisi tanah berlapis-lapis, kepadatan *subgrade* di lereng, kondisi tanah, aliran rembesan air dalam tanah, dan bahan tanah lainnya adalah beberapa faktor yang berkontribusi. Terzaghi (1950) membagi penyebab longsoran lereng menjadi faktor internal dan eksternal. Nilai faktor keamanan, biasanya digunakan untuk menunjukkan stabilitas lereng. Nilai aman adalah ukuran yang digunakan untuk membandingkan gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan.

Bowles (1989) telah melakukan klasifikasi angka aman (*safety factor*) terhadap intensitas terjadinya longsor bisa dilihat pada Tabel (1).

Tabel 1. Hubungan angka keamanan dan intensitas longsor (Bowles, 1989)

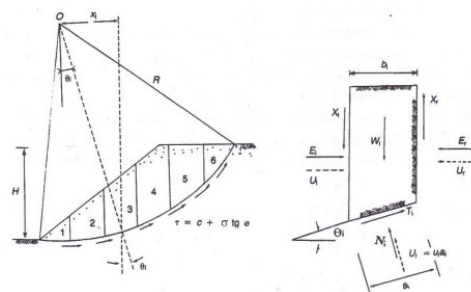
Nilai <i>Safety factor</i>	Kejadian/Intensitas Longsor
SF ,1,07	Longsor terjadi biasa/sering (labil)
1,07 < SF < 1,25	Longsor pernah terjadi (kritis)
SF > 1,25	Longsor jarang terjadi (relative stabil)

Analisis Stabilitas Lereng

Dalam melakukan analisis stabilitas lereng metode keseimbangan batas (*limit equilibrium*) dapat digunakan. Metode ini membagi massa longsor menjadi irisan kecil untuk memeriksa kestabilan lereng. Metode ini memungkinkan bidang longsor berbentuk lingkaran atau non-lingkaran. Metode ini menganggap irisan mewakili seluruh bagian gaya gesek kuat batuan atau tanah yang bekerja.

Berat tanah di atas suatu titik mempengaruhi gaya normal pada titik tersebut. Gambar (1) menunjukkan suatu irisan di mana gaya-gaya ini berfungsi. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser (X_r dan X_l) dan gaya normal efektif (E_r dan E_l), serta resultan gaya efektif (T_i) dan resultan gaya normal efektif (N_i) yang bekerja di sepanjang dasar irisan. Tekanan air pori U_i

dan U_r bekerja di kedua sisi irisan; pada dasarnya, tekanan air pori U_i bekerja.



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan (Hardiyatmo, 2010)

Metode irisan ini terdiri dari beberapa metode, seperti Metode Fellenius/Ordinary, Metode Bishop, Metode Janbu, dan Metode Morgenstern Price. Pemilihan metode tergantung pada kebutuhan dengan tujuan mempermudah peneliti dalam menganalisis.

Geotekstile

Menurut (Koerner, 2005) geotekstil adalah produk geosintetik berbentuk lembaran yang terbuat dari serat yang tidak alami atau bahan sintetik lainnya yang memiliki karakteristik seperti pori-pori, kekuatan tarik, dan permeabilitas. Geotekstil digunakan untuk memperkuat tanah, memisahkan lapisan tanah yang berbeda, dan mengontrol erosi pada struktur permukaan tanah. Jenis-jenis geotekstil yaitu, *non-woven geotextile* (nir-anyam), *woven geotextile* (anyam), dan *composite geotextile* (geotekstil komposit).

Penggunaan jenis *non-woven geotextiles* yang memiliki arah serat yang tidak terarah dalam strukturnya, sehingga deformasi yang besar dan sulit untuk dikendalikan. Sebaliknya, geotekstil yang terikat memiliki arah gaya yang dapat disesuaikan dengan arah seratnya, sehingga hasilnya lebih baik. Jenis *composite geotextiles* merupakan jenis geotekstil yang mengombinasikan beberapa jenis geosintetik lainnya, sehingga geotekstil komposit ini memiliki kinerja lebih baik dengan menekankan kombinasi fungsi pemisah dan penguat.

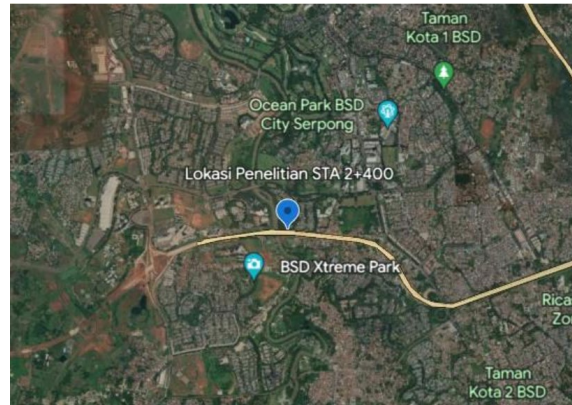
GeoStudio

Software GeoStudio adalah aplikasi yang digunakan untuk pemodelan yang berkaitan dengan bidang geoteknik dan geo-lingkungan. Dengan kemampuan analisis yang ketat dan terintegrasi yang baik, GeoStudio dapat membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan dibidang tersebut. GeoStudio terdiri dari beberapa produk, yaitu SLOPE/W, SIGMA/W, QUAKE/W, SEEP/W, TEMP/W, dan CTRAN/W. Produk-produk ini saling terintegrasi sehingga pengguna dapat mengintegrasikan hasil analisis dari satu produk ke produk lainnya. Dalam penelitian ini, SLOPE/W digunakan.

SLOPE/W adalah perangkat lunak yang bisa digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng yang menghasilkan nilai faktor keamanan lereng dan kemiringan batuan. Dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk melakukan analisis masalah sederhana maupun kompleks. Selain itu, SLOPE/W memungkinkan pengguna melakukan analisis probabilitas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas mengenai pengaruh kepadatan tanah *subgrade* terhadap stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil. Kepadatan tanah *subgrade* digunakan sebagai variasi parameter. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar (2). Beberapa parameter tetap yang digunakan adalah panjang geotekstil, jarak vertikal geotekstil, kemiringan lereng, parameter tanah, pembebanan, dan spesifikasi geotekstil. Variasi parameter ditampilkan pada Tabel (2).



Gambar 2. Lokasi penelitian
sumber: <https://earth.google.com/web/>

Tabel 2. Variasi kepadatan tanah *subgrade*

No	Variasi
1	Tanah Eksisting
2	Replacement 1 m menggunakan tanah timbunan
3	Replacement 2 m menggunakan tanah timbunan
4	Replacement 1 m menggunakan tanah timbunan dan 1 menggunakan <i>limestone</i>
5	Replacement 1 m menggunakan tanah <i>subgrade</i> pengganti
6	Replacement 2 m menggunakan tanah <i>subgrade</i> pengganti
7	Replacement 1 m menggunakan tanah <i>subgrade</i> pengganti dan 1 m <i>limestone</i>

Data Penelitian

Data dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi atau organisasi yang relevan, yaitu dari Proyek Pembangunan Jalan Tol di Kabupaten Tangerang. Pada Tabel (3) dan Tabel (4) menunjukkan data tanah yang digunakan berdasarkan data sekunder.

Tabel 3. Tabel parameter lapisan tanah

Kedalaman (m)	Konsistensi	<i>c</i> (kN/m ²)	ϕ (°)
0 – 3,5	Soft	12	10
3,5 – 5,5	Medium	18	16
5,5 – 6,5	Loose	8	20
6,5 – 13	Stiff	28	26

Tabel 4. Parameter tanah timbunan dan tanah *subgrade* perbaikan

Uraian	Satuan	Tanah Timbunan	Tanah Subgrade Perbaikan	Limestone
γ	kN/m ³	16	18	2,3
Kohesi (c)	kN/m ²	10	28	0
Sudut geser (ϕ)	°	25	26	35

Material geotekstil yang digunakan adalah jenis Hibritex LP 105. Data material geosintetik yang digunakan didapatkan dari brosur geotekstil PT. Tetrasa Geosinindo ditampilkan pada Tabel (5).

Tabel 5. Properties geotekstil

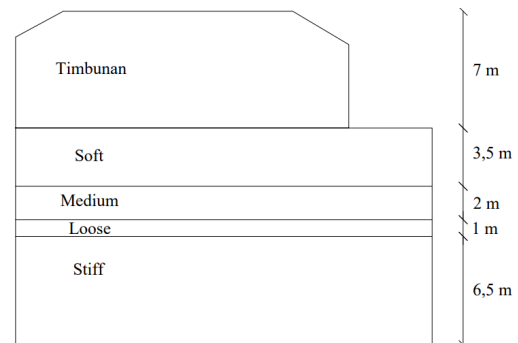
Parameter	Satuan	Nilai
T_{ult}	kN/m	105
ϵ	%	10
RF_{CR}	-	1,55
RF_{ID}	-	1,00
RF_D	-	1,1

Berdasarkan data sekunder, data *dead load* atau beban dari struktur perkerasan sebesar 12,20 kN/m². Beban lalu lintas berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum (2009), beban lalu lintas sebesar 15 kN/m². Perhitungan pada GeoStudio diasumsikan jumlah bebannya yaitu dari beban struktur ditambahkan beban lalu lintas yang hasilnya dibulatkan menjadi 30 kN/m².

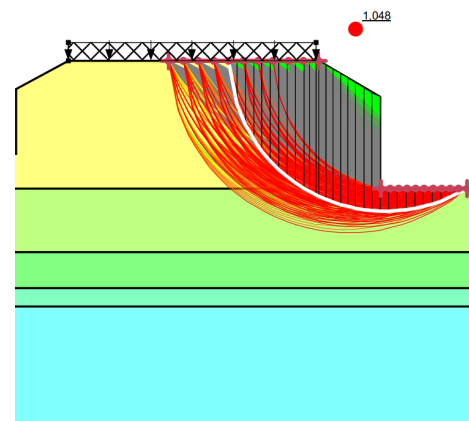
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Menggunakan Program GeoStudio

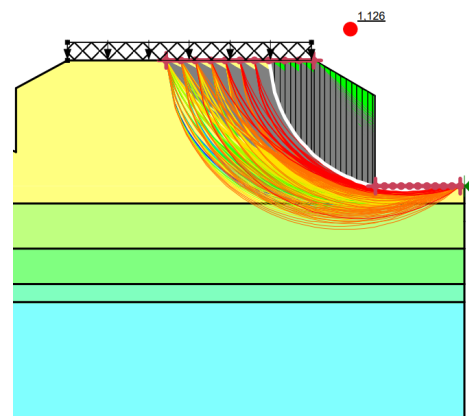
Metode analisis pada penelitian ini digunakan Metode Bishop, Metode Fellenius/Ordinary, Metode Janbu, Metode Morgenstern-Price, dan Metode Spencer. Setelah dilakukan analisis akan didapatkan nilai *safety factor* (SF) pada lereng yang ditentukan. Pada Tabel (6) merupakan rekapitulasi nilai *safety factor* pada lereng tanpa perkuatan dan menggunakan perkuatan.



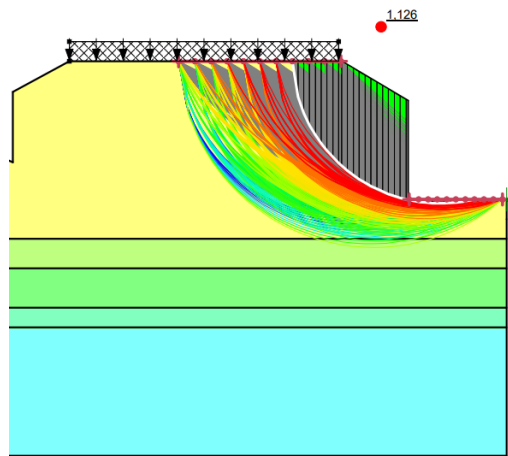
Gambar 3. Gambar pemodelan



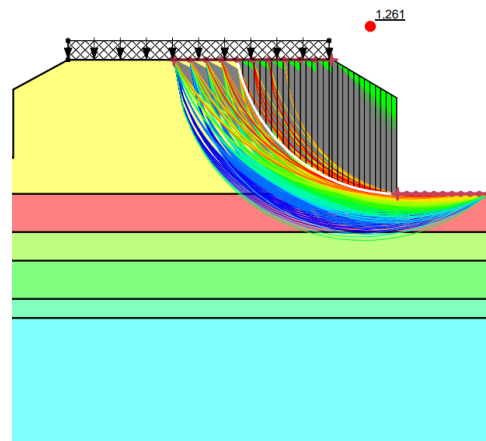
Gambar 4. Hasil analisis pemodelan tanpa perkuatan geotekstil variasi 1 metode Bishop



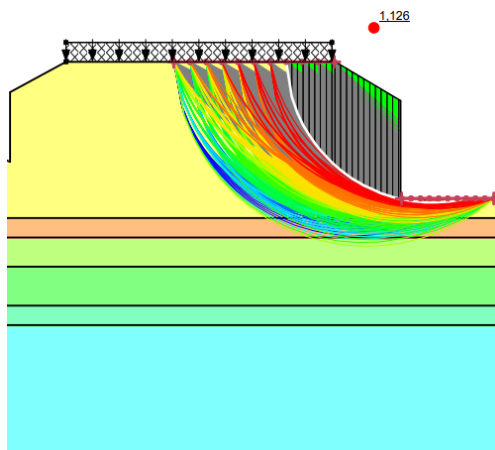
Gambar 5. Hasil analisis pemodelan tanpa perkuatan geotekstil variasi 2 metode Bishop



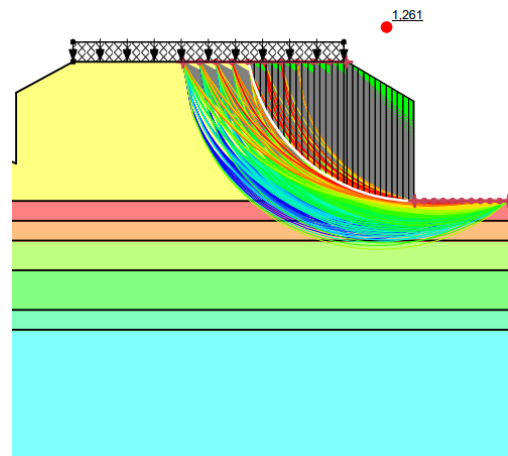
Gambar 6. Hasil analisis pemodelan tanpa perkuatan geotekstil variasi 3 metode Bishop



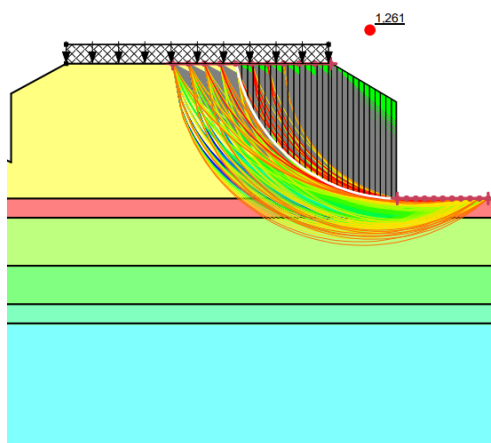
Gambar 9. Hasil analisis pemodelan tanpa perkuatan geotekstil variasi 6 metode Bishop



Gambar 7. Hasil analisis pemodelan tanpa perkuatan geotekstil variasi 4 metode Bishop



Gambar 10. Hasil analisis pemodelan tanpa perkuatan geotekstil variasi 7 metode Bishop



Gambar 8. Hasil analisis pemodelan tanpa perkuatan geotekstil variasi 5 metode Bishop

Pada hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan diketahui nilai *safety factor* < 1,25. Dengan nilai SF < 1,25 dapat dikatakan lereng pada keadaan tidak stabil. Oleh karena itu, perkuatan lereng dengan penambahan geotekstil perlu dilakukan.

Stabilitas lereng internal dan eksternal perlu diperhatikan dalam analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil. Berikut adalah Pers. (1) yang digunakan untuk menghitung koefisien tanah aktif:

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

Dengan K_a merupakan koefisien tanah aktif dan ϕ merupakan sudut geser dalam ($^\circ$). Berdasarkan perhitungan dengan nilai ϕ sebesar 25° , hasil nilai K_a adalah 0,41.

Tegangan horizontal tanah yaitu tegangan tanah yang diakibatkan oleh adanya pergerakan tanah ke arah horizontal. Berikut adalah Pers. (2) yang digunakan untuk menghitung tekanan tanah.

$$\sigma_{hc} = q \cdot ka - 2 \cdot c \sqrt{Ka} + Ka \cdot H \cdot \gamma \quad (2)$$

Dengan σ_{hc} merupakan tekanan tanah lateral (kN/m^2), q merupakan beban merata (kN/m), H merupakan ketinggian lapisan tanah (m), dan γ merupakan *unit weight* tanah (kN/m^3). Berdasarkan perhitungan nilai tekanan tanah lateral sebesar 61.04 kN/m^2 .

Kemudian untuk menghitung jarak antar geotekstil menggunakan Pers. (3)

$$Sv = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot SF} \quad (3)$$

Dengan Sv merupakan spasi antar lapisan geotekstil (m), T_{all} merupakan kuat tarik ijin geotekstil (kN/m), dan SF merupakan faktor keamanan pada perhitungan ini digunakan nilai SF sebesar 1,5. Berdasarkan perhitungan jarak vertikal antar geotekstil adalah 0,7 m.

Stabilitas Eksternal dihitung menggunakan Pers. (4) berikut

$$\Sigma Pa = \frac{1}{2} H^2 \cdot \gamma \cdot Ka + q \cdot H \cdot Ka \quad (4)$$

Dengan ΣPa merupakan jumlah tekanan tanah aktif (kN/m), q merupakan beban merata (kN/m), dan H merupakan ketinggian lapisan tanah (m). Berdasarkan perhitungan jumlah tekanan tanah aktif sebesar $254,27 \text{ kN/m}$.

Stabilitas terhadap penggeseran dihitung menggunakan Pers. (5), digunakan $SF = 1,5$. Tahanan geser pada dasar perkuatan

$$\begin{aligned} Rh &= \Sigma W \cdot \tan \delta \\ &= (LH_\gamma + qL) \tan \left(\frac{2}{3} \phi \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Substitusikan Pers. (5) ke Pers. (6)

$$SF = \frac{\Sigma W \cdot \tan \delta}{\Sigma Pa} \quad (6)$$

Dengan W merupakan berat tanah. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai L sebesar 8,55 m.

Kemudian dilakukan perhitungan stabilitas terhadap penggulingan dengan digunakan SF

= 1,5. Momen Penahan dapat dilihat pada Pers. (7) dan momen penggerak pada Pers. (8). Kemudian dilakukan substitusi persamaan 8 ke 7.

$$\Sigma M_R = 0,5L + (W + q \cdot L) \quad (7)$$

$$\Sigma M_D = y \cdot Pa \quad (8)$$

$$y = \frac{\left(\frac{1}{3} \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot Ka + \left(\frac{H}{2} \right) \cdot q \cdot H \cdot Ka \right)}{\Sigma Pa} \quad (9)$$

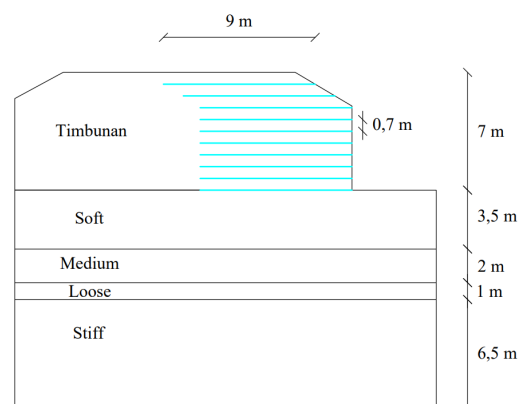
Dengan ΣM_R merupakan jumlah momen yang melawan dan ΣM_D merupakan jumlah momen penggulingan. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai L pada perhitungan ini adalah 5,27 m. Kemudian dilakukan perhitungan untuk jumlah gaya vertikal yang terjadi menggunakan persamaan 9. Setelah nilai jumlah tegangan vertikal diketahui dilakukan pengecekan untuk nilai stabilitas terhadap penggulingan menggunakan Pers. (11)

$$\Sigma V = \Sigma W + q \cdot L \quad (10)$$

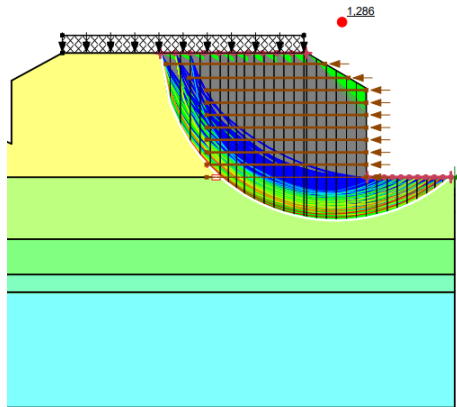
$$e = \frac{\Sigma M_D}{\Sigma V} \quad (11)$$

Denga ΣV merupakan jumlah gaya vertikal. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan Pers. (11) untuk mengecek stabilitas terhadap penggulingan dengan persamaan $e < L/6$ yang nilainya sebesar $0,24 < 1,43$, dari nilai tersebut hasilnya sesuai.

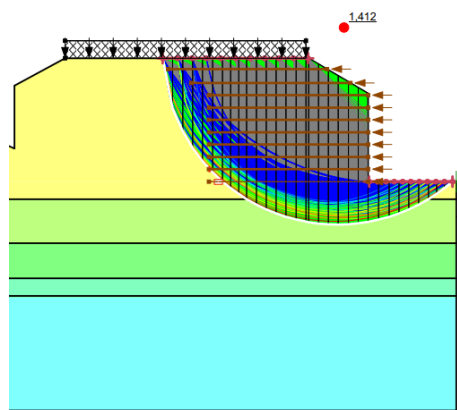
Berdasarkan hasil perhitungan digunakan geotekstil dengan panjang 9 m dan jarak antar geotekstil 0,7 m. Model perkuatan geotekstil disajikan pada gambar Gambar (11).



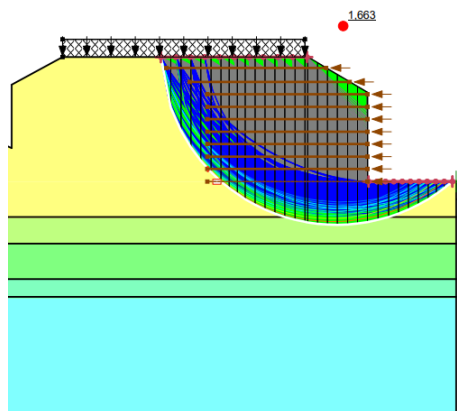
Gambar 11. Model perkuatan lereng menggunakan geotekstil



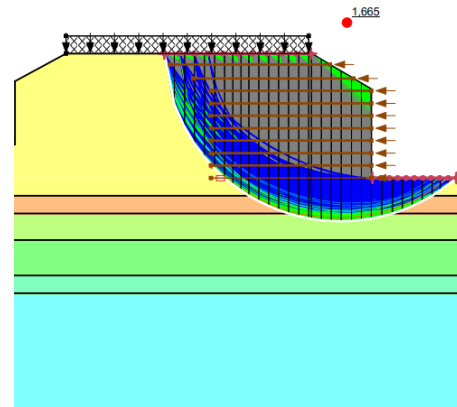
Gambar 12. Hasil analisis pemodelan menggunakan perkuatan geotekstil variasi 1 metode Bishop



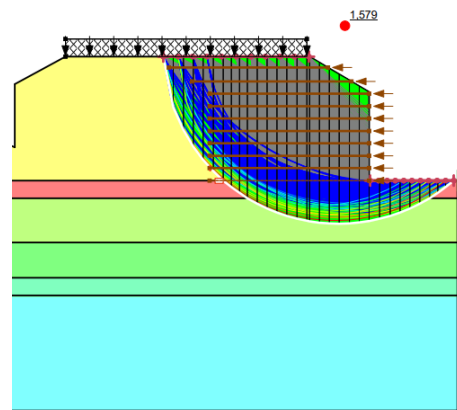
Gambar 13. Hasil Analisis Pemodelan Menggunakan Perkuatan Geotekstil Variasi 2 Metode Bishop



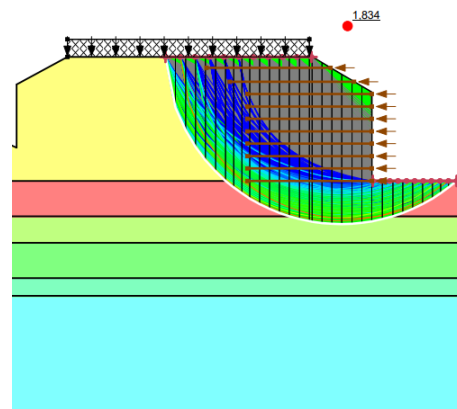
Gambar 14. Hasil analisis pemodelan menggunakan perkuatan geotekstil variasi 3 metode Bishop



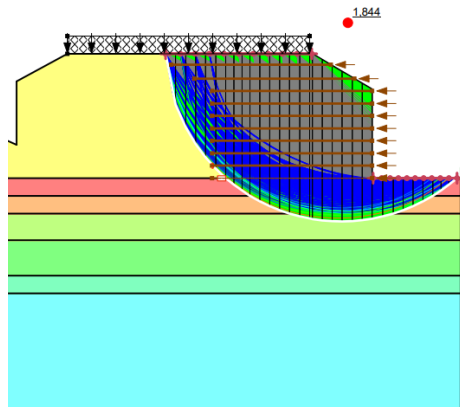
Gambar 15. Hasil analisis pemodelan menggunakan perkuatan geotekstil variasi 4 metode Bishop



Gambar 16. Hasil analisis pemodelan menggunakan perkuatan geotekstil variasi 5 metode Bishop



Gambar 17. Hasil analisis pemodelan menggunakan perkuatan geotekstil variasi 6 metode Bishop



Gambar 18. Hasil analisis pemodelan menggunakan perkuatan geotekstil variasi 7 metode Bishop

Berdasarkan hasil analisis pada lereng menggunakan perkuatan ketika kepadatan tanah *subgrade* meningkat terjadi kenaikan nilai *safety factor* pada lereng. Peningkatan nilai *sf* pada variasi 2 terhadap variasi 1 adalah 9%, peningkatan nilai *safety factor* pada variasi 3 terhadap variasi 1 adalah 28%, peningkatan nilai *safety factor* pada variasi 4 terhadap 1 adalah 29%, peningkatan nilai *safety factor* pada variasi 5 terhadap 1 adalah 22%, peningkatan nilai *safety factor* pada variasi 6 terhadap variasi 1 adalah 42%, dan peningkatan nilai *safety factor* pada variasi 7 terhadap variasi 1 adalah 42%.

Tabel 6. Rekapitulasi nilai *safety factor*

Metode	Nilai SF Pada Pemodelan													
	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3		Variasi 4		Variasi 5		Variasi 6		Variasi 7	
	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
Bishop	1,05	1,29	1,13	1,41	1,13	1,66	1,13	1,67	1,26	1,58	1,26	1,83	1,26	1,84
Morgenstren-Price	1,02	1,27	1,02	1,38	1,12	1,62	1,12	1,64	1,25	1,55	1,25	1,80	1,25	1,82
Janbu	0,96	1,14	0,96	1,25	1,11	1,43	1,11	1,43	1,12	1,39	1,12	1,57	1,12	1,58
Fellenius/Ordinary	0,94	1,11	0,94	1,21	1,03	1,41	1,03	1,43	1,14	1,34	1,14	1,56	1,14	1,57
Spencer	1,03	1,26	1,03	1,39	1,12	1,64	1,12	1,65	1,25	1,57	1,25	1,82	1,25	1,83

* T: Tanpa perkuatan geotekstil

* P: Menggunakan perkuatan geotekstil

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, terjadi peningkatan nilai *safety factor* ketika kepadatan tanah *subgrade* pada lereng mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin padatnya tanah *subgrade* pada lereng, semakin meningkat pula kestabilan dan keamanan lereng tersebut. Peningkatan nilai *safety factor* dapat diartikan sebagai indikator bahwa kemungkinan terjadinya kegagalan lereng, seperti longsor, dapat dikurangi.

Berdasarkan hasil analisis, nilai *safety factor* (SF) yang dihasilkan dari lereng tanpa perkuatan kurang dari 1,25. Lereng tersebut berdasarkan klasifikasi *safety factor* menurut Bowles (1989) lereng tersebut merupakan

lereng dalam keadaan kritis dan labil. Oleh karena itu, untuk mendapatkan lereng yang stabil diperlukan perkuatan.

Perkuatan pada penelitian ini menggunakan geotekstil. Geotekstil yang digunakan mempunyai nilai T_{ult} sebesar 105 kN/m². Berdasarkan perhitungan, panjang geotekstil adalah 9 m dengan jarak spasi antar geotekstil 0,7 m. Berdasarkan hasil analisis, nilai *safety factor* yang menggunakan perkuatan meningkat.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan, dengan penambahan *limestone* dapat meningkatkan nilai *safety factor* pada lereng tersebut. (Dunn, 1980) menyatakan stabilisasi dengan kapur digunakan untuk mengurangi potensi pengembangan dan tekanan

pengembangan pada tanah lempung. Ini karena penambahan kapur menciptakan ion-ion kalsium tinggi dalam lapisan ganda di sekitar partikel lempung, yang mengurangi tarikan air.

KESIMPULAN

Dengan mengacu pada hasil dan pembahasan berdasarkan data dalam penelitian ini, simpulan yang bisa didapatkan sebagai berikut.

1. Peningkatan nilai *safety factor* terjadi dalam berbagai variasi penggantian tanah *subgrade*, baik menggunakan tanah timbunan, *limestone*, maupun tanah *subgrade* pengganti.
2. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan variasi kepadatan tanah *subgrade* tidak didapatkan nilai *safety factor* yang aman.
3. Berdasarkan hasil analisis, tanah *subgrade* yang semakin jelek/lemah bidang gelincir longsor yang terjadi semakin panjang.
4. Dengan replacement 1 m menggunakan tanah *subgrade* pengganti dan 1 m *limestone* merupakan kombinasi yang menghasilkan nilai SF paling besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam pembuatan naskah ini. Terima kasih kepada PT. Tetrasa Geosinindo selaku penyedia referensi bahan geotekstil. Terima kasih kepada Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan dukungan serta fasilitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriyati, M., Dananjaya, R. H., & Surjandari, N. S. (2017). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software Geo Studio 2007 dengan Variasi Kemiringan (Studi Kasus: Bukit Ganoman Kab Karanganyar)*.
- Aji, E. W., Setiawan, B., & Dananjaya, H. (2017). *Material Batu Kapur sebagai Lapisan Subbase Course pada Subgrade*

Tanah Lunak dengan Perkuatan Plastik dan Geosintetik.

- Aslam, Z., & Gofar, N. (2022). Pengaruh Perbaikan Tanah Fondasi dan Perkuatan Terhadap Stabilitas Lereng Timbunan Jalan di Atas Tanah Lunak. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 356–367. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i2.4613>
- Azizah, F. N., Surjandari, N. S., & As'ad, S. (2014). *Penggunaan Geotekstil pada Lereng Sungai Gajah Putih Surakarta*.
- Bowles, Joseph. E. (1989). *Analisis dan Desain Pondasi* (Vol. 4).
- Dunn. (1980). *Dasar-Dasar Analisis Geoteknik*. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Fadela, R., Setiawan, B., & Fitri, S. N. (2022). Pengaruh Kuat Tarik Geotekstil Terhadap Analisis Stabilitas Lereng dengan Variasi Beban Vertikal dan Jarak Vertikal Geotekstil. *Matriks Teknik Sipil*, 10(3), 269. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v10i3.54166>
- Fahriani, F. (2016). Analisis Stabilitas Tanah Timbunan dengan Perkuatan Sabut Kelapa. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung*, 4(2), 115–125.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah 2*.
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with geosynthetics* (Fifth). Pearson Prentice Hall.
- Kurdin, M. A., & Ahmad, S. N. (2013). Engineering Properties pada Tanah Sebagai *Subgrade* dengan Variasi Clay Content. *Jurnal Stabilita*, 1(3), 325–342.
- Kurniawan, M. I. A., Setiawan, B., & Djarwanti, N. (2020). *Pengaruh Perkuatan Shear Key Terhadap Angka Keamanan dan Penurunan Maksimum Pada Timbunan di Atas Tanah Lunak*.
- Pangemanan, V. G. M., Emilie, T. A., & Sompie, O. B. A. (2014). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode*

Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). Diambil dari <https://www.researchgate.net/publication/307167547>

- Pratama, R. B., Muhibibi, I. M., Atmanto, I. D., & Hardiyati, S. (2014). *Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsoran Jalan Alternatif Tawangmangu Sta 3+150-Sta 3+200, Karanganyar)* (Vol. 3). Halaman. Diambil dari Halaman website: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- Setiawan, B., Dananjaya, R. H., & Anggraeni, F. (2020). *Pengaruh Variasi Lapis Geosintetik Terhadap Safety Factor Timbunan di Atas Tanah Lunak*. 95–103.
- Takwin, G. A., Emilie, T. A., & Rondonuwu, S. G. (2017). *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland)*. 15(67).