



Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2 STA 6+475)

¹Pandu Graha Rizqullah, ²Yelvi

^{1,2}Jurusan Teknil Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

¹pandugraha215@gmail.com, ²yelvi@sipil.pnj.ac.id

Abstract

Excavation and embankment work on toll roads is a routine work due to the difference of elevation between road and ground existing. This paper will discuss slope stability during earth works at Cibitung - Cilincing Toll Road Project since there are a lot of excavation and embankment works. The slope stability has to be analyzed to determine safety factor (SF). On this paper, embankment slope at STA 6+475 is reinforced by geotextile system. The safety factor is calculated using before and after reinforced by geotextile using Bishop method and PLAXIS software program. The results shows that a safety factor of 1.47 (manually) and 1.201 (PLAXIS) in static condition. For dynamic condition with coefficient of horizontal earthquake of 0,18 is obtained average of safety factor of 0.95 (manually). While the safety factor for analysis with earthquake loads using PLAXIS software program cannot be calculated, then the lateral deformation value is sought, which is 0,505 m. From this result, the slope of existing condition has to be reinforced by geotextile system since SF is less than 1.25. Reinforcement of geotextile system designed is divided into 2 zones, such as: 1.0 m and 0.5 m. Analysis of slope stability of the embankment slopes with geotextile reinforcement system is obtained a safety factor of 1.880. It means that the condition of the existing embankment slopes reaches 64%. While the value of the lateral deformation of the embankment slope using geotextile reinforcement with an earthquake load is 0,034 m, so that this value meets the allowable deformation value.

Keywords: Sliding, Safety Factor, Geotextile, Bishop, Geotextile

Abstrak

Pekerjaan galian dan timbunan pada Jalan Tol merupakan hal yang sering dijumpai karena perbedaan elevasi jalan rencana dengan elevasi tanah aslinya. Pada Proyek Jalan Tol Cibitung - Cilincing terdapat banyak pekerjaan galian dan timbunan, hal ini mengakibatkan kemungkinan terjadinya kelongsoran pada badan jalan sehingga lereng perlu dianalisis kestabilannya. Penelitian ini membahas mengenai pencegahan kelongsoran lereng timbunan pada STA 6+475 Jalan Tol Cibitung - Cilincing Seksi 2. dimana perkuatan yang direncanakan yaitu menggunakan geotekstil. Penelitian ini dianalisis dengan membandingkan hasil faktor keamanan kondisi tanah asli dan dengan penambahan perkuatan geotekstil yang dihitung menggunakan metode Bishop dan program Plaxis V.20. Hasil analisis dengan metode bishop tanpa beban gempa didapat faktor keamanan sebesar 1,47 dan dengan program Plaxis V.20 didapat faktor keamanan sebesar 1,201. Dari analisis dengan metode bishop dengan beban gempa (kh) sebesar 0,18 didapat faktor keamanan 0,95. Sedangkan faktor keamanan untuk analisis dengan beban gempa menggunakan program Plaxis V.20 tidak dapat diperhitungkan, maka dicari nilai deformasi lateralnya yakni sebesar 0,505 m. Dari hasil tersebut lereng kondisi tanah asli harus diberi perkuatan karena nilai $FK < 1,25$. Perkuatan menggunakan geotekstil dibagi menjadi 2 zona yaitu 1,0 m dan 0,5 m. Hasil analisis stabilitas lereng timbunan dengan perkuatan geotekstil mendapatkan faktor keamanan sebesar 1,880 dimana meningkat sebesar 64 % dari kondisi lereng timbunan tanpa perkuatan. Sedangkan nilai deformasi lateral lereng timbunan menggunakan perkuatan geotekstil dengan beban gempa didapat sebesar 0,034 m, sehingga nilai tersebut memenuhi nilai deformasi izin. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa perkuatan geotekstil dapat meningkatkan kestabilan lereng secara efektif dalam mencegah kelongsoran pada lereng.

Kata kunci: Kelongsoran, Faktor Keamanan, Geotekstil, Bishop, Plaxis V.20

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

1. Pendahuluan

Permasalahan yang sering terjadi dalam pekerjaan galian dan timbunan pada lereng di proyek Jalan Tol yaitu kelongsoran. Apabila lereng memiliki timbunan yang tinggi akan menyebabkan kestabilan tanah dasar berkurang dan beban yang diterima semakin besar sehingga memungkinkan terjadinya permasalahan kelongsoran pada lereng timbunan. Stabilitas tanah pada lereng dapat terganggu akibat pengaruh alam, iklim dan aktivitas manusia [1]. Longsoran terjadi dikarenakan adanya gerakan tanah, Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah vertikal, horizontal atau diagonal terhadap kedudukan awal dikarenakan pengaruh air tanah, gravitasi, dan beban yang bekerja di atas tanah tersebut, serta pengaruh lingkungan sekitar [2]. Kemungkinan terjadinya permasalahan tersebut berada pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2 STA 6+475 karena memiliki timbunan di badan jalan yang cukup tinggi sebesar 7,5 m sehingga diperlukan analisis stabilitas lereng yang tepat untuk mengetahui faktor keamanan (FK) dan risiko kelongsorannya.

Perkuatan pada lereng difungsikan untuk mencegah terjadinya kelongsoran, sehingga kestabilan lereng dapat tercapai [3]. Dalam mengatasi kemungkinan kelongsoran banyak metode perkuatan yang dapat digunakan, salah satunya dengan menambah perkuatan geosintetik untuk menambahkan FK pada lereng. Geosintetik memiliki berbagai jenis seperti geogrid, geomembran, geotekstil, dan lain sebagainya. Geotekstil merupakan suatu bahan sintesis *permeable* yang bahan dasarnya

terbuat dari tekstil polimer seperti polyester atau polypropylene. Geotekstil dapat digunakan atau berfungsi sebagai separator, filter, proteksi, dan perkuatan [4].

Pada penelitian ini untuk meningkatkan nilai FK pada lereng akan dicoba menggunakan perkuatan geotekstil yaitu jenis geotekstil woven. Hal ini, dikarenakan selain dapat menjadi perkuatan bagi lereng, geotekstil dapat juga berfungsi sebagai filter terhadap aliran air yang melintas di bawah badan jalan [5]. Selain itu pemilihan perkuatan lereng dengan geotekstil dipilih karena dianggap memiliki beberapa keunggulan antara lain dapat mengurangi pemakaian lahan karena lereng dengan perkuatan dapat lebih tegak, mengurangi volume bahan timbunan, dan memungkinkan digunakannya timbunan dengan kualitas yang lebih rendah [6]. Kuat tarik dan panjang geotekstil serat parameter tanah timbunan mempengaruhi faktor keamanan konstruksi lereng [7].

Analisis stabilitas lereng pada penelitian ini akan membandingkan nilai FK sebelum dan sesudah perkuatan, dimana akan dianalisis menggunakan perhitungan manual (metode *Bishop*) dan program *Plaxis V.20*. Batasan nilai FK agar lereng dianggap stabil harus memiliki nilai $FK > 1,25$ [8] dan $FK \geq 1,10$ jika gempa diperhitungkan [9]. Apabila hasil analisis lereng timbunan kondisi tanah asli dan setelah diberi perkuatan geotekstil terjadi selisih yang besar. Maka, diharapkan penelitian ini dapat dijadikan evaluasi terhadap pengambilan keputusan dalam menganalisis kestabilan lereng yang ditinjau dari segi kekuatannya.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 01-11-2022

1.1 Analisis Stabilitas Lereng

Kestabilan lereng tergantung kepada gaya penggerak (*driving force*) dan gaya penahan (*resisting force*) yang bekerja pada bidang gelincir tersebut, dimana dapat dicapai jika gaya penahan pada lereng lebih besar dari gaya penggerak [10]. Analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial [11]. Analisis stabilitas lereng mempunyai banyak faktor yang mempengaruhi, misalnya kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah, aliran rembes air dalam tanah, dan lain – lain [12]. Faktor keamanan adalah nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, disajikan dalam rumus:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

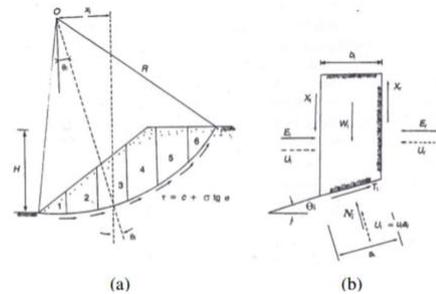
$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{c_d + \sigma \tan \varphi_d} \quad (2)$$

Dengan FK adalah faktor keamanan lereng, τ_f adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN/m^2), τ_d adalah tegangan geser yang terjadi akibat berat tanah yang akan longsor (kN/m^2), c adalah kohesi tanah (kN/m^2), c_d adalah kohesi yang terjadi sepanjang bidang longsor (kN/m^2), φ adalah sudut geser tanah ($^\circ$), φ_d adalah sudut geser dalam tanah yang terjadi sepanjang bidang longsor ($^\circ$), σ adalah tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor (kN/m).

1.2 Metode Sederhana Bishop

Metode *Bishop* diperkenalkan oleh A.W Bishop pada tahun 1955, dimana menggunakan cara potongan gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan. Pada metode *Bishop* dibuat penyederhanaan terhadap metode *Fellenius* yang lebih teliti dengan mempertimbangkan

momen dan gaya normal tetapi mengabaikan gaya geser. Dengan kata lain gaya – gaya yang bekerja pada sisi – sisi irisan dianggap memiliki resultan nol pada arah vertikal [13].



Gambar 1. Gaya-gaya yang Bekerja pada Irisan [14]

Sumber: Das (1993)

$$FK = \frac{\sum [(c \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \varphi)] \left(\frac{1}{M_\alpha}\right)}{\sum W \sin \alpha} \quad (3)$$

Dengan,

$$M_\alpha = \cos \alpha (1 + \tan \varphi \tan \alpha / F) \quad (4)$$

Dengan FK adalah faktor keamanan lereng, c adalah kohesi tanah (kN/m^2), φ adalah sudut geser tanah ($^\circ$), b adalah lebar irisan (m), W adalah berat irisan (kN), α adalah sudut yang didefinisikan di Gambar 1 ($^\circ$), u adalah tekanan air pori (kN/m^2).

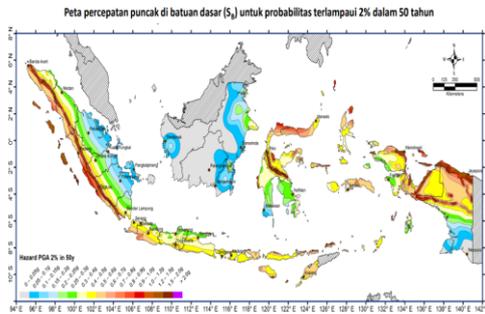
1.3 Pengaruh Gempa terhadap Kestabilan Lereng

Perpindahan tanah selama gempa bumi menyebabkan momen inersia yang besar pada lereng. Pada saat lereng mengalami pengaruh gempa dapat diasumsikan bahwa tanah tersebut akan mengalami sedikit penurunan pada kekuatan lereng karena beban siklis [15]. Kuat geser tanah pada lereng dapat berkurang dikarenakan adanya pengaruh gempa. Gempa rencana untuk lereng ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2 % atau setara dengan periode ulang 500 tahun dengan

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 [9].



Gambar 2. Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun versi 2017 [16]

Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017

F_{kmin} yang disyaratkan untuk analisis menggunakan model *pseudostatik* adalah lebih besar dari 1,10. Koefisien seismik yang digunakan adalah percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan menggunakan koefisien seismik horizontal (K_h) ditentukan sebesar 0,5 dari percepatan puncak horizontal dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi [17].

$$F_h = K_h \cdot W \quad (5)$$

Dengan F_h adalah gaya horizontal, K_h adalah koefisien *pseudostatik* horizontal, W adalah berat dari massa tanah yang runtuh.

$$FK_{gempa} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Gempa}} \quad (6)$$

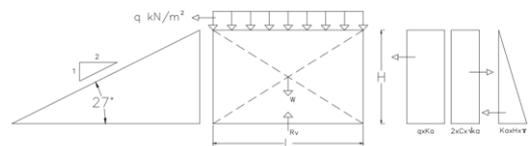
$$FK_{gempa} = \frac{[(c \cdot b + [(W - u \cdot b) \cdot (+ F_h \sin \alpha) \tan \varphi]] \cdot \left(\frac{1}{M \alpha}\right)}{W \sin \alpha + F_h \cos \alpha} \quad (7)$$

1.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Pada konstruksi lereng dengan sistem perkuatan lereng, gaya yang meruntuhkan akan dilawan dengan kemampuan geser dan tarik dari bahan perkuatan tersebut [10]. Ketika tanah dan geotekstil digabungkan, material

komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi [18].

Dalam menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari analisis stabilitas eksternal dan internal. Stabilitas eksternal terbagi menjadi stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas daya dukung tanah. Sedangkan stabilitas internal terbagi menjadi stabilitas terhadap gaya-gaya internal yang diperhitungkan terhadap panjang *overlapping* geotekstil dan panjang efektif geotekstil [19]. Gaya yang bekerja pada tanah disajikan dalam diagram distribusi tekanan tanah lateral.



Gambar 3. Distribusi Tekanan Tanah Lateral

$$\sigma_{hc} = (q \times Ka) + (Ka \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{Ka}) \quad (8)$$

Dengan σ_{hc} adalah tekanan tanah lateral (kN/m²), γ_b adalah berat volume tanah (kN/m³), q adalah beban merata (kN/m²), c adalah kohesi (kN/m²), H adalah tinggi lapisan tanah (m), dan K_a adalah Koefisien tanah aktif ($^{\circ}$).

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (9)$$

Dengan K_a adalah koefisien tanah aktif, φ adalah sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$).

$$Sv = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \quad (10)$$

Dengan Sv adalah jarak arah vertikal antar lapis geotekstil, T_{all} adalah kuat tarik *allowable* geotekstil (kN/m), SF adalah nilai faktor aman.

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D \times FK} \quad (11)$$

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

Dengan T_a adalah kuat tarik jangka panjang per satuan lebar geosintetik (kN/m), T_{ult} adalah kuat tarik ultimit geosintetik (kN/m), RF_{ID} adalah faktor reduksi akibat kerusakan saat pemasangan, RF_{CR} adalah faktor reduksi oleh

pengaruh rayapan saat masa layanan struktur, RF_D adalah faktor reduksi degradasi pengaruh serangan kimia dan biologi, FK adalah faktor keamanan = 1, untuk struktur tanah bertulang (RSS).

A. Stabilitas Eksternal

1. Stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{(q \times \tan \varphi \times L) + (H \times \gamma_b \times \tan \varphi \times L)}{(q \times Ka \times H) + (\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2) - (2 \times C \times \sqrt{Ka} \times H)} \quad (12)$$

2. Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{(\frac{1}{2} \times q \times L^2) + (\frac{1}{2} \times \gamma_b \times H \times L^2)}{(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times C \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)} \quad (13)$$

3. Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\frac{1}{6} \times L \geq e \quad (14)$$

$$e = \frac{\sum MD}{Rv} \quad (15)$$

$$e = \frac{(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2) + (\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H) - (2 \times C \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)} \quad (16)$$

4. Stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{(c \times Nc) + (\frac{1}{2} \times L \times \gamma_b \times N\gamma)} \quad (17)$$

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H \times \gamma_b) + q} \quad (18)$$

Dengan γ_b adalah berat volume tanah (kN/m³), σ_{ult} adalah tegangan ultimit (kN/m²), q adalah beban merata (kN/m²), c adalah kohesi (kN/m²), H adalah tinggi lapisan tanah (m), L adalah panjang geotekstil (m), Ka adalah koefisien tanah aktif, φ adalah sudut geser dalam tanah (°), e adalah nilai eksentrisitas tanah (m) dan RV adalah gaya reaksi vertikal (kN/m²).

Dengan L_o adalah panjang *overlapping* geotekstil, L_e adalah panjang efektif geotekstil, σ_{hci} adalah tekanan horizontal rata-rata pada lipatan (kN/m²), Svi adalah jarak rulangan arah vertikal (m), SF adalah faktor keamanan, γ_b adalah berat volume tanah (kN/m³), φ adalah sudut geser dalam tanah (°), Zi adalah kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)

B. Stabilitas Internal

1. Panjang *Overlapping*

$$L_o = \frac{\sigma_{hci} \times Svi \times SF}{2 \times Zi \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (19)$$

2. Panjang Efektif

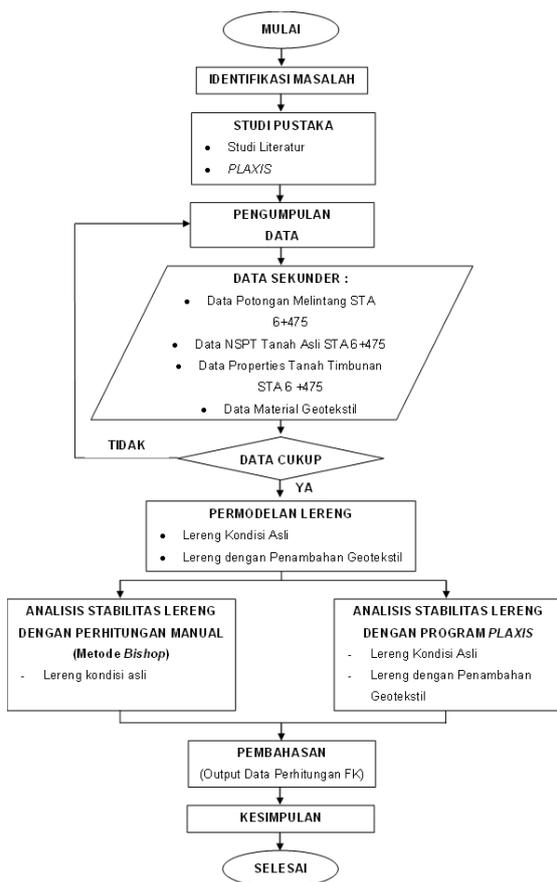
$$L_e = \frac{Svi \times SF \times Ka \times \gamma_b \times Zi}{2 \times Zi \times \gamma_b \times \tan \varphi} \quad (20)$$

2. Metode Penelitian

Penelitian ini memodelkan lereng sesuai potongan melintang pada Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2 STA 6+475. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menganalisis kondisi lereng baik dengan maupun tanpa adanya pengaruh gempa yang dihitung menggunakan metode *Bishop* dan program *Plaxis V.20*.

Informasi Artikel

Penelitian ini membandingkan hasil perhitungan faktor keamanan lereng sebelum dan sesudah ditambahkan perkuatan geotekstil sebagai peningkatan stabilitas lereng ataupun pencegahan kelongsoran pada lereng. Analisis stabilitas lereng timbunan dihitung berdasarkan data sekunder lokasi tinjauan berupa data tanah, data pembebanan perkerasan jalan dan lalu lintas, Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2017, serta data material geotekstil. Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Beban yang Bekerja di Atas Lereng

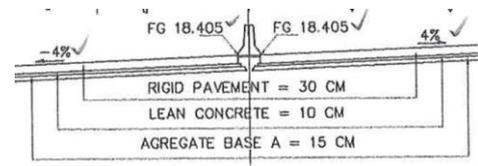
Beban tersebut merupakan beban vertikal total (*surchage loads*) yaitu gaya vertikal yang

disebabkan oleh beban lalu lintas dan beban perkerasan jalan.

Tabel 1. Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas [9]

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
II	12

Sumber : SNI 8460-2017



Gambar 5. Potongan Melintang Perkerasan

Sumber : PT Cibitung Tanjung Priok Port Tollways (CTP)

Beban Perkerasan Jalan

$$\begin{aligned}
 &= \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 \\
 &= (24 \times 0,30) + (22 \times 0,10) + (18 \times 0,15) \\
 &= 12,10 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat beban vertikal total (*surchage loads*) sebesar:

$$\begin{aligned}
 &= \text{beban perkerasan} + \text{beban lalu lintas} \\
 &= 12,10 \text{ kN/m}^2 + 15 \text{ kN/m}^2 = 27,10 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3.2 Data Tanah dan Hasil Parameter Tanah

Penelitian ini menggunakan hasil penyelidikan tanah berupa *boring log* pada STA 6+475 Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2. Sedangkan untuk data properties tanah eksisting dan tanah timbunan didapatkan dari korelasi empiris dari beberapa ahli ataupun buku dikarenakan data parameter tanah yang dibutuhkan untuk pemodelan di metode *Bishop* dan *Plaxis V.20* tidak ada ataupun tidak lengkap. Hasil korelasi empiris untuk parameter tanah eksisting tiap lapisan dan juga parameter tanah timbunan dapat dilihat pada Tabel 2.

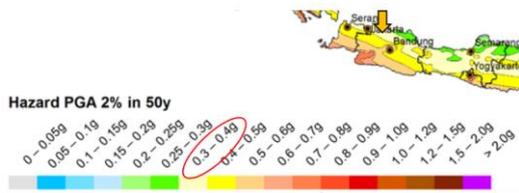
Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

Tabel 2. Parameter Tanah Tiap Lapisan

Jenis Tanah	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	K m/hari	E kPa	V nu	C' kPa	ϕ
Timbunan	15	17	8,64 E-03	2000	0,3	5	26
Lapisan 1	16	18	8,64 E-03	3300	0,3	3	17
Lapisan 2	18	20	8,64 E-03	6600	0,3	6	27
Lapisan 3	17	19	8,64 E-03	4400	0,3	5	20
Lapisan 4	16	18	8,64	78500	0,4	1	36

3.3 Percepatan Gempa



Gambar 6. Wilayah Cibitung pada Peta Hazard Gempa Indonesia 2017 [16]

Sumber: Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017

Pada daerah Cibitung di Peta Hazard Gempa Indonesia 2017 dengan nilai PGA dibatukan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun memiliki potensi gempa diantara nilai 0,3 – 0,4 g, diambil yang terbesar yaitu 0,4 g.

Perolehan kelas situs SE (tanah lunak) :
 Beban Gempa tahun 2017, $PGA = 0,4$,
 $FK_{PGA} = 0,9$

Perhitungan PGA_M :

$$PGA_M = FK_{PGA} \times PGA$$

$$= 0,9 \times 0,4 = 0,36 \text{ g}$$

Perhitungan Beban Gempa (K_h) :

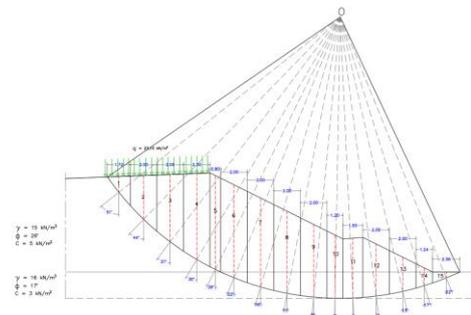
$$K_h = 0,5 \times PGA_M/g$$

$$= 0,5 \times 0,36 \text{ g/g} = 0,18$$

Diperoleh beban gempa tahun 2017 untuk lokasi penelitian yaitu daerah Cibitung,
 $K_h = 0,18$.

3.4 Hasil Analisis Kondisi Lereng Asli dengan Metode Bishop

Perhitungan metode *Bishop* diperlukan cara coba-coba hingga hasil nilai FK ruas kanan dan ruas kiri mencapai hasil yang sama. Karena diperlukan cara coba-coba maka pekerjaan dibantu dengan Microsoft Excel.



Gambar 7. Permodelan Tiap Irisan untuk Perhitungan Metode *Bishop* STA 6+475

Perhitungan FK tanpa pengaruh gempa:

$$FK(1,44) = \frac{\sum [(c \cdot b + W_T \tan \phi)] \left(\frac{1}{M_\alpha} \right)}{\sum W_T \sin \alpha}$$

$$FK(1,44) = \frac{847,96}{588,25}$$

$$FK(1,44) = 1,44 \text{ (Kondisi Lereng Stabil)}$$

Perhitungan FK dengan pengaruh gempa:

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

$FK (0,93)$

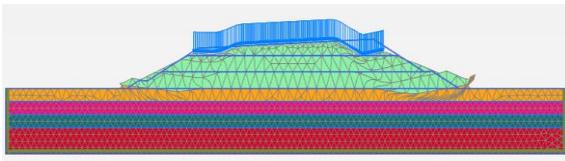
$$= \frac{[(c \cdot b + [W_T [(+ F_h \sin \alpha] \tan \phi)] \left(\frac{1}{M_\alpha}\right)]}{W_T \sin \alpha + F_h \cos \alpha}$$

$$FK (0,93) = \frac{844,49}{588,25 + 322,39}$$

$FK (0,93) = 0,93$ (Kondisi Lereng Kritis)

3.5 Hasil Analisis Kondisi Lereng Asli dengan Plaxis V.20

Didapatkan potensi kelongsoran dan nilai FK dari hasil analisis kondisi lereng asli dengan *Plaxis V.20* sebagai berikut :



Gambar 8. *Deformed Mesh* Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli tanpa Beban Gempa



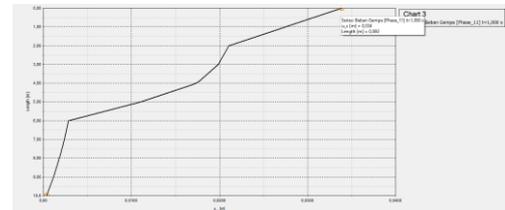
Gambar 9 Grafik *Safety Factor* Lereng Timbunan Kondisi Tanah Asli tanpa Beban Gempa

Dari hasil analisis diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi lereng asli tanpa adanya pengaruh beban gempa merupakan lereng kritis dikarenakan nilai $1,07 < FK < 1,25$ dimana longsoran pernah terjadi [8].

Sedangkan analisis lereng kondisi asli dengan beban gempa untuk mendapatkan nilai FK lereng tidak dapat diperhitungkan, karena pada *Plaxis V.20* tidak dapat memperhitungkan *safety* setelah perhitungan *dynamic*, yang dimana terdapat *error*.

Maka untuk dapat membandingkan hasil analisis stabilitas lereng kondisi asli dan

menggunakan perkuatan geotekstil dengan adanya pengaruh gempa dilakukan dengan membandingkan nilai deformasi lateralnya. hasil deformasi lateral lereng kondisi asli dengan adanya pengaruh gempa dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Grafik Deformasi Lateral pada Lereng Timbunan menggunakan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa

Dari grafik diatas menyatakan bahwa lereng kondisi asli dengan beban gempa diperoleh nilai deformasi lateral sebesar 0,505 m. Nilai deformasi tersebut tidak memenuhi deformasi izin pada saat desain kejadian seismik yaitu sebesar 1 – 2 inci [9].

3.6 Hasil Analisis Kondisi Lereng dengan Penambahan Geotekstil

Dalam perhitungan geotekstil diperlukan data parameter tanah, data geotekstil dan koefisien daya dukung tanah yang digunakan untuk menganalisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal.

Dalam *Plaxis V.20* diperlukan memasukkan data berupa nilai *normal stiffness* (EA) yang dapat dihitung sebagai berikut.

- A. Data Tanah Timbunan
 1. Berat volume tanah (γ_{unsat}) = 15 kN/m²
 2. Kohesi (c') = 5 kN/m²
 3. Sudut geser dalam (ϕ) = 26 °
- B. Geotekstil
 1. Jenis geoteksti = Geotekstil Woven HRX 250
 2. Kuat tarik ultimet = 40 kN/m

Informasi Artikel

3. Regangan = 35%

$$= 37,68$$

4. Normal Stiffness (EA)

Dalam Plaxis V.20 diperlukan memasukkan data berupa nilai normal stiffness (EA) yang dapat dihitung sebagai berikut.

$$EA = \frac{F_g}{\Delta l/l} = 40/0,35$$

$$EA = 114,28 \text{ kN/m}$$

C. Koefisien Daya Dukung Tanah

Untuk nilai koefisien daya dukung tanah sebagai berikut:

$$N_c = 22,25, N_q = 11,85, N_\gamma = 12,54$$

Perhitungan dilakukan dengan membagi perkuatan menjadi 2 zona seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Pembagian Zona pada Tanah Timbunan

A. Stabilitas Eksternal

1. Menentukan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (Sv)

Digunakan SF = 1,5

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{26}{2} \right) = 0,39$$

$$T_{all} = \frac{40}{1,1 \times 1,5 \times 1,0 \times 1,0} = 24,24 \text{ kN/m}$$

a). Analisis Zona 1

$$\begin{aligned} \sigma_{hc1} &= (27,10 \times 0,39) + (0,39 \times 4 \times 15) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,39}) \\ &= 27,76 \end{aligned}$$

$$Sv1 = \frac{24,24}{27,76 \times 1,5}$$

$$= 0,58 \text{ m (dipakai 1 m)}$$

Banyak lapis geotekstil = $4/1 = 4$ lembar

b). Analisis Zona 2

$$\sigma_{hc2} = (0,39 \times 7,5 \times 15) - (2 \times 5 \times \sqrt{0,39})$$

$$Sv2 = \frac{24,24}{37,68 \times 1,5}$$

$$= 0,43 \text{ m (dipakai 0,5 m)}$$

Banyak lapis geotekstil = $3,5/0,5 = 7$ lembar

2. Menentukan Panjang Geotekstil

Untuk menentukan panjang geotekstil yang digunakan, dilakukan beberapa tahap perhitungan berikut ini :

a). Stabilitas terhadap geser

$$L = 16,802 \text{ m} = 17 \text{ m}$$

b). Stabilitas terhadap guling

$$L^2 = 19,02 \text{ m}$$

$$L = 4,36 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

c). Stabilitas terhadap eksentrisitas

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{885,16}{139,60 L}$$

$$139,60 L^2 \geq 5310,99$$

$$L^2 = 38,04$$

$$L = 6,17 = 7 \text{ m}$$

d). Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

$$\begin{aligned} q_{ult} &= (5 \times 22,25) + (0,5 \times L \times 15 \times 12,54) \\ &= 111,25 + 94,05 L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ult} &= (111,25 + 94,05 L) \times 1,5 \\ &= 166,87 + 141,07 L \end{aligned}$$

$$L \leq \frac{166,87 + 141,07 L}{(7,5 \times 15) + 27,10}$$

$$L \leq \frac{166,87 + 141,07 L}{139,60}$$

$$139,60 L \leq 166,87 + 141,07 L$$

$$L \leq -113,13$$

Dari analisis diatas panjang geotekstil minimal yang akan digunakan adalah sebesar 17 m.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

B. Stabilitas Eksternal

1. Panjang *overlapping* geotekstil

Zona 1 pada geotekstil no. 1:

$$L_o = \frac{26,51 \times 1 \times 1,5}{2 \times 4 \times 15 \times \tan 26}$$

$$L_o = 0,68 \text{ m}$$

Karena panjang *overlapping* geotekstil minimum 1 meter, maka panjang *overlapping* diambil 1m. Hasil rekapitulasi perhitungan L_o dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Panjang *Overlapping* Geotekstil

Zona	Geotekstil	S_{vi} (m)	Z_i (m)	L_o (m)	L_o pakai
Zona 1	1	1	1	0,71	1
	2	1	2	0,71	1
	3	1	3	0,71	1
	4	1	4	0,71	1
Zona 2	5	0,50	4,50	0,26	1
	6	0,50	5	0,26	1
	7	0,50	5,50	0,26	1
	8	0,50	6	0,26	1
	9	0,50	6,50	0,26	1
	10	0,50	7	0,26	1
	11	0,50	7,50	0,26	1

2. Panjang efektif geotekstil

Zona 1 pada geotekstil no. 1 :

$$L_e = \frac{1 \times 1,5 \times 0,39 \times 15 \times 4}{2 \times 4 \times 15 \times \tan 26}$$

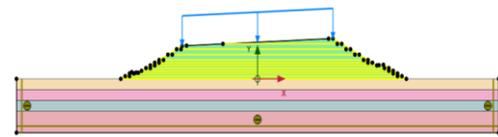
$$L_e = 6,00 \text{ m}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan panjang efektif geotekstil dapat dilihat pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Panjang Efektif Geotekstil

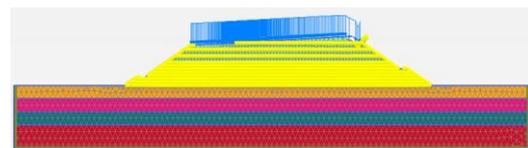
Geotekstil	L_e (m)
1	6
2	6
3	6
4	6

5	3
6	3
7	3
8	3
9	3
10	3
11	3

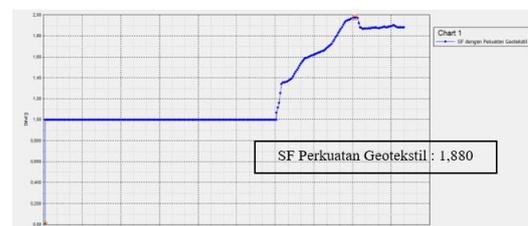


Gambar 12. Pemodelan Geometri Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil

Gambar 12 merupakan pemodelan geometri lereng yang telah ditambahkan dengan perkuatan geotekstil sesuai perhitungan kebutuhan lapis geotekstil yang telah dilakukan. Untuk hasil analisis lereng dengan perkuat dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. *Deformed Mesh* Lereng Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil



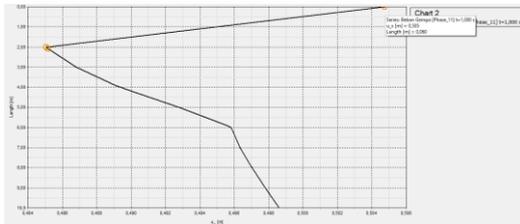
Gambar 14. Grafik *Safety Factor* pada Lereng Timbunan menggunakan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa

Dari hasil analisis diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi lereng dengan perkuatan geotekstil meningkatkan nilai FK menjadi > 1,25 sehingga kondisi lereng menjadi stabil atau longsor jarang terjadi.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

Karena pada *Plaxis V.20* tidak dapat diperhitungkan faktor keamanan dengan beban gempa, maka dihitung nilai deformasi lateralnya. Untuk hasil perhitungan deformasi latera pada lereng menggunakan perkuatan geotekstil dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Deformasi Lateral pada Lereng Timbunan menggunakan Perkuatan Geotekstil dengan Beban Gempa

Dari Grafik diatas menyatakan bahwa lereng menggunakan perkuatan geotekstil dengan beban gempa diperoleh nilai deformasi lateral sebesar 0,034 m. sehingga nilai deformasi memenuhi nilai deformasi izin.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada penelitian ini, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu nilai FK lereng tanpa beban gempa dengan perhitungan manual (metode *Bishop*) > 1,25 (Bowles, 1993) yakni 1,44, sehingga lereng dalam kondisi stabil. Jika perhitungan ditambah dengan adanya pengaruh beban gempa ($K_h = 0,18$), didapatkan nilai FK sebesar 0,93 yang berarti lereng berada dalam kondisi yang labil, untuk perhitungan menggunakan *Plaxis V.20* tanpa adanya pengaruh gempa didapatkan nilai FK sebesar 1,201. Sehingga lereng, dalam keadaan kritis dan masih rentan terhadap kelongsoran. Sedangkan untuk nilai FK dengan adanya pengaruh gempa tidak bisa dimunculkan, karena perhitungan *safety* untuk mendapatkan nilai FK tidak bisa dilakukan setelah proses perhitungan *dynamic* pada

Plaxis V.20, agar nilai FK meningkat dilakukan perkuatan lereng timbunan dengan menambakan geotekstil. Geotekstil yang digunakan adalah geotekstil HRX-250 dengan nilai kuat tarik sebesar 40 kN/m. Dengan membagi jarak vertikal antar geotekstil (S_v) menjadi 2 zona yaitu 1,0 m dan 0,5 m. Didapatkan nilai FK lereng timbunan sebesar 1,880 sehingga lereng dapat dikatakan dalam keadaan stabil. Sedangkan untuk nilai FK dengan adanya pengaruh gempa tidak bisa dimunculkan, karena perhitungan *safety* untuk mendapatkan nilai FK tidak bisa dilakukan setelah proses perhitungan *dynamic* pada *Plaxis V.20*, Untuk dapat membandingkan hasil analisis stabilitas lereng dengan adanya pengaruh gempa pada *Plaxis V.20* dilakukan dengan membandingkan nilai deformasi lateralnya. Diperoleh nilai deformasi lateral lereng kondisi asli dengan beban gempa sebesar 0,505 m. Setelah diberi perkuatan geotekstil nilai deformasi lateral menjadi 0,034 m, sehingga nilai deformasi memenuhi persyaratan nilai deformasi izin sesuai SNI 8460:2017 yaitu 1-2 inci. Hasil analisis dengan *Plaxis V.20* yang didasarkan menggunakan *Finite Element Method* (FEM) mendapatkan nilai angka keamanan yang lebih kecil dikarenakan *finite element* didasarkan pada hubungan tegangan regangan, sehingga *redistribusi stress* pasti lebih baik. Sedangkan, metode lain seperti metode *bishop* yang didasarkan menggunakan *Limit Equilibrium Method* (LEM) memperkirakan angka keamanan lebih tinggi.

5. Saran

Saran yang dapat diberikan dari analisis yang telah dilakukan diberikan yaitu perlu dilakukan

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022

penelitian di laboratorium terhadap sampel tanah yang didapatkan dari proyek agar mendapatkan data tanah yang sesungguhnya, sehingga hasil analisis bisa menjadi lebih akurat, selain dengan perkuatan geotekstil, dapat menggunakan beberapa metode perkuatan lainnya, misalnya dinding penahan tanah, *soil nailing*, cerucuk, dan lain sebagainya, untuk penelitian lebih lanjut dapat membandingkan hasil analisis *Plaxis* dengan program lain seperti *Geoslope* dan *X Stable*, agar bisa dihitung nilai faktor keamanan dengan beban gempa.

Daftar Rujukan

- [1] Mau, J., Rasidi, N., & Hanggara, I. (2017). Studi Penentuan Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellinius Dan Bishop Pada Dinding Penahan Batu Kali Di Jl. Raya Beji Puskesmas Kota Baru. *EUREKA: Jurnal Penelitian*.
- [2] Gati, B. M., & Purwanto, E. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan dan Prediksi Timbunan yang Terjadi Menggunakan Program Plaxis*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [3] Prasetyo, I., Setiawan, B., & Dananjaya, R. H. (2017). Analisis Stabilitas Lereng Bertingkat Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 1, 922–926.
- [4] Fauzi, I. M., & Hamdhan, I. N. (2019). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven Akibat Pengaruh Termal Menggunakan Metode Elemen Hingga. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 61–72.
- [5] Chandra, A. A., & Rindi, S. (2021). Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Abe-Arso Sta 3+700 Dengan Perkuatan Geotekstil. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 2(2), 50–60.
- [6] Direktorat Jenderal Bina Marga. 2009. *Pedoman No 003/BM/2009. Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [7] Seprianto, S., & Suhendra, A. (2021). Analisis Pengaruh Tekanan Air Pori Pada Lereng Yang Diperkuat Dengan Geotekstil. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(1), 139–148.
- [8] Bowles, J. E. 1993. *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Badan Standarisasi Nasional. 2017. *SNI 8460-2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [10] Pradhana, R. (2010). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 2011*, 2(1). 41–49.
- [11] Hardiyatmo, H. C. 2010. *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya. Edisi Kedua*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [12] Ramadan, A. F., & Maha Agung, P. A. (2022). Evaluasi Kelongsoran Dan Alternatif Perkuatan Menggunakan Geotekstil Dengan Program Geoslope (Studi Kasus: Kelongsoran Tol Cipali Km 122 Jalur B). *Construction and Material Journal*, 4(1), 59–69.
- [13] Hardiyatmo, H. C. 2018. *Mekanika Tanah II. Edisi Keenam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [14] Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- [15] Rekzyanti, R., Balamba, S., & Manarinsong, L. (2016). Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa. *TEKNO Vol.14/No.66/Desember 2016 ISSN: 0215-9617 ANALISA*, 14(66).
- [16] Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Penerbit Badan Penelitian dan Pengembangan.
- [17] Bachtiar, R. E., Utama, D. A., & Isnaniati. (2018). Pengaruh Perubahan Peta Hazard Gempa Indonesia terhadap Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil. *AGREGAT*, 3(2).
- [18] Christine, R., Suroso, & Munawir, A. (2014). *Pengaruh Lebar Pondasi dan Jumlah Lapisan Geotekstil Terhadap Daya Dukung Pondasi pada Pemodelan Fisik Lereng Pasir dengan Kemiringan 51*. Universitas Brawijaya, Malang.
- [19] Hayumi, L. (2021). *Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus: Jalan Tol Padang-Pekanbaru Seksi I)*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 27-08-2022 | Selesai Revisi: 31-10-2022 | Diterbitkan Online: 05-11-2022