

KAJIAN STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL DAN DINDING PENAHAN TANAH KANTILEVER DI RUAS JALAN PADANG-LB. SELASIH SUMATERA BARAT

Syahril Alzahri¹⁾, Adiguna²⁾, Bimo Brata Adhitya³⁾,
Yulindasari Sutejo^{4,*)}, dan Reffanda Kurniawan Rustam⁵⁾

^{1,2,5)}Jurusan Teknik Sipil FT Universitas PGRI Palembang, Jl. A. Yani, Lr. Gotong Royong, 9/10 Ulu, Sumsel

^{3,4)}Jurusan Teknik Sipil FT UNSRI, Jl. Raya Prabumulih-Km 32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumsel

Abstract

A typical relatively steep slope makes the Lb. Selasih – Bts. Kota Padang KM.29+650 experienced a landslide in 2017. So, it is necessary to strengthen the slope to overcome the landslide. Alternative slope reinforcement used is reinforcement using cantilever retaining walls or geotextiles. Slope stability analysis before and after were analyzed using the Slope/W program. The output produced by Slope/W program is the value of the safety factor. The safety factor value for the state of the original slope is 1.100. It shows that the slope in the original condition is unstable and vulnerable to landslide hazards. The retaining wall has a height of 11 m and a base plate width of 8 m. The results of the analysis showed that the cantilever retaining wall securely with stands shear, rolling, and bearing capacity of the subgrade with a safety factor value of 1.620; 1.550; 2.160, while geotextile reinforcement has a height of 16 m and an ultimate tensile strength of 200 kN / m. The results of the analysis showed that the reinforcement of the geotextile safely sliding, stability, and bearing capacity of the subgrade with a safety factor value of 1.600; 2.330; 2.860. Both of these reinforcements are safe to stabilize the slope by increasing the value of the slope safety factor by 2.235 for strengthening the cantilevered retaining wall and 2.279 for strengthening the geotextile.

Key Words: *cantilever retaining walls, geotextile, safety factor, slope stability, Slope/W*

1. PENDAHULUAN

Ibu kota Provinsi Sumatera Barat adalah kota Padang. Letak Provinsi Sumatera Barat berada pada pertemuan dua lempeng benua: Eurasia dan Indo-Australia. Kondisi ini menjadikan Provinsi Sumatera Barat mempunyai dataran tinggi vulkanik yang membentuk bukit barisan dan dataran rendah pada daerah pesisir pantai.

Kondisi wilayah yang berbeda di Provinsi Sumatera Barat ini menyebabkan adanya beda tinggi dalam suatu wilayah tertentu, misalnya lereng. Hal ini dapat dilihat dengan kondisi lereng yang landai sampai lereng yang curam. Oleh karena itu, Provinsi Sumatera Barat sering terjadi bencana longsor. Salah satu lokasinya yaitu di ruas jalan Sp. Kumpulan-Bts. Kota Bukittinggi Lb. Selasih – Bts. Kota Padang KM.29+650. Pada ruas jalan ini terjadi bencana longsor di tahun 2017.

Beberapa metode perkuatan lereng sudah banyak digunakan. Metode perkuatan lereng dilakukan untuk ketabilan lereng. Konsep pada metode ini yaitu meningkatkan gaya perlawanan terhadap gaya pendorong. yang terjadi. Pemilihan jenis perkuatan lereng dipengaruhi gaya perlawanan ini. Penelitian Putra, dkk. (2010) menganalisis stabilitas lereng dengan metode perkuatan lereng menggunakan

dinding penahan tanah di Jalan Raya Selemadeg, Desa Brantas, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanam. Denpasar.

Pada penelitian ini, perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah kantilever dan geosintetik. Das (1995) menjelaskan bahwa kestabilan dinding penahan tanah berasal dari berat sendiri konstruksi. Untuk dinding penahan tanah kantilever, kestabilan dinding merupakan hasil dari massa tanah yang berada diatas pelat pondasi. Besarnya nilai berat sendiri konstruksi dinding penahan tanah kantilever menjadi berkurang. Sehingga tipe dinding penahan tanah kantilever ini menjadi ekonomis. Selain itu, perkuatan lereng dengan geosintetik dipilih karena memiliki nilai kuat tarik yang besar.

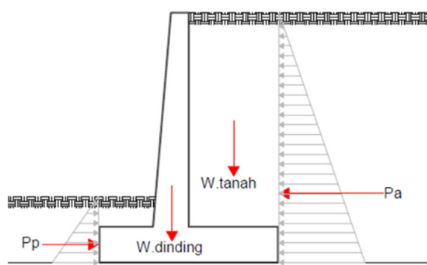
Dalam menentukan apakah lereng tersebut aman atau tidak diperlukan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng pada penelitian ini dengan bantuan program Slope/W. Analisis stabilitas lereng dianalisis pada kondisi sebelum diberi perkuatan dan setelah diberi perkuatan lereng. Hasil yang diperoleh dari program Slope/W nilai faktor keamanan lereng (FK). Nilai faktor keamanan (FK) ini merupakan nilai untuk mengetahui apakah lereng tersebut kondisinya aman atau tidak terhadap bahaya longsor.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan desain perkuatan lereng pada ruas jalan Padang-Lb. Selasih Km. 29+650 dari hasil nilai faktor keamanan (FK) dengan menggunakan perkuatan lereng dinding penahan tanah kantilever atau perkuatan lereng geotekstil.

Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding penahan tanah kantilever merupakan dinding dengan pelat pondasi terletak pada bagian dasar (Das, 1993; Tenur, 2016). Pelat pondasi dinding penahan tanah kantilever mempunyai sifat jepit yang berfungsi untuk mempertahankan kestabilan dinding. Jika gaya perlawanan dinding lebih besar dari pada gaya penggerak pada suatu lereng maka lereng akan menjadi stabil.

Besarnya gaya perlawanan pada dinding penahan tanah kantilever berasal dari: tekanan pasif lateral tanah, tekanan pasif lateral air, berat sendiri struktur, dan berat tanah di atas pelat pondasi. Selain itu, besarnya gaya penggerak berasal dari: tekanan aktif lateral tanah, tekanan aktif lateral air, atau beban yang bekerja pada lereng tersebut. Gambar gaya-gaya yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gaya-Gaya pada Dinding Kantilever

Tekanan Tanah Lateral

Menurut Hardiyatmo (1995), tekanan tanah lateral yang mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah yaitu:

1. Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif ialah tekanan tanah lateral yang dapat mengurangi kestabilan dinding penahan tanah. Perhitungan tekanan tanah aktif lateral yaitu:

Koefisien tekanan tanah aktif (Ka)

- untuk tanah datar:

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

- untuk tanah miring:

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (2)$$

dengan:

φ = sudut geser tanah ($^\circ$)

β = sudut kemiringan permukaan tanah ($^\circ$)

Tekanan tanah aktif (Pa)

- tekanan tanah aktif

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (3)$$

- akibat tanah kohesif

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2 - 2C\sqrt{K_a} \cdot H \quad (4)$$

- akibat muka air tanah

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma' \cdot H^2 + \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2 \quad (5)$$

- akibat beban terbagi rata

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2 + K_a \cdot q \cdot H \quad (6)$$

dengan:

γ = berat volume tanah (kN/m³)

γ' = berat volume tanah terendam air (kN/m³)

γ_w = berat jenis air (9,81 kN/m³)

H = kedalaman tanah (m)

C = kohesi tanah (kN/m²)

q = beban terbagi rata (kN/m²)

2. Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif ialah tekanan tanah perlawanan dari tekanan tanah aktif untuk menjaga stabilitas dinding penahan tanah. Perhitungan tekanan tanah pasif lateral adalah sebagai berikut:

Koefisien tekanan tanah pasif (Kp)

- untuk tanah datar

$$K_p = \frac{(1 + \sin \varphi)}{(1 - \sin \varphi)} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (7)$$

- untuk tanah miring

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (8)$$

Tekanan tanah pasif (Pp)

- tekanan tanah aktif

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (9)$$

- akibat tanah kohesif

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \cdot \gamma \cdot H^2 + 2C\sqrt{K_p} \cdot H \quad (10)$$

- akibat muka air tanah

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \cdot \gamma' \cdot H^2 + \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2 \quad (11)$$

Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Analisis stabilitas dinding penahan tanah yang perlu dilakukan, yaitu (Hardiyatmo, 1995):

1. Stabilitas terhadap Geser

Nilai faktor keamanan terhadap geser (F_{gs}) diperoleh dari persamaan:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad (12)$$

$$\sum R_h = R' + P_p \quad (13)$$

$$R' = \sum V \tan \varphi_d + C_d \cdot B \quad (14)$$

dengan:

$\sum R_h$ = jumlah gaya perlawanan (kN)

$\sum P_h$ = jumlah tekanan aktif (kN)

$\sum V$ = jumlah gaya vertikal yang bekerja (kN)

R' = gaya gesek pada dasar dinding (kN)

φ_d = sudut geser tanah dasar ($^\circ$)

C_d = kohesi tanah dasar (kN/m²)

B = lebar dasar dinding (m)

2. Stabilitas terhadap Guling

Nilai faktor keamanan terhadap guling (F_{gl}) diperoleh dari persamaan:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 1,5 \quad (15)$$

dengan:

$$\begin{aligned} \sum M_w &= \text{momen perlawanan (kN.m)} \\ \sum M_{gl} &= \text{momen penggulingan (kN.m)} \end{aligned}$$

3. Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah

Nilai faktor keamanan terhadap daya dukung tanah (F_q) diperoleh dari persamaan:

$$F_{gl} = \frac{q_u}{q'} \geq 2 \quad (16)$$

dengan :

$$\begin{aligned} q_u &= \text{kapasitas dukung tanah dasar (kN/m}^2\text{)} \\ q' &= \text{tekanan pada dasar dinding (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

a. Kapasitas dukung tanah dasar

Menurut Hansen dan Vesic, kapasitas dukung ultimit diperoleh dari persamaan:

$$q_u = d_c i_c C N_c + d_q i_q D f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B' N_\gamma \gamma \quad (17)$$

dengan :

$$\begin{aligned} d_c, d_q, d_\gamma &= \text{faktor kedalaman} \\ i_c, i_q, i_\gamma &= \text{faktor kemiringan beban} \\ N_c, N_q, N_\gamma &= \text{faktor-faktor kapasitas dukung} \end{aligned}$$

Jika dinding penahan berada di permukaan tanah ($D_f = 0$ m), maka faktor kedalaman = 1. Apabila $D_f > 0$, maka faktor kedalaman menurut Meyerhof diperoleh dari persamaan:

$$d_c = 1 + 0,2 \left(\frac{D_f}{B} \right) \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (18)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \left(\frac{D_f}{B} \right) \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (19)$$

Sedangkan faktor kemiringan beban menurut Hansen diperoleh dari persamaan:

$$i_q = \left[1 - \frac{0,5 H}{V + A' C \text{ctg} \phi} \right]^5 \geq 0 \quad (20)$$

$$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_q - 1} \quad (21)$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{0,7 H}{V + A' C \text{ctg} \phi} \right]^5 \geq 0 \quad (22)$$

Geotekstil

Bahan sintesis polimer yang bersifat permeabel merupakan geotekstil (Rawi, 2017). Bahan sintesis polimer penyusun geotekstil adalah poliester atau polipropilena. Geotekstil terbagi menjadi:

1. Geotekstil anyaman (woven geotextile)

Geotekstil anyaman ialah jenis geotekstil berbahan polipropilena (PP) yang dibuat dengan proses tenun membentuk suatu anyaman. Geotekstil anyaman berfungsi untuk bahan stabilisasi tanah dan

perkuatan lereng. Geotekstil *woven* mempunyai tegangan tarik yang lebih tinggi dari pada geotekstil *non-woven*.

2. Geotekstil tanpa anyaman (non-woven geotextile)

Geotekstil tanpa anyaman ialah jenis geotekstil yang terbuat dari bahan polimer piliester (PET) atau polipropilena (PP). Proses geotekstil tanpa anyaman dengan pemanasan (*heat bonded*), dengan jarum (*needle punched*), dan dengan bahan kimia (*chemical bonded*). Gambar 2 dan Gambar 3 memperlihatkan geotekstil anyaman dan tanpa anyaman (Sosrodarsono, 2000).



Gambar 2. Woven Geotextile Gambar 3. Non-Woven Geotextile

Stabilitas Internal Geotekstil

Desain tebal perkuatan dan panjang lapisan geotekstil agar memenuhi syarat aman diuraikan sebagai berikut:

1. Analisis tebal lapis perkuatan (S_v)

$$S_v = \frac{T_a}{\sigma_h \cdot SF} \quad (23)$$

dengan :

$$\begin{aligned} T_a &= \text{kuat tarik izin bahan (kN/m)} \\ \sigma_h &= \text{tekanan horizontal tanah (kN/m}^2\text{)} \\ SF &= \text{safety factor (= 1,3 - 1,5)} \end{aligned}$$

2. Analisis panjang lapisan perkuatan

Panjang lapis perkuatan geotekstil dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$L = L_R + L_e \quad (24)$$

$$L_R = (H - z) \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \geq 1 \text{ m} \quad (25)$$

$$L_e = \frac{S_v \cdot \sigma_h \cdot SF}{2\beta(C + \sigma_v \cdot \tan \phi)} \quad (26)$$

dengan :

$$\begin{aligned} z &= \text{kedalaman lapis yang ditinjau (m)} \\ \sigma_v &= \text{tekanan vertikal tanah (kN/m}^2\text{)} \\ \beta &= 0,67 - 0,75 \end{aligned}$$

Stabilitas Eksternal Geotekstil

Analisis stabilitas eksternal perkuatan geotekstil meliputi: analisis stabilitas terhadap geser, analisis stabilitas terhadap guling dan analisis stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar.

1. Stabilitas terhadap Geser

Nilai faktor keamanan terhadap geser (F_{gs}) diperoleh dari persamaan:

$$F_{gs} = \frac{R_r}{P_a} \geq 1,5 \quad (27)$$

$$R_r = W \cdot \beta \cdot \tan \phi_d + C_d \cdot A \cdot \beta \quad (28)$$

dengan :

W = berat konstruksi (kN)

A = luas efektif dasar perkuatan (m²)

2. Stabilitas terhadap Guling

Nilai faktor keamanan terhadap guling (F_{gl}) diperoleh dari persamaan:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_p}{\sum M_a} \geq 1,5 \quad (29)$$

$$M_p = W \cdot e_w \quad (30)$$

$$M_a = P_a \cdot e_a \quad (31)$$

dengan :

$\sum M_w$ = momen perlawanan (kN.m)

$\sum M_g$ = momen penggulingan (kN.m)

3. Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah

Analisis perhitungan stabilitas perkuatan geotekstil terhadap daya dukung tanah sama dengan perhitungan stabilitas dinding penahan tanah. Nilai faktor keamanan terhadap daya dukung tanah (F_q) diperoleh dari persamaan:

$$F_q = \frac{q_u}{q_r} \geq 2 \quad (32)$$

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kestabilan lereng pada ruas jalan jalan Lb. Selasih – Bts. Kota Padang KM.29+650, Provinsi Sumatera Barat. Perkuatan lereng menggunakan geotekstil atau dinding penahan tanah kantilever. Analisis ketabilan lereng dianalisis dengan bantuan program Slope/W. Stabilitas lereng dilihat dari nilai faktor keamanan (FK) lereng tersebut.

Tahap awal dari penelitian ini yaitu dengan mengkaji suatu pokok bahasan, pengumpulan materi yang dapat menunjang penelitian tersebut. Informasi yang didapat bisa berasal dari tulisan ilmiah, buku, jurnal dan diktat yang berkaitan dengan penelitian, diantaranya adalah: jenis longsor, penyebab longsor dan metode stabilitas lereng, nilai dari faktor keamanan (FK) lereng, cara pengoperasian program Slope/W, dan perhitungan dan perencanaan geotekstil atau didinding penahan tanah sebagai perkuatan lereng

Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder yang didapat dari pihak konsultan PT. Maratama Cipta Mandiri, berupa data potongan melintang lereng dan data penyelidikan tanah yang terdiri dari data bor log dan data pengujian laboratorium. Data yang dipakai pada penelitian ini, meliputi:

1. Lokasi Penelitian

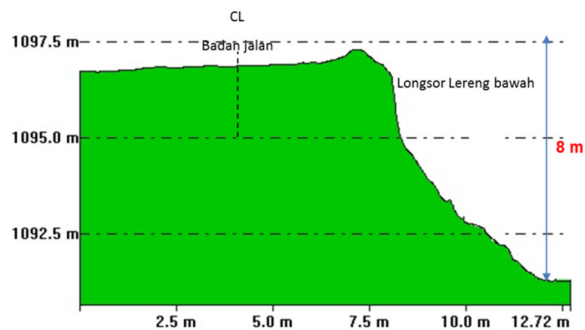
Lokasi penelitian berada pada ruas jalan jalan Lb. Selasih–Bts. Kota Padang KM.29+650 Sumatera Barat, Provinsi Sumatera Barat. Gambar 4 memperlihatkan lokasi penelitian.



Gambar 4. Lokasi Longsor (sumber: dokumen proyek, 2017)

2. Potongan Melintang Lereng

Longsor yang terjadi pada lereng di ruas jalan Lb. Selasih–Bts. Kota Padang KM.29+650 Sumatera Barat merupakan tipe longsor semi circular. Ketinggian lereng tersebut adalah 5 m dengan kemiringan lereng $< 45^\circ$. Longsor terjadi diakibatkan adanya aliran air yang menggerus permukaan tanah pada lereng. Gambar 5 menjelaskan gambar potongan melintang lereng pada KM. 29+650.



Gambar 5. Potongan Melintang Lereng Km. 29+650 (sumber: dokumen proyek, 2017)

3. Borlog

Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) dilakukan bersamaan dengan pengeboran, yang bertujuan untuk mengetahui besarnya perlawanan dinamik tanah dan pengambilan sampel yang selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium.

4. Indeks Propertis Tanah

Sampel tanah yang diperoleh dari pengujian SPT. Pengujian di laboratorium mekanika tanah untuk mengetahui data properties tanah tersebut. Data properties tanah yang dibutuhkan pada penelitian ini ada 2 parameter yaitu nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Parameter Tanah

Parameter	Tanah lapisan 1	Tanah lapisan 2	Tanah timbunan
γ_{unsat} (kN/m ³)	12	23	16
γ_{sat} (kN/m ³)	14	25	18,803
k_x (m/hari)	$8,64 \times 10^{-2}$	$8,64 \times 10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-1}$
k_y (m/hari)	$8,64 \times 10^{-2}$	$8,64 \times 10^{-3}$	$8,64 \times 10^{-1}$
C (kN/m ²)	18	5	30
ϕ (°)	3	35	35

5. Beban Luar

Ruas jalan jalan Lb. Selasih–Bts. Kota Padang KM. 29+650 Sumatera Barat termasuk dalam kelas Jalan II yang memiliki beban lalu lintas sebesar 11 kN/m².

Analisis Stabilitas Lereng dengan Slope/W

Program Slope/W digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Program Slope/W mengoperasikan metode elemen hingga. Untuk analisis program Slope/W ini menggunakan metode-metode yaitu: metode Ordinary (or Fellenius), metode Bishop Simplified, metode Janbu Simplified, metode Spencer, metode Morgenstern-Price, metode Corps of Engineers, metode Lowe-Karafiath, metode *generalized limit equilibrium* (GLE), metode *finite element stress*. Slope/W meliputi tiga program, yaitu *DEFINE* untuk mendefinisikan model, *SOLVE* untuk menghitung hasil faktor keamanan dan *CONTOUR* untuk memperlihatkan gambar kontur. Dalam menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan Slope/W yang diperlukan adalah kelengkapan *input* datanya.

Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Gaya aktif lateral tanah atau air akan ditahan oleh dinding penahan tanah dalam desain perkuatan lereng. Nilai-nilai parameter untuk penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 2. Untuk desain perencanaan dimensi dinding penahan tanah kantilever, diperlukan data dimensi pendahuluan sebagai acuan untuk mempermudah tahap awal perhitungan. Dimensi dinding penahan tanah kantilever ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 7 menjelaskan rencana pemodelan perkuatan lereng.

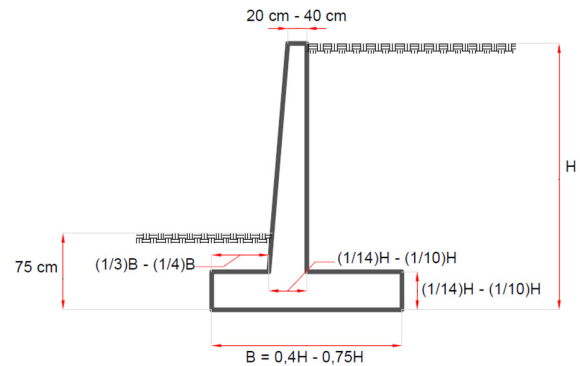
Analisis stabilitas dinding penahan tanah dapat dilakukan jika desain dimensi dinding penahan tanah telah aman. Jika faktor kemanan (FK) tidak diperoleh, maka perlu dilakuan desain ulang dimensi dinding penahan tanah sampai nilai FK stabilitas dinding penahan kantilever tercapai.

Tabel 2. Material Properties Dinding Penahan Tanah Kantilever

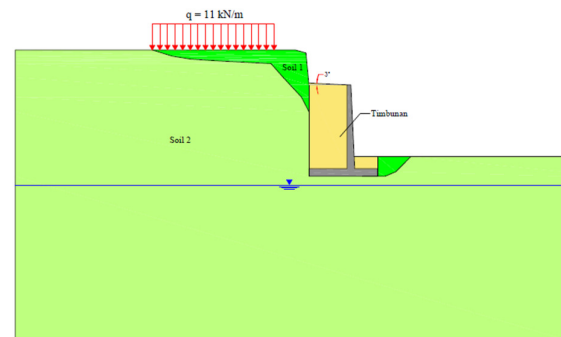
Parameter	Dinding Penahan Tanah Kantilever
Material model	Linear elastic
Material type	Non-porous
γ (kg/m ³)	2.400
E (kN/m ²)	2×10^7
ν	0,15

Perkuatan Geotekstil

Dalam perkuatan lereng, geotekstil berfungsi untuk tulangan di dalam tanah. Hal ini dikarenakan tanah merupakan material yang dapat menahan gaya tekan namun tidak dapat menahan tarik. Penggunaan geotekstil dapat mengurangi kelemahan terhadap tarik tersebut. Sehingga, pemilihan jenis geotekstil tergantung pada kuat tarik yang ada.



Gambar 6. Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever



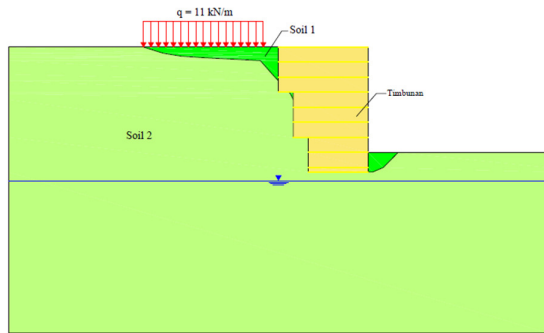
Gambar 7. Rencana Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever KM.29+650

Dalam penelitian ini menggunakan geotekstil anyaman (*woven geotextile*) dengan jenis Mirafi® Pet 200. Geotekstil ini dipilih karena nilai kuat tarik yang tinggi. Geotekstil anyaman berasal dari PT. Tetrasa Geosinindo. Parameter geotekstil anyaman diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Material Propertis Geotekstil

Parameter	Geotekstil
Jenis geotekstil	Mirafi® Pet 200
Material set	Elastic
EA (kN/m)	200

Setelah penentuan jenis geotekstil yang digunakan (geotekstil anyaman), maka tahap selanjutnya yaitu menganalisis stabilitas internal. Analisis stabilitas internal dihitung dari tebal perkuatan dan panjang lapisan yang memenuhi syarat aman. Gambar 8 menampilkan rencana perkuatan lereng geotekstil.



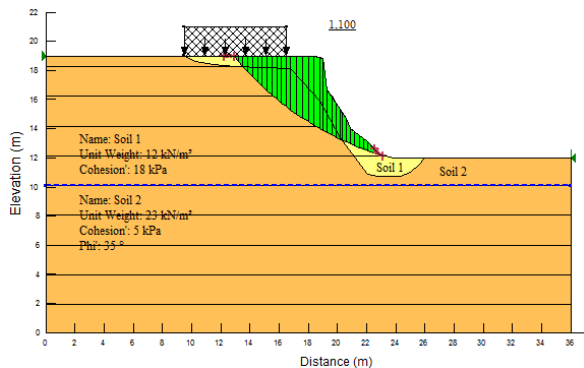
Gambar 8. Perkuatan Lereng Geotekstil KM.29+650

Setelah mendesain stabilitas internal geotekstil berdasarkan syarat aman, kemudian menganalisis stabilitas eksternal perkuatan geotekstil. Jika syarat aman tersebut tidak terpenuhi, maka perlu dilakukan kembali analisis stabilitas internal dengan cara mengubah desain panjang perkuatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Stabilitas Lereng Asli

Analisis perhitungan stabilitas lereng asli digunakan untuk mengetahui besarnya nilai faktor keamanan lereng (FK) sebelum dilakukannya perkuatan. Hasil analisis dengan program Slope/W diperlihatkan pada Gambar 9.



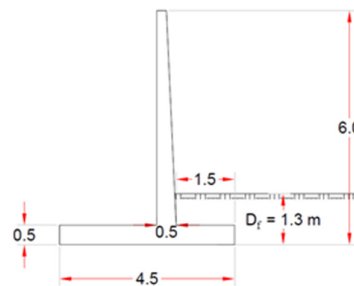
Gambar 9. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Asli

Hasil analisis stabilitas lereng asli yaitu nilai faktor keamanan lereng (FK) = 1,100. Nilai faktor keamanan tersebut (FK = 1,100), lebih kecil dari nilai faktor keamanan minimum lereng (FK = 1,200) dari Kementerian Pekerjaan Umum. Oleh karena itu, perkuatan lereng dengan menggunakan dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil perlu dilakukan.

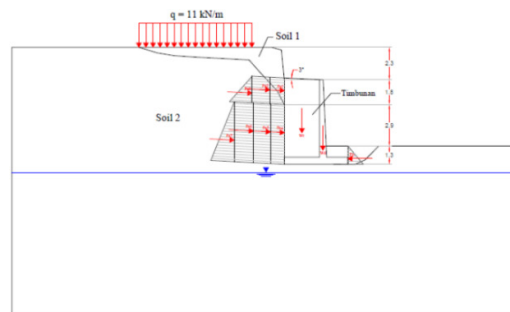
3.2 Perkuatan Lereng dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Perhitungan stabilitas dinding penahan tanah dimulai dengan merencanakan dimensi dinding yang dipakai. Rencana dimensi dinding penahan yang pada Gambar 10, direncanakan dinding penahan tanah memiliki ketinggian (H) = 6 m.

Proporsi dimensi yang digunakan untuk perencanaan, yaitu: H = 6 m, D_f = 1,3 m, B = 4,5 m, B_{kaki depan} = 1,5 m, t_{pelat} = 0,5 m, t_{dinding} = 0,25 m. Ketinggian tanah adalah sebagai berikut: H₁ = 6,4 m, H₂ = 10,3 m, H₃ = 1,6 m. Diagram tekanan tanah lateral pada dinding penahan tanah untuk kondisi tanah miring ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Dimensi Dinding Penahan Tanah



Gambar 11. Diagram Tekanan Tanah Aktif Lateral

Tekanan aktif tanah lateral menghasilkan tekanan aktif tanah sebesar Pa pada arah gaya mengikuti kemiringan tanah atau membentuk sudut β. Tekanan aktif tanah lateral diuraikan dalam arah horizontal dan vertikal. Besar tekanan arah horizontal adalah Pa cos β. Dan besar tekanan arah vertikal adalah Pa sin β. Perhitungan tekanan tanah aktif yang bekerja pada dinding penahan pada tanah miring diperlihatkan pada Tabel 4.

Analisis tekanan pasif lateral tanah diperlukan koefisien tekanan tanah pasif (K_p). Keadaan tanah pada posisi didepan dinding merupakan tanah lurus. Oleh karena itu analisis perhitungan koefisien tekanan tanah pasif menggunakan persamaan untuk keadaan tanah lurus. Hasil perhitungan tekanan tanah pasif ditunjukkan pada Tabel 5.

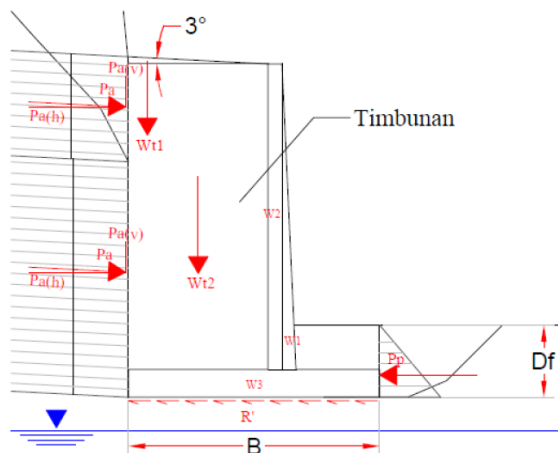
Tabel 4. Perhitungan Tekanan Aktif Lateral Tanah Perkuatan Dinding

Pa	Rumus σ_a	σ_a (kN/m ²)	Rumus Pa	Pa (kN)	Pa(h) (kN)	Pa(v) (kN)
Pa1	$\gamma_1.H1.Ka1$	27,562	$\sigma_a.H2$	53,223	53,150	2,785
Pa2	$q.Ka1$	10,985	$\sigma_a.H2$	21,212	21,183	1,110
Pa3	$\gamma_1.H2.Ka1$	23,140	$\frac{1}{2}.\sigma_a.H2$	22,342	22,312	1,169
Pa4	$\gamma_1.H1.Ka2$	7,505	$\sigma_a.H3$	21,764	21,734	1,139
Pa5	$q.Ka2$	2,991	$\sigma_a.H3$	8,674	8,662	0,454
Pa6	$\gamma_1.H2.Ka2$	6,301	$\sigma_a.H3$	18,273	18,248	0,956
Pa7	$\gamma_2.H3.Ka2$	18,137	$\frac{1}{2}.\sigma_a.H3$	26,299	26,262	1,376
Total					171,552 kN	8,991 kN

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tekanan Pasif Lateral Tanah Perkuatan Dinding

Pp	Rumus σ_p	σ_p (kN/m ²)	Rumus Pp	Pp (kN)
Pp	$\gamma_1.Df.Kp1$	17,323	$\sigma_p.Df$	22,520
Total				22,520 kN

Tujuan analisis stabilitas dinding penahan tanah untuk mengetahui apakah dimensi dinding penahan tanah yang telah ditentukan aman terhadap bahaya geser (F_{gs}), aman terhadap bahaya guling (F_{gl}), dan aman terhadap bahaya ambles (F_{q}). Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah kantilever ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever

Tekanan tanah pasif lateral dan gaya-gaya arah vertikal berfungsi untuk menstabilkan dinding penahan tanah terhadap momen. Nilai faktor keamanan (FK) terhadap bahaya guling dari perbandingan antara momen yang menahan penggulingan dengan momen yang mengakibatkan penggulingan. Hasil perhitungan momen penahan penggulingan yang bekerja pada dinding disajikan pada Tabel 6. Sedangkan hasil perhitungan momen penggulingan yang bekerja pada dinding disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Momen Penahan Peggulingan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Gaya (kN)	Rumus x	x (m)	Mgl (kN.m)
Pa(v)1	2,785	B	4,50
Pa(v)2	1,110	B	4,50
Pa(v)3	1,169	B	4,50
Pa(v)4	1,139	B	4,50
Pa(v)5	0,454	B	4,50
Pa(v)6	0,956	B	4,50
Pa(v)7	1,376	$\frac{1}{2} Df$	4,50
Pp	22,520	$\frac{1}{2} H3$	0,43
Wd1	16,187	$\frac{1}{2} (t_{pelat} - t_{dinding}) + B_{kaki\ depan}$	1,63
Wd2	32,373	$\frac{1}{2} t_{dinding} + (t_{pelat} - t_{dinding}) + B_{kaki\ depan}$	1,88
Wd3	52,974	$\frac{1}{2} B$	2,25
Wt1	2,620	$\frac{1}{2} \text{depan} + t_{dinding} + B_{kaki\ depan}$	3,67
Wt2	220,000	$\frac{1}{2} \text{depan} + t_{dinding} + B_{kaki\ depan}$	3,25
ΣM_w			981,019 kN.m

Tabel 7. Perhitungan Momen Penyebab Peggulingan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Gaya (kN)	Rumus x	x (m)	Mgl (kN.m)
Pa(h)1	53,150	$\frac{1}{2} H2 + H3$	5,17
Pa(h)2	21,183	$\frac{1}{2} H2 + H3$	5,17
Pa(h)3	22,312	$\frac{1}{2} H2 + H3$	4,84
Pa(h)4	21,734	$\frac{1}{2} H3$	2,10
Pa(h)5	8,662	$\frac{1}{2} H3$	2,10
Pa(h)6	18,248	$\frac{1}{2} H3$	2,10
Pa(h)7	26,262	$\frac{1}{2} H3$	1,40
ΣM_{gl}			630,960 kN.m

Kapasitas dukung tanah dasar (q_u), adalah:

$$\begin{aligned}
 q_u &= d_c i_c C N_c + d_q i_q Df \gamma N_q + d_r i_r 0,5 B' N_\gamma \\
 &= (1,111 \times 0,220 \times 5 \text{ kN/m}^2 \times 46,12) + (1,055 \times 0,243 \times 1,3 \text{ m} \times 23 \text{ kN/m}^3 \times 33,30) + (1,055 \times 0,121 \times 0,5 \times 2,10 \text{ m} \times 33,92 \times 23 \text{ kN/m}^3) \\
 &= 56,276 \text{ kN/m} + 255,474 \text{ kN/m} + 104,376 \text{ kN/m} \\
 &= 416,126 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

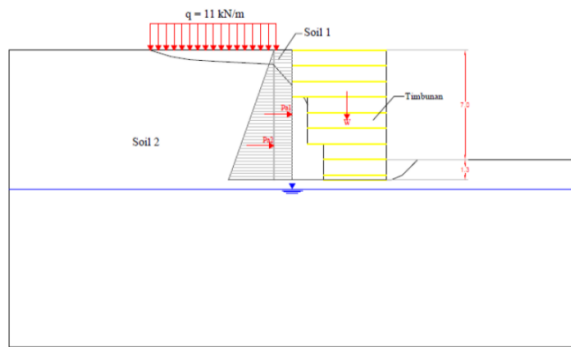
Nilai faktor keamanan ambles (F_q) dinding penahan tanah terhadap bahaya ambles, yaitu:

$$\begin{aligned}
 F_q &= \frac{q_u}{q'} \geq 2 \\
 &= \frac{416,126 \text{ kN/m}}{192,408 \text{ kN/m}} \\
 &= 2,16 \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

3.3 Perkuatan Lereng dengan Geotekstil

Analisis stabilitas internal dan stabilitas eksternal perkuatan geotekstil dilakukan terlebih dahulu sebelum menganalisis kestabilan lereng. Gambar 13 memperlihatkan diagram tekanan tanah aktif lateral perkuatan geotekstil.

Tahap awal analisis dengan cara memilih jenis geotekstil yang digunakan. Pada penelitian ini, dipilih jenis geotekstil anyaman. Jenis geotekstinya yaitu Mirafi® Pet 200. Geotekstil Mirafi® Pet 200 memiliki nilai kuat tarik ultimate T_u sebesar 200 kN/m. Nilai faktor keamanan (FK) bahan geotekstil Mirafi® Pet 200 sebesar 2.



Gambar 13. Diagram Tekanan Tanah Aktif Lateral Perkuatan Geotekstil.

Dalam menganalisis tebal lapis perkuatan, perlu data hasil perhitungan tekanan tanah aktif pada dasar (σ_h) dengan z adalah faktor kedalaman H . Perhitungan tekanan tanah aktif pada dasar perkuatan diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif Lateral pada Dasar Perkuatan Geotekstil

Simbol	Rumus σ_h	Perhitungan σ_h	σ_h
σ_{h1}	$q \cdot Ka1$	$11 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,901$	9,906
σ_{h2}	$\gamma_t \cdot H \cdot Kat$	$16 \text{ kN/m}^3 \cdot z \cdot 0,271$	$4,336 z$

Hasil perhitungan menunjukkan untuk kedalaman $z = 1 \text{ m}$, tebal maksimum yang diizinkan sebesar 4,681 m. Sehingga, tebal lapis perkuatan yang didesain harus lebih kecil dari pada tebal lapis yang diizinkan. Tekanan tanah aktif vertikal pada dasar perkuatan disajikan di Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Tekanan Tanah Aktif Vertikal pada Dasar Perkuatan Geotekstil

Simbol	Rumus σ_v	Perhitungan σ_v	σ_v
σ_{v1}	q	11 kN/m^2	11
σ_{v2}	$\gamma_t \cdot H2$	$16 \text{ kN/m}^3 \cdot z$	$16 z$

Panjang minimum perkuatan yang disarankan untuk kedalaman $z = 1 \text{ m}$ adalah $L = 4,09 \text{ m}$. Agar memenuhi persyaratan panjang minimum tersebut, panjang perkuatan geotekstil yang digunakan pada kedalaman $z = 1 \text{ m}$ adalah $L_{(use)} = 6 \text{ m}$. Sedangkan perhitungan panjang perkuatan pada kedalaman z yang lain, ditampilkan pada Tabel 10.

Hasil analisis stabilitas internal perkuatan geotekstil didapatkan dari hasil perhitungan tebal lapis perkuatan dan panjang perkuatan. Adapun seluruh hasil perhitungan tebal lapis perkuatan dan panjang perkuatan geotekstil ditampilkan di Tabel 11. Gambar gaya-gaya yang bekerja pada perkuatan geotekstil ditampilkan pada Gambar 14. Perkuatan geotekstil aman terhadap bahaya geser apabila gaya penahan yang bekerja pada perkuatan lebih besar dari gaya yang mendorong.

Tabel 10. Analisis Panjang Perkuatan Geotekstil

No. tulangan	z (m)	S_v (m)	σ_h (kN/m^2)	σ_v (kN/m^2)	L_R (m)	L_c (m)	L (m)	$L_{(use)}$ (m)
1	1	1	14,24	27,00	3,80	0,29	4,09	6
2	2	1	18,58	43,00	3,28	0,31	3,59	6
3	3	1	22,91	59,00	2,76	0,32	3,08	6
4	4	1	27,25	75,00	2,24	0,33	2,57	5
5	5	1	31,59	91,00	1,72	0,34	2,05	5
6	6	1	35,92	107,00	1,20	0,34	1,54	5
7	7	1	40,26	123,00	1,00	0,35	1,35	4
8	8	1	44,59	139,00	1,00	0,35	1,35	4
9	8,3	0,3	45,89	143,80	1,00	0,11	1,11	4

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Internal Perkuatan Geotekstil

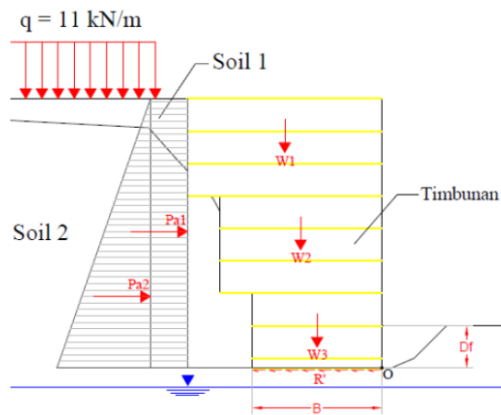
Z (m)	S_v (m)	L (m)
0-3	1	6
3-6	1	5
6-8	1	4
8-8,3	0,3	4

Perhitungan daya dukung tanah dasar (q_u) dengan menggunakan parameter tanah dasar lapisan 2, yaitu:

$$q_u = d_c i_c C N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_{\gamma} i_{\gamma} 0,5 B^2 N_{\gamma} \gamma$$

$$= (1,125 \times 0,384 \times 5 \text{ kN/m}^2 \times 46,12) + (1,062 \times 0,403 \times 1,3 \text{ m} \times 23 \text{ kN/m}^3 \times 33,30) + (1,062 \times 0,266 \times 0,5 \times 2,97 \text{ m} \times 33,92 \times 23 \text{ kN/m}^3)$$

$$= 99,709 \text{ kN/m} + 426,179 \text{ kN/m} + 327,690 \text{ kN/m}$$

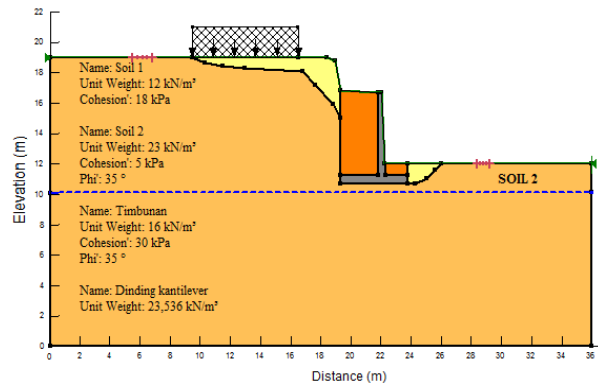
$$= 853,579 \text{ kN/m}$$


Gambar 14. Stabilitas Eksternal Perkuatan Geotekstil

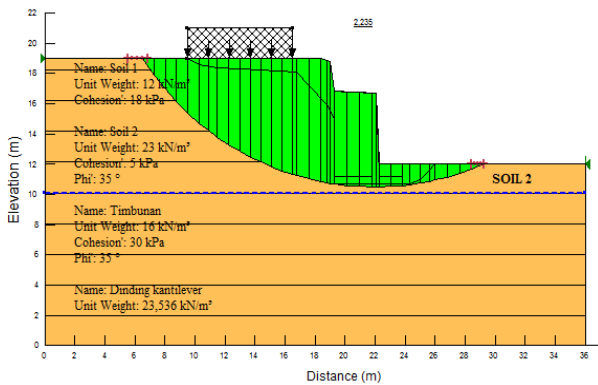
Sehingga, nilai faktor keamanan (FK) perkuatan geotekstil terhadap bahaya guling (F_q), yaitu:

$$F_q = \frac{q_u}{q'} \geq 1,5 = \frac{853,579 \text{ kN/m}}{298,701 \text{ kN/m}} = 2,86 \text{ (AMAN)}$$

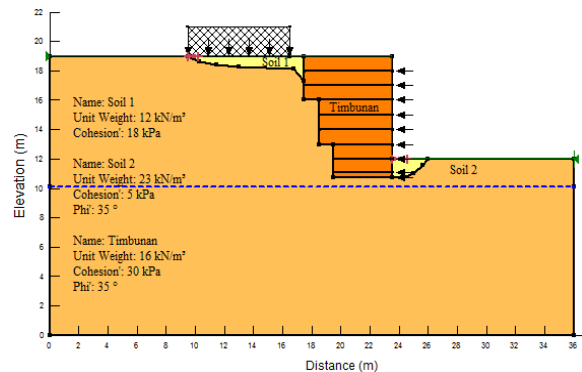
Setelah dilakukan perhitungan stabilitas dinding penahan tanah kantilever dan perkuatan lereng dengan geotekstil, maka dilakukan perhitungan nilai faktor keamanan lereng (FK) dengan program Slope/W, lihat Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17, dan Gambar 18.



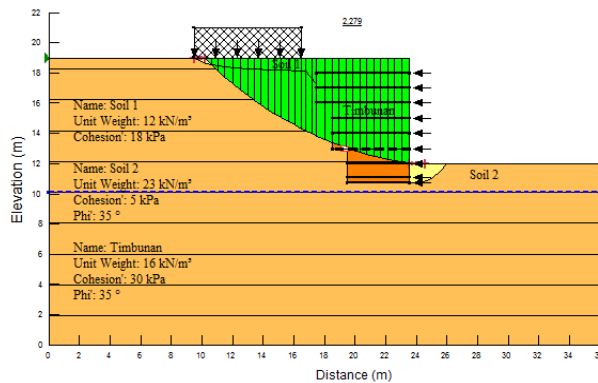
Gambar 15. Tahapan Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Kantilever.



Gambar 16. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Asli dengan Perkuatan Dinding Kantilever.



Gambar 17. Tahapan Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil.



Gambar 18. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Asli dengan Perkuatan Geotekstil.

Tabel 12 menjelaskan hasil analisis stabilitas perkuatan dinding penahan tanah kantilever dan geotekstil. Sedangkan nilai faktor keamanan (FK) yang diperoleh tersebut disajikan pada Tabel 13. Hasil analisis stabilitas lereng pada ruas jalan Lb. Selasih-Bts. Kota Padang KM.29+650 Sumatera Barat menunjukkan bahwa lereng dalam keadaan asli menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) = 1,100.

Tabel 12. Hasil Analisis Stabilitas Perkuatan Dinding Kantilever atau Geotekstil

Stabilitas Perkuatan	Nilai FK Minimum	Perkuatan Dinding Kantilever	Perkuatan Geotekstil
Geser	1,500	1,620	1,600
Guling	1,500	1,550	2,330
Daya dukung tanah	2,000	2,160	2,860

Tabel 13. Nilai Faktor Keamanan Lereng Sebelum dan Sesudah Perkuatan

No.	Kondisi Lereng	FK
1.	Lereng asli	1.100
2.	Perkuatan dengan dinding penahan tanah kantilever	2.235
3.	Perkuatan dengan geotekstil	2.279

Perkuatan yang digunakan harus memenuhi persyaratan aman. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua perkuatan yang telah didesain tersebut aman, dengan nilai faktor keamanan (FK) perkuatan lebih besar dari nilai faktor keamanan (FK) minimum yang diizinkan yaitu 1,500 untuk stabilitas terhadap geser, 1,500 untuk stabilitas terhadap guling, dan 2,000 untuk stabilitas terhadap daya dukung tanah.

Perkuatan dinding penahan tanah kantilever di desain dengan tinggi (H) = 6 m dan lebar pelat pondasi = 4,5 m, dan kemiringan tanah dibelakang dinding = 3°. Nilai faktor keamanan (FK) yang didapatkan yaitu = 1,620 untuk stabilitas terhadap geser (Fgs), 1,550 untuk stabilitas terhadap guling, (Fgl), dan 2,160 untuk stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar (Fg).

Sedangkan perkuatan geotekstil didesain memiliki ketinggian = 8,3 m, dengan kuat tarik ultimate bahan sebesar 200 kN/m. Desain perkuatan geotekstil tersebut menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) = 1,600 untuk stabilitas terhadap geser (Fgs), 2,330 untuk stabilitas terhadap guling, (Fgl), dan 2,860 untuk stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar (Fg).

Setelah analisis kedua perkuatan tersebut aman, selanjutnya dilakukan analisis stabilitas lereng dengan program Slope/W. Hasil program Slope/W yaitu: perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah kantilever menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) = 2,235, sedangkan perkuatan lereng menggunakan geotekstil menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) = 2,279. Nilai faktor keamanan kedua perkuatan tersebut lebih besar dari pada nilai

faktor keamanan minimum ($FK = 1,500$) yang disyaratkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum.

Hasil FK penelitian ini lebih besar apabila dibandingkan dengan penelitian Luriyanto, dkk. (2014). Penelitiannya mengenai studi kasus longsoran ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 - 22+655 Kabupaten Temanggung dengan perkuatan lereng menggunakan geotekstil atau *bored pile*. Lereng pada ruas jalan tersebut sebelum dilakukannya perkuatan memiliki nilai FK 0,826. Setelah dianalisis dengan perkuatan lereng menggunakan geotekstil menghasilkan FK 1,411 dan perkuatan lereng dengan *bored pile* menghasilkan FK 1,462.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Zain, dkk. (2015) pada kasus longsoran embung Pilangbango di Kelurahan Pilangbango Kecamatan Kartoharjo, Madiun juga menggunakan perkuatan geotekstil dan dinding penahan tanah. Setelah dilakukan perkuatan lereng menggunakan geotekstil, nilai FK menjadi 2,312 dan dengan dinding penahan tanah nilai FK menjadi 11,730 untuk stabilitas guling, 2,226 untuk stabilitas geser dan 3,856 untuk stabilitas daya dukung.

Penelitian oleh Annisa, dkk. (2018) menganalisis longsoran lereng bantaran sungai Gajah Putih, Surakarta. Dari hasil analisis, nilai FK tanggul eksisting adalah 1,015. Setelah dilakukan perkuatan dinding penahan kantilever, nilai FK adalah 1,564. Sedangkan untuk perkuatan geotekstil, nilai FK adalah 1,574.

Hasil penelitian Annisa, dkk. (2018) jika dibandingkan dengan hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa hasil analisis stabilitas lereng sesudah perkuatan, diketahui bahwa nilai faktor keamanan lereng (FK) untuk perkuatan dinding penahan tanah kantilever kurang dari nilai faktor keamanan lereng (FK) untuk perkuatan geotekstil. Nilai faktor keamanan yang lebih kecil tersebut menunjukkan tingkat aman lereng terhadap bahaya longsor lebih kecil. Sehingga kondisi lereng aman terhadap bahaya longsor.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Perkuatan yang digunakan pada ruas jalan Lb. Selasih-Bts. Kota Padang KM.29+650 Provinsi Sumatera Barat, yaitu:
 - a. Perkuatan lereng dinding penahan tanah kantilever dengan: tinggi (H) = 6 m, lebar pelat pondasi (L) = 4,5 m, dan sudut kemiringan = 3° .
 - b. Perkuatan lereng geotekstil dengan: tinggi (H) = 8,3 m, kuat tarik bahan = 200 kN/m. Tebal

lapisan (S_v) dan panjang perkuatan (L): $S_v = 1$ m dan $L = 6$ m (0-3 m); $S_v = 1$ m dan $L = 5$ m (3-6 m); $S_v = 1$ m dan $L = 4$ m (6-8 m); $S_v = 0,3$ m dan $L = 4$ m (8-8,3 m).

2. Nilai faktor keamanan (FK) berdasarkan stabilitas terhadap geser (F_{gs}), stabilitas terhadap guling (F_{gl}), dan daya dukung tanah dasar (F_q), yaitu:
 - a. Perkuatan lereng dinding penahan tanah kantilever: $FK = 2,235$ (F_{gs}), $FK = 1,550$ (F_{gl}), dan $FK = 2,160$ (F_q).
 - b. Perkuatan lereng geotekstil: $FK = 2,279$ (F_{gs}), $FK = 2,330$ (F_{gl}), dan $FK = 2,860$ (F_q).
3. Nilai faktor keamanan (FK) sebelum dan sesudah perkuatan lereng, yaitu:
 - a. Sebelum perkuatan, nilai $FK = 1,100$. Nilai ini menjelaskan kondisi lereng tidak aman.
 - b. Sesudah perkuatan, nilai $FK = 2,235$ (perkuatan lereng dinding penahan tanah kantilever) dan $FK = 2,279$ (perkuatan lereng geotekstil).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2019.

REFERENSI

- Annisa, N. & Abdurrozzak, M. R. (2018). *Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil pada Bantaran Sungai Gajah Putih*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah : Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid II*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah : Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid I*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (1995). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Luriyanto A., Maulana I., Wulandari S. P. R., & Atmanto, I. D. (2014). Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya : Studi Kasus Longsoran pada Ruas Jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 - 22+655 Kabupaten Temanggung. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(4), pp. 861-889.
- Putra, T. G. S., Ardana, M. D. W., & Aryati M. (2010). Analisis Stabilitas Lereng pada Badan Jalan dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah : Studi Kasus Jalan Raya Selemadeg, Desa Brantas, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanam. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), pp. 36-42.
- Rawi, O. A. & Abade M. A. (2017). Design of Geo-Synthetic Retaining Walls as an Alternative to the Reinforced Concrete Walls in Jordan. *American Journal of Engineering Research*, 6(12), pp.301-312.
- Sosrodarsono, S. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Temur, R. & Bekdas, G. (2016). *Teaching Learning-Based Optimization for Design of Cantilever Retaining Walls*. Istanbul: Department of Civil Engineering of Istanbul University.