

PERENCANAAN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH (DPT) PADA RUAS JALAN BOROBUDUR-BIGARAN KABUPATEN MAGELANG

Riyan Ramadhanti¹, Yudhi Arnandha², Ali Murtopo³

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,

Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116

riyanrama.rr@gmail.com

ABSTRAK

Ruas Jalan Borobudur-Bigaran yang terletak di Kabupaten Magelang terdapat lereng yang membentang sepanjang jalan. Titik koordinat $7^{\circ}38'27.77''\text{LS}$ dan $110^{\circ}14'36.37''\text{BT}$ pada jalan tersebut sering terjadi longsoran yang dapat menutup akses dari atau menuju ke arah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan ke Kabupaten Magelang.

Tujuan dilakukannya penelitian untuk mengetahui nilai keamanan lereng dengan menganalisis stabilitas lereng, kemudian perencanaan perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah yang digunakan sebagai cara untuk menganggulangi kelongsoran, serta dianalisis stabilitas terhadap dinding penahan tanahnya.

Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan *software GeoStudio* pada tanah dengan keadaan tak jenuh 0,538 dan keadaan jenuh 0,404. Keadaan tanah dengan nilai faktor keamanan tersebut berarti lereng sering terjadi longsoran dan tidak aman ($FS < 1,07$). Perencanaan perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah tipe gravitasi dan kantilever nilai angka keamanannya yang memenuhi syarat hanya terhadap stabilitas terhadap guling, sedangkan tipe bronjong faktor keamanannya yang memenuhi syarat hanya pada stabilitas keruntuhannya. Perkuatan selanjutnya dilakukan dengan menambahkan fondasi *mini pile* di bawah perkuatan dinding penahan tanah tipe kantilever yang didapatkan nilai keamanan terhadap stabilitas geser 1,78; stabilitas guling 3,41; dan terhadap kapasitas daya dukung tanah 3,16. Penambahan fondasi *mini pile* yang dilakukan membuat semua nilai keamanannya menjadi aman terhadap ketiga faktor tersebut.

Kata kunci: Stabilitas lereng, faktor keamanan, dinding penahan tanah

ABSTRACT

The Borobudur-Bigaran road section, which is located in Magelang Regency, has a slope that stretches along the road. The coordinate point $7^{\circ}38'27.77''\text{LS}$ and $110^{\circ}14'36.37''\text{BT}$ on this road often occurs landslides that can block access from or to the Special Region of Yogyakarta (DIY) and to Magelang Regency.

The purpose of this study was to determine the value of slope safety by analyzing slope stability, then planning for slope reinforcement with retaining walls used as a way to overcome landslides, and analyzing the stability of the retaining walls.

The results of slope stability analysis using GeoStudio software on soils with an unsaturated state of 0.538 and a saturated state of 0.404. The condition of the soil with the value of the safety factor means that the slope often occurs landslides and is not safe ($FS < 1.07$). The design of slope reinforcement with gravity and cantilever type retaining walls has a safety factor that meets the requirements only for stability against overturning, while for gabion type the safety factor that meets the requirements is only on failure stability. Further reinforcement was carried out by adding a mini pile foundation under the cantilever type retaining wall which obtained a safety value of 1.78 for shear stability, 3.41 for overturning stability, and 3.16 for soil bearing capacity. The addition of the mini pile foundation made all the safety values safe against these three factors.

Keywords : Slope stability, factor of safety, retaining wall

PENDAHULUAN

Tanah longsor adalah pergerakan akibat massa tanah yang menuruni lereng dikarenakan gaya pendorong tanah lebih besar daripada gaya penahan tanah pada lereng. Kejadian tanah longsor tersebut merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di wilayah Indonesia, terutama saat musim penghujan tiba dan pada lokasi yang berbukit-bukit atau dataran tinggi seperti lereng yang curam serta pada tanah yang nilai kestabilan tanahnya rendah. (Subagio & Kuningsih, 2019)

Ruas Jalan Borobudur-Bigaran terletak pada Desa Sambeng, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang merupakan jalan penghubung Kabupaten Magelang khususnya Kawasan wisata Candi Borobudur (Provinsi Jawa Tengah) dengan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) yang menuju ke *New Yogyakarta Internasional Airport (NYIA)*. Sepanjang jalan tersebut kebanyakan berupa lereng-lereng yang terjal dan seringkali terjadi longsoran.

Data primer yang diperoleh berdasarkan hasil wawancara kepada Kepala Desa Sambeng, ruas Jalan Borobudur-Bigaran tepatnya pada titik koordinat $7^{\circ}38'27.77''\text{LS}$ dan $110^{\circ}14'36.37''\text{BT}$ merupakan lereng yang paling sering terjadi longsoran yang sampai menutup badan jalan. Kejadian tersebut dapat menyebabkan kemacetan dan mengganggu aktivitas lalu lintas.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan analisis terhadap kestabilan lereng untuk mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng tersebut dengan menggunakan *software GeoStudio (Slope/W)* yang sebelumnya telah dilakukan tes boring di lokasi dan pengujian pada laboratorium untuk mendapatkan data-data yang diperlukan. Perencanaan perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah (DPT) selanjutnya dilakukan supaya dapat menanggulangi kelongsoran yang terjadi. Langkah berikutnya untuk mengetahui hasil dari analisis kestabilan terhadap DPT yang telah direncanakan berdasarkan tiga faktor

keamanan pada bahaya penggeseran, bahaya penggulingan, dan terhadap kapasitas daya dukung tanah (keruntuhan).

LANDASAN TEORI

Klasifikasi Tanah

Tanah diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu tanah non kohesif, kohesif, dan organik. Tanah non kohesif merupakan tanah yang mempunyai butiran tidak saling mengikat seperti kerikil dan pasir, sedangkan tanah kohesif butirannya saling mengikat dan bersifat halus contohnya tanah lempung. Tanah jenis organik, tanahnya bersifat remah dan *compressible*, hal tersebut menjadikan tanah organik tidak bagus untuk dijadikan sebagai dasar suatu bangunan. (Surendro, 2015)

Pengklasifikasian tanah bertujuan untuk memberikan gambaran kasar dalam melakukan perencanaan dan pelaksanaan bangunan untuk mengetahui tentang kondisi suatu tanah yang dijadikan sebagai dasarnya. Berdasarkan metode yang digunakan, pada mekanika tanah terdapat banyak klasifikasi tanah yang telah diusulkan. Sifat tanah sangat bervariasi yang menyebabkan meskipun ada berbagai klasifikasi tentang tanah, tetap masih kurang spesifik untuk memberikan penjelasannya.

Longsor

Menurut UU No. 24 Tahun 2007, longsor merupakan suatu jenis gerakan massa tanah atau batuan, atau campuran kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng yang mengalami kerusakan, baik di bawah maupun di luar lereng (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2017). Tanah longsor bisa terjadi kapan saja dan dimana saja, yang dapat menimbulkan kerugian harta benda dan jiwa, serta kerusakan sarana prasarana yang dapat mempengaruhi kondisi ekonomi dan masyarakat. Faktor-faktor penyebab terjadinya longsor adalah kondisi geologi, topografi, iklim, perubahan cuaca, dan intensitas curah hujan. Faktor non alam meliputi penggunaan lahan lereng dan galian kaki lereng.

Tanah longsor menurut Varnes (1978) dan Highland (2004) dibagi menjadi 6

klasifikasi jenis tanah longsor, dengan penjelasannya sebagai berikut:

1. Runtuhan (*falls*)

Lereng yang mengalami runtuh berupa massa besar batuan melalui gerakan jatuh bebas, melompat/berguling, dan tidak melewati permukaan geser, seperti Gambar 1.

2. Robohan (*topple*)

Pergerakan yang melewati bidang diskontinu yang sangat vertikal pada lereng berupa suatu batuan yang roboh, seperti Gambar 2.

3. Longsoran (*slide*)

Gerakan menuruni lereng berupa material-material penyusun lereng melalui permukaan slip lereng disebut longsor, pada Gambar 3.

4. Pencaran lateral (*lateral spread*)

Perpindahan yang terjadi secara translasi dari lereng yang landai ke datar berupa tanah atau batuan disebut pencaran lateral, seperti Gambar 4.

5. Aliran (*flow*)

Aliran fluida yang kental merupakan bentuk dari massa yang mengalami laju aliran disebut dengan aliran yang berupa debris, partikel lempung, dan lumpur pada saat air jenuh, terlihat seperti Gambar 5.



Gambar 1. Runtuhan



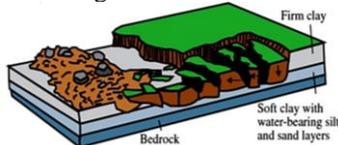
Gambar 2. Robohan



Gambar 3. Longsoran



Gambar 5. Aliran



Gambar 4. Pencaran Lateral

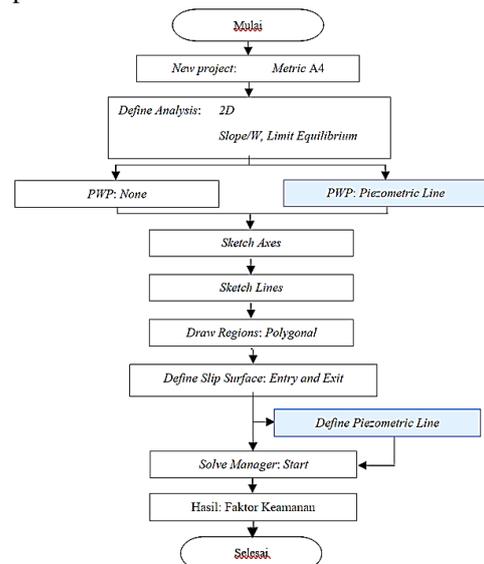
Terganggunya stabilitas lereng akibat adanya gerakan tanah dikarenakan adanya berbagai gaya mekanik yang bekerja pada lereng. Adanya hubungan antara erosi atau momen peluncur (*driving forces*) yang menyebabkan massa tanah atau batuan bergerak ke bawah, dimana momen penahan (*resistance*) yang membuat massa tanah atau batuan tidak berubah, hal tersebut dikarenakan kestabilan lereng yang

terganggu. (Septiansyah, 2020)

Analisis stabilitas lereng menggunakan Software GeoStudio

Pengujian boring di lapangan untuk pengambilan *sample* tanah merupakan salah satu pengujian yang telah diakui oleh para praktisi dan ahli geoteknik. *Sample* tanah kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan beberapa pengujian, seperti kadar air, berat jenis, dan geser langsung. Hasil dari pengujian di laboratorium berupa data parameter tanah yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng dan perencanaan perkuatan lerengnya. Data parameter tanah berupa nilai kadar air tanah (w), berat jenis (G_s), berat volume tanah (γ), kohesi tanah (c), dan sudut geser dalam tanah (ϕ).

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan salah satu perangkat lunak yang dikembangkan di Kanada, yaitu *software GeoStudio*. *Software* ini memudahkan seorang *engineer* yang khususnya bekerja pada bidang geoteknik. Diagram alir tentang penjelasan untuk *running* pada *software GeoStudio* melalui salah satu *menu* khusus untuk analisis stabilitas lereng yaitu *Slope/W* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir proses pada *software GeoStudio*

Faktor Keamanan Lereng

Faktor keamanan lereng atau *factor of safety* (FS) adalah nilai numerik yang menunjukkan kestabilan suatu lereng. Jika

ada gaya yang melawan gerakan bernilai lebih besar dari gaya yang menghamburkannya, maka lereng akan tetap stabil ($FS > 1,25$). Lereng berada pada kondisi kritis, apabila gaya yang menahan massa tanah atau batuan yang bergerak sama dengan gaya yang mengakibatkan timbulnya longsor ($1,07 < FS < 1,25$). Pergerakan lereng yang tidak stabil jika gaya penahan gerakan massa tanah atau batuan lebih kecil dari gaya pelongsor pada lerengnya ($FS < 1,25$). (Ramadhan dkk., 2020)

Hubungan nilai FS dan kemungkinan terjadinya longsor tanah pada lereng menurut Bowles (1989) tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan nilai FS dan kemungkinan longsor pada lereng

Nilai FS	Kemungkinan Longsor
$FS < 1,07$	Kelongsoran biasa terjadi
$1,07 < FS < 1,25$	Kelongsoran pernah terjadi
$FS > 1,25$	Kelongsoran jarang terjadi

(Sumber: Bowles, 1989)

Perkuatan Lereng

Perkuatan lereng merupakan suatu perlakuan terhadap lereng untuk melindungi lereng dari longsor yang bisa terjadi sewaktu-waktu. Berbagai cara dapat dilakukan untuk perkuatan lereng yang dapat disesuaikan dengan keadaan di lapangan, seperti dengan melakukan *cut and fill* pada lereng untuk dibangun terasering, stabilisasi tanah dengan geosintetik, konstruksi dengan dinding penahan tanah atau *bored pile*, *mini pile*, *sheet pile*, dan berbagai metode yang lain untuk perkuatan lereng.

Dinding Penahan Tanah (DPT)

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) merupakan bangunan yang berfungsi untuk menahan tanah dan mencegah terjadinya kemiringan pada tanah atau lereng, dimana keruntuhannya tidak dapat ditanggungjawabkan oleh lereng itu sendiri. (Sudarmanto, 1996).

Memperhitungkan besarnya tekanan tanah lateral sangat penting karena tanah di belakang struktur dapat dijadikan sebagai penahan tekanan tanah dengan aman, maka bisa menjadi acuan untuk perencanaan suatu struktur penahan tanah. Tekanan pada tanah lateral yaitu bekerjanya tekanan tanah pada sisi DPT yang terdapat pada tiga bagian berupa tekanan tanah aktif (P_a), tekanan

tanah pasif (P_p), dan tekanan tanah diam (P_0). (Gunawan dan Margaret, 2006)

Rumus tekanan tanah aktif dan pasif berdasarkan teori *Mohr-Coulomb*, yaitu:

$$P_a = \left(\frac{1}{2}\right)(H_1)^2 \times \gamma \times K_a - (2c \times H_1 \sqrt{K_a}) \dots\dots (1)$$

$$P_p = \left(\frac{1}{2}\right)(H_2)^2 \times \gamma \times K_p + (2c \times H_2 \sqrt{K_p}) \dots\dots (2)$$

Keterangan:

- H_1 = tinggi tanah belakang DPT (m)
- H_2 = tinggi tanah depan DPT (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m^3)
- K_a = koefisien tekanan tanah aktif
- K_p = koefisien tekanan tanah pasif
- c = kohesi tanah (kN/m^2)

Dinding penahan tanah dibedakan ke dalam tiga tipe berdasarkan cara mencapai stabilitasnya, yaitu tipe gravitasi, tipe kantilever, dan tipe *counterfort*. (Das, 1993)

Stabilitas Terhadap DPT

Kemampuan DPT untuk menahan longsor didasarkan pada faktor keamanan stabilitas terhadap bahaya penggeseran, penggulingan, dan kapasitas daya dukung tanah (keruntuhan). Nilai faktor keamanan terhadap stabilitas DPT menurut Das (2011) dan SNI 8460: 2017, berikut penjelasannya:

Stabilitas DPT terhadap Penggeseran

Gesekan yang terjadi antara tanah dan fondasi serta tekanan tanah pasif akan mampu menahan gaya geser pada DPT, karena terdapat tanah timbunan di depan dinding penahannya.

Faktor keamanan terhadap bahaya geser, dirumuskan:

$$FS_{geser} = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \times \varphi) + (B \times k_2 \times c) + P_p}{P_a} \geq 1,5 \quad (3)$$

Keterangan:

- $\sum V$ = jumlah gaya vertikal (kN)
- φ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
- B = lebar bagian tapak (m)
- $k_1 = k_2$ = koefisien $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$

Stabilitas DPT terhadap Penggulingan

Tekanan tanah lateral akibat timbunan di belakang dinding penahan mengakibatkan terjadinya penggulingan dinding pada pusat rotasi ujung kaki depan pelat fondasinya.

Faktor keamanan terhadap bahaya guling, dirumuskan:

$$FS_{guling} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \dots\dots\dots (4)$$

$$\sum M_O = P_a \left(\frac{H_1}{3}\right) \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$\sum M_R$ = jumlah momen penahan (kNm)

$\sum M_O$ = jumlah momen pengguling (kNm)

Stabilitas DPT terhadap Keruntuhan

Analisis pada kapasitas daya dukung tanah terjadi apabila terdapat dukungan kemampuan terhadap tanah ke beban fondasi yang bekerja di atasnya, karena fondasi merupakan struktur yang melanjutkan beban dari berat strukturnya langsung ke tanah di bawahnya.

Faktor keamanan terhadap bahaya keruntuhan, dirumuskan:

$$FS_{\text{runtuh}} = \frac{q_u}{\sigma_{\text{max}}} \geq 3 \dots\dots\dots (6)$$

$$q_u = (c \cdot N_c \cdot F_{cd} \cdot F_{ci}) + (H_2 \cdot \gamma \cdot N_q \cdot F_{qd} \cdot F_{qi}) + (\frac{1}{2} B' \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i}) \dots\dots\dots (7)$$

$$B' = B - 2e \dots\dots\dots (8)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum V} \dots\dots\dots (9)$$

$$a = e \cdot (0,75\pi - 0,5\varphi) \tan \varphi \dots\dots\dots (10)$$

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45 + 0,5\varphi)} \dots\dots\dots (11)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \dots\dots\dots (12)$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \varphi}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \varphi} - 1 \right) \dots\dots\dots (13)$$

$$K_{py} = 3 \times \tan^2(45^\circ + 0,5(\varphi + 33^\circ)) \dots\dots\dots (14)$$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \times \tan \varphi_2} \dots\dots\dots (15)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \times \frac{H_2}{B'} \dots\dots\dots (16)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{P_a}{\sum V} \right) \dots\dots\dots (17)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi}{90^\circ} \right)^2 \dots\dots\dots (18)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi}{\varphi} \right)^2 \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan:

q_u = kapasitas hitung ultimate (kN/m²)

q_{max} = tegangan di dasar DPT (kN/m²)

B' = lebar fondasi (m)

e = bilangan euler (kN/m²)

K_{py} = koefisien tekanan tanah pasif

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ = faktor kedalaman

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ = faktor kemiringan beban

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung

METODOLOGI PENELITIAN

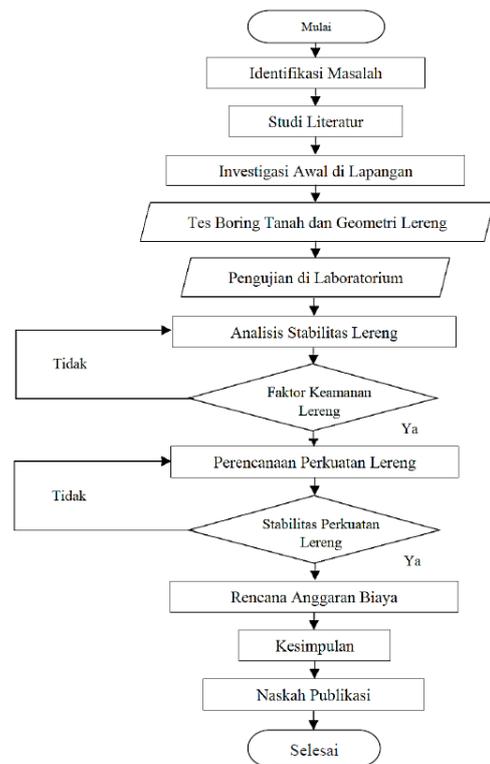
Diagram Alir Penelitian

Alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.

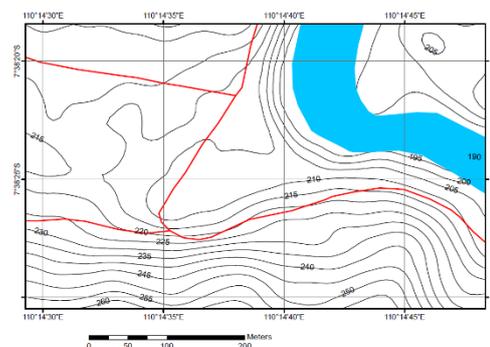
Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lereng di Desa Sambeng, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang tepatnya pada ruas

Jalan Borobudur-Bigaran. Lereng tersebut terletak ± 10km dari kawasan wisata Candi Borobudur dan ± 2 km dari perbatasan DIY. Sepanjang 240m ruas jalan tersebut terbentang dan sepanjang 40m lereng yang rawan terjadinya longsor, karena lerengnya tinggi dan terjal. Koordinat pengambilan *sample* tanah dititik 7°38'27.77"LS dan 110°14'36.37"BT yang kemudian dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan data parameter tanah. Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

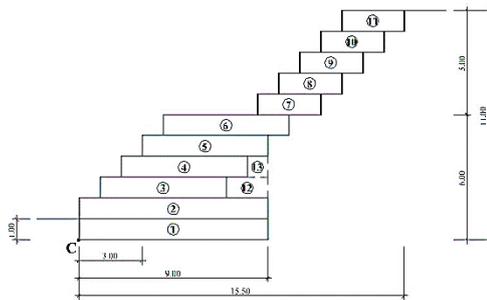


Gambar 8. Peta lokasi penelitian

HASIL PENELITIAN

Data Umum

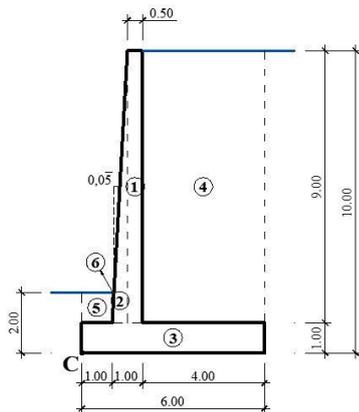
Hasil perencanaan dimensi DPT tipe bronjong terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Dimensi DPT tipe bronjong

DPT Tipe Kantilever

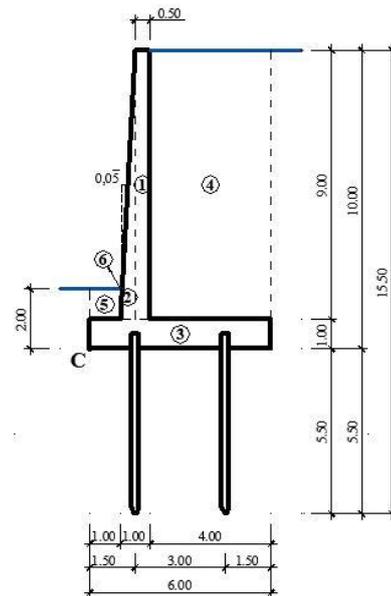
Hasil perencanaan dimensi DPT tipe kantilever terlihat pada Gambar 14.



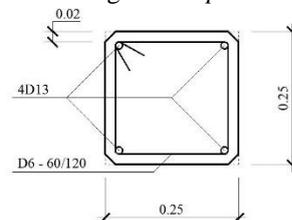
Gambar 14. Dimensi DPT tipe kantilever

DPT Tipe Kantilever Dengan Mini Pile

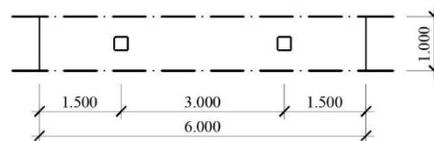
Hasil perencanaan dimensi DPT tipe kantilever dengan *mini pile* terlihat pada Gambar 15 dan penampang *mini pile* ditunjukkan pada Gambar 16, sedangkan tata letak fondasi *mini pile* pada Gambar 17.



Gambar 15. Dimensi DPT tipe kantilever dengan *mini pile*



Gambar 16. Penampang *mini pile*



Gambar 17. Tata letak fondasi *mini pile*

Rekapitulasi FS Terhadap Stabilitas DPT

Hasil perhitungan nilai faktor keamanan terhadap stabilitas setiap DPT yang direncanakan terletak pada Tabel 3. Berdasarkan rekapitulasi tersebut, bahwa DPT tipe kantilever dengan *mini pile* merupakan hasil perencanaan yang memiliki FS aman terhadap bahaya geser, guling, dan runtuh.

Tabel 3. Rekap FS terhadap stabilitas DPT

No.	Tipe DPT	FS geser	FS guling	FS runtuh	Keterangan
		(FS > 1,5)	(FS > 2)	(FS > 3)	
1	Gravitasi	0.64	2.79	0.42	Aman
2	Bronjong	0.15	1.85	166.21	
3	Kantilever	0.61	2.46	0.45	
4	Kantilever dengan <i>mini pile</i>	1.78	3.41	3.16	

Perencanaan Desain Tulangan DPT Tipe

Kantilever Dengan Mini Pile

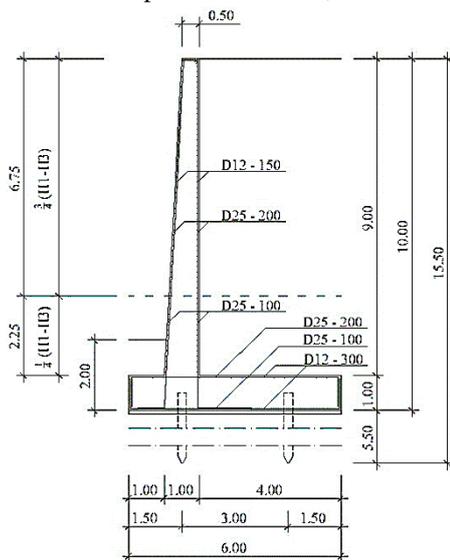
Desain tulangan pada DPT tipe kantilever berbeda-beda, yaitu:

1. Desain tulangan lentur dinding
Bagian dinding di atas tapak dibagi menjadi dua: $\frac{1}{4}$ bagian ke bawah ($0,25(H_1 - H_3)$) menggunakan tulangan D25-100 dan $\frac{3}{4}$ bagian ke atas ($0,75(H_1 - H_3)$) menggunakan tulangan D25-200.
2. Desain tulangan susut dan suhu dingin
Tulangan susut dan suhu dingin menggunakan tulangan D12-150.
3. Desain tulangan tapak
Tulangan tapak menggunakan tulangan D25-200.
4. Desain tulangan horizontal tapak
Tulangan horizontal tapak menggunakan tulangan D12-300.

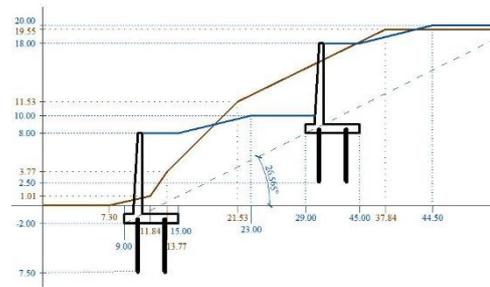
Gambar desain tulangan penampang pada DPT tipe kantilever ditunjukkan pada Gambar 18.

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

RAB proyek pada dinding penahan tanah tipe kantilever dengan *mini pile*, utuk menahan lereng setinggi 19meter dan sepanjang 40meter (Gambar 19), didapatkan RAB senilai Rp. 5.132.047.500,00.



Gambar 18. Penulangan DPT tipe kantilever



Gambar 19. Skema penempatan DPT tipe kantilever dengan *mini pile*

PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan dari perhitungan dan pembahasan di atas, yaitu:

1. Faktor keamanan terhadap stabilitas lereng Sambeng yang dianalisis dengan *software GeoStudio* dengan kondisi tanah tak jenuh sebesar 0,538 dan dengan kondisi tanah jenuh sebesar 0,404. Berdasarkan hubungan antara nilai FS dan kelongsoran menurut Bowles (1989), kedua nilai faktor keamanan lereng tidak aman dengan kemungkinan longsoran sering terjadi ($FS < 1,07$).
2. Perencanaan dinding penahan tanah dengan tipe gravitasi, bronjong, kantilever sederhana, dan kantilever dengan fondasi *mini pile* sesuai perhitungan yang ditentukan oleh Das (2011).
3. Analisis stabilitas terhadap DPT tipe gravitasi, bronjong, dan kantilever sederhana nilai faktor keamanannya tidak semua aman sesuai ketentuan Das (2011). DPT tipe gravitasi dan kantilever sederhana hanya aman terhadap bahaya penggulingan, sedangkan tipe bronjong hanya aman terhadap bahaya keruntuhannya. Penambahan fondasi *mini pile* di bawah DPT tipe kantilever membuat ketiga nilai faktor keamanan stabilitasnya aman terhadap bahaya penggeseran ($FS = 1,78 > 1,5$); penggulingan ($FS = 3,41 > 2$), dan keruntuhan ($FS = 3,16 > 1,5$).

Saran

Saran untuk penelitian ini, sebagai berikut:

1. Stabilisasi tanah dengan geoteknik dapat

dilakukan supaya dinding penahan tanah dapat direncanakan dengan tipe yang sederhana, karena dengan meningkatnya kualitas tanah pada lereng tersebut, maka nilai keamanannya dapat terpenuhi sesuai ketentuan.

2. Rumput vetiver yang memiliki berbagai desain struktur dan ramah lingkungan sebagai pengaman lereng secara berkelanjutan dapat dilakukan pemasangan pada lereng untuk menambah kekuatan pada lereng, karena akar serabut pada rumput vetiver memiliki sifat yang kuat dalam memegang tanah apabila diawal dilakukan pemeliharaan yang baik, maka rumput tersebut dapat meningkatkan stabilitas lereng yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowles, J.E., (1989), Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [2] Das, B.M., (1993), Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [3] Das, B.M., (2011), Principles of Foundation Engineering 7th Edition, Cengage Learning, Stamford.
- [4] Gunawan, T., & Margaret, S., (2006), Mekanika Tanah Soal dan Penyelesaian, Delta Teknik, Jakarta.
- [5] Highland, L., dan Johnson, M., (2004), Landslide Types and Processes, USGS Fact Sheet 2004-3072, U.S. Department of the Interior dan U.S. Geological Survey.
- [6] Ramadhan, R., Munirwansyah, & Sungkar, M., (2020), Faktor Keamanan Stabilitas Lereng pada Kondisi Eksisting dan Setelah Diperkuat Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort dengan Program Plaxis, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, Vol. 5, No. 1.
- [7] Septiansyah, M.A.S., (2020), Kajian tentang Alternatif Struktur Penahan untuk Mengatasi Masalah Pergerakan Tanah pada Jalan Provinsi Trenggalek-Ponorogo Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur, Skripsi, Universitas Brawijaya.
- [8] SNI 8460: 2017, Persyaratan Perancangan Geoteknik, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

- [9] Subagio, Y.V., & Kuningsih, T.W., (2019), Analisis Stabilitas Lereng di Desa Sukamulih Kecamatan Sukajaya Kabupaten Bogor, Jurnal Kajian Teknik Sipil, Vol. 4, No. 2.

- [10] Sudarmanto, (1996), Konstruksi Beton 2, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik Dirjen Dikti, Bandung, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN).

- [11] Surendro, B., (2015), Mekanika Tanah, Penerbit Andi, Yogyakarta.

- [12] Varnes, D. J., (1978), Slope Movement Type AND Processes, Special Report 176; Landslide; ANlisis and Control, Eds: R. L. Schuster dan R. J. Krizek, Transport Research Board, National Research Council, Wasington, D. C., 11-33.