

## ANALISIS DINDING PENAHAN TANAH PADA SENDERAN PURA BANGKAK, DESA SIBETAN, KARANGASEM

I Putu Deny Surastika<sup>1\*</sup>, I Made Adi Bhaskara<sup>2</sup>, I Wayan Agus Suparta<sup>1</sup>, Ngakan Made Dwi Wahyu Darma Putra<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Program Studi Teknik Sipil Universitas Warmadewa, Denpasar - Bali, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Komputer Universitas Warmadewa, Denpasar - Bali, Indonesia

[deny.aditama@warmadewa.ac.id](mailto:deny.aditama@warmadewa.ac.id)

### Abstrak

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Pura Bangkak, Desa Sibetan, Kabupaten Karangasem, Bali, untuk mengatasi permasalahan ketidakstabilan dinding tanah pada area parkir pura yang memiliki tinggi 3–5 meter dan panjang 61,6 meter tanpa struktur penahan yang memadai. Kondisi tersebut menimbulkan risiko longsor yang dapat mengancam keselamatan masyarakat dan mengganggu kelancaran kegiatan keagamaan. Metode pelaksanaan meliputi observasi visual lapangan, pengukuran geometri dan elevasi menggunakan total station, pemetaan topografi area parkir, serta pengujian tanah melalui metode sondir dan boring untuk mengetahui karakteristik teknis lapisan tanah. Berdasarkan hasil analisis, disusun desain teknis dinding penahan tanah berbahan beton bertulang lengkap dengan sistem drainase sebagai produk hard, serta panduan pemeliharaan dinding penahan tanah sebagai produk soft. Kegiatan ini juga mencakup sosialisasi dan pelatihan kepada masyarakat mengenai cara deteksi dini kerusakan dan pemeliharaan rutin infrastruktur sederhana. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan pemahaman masyarakat, tersusunnya desain teknis yang aplikatif, serta terwujudnya kolaborasi yang kuat antara akademisi, masyarakat, dan pemerintah desa. Program ini mendukung pelaksanaan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan berkontribusi pada pencapaian Indikator Kinerja Utama (IKU) perguruan tinggi.

**Kata Kunci:** dinding penahan tanah, geoteknik, Pura Bangkak, pengabdian masyarakat, MBKM

### Abstract

*This community service project was carried out at Pura Bangkak, Sibetan Village, Karangasem Regency, Bali, to address the instability of the soil embankment in the temple's parking area, which has a height of 3–5 meters and a length of 61.6 meters without any retaining structure. This condition poses a landslide risk that threatens public safety and the sustainability of the temple's religious activities. The methods included visual field observation, geometric and elevation measurements using a total station, topographic mapping, and soil investigation through cone penetration testing and boring to determine geotechnical characteristics. Based on the analysis, a reinforced concrete retaining wall design with drainage was developed as the hard product, accompanied by a maintenance guideline as the soft product. The program also involved community workshops and training on early damage detection and routine infrastructure maintenance. The results demonstrate improved community knowledge, the development of an applicable engineering design, and strengthened collaboration between academia, the community, and local authorities. This program supports the implementation of the Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) and contributes to achieving the university's Key Performance Indicators (IKU).*

**Keywords:** retaining wall, geotechnical analysis, Pura Bangkak, community service, MBKM

## **I. PENDAHULUAN**

Kabupaten Karangasem, khususnya Desa Sibetan, merupakan wilayah dengan kontur lahan berbukit dan kondisi geologi yang cukup kompleks sehingga memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap potensi gerakan tanah dan longsor. Kondisi ini dipengaruhi oleh morfologi lereng yang curam, komposisi tanah lempung berplastisitas sedang hingga tinggi, serta intensitas curah hujan tahunan yang signifikan [1], [2]. Salah satu lokasi yang menunjukkan indikasi ketidakstabilan adalah area parkir Pura Bangkak, yang memiliki dinding tanah setinggi 3-5 meter dan panjang sekitar 50 meter tanpa struktur penahan tanah yang memadai. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko longsor, terutama ketika curah hujan tinggi menyebabkan peningkatan tekanan air pori (pore water pressure) dan penurunan kuat geser tanah [3], [4].

Dinding tanah tersebut saat ini hanya ditopang oleh vegetasi alami seperti rumput dan akar pohon. Meskipun vegetasi memiliki peran dalam meningkatkan kohesi tanah dan mengurangi erosi, kemampuannya terbatas pada lereng landai, sedangkan pada lereng curam gaya dorong lateral tanah jauh lebih besar daripada kapasitas penahan vegetasi [5], [6]. Selain itu, keberadaan pohon beringin berukuran besar di area pura turut memberikan beban tambahan (surcharge) yang dapat meningkatkan tekanan tanah lateral serta mempercepat munculnya retakan dan deformasi permukaan tanah [7], [8]. Studi geoteknik di wilayah Bali juga menunjukkan bahwa kehadiran beban tambahan dari vegetasi besar merupakan salah satu faktor yang memperburuk kestabilan lereng pada kawasan perbukitan [9].

Secara regional, kawasan Karangasem dan sekitarnya termasuk dalam zona dengan tingkat kerawanan gerakan tanah sedang hingga tinggi, terutama pada lokasi yang memiliki kemiringan lereng lebih dari 30°, tanah lempung jenuh air, dan intensitas curah hujan ekstrem [10], [11]. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme mitigasi struktural berupa pembangunan dinding penahan tanah (retaining wall) untuk meningkatkan faktor keamanan lereng terhadap gaya guling, geser, dan deformasi lateral. Desain struktur penahan tanah ini juga harus dilengkapi sistem drainase yang efektif guna menurunkan tekanan air pori, yang merupakan salah satu penyebab utama ketidakstabilan lereng pada tanah lempung berpasir [12], [13].

Melalui kegiatan pengabdian masyarakat ini, investigasi lapangan, analisis geoteknik, dan penyusunan desain teknis dilakukan secara sistematis dan partisipatif dengan melibatkan masyarakat, pengelola pura, dan aparat desa setempat. Pendekatan ini tidak hanya memberikan solusi rekayasa yang aplikatif, tetapi juga memperkuat pemahaman masyarakat mengenai mitigasi bahaya longsor dan pemeliharaan infrastruktur sederhana. Program ini sejalan dengan implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) serta mendukung pencapaian Indikator Kinerja Utama (IKU) perguruan tinggi melalui kontribusi langsung dalam penyelesaian masalah berbasis kebutuhan masyarakat.

## **II. METODE PELAKSANAAN**

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat di Pura Bangkak, Desa Sibetan, Kabupaten Karangasem dilaksanakan dengan pendekatan teknis-partisipatif, yaitu menggabungkan analisis keteknikan geoteknik dengan pelibatan aktif masyarakat dan pengelola pura. Seluruh metode pelaksanaan dibagi menjadi dua tahap utama, yaitu (A) survei lapangan dan identifikasi masalah, serta (B) analisis teknis dan perencanaan desain dinding penahan tanah berbahan beton bertulang lengkap dengan sistem drainase dan pedoman pemeliharaan.

### 1. Survei Lapangan dan Identifikasi Masalah

Tahap awal dilakukan melalui observasi langsung pada area dinding tanah di area parkir Pura Bangkak yang memiliki tinggi 3 – 5 meter dan panjang sekitar 50 meter. Survei difokuskan pada kondisi eksisting lereng, sistem drainase, jenis tanah, serta indikasi ketidakstabilan. Pengukuran geometri lereng – meliputi elevasi, kemiringan, dan kontur – dilakukan menggunakan **total station** untuk memperoleh model topografi yang akurat. Hasil pengukuran menunjukkan sudut kemiringan yang cukup besar sehingga meningkatkan risiko longsor terutama pada musim hujan.

Untuk mengetahui kondisi tanah secara lebih komprehensif, dilakukan **pengujian tanah**, meliputi SPT, sondir, kadar air, dan permeabilitas. Selain itu, tim juga melakukan wawancara dengan pengelola pura dan masyarakat untuk mengumpulkan informasi historis terkait kejadian longsor, arah limpasan air hujan, serta perubahan penggunaan lahan. Data ini menjadi dasar dalam menentukan tingkat urgensi penanganan dan memformulasikan desain yang sesuai dengan karakteristik lapangan. (Gambar 1)



(a) Kondisi Lapangan pada Lahan  
Parkir Pura Bangkak



(b) Pengujian Tanah

Gambar 1. (a) Survey lapangan dan (b) pengujian tanah

### 2. Analisis Teknis dan Perencanaan Desain Dinding Penahan Tanah

Data lapangan yang telah terkumpul digunakan untuk melakukan **analisis geoteknik**, meliputi perhitungan kemiringan kritis, evaluasi stabilitas lereng, dan penentuan **tekanan tanah lateral** (lateral earth pressure) yang akan bekerja pada struktur penahan tanah. Kondisi nyata di lapangan – seperti tinggi lereng, jenis tanah berpasir lempung, kondisi drainase yang kurang baik, serta beban tambahan dari kendaraan parkir – dimasukkan sebagai parameter desain.

Berdasarkan hasil analisis, dipilih pembangunan **dinding penahan tanah dari pasangan batu kali (stone masonry gravity retaining wall)** dengan pertimbangan teknis:

- **Tipe dinding:** dinding gravitasi batu kali, karena sesuai untuk tinggi tanah sekitar 3 - 5 meter dan cocok dengan kondisi tanah yang relatif stabil serta mudah dibangun dengan material setempat.
- **Material:** batu kali dengan mortar semen sebagai pengikat utama, dipilih karena kuat, ekonomis, mudah diperoleh, dan sesuai dengan karakter visual lingkungan pura.

- **Stabilitas:** faktor keamanan dihitung untuk memastikan dinding mampu menahan gaya geser, gaya guling, dan beban tanah di belakang dinding.
- **Beban tambahan (surcharge):** aktivitas lalu lintas kendaraan dan beban dari pohon besar di sekitar area diperhitungkan sebagai faktor penambah gaya lateral.

Selain desain teknis, kegiatan ini juga menghasilkan pedoman pemeliharaan dinding penahan tanah sebagai produk soft, mencakup cara inspeksi rutin, pembersihan saluran drainase, dan deteksi dini kerusakan. Pendekatan teknis yang dikombinasikan dengan pelibatan masyarakat melalui konsep MBKM diharapkan menghasilkan solusi penanganan longsor yang aman, ekonomis, dan berkelanjutan.

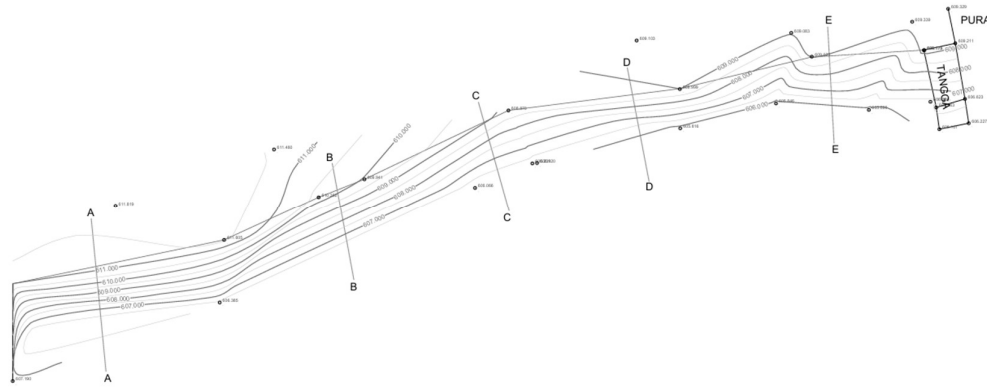
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### *3. Hasil Pengamatan Lapangan*

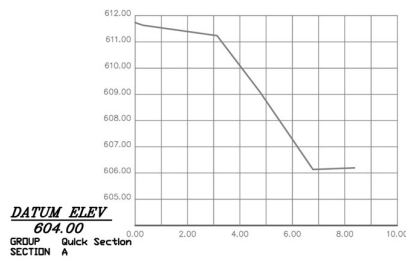
Kegiatan pengamatan lapangan dilakukan di area parkir Pura Bangkak, Desa Sibetan, Kecamatan Bebandem, Kabupaten Karangasem. Berdasarkan hasil observasi, area tersebut memiliki dinding tanah setinggi 3 - 5 meter dan panjang  $\pm 50$  meter (Gambar 2) tanpa adanya struktur penahan yang memadai. Permukaan tanah tampak tidak stabil, ditandai dengan adanya retakan kecil, erosi, serta perubahan bentuk permukaan akibat aliran air hujan. Vegetasi alami seperti rumput dan akar pohon berperan kecil dalam menahan tanah, namun tidak cukup kuat untuk mengimbangi gaya dorong lateral tanah.

Untuk memperoleh gambaran elevasi dan bentuk kontur yang akurat, dilakukan pemetaan topografi menggunakan alat ukur yang dilengkapi sistem GPS (Global Positioning System). Pengukuran dilakukan pada beberapa titik kontrol di sekitar area parkir, kemudian diolah untuk menghasilkan peta kontur dan model elevasi sederhana. Hasil pemetaan menunjukkan kemiringan lereng berkisar antara  $30^{\circ}$ – $35^{\circ}$ , dengan arah aliran air permukaan menuju sisi selatan area pura. Tidak ditemukan sistem drainase yang teratur di area tersebut, sehingga air hujan mengalir bebas dan mempercepat proses pelunakan tanah.

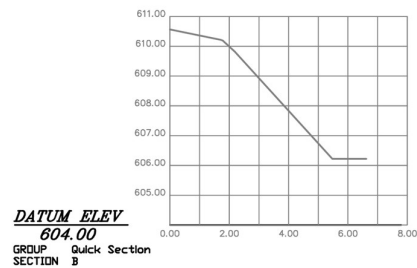
Dari hasil pengamatan dan pemetaan tersebut dapat disimpulkan bahwa area parkir Pura Bangkak memiliki tingkat risiko longsor yang cukup tinggi, sehingga diperlukan perencanaan teknis berupa pembangunan dinding penahan tanah dengan sistem drainase untuk menjaga kestabilan lereng dan keamanan lingkungan pura. (Gambar 3)



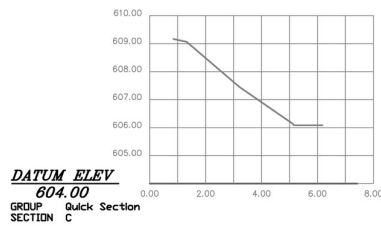
Gambar 2. Kontur Tanah pada Lahan Parkir Pura Bangkak



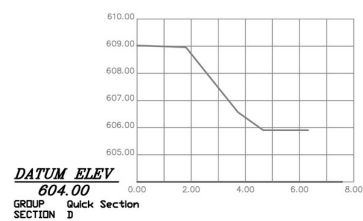
(a) Potongan A-A



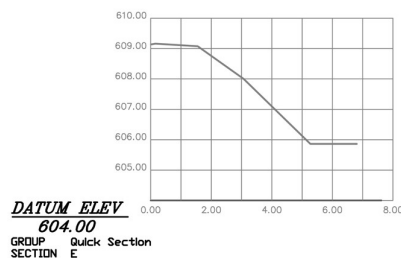
(b) Potongan B-B



(c) Potongan C-C



(d) Potongan D-D

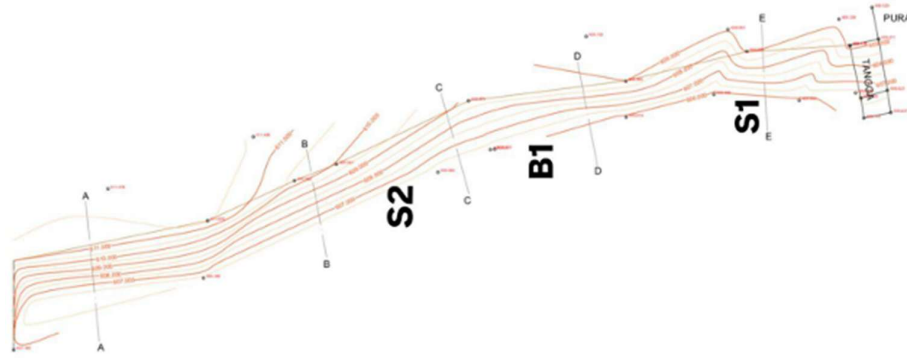


(e) Potongan E-E

Gambar 3. Potongan (a) A-A, (b) B-B, (c) C-C, (d) D-D, (e) E-E

#### 4. Hasil Pengujian Tanah

Untuk mengetahui karakteristik geoteknik tanah di area parkir, dilakukan pengujian tanah menggunakan metode sondir dan boring. Uji *sondir* dilakukan untuk menentukan daya dukung tanah (*cone resistance*), sedangkan *boring* digunakan untuk memperoleh informasi lapisan tanah dan mengambil sampel tanah untuk pengujian laboratorium. Untuk titiknya dapat dilihat pada Gambar 4.



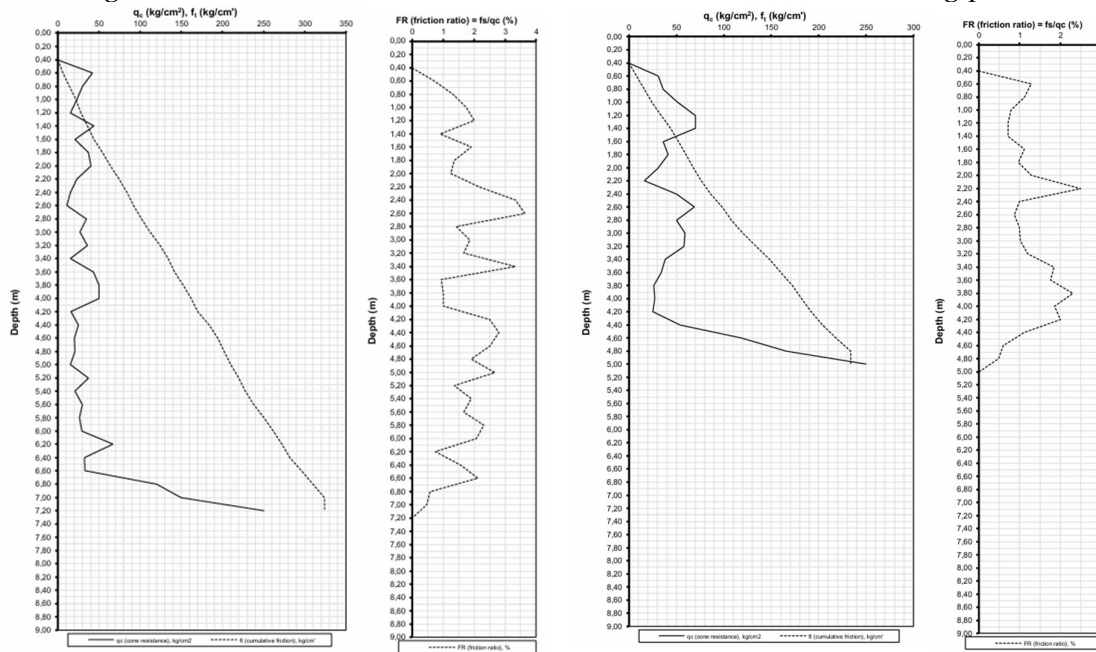
Gambar 4. Titik Cone Penetration dan Boring Test

Berdasarkan hasil uji *sondir*, diperoleh nilai daya dukung tanah sebesar  $250 \text{ kg/cm}^2$  pada kedalaman 5 – 7,20 meter (Gambar 5 dan Gambar 6). Hasil *boring* menunjukkan bahwa tanah didominasi oleh lempung berlanau dan pasir berlanau.

Pengujian laboratorium menunjukkan parameter tanah sebagai berikut:

- Berat isi tanah ( $\gamma$ ) =  $1,80 \text{ ton/m}^3$
- Sudut geser dalam ( $\varphi$ ) =  $28^\circ$
- Kohesi ( $c$ ) =  $0,51 \text{ kg/cm}^2$

Karakteristik ini menunjukkan bahwa tanah bersifat plastis sedang dan cukup sensitif terhadap perubahan kadar air. Parameter ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan tekanan tanah lateral dan analisis stabilitas struktur dinding penahan.



(a) Hasil Cone Penetration Test pada titik S1

(b) Hasil Cone Penetration Test pada titik S2

Gambar 5. Hasil Cone Penetration Test pada Titik (a) S1 dan (b) S2

Kedalaman (m)	m.a.t (m)	Bor Log	Deskripsi
0,0			Pasir berlanau kecoklatan.
1,0			Pasir berlanau bercampur kerikil kecoklatan.
2,0			
3,0			
4,0			
5,0			
6,0			

Keterangan:



: Tidak ditemukan adanya muka air tanah.

**Gambar 6. Hasil Uji Boring**

### 5. Desain Teknik Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan hasil survei lapangan, pengujian tanah, dan pemetaan topografi, direncanakan pembangunan dinding penahan tanah (retaining wall) dari batu kali dan campuran semen untuk menjaga kestabilan lereng dan keamanan area parkir Pura Bangkak. Desain mempertimbangkan kondisi tanah setempat, ketersediaan material, serta kemudahan pelaksanaan oleh masyarakat lokal.

Spesifikasi rancangan teknis dinding penahan tanah adalah sebagai berikut:

- Tinggi dinding : 3 – 5 meter
- Panjang dinding : 61,60 meter
- Tebal bawah dinding : 2,80 meter
- Tebal atas dinding : 0,70 meter
- Mutu beton ( $f'c$ ) : 25 MPa (K-250)

Faktor keamanan (Safety Factor/SF) dari gaya guling (overturning), geser (sliding), dan daya dukung (bearing capacity) ditentukan sebagai berikut:

- SF terhadap guling = 2,00
- SF terhadap geser = 2,00
- SF terhadap daya dukung = 2,45

Pertama, nilai-nilai tersebut digunakan untuk menghitung tekanan tanah aktif ( $K_a$ ) dan pasif ( $K_p$ ) menggunakan rumus:

$$K_a = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \phi \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin \phi}{\cos \delta}} \right)^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \phi \left( 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin \phi}{\cos \delta}} \right)^2}$$

Setelah mendapatkan tekanan tanah aktif dan pasif, dilanjutkan untuk menghitung faktor keamanan terhadap guling, dimana didapatkan momen penahan sebesar 69,73 tm sedangkan untuk momen gulingnya sebesar 26,56 tm, maka didapatkan SF sebesar 2,62. SF tersebut sudah lebih besar dibandingkan dengan SF yang sudah ditetapkan. Untuk keamanan terhadap geser harus dihitung dengan menggunakan rumus

$$Fr = R \times \tan \phi + 0,67 \times c \times B + Pp$$

Dimana Pp adalah kontribusi pasif dari gaya penampang dinding penahan tanah

$$Pp = 2 \times c \times \sqrt{Kp} \times d + 0,5\gamma \times d^2 \times Kp$$

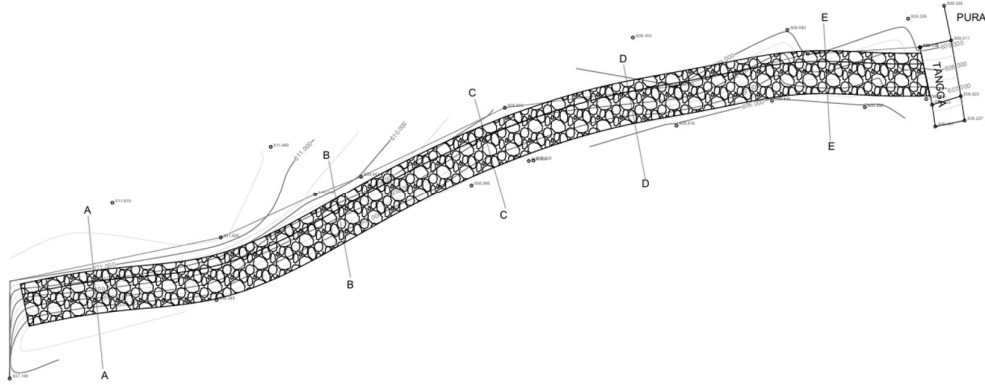
Didapatkan gaya geser penampang total (Fr) adalah sebesar 105,28 ton dan gaya geser yang terjadi adalah sebesar 11,72 ton. Jadi, untuk SF didapatkan sebesar 8,98, nilai ini sudah lebih besar dibandingkan dengan SF yang sudah ditentukan yakni sebesar 2,00. Setelah itu dapat dilanjutkan dengan menghitung daya dukung tanah menggunakan rumus :

$$q_{ult} = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

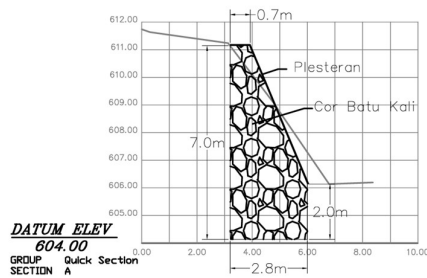
Didapatkan untuk daya dukung tanah ultimit (qult) sebesar 55,42 t/m<sup>2</sup> sedangkan untuk tegangan yang terjadi adalah sebesar 20,96 t/m<sup>2</sup>, maka SF yang didapat adalah sebesar 2,64. SF tersebut sudah lebih besar dibandingkan dengan SF yang ditetapkan yakni sebesar 2,5.

Nilai-nilai tersebut telah memenuhi batas aman sesuai standar SNI 8460:2017 dan referensi dari Duncan & Wright (2014). Dengan demikian, desain dinding ini dapat menahan gaya dorong lateral tanah serta tekanan air di belakang dinding secara efektif. Untuk detail dari gambar dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

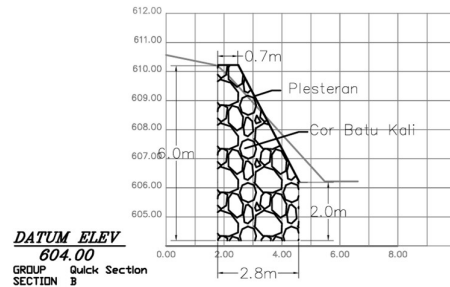
Selain fungsi teknis, desain juga memperhatikan aspek keberlanjutan dengan melibatkan masyarakat setempat dalam proses konstruksi dan perawatan. Partisipasi masyarakat diharapkan dapat menjaga keberlanjutan fungsi infrastruktur dan memperkuat rasa memiliki terhadap fasilitas pura.



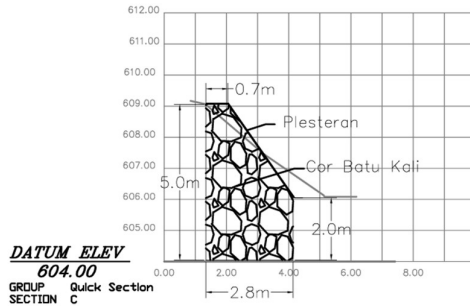
Gambar 7. Denah Dinding Penahan Tanah



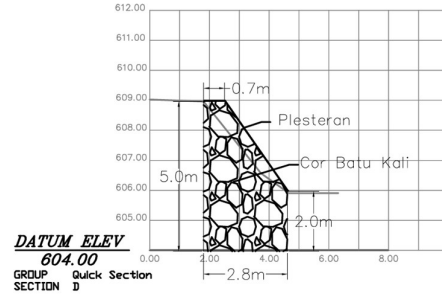
(a) Desain Dinding Penahan Tanah pada Potongan A-A



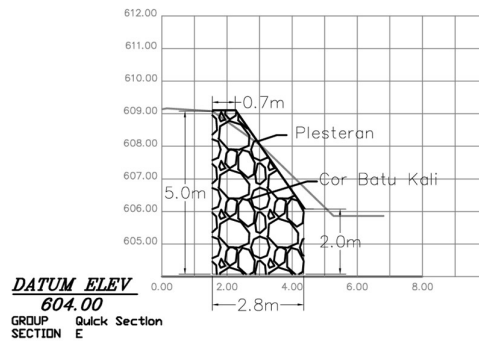
(b) Desain Dinding Penahan Tanah pada Potongan B-B



(c) Desain Dinding Penahan Tanah pada Potongan C-C



(d) Desain Dinding Penahan Tanah pada Potongan D-D



(e) Desain Dinding Penahan Tanah pada Potongan E-E

Gambar 8. Desain Dinding Penahan Tanah pada Potongan (a) A-A, (b) B-B, (c) C-C, (d) D-D, (e) E-E

#### IV. SIMPULAN DAN SARAN

##### 1. *Simpulan*

Berdasarkan hasil kegiatan pengabdian masyarakat yang meliputi survei lapangan, pemetaan topografi menggunakan alat ber-GPS, pengujian tanah (sondir dan boring), serta perencanaan teknis dinding penahan tanah di area parkir Pura Bangkak, Desa Sibetan, Kabupaten Karangasem, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi eksisting area parkir Pura Bangkak menunjukkan adanya dinding tanah dengan tinggi 3 - 5 meter dan panjang 61,60 meter yang tidak memiliki struktur penahan. Kondisi ini menimbulkan risiko longsor cukup tinggi, terutama saat musim hujan, karena tidak adanya sistem drainase dan tingginya kadar air tanah.
2. Hasil pengujian tanah (sondir dan boring) menunjukkan bahwa tanah di lokasi memiliki daya dukung sedang dengan parameter teknis: berat isi ( $\gamma$ ) = 1.8 ton/m<sup>3</sup>, kohesi ( $c$ ) = 0,15 kg/cm<sup>2</sup>, dan sudut geser dalam ( $\varphi$ ) = 28°. Jenis tanah berupa lempung berlanau dan pasir berlanau.
3. Hasil perhitungan stabilitas dinding penahan tanah, yang meliputi analisis guling, geser, dan daya dukung tanah, menunjukkan bahwa desain dinding batu kali yang direncanakan memenuhi persyaratan keamanan konstruksi:
  - Keamanan terhadap guling (*Overturning*) memenuhi syarat dengan nilai faktor keamanan (SF 2,62 > 2,0), menunjukkan bahwa momen penahan (resisting moment) lebih besar dibandingkan momen pengguling akibat tekanan tanah.
  - Keamanan terhadap geser (*Sliding*) juga berada dalam batas aman (SF 8,98 ≥ 1,5), di mana gaya geser penahan yang berasal dari friksi dasar pondasi dan kontribusi kohesi tanah lebih besar daripada gaya horizontal akibat tekanan tanah aktif.
  - Daya dukung tanah (*Bearing Capacity*) mencukupi, dimana faktor keamanan (SF) yang didapat sebesar 2,64 > 2,5 sehingga tidak terjadi penurunan (settlement) berlebih maupun keruntuhan tanah dasar.

Secara keseluruhan, kegiatan ini berhasil memberikan solusi rekayasa yang aplikatif dan berkelanjutan bagi masyarakat, meningkatkan keamanan lingkungan pura, serta memperkuat sinergi antara akademisi, masyarakat, dan pemerintah desa dalam menjaga stabilitas infrastruktur berbasis kearifan lokal.

##### 2. *Saran*

- Masyarakat diharapkan terus menjaga kebersihan area sekitar pura dan saluran air agar kestabilan lereng tetap terpelihara.
- Kegiatan sosialisasi dan edukasi mengenai pemeliharaan lingkungan sebaiknya dilakukan secara berkelanjutan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap potensi bahaya longsor.

- Perguruan tinggi disarankan melanjutkan kegiatan pendampingan berbasis edukasi dan penelitian sederhana guna memperkuat peran akademisi dalam pemberdayaan masyarakat.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] I. D. G. Putra, N. P. S. Dewi, and I. M. Sugiarta, "Kajian stabilitas lereng pada daerah berbukit di Karangasem, Bali," *Jurnal Teknik Sipil Nusantara*, vol. 10, no. 1, pp. 55–63, 2021.
- [2] I. M. Wardana and I. W. Sudiarta, "Pemetaan potensi gerakan tanah di wilayah Bali bagian timur menggunakan metode overlay SIG," *Jurnal Geografi Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 27–36, 2021.
- [3] D. Muntohar, "Studi pengaruh tekanan air pori terhadap stabilitas lereng tanah lempung," *Jurnal Mekanika Tanah Indonesia*, vol. 22, no. 2, pp. 89–98, 2020.
- [4] H. Rahardjo et al., "Effects of rainfall infiltration on slope stability in tropical regions," *Geotechnical Engineering Journal*, vol. 51, no. 4, pp. 223–234, 2020.
- [5] H. Rahardjo, A. Santoso, and A. Tohari, "Peran vegetasi dalam peningkatan stabilitas lereng di daerah tropis," *Geotechnical Engineering Journal*, vol. 51, no. 4, pp. 223–234, 2020.
- [6] I. K. Suryana and I. G. Antara, "Evaluasi sistem vegetatif terhadap kestabilan lereng di Kabupaten Gianyar dan Karangasem," *Jurnal Keteknik Sipil*, vol. 13, no. 2, pp. 99–108, 2022.
- [7] I. M. Sukrawan and I. W. Sudira, "Analisis pengaruh akar pohon terhadap tekanan lateral tanah di daerah perbukitan Bali," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 8, no. 3, pp. 145–154, 2019.
- [8] I. M. Sutapa and I. W. Mardiasa, "Kajian geoteknik pada area pura di daerah lereng Bali: Studi kasus Pura Bukit Cemenggon," *Jurnal Infrastruktur dan Kebencanaan*, vol. 4, no. 1, pp. 33–44, 2023.
- [9] I. G. N. Pradnyana et al., "Analisis potensi dan kerentanan longsor di wilayah Kintamani, Bali," *Jurnal Geomatika dan Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 87–96, 2022.
- [10] BNPB, *Peta Risiko Bencana Longsor Nasional Tahun 2023*, Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2023.
- [11] BMKG, *Data Curah Hujan Ekstrem Wilayah Bali 2018–2023*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2023.
- [12] I. W. Utama and S. Nugroho, "Desain dan analisis dinding penahan tanah untuk mitigasi longsor di daerah pegunungan," *Jurnal Mekanika Tanah dan Struktur*, vol. 7, no. 2, pp. 112–121, 2020.
- [13] J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 6th ed., New York: McGraw-Hill, 2001.