

ANALISIS STABILITAS LERENG DAN STRATEGI MANAJEMEN BIAYA DALAM PEKERJAAN INFRASTRUKTUR JALAN (STUDI KASUS: RUAS JALAN PAYANGAN, KM. 35)

Putu Weda Wiadnyana¹, I Wayan Wiraga², I Wayan Sujahtra³, I Made Dirgayusa⁴

¹Mahasiswa Sarjana Terapan Manajemen Proyek Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali–80364

^{2, 3, 4}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali–80364

Email korespondensi: putuwedawiadnyanatekniksipil@gmail.com

ABSTRACT

The Payangan road section at KM 35 in Gianyar Regency, located on high ground with cliffs 15–20 m high, experienced a landslide on 25 December 2023, disrupting traffic flow between Denpasar and Kintamani. Slope stability analysis is important to evaluate the potential for landslides and safety factors. Using the GeoStudio Slope/W application with the Bishop, Janbu, and Morgenstern-Price methods, the analysis results showed an average safety factor of 0.75, below the minimum requirement of 1.5, indicating a potential for landslides during an earthquake. After implementing the Soil Nailing method, the safety factor increased to an average of 4.69, while Geotextiles and DPT increased to 3.75 and 2, respectively, supporting a comprehensive risk management strategy.

Keywords: Slope, GeoStudio, Soil Nailing, Geotextiles, DPT.

ABSTRAK

Ruas jalan Payangan KM. 35 di Kabupaten Gianyar, yang terletak di dataran tinggi dengan tebing setinggi 15-20 m, mengalami longsor pada 25 Desember 2023, mengganggu arus lalu lintas Denpasar-Kintamani. Analisis stabilitas lereng penting dilakukan untuk mengevaluasi potensi longsor dan faktor keamanan. Menggunakan aplikasi GeoStudio Slope/W dengan metode Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price, hasil analisis menunjukkan angka keamanan rata-rata 0,75, di bawah syarat minimum 1,5, sehingga berpotensi longsor saat gempa. Setelah penerapan metode *Soil Nailing*, faktor keamanan meningkat rata-rata 4,69, sementara *Geotextiles* dan DPT masing-masing meningkat 3,75 dan 2, mendukung strategi manajemen risiko yang komprehensif.

Kata Kunci: Lereng, GeoStudio, *Soil Nailing*, *Geotextiles*, DPT.

PENDAHULUAN

Indonesia, yang terletak di wilayah Cincin Api Pasifik, memiliki topografi bervariasi dan rentan terhadap fenomena alam seperti tanah longsor[1]. Menurut BNPB, dari 1 Januari hingga 15 Juni 2021, tercatat 1.423 kejadian bencana alam, mayoritas merupakan bencana hidrometeorologi seperti banjir dan tanah longsor. Sekitar 40,9 juta penduduk berisiko terdampak karena tinggal di kawasan rawan longsor. Bali, khususnya daerah Payangan di Kabupaten Gianyar, mengalami peningkatan signifikan dalam kejadian tanah longsor, dengan 131 insiden yang mengakibatkan 25 korban meninggal dan 67.766 orang mengungsi[2]. Pembangunan infrastruktur di area tebing berpotensi memperburuk situasi, seperti insiden longsor di ruas jalan Payangan, KM. 35, pada 25 Desember 2023, yang mengganggu arus lalu lintas dan berdampak negatif pada ekonomi lokal[3].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng di ruas jalan Payangan, KM. 35, menggunakan perangkat lunak GeoStudio. Evaluasi faktor keamanan lereng dan perancangan strategi mitigasi yang tepat diharapkan dapat mengurangi risiko longsor. Dengan pendekatan analisis komputasi dan metode keseimbangan batas seperti Janbu, Bishop, dan Morgenstern-Price, hasil penelitian ini diharapkan memberikan wawasan baru bagi mahasiswa, akademisi, dan pengambil kebijakan dalam menangani masalah longsor di daerah rawan, serta meningkatkan efektivitas manajemen risiko infrastruktur di Bali.

METODE PENELITIAN

Desa Puhu, Kecamatan Payangan, terletak pada ketinggian rata-rata 500 hingga 700 meter di atas permukaan laut, dengan topografi yang bervariasi, terutama di area berbukit. Secara astronomis, desa ini berada di sekitar 8°19' Lintang Selatan dan 115°15' Bujur Timur, di bagian tengah Pulau Bali, yang memiliki iklim tropis dengan dua musim utama. Geologi daerah ini khas karena letaknya di pegunungan Bali Tengah, dekat zona vulkanik, dan didominasi oleh material vulkanik seperti abu dan lava dari Gunung Batur, menghasilkan tanah subur yang mendukung pertanian. Penggunaan lahan di Desa Puhu meliputi pertanian padi dan hortikultura, perkebunan kopi dan rempah, permukiman yang terus berkembang, serta potensi wisata alam dan budaya yang menarik. Selain itu, terdapat kawasan hutan dan lahan konservasi yang dilindungi untuk menjaga kelestarian ekosistem. Lokasi penelitian dapat dijangkau dari Kampus Politeknik Negeri Bali dengan jarak sekitar 45-50 km, yang dapat ditempuh dalam waktu 1,5 hingga 2 jam melalui rute utama menuju Ubud.

Penelitian ini menggunakan rancangan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis stabilitas lereng dan

mendesripsikan strategi manajemen risiko yang relevan. Mengacu pada Sugiyono (2019), penelitian ini berfokus pada variabel tertentu dengan menyajikan data angka terkait permasalahan nyata[4]. Variabel yang diteliti mencakup variasi metode analisis stabilitas lereng melalui pendekatan *Limit Equilibrium Method* (LEM) untuk menentukan nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*), serta strategi manajemen risiko untuk perkuatan lereng dan pencegahan longsor dalam proyek infrastruktur. Proses penelitian dimulai dengan studi literatur, diikuti penyusunan rumusan masalah, survei, dan observasi lapangan, termasuk penyelidikan tanah di lapangan dan laboratorium. Data yang diperoleh dimasukkan ke dalam aplikasi GeoStudio untuk analisis LEM, yang akan menjadi dasar dalam merumuskan strategi manajemen risiko yang tepat sesuai kondisi tanah dan hasil kajian stabilitas.

Tahapan Penelitian

1. Tahap Pemodelan Lereng

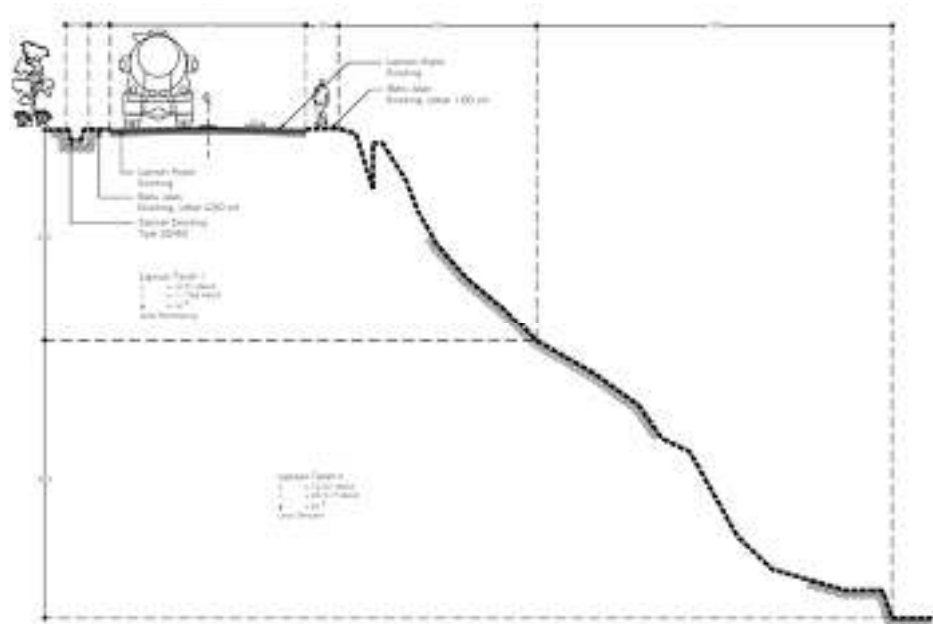
Pemodelan lereng di area penelitian dilakukan dengan menggunakan data ketinggian dan kemiringan lereng dari survei lapangan, serta karakteristik tanah yang diperoleh melalui pengujian laboratorium. Data ini diintegrasikan ke dalam model analisis untuk merancang strategi mitigasi risiko longsor. Setelah menganalisis parameter tanah, dilakukan penilaian kecocokan jenis tanah untuk konstruksi perkuatan lereng. Hasil pengujian material timbunan menunjukkan bahwa jenis tanah di lokasi lereng adalah "Lanau Berpasir."

Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter Tanah di Desa Puhu, Kec. Payangan.

No.	Data Propertis Tanah		Lapisan Tanah Dasar
1	Berat Isi γ_b	(kN/m ³)	14,91
2	Kohesi c	(kN/m ²)	11,768
3	Sudut Geser ϕ	(°)	14
4	Jenis Tanah		Lanau Berlempung

Tabel 2. Hasil Pengujian Parameter Tanah Timbunan di Desa Puhu, Kec. Payangan.

No.	Data Propertis Tanah		Material Timbunan
1	Berat Isi γ_b	(kN/m ³)	16,57
2	Kohesi c	(kN/m ²)	24,517
3	Sudut Geser ϕ	(°)	25
4	Jenis Tanah		Lanau Berpasir



Gambar 1. Penampang Lereng Pada Lokasi Penelitian.
(Sumber Survei Lapangan)

Dalam penelitian ini, analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan tiga metode dalam *software* GeoStudio: Metode Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price, untuk menentukan nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*) dengan pendekatan *Limit Equilibrium Method*. Proses analisis dimulai dengan menyiapkan data geometri lereng, termasuk tinggi, sudut kemiringan, dan panjang lereng, serta parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, dan berat isi tanah dari pengujian sebelumnya. Hasil analisis membagi lereng menjadi beberapa irisan dan dievaluasi berdasarkan nilai *FoS*, di mana $FoS > 1$ menunjukkan stabilitas yang cukup, sedangkan $FoS < 1$ menunjukkan potensi longsor. Proses ini diulang untuk setiap metode guna memastikan keakuratan dan konsistensi hasil.

2. Tahap Perencanaan DPT Tipe Kantilever

Dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) adalah struktur yang dirancang untuk menahan tekanan tanah atau material lainnya di belakangnya, mencegah pergerakan tanah yang bisa menyebabkan longsor atau keruntuhan[5]. Dinding ini sering digunakan pada proyek konstruksi di area dengan perbedaan ketinggian tanah, seperti jalan raya, jembatan, atau lereng curam.

Sebelum membangun dinding penahan tanah, analisis stabilitas sangat penting untuk memastikan dinding mampu menahan beban tanah. Desain harus mempertimbangkan faktor seperti jenis tanah, kelembapan, beban vertikal tambahan, dan kondisi cuaca.

3. Tahap perencanaan *Geotextiles*

Geosintetik adalah bahan sintetik yang digunakan untuk mengatasi masalah geoteknik, seperti longsor lereng dan penurunan tanah, serta dalam konstruksi perkuatan lereng[5]. Material

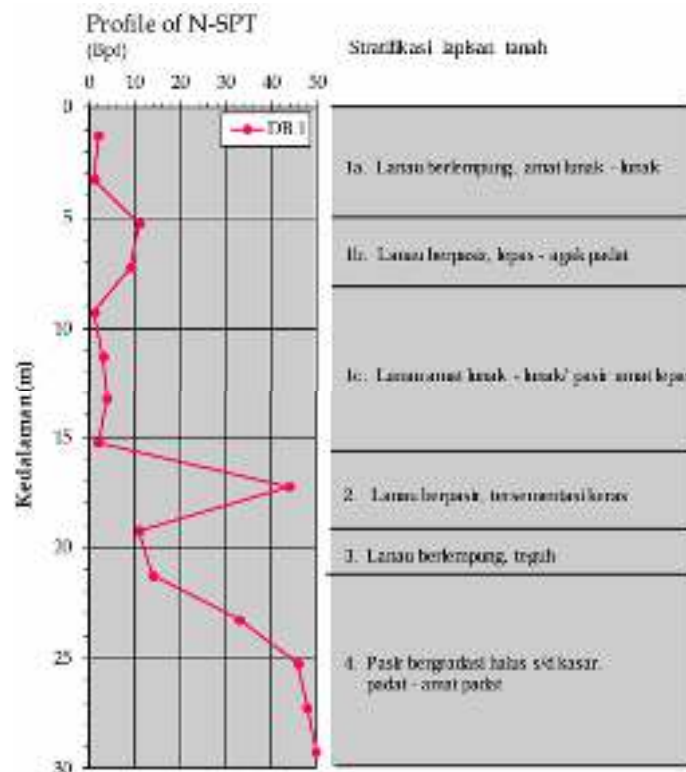
ini berfungsi dalam separasi, filtrasi, perkuatan, drainase, proteksi, dan kedap air, serta meningkatkan kestabilan tanah. Dalam perencanaan geosintetik sebagai penguat, dua parameter utama yang perlu diperhatikan adalah tegangan tarik maksimum yang diterima geosintetik dan tegangan geser maksimum pada permukaan kontak dengan tanah. Tegangan tarik maksimum membantu dalam pemilihan jenis geosintetik, sedangkan tegangan geser maksimum menentukan "*minimum length of embedment*" untuk menjaga stabilitas. Salah satu aplikasi geosintetik adalah pada dinding MSE (*Mechanically Stabilized Earth*), yang menggunakan penguatan geosintetik untuk stabilisasi, mengembangkan konsep tanah bertulang yang diperkenalkan oleh Vidal di Prancis pada tahun 1960.

4. Tahap Perencanaan *Soil Nailing*

Soil Nailing adalah teknik untuk memperkuat lereng atau dinding tanah dengan memasukkan batang baja pada sudut tertentu dan mengaplikasikan *grout* untuk meningkatkan kestabilan[5]. Setelah pemasangan, permukaan lereng dilapisi beton semprot (*shotcrete*) untuk mencegah erosi dan menambah kekuatan. Teknik ini efisien karena tidak memerlukan penggalian besar atau struktur penahan berat, sehingga cocok untuk lereng pada jalan, jalur kereta api, dan proyek geoteknik lainnya, serta lebih hemat biaya dan waktu dibandingkan metode tradisional seperti tembok penahan tanah. Namun, *soil nailing* lebih efektif pada tanah berpasir atau lempung, sementara tanah longgar atau jenuh air mungkin kurang mendukung. Oleh karena itu, pengujian stabilitas dan survei tanah perlu dilakukan sebelum pelaksanaan untuk memastikan kecocokannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil penyelidikan tanah melalui pemboran (*Rotary Core Drilling*) yang disertai dengan uji penetrasi standar (SPT) dengan kondisi stratifikasi lapisan dan perlawanan tanah dijelaskan pada Gambar 2. Parameter fisis dan mekanis lapisan tanah dari pengujian laboratorium pada Table 3 dan Tabel 4.



Gambar 2. Nilai N-SPT dan Stratifikasi Lapisan Tanah Terhadap Kedalaman.

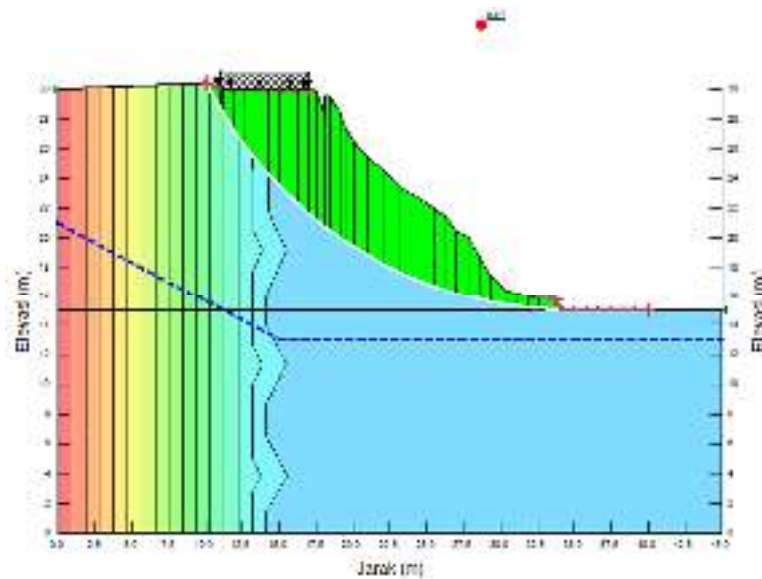
Tabel 3. Sifat Fisis Tanah.

Bor ID	Depth (m)	USCS	γ_t (t/m ³)	Gs	e ₀	LL (%)	PL (%)	W _n (%)	LI	SR (%)
DB-1	2 ~ 2,5	Lanau (MH)	1,52	2,52	1,65	53	36	60	1,41	91
	18 ~ 18,5	Lanau (ML)	1,69	2,54	1,06	40	33	35	0,57	89

Tabel 4. Sifat Mekanis Tanah.

Bor ID	Depth (m)	USCS	c (kg/cm ³)	ϕ (°)	C _c	C _s	γ	κ	P _c (kg/cm ²)	OCR
DB-1	2 ~ 2,5	Lanau (MH)	0,12	14	0,36	0,02	0,13	0,010	1,20	4,00
	18 ~ 18,5	Lanau (ML)	0,25	25	0,25	0,01	0,08	0,005	3,00	1,08

Analisis pemodelan lereng di lokasi penelitian dilaksanakan menggunakan program GeoStudio 2023 untuk mendapatkan nilai faktor keamanan pada lereng yang memiliki sudut kemiringan (α) sebesar 45°.



Gambar 3. Analisis Tanpa Perkuatan.

Tabel 5. Hasil Analisis.

Parameter			
Method	Bishop	Janbu	Morgenstern-Price
Factor of Safety	0,41	0,36	0,42
Resisting Moment	18,26 kN.m	12,51 kN.m	18,51 kN.m
Activating Moment	43,84 kN.m	31,98 kN.m	43,96 kN.m
Resisting Force	513,31 kN	560,13 kN	547,08 kN
Activating Force	1,36 kN	1,52 kN	1,29 kN

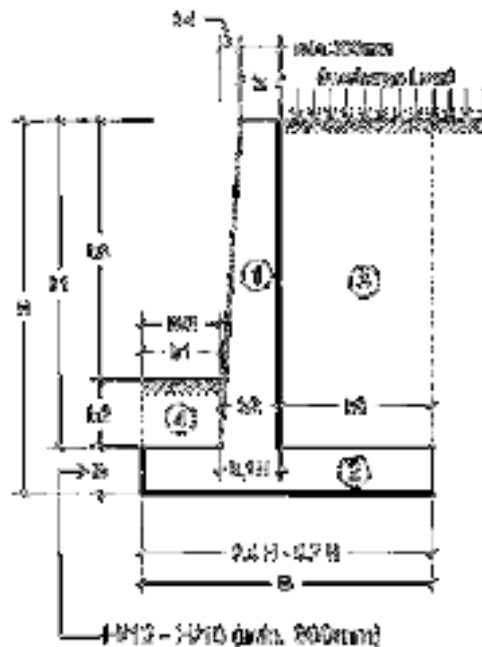
Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan sebesar $< 1,5$, sehingga lereng dinyatakan tidak aman atau labil terhadap potensi kelongsoran.

Hasil Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

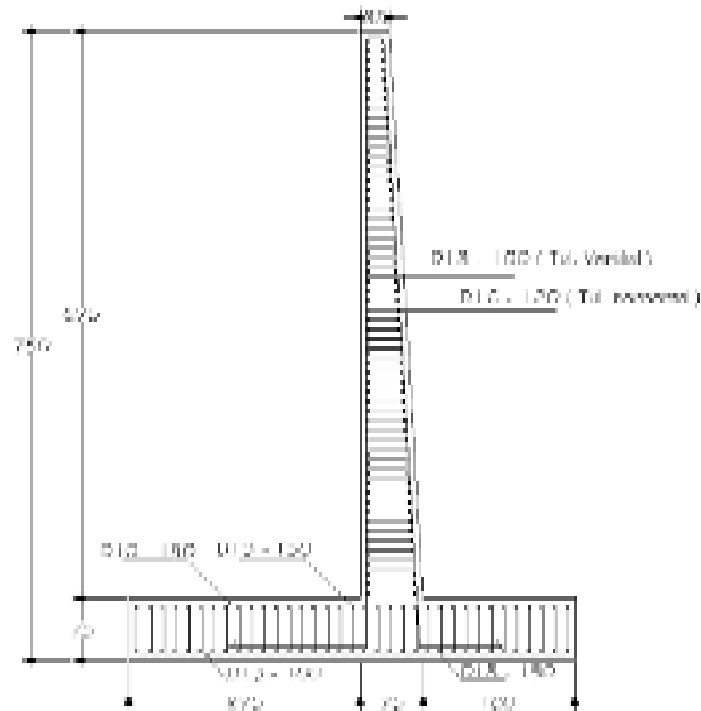
Merancang perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah tipe kantilever, penting untuk terlebih dahulu menyusun model dimensi dan memastikan rincian material yang akan digunakan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah.

Tabel 6. Perencanaan Dimensi DPT Tipe Kantilever.

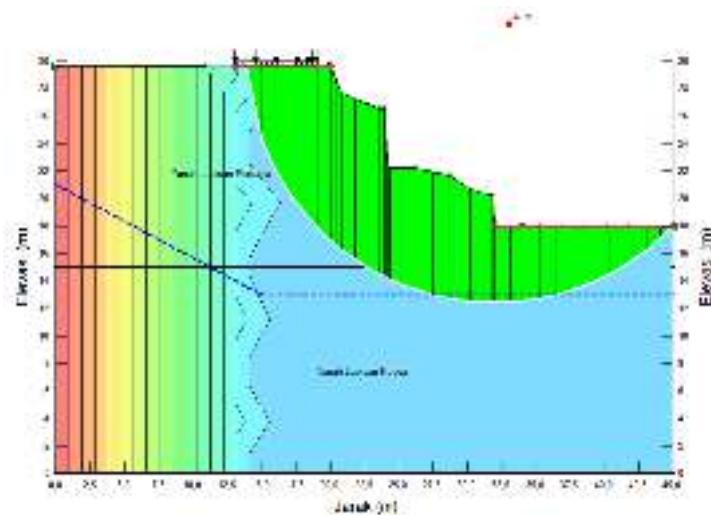
Keterangan	Code	Dimensi	Sat
Tinggi total <i>Retaining Wall</i>	H	7,50	m
Lebar total pondasi	B	5,25	m
Tebal pondasi	tb	0,75	m
Tinggi stem	H1	6,75	m
Tinggi tanah depan dinding stem	H2	0,20	m
Tinggi permukaan tanah luar	H3	6,55	m
Tebal stem atas	ts	0,35	m
Tebal stem bawah	B2	0,75	m
Lebar pondasi depan	B1	1,80	m
Lebar pondasi belakang	B3	2,75	m
Lebar kemiringan	B4	0,40	m
Sudut kemiringan dinding belakang stem	α	90	°
		1,57	Radians
Sudut kemiringan dinding depan stem	α_f	86,61	°
		1,51	Radians
Sudut permukaan tanah	β	21	°
		25	Radians
Berat jenis beton	γ_b	25	kN/m ³
Luas area dinding stem	A1	3,71	m ²
Luas area pondasi	A2	3,94	m ²
Luas area tanah belakang	A3	18,56	m ²
Luas tanah depan	A4	0,35	m ²



Gambar 4. Pemodelan Dimensi DPT.



Gambar 5. Desain Struktur DPT.



Gambar 6. Hasil Analisis Lereng Dengan DPT.

Tabel 7. Hasil Analisis.

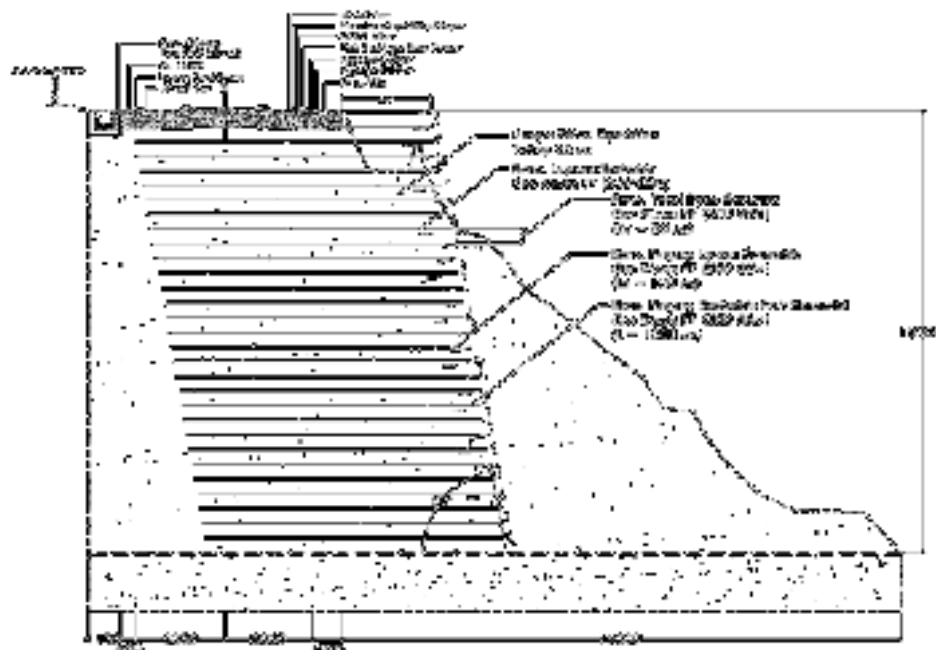
Parameter			
Method	Bishop	Janbu	Morgenstern-Price
Factor of Safety	0,41	0,36	0,42
Resisting Moment	18,26 kN.m	12,51 kN.m	18,51 kN.m
Activating Moment	43,84 kN.m	31,98 kN.m	43,96 kN.m
Resisting Force	513,31 kN	560,13 kN	547,08 kN
Activating Force	1,36 kN	1,52 kN	1,29 kN

Tabel 8. Rencana Anggaran Biaya Rekonstruksi Perkuatan DPT.

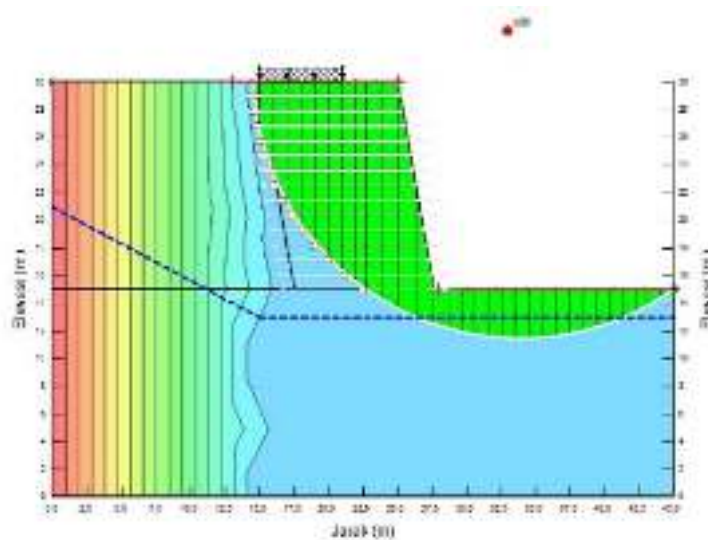
Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga
<i>Divisi 1</i>	Rp. 61.819.974,00
<i>Divisi 2</i>	Rp. 24.568.838,80
<i>Divisi 3</i>	Rp. 849.332.334,80
<i>Divisi 4</i>	Rp. -
<i>Divisi 5</i>	Rp. 19.933.082,40
<i>Divisi 6</i>	Rp. 43.354.065,60
<i>Divisi 7</i>	Rp. 721.128.783,20
<i>Divisi 8</i>	Rp. -
<i>Divisi 9</i>	Rp. 424.048,56
<i>Divisi 10</i>	Rp. 931.763,00
Total	Rp. 1.721.492.890,36

Hasil Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Geotextiles*

Sebagai rancangan awal perkuatan lereng di desa Puhu, Kecamatan Payangan, Gianyar, yang memiliki tinggi 15 meter, akan direncanakan alternatif rekonstruksi dan perkuatan. Geotextile yang digunakan adalah Mirafi PET *Geotextiles Series*, tipe PET 100-50, dengan kekuatan *tensile ultimit* sebesar 100 kN/m. Nilai ini akan dikalikan dengan faktor reduksi sesuai aplikasi untuk menentukan angka keamanan. Berikut adalah tabel data perencanaan yang mendukung proses perhitungan selanjutnya.



Gambar 7. Desain Struktur Perkuatan *Geotextiles*.



Gambar 8. Hasil Analisis Lereng Dengan *Geotextiles*.

Tabel 9. Hasil Analisis.

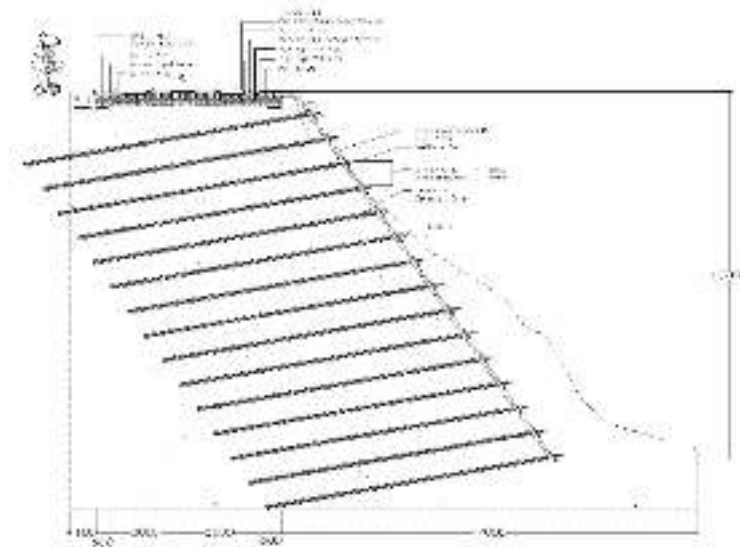
Parameter			
Method	Bishop	Janbu	Morgenstern-Price
Factor of Safety	3,87	2,73	4,66
Resisting Moment	47,41 kN.m	44,61 kN.m	52,22 kN.m
Activating Moment	12,25 kN.m	12,25 kN.m	11,19 kN.m
Resisting Force	1,92 kN	1,92 kN	2,05 kN
Activating Force	704,47 kN	704,47 kN	440,39 kN

Tabel 10. Rencana Anggaran Biaya Rekonstruksi Perkuatan *Geotextiles*.

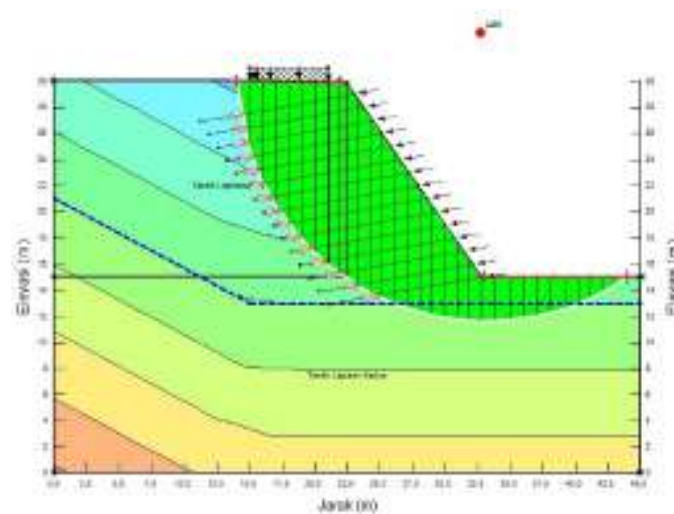
Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga
Divisi 1	Rp. 61.819.978,67
Divisi 2	Rp. 24.568.838,80
Divisi 3	Rp. 2.531.166.780,61
Divisi 4	Rp. -
Divisi 5	Rp. 39.341.610,00
Divisi 6	Rp. 79.511.721,60
Divisi 7	Rp. -
Divisi 8	Rp. -
Divisi 9	Rp. 750.239,76
Divisi 10	Rp. 1.117.973,00
Total	Rp. 2.738.277.137,77

Hasil Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Proses perencanaan perkuatan *Soil Nailing* memerlukan data pendukung untuk menghitung dan menganalisis guna mendapatkan desain perkuatan yang ideal.



Gambar 9. Desain Struktur *Soil Nailing*.



Gambar 10. Analisis Lereng Dengan *Soil Nailing*.

Tabel 11. Hasil Analisis.

Method	Parameter		
	<i>Bishop</i>	<i>Janbu</i>	<i>Morgenstern-Price</i>
<i>Factor of Safety</i>	3,59	8,01	3,66
<i>Resisting Moment</i>	47,86 kN.m	48,88 kN.m	48,79 kN.m
<i>Activating Moment</i>	13,31 kN.m	13,31 kN.m	13,31 kN.m
<i>Resisting Force</i>	2,06 kN	2,06 kN	1,97 kN
<i>Activating Force</i>	257,97 kN	257,97 kN	1,97 kN

Tabel 12. Rencana Anggaran Biaya Rekonstruksi Perkuatan *Soil Nailing*.

Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga
<i>Divisi 1</i>	Rp. 61.819.974,00
<i>Divisi 2</i>	Rp. 25.172.756,59
<i>Divisi 3</i>	Rp. 237.199.373,83
<i>Divisi 4</i>	Rp. -
<i>Divisi 5</i>	Rp. -
<i>Divisi 6</i>	Rp. -
<i>Divisi 7</i>	Rp. 790.630.891,76
<i>Divisi 8</i>	Rp. -
<i>Divisi 9</i>	Rp. -
<i>Divisi 10</i>	Rp. 642.573,02
Total	Rp. 1.115.465.573,86

KESIMPULAN

- Angka keamanan lereng eksisting:
 - Sebelum penambahan beban gempa Metode *Bishop* **0,76**, Metode *Janbu* **0,71**, Metode *Morgenstern-Price* **0,75**.
 - Setelah penambahan beban gempa Metode *Bishop* **0,41**, Metode *Janbu* **0,36**, Metode *Morgenstern-Price* **0,42**.

Jadi, lereng eksisting sangat berpotensi mengalami longsor bila ada gempa.
- Faktor keamanan lereng eksisting setelah diberikan perkuatan menggunakan metode *Soil Nailing* adalah **3,59** (*Bishop*), **8,01** (*Janbu*), **3,66** (*Morgenstern-Price*). Sehingga nilai faktor keamanan terpenuhi dan terjadi peningkatan rata-rata faktor keamanan sebesar **4,69** pada lereng di lokasi penelitian.
- Angka keamanan dan biaya dari masing-masing perkuatan adalah:
 - Angka keamanan rata-rata untuk metode DPT tipe Kantilever: **2,00** dengan jumlah Rencana Anggaran Biaya **Rp. 1.721.492.890,36**.
 - Angka keamanan rata-rata untuk metode *Geotxtiles*: **3,75** dengan jumlah Rencana Anggaran Biaya **Rp. 2.738.277.137,77**.
 - Angka keamanan rata-rata untuk metode *Soil Nailing*: **5,08** dengan jumlah Rencana Anggaran Biaya **Rp 1.115.465.573,86**.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Finaka, A. Fauzi, dan Septian Agam, “Indonesia di Lingkaran Api Pasifik,” Indonesiabaik.id. [Daring]. Tersedia pada: <https://indonesiabaik.id/infografis/indonesia-di-lingkaran-api-pasifik>
- [2] KEDEPUTIAN BIDANG SISTEM DAN STRATEGI DIREKTORAT PEMETAAN DAN EVALUASI RISIKO BENCANA 2021, “KAJIAN RISIKO BENCANA NASIONAL PROVINSI BALI 2022 - 2026,” 2021.
- [3] Amd, “Setelah Diguyur Hujan, Jalan Raya Puhu Jebol,” NusaBali.com. Diakses: 31 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.nusabali.com/berita/157734/setelah-diguyur-hujan-jalan-raya-puhu-jebol>
- [4] Sugiyono, *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. 2020.
- [5] G. Allan Takwin, T. A. E, dan S. G. Rondonuwu, “Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus : Diamond Hill Citraland),” *Tekno*, vol. 15, no. 0215–9617, hal. 66–76, 2017.