

PERKUATAN LERENG DENGAN METODE *SOIL NAILING* (STUDI KASUS: *SHORTCUT* BATAS KOTA SINGARAJA-MENGWITANI TITIK 7E, KABUPATEN BULELENG, BALI)

Ni Komang Yuli Wintari¹, I Wayan Arya², I Wayan Sujahtra³

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

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

Email korespondensi: wintariyuli2@gmail.com

ABSTRACT

Road infrastructure development in hilly areas often faces slope stability problems due to excavation and cutting activities, as observed in the Shortcut Batas Kota Singaraja–Mengwitani project at point 7E in Buleleng Regency, Bali. This condition creates landslide potential that can threaten road users' safety and disrupt transportation connectivity. This study aims to analyze the stability of the existing slope, design reinforcement using the soil nailing method, and evaluate stability changes after reinforcement. The research method applied is quantitative experimental analysis using GeoStudio 2023 (Slope/W) software with the Janbu method. The data analyzed were secondary data from the contractor, including soil investigation results, laboratory tests, and slope geometry. The results indicate that the existing slope has a Safety Factor (SF) of 1.016, which is still at the minimum limit and prone to failure. After applying soil nailing reinforcement with nail lengths varying between 9.5–44 m, the SF significantly increased to 3.239. This proves that the soil nailing design effectively enhances slope stability to meet geotechnical standards.

Keywords: *Slope Stability, Soil Nailing, Slope/W, Safety Factor, Geotechnics.*

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur jalan pada wilayah perbukitan sering menghadapi permasalahan kestabilan lereng akibat aktivitas pemotongan dan galian tanah, sebagaimana terjadi pada proyek Shortcut Batas Kota Singaraja–Mengwitani titik 7E di Kabupaten Buleleng, Bali. Kondisi ini menimbulkan potensi longsor yang dapat mengancam keselamatan pengguna jalan dan mengganggu konektivitas transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng eksisting, merancang perkuatan dengan metode soil nailing, serta mengevaluasi perubahan stabilitas setelah perkuatan. Metode yang digunakan adalah analisis kuantitatif eksperimental dengan bantuan perangkat lunak GeoStudio 2023 (Slope/W) menggunakan metode Janbu. Data yang dianalisis berupa data sekunder dari kontraktor, meliputi hasil penyelidikan tanah, uji laboratorium, dan geometri lereng. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi lereng eksisting memiliki nilai Safety Factor (SF) 1,016 yang masih berada pada batas minimal dan rawan keruntuhan. Setelah penerapan perkuatan *soil nailing* dengan panjang *nail* bervariasi antara 9,5–44 m, SF meningkat signifikan menjadi 3,239. Hal ini

membuktikan bahwa desain *soil nailing* efektif meningkatkan kestabilan lereng hingga memenuhi standar geoteknik.

Kata kunci: Stabilitas Lereng, *Soil Nailing*, Slope/W, Faktor Keamanan, Geoteknik.

PENDAHULUAN

Jalan merupakan fasilitas transportasi darat yang mencakup seluruh elemen, termasuk struktur dan perlengkapannya, yang berfungsi menghubungkan berbagai lokasi di darat, bawah tanah, permukaan air, maupun atas air, kecuali jalan lori, rel kereta api, dan jalan kabel [1]. Infrastruktur jalan yang baik tidak hanya menjamin kenyamanan serta keamanan pengguna, tetapi juga menjadi investasi penting karena mampu meningkatkan produktivitas, menekan biaya transportasi, dan mendorong pertumbuhan ekonomi [2]. Di Bali, Jalan Batas Kota Singaraja-Mengwitani sebagai jalur nasional yang menghubungkan Bali Utara dan Selatan memiliki lalu lintas padat serta akses ke berbagai destinasi wisata utama, namun kondisi geometrinya yang berkelok dan bertanjakan membuat perjalanan kurang nyaman, sehingga pemerintah membangun proyek jalan *Shortcut* untuk meningkatkan keamanan, kenyamanan, serta mempercepat waktu tempuh [3][4].

Pemotongan bukit pada pembangunan jalan *Shortcut* dilakukan untuk menyesuaikan standar alinyemen vertikal maupun horizontal karena trase jalan melewati perbukitan, namun aktivitas ini memunculkan lereng yang berpotensi menimbulkan masalah stabilitas dan memicu longsor bila sudut kemiringannya tertentu [5]. Longsor terjadi akibat pengaruh gravitasi ketika massa batuan atau tanah bergeser dari posisi awalnya dengan pola rotasi atau translasi [6]. Peristiwa longsor di titik 7 *Shortcut* Mengwitani–Singaraja pada 9 Maret 2024 saat hari raya Kuningan bahkan menewaskan seorang pengendara [7]. Dari sisi ekonomi, longsor menimbulkan kerugian besar bagi korban, sementara dari sisi sosial merusak infrastruktur jalan dan menghambat akses perjalanan. Oleh karena itu, upaya perkuatan lereng sangat penting sebagai langkah pencegahan untuk meminimalisir risiko longsor.

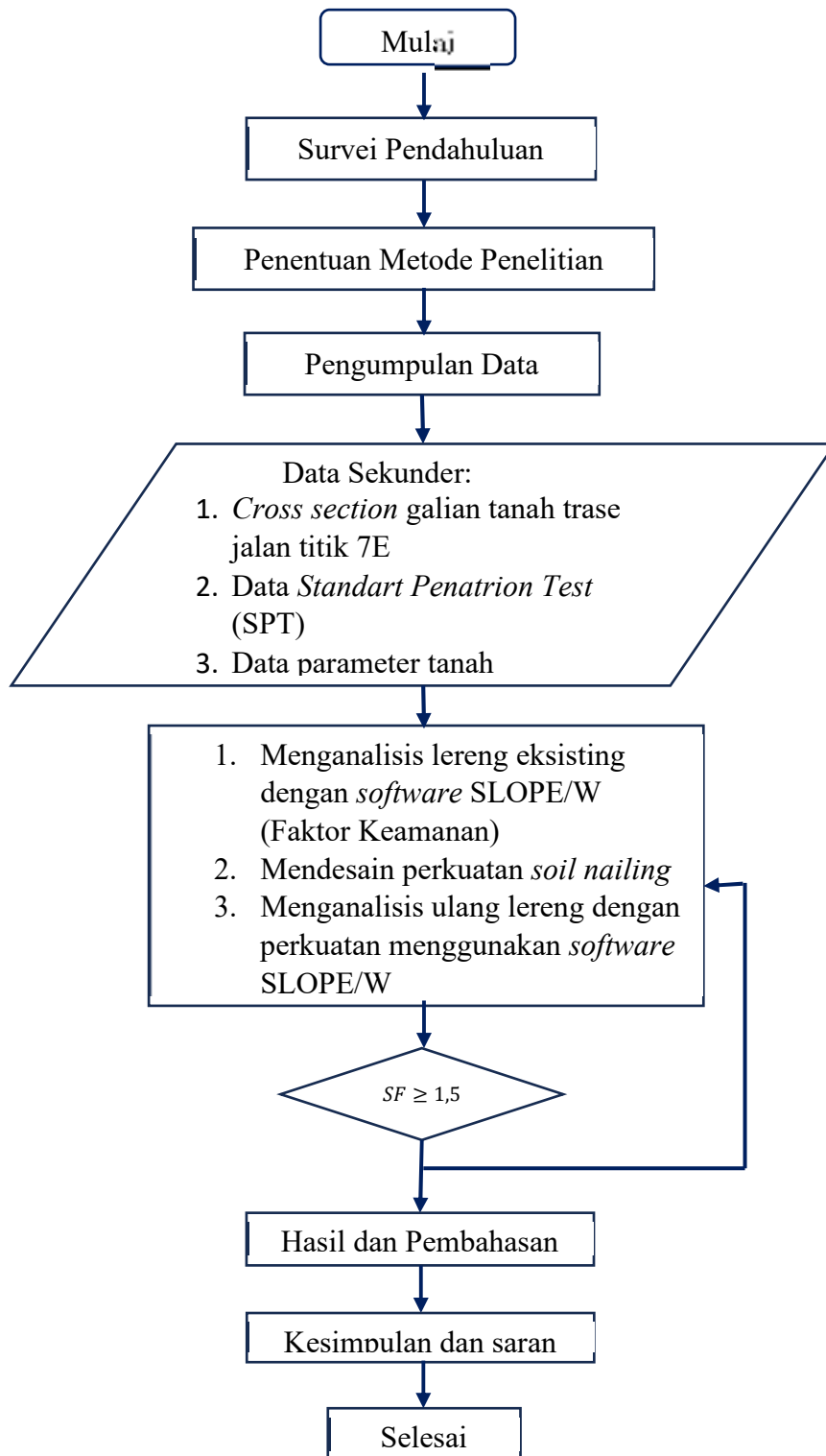
Shortcut titik 7E merupakan bagian dari 12 titik rencana pembangunan *shortcut* Batas Kota Singaraja–Mengwitani, di mana pada STA 0+150.00 terdapat lereng setinggi 62,681 meter akibat pekerjaan galian dan pemotongan bukit, sehingga berisiko longsor jika tidak diperkuat [8]. Salah satu metode perkuatan yang dapat diterapkan adalah *soil nailing*, yakni teknik stabilisasi tanah dengan memasukkan tulangan baja ke dalam tanah dan melakukan *grouting*, yang pertama kali dikembangkan di Prancis pada 1961 [9]. Metode ini dinilai efektif karena waktu pelaksanaannya relatif cepat, dapat digunakan pada berbagai jenis tanah, serta cocok untuk area terbatas, sehingga mempercepat pekerjaan dan menjaga stabilitas lereng [10].

Penelitian terkait perkuatan lereng dengan metode *soil nailing* telah banyak dilakukan sebelumnya,

seperti oleh [11] yang menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius dan Bishop, serta [12] yang menganalisis dengan metode Fellenius secara manual. Namun, sebagian besar studi terdahulu hanya terbatas pada dua metode tersebut, sehingga penelitian ini memilih menggunakan metode Janbu karena jenis keruntuhan di lokasi penelitian diasumsikan berupa keruntuhan dengan bidang lurus. Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas lereng eksisting pada titik 7E *Shortcut* Batas Kota Singaraja–Mengwitani, mendesain *soil nailing* yang tepat untuk perkuatan lereng di titik tersebut, serta menganalisis perubahan stabilitas lereng setelah dilakukan perkuatan dengan metode *soil nailing*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Desa Gitgit, Kecamatan Sukasada, Buleleng, Bali, pada proyek pembangunan *Shortcut* Batas Kota Singaraja–Mengwitani titik 7E dengan fokus pada perkuatan lereng menggunakan metode *soil nailing*. Metode penelitian bersifat eksperimental kuantitatif dengan analisis stabilitas lereng menggunakan metode Janbu yang didukung *software* SLOPE/W pada GeoStudio 2023 [13]. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari PT. Sinar Bali-Agung, KSO berupa *cross section* galian tanah, hasil *Standard Penetration Test* (SPT), dan parameter tanah. Variabel penelitian terdiri dari panjang serta jumlah nailing sebagai variabel bebas, sementara kemiringan dan tinggi lereng menjadi variabel terikat. Instrumen penelitian meliputi pedoman dokumentasi, alat tulis, dan perangkat lunak seperti GeoStudio untuk analisis stabilitas, Microsoft Excel untuk perhitungan manual, dan Microsoft Word untuk penyusunan laporan [14].



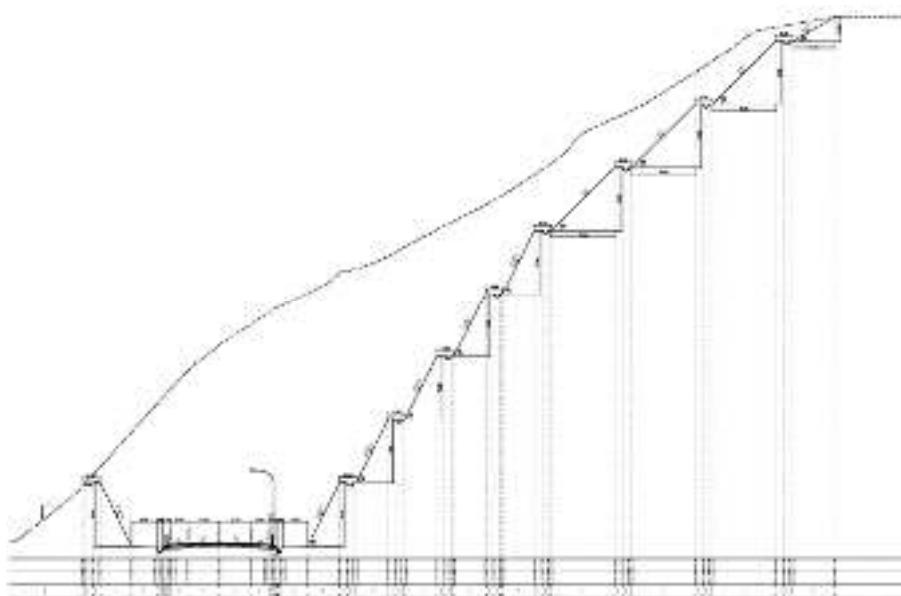
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Pengolahan data dilakukan dengan menganalisis stabilitas lereng eksisting menggunakan metode Janbu pada SLOPE/W. Apabila hasil faktor keamanan lereng kurang dari standar, maka dirancang perkuatan *soil nailing* mengacu pada SNI 8460-2017 dan Spek Khusus *Soil Nailing* (SKh.1.7.19). Setelah desain ditetapkan, dilakukan analisis ulang stabilitas lereng dengan menambahkan parameter *soil nailing*, termasuk panjang, diameter, jarak antar *nail*, serta kekuatan ikatan tanah–tulangan [15].

Perhitungan mencakup keamanan terhadap cabut tulangan, kapasitas tarik maksimal, serta gaya geser maksimum. Jika hasil perhitungan faktor keamanan setelah perkuatan $\geq 1,5$, maka perkuatan dinyatakan efektif; jika kurang, desain diulang kembali. Seluruh tahapan penelitian digambarkan dalam bagan alir penelitian sebagai pedoman pelaksanaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lereng pada penelitian ini terbentuk akibat pemotongan tanah untuk penyesuaian elevasi trase jalan di STA 0+150.00 titik 7E *Shortcut* Kabupaten Buleleng, Bali. Lokasi yang berada di daerah perbukitan menjadikan kemiringan lereng cukup curam dan perlu diperhatikan dalam pembangunan infrastruktur jalan baru. Kondisi geologi lokasi diperoleh melalui penyelidikan tanah, baik uji lapangan maupun laboratorium, sementara analisis stabilitas lereng memanfaatkan data sekunder yang tersedia. Data ini meliputi geometri *cross section* STA 0+150.00 yang digunakan sebagai dasar pemodelan lereng eksisting guna menentukan nilai faktor keamanan lereng dan menjadi acuan dalam desain perkuatan.



Sumber: Dokumen Proyek

Gambar 2. *Cross Section* Lereng

Berdasarkan Gambar 2, lereng pada titik 7E memiliki tinggi +62,681 m dengan sembilan segmen yang menunjukkan variasi kemiringan, yaitu 1:1, 1.7:1, dan 0.50:1. Untuk mendukung analisis geoteknik, dilakukan penyelidikan melalui pengeboran pada lima titik bor di ruas trase jalan baru titik 7D dan 7E sebagaimana tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Koordinasi Titik Penyelidikan Tanah

Nama Titik	Koordinat (m)			Total Depth (m)	Lokasi dan Keterangan
	X	Y	Z		
BH-01	295870	9090386	1200.00	30.00	Abutment-1 Titik 7D
BH-02	295794	9090447	1170.00	30.00	Pilar-4 Titik 7D
BH-03	295806	9090463	1181.00	30.00	Abutment-2 Titik 7D
BH-04	296131	9090621	1214.00	50.00	Area Galian Titik 7E
BH-05	295925	9090385	1232.00	30.00	STA 0+075 Titik 7D

Sumber: Laporan Penyelidikan

Titik BH-04 digunakan sebagai acuan data tanah dalam analisis karena posisinya sesuai dengan lokasi trase jalan yang menjadi objek pemodelan stabilitas lereng. Berikut adalah hasil *laboratory test resume* dari hasil uji laboratorium Proyek Pembangunan jalan dan jembatan Bts. Kota Singaraja - Mengwitani Titik 7D dan 7E.

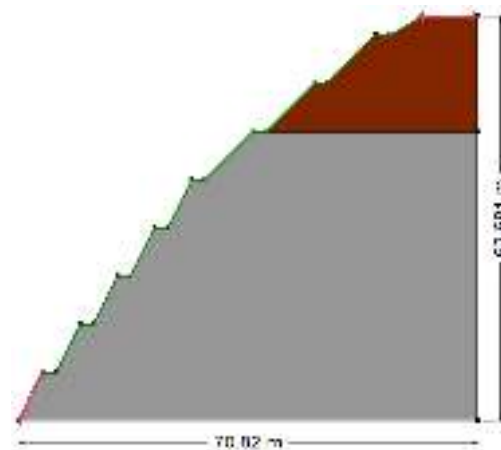
Sho-Labo		GEO TEKNIKA		LABORATORY TEST RESUME																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Project : Pembangunan Jalan dan Jembatan Bts. Kota Singaraja - Mengwitani				Scale : 1:10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Location : Sta 0+075, 0+100				Scale : 1:10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
No	Material Urutannya	Depth	Materi Spesies	MOISTURE TEST																SHRINKAGE TEST																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
				Description of Soil Sample (Detail: Gumpi)				Liquid & Plastic Limit				SHRINKAGE								Liquid & Plastic Limit				Shrinkage				Liquid & Plastic Limit																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
				Test Results				Test Results				Test Results								Test Results				Test Results																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
				Test Results				Test Results				Test Results								Test Results				Test Results																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
				Test Results				Test Results				Test Results								Test Results				Test Results																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Test Results				Test Results				Test Results								Test Results				Test Results				Test Results																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	Abutment-1 Titik 7D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Sumber: Laporan Penyelidikan Tanah

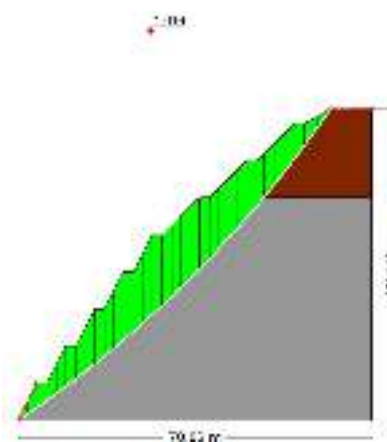
Gambar 3. Laboratory Test Resume

Dari data-data di atas maka didapat beberapa properti tanah yang akan di-*input* ke dalam program perhitungan menggunakan bantuan SLOPE/W supaya memperoleh nilai faktor keamanan dari lereng tersebut.

Analisis stabilitas lereng Trase 7E dengan data BH-04 menggunakan GeoStudio 2023 menunjukkan faktor keamanan berbeda di tiap segmen: Lereng 1 (10,729) dan Lereng 2 (3,727) tergolong stabil karena melebihi ambang 1,5, sementara Lereng 3 (1,563) dan Lereng 4 (1,149) tidak stabil. Kondisi ini mendorong perlunya penguatan tambahan serta evaluasi stabilitas global, agar lereng tetap aman ketika seluruh segmen dipandang sebagai satu kesatuan yang saling berinteraksi.



Gambar 4. *Modelling Lereng Keseluruhan*



Gambar 5. *Output Safety Factor Lereng Keseluruhan (1.016)*

Hasil analisis menunjukkan nilai *Safety Factor* (SF) lereng sebesar 1,016, yang menurut klasifikasi Ray dan De Smitd (2009) dalam [16] termasuk kategori aman namun masih mendekati batas minimal 1,5. Kondisi ini menandakan bahwa lereng berpotensi mengalami keruntuhan pada situasi tertentu seperti getaran gempa atau lalu lintas, sehingga diperlukan perkuatan tambahan agar SF dapat ditingkatkan hingga memenuhi standar desain geoteknik $\geq 1,5$.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas, kondisi lereng pada titik 7E dinilai masih rendah sehingga memerlukan perkuatan dengan metode *soil nailing*. Desain perkuatan dilakukan dengan menghitung parameter teknis meliputi *pullout resistance*, *tensile capacity*, dan *shear force* menggunakan data tanah serta spesifikasi nail. Pada lapisan tanah 1 digunakan 6 *nail* dengan panjang 9,5 m hingga 30 m, sedangkan pada lapisan tanah 2 digunakan 12 *nail* dengan panjang 16 m hingga 44 m. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *pullout resistance* bervariasi mulai 52,092 kN/m² hingga 356,584 kN/m², sedangkan nilai *tensile capacity* tulangan mencapai 337,612 kN dan *shear force* sebesar 202,568 kN. Dengan demikian, *soil nailing* dapat meningkatkan faktor keamanan lereng sehingga memenuhi standar stabilitas yang diprasyaratkan.

Perhitungan ini dilakukan menggunakan bantuan Ms. Excel untuk mendapatkan Panjang *nail* di

belakang bidang gelincir atau keruntuhan.

$$L_p = \frac{T_{req}}{\pi \cdot D_{dh} \cdot q} \quad (1)$$

Adapun hasil dari perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Perhitungan Panjang Nail Masuk ke Tanah Pasif untuk Tanah Lapisan

L_e	L_p	T_{req}	D_{dh}	q
(m)	(m)	(kN)	(m)	(kN/m ²)
9.5	0.97	15.16	0.1	50
12	3.0	47.68	0.1	50
16	2.7	43.02	0.1	50
20	4.3	67.20	0.1	50
26	6.6	102.90	0.1	50
30	6.6	102.90	0.1	50

Tabel 4. Perhitungan Panjang Nail Masuk ke Tanah Pasif untuk Tanah Lapisan

L_e	L_p	T_{req}	D_{dh}	q
(m)	(m)	(kN)	(m)	(kN/m ²)
16	2.78	65.57	0.1	75
32	4.4	102.90	0.1	75
35	4.4	102.90	0.1	75
36	4.4	102.90	0.1	75
38	4.4	102.90	0.1	75
40	3.7	86.14	0.1	75
41	4.4	102.90	0.1	75
42	4.4	102.90	0.1	75
43	4.4	102.90	0.1	75
44	4.4	102.90	0.1	75

Seluruh parameter desain *soil nailing*, yaitu kapasitas tarik, tahanan cabut, dan gaya geser, telah dihitung dan dimasukkan sebagai data *input* ke dalam program SLOPE/W untuk pemodelan perkuatan lereng. Pemodelan ini bertujuan menilai efektivitas *soil nailing* dalam meningkatkan faktor keamanan serta memastikan desain memenuhi standar stabilitas yang diprasyaratkan. Analisis kemudian dilakukan kembali menggunakan SLOPE/W dengan menambahkan elemen *soil nailing* pada model lereng, sehingga dapat diperoleh gambaran peningkatan stabilitas setelah dilakukan perkuatan.

Project: 639.10

Type: Wall

Pullout Evaluation:

- Pullout Modulus (kN/m²): 137,459 kN
- Reduction Factor: 1

Tensile Capacity:

- Tensile Capacity: 237,813 kN
- Reduction Factor: 1

Shear Force:

- Shear Force: 237,548 kN
- Reduction Factor: 1

Apply Settings: Parallel to Slope

Calculation Settings:

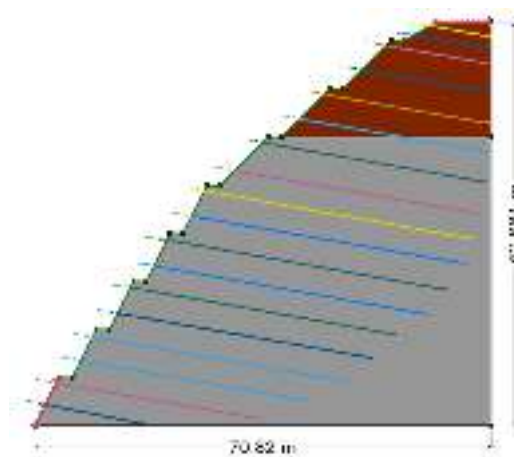
- Pullout Dependency: No
- Force Distribution: Combined

Installation Specifications:

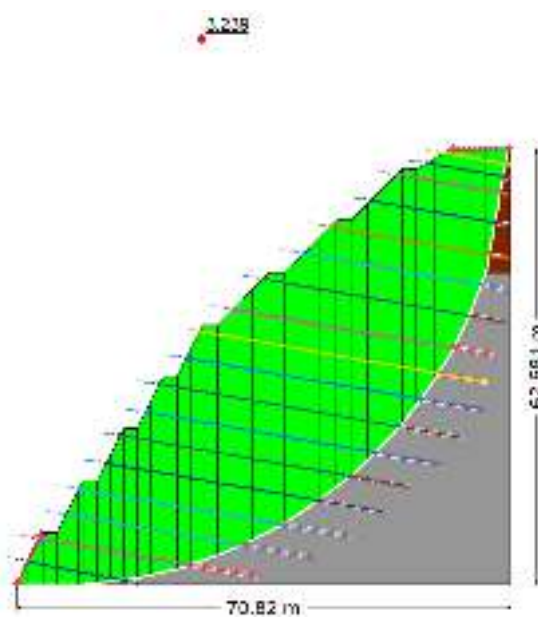
- Nail Diameter: 4,000 mm
- Nail Spacing: 1 m
- Nail Orientation: 90°

Assigned...

Gambar 6. *Input Parameter Soil Nailing di SLOPE/W*

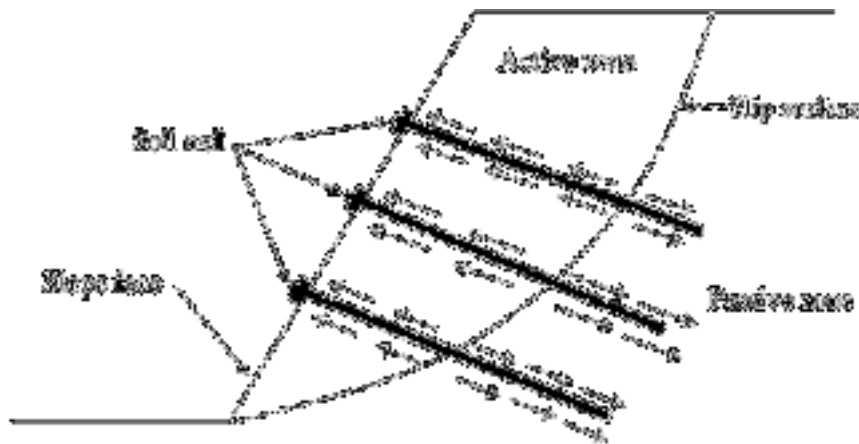


Gambar 7. *Modelling Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing*



Gambar 8. *Output Safety Factor Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing (3,239)*

Hasil analisis menunjukkan bahwa setelah penerapan sistem perkuatan *soil nailing*, nilai *Safety Factor* (SF) meningkat menjadi [isi nilai hasil analisis]. Berdasarkan klasifikasi Ray dan De Smitd (2009) dalam [5], nilai SF di atas 1,5 termasuk kategori “stabil”. Artinya, perkuatan yang dirancang efektif dalam meningkatkan kapasitas lereng menahan gaya pendorong dan mengurangi risiko keruntuhan, sehingga kondisi lereng telah memenuhi standar keamanan geoteknik yang diprasyaratkan.



Sumber: Ferdian Syahputra (2022)

Gambar 9. Ilustrasi *Soil Nailing*

KESIMPULAN

Hasil analisis pada titik 7E *Shortcut* Batas Kota Singaraja–Mengwitani menunjukkan bahwa kondisi lereng eksisting memiliki nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,016, yang masih tergolong rawan keruntuhan meskipun memenuhi syarat minimal keamanan, sehingga diperlukan perkuatan tambahan. Perkuatan dengan metode *soil nailing* dirancang menggunakan *nail* BJTS 420A berdiameter 32 mm dengan panjang bervariasi antara 9,5–44 m dan kemiringan 10°, dipasang 6 batang pada lapisan tanah 1 serta 12 batang pada lapisan tanah 2. Desain ini mempertimbangkan kekuatan tarik, tahanan cabut, dan gaya geser untuk meningkatkan stabilitas lereng. Setelah penerapan *soil nailing*, nilai SF meningkat signifikan menjadi 3,239, yang sudah melebihi batas minimal $\geq 1,5$ dan tergolong “stabil”, sehingga terbukti efektif dalam memperbaiki kondisi lereng serta mengurangi risiko longsor. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mengeksplorasi metode perkuatan lain seperti matras pengendali erosi, vegetasi, dinding penahan tanah, atau *anchor*, serta memanfaatkan perangkat lunak analisis lain seperti PLAXIS 2D/3D atau Slide2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Indonesia, “Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2004”, *Kaos GL Derg.*, no 82, bl 1–21, 2004.
- [2] I. Surya, “Jalan dari Masa ke Masa-Sejarah, Fungsi, dan Jenis-jenisnya”, 2024.
- [3] Posmerdeka, “Shortcut Singaraja-Mengwitani Segera Tuntas”, *Posmerdeka*, September 2021.
- [4] PUPR, “Leaflet Pembangunan Shortcut Batas Kota Singaraja-Mengwitani Titik 7D dan 7E”, bl 1, 2024.
- [5] Rabbani Isya Ramadhan, “Perencanaan Soil Nailing Pada Dinding Lapisan”, no 01, 2022.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, “Persyaratan Perancangan Geoteknik”, *Standar Nas. Indones.*, vol 8460, bl 1–323, 2017.
- [7] M. W. Kusuma, “Pria Buleleng Tewas Tertimbun Longsor di Shortcut Titik 7”, *detikbali*, Buleleng, 2024.
- [8] Nv, “Shortcut Berlanjut Hingga Titik 11-12 Shortcut titik 7D, 7E dan 9-10 Dibangun Tahun ini”, *NusaBali.com*, Buleleng, 2023.
- [9] Kementrian PUPR, “Spesifikasi Khusus Seksi 7.19 Soil Nailing”, 2009.
- [10] A. Arcon, “Perkuatan Lereng dengan Soil Nailing”, 2022.
- [11] R. Maulana en D. H. Agustina, “Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Perkuatan Soil Nailing pada Ruas Jalan Lingkar Serasan Kabupaten Natuna”, *Sigma Tek.*, vol 7, no 1, bl 222–232, 2024, doi: 10.33373/sigmateknika.v7i1.6204.
- [12] R. Hidayatulloh, “Perencanaan Perkuatan Soil Nailing Sebagai Alternatif Stabilitas Lereng Pada Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung Menggunakan Metode Manual Bishop Dan Baji”, *J. Tek. Sipil*, vol 8, no 2, bl 20–29, 2023, doi: 10.56071/deteksi.v8i2.525.
- [13] J. W. Creswell en J. D. Creswell, *Research Design : Qualitative, Quantitative, and A Mixed-Method Approach*. 2023. doi: 10.4324/9780429469237-3.
- [14] J. W. Creswell en J. D. Creswell, *Mixed Methods Procedures*. 2018.
- [15] J. Creswell, “Research design Research design”, *Res. Soc. Sci. Interdiscip. Perspect.*, no September, bl 68–84, 2016, [Online]. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/308915548%0Afile:///E:/Documents/dosen/bukuMetodologi/\[John_W._Creswell\]_Research_Design_Qualitative,_Q\(Bookos.org\).pdf](https://www.researchgate.net/publication/308915548%0Afile:///E:/Documents/dosen/bukuMetodologi/[John_W._Creswell]_Research_Design_Qualitative,_Q(Bookos.org).pdf)
- [16] P. Sahal Priyono, “Studi Metode Perkuatan Terhadap Lereng Menggunakan Geomat, Shortcrates, dan Soil Nailing”, 2022.