JURNAL TEKNIK
Volume 23, No. 1, Juni 2025
P-ISSN : 1693-6191 E-ISSN : 2715-7660 DOI : https://doi.org/10.37031/jt.v23i1.614

Analisis Besaran Erosi dan Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Abdul Rasyid Balu[1], Indriati Martha Patuti[2], Fadly Achmad[3]

[123]Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo,
Jl. B.J Habibie Desa Moutong Kec. Tilongkabila Kab. Bone Bolango (0435)821752
e-mail: *rasyidbalu93@gmail.com*

Abstrak

Jalan Gorontalo Outer Ring Road (GORR) dengan panjang 45,3 km merupakan jalan yang dibangun dengan memotong kaki lereng sehingga berpotensi terjadi longsor. Perubahan tata guna lahan di lereng digunakan warga sekitar untuk lahan pertanian dan tempat wisata. Hal ini tentu saja dapat berpengaruh pada stabilitas lereng yang ada di sekitar jalan tersebut oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran erosi dan stabilitas lereng pada jalan Gorontalo *Outer Ring Road*. Pada penelitian ini analisis erosi dilakukan dengan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) dan pada analisis stabilitas lereng alam dan dengan perkuatan *soil Nailing* menggunakan metode Bishop dengan bantuan aplikasi perangkat lunak Geo5. Berdasarkan hasil penelitian, pada analisis besaran erosi metode USLE pada lereng utara besar laju erosi rata-rata sebesar 79,77 ton/tahun dan pada lereng selatan besar laju erosi rata-rata sebesar 25,27 ton/tahun. Pada analisis terhadap faktor aman lereng diperoleh lereng selatan dengan beban gempa adalah FK= 0,78 dan lereng utara dengan beban gempa adalah FK= 0,66. Analisis terhadap faktor aman lereng dengan *soil nailing* diperoleh lereng selatan dengan beban gempa adalah FK= 1,87, lereng utara dengan beban gempa adalah FK= 1,73. Berdasarkan hasil analisis lereng sudah memenuhi syarat yaitu FK > 1,11 sesuai dengan SNI 8460:2017.

Kata kunci: Erosi; Metode USLE; Stabilitas Lereng; *Soil Nailing*; Metode Bishop

Abstract

The Gorontalo Outer Ring Road (GORR), with a length of 45.3 km, is a road constructed by cutting through the foot of slopes, posing a potential risk of landslides. Land-use changes on the slopes have been utilized by local residents for agricultural purposes and tourist attractions. This, of course, can affect the stability of the slopes surrounding the road. Therefore, this study aims to determine the magnitude of erosion and slope stability along the Gorontalo Outer Ring Road. In this study, erosion analysis was conducted using the USLE (Universal Soil Loss Equation) method, while slope stability analysis – both natural and reinforced with soil nailing – was performed using the Bishop method with the aid of Geo5 software. Based on the research results, the erosion analysis using the USLE method found that the average erosion rate on the northern slope is 79.77 tons/year, while the average erosion rate on the southern slope is 25.27 tons/year. The slope safety factor analysis shows that the southern slope under seismic load has a safety factor (FK) of 0.78, while the northern slope under seismic load has a safety factor (FK) of 0.66. Slope safety factor analysis with soil nailing reveals that the southern slope under seismic load has a safety factor (FK) of 1.87, and the northern slope has a safety factor (FK) of 1.73. Based on the analysis results, the slopes meet the required standards, with FK > 1.11 in accordance with SNI 8460:2017.

***Keywords**: Erosion, USLE Method, Slope stability, Soil Nailing, Bishop Method*

Diterima : April 2025
Disetujui : Mei 2025
Dipublikasi : Juni 2025

©2025 Abdul Rayid Balu, Indriati Martha Patuti, Fadly Achmad
Under the license CC BY-SA 4.0

Pendahuluan

Daerah Gorontalo dulunya ialah sebuah kawasan kawah gunung purba yang pernah aktif. Aktivitas vulkanik ini berhenti seiring dengan terbentuknya sesar aktif Gorontalo yang memicu perpindahan batuan dan kemunculan sesar lokal, sebagaimana dijelaskan oleh (Polbuk et al., 2012) dalam (Usman, Manyoe, Wuwingik, & Kasim, 2018) Terbentuknya sesar ini mempercepat proses pelapukan, menyebabkan fragmentasi batuan, dan meningkatkan potensi terjadinya longsor.

Erosi lereng merupakan proses hilangnya partikel tanah akibat pencucian oleh air hujan, yang mengalir pada permukaan serta membentuk alur maupun parit. Proses ini menyebabkan tanah menjadi tidak stabil dan kehilangan kesuburan. Intensitas curah hujan yang tinggi mempercepat terjadinya erosi, sehingga semakin banyak tanah yang terbawa air. Untuk menghitung besarnya erosi, digunakan persamaan *USLE (Universal Soil Loss Equation)* yang mempertimbangkan berbagai penyebab, seperti kemiringan lereng, jenis tanah, tutupan lahan, intensitas hujan, dan cara pengelolaan tanah.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui besaran erosi di berbagai wilayah di Indonesia. Apriani et al. (2021); meneliti tingkat erosi di daerah aliran Sungai Lawo dan menemukan angka erosi sebesar 12,57 ton/ha/tahun. Putri et al. (2022); dalam penelitiannya di kawasan Waduk Krisak, Kabupaten Wonogiri, mencatat angka yang lebih tinggi, yaitu sebesar 41,31 ton/ha/tahun. Sementara itu, Saputra dan Abdulrosyid (2022); melakukan kajian di Waduk Cengklik, Desa Ngargorejo, dan memperoleh nilai erosi sebesar 66,69 ton/ha/tahun.

Penelitian lainnya oleh Firdaust et al. (2023) di DAS Sampean Hulu menunjukkan tingkat erosi sebesar 39,617 ton/ha/tahun. Sementara itu, hasil yang lebih ekstrem ditemukan oleh Andarwati et al. (2020); di Sub DAS Dengkeng, Kecamatan Bulu, Jawa Tengah, dengan tingkat erosi mencapai 600,64 ton/ha/tahun. Nilai tertinggi tercatat dalam penelitian Safitri et al. (2021); di DAS Amandit, dengan jumlah erosi mencapai 1.276,535 ton/ha/tahun. Perbedaan besar nilai erosi di berbagai wilayah ini menunjukkan pentingnya pengelolaan lahan yang tepat dan perencanaan konservasi tanah untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan.

Longsor merupakan peristiwa geologis yang terjadi ketika material lereng seperti tanah atau batu melorot ke bawah akibat pengaruh gaya gravitasi. Gerakan ini biasanya dipicu oleh keruntuhan geser pada bidang longsor dan dapat diperparah oleh gempa bumi. Stabilitas lereng dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi geologi, hidrologi, topografi, iklim, serta perubahan cuaca. Ketika stabilitas lereng menurun, potensi terjadinya gerakan tanah semakin tinggi, sehingga diperlukan upaya analisis dan perkuatan untuk mencegah bencana longsor.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menganalisis dan meningkatkan stabilitas lereng di berbagai lokasi. Misalnya, menggunakan metode Bishop dalam studi di Jalan Trans Manado–Tomohon dan berhasil meningkatkan faktor keamanan dari 0,27 menjadi 1,31 setelah perkuatan dengan *soil nailing*. Penelitian lain oleh Varghese dan Isaac (2022); di Idukki, India, menunjukkan peningkatan signifikan faktor keamanan dari 0,47 menjadi 4,49 setelah menggunakan bronjong sebagai perkuatan. Hasil serupa juga ditemukan oleh Achmad dan Kawanda (2022) yang memperoleh peningkatan dari 0,86 menjadi 1,64 pada lereng dengan kemiringan 75° setelah diterapkan *soil nailing*.

Aktivitas manusia, seperti pembangunan jalan GORR sepanjang 45,3 km, dapat menyebabkan longsor. Pemotongan kaki lereng untuk jalan dan erosi yang terlihat di parit-parit mengurangi stabilitas lereng. Perubahan tata guna lahan untuk pertanian dan wisata juga memengaruhi stabilitas tersebut, sehingga perlu dilakukan analisis faktor keamanan lereng.

Metode

Erosi

Analisis tingkat laju erosi dilakukan dengan metode USLE. USLE adalah model yang dipakai untuk memperkirakan besarnya erosi pada suatu bidang tanah, dipengaruhi oleh kemiringan lereng, pola hujan, jenis tanaman, dan teknik pengelolaan yang diterapkan (Apriani, Arsyad, & Mapangaja, 2021). Metode ini berupa persamaan yang berfungsi memperkirakan atau menghitung jumlah tanah yang hilang akibat erosi dalam satuan ton/ha/tahun.

$$A = R \,.\, K \,.\, LS \,.\, C \,.\, P \tag{1}$$

Kemampuan curah hujan untuk berkontribusi terhadap erosi tanah diukur dengan faktor erosivitas curah hujan. Durasi dan intensitas curah hujan di permukaan tanah diperhitungkan oleh komponen ini. Lenvain (DHV, 1989) memberikan metode matematika berikut, yang digunakan dalam (Asdak, 2022) untuk menentukan tingkat erosivitas curah hujan.

$$R = 2{,}21\ P^{1{,}36} \tag{2}$$

dengan:

R : indeks nilai erosivitas,

P : curah hujan bulanan (cm),

Faktor erodibilitas menggambarkan kemampuan tanah menahan erosi, dipengaruhi oleh tekstur, struktur, kandungan bahan organik, dan drainase. Nilai *K*, yang dihitung dalam ton/ha/tahun, menunjukkan seberapa mudah tanah tererosi; semakin

tinggi nilai *K*, semakin mudah erosi terjadi, dan nilai K rendah pada tanah dengan kerikil atau plastisitas tinggi. Nilai erodibilitas tanah menurut Puslitbang Pengairan Bogor (1985) dalam (Putri 2022).

Faktor panjang dan kemiringan lereng merupakan dua unsur utama dalam perhitungan erosi tanah karena memengaruhi aliran air permukaan dan ketahanan tanah terhadap erosi. Lereng dengan kemiringan di atas 5% dapat dianalisis menggunakan Tabel gabungan oleh Isrealson (1980) yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Faktor Gabungan Panjang dan Ketajaman Lereng (LS) (Israelson, 1980)

Rasio Kemiringan (*H* : *V*)	Kemiringan Lereng *S*(%)	Nilai S Untuk Lereng dengan Panjang *L* (m) (ft)						
		3,0 m (10 ft)	9,1 m (30 ft)	15,2 m (50 ft)	30,5m (100f)	91 m (300 ft)	152 m (500 ft)	305,0 m (1000 ft)
20:1	5	0,17	0,29	0,38	0,53	0,93	1,20	1,69
10:1	10	0,43	0,75	0,97	1,37	2,37	3,06	4,33
8:1	12,5	0,61	1,05	1,36	1,92	3,33	4,30	6,08
6:1	16,7	0,96	1,67	2,15	3,04	5,27	6,80	9,62
5:1	20	1,29	2.23	2,88	4,08	7,06	9,12	12,90
4:1	25	1,86	3,23	4,16	5,89	10,20	13,17	18,63
3:1	33,5	2,98	5,17	6,67	9,43	16,33	21,09	29,82
2,5:1	40	4,0	6,93	8,95	12,65	21,91	28,29	40,01
2,0:1	50	5,64	9,76	12,60	17,82	30,87	39,85	56,36
1,75:1	57	6,82	11,80	15,24	21,55	37,33	48,19	68,15
1,5:1	66,7	8,44	14,61	18,87	26,68	46,22	59,66	84,38
1,25:1	80	10,55	18,28	23,60	33,38	57,81	74,63	105,59
1:1	100	13,36	24,14	29,87	42,24	73,17	94,46	133,59

Faktor C adalah rasio kehilangan tanah pada lahan yang ditanami tanaman searah lereng dibandingkan lahan tanpa tanaman. Semakin baik tutupan vegetasi, seperti tanaman penutup atau hutan, semakin rendah potensi erosi. Tanah yang tertutup vegetasi yang rapat umumnya memiliki faktor C yang lebih kecil dibandingkan dengan tanah terbuka. Faktor C menurut Suripin (2001).

Faktor P mengkarakterisasi tindakan konservasi tanah tertentu, khususnya membandingkan laju erosi tanah untuk perlakuan konservasi tanah, seperti pengolahan tanah berbasis kontur atau pengolahan tanah metode teras, dengan laju erosi untuk tanah yang diolah dalam arah lereng dalam keadaan yang sama (Arsyad, 1989). Faktor P ditunjukkan Pada Tabel 2.

Tabel 2 Faktor Pengontrol Erosi (P) (Goldmann at al, 2009) dalam (Hardiyatmo, Tanah Longsor dan Erosi, 2023)

Kondisi permukaan	Faktor *P*
Dipadatkan dan licin	1,3
Lajur jalan kaki sepanjang kontur	1,2
Lajur jalan kaki ke arah atas dan bawah lereng	0,9
Jerami terjahit	0,9
Galian kasar, tidak beraturan	0,9
Tidak padat sampai kedalaman 30 cm	0,8

Longsor

Potensi pergerakan massa batuan atau tanah pada bidang longsor disebut longsor. Penyebab pergerakan massa ini adalah material pembentuk lereng bisa berupa batuan, tanah, timbunan tanah, atau gabungan dari semuanya meluncur ke bawah dan membentuk bidang longsor (Hardiyatmo, 2012).

Faktor keamanan (FK) merupakan metrik yang digunakan untuk menilai stabilitas lereng:

$$FK = \frac{\tau}{\tau d} \tag{4}$$

dengan

τ : adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah, τd adalah tegangan geser yang timbul akibat gaya berat tanah yang akan longsor (N/m^2), dan

FK : adalah faktor aman.

Metode Bishop Sederhana yang menggunakan pendekatan irisan atau segmen diusulkan oleh A.W. Bishop. Dalam Hardiyatmo (2018), Bishop (1955) mengemukakan bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan menghasilkan resultan nol pada arah vertikal. Dalam analisis tegangan efektif, tanah dapat mengalami persamaan kuat geser berikut hingga mencapai keadaan kesetimbangan batas dengan memperhitungkan faktor keamanan:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}[c'b_i + W_i(1-r_u)tg\varphi'](\frac{1}{\cos\theta_i\left(1+tg\theta_i tg\frac{\varphi'}{F}\right)})}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i sin\theta_i} \tag{5}$$

Soil Nailing

Soil nailing merupakan suatu metode stabilitas tanah untuk dipakai dalam rekayasa geoteknik untuk memperkuat lereng tanah, galian tanah, atau dinding penahan tanah. Teknik ini melibatkan pemasangan elemen penguat yang relatif ramping yang disebut sebagai “soil nails”, ke dalam tanah.

Angka keamanan suatu lereng

$$Fs\ \frac{c.Lf + W\cos\alpha.\tan\alpha + (\sum Ti\sin(\alpha+i) - (\sum Vi\cos(\alpha+i))tan\varphi}{W\sin\alpha - \sum Ti\cos(\alpha+i) - \sum Vi\cos(\alpha+i)} \tag{6}$$

Hasil dan Pembahasan

Hasil

1. Gambaran umum Lokasi

Empat lereng dengan kondisi topografi 40–45% untuk lereng penelitian erosi dan 60–70% untuk lereng penelitian stabilitas digunakan untuk penelitian di jalur GORR. Dengan ketinggian di atas 20 meter dan lereng yang curam yang dapat

menghalangi akses transportasi Jalan GORR, lereng sasaran penelitian rentan terhadap tanah longsor.

2. Analisis Besaran Erosi (*R*)
   a. Faktor erosivitas hujan

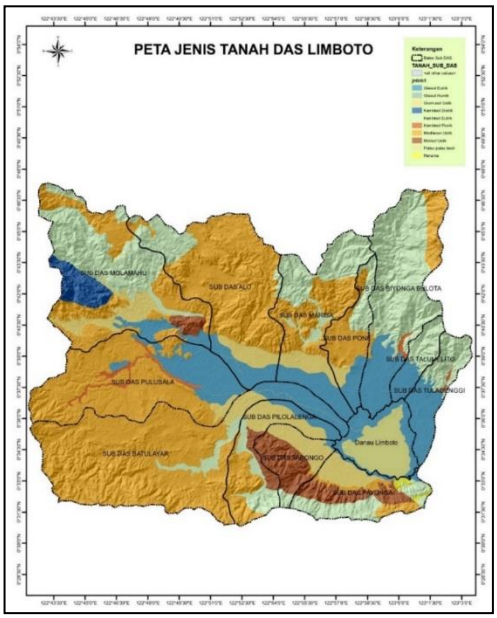
      Data hujan dipakai guna menghitung faktor erosivitas hujan dalam penelitian ini ialah data hujan Stasiun DAS Limboto Biyonga tahun 2018-2022. Dengan menggunakan persamaan 2 untuk curah hujan, perhitungan erosivitas bulanan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai Erosivitas Hujan

Tahun	Parameter	Bulan												Erosivitas Tahunan
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sept	Okt	Nov	Des	
2018	koefisien	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2472,15
	P	52,5	17,0	34,7	45,6	32,9	18,3	9,06	5,9	1,7	18,2	27,3	49,9	
	koefisien	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	
	R	482,8	104,9	275,7	398,6	255,8	115,1	44,2	25,1	4,7	114,4	198,8	451,7	
2019	koefisien	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	782,97
	P	18,8	5,9	10,4	26,1	8,3	8	5,3	0,3	0,0	14,9	8,6	24,3	
	koefisien	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	
	R	119,4	24,7	53,4	187,1	39,5	37,9	21,7	0,4	0,0	87,1	41,5	169,8	
2020	koefisien	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	1204,12
	P	10,3	9,2	14,5	16,0	12,6	15,3	30,4	8,6	22,9	15,1	20,9	17,4	
	koefisien	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	
	R	53,2	45,7	84,3	96,6	69,6	91	229,9	41,6	157,1	88,6	137,9	108,1	
2021	koefisien	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	1476,57
	P	12,6	10,0	12,9	14,9	17,3	11,3	14,7	21,6	35,9	25,5	38,1	4,2	
	koefisien	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	
	R	69,3	51,1	72,2	87,5	107,1	59,9	85,7	145,1	287,9	181,6	312,9	15,6	
2022	koefisien	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	1393,41
	P	8,7	17,6	25,6	18,8	21,1	17,8	17	16,6	12,9	27,8	19,7	13,9	
	koefisien	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	
	R	42,4	109,4	182	119,6	139,1	111,6	104,8	101,4	72,03	203,8	127,4	79,4	
Total R Tahunan														7329,23
Rerata R tahunan														1465,85

b. Faktor faktor erodibilitas (K)

Nilai factor erodibilitas diambil berdasarkan peta jenis tanah DAS Limboto pada lokasi penelitian. berikut merupakan jenis tanah pembentuk lereng ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Peta Jenis Tanah DAS Limboto (BPKH Wilayah XV Gorontalo, 2020)

Berdasarkan peta tanah DAS Limboto, Tabel nilai erodibilitas tanah menurut Puslitbang Pengairan Bogor (1985) dalam (Putri 2022). dan Tabel klasifikasi tanah USDA dengan jenis tanah yang dianalisis adalah jenis tanah aluvial dan dengan ditinjau di lapangan langsung bahwa material pembentuk lereng tersebut berwarna kelabu, jadi untuk nilai faktor dari erodibilitas sebesar 0,315.

c. Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Komponen ini menggabungkan dampak kemiringan dan panjang lereng. Rasio kehilangan tanah pada lereng terhadap kehilangan tanah per satuan luas di lapangan dikenal sebagai faktor S. Persamaan Wischmeier dan Smith (1965,1978) digunakan untuk menentukan faktor panjang dan kemiringan lereng. dikarenakan kemiringan lebih dari 5% maka digunakan Tabel oleh Isrealson (1980) ditunjukkan dalam Tabel 2.5. Hasil dari penelitian di lapangan diperoleh kemiringan lereng 67,5% serta panjang lereng 117 m, jika ditinjau pada Tabel 4.5 maka harus menggunakan perhitungan interpolasi maka didapat nilai LS adalah 52,72. maka harus menggunakan perhitungan interpolasi maka didapat nilai LS adalah 52,72.

d. Faktor Tutupan Lahan (C)

penelitian menentukan faktor C dalam menganalisis laju erosi pada penelitian ini dilakukan tinjauan langsung ke lapangan sesuai yang diperlihatkan dalam Gambar 2.

Gambar 2. Faktor Tutupan Lahan pada Lokasi Penelitian Erosi

Untuk penentuan nilai C digunakan Tabel Faktor Penutup (C) untuk Beberapa Kondisi Penutup Tanah yang Berbeda (Suripin, 2001). Hasil analisis berdasarkan Tabel tersebut dan tinjauan lapangan maka nilai faktor C didapat sebesar 0,01 (Semak tak terganggu).

e. Faktor Pengontrol Erosi (P)

Nilai P dilakukan tinjauan langsung ke lapangan untuk melihat kondisi pada lereng berdasarkan Tabel 2. hasil analisis berdasarkan tinjauan lapangan dan Tabel 2 maka nilai P didapat sebesar 0,9 dengan kondisi lereng galian kasar, tidak beraturan.

Perhitungan Besaran Erosi

Perhitungan besaran erosi yang terjadi pada lereng jalan GORR dihitung menggunakan Persamaan 1. Perhitungan besaran erosi tahun 2018 pada lereng utara.

Nilai Erosivitas Hujan (R) = 2.472,15
Nilai Erodibilitas Tanah (K) = 0,315(Aluvial Kelabu)
Nilai Kemiringan Lereng (LS) = 52,72 (67,5%)
Nilai Tutupan Lahan (C) = 0,01 (Semak tak terganggu)
Nilai Pengontrol Erosi (P) = 0,9 (Galian kasar, tidak beraturan)

A = R x K x LS x C x P

A = 2.472,15 x 0,315 x 52,57 x 0,01 x 0,9 = 369,49 ton/ha/tahun

Luas lereng = 0,322 ha

Total erosi = 369,49 ton/ha/tahun x 0,322 ha =118,97 ton/tahun.

Perhitungan besaran erosi pada lereng utara dan selatan pada 5 tahun terakhir ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan Besaran Erosi

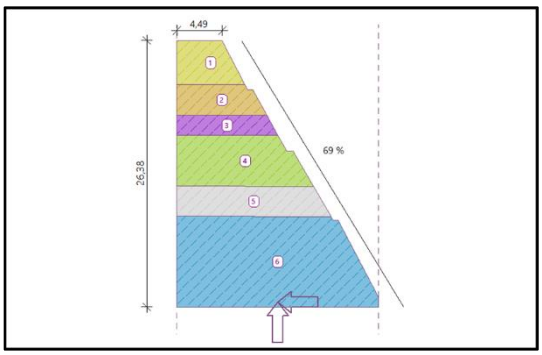
Tahun	Arah Lereng	Faktor Erosivitas Hujan (*R*)	Faktor Erodibilitas Tanah (*K*)	Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (*LS*)	Faktor Tata Guna Lahan (*CP*)	Besaran Erosi (*A*) (ha/ton/tahun)	Luas Lereng (ha)	Besaran Erosi (*A*) (ton/tahun)
2018	Lereng Utara	2.472,15	0,315	64,98	0,009	455,42	0,322	118,98
	Lereng Selatan	2.472,15	0,315	64,98	0,009	455,42	0,102	37,69
2019	Lereng Utara	782,97	0,315	64,98	0,009	144,24	0,322	37,68
	Lereng Selatan	782,97	0,315	64,98	0,009	144,24	0,102	11,94
2020	Lereng Utara	1.204,12	0,315	64,98	0,009	221,82	0,322	57,95
	Lereng Selatan	1.204,12	0,315	64,98	0,009	221,82	0,102	18,36
2021	Lereng Utara	1.476,57	0,315	64,98	0,009	272,01	0,322	71,06
	Lereng Selatan	1.476,57	0,315	64,98	0,009	272,01	0,102	22,51
2022	Lereng Utara	1.393,41	0,315	64,98	0,009	256,69	0,322	67,06
	Lereng Selatan	1.393,41	0,315	64,98	0,009	256,69	0,102	21,24

3. Analisis Stabilitas Lereng

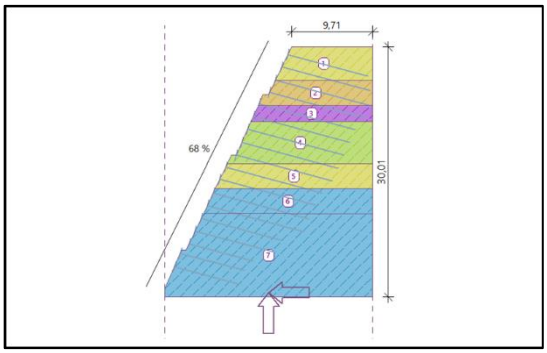
Pada analisis kestabilan lereng ini terdapat dua lereng yang berbeda ketinggian lereng, kemiringan lereng, tetapi memiliki material penyusul lereng yang sama. Material penyusun lereng merupakan batuan yang lapuk sedang, berkomposisi pecahan koral, beberapa ganggang dan merupakan endapan danau. Berdasarkan hasil geologic grilling log lereng tersebut tidak memiliki tinggi muka air tanah sehingga lereng tersebut tidak didesain dengan muka air tanah dan warna-warna dalam penggambaran merupakan propertis.

a. Geometrik dan Material Penyusun Lereng

Bentuk geometrik lereng yang dianalisis ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 serta material penyusun lereng dalam Tabel 5.



Gambar 3. Dimensi Lereng Sebelah Selatan



Gambar 4. Dimensi Lereng Sebelah Utara

Tabel 5 Material Penyusun Lereng

No.	Name	Pattern	*θef* [°]	*cef* [kPa]	*γ* [kN/m3]
1	Batugamping Kalkarenit		20,86	21,96	14,93
2	Batugamping Kalkarenit		25,00	21,96	15,05
3	Batugamping Kalkarenit		25,97	21,96	16,06
4	Batugamping Kalkarenit		30,00	21,96	16,10
5	Batugamping kalsirudit		31,00	30,00	18,00
6	Batugamping kalsirudit		32,00	30,00	20,00

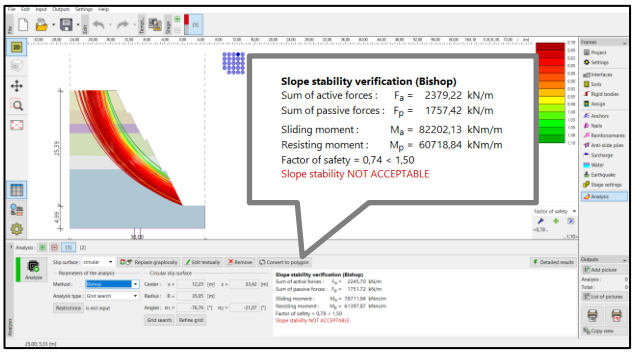
Lereng yang digambarkan dalam bentuk 2 dimensi dengan panjang dan kemiringan yang berbeda-beda di setiap titik baik yang terletak di bagian utara maupun selatan. Parameter tanah yang digunakan adalah data sekunder yang diambil berdasarkan data hasil pengujian laboratorium dan data nilai N-SPT.

b. Beban Gempa

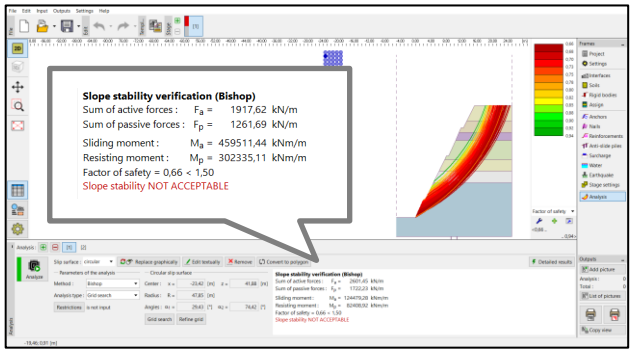
Beban gempa setengah dari percepatan puncak horizontal, yang diperoleh dari kelas lokasi dan faktor amplifikasi, adalah besarnya koefisien seismik horizontal (Kh). Kh = 0,34 ditentukan untuk besarnya horizontal, dan Kv = 0,17, yang merupakan setengah dari Kh, adalah besarnya Kv.

c. Analisis Stabilitas Lereng tanpa Perkuatan

Menganalisis stabilitas lereng ini di bagi menjadi empat untuk dua lereng di mana satu lereng akan diinput beban gempa. Hasil analisis digunakan aplikasi perangkat lunak Geo5. Pada metode bishop dalam analisisnya diperoleh FK < 1 lereng ini tergolong kritis atau kemungkinan akan terjadi keruntuhan sesuai di gambarkan di Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Hasil Analisis Faktor Aman Lereng Selatan beserta Beban Gempa



Gambar 6 Hasil Analisis Faktor Aman Lereng Utara beserta Beban Gempa

Hasil analisis dari program aplikasi Geo5 faktor keamanan (FK) pada lereng bagian selatan dengan beban gempa memiliki faktor keamanan FK= 0,74 < 1 dan pada lereng bagian utara dengan beban gempa memiliki faktor keamanan FK= 0,66 < 1 menggunakan metode Bishop. Berdasarkan hasil analisis dengan metode tersebut lereng tergolong dalam kondisi tidak stabil dan memerlukan perkuatan dengan soil nailing untuk menaikkan faktor aman dari lereng

d. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Hasil faktor keamanan dengan kondisi kritis diperoleh dari studi stabilitas lereng dengan menggunakan teknik Bishop dan perangkat lunak Geo5. Oleh karena itu, diperlukan perkuatan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya longsor pada lereng. Perkuatan soil nailing dengan program Geo5 merupakan salah satu perkuatan yang digunakan.

Data perencanaan material konstruksi untuk perkuatan *soil nailing* sebagai berikut:

Kekuatan tegangan pada nail: 520 MPa

Diameter nail: 29 mm

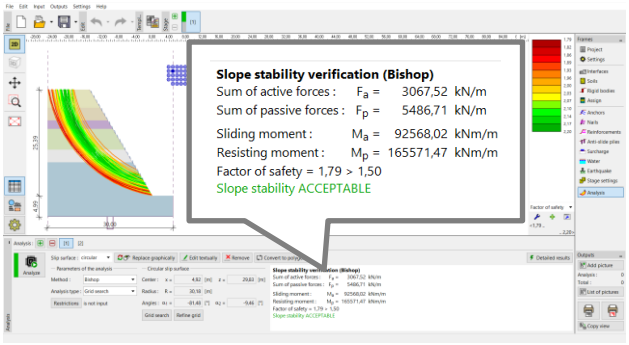
Jarak horizontal antar nail: 1 m

Jarak vertikal antar nail: 1,2 m

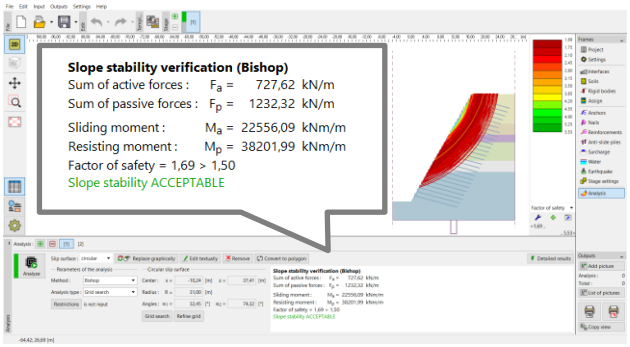
Sudut nail: 15

Diameter lubang bor: 200 mm

Gambar 7 dan 8 menampilkan temuan dari program perangkat lunak metode Bishop untuk menganalisis tulangan paku tanah lereng Selatan dengan tegangan seismik minimal dan maksimum.



Gambar 7 Analisis Stabilitas Lereng Selatan dengan Perkuatan *Soil Nailing* dengan Beban Gempa Metode Bishop



Gambar 8 Analisis Stabilitas Lereng Utara dengan Perkuatan *Soil Nailing* dengan Beban Gempa Metode Bishop

Berdasarkan seluruh hasil analisis maka dapat disimpulkan hasil dari analisis menggunakan aplikasi perangkat lunak Geo5 dengan metode Bishop dalam Tabel 6.

Tebel 6 Hasil Analisis Faktor Aman Lereng (Geo5)

	Faktor Aman Tanpa Perkuatan (*FK*)	Faktor Aman dengan Perkuatan *Soil Nailing* (*FK*)
Lereng Bagian Selatan Beban Gempa	0,74	1,79
Lereng Bagian Utara Beban Gempa	0,66	1,69

Pembahasan

Perbandingan nilai faktor aman yang diperoleh dari aplikasi perangkat lunak Rocscience Slide 6.0 yang telah digunakan oleh peneliti terdahulu Binjen (2021), dan

Geo5, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan meskipun hasilnya relatif dekat. Berdasarkan analisis yang dilakukan, nilai faktor aman yang dihitung menggunakan Rocscience Slide 6.0 sedikit lebih besar 29%-35% dibandingkan dengan yang diperoleh melalui Geo5. Rocscience Slide 6.0, yang dikenal dengan kemampuan analisis keseimbangan limit yang lebih detail, mungkin memberikan hasil yang lebih konservatif.

Kesimpulan

Kesimpulan berikut dapat diambil berdasarkan hasil temuan analisis dan pemodelan yang dilakukan dengan mempertimbangkan rumusan masalah: Analisis erosi dengan metode USLE diperoleh dari data curah hujan 10 tahun terakhir, data tanah atau erodibilitas dan faktor penutup lereng yang diperoleh dari Das Limboto, serta faktor panjang dan kemiringan lereng yang ditinjau langsung di lapangan maka didapat besaran erosi rata-rata pada lereng utara sebesar A= 70,55 ton/tahun dan besaran erosi rata-rata pada lereng selatan sebesar A= 22,35 ton/tahun.

Analisis terhadap faktor aman lereng diperoleh lereng selatan dengan beban gempa adalah FK= 0,74 dan lereng utara dengan beban gempa adalah FK= 0,66. Berdasarkan hasil analisis lereng masih belum memenuhi syarat yaitu FK > 1 sesuai dengan SNI 8460:2017 dan masih memerlukan perkuatan untuk menaikkan faktor aman dari lereng. Analisis terhadap faktor aman lereng dengan *soil nailing* diperoleh lereng selatan dengan beban gempa minimum adalah FK= 1,79 danlereng utara dengan beban gempa minimum adalah FK= 1,69. Berdasarkan hasil analisis lereng sudah memenuhi syarat yaitu FK > 1,1 sesuai dengan SNI 8460:2017

Daftar Pustaka

Achmad, G. F., & Aksan, K. (2022). Perancangan Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggubakan Metode Bishop, Fellenius, dan Janbu. Seminar Intelektual Muda, 4(1), 185-190.

Apriani, N., Arsyad, U., & Mapangaja, B. (2021). Perdiksi Erosi Berdasarkan Metode Universal Soil Loss Equation (USLE) Untuk Arahan dI Daerah Aliran Sungai Lawo. Jurnal Hutan dan Masyarakat, 13(1), 49-63.

Arsyad, S. (1989). Konservasi tanah dan air. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Asdak, C. (2022). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Edisi Revisi (2 ed.). Gadjah Mada University Press.

Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan Perencanaan Geoteknik. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Barrang, Y. E., Mandagu, A. T., & Riogilang, H. (2021). Studi Literatur Tentang Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geo5. Jurnal Tekno, 19(79), 275-287.

Binjen, M. R. (2021). Analisis Stabilitas Lereng pada Pembangunan Jalan Gorontalo Outer Ring Road (GORR) Km 13+100 - Km 13+800. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.

Hardiyatmo, H. C. (2018). Mekanika Tanah II (Keenam ed.). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2023). Tanah Longsor dan Erosi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Mandagi, A. T., Sarajar, A. N., & Soebarkah, B. B. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing. TEKNO, 21(83), 421-427.

Putri, D. A., Sholichin, M., & Sisinggih, D. (2022). Studi Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Metode USLE dan MUSLE di Waduk Krisak Kabupaten Wonogiri. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, 3(1), 124-136.

Saputra, K. D., & Abdurrosyid, J. (2022). Perbandingan Antara Metode USLE dan MUSLE dalam Analisis Erosi Lahan Pada Daerah Tngkapan Air Waduk Cengklik. Dinamika Teknik Sipil, 15(1), 54-61.

Suripin. (2001). Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Semarang: Andi Offset.

Usman, F. C., Manyoe, I. N., Wuwingik, R. F., & Kasim, D. N. (2018). Rekonstruksi Tipe Longsoran di Daerah Gorontalo Outer Ringg Road (GORR) dengan Analisis Stereografi. Jurnal Geomine, 6(1), 42-48.

Varghese, D. A., & Isaac, D. S. (2022). FEM Analysis of Slopes in Idukki Using Geo5. International Research Journal of Engineering and Tecknology, 7(8), 4425-4431.

Zefri, R., Wulandari, D. A., & Suripin. (2022). Penerapan HEC-HMS unutk Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Metode USLE pada Waduk Paselloreng di Kabupaten Wajo. Borneo Engineering, 6(2), 103-116.