



Analisis Kestabilan Lereng Galian Pada Kawasan Perumahan Kharisma Koka, Minahasa

Agnes T. Mandagi^{#a}, Alva N. Sarajar^{#b}, Kerin M. Luntungan^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aagnes.mandagi@unsrat.ac.id, ^balva.sarajar@unsrat.ac.id, ^ckerinluntungan021@student.unsrat.ac.id

Abstrak

Pembangunan kawasan perumahan pada daerah dengan topografi berbukit memerlukan pekerjaan galian lereng yang berpotensi menimbulkan masalah kestabilan lereng. Kawasan Perumahan Kharisma Koka, Minahasa merupakan salah satu lokasi yang memiliki kondisi lereng galian dengan kemiringan relatif curam sehingga perlu dilakukan analisis stabilitas untuk mengurangi risiko longsor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng sebelum diberi perkuatan, setelah diberi perkuatan soil nailing, serta setelah diberi perkuatan soil nailing dengan pengaruh beban gempa. Penelitian menggunakan data sekunder berupa hasil uji sondir (Cone Penetration Test/CPT) dan data geometri lereng yang dimodelkan menggunakan AutoCAD. Analisis kestabilan dilakukan secara manual dengan metode Fellenius dan Bishop serta menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide 6.0. Analisis dilakukan pada dua lereng dengan kondisi undrained (jangka pendek) dan drained (jangka panjang). Perkuatan lereng direncanakan menggunakan metode soil nailing berdasarkan pedoman FHWA (2003), kemudian dievaluasi kembali terhadap pengaruh beban gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi lereng eksisting berada dalam keadaan tidak stabil karena seluruh nilai faktor keamanan lebih kecil dari 1,25. Pada Lereng 1 diperoleh FK metode Fellenius sebesar 0,483 (undrained) dan 0,290 (drained), sedangkan metode Bishop sebesar 0,491 (undrained) dan 0,302 (drained). Pada Lereng 2 diperoleh FK metode Fellenius sebesar 0,539 (undrained) dan 0,253 (drained), sedangkan metode Bishop sebesar 0,626 (undrained) dan 0,271 (drained). Setelah diberikan perkuatan soil nailing, nilai faktor keamanan meningkat hingga mencapai 1,644–1,746. Pada kondisi gempa, nilai faktor keamanan berkisar antara 1,137–1,269 sehingga masih memenuhi persyaratan minimum SNI 8460:2017. Dengan demikian, perkuatan soil nailing terbukti efektif meningkatkan kestabilan lereng galian pada kawasan Perumahan Kharisma Koka, Minahasa.

Kata kunci: stabilitas lereng, faktor keamanan, soil nailing, beban gempa, metode Fellenius, metode Bishop

1. Pendahuluan

Pembangunan perumahan sebagai salah satu kebutuhan dasar masyarakat terus meningkat seiring pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan wilayah. Pemilihan lokasi perumahan sering kali dilakukan pada daerah yang memiliki kondisi topografi bervariasi, termasuk wilayah berbukit dengan kontur lahan yang tidak rata. Kondisi tersebut menuntut adanya pekerjaan tanah berupa galian dan pemotongan lereng untuk menyesuaikan lahan dengan rencana pembangunan.

Salah satu kawasan yang sedang berkembang adalah Perumahan Kharisma Koka, Minahasa. Lokasi ini berada pada area dengan kontur lahan miring sehingga diperlukan aktivitas pemotongan lereng dalam proses pembangunannya. Akan tetapi, lereng galian memiliki tingkat kestabilan yang relatif lebih rendah dibandingkan lereng alami. Hal ini disebabkan karena penggalian tanah dapat mengurangi gaya penahan yang sebelumnya mendukung kestabilan lereng. Apabila kondisi ini tidak dianalisis secara tepat, potensi terjadinya longsor akan meningkat.

Longsor pada lereng galian tidak hanya menimbulkan kerugian secara material, tetapi juga dapat mengancam keselamatan masyarakat dan merusak sarana serta prasarana yang telah dibangun. Oleh karena itu, kajian mengenai kestabilan lereng galian sangat penting dilakukan sebagai upaya pencegahan terhadap bahaya longsor. Analisis ini juga berfungsi untuk

memberikan gambaran tingkat keamanan lereng, sehingga dapat ditentukan langkah-langkah teknis yang diperlukan.

Dalam kajian geoteknik, kestabilan lereng dinilai melalui perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak yang bekerja pada massa tanah. Parameter tanah yang diperoleh dari hasil pengujian lapangan, seperti uji sondir (*Cone Penetration Test*), menjadi dasar untuk menentukan kekuatan geser tanah. Selanjutnya, analisis kestabilan lereng dapat dilakukan metode Fellenius dan metode Bishop, atau dengan bantuan perangkat lunak geoteknik seperti Slide. Hasil perhitungan biasanya dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan yang digunakan sebagai indikator utama kestabilan lereng.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng galian pada kawasan Perumahan Kharisma Koka, Minahasa, sehingga diperoleh gambaran mengenai kondisi keamanan lereng yang baik.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang berfokus pada analisis kestabilan lereng galian pada kawasan Perumahan Kharisma Koka, Kabupaten Minahasa. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan lereng berdasarkan nilai Faktor Keamanan (FK) pada kondisi eksisting serta mengetahui pengaruh perkuatan soil nailing terhadap peningkatan stabilitas lereng.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis geoteknik dengan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*). Analisis dilakukan menggunakan metode Fellenius dan Bishop Simplified secara manual maupun numerik menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide. Selain itu, dilakukan evaluasi kondisi lereng pada keadaan undrained, drained, dan kondisi gempa untuk memperoleh gambaran perilaku lereng secara menyeluruh.

Hasil analisis digunakan untuk menentukan tingkat keamanan lereng berdasarkan ketentuan SNI 8460:2017 serta memberikan rekomendasi teknis berupa perkuatan soil nailing apabila nilai faktor keamanan belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

2.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah pada lokasi lereng galian di kawasan Perumahan Kharisma Koka, Kabupaten Minahasa. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis kestabilan lereng serta perencanaan perkuatan soil nailing.

Data sekunder yang digunakan meliputi data geometri lereng, hasil pengujian Cone Penetration Test (CPT), parameter tanah hasil korelasi CPT, dan data percepatan gempa yang diperoleh dari peta sumber dan bahaya gempa Indonesia. Seluruh data tersebut digunakan untuk menentukan karakteristik tanah, kondisi geometri lereng, serta faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan lereng.

2.2.1 Parameter Tanah

Parameter tanah yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui korelasi data CPT yang tersedia pada lokasi penelitian. Parameter tersebut meliputi berat isi tanah (γ), kohesi (c), kohesi efektif (c'), sudut geser dalam (ϕ), sudut geser dalam efektif (ϕ'), dan kuat geser undrained (c_u).

Parameter tanah tersebut digunakan sebagai data masukan dalam analisis kestabilan lereng menggunakan metode Fellenius dan Bishop Simplified. Analisis dilakukan pada kondisi undrained dan drained untuk menggambarkan perilaku tanah pada kondisi jangka pendek maupun jangka panjang.

Tabel 1. Penyederhanaan Parameter Tanah untuk Lereng Pertama

Kedalaman m	Zone	AVERAGE (PENYEDERHANAAN)						
		Soil Description	Unit weight γ	c_u	C'	ϕ	ϕ'	E
0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40 m sampai 2.60 m	3	Clay : clay to silty clay	18.1	62.39	6.2	33.07	22.05	3.82
1.80 m sampai 3.20 m	4	Silt mixture : clayey silt & silty clay	18.5	95.29	9.5	33.09	22.06	5.88
3.40 m Sampai 4.80 m	5	Sand mixture : silty sand to sandy silt	18.7	268.93	26.9	37.14	24.76	16.3 7
1.00 m sampai 23.00 m	6	Sands : clean sands to silty sands	19.3	740.58	74.1	39.28	26.19	45.2 5

Tabel 2. Parameter Tanah untuk Lereng Pertama Kondisi Undrained (Jangka Pendek)

Material	γ	c_u	ϕ
Clay : clay to silty clay	18.1	62.39	0
Silt mixture : clayey silt & silty clay	18.5	95.29	0
Sand mixture : silty sand to sandy silt	18.7	0	37.14
Sands : clean sands to silty sands	19.3	0	39.28

Tabel 3. Parameter Tanah untuk Lereng Pertama Kondisi Drained (Jangka Panjang)

Material	γ	$c' = (0.1 \times c_u)$	$\phi' = (\frac{2}{3} \times \phi)$
Clay : clay to silty clay	18.1	6.2	22.05
Silt mixture : clayey silt & silty clay	18.5	9.5	22.06
Sand mixture : silty sand to sandy silt	18.7	0	24.76
Sands : clean sands to silty sands	19.3	0	26.19

Tabel 4. Parameter Tanah untuk Lereng Kedua Kondisi Undrained (Jangka Pendek)

Material	γ	c_u	ϕ
Clay : clay to silty clay	18.1	62.39	0
Silt mixture : clayey silt & silty clay	18.5	95.29	0
Sand mixture : silty sand to sandy silt	18.7	0	37.14
Sands : clean sands to silty sands	19.3	0	39.14

Tabel 5. Parameter Tanah untuk Lereng Pertama Kondisi Drained (Jangka Panjang)

Material	γ	$c' = (0.1 \times c_u)$	$\phi' = (\frac{2}{3} \times \phi)$
Clay : clay to silty clay	18.1	6.2	22.05
Silt mixture : clayey silt & silty clay	18.5	9.5	22.06
Sand mixture : silty sand to sandy silt	18.7	0	24.76
Sands : clean sands to silty sands	19.3	0	26.09

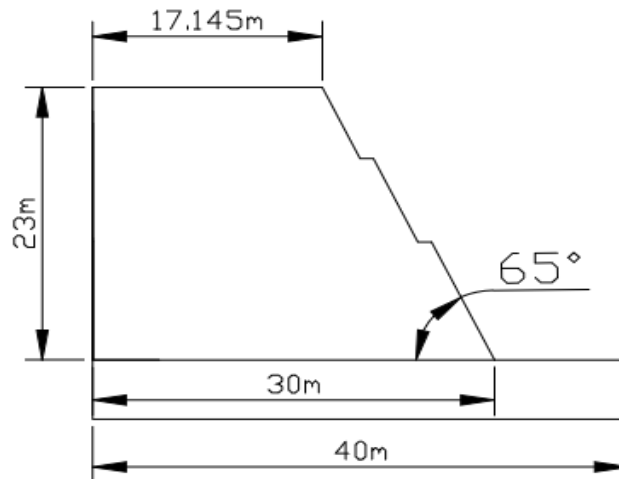
2.2.2 Geometri Lereng

Geometri lereng yang digunakan dalam penelitian ini merupakan geometri lereng galian pada kawasan Perumahan Kharisma Koka, Kabupaten Minahasa. Pemodelan geometri lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoCAD berdasarkan data kondisi aktual di lapangan. Pemodelan ini bertujuan untuk merepresentasikan bentuk dan dimensi lereng secara akurat sehingga dapat digunakan dalam analisis kestabilan lereng.

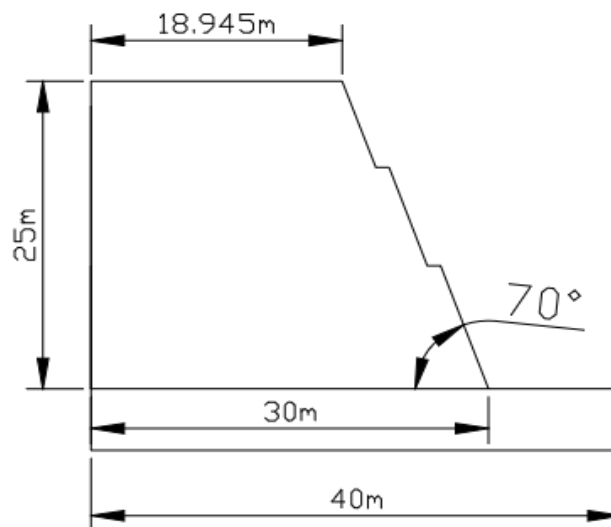
Pada penelitian ini, terdapat dua model lereng yang dianalisis. Lereng pertama memiliki

tinggi sebesar 23 m dengan sudut kemiringan 65° , sedangkan lereng kedua memiliki tinggi sebesar 25 m dengan sudut kemiringan 70° . Kedua geometri lereng tersebut kemudian digunakan sebagai dasar pemodelan pada analisis kestabilan lereng untuk menentukan bidang gelincir kritis dan nilai faktor keamanan.

Perbedaan tinggi dan kemiringan pada kedua lereng digunakan untuk mengevaluasi pengaruh geometri terhadap tingkat kestabilan lereng. Secara umum, semakin besar tinggi dan sudut kemiringan lereng, maka gaya penggerak yang bekerja pada massa tanah akan meningkat sehingga berpotensi menurunkan nilai faktor keamanan lereng. Oleh karena itu, analisis terhadap kedua geometri tersebut diperlukan untuk mengetahui kondisi stabilitas lereng eksisting serta kebutuhan perkuatan yang diperlukan guna meningkatkan keamanan lereng.



Gambar 1. Geometri Lereng Pertama



Gambar 2. Geometri Lereng Kedua

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan untuk memperoleh hasil analisis kestabilan lereng yang akurat. Tahap awal penelitian dimulai dengan studi literatur mengenai teori mekanika tanah, kestabilan lereng, metode Fellenius, metode Bishop Simplified, serta perencanaan perkuatan soil nailing. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teoritis yang mendukung proses analisis dan interpretasi hasil penelitian.

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data sekunder yang terdiri atas data hasil Cone Penetration Test (CPT), data geometri lereng, dan data pendukung lainnya yang berkaitan dengan kondisi lokasi penelitian. Data tersebut kemudian diolah untuk memperoleh parameter geoteknik tanah yang akan digunakan dalam analisis kestabilan lereng.

Setelah parameter tanah diperoleh, dilakukan pemodelan geometri lereng menggunakan perangkat lunak AutoCAD. Pada penelitian ini dianalisis dua model lereng, yaitu lereng dengan tinggi 23 m dan kemiringan 65° , serta lereng dengan tinggi 25 m dan kemiringan 70° . Model geometri tersebut digunakan untuk merepresentasikan kondisi aktual lereng galian pada lokasi penelitian.

Tahap berikutnya adalah analisis kestabilan lereng menggunakan metode Fellenius dan Bishop Simplified. Analisis dilakukan pada kondisi undrained dan drained untuk mengetahui perilaku lereng pada kondisi jangka pendek maupun jangka panjang. Selain itu, pengaruh beban gempa juga diperhitungkan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada kondisi dinamis.

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh, dilakukan evaluasi terhadap nilai Faktor Keamanan (FK) dengan mengacu pada ketentuan SNI 8460:2017. Apabila nilai FK yang diperoleh belum memenuhi persyaratan stabilitas, maka dilakukan perencanaan perkuatan menggunakan metode soil nailing. Perkuatan dirancang dengan mempertimbangkan kondisi geometri lereng, karakteristik tanah, dan bidang gelincir kritis yang terbentuk.

Tahap terakhir adalah melakukan analisis kembali terhadap lereng yang telah diperkuat untuk mengetahui peningkatan nilai Faktor Keamanan akibat pemasangan soil nailing. Hasil dari seluruh tahapan penelitian kemudian dianalisis dan dibahas sebagai dasar dalam penyusunan kesimpulan serta rekomendasi teknis terkait kestabilan lereng galian pada kawasan Perumahan Kharisma Koka, Kabupaten Minahasa.

2.4 Perkuatan Lereng

Perkuatan lereng direncanakan menggunakan metode soil nailing apabila hasil analisis kestabilan menunjukkan bahwa nilai Faktor Keamanan (FK) lereng belum memenuhi kriteria yang dipersyaratkan. Perencanaan perkuatan dilakukan berdasarkan pedoman Federal Highway Administration (FHWA) dengan mempertimbangkan kondisi geometri lereng, karakteristik tanah, serta bidang gelincir kritis yang diperoleh dari hasil analisis kestabilan lereng.

Penentuan parameter soil nailing meliputi panjang nail, jarak pemasangan antar nail secara vertikal dan horizontal, diameter tulangan, serta kemiringan pemasangan nail. Parameter tersebut dirancang untuk memberikan kontribusi tahanan tambahan terhadap gaya geser yang bekerja pada massa tanah sehingga mampu meningkatkan stabilitas lereng secara keseluruhan.

Pemilihan metode soil nailing dalam penelitian ini didasarkan pada kemampuannya dalam meningkatkan kestabilan lereng tanpa memerlukan perubahan geometri lereng yang signifikan. Sistem perkuatan ini bekerja dengan cara membentuk zona tanah bertulang yang mampu menahan deformasi dan mengurangi potensi pergerakan massa tanah pada bidang longsor. Gaya tarik yang berkembang pada nail akan memberikan tahanan tambahan terhadap gaya penggerak sehingga potensi terjadinya kelongsoran dapat diminimalkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Kestabilan Lereng Galian

Analisis kestabilan lereng Galian dilakukan pada dua model lereng galian di kawasan Perumahan Kharisma Koka, Minahasa. Lereng pertama memiliki tinggi 23 m dengan kemiringan 65° , sedangkan lereng kedua memiliki tinggi 25 m dengan kemiringan 70° . Analisis dilakukan menggunakan metode Fellenius dan Bishop pada kondisi undrained (jangka pendek) dan drained (jangka panjang).

3.1.1 Lereng Pertama

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting, lereng pertama memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar 0,483 untuk metode Fellenius kondisi undrained dan 0,290 pada kondisi drained. Sementara itu, metode Bishop menghasilkan nilai FK sebesar 0,491 pada kondisi undrained dan 0,302 pada kondisi drained.

Nilai FK yang diperoleh berada di bawah nilai minimum yang dipersyaratkan oleh SNI 8460:2017 yaitu sebesar 1,25. Kondisi ini menunjukkan bahwa lereng pertama berada dalam keadaan tidak stabil dan memiliki potensi mengalami kelongsoran. Rendahnya nilai faktor

keamanan disebabkan oleh geometri lereng yang relatif curam sehingga gaya penggerak lebih dominan dibandingkan gaya penahan yang bekerja pada massa tanah.

Selain itu, terlihat bahwa nilai FK pada kondisi drained lebih rendah dibandingkan kondisi undrained. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi jangka panjang kestabilan lereng semakin menurun akibat berkurangnya kontribusi kuat geser total tanah.

3.1.2 Lereng Kedua

Pada lereng kedua diperoleh nilai FK metode Fellenius sebesar 0,539 untuk kondisi undrained dan 0,253 untuk kondisi drained. Sedangkan metode Bishop menghasilkan nilai FK sebesar 0,626 pada kondisi undrained dan 0,271 pada kondisi drained.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa lereng kedua juga berada dalam kondisi tidak stabil karena seluruh nilai FK masih berada di bawah nilai minimum yang dipersyaratkan. Kemiringan lereng yang lebih besar yaitu 70° menyebabkan peningkatan gaya penggerak sehingga berpotensi memperbesar risiko kelongsoran.

Secara umum, hasil analisis pada kedua lereng menunjukkan bahwa kondisi eksisting tidak memenuhi kriteria stabilitas dan memerlukan perkuatan untuk meningkatkan keamanan lereng.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Faktor Keamanan pada Lereng Pertama dan Lereng Kedua

Perhitungan Secara Manual	Lereng	Metode Fellenius		Metode Bishop	
		Undrained (Jangka Pendek)	Drained (Jangka Panjang)	Undrained (Jangka Pendek)	Drained (Jangka Panjang)
		1	0.483	0.290	0.487
2	0.537	0.236	0.624	0.265	

Perhitungan Menggunakan Software Slide	Lereng	Metode Fellenius		Metode Bishop	
		Undrained (Jangka Pendek)	Drained (Jangka Panjang)	Undrained (Jangka Pendek)	Drained (Jangka Panjang)
		1	0.483	0.290	0.491
2	0.539	0.253	0.626	0.271	

3.2 Analisis Perkuatan Soil Nailing

Karena hasil analisis menunjukkan bahwa kedua lereng tidak memenuhi persyaratan stabilitas, maka dilakukan perencanaan perkuatan menggunakan metode soil nailing berdasarkan pedoman FHWA. Perkuatan ini dirancang untuk meningkatkan tahanan geser massa tanah melalui mekanisme gaya tarik yang bekerja pada soil nail.

Soil nailing berfungsi sebagai elemen perkuatan yang menambah gaya penahan terhadap pergerakan tanah sehingga mampu meningkatkan nilai faktor keamanan lereng. Selain itu, sistem perkuatan ini relatif efektif diterapkan pada lereng galian karena tidak memerlukan perubahan geometri lereng yang signifikan.

3.3 Analisis Kestabilan Lereng Setelah Perkuatan Soil Nailing

3.3.1 Lereng Pertama

Setelah diberikan perkuatan soil nailing, hasil analisis menggunakan software Slide menunjukkan bahwa nilai FK meningkat menjadi 1,644 dengan metode Fellenius dan 1,746 dengan metode Bishop. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa perkuatan soil nailing mampu meningkatkan gaya penahan pada massa tanah sehingga nilai faktor keamanan telah melampaui batas minimum yang dipersyaratkan yaitu 1,25.

3.3.2 Lereng Kedua

Pada lereng kedua, nilai FK setelah diberikan perkuatan soil nailing meningkat menjadi 1,565 menggunakan metode Fellenius dan 1,684 menggunakan metode Bishop. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perkuatan yang direncanakan efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng. Seluruh nilai faktor keamanan telah memenuhi persyaratan stabilitas sehingga lereng dapat

dikategorikan aman terhadap potensi kelongsoran.

Tabel 7. Faktor Keamanan Setelah Perkuatan Soil Nailing

Lereng	Fellenius	Bishop
1	1.644	1.746
2	1.565	1.684

3.4 Analisis Stabilitas Internal

Tabel 8. Kontrol Terhadap Putus Tulangan pada Lereng Pertama Kondisi Drained dengan Diameter Tulangan Baja 25 mm

Nail	Le (m)	Li (m)	Lapisan	Ka	$\sigma h \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	Fr	Cek
1	10	5.5954	4	0.211358	22.8248371	7.461152	OK
2	9.9788	6.5898	4	0.211358	26.881208	6.335265	OK
3	9.9688	7.5841	4	0.211358	30.9371711	5.504692	OK
4	9.9659	8.5785	4	0.211358	34.993542	4.8666	OK
5	9.0484	8.5801	4	0.211358	35.0000688	4.865693	OK
6	9.0642	9.5757	4	0.211358	39.0613348	4.359799	OK
7	9.0912	10.5712	4	0.211358	43.1221929	3.949233	OK
8	9.1296	11.5668	4	0.211358	47.1834589	3.609307	OK
9	9.1794	12.5623	4	0.211358	51.244317	3.323287	OK
10	9.2406	13.5579	4	0.211358	55.305583	3.079248	OK
11	9.3134	14.5534	4	0.211358	59.366441	2.868617	OK
12	8.5083	15.6359	4	0.211358	63.7821908	2.670018	OK
13	8.6032	16.6294	4	0.211358	67.8348905	2.510501	OK
14	8.7099	17.6228	4	0.211358	71.8871822	2.368984	OK
15	8.8286	18.6163	4	0.211358	75.9398818	2.242558	OK
16	8.9593	18.8251	4	0.211358	76.7916218	2.217684	OK
17	9.1022	18.9263	4	0.211358	77.2044384	2.205826	OK
18	9.2573	18.8274	4	0.211358	76.801004	2.217414	OK
19	9.4249	18.823	4	0.211358	76.7830555	2.217932	OK
20	9.605	18.8216	4	0.211358	76.7773446	2.218097	OK
21	9.7978	18.8174	4	0.211358	76.7602119	2.218592	OK
22	10	19.5851	4	0.211358	79.8918249	2.131627	OK

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai faktor keamanan terhadap tarik tulangan dari Nail ke 1 sampai Nail ke 22, didapatkan Nilai dari masing-masing Nail lebih besar dari nilai minimum yang disyaratkan yaitu 1,8, sehingga dapat disimpulkan bahwa tulangan soil nailing dalam kondisi aman terhadap kegagalan tarik. Dengan demikian, kapasitas tarik tulangan mampu menahan gaya lateral tanah yang bekerja pada sistem perkuatan tersebut.

Tabel 9. Kontrol Terhadap Putus Tulangan pada Lereng Kedua Kondisi Drained dengan Diameter Tulangan Baja 25 mm

Nail	Le (m)	Li (m)	Lapisan	Ka	$\sigma h \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	Fr	Cek
1	11.35	5.1742	4	0.2113583	21.10667193	11.32497	OK
2	11.3052	6.1137	4	0.2113583	24.939094	9.584651	OK
3	11.2664	7.0533	4	0.2113583	28.77192399	8.307839	OK
4	11.2378	7.9928	4	0.2113583	32.60434606	7.331308	OK

5	11.2193	8.9323	4	0.2113583	36.43676813	6.5602	OK
6	11.211	9.8718	4	0.2113583	40.26919021	5.935866	OK
7	10.2673	9.9388	4	0.2113583	40.54249758	5.89585	OK
8	10.2762	10.8796	4	0.2113583	44.38022263	5.386014	OK
9	10.2953	11.8203	4	0.2113583	48.21753976	4.957377	OK
10	10.3247	12.7611	4	0.2113583	52.05526481	4.591899	OK
11	10.3644	13.7018	4	0.2113583	55.89258194	4.276641	OK
12	10.4145	14.6426	4	0.2113583	59.73030699	4.001863	OK
13	10.475	15.5833	4	0.2113583	63.56762411	3.760287	OK
14	10.5459	16.5241	4	0.2113583	67.40534916	3.546195	OK
15	10.6273	17.4648	4	0.2113583	71.24266629	3.355187	OK
16	9.7524	17.9381	4	0.2113583	73.17335854	3.26666	OK
17	9.8505	18.8782	4	0.2113583	77.00822814	3.103986	OK
18	9.9592	19.8183	4	0.2113583	80.84309774	2.956746	OK
19	10.0786	20.7584	4	0.2113583	84.67796734	2.822842	OK
20	10.2088	21.6984	4	0.2113583	88.51242902	2.700553	OK
21	10.3499	22.6385	4	0.2113583	92.34729862	2.588408	OK
22	10.5019	23.5786	4	0.2113583	96.18216822	2.485206	OK
23	10.6649	24.5187	4	0.2113583	100.0170378	2.389918	OK
24	10.8391	25.4588	4	0.2113583	103.8519074	2.301667	OK
25	11.0244	26.399	4	0.2113583	107.6871849	2.219693	OK
26	11.221	27.3392	4	0.2113583	111.5224625	2.143357	OK

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai faktor keamanan terhadap tarik tulangan dari Nail ke 1 sampai Nail ke 26, didapatkan Nilai dari masing-masing Nail lebih besar dari nilai minimum yang disyaratkan yaitu 1,8, sehingga dapat disimpulkan bahwa tulangan soil nailing dalam kondisi aman terhadap kegagalan tarik. Dengan demikian, kapasitas tarik tulangan mampu menahan gaya lateral tanah yang bekerja pada sistem perkuatan tersebut.

Tabel 10. Kontrol Terhadap Cabut Tulangan pada Lereng Pertama Kondisi Drained dengan Diameter Lubang Bor 150 mm

Nail	Le (m)	$\sigma h \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	Lapisan	qu	Fp	CEK
1	10	22.8248371	4	120	20.46487499	OK
2	9.9788	26.881208	4	120	17.33988924	OK
3	9.9688	30.9371711	4	120	15.05147519	OK
4	9.9659	34.993542	4	120	13.30287175	OK
5	9.0484	35.0000688	4	120	12.07590468	OK
6	9.0642	39.0613348	4	120	10.83924875	OK
7	9.0912	43.1221929	4	120	9.84775323	OK
8	9.1296	47.1834589	4	120	9.038133635	OK
9	9.1794	51.244317	4	120	8.367300554	OK
10	9.2406	55.305583	4	120	7.804552019	OK
11	9.3134	59.366441	4	120	7.327975766	OK
12	8.5083	63.7821908	4	120	6.231034345	OK
13	8.6032	67.8348905	4	120	5.924117639	OK
14	8.7099	71.8871822	4	120	5.659505562	OK
15	8.8286	75.9398818	4	120	5.430486099	OK
16	8.9593	76.7916218	4	120	5.449755545	OK
17	9.1022	77.2044384	4	120	5.507073703	OK

Nail	Le (m)	$\sigma_h \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	Lapisan	qu	Fp	CEK
18	9.2573	76.801004	4	120	5.630334837	OK
19	9.4249	76.7830555	4	120	5.733609928	OK
20	9.605	76.7773446	4	120	5.843607858	OK
21	9.7978	76.7602119	4	120	5.96223635	OK
22	10	79.8918249	4	120	5.846748883	OK

Tabel 11. Kontrol Terhadap Cabut Tulangan pada Lereng Kedua Kondisi Drained dengan Diameter Lubang Bor 150 mm

Nail	Le (m)	$\sigma_h \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	Lapisan	qu	Fp	CEK
1	11.35	21.10667193	4	100	20.932044	OK
2	11.3052	24.939094	4	100	17.6454653	OK
3	11.2664	28.77192399	4	100	15.2423454	OK
4	11.2378	32.60434606	4	100	13.4165651	OK
5	11.2193	36.43676813	4	100	11.9856461	OK
6	11.211	40.26919021	4	100	10.8369481	OK
7	10.2673	40.54249758	4	100	9.8578292	OK
8	10.2762	44.38022263	4	100	9.01319171	OK
9	10.2953	48.21753976	4	100	8.31131028	OK
10	10.3247	52.05526481	4	100	7.72055139	OK
11	10.3644	55.89258194	4	100	7.21814381	OK
12	10.4145	59.73030699	4	100	6.78702133	OK
13	10.475	63.56762411	4	100	6.41436381	OK
14	10.5459	67.40534916	4	100	6.0901056	OK
15	10.6273	71.24266629	4	100	5.8065519	OK
16	9.7524	73.17335854	4	100	5.18792936	OK
17	9.8505	77.00822814	4	100	4.97916687	OK
18	9.9592	80.84309774	4	100	4.79531393	OK
19	10.0786	84.67796734	4	100	4.63303223	OK
20	10.2088	88.51242902	4	100	4.48958267	OK
21	10.3499	92.34729862	4	100	4.36262109	OK
22	10.5019	96.18216822	4	100	4.25019496	OK
23	10.6649	100.0170378	4	100	4.15067125	OK
24	10.8391	103.8519074	4	100	4.06269559	OK
25	11.0244	107.6871849	4	100	3.98498302	OK
26	11.221	111.5224625	4	100	3.91655968	OK

3.5 Analisis Pengaruh Beban Gempa

Analisis pengaruh gempa dilakukan menggunakan nilai PGA sebesar 0,4714 sehingga diperoleh koefisien gempa horizontal (k_h) sebesar 0,2357. Pengaruh beban gempa menyebabkan penurunan nilai faktor keamanan karena adanya tambahan gaya horizontal yang bekerja pada massa tanah. Namun demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa lereng yang telah diperkuat masih mampu mempertahankan kondisi stabil.

Pada lereng pertama diperoleh nilai FK sebesar 1,137 menggunakan metode Fellenius dan 1,269 menggunakan metode Bishop. Sedangkan pada lereng kedua diperoleh nilai FK sebesar 1,196 menggunakan metode Fellenius dan 1,269 menggunakan metode Bishop.

Seluruh nilai faktor keamanan tersebut masih lebih besar dari nilai minimum yang dipersyaratkan untuk kondisi gempa yaitu sebesar 1,1. Oleh karena itu, lereng yang telah diperkuat dengan soil nailing masih memenuhi kriteria stabilitas pada kondisi dinamis.

Tabel 12. Faktor Keamanan Setelah Perkuatan dan Pengaruh Gempa

Lereng	Fellenius	Bishop
1	1,137	1,269
2	1,196	1,269

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng galian pada kawasan Perumahan Kharisma Koka, Minahasa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai faktor keamanan lereng sebelum diberi perkuatan menunjukkan bahwa kedua lereng berada dalam kondisi tidak stabil dan berpotensi mengalami kelongsoran. Pada Lereng Pertama diperoleh faktor keamanan metode Fellenius sebesar 0,483 untuk kondisi undrained dan 0,290 untuk kondisi drained, sedangkan metode Bishop menghasilkan faktor keamanan sebesar 0,491 untuk kondisi undrained dan 0,302 untuk kondisi drained. Pada Lereng Kedua diperoleh faktor keamanan metode Fellenius sebesar 0,539 untuk kondisi undrained dan 0,253 untuk kondisi drained, sedangkan metode Bishop menghasilkan faktor keamanan sebesar 0,626 untuk kondisi undrained dan 0,271 untuk kondisi drained. Seluruh nilai faktor keamanan tersebut berada di bawah nilai minimum yang disyaratkan SNI 8460:2017 yaitu sebesar 1,25 sehingga kedua lereng dinyatakan tidak stabil.
2. Pemberian perkuatan soil nailing terbukti mampu meningkatkan kestabilan lereng secara signifikan sehingga memenuhi persyaratan keamanan yang ditetapkan. Pada Lereng Pertama kondisi drained, hasil analisis menggunakan software Slide menunjukkan faktor keamanan sebesar 1,644 dengan metode Fellenius dan 1,746 dengan metode Bishop. Pada Lereng Kedua kondisi drained, hasil analisis menunjukkan faktor keamanan sebesar 1,565 dengan metode Fellenius dan 1,684 dengan metode Bishop. Nilai faktor keamanan pada kedua lereng setelah diberi perkuatan telah melampaui nilai minimum yang dipersyaratkan SNI 8460:2017 sebesar 1,25. Dengan demikian, penggunaan soil nailing efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng dan mengurangi potensi terjadinya longsor pada kawasan Perumahan Kharisma Koka, Minahasa.
3. Perkuatan soil nailing tetap mampu mempertahankan kestabilan lereng akibat pengaruh beban gempa. Pada Lereng Pertama kondisi drained dengan pengaruh beban gempa diperoleh faktor keamanan sebesar 1,204 menggunakan metode Fellenius dan 1,269 menggunakan metode Bishop. Pada Lereng Kedua kondisi drained dengan pengaruh beban gempa diperoleh faktor keamanan sebesar 1,137 menggunakan metode Fellenius dan 1,192 menggunakan metode Bishop. Seluruh nilai faktor keamanan tersebut masih lebih besar dari nilai minimum yang dipersyaratkan SNI 8460:2017 untuk kondisi gempa yaitu 1,1, sehingga kedua lereng tetap berada dalam kondisi stabil. Dengan demikian, perkuatan soil nailing yang direncanakan mampu meningkatkan kestabilan lereng baik pada kondisi statis maupun saat menerima pengaruh beban gempa.

Referensi

- Adisulung, N., Legrans, R. I., Sarajar, A. N. (2025). Studi Kestabilan Tanggul Pengaman Danau Tondano dengan Perkuatan Geosintetik. *TEKNO*, 23(91), 53-60.
- Achmad, G. F., & Kawanda, A. (2022). Perancangan Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Metode Bishop, Fellenius, Janbu dan Program GEO5. *Prosiding Seminar Intelektual Muda (Vol. 4 No. 1 Tahun 2022)*, 4, 185-190
- Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1985). *Principles of Geotechnical Engineering*. Boston: PWS Publishing.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Pudihang, E. E., Mandagi, A. T., & Ticoh, J. H. (2024). Analisis Stabilitas dan Perkuatan Lereng dengan Metode *Ground Anchor* (Studi Kasus : Ruas Jalan Trans Sulawesi, Desa Lelema, Kecamatan Tumpa, Kabupaten Minahasa Selatan). *TEKNO (Vol. 22, No. 88, Tahun 2024)*, 22, 780-790.
- Sihotang, J. T., Rondonuwu, S. G., & Sarajar, A. N. (2023). Pengaruh beban gempa terhadap kestabilan lereng menggunakan perkuatan soil nailing (Studi kasus: Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III). *Tekno*, 21(84). Universitas Sam Ratulangi, Manado.

- Sumampouw, A. N., Legrans, R. R., & Sarajar, A. N. (2024). Stabilisasi Lereng Galian dengan Perkuatan Shotcrete Pada Pengalihan Sungai Araren di Kabupaten Minahasa Utara. *TEKNO* (Vol. 22, No. 90, Tahun 2024), 22, 1920-1929.
- Sutikno. (1991). *Geomorfologi*. Yogyakarta: Penerbit Ombak.
- Takwin, G. A., Turangan, A. E., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis kestabilan lereng metode Morgenstern-Price (Studi kasus: Diamond Hill Citraland). *TEKNO*, 15(67), 66–76. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Tampatty, E. E. (2025). *Analisis Kestabilan Lereng Galian pada Proyek Peningkatan Jalan Moaat–Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur STA 1+100*. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.