



**Analisis Stabilitas dan Perkuatan Lereng dengan Metode *Ground Anchor*
(Studi Kasus : Ruas Jalan Trans Sulawesi, Desa Lelema, Kecamatan Tumpaan,
Kabupaten Minahasa Selatan)**

Agnes T. Mandagi^{#a}, Jack H. Ticoh^{#b}, Elisa E. P. Pudihang^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aatmandagi@gmail.com; ^bjack.ticoh@unsrat.ac.id; ^cekapudihang9046@gmail.com

Abstrak

Indonesia sebagai negara yang memiliki kondisi topografi berbukit dan dijadikan kawasan pemukiman, memiliki ancaman serius bagi penghuni dan alam sekitarnya ketika terjadi pergerakan tanah yang disebut longsor, pada saat musim penghujan. Lereng dengan kemiringan tertentu, yang memiliki nilai faktor keamanan $< 1,25$ harus sesegera mungkin ditangani untuk mencegah terjadinya pergeseran tanah ketika terjadi gempa atau pada saat musim penghujan. Salah satu bencana Tanah Longsor yang pernah terjadi di tahun 2018 di ruas jalan Trans Sulawesi, tepatnya di desa Lelema kecamatan Tumpaan Kabupaten Minahasa Selatan telah dilakukan penanganan di awal tahun 2019 dengan membangun dinding penahan tanah setinggi 2 meter, dimana lereng bagian atas dari dinding penahan tanah cukup tinggi dengan kemiringan lereng yang cukup curam tanpa adanya perkuatan. Berdasarkan analisis faktor keamanan (FK) terhadap lereng eksisting, secara manual dengan metode Felenius (FK = 1,17) dan metode Bishop (FK = 1,21) ataupun dengan menggunakan aplikasi software slide dengan metode Felenius (FK = 1,17) dan Metode Bishop (FK = 1,22). Nilai FK tersebut berada dibawah nilai yang disyaratkan yakni 1,25 karena itu perlu dilakukan perkuatan. Dengan menggunakan aplikasi *software slide* dilakukan perkuatan lereng dengan metode *ground anchor* dan diperoleh nilai FK diatas nilai yang disyaratkan (1,25), yakni FK = 2.044 untuk metode Felenius dan FK = 2.130 untuk metode Bishop. Angka faktor keamanan tersebut menunjukkan bahwa perkuatan *ground anchor* dapat menstabilkan lereng.

Kata kunci: stabilitas lereng, ground anchor, software Slide

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara dengan kondisi topografi yang beragam dengan pemanfaatan daerah dataran tinggi atau daerah perbukitan untuk dijadikan kawasan pemukiman serta pembangunan berbagai sarana prasarana publik seperti pembangunan jalan dan lain sebagainya. Pembangunan berbagai infrastruktur pada daerah dataran tinggi menjadi penyebab terbentuknya lereng. Bencana tanah longsor merupakan bencana yang sering terjadi pada daerah lereng yang dapat membawa dampak yang serius bagi alam dan lingkungan sekitar. Bencana longsor dapat mengakibatkan kerugian serta menimbulkan korban jiwa.

Salah satu bencana tanah longsor yang pernah terjadi di tahun 2018 di ruas jalan Trans Sulawesi, tepatnya di Desa Lelema, Kecamatan Tumpaan, Kabupaten Minahasa Selatan yang berdampak buruk bagi lingkungan sekitar dengan terjadinya kemacetan yang merugikan pengguna jalan serta masyarakat sekitar. Di awal tahun 2019, dilakukan penanganan pasca longsor dengan membangun dinding penahan tanah setinggi 2 meter, dimana lereng bagian atas dari dinding penahan tanah cukup tinggi dengan kemiringan lereng yang curam tanpa adanya perkuatan. Kondisi tersebut tentu sangat mengkhawatirkan karena dapat berpotensi terjadi

kelongsoran kembali pada musim hujan.

Sebagai pencegahan agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan, maka perlu dilakukan analisis stabilitas lereng pada lokasi tersebut untuk mendapatkan nilai faktor keamanan serta melakukan upaya perkuatan pada lereng tersebut. Ada beberapa metode perkuatan tanah yang dapat digunakan dalam pencegahan kelongsoran, salah satunya dengan menggunakan metode *Ground Anchor*. Metode ini dikembangkan di Eropa sekitar 20 tahun yang lampau. Konsep dasar ankur adalah untuk meningkatkan kuat geser tanah pada bidang longsor dengan komponen gaya geser dan gaya normal sehingga menahan pergerakan tanah (kelongsoran).

Berdasarkan pemikiran tersebut di atas, penelitian ini akan membahas analisis kestabilan lereng serta upaya perkuatan lereng dengan metode *Ground Anchor* pada ruas Jalan Trans Sulawesi, khususnya di Desa Lelema, Kabupaten Minahasa Selatan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka diambil rumusan masalah untuk penelitian ini yaitu:

- 1) Bagaimana nilai faktor keamanan lereng eksisting?
- 2) Bagaimana nilai faktor keamanan lereng setelah diberi perkuatan *Ground Anchor*?
- 3) Bagaimana pengaruh variasi kemiringan ankur pada nilai faktor keamanan lereng?

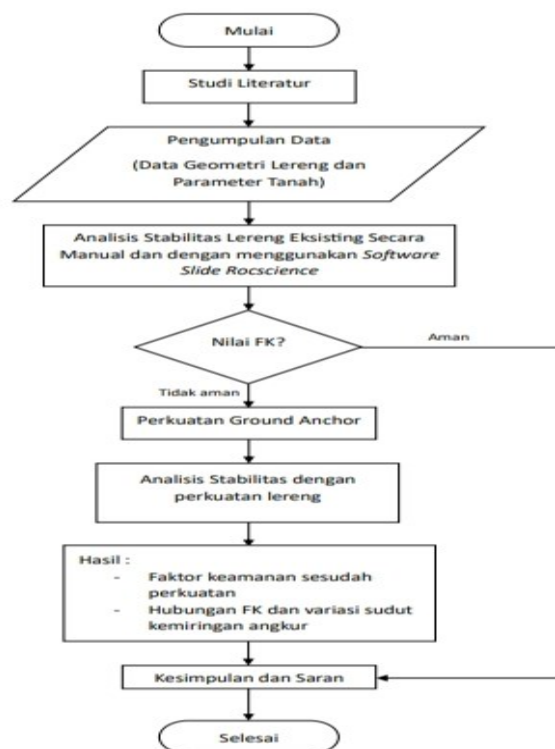
1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

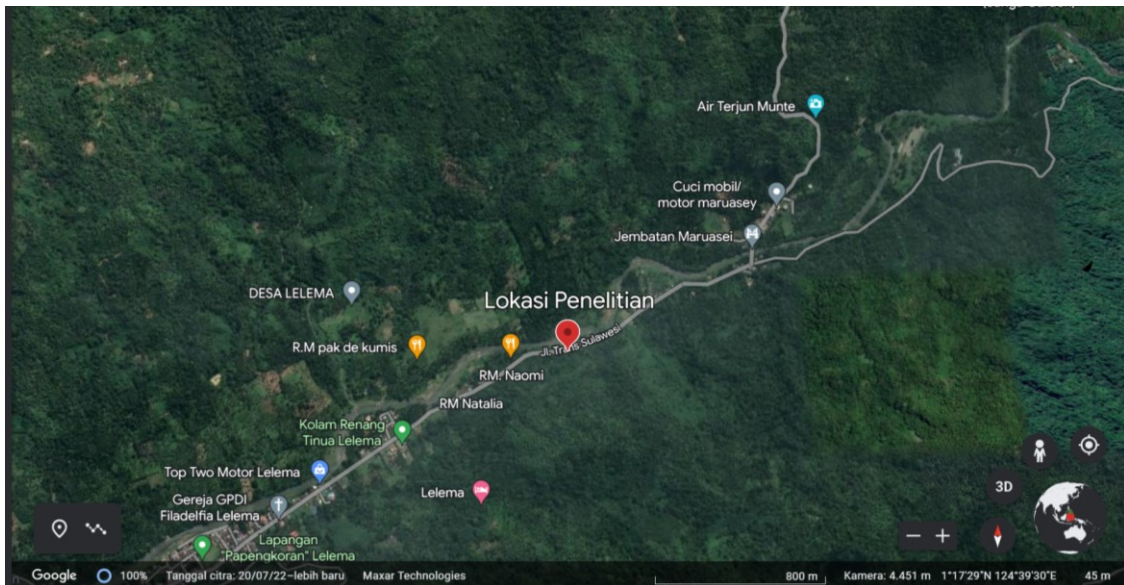
- 1) Mengetahui nilai faktor keamanan lereng eksisting dengan perhitungan secara manual dan menggunakan *software slide*.
- 2) Mengetahui nilai faktor keamanan lereng dengan perkuatan *Ground Anchor*.
- 3) Mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan ankur terhadap nilai faktor keamanan.

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan mengikuti diagram alir penelitian pada gambar 1. Lokasi penelitian berada di ruas Jalan Trans Sulawesi, Desa Lelema, Kecamatan Tumpaan, Kabupaten Minahasa Selatan pada koordinat $1^{\circ}17'29''$ LU dan $124^{\circ}39'30''$ BT.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



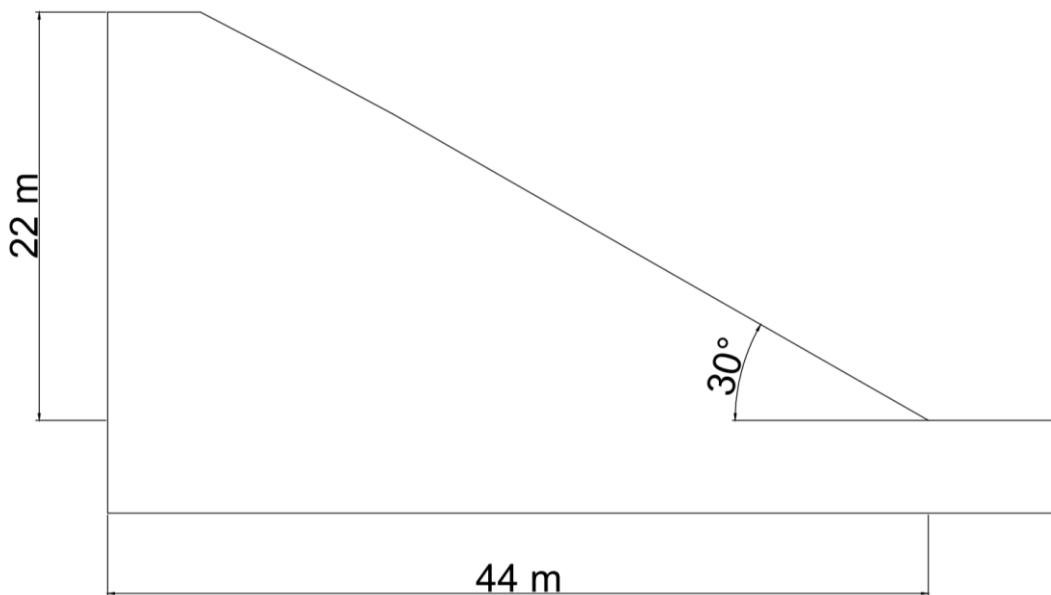
Gambar 2. Lokasi Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder dimana data parameter tanah yang digunakan didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Imbar (2019) "Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing menggunakan program Slope/W dan Geosturctural". Data geometrik lereng diperoleh dengan bantuan *software global mapper* dan *google earth pro*. Berikut merupakan data parameter tanah dan geometri lereng yang digunakan dalam penelitian ini.

Berat isi tanah (γ)	: 16.09 kN/m ²
Kohesi (c)	: 35.81 kPa
Sudut geser dalam (ϕ)	: 9.61°
Tinggi lereng	: 22 m
Kemiringan lereng	: 30°



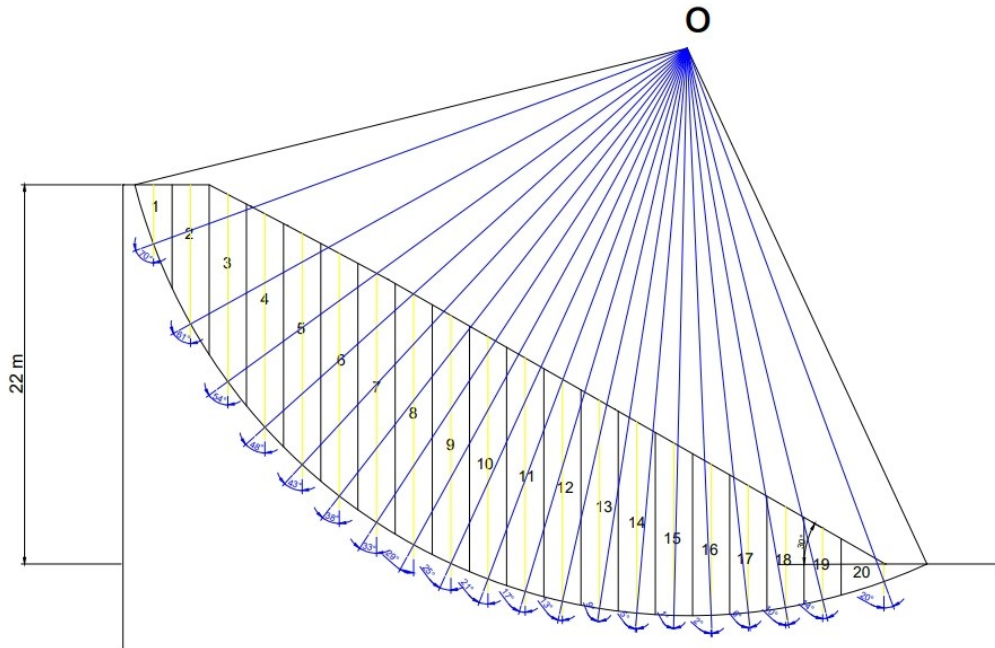
Gambar 3. Pemodelan Lereng Pada AutoCad

3.2. Analisis Stabilitas Lereng Secara Manual

Dengan menggunakan data-data yang ada di atas dilakukan perhitungan manual untuk

faktor keamanan lereng eksisting menggunakan dua metode yaitu metode Fellenius dan metode Bishop.

Metode Fellenius



Gambar 4. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius
(Sumber: Pemodelan dari AutoCad)

Tabel 1. Perhitungan Tiap Irisan dengan Metode Fellenius

Irisan	c	ϕ	Luas (m ²)	W _i kN/m	θ_i (°)	Sin θ_i	Cos θ_i
No							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	35.81	9.61	7.10	114.2235	70	0.9397	0.3420
2	35.81	9.61	17.29	278.1287	61	0.8746	0.4848
3	35.81	9.61	23.33	375.3844	54	0.8090	0.5878
4	35.81	9.61	26.62	428.3877	48	0.7431	0.6691
5	35.81	9.61	28.86	464.4102	43	0.6820	0.7314
6	35.81	9.61	30.30	487.519	38	0.6157	0.7880
7	35.81	9.61	31.12	500.6587	33	0.5446	0.8387
8	35.81	9.61	31.30	503.653	29	0.4848	0.8746
9	35.81	9.61	30.98	498.5278	25	0.4226	0.9063
10	35.81	9.61	30.26	486.9135	21	0.3584	0.9336
11	35.81	9.61	29.17	469.362	17	0.2924	0.9563
12	35.81	9.61	27.74	446.2747	13	0.2250	0.9744
13	35.81	9.61	25.98	417.9399	9	0.1564	0.9877
14	35.81	9.61	23.90	384.5595	5	0.0872	0.9962
15	35.81	9.61	21.52	346.2564	1	0.0175	0.9998
16	35.81	9.61	18.84	303.0857	-2	-0.0349	0.9994
17	35.81	9.61	15.85	255.0424	-6	-0.1045	0.9945

18	35.81	9.61	12.56	202.0582	-10	-0.1736	0.9848
19	35.81	9.61	8.93	143.7324	-14	-0.2419	0.9703
20	35.81	9.61	6.74	108.432	-20	-0.3420	0.9397

a_i	$c.a_i$	$\tan \phi$	$W_i \cdot \cos \theta_i$	$W_i \cdot \sin \theta_i$	$c.a_i + W_i \cdot \cos \theta_i \cdot \tan \phi$	
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
6.3722	228.1871	0.1693	39.0667	107.3350	234.8017	
4.4306	158.6591	0.1693	134.8394	243.2568	181.4897	
3.6582	130.9997	0.1693	220.6454	303.6924	168.3587	
3.2186	115.2573	0.1693	286.6473	318.3541	163.7916	
3.1687	113.4729	0.1693	339.6481	316.7270	170.9811	
2.7263	97.6289	0.1693	384.1702	300.1467	162.6754	
2.5753	92.2198	0.1693	419.8878	272.6783	163.3139	
2.4603	88.1041	0.1693	440.5048	244.1758	162.6890	
2.3716	84.9270	0.1693	451.8196	210.6869	161.4276	
2.3029	82.4662	0.1693	454.5729	174.4942	159.4331	
2.2501	80.5767	0.1693	448.8531	137.2282	156.5751	
2.2106	79.1612	0.1693	434.8367	100.3900	152.7863	
2.1825	78.1543	0.1693	412.7944	65.3802	148.0474	
2.1646	77.5134	0.1693	383.0962	33.5166	142.3780	
2.1562	77.2124	0.1693	346.2036	6.0430	135.8305	
2.1569	77.2398	0.1693	302.9011	-10.5775	128.5261	
2.1669	77.5966	0.1693	253.6453	-26.6592	120.5430	
2.1865	78.2968	0.1693	198.9885	-35.0870	111.9889	
2.2112	79.1829	0.1693	139.4629	-34.7720	102.7964	
5.3014	189.8433	0.1693	101.8927	-37.0859	207.0954	
Jumlah (Σ)				2689.9234	3135.5289	

ini. Nilai faktor keamanan metode Fellenius dihitung dengan menggunakan rumus di bawah

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_1 + N_i \tan \phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad \dots(1)$$

$$FK = \frac{\Sigma(14)}{\Sigma(13)} = 1.17 \leq 1.25$$

Metode Bishop

Nilai faktor keamanan metode Bishop dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini.

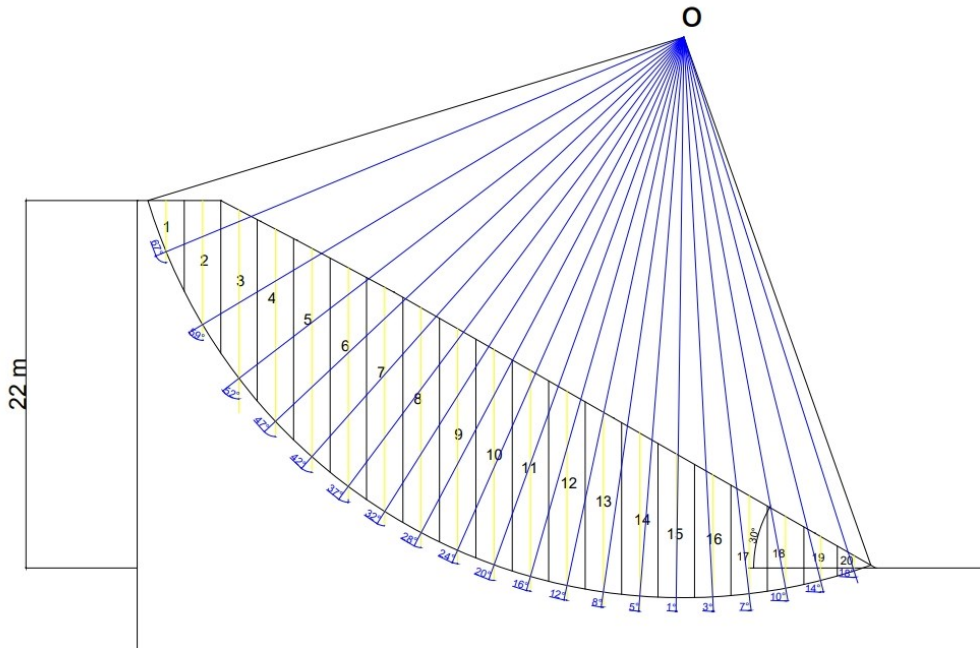
$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi] \left(\frac{1}{\cos \theta_i \left(1 + \tan \theta_i \frac{\tan \phi}{F} \right)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad \dots(2)$$

$$\text{Dimana, } M_i = \cos \theta_i \left(1 + \tan \theta_i \frac{\tan \phi}{F} \right) \quad \dots(3)$$

$$FK = \frac{2989.30}{2468.54}$$

$$FK = 1.21 \leq 1.25$$

Dari hasil analisis, didapatkan nilai faktor keamanan lereng yang lebih kecil dari 1.25 yakni sebesar 1.17 dengan metode Fellenius dan 1.21 dengan metode Bishop.



Gambar 5. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop
(Sumber: Pemodelan dari AutoCad)

Tabel 2. Perhitungan Tiap Irisan dengan Metode Bishop

Irisan	c	ϕ	Luas	W	θ_i	Sin θ_i	Cos θ_i
No			(m ²)	kN/m	(°)		
1	35.81	9.61	6.42	103.3611	67	0.9205	0.3907
2	35.81	9.61	16.07	258.6245	59	0.8572	0.5150
3	35.81	9.61	21.90	352.3701	52	0.7880	0.6157
4	35.81	9.61	25.04	402.9024	47	0.7314	0.6820
5	35.81	9.61	27.16	437.0135	42	0.6691	0.7431
6	35.81	9.61	28.49	458.4798	37	0.6018	0.7986
7	35.81	9.61	29.21	470.055	32	0.5299	0.8480
8	35.81	9.61	29.30	471.3947	28	0.4695	0.8829
9	35.81	9.61	28.88	464.7027	24	0.4067	0.9135
10	35.81	9.61	28.06	451.4819	20	0.3420	0.9397
11	35.81	9.61	26.87	432.2639	16	0.2756	0.9613
12	35.81	9.61	25.32	407.4345	12	0.2079	0.9781
13	35.81	9.61	23.45	377.269	8	0.1392	0.9903
14	35.81	9.61	21.25	341.9574	5	0.0872	0.9962
15	35.81	9.61	18.75	301.6091	1	0.0175	0.9998
16	35.81	9.61	15.93	256.2667	-3	-0.0523	0.9986
17	35.81	9.61	12.80	205.9098	-7	-0.1219	0.9925
18	35.81	9.61	9.35	150.4521	-10	-0.1736	0.9848
19	35.81	9.61	5.27	84.7540	-14	-0.2419	0.9703
20	35.81	9.61	1.83	29.4043	-18	-0.3090	0.9511

B_i	$\tan \phi$	$W_i \cdot \sin \theta_i$	$W_i \cdot \tan \phi$	$c \cdot B_i$	M_i	$(c \cdot B_i + W_i \cdot \tan \phi) \cdot 1 / M_i$
(m)						
2.18	0.1693	95.1444	17.5008	78.0658	0.5466	174.8420
2.18	0.1693	221.6845	43.7895	78.0658	0.6602	184.5814
2.18	0.1693	277.6714	59.6622	78.0658	0.7491	183.8617
2.18	0.1693	294.6642	68.2182	78.0658	0.8058	181.5323
2.18	0.1693	292.4191	73.9938	78.0658	0.8564	177.5484
2.18	0.1693	275.9200	77.6284	78.0658	0.9005	172.8911
2.18	0.1693	249.0912	79.5882	78.0658	0.9378	168.1155
2.18	0.1693	221.3064	79.8151	78.0658	0.9624	164.0428
2.18	0.1693	189.0116	78.6820	78.0658	0.9824	159.5539
2.18	0.1693	154.4159	76.4435	78.0658	0.9976	154.8806
2.18	0.1693	119.1481	73.1896	78.0658	1.0079	150.0651
2.18	0.1693	84.7104	68.9855	78.0658	1.0134	145.1140
2.18	0.1693	52.5057	63.8780	78.0658	1.0138	140.0072
2.18	0.1693	29.8036	57.8992	78.0658	1.0110	134.4921
2.18	0.1693	5.2638	51.0675	78.0658	1.0028	128.7724
2.18	0.1693	-13.4120	43.3903	78.0658	0.9898	122.7116
2.18	0.1693	-25.0941	34.8640	78.0658	0.9719	116.1935
2.18	0.1693	-26.1257	25.4741	78.0658	0.9554	108.3726
2	0.1693	-20.5039	14.3503	71.62	0.9293	92.5074
2	0.1693	-9.0864	4.9786	71.62	0.8987	85.2294

Perhitungan faktor keamanan dengan metode bishop dilakukan dengan cara coba-coba untuk mendapatkan nilai faktor keamanan yang sama pada kedua sisi. Pada *trial* yang ketiga didapatkan nilai faktor keamanan yang sama pada kedua sisi.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan dengan Metode Bishop

Trial 3								
FK	Irisan	c	ϕ	Luas	W_i	θ_i	Sin θ_i	Cos θ_i
Ruas kiri	No			(m ²)	kN/m	(°)		
1.21	1	35.81	9.61	6.42	103.3611	67	0.9205	0.3907
	2	35.81	9.61	16.07	258.6245	59	0.8572	0.5150
	3	35.81	9.61	21.90	352.3701	52	0.7880	0.6157
	4	35.81	9.61	25.04	402.9024	47	0.7314	0.6820
	5	35.81	9.61	27.16	437.0135	42	0.6691	0.7431
	6	35.81	9.61	28.49	458.4798	37	0.6018	0.7986
	7	35.81	9.61	29.21	470.055	32	0.5299	0.8480
	8	35.81	9.61	29.30	471.3947	28	0.4695	0.8829
	9	35.81	9.61	28.88	464.7027	24	0.4067	0.9135
	10	35.81	9.61	28.06	451.4819	20	0.3420	0.9397
	11	35.81	9.61	26.87	432.2639	16	0.2756	0.9613
	12	35.81	9.61	25.32	407.4345	12	0.2079	0.9781
	13	35.81	9.61	23.45	377.269	8	0.1392	0.9903
	14	35.81	9.61	21.25	341.9574	5	0.0872	0.9962

15	35.81	9.61	18.75	301.6091	1	0.0175	0.9998
16	35.81	9.61	15.93	256.2667	-3	-0.0523	0.9986
17	35.81	9.61	12.80	205.9098	-7	-0.1219	0.9925
18	35.81	9.61	9.35	150.4521	-10	-0.1736	0.9848
19	35.81	9.61	5.27	84.7540	-14	-0.2419	0.9703
20	35.81	9.61	1.83	29.4043	-18	-0.3090	0.9511
Jumlah (Σ)							

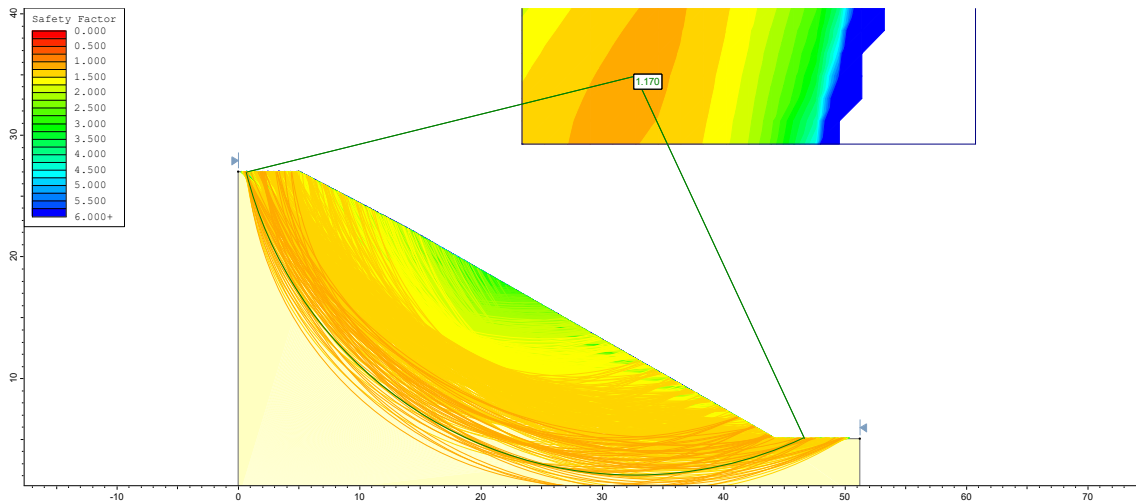
B _i (m)	tan ϕ	W _i . Sin θ _i	W _i . Tan ϕ	c.B _i	FK	M _i	(c.B _i + W _i .tan ϕ)*1/M _i
					Ruas kanan		
2.18	0.1693	95.1444	17.5008	78.0658	1.21	0.5195	183.9451
2.18	0.1693	221.6845	43.7895	78.0658	1.21	0.6350	191.9034
2.18	0.1693	277.6714	59.6622	78.0658	1.21	0.7259	189.7266
2.18	0.1693	294.6642	68.2182	78.0658	1.21	0.7843	186.5064
2.18	0.1693	292.4191	73.9938	78.0658	1.21	0.8368	181.7205
2.18	0.1693	275.9200	77.6284	78.0658	1.21	0.8828	176.3544
2.18	0.1693	249.0912	79.5882	78.0658	1.21	0.9222	170.9542
2.18	0.1693	221.3064	79.8151	78.0658	1.21	0.9486	166.4284
2.18	0.1693	189.0116	78.6820	78.0658	1.21	0.9705	161.5190
2.18	0.1693	154.4159	76.4435	78.0658	1.21	0.9876	156.4569
2.18	0.1693	119.1481	73.1896	78.0658	1.21	0.9998	151.2808
2.18	0.1693	84.7104	68.9855	78.0658	1.21	1.0072	145.9942
2.18	0.1693	52.5057	63.8780	78.0658	1.21	1.0097	140.5742
2.18	0.1693	29.8036	57.8992	78.0658	1.21	1.0084	134.8336
2.18	0.1693	5.2638	51.0675	78.0658	1.21	1.0023	128.8383
2.18	0.1693	-13.4120	43.3903	78.0658	1.21	0.9913	122.5213
2.18	0.1693	-25.0941	34.8640	78.0658	1.21	0.9755	115.7669
2.18	0.1693	-26.1257	25.4741	78.0658	1.21	0.9605	107.7969
2	0.1693	-20.5039	14.3503	71.62	1.21	0.9364	91.8051
2	0.1693	-9.0864	4.9786	71.62	1.21	0.9078	84.3769
		2468.5382					2989.3030

3.3. Analisis Stabilitas Lereng dengan Software Slide

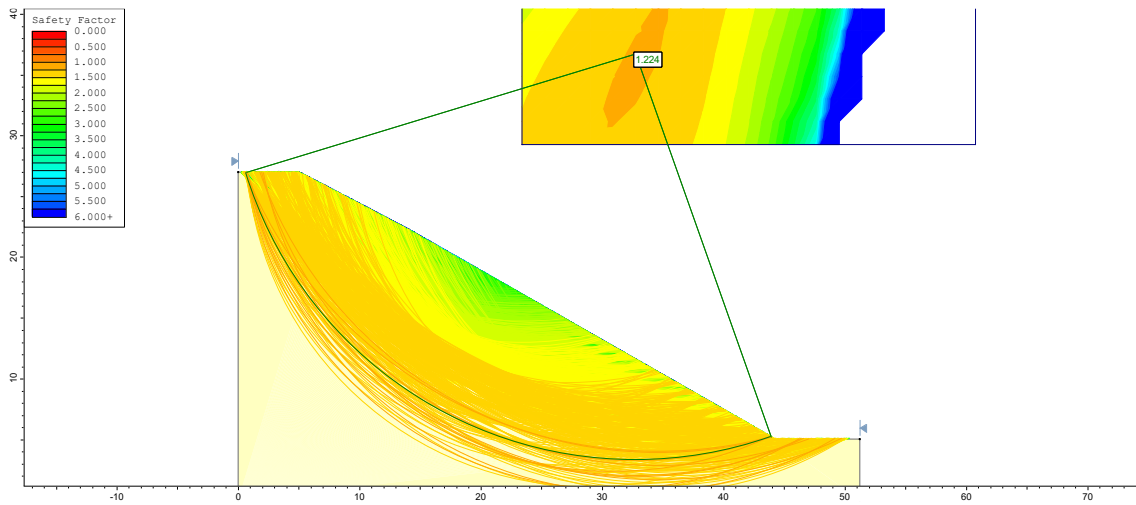
Dari hasil analisis yang dilakukan pada *software slide*, didapatkan nilai faktor keamanan lereng dengan metode Fellenius sebesar 1.17 dan sebesar 1.22 dengan metode Bishop, Dimana faktor keamanan ini lebih kecil dari 1.25 yang berarti lereng dalam keadaan kritis dan perlu diberi perkuatan.

3.4. Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Ground Anchor Pada Software Slide

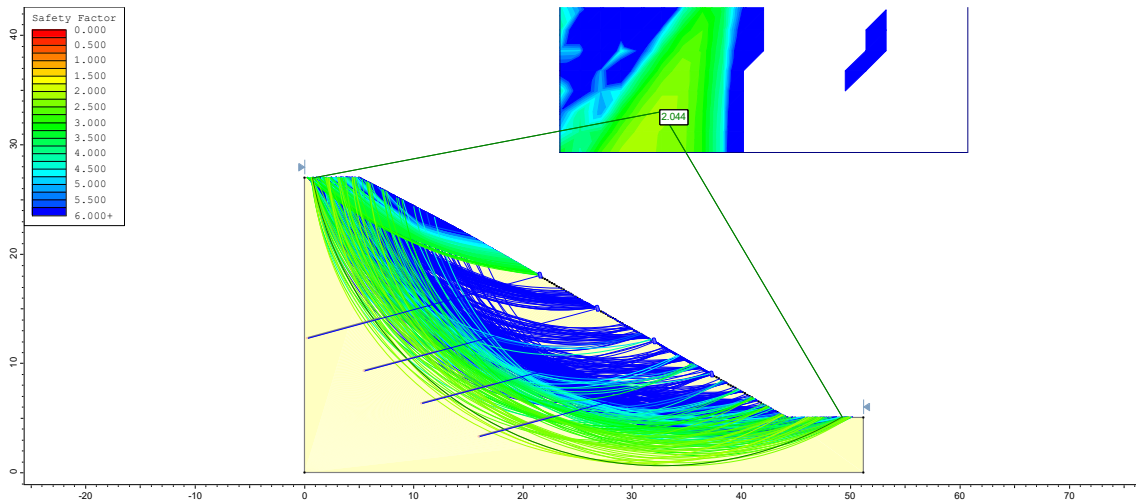
Pada penelitian ini diasumsikan perkuatan lereng dengan 4 buah *ground anchor* dengan kemiringan 15°, dimana jarak vertikal antar angkur 3 m, panjang tak terikat (*unbonded length*) 15 m dan panjang terikat (*bonded length*) 7 m.



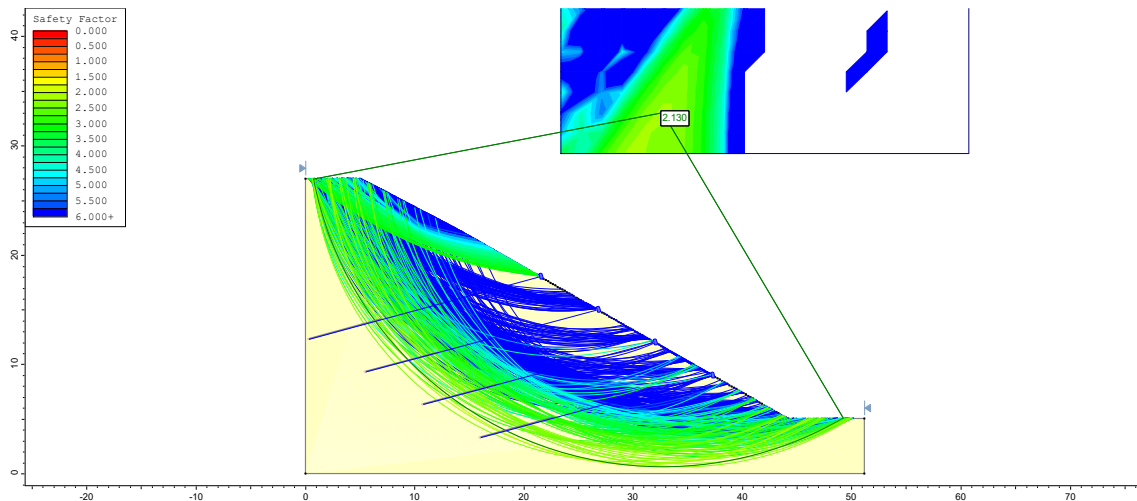
Gambar 6. Hasil Analisis Metode Fellenius



Gambar 7. Hasil Analisis Metode Bishop



Gambar 8. Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan (Metode Fellenius)

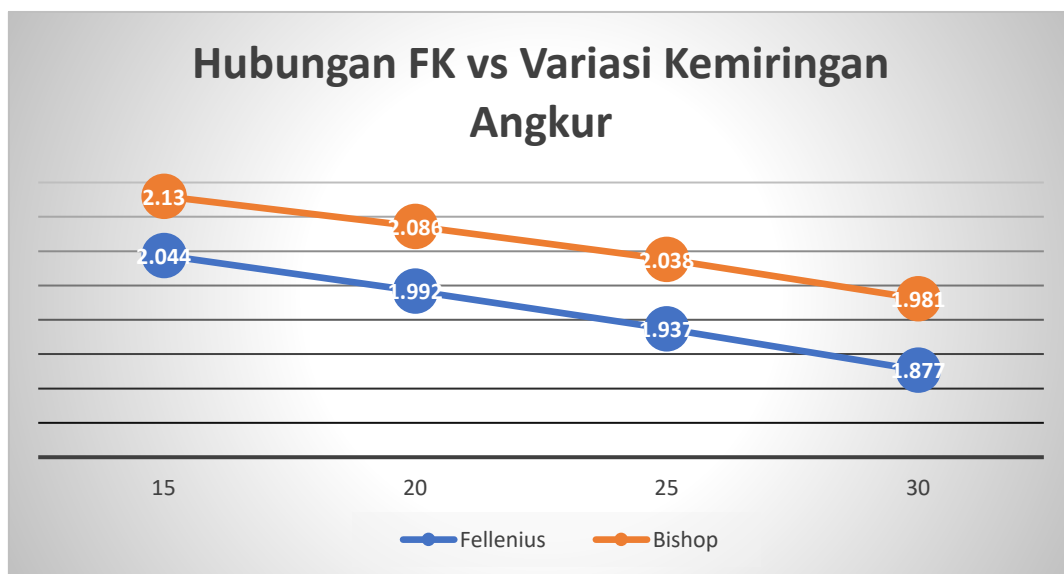


Gambar 9. Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan (Metode Bishop)

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *ground anchor* pada *software slide* di dapatkan nilai faktor keamanan sebesar 2.044 untuk metode fellenius dan 2.130 untuk metode bishop, yang berarti lebih besar dari faktor keamanan yang direkomendasikan yaitu 1.25, ini berarti lereng dalam keadaan stabil setelah diberi perkuatan. Pada penelitian ini juga dilakukan analisis variasi sudut kemiringan lereng terhadap nilai faktor keamanan yang ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Nilai Faktor Keamanan terhadap Variasi Sudut Kemiringan

No	Sudut Kemiringan	Faktor Keamanan	
		Metode Fellenius	Metode Bishop
1	15	2.044	2.130
2	20	1.992	2.086
3	25	1.937	2.038
4	30	1.877	1.981



Gambar 10. Grafik Hubungan Variasi Kemiringan Anchor terhadap FK

Berdasarkan hasil analisis yang ditampilkan pada tabel dan grafik di atas didapati nilai faktor keamanan terbesar yaitu pada kemiringan *anchor* 15° dan nilai faktor keamanan terkecil yaitu pada variasi kemiringan *anchor* 30°, ini berarti semakin kecil sudut kemiringan angkur maka nilai faktor keamanan yang di hasilkan semakin besar.

4. Kesimpulan

- 1) Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng eksisting menggunakan perhitungan manual (Excel) didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.17 untuk metode Fellenius dan metode Bishop sebesar 1.21, serta perhitungan analisis stabilitas lereng yang dilakukan dengan bantuan *software slide* di dapat nilai faktor keamanan lereng sebesar 1.17 dengan metode Fellenius dan 1.22 dengan metode Bishop. Dimana lebih kecil dari faktor keamanan yang direkomendasikan yaitu 1.25, ini berarti lereng dalam keadaan kritis dan perlu diberi perkuatan.
- 2) Hasil analisis stabilitas lereng setelah diberikan perkuatan 4 buah *ground anchor* dengan sudut kemiringan *anchor* 15°, *bonded length* 7 m dan *unbonded length* 15 m, diperoleh nilai faktor keamanan yang lebih besar dari 1.25, yaitu 2.044 dan 2.130 dengan menggunakan metode Fellenius dan Bishop. Ini menunjukkan bahwa lereng dalam keadaan stabil, sehingga perkuatan *ground anchor* yang diasumsikan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk menstabilkan lereng.
- 3) Dari hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *ground anchor* dengan variasi kemiringan 15°, 20°, 25° dan 30° dapat disimpulkan bahwa kemiringan angkur memiliki pengaruh terhadap nilai faktor keamanan. Semakin kecil sudut angkur yang digunakan maka nilai faktor keamanannya semakin besar. Nilai faktor keamanan terbesar ada pada variasi kemiringan angkur 15° yaitu 2.044 untuk perhitungan metode Fellenius dan 2.130 untuk perhitungan metode Bishop.

Referensi

- Dani, H., Ticoth, J. H., & Legrans, R. R. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Menggunakan Software Slide 6.0 (Studi Kasus: Area TPA, IPLT Sawangan Airmadidi)*. TEKNO, 19(78).
- Das. Braja M. (1998). *Mekanika Tanah – Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 2*. Jakarta: Erlangga, .
- Dogomo, Y., Manoppo, F. J., & Manaroinsong, L. D. (2018). *Analisis Kestabilan Lereng Batu kapur (Studi Kasus: Bangunan Hotel Tasangkapura di Kota Jayapura)*. Jurnal Sipil Statik, 6(8).
- Eveny, O. N. (2014). *Perbandingan Metode Bishop, Janbu Dan Spencer Dalam Perhitungan Stabilitas Lereng Pada Batuan Tuff*. Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”. Yogyakarta.
- FHWA (1999). *Geotechnical Engineering Circular No. 4 Ground Anchors and Anchored System*, Washington DC: FHWA.
- Han, J. (2015). *Principles and Practice of Ground Improvement*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Imbar, E. R., Mandagi, A. T., & Rondonuwu, S. G. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Slope/W Dan Geostructural*. TEKNO, 17(72).
- Labunga, O. W., Mandagi, A. T., & Sarajar, A. N. (2024). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Modified Dan Simplified Menggunakan PLAXIS (Studi Kasus: Rusunawa Tingkulu)*. TEKNO, 22(87), 201-210
- Mandagi, A. T., Legrans, R. R., & Bujung, A. B. (2023). *Studi Perencanaan Perkuatan Lereng Metode Grouted Tieback Terhadap Kestabilan Lereng Pada Jl. Manado-Tomohon Km 15*. TEKNO, 21(85), 1747-1755.
- Mandagi, A. T., Sarajar, A. N., & Soebarkah, B. B. (2023). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Terhadap Lokasi Pembangunan RSUD Manado*. TEKNO, 21(83), 421-427.
- Nggebu, Y. Y., Ticoth, J. H., & Legrans, R. R. I. (2019). *Analisis Kestabilan Lereng Di Ruas Jalan Raya Manado-Tomohon Km 15*. TEKNO, 17(71).
- Pangkey, R., Rondonuwu, S. G., & Mandagi, A. T. (2023). *Analisis Kestabilan Lereng dan Desain Struktur Penahan Tanah (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III)*. TEKNO, 21(84), 753-764.
- Saraun, V. G., Manoppo, F. J., & Mandagi, A. T. (2023). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Aplikasi Google Earth Dan PLAXIS 3D*. TEKNO, 21(86), 2115-2122.
- Setiawan, L. C., Sentosa, G. S., & Iskandar, A. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan Metode Perkuatan Ground Anchor & Soil Nailing di Labuan Bajo, Ntt*. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 102-110.
- 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), 741-751.

Supiyono, S. (2023). *Studi Perbandingan Gabion dan Ground Anchor Sebagai Penanganan Longsoran Pada Relokasi Jalan Arah Ponorogo-Trenggalek*. Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK), 4(1), 303-308.