



Pengaruh Beban Gempa terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Perkuatan Soil Nailing (Studi Kasus : Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III)

Joshua T. Sihotang^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Alva N. Sarajar^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^ajoshua070801@gmail.com; ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id; ^calva.sarajar@unsrat.ac.id

Abstrak

Gempa bumi merupakan salah satu faktor terjadinya kelongsoran pada lereng. Di ruas jalan Manado Outer Ring Road III terdapat lereng yang cukup curam sehingga dapat memungkinkan terjadi kelongsoran. Salah satu alternatif untuk mencegah kelongsoran adalah perkuatan *soil nailing*. Penelitian ini dimodelkan menggunakan program *slide* dan menggunakan metode Bishop dan Morgenstern-Price. Dari hasil uji laboratorium didapatkan nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan berat isi tanah (γ). Lereng pada kondisi adanya gempa Respon Spektra dan muka air tanah (mat) untuk metode Bishop didapatkan FK (Faktor Keamanan) yaitu 0,03 dan 0,060 dan untuk gempa USGS yaitu 0,03 dan 0,051. Metode Morgenstern-Price, didapatkan FK gempa Respon Spektra yaitu 0,062 dan 0,080 dan untuk gempa USGS yaitu 0,050 dan 0,086. Untuk kondisi tanpa gempa dan ada mat, didapatkan FK untuk metode Bishop yaitu 0,10 dan 0,094. Metode Morgenstern-Price, didapatkan FK yaitu 0,103 dan 0,093. Sehingga disimpulkan bahwa lereng tidak stabil. Dengan menggunakan perkuatan, untuk kondisi adanya mat pada variasi *nail* sudut inklinasi 13° panjang 10 m didapatkan lereng stabil dengan FK yaitu 1,557. Pada kondisi adanya gempa Respon Spektra dan USGS serta mat, didapatkan FK yaitu 1,123 dan 1,008 pada variasi *nail* sudut inklinasi 17° panjang 10 m dan didapatkan lereng dalam keadaan stabil.

Kata kunci: soil nailing, gempa, stabilitas lereng, slide, faktor keamanan

1. Pendahuluan

Sulawesi Utara merupakan daerah dengan kondisi topografi yang berbukit-bukit dengan lereng yang cukup curam. Lereng merupakan bidang dengan kemiringan tertentu dimana menghubungkan bidang-bidang lain dengan elevasi yang berbeda. Analisis yang dilakukan pada permukaan tanah yang miring disebut dengan analisis stabilitas lereng. Dan stabilitas lereng ini berkaitan dengan kelongsoran tanah. Salah satu faktor penyebab terjadinya kelongsoran ialah gempa bumi.

Gempa bumi berpengaruh pada kestabilan tanah, dimana gempa bumi ini menyebabkan getaran yang dapat dirasakan pada tanah disekeliling pusat gempa.

Pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III terlebih pada pengerjaan Tahap II terdapat lereng yang cukup curam sehingga memungkinkan terjadinya longsor dan dapat menyebabkan terhambatnya pekerja dalam pelaksanaan pekerjaan. Dalam mencegah hal tersebut, maka diperlukan adanya penanganan terhadap masalah longsor. Salah satu alternatif yang digunakan dalam pencegahan terjadinya longsor yaitu menggunakan perkuatan *soil nailing*.

Soil Nailing merupakan sistem perkuatan untuk lereng yang bersifat pasif, artinya tanpa gaya prategang. Perkuatan dari *soil nailing* yang diberikan pada lereng berasal dari kekuatan tegangan baja dan gesekan permukaan batangan baja dengan tanah disekelilingnya yang akan memberikan gaya perlawanan tambahan bagi lereng tersebut. Saat ini *soil nailing* banyak digunakan dalam stabilisasi lereng jalan raya, untuk terowongan dan proyek sipil lainnya.

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dari penelitian ini yaitu menganalisis stabilitas lereng pada lokasi penelitian guna mendapatkan faktor keamanan lereng tersebut, yang bila belum memenuhi maka dilakukan perkuatan *soil nailing* yang akan dihitung menggunakan *software slide V.6.009* serta meninjau pengaruh gempa untuk melihat apakah lereng setelah diberikan perkuatan berada dalam kondisi kritis atau stabil. Agar penelitian yang dilakukan tidak melebar dan lebih terarah, maka perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah tersebut antara lain (1) Faktor keamanan akan dihitung menggunakan metode Bishop dan Morgenstern-Price, (2) Beban gempa dihitung sesuai lokasi yang diteliti, (3) Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan *software slide V.6.009*.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Mengetahui nilai faktor keamanan lereng eksisting dengan pengaruh beban gempa dan adanya muka air tanah secara manual dan menggunakan *slide V.6.009*, (2) Mengetahui nilai faktor keamanan lereng eksisting dengan pengaruh tinggi muka air tanah secara manual dan menggunakan *slide V.6.009*, (3) Mengetahui nilai faktor keamanan lereng dengan adanya beban gempa dan pengaruh muka air tanah menggunakan variasi *nail* (sudut kemiringan pemasangan *nail* dan panjang *nail*). Dan manfaat dari penelitian ini adalah (1) Dapat menjadi sumber referensi mengenai pengaruh beban gempa terhadap kestabilan lereng dengan perkuatan *soil nailing*, (2) Dapat mengaplikasikan program komputer dalam hal ini menggunakan *slide V.6.009* dalam menganalisis stabilitas lereng, (3) Dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengamanan lereng pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III.

2. Landasan Teori

2.1. Stabilitas Lereng

Faktor keamanan dalam menganalisis stabilitas lereng didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut ini (Hardiyatmo, 2005) : $FK = \frac{\tau_f}{\tau_d}$ (1)

2.2. Metode Bishop Disederhanakan (Simplified Bishop Method)

Persamaan faktor aman yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

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

Untuk perhitungan metode Bishop terhadap gempa menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i b_i - kh \sin \alpha_i) \tan \varphi'] \left[\frac{1}{\cos \alpha_i (1 + \sin \alpha_i \tan \varphi' / F)} \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i + kh \cos \alpha_i} \quad (3)$$

2.3. Metode Morgenstern-Price

Pada metode ini faktor keamanan dihitung dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen (F_m) dan kesetimbangan gaya (F_f). Persamaan faktor keamanan untuk prinsip kesetimbangan momen adalah sebagai berikut:

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c' . L + (W - u) \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W . \sin \alpha} \quad (4)$$

dan

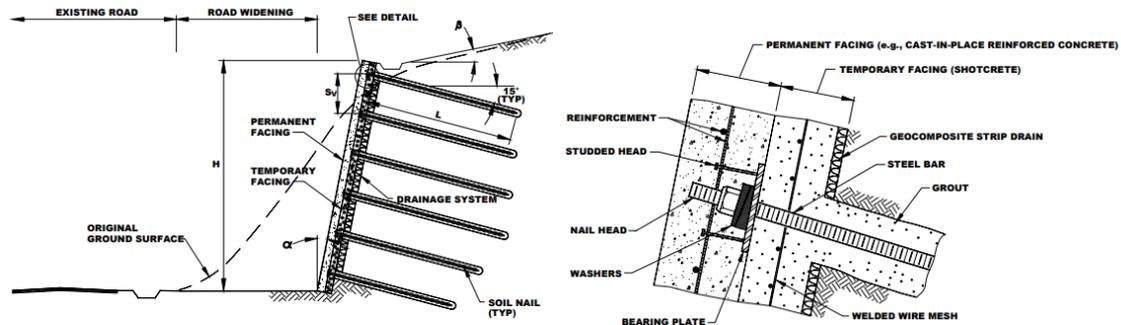
$$F_f = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c' . L + (W \cos \alpha - u) \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W . \sin \alpha} \quad (5)$$

Untuk perhitungan metode Morgenstern-Price terhadap gempa menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c' . L + (W \cos \alpha - u L - \Delta u L - W . kh \sin \alpha) \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} (W \sin \alpha + W . kh \cos \alpha)} \quad (6)$$

2.4. Soil Nailing

Soil nailing adalah sistem perkuatan untuk lereng yang bersifat pasif, artinya tanpa gaya prategang. Sistem perkuatan ini terdiri dari sejumlah *nail bar* yang kemudian dipasang ke dalam tanah dengan cara dibor atau dipancangkan/ditekan. Dan yang menjadi komponen dasar dari dinding muka yaitu berupa beton semprot yang diperkuat (*reinforced shotcrete*).



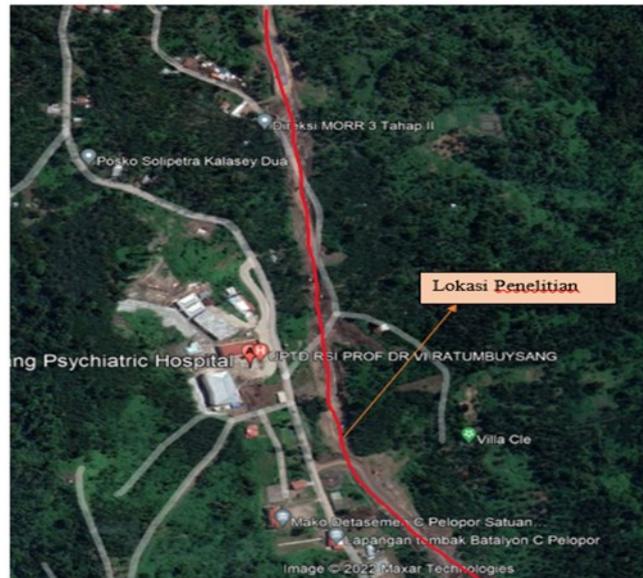
Gambar 1. Potongan Tipikal Dinding *Soil Nailing* dan Detail Sekitar Kepala *Nail*
(Sumber : FHWA0-IF-03-017)

2.5. Zona Gempa

Adanya pelepasan energi dari dalam bumi yang terjadi secara tiba-tiba menciptakan gelombang seismik yang kemudian mengakibatkan munculnya getaran atau guncangan yang dirasakan pada permukaan bumi. Hal ini disebut sebagai gempa bumi. Dampak dari gempa bumi antara lain (1) Bahaya yang berpotensi secara langsung terjadi akibat gempa bumi antara lain seperti patahan, likuifaksi, bahkan tsunami. Bahaya yang berpotensi terjadi setelah gempa bumi seperti kebakaran, banjir, dan tanah longsor, (2) Kerugian yang terasa akibat gempa bumi adalah kerugian ekonomi, melumpuhkan kegiatan yang sedang berlangsung, hingga kehilangan nyawa dan (3) Kerusakan yang dapat terjadi pada gedung-gedung, infrastruktur, monument-monumen serta fasilitas-fasilitas pendukung lainnya. Indonesia secara geografis terletak di antara 6° LU - 11° LS dan 95° BT - 141° BT. Indonesia juga terletak pada pertemuan 3 lempeng utama dunia yang adalah lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Dari peta zona pembagian gempa di Indonesia, wilayah Indonesia dibagi menjadi 6 (enam) wilayah gempa, yang mana ditunjukkan bahwa wilayah gempa 1 merupakan wilayah yang memiliki gempa paling rendah dan wilayah gempa 6 merupakan wilayah dengan gempa paling tinggi. Untuk Sulawesi Utara sendiri termasuk dalam wilayah gempa 5 yang menunjukkan bahwa gempa pada Sulawesi Utara cukup tinggi.

3. Metode

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan literatur atau referensi-referensi yang dibutuhkan penulis sebagai patokan dan menunjang penelitian penulis. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan sampel tanah yang akan digunakan sebagai benda uji di lokasi penelitian. Setelah benda uji telah ada, dilanjutkan dengan melakukan pengujian di laboratorium dengan memeriksa sifat-sifat tanah dengan pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kadar air, berat jenis, berat isi, analisa saringan, batas-batas *Atterbergh*, pemadatan, dan *direct shear*. Setelah data yang dibutuhkan telah ada, kemudian melakukan analisis stabilitas lereng dengan 2 cara perhitungan yaitu secara manual dan menggunakan program *Slide*. Dari hasil yang didapatkan, dicek faktor keamanannya di masing-masing perhitungan dan melakukan perbandingan hasil. Dilanjutkan dengan melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan variasi *nail*. Setelah hasil dari semua analisis telah didapatkan, kemudian diambil kesimpulan dan pemberian saran dari penulis. Lokasi penelitian yaitu pada lereng Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III pada STA 8+500.



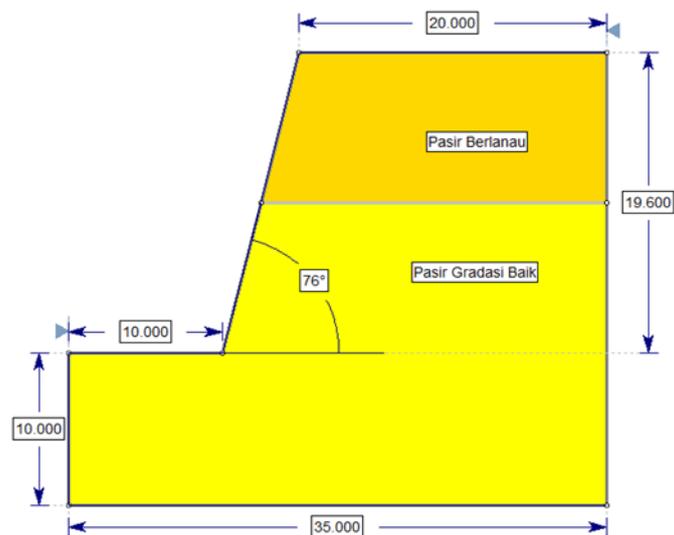
Gambar 2. Lokasi Penelitian di Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III
(Sumber : *Google Earth*)

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Parameter Tanah dan Geometri Lereng

Data-data yang didapatkan melalui penelitian laboratorium dan pengukuran lereng secara langsung pada daerah penelitian adalah tinggi lereng yaitu 19,6 m, kemiringan lereng yaitu 76° . Nilai kohesi (c) untuk lapisan 1 yaitu $0,215746 \text{ kN/m}^2$ dan lapisan 2 yaitu $9,003 \text{ kN/m}^2$. Nilai sudut geser dalam (ϕ) untuk lapisan 1 yaitu $8,12689^\circ$ dan lapisan 2 yaitu $0,2718^\circ$. Dan nilai berat isi tanah (γ) untuk lapisan 1 yaitu $13,3988 \text{ kN/m}^3$ dan lapisan 2 yaitu $10,9507 \text{ kN/m}^3$.

Dari gambar pemodelan di bawah, dapat dilihat bahwa untuk lapisan yang berwarna oranye adalah lapisan dengan jenis tanah Pasir Berlanau, sedangkan lapisan dengan warna kuning adalah lapisan dengan jenis tanah Pasir Gradasi Baik.

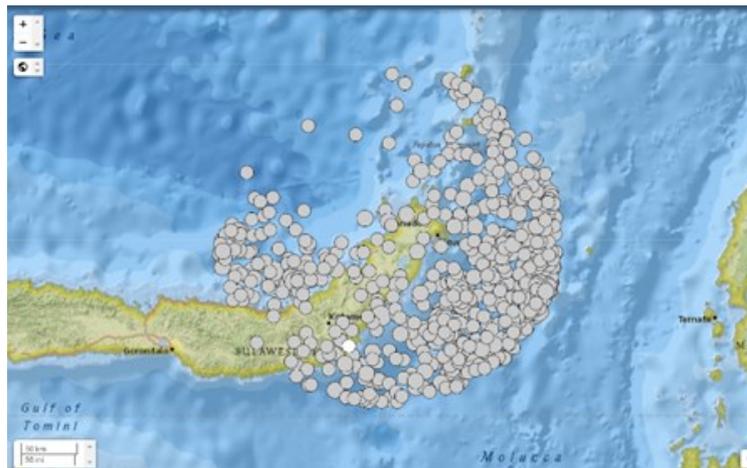


Gambar 3. Pemodelan Lereng Menggunakan *Slide*
(Sumber : Program *Slide*)

4.2. Data Koefisien Gempa

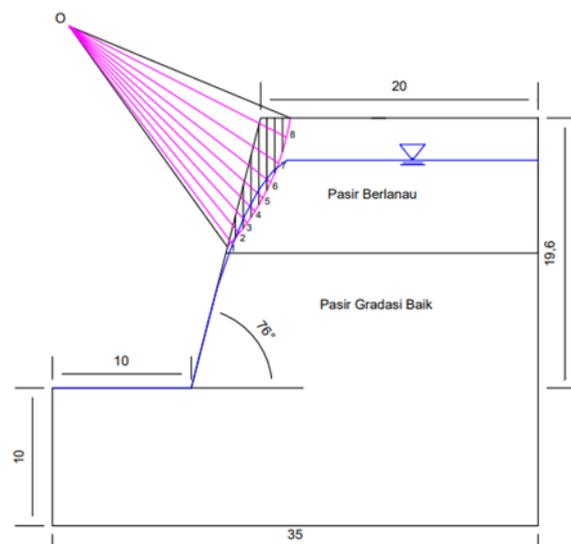
Dalam penelitian ini, data koefisien gempa yang digunakan yaitu (1) Percepatan Gempa Respon Spektra Indonesia dimana Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) didapatkan dengan

mengkonversikan koordinat GPS yang didapatkan dari *Google Earth* ke latitude dan longitude. Untuk koordinat lokasinya yaitu $1^{\circ}26'9,32''$ LU dan $136^{\circ}46'50,91''$ BT. Dari koordinat tersebut didapatkan nilai PGA sebesar 0,4762. Dan untuk menghitung nilai koefisien gempa horizontal (k_h), menggunakan ketentuan pada SNI 8460:2017 dimana nilai $k_h = 0,5$ PGA yaitu 0,2381, dan (2) Percepatan Gempa USGS dimana data-data yang diperoleh dari website USGS (*The United States Geological Survey*) memiliki jenis magnitudo gempa seperti *Moment Magnitude* (M_w), *Body Magnitude* (M_b), dan *Surface Magnitude* (M_s). Data gempa yang dipakai adalah data dari Mei 1973 sampai Mei 2023, dengan koordinat lokasi penelitian latitude $1,4359222^{\circ}$ dan longitude $124,7808333^{\circ}$ yang dibatasi dengan *Magnitude* $\geq 4,0$, kedalaman ≤ 150 km dan radius ≤ 150 km. Perhitungan nilai intensitas gempa menggunakan persamaan Gutenberg-Richter dengan magnitudo gempa 4,6, dan didapatkan nilai PGA yaitu 0,629. Dan untuk menghitung nilai koefisien gempa horizontal (k_h), menggunakan ketentuan pada SNI 8460:2017 dimana nilai $k_h = 0,5$ PGA yaitu 0,3145.



Gambar 4. Peta Sebaran Gempa dengan Batasan $M=4$ sampai $M=8$ dari Tahun 1973-2023 (*Earthquake Catalog, USGS*)

4.3. Analisis Stabilitas Lereng Secara Manual



Gambar 5. Pemodelan Lereng Menggunakan Metode Bishop dan Morgenstern-Price

Metode pertama yang digunakan ialah Bishop. Perhitungan Bishop menggunakan cara *trial and error* sehingga dapat menghasilkan hasil faktor keamanan yang cukup teliti. Dari hasil *trial*

dan *error* untuk mendapatkan nilai FK (ruas kiri) sama dengan nilai FK (ruas kanan) didapatkan pada percobaan ke-4 dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Perhitungan Bishop pada Percobaan ke-4

FK Ruas Kiri	Slice	c	ϕ	γ	A	Wn	α	sin α	cos α	b	tan ϕ	u	w-u.b	(w-u.b)/tan ϕ
		kNm ²	°	kNm ³	m ²	kNm	°			m		kNm ²		
0,1	1	0,22	8,13	13,40	0,4447	5,958	37	0,602	0,799	0,56625	0,143	0	5,9585	0,8509
	2	0,22	8,13	13,40	1,315	17,619	39	0,629	0,777	0,56625	0,143	3,3354	15,7308	2,2464
	3	0,22	8,13	13,40	2,1427	28,710	42	0,669	0,743	0,56625	0,143	8,3385	23,9880	3,4255
	4	0,22	8,13	13,40	2,9177	39,094	45	0,707	0,707	0,56625	0,143	10,3005	33,2611	4,7497
	5	0,22	8,13	13,40	3,239	43,399	48	0,743	0,669	0,56625	0,143	9,6138	37,9550	5,4200
	6	0,22	8,13	13,40	2,6222	35,134	52	0,788	0,616	0,56625	0,143	5,8860	31,8015	4,5413
	7	0,22	8,13	13,40	2,8229	37,824	57	0,839	0,545	0,56625	0,143	0	37,8236	5,4012
	8	0,22	8,13	13,40	0,7392	9,904	63	0,891	0,454	0,56625	0,143	0	9,9044	1,4144
Σ														

Lanjutan

Wn . sin α	c . b	m α	(c . b + (Wn-u . b) tan ϕ). 1/m α	FK Ruas Kanan
3,586	0,122	1,658	0,5869	0,10
11,088	0,122	1,676	1,4134	
19,211	0,122	1,699	2,0885	
27,643	0,122	1,717	2,8377	
32,252	0,122	1,730	3,2029	
27,686	0,122	1,741	2,6787	
31,722	0,122	1,742	3,1702	
8,825	0,122	1,726	0,8900	
162,013			16,8682	

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi'] \left[\frac{1}{\cos \alpha_i (1 + \sin \alpha_i \tan \phi' / F)} \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i} \quad (7)$$

$$FK = \frac{16,8682}{162,013}$$

$$FK = 0,10 < 1,25 \text{ (Tidak Aman)}$$

Hasil dari analisis stabilitas lereng metode Bishop menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis dengan nilai FK sebesar 0,10 yang belum memenuhi nilai faktor keamanan yang dibutuhkan yang adalah 1,25. Sehingga lereng eksisting perlu untuk diperkuat, yang mana dalam penelitian ini yaitu menggunakan perkuatan *soil nailing*. Dan pada perhitungan menggunakan data gempa Respon Spektra didapatkan :

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i b_i - kh \sin \alpha_i) \tan \phi'] \left[\frac{1}{\cos \alpha_i (1 + \sin \alpha_i \tan \phi' / F)} \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i + kh \cos \alpha_i} \quad (8)$$

$$FK = \frac{4,375}{163,277}$$

$$FK = 0,03 < 1 \text{ (Tidak Aman)}$$

Dari hasil analisis didapatkan nilai FK dengan adanya beban gempa yaitu 0,04, yang menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis. Sehingga diperlukan perkuatan, yang mana dalam penelitian ini digunakan *soil nailing*. Dan pada perhitungan menggunakan data gempa USGS didapatkan dengan menggunakan rumus gempa yang sama dengan rumus (8) di atas, didapatkan $FK = 0,03 < 1$ (Tidak Aman). Nilai FK dengan adanya beban gempa yaitu 0,03, yang menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis. Sehingga diperlukan perkuatan, yang mana dalam penelitian ini digunakan *soil nailing*.

Metode kedua yaitu Morgenstern-Price. Menggunakan metode ini karena metode ini terbukti meningkatkan nilai faktor keamanan karena metode ini memperhitungkan gaya geser yang berada disekitar irisan serta gaya normalnya.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Morgenstern-Price

Slice	b	α	c	ϕ	γ	A	tan ϕ	L	Wn	W.cos α	u	W.cos $\alpha-u$
	m	°	kN/m ²	°	kN/m ³	m ²		m	kN/m		kN/m ²	
1	0,56625	37	0,22	8,13	13,40	0,4447	0,143	0,709	5,958	4,759	0	4,759
2	0,56625	39	0,22	8,13	13,40	1,315	0,143	0,729	17,619	13,693	3,3354	10,358
3	0,56625	42	0,22	8,13	13,40	2,1427	0,143	0,762	28,710	21,335	8,3385	12,997
4	0,56625	45	0,22	8,13	13,40	2,9177	0,143	0,801	39,094	27,643	10,3005	17,343
5	0,56625	48	0,22	8,13	13,40	3,239	0,143	0,846	43,399	29,039	9,6138	19,426
6	0,56625	52	0,22	8,13	13,40	2,6222	0,143	0,920	35,134	21,631	5,8860	15,745
7	0,56625	57	0,22	8,13	13,40	2,8229	0,143	1,040	37,824	20,600	0	20,600
8	0,56625	63	0,22	8,13	13,40	0,7392	0,143	1,247	9,904	4,497	0	4,497
Σ												

Lanjutan

(W.cos $\alpha-u$)tan ϕ	W.sin α	L.c	(L.c+(W.cos $\alpha-u$)tan ϕ)	FK
		m		
0,680	3,586	0,153	0,833	0,103
1,479	11,088	0,157	1,636	
1,856	19,211	0,164	2,020	
2,477	27,643	0,173	2,649	
2,774	32,252	0,183	2,957	
2,248	27,686	0,198	2,447	
2,942	31,722	0,224	3,166	
0,642	8,825	0,269	0,911	
	162,013		16,619	

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c'.L+(W.\cos \alpha-u) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W.\sin \alpha} \quad (9)$$

$$FK = \frac{16,619}{162,013}$$

$$FK = 0,103 < 1,25 \text{ (Tidak Aman)}$$

Hasil dari analisis stabilitas lereng metode Morgenstern-Price menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis dengan nilai FK sebesar 0,103 yang belum memenuhi nilai faktor keamanan yang dibutuhkan yang adalah 1,25. Sehingga lereng eksisting perlu untuk diperkuat, yang mana dalam penelitian ini yaitu menggunakan perkuatan *soil nailing*. Pada perhitungan menggunakan data gempa Respon Spektra didapatkan :

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c'.L+(W.\cos \alpha-uL-\Delta uL-W.kh.\sin \alpha) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n}(W.\sin \alpha+W.kh.\cos \alpha)} \quad (10)$$

$$FK = \frac{12,095}{196,108}$$

$$FK = 0,062 < 1 \text{ (Tidak Aman)}$$

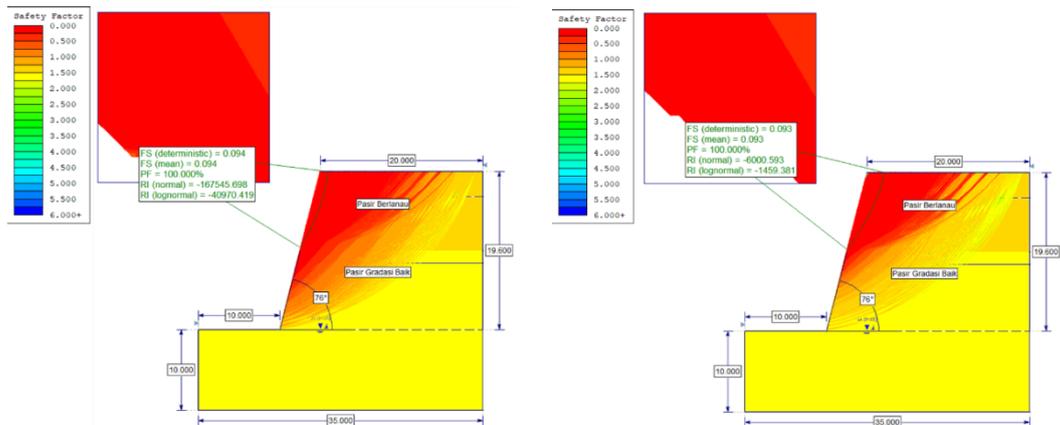
Dari hasil analisis didapatkan nilai FK dengan adanya beban gempa yaitu 0,062, yang menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis. Sehingga diperlukan perkuatan, yang mana dalam penelitian ini digunakan *soil nailing*. Pada perhitungan menggunakan data gempa USGS didapatkan dengan menggunakan rumus gempa yang sama dengan rumus (10) di atas, didapatkan $FK = 0,050 < 1$ (Tidak Aman). Nilai FK dengan adanya beban gempa yaitu 0,050, yang menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis. Sehingga diperlukan perkuatan, yang mana dalam penelitian ini digunakan *soil nailing*.

4.4. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Slide

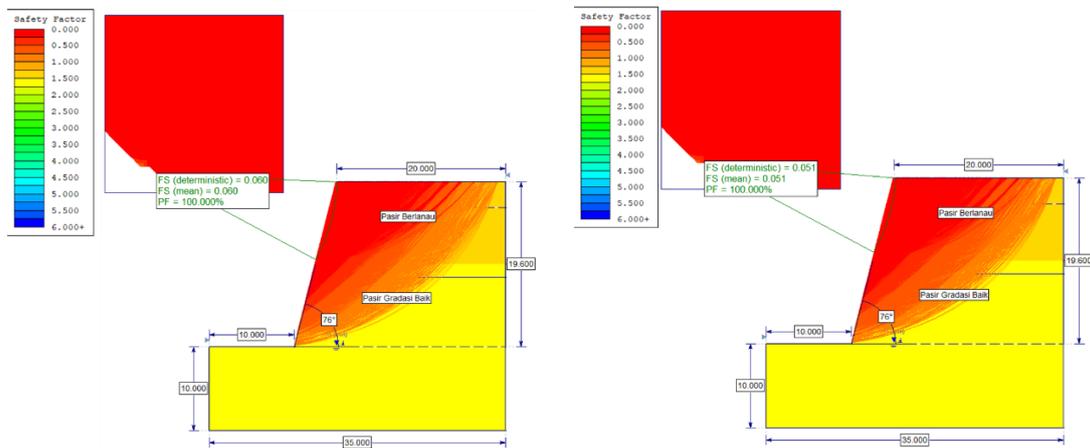
Dalam analisis stabilitas lereng tanpa beban gempa dan adanya muka air tanah menggunakan program Slide metode Bishop, didapatkan faktor keamanan sebesar 0,094 yang menunjukkan lereng berada dalam kondisi kritis. Dan dalam analisis menggunakan program Slide metode Morgenstern-Price, didapatkan faktor keamanan sebesar 0,093 yang menunjukkan lereng berada dalam kondisi kritis.

Hasil analisis kestabilan lereng dengan adanya beban gempa dan adanya muka air tanah menggunakan metode Bishop dengan adanya beban gempa Respon Spektra didapatkan nilai

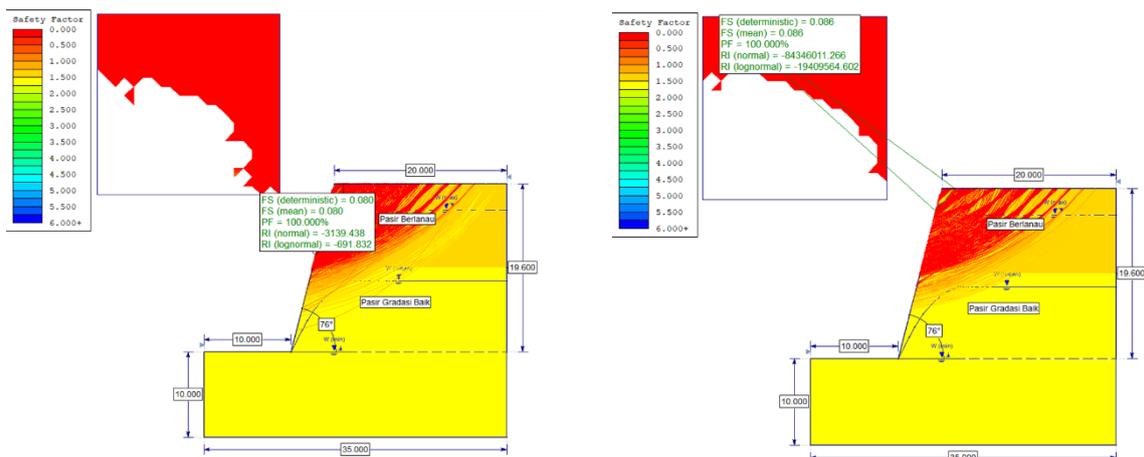
faktor keamanan sebesar 0,060. Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis. Sedangkan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode Bishop dengan adanya beban gempa USGS didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 0,051. Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis.



Gambar 6. Hasil Analisis Pada Lereng Dengan Pengaruh Muka Air Tanah



Gambar 7. Hasil Analisis Pada Lereng Dengan Beban Gempa dan Muka Air Tanah

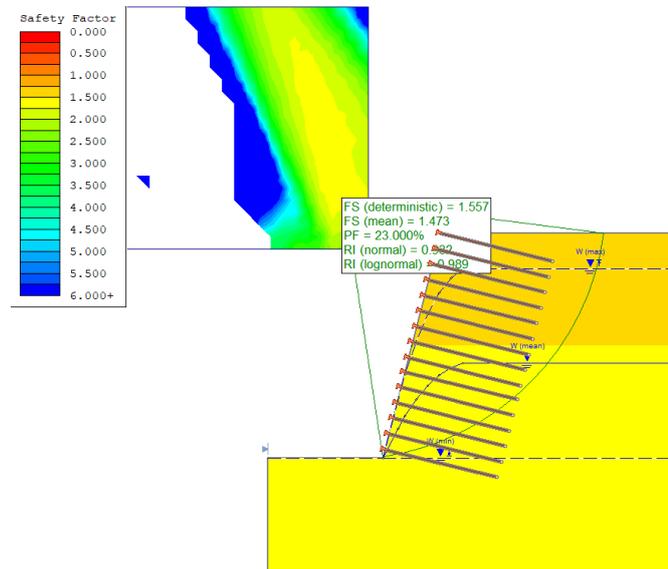


Gambar 8. Hasil Analisis Pada Lereng Dengan Beban Gempa dan Muka Air Tanah

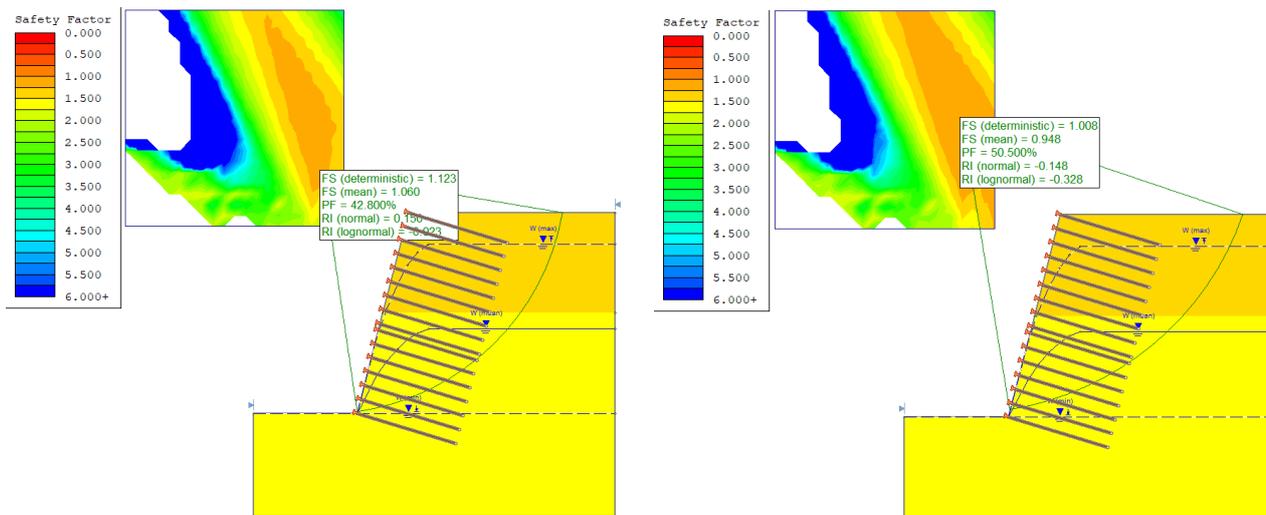
Hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode Morgenstern-Price dengan adanya beban gempa Respon Spektra didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 0,080. Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis. Sedangkan hasil analisis kestabilan

lereng menggunakan metode Morgenstern-Price dengan adanya beban gempa USGS didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 0,086. Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis.

4.5. Variasi Nail Dengan Faktor Keamanan



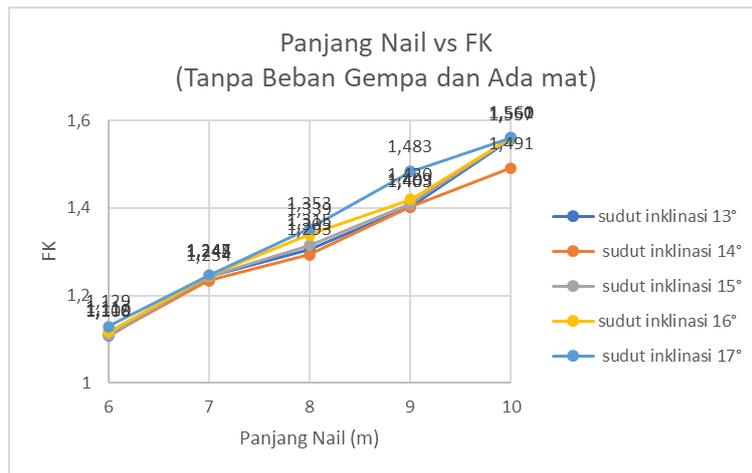
Gambar 9. Hasil Analisis Pada Lereng Dengan Variasi Nail Dengan Pengaruh Muka Air Tanah



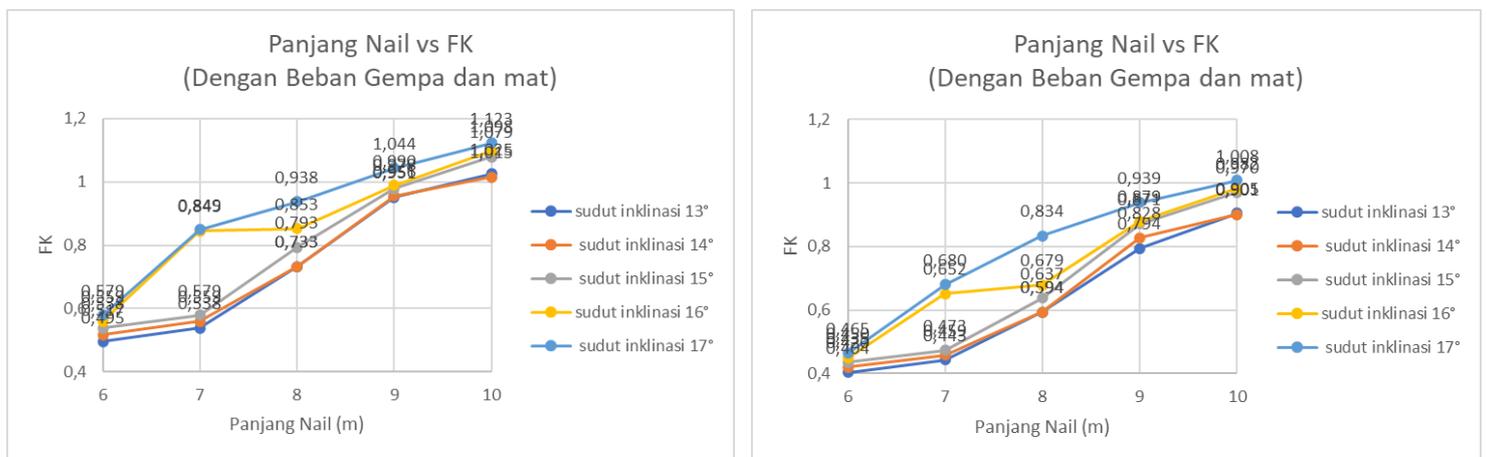
Gambar 10. Hasil Analisis Pada Lereng Dengan Variasi Nail Dengan Beban Gempa dan Pengaruh Muka Air Tanah

Grafik hubungan pada Gambar 11 menunjukkan nilai faktor keamanan meningkat seiring bertambahnya panjang nail di setiap sudut inklinasi. Untuk faktor keamanan yang paling efisien didapatkan pada sudut nail 13° dan dengan panjang nail 10 m yang memiliki nilai FK = 1,557.

Grafik hubungan pada Gambar 12 menunjukkan bahwa pada gempa Respon Spektra Indonesia, nilai faktor keamanan meningkat seiring bertambahnya panjang *nail* di setiap sudut inklinasi. Dengan nilai FK terbesar terdapat pada variasi sudut *nail* 17° panjang 10 m dengan FK yaitu 1,123. Dari grafik hubungan menggunakan gempa USGS diatas dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan meningkat seiring bertambahnya panjang *nail* di setiap sudut inklinasi. Dengan nilai FK terbesar terdapat pada variasi sudut *nail* 17° panjang 10 m dengan FK yaitu 1,008.



Gambar 11. Grafik Hubungan FK vs Panjang Nail



Gambar 12. Grafik Hubungan FK vs Panjang Nail

5. Kesimpulan

Lereng pada kondisi ada gempa dan mat, perhitungan FK gempa Respon Spektra metode Bishop didapatkan FK yaitu 0,03 dan 0,060 dan untuk gempa USGS yaitu 0,03 dan 0,051. Metode Morgenstern-Price, didapatkan FK gempa Respon Spektra yaitu 0,062 dan 0,080 dan untuk gempa USGS yaitu 0,050 dan 0,086. Untuk kondisi tanpa gempa dan ada mat, didapatkan FK untuk metode Bishop yaitu 0,10 dan 0,094. Metode Morgenstern-Price, didapatkan FK yaitu 0,103 dan 0,093. Sehingga disimpulkan bahwa lereng tidak stabil. Dengan menggunakan perkuatan, dimana untuk kondisi adanya mat pada variasi *nail* sudut inklinasi 13° panjang 10 m didapatkan lereng stabil dengan FK yaitu 1,557. Pada kondisi adanya beban gempa Respon Spektra serta USGS dan mat, didapatkan FK yaitu 1,123 dan 1,008 pada variasi *nail* sudut inklinasi 17° panjang 10 m dan didapatkan bahwa lereng dalam keadaan stabil.

Referensi

- Dani, Hana, Ticoh J. H, Legrans R. I. R. (2021). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Menggunakan Software Slide 6.0 (Studi Kasus : Area TPA, IPLT Sawangan Airmadidi)*. Jurnal Tekno Vol.19 No.78 Agustus 2021 ISSN : 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Das, B. M. (1998). *Mekanika Tanah - Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 2*. Erlangga, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. *Peta Gempa Indonesia Tahun 2017*. Tersedia di : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> (diakses 28 Februari 2023).
- Hardiyatmo, Hary. (2005). *Mekanika Tanah II Edisi-3*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Imbar, E. R. B, Mandagi A. T, Rondonuwu S. G. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Slope/W Dan Geosturctural*. Jurnal Tekno Vol.17 No.72 2019 ISSN : 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Lazarte, C. A, Robinson H, Gomez J. E, Baxter A, Cadden A, Berg R. (2015). *Geotechnical Engineering*

- Circular No. 7 Soil Nail Walls – Reference Manual*, Washington, D.C.: FHWA-NHI-14-007.
- Lazarte, C. A, Elias V, Espinoza D, Sabatini P. J. (2003). *Geotechnical Engineering Circular No. 7 Soil Nail Walls*, Washington, D.C.: FHWA0-IF-03-017.
- Rekzyanti, Raifah, Balamba Sjachrul, Manaroinsong Lanny. (2016). *Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Studi Kasus : IAIN Manado)*. Jurnal Tekno Vol.14 No.66 Desember 2016 ISSN : 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Riogilang, Hendra, Pontororing Christian, Mekel Anda. (2014). *Soil Nailing dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah Untuk Potensi Longsor di STA 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.4 No.2 September 2014 (119-126) ISSN : 2087-9334, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- SNI 8460:2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Sutiyono, D. L, Balamba Sjachrul, Sarajar A. N. (2017). *Analisis Stabilitas Lereng Akibat Gempa Di Ruas Jalan Noongan - Pangu*. Jurnal Tekno Vol.15 No.67 April 2017 ISSN : 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Takwin, G. A, Turangan A. E, Rondonuwu S. G. (2017). *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus : Diamond Hill Citraland)*. Jurnal Tekno Vol.15 No.67 April 2017 ISSN : 0215-9617, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- USGS. *Earthquake Catalog*. Tersedia di : <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (Diakses 29 Mei 2023)