



Analisis Kestabilan Lereng dan Desain Struktur Penahan Tanah (Studi Kasus : Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III)

Reygen Pangkey^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Agnes T. Mandagi^{#c}

^{#Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia}
^areygenpangkey021@student.unsrat.ac.id; ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id; ^catmandagi@gmail.com

Abstrak

Pada ruas jalan Manado Outer Ringroad III khususnya pada pengerjaan Tahap II akan dibuat jalan dimana terdapat lereng yang cukup curam sehingga memungkinkan terjadinya longsor. Untuk mencegah terjadinya kelongsoran diperlukan pengaman lereng pada area tanah timbunan. Pada penelitian ini dilakukan analisis kestabilan lereng dan desain struktur penahan tanah dengan menggunakan dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng eksisting pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775 tidak terhadap pengaruh muka air tanah dalam kondisi statis maupun kondisi pengaruh gempa (dinamis) karena faktor keamanan kurang dari 1,5. Pemodelan dinding MSE menggunakan program *Slide* yang direncanakan dengan tinggi dinding 20 m, panjang perkuatan 1,0 He atau 20 m, jarak vertikal antar perkuatan 0,5 m, dan jenis geogrid yang digunakan UX 1800. Dalam desain dinding MSE dengan pengaruh muka air tanah dan pengaruh gempa, didapat nilai faktor keamanan adalah 3,324 dengan menggunakan kohesi tanah 15 kPa sebagai *facing* dikatakan aman dan memenuhi syarat karena memiliki nilai diatas 1,3 sehingga lereng dengan perencanaan perkuatan dinding MSE dapat digunakan.

Kata kunci: lereng, desain dinding MSE, Slide, muka air tanah, gempa

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai daerah-daerah yang curam yang rawan akan longsor seperti di Sulawesi Utara yang memiliki wilayah pegunungan ataupun perbukitan. Lereng merupakan suatu permukaan alam yang berbeda ketinggian. Lereng dapat terjadi secara alami maupun dengan bantuan manusia yang biasa disebut lereng buatan.

Stabilitas lereng berhubungan dengan longsor yang merupakan proses perpindahan massa tanah dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Longsor biasanya terjadi saat musim hujan dimana tanah akan menjadi jenuh dan terjadi peningkatan angka pori pada lereng.

Pada ruas jalan Manado Outer Ringroad III khususnya pada pengerjaan Tahap II akan dibuat jalan dimana terdapat lereng yang cukup curam sehingga memungkinkan terjadinya longsor yang dapat membahayakan pekerja-pekerja pada proyek serta dapat mengganggu kelancaran proyek dan untuk menghindari longsor ketika jalan sudah digunakan. Untuk mencegah terjadinya kelongsoran diperlukan pengaman lereng pada area tanah timbunan.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mencegah terjadinya kelongsoran, salah satunya menggunakan dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) dengan situasi tanah yang ada di sekitar dinding yaitu tanah dasar (*foundation soil*), tanah timbunan yang diberi perkuatan (*reinforced fill*) dan tanah yang ditahan (*retained soil*).

Dinding MSE terdiri dari perkuatan di dalam tanah timbunan yang dapat menahan tekanan tanah lateral. Pada dasarnya, dinding MSE mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan struktur penahan beton lainnya. Dinding MSE ini lebih cocok digunakan pada tanah pondasi yang buruk.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kestabilan lereng jika menggunakan dinding MSE dengan perkuatan

geogrid pada ruas jalan Manado Outer Ringroad III dan mendesain dinding MSE yang diaplikasikan menggunakan software *Slide V.6.009*. Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut (1) Analisis stabilitas lereng eksisting menggunakan metode *Bishop simplified* dan *Morgenstern-Price*, (2) Desain dan analisis kestabilan dinding MSE dengan perkuatan geogrid, (3) Beban gempa dihitung sesuai lokasi yang diteliti, (4) Struktur penutup muka pada dinding MSE tidak direncanakan, (5) Drainase tidak direncanakan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng eksisting dengan pengaruh tinggi muka air tanah dalam kondisi tanpa pengaruh gempa (statis) dan kondisi pengaruh gempa (dinamis) pada ruas jalan Manado Outer Ringroad III, merencanakan desain dari Dinding MSE menggunakan program *Slide V.6.009*, dan mengetahui kestabilan Dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) menggunakan perkuatan geogrid dengan pengaruh tinggi muka air tanah dan pengaruh gempa pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III. Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai alternatif pengaman lereng pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III dan dapat memberikan pengetahuan dalam pengoperasian program *Slide V.6.009*.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan mekanisme yang dimulai dari studi literatur yang dapat menjadi acuan dalam penelitian ini. Kemudian dilanjutkan dengan meninjau lokasi penelitian di ruas jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775 yang dapat dilihat pada Gambar 1. Setelah itu dilakukan pengambilan sampel tanah yang akan diuji di laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik UNSRAT. Setelah sampel tanah diambil, maka dilakukan pemeriksaan sifat-sifat tanah (kadar air, berat jenis, berat isi, analisis saringan, batas-batas *Atterbergh*, pemadatan, dan *Direct Shear*). Setelah pengujian dilakukan dan mendapatkan data-data yang diperlukan, selanjutnya akan dianalisis stabilitas lereng eksisting dengan menggunakan perhitungan manual dan program *Slide*. Setelah nilai faktor keamanan stabilitas lereng eksisting didapat, selanjutnya dilakukan perancangan dinding MSE dengan perkuatan geogrid. Selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap stabilitas eksternal jika tidak aman maka perpanjang panjang perkuatan atau perbaiki tanah pondasi. Setelah perhitungan stabilitas eksternal yang didapat aman, selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap stabilitas internal jika tidak aman maka perkecil spasi vertikal perkuatan (S_v). Setelah perhitungan stabilitas internal yang didapat aman, selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap stabilitas global jika tidak aman maka perpanjang panjang perkuatan atau perbaiki tanah pondasi. Setelah perhitungan stabilitas global yang didapat aman, selanjutnya penelitian diakhiri dengan menarik kesimpulan dan saran.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III (*Google Earth, 2022*)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

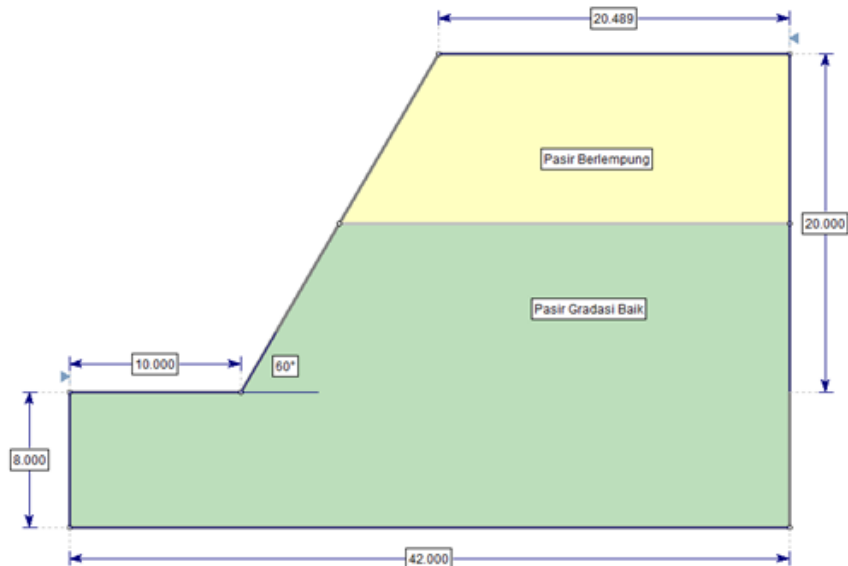
Hasil pengujian dari laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik UNSRAT untuk mendapatkan data sifat fisik dan mekanis tanah yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Laboratorium

No.	Parameter Tanah	Lapisan	
		1	2
1	Jenis Tanah	Pasir Berlempung	Pasir Gradasi Baik
2	Kadar Air (%)	25,46	4,78
3	Berat Jenis	2,42	2,65
4	Analisis Saringan Lolos No. 200 (%)	3,08	3,13
5	Batas Cair (LL)	55,49	26,61
6	Batas Plastis (PL)	39,82	24,50
7	Indeks Plastisitas (IP)	15,67	2,11
8	Koefisien Keseragaman (C_u)	8,60	9,46
9	Koefisien Gradasi (C_c)	0,98	2,55
10	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)	24,65	40,75
11	Berat Isi Tanah Kering (kN/m^3)	7,75	11,51
12	Berat Isi Tanah Basah (kN/m^3)	10,63	14,91
13	Kohesi (kN/m^2)	1,648	1,932

3.2. Data Geometri Lereng dan Tanah Timbunan

Pada lokasi yang diteliti didapat bahwa tinggi lereng setinggi 20 meter dengan kemiringan lereng 60° dan terdapat dua jenis tanah berdasarkan sampel tanah yang diambil. Untuk lapisan 1 jenis tanahnya yaitu pasir perlempung dan untuk lapisan 2 jenis tanahnya yaitu pasir gradasi baik. Bentuk dari geometri lereng di ruas jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Geometri Lereng di Ruas Jalan MORR III STA 8+775

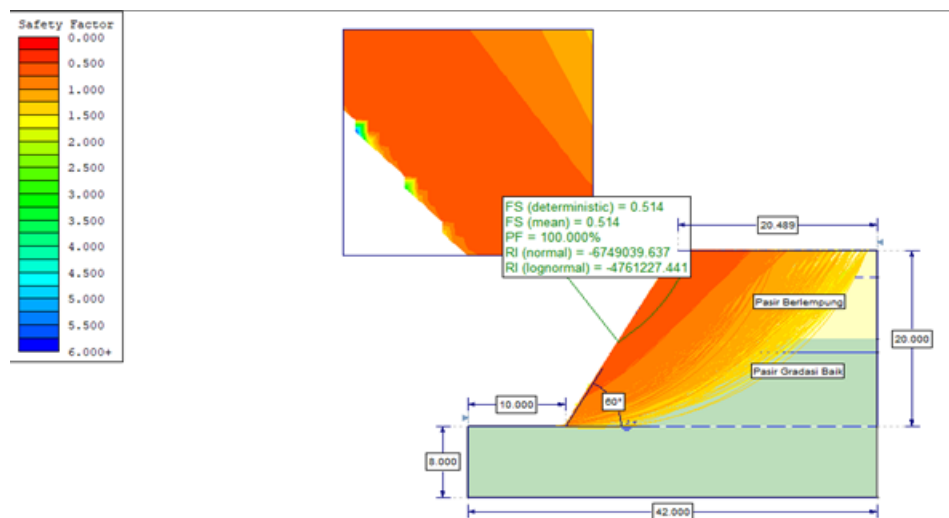
Tanah timbunan yang digunakan di bidang perkuatan adalah tanah granular. Tanah timbunan ini mempunyai berat isi tanah (γ) = 19 kN/m^3 , kohesi (c) = 0, dan sudut geser dalam (Φ) = 40° .

3.3. Data Koefisien Gempa

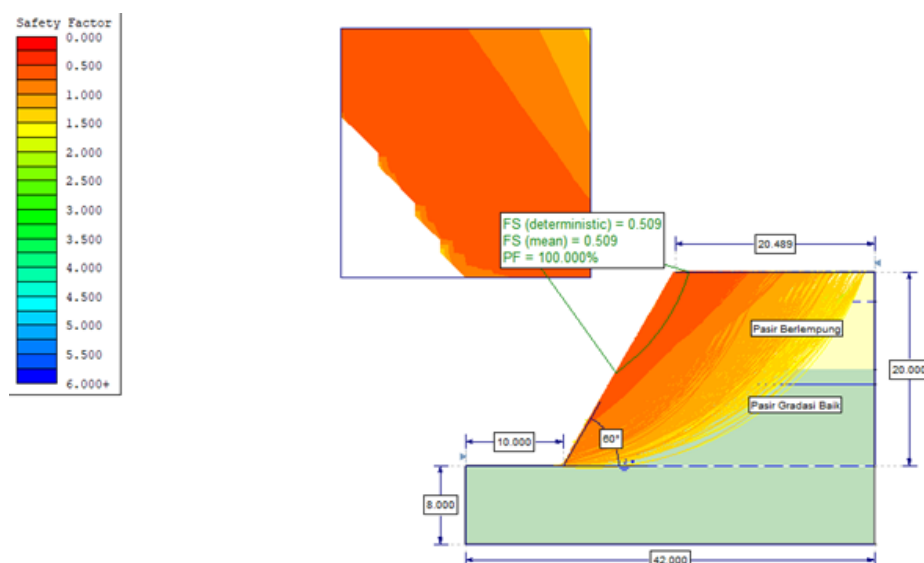
Untuk menentukan *peak ground acceleration* (PGA) dilakukan dengan cara mencari koordinat GPS yaitu latitude dan longitude di *Google Earth*, dan didapat hasil koordinat latitude $1,4363765^\circ$ dan koordinat longitude $124,7813554^\circ$. Dari koordinat tersebut didapatkan nilai PGA yaitu $0,4761$ g. Menurut SNI 8460-2017, nilai dari koefisien gempa horizontal (k_h) itu sama dengan nilai dari PGA dan untuk nilai dari koefisien gempa vertikal (k_v) adalah 0.

3.4. Analisis Kestabilan Lereng Eksisting dengan Pengaruh Muka Air Tanah

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng eksisting adalah Metode Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*) dan *Morgenstern-Price* dengan dianalisis menggunakan perhitungan manual dan program *Slide*. Nilai faktor keamanan stabilitas lereng eksisting untuk metode Bishop dengan program *Slide* dapat dilihat pada Gambar 3 dan untuk nilai faktor keamanan stabilitas lereng eksisting untuk metode *Morgenstern-Price* dengan program *Slide* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Eksisting dengan Pengaruh MAT Menggunakan Metode Bishop



Gambar 4. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Eksisting dengan Pengaruh MAT Menggunakan Metode *Morgenstern-Price*

Dalam analisis menggunakan program *Slide*, didapatkan nilai faktor keamanan untuk metode Bishop adalah 0,514 dan nilai faktor keamanan untuk metode *Morgenstern-Price* sebesar 0,509. Dari nilai faktor keamanan yang didapat menunjukkan lereng tidak aman atau dapat terjadi kelongsoran dimana faktor keamanan kurang dari 1,5.

Perhitungan stabilitas lereng eksisting dianalisis menggunakan perhitungan manual dan program *Slide* dan dari hasil analisis ini didapat nilai faktor keamanan pada lereng eksisting dengan pengaruh muka air tanah menggunakan metode Bishop dan metode *Morgenstern-Price* yang ditabulasikan seperti Tabel 2.

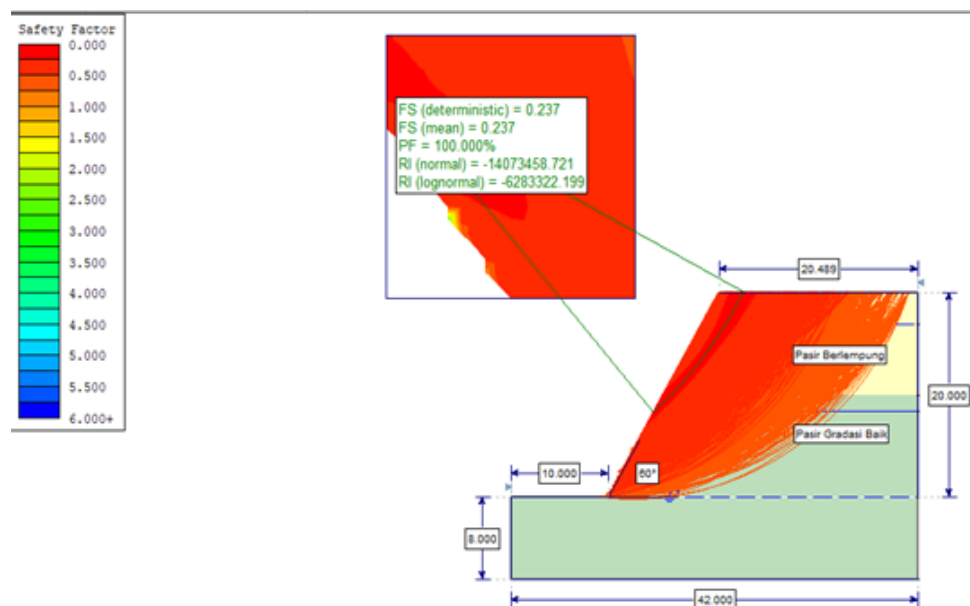
Tabel 2. Nilai Faktor Keamanan pada Lereng Eksisting dengan Pengaruh MAT menggunakan Metode Bishop dan Metode *Morgenstern-Price*

NO.	METODE	PERHITUNGAN	FAKTOR KEAMANAN MINIMUM	FAKTOR KEAMANAN IZIN	KET
1	Bishop Simplified	Manual	0,443	1,5	TIDAK AMAN
		Program Slide	0,514	1,5	TIDAK AMAN
2	Morgenstem - Price	Manual	0,490	1,5	TIDAK AMAN
		Program Slide	0,509	1,5	TIDAK AMAN

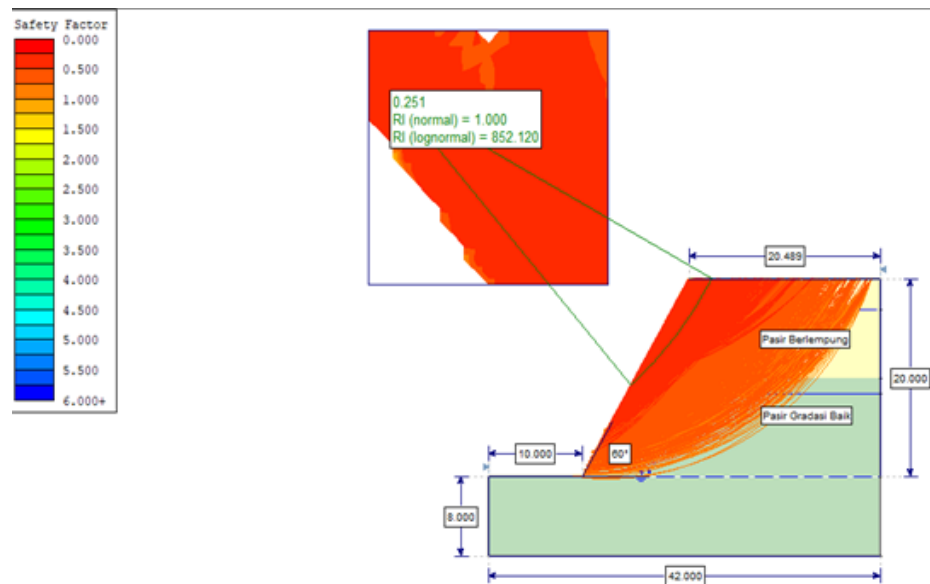
Dari kedua metode perhitungan yang digunakan, hasil analisis menunjukkan bahwa lereng eksisting dengan pengaruh MAT pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775 dapat dikatakan tidak aman dimana faktor keamanan kurang dari 1,5. Sehingga diperlukan perkuatan dimana pada penelitian ini menggunakan struktur penahan tanah berupa dinding MSE.

3.5. Analisis Kestabilan Lereng Eksisting dengan Pengaruh Muka Air Tanah dan Beban Gempa

Dalam penelitian ini, lereng eksisting juga dianalisis dengan pengaruh MAT dan beban gempa dimana metode yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng eksisting adalah Metode Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*) dan *Morgenstern-Price* dengan dianalisis menggunakan perhitungan manual dan program *Slide*. Nilai faktor keamanan stabilitas lereng eksisting untuk metode Bishop dengan program *Slide* dapat dilihat pada Gambar 5 dan untuk nilai faktor keamanan stabilitas lereng eksisting untuk metode *Morgenstern-Price* dengan program *Slide* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Eksisting dengan Pengaruh MAT dan Beban Gempa Menggunakan Metode Bishop



Gambar 6. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Eksisting dengan Pengaruh MAT dan Beban Gempa Menggunakan Metode *Morgenstern-Price*

Dalam analisis menggunakan program *Slide*, didapatkan nilai faktor keamanan untuk metode Bishop adalah 0,237 dan nilai faktor keamanan untuk metode *Morgenstern-Price* sebesar 0,251. Dari nilai faktor keamanan yang didapat menunjukkan lereng tidak aman atau dapat terjadi kelongsoran dimana faktor keamanan kurang dari 1,5.

Perhitungan stabilitas lereng eksisting dianalisis menggunakan perhitungan manual dan program *Slide* dan dari hasil analisis ini didapat nilai faktor keamanan pada lereng eksisting dengan pengaruh muka air tanah dan beban gempa menggunakan metode Bishop dan metode *Morgenstern-Price* yang ditabulasikan seperti Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan pada Lereng Eksisting dengan Pengaruh MAT dan Beban Gempa Menggunakan Metode Bishop dan Metode *Morgenstern-Price*

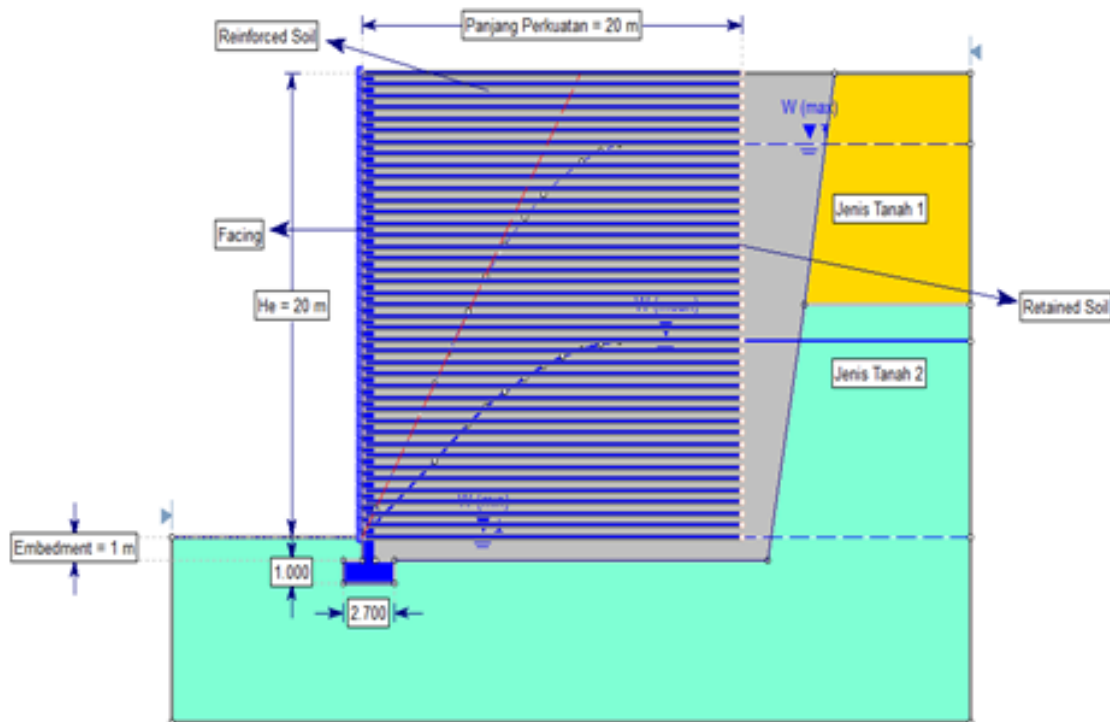
NO.	METODE	PERHITUNGAN	FAKTOR KEAMANAN MINIMUM	FAKTOR KEAMANAN IZIN	KET
1	Bishop Simplified	Manual	0,206	1,5	TIDAK AMAN
		Program Slide	0,237	1,5	TIDAK AMAN
2	Morgenstern - Price	Manual	0,171	1,5	TIDAK AMAN
		Program Slide	0,251	1,5	TIDAK AMAN

Dari kedua metode perhitungan yang digunakan, hasil analisis menunjukkan bahwa lereng eksisting dengan pengaruh MAT dan beban gempa pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775 dapat dikatakan tidak aman dimana faktor keamanan kurang dari 1,5. Sehingga diperlukan perkuatan dimana pada penelitian ini menggunakan struktur penahan tanah berupa dinding MSE.

3.6. Desain Dinding MSE

Tinggi dinding MSE yang direncanakan pada penelitian ini adalah 20 m. Jenis penutup muka dinding MSE direncanakan menggunakan Panel Beton Pracetak yang pada setiap lapisan akan diberi perkuatan geogrid. Dimensi tinggi atau jarak vertikal (S_v) antar perkuatan yaitu 0,5 m. Pada umumnya, minimum umur rencana untuk dinding penahan tanah permanen adalah 75 tahun, maka untuk dinding MSE direncanakan juga memiliki umur rencana 75 tahun. Dimensi alas perata yang direncanakan adalah 2700 mm x 1000 mm. Kedalaman *embedment* diambil sesuai persyaratan terbenamnya penutup muka dimana untuk dinding dengan kemiringan lereng didepan dinding horizontal yaitu $H_e/20$. H_e merupakan tinggi dinding efektif dari puncak dinding sampai atas *embedment*. Karena tinggi dinding MSE yang direncanakan adalah 20 m maka

kedalaman terbenamnya penutup muka (*embedment*) yaitu 1,0 m. Panjang perkuatan dinding MSE disyaratkan adalah 0,7 He atau 2,5 m, tetapi pada penelitian ini panjang perkuatannya dianalisis menggunakan variabel bebas yang divariasikan, yakni : 0,7 He; 0,8 He; 0,9 He; 1,0 He Pada penelitian ini, panjang perkuatan yang direncanakan adalah 1,0 He. Desain dinding MSE ini dibuat menggunakan program *Slide* yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Perencanaan Dinding MSE

3.7. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE dengan Pengaruh Muka Air Tanah

Analisis stabilitas eksternal dinding MSE terdiri dari 3 keruntuhan eksternal yaitu gelincir (*Sliding*), guling (*Overturning*), dan daya dukung (*Bearing*).

Tabel 4. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE terhadap Gelincir

Gelincir (<i>Sliding</i>)					
No	L		FK _{Geser}	FK _{Geser (izin)}	Kontrol
1	1,0 H	20	3,295	1,5	OK
2	0,9 H	18	2,965	1,5	OK
3	0,8 H	16	2,636	1,5	OK
4	0,7 H	14	2,306	1,5	OK

Tabel 4 menunjukkan nilai faktor keamanan stabilitas eksternal terhadap gelincir dengan panjang perkuatan 14 m, 16 m, 18 m, dan 20 m. Dari nilai faktor keamanan yang didapat bahwa semua desain panjang perkuatan dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan lebih dari 1,5.

Tabel 5. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE terhadap Guling

Guling (<i>Overturning</i>)					
No	L		FK _{Guling}	FK _{Guling (izin)}	Kontrol
1	1,0 H	20	6,444	2	OK
2	0,9 H	18	5,219	2	OK
3	0,8 H	16	4,124	2	OK
4	0,7 H	14	3,157	2	OK

Tabel 5 menunjukkan nilai faktor keamanan stabilitas eksternal terhadap guling dengan panjang perkuatan 14 m, 16 m, 18 m, dan 20 m. Dari nilai faktor keamanan yang didapat bahwa semua desain panjang perkuatan dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan lebih dari 2.

Tabel 6. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE terhadap Daya Dukung

Daya Dukung (<i>Bearing</i>)					
No	L		FK _{Daya Dukung}	FK _{Daya Dukung (izin)}	Kontrol
1	1,0 H	20	39,043	2,5	OK
2	0,9 H	18	32,176	2,5	OK
3	0,8 H	16	25,113	2,5	OK
4	0,7 H	14	17,878	2,5	OK

Tabel 6 menunjukkan nilai faktor keamanan stabilitas eksternal terhadap daya dukung dengan panjang perkuatan 14 m, 16 m, 18 m, dan 20 m. Dari nilai faktor keamanan yang didapat bahwa semua desain panjang perkuatan dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan lebih dari 2,5.

Hasil perhitungan kestabilan eksternal yang meliputi 3 stabilitas merupakan suatu kesatuan, apabila salah satu dari ketiga stabilitas tidak ok atau tidak memenuhi persyaratan, maka perlu adanya perubahan dimensi perencanaan dinding MSE. Berdasarkan hasil yang didapat, semua desain panjang perkuatan dalam perencanaan dinding MSE dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE dengan pengaruh MAT.

3.8. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE dengan Pengaruh Muka Air Tanah dan Beban Gempa

Tabel 7. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE dengan Pengaruh MAT dan Beban Gempa terhadap Gelincir

Gelincir (<i>Sliding</i>)					
No	L		FK _{Geser}	FK _{Geser (izin)}	Kontrol
1	1,0 H	20	1,300	1,125	OK
2	0,9 H	18	1,170	1,125	OK
3	0,8 H	16	1,040	1,125	TIDAK OK
4	0,7 H	14	0,910	1,125	TIDAK OK

Tabel 7 menunjukkan nilai faktor keamanan stabilitas eksternal terhadap gelincir dengan panjang perkuatan 14 m, 16 m, 18 m, dan 20 m. Dari nilai faktor keamanan yang didapat bahwa untuk panjang perkuatan 18 m dan 20 m dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan lebih dari 1,125 dan untuk panjang perkuatan 14 m dan 16 m tidak dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan kurang dari 1,125.

Tabel 8. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE dengan Pengaruh MAT dan Beban Gempa terhadap Guling

Guling (<i>Overtuning</i>)					
No	L		FK _{Guling}	FK _{Guling (izin)}	Kontrol
1	1,0 H	20	1,735	1,5	OK
2	0,9 H	18	1,405	1,5	TIDAK OK
3	0,8 H	16	1,110	1,5	TIDAK OK
4	0,7 H	14	0,850	1,5	TIDAK OK

Tabel 8 menunjukkan nilai faktor keamanan stabilitas eksternal terhadap guling dengan panjang perkuatan 14 m, 16 m, 18 m, dan 20 m. Dari nilai faktor keamanan yang didapat bahwa untuk panjang perkuatan 20 m dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan lebih dari 1,5 dan untuk panjang perkuatan 14 m, 16 m, dan 18 m tidak dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan kurang dari 1,5.

Tabel 9. Analisis Kestabilan Eksternal Dinding MSE dengan Pengaruh MAT dan Beban Gempa terhadap Daya Dukung

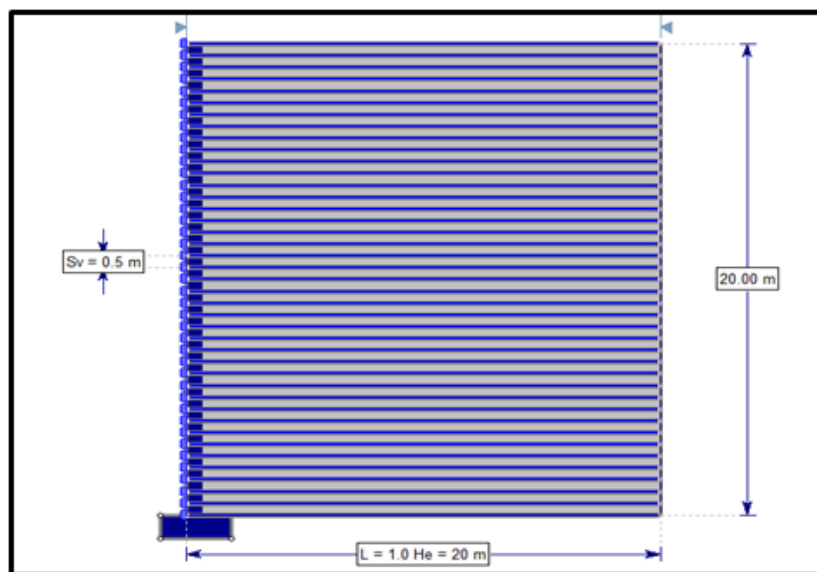
Daya Dukung (<i>Bearing</i>)					
No	L		FK _{Daya Dukung}	FK _{Daya Dukung (izin)}	Kontrol
1	1,0 H	20	9,817	1,875	OK
2	0,9 H	18	4,096	1,875	OK
3	0,8 H	16	0,432	1,875	TIDAK OK
4	0,7 H	14	0	1,875	TIDAK OK

Tabel 9 menunjukkan nilai faktor keamanan stabilitas eksternal terhadap daya dukung dengan panjang perkuatan 14 m, 16 m, 18 m, dan 20 m. Dari nilai faktor keamanan yang didapat bahwa untuk panjang perkuatan 18 m dan 20 m dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan lebih dari 1,875 dan untuk panjang perkuatan 14 m, dan 16 m tidak dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE karena faktor keamanan kurang dari 1,875.

Berdasarkan hasil dari ketiga stabilitas yang didapat, desain perkuatan dengan panjang 0,7 He, 0,8 He, dan 0,9 He dalam perencanaan dinding MSE tidak dapat digunakan dan hanya desain perkuatan dengan panjang 1,0 He yang dapat digunakan pada perencanaan dinding MSE dengan pengaruh MAT dan beban gempa.

3.9. Analisis Kestabilan Internal Dinding MSE Tanpa Beban Gempa

Pada penelitian ini, dinding MSE direncanakan memiliki tinggi yaitu 20 m dan memiliki lebar sebesar L. Jarak vertikal antar perkuatan (S_v) sama dengan tinggi penutup muka yaitu 0,5 m. Dinding MSE dipasang vertikal lurus ($\beta = 0^\circ$), dimana persentase cakupan geogrid (R_c) sebesar 100% serta sudut gesekan antara dinding dan tanah $\delta = \phi$. Skema perencanaan dinding MSE ditampilkan pada Gambar 8.

**Gambar 8.** Skema Rencana Dinding MSE dengan Perkuatan Geogrid

a. Kegagalan Tarik

Kegagalan tarik merupakan bagian dari kestabilan internal dimana kegagalan tarik dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$FS_{po} = \frac{T_{po}}{T_{max}} \quad (1)$$

Berdasarkan hasil yang didapat, kegagalan tarik pada $S_v = 0,5$ m dan panjang perkuatan sebesar 1,0 He memiliki faktor keamanan yang lebih dari 1,5 sehingga dinyatakan aman terhadap kestabilan tarik.

b. Kegagalan Geosintetik

Kegagalan geosintetik dicoba dengan berbagai kekuatan maksimum yang diizinkan perkuatan sesuai jenis geogrid.

Tabel 10. Kuat Izin Geogrid pada Berbagai Jenis (*Tensar's Brochure, 2019*)

Jenis Geogrid	UX 1100	UX 1400	UX 1500	UX 1600	UX 1700	UX 1800
Ultimate Tensile Strength (T_{ult}) (kN/m)	58	70	114	144	175	210

Berdasarkan hasil perhitungan kestabilan internal terhadap kegagalan geosintetik pada $S_v = 0,5$ m didapat bahwa Geogrid dengan jenis UX 1100, UX 1400, UX 1500, dan UX 1600 tidak dapat digunakan. Namun, untuk Geogrid dengan jenis UX 1700 dan UX 1800 dapat digunakan dalam perencanaan dinding MSE dikarenakan nilai T_a/T_{max} lebih besar dari 1,5.

c. Kegagalan Sambungan

Jenis geosintetik yang digunakan dalam perencanaan ini adalah Geogrid. Kegagalan sambungan dicoba dengan berbagai kekuatan maksimum yang diizinkan perkuatan sesuai jenis geogrid.

$$FS_{cn} = \frac{T_{cn}}{T_{max}} \quad (2)$$

Tabel 11. Kuat Izin Sambungan Geogrid pada Berbagai Jenis (*Tensar's Brochure, 2019*)

Jenis Geogrid	UX 1100	UX 1400	UX 1500	UX 1600	UX 1700	UX 1800
Kekuatan Maks yang diizinkan (kN/m)	54	66	105	135	160	180

Berdasarkan hasil perhitungan kestabilan internal terhadap kegagalan sambungan pada $S_v = 0,5$ m didapat bahwa hanya Geogrid dengan jenis UX 1100 yang tidak dapat digunakan. Namun, untuk Geogrid dengan jenis UX 1400, UX 1500, UX 1600, UX 1700 dan UX 1800 dapat digunakan dalam perencanaan dinding MSE dikarenakan nilai T_{cn}/T_{max} lebih besar dari 1,5.

3.10. Analisis Kestabilan Internal Dinding MSE Dengan Beban Gempa

a. Kegagalan Tarik

Berdasarkan hasil yang didapat, kegagalan tarik pada $S_v = 0,5$ m dan panjang perkuatan sebesar 1,0 He memiliki faktor keamanan yang lebih dari 1,125 dimana untuk beban gempa faktor keamanannya 75% dari 1,5 sehingga dinyatakan aman terhadap kestabilan tarik dengan pengaruh beban gempa.

b. Kegagalan Geosintetik

Berdasarkan hasil perhitungan kestabilan internal terhadap kegagalan geosintetik dengan beban gempa pada $S_v = 0,5$ m didapat bahwa Geogrid dengan jenis UX 1100, UX 1400, UX 1500, UX 1600, dan UX 1700 tidak dapat digunakan. Dan hanya Geogrid dengan jenis UX 1800 yang dapat digunakan dalam perencanaan dinding MSE dikarenakan nilai faktor keamanan lebih besar dari 1,125 dimana untuk beban gempa faktor keamanannya 75% dari 1,5.

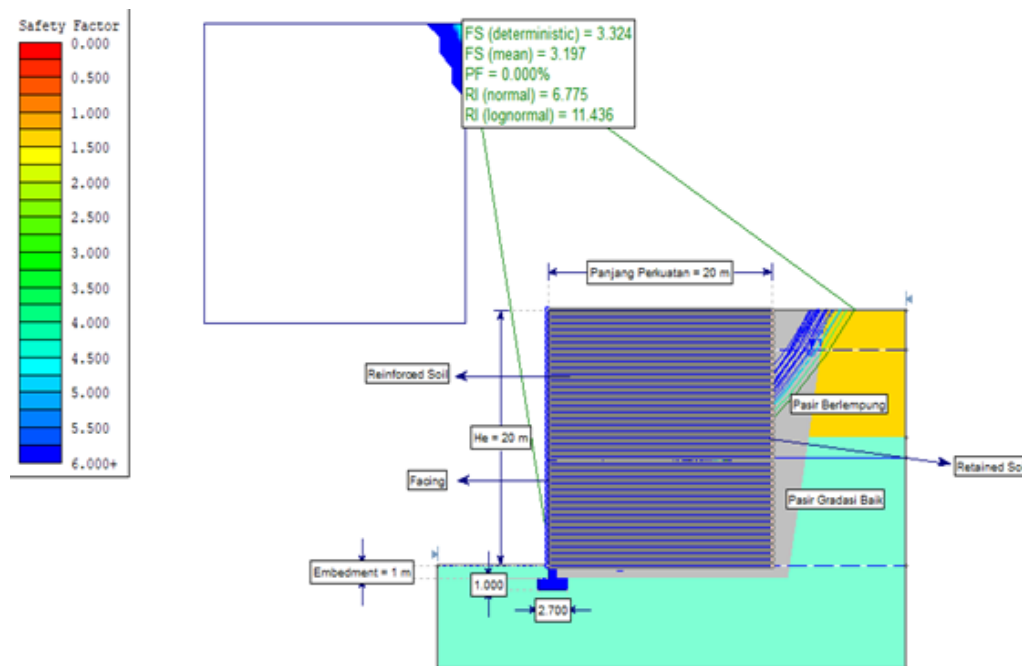
c. Kegagalan Sambungan

Berdasarkan hasil perhitungan kestabilan internal terhadap kegagalan sambungan dengan beban gempa pada $S_v = 0,5$ m didapat bahwa Geogrid dengan jenis UX 1100 dan UX 1400 tidak dapat digunakan. Namun, untuk Geogrid dengan jenis UX 1500, UX 1600, UX 1700 dan UX

1800 dapat digunakan dalam perencanaan dinding MSE dikarenakan nilai faktor keamanan lebih besar dari 1,125 dimana untuk beban gempa faktor keamanannya 75% dari 1,5.

3.11. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Dinding MSE Pada Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775

Dalam perhitungan analisis ini diambil parameter rencana dinding MSE yang sudah memenuhi persyaratan kestabilan eksternal maupun kestabilan internal. Parameter yang digunakan yaitu tinggi dinding MSE (H_e) = 20 m, panjang perkuatan (L) = 1,0 H_e atau 20 m, jarak vertikal antar perkuatan (S_v) = 0,5 m, jenis geogrid yang digunakan adalah UX 1800, koefisien gempa horizontal (k_h) = 0,4761, dan *facing* menggunakan *cohesive soil* yang divariasikan berdasarkan konsistensi tanah mulai dari medium sampai keras, maka : C_u = 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100.



Gambar 9. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Dinding MSE dengan Pengaruh MAT dan Beban Gempa pada Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775

Dari hasil faktor keamanan analisis kestabilan lereng menggunakan dinding MSE dengan pengaruh MAT dan beban gempa didapat nilai sebesar 3,324 dengan menggunakan kohesi tanah 15 kPa sebagai *facing* menunjukkan bahwa lereng dengan perkuatan dinding MSE yang direncanakan dapat digunakan karena nilai faktor keamanan sudah memenuhi persyaratan stabilitas global yakni diatas 1,3.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa lereng eksisting pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775 tidak aman terhadap pengaruh muka air tanah dalam kondisi statis maupun kondisi pengaruh gempa (dinamis) karena faktor keamanan kurang dari 1,5. Untuk pemodelan dinding MSE direncanakan dengan tinggi dinding 20 m, panjang perkuatan 1,0 H_e atau 20 m, jarak vertikal antar perkuatan 0,5 m, dan jenis geogrid yang digunakan UX 1800 dikatakan aman dan dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengaman lereng pada ruas jalan Manado Outer Ring Road III STA 8+775. Faktor keamanan kestabilan lereng menggunakan dinding MSE dengan pengaruh muka air tanah dan beban gempa adalah 3,324 dengan menggunakan kohesi tanah 15 kPa dikatakan aman dan memenuhi syarat stabilitas global karena memiliki nilai diatas 1,3 sehingga lereng dengan perencanaan perkuatan dinding MSE dapat digunakan.

Referensi

- Berg, R.R., Christopher, B.R., & Samtani, N.C. 2009. *Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I*. Washington, D.C.: FHWA-NHI.
- Das, B.M. 1998. *Mekanika Tanah : Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 2*. Erlangga, Jakarta.
- DPU 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta Selatan, Indonesia.
- Federal Highway Administration (FHWA). 2009. *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes*.
- González, M., Villalobos, F., Méndez, A. and Carrillo, P. 2018. *Study of the Static and Seismic Performance of a Geogrid Reinforced Soil Wall as Bridge Abutment in Concepción*. *Obras y Proyectos* 24, 41-52.
- Han, J. 2015. *Principles and Practice of Ground Improvement*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah II*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Laksono, V.A., Syahril. 2017. *Perancangan Struktur Perkuatan Tanah pada Timbunan Jalan Pendekat (Oprit) Overpass 4 Pangkalan*.
- Legrans, R.R.I. 2016. *Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kestabilan Dinding MSE Dengan Perkuatan Geotekstil Di Daerah Reklamasi Malalayang*. *Jurnal Tekno* Vol.14 No. 66.
- Ratag, C.M.C.F., Mandagi, A.T., Legrans, R.R.I. 2018. *Analisis Dinding Mechanically Stabilized Earth (MSE) (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475)*. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 6 No.8.
- Sampouw, B.G., Mandagi, A.T., Ticoh, J.H. 2019. *Analisis Kestabilan Lereng Sebagai Perkuatan Desain Dinding MSE Pada Ruas Jalan Tol 2 Manado-Bitung STA 9+745 Menggunakan Software Slide V.6.005*. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 7 No.12.
- SNI 8460:2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Sutiyono, D.L., Balamba S., Sarajar A.N. 2017. *Analisis Stabilitas Lereng Akibat Gempa Di Ruas Jalan Noongan - Pangu*. *Jurnal Tekno* Vol.15 No.67.
- 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.