

ANALISIS DINDING *MECHANICALLY STABILIZED EARTH* (MSE) (STUDI KASUS: RUAS JALAN TOL MANADO BITUNG STA 6+475)

Cut Meutia Corphylia Frianvonsa Ratag

Agnes T. Mandagi, Roski R. I. Legrans

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: cmratag@gmail.com

ABSTRAK

*Pada ruas jalan Tol Manado Bitung akan dibuat jalan diatas permukaan tanah yang miring sehingga perlu penimbunan tanah agar elevasi tanah sesuai perencanaan. Hal tersebut dapat menyebabkan kelongsoran apabila tidak diberi pengaman lereng pada area tanah timbunan. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaplikasian dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) yang direncanakan mulai dari kestabilan eksternal, internal dan global dengan variasi panjang perkuatan 0,3 He; 0,4 He; 0,5 He; 0,6 He; 0,7 He; 0,8 He; 0,9 He (He = Tinggi dinding MSE), jarak vertikal perkuatan 1 m; 1,2 m; 1,5 m; 2 m; 3 m dan jenis geogrid UX 1100, UX 1400, UX 1500, UX 1600, UX 1700, dan UX 1800. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng eksisting pada ruas jalan Tol Manado Bitung STA 6+475 memiliki faktor keamanan lebih dari 1 sehingga dapat dikategorikan aman. Dalam mengaplikasikan dinding MSE pada lokasi studi kasus dengan dimensi yang direncanakan untuk panjang perkuatan 0,6 He dan 0,5 He memenuhi syarat kestabilan eksternal namun tidak memenuhi syarat kestabilan internal. Stabilitas global dengan menggunakan kohesi tanah 20 kPa sebagai facing sudah memenuhi persyaratan stabilitas global yakni diatas 1,3 sehingga lereng dengan perkuatan dinding MSE yang direncanakan dapat digunakan.*

Kata kunci: “Dinding MSE”, “Lereng”, “Geogrid”.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana utama dalam bidang transportasi darat yang melayani pergerakan manusia atau barang dari tempat asal ke tempat tujuan. Ketersediaan prasarana jalan menjadi sesuatu yang sangat penting dalam mendukung berkembangnya suatu wilayah yang ditandai dengan lancarnya distribusi pergerakan manusia, barang dan jasa sehingga kegiatan perekonomian wilayah tersebut menjadi lebih maju. Hal ini menyebabkan kebutuhan penggunaan lahan jalan semakin meningkat dan mendorong perencana maupun pelaksana pembuatan jalan memaksimalkan lahan yang ada, salah satunya adalah kawasan perbukitan dan berlereng. Kebutuhan elevasi pada pembangunan di daerah berlereng menuntut perencana untuk melakukan penggalian maupun timbunan tanah.

Pada ruas jalan Tol Manado Bitung STA 6+475 akan dibuat jalan di atas permukaan tanah yang miring dengan ketinggian 22,75 m. Dengan perencanaan jalan diatas lereng perlu dilakukan penimbunan tanah agar elevasi tanah sesuai yang direncanakan. Hal tersebut dapat menyebabkan kelongsoran apabila tidak diberi pengaman lereng pada area tanah timbunan.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mencegah terjadinya kelongsoran, salah satunya menggunakan dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE).

(Elias,dkk, 2001) mengemukakan bahwa Dinding MSE dengan penutup muka beton pracetak umumnya lebih murah dibandingkan dengan dinding penahan beton yang diperkuat untuk ketinggian lebih dari 3 m pada kondisi pondasi yang baik. Harga dinding blok modular bersaing dengan dinding beton untuk ketinggian kurang dari 4,5 m. Pada umumnya, dinding MSE lebih menguntungkan dibandingkan dengan struktur penahan beton lainnya. Terutama jika berada pada tanah pondasi yang kurang baik.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kestabilan dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) dengan perkuatan Geogrid sebagai pengaman lereng pada Ruas Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475.

Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini diberikan beberapa batasan agar penelitian tidak luas dan lebih

terarah. Adapun beberapa batasan masalah tersebut antara lain :

- Tidak merencanakan struktur penutup muka pada dinding MSE
- Tidak memperhitungkan muka air tanah
- Tidak memperhitungkan penurunan (*settlement*)
- Tidak meninjau dari beban gempa
- Tidak memperhitungkan biaya (*cost*)
- Tidak merencanakan drainase

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui:

- Faktor keamanan lereng eksisting pada ruas jalan tol Manado-Bitung STA 6+475
- Kestabilan Dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) dengan perkuatan Geogrid yang direncanakan pada ruas jalan tol Manado-Bitung STA 6+475
- Faktor keamanan lereng yang menggunakan Dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) dengan perkuatan Geogrid pada ruas jalan tol Manado-Bitung STA 6+475

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yakni dapat menjadi bahan pertimbangan untuk pengaman lereng pada Ruas Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475

LANDASAN TEORI

Kestabilan Lereng

Faktor keamanan adalah rasio antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \tag{1}$$

dimana:

τ_f = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah

τ_d = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor

Tahanan geser maksimum dapat dihitung dengan persamaan:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \tag{2}$$

dimana:

c = kohesi

σ = gaya normal pada bidang kelongsoran

ϕ = sudut geser tanah

Tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor dapat dihitung dengan persamaan:

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \tag{3}$$

dimana:

c_d = kohesi yang bekerja sepanjang bidang longsor

ϕ_d = sudut geser tanah yang bekerja sepanjang bidang longsor

Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode Bishop disederhanakan (Bishop, 1955) mengasumsikan bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal.

Gambar 1 menunjukkan *polygon* gaya untuk keseimbangan dari irisan nomor n . jika gaya dalam arah vertikal dijumlahkan, maka didapatkan persamaan:

$$W_n + \Delta T = N_r \cos \alpha_n + \left[\frac{N_r \tan \phi}{F_s} + \frac{c \cdot \Delta L_n}{F_s} \right] \sin \alpha_n \tag{4}$$

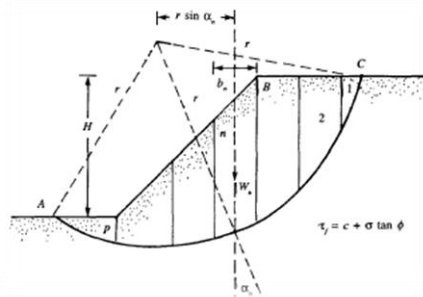
dimana:

r = jari-jari lingkaran bidang longsor (lihat gambar 1)

n = jumlah irisan

W_n = berat massa tanah irisan ke- i (kN)

α_n = sudut yang didefinisikan pada gambar 1



Gambar 1. Analisis Stabilitas dengan Metode Irisan: Permukaan Bidang yang Dicoba (Sumber: Das, 1993)

Kestabilan Lereng dengan Metode Fellenius

Kestabilan lereng dengan menggunakan metode Fellenius (1927) mengasumsikan gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah horizontal. Faktor keamanan didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \tag{5}$$

dengan

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^n W_n \sin \alpha_n \tag{6}$$

$$\sum M_r = r \sum_{i=1}^n (c a_i + N_i \tan \phi) \tag{7}$$

dimana:

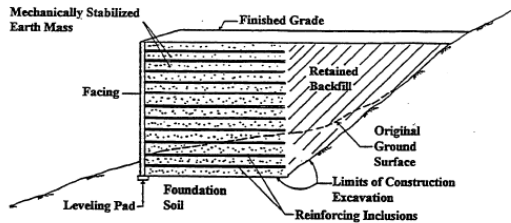
$\sum M_r$ = Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor

$\sum M_d$ = Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor

α_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i - α (m)

Dinding Mechanically Stabilized Earth (MSE)

Dinding MSE dibangun dengan meletakkan elemen perkuatan pada tiap lapisan dan dipadatkan dengan tanah timbunan terpilih dibelakang dinding (lihat gambar 2)



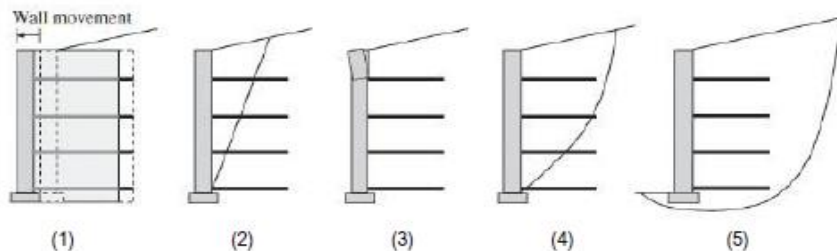
Gambar 2 Komponen-komponen Dinding MSE (Sumber: Christopher, 1990)

Tanah timbunan yang direkomendasikan untuk dinding MSE adalah tanah granular karena tanah granular memiliki kemampuan menyalurkan tegangan, ketahanan, dan drainase yang baik dibandingkan tanah lempung. Ketentuan material granular pada dinding MSE dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan Material Granular pada Dinding MSE

	Ukuran Saringan	Persen Lolos
Gradasi: (AASHTO T-27)	4 in (102 mm) ^(*)	100
	No. 4 (4,76 mm)	100 - 20
	No. 200 (0,075 mm)	0 - 50
Indeks Plastisitas (AASHTO T-90)	PI ≤ 6	
Notes: (*) Ukuran maksimum partikel harus disesuaikan dengan penggunaan material perkuatan yang digunakan. Untuk penggunaan material geosintetik, ukuran dapat dikurang menjadi 3/4 in (19 mm)		

(Sumber : FHWA, 2009)



Gambar 3. Tipe Kegagalan Dinding MSE : (1) Eksternal; (2) Internal; (3) Lokal; (4) Kombinasi; (5) Global

(Sumber : Han, 2015)

Beberapa kisaran nilai sifat-sifat indeks dan mekanis tanah yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menilai keandalan hasil pengujian tanah timbunan dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Beberapa Kisaran Nilai Sifat-sifat Indeks dan Mekanis Tanah

	Indeks Plastisitas	Berat Isi (kN/m ³)	Berat Isi Kering Max (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (deg)
Pasir Halus sampai Kasar	-	19-20	19	-	35 - 40
Pasir sedikit kelanauan, kelempungan		18-19	18	-	27- 32,5
Tanah Merah	30 - 50	16 - 17,5	12,5*	10- 25	20 - 40
Keterangan * : pada kadar air optimum 40%					

(Sumber : DPU, 2009)

Prinsip Dinding MSE

Pada prinsipnya, Dinding MSE memiliki 5 (lima) tipe kegagalan, yakni (1) tipe kegagalan eksternal; (2) tipe kegagalan internal; (3) tipe kegagalan lokal; (4) tipe kegagalan kombinasi (kombinasi antara tipe 1,2 dan 3); dan (5) tipe kegagalan global (lihat gambar 3). Kegagalan eksternal yakni kegagalan terhadap geser, guling dan daya dukung. Kegagalan internal disebabkan oleh kegagalan akibat retak, kegagalan tarik dan kegagalan sambungan pada perkuatan. Kegagalan lokal disebabkan oleh besarnya jarak antar perkuatan yang dipasang sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan guling dan kerusakan dinding MSE. Kegagalan kombinasi dan kegagalan global berkaitan dengan keruntuhan lereng, dimana bidang keruntuhan berada sebagian pada zona perkuatan atau di luar zona perkuatan

Perencanaan Dinding MSE

Dalam merencanakan dinding MSE, ada beberapa bagian yang direncanakan dan dianalisa, yakni :

1. Penutup Muka
2. Umur Rencana
3. Dimensi Alas Perata (*Levelling Pad*)
4. Terbenamnya Penutup Muka (*Embedment*)
5. Panjang Perkuatan
6. Drainase

Kestabilan Dinding MSE

Persyaratan kestabilan dinding MSE dengan perkuatan geosintetik yang disarankan oleh (Holtz, dkk, 2008) dapat dilihat pada tabel 3.

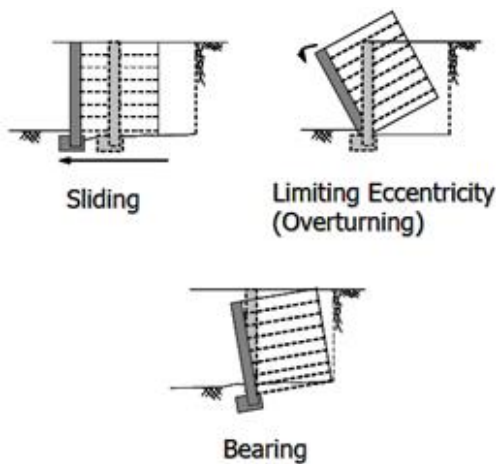
Tabel 3. Persyaratan Kestabilan Dinding MSE dengan Perkuatan Geosintetik

Location	Failure Mode	Requirement
External	Base sliding	FS > 1.5
	Bearing failure	FS > 2.0-2.5
	Overtuning	FS > 2.0
Internal	Geosynthetic rupture	FS > 1.5
	Pullout	FS > 1.5 with 1.0m embedment length
	Connection	FS > 1.5
Overall	Deep-seated Settlement and differential settlement	FS > 1.3 Project-dependent
	Seismic All failure modes	FS > 75% static FS

(Sumber : Han, 2015)

Stabilitas Eksternal

Ada 3 (tiga) keruntuhan eksternal, yakni: (1) Gelincir (*sliding*); (2) pembatasan eksentrisitas / guling (*overtuning*); (3) daya dukung (*bearing*)



Gambar 4. Keruntuhan Eksternal pada Dinding MSE

(Sumber : FHWA, 2009)

Stabilitas Guling (*Overtuning*)

Stabilitas gelincir (*sliding*) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Fk_{guling} = \frac{M_{RO}}{M_O} \geq 2 \tag{8}$$

dimana :

M_{RO} = Momen tahanan yang bekerja

M_O = Momen guling

Stabilitas Gelincir (*Sliding*)

Stabilitas gelincir (*sliding*) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Fk_{geser} = \frac{\sum P_R}{\sum P_D} \geq 1,5 \tag{9}$$

dimana:

P_R = Gaya-gaya tahanan horizontal

P_D = Gaya-gaya pendorong horizontal

$$P_R = (V_1 + V_2 + F_T \sin \beta) \cdot \mu \tag{10}$$

dengan μ adalah nilai terkecil dari ($\tan \phi_f$, $\tan \phi_r$ atau $\tan \rho$). Untuk beban-beban hidup kendaraan harus diabaikan.

$$P_D = F_h = F_T \cos \beta \tag{11}$$

Stabilitas Daya Dukung (*Bearing*)

Terdapat 2 (dua) mode keruntuhan daya dukung, yakni: (1) keruntuhan geser global; (2) keruntuhan geser lokal. Geser lokal ditandai dengan “peremasan (*squeezing*)” dari tanah pondasi apabila terdapat tanah lunak atau bersifat lepas di bawah dinding.

- Geser global

Untuk mencegah keruntuhan daya dukung, tegangan vertikal yang dihitung dengan tipe Meyerhoff tidak melebihi daya dukung izin tanah pondasi yang telah ditentukan dengan mempertimbangkan faktor keamanan sebesar 2,5

$$\sigma_v \leq q_u = \frac{q_{ult}}{FK} \tag{12}$$

Persamaan tegangan vertikal σ_v pada pondasi dengan mengasumsikan distribusi tipe meyerhoff :

$$\sigma_v = \frac{V_1 + V_2 + F_T \sin \beta}{L - 2e} \tag{13}$$

Perhitungan daya dukung ultimit, q_{ult} untuk tanah dasar di depan dinding yang rata dan tanpa pengaruh muka air tanah menggunakan persamaan berikut :

$$q_{ult} = c_r \cdot N_c + 0,5L \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \tag{14}$$

dimana:

C_r = kohesi (kN/m^2)

γ_f = berat isi tanah (kN/m^3)

N_c dan N_γ = koefisien daya dukung tanah (lihat tabel 4)

Tabel 4. Koefisien Daya Dukung Tanah

φ	N _q	N _c	N _r	φ	N _q	N _c	N _r
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.2	14.47
2	5.63	1.2	0.15	28	25.8	14.72	16.72
3	5.9	1.31	0.24	29	27.96	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.4	22.4
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.9
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.3	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.8	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	37.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.2	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.9	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.1	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.84
19	13.93	5.8	4.68	45	133.88	134.88	271.78
20	14.83	6.4	5.39	46	152.1	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.2	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.2	49	229.93	265.51	613.18
24	19.32	9.6	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88	-	-	-	-

(Sumber : DPU, 2009)

• Geser lokal

Untuk mencegah pergerakan horizontal struktur yang besar pada tanah berkohesif rendah, persyaratan berikut ini harus dipenuhi:

$$\gamma H \leq 3c \tag{15}$$

Jika kondisi tersebut tidak memadai, maka perlu adanya perbaikan tanah pondasi.

Stabilitas Internal

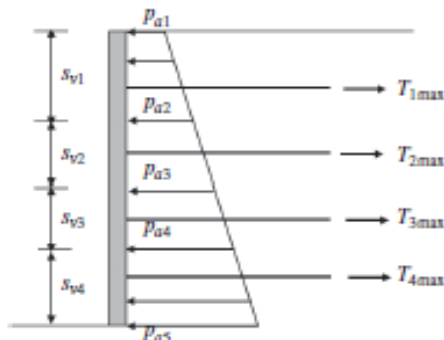
Menurut (Holtz,dkk 2008) terdapat 3 (tiga) jenis keruntuhan internal ,yakni: (1) kegagalan geosintetik; (2) kegagalan tarik; (3) kegagalan sambungan. Untuk menganalisis kestabilan internal, setiap perkuatan memberikan gaya tarik maksimum yang dihitung melalui persamaan:

$$T_{i\max} = \frac{1}{2} \cdot (p_{ai} + p_{a(i+1)}) \cdot s_{vi}, i = 1,2, \dots, n \tag{16}$$

dimana:

n = jumlah perkuatan

s_{vi} = panjang distribusi tekanan lateral aktif setiap perkuatan pada dinding MSE



Gambar 5. Distribusi Kuat Tarik Maksimum pada Setiap Perkuatan (Sumber: Han, 2015)

Bidang keruntuhan potensial dalam zona perkuatan merupakan bidang keruntuhan Rankine, itu adalah :

$$\psi = 45^\circ + \frac{\phi_r}{2} \tag{17}$$

Kegagalan Tarik

Kestabilan internal / faktor keamanan (safety factor) terhadap kegagalan tarik dihitung dengan menggunakan persamaan

$$FS_{po} = \frac{T_{po}}{T_{max}} \tag{18}$$

dimana :

T_{po} = kapasitas tarik perkuatan

Untuk menghitung kapasitas tarik perkuatan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T_{po} = 2F * \alpha_{se} R_c \sigma_z L_a = 2C_i R_c \sigma_z L_a \tag{19}$$

dimana:

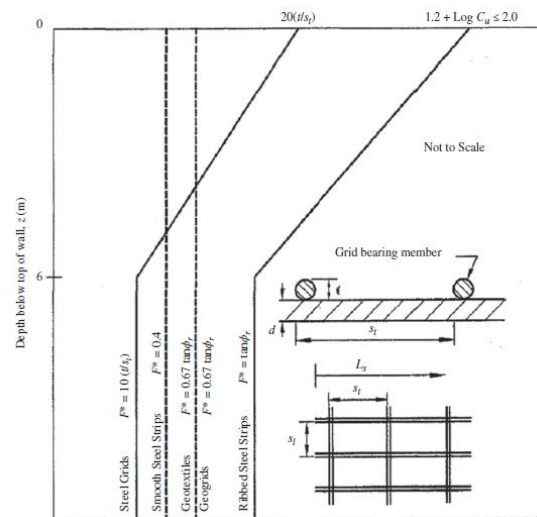
α_{se} = faktor koreksi tipe perkuatan (perkuatan baja = 1,0; geogrid = 0,8; geotextile = 0,8)

R_c = persentase cakupan perkuatan

σ_z = tegangan vertikal perkuatan pada kedalaman z dari atas dinding

L_a = panjang perkuatan pada tanah timbunan

F * = faktor gesekan tarik. Nilai F* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Nilai-nilai Faktor Gesekan Tarik F*, berdasarkan material perkuatan (Sumber: Elias, dkk, 2001)

Kegagalan Geosintetik

Kestabilan internal / faktor keamanan (safety factor) terhadap kegagalan geosintetik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$FS_{rp} = \frac{T_a}{T_{max}} \tag{20}$$

dimana:

T_a = kuat izin rencana material perkuatan dengan mempertimbangkan faktor reduksi akibat rangkai (*creep*), pemasangan, dan daya tahan perkuatan geosintetik atau koreksi luas penampang terhadap korosi perkuatan tipe metalik.

Kegagalan Sambungan

Kestabilan internal / faktor keamanan (*safety factor*) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$FS_{cn} = \frac{T_{cn}}{T_{max}} \quad (21)$$

dimana:

T_{cn} = kuat izin sambungan, yang diperoleh dari pengujian-pengujian sambungan (Elias, dkk, 2001)

Geogrid

Geogrid merupakan suatu produk berbentuk lembaran jaring (*web*) yang terbuat dari bahan polimer lentur yang digunakan dengan tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari suatu pekerjaan, struktur atau system (ASTM D 4439). Jenis-jenis Geogrid dan kegunaannya:

- Uni-axial Geogrids berfungsi sebagai material perkuatan pada sistem konstruksi dinding penahan tanah (Retaining Wall) dan perkuatan lereng (Slope reinforcement)
- Bi-axial Geogrids digunakan di Indonesia sebagai bahan untuk meningkatkan tanah dasar lunak.
- Geogrid Triax Fungsinya sama dengan Bi-axial sebagai material stabilisasi tanah dasar lunak, hanya saja performance nya lebih baik

Korelasi Nilai SPT

Nilai SPT dapat digunakan untuk memperkirakan nilai sudut geser dalam (ϕ) untuk tanah granular. Nilai sudut geser dalam mempunyai korelasi dengan nilai *standard penetration test*. Wolff (1989) membuat pendekatan korelasi nilai sudut geser dalam dan N SPT dalam persamaan:

$$\phi^\circ = 27,1 + 0,3N - 0,00054N^2 \quad (22)$$

“Road Bridge Specifications” di Jepang (Shio dan Fukui 1982) menyarankan untuk nilai N SPT > 5, menggunakan persamaan:

$$\phi^\circ = (15N)^{\frac{1}{2}} + 15 \quad (23)$$

Dan pada buku “*Design Standards for Structures*” (Shioi dan Fukui, 1982), korelasi ϕ° dan N SPT didefinisikan pada persamaan:

$$\phi^\circ = 0,3N + 27^\circ \quad (24)$$

Ruang Milik Jalan

Pada UU No. 38 tahun 2004 menjelaskan bagian-bagian jalan, yakni:

- Ruang manfaat jalan: meliputi badan jalan, saluran tepi jalan dan ambang pengamanannya;
- Ruang milik jalan: meliputi ruang manfaat jalan dan sejalur tanah tertentu diluar ruang manfaat jalan;
- Ruang pengawasan jalan: merupakan ruang tertentu di luar ruang milik jalan yang ada di bawah pengawasan penyelenggara jalan.

Beban Lalu Lintas

Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B mensyaratkan besarnya beban lalu lintas yang dipakai dalam analisis stabilitas yang diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

(Sumber : DPU, 2002)

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada lereng Ruas Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475 di Provinsi Sulawesi Utara



Gambar 6. Lokasi Penelitian

Prosedur Penelitian

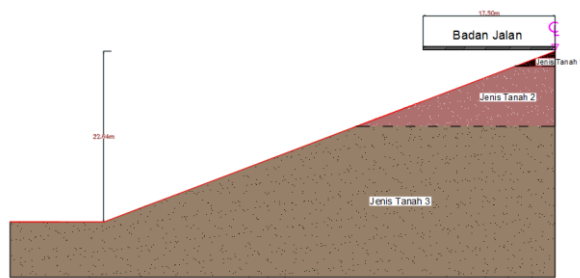
Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Studi literatur
- Survey lokasi
- Pengumpulan data
- Analisis data dan pembahasan
- Kesimpulan dan saran

Pengumpulan Data

Berikut ini data-data yang didapatkan dari instansi terkait yaitu PT. Utama Karya maupun data yang didapatkan dari literatur / panduan geoteknik, yakni:

Bentuk penampang / geometri lereng



Gambar 7. Bentuk Penampang Ruas Jalan Tol STA 6+475
(Sumber : PT Utama Karya)

Data Tanah Tanah Asli

Tabel 6. Data Penyelidikan Tanah

Kedalaman m	N-SPT	Klasifikasi tanah	γ_{total} (kN/m ³)	C (kg/cm ²)
0 - 2	41	Pasir	18	0
2 - 5	60	Pasir	18	0
5 - 10	60	Pasir	18	0
10 - 13	60	Lempung	18	2,03944
13 - 20	60	Lempung	18	2,03944
20 - 28	60	Lempung	18	2,03944
28 - 30	60	Lempung	18	2,03944

Nilai SPT yang didapat dari hasil pengujian tanah kemudian dikonversikan menjadi nilai sudut geser dalam (ϕ)

Tabel 7. Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ)

Kedalaman m	ϕ°				
	Wolff, 1989	Shioi and Fukui 1982 for Road Bridge Specifications	Shioi and Fukui 1982 for Design Standards for Structures	Peck, Hanson, and Thornburn	Rata - Rata
0 - 2	38,49226	39,79919354	39,3	38,81811024	39,1024
2 - 5	43,156	45	45	42,70876447	43,9662
5 - 10	43,156	45	45	42,70876447	43,9662
10 - 13	43,156	45	45	42,70876447	43,9662
13 - 20	43,156	45	45	42,70876447	43,9662
20 - 28	43,156	45	45	42,70876447	43,9662
28 - 30	43,156	45	45	42,70876447	43,9662

Tanah Timbunan

Tanah timbunan yang digunakan pada bidang perkuatan adalah tanah granular. Berdasarkan kisaran nilai sifat indeks dan mekanis tanah (DPU 2009) maka diambil nilai parameter kuat geser sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3 \\ c &= 0 \text{ kPa} \\ \phi &= 35^\circ \end{aligned}$$

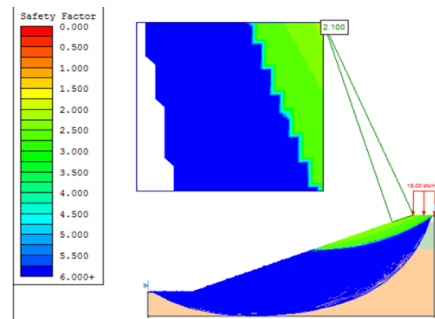
Pembebanan

Ruas jalan tol Manado – Bitung merupakan jalan Arteri / Provinsi yakni jalan kelas I, oleh karena itu analisis beban lalu lintas diambil 15 kPa sesuai ketentuan dalam Panduan Geoteknik 4 No. Pt T-10-2002-B

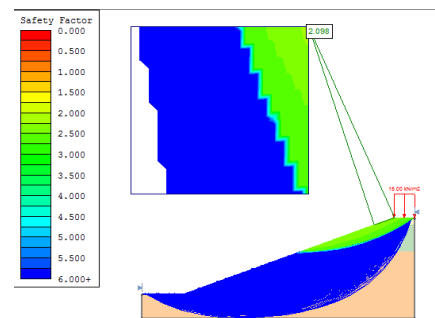
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kestabilan Lereng Eksisting Pada Ruas Jalan Tol Manado-Bitung STA 6+475

Metode yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng eksisting adalah *Bishop simplified* dan *Fellenius / Ordinary* dengan menggunakan perhitungan manual dan program SLIDE



Gambar 8. Hasil analisis kestabilan lereng eksisting dengan metode Bishop (sumber: hasil analisis)



Gambar 9. Hasil analisis kestabilan lereng eksisting dengan metode Ordinary / Fellenius (sumber : hasil analisis)

Tabel 8. Nilai Faktor Keamanan pada Lereng Eksisting Ruas Jalan Tol Manado-Bitung STA 6+475 menggunakan metode Bishop Simplified, Ordinary/Fellinius.

NO	METODE	PERHITUNGAN	FAKTOR KEAMANAN MINIMUM	FAKTOR KEAMANAN IZIN	KET.
1	Bishop Simplified	Manual	2,167	1	Aman
		Software SLIDE	2,100	1	Aman
2	Ordinary / Fellinius	Manual	2,166	1	Aman
		Software SLIDE	2,098	1	Aman

Dari kedua metode perhitungan yang digunakan, nilai faktor keamanan dengan metode *Bishop Simplified* lebih besar dibandingkan metode *Ordinary / Fellenius*. Namun kedua hasil analisis menunjukkan bahwa lereng eksisting pada ruas jalan tol Manado – Bitung STA 6+475 dapat dikatakan aman dimana faktor keamanan melebihi nilai 1.

Analisis Kestabilan Eksternal Dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE)

Tabel 9. Analisis Eksternal Dinding MSE terhadap Guling

NO	L		GULING		
			FK _{Guling}	FK _{Guling (izin)}	KONTROL
1	0,9 He	10,8	7,49	2	OK
2	0,8 He	9,6	5,92	2	OK
3	0,7 He	8,4	4,53	2	OK
4	0,6 He	7,2	3,33	2	OK
5	0,5 He	6	2,31	2	OK
6	0,4 He	4,8	1,48	2	TIDAK OK

Tabel 10. Analisis Eksternal Dinding MSE terhadap Gelincir

NO	L		GELINCIR		
			FK _{Geser}	FK _{Geser (izin)}	KONTROL
1	0,9 He	10,8	4,11	1,5	OK
2	0,8 He	9,6	3,65	1,5	OK
3	0,7 He	8,4	3,20	1,5	OK
4	0,6 He	7,2	2,74	1,5	OK
5	0,5 He	6	2,28	1,5	OK
6	0,4 He	4,8	1,83	1,5	OK

(Sumber : Hasil Analisis)

Tabel 11. Analisis Eksternal Dinding MSE terhadap Daya Dukung

NO	L		DAYA DUKUNG		
			FK _{daya dukung}	FK _{dy dkk (izin)}	KONTROL
1	0,9 He	10,8	68,75	2	OK
2	0,8 He	9,6	56,55	2	OK
3	0,7 He	8,4	43,94	2	OK
4	0,6 He	7,2	30,89	2	OK
5	0,5 He	6	17,62	2	OK
6	0,4 He	4,8	5,34	2	OK

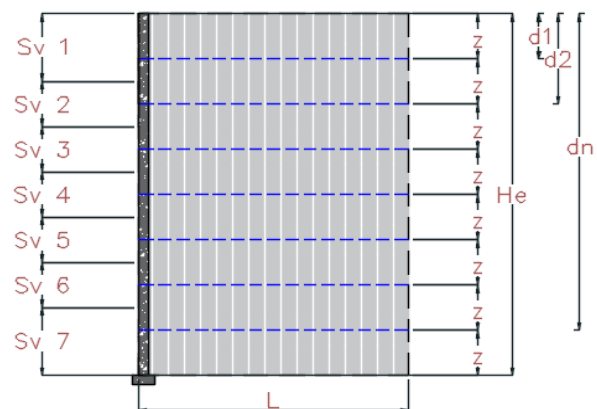
(Sumber : Hasil Analisis)

Ketiga stabilitas merupakan suatu kesatuan, apabila salah satu dari ketiga stabilitas tidak memenuhi persyaratan, maka dimensi yang dipakai tidak dapat digunakan dalam perencanaan dinding MSE maka perlu dilakukan perubahan.

Berdasarkan hasil analisis, desain perkuatan dengan panjang 0,4 He tidak dapat digunakan dalam perencanaan dinding MSE, sedangkan desain perkuatan dengan panjang 0,6 He dan 0,5 He yakni lebih kecil dari persyaratan minimum panjang perkuatan yang disarankan (Elias, dkk, 2001) memenuhi kestabilan eksternal.

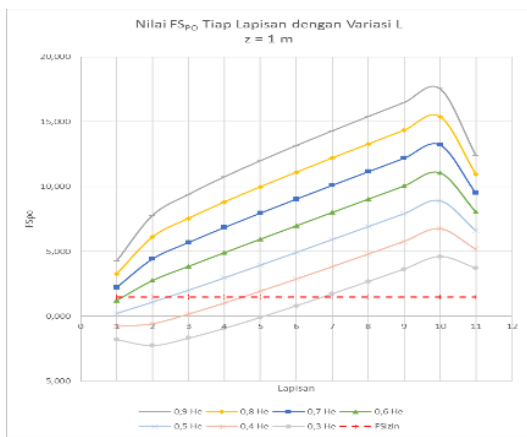
Analisis Kestabilan Internal Dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE)

Dinding MSE direncanakan setinggi 12 m dan selebar panjang perkuatan. Jarak vertikal antar perkuatan diambil sama dengan tinggi penutup muka yakni divariasikan 1 m; 1,2 m; 1,5 m; 2 m; 3m. Panjang perkuatan divariasikan mulai dari 0,3He; 0,4He; 0,5He; 0,6He; 0,7He; 0,8He; 0,9He. Dinding dipasang vertikal lurus ($\beta = 0^\circ$), presentase cakupan geogrid, $R_c = 100\%$ dan sudut gesekan antara dinding dan tanah $\delta = \phi$. Skema dinding MSE yang direncanakan adalah sebagai berikut :

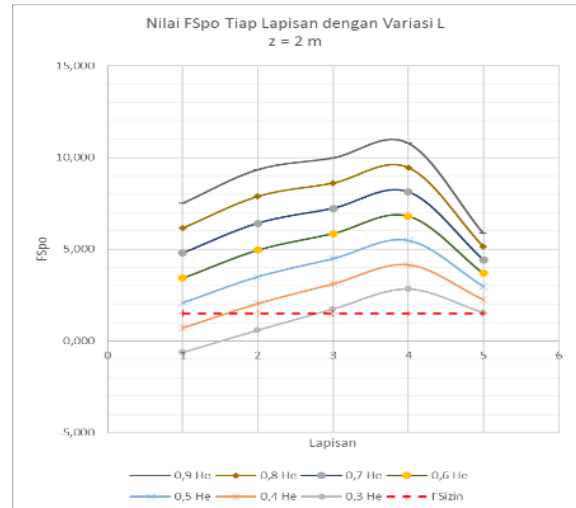


Gambar 10. Skema Rencana Dinding MSE dengan Perkuatan Geogrid

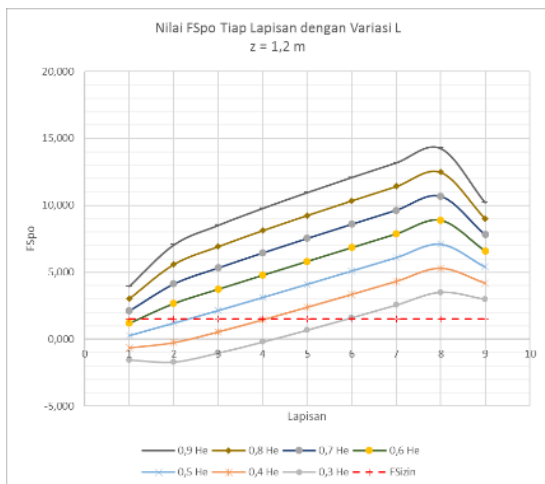
Kegagalan Tarik



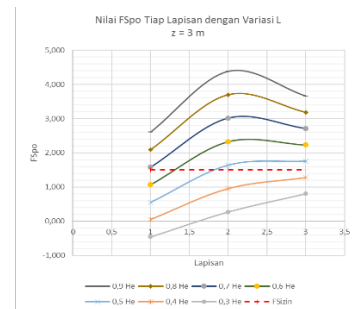
Gambar 11. Grafik Nilai FSpo Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 1 m (Sumber: Hasil Analisis)



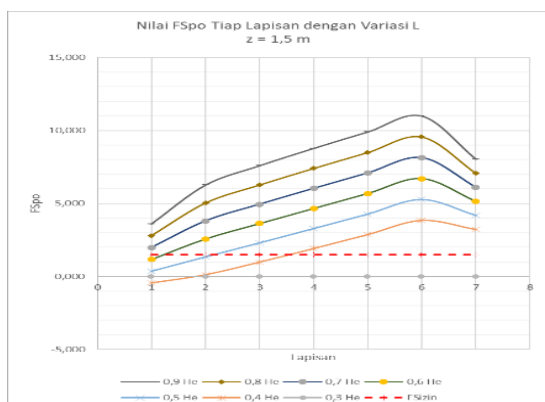
Gambar 14. Grafik Nilai FSpo Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 2 m (Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 12. Grafik Nilai FSpo Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 1,2m (Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 15. Grafik Nilai FSpo Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 3 m (Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 13. Grafik Nilai FSpo Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 1,5 m (Sumber : Hasil Analisis)

Faktor keamanan tiap lapisan merupakan gaya yang diizinkan dibagi gaya tarik maksimum tiap lapisan. Gaya tarik maksimum tiap lapisan dipengaruhi oleh panjang distribusi tekanan lateral aktif.

Berdasarkan hasil yang didapat, grafik kegagalan tarik menunjukkan bahwa 1 lapisan sebelum lapisan terakhir merupakan daerah dengan faktor keamanan tertinggi, dan pada lapisan terakhir terjadi penurunan faktor keamanan. Hal ini disebabkan oleh gaya tarik maksimum dan gaya yang diizinkan semakin besar saat lapisan perkuatan semakin dalam, namun pada lapisan terakhir, panjang distribusi tekanan lateral aktif lebih besar dari lapisan sebelumnya.

Pada analisis kegagalan tarik dinding MSE rencana dengan panjang perkuatan sebesar 0,6He dan 0,5He (He = tinggi efektif dinding MSE) memiliki faktor keamanan dibawah 1,5 sehingga dinyatakan tidak aman terhadap kestabilan tarik.

Kegagalan Geosintetik

Jenis geosintetik yang digunakan pada perencanaan ini adalah Geogrid. Kestabilan terhadap kegagalan geosintetik dicoba berbagai kekuatan maksimum yang diizinkan perkuatan sesuai jenis geogrid.

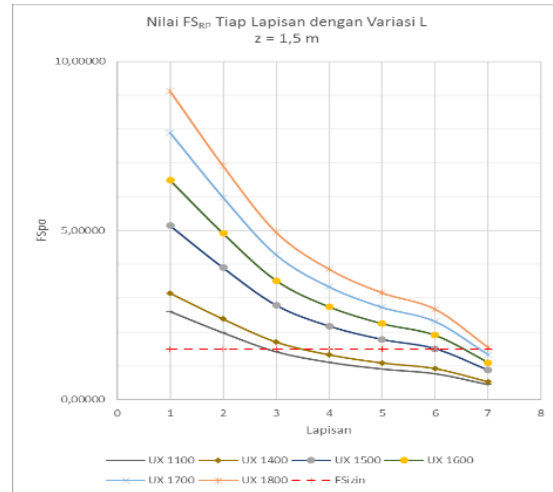
Tabel 12. Kuat Izin Geogrid pada Berbagai Jenis

Jenis Geogrid	UX 1100	UX 1400	UX 1500	UX 1600	UX 1700	UX1800
Kekuatan Maks yang diizinkan (kN/m)	21,2	25,6	41,8	52,7	64,1	74,1

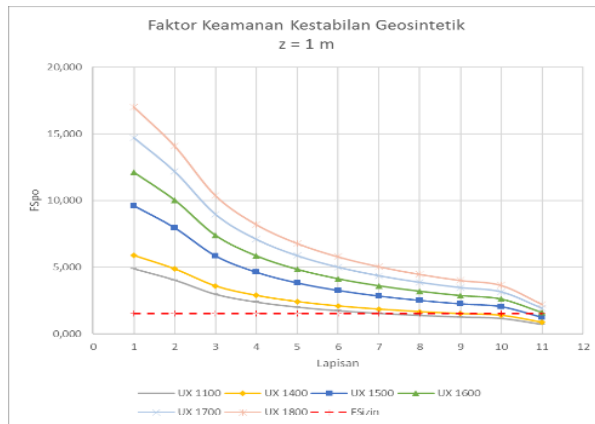
(Sumber : Tensar's Brochure)

Kuat izin geogrid dikalikan dengan faktor-faktor reduksi menghasilkan Kekuatan Izin (Ta)

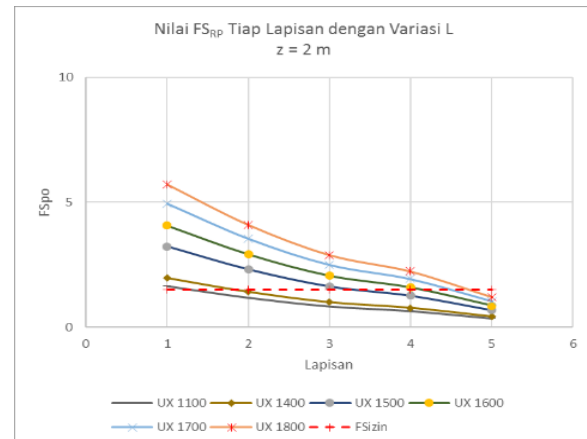
$$\begin{aligned}
 RF_{ID} &= 1,05 \\
 RF_{CR} &= 2,6 \\
 R_{FD} &= 1
 \end{aligned}$$



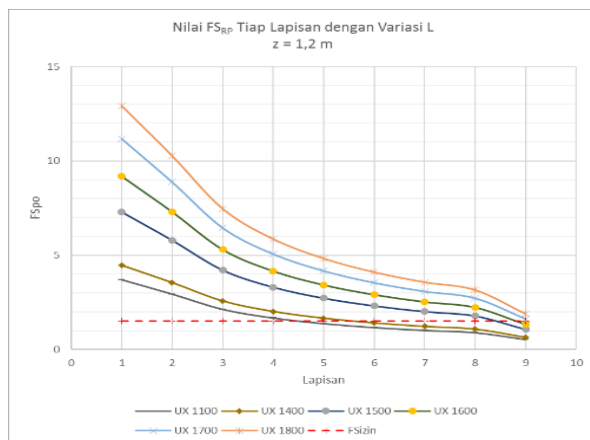
Gambar 18. Nilai FS_{RP} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 1,5 m (Sumber : Hasil Analisis)



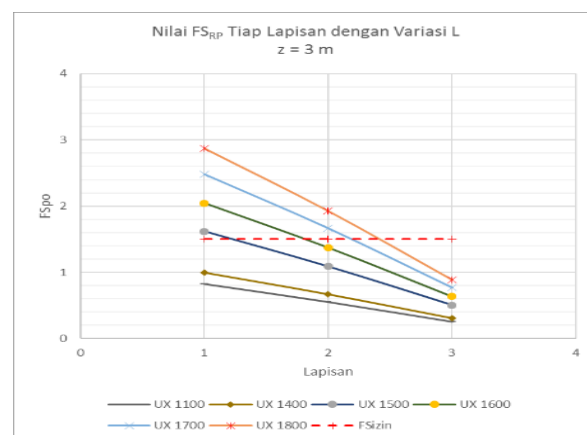
Gambar 16. Nilai FS_{RP} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 1 m (Sumber: Hasil Analisis)



Gambar 19. Nilai FS_{RP} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 2 m (Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 17. Nilai FS_{RP} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 1,2 m (Sumber: Hasil Analisis)



Gambar 20. Nilai FS_{RP} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan z = 3 m (Sumber : Hasil Analisis)

Faktor keamanan tiap lapisan merupakan gaya yang diizinkan dibagi gaya tarik maksimum tiap lapisan. Gaya yang diizinkan ditentukan oleh kuat izin tiap jenis geogrid yang diizinkan perkuatan sesuai jenis geogrid dikalikan faktor akibat *creep*, *installation*, dan *durability*.

Berdasarkan hasil yang didapat, faktor keamanan terhadap kestabilan geosintetik semakin kecil pada lapisan bawah, hal ini disebabkan oleh gaya yang diizinkan perkuatan pada tiap lapisan besarnya sama sedangkan gaya tarik maksimum semakin besar saat kedalaman lapisan semakin besar.

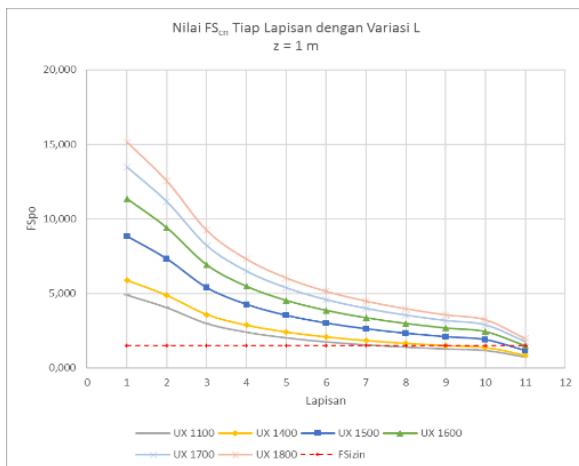
Pada kestabilan terhadap kegagalan geosintetik, Geogrid jenis UX 1600, UX 1700, UX 1800 dengan jarak vertikal perkuatan 1 m; Geogrid jenis UX 1700, UX 1800 dengan jarak vertikal perkuatan 1,2 m; Geogrid jenis UX 1800 dengan jarak vertikal perkuatan 1,5 m, dinyatakan aman terhadap kegagalan geosintetik karena faktor keamanan lebih dari 1,5.

Kegagalan Sambungan

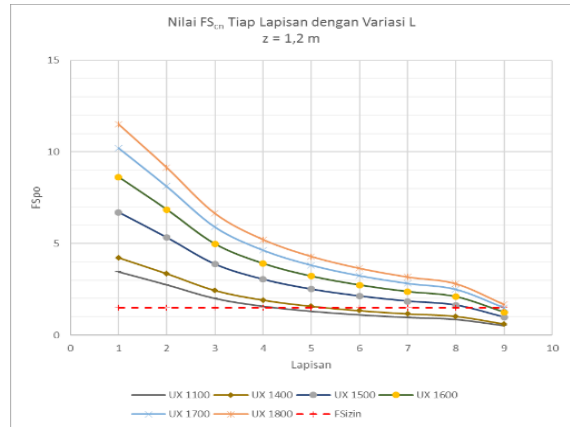
Tabel 13. Kuat Izin Sambungan Geogrid pada Berbagai Jenis

Jenis Geogrid	UX 1100	UX 1400	UX 1500	UX 1600	UX 1700	UX1800
Kekuatan Maks yang diizinkan (kN/m)	54	66	105	135	160	180

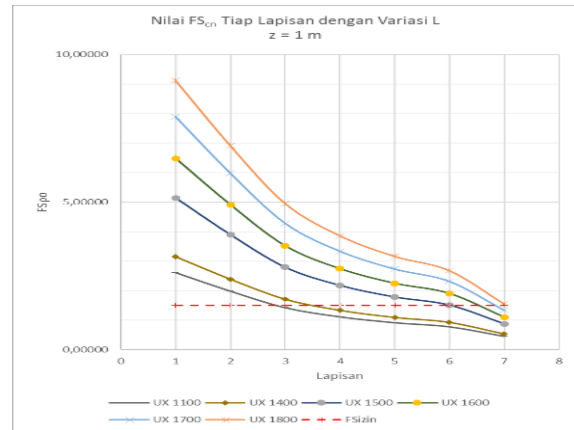
(Sumber: *Tensar's Brochure*)



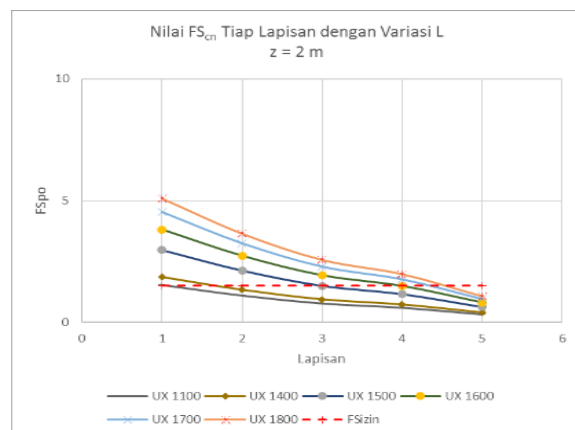
Gambar 21. Nilai FS_{cn} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan $z = 1$ m (Sumber : Hasil Analisis)



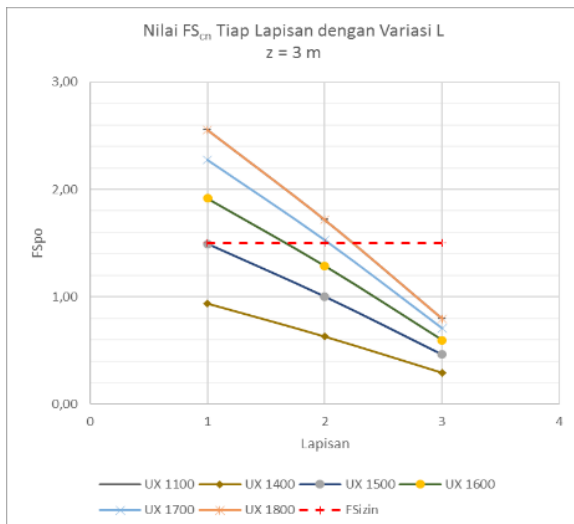
Gambar 22. Nilai FS_{cn} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan $z = 1,2$ m (Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 23. Nilai FS_{cn} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan $z = 1,5$ m (Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 24. Nilai FS_{cn} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan $z = 2$ m (Sumber : Hasil Analisis)



Gambar 25. Nilai FS_{cn} Tiap Lapisan dengan Variasi L dan $z = 3$ m
(Sumber : Hasil Analisis)

Faktor keamanan tiap lapisan merupakan gaya yang diizinkan dibagi gaya tarik maksimum tiap lapisan. Gaya yang diizinkan ditentukan oleh kuat izin tiap jenis geogrid yang diizinkan perkuatan sesuai jenis geogrid.

Berdasarkan hasil yang didapat, faktor keamanan terhadap kestabilan sambungan semakin kecil pada lapisan bawah, hal ini disebabkan oleh gaya yang diizinkan perkuatan pada tiap lapisan besarnya sama sedangkan gaya tarik maksimum semakin besar saat kedalaman lapisan semakin besar.

Pada kestabilan terhadap kegagalan geosintetik, Geogrid jenis UX 1700, UX 1800 dengan jarak vertikal perkuatan 1 m; Geogrid jenis UX 1800 dengan jarak vertikal perkuatan 1,2 m, dinyatakan aman terhadap kegagalan geosintetik karena faktor keamanan lebih dari 1,5.

Analisis Kestabilan Lereng yang sudah menggunakan Dinding MSE Pada Ruas Jalan Tol Manado-Bitung STA 6+475

Pada analisis ini diambil parameter rencana dinding *Mechanically Stabilized Earth* (MSE) yang sudah memenuhi kestabilan eksternal maupun kestabilan internal, yakni:

$L = 0,7 \text{ He}; 0,8 \text{ He}; 0,9 \text{ He}$

$z = 1 \text{ m}$

Jenis Geogrid = UX 1700 dan UX 1800

Facing = *Cohesive Soil* yang divariasikan berdasarkan konsistensi tanah yakni medium sampai keras

$Cu = 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100$

Tabel 14. Nilai Faktor Keamanan Stabilitas Global menggunakan Metode *Bishop Simplified*

Cu (kPa)	Jenis Geogrid					
	UX1700			UX1800		
	Panjang Perkuatan					
	0,7 He	0,8 He	0,9 He	0,7 He	0,8 He	0,9 He
15	1,086	1,088	1,087	1,086	1,088	1,087
20	1,336	1,322	1,329	1,336	1,322	1,329
25	1,576	1,54	1,561	1,576	1,54	1,561
30	1,671	1,751	1,787	1,806	1,751	1,787
35	1,675	1,827	1,97	1,877	1,964	2,009
40	1,68	1,83	1,973	1,879	2,134	2,228
45	1,684	1,833	1,976	1,882	2,166	2,33
50	1,688	1,836	1,979	1,884	2,169	2,333
55	1,691	1,839	1,981	1,886	2,172	2,336
60	1,694	1,841	1,984	1,889	2,176	2,332
65	1,697	1,844	1,987	1,891	2,179	2,342
70	1,7	1,847	1,99	1,893	2,182	2,349
75	1,703	1,85	1,993	1,895	2,186	2,349
80	1,706	1,853	1,995	1,898	2,189	2,352
85	1,708	1,856	1,998	1,9	2,192	2,355
90	1,711	1,859	2,001	1,902	2,195	2,358
95	1,714	1,862	2,004	1,905	2,168	2,361
100	1,717	1,865	2,006	1,907	2,202	2,364

(Sumber : Hasil Analisis)

Menurut FHWA (2009) angka faktor keamanan lebih dari 1,3 dikatakan aman, sehingga hasil analisis pada tabel 4.19. menunjukkan bahwa nilai *cohesion undrained* = 20 kPa sudah dapat dikatakan aman.

PENUTUP

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini, yakni :

- Faktor keamanan pada lereng eksisting di Ruas Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475 dengan metode Bishop Simplified menggunakan program SLIDE adalah 2,100 sedangkan dengan perhitungan manual didapat 2,167. Untuk metode Ordinary / Fellenius menggunakan program SLIDE adalah 2,098 sedangkan dengan perhitungan manual didapat 2,166. Berdasarkan hasil tersebut, lereng eksisting pada Ruas Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475 dinyatakan aman karena faktor keamanan melebihi 1.
- Pada analisis kestabilan eksternal dinding MSE pada ruas jalan tol Manado Bitung dengan dimensi yang direncanakan, panjang perkuatan 0,6 He dan 0,5 He memenuhi syarat kestabilan eksternal walaupun panjang perkuatan tersebut tidak memenuhi persyaratan yang dianjurkan oleh FHWA yakni 0,7 He.
- Pada analisis kestabilan internal : Kegagalan Tarik dengan variasi panjang perkuatan dan jarak vertikal perkuatan,

panjang perkuatan 0,6 He dan 0,5 He yang memenuhi syarat kestabilan eksternal, tidak dapat memenuhi kestabilan internal

Semakin besar jarak vertikal antar perkuatan, maka semakin besar gaya tarik maksimum pada tiap lapisan yang dapat mengakibatkan kegagalan terhadap tarik, geosintetik dan sambungan. Untuk kegagalan geosintetik dan sambungan dapat diatasi dengan menggunakan geogrid yang memiliki kuat izin maksimum yang tinggi.

- Kestabilan global dengan menggunakan kohesi tanah 20 kPa sebagai *facing* sudah memenuhi persyaratan stabilitas global yakni diatas 1,3 sehingga lereng dengan perkuatan

dinding MSE yang direncanakan dapat digunakan.

Saran

- Perlu dilakukan kontrol stabilitas terhadap pengaruh gempa mengingat Sulawesi Utara termasuk dalam wilayah gempa 5 yang memiliki potensi tinggi rawan gempa.
- Perlu dilakukan kajian terhadap metode pencegah lainnya seperti *shotscrete*, *anchor*, *soil nailing*, *gravity wall*, dan lainnya guna mendapatkan metode pencegah longsor yang paling efisien pada Ruas Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475. Jalan Tol Manado Bitung STA 6+475.

DAFTAR PUSTAKA

- Christopher , B., Gill, S., Giroud, J., Mitchell, J., Schlosser, F., & Dunicliff, J. 1990. *Reinforced Soil Structures - Volume I, Design and Construction Guidelines - Volume II, Summary of Research and Systems Information*. FHWA RD 89-043.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Surabaya : Erlangga.
- DPU. 2002. *Panduan Geoteknik 4 : Desain dan Konstruksi*. Bandung: Pusat Litbang Prasarana Transportasi.
- DPU. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta Selatan
- Elias, V. P., Christopher, B. R., & Berg, R. 2001. *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines*. Washington D.C.:FHWA-NHI.
- Han, J.2015. *Principles and Practice of Ground Improvement*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Holtz, R. D., Christopher, B. R., and Berg, R. R. 2008. *Geosynthetic Design and Construction Guidelines*. Publication No.FHWA NHI-07-092, National Highway Institute, Arlington, VA.
- Hardiyatmo. 2002. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: UGM Press.
- Peck, R.B., Hansen, W.E., and Thornburn, T.H. *Foundation Engineering*, 2nd ed., Wiley, New York, 1953.
- Shioi, Y. and Fukui, J “*Application of N-value to Design of Foundations in Japan*,” 2nd European Symposium of Penetration Testing, Vol. 1, 1982 pp 159 – 164.
- Tanyu, B. F., Sabatini, P. J., & Berg, R. R. 2008. *Earth Retaining Structures*. Washington, D.C.: National Highway Institute
- Wolff, T.F.1989. “*Pile Capacity Prediction Using Parameter Functions*,” ASCE Geotechnical Special Publications No. 23, pp. 96-106

Halaman ini sengaja dikosongkan