



Kestabilan Timbunan Tanah Untuk Pengembangan Rest Area Kawasan Agrowisata Rurukan Tomohon

Firalensia Palobo^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Steeva G. Rondonuwu^{#c}

^{#Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia}
^afiralensiapalobo@gmail.com, ^blegransroski@unsrat.ac.id, ^csteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id

Abstrak

Kawasan Agrowisata Rurukan, Tomohon direncanakan akan dilakukan pengembangan. Permasalahan utama terletak pada kondisi lereng yang curam sehingga diperlukan penanganan melalui perancangan timbunan dengan perkuatan geogrid serta dinding penahan tanah tipe gabion. Analisis yang dilakukan meliputi evaluasi daya dukung tanah dasar, stabilitas geser rotasional, stabilitas lateral, kestabilan lereng, serta penurunan dan displacement. Data yang digunakan berasal dari hasil penyelidikan tanah dengan metode CPT (*Cone Penetration Test*) yang kemudian dikorelasikan untuk memperoleh parameter tanah yang digunakan dalam analisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor keamanan daya dukung tanah pada kondisi jangka pendek sebelum perkuatan adalah 1,926 ($\geq 1,5$) dan meningkat menjadi 2,102 setelah perkuatan. Faktor keamanan stabilitas geser rotasional timbunan sebelum perkuatan hanya 0,474, namun meningkat signifikan menjadi 1,52 ($\geq 1,3$) setelah perkuatan. Untuk stabilitas lateral, dilakukan analisis terhadap tahanan putus dan tahanan cabut, dan dengan penggunaan tiga lapis geogrid, perkuatan yang dipasang memenuhi kedua kriteria tersebut. Lereng timbunan yang diperkuat memiliki faktor keamanan beban statis sebesar 2,475 dan pada kondisi beban gempa sebesar 1,198. Analisis deformasi menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D menunjukkan nilai displacement sebesar 0,3048 m. Secara keseluruhan, hasil analisis membuktikan bahwa kombinasi perkuatan geogrid dan dinding penahan tanah gabion mampu meningkatkan stabilitas lereng secara signifikan, sehingga mendukung rencana pembangunan Rest Area pada kawasan tersebut dengan tingkat keamanan yang memenuhi standar teknis.

Kata kunci: stabilitas lereng, timbunan tanah, gabion, geogrid, faktor keamanan, deformasi, rest area, Rurukan Tomohon

1. Pendahuluan

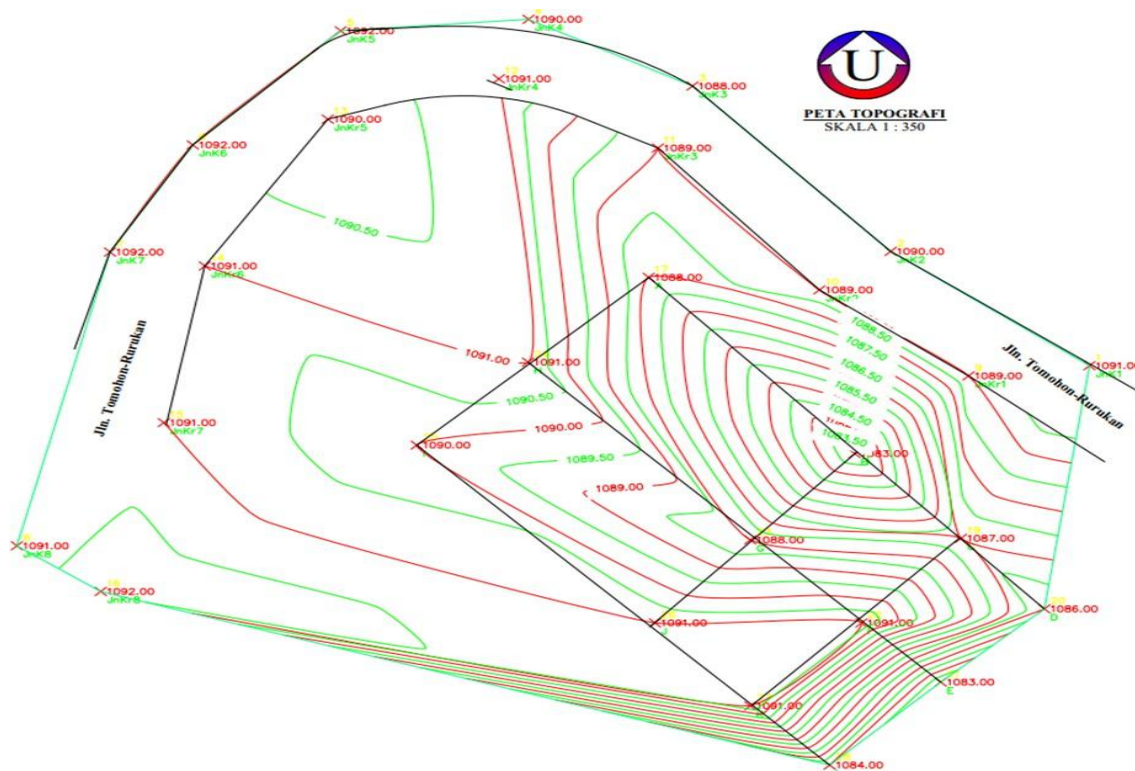
Perencanaan timbunan tanah untuk pengembangan Kawasan Rest Area Agrowisata Rurukan, Tomohon, bukan sekadar upaya memperluas area, melainkan merupakan proses teknis yang kompleks. Perencanaan ini harus mempertimbangkan faktor keamanan, kestabilan, serta keberlanjutan lingkungan. Dalam perancangan, pengendalian stabilitas lereng menjadi aspek yang sangat penting karena kondisi lereng yang curam berpotensi menimbulkan risiko kelongsoran. Perancangan timbunan dengan atau tanpa perkuatan geogrid akan menghasilkan tingkat stabilitas yang berbeda, sehingga diperlukan evaluasi menyeluruh untuk memastikan keamanan konstruksi. Oleh karena itu, dirancanglah timbunan dengan kombinasi perkuatan geogrid dan dinding penahan tanah gabion guna menjamin keberlanjutan dan keamanan struktur yang mendukung pembangunan Rest Area. Dengan demikian, pembahasan mengenai kestabilan lereng timbunan, baik menggunakan perkuatan maupun tanpa perkuatan, menjadi bagian penting dalam analisis teknis proyek ini.

2. Tahapan Analisis

Tahapan analisis diawali dengan pengumpulan data yang tersedia, yaitu data sekunder

berupa hasil uji CPT (*Cone Penetration Test*). Data tersebut kemudian dikaji melalui studi literatur untuk memperoleh korelasi CPT terhadap parameter-parameter tanah yang diperlukan dalam analisis kestabilan. Selanjutnya, dilakukan telaah teori mengenai kestabilan yang mencakup daya dukung tanah, kestabilan lereng, serta besaran displacement yang mungkin terjadi. Dengan pendekatan ini, parameter tanah hasil korelasi CPT dapat digunakan secara komprehensif dalam perhitungan teknis guna mengevaluasi kondisi timbunan dan perkuatan yang direncanakan.

Analisis terhadap desain lereng timbunan dengan perkuatan geogrid untuk pengembangan Rest Area Kawasan Agrowisata Rurukan, Tomohon, dilakukan secara bertahap. **Tahap 1** mencakup perhitungan faktor keamanan daya dukung tanah terhadap timbunan, baik sebelum maupun sesudah diberi perkuatan geosintetik, termasuk evaluasi daya dukung peremasan. **Tahap 2** adalah perhitungan penurunan menggunakan metode penurunan seketika. **Tahap 3** meliputi analisis faktor keamanan stabilitas geser rotasional pada timbunan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geosintetik. **Tahap 4** dilakukan untuk menilai stabilitas lateral timbunan dengan perkuatan geosintetik, yaitu terhadap tahanan putus dan tahanan cabut. **Tahap 5** mencakup analisis stabilitas dinding penahan tanah gabion terhadap momen guling, momen geser, dan daya dukung tanah. **Tahap 6** adalah perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode Bishop Simplified (1955) dengan bantuan perangkat lunak *Slide*. **Tahap 7** dilakukan untuk menghitung perpindahan (*deformasi*) timbunan dengan perkuatan geogrid menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D.



Gambar 1. Peta Topografi/Lokasi Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Koreksi Data CPT dan Korelasi Parameter Tanah

Data hasil uji CPT (*Cone Penetration Test*) yang diperoleh terlebih dahulu dikoreksi untuk menghilangkan pengaruh faktor lapangan yang tidak relevan. Selanjutnya, nilai CPT tersebut diolah dengan menerapkan korelasi empiris terhadap parameter-parameter tanah yang diperlukan, seperti sudut geser dalam, kohesi tak terdrainase, dan modulus elastisitas. Parameter hasil korelasi ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam perhitungan teknis berikutnya, meliputi analisis daya dukung, stabilitas lereng, serta deformasi tanah. Hasil koreksi data CPT beserta parameter tanah hasil korelasi disajikan pada Tabel 1, sehingga memberikan gambaran kuantitatif mengenai kondisi tanah dasar yang menjadi acuan dalam perencanaan dan evaluasi konstruksi.

3.2 Daya Dukung Tanah Dasar

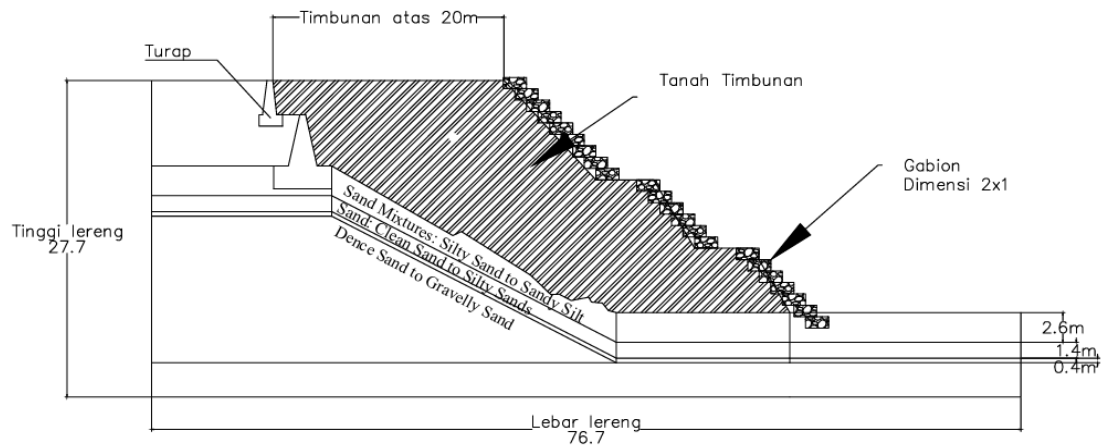
Resume hasil perhitungan daya dukung tanah telah dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi jangka panjang (drained condition) dan jangka pendek (undrained condition). Perhitungan menggunakan metode Vesic (1973), yang mengintegrasikan faktor bentuk pondasi, kedalaman, serta kondisi tanah hasil korelasi CPT. Analisis ini memberikan gambaran komprehensif mengenai kapasitas ultimit pondasi pada berbagai kondisi pembebanan. Hasil koreksi data CPT yang telah dikonversi ke parameter tanah, kemudian diaplikasikan dalam rumus Vesic untuk memperoleh nilai daya dukung ultimit dan daya dukung izin. Ringkasan hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 2, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam evaluasi desain pondasi pada lokasi penelitian.

Tabel 1. Parameter Tanah berdasarkan Korelasi terhadap Hasil Uji CPT

Kedalaman	Soil Type	Unit Weight, γ	c_u	c'	ϕ	E	kh
(m)							
0.2 - 2.6	Sand Mixtures: Silty Sand to Sandy Silt	15.4	67.2	6.7	34.46	4.39	0.25
2.8 - 4	Sand: Clean Sand to Silty Sands	16.3	0.0	0.0	38.05	18.58	
4.2 - 4.32	Dence Sand to Gravelly Sand	17.8	0	0.0	43.54	61.05	

Tabel 2. Perhitungan Daya Dukung Tanah

DAYA DUKUNG TANAH (Unreinforcement)	
Hitung faktor keamanan daya dukung (tanpa perkuatan geotekstil) $FK_u = \frac{q_{ult}}{P_{max}}$	Kontrol : $FK_u \geq SF$ 6.395 \geq 2
DAYA DUKUNG TANAH (Reinforcement)	
$A_g = 1/2 (B+W) \times H$	Kontrol : $FK_R \geq SF$ 10.172 \geq 2
Daya Dukung Tanah - Analisis Peremasan (squeezing)	
$FK_{Peremasan} = \frac{2C_u}{\gamma_m D_s \tan \beta} + \frac{4,14 C_u}{H \gamma_m} \geq 1.3$	$FK_{Peremasan} = 78.115 \geq 1.3$ OK



Gambar 2. Desain Lereng Timbunan

3.3 Penurunan Tanah Dasar

Analisis penurunan tanah dasar akibat beban timbunan dilakukan melalui pendekatan analitis dengan mengacu pada teori konsolidasi serta elastisitas tanah. Perhitungan ini dilakukan pada kondisi timbunan tanpa perkuatan, dengan beban eksternal yang diaplikasikan pada permukaan timbunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi pada tanah dasar akibat beban timbunan tanpa perkuatan mencapai 21,515 mm, sehingga memberikan gambaran

mengenai respons deformasi tanah dasar terhadap beban tambahan yang direncanakan. Nilai ini menjadi acuan penting dalam evaluasi kebutuhan perkuatan untuk menjaga kestabilan dan keberlanjutan konstruksi timbunan.

Tabel 3. Perhitungan Penurunan

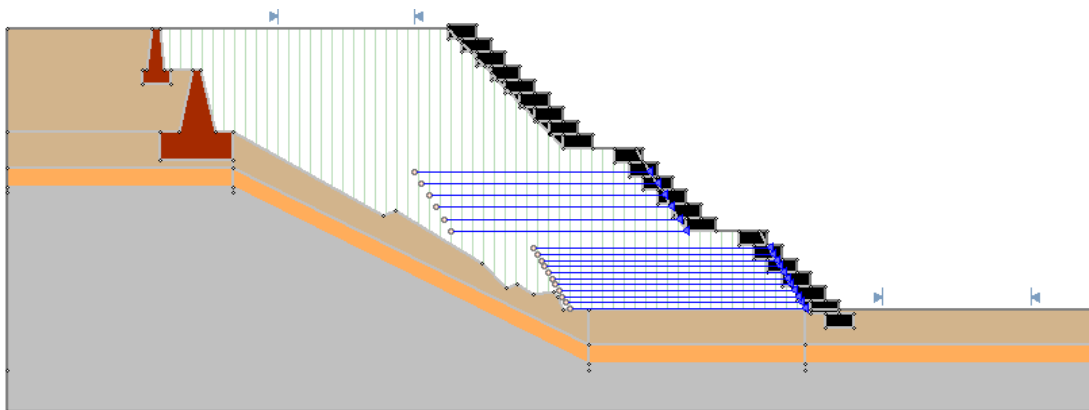
Jenis Tanah	Elevasi (m)		Z (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	H (m)	E (kPa)	Δq (kPa)	ν	mv	Si (m)
	Top	Bottom									
Sand Mixtures: Silty Sand to Sandy Silt	0.00	1.00	1	15.4	5.59	1	4390.52	165.819	0.35	5.99587E-05	0.00994
Sand: Clean Sand to Silty Sands	1.00	1.50	0	16.3	6.49	0.5	18577.26	119.075	0.3	1.95938E-05	0.00117
Dence Sand to Gravelly Sand	1.50	19.50	9	17.8	7.99	18	61048.58	96.955	0.3	5.96246E-06	0.01041
											Penurunan (m) = 0.02151 21.5150

3.4 Stabilitas Geser Rotasional

Hasil analisis stabilitas geser rotasional ditunjukkan pada Tabel 4. Penerapan perkuatan geogrid terbukti meningkatkan kestabilan lereng dengan nilai faktor keamanan yang memenuhi kriteria ($\geq 1,5$). Nilai faktor keamanan yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan perkuatan geogrid mampu memberikan peningkatan signifikan terhadap stabilitas lereng, sehingga mendukung keberlanjutan konstruksi timbunan pada kawasan Rest Area Agrowisata Rurukan, Tomohon.

Tabel 4. Kestabilan terhadap Geser Rotasional

Kondisi	M_R (kN.m)	M_D (kN.m)	M_r (kN.m)	FK
Tanpa Perkuatan (<i>Unreinforcement</i>)	94962.9	199572	208021.9	0.476
Perkuatan (<i>Reinforcement</i>)				1.52



Gambar 3. Desain Lereng Timbunan dengan Perkuatan

3.5 Stabilitas Lateral

Hasil analisis stabilitas lateral geogrid terhadap tahanan putus dan tahanan cabut ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6. Pada perhitungan ini digunakan geogrid dengan kuat tarik sebesar 218 kN/m. Nilai yang diperoleh menunjukkan bahwa geogrid yang diaplikasikan mampu memenuhi persyaratan stabilitas lateral, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan keandalan konstruksi timbunan pada kawasan Rest Area Agrowisata Rurukan, Tomohon.

3.6 Stabilitas Eksternal/Stabilitas Gabion terhadap Guling, Geser dan Daya Dukung Tanah

Perhitungan stabilitas eksternal pada struktur gabion dilakukan untuk memastikan bahwa konstruksi aman terhadap gaya luar yang bekerja. Analisis mencakup evaluasi momen guling,

momen geser, serta daya dukung tanah. Hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10 memperlihatkan bahwa seluruh nilai faktor keamanan telah memenuhi persyaratan yang ditentukan, dengan $FK \geq 2$ untuk momen guling dan $FK \geq 1,5$ untuk momen geser. Selain itu, nilai daya dukung tanah yang diperoleh adalah $q_u = 1252,336 \text{ kN/m}^2$, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur gabion memiliki stabilitas eksternal yang memadai untuk mendukung keberlanjutan konstruksi timbunan pada kawasan Rest Area Agrowisata Ruruan, Tomohon.

Tabel 5. Faktor Keamanan terhadap Tahanan Putus

NO	z (m)	L (m)	Pa (kPa)	Pq2 (kPa)	W	q2L	W+q2L (kPa)	e (m)	σ'_{vb} (kPa)	σ'_{lh} (kPa)	Sv (m)	Sh (m)	F (kN/m)	FK PUTUS Terra Grid 600/600
1	1	16.291	3.333	135.76	325.82	6635	6960.82	0.161	435.921	145.307	1	1	145.307	1.502 OK
2	2	16.291	13.333	271.52	651.64	6635	7286.64	0.313	465.181	155.06	1	1	155.060	1.407 OK
3	3	16.291	30.000	407.28	977.46	6635	7612.46	0.457	495.068	165.023	1	1	165.023	1.322 OK
4	4	16.291	53.333	543.04	1303.28	6635	7938.28	0.594	525.588	175.196	1	1	175.196	1.245 OK
5	5	16.291	83.333	678.8	1629.1	6635	8264.1	0.724	556.754	185.585	1	1	185.585	1.176 OK
6	6	16.291	120.000	814.56	1954.92	6635	8589.92	0.848	588.575	196.192	1	1	196.192	1.112 OK
7	7	16.291	163.333	950.32	2280.74	6635	8915.74	0.968	621.064	207.021	0.5	0.5	51.755	4.216 OK
8	8	16.291	213.333	1086.08	2606.56	6635	9241.56	1.083	654.235	218.078	0.5	0.5	54.520	4.002 OK
9	9	16.291	270.000	1221.84	2932.38	6635	9567.38	1.194	688.103	229.368	0.5	0.5	57.342	3.805 OK
10	10	16.291	333.333	1357.6	3258.2	6635	9893.2	1.301	722.684	240.895	0.5	0.5	60.224	3.623 OK
11	11	16.291	403.333	1493.36	3584.02	6635	10219	1.405	757.995	252.665	0.5	0.5	63.166	3.454 OK
12	12	16.291	480.000	1629.12	3909.84	6635	10544.8	1.506	794.054	264.685	0.5	0.5	66.171	3.297 OK
13	13	16.291	563.333	1764.88	4235.66	6635	10870.7	1.604	830.881	276.96	0.5	0.5	69.240	3.151 OK
14	14	16.291	653.333	1900.64	4561.48	6635	11196.5	1.700	868.495	289.498	0.5	0.5	72.375	3.015 OK
15	15	16.291	750.000	2036.4	4887.3	6635	11522.3	1.793	906.92	302.307	0.5	0.5	75.577	2.887 OK
16	16	16.291	853.333	2172.16	5213.12	6635	11848.1	1.884	946.177	315.392	0.5	0.5	78.848	2.767 OK
17	17	16.291	963.333	2307.92	5538.94	6635	12173.9	1.974	986.29	328.763	0.5	0.5	82.191	2.655 OK
Gaya Tarik yang terjadi > Tijin ; kurang tebal lapisan											max F =	196.192		

Tabel 6. Faktor Keamanan terhadap Tahanan Cabut

NO	z (m)	L (m)	F (kN/m)	Le (m)	f (kPa)	Pc (kN/m)	FK CABUT
1	1	16.291	144.981	9.836	24.195	237.992	1.642 OK
2	2	16.291	154.374	10.170	48.390	492.115	3.188 OK
3	3	16.291	163.939	10.503	72.586	762.368	4.650 OK
4	4	16.291	173.679	10.836	96.781	1048.75	6.038 OK
5	5	16.291	183.595	11.170	120.976	1351.26	7.360 OK
6	6	16.291	193.689	11.503	145.171	1669.91	8.622 OK
7	6.5	16.291	203.965	11.670	157.269	1835.28	8.998 OK
8	7	16.291	214.425	11.836	169.367	2004.68	9.349 OK
9	7.5	16.291	54.931	12.003	181.464	2178.12	39.652 OK
10	8	16.291	56.268	12.170	193.562	2355.58	41.863 OK
11	8.5	16.291	57.617	12.336	205.660	2537.09	44.034 OK
12	9	16.291	58.978	12.503	217.757	2722.62	46.163 OK
13	9.5	16.291	60.351	12.670	229.855	2912.18	48.254 OK
14	10	16.291	61.736	12.836	241.952	3105.78	50.307 OK
15	10.5	16.291	63.134	13.003	254.050	3303.41	52.324 OK
16	11	16.291	64.545	13.170	266.148	3505.08	54.305 OK
17	11.5	16.291	65.968	13.336	278.245	3710.77	56.251 OK

Tabel 7. Kestabilan Gabion Atas terhadap Guling dan Geser

Momen Guling	M_R	M_D	$\frac{\sum M_R}{\sum M_D} > 2$	Faktor Keamanan	Kontrol
	3313.3	810		4.09	Aman
Gaya Geser	$\sum R_h$	$\sum P_{ah}$	$\frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} > 1.5$	Faktor Keamanan	Kontrol
	482.591	270		1.78	Aman

Tabel 8. Kestabilan Gabion Tengah terhadap Guling dan Geser

Momen Guling	M_R	M_D	$\frac{\sum M_R}{\sum M_D} > 2$	Faktor Keamanan	Kontrol
	1577.3	381.11		4.1	Aman
Gaya Geser	$\sum R_h$	$\sum P_{ah}$	$\frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} > 1.5$	Faktor Keamanan	Kontrol
	360.193	163.33		2.2	Aman

Tabel 9. Kestabilan Gabion Bawah terhadap Guling dan Geser

Momen Guling	M_R	M_D	$\frac{\sum M_R}{\sum M_D} > 2$	Faktor Keamanan	Kontrol
	2085.3	880.282		2.4	Aman
Gaya Geser	$\sum R_h$	$\sum P_{ah}$	$\frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} > 1.5$	Faktor Keamanan	Kontrol
	492.17	307.607		1.6	Aman

Tabel 10. Daya Dukung Tanah Dasar terhadap Konstruksi Gabion

Perhitungan Daya Dukung Metode Vesic		
$c' =$	21.2	kN/m ²
$\gamma =$	15.4	kN/m ³
$\phi =$	34.46	°
$N_c =$	46.12	
$N_q =$	33.30	
$N_\gamma =$	48.03	
$q =$	23.1	kN/m ²
$B' =$	1.692	m
$F_{cd} =$	1.355	
$F_{qd} =$	1.171	
$F_{\gamma d} =$	1	
$F_{ci}, F_{qi} =$	0.606	
$F_{\gamma i} =$	0.112	
$M =$	381.11	kN.m
$B =$	2	m
$e =$	0.154	m
$q_{toe} =$	915.457	kN/m ²
$q_{heel} =$	336.878	kN/m ²
$q_{des} =$	417.445	kN/m ²
$q_u =$	1541.633	kN/m ²
$FK = q_u / q_{des}$	$FK = 1541.633 / 414.445$	
	$FK = 3.719$	
$q_{toe} \geq q_{des} \geq q_{heel}$	$915.457 \geq 417.445 \geq 336.878$	

3.7 Stabilitas Global

Perhitungan stabilitas global dilakukan pada tiga kondisi analisis, yaitu:

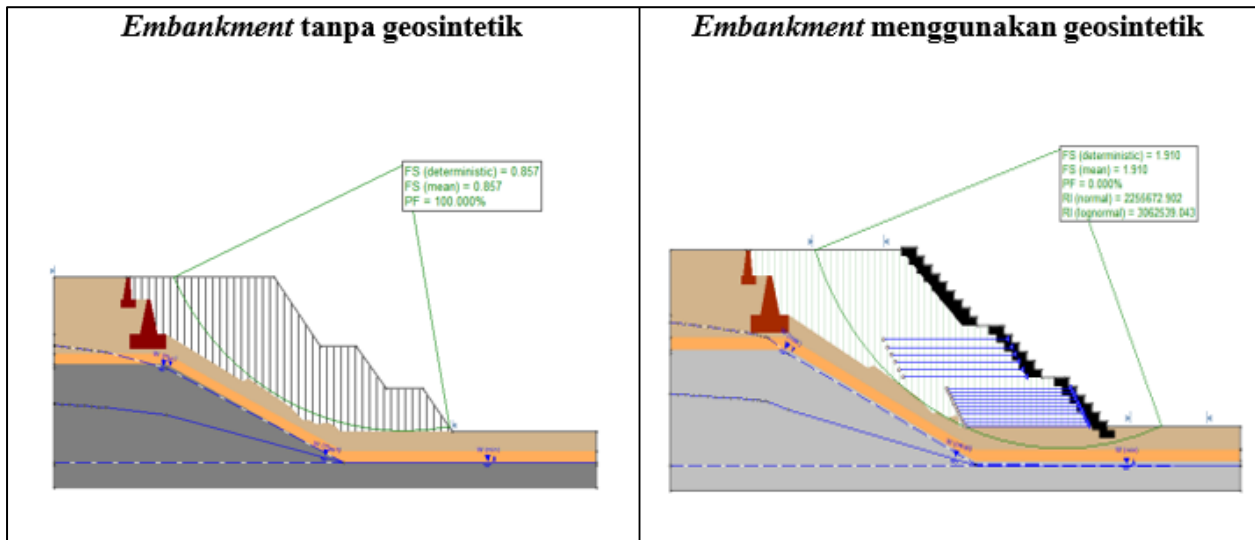
1. Kondisi Total Stress dengan muka air tanah (undrained), untuk menggambarkan perilaku jangka pendek pada material jenuh.
2. Kondisi Effective Stress dengan muka air tanah (drained), yang merepresentasikan perilaku jangka panjang dengan mempertimbangkan pengaruh tekanan pori.
3. Kondisi Effective Stress dengan muka air tanah (drained), yang digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada kondisi dinamis dengan mempertimbangkan beban gempa.

Analisis pada ketiga kondisi tersebut memberikan gambaran menyeluruh mengenai respons lereng timbunan terhadap variasi kondisi hidrogeologi dan beban eksternal, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan perkuatan serta strategi desain yang tepat.

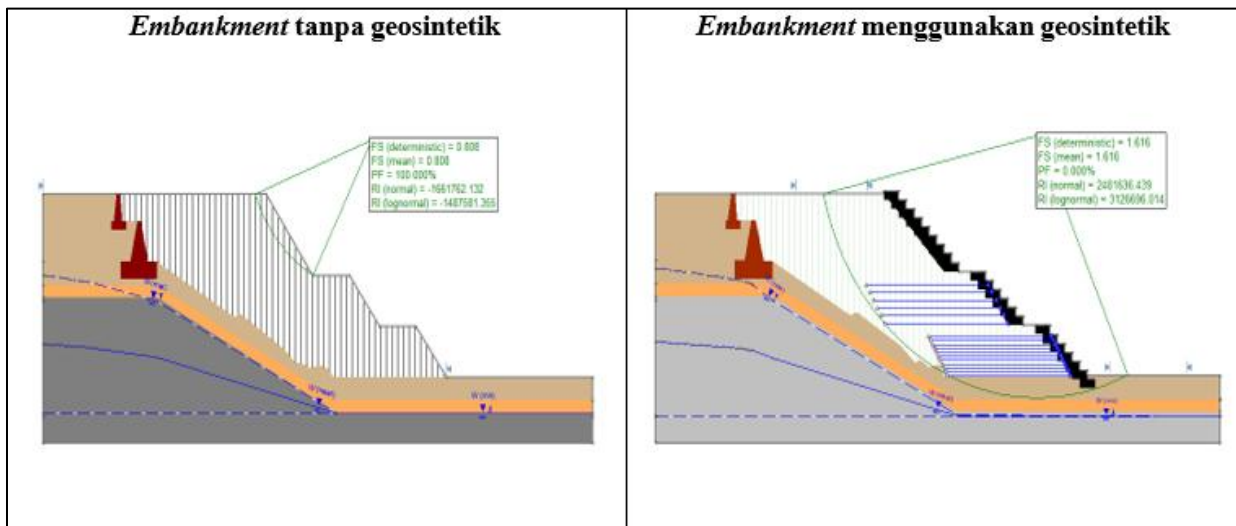
Analisis stabilitas global dilakukan pada tiga kondisi utama. Pertama, kondisi Total Stress dengan muka air tanah (*undrained*), yang merepresentasikan keadaan sebelum pembangunan. Hasil perhitungan pada Gambar 4 menunjukkan nilai faktor keamanan (FK) lebih besar dari 1,5, sehingga lereng pada kondisi ini dinyatakan aman. Kedua, kondisi Effective Stress dengan muka air tanah (*drained*), yang menggambarkan keadaan setelah pembangunan. Hasil perhitungan pada Gambar 5 menunjukkan nilai FK tetap lebih besar dari 1,5, sehingga lereng pada kondisi ini juga aman. Ketiga, kondisi Effective Stress dengan muka air tanah dan beban gempa (*drained*), yang memperhitungkan kestabilan lereng pasca-gempa dengan nilai FK minimum yang disyaratkan sebesar 1,1. Hasil perhitungan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa setelah diberi perkuatan, lereng memiliki nilai FK lebih besar dari 1,1, sehingga dapat disimpulkan bahwa lereng tetap aman pada kondisi dinamis.

Tabel 12. Faktor Keamanan terhadap Stabilitas Global

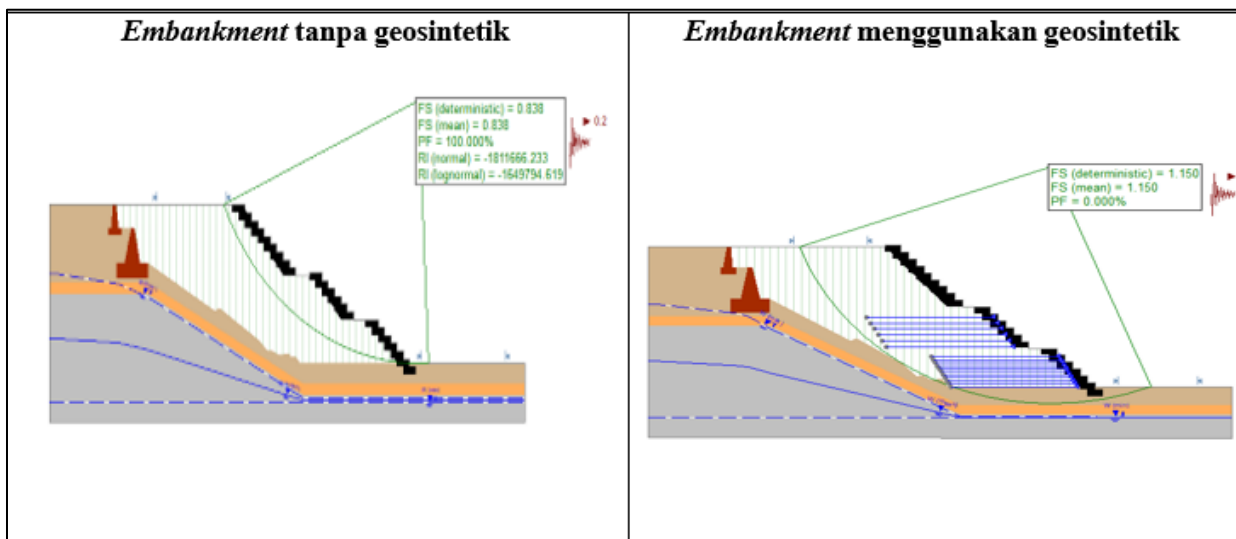
LERENG	METODE BISHOP	METODE MORGENSTERN	FK	KET	KET
	FS	FS		BISHOP	MORGENSTERN
LERENG STATIS	1.906	1.915	1.5	MEMENUHI	MEMENUHI
LERENG EFEKTIF	1.625	1.647	1.5	MEMENUHI	MEMENUHI
LERENG DINAMIS	1.152	1.200	1.1	MEMENUHI	MEMENUHI



Gambar 4. Kestabilan Global pada Kondisi Jangka Pendek (*Undrained*)



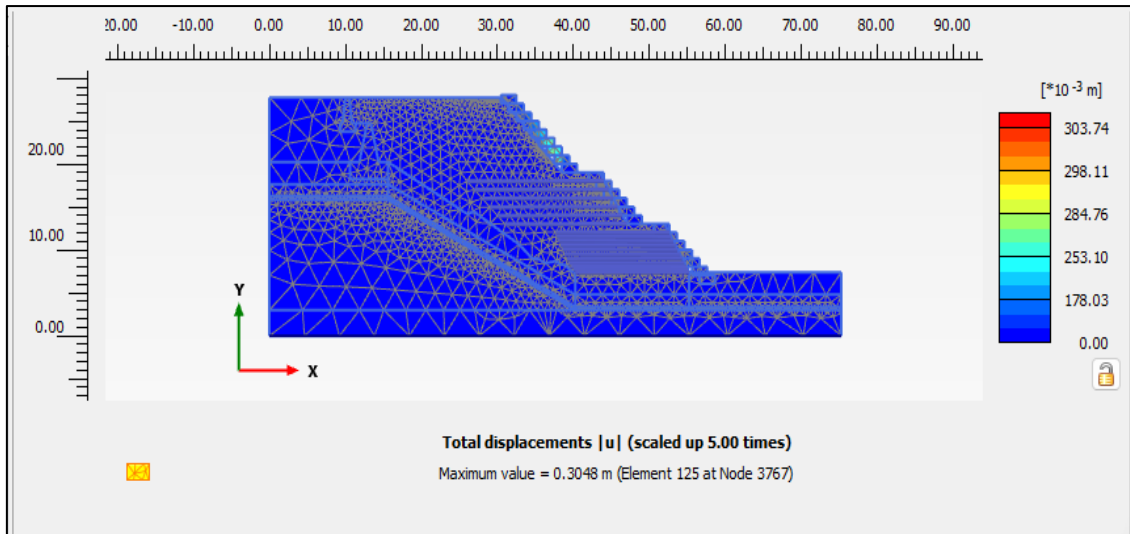
Gambar 5. Kestabilan Global pada Kondisi Jangka Panjang (*Drained*)



Gambar 6. Kestabilan Global pada Kondisi Jangka Panjang akibat Gempa

3.8 Deformasi Lereng Timbunan

Analisis deformasi lereng timbunan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Deformasi Timbunan

Analisis deformasi menunjukkan distribusi perpindahan total (total displacement) pada lereng timbunan dengan perkuatan geogrid. Nilai maksimum perpindahan tercatat sebesar 0,3048 m, yang terjadi pada elemen di bagian atas lereng. Pola deformasi memperlihatkan bahwa pergeseran terbesar terkonsentrasi di zona atas timbunan, sedangkan bagian bawah dan pondasi relatif mengalami deformasi lebih kecil.

Gradien warna pada hasil analisis memperlihatkan transisi dari biru gelap (deformasi minimum) hingga merah (deformasi maksimum), yang menandakan adanya perbedaan signifikan dalam distribusi deformasi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun perkuatan geogrid mampu meningkatkan stabilitas lereng, masih terjadi akumulasi deformasi pada area kritis di bagian atas timbunan.

Secara keseluruhan, nilai deformasi yang diperoleh masih dalam batas toleransi teknis, sehingga lereng dengan perkuatan geogrid dapat dinyatakan aman dan layak untuk mendukung pembangunan Rest Area pada Kawasan Agrowisata Rurukan, Tomohon.

4. Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan untuk daya dukung tanah tanpa perkuatan adalah $FK = 6,395 (\geq 2)$ dan meningkat menjadi $FK = 10,172 (\geq 2)$ setelah diberi perkuatan, sedangkan analisis peremasannya menghasilkan nilai $78,115 (\geq 1,3)$. Penurunan seketika akibat beban timbunan hingga kedalaman 19,5 m tercatat sebesar 0,02151 m. Stabilitas geser rotasional timbunan sebelum perkuatan tidak memenuhi kriteria dengan $FK = 0,446 (\leq 1,3)$, namun setelah diberi perkuatan meningkat menjadi $FK = 1,52 (\geq 1,3)$. Analisis stabilitas lateral pada lapisan 1 hingga 17 menunjukkan bahwa faktor keamanan terhadap tahanan putus (≥ 1) dan tahanan cabut ($\geq 1,5$) terpenuhi.

Untuk stabilitas eksternal, struktur gabion sebagai dinding penahan tanah memenuhi persyaratan terhadap guling, geser, serta kapasitas daya dukung tanah dengan nilai $q_u = 1352,336 \text{ kN/m}^2 \geq q_{heel} = 1343,618 \text{ kN/m}^2$. Analisis stabilitas global memperlihatkan bahwa sebelum perkuatan lereng tidak memenuhi kriteria, dengan $FK = 0,857 (\leq 1,5)$, sedangkan setelah perkuatan meningkat menjadi $FK = 1,910 (\geq 1,5)$. Pada kondisi *effective stress* dengan muka air tanah (*drained*), faktor keamanan sebelum perkuatan adalah $FK = 0,808 (\leq 1,5)$ dan setelah perkuatan meningkat menjadi $FK = 1,616 (\geq 1,5)$. Sementara itu, pada kondisi *effective stress* dengan beban gempa, faktor keamanan sebelum perkuatan adalah $FK = 0,838 (\leq 1,1)$ dan setelah perkuatan meningkat menjadi $FK = 1,150 (\geq 1,1)$.

Selain itu, analisis deformasi menggunakan PLAXIS 2D menunjukkan total perpindahan

sebesar 0,3048 m. Secara keseluruhan, hasil perhitungan membuktikan bahwa penerapan perkuatan geogrid dan gabion secara signifikan meningkatkan stabilitas lereng baik pada kondisi statis maupun dinamis, sehingga konstruksi timbunan dinyatakan aman dan layak untuk mendukung pembangunan Rest Area Agrowisata Rurukan, Tomohon.

Referensi

- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 2833:2016 Perencanaan Dinding Penahan Tanah untuk Jalan*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design (5th ed.)*. New York:McGeaw-Hill.
- Budiyono, A., & Suharto, B. (2019). *Perencanaan Timbunan Tanah pada Lahan Berbukit untuk Infrastruktur Pariwisata*. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 21(3), 145-154.
- Das, B. M. (1995). *Principles of Geotechnical Engineering (5th ed.)*. Boston : PWS Publishing Company.
- Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, Dea Pertiwi, Fahmi Aldiamar.(n.d.). *Modul Pelatihan Geosintetik Volume 2. Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak*. Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- Fahriani,Ferra. (2016). *Analisis Kestabilan Lereng Timbunan pada Proyek Konstruksi*. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 5, No. 2, pp.45-53.
- Federal Highway Administration (FHWA). (2009). *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I*. Publication No. FHWA-NHI-10-024. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation.
- Hardiyatmo, E. (1992). *Teknik Tanah dan Pondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, E. (2017). *Penyelidikan Tanah dan Pengujian Laboratorium*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Hardiyatmo, S. (2002). *Mekanika Tanah dan Fondasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Indrawan, R., & Santoso, B. (2020). *Analisis Stabilitas Lereng Timbunan pada Proyek Pengembangan Kawasan Wisata*. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(2), 89-98.
- Legrans, R.R., & Rondonuwu, S.G. (2024). *Analisis Geoteknik Ruas Jalan Rurukan Sebagai Daerah Agrowisata pada Penambahan Beban Timbunan*. *TEKNO*, 22(90), 2057-2067.
- Modul Pelatihan Geosintetik-Vol.2. (2020). *Modul Pelatihan Geosintetik untuk Perkuatan Tanah*. Jakarta: Pusat Pelantikan Teknik Sipil.
- Pedoman Kimpraswil No: Pt T-10-2002- B, *Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi*: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Pemerintah Kota Tomohon. (2021). *Rencana Pengembangan Kawasan Agrowisata Rurukan*. Tomohon: Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Kota Tomohon.
- Sari, M. P., & Prasetyo, E. (2022). *Studi Perencanaan Rest Area di Kawasan Wisata Alam Berbukit*. *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan*, 7 (1), 55-63.
- Wibowo, T., & Hartono, S. (2019). *Evaluasi Faktor Keamanan Lereng Timbunan pada Proyek Infrastruktur Jalan*. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(4), 210-219.