



Studi Kestabilan Tanggul Pengaman Danau Tondano Dengan Perkuatan Geosintetik

Natallia Adisulung^{#a}, Roski R. I. Legrans^{#b}, Alva N. Sarajar^{#c}

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

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan tanggul pengaman Danau Tondano dengan perkuatan geosintetik jenis geogrid sebagai alternatif penanganan untuk pekerjaan timbunan di atas tanah lunak. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah ditemukan bahwa tanah lunak mendominasi area tersebut hingga kedalaman 6 meter dari permukaan tanah. Analisis ini meliputi analisis terhadap daya dukung tanah dasar, stabilitas geser rotasional, stabilitas lateral, kestabilan lereng, penurunan dan displacement. Data yang digunakan adalah hasil penyelidikan tanah SPT (*Standar Penetration Test*) yang dikorelasikan untuk mendapatkan parameter-parameter tanah yang digunakan dalam analisis. Dari penelitian ini didapatkan faktor keamanan untuk daya dukung tanah pada kondisi jangka pendek sebelum diberi perkuatan adalah 1.23 (≤ 1.5) dan setelah diberi perkuatan meningkat menjadi 1.92. Faktor keamanan untuk stabilitas geser rotasional timbunan sebelum diberi perkuatan adalah 0.81 (≤ 1.3) dan setelah diberi perkuatan meningkat menjadi 1.56 (≥ 1.3). Untuk kestabilan lateral terdapat dua perhitungan yang dilakukan yaitu kestabilan terhadap tahanan putus dan kestabilan terhadap tahanan cabut. Dengan menggunakan 2 lapis perkuatan, geogrid yang digunakan memenuhi terhadap kestabilan tahanan putus dan tahanan cabut. Lereng timbunan yang diberi perkuatan memiliki faktor keamanan pada beban statis sebesar 3.31 dan pada beban gempa sebesar 1.62. Hasil analisis penurunan menunjukkan bahwa penurunan sebelum diberi perkuatan adalah 1.5 m dan setelah diberi perkuatan adalah 0.423 m.

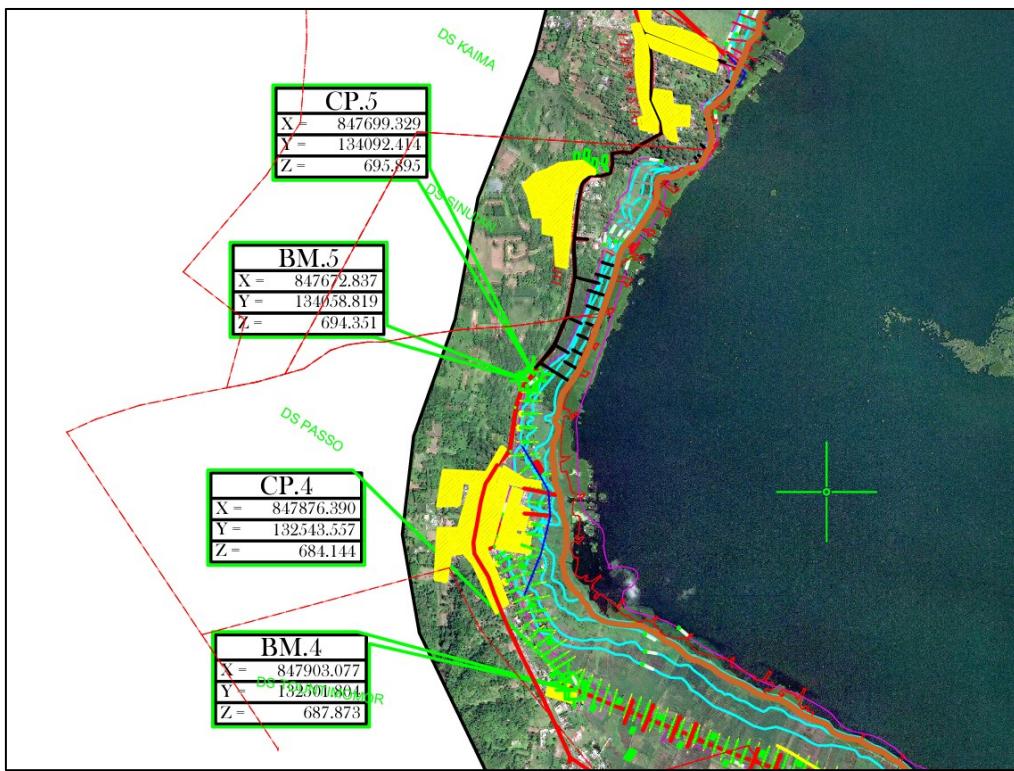
Kata kunci: tanggul pengaman, danau Tondano, geosintetik, stabilitas lereng, daya dukung tanah, penurunan

1. Pendahuluan

Tanggul pengaman danau Tondano adalah salah satu konstruksi yang menjadi bagian dari program revitalisasi danau oleh pemerintah pusat. Berdasarkan hasil studi kelayakan yang dilakukan oleh instansi terkait pada tahun 2021 sd. 2022, ditemukan adanya lapisan tanah lunak hingga kedalaman 6 meter yang mendominasi perimeter danau. Studi ini dilakukan untuk menganalisis kestabilan tanggul pengaman danau jika menggunakan perkuatan geosintetik. Pada dasarnya, lapisan-lapisan geosintetik akan berfungsi sebagai material perkuatan atau dapat mempercepat proses konsolidasi. Dengan penerapan yang tepat, geosintetik diharapkan dapat meningkatkan stabilitas tanggul dan mengurangi resiko keruntuhan atau penurunan yang berlebihan.

2. Tahapan Analisis

Analisis kestabilan dilakukan terhadap konstruksi tanggul yang telah direncanakan sebelumnya setinggi 3.5 m. Data yang digunakan dalam analisis adalah data hasil uji SPT. Dari data tersebut dilakukan korelasi untuk mendapatkan parameter tanah yang akan digunakan dalam analisis kestabilan, yang meliputi kestabilan daya dukung, kestabilan lereng dan penurunan tanah dasar. Lokasi konstruksi tanggul yang dianalisis adalah pada sisi Selatan danau Tondano dengan menggunakan data SPT yang sesuai dengan lokasi tanggul.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Berikut ini adalah analisis yang dilakukan secara bertahap terhadap kestabilan tanggul.

- **Tahap 1** : menghitung faktor keamanan daya dukung tanah terhadap timbunan sebelum diberi perkuatan dan setelah diberi perkuatan geosintetik dengan persamaan:

$$FK_u = \frac{qult}{P_{max}} \quad (\text{Sumber: Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik, Direktorat Jenderal Bina Marga})$$

$$FK_u = \frac{qult}{P_{avg}} \quad (\text{Sumber: Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik, Direktorat Jenderal Bina Marga})$$

- **Tahap 2** : menghitung faktor keamanan stabilitas geser rotasional terhadap timbunan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan geosintetik dengan persamaan:

$$FK_u = \frac{MR}{MD} \quad (\text{sumber : Holtz 1998})$$

dan

$$FK_u = \frac{MR + Mr}{MD} \quad (\text{sumber : Holtz 1998})$$

- **Tahap 3** : menghitung stabilitas lateral terhadap timbunan dengan perkuatan geosintetik.

Tahanan Putus

$$FK = \frac{T_{ijin}}{F} \quad (\text{sumber : Christopher et all, 2000})$$

Tahanan Cabut

$$FK = \frac{P_c}{F} \quad (\text{sumber : Christopher et all, 2000})$$

- **Tahap 5** : menghitung stabilitas lereng (*slope stability*) menggunakan Metode *Bishop Simplified* (1955) dengan bantuan perangkat lunak *Slide*, dengan persamaan:

$$N = \frac{W - \frac{(c'L\sin\alpha - uL\sin\alpha \tan\phi)}{F}}{\cos\alpha + \frac{(\sin\alpha \cdot \tan\phi)}{F}}$$

(sumber : Principles of Geotechnical Engineering 9th Edition)

- **Tahap 6:** menghitung penurunan tanah dasar akibat timbunan tanpa perkuatan menggunakan teori consolidation *settlement* dengan bantuan perangkat lunak *Settle 3D*, dengan persamaan:
$$S = \frac{Cc H}{1+e_0} \log \frac{p_0(i) + \Delta p(i)}{p_0(i)}$$
- **Tahap 7:** menghitung penurunan tanah dasar akibat timbunan dengan perkuatan geosintetik dengan bantuan perangkat lunak *Plaxis 2D*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Koreksi Data SPT dan Korelasi Parameter Tanah

Nilai N-SPT dikoreksi untuk mendapatkan parameter yang diperlukan melalui korelasi. Hasil koreksi data SPT serta korelasi parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koreksi Data N-SPT dan Korelasi Parameter Tanah

DEPTH m	SOIL DESCRIPTION SORT		N60 (kpa)	cu		φ		γ kN/m ³	Es	
							°			mpa
0.00	SOFT CLAY							16.2	844.38	0.84
1.00										
2.00		1.67	10		10	24.90				
3.00	LAKE SHELLY CLAY					24.90		16.35	1477.66	1.48
4.00		3.33	20		17.5	26.93	26.46			
5.00						26.00	16.40			
6.00		2.50	15				16.30			
7.00	SILTY CLAY							16.50	2216.48	2.22
8.00		3.33	20			26.93	16.40			
9.00										
10.00		4.17	25		26.25	27.75	26.32			
11.00										
12.00		4.17	25			27.75				
13.00										
14.00		5.83	35			29.17	16.60			
15.00	CLEYEEY SILT							18.15	10660.23	10.66
16.00		19.17	115			36.61	18.00			
17.00										
18.00		20.83	125		126.25	37.32	37.40			
19.00										
20.00		21.67	130			37.66	18.20			
21.00										
22.00		22.50	135			38.00	18.30			
23.00	SILT GRAVELY CLAY							18.50	12454.53	12.45
24.00		24.17	145		147.5	38.65	38.81			
25.00										
26.00		25.00	150			38.97				
27.00	SYLTY CLAY							18.50	12665.63	12.67
28.00		25.00	150		150	38.97	38.97			
29.00										
30.00		25.83	155			39.29				
31.00	SILT CLAY							19.40	17985.19	17.99
32.00		27.50	165			39.90	18.80			
33.00										
34.00		39.17	235		213	43.75	42.48			
35.00										
36.00		41.67	250			44.49				
37.00										
38.00		43.33	260			44.98	20.40			

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.2. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Berikut resume hasil perhitungan daya dukung tanah yang dilakukan pada kondisi jangka panjang dan jangka pendek menggunakan metode Terzaghi (1943) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Daya Dukung Tanah					
Tanpa Perkuatan			Dengan Perkuatan		
qult	P _{max}	FK	qult	P _{avg}	FK
kN/m ²	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
92.09	75	1.23	92.09	47.90	1.92
Kontrol		FK _u ≤ SF		Kontrol	
TIDAK AMAN		1.23 ≤ 1.5		AMAN	
				1.92 ≥ 1.5	

3.3. Perhitungan Stabilitas Geser Rotasional

Berikut resume hasil perhitungan stabilitas geser rotasional.

Tabel 3. Perhitungan Stabilitas Geser Rotasional

Kondisi	MR	MD	Mr	FK	Kontrol
Tanpa Perkuatan (<i>unreinforcement</i>)	1437.52	1784.08	1353.15	0.81	TIDAK AMAN
Dengan Perkuatan (<i>reinforcement</i>)				1.56	AMAN

3.4. Perhitungan Stabilitas Lateral

3.4.1 Tahanan Putus

Tabel 4. Perhitungan Faktor Keamanan Tahanan Putus

No	z	L	P _a	P _{q2}	W	q _{2L}	W+q _{2L}	e	s _{vb}	s _h	S _v	S _h	F	FK PUTUS
	m	m	kPa	kPa		kPa	m	kPa	kPa	m	m	kN/m	GX 200/50	
1	0.5	5.75	0.68	0.68	57.50	28.75	86.25	0.003	15.02	4.05	0.50	1.00	2.03	24.91 OK
2	1	7.25	2.70	1.35	145.00	36.25	181.25	0.009	25.06	6.77	0.50	1.00	3.38	14.93 OK
Gaya Tarik yang terjadi > T _{ijin} : kurangi tebal lapisan												max F	=	3.38
												T _{ijin}	=	50.51

3.4.2 Tahanan Cabut

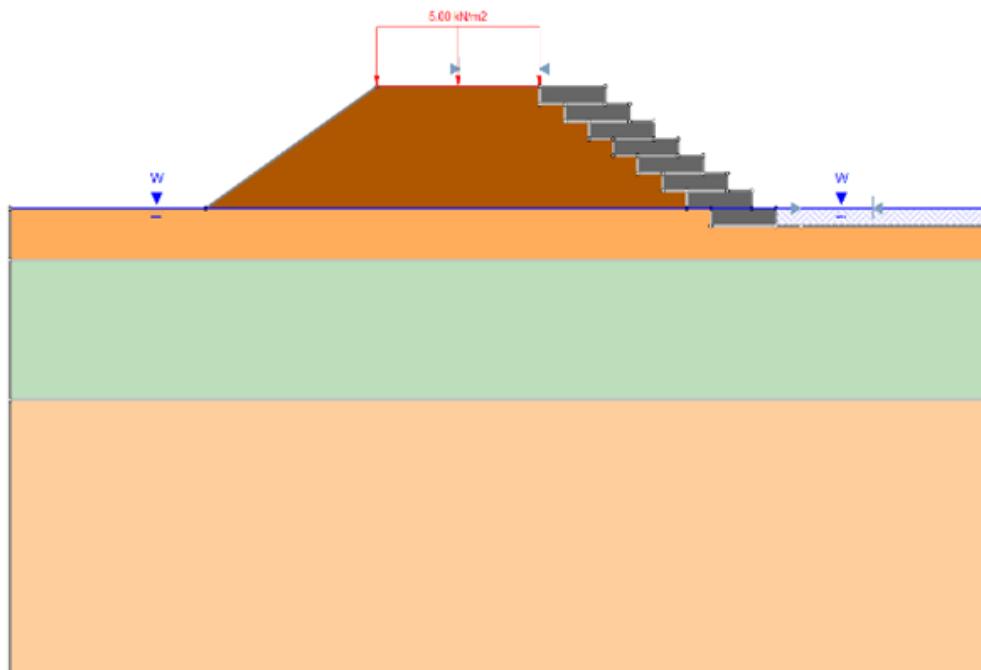
Tabel 5. Perhitungan Faktor Keamanan Tahanan Cabut

No	z	F	Le	f	Pc	FK CABUT
	m	kN/m	m	kPa	kN/m	
1	0.5	2.03	4.19	14.22	59.57	29.38 OK
2	1	3.38	5.95	28.44	169.20	50.01 OK

3.5. Stabilitas Lereng

Perhitungan kestabilan lereng timbunan menggunakan metode Simplified Bishop dengan bantuan perangkat lunak Rocscience SLIDE, yang dilakukan pada 2 kondisi yaitu:

1. Kondisi setelah selesai konstruksi (*End of Construction*)
2. Kondisi pasca-gempa (*Post-Earthquake Stability*)



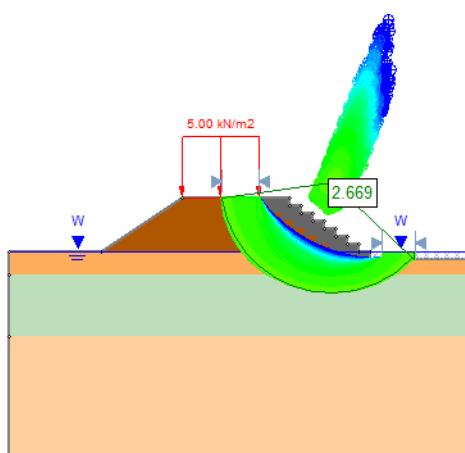
Gambar 2. Geometri Timbunan

Berikut hasil perhitungan yang telah dilakukan pada setiap kondisi:

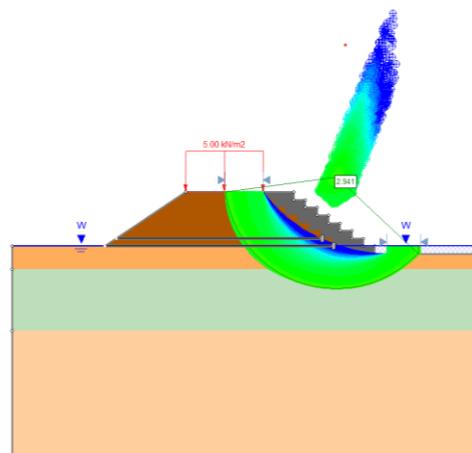
1. Kondisi Setelah Selesai Konstruksi (*End of Construction*)

Analisis pada kondisi ini adalah *total stress analysis*. Faktor keamanan lereng pada kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 3. Besar FK adalah 2.7 (tanpa perkuatan) dan 2.9 (dengan perkuatan).

Timbunan tanpa geosintetik



Timbunan menggunakan geosintetik

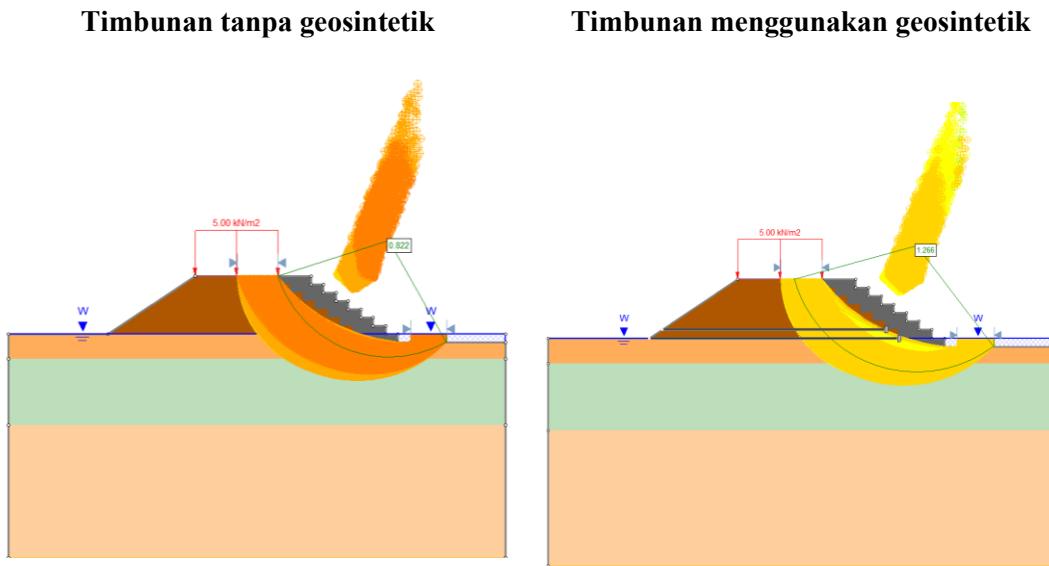


Gambar 3. Kondisi Setelah Konstruksi (*End of Construction*)

(Sumber: Hasil Analisis)

2. Kondisi Pasca-Gempa (*Post-Earthquake Stability*)

Nilai PGA pada lokasi penelitian adalah 0.19 yang diperoleh dari peta MCEg, digunakan untuk menghitung nilai k_h . Faktor keamanan lereng pada kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 4. Besar FK adalah 0.8 (tanpa perkuatan) dan 1.3 (dengan perkuatan).



Gambar 4. Kondisi Pasca-gempa (*Post-Earthquake Stability*)
(Sumber: Hasil Analisis)

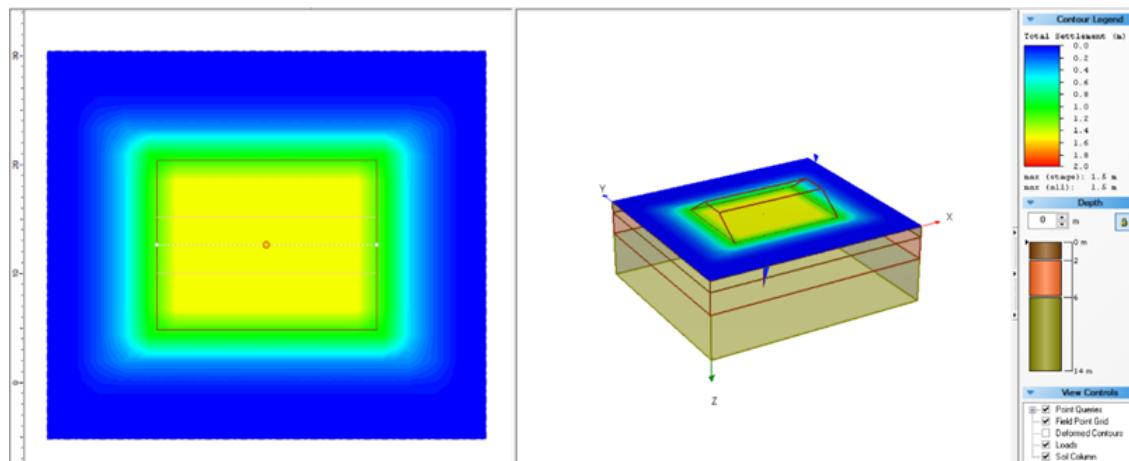
Hasil perhitungan stabilitas lereng yang dilakukan pada 2 kondisi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng

Kondisi	FK ijin	Faktor Keamanan			
		Tanpa Perkuatan	Kontrol	Dengan Perkuatan	Kontrol
Setelah Selesai Konstruksi (End of Construction)	STATIS	1.3	2.669	AMAN	2.941
Pasca Gempa (<i>Post Earthquake Stability</i>)	DINAMIS	1.1	0.822	TIDAK AMAN	1.266

3.6 Perhitungan Penurunan Tanah Dasar Akibat Timbunan Tanpa Perkuatan

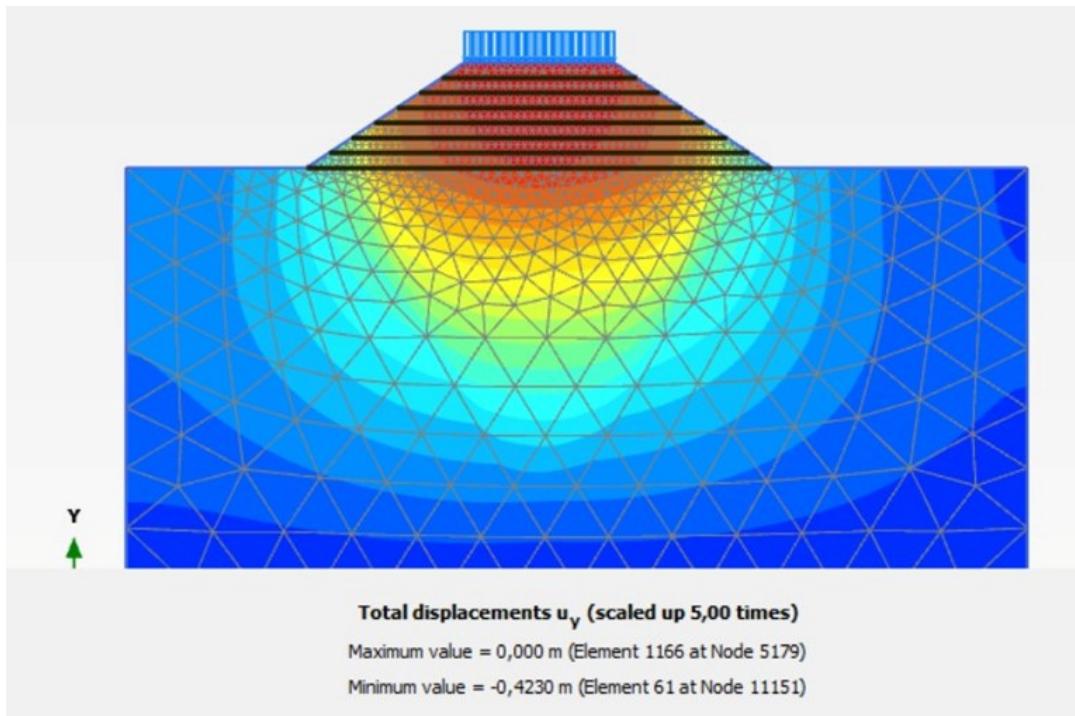
Perhitungan penurunan tanah dasar yang merupakan tanah lempung menggunakan penurunan konsolidasi dengan bantuan perangkat lunak *Settle3D*. Penurunan tanah dasar akibat beban timbunan tanpa perkuatan adalah 1.5 m.



Gambar 5. Penurunan Tanah Dasar akibat Beban Timbunan
(Sumber: Hasil Analisis)

3.7 Perhitungan Penurunan Tanah Dasar Akibat Timbunan Dengan Perkuatan

Perhitungan penurunan tanah dasar akibat beban timbunan yang telah diperkuatan geosintetik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS 2D. Pada pemodelan, timbunan diberi perkuatan sebanyak 7 lapis. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada penurunan tanah dasar akibat timbunan yang telah diperkuat adalah 0.423 m.



Gambar 6. Perpindahan Total (*Total Displacements*)
(Sumber: Hasil Analisis)

4. Kesimpulan

- Faktor keamanan untuk daya dukung tanah pada kondisi jangka pendek (*short-term*) sebelum diberi perkuatan adalah 1.23 (≤ 1.5) dan setelah diberi perkuatan meningkat menjadi 1.92 (≥ 1.5).
- Faktor keamanan untuk stabilitas geser rotasional timbunan sebelum diberi perkuatan adalah 0.81 (≤ 1.3) dan setelah diberi perkuatan meningkat menjadi 1.56 (≥ 1.3).
- Faktor keamanan untuk stabilitas lateral atau stabilitas internal yaitu terhadap tahanan putus dan tahanan cabut. Dengan menggunakan 2 lapis perkuatan diperoleh faktor keamanan yakni yakni pada tahanan putus sebesar 29.38, dan pada tahanan cabut sebesar 50.01.
- Faktor keamanan kestabilan lereng (*slope stability*) untuk kondisi setelah selesai konstruksi (bebani statis) sebelum diberi perkuatan adalah 2.7 (≥ 1.3), dan setelah diberi perkuatan meningkat menjadi 2.9 (≥ 1.3). Untuk kondisi pasca gempa (dinamis), faktor keamanan lereng sebelum diberi perkuatan sebesar 0.822 (≤ 1.1), dan setelah diberi perkuatan meningkat menjadi 1.3 (≥ 1.1).
- Penurunan tanah dasar akibat timbunan sebelum diberi perkuatan adalah 1.5 m dan setelah diberi perkuatan adalah 0.423 m.

Referensi

- Craig, R.F. 1991. *Mekanika Tanah*. Erlangga. Jakarta
- Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- 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.
- Duncan, J Michael and Wright, Stephen G 2005. *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Elias, V., Christopher, B.R., Berg, R.R., 2001. *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines, Report No. FHWA -NHI-00-043*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., USA, Maret 2001.
- Gouw, T.L, 1990. *Faktor Rangkak dalam Pemilihan Geosintetik untuk Perkuatan Tanah*, Konferensi Geoteknik Indonesia IV, Bandung, 26-27 Februari 1990.
- Gouw, T.L, 2015. *Importance of Elongation factor in Determining Geosynthetics Stiffness for Finite Element Calculation, Proceedings of International Conference on Landslides and Slope Stability*, Bali, Sep 27-30, 2015, pp.B8-1-B8-6.
- Hapsari, D. (2023). *Analisis Stabilitas Timbunan Tubuh Embung (Tanggul) Di Atas Tanah Lunak Dengan Plaxis 2d (Studi Kasus: Embung Danau Asam Di Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah)*.
- Hary Christady Hardiyatmo. (2002). *Mekanika tanah II (Edisi – 3)*. Gadjah Mada University Press.
- Holtz, R.D., Christopher, B.R., Berg, R.R., 1998. *Geosynthetic Design and Construction Guidelines, Report No. FHWA HI-95-038*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., USA, April 1998.
- Koerner, R., (2003) *A Brief Overview of Geosynthetics and Their Major Applications, Geosynthetics Institute, USA*.
- Labunga, O. W., Mandagi, A. T., & Sarajar, A. N. (2024). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Modified dan Simplified Menggunakan PLAXIS (Studi Kasus: Rusunawa Tingkulu)*. TEKNO, 22 (87), 201-210.
- Lontoh, R. J., Manoppo, F. J., & Sompie, O. B. (2020). *Analisis Kestabilan Bendungan Lolak 1. Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.2 Februari 2020 (221-236) ISSN: 2337-6732*.
- Muzaidi, I., Anggraini, E., Hardiani, D. P., & Sriardi, D. (2024). *Analisis Faktor Keamanan Pada Permodelan Timbunan Yang Diperkuat Geogrid Di Atas Tanah Lempung Lunak*. AGREGAT, 9(1), 1087-1093.
- Nggebu, Y. Y., Ticoh, J. H., & Legrans, R. R. I. (2019). *Analisis Kestabilan Lereng Di Ruas Jalan Raya Manado-Tomohon Km 15*. TEKNO, 17(71).
- Pedoman Kimpraswil No: Pt T-10-2002- B, *Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi*: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Purwanto , E. (2020). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Program Plaxis (Studi Kasus Jalan Tol Pekan Baru-Dumai)*.
- Reza Satria Warman, S.T. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rayat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Sihotang, J. T., Rondonuwu, S. G., & Sarajar, A. N. (2023). *Pengaruh Beban Gempa terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Perkuatan Soil Nailing (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado Outer Ring Road III)*. TEKNO, 21(84), 741-751.).
- Standar Nasional Indonesia. (2017). *Standar Nasional Indonesia SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Tambing, B. T., Sarajar, A. N., & Ticoh, J. H. (2023). *Analisis Stabilitas Tanggul Timbunan Tanah (Studi Kasus: Tanggul Pengaman Danau Tondano)*. TEKNO, 21(83), 343-352.
- Wantalangie, R. M., Legrans, R. R., & Manaroinsong, L. D. (2024). *Analisis Kestabilan Embankment Pada Storage Facility Pyrite Concentrate PT. Freeport Indonesia*. TEKNO, 22(87), 679-689.