

Stabilitas Timbunan Pembangunan Infrastruktur Perumahan bagi Warga Eks Pejuang Timor – Timur dengan Menggunakan Software Geo5 dan Geostudio

Nur Ayu Diana¹, Reysha Rizki Amanda Lubis², Heri Budianto³

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Janabadra, Yogyakarta, Indonesia, nurayu@janabadra.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Widya Kartika, Surabaya, Indonesia, reysha@widyakartika.ac.id

³PT. Difa Mahakarya, Yogyakarta, Indonesia, difamahakarya@gmail.com

STATUS ARTIKEL

Dikirim 28 April 2026

Direvisi 13 Mei 2026

Diterima 13 Mei 2026

Kata Kunci:

stabilitas timbunan; faktor keamanan; metode Morgenstern-Price; Mohr-Coulomb; GeoStudio; Geo5; stabilisasi tanah

ABSTRAK

Timbunan dilakukan untuk meningkatkan elevasi lahan sehingga diperlukan evaluasi terhadap potensi kelongsoran. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) dengan metode Morgenstern-Price. Parameter tanah diperoleh dari hasil pengujian laboratorium, meliputi uji pemadatan (*Standard Proctor*), uji *California Bearing Ratio* (CBR), serta analisis gradasi, yang kemudian dilengkapi dengan korelasi empiris untuk menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam.

Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak GEO5 dan GeoStudio (SLOPE/W) dengan mempertimbangkan lapisan tanah asli, tanah timbunan, dan lapisan stabilisasi menggunakan bahan aditif. Hasil analisis menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 58,30 (GEO5) dan 69,74 (GeoStudio), yang keduanya lebih besar dari nilai minimum yang disyaratkan ($SF > 1,5$). Hal ini menunjukkan bahwa timbunan berada dalam kondisi sangat stabil dan aman terhadap potensi longsor. Penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan material stabilisasi mampu meningkatkan kekuatan tanah secara signifikan serta mendukung perencanaan konstruksi yang aman dan andal.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur perumahan bagi warga eks Timor – Timur memiliki kondisi topografi dan geoteknik tertentu seringkali memerlukan pekerjaan timbunan untuk meningkatkan elevasi lahan agar sesuai dengan kebutuhan perencanaan. Namun demikian, pekerjaan timbunan memiliki risiko geoteknik yang signifikan, terutama terkait dengan potensi ketidakstabilan lereng yang dapat menyebabkan kelongsoran. Kegagalan timbunan tidak hanya berdampak pada kerusakan konstruksi, tetapi juga dapat menimbulkan kerugian ekonomi dan membahayakan keselamatan manusia. Oleh karena itu, analisis stabilitas timbunan menjadi aspek penting yang harus dilakukan dalam tahap perencanaan.

Stabilitas timbunan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain sifat fisik dan mekanik tanah, geometri lereng, kondisi muka air tanah, serta beban yang bekerja pada timbunan. Parameter kuat geser tanah, seperti kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), merupakan faktor utama yang menentukan kemampuan tanah dalam menahan gaya geser. Dalam praktiknya, keterbatasan data seringkali menjadi kendala, sehingga diperlukan pendekatan korelasi empiris untuk melengkapi parameter yang tidak tersedia secara langsung dari hasil pengujian laboratorium.

Kemajuan teknologi telah mendorong pemanfaatan metode numerik dalam analisis stabilitas lereng, khususnya melalui penggunaan perangkat lunak geoteknik. Salah satu pendekatan yang широко digunakan adalah metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*), terutama metode Morgenstern–Price, yang mampu menghasilkan analisis yang lebih representatif karena mempertimbangkan keseimbangan gaya dan momen secara bersamaan (Morgenstern & Price, 1965; Fredlund et al., 2012). Dengan bantuan perangkat lunak seperti GeoStudio (SLOPE/W) dan GEO5, proses evaluasi stabilitas dapat dilakukan secara lebih menyeluruh, termasuk dalam penentuan nilai faktor keamanan serta identifikasi bidang longsor yang paling kritis. yang lebih komprehensif dalam menentukan faktor keamanan dan bidang longsor kritis.

Pada proyek pembangunan infrastruktur perumahan bagi warga eks pejuang Timor–Timur di Kabupaten Kupang, pekerjaan timbunan dilakukan untuk meningkatkan elevasi lahan sebelum pembangunan. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, tanah dasar pada lokasi penelitian memiliki nilai CBR yang tergolong cukup baik, namun masih memerlukan peningkatan kualitas melalui penggunaan material timbunan yang lebih baik serta lapisan stabilisasi. Salah satu metode yang digunakan adalah penambahan bahan aditif stabilisasi tanah untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah (Consoli et al., 2010).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu analisis stabilitas timbunan yang komprehensif untuk memastikan bahwa desain yang direncanakan memenuhi kriteria keamanan yang dipersyaratkan. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kestabilan timbunan serta efektivitas penggunaan material stabilisasi dalam meningkatkan kinerja geoteknik tanah (Duncan & Wright, 2005).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis geoteknik untuk mengevaluasi kestabilan timbunan pada lokasi studi. Metode yang diterapkan adalah analisis stabilitas lereng berbasis keseimbangan batas (*limit equilibrium method*), yang bertujuan untuk menentukan nilai faktor keamanan sebagai indikator utama kestabilan konstruksi timbunan terhadap potensi kelongsoran (Duncan & Wright, 2005; Das, 1985).

Tahapan awal penelitian dimulai dengan pengumpulan data yang meliputi data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah, yang mencakup uji pemadatan (*Standard Proctor*), uji *California Bearing Ratio* (CBR), serta analisis distribusi ukuran butir sesuai standar pengujian tanah (ASTM International, 2016, 2017; Badan Standardisasi Nasional, 2008, 2012). Data sekunder diperoleh dari literatur, standar teknis, serta referensi yang relevan dengan analisis geoteknik. Parameter tanah yang digunakan dalam analisis meliputi berat volume tanah, kadar air, kohesi, dan sudut geser dalam. Yang merupakan parameter utama dalam menentukan kuat geser tanah (Das, 1985). Dalam kondisi keterbatasan data, beberapa parameter ditentukan melalui pendekatan korelasi empiris berdasarkan nilai berat volume tanah dan karakteristik material (owles, 1996).

Selanjutnya, dilakukan pemodelan geometri timbunan dalam bentuk penampang dua dimensi yang merepresentasikan kondisi lapangan. Model terdiri atas beberapa lapisan, yaitu tanah dasar, material timbunan, dan lapisan stabilisasi. Setiap lapisan diberikan parameter mekanik sesuai dengan hasil pengujian dan perhitungan. Pemodelan ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi aktual timbunan serta interaksi antar lapisan tanah yang mempengaruhi kestabilan (Griffiths & Lane, 1999).

Analisis stabilitas dilakukan menggunakan metode Morgenstern-Price, yang merupakan salah satu pendekatan dalam metode keseimbangan batas. Dalam metode ini, massa tanah dibagi menjadi sejumlah irisan vertikal (*slice*), kemudian dilakukan analisis keseimbangan gaya dan momen secara simultan pada setiap irisan. Pendekatan ini memungkinkan diperolehnya hasil yang lebih representatif karena mempertimbangkan interaksi antar irisan tanah (Morgenstern & Price, 1965; Fredlund et al., 2012).

Perhitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak geoteknik, yaitu GEO5 dan GeoStudio (SLOPE/W), untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi analisis. Kedua perangkat lunak tersebut digunakan untuk memodelkan kondisi timbunan, menentukan bidang longsor kritis, serta menghitung nilai faktor keamanan Bentley Systems, 2023). Dalam proses analisis, digunakan beberapa asumsi, antara lain kondisi tanpa pengaruh beban gempa, tidak mempertimbangkan retakan tarik, serta kondisi muka air tanah yang ditetapkan pada kedalaman tertentu (Duncan & Wright, 2005).

Hasil dari analisis berupa nilai faktor keamanan, distribusi gaya pada masing-masing irisan tanah, serta lokasi bidang longsor yang paling kritis. Nilai faktor keamanan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menilai tingkat kestabilan timbunan. Apabila nilai yang diperoleh memenuhi kriteria yang dipersyaratkan, maka desain timbunan dapat dinyatakan aman. Sebaliknya, apabila tidak memenuhi, diperlukan evaluasi dan perbaikan desain. Pada bagian metode tulislah bagaimana metode yang digunakan dalam penelitian ini. Bab ini terdiri dari desain penelitian, metode yang digunakan, variable penelitian, sumber data, prosedur pengumpulan data, pemeriksaan dan keabsahan data, teknik analisa data dan lokasi penelitian yang dipakai (Duncan & Wright, 2005).

2.1 Tahanan Geser Tanah

Kuat geser tanah menggambarkan kemampuan suatu massa tanah dalam memberikan tahanan internal terhadap gaya yang berpotensi menyebabkan keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang gelincir di dalam tanah. Parameter ini menjadi dasar dalam berbagai analisis geoteknik, seperti perhitungan daya dukung tanah, evaluasi kestabilan lereng, serta analisis tekanan tanah lateral pada struktur penahan tanah seperti turap dan dinding penahan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik kuat geser tanah merupakan langkah awal yang penting sebelum melakukan analisis kestabilan (Das, 1985).

Dalam mekanika tanah, kuat geser dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Kohesi merepresentasikan gaya ikat antar partikel tanah yang memberikan kontribusi terhadap kekuatan tanah tanpa adanya tekanan normal. Nilai kohesi umumnya dijumpai pada tanah berbutir halus, seperti lempung, yang memiliki sifat plastis dan daya lekat tinggi. Sebaliknya, tanah berbutir kasar seperti pasir pada umumnya tidak memiliki kohesi yang signifikan, sehingga kekuatan gesernya lebih banyak dipengaruhi oleh gesekan antar butiran.

2.2 Analisis Stabilitas Timbunan

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menilai tingkat keamanan berbagai jenis lereng, baik lereng alami, lereng hasil galian, maupun lereng timbunan. Evaluasi ini penting untuk memastikan bahwa lereng tidak mengalami kegagalan akibat ketidakseimbangan gaya yang bekerja. Oleh karena itu, perhitungan faktor keamanan (*safety factor*, SF) menjadi parameter utama dalam menentukan kondisi kestabilan lereng. Nilai faktor keamanan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan yang mengacu pada prinsip mekanika tanah (Das, 1985).

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

F_s = angka keamanan

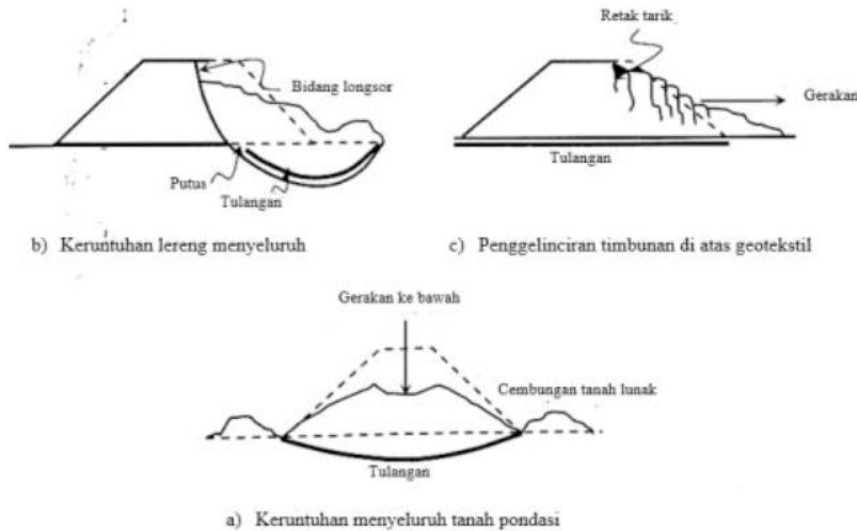
τ_f = kekuatan tanah untuk menahan kelongsoran

τ_d = gaya dorong yang bekerja sepanjang bidang longsor

Tanah Timbunan nantinya akan dihamparkan di atas tanah dasar. Penghamparan dilakukan hingga mencapai elevasi tertentu. Proses ini memunculkan sebuah risiko yang dapat menyebabkan kegagalan struktur. Risiko tersebut adalah risiko keruntuhan tanah dasar dan timbunan (Das, 1985; Terzaghi et al., 1996).

Kondisi kestabilan suatu lereng atau timbunan dapat dievaluasi berdasarkan nilai faktor keamanan (*safety factor*, SF). Lereng dikategorikan tidak stabil apabila nilai SF kurang dari 1, yang menunjukkan bahwa gaya penggerak lebih besar dibandingkan gaya penahan sehingga

berpotensi mengalami longsor. Apabila nilai SF mendekati atau sama dengan 1, maka lereng berada dalam kondisi kritis, yaitu pada batas keseimbangan dan sangat rentan terhadap kegagalan. Sementara itu, lereng dinyatakan stabil apabila nilai SF lebih besar dari 1, yang mengindikasikan bahwa gaya penahan masih mampu mengimbangi gaya penggerak yang bekerja (Geoengineer, 2026) **Gambar 2.1 (a)** menunjukkan keruntuhan timbunan akibat tanah dasar tidak mampu menahan beban timbunan. Keruntuhan ini terjadi akibat beban yang diberikan melebihi kapasitas dukung tanah dasarnya dan dapat disebabkan oleh penurunan yang terjadi pada timbunan melebihi penurunan rencananya sehingga perkuatan di dasar timbunan memanjang berlebihan. menunjukkan timbunan mengalami keruntuhan akibat Sebagian perkuatan yang diletakkan pada dasar timbunan mengalami putus atau tercabut sebagian sehingga **Gambar 2.1 (b)** timbunan mengalami kegagalan sebagian **Gambar 2.1 (c)** menunjukkan kegagalan timbunan akibat adanya penggelinciran pada dasar timbunan.



Gambar 2.1 Model Keruntuhan pada Timbunan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis stabilitas timbunan dilakukan menggunakan dua perangkat lunak geoteknik, yaitu GEO5 dan GeoStudio (SLOPE/W), dengan pendekatan metode keseimbangan batas menggunakan metode Morgenstern-Price. Pemodelan dilakukan dalam kondisi dua dimensi dengan mempertimbangkan tiga lapisan utama, yaitu tanah dasar, tanah timbunan, dan lapisan stabilisasi.

Parameter tanah yang digunakan dalam analisis meliputi berat volume tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ), yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium serta korelasi empiris.

3.1 Data Tanah

Pengujian tanah asli dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Kupan, tanah timbunan, serta DIFA *Soil Stabilizer*. Hasil pengujian *sample* tanah sebagaimana terlampir pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1 Data Tanah Asli Utama

No. Sample	γ_d (kN/m ³)	W _c opt (%)
1	14,6	23,5
2	14,7	22
3	16,6	19

Berdasarkan pengujian di Laboratorium hanya didapatkan nilai berat volume tanah max berdasarkan pengujian *Standart Proctor* dan pengujian CBR. Maka, berdasarkan data tersebut dilakukan perhitungan untuk nilai berat volume basah tanah (γ_{sat}) yaitu dengan rumusan berikut:

$$\gamma_{sat} = \gamma_d \times (1 + w_c) \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana,

γ_{sat} = berat volume basah tanah (Kn/m³)

γ_d = berat volumekering tanah (Kn/m³)

W_c = kadar air tanah (%)

Parameter tanah yang digunakan untuk evaluasi timbunan meliputi berat volume tanah, kadar air, kohesi, dan sudut geser dalam erdasarkan. Hasil pengujian laboratorium serta pendekatan korelasi empiris. Data tersebut telampir pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan dan Korelasi Parameter Tanah Tanah Asli

No. Sample	γ_d (kN/m ³)	Wc opt (%)	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ (deg)	C (kPa)
1	14,6	23,5	18,03	27,8	1
2	14,7	22	17,93	28,1	1
3	16,6	19	19,75	33,8	1,58

Data tanah asli pada **Tabel 3.2** yang digunakan adalah tanah dalam kondisi berat volume kering tanah terkecil. Sedangkan data tanah untuk timbunan serta DIFA disajikan dalam **Tabel 3.3**

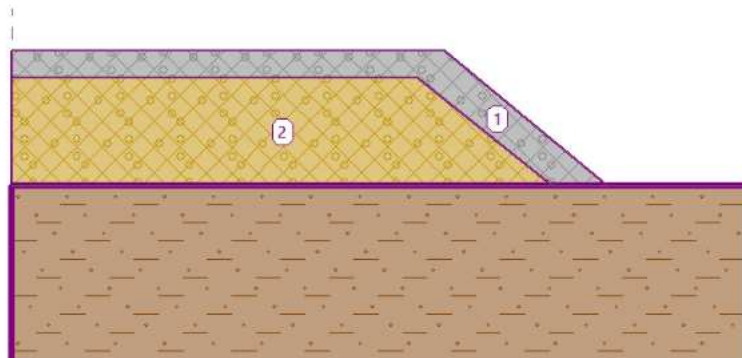
Tabel 3.3 Hasil Perhitungan dan Korelasi Parameter Tanah Tanah Timbunan dan DIFA

Jenis Tanah	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ (deg)	C (kPa)
Tanah Timbunan	18	19	25	5
DIFA <i>Soil Stabilizer</i>	17	19	1	100

3.2 Analisis Stabilisasi Timbunan

a) Analisis dengan program bantu Geo5

Data tanah dimodelkan dengan spesifikasi yaitu (1) adalah lapisan DIFA setebal 10 cm dan (2) adalah Tanah Timbunan, serta (3) adalah Tanah Asli (lapisan tanah dibawah tanah timbunan sebagaimana **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Model Lapisan Tanah dengan *Software* Geo5

Analisis stabilitas timbunan menggunakan software Geo5 (**Gambar 3.2**) dengan asumsi *pore water pressure* berada di bawah jauh tanah asli, menunjukkan bahwa model timbunan berada dalam kondisi stabil dengan status *slope stability acceptable*. Indikator ini mengonfirmasi bahwa nilai faktor keamanan yang diperoleh telah melampaui ambang batas desain yang umum digunakan dalam praktik geoteknik ($SF \geq 1,3 - 1,5$), sehingga sistem lereng memiliki kapasitas yang memadai untuk menahan gaya penggerak yang bekerja (Duncan & Wright, 2005; Das, 1985).

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

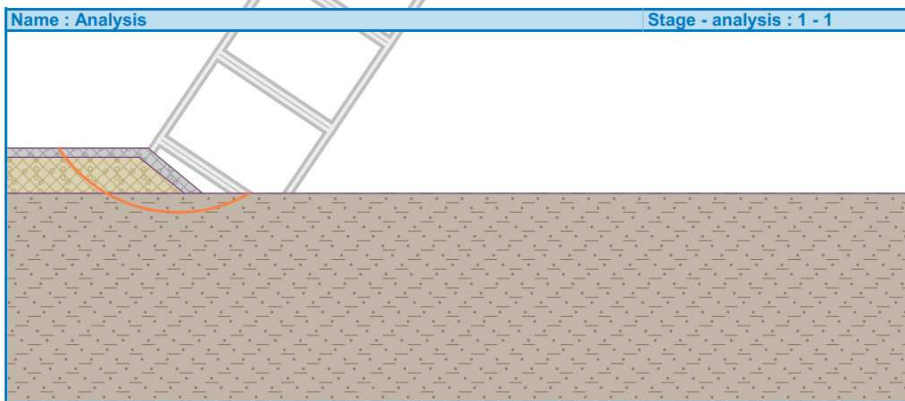
Slip surface parameters					
Center :	x =	1.93 [m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-56.81 [°]
	z =	1.36 [m]		$\alpha_2 =$	29.99 [°]
Radius :	R =	1.57 [m]			

Analysis of the slip surface without optimization.

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 58.30 > 1.50

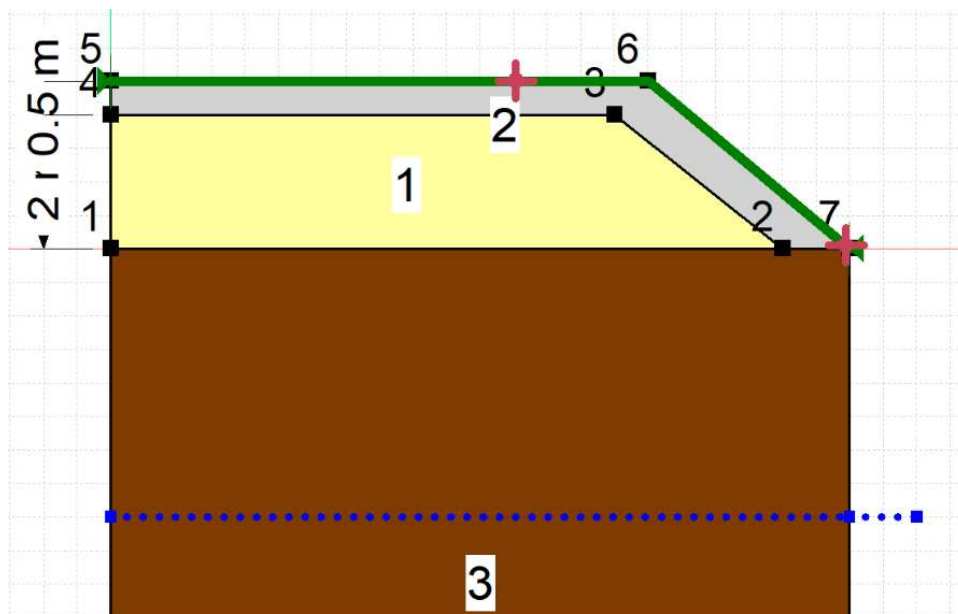
Slope stability ACCEPTABLE



Gambar 3.2 Hasil Analisis Stabilitas Timbunan dengan *Software* Geo5

b) Analisis dengan program bantu Geostudio

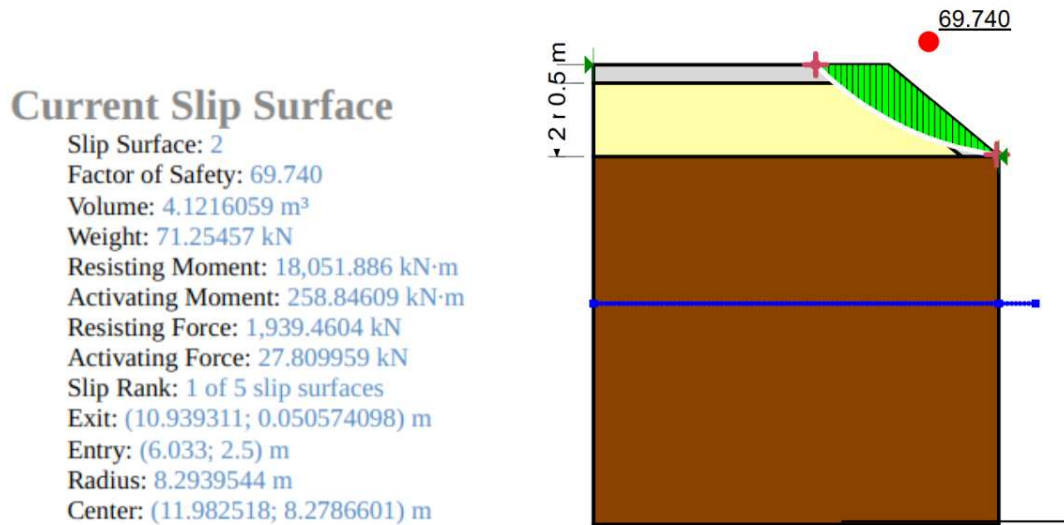
Data tanah dimodelkan menggunakan *software* Geostudio dengan membuat sketsa timbunan sebagaimana Gambar 3.3. Pada sketsa dilakukan perbesaran 5x agar bisa dilakukan analisis



Gambar 3.3 Sketsa Model Timbunan dengan *Software* Geostudio

Data yang digunakan untuk memodelkan stabilitas timbunan dengan *Software* Geostudio sesuai dengan data yang disajikan pada Tabel 3.2 untuk material tanah asli (sampel 1) dan Tabel 3.3 untuk tanah timbunan dan DIFA. Asumsi data GWL (*Ground Water Level*) kedalaman -4 m

Hasil analisis menggunakan *software* Geostudio, berdasarkan data tanah di atas diperoleh hasil model seperti **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Hasil Analisis Stabilitas Timbunan dengan *Software* Geostudio

Gambar di atas menunjukkan kondisi lereng berada dalam keadaan sangat stabil. Berdasarkan hasil perhitungan pada bidang gelincir kritis (*critical slip surface*), diperoleh nilai faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 69,740, yang secara signifikan melampaui nilai minimum yang dipersyaratkan dalam desain geoteknik ($SF \geq 1,3-1,5$). Nilai ini mengindikasikan bahwa gaya penahan yang bekerja pada sistem lereng jauh lebih besar dibandingkan gaya penggerak yang berpotensi menyebabkan kelongsoran (Duncan & Wright, 2005).

Gaya penahan (*resisting force*) sebesar 1.939,460 kN jauh lebih besar dibandingkan gaya penggerak (*activating force*) sebesar 27,810 kN, serta momen penahan yang mencapai 18.051,886 kN·m, dibandingkan momen penggerak sebesar 258,846 kN·m. Rasio yang sangat besar antara gaya dan momen penahan terhadap gaya dan momen penggerak ini menjadi faktor utama tingginya nilai faktor keamanan yang diperoleh. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas kuat geser tanah pada bidang longsor potensial sangat dominan dalam menahan pergerakan massa tanah (Das, 1985).

Bidang longsor kritis yang terbentuk memiliki jari-jari sebesar 8,29 m dengan pusat lingkaran pada koordinat tertentu, yang menunjukkan bahwa mekanisme keruntuhan yang dianalisis berbentuk longsor rotasional. Pendekatan ini sesuai dengan metode Morgenstern–Price yang digunakan dalam analisis, dimana massa tanah dibagi menjadi beberapa irisan vertikal dan dianalisis berdasarkan keseimbangan gaya serta momen secara simultan (Morgenstern & Price, 1965; Fredlund et al., 2012).

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis stabilitas timbunan yang telah dilakukan menggunakan dua perangkat lunak geoteknik, yaitu GEO5 dan GeoStudio (SLOPE/W), diperoleh nilai faktor keamanan (*safety factor*, SF) yang menunjukkan kondisi kestabilan yang sangat baik. Hasil analisis menggunakan GEO5 menghasilkan nilai SF sebesar 58,30, sedangkan analisis menggunakan GeoStudio menghasilkan nilai SF sebesar 69,740. Kedua nilai tersebut secara signifikan lebih besar dibandingkan dengan nilai minimum yang disyaratkan dalam perencanaan geoteknik, yaitu $SF \geq 1,5$, sehingga dapat disimpulkan bahwa timbunan dengan lapisan stabilisasi DIFA berada dalam kondisi aman terhadap potensi kelongsoran.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

5.1 Isi Ucapan Terima Kasih

Bagian ini berisi tentang ucapan terima kasih kepada Heri Budianto selaku mitra penelitian dari PT Difa Mahakarya atas kerjasama dalam pengujian dan pengolahan data tanah yang digunakan pada penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2016). Standard test method for California bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils (ASTM D1883). ASTM International.
- ASTM International. (2017). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (ASTM D698). ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1744:2008 – Metode uji CBR laboratorium. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1742:2012 – Metode pengujian kepadatan tanah dengan pemadatan standar. BSN.
- Bentley Systems. (2023). GeoStudio (SLOPE/W) user manual. Bentley Systems Incorporated.
- Coulomb, C. A. (1776). Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Académie Royale des Sciences.
- Das, B. M. (1985). Principles of geotechnical engineering. PWS Publishers.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*.
- Geoengineer.org. (2026). Slope stability: Critical failure surface & design factor of safety. <https://www.geoengineer.org/education/slope-stability/slope-stability-critical-failure-surface-design-factor-of-safety>
- Fine Software. (2020). GEO5 user guide – slope stability analysis. Fine Software.
- Fredlund, D. G., Krahn, J., & Pufahl, D. (2012). The relationship between limit equilibrium methods. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Mohr, O. (1980). Abhandlungen aus dem Gebiete der Technischen Mechanik. Ernst & Korn.
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.