



ANALISIS DAN EVALUASI STABILITAS LERENG EKSISTING DI KAMPUS III UIN IMAM BONJOL PADANG

Habil Mauliddiansyah¹, Syahril Rahmat²

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*Email: habilmauliddiansyah@gmail.com

ABSTRAK

Tingginya intensitas curah hujan yang melanda Kampus III UIN Imam Bonjol Padang di akhir tahun 2025 menyebabkan massa tanah mencapai kondisi jenuh air, sehingga memicu terjadinya kelongsoran yang mengindikasikan ketidakstabilan lereng secara kritis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng eksisting menggunakan software Plaxis 2D dan perhitungan manual Metode Fellenius, guna mengevaluasi nilai *Safety Factor* serta mengidentifikasi mekanisme keruntuhan secara komprehensif. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lereng eksisting berada pada kondisi tidak stabil dan gagal memenuhi kriteria keamanan desain geoteknik. Analisis menggunakan Plaxis 2D menghasilkan nilai SF sebesar 1,019, sedangkan perhitungan manual menggunakan Metode Fellenius memberikan estimasi yang lebih konservatif dengan nilai SF sebesar 0,957 akibat karakteristik inheren metode yang mengabaikan gaya antar-irisan tanah. Berdasarkan visualisasi perilaku deformasi dari hasil analisis, mekanisme keruntuhan yang terbentuk teridentifikasi sebagai kelongsoran global dengan bidang gelincir membusur (*circular slip surface*). Kegagalan stabilitas ini murni dipicu oleh gaya pendorong massa tanah yang melampaui kapasitas kuat geser maksimum pada lapisan tanah dasar. Luaran pemodelan numerik ini secara akurat merepresentasikan dan memvalidasi kronologi pergerakan tanah faktual yang terjadi di lapangan sebelum studi ini dilakukan.

Kata Kunci: Faktor Keamanan, Kelongsoran Global, Lereng Eksisting, Metode Fellenius, Plaxis 2D, Stabilitas Lereng.

Article History

Received: Juli 2026

Reviewed: Juli 2026

Published: Juli 2026

Plagiarism Checker

No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

A. PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan salah satu bentuk bencana geoteknik yang paling sering melanda wilayah Indonesia, terutama pada daerah dengan kondisi topografi berlereng curam hingga bergunung-gunung yang disertai curah hujan tinggi. Kejadian gerakan tanah ini pada dasarnya dipicu oleh kegagalan lereng, baik lereng alami maupun buatan, dalam mempertahankan kesetimbangan statisnya akibat interaksi dinamis antara faktor geologi, kondisi hidrologi, dan tata guna lahan. Keruntuhan lereng umumnya dipicu oleh paparan curah hujan berintensitas tinggi secara terus-menerus yang meresap ke dalam lapisan tanah. Proses infiltrasi ini mengakibatkan massa tanah mencapai kondisi jenuh air (*soil saturation*), yang secara mekanis meningkatkan tekanan air pori, memperkecil tegangan efektif, serta mereduksi parameter kuat geser tanah hingga batas paling kritis (Bowles, 1997). Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng menjadi aspek penyelidikan yang sangat penting dalam upaya mitigasi risiko bencana serta perlindungan terhadap area terbangun (Karnawati, 2005).



Pada skala regional, Provinsi Sumatera Barat, termasuk Kota Padang, dikenal sebagai wilayah yang memiliki tingkat kerawanan gerakan tanah yang sangat tinggi. Kondisi geomorfologi daerah ini didominasi oleh perbukitan terjal dengan karakteristik tanah berupa tanah residual vulkanik yang sangat sensitif terhadap perubahan kadar air akibat tingginya curah hujan tahunan (BNPB, 2025). Kondisi tersebut terbukti nyata di lapangan, salah satunya pada kawasan Kampus III UIN Imam Bonjol Padang di Sungai Bangek pada akhir tahun 2025. Curah hujan ekstrem di wilayah tersebut memicu saturasi air total pada lereng eksisting, yang berujung pada terjadinya kelongsoran hebat hingga memengaruhi kestabilan area sekitar gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam (FEBI).

Dalam praktiknya, evaluasi stabilitas lereng eksisting umumnya didekati melalui Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method* / LEM) dan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method* / FEM). Salah satu metode LEM konvensional yang sering digunakan sebagai instrumen pembandingan adalah Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slices*). Metode ini sangat praktis, namun dikenal memberikan estimasi yang sangat konservatif karena menyederhanakan perhitungan dengan mengabaikan seluruh gaya geser dan gaya normal antar-irisan tanah (Hardiyatmo, 2012). Sebagai langkah pembandingan yang lebih komprehensif, analisis numerik berbasis elemen hingga menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D diterapkan. Metode elemen hingga mampu memodelkan perilaku deformasi, hubungan tegangan-regangan, serta pengaruh tekanan air pori secara simultan tanpa memerlukan asumsi bentuk bidang gelincir di awal perhitungan. Komparasi kedua metode ini penting untuk menganalisis variasi nilai Faktor Keamanan (SF) yang dihasilkan dalam mengidentifikasi tingkat kerawanan lereng secara presisi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis stabilitas lereng eksisting di kawasan Kampus III UIN Imam Bonjol Padang yang telah mengalami kelongsoran. Analisis stabilitas dilakukan secara komparatif melalui perhitungan manual dengan Metode Fellenius serta pemodelan numerik dua dimensi menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Tujuan utama dari kajian ini adalah untuk mengevaluasi nilai Faktor Keamanan (SF) lereng eksisting dalam kondisi jenuh air, memetakan konfigurasi bidang gelincir yang terbentuk secara alami, serta menganalisis perbedaan hasil evaluasi antara pendekatan keseimbangan batas dan elemen hingga. Melalui penelitian ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai mekanisme kegagalan lereng eksisting secara global (*global failure*) sebagai landasan ilmiah dalam merancang sistem perkuatan lereng yang efektif di masa mendatang.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Tanah

Dalam keilmuan teknik sipil, khususnya dalam bidang geoteknik, memiliki pandangan tersendiri dalam mendefinisikan tanah yang sedikit berbeda dengan ilmu pertanian maupun geologi. Tanah diartikan sebagai kumpulan partikel mineral padat yang sifatnya lepas dan tidak tersemankan secara kimiawi, yang bercampur dengan sisa material organik lapuk serta berada di atas lapisan batuan dasar (Das, 2010). Di sela-sela partikel mineral tersebut terdapat ruang kosong atau rongga (*voids*) yang pada kondisi alamiahnya dapat terisi oleh air, udara, ataupun kombinasi dari keduanya (Craig, 2004).

Lebih lanjut, material penyusun tanah ini sejatinya merupakan hasil dari proses pelapukan massa batuan di kerak bumi yang berlangsung melalui mekanisme mekanis dan kimiawi. Pelapukan mekanis memecah batuan secara fisik menjadi ukuran yang lebih kecil akibat faktor lingkungan seperti perubahan suhu, pembekuan air, dan erosi, tanpa merubah susunan kimia aslinya. Sementara itu, pelapukan kimiawi bekerja melalui proses hidrasi, oksidasi, atau karbonasi yang secara langsung mengubah batuan asal

menjadi susunan mineral lempung yang baru (Hardiyatmo, 2012).

2. Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keamanan pada berbagai jenis lereng, termasuk lereng alami, lereng galian (*cut slope*), maupun lereng timbunan (*fill slope*). Kondisi kelongsoran pada dasarnya akan terjadi ketika gaya dorong akibat gravitasi yang menarik massa tanah ke bawah lebih besar dibandingkan dengan kuat geser maksimum material di sepanjang bidang gelincirnya. Perhitungan dalam analisis ini umumnya bertumpu pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Pendekatan tersebut menggunakan asumsi bahwa keruntuhan tanah terjadi di sepanjang permukaan gelincir tertentu, dengan penyelesaian analitis yang disederhanakan melalui pemodelan dua dimensi.

Dalam penentuan tingkat kestabilan, parameter faktor aman (SF) diartikan sebagai rasio antara gaya penahan pergerakan dengan gaya yang mendorong terjadinya pergerakan pada massa tanah (Hardiyatmo, 2014). Secara matematis, faktor aman dapat dirumuskan melalui persamaan berikut:

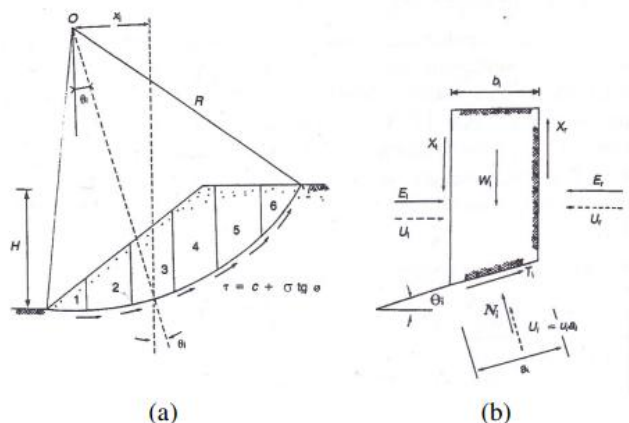
$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- τ = Tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m²)
 τ_d = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²)
 SF = Safety factor

3. Metode Fellenius

Metode Irisan Biasa (*Ordinary Method of Slices*) atau yang lebih dikenal sebagai pendekatan Fellenius, pertama kali diperkenalkan pada tahun 1927. Penentuan nilai faktor aman (SF) pada metode ini didasarkan pada prinsip keseimbangan momen, dengan memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap dasar irisan tanah. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa mekanisme keruntuhan lereng diakibatkan oleh pergerakan rotasi massa tanah pada bidang gelincir yang membusur atau melingkar, di mana titik O bertindak sebagai pusat rotasinya. Selain itu, metode ini juga menetapkan asumsi bahwa terdapat gaya terpusat sebesar P yang bekerja pada titik berat masing-masing irisan tanah.



Gambar 1. Gaya-Gaya Yang Bekerja pada Irisan
(Sumber: Hardiyatmo 2002)

Jika terdapat air pada lereng maka tekanan air pori pada daerah yang akan terjadi longsor tidak akan berdampak pada Md. Hal ini dikarenakan gaya yang ditimbulkan oleh tekanan air pori akan melewati pusat lingkaran.



$$FK = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \varphi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \dots\dots\dots (2)$$

FK = Faktor keamanan

c = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah (derajat)

L_n = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke -i(m)

W_n = Berat irisan tanah ke-l (n)

4. Program Plaxis 2D

Dalam analisis geoteknik, Plaxis 2D merupakan perangkat lunak yang andal untuk mensimulasikan kondisi tanah aktual di lapangan melalui pendekatan regangan bidang (*plane strain*) maupun aksisimetri (*axisymmetric*). Program ini memfasilitasi pendefinisian geometri dan pembuatan jaring elemen (*mesh*) dengan opsi elemen segitiga 6 titik nodal (*6-node*) atau 15 titik nodal (*15-node*). Penggunaan elemen 15-node lebih disarankan karena mampu menghasilkan tingkat presisi perhitungan yang lebih tinggi (Brinkgreve et al., 2019).

Secara operasional, tahapan analisis dalam program Plaxis 2D terbagi ke dalam tiga proses utama, yaitu:

a. Input

Tahap pendefinisian model geometri, parameter material tanah, struktur penahan, skema pembebanan, pembuatan *mesh*, hingga penentuan kondisi awal (*initial condition*) agar model merepresentasikan kondisi aktual di lapangan.

b. Calculation

Tahap eksekusi perhitungan berdasarkan parameter yang telah dimasukkan. Pengguna dapat memilih tipe analisis yang sesuai dengan tujuan rekayasa, seperti analisis plastis, konsolidasi, reduksi kuat geser (*phi/c reduction*), maupun analisis dinamis.

c. Output

Tahap penyajian hasil simulasi dalam format numerik, visual, maupun kurva. Pada penelitian ini, hasil luaran yang menjadi fokus evaluasi meliputi nilai faktor aman (*safety factor*), tegangan efektif (*effective stress*), dan besaran deformasi (*displacement*).

C. METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif eksperimental yang mengombinasikan pengujian empiris di laboratorium dengan analisis komputasi numerik dua dimensi. Desain komparatif digunakan untuk mengevaluasi nilai Faktor Keamanan (SF) lereng eksisting secara spesifik melalui dua metode peninjauan yang berbeda, yaitu Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) dan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Melalui pendekatan ini, keandalan hasil perhitungan manual dan perangkat lunak dapat divalidasi secara langsung terhadap fenomena kelongsoran yang terjadi di lapangan.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengujian parameter tanah dilakukan di Laboratorium Geoteknik Universitas Negeri Padang, menggunakan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) yang diambil dari kawasan terdampak kelongsoran di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam (FEBI), Kampus III UIN Imam Bonjol Padang, Sungai Bangek.

Penelitian ini dijadwalkan berlangsung selama 6 bulan, terhitung dari Februari hingga Juli 2026. Tahap awal yang berjalan pada Februari hingga Juni 2026 difokuskan

pada penyusunan proposal dan persiapan teknis. Selanjutnya, rangkaian pengujian laboratorium serta analisis komputasi menggunakan Plaxis 2D dan Metode Fellenius dirampungkan pada periode Juni hingga Juli 2026.

3. Pengumpulan Data

a. Studi Lapangan

Data yang akan digunakan adalah data parameter tanah yang diperoleh melalui hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium.

b. Studi Pustaka

Tahapan studi pustaka dilaksanakan melalui pengkajian berbagai literatur dan referensi yang relevan dengan pokok permasalahan dalam penelitian ini. Adapun landasan teori utama yang dijadikan acuan berfokus pada konsep analisis faktor aman (*safety factor*) pada kestabilan lereng.

4. Pengolahan Data dan Analisis

Tahapan pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian perhitungan komprehensif, yakni dengan mengaplikasikan pendekatan matematis analitis Fellenius serta pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Penggunaan kedua metode perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh hasil evaluasi yang akurat, sehingga mampu memberikan solusi teknis yang tepat atas permasalahan kestabilan yang sedang dikaji.

5. Evaluasi Hasil

Hasil analisis nilai faktor aman yang diperoleh dari perhitungan metode Fellenius selanjutnya akan dikomparasikan dengan keluaran simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Evaluasi perbandingan ini tidak hanya berfokus pada validasi tingkat kestabilan lereng, tetapi juga ditujukan untuk mengkaji mekanisme keruntuhan (*failure mechanism*) secara lebih mendalam.

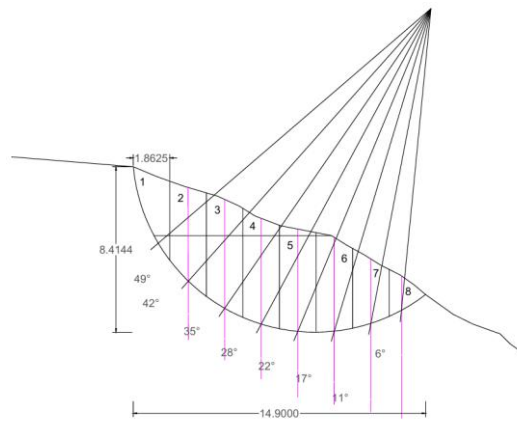
D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng saat ini (eksisting), perlu dilakukan perhitungan nilai faktor amannya. Bentuk penampang lereng yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 3. Dalam perhitungan manualnya, analisis stabilitas lereng ini menggunakan metode Fellenius, yang perhitungannya didasarkan pada area yang berpotensi mengalami kelongsoran (keruntuhan).

Selain perhitungan manual, analisis juga dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Plaxis 2D. Penggunaan program ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan nilai faktor aman, sekaligus untuk melihat deformasi atau pergerakan tanah (*displacement*) yang terjadi pada lereng tersebut.

1. Perhitungan Manual Metode Fellenius

Perhitungan manual untuk mencari nilai faktor aman pada lereng eksisting dilakukan menggunakan metode Fellenius. Analisis dengan metode ini didasarkan pada area lereng yang paling berpotensi mengalami kelongsoran. Adapun contoh detail perhitungannya dapat dilihat pada uraian di bawah ini, yang mengacu pada Gambar 4.



Gambar 1. Pemodelan Bidang Longsor
(Sumber: AutoCad 2020, 2026)

Berdasarkan gambar pembagian pias (irisan) tersebut, parameter dasar yang dibutuhkan untuk menghitung nilai faktor aman dengan metode Fellenius dapat diketahui. Parameter ini meliputi panjang, luas, dan sudut yang terbentuk. Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Berat Irisan

Persamaan awal:

$$W_n = A \times \gamma_{\text{sat}}$$

Persamaan setelah menyesuaikan lapisan tanah:

$$W_n = (A_{\text{lap.atas}} \times \gamma_{\text{sat lap.atas}}) + (A_{\text{lap.bawah}} \times \gamma_{\text{sat lap.bawah}})$$

$$\gamma_{\text{sat atas}} = 17,19 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_{\text{sat bawah}} = 17,92 \text{ kN/m}^2$$

- 1) $W_1 = (3,987 \times 17,19) + (0,508 \times 17,92) = 77,66 \text{ kN/m}$
- 2) $W_2 = (4,593 \times 17,19) + (4,052 \times 17,92) = 151,56 \text{ kN/m}$
- 3) $W_3 = (3,307 \times 17,19) + (6,756 \times 17,92) = 177,93 \text{ kN/m}$
- 4) $W_4 = (1,771 \times 17,19) + (8,288 \times 17,92) = 178,97 \text{ kN/m}$
- 5) $W_5 = (0,624 \times 17,19) + (8,989 \times 17,92) = 171,82 \text{ kN/m}$
- 6) $W_6 = (0,059 \times 17,19) + (8,614 \times 17,92) = 155,398 \text{ kN/m}$
- 7) $W_7 = (6,006 \times 17,92) = 107,627 \text{ kN/m}$
- 8) $W_8 = (2,225 \times 17,92) = 39,870 \text{ kN/m}$

b. Sin α dan Cos α

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.

α	49	42	35	28	22	17	11	6
Sin α	0,754	0,699	0,573	0,469	0,374	0,292	0,190	0,104
Cos α	0,656	0,743	0,819	0,882	0,927	0,956	0,981	0,994

Tabel 1. Perhitungan Sin α dan Cos α

c. Hasil Perhitungan

Irisan	W_n (kN/m)	$\alpha.n$ (°)	$\sin \alpha.n$	$\cos \alpha.n$	ΔL_n	$W_n \sin \alpha.n$	$W_n \cos \alpha.n$
1	77,657	47	0,754	0,656	5,109	58,608	50,947
2	151,567	42	0,669	0,743	2,614	101,418	112,636
3	177,930	35	0,573	0,819	2,147	102,056	145,752
4	178,976	28	0,469	0,882	1,949	84,024	158,027

5	171,819	22	0,374	0,927	1,870	64,364	159,308
6	155,398	17	0,292	0,956	1,873	45,434	148,608
7	107,627	11	0,190	0,981	1,958	20,536	105,650
8	39,870	6	0,104	0,994	2,167	4,167	39,651
Jumlah (Σ)					19,690	480,610	920,582

Tabel 2. Hasil Perhitungan

Selanjutnya menghitung FK berdasarkan persamaan berikut:

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c\Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \varphi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n}$$

$$= \frac{(10,216 \times 19,690) + 920,582 \times \tan (15,68))}{480,610}$$

$$= 0,957$$

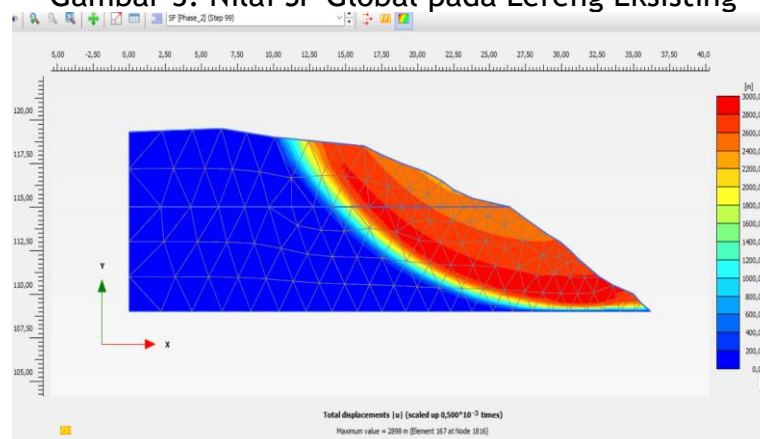
2. Perhitungan Menggunakan Plaxis 2D

Analisis numerik dilakukan menggunakan Plaxis 2D berbasis Finite Element Method (FEM). Model material tanah menggunakan Mohr-Coulomb dengan perilaku terdrainase (drained). Nilai SF diperoleh melalui analisis reduksi phi-c (phi-c reduction) yang mereduksi secara bertahap nilai c dan φ hingga keruntuhan terjadi. Geometri lereng dibuat berdasarkan data DEM lapangan dengan kondisi batas Standard Fixities. Mesh menggunakan elemen segitiga 15 titik (15-node triangular element).

Berdasarkan hasil pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D, diperoleh nilai faktor aman (SF) untuk lereng eksisting sebesar 1,019. Selain itu, sebaran regangan geser maksimum pada program tersebut memperlihatkan bahwa area longsor (bidang gelincir) yang paling kritis terbentuk berbentuk busur lingkarang dari atas lereng hingga ke area kaki lereng.

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	-4,352E-9
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	0,000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,019

Gambar 3. Nilai SF Global pada Lereng Eksisting



Gambar 4. Deformasi Total pada Lereng Eksisting

Berdasarkan hasil visualisasi *output* deformasi total (*total displacement*) dari pemodelan numerik dengan Plaxis 2D, dapat diamati dengan jelas pola pergerakan massa tanah yang terjadi pada lereng. Pola pergerakan tersebut menunjukkan indikasi keruntuhan global (*global failure*), di mana zona pergerakan tanah tidak hanya terjadi secara lokal di permukaan, melainkan mencakup keseluruhan badan lereng mulai dari area mahkota (*crest*) hingga ke area kaki lereng (*toe*). Lebih lanjut, distribusi regangan geser pada model memperlihatkan bahwa mekanisme kelongsoran ini mengikuti pola pergerakan rotasional. Hal ini dibuktikan dengan terbentuknya bidang gelincir kritis (*slip surface*) yang melengkung menyerupai bentuk busur lingkaran.

3. Perbandingan Hasil Analisis

Perbandingan hasil analisis dari kedua metode dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Metode Analisis	Nilai FK	Keterangan
Fellenius (Manual)	0,957	Lereng Tidak Aman
Plaxis 2D	1,019	Lereng Tidak Aman

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisis Metode Fellenius dan Plaxis 2D

E. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi pada lereng eksisting di Kampus III UIN Imam Bonjol Padang, perhitungan manual menggunakan metode Fellenius menghasilkan nilai faktor aman sebesar 0,957, sedangkan analisis dengan program Plaxis 2D memperoleh nilai sebesar 1,019. Karena kedua metode tersebut menunjukkan nilai faktor aman di bawah 1,5 ($SF < 1,5$), maka kondisi lereng saat ini dikategorikan tidak stabil atau rawan longsor. Selain itu berdasarkan visualisasi dari deformasi total dapat disimpulkan bahwa mekanisme keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan global dengan pola deformasi membentuk lengkungan seperti busur lingkaran dari area mahkota (*crest*) hingga ke area kaki lereng (*toe*).

F. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2025). *Analisis risiko bencana tanah longsor di wilayah Sumatera*. <https://www.bnpb.go.id/berita/analisis-risiko-longsor-sumatera>
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., & Swolfs, P. N. (2019). *PLAXIS 2D reference manual*. Bentley Systems.
- Craig, R. F. (2004). *Craig's soil mechanics* (7th ed.). Spon Press.
- Das, B. M. (2010). *Principles of geotechnical engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika tanah 1* (Edisi ke-6). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika Tanah I* (Edisi ke-6). Gadjah Mada University Press.
- Karnawati, D. (2005). *Bencana alam gerakan massa tanah di Indonesia dan upaya penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada.