

# Studi komparatif metode elemen batas dan elemen hingga pada stabilitas lereng galian menggunakan perangkat lunak *hyrcan* dan *adonis*

Muhammad Tri Mukti<sup>1,\*</sup>, Muhammad Irfan Marasabessy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

## Article Info

Available online

## Keywords:

Slope Stability  
Factor of Safety (FoS)  
Seismic Load  
Slope Reinforcement  
Hyrcan Software  
Adonis Software

## Corresponding Author:

Muhammad Tri Mukti  
[muktri07@gmail.com](mailto:muktri07@gmail.com)

## Abstract

This study presents a comparative analysis between the Limit Equilibrium Method (LEM) and Finite Element Method (FEM) for slope stability evaluation using two open-source software tools, Hyrcan and Adonis. The research aims to assess their performance under static and seismic loading conditions on two excavation slope profiles (P1 and P2) without groundwater influence. Hyrcan, based on LEM, employed the Bishop Simplified method, while Adonis applied the Mohr-Coulomb model within a FEM framework. Total Stress Analysis (TSA) was utilized due to the absence of pore water pressure. Results showed that Hyrcan yielded higher Factor of Safety (FoS) values, reaching up to 3.128 on P2 under static conditions and 1.509 during seismic loads, closely matching GeoStudio's outcomes. Meanwhile, Adonis produced more conservative results, similar to PLAXIS, with the lowest FoS of 0.561 for P2 under seismic load. These findings confirm that open-source tools like Hyrcan and Adonis can deliver reliable, comparable results to commercial software, making them feasible and cost-effective alternatives for educational, research, and preliminary engineering purposes.

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

## Pendahuluan

Dalam dunia geoteknik, analisis kestabilan lereng merupakan salah satu aspek penting yang menentukan keselamatan dan keberlanjutan sebuah konstruksi. Dua pendekatan utama yang umum digunakan dalam analisis ini adalah *Limit Equilibrium Method (LEM)* dan *Finite Element Method (FEM)*.

Metode *LEM* berfokus pada keseimbangan gaya dan momen untuk menentukan kondisi batas antara stabil dan tidak stabil pada suatu lereng. Umumnya, *LEM* mengasumsikan bidang gelincir tertentu dan membaginya menjadi irisan vertikal untuk dianalisis, tanpa memperhitungkan deformasi atau interaksi antara elemen tanah (Bagaskoro, Irvan Shopian, and Ramadian 2024; Karimov 2024).

Di sisi lain, *FEM* merupakan metode numerik yang menganalisis tegangan dan deformasi dengan membagi domain lereng menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*), dan memodelkan perilaku tegangan-regangan tanah secara bertahap. Faktor keamanan dihitung melalui *Shear Strength Reduction (SSR)* dengan menurunkan nilai kohesi dan sudut geser dalam hingga tanah mengalami keruntuhan (Bagaskoro dkk., 2024; Karimov, 2024). Pendekatan ini dinilai lebih realistis karena memperhitungkan deformasi plastis serta perubahan tekanan air pori.

Dalam praktiknya, kedua metode tersebut dapat diaplikasikan melalui berbagai perangkat lunak. *LEM* umum diterapkan dalam software seperti *Slide2*, *HYRCAN 2.0*, dan *GeoStudio*, sedangkan *FEM* digunakan pada program *PLAXIS*, *RS2*, atau *Phase2*,

yang memiliki kemampuan untuk mengevaluasi pengaruh air tanah, gempa, serta deformasi jangka panjang (Caco, dkk. 2025; Karimov 2024).

Setiap metode tentu memiliki kelebihan dan kekurangannya. *LEM* relatif mudah digunakan dan efisien dari segi waktu, menjadikannya populer dalam tahap desain awal. Namun, metode ini memiliki keterbatasan dalam memodelkan interaksi antar elemen serta tidak memperhitungkan deformasi lereng secara menyeluruh (Caco, dkk. 2025; Montoya-Araque and Suarez-Burgoa 2018). Sementara itu, *FEM* memungkinkan analisis lebih mendalam terhadap kondisi non-linear, variasi parameter tanah, serta efek beban dinamis, namun membutuhkan waktu simulasi lebih lama dan interpretasi yang lebih kompleks (Bagaskoro, dkk., 2024; Karimov, 2024).

Dalam praktik profesional, metode *LEM* masih dominan digunakan karena sifatnya yang konservatif dan mudah dipahami. Meski demikian, penggunaan *FEM* terus meningkat, terutama dalam proyek besar seperti tambang terbuka, galian dalam, dan kawasan dengan potensi longsor tinggi (Montoya-Araque and Suarez-Burgoa 2018). Beberapa studi bahkan menyarankan penggunaan kombinasi *LEM* dan *FEM* untuk memperoleh hasil analisis yang lebih menyeluruh dan akurat (Bagaskoro, dkk. 2024; Caco, dkk. 2025). Berdasarkan perbandingan tersebut, pemahaman terhadap karakteristik dan prinsip dasar kedua metode ini menjadi sangat penting untuk mendukung pengambilan keputusan dalam desain dan mitigasi risiko geoteknik di lapangan. Namun dalam praktiknya, penggunaan perangkat lunak analisis geoteknik seperti *PLAXIS*, *Slide2*, atau *RS2* umumnya memerlukan lisensi berbayar yang tidak murah. Hal ini menjadi kendala serius, terutama bagi kalangan pelajar, mahasiswa, atau praktisi dari institusi kecil yang memiliki keterbatasan anggaran. Kondisi ini menciptakan kesenjangan akses terhadap teknologi analisis numerik yang seharusnya dapat dimanfaatkan secara luas,

termasuk dalam kegiatan akademik dan penelitian dasar.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, saat ini telah tersedia beberapa perangkat lunak *open-source* yang dapat menjadi solusi alternatif yang layak. Salah satunya adalah *Hyrcon*, sebuah software gratis berbasis metode *Limit Equilibrium* yang dikembangkan dengan antarmuka modern, *scripting* berbasis *Python*, dan visualisasi hasil yang interaktif (Caco, dkk. 2025). *Hyrcon* dapat digunakan untuk analisis stabilitas lereng 2D menggunakan berbagai pendekatan seperti metode *Bishop*, *Janbu*, atau *Spencer*, dan sangat cocok untuk digunakan dalam pendidikan maupun studi awal stabilitas lereng.

Selain *Hyrcon*, terdapat pula *Adonis*, yang merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang juga bersifat *open-source*. *Adonis* dirancang untuk analisis tegangan dan deformasi pada media kontinu dan telah digunakan dalam berbagai penelitian untuk simulasi geoteknik, termasuk analisis gaya geser pada lereng atau dinding penahan (Montoya, dkk., 2018).

Melalui penyediaan alternatif perangkat lunak tanpa biaya lisensi ini, maka diharapkan keterbatasan akses terhadap perangkat numerik tidak lagi menjadi hambatan dalam peningkatan kompetensi, eksplorasi akademik, maupun pengembangan inovasi di bidang teknik sipil dan geoteknik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, penulis merekomendasikan penggunaan *Hyrcon* dan *Adonis* sebagai solusi perangkat lunak *open-source* yang dapat digunakan secara luas, baik oleh mahasiswa, dosen, peneliti, maupun praktisi di bidang teknik sipil. Sehingga pada pembuatan jurnal ini akan dilakukannya perbandingan hasil nilai faktor keamanan dari Software *Hyrcon* dan *Adonis*.

## Metode penelitian

### Metode Elemen Batas dengan Hyrcon

*Hyrcon* merupakan perangkat lunak geoteknik non-komersial yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan

pendekatan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method/LEM*). Perangkat lunak ini memprediksi potensi longsor melalui perhitungan faktor keamanan berdasarkan berbagai jenis bidang gelincir. Umumnya digunakan untuk analisis yang cepat namun tetap akurat, terutama pada tahap perencanaan awal atau evaluasi lereng. Perhitungan stabilitas dilakukan dengan membandingkan gaya geser dan tahanan pada irisan melingkar dalam model lereng menggunakan skema *LEM*. *Hyrscan* menyediakan empat metode analisis, yaitu *Bishop Simplified*, *Janbu Simplified*, *Spencer*, dan *General Limit Equilibrium* atau *Morgenstern-Price*. (Geraili Mikola and Associate 2023) yang dijabarkan sebagai berikut ini:

- Bishop Simplified* dimana mengasumsikan adanya keseimbangan momen tetapi mengabaikan keseimbangan gaya horisontal antar irisan.
- Morgenstern-Price* dimana metode umum yang biasanya mempertimbangkan keseimbangan momen dan gaya dengan pendekatan fleksibel distribusi gaya antar irisan.
- Janbu Simplified* dimana hanya menggunakan keseimbangan gaya dan mengabaikan momen, sering digunakan untuk lereng dengan kemiringan kecil.
- Spencer* dimana menyediakan solusi eksak dengan mempertimbangkan keseimbangan momen dan gaya secara simultan.

Dalam analisis stabilitas lereng galian, *Bishop Simplified* sering digunakan karena cukup akurat dan mudah diterapkan, serta mendukung perhitungan banyak irisan otomatis hingga menemukan permukaan kritis dengan faktor keamanan minimum sehingga, dalam studi kasus ini, penulis memilih metode perhitungan *Bishop Simplified* menggunakan perangkat lunak *Hyrscan* pada lereng galian sehingga pendekatan ini merupakan metode klasik yang telah terbukti memberikan hasil konservatif untuk kasus lereng galian tanpa muka air tanah.

Pada penggunaan software *Hyrscan* telah dilakukan oleh (Caco, dkk. 2025) menggunakan *Hyrscan 2.0* untuk menganalisis stabilitas lereng pasir dengan perkuatan  $CaCO_3$ . Dari jurnal karya (Santos, dkk. 2024) menggunakan *Hyrscan* untuk menganalisis pengaruh tanaman vetiver dalam memperkuat lereng di Brazil. *Hyrscan* juga dibahas secara akademik sebagai alternatif dari software komersial dalam dokumen preprint oleh Mikola (Geraili Mikola and Associate 2023).

### Bagan Alir Penggunaan Software Hyrscan



Gambar 1. Bagan Alir Penggunaan Software Hyrscan

### Metode Elemen Hingga dengan Adonis

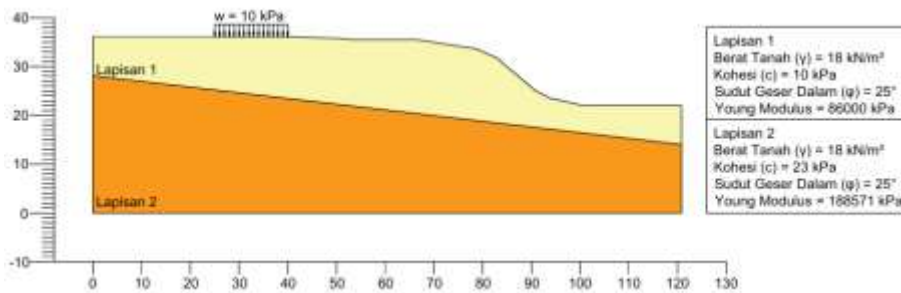
*Adonis* adalah perangkat lunak *open-source* berbasis *FEM*, dirancang untuk analisis deformasi dan stabilitas lereng, memasukkan aspek geomekanika lebih lengkap dibanding *LEM*. Pendekatan *FEM* membagi domain lereng menjadi elemen-elemen kecil, memungkinkan analisis tegangan, regangan, dan distribusi tekanan air secara kontinu di seluruh zona, serta mendukung heterogenitas dan kondisi bantu kompleks. Didalam perangkat lunak *Adonis* juga terdapat metode perhitungannya seperti *Iso Elastic*, *Mohr Coulomb*, *Hoek Brown*, dan *Adonis* juga mendukung model-material lainnya, meski belum terdaftar lengkap dalam pencarian (Geraili Mikola and Associate 2023).

Untuk analisis stabilitas lereng galian, model *Mohr-Coulomb* dipilih karena seimbang antara akurasi dan kemudahan input parameter seperti kohesi, sudut geser, dan berat isi, menghasilkan yang lebih merefleksikan kondisi nyata. Sebagai perangkat lunak *open-source*, *Adonis* memberi fleksibilitas pengguna dalam meninjau kode sumber, menambahkan elemen

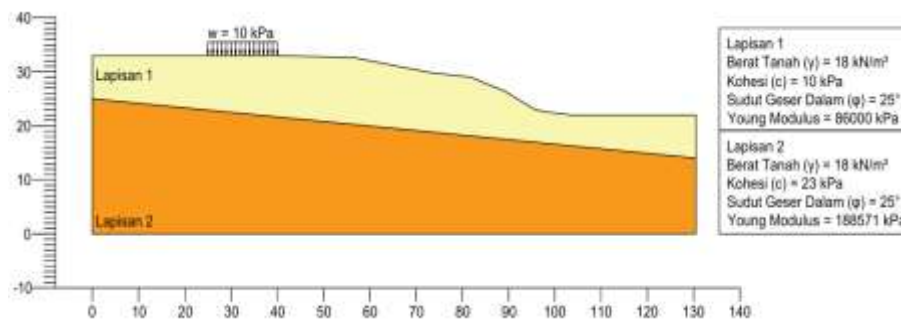
material, serta mengintegrasikan *pre/post-processing* atau skrip otomatisasi sesuai kebutuhan penelitian (Geraili Mikola and Associate 2023).

Beberapa penelitian dengan menggunakan software *Adonis* yaitu dari jurnal karya (Geraili Mikola 2017) menjelaskan bahwa *Adonis* memiliki graphical user interface (*GUI*) interaktif dan digunakan untuk analisis deformasi dan kestabilan geoteknik dengan fitur *mesh* otomatis dan *scripting*. Dari jurnal buatan (Van den Bout, dkk. 2021) mengimplementasikan *Adonis* untuk analisis kestabilan lereng skala DAS dalam prediksi bencana longsor di Italia. Dari jurnal karya (Simone, dkk. 2024) menggunakan *Adonis* untuk analisis stabilitas dinding batu kering di situs warisan dunia *UNESCO*, Cinque Terre, **Studi Kasus**

**Geometry Pada Potongan 1 dan Potongan 2**



Gambar 3. Potongan 1 (P1)



Gambar 4. Potongan 2 (P2)

Pada pengujian kali ini sebuah analisis pada Potongan 1 (P1) dan Potongan 2 (P2) tidak terdapat muka air tanah, sehingga kasus lereng galian tanpa muka air tanah, pendekatan yang umum digunakan adalah *Total Stress Analysis (TSA)* karena tekanan air pori dianggap belum

Italia. Dan dari jurnal karya (Yian and Talib 2023) memanfaatkan *Adonis* untuk mensimulasikan deformasi tanah akibat penggalian terowongan.

**Bagan Alir Penggunaan Software Adonis**

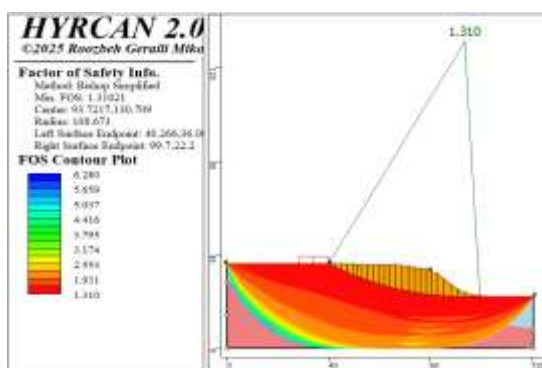


Gambar 2. Bagan Alir Penggunaan Software Adonis

terdrainase atau korelasi dengan nilai NSPT. Secara teoritis, *TSA* mengasumsikan perubahan tekanan air pori nol ( $\Delta u = 0$ ), sehingga kuat geser total bergantung pada kohesi tak terdrainase saja. Pendekatan ini terbukti konservatif namun realistis dalam memprediksi stabilitas awal, seperti ditunjukkan oleh (Marasabessy 2025) melalui simulasi *FEM* dengan *PLAXIS* yang menghasilkan nilai faktor keamanan  $> 1,5$  pada tahapan awal galian dalam. Baik *LEM* maupun *FEM* dapat mengadopsi *TSA*, dan hal ini memperkuat bahwa metode ini efektif digunakan dalam kondisi tanpa muka air tanah, baik dalam perangkat lunak berbasis elemen batas seperti *Hyrscan*, maupun elemen

**Hasil dan Pembahasan**

**Software Hyrcan**



Gambar 5. Potongan 1 (P1) Dengan Tambahan Beban Gempa

Hasil output analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak *Hyrscan 2.0* dengan metode *Bishop Simplified*. Visualisasi pada sisi kanan menunjukkan bentuk bidang gelincir kritis berwarna-warni yang merepresentasikan distribusi nilai *Factor of Safety (FoS)* di seluruh lereng. Warna merah hingga oranye menunjukkan area dengan *FoS* paling rendah sekitar 1.310 yang menjadi bidang kritis atau paling rawan longsor. Berdasarkan data di sisi kiri, nilai minimum *FoS* yang diperoleh adalah 1.310 dengan adanya tambahan beban gempa, yang masih di atas batas aman minimum umumnya 1.5 untuk kondisi statis, sehingga lereng dinyatakan tidak stabil.

Tabel 1. Hasil Faktor Keamanan P1 dan P2 Dari Software Hyrcan

Nama	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
P1	2.462	1.310
P2	3.128	1.509

**Software Adonis**



Gambar 6. Potongan 1 (P1) Dengan Tambahan Beban Gempa

Merupakan hasil analisis numerik deformasi vertikal lereng menggunakan perangkat lunak *Adonis 3.90*, yang berbasis metode elemen hingga. Simulasi dilakukan dalam mode statik, dengan satuan fisik SI (m, kPa, kN/m<sup>3</sup>) dan percepatan gravitasi 9,81 m/s<sup>2</sup>. Kontur warna yang ditampilkan merepresentasikan *Y-Displacement* atau perpindahan vertikal tanah, di mana warna biru menunjukkan perpindahan sangat kecil (mendekati nol), sedangkan warna merah hingga kuning menunjukkan zona dengan perpindahan maksimum, yang mengindikasikan potensi konsentrasi deformasi atau awal terjadinya keruntuhan plastis. Berdasarkan pola kontur, deformasi paling signifikan terjadi pada bagian atas lereng, tepat di bawah permukaan galian, yang menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan titik lemah atau potensi bidang keruntuhan.

Tabel 2. Hasil Faktor Keamanan P1 dan P2 Dari Software Adonis

Nama	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
P1	0.752	0.631
P2	1.252	0.561

Untuk membuktikan kelayakan penggunaan *Hyrscan* dan *Adonis* sebagai alternatif software *open-source* dalam analisis stabilitas lereng, diperlukan pembandingan / validasi dari

software komersial lainnya yang telah umum digunakan dalam praktik profesional. *Hyrcon* yang berbasis *LEM* memiliki pendekatan serupa dengan *Slope/W (GeoStudio)*, sedangkan *Adonis* yang berbasis *FEM* menawarkan kemampuan analisis yang sepadan dengan *PLAXIS*. Kedua software ini sama-sama mampu mensimulasikan kondisi geoteknik dengan akurat, baik dari segi geometri lereng, parameter tanah, maupun kondisi batas. Oleh karena itu, dalam studi ini akan ditampilkan perbandingan hasil analisis dari literatur yang telah menggunakan *GeoStudio* dan *PLAXIS* pada lokasi dan kondisi geoteknik yang sama, guna menunjukkan kesetaraan hasil antara software *open-source* dan software berlisensi, sekaligus memperkuat validitas dan keandalan *Hyrcon* serta *Adonis* dalam mendukung evaluasi stabilitas lereng secara teknis dan akademis.

**Validasi LEM dengan Geostudio**

Perangkat lunak berlisensi seperti *GeoStudio* digunakan untuk melakukan simulasi kestabilan lereng pada dua kondisi geometri yang berbeda, yaitu Potongan 1 (P1) dan Potongan 2 (P2), baik tanpa maupun dengan beban gempa. Berdasarkan hasil pemodelan, nilai faktor keamanan yang diperoleh pada kondisi tanpa beban gempa adalah 2.177 untuk P1 dan 2.781 untuk P2, sementara pada kondisi dengan beban gempa, nilai FK turun menjadi 1.215 untuk P1 dan 1.490 untuk P2.

Hasil ini menunjukkan bahwa *GeoStudio* mampu memberikan simulasi yang menggambarkan respons lereng terhadap pengaruh gempa secara signifikan. Penurunan nilai FK akibat beban gempa terekam dengan jelas, dan masih berada dalam ambang batas stabilitas teknis. Dengan pendekatan *LEM* yang digunakan, *GeoStudio* memberikan hasil analisis yang cukup rinci dan dapat dijadikan

pembandingan untuk menilai keandalan software *open-source* seperti *Hyrcon*, yang menggunakan pendekatan serupa.

Tabel 3. Hasil Faktor Keamanan Dari Software GeoStudio

Nama	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
P1	2.177	1.215
P2	2.781	1.490

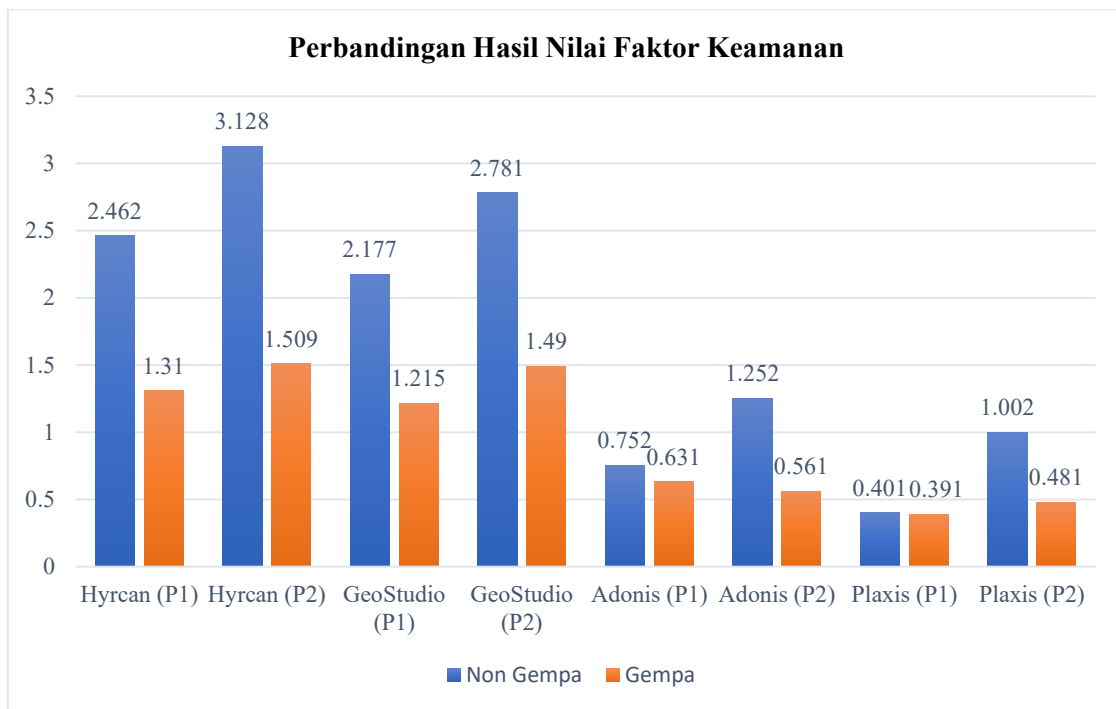
**Validasi FEM dengan Plaxis**

Penelitian ini juga melakukan simulasi kestabilan lereng menggunakan perangkat lunak *PLAXIS V.8*, pada dua konfigurasi lereng yaitu Potongan 1 (P1) dan Potongan 2 (P2), baik dalam kondisi statis maupun dengan beban gempa. Berdasarkan hasil analisis numerik, pada kondisi tanpa beban gempa, nilai faktor keamanan yang diperoleh adalah 0.401 untuk P1 dan 1.002 untuk P2. Sementara itu, setelah diberikan beban gempa, nilai *SF* masing-masing menurun menjadi 0,391 untuk P1 dan 0,481 untuk P2. Temuan ini menunjukkan bahwa *PLAXIS* secara realistis mampu memodelkan pengaruh dinamik terhadap stabilitas lereng. Hasil ini sekaligus menegaskan bahwa pendekatan metode *FEM* pada *PLAXIS* sangat sensitif terhadap kondisi medan dan beban gempa, serta dapat dijadikan acuan untuk membandingkan ketelitian simulasi pada perangkat lunak lain seperti *Adonis*.

Tabel 4. Hasil Faktor Keamanan Dari Software Plaxis

Nama	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
P1	0.401	0.391
P2	1.002	0.481

**Grafik Perbandingan Hasil**



Gambar 7. Grafik Perbandingan Hasil Faktor Keamanan

Gambar tersebut memperlihatkan grafik perbandingan nilai faktor keamanan (*FoS*) dari berbagai metode dan perangkat lunak analisis kestabilan lereng, baik dalam kondisi tanpa beban gempa (warna biru) maupun dengan beban gempa (warna oranye).

Dari grafik dapat diamati bahwa *Hyrscan*, yang menggunakan metode *LEM*, menghasilkan nilai *FoS* tertinggi pada Potongan 2 (P2) yaitu sebesar 3,128 dalam kondisi non-gempa, serta 1,509 dalam kondisi gempa. Pada Potongan 1 (P1), nilai *FoS* yang dihasilkan juga cukup tinggi, yaitu 2,462 tanpa gempa dan 1,310 saat gempa.

Sebaliknya, *Adonis* yang berbasis metode *FEM*, menunjukkan hasil yang lebih konservatif. Nilai tertinggi tercatat pada P2, yakni 1,252 untuk kondisi non-gempa dan 0,561 untuk kondisi gempa. Sementara pada P1, nilainya lebih rendah, yaitu 0,752 tanpa gempa dan 0,631 saat gempa. Hasil dari *GeoStudio*, sebagai software berlisensi berbasis *LEM*, menunjukkan nilai *FoS* sebesar 2,177 (P1) dan 2,781 (P2) pada kondisi tanpa gempa, serta 1,215 (P1) dan 1,490 (P2) saat

gempa. Sementara itu, *PLAXIS*, yang menggunakan pendekatan *FEM*, menghasilkan nilai *FoS* terendah secara keseluruhan, yaitu 0,401 (P1) dan 1,002 (P2) pada kondisi non-gempa, serta 0,391 (P1) dan 0,481 (P2) dalam kondisi gempa.

Dari perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa *Hyrscan* dan *GeoStudio* cenderung memberikan hasil yang lebih optimis, sementara *Adonis* dan *PLAXIS* lebih konservatif, sejalan dengan karakteristik metode yang digunakan. Grafik ini juga menunjukkan bahwa software *open-source* seperti *Hyrscan* dan *Adonis* tetap mampu menghasilkan hasil yang sebanding dengan perangkat lunak komersial, sehingga layak digunakan dalam analisis teknis awal dan pendidikan di bidang geoteknik.

**Penutup**

**Kesimpulan**

Penelitian ini telah melakukan studi komparatif terhadap dua metode analisis kestabilan lereng, yaitu metode *LEM* melalui perangkat lunak *Hyrscan*, dan metode *FEM*

menggunakan perangkat lunak *Adonis*. Simulasi dilakukan pada dua konfigurasi lereng galian yaitu Potongan 1 dan Potongan 2 dalam dua kondisi, yaitu tanpa beban gempa dan dengan beban gempa, menggunakan pendekatan *TSA* untuk kondisi tanah jenuh tanpa muka air tanah.

Hasil analisis menunjukkan bahwa perangkat lunak *Hyrscan* menghasilkan nilai faktor keamanan yang relatif tinggi dan mendekati hasil *GeoStudio*, sementara *Adonis* memberikan nilai *FoS* yang lebih konservatif namun sejalan dengan hasil *PLAXIS*. Pada kondisi non-gempa, nilai *FoS* tertinggi tercatat pada Potongan 2 menggunakan *Hyrscan* sebesar 3,128, sedangkan nilai terendah terjadi pada Potongan 1 menggunakan *Adonis* dalam kondisi gempa sebesar 0,561.

Perbedaan hasil ini mencerminkan karakteristik metode yang digunakan. *LEM* memberikan estimasi cepat dan efisien berbasis keseimbangan gaya, sedangkan *FEM* mempertimbangkan deformasi dan distribusi tegangan secara lebih menyeluruh. Efek beban gempa secara signifikan menurunkan nilai *FoS* pada keempat perangkat lunak, menunjukkan pentingnya mempertimbangkan pengaruh dinamis dalam desain lereng.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa perangkat lunak *Hyrscan* dan *Adonis* sebagai aplikasi *open-source* terbukti mampu memberikan hasil analisis yang tidak berbeda jauh dari perangkat lunak komersial seperti *GeoStudio* dan *PLAXIS*. Dengan kemiripan hasil tersebut, keduanya layak dijadikan alternatif andal dan ekonomis, baik untuk keperluan pendidikan, penelitian, maupun analisis awal teknis pada proyek rekayasa geoteknik.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Pola Data Consultant (PT. PDC) atas izin yang diberikan untuk menggunakan data proyek sebagai bagian dari penyusunan jurnal ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Saudara Muhammad Zakki Rizal Hidayat dan Saudara Wahyu Nur Rohman atas segala

bimbingan, masukan, dan saran yang sangat berharga dalam penyempurnaan penulisan jurnal ini.

### Daftar Pustaka

- Andrianto, Haris. 2021. "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Terasering Tanaman Vetiver Menggunakan Program Geostudio."
- Bagaskoro, Muhamad Nur, Raden Irvan Shopian, and Aldrin Ramadian. 2024. "Stable Slope Design Based On Limit Equilibrium Method (Lem) And Finite Element Method (Fem) At Pit X, Lahat, South Sumatra." *Journal of Geological Sciences and Applied Geology* 7(3):25–29. doi:10.24198/gsg.v7i3.53006.
- Van den Bout, Bastian, Luigi Lombardo, Ma Chiyang, Cees van Westen, and Victor Jetten. 2021. "Physically-Based Catchment-Scale Prediction of Slope Failure Volume and Geometry." *Engineering Geology* 284(November 2020):105942. doi:10.1016/j.enggeo.2020.105942.
- Caco, Perkuatan, Baskoro Tri Julianto, Sitti Filzha, and Fitriya Ginoga. 2025. "Sand Slope Stability Analysis Using the Bishop Simplified Hyrcan 2.0 Method with Analisis Stabilitas Lereng Pasir Menggunakan Metode Bishop Simplified Hyrcan." 6:18–23. doi:10.37253/jcep.v6i1.9979.
- Dara, TirtakhalishaTasya, and Resti Rahmadani. 2022. *Analisis Stabilitas Tanah Lereng Dengan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Plaxis V.8 Dan Metode Fellenius*.
- Geraili Mikola, Roozbeh. 2017. "ADONIS: A Free Finite Element Analysis Software with an Interactive Graphical User Interface for Geoengineers." *Conference: GeoOttawa2017* (October):7.
- Geraili Mikola, Roozbeh, and Lead Associate. 2023. "HYRCAN: A Comprehensive Limit Equilibrium Software Package for 2D Slope Stability Analysis HYRCAN: A Comprehensive Limit Equilibrium Software Package for 2D Slope Stability Analysis."
- Karimov, Elvin. 2024. "The Investigation of the Zığ (Baku, Azerbaijan) Landslide Area Using FEM and LEM Methods." *Gumushane Universitesi Fen Bilimleri Dergisi* 14(4):1004–20.
- Marasabessy, Muhammad Irfan. 2025. "Numerical Analysis of Stability in Basement Excavations: The Influence of Undrained and Drained Conditions on Soft Soils in Surabaya." 8(1):40–49. doi:10.21776/ub.civense.2024.008.01.5.
- Montoya-Araque, Exneyder A., and Ludger O. Suarez-Burgoa. 2018. "PyBIMstab: Application Software for 2D Slope Stability Analysis of Block-in-Matrix and Homogeneous Materials." *SoftwareX* 7(January 2018):383–87. doi:10.1016/j.softx.2018.11.003.
- Santos, Ludmila de Oliveira, Fernanda Izabele Nascimento dos Santos, Breno Alcântara Silva,

- Áureo da Silva Santos, and Marcos Alves da Silva. 2024. "Aplicação Do Hyrcan Na Análise de Estabilidade de Taludes Com o Uso Do Capim Vetiver." (January). doi:10.47094/cobramseg2024/178.
- Simone, Arianna De, Luigi Guerriero, Rita Tufano, Domenico Calcaterra, Andrea Cevasco, and Giacomo Pepe. 2024. "Assessing Stability Conditions of Terraced Slopes Accounting for Multiple Hydrological Scenarios and Conservation Status of Terraces Evaluar Las Condiciones de Estabilidad de Las Laderas En Terrazas Teniendo En Cuenta Múltiples Escenarios Hidrológicos y E."
- Yian, Bong Jia, and Zaihasra Abu Talib. 2023. "Simulation of 2D Ground Movement Due to Tunnel Excavation Using Finite Element Method (FEM)." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1205(1). doi:10.1088/1755-1315/1205/1/012067.