



Analisis Kestabilan Lereng Pit X dengan Metode Morgenstern-Price

Budhi Setiawan^{1*}, Rio Ferdinand¹, Rosihan Pebrianto²

¹ Geological Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Universitas Sriwijaya

² Mining Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Sriwijaya

DOI: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i4.1198>

Article Info

Received: 26 Juni 2025

Revised: 10 November 2025

Accepted: 18 November 2025

Correspondence:

Phone:

Abstract: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng di Pit X, PT Bukit Asam, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan, dengan menggunakan metode Morgenstern-Price. Lokasi penelitian memiliki kondisi geoteknik yang kompleks akibat material hasil disposal yang heterogen dan tidak terkonsolidasi. Metode Morgenstern-Price digunakan untuk menghitung faktor keamanan (FK) pada empat penampang kritis, berdasarkan data geometri lereng dan parameter kekuatan geser dari hasil uji laboratorium. Hasil analisis menunjukkan bahwa penampang B-B' memiliki nilai FK terendah sebesar 1,614 dan dikategorikan sebagai kurang stabil, sedangkan penampang D-D' memiliki nilai FK tertinggi sebesar 3,357 dan tergolong sangat stabil. Penampang A-A' dan C-C' masing-masing menunjukkan kondisi stabil dengan nilai FK sebesar 1,813 dan 2,489. Variasi kestabilan lereng dipengaruhi oleh kombinasi geometri lereng, kohesi, sudut geser dalam, serta kondisi air tanah. Penelitian ini membuktikan bahwa metode Morgenstern-Price efektif dalam mengidentifikasi sektor lereng berisiko dan dapat menjadi acuan dalam perencanaan teknis lereng tambang terbuka.

Keywords: Kestabilan lereng, Morgenstern-Price, Faktor keamanan, Tambang terbuka, Analisis geoteknik

Citation: Setiawan, B., Ferdinand, R., Pebrianto, R. (2025). Analisis Kestabilan Lereng PIT X dengan Metode Morgenstern-Price. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 1987-1991. doi: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i4.1198>

Pendahuluan

Kegiatan penambangan terbuka merupakan salah satu metode ekstraksi sumber daya alam yang banyak diterapkan di Indonesia. Namun, kegiatan ini secara signifikan mengubah morfologi lahan, salah satunya melalui pembentukan lereng buatan yang rentan terhadap ketidakstabilan. Ketidakstabilan lereng dapat menimbulkan risiko kecelakaan kerja, kerusakan infrastruktur tambang, dan potensi kerugian ekonomi serta lingkungan (Najib et al., 2024). Oleh karena itu, evaluasi kestabilan lereng menjadi aspek yang sangat penting dalam perencanaan dan pengoperasian tambang terbuka.

Pit X yang terletak di area operasional PT Bukit Asam, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan,

merupakan salah satu lokasi yang memiliki kompleksitas geoteknik tinggi. Lokasi ini sebelumnya digunakan sebagai tempat pembuangan material buangan (*disposal area*), yang umumnya terdiri dari material heterogen dan tidak terkonsolidasi secara sempurna (Shalizam et al., 2024; Shruti, 2019). Karakteristik ini memperbesar kemungkinan terjadinya keruntuhan lereng, khususnya pada musim hujan ketika tekanan air pori meningkat (Sepriadi et al., 2024; Maulana et al., 2023).

Untuk menilai kestabilan lereng pada area dengan kondisi geoteknik seperti ini, dibutuhkan metode analisis yang mampu merepresentasikan interaksi gaya secara menyeluruh (Reyes & Parra, 2014). Metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium*

Email: budhi.setiawan@unsri.ac.id

Method/LEM) merupakan pendekatan yang umum digunakan dalam analisis lereng karena kemampuannya dalam mengestimasi faktor keamanan (FK) secara kuantitatif berdasarkan keseimbangan gaya dan momen (Garo et al., 2024). Salah satu variasi metode ini adalah metode Morgenstern-Price, yang telah banyak digunakan dalam praktik teknik geoteknik karena mempertimbangkan distribusi gaya antar irisan (*inter-slice forces*) dengan presisi yang tinggi (Su et al., 2022).

Metode Morgenstern-Price memungkinkan analisis terhadap kondisi jenuh dan tidak jenuh serta mampu menangani berbagai konfigurasi geometri lereng secara dua dimensi. Meskipun memiliki keterbatasan dalam representasi spasial tiga dimensi, pendekatan ini tetap efektif sebagai evaluasi awal dan acuan desain dalam kondisi data terbatas (Zheng et al., 2024; Lu et al., 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng di Pit X menggunakan metode Morgenstern-Price sebagai pendekatan utama. Dengan melakukan pemodelan terhadap beberapa penampang kritis, diharapkan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi teknis yang berguna untuk mitigasi risiko longsor serta perbaikan desain lereng di masa mendatang.

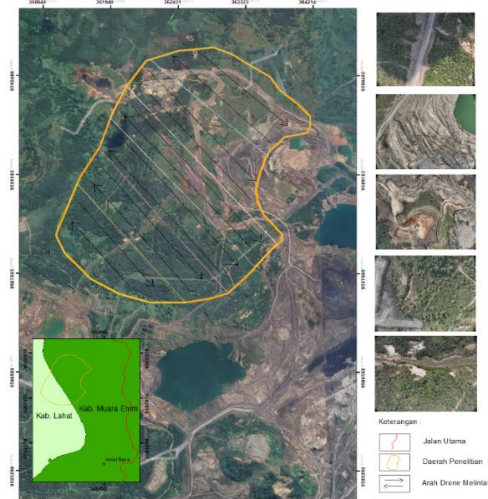


Figure 1. Peta Lokasi Penelitian di Pit X, PT Bukit Asam, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan.

Metoda

Penelitian ini dilakukan di Pit X, yang terletak di area tambang terbuka milik PT Bukit Asam, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Area ini sebelumnya digunakan sebagai lokasi pembuangan akhir (*disposal*) material tambang, sehingga memiliki kondisi geoteknik yang kompleks, seperti heterogenitas material, kemiringan lereng yang bervariasi, dan potensi tekanan air pori yang tinggi (Li et al., 2022).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method/LEM*) dengan pendekatan Morgenstern-Price. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menganalisis kestabilan lereng secara dua dimensi dengan mempertimbangkan keseimbangan gaya dan momen pada setiap irisan lereng serta pengaruh gaya antar irisan (*inter-slice forces*) (Abdul et al., 2022; Zheng et al., 2024). Perhitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak GeoStudio yang telah umum digunakan dalam praktik geoteknik.

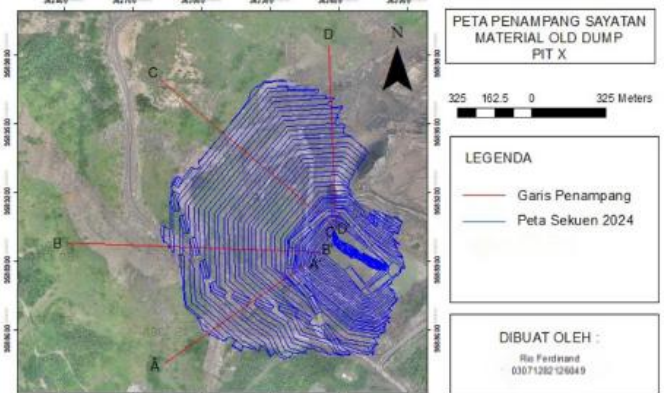


Figure 2. Peta Penampang Sayatan PIT X

Pengumpulan Data

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan yang mencakup:

- Geometri lereng (tinggi, sudut kemiringan, jumlah bench),
- Kondisi lapisan tanah dan batuan,
- Kondisi drainase permukaan.

Sementara itu, data sekunder diperoleh dari hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah dan batuan, meliputi parameter geoteknik berikut:

- Berat isi tanah/batuan (γ),
- Kohesi (c),
- Sudut geser dalam (ϕ).

Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai input dalam pemodelan kestabilan lereng (Kring & Chatterjee, 2022). Nilai parameter geoteknik yang digunakan disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data Geoteknik Pit X

Litologi	Unit Weight (kN/m ³)	Phi (°)	Cohesion (kPa)
BLU1	16,69	15,68	53,31
BLG1	15,43	17,42	24,11
BLU2	15,77	15,09	38,33
BLG2	16,53	16	16,51

Litologi	Unit Weight (kN/m ³)	Phi (°)	Cohesion (kPa)
BLU3	17,19	11,77	22,78
BLG3	17,01	7,4	41,3
BLU4	14,56	19,48	36,95
BLG4	16,4	19,56	31,93
BLU5	16,61	21,39	31,65
BLG5	16,15	17,76	83,57
Coal A1	12,01	26,21	174,21
Coal A2	12,02	13,7	223,56
Coal B1	12,16	28,87	165,29
Coal B2	11,95	24,71	284,67
Coal C	11,79	25,35	173,61
IB A1-A2	19,57	29,36	212,84
IB A2-B1	21,93	27,87	122,55
IB B1-B2	20,75	26,6	128,46
IB B2-C	20,51	23,56	161,46
OB A1	20,52	22,55	126,68
OB DSI	18,88	11,79	60,02

Analisis Stabilitas Lereng

Pemodelan kestabilan dilakukan terhadap empat penampang utama (A-A', B-B', C-C', dan D-D') yang dipilih berdasarkan representasi variasi geometri dan kondisi geoteknik. Perhitungan faktor keamanan (*Factor of Safety*/FK) dilakukan dengan memperhatikan dua kondisi: lereng jenuh dan tidak jenuh.

Nilai FK ditentukan berdasarkan rasio antara gaya penahan (*shear strength*) terhadap gaya penggerak (*driving force*) pada bidang gelincir potensial. Klasifikasi kestabilan lereng didasarkan pada kriteria berikut (Lu et al., 2024):

- $FK > 1,25$: Stabil
- $1,00 \leq FK \leq 1,25$: Moderat (waspada)
- $FK < 1,00$: Tidak stabil

Analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi sektor-sektor kritis yang berpotensi mengalami kelongsoran serta memberikan rekomendasi teknis terhadap desain lereng di masa mendatang.

Hasil dan Pembahasan

Analisis kestabilan lereng dilakukan terhadap empat penampang utama yang mewakili kondisi geometri dan litologi yang bervariasi di Pit X, yaitu penampang A-A', B-B', C-C', dan D-D'. Evaluasi dilakukan menggunakan metode keseimbangan batas dengan model Morgenstern-Price untuk menghitung nilai faktor keamanan (FK). Hasil analisis menunjukkan

bahwa masing-masing penampang memiliki nilai FK yang berbeda, tergantung pada karakteristik geometri dan parameter geoteknik pada masing-masing lokasi

Karakteristik Geometri dan Geoteknik Lereng

Setiap penampang memiliki perbedaan signifikan dalam hal geometri dan parameter kekuatan geser, yang secara langsung memengaruhi nilai faktor keamanan (FK). Ringkasan karakteristik tiap penampang dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 2. Geometri Lereng Tiap Penampang

Penampang	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Jumlah Bench	Air Tanah (%)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (°)
A-A'	58,64	11,6	>4	>40	38,04	16,16
B-B'	57,4	9,73	>4	<40	38,04	16,16
C-C'	67,62	12,7	>4	<40	38,04	16,16
D-D'	72,04	10,44	>4	32,9	38,04	16,16

Penampang A-A'

Penampang A-A' memiliki tinggi lereng sekitar 58,64 meter dengan kemiringan 11,6°. Parameter kekuatan geser menunjukkan nilai kohesi sebesar 38,04 kPa dan sudut geser dalam sebesar 16,16°. Hasil perhitungan menunjukkan nilai FK sebesar 1,813, yang berada dalam kategori stabil ($FK > 1,25$). Meskipun demikian, tingginya tekanan air pori (lebih dari 40% tinggi lereng) menunjukkan bahwa penampang ini rentan terhadap penurunan kestabilan jika terjadi hujan ekstrem atau gangguan hidrologi lainnya. Oleh karena itu, pemantauan visual dan penggunaan instrumen pengukur tekanan air pori sangat disarankan.

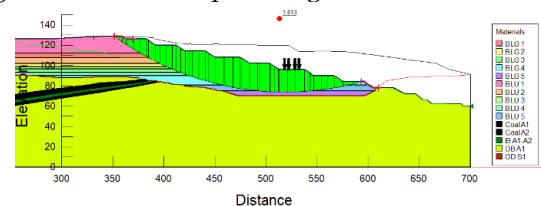


Figure 3. Visualisasi Penampang A-A'

Cross-Section B-B'

Penampang ini menunjukkan kondisi paling kritis di antara keempat penampang yang dianalisis. Dengan tinggi 57,40 meter dan kemiringan lereng 9,73°, serta nilai kohesi dan sudut geser dalam yang sama seperti A-A', nilai FK yang diperoleh adalah 1,614. Lereng ini dikategorikan sebagai kurang stabil. Hal ini diperkuat oleh tingginya kandungan air tanah dan geometri yang kurang optimal. Disarankan untuk dilakukan tindakan remediasi seperti peningkatan sistem drainase, pengurangan sudut kemiringan, dan pemantauan deformasi lereng secara berkala.

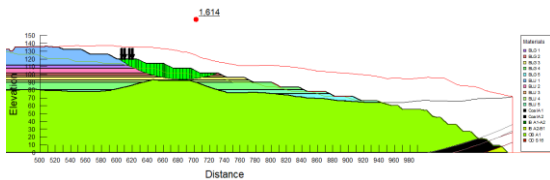


Figure 4. Visualisasi Penampang B-B'

Cross-Section C-C'

Penampang C-C' memiliki tinggi 67,62 meter dengan sudut lereng 12,7°. Parameter kekuatan geser identik dengan penampang sebelumnya. Nilai FK yang dihasilkan adalah 1,889, yang dikategorikan sebagai stabil. Geometri yang relatif landai dan kondisi air tanah yang masih dapat dikendalikan menjadikan penampang ini berada dalam kategori aman. Tidak diperlukan tindakan korektif dalam waktu dekat, namun pemantauan tetap dianjurkan untuk menjaga kestabilan jangka panjang.

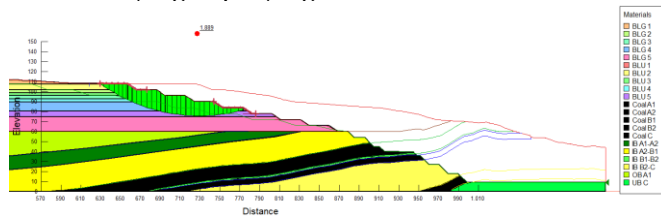


Figure 5. Visualisasi Penampang C-C'

Cross-Section D-D'

Penampang D-D' memiliki geometri paling menguntungkan dengan tinggi 72,04 meter dan sudut kemiringan 10,44°. Tekanan air pori juga tergolong rendah (sekitar 32,9% dari tinggi lereng). Hasil analisis menunjukkan nilai FK sebesar 3,357, yang dikategorikan sebagai sangat stabil. Kondisi ini menjadikan sektor D-D' sebagai acuan atau model referensi dalam pengembangan desain lereng di sektor lain.

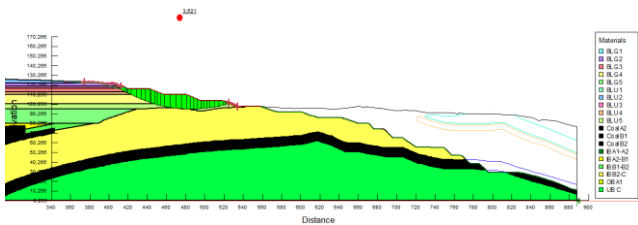


Figure 6. Visualisasi Penampang D-D'

Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi kestabilan lereng di Pit X, PT Bukit Asam, menggunakan metode keseimbangan batas dengan pendekatan Morgenstern-Price. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap penampang memiliki nilai faktor keamanan (FK) yang berbeda, tergantung pada kondisi geometri dan parameter geoteknik.

Penampang B-B' memiliki nilai FK terendah sebesar 1,614 dan dikategorikan sebagai kurang stabil, sehingga membutuhkan perhatian khusus. Penampang A-A' memiliki nilai FK sebesar 1,813 dan masih tergolong stabil, namun rentan terhadap perubahan tekanan air pori. Penampang C-C' menunjukkan kondisi yang cukup stabil dengan nilai FK sebesar 2,489, sedangkan penampang D-D' menunjukkan kondisi sangat stabil dengan nilai FK tertinggi sebesar 3,357. Hasil ini menunjukkan bahwa metode Morgenstern-Price efektif dalam mengidentifikasi tingkat kestabilan lereng pada kondisi geoteknik yang kompleks.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, disarankan agar dilakukan pemantauan rutin pada penampang A-A' dan B-B', terutama saat musim hujan, karena nilai FK yang mendekati batas stabilitas. Penampang B-B' direkomendasikan untuk dilakukan perbaikan geometri dan sistem drainase. Sementara itu, penampang D-D', yang memiliki kestabilan sangat baik, dapat dijadikan acuan dalam desain lereng sektor lainnya. Untuk penelitian lanjutan, disarankan melakukan analisis tiga dimensi dan pendekatan probabilistik guna mempertimbangkan ketidakpastian parameter dan variabilitas kondisi lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Publikasi artikel ini didanai oleh Penelitian Disertasi Doktor dengan Surat Keputusan Nomor 0667/E5/AL.04/2024 dan Perjanjian/Kontrak Nomor 0016.004/UN9/SB1.LP2M.PT/2024. Penulis sangat berterima kasih kepada PT Bukit Asam khususnya Aldo Melodi dan Tri Arga Kurniawan atas dukungannya selama melakukan kerja lapangan..

Rujukan

Abdul, A. M., Andi Al'Faizah, Hedianto, Okviyani, Nur, & Mahyuni, E. T. (2022). Analisis stabilitas lereng tambang batubara dengan menggunakan metode limit equilibrium pada PT. Kalimantan Prima Nusantara. *Jurnal Geoceles*, 6(2), 117-125. <https://doi.org/10.20956/geoceles.v6i2.17903>

Garo, T., Tesfaye, M., & Karuppattan, S. (2024). Slope stability modeling using limit equilibrium and finite element methods: A case study of the Adama City, Northern Main Ethiopian Rift. *Quaternary Science Advances*, 15, 100228. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2024.100228>

Kring, K., & Chatterjee, S. (2020). Uncertainty quantification of structural and geotechnical parameter by geostatistical simulations applied to a stability analysis case study with limited exploration data. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 125, 104157. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104157>

- Li, Q., Wang, Y., & Zhang, K. (2022). Failure mechanism of weak rock slopes considering hydrological conditions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(2), 685–702. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-1198-z>
- Lu, Y., Jin, C., Wang, Q., Li, G., & Han, T. (2024). Deformation and failure characteristic of open-pit slope subjected to combined effects of mining blasting and rainfall infiltration. *Engineering Geology*, 331, 107437. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107437>
- Maulana, M. A., Ka'bah, H. C. M., Hadian, M. S. D., & Khoirullah, N. (2023). Pengaruh elevasi permukaan air terhadap probabilitas kelongsoran dan stabilitas lereng timbunan di Open Pit 'X' PT. Berau Coal, Kalimantan Timur. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 7(3), 1359–1406.
- Najib, N. P., Belia, Hidayatillah, A. S., Setyo, K., & Nugroho, A. (2024). Analisis kestabilan lereng tambang batubara menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR), Slope Mass Rating (SMR), dan kesetimbangan batas Morgenstern-Price wilayah Low Wall Pit Y PT. Bina Sarana Sukses, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik*, 39(1), 170–182. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39n1.xxxxxx>
- Reyes, A., & Parra, D. (2014). 3D slope stability analysis by the using limit equilibrium method analysis of a mine waste dump. In *Proceedings of Tailings and Mine Waste 2014, Keystone, Colorado, USA, October 5–8, 2014* (pp. 127–139).
- Sepriadi, K. A., Adiwarmar, Mirza, & Zahara. (2024). Analisis kestabilan lereng highwall dengan metode Morgenstern-Price pada PIT 2 Banko Barat di PT. Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Geoteknik Tambang*, 2(2), 66–73.
- Shalizam, S., Trides, T., Juvensius Pontus, A., Oktaviani, R., & Winarno, A. (2024). Analisis kestabilan lereng penambangan ex disposal CV Gudang Hitam Prima, Kecamatan Sanga-Sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Inovasi Global*, 2(2), 312–324. <https://doi.org/10.58344/jig.v2i2.66>
- Shruti, B. (2019). Stability analysis of dump slope in open cast mines. *Helix*, 9(6), 5706–5710. <https://doi.org/10.29042/2019-5706-5710>
- Su, P., Qiu, P., Liu, B., Chen, W., & Su, S. (2022). Stability prediction and optimal angle of high slope in open-pit mine based on two-dimension limit equilibrium method and three-dimension numerical simulation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 127, 103151. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103151>
- Zheng, J., Bonin, M. D., Mohammad, K., Nousiainen, J., Masengo, E., & Shaigetz, M. L. (2024). Stability analysis of tailings dams using limit equilibrium and finite element methods. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*. <https://doi.org/10.1680/jgeen.24.00319>