

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Sand Slope Stability Analysis Using the Bishop Simplified Hyrcan 2.0 Method with CaCO₃ Reinforcement

Analisis Stabilitas Lereng Pasir Menggunakan Metode *Bishop Simplified Hyrcan 2.0* dengan Perkuatan CaCO₃

Baskoro Tri Julianto^{1,2}, Sitti Filzha Fitrya Ginoga³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi

²Program Doktor Ilmu Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

³Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Email korespondensi: sitti_filzhafitrya@apps.ipb.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Kata kunci :</p> <p>stabilitas lereng, metode Bishop Simplified, Hyrcan 2.0, perkuatan kimiawi, CaCO₃</p>	<p>Lereng merupakan permukaan tanah terbuka yang membentuk sudut yang oleh karenanya kestabilan dan faktor keamanannya perlu diperhatikan. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas lereng pasir menggunakan metode Bishop Simplified pada perangkat lunak Hyrcan 2.0 dengan penambahan kalsit (CaCO₃) sebagai metode perkuatan. Lereng pasir memiliki stabilitas rendah akibat rendahnya kohesi dan kurangnya interaksi antar partikel, yang diperburuk oleh pengaruh air tanah. Penambahan CaCO₃ dalam berbagai konsentrasi (0%, 10%, dan 20%) diterapkan untuk meningkatkan parameter kekuatan geser lereng pasir. Model simulasi mencakup enam variasi material dengan konfigurasi geometris lereng yang mencerminkan kondisi lapangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lereng dengan CaCO₃ konsentrasi 20% memiliki faktor keamanan (FOS) tertinggi sebesar 1,05, dibandingkan dengan 0,73 pada model tanpa perkuatan. Pergeseran titik pusat longsor secara vertikal memengaruhi panjang bidang gelincir dan nilai FOS, di mana peningkatan konsentrasi CaCO₃ berkontribusi signifikan pada peningkatan stabilitas lereng. Hubungan antara lokasi vertikal pusat bidang longsor dan FOS dianalisis menggunakan regresi linear, yang menunjukkan hubungan negatif antara keduanya. Studi ini menyimpulkan bahwa penambahan CaCO₃ efektif meningkatkan stabilitas lereng pasir, dengan FOS mendekati nilai aman meskipun nilai FOS pada model terbaik masih dikategorikan tidak aman.</p>
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Keywords:</p> <p>slope stability, Bishop Simplified method, Hyrcan 2.0, chemical reinforcement, CaCO₃</p>	<p><i>Slopes are open land surfaces that form an angle and therefore their stability and safety factors need to be considered. This research aims to analyze the stability of sand slopes using the Bishop Simplified method in Hyrcan 2.0 software with the addition of calcite (CaCO₃) as a reinforcement method. Sand slopes have low stability due to low cohesion and lack of interaction between particles, which is exacerbated by the influence of groundwater. The addition of CaCO₃ in various concentrations (0%, 10%, and 20%) was applied to improve the shear strength parameters of the sand slope. The simulation model includes six material variations with slope geometric configurations that reflect field conditions. The simulation results showed that the slope with 20% CaCO₃ concentration had the highest factor of safety (FOS) of 1.05, compared to 0.73 in the model without reinforcement. Vertically shifting the landslide center point affects the length of the slide plane and the FOS value, where increasing the CaCO₃ concentration contributes significantly to improving the slope stability. The relationship between the vertical location of the landslide center and FOS was analyzed using linear regression, which showed a negative relationship between the two. This study concludes that the addition of CaCO₃ effectively improves the stability of sand slopes, with FOS approaching safe values although the FOS value in the best model is still categorized as unsafe.</i></p>

1. Pendahuluan

Lereng dapat dikatakan sebagai suatu permukaan tanah terbuka yang memiliki kemiringan dan membentuk suatu sudut terhadap bidang horizontal dan tidak terlindung. Lereng dapat terbentuk secara alamiah maupun dibuat oleh manusia [1]. Lereng yang terdiri dari tanah pasir umumnya ditemukan pada tepian sungai. Lereng semacam ini biasanya tidak memiliki kestabilan yang baik dikarenakan tanah pasir cenderung tidak memiliki nilai kohesi dan tidak adanya interaksi *inter-locking* antar partikelnya, ditambah keberadaannya di tepian sungai membuat struktur lereng pasir semakin tidak baik. Secara umum, kuat geser tanah akan mengalami penurunan akibat rembesan air. Rembesan air ke dalam lereng dapat meningkatkan kadar air tanah dan menurunkan kuat geser tanah [2]. Pada kasus lain, tanah pasir yang memiliki kadar air tinggi dapat mengakibatkan likuefaksi bila menerima beban siklik terus menerus. Maka, perbaikan tanah pasir terus dilakukan.

Stabilitas tanah dapat dilakukan dengan penambahan material kimiawi untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah, sehingga bangunan tetap stabil dan terhindar dari penurunan yang dapat merusak struktur [3]. Beberapa metode yang telah dilakukan untuk memperbaiki tanah pasir salah satunya dengan cara penambahan bahan kimia tertentu. Kalsit (CaCO_3) telah digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah pasir. Pemberian CaCO_3 teknis dengan konsentrasi 20% dapat meningkatkan kohesi dan sudut geser dalam sebesar 250% dan 54,43% [4]. Metode lain yaitu *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation* (SCU-CP) dimana kedelai digunakan sebagai katalisator dalam hidrolisis urea dalam pembentukan kristalisasi kalsit yang telah terbukti memiliki efek positif untuk menaikkan daya dukung tanah problematic yang dilihat dari nilai kuat geser, penurunan, potensi kembang-susut dan nilai uji CBR [5].

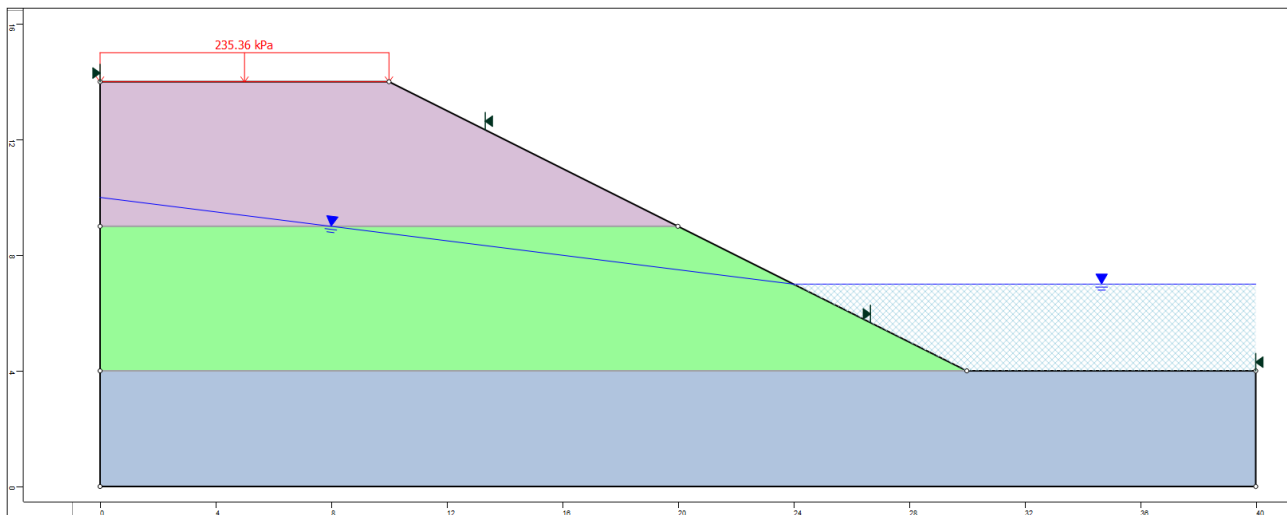
Analisis stabilitas lereng dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan metode *Bishop*. Metode *Bishop* dilakukan dengan cara membagi penampang lereng ke beberapa bagian kecil yang berfungsi untuk analisis bidang gelincir (*slip surface*) pada lereng yang berbentuk lingkaran [6]. Metode ini mengasumsikan bahwa gaya-gaya normal total bekerja pada pusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode ini menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada tiap-tiap irisan mempunyai resultan sebesar nol pada arah vertikal [7]. Penggunaan metode ini dapat dilakukan secara praktis melalui perangkat lunak *Hyrscan*. *Hyrscan* menggunakan metode *limit equilibrium method* (LEM) dengan pendekatan bahwa faktor keamanan pada sejumlah besar permukaan slip dengan nilai faktor keamanan minimum ditetapkan sebagai permukaan selip kritis atau Lokasi yang memiliki potensial selip terjadi [8]. Penelitian yang dilakukan oleh Khodijah, dkk (2022) beban seismik horizontal 0,15g dan vertikal 0,01g dapat menurunkan faktor keamanan lereng hingga 36,3%. Hal ini mengindikasikan bahwa percepatan getaran, sebagai gaya pendorong, mempengaruhi kestabilan lereng. Semakin tinggi nilai percepatan, lereng menjadi lebih dinamis dan berisiko mengalami ketidakstabilan [9].

Berdasarkan penjelasan di atas, maka diperlukannya suatu kajian mengenai analisis stabilitas lereng pasir yang telah diperkuat. Penelitian ini bertujuan untuk melihat peningkatan nilai faktor keamanan dari lereng pasir yang dilakukan perkuatan secara kimiawi atau lebih tepatnya dengan perlakuan pemberian kalsit pada tanah pasir tersebut. Penelitian ini merupakan penelitian simulasi dengan data-data pendukung diambil dari literatur terdahulu dan dikaji menggunakan perangkat lunak *Hyrscan 2.0*.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan memodelkan lereng imajiner yang merepresentasikan tebing pada suatu sungai dengan panjang total 40 m dan tinggi 14 m. Bagian atas lereng berbentuk datar yang membentang sepanjang koordinat (0,14) m hingga (10,14) m yang diberi beban merata sebesar 235,36

kPa. *Bench height* lereng memiliki tinggi sebesar 10 m terhitung dan kemiringan lereng adalah $26,57^\circ$. Lereng dibagi menjadi tiga bagian untuk mendefinisikan material penyusun lereng. Material pertama memiliki tinggi 4 m diukur dari koordinat (0,0) m, material ke dua memiliki tinggi 5 m diukur dari koordinat (0,4) m dan material ke tiga memiliki tinggi 5 m diukur dari koordinat (0,9) m. Muka air tanah membentang dari koordinat (0,10) m ke koordinat (24,7) m serta muka air sungai membentang searah sumbu x dimulai pada koordinat (24,7) m. Secara detail, Gambaran lereng yang dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Geometri Model Lereng

Sumber: *Hyrcaan 2.0*

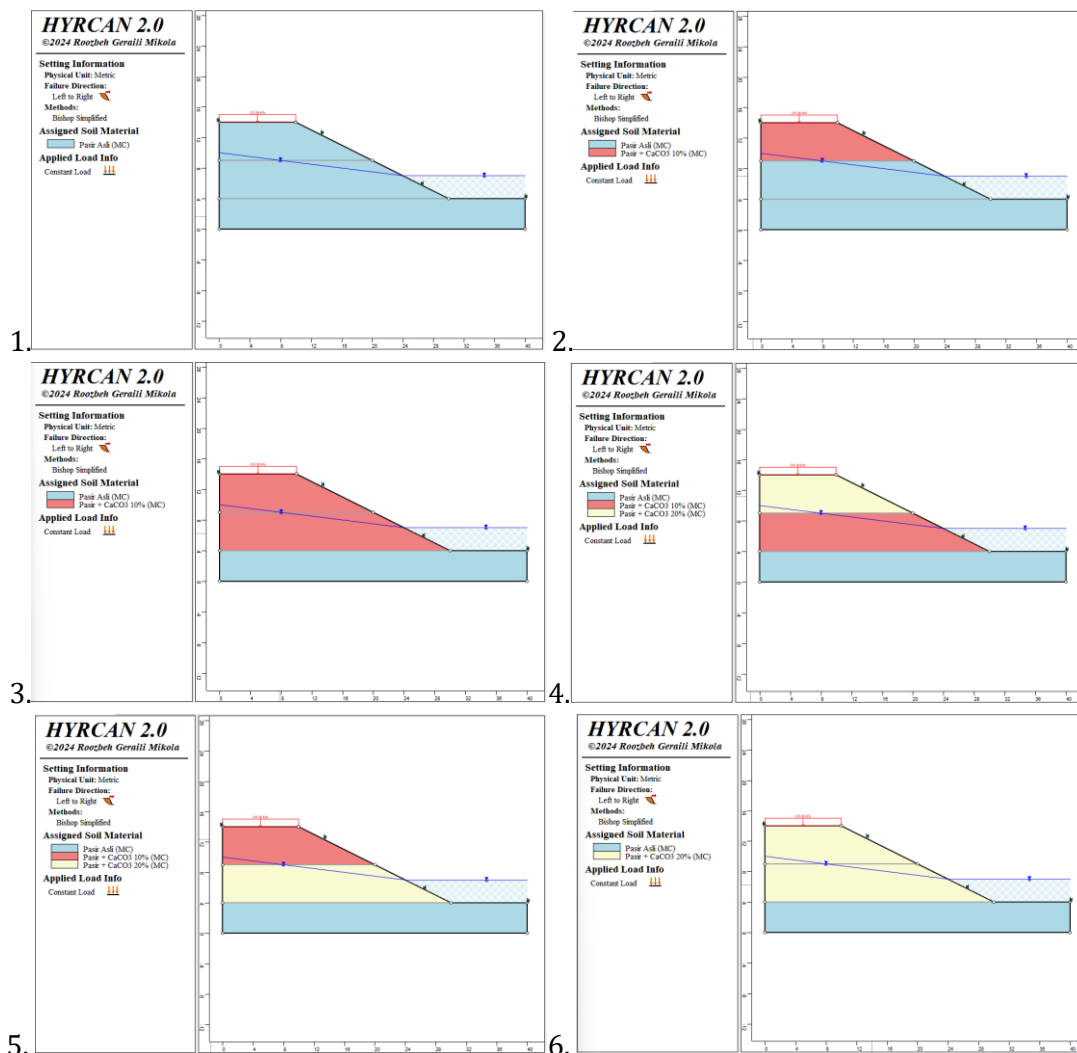
Bowles (2000), memberikan rekomendasi faktor keamanan sesuai prosedur dengan ketentuan [10]: $FK \geq 1,25$ menunjukkan lereng aman, FK antara 1,07 dan 1,25 menunjukkan lereng tidak aman, dan $FK < 1,07$ menunjukkan lereng kritis. Material pasir sebagai penyusun lereng diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Juliato, dkk (2023) berupa tanah pasir asli (konsentrasi CaCO_3 sebesar 0%), pasir dengan konsentrasi CaCO_3 sebesar 10% dan konsentrasi CaCO_3 sebesar 20% dengan berat isi sebesar $1,31 \text{ gr/cm}^3$ yang dianggap sama pada semua kondisi tanah pasir. Sifat mekanik material penyusun lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisik Material Penyusun Lereng

Konsentrasi CaCO ₃	Sudut Geser Dalam (°)	Kohesi (kg/cm ²)
0%	26,57	0,04
10%	33,42	0,05
20%	41,02	0,14

Sumber : Julianto, dkk (2023) [3]

Simulasi dibagi menjadi enam model dengan variasi komposisi material. Tanah pasir asli dianggap sebagai material eksisting, maka pada semua model pasing asli didefinisikan pada bagian dasar. Gambaran keenam model tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model-model Simulasi dengan Warna Biru Merupakan Pasir Asli, Kuning adalah Pasir dengan Konsentrasi CaCO₃ 10% dan Warna Merah adalah Pasir dengan Konsentrasi CaCO₃ 20%

Sumber: Hyrcan 2.0

Skema keruntuhan model bergerak dari kiri ke kanan dengan membagi penyesuaian konvergensi jumlah potongan ditetapkan sebanyak 50 buah dan iterasi maksimum sebanyak 100 kali iterasi. Air pori yang bekerja pada porus tanah diasumsikan memiliki kerapatan sebesar 9,81 kN/m³.

3. Hasil dan Pembahasan

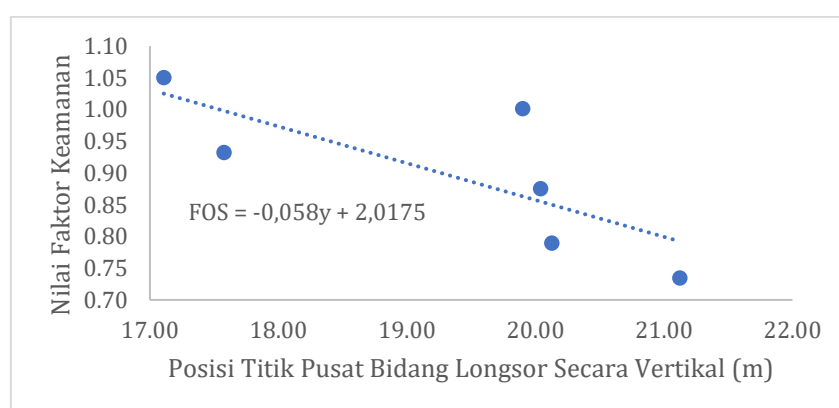
Analisis keenam model sebagaimana digambarkan pada Gambar 2 memiliki hasil yang cukup bervariasi. Model pertama dengan keseluruhan material menggunakan tanah pasir asli memiliki nilai faktor keamanan sebesar 0,73 dengan pusat bidang longsor berada pada koordinat (22,74;21,12) m serta panjang jari-jari bidang longsor sebesar 18,6 m. Model ke-2 memiliki nilai faktor keamanan sebesar 0,79 dengan dengan pusat bidang longsor berada pada koordinat (21,76;20,13) m serta panjang jari-jari bidang longsor sebesar 18,37 m. Model ke-3 memiliki nilai faktor keamanan sebesar 0,88 dengan dengan pusat bidang longsor berada pada koordinat (22,84;20,04) m serta panjang jari-jari bidang longsor sebesar 18,31 m. Model ke-4 memiliki nilai faktor keamanan sebesar 0,93 dengan dengan pusat bidang longsor berada pada koordinat (20,53;17,58) m serta panjang jari-jari bidang longsor sebesar 17,56 m. Model ke-5 memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,00 dengan dengan pusat bidang longsor berada pada koordinat (23,37;19,90) m serta panjang jari-jari bidang longsor sebesar 18,76 m. Model ke-6 memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,05 dengan dengan pusat bidang longsor berada pada koordinat (19,59;17,11) m serta panjang jari-jari bidang longsor sebesar 17,09 m.

Pergeseran titik pusat bidang longsor secara vertikal diperkirakan dapat memengaruhi nilai faktor keamanan. Kenaikan lokasi titik pusat dapat memperpendek bidang gelincir pada bidang longsor yang memiliki dampak nilai faktor keamanan cenderung mengecil. Sebaliknya, bila penurunan lokasi pusat dapat memperpanjang bidang gelincir pada bidang longsor yang memiliki dampak naiknya nilai faktor keamanan. Hal ini dapat dibuktikan dengan melakukan regresi linear dengan bentuk fungsi sebagai berikut :

$$FOS = \beta_1 y + \beta_2 \tag{1}$$

Dengan FOS adalah faktor keamanan lereng, β_1 adalah gardien regresi, y adalah posisi titik pusat bidang longsor secara vertikal yang diukur dari sumbu absis (m) dan β_2 adalah titik potong sumbu ordinat. Bila

β_1 bernilai negatif, maka pusat bidang longsor cenderung naik dan FOS berkurang. Gambaran teori yang dipaparkan oleh Persamaan 1 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Regresi Linear Hubungan Antara Koordinat y Titik Pusat Bidang Longsor terhadap Nilai Faktor Keamanan

Sumber: Analisis

Gambar 3 menunjukkan bahwa memang terdapat hubungan antara posisi vertikal titik pusat bidang longsor terhadap nilai faktor keamanan. Gradien pada fungsi regresi linear bernilai negatif yang memiliki hubungan menurun antara lokasi pusat bidang longsor secara vertikal dengan faktor keamanan. Perubahan penggunaan material tanah dapat memberikan dampak signifikan terhadap

faktor keamanan lereng. Dalam hal ini, penambahan 20% CaCO₃ pada tanah pasir terbukti meningkatkan faktor keamanan lereng, seperti yang terlihat pada model ke-6. Meskipun ada peningkatan, nilai faktor keamanan yang diperoleh masih berada pada kondisi kritis, yakni $FK < 1,07$, sesuai dengan ketentuan yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun penggunaan material tambahan dapat memperbaiki kestabilan lereng, namun lereng tersebut masih memerlukan perhatian lebih lanjut, karena faktor keamanan yang rendah berisiko menimbulkan kegagalan pada kondisi ekstrem

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dipaparkan, maka dapat disimpulkan bahwa model ke-6 merupakan model terbaik dari keseluruhan model yang dianalisis. Model ke-6 memiliki komposisi tanah pasir dengan penambahan CaCO₃ sebanyak 20% tertinggi. Oleh karena itu, peningkatan nilai parameter kuat geser tanah dengan metode penambahan CaCO₃ secara pemodelan terbukti dapat meningkatkan faktor keamanan lereng pasir, walaupun nilai faktor keamanan yang diperoleh masih berada pada kondisi kritis, yakni $FK < 1,07$, sesuai dengan ketentuan yang ada.

Daftar Rujukan

- [1] B. M. Das dan K. Sobhan, *Principles of geotechnical engineering*. Boston: PWS Engineering, 1985.
- [2] A. S. Muntohar, "PENGARUH REMBESAN DAN KEMIRINGAN LERENG TERHADAP KERUNTUHAN LERENG," *J. Tek. Sipil - UCY*, vol. 1, no. 2, hlm. 19–28, 2006.
- [3] M. Yusar, dan Indrastuti, "Studi Pengaruh Pemanfaatan Fly Ash terhadap Stabilitas Tanah pada Proyek Meisterstadt Batam," *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 3, no. 2, hlm. 161-168.
- [4] B. T. Julianto, F. Ramadhan, M. Fauzan, dan H. Putra, "Pengaruh Penambahan CaCO₃ terhadap Parameter Kuat Geser Pasir Pantai," *J. Tek. Sipil Dan Lingkungan*, vol. 8, no. 03, hlm. 233–239, Des 2023, doi: 10.29244/jsil.8.03.233-239.
- [5] Z. N. Khairunnisa, "Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation (SCU-CP) for Problematic Soils Improvement," *Annu. Nation Conf. Geotech. Eng.*, 2023.
- [6] N. Amri, D. Dharmawansyah, Hermansyah, "Perbandingan Metode Bishop dan Janbu dalam Analisis Stabilitas Lereng pada Orpit Jembatan Labu Sawo Sumbawa," *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 2, no. 1, hlm. 20-33.
- [7] A. W. Bishop, "The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes," *Géotechnique*, vol. 5, no. 1, hlm. 7–17, Mar 1955, doi: 10.1680/geot.1955.5.1.7.
- [8] R. G. Mikola, "HYRCAN: A Comprehensive Limit Equilibrium Software Package for 2D Slope Stability Analysis," 2 Februari 2023, *Preprints*. doi: 10.22541/au.167533016.65709246/v1.
- [9] S. Khodijah, U. S. Monica, J. Ersyari, "Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Kestimbangan Batas dalam Kondisi Statis dan Dinamis pada PIT X, Tanjung Enim, Sumatra Selatan," *Padjajaran Geoscience Journal*, vol. 6, no. 4, hlm. 1030-1037.
- [10] R. K. Ali, Najib, dan A. Nasrudin, "Analisis Peningkatan Faktor Keamanan Lereng pada Areal Bekas Tambang Pasir dan Batu di Desa Ngablak, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati," *Promine Journal*, vol. 5, no. 1, hlm. 10-19, 2017.