Penerapan Metode Numerik 3D pada Analisis Kestabilan Lereng Kuari Andesit

Application of 3D Numerical Methods in Slope Stability Analysis of Andesite Quarry

Danu Mirza Rezky[1], Calvin Maharza[2]
[1-2] Program Studi Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Corr Author: *[1]danumirza1996@gmail.com

ABSTRAK

Metode analisis kestabilan lereng terus mengalami perkembangan seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dengan tujuan mencari alternatif pemecahan masalah yang paling sesuai dengan kasus yang ada dilapangan. Penerapan metode numerik 3D pada penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng kuari andesit. Hasil penelitian menunjukkan lereng berada dalam kondisi stabil dengan FK 4.78 dan PF 0%. Komparasi dilakukan dengan metode numerik 2D yang menghasilkan FK 3.9 dan PF 0%. Terdapat reduksi FK sebesar 18.41% dari FK 3D ke 2D. Penyebabnya dikarenakan asumsi yang berbeda dari kedua metode tersebut terhadap lebar lereng. Pada lereng 2D lebar lereng diasumsikan tak terbatas, sedangkan pada lereng 3D lebar lereng dibatasi sesuai dengan kondisi lapangan. Sehingga FK 2D dianggap terlalu konservatif dan pesimis, sedangkan hasil FK 3D dianggap lebih representative dan cocok digunakan untuk optimasi lereng tambang. Selain itu metode 3D dapat mengakomodir variasi model litologi pada lereng dan dapat mengestimasi volume potensi longsoran pada lereng dan membuat kajian stabilitas suatu lereng lebih komprehensif. Meski demikian, penerapan 3D masih harus terus dikaji kesesuaiannya dengan lokasi penelitian yang beragam, pengembangan arah penelitian metode numerik 3D disajikan pada paper ini.

Kata-kata kunci*:* Metode Keseimbangan Batas, Model Numerik 3D, Kestabilan Lereng

ABSTRACT

The slope analysis method continues to develop in line with the goals of science and technology by finding alternative solutions that are most appropriate to the cases in the field. The application of the 3D numerical method in this study was carried out to analyze the stability of the slope of the andesite quarry. The results showed that the slopes were in a stable condition with FK 4.78 and PF 0%. The comparison was done using 2D numerical method which resulted in FK 3.9 and PF 0%. There is an 18.41% reduction in FK from 3D to 2D FK. The reason is due to the different assumptions of the two methods on the width of the slope. On 2D slopes, the width of the slope is assumed to be infinite, while on 3D slopes, the width of the slopes is limited according to field conditions. So that the 2D FK is considered too conservative and pessimistic, while the 3D FK results are considered more representative and suitable for optimization of mine slopes. In addition, the 3D method can accommodate variations in lithological models on slopes and can estimate the volume of potential landslides on slopes and make a more comprehensive study of the stability of a slope. However, the application of 3D still has to be studied for its suitability with various research locations, the development of research directions for 3D numerical methods is presented in this paper.

Keywords: Limit Equilibrium Method, 3D Numerical Modelling, Slope stability

Submitted: 05-07-2022; Revised: 04-11-2022; Accepted: 20-02-2023; Available Online: 20-02-2023
Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat
This is an open access article under the CCBYND license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
©2023, Geosapta

PENDAHULUAN

Isu terkait stabilitas lereng terus mengalami perkembangan baik dari kasus yang terjadi maupun metode yang digunakan untuk memecahkan kasus terkait kestabilan lereng. Metode tiga dimensi (3D) sangat jarang digunakan dalam praktek analisis kestabilan lereng karena tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode dua dimensi (2D). Metode 2D *Limit Equilibrium* didasarkan pada kondisi regangan bidang yang dimana mengasumsikan bahwa pergeseran massa atau penampang tidak berubah di arah garis tegak lurus terhadap gerakan geser, sehingga lebih praktis dan sederhana dalam analisis dibandingkan dengan metode 3D [3].

Analisis kestabilan lereng secara 2D dilakukan dengan mengasumsikan kondisi regangan dalam keadaan *plane strain* dimana tidak ada regangan yang bekerja tegak lurus bidang 2D lereng hingga jarak sangat jauh. Dengan demikian, lebar lereng diasumsikan sangat panjang atau bahkan tak terhingga. Hal tersebut menimbulkan pertanyaan bagaimana jika lebar lereng sesungguhnya di lapangan hanya beberapa meter atau bahkan perbandingan lebar dan tingginya kecil. Tentu analisis kestabilan lereng yang dilakukan tidak dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya. Asumsi analisis secara 2D dapat diterima jika perbandingan lebar dan tinggi lereng lebih besar dari empat [2]. Oleh karena itu, banyak peneliti geoteknik mulai mengkaji dan mengembangkan analisis kestabilan lereng secara 3D.

Pentingnya analisis 3D berkembang secara signifikan di mana sifat lereng sangat kompleks dan sulit untuk memilih analisis regangan bidang 2D. Sari Dkk [5] menggambarkan manfaat terkait dengan melakukan stabilitas lereng 3D. Di masa lalu, banyak metode stabilitas lereng 3D dikembangkan mulai dari metode kolom

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13840

berdasarkan kalkulus variasi hingga penggunaan pemrograman dinamis. Peningkatan pentingnya stabilitas lereng 3D disebabkan oleh fakta bahwa sebagian besar keruntuhan lereng bersifat tiga dimensi dengan permukaan keruntuhan berbentuk piringan (*dish-shaped failure surface*) [4].

Analisis stabilitas lereng tiga dimensi menandai pentingnya di mana sifat lereng sangat kompleks dan sulit untuk memilih analisis regangan bidang dua dimensi. Pentingnya analisis stabilitas lereng tiga dimensi dapat ditemukan di mana geometri lereng dan *slip surface* berbeda secara signifikan dalam arah lateral, sifat material sangat non-homogen dan anisotropic, keberadaan struktur geologi, sehingga membuat hasil dari analisis 3D menjadi lebih representative dan sesuai dengan kondisi lapangan.

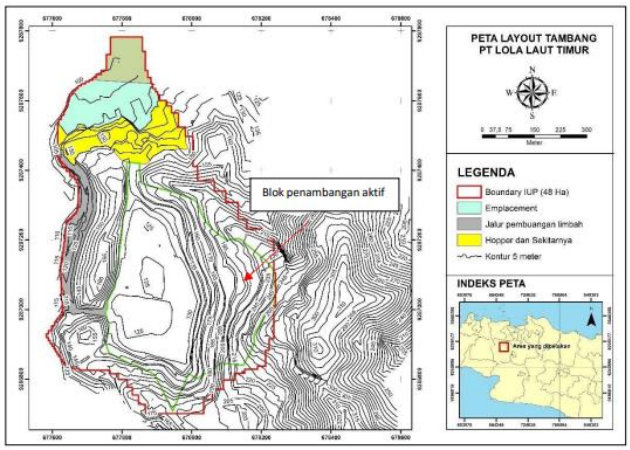
Metode 3D pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng pada kuari andesit PT. Lola Laut Timur dengan bantuan *software* Slide3. Analisis probabilitas (*monte carlo*) dan analisis sensitivitas ditambahkan untuk melengkapi kajian sehingga penelitian menjadi komprehensif

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

PT. Lola Laut Timur berada di Desa Cipinang, Kecamatan Rumpin tepatnya berada disebelah Barat Laut Kabupaten Bogor yang merupakan salah satu kecamatan dari 40 Kecamatan yang ada di wilayah Kabupaten Bogor dengan luas wilayah 9,96 Km^2. Secara administratif, PT. Lola Laut Timur berada di antara beberapa desa yang berada di Kecamatan Rumpin, antara lain Desa Leuwibatu, Cikodom, Gobang, Rabak, Kampung Sawahdengan, Rumpin, Sukasari, Kertajaya, Tamansari, Sukamulya, Mekarsari, dan Mekarjaya. PT Lola Laut Timur memiliki luasan daerah Izin Usaha Pertambangan (IUP) sebesar 48 Ha dengan sistem penambangan kuari komoditas andesit. Pada penambangannya, digunakan multi jenjang dengan total delapan yang ditunjukkan pada Gambar-1. Situasi kondisi dari kuari PT Lola Laut Timur memiliki beberapa area penting dalam aktivitas penambangannya seperti pada Gambar-2.

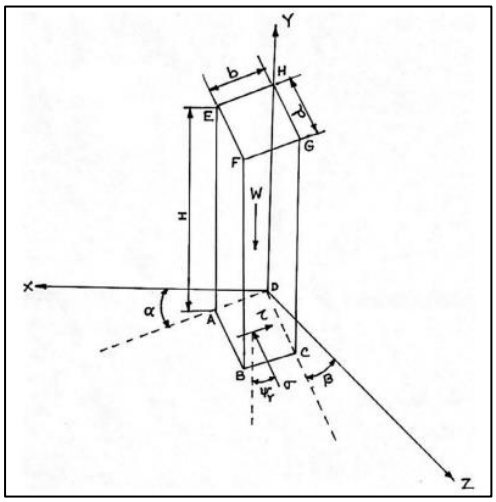
Gambar-1. Kondisi kuari PT Lola Laut Timur



Gambar-2. Layout kuari PT Lola Laut Timur

Metode Numerik 3D

Metode numerik 3D dikembangkan berdasarkan perluasan dari metode 2D bishop yang disederhanakan. Bidang runtuh (*slip surface*) di asumsikan berbentuk bola dengan arah y maupun arah z. seluruh *slip surface* telah didiskritisasi menjadi beberapa kolom [2]. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi metode ini berupa kesetimbangan gaya dari arah vertikal setiap kolom dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk seluruh kolom, sedangkan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi (diabaikan) seperti pada Gambar-3.



Gambar-3. Gaya yang bekerja pada kolom tunggal

Permodelan matematis untuk mencari FK kesetimbangan batas pada metode numerik 3D dimulai dari persamaan kesetimbangan gaya sebagai berikut

$$W = \sigma \cos \psi_y + \tau \sin \alpha \quad (1)$$

Besarnya kekuatan geser yang diperlukan agar lereng berada dalam kondisi setimbang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\tau = \frac{CA + (\sigma - uA) \tan \varphi}{F} \quad (2)$$

Substitusikan persamaan 2 ke 1 guna mendapatkan persamaan untuk menghitung gaya normal total sebagai berikut (persamaan-3).

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13840

$$\sigma = \frac{W+\frac{1}{F}\sin\alpha\,(uA\tan\varphi - CA)}{\cos\psi_y + \frac{\tan\varphi\sin\alpha}{F}} \quad (3)$$

Dimana W adalah berat total dari kolom, u adalah tekana air pori yang bekerja ditengah kolom, C adalah kohesi, ϕ adalah sudut gesek dalam, A adalah base area, dan F adalah Faktor keamanan.

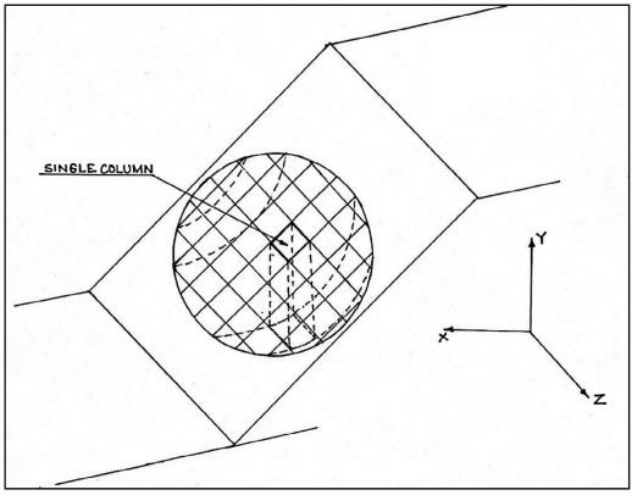
Hovland [6] menurunkan persamaan untuk menghitung base area sebagai berikut.

$$A = b.d.\frac{\sqrt{1-\sin^2\alpha\sin^2\beta}}{\cos\alpha\cos\beta} \quad (4)$$

Sudut ψ_F antara arah dari gaya normal σ dan sumbu vertikal diperoleh dari geometri berikut.

$$\psi_y = \cos^{-1}\sqrt{\left(\frac{1}{\tan^2\alpha+\tan^2\beta+1}\right)} \quad (5)$$

Seluruh area dari bidang geser sekarang dibagi menjadi sejumlah kolom yang disusun dalam baris dengan lebar seragam seperti pada Gambar-4.



Gambar-4. Diskritisasi dari bidang longsor

Secara umum, persamaan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh dapat ditulis sebagai berikut.

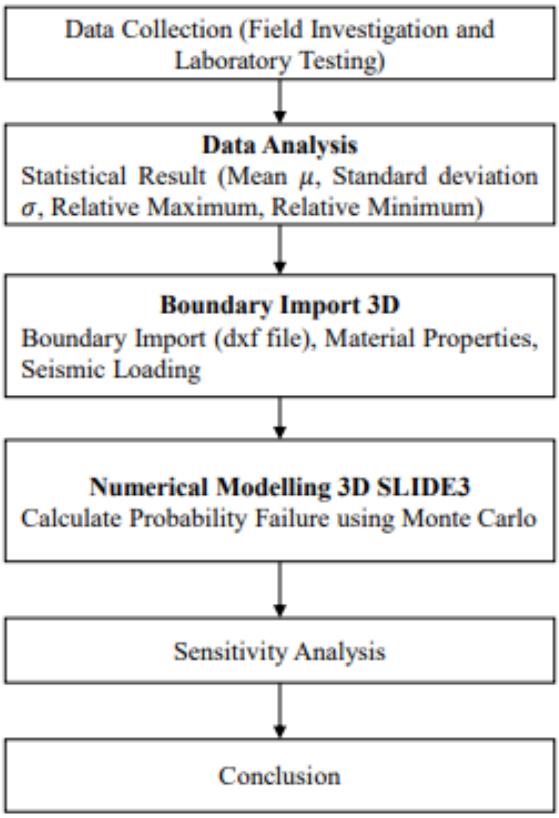
$$F\left(\sum_{i=1}^{j} W\sin\alpha\right) = \sum_{i=1}^{j}(\sigma - uA)\tan\varphi + CA \quad (6)$$

Substitusikan nilai σ dari pesamaan 3 ke persamaan 6 guna mendapatkan persamaan untuk menghitung Faktor keamanan sebagai berikut.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{j}\left[\frac{(W-uA\cos\psi_y)\tan\varphi + CA\cos\psi_y}{\cos\psi_y + \frac{\tan\varphi\sin\alpha}{F}}\right]}{\sum_{i=1}^{j} W\sin\alpha} \quad (7)$$

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dimulai dari pengumpulan data dilapangan dan uji laboratorium yang kemudian diolah untuk mendapatkan parameter masukan kestabilan lereng. Selanjutnya boundary 3D hasil olahan *software* rancangan tambang (Minescape, Surpac, dll) di *save* dalam format (dxf) dan di *import* ke *software* Slide3 untuk mendapatkan external boundary 3D. selanjutnya assign material sesuai parameter masukan yang didapatkan, isi loading *seismic*, aktifkan fitur probabilitas dan sensitivitas, dan *compute* serta *interpret* untuk melihat hasil analisis dari *software*. Penjelasan tentang diagram alir diringkas dalam bentuk Gambar-5.



Gambar-5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN DISKUSI

Pada analisis ini, data yang dipakai berasal dari investigasi lapangan dan uji laboratorium pada tahun 2020. Uji statistika digunakan untuk mendapatkan distribusi material penyusun lereng. Kriteria runtuh yang digunakan adalah Hoek-Brown. Hasil uji laboratorium dan Parameter masukan analisis kestabilan lereng disajikan pada Tabel-1 dan 2.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13840

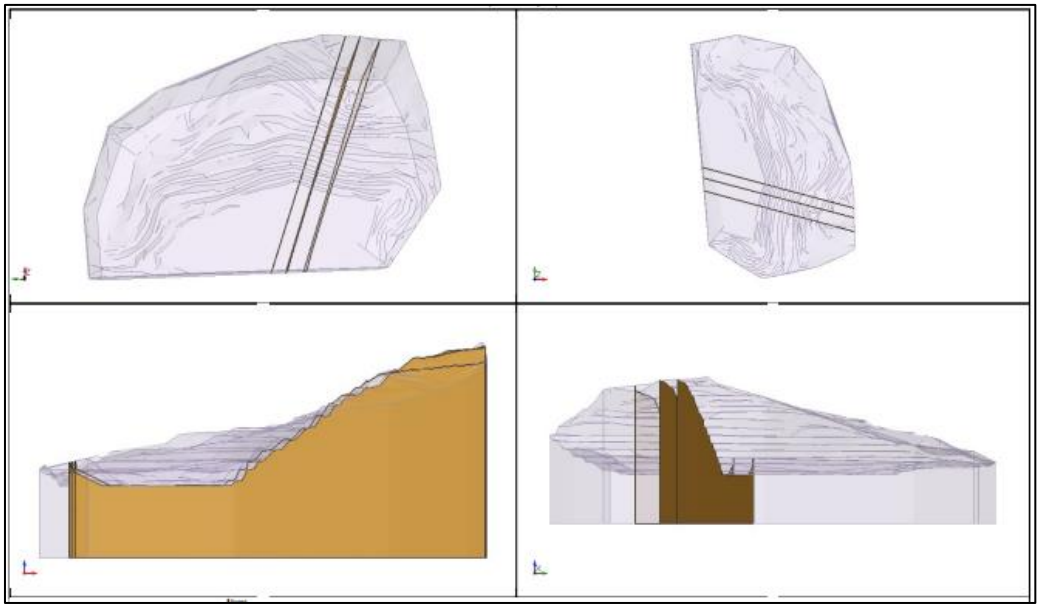
Tabel-1. Hasil Uji Laboratorium Sifat Fisik dan Mekanik Batu Andesit

Sampel	Bobot isi Jenuh (gr/cm^3)	UCS (MPa)	Modulus Young (MPa)	Poisson Ratio	Kohesi (MPa)	Sudut gesek dalam (°)
BE_01	2.49	11.48	4453.21	0.17	0.05987	44.87
BE_02	2.37	18.18	3973.36	0.3	0.19221	16.7
BE_03	2.63	6.38	419.17	0.31	0.08728	11.31
BE_04	2.39	12.89	6369.02	0.46	0.10493	21.8
BB_01	2.53	11.96	5565.58	0.21	0.33244	8.53
BB_02	2.5	12.44	3095.72	0.13	0.42855	16.7
BB_03	2.6	14.68	3451.81	0.07	0.11571	14.04
BB_04	2.29	25.16	9184.74	0.1	0.61782	11.31
B2_01	2.47	11.71	2839.93	0.18	0.14612	11.31
B2_02	2.53	12.77	5927.05	0.31	0.25693	11.31

Tabel-2. Parameter Masukan Analisis Kestabilan Lereng

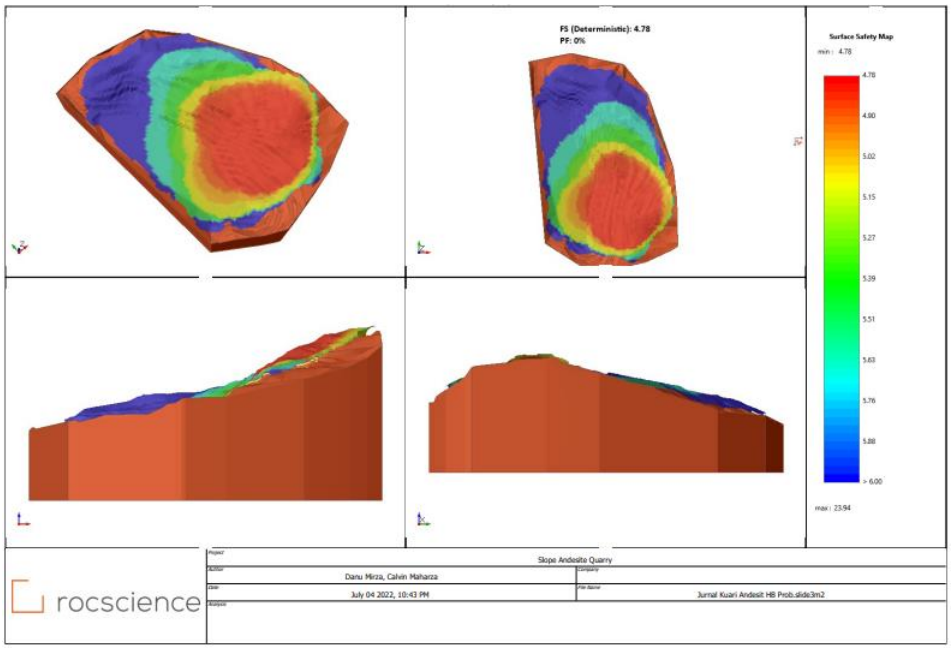
Parameter	Distribusi	Rata-rata	Std. Deviasi	Relative Minimum	Relative Maksimum
Kohesi (MPa)	lognormal	0.24	0.21	1.78	3.91
Sudut gesek dalam (°)	lognormal	16.64	8.31	8.26	28.08
UCS (MPa)	lognormal	13.86	5.01	7.39	11.40
Modulus young (MPa)	lognormal	4677.86	1675.86	4108.79	4656.78
Poisson ratio	gamma	0.22	0.12	0.15	0.24
GSI	normal	59.61	7.06	15.05	6.78

Studi kasus penerapan metode 3D diterapkan pada Kuari Andesit yang sedang beroperasi dengan tinggi keseluruhan 125 m, dan sudut lereng keseluruhan 30°. Analisis 2D dilakukan untuk melihat perbandingan nilai FK diantara 2 metode tersebut. bentuk model 3D disajikan pada Gambar-6. Hasil analisis 3D dan *Slip surface* 3D disajikan pada Gambar-7 dan 8, serta hasil Analisis 2D pada Gambar-9.

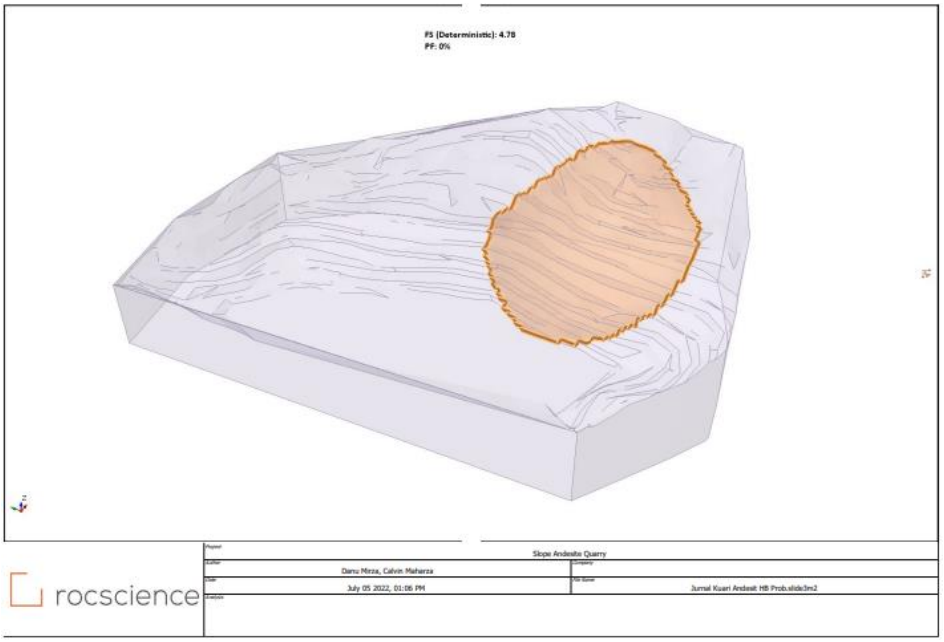


Gambar-6. Boundary 3D Kuari Andesit

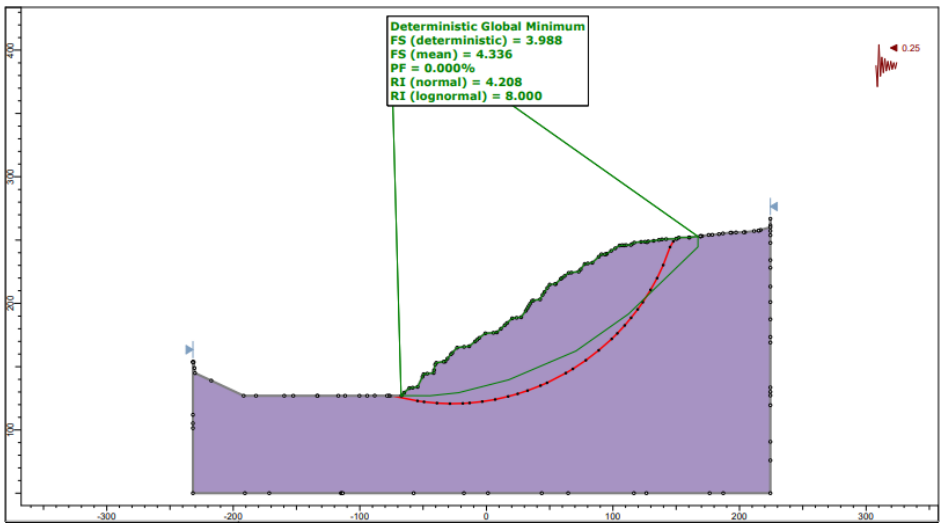
http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13840



Gambar-7. FK Hasil Analisis 3D



Gambar-8. *Slip surface* Analisis 3D



Gambar-9. FK Hasil Analisis 2D

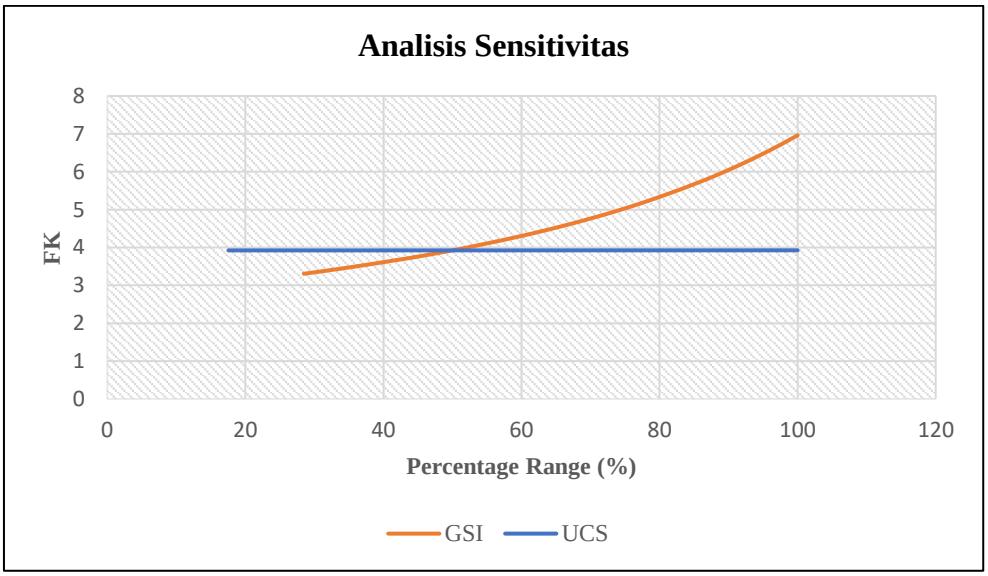
http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13840

Rekapitulasi nilai FK dan Probabilitas Kelongsoran pada Metode 3D dan 2D disajikan pada Tabel-3.

Tabel-3. Rekapitulasi FK 3D dan 2D

Cross-Section	FK 2D	FK 3D	PF 2D (%)	PF 3D (%)
A-A'	3.988	4.78	0	0
B-B'	3.814			
C-C'	3.848			

Berdasarkan rekapitulasi FK dari Tabel-3 menunjukkan bahwa FK 3D lebih besar dari 2D, yaitu 4.78 berbanding 3.9 dengan probabilitas kelongsoran 0% untuk kedua metode analisis, rasio FK 3D/2D 1.22, dan Estimasi Volume potensi longsoran 1,551,700 m^3. Terdapat reduksi FK sebesar 18.41% dari metode numerik 3D dan 2D, dengan kondisi seperti ini harusnya lereng masih bisa dioptimalkan Kembali agar target produksi yang ditetapkan perusahaan tercapai. FK 3D lebih besar dari FK 2D hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh rasio lebar lereng dengan tinggi lereng. Dalam analisis 2D, besar lebar lereng dianggap tidak terbatas, sedangkan dalam analisis 3D besar lebar lereng memiliki batasan. Oleh karena itu hasil yang diperoleh pasti berbeda, baik besar nilai FK maupun lokasi bidang longsornya [1]. Analisis 3D juga mengakomodir variasi dari model geologi dari boundary yang dimasukkan, sehingga dapat di simpulkan metode 3D lebih representative dalam analisis kestabilan lereng karena memperhitungkan rasio lebar dan tingggi lereng sesuai dengan kondisi lapangan dan mengakomodir variasi dari model geologi pada lereng. Hasil analisis sensitivitas dengan parameter input GSI dan UCS disajikan pada Gambar-10.



Gambar-10. Analisis Sensitivitas Kuari Andesit

Hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa parameter GSI menjadi parameter paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng, karena menyebabkan perubahan FK yang besar terhadap kenaikan nilai GSI untuk setiap persennya. Penyebab lain parameter GSI menjadi parameter paling sensitif dikarenakan lereng yang diteliti merupakan lereng keseluruhan, dimana keruntuhan lereng dipengaruhi oleh kekuatan massa batuan. Sedangkan pada lereng tunggal, Bidang kekar dianggap lebih berperan dalam mengendalikan kekuatan batuan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perbedaan FK pada metode 3D dan 2D disebabkan karena perbedaan asumsi lebar lereng, dimana metode 2D menganggap lebar lereng tidak terbatas, sedangkan metode 3D membatasi lebar lereng sesuai dengan kondisi aktual dilapangan, hasilnya terlihat dari FK yang dihasilkan kedua metode tersebut, dimana FK 3D sebesar 4.78 dan FK 2D sebesar 3.9. artinya metode 2D diterapkan untuk kondisi pesimis pada analisis kestabilan lereng, sedangkan metode 3D menerapkan analisis sesuai dengan kondisi aktual dilapangan sehingga hasilnya lebih optimis dan berguna untuk desain optimasi dari lereng tambang.

Pengembangan riset penelitian bisa diterapkan pada litologi yang lebih kompleks seperti batubara atau emas, sehingga pengaruh heterogenitas dari material dan struktur lebih jelas terlihat nantinya ketika dianalisis menggunakan metode 3D.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Labortaorium Asia Rock Test atas bantuannya dalam proses pengujian sampel batuan pada penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

[1] Arief, M.H., Widodo, N.P., dan Prassetyo, S.H. 2020. Studi pengaruh geometri lereng pada analisis kemantapan lereng 2D dan 3D dengan metode kesetimbangan batas. *Indonesian mining professionals journal*. Vol 2, no 2, hal 51-56.

[2] Chakraborty, A., dan Goswami, D. 2016. Three Dimensional (3D) Slope-Stability Analysis. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 10(5), hal 493–498.

[3] Chakraborty, A., dan Goswami, D. 2018. Three-dimensional (3D) slope stability analysis using stability charts, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 6362, hal 1–8.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13840

[4] Alexandre, Gilberto. "Comparison between a slope stability method with radial slices and the General Limit Equilibrium formulation." (2021).
[5] Sari, P. T. K., YE SAVITRI PUTRI, and AMALIA YR. "The comparison between 2-D and 3-D slope stability analysis based on reinforcement requirements." International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology 10.5 (2020): 2082-2088.
[6] Hovland, H.J. 1977. Three-dimensional slope stability analysis method. *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*. 103, hal 971-986.

http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13840