



PERANCANGAN PROGRAM FAKTOR KEAMANAN LERENG MENGUNAKAN MATLAB PADA PT. ANTAM (PERSERO) Tbk UBPN MALUKU UTARA SITE PAKAL

George Belly Sahetapy^{1*}, Patrick Marcell Fandy² dan Remuz MB Kmurawak³

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Unkhair, Ternate

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Uncen, Jayapura

³Program Studi Sistem Informasi, Fakultas MIPA Uncen, Jayapura

*Corresponding author: georgesahetapy@unkhair.ac.id

Article History

Received : 4 Januari 2022

Revised : 24 Februari 2022

Accepted : 1 April 2022

Abstrak

Analisis kestabilan lereng merupakan salah satu persoalan yang dihadapi dalam pekerjaan geoteknik di dunia tambang, hal ini bertujuan untuk menentukan bidang longsor dan menghitung faktor keamanan lereng. Bahasa pemrograman *Matrix Laboratory* (MATLAB) dibuat untuk menghitung nilai Faktor Keamanan Minimum menggunakan metode Bishop disederhanakan untuk menganalisis kestabilan lereng tunggal dengan material homogen dan mempertimbangkan pengaruh *phreatik surface* atau kondisi air tanah dinamai Geomath Slope. Nilai standar faktor keamanan lereng tunggal adalah 1,3 [1], standar nilai FK ini digunakan oleh PT. ANTAM Tbk UBPN Maluku Utara sebagai standar untuk menganalisis kestabilan lereng. Hasil penelitian ini, nilai Faktor Keamanan lereng minimum *Front Subaim* secara manual dan Geomath Slope diperoleh FK_{min} adalah 2,5801 dan 2,5861 ($FK_{min} > FK_{standar}$) sehingga kondisi lereng aman. Pada *Front Best* nilai Faktor Keamanan lereng minimum secara manual dan Geomath Slope masing-masing adalah 1,8251 dan 1,8767 ($FK_{min} > FK_{standar}$) dengan kondisi lereng aman. Secara keseluruhan rata-rata perbedaan perhitungan faktor keamanan minimum secara manual dan program Geomath Slope tidak lebih dari 1,49%.

Kata kunci : Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, Metode Bishop disederhanakan, MATLAB

Abstract

Slope stability analysis is one of the problems faced in geotechnical work in the mining world which aims to determine the failure area and calculate the factor of safety (FoS). The Matrix Laboratory (MATLAB) programming language was created to calculate the minimum Factor of Safety using the Simplified Bishop Method that can analyze the stability of a single slope with homogeneous material and consider the effect of the phreatic surface or groundwater conditions called Geomath Slope. The factor of safety is 1,3 [1]. This FoS value standard is used by PT. Antam Mining Business Unit, Maluku Utara as a reference to analyze slope stability. The result of this study shows that FoS_{min} at Front Subaim manually and Geomath Slope are 2,5801 and 2,5861 ($FoS_{min} > FoS_{standard}$) with a stable slope. Front Best, FoS_{min} manually, and GEOMATH SLOPE are 1,8251 and 1,8767 ($FoS_{min} > FoS_{standard}$) with a stable slope. Overall, the average between the two methods shows variants of under 1,49%.

Keywords : Slope Stability, Factor of Safety, Simplified Bishop Method, MATLAB

1. Pendahuluan

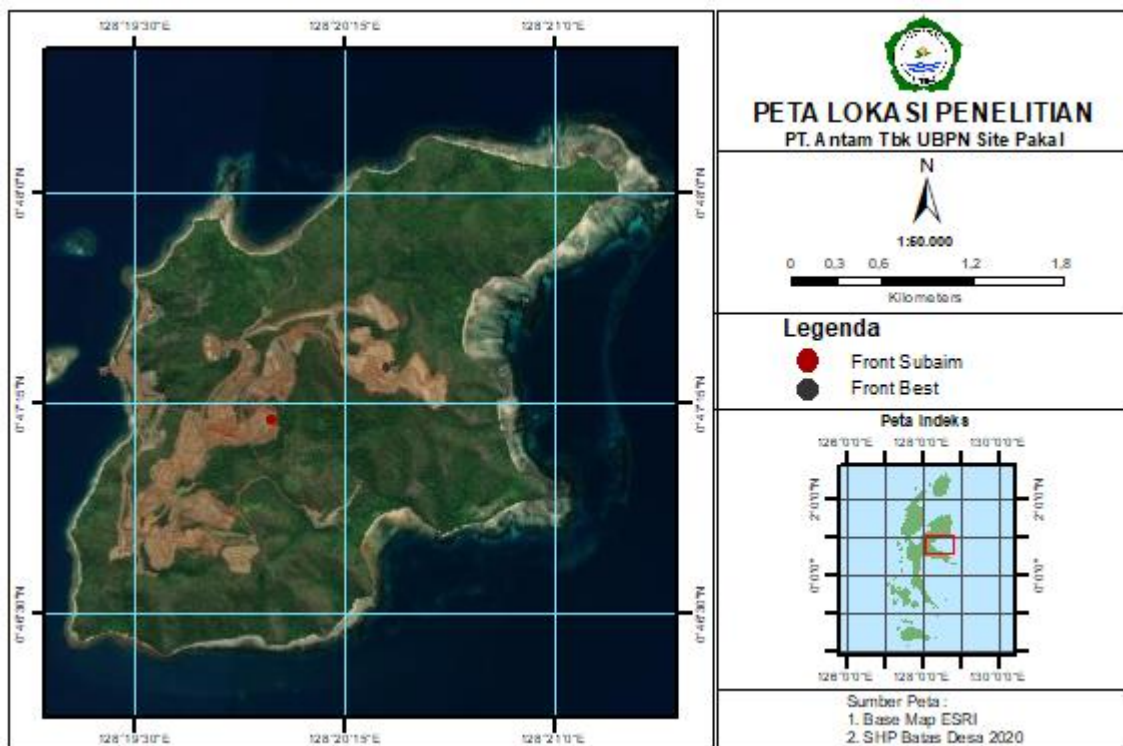
PT. Aneka Tambang (Persero) Tbk, Unit Bisnis Pertambangan Nikel (UBPN) Maluku Utara Site Pulau Pakal adalah perusahaan tambang yang melakukan aktivitas penambangan menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode penambangan dengan pola berjenjang yakni *Open Cast* dan *Open Pit*. Dengan pola penambangan tersebut, memungkinkan terjadi longsor. Oleh sebab itu, perlu adanya analisis kestabilan lereng. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas akan diterapkan pada lereng tanah. Salah satu metode kesetimbangan batas adalah metode Bishop, analisis menggunakan metode Bishop bila dikerjakan secara manual akan memakan waktu yang lama, karena perhitungan dilakukan secara coba-banding [2].

Untuk membantu mempercepat perhitungan, saat ini telah tersedia program komputer untuk menganalisis kestabilan lereng dengan metode yang berbeda-beda. Mengacu pada penelitian terdahulu [3] pada penelitian ini mengembangkan pemrograman menggunakan bahasa program *Matrix Laboratory* (MATLAB) untuk menganalisis kestabilan lereng dengan memodelkan persamaan faktor keamanan lereng yang menggunakan metode Bishop disederhanakan dengan menambahkan faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng yang digunakan adalah *phreatik surface* atau kondisi air tanah. Lereng yang dianalisis adalah kondisi lereng jenuh (tinggi muka air tanah sama dengan tinggi irisan). Batasan lereng yang dikaji adalah lereng tunggal dengan kondisi tanah homogen.

2. Metode

Lokasi Penelitian

Secara administratif PT. Antam (Persero) Tbk, UBPN Site Pakal Maluku Utara terletak di Kecamatan Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. Secara geografis site Pulau Pakal terletak pada koordinat $128^{\circ}19'30''$ - $128^{\circ}21'54''$ Bujur Timur (BT) sampai dengan $0^{\circ}48'18''$ - $0^{\circ}46'30''$ Lintang Utara (LU).



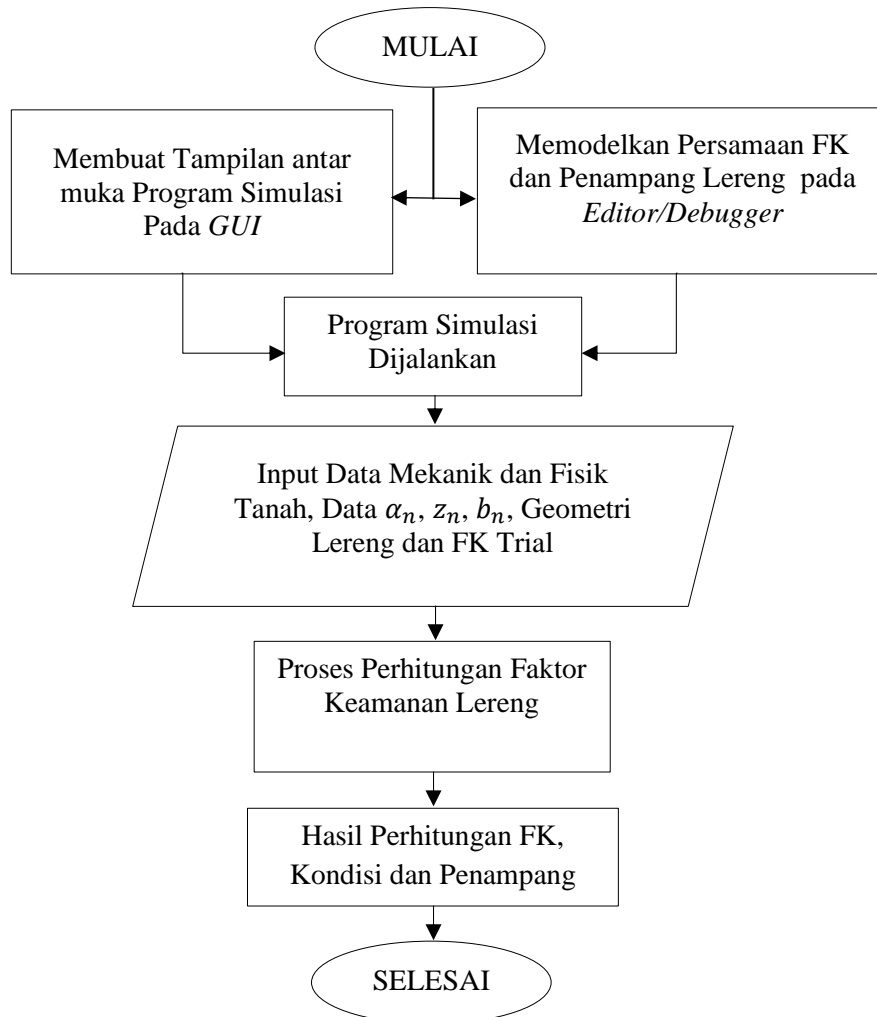
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang paling sering digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng. Prinsip metode ini, model bidang runtuh harus ditentukan terlebih dahulu kemudian dibagi menjadi beberapa irisan, minimal 5 irisan untuk kasus sederhana [4]. Beberapa metode kesetimbangan batas yang sering digunakan Metode irisan biasa (*Ordinary Method of Slice*), Metode Bishop disederhanakan (*Simplified Bishop's Method*), Metode Janbu yang disederhanakan (*Simplified*

MATLAB

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik yang merupakan bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [5]. MATLAB telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi *built-in* untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga berisi *toolbox* yang berisi fungsi-fungsi tambahan untuk aplikasi khusus. MATLAB bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada *library* ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu.

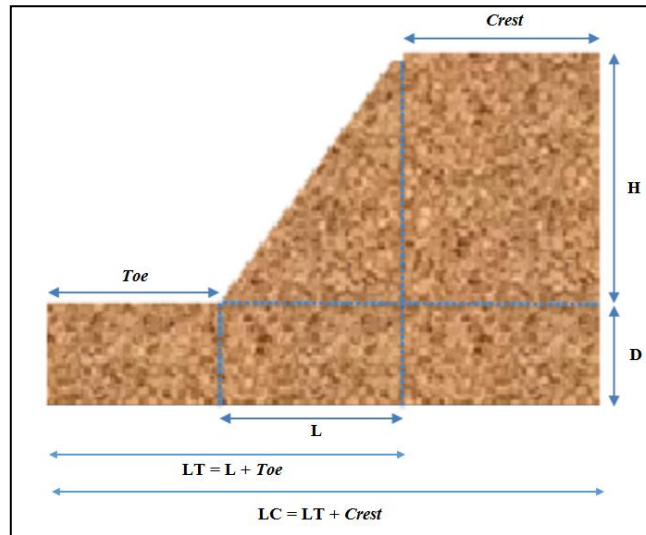


Gambar 3. Alogaritma Program [6]

Adapun penjelasan Alogaritma Program (Gambar 3) sebagai berikut:

a. Pemodelan Bentuk Lereng

Mendesain geometri lereng dengan pendekatan desain secara teknis disertai dengan koordinat masing-masing titik yaitu *Toe* ($Toe, 0$), *Crest* (LC, H), H (LC, H), D (LC, D). Seperti terlihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Pendekatan Model Lereng pada GEOMATH SLOPE [6]

- b. Menentukan besarnya jari-jari lingkaran longsor (R).

Penentuan titik pusat rotasi lingkaran longsor ditentukan secara acak saat penggambaran manual.

Dari hasil penggambaran model lereng kita peroleh data :

X_p = adalah absis Pusat Lingkaran longsor

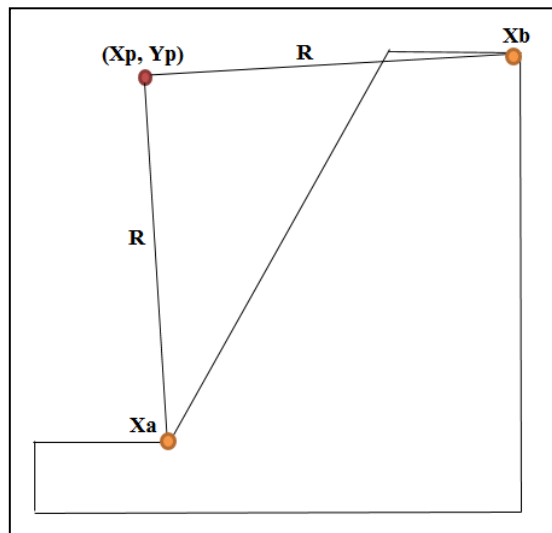
Y_p = adalah ordinat Pusat Lingkaran longsor

X_a = adalah absis awal masuk Lingkaran longsor

Sehingga kita bisa menghitung nilai dari jari-jari (R) dan absis akhir (X_b) lingkaran longsor dengan persamaan :

$$R = \sqrt{Y_p^2 + (X_a - X_p)^2} \quad (5)$$

$$X_b = R + X_p \quad (6)$$



Gambar 5. Model Lereng dengan Jari – jari Lingkaran Longsor [6]

- c. Penggambaran Lingkaran Busur Longsor

Untuk menentukan titik-titik potong bidang gelincir dengan garis lereng maupun dengan garis lapisan dengan cara membuat suatu fungsi dari persamaan yang akan dicari titik potongnya. Adapun persamaan tersebut

- a. Titik absis Busur Lingkaran Longsor

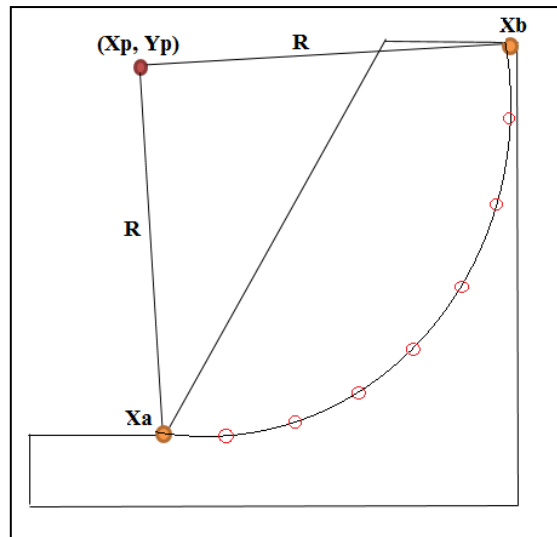
$$X_{busur(1)} = X_a \quad (6)$$

$$X_{busur(n)} = X_{busur(n-1)} + b \quad (6a)$$

- b. Titik Ordinat Busur Lingkaran Longsor

$$Y_{busur(1)} = 0 \quad (7)$$

$$Y_{busur(n)} = Y_{busur(n-1)} + \tan \alpha_n \times b \quad (7a)$$



Gambar 6. Model Lereng dengan Busur Lingkaran Longsor [6]

d. Perhitungan Faktor Keamanan

Adapun persamaan yang digunakan untuk mengitung faktor keamanan minimum

a. Menentukan Berat Irisan Tanah

$$W_n = \gamma b z_n \quad (8)$$

b. Menentukan Gaya Kohesi Irisan

$$cb = c \times b \quad (9)$$

c. Menentukan Bagian cos persamaan koefisien sudut Bishop Irisan

$$\cos \alpha_n = \cos(\alpha_n) \quad (10)$$

d. Menentukan Bagian sin persamaan koefisien sudut Bishop Irisan

$$\sin \alpha_n = \sin(\alpha_n) \quad (11)$$

e. Menentukan Bagian tan persamaan koefisien sudut Bishop Irisan

$$\tan \phi = \tan(\phi) \quad (12)$$

f. Menentukan Bagian $m_{\alpha(n)}$ persamaan koefisien sudut Bishop Irisan

$$m_{\alpha(n)} = 1 / \left(\cos \alpha_n + \frac{\sin \alpha_n \tan \phi}{FK \text{ Trial}} \right) \quad (13)$$

g. Menentukan Bagian tekanan air pori persamaan Bishop Irisan

$$u_n = \gamma_w z_n \quad (14)$$

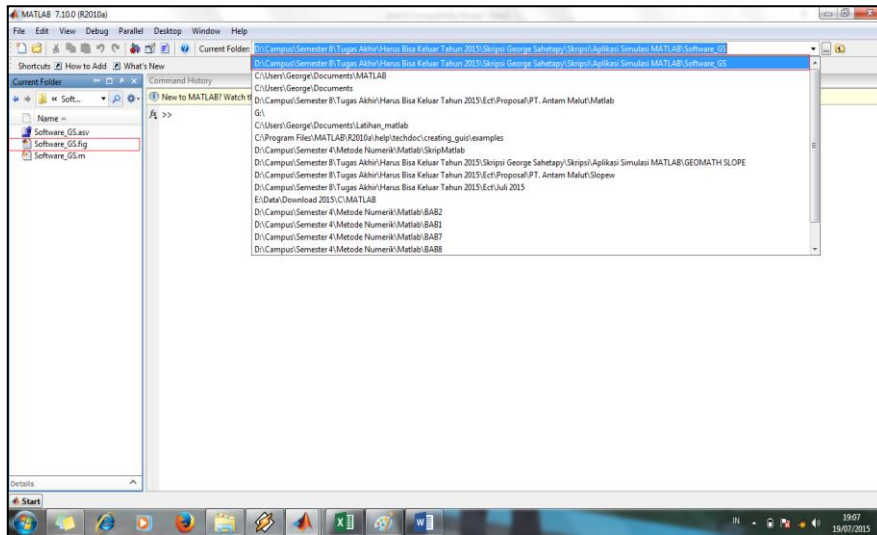
h. Menghitung nilai Faktor Keamanan menggunakan persamaan (1)

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' b_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi'] \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (15)$$

e. Program Dijalankan

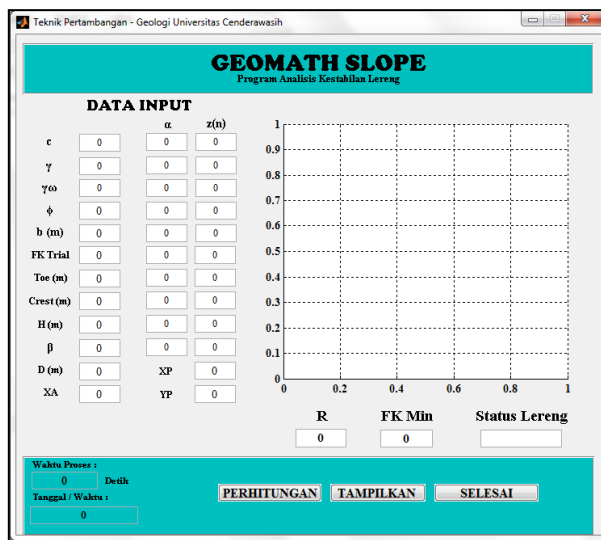
Program yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman MATLAB dan diberi nama Geomath Slope. Langkah-langkah penggunaan program simulasi Geomath Slope adalah sebagai berikut:

- a. Jalankan program MATLAB, *property window* MATLAB akan terlihat seperti pada Gambar 7. Pilih lokasi direktori kerja kemudian pilih Software_GS.fig.



Gambar 7. Tampilan Awal Window dalam MATLAB [6]

b. Klik Dua Kali pada *file* bernama Software_GS.fig Maka akan muncul gambar ini:



Gambar 8. Tampilan Awal Program GEOMATH SLOPE [6]

f. Penginputan data

Selanjutnya silahkan masukkan data tanah dan data geometri/dimensi pada kolom Data Input. γ adalah berat jenis tanah, c adalah kohesi tanah. ϕ adalah sudut geser tanah, γ_w adalah berat jenis air. Data input lainnya adalah dimensi lereng berdasarkan penggambaran manual. Data input tersebut berupa $\alpha_{(n)}$, $z_{(n)}$ adalah tinggi irisan ke n dan $b_{(n)}$ adalah lebar irisan ke n , lebar *toe*, lebar *crest*, H tinggi lereng, β adalah kemiringan lereng, D kedalaman tanah dasar, XA adalah absis awal masuk lingkaran longsor, XP adalah absis pusat lingkaran longsor dan YP adalah ordinat pusat lingkaran longsor. Pada penelitian ini lereng yang dianalisis adalah lereng jenuh ketika nilai $h_{(n)}$ dan $z_{(n)}$ adalah sama.

GEOMATH SLOPE
Program Analisis Kestabilan Lereng

DATA INPUT

	α	$z(n)$
c	6	0.4341
γ	11	1.2689
γ_{so}	17	2.0483
ϕ	22	2.7709
b (m)	29	3.4279
FK Trial	35	4.0075
Toe (m)	42	4.5001
Crest (m)	50	4.0149
H (m)	59	3.2693
β	68	2.0720
D (m)	XP	1.7157
XA	YP	5.6610

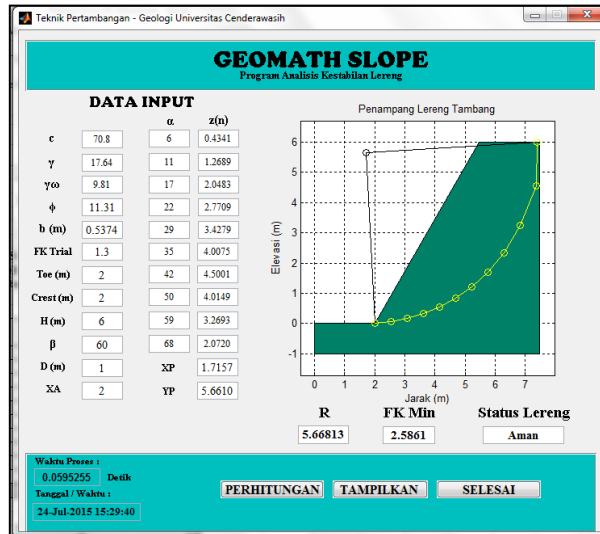
Waktu Proses : 0 Detik
Tanggal / Waktu : 0

PERHITUNGAN TAMPILKAN SELESAI

R: 0, FK Min: 0, Status Lereng: 0

Gambar 9. Proses *Input* Data Program GEOMATH SLOPE [6]

- g. Menampilkan FK minimum dan model lereng tambang.
Setelah data input selesai diisi. Klik tombol PERHITUNGAN dan TAMPILKAN di bawahnya.
Maka akan tampil seperti ini.



Gambar 10. Tampilan Hasil Perhitungan Faktor Keamanan Minimum [6]

- Berdasarkan Gambar 10 hasil perhitungan Faktor Keamanan Lereng (FK Minimum) sebesar 2,5861 dengan kondisi lereng Aman, Jari-jari lingkaran longsor (R) adalah 5,6539 meter dan waktu perhitungan adalah 0,0595255 detik.
- h. Selesai.
Setelah hasil pengolahan data ditampilkan, klik tombol SELESAI untuk menutup Geomath Slope.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan data karakteristik Material pada kedua Front Penelitian dan Geometri Model yang digunakan untuk mengestimasi faktor keamanan lereng minimum.

Tabel 1. Data Karakteristik Material dan Geometri Model [6]

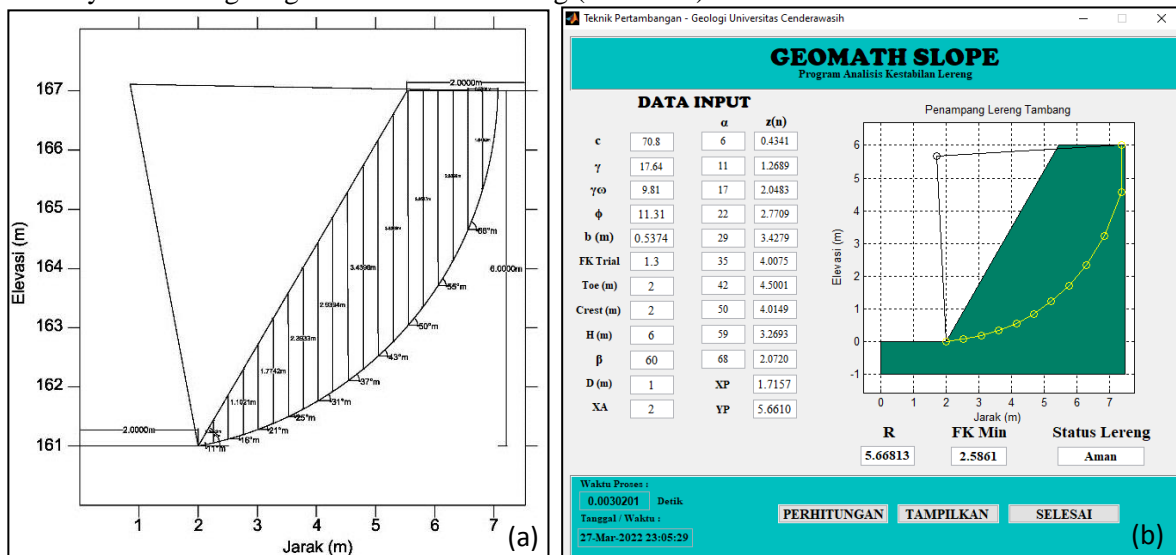
No.	Data	Nilai		Satuan
		Front Subaim	Front Best	
1	Tinggi Lereng	6	6	m
2	Kemiringan Lereng	60	55	(°)
3	Lebar toe	2	2	m
4	Lebar crest	2	2	m
5	Kohesi	70,8	3,4	kN/m ²
6	Sudut Geser Dalam	11,31	82,22	(°)
7	Berat Jenis Wet	17,64	17,16	kN/m ³
8	Berat Jenis Air	9,81	9,81	kN/m ³
9	Tipe Lereng	Homogen	Homogen	
10	Metode Analisis	Bishop	Bishop	
11	FK standar	1,3	1,3	

Berdasarkan hasil perhitungan Tabel 2 menunjukkan bahwa presentasi selisih antara nilai faktor keamanan lereng yang diperoleh dari perhitungan manual dan bahasa pemrograman Geomath Slope. Pada Front Subaim diperoleh selisih faktor keamanan lereng sebesar 0,23% dengan kondisi lereng aman dan Front Best diperoleh selisih nilai faktor keamanan lereng sebesar 2,75%. Secara keseluruhan rata-rata perbedaan perhitungan faktor keamanan tidak lebih dari 1,49%.

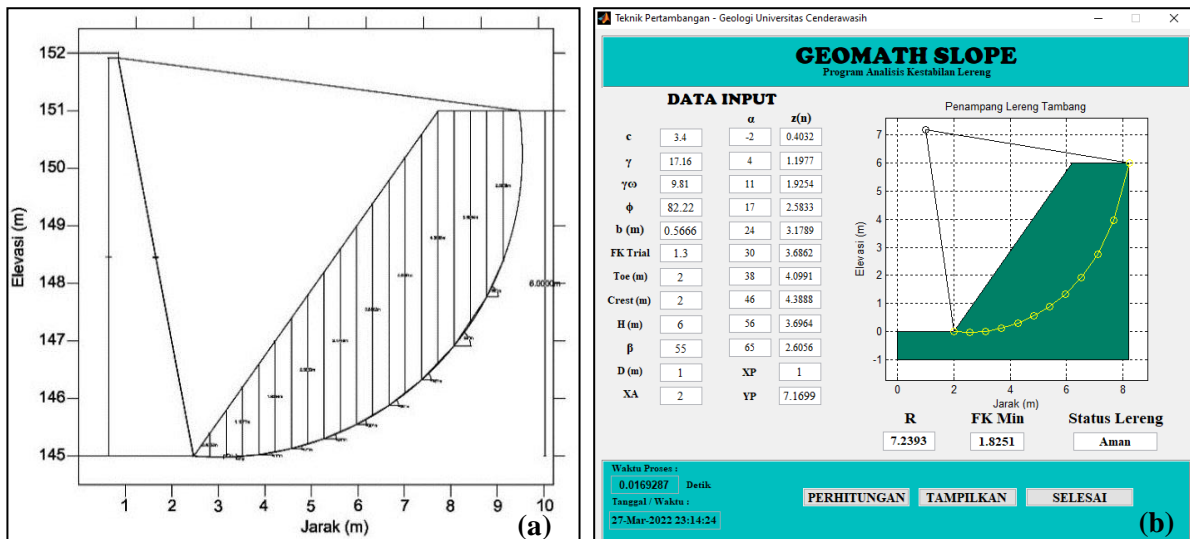
Tabel 2. Perbandingan Nilai Faktor Keamanan Lereng Minimum

Lokasi	FK _{min}			Selisih (%)
	Standar	Manual	Geomath	
Front Subaim	1,3	2,5801	2,5861	-0,23%
Front Best	1,3	1,8767	1,8251	2,75%
Perbedaan Rata - Rata				1,49%

Keluaran lingkaran busur atau kritis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Letak bidang longsor yang ditampilkan bahasa pemrograman tidak jauh berbeda dengan penggambaran manual yakni bidang longsor melalui kaki lereng (*toe circle*).



Gambar 11. (a) Model lereng 1 secara manual, (b) Hasil pemodelan GEOMATH SLOPE [6]



Gambar 12. (a) Model lereng 2 secara manual, (b) Hasil pemodelan GEOMATH SLOPE [6]

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Kestabilan lereng tunggal pada lokasi penelitian 1 kondisi aman, berdasarkan perhitungan secara manual dan bahasa pemrograman Geomath Slope nilai Faktor keamanan diperoleh berturut-turut 2,5801 dan 2,5861 ($FK_{\min} > FK_{\text{Standar}}$)
2. Kestabilan lereng tunggal pada lokasi penelitian 2 kondisi aman, berdasarkan hasil perhitungan secara manual dan bahasa pemrograman Geomath Slope nilai Faktor keamanan diperoleh berturut-turut 1,8767 dan 1,8251. ($FK_{\min} > FK_{\text{Standar}}$)
3. Secara keseluruhan rata-rata perbedaan perhitungan faktor keamanan minimum secara manual dan bahasa pemrograman Geomath Slope tidak lebih dari 1,49%.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Satuan Kerja *Grade Control* PT. Aneka Tambang, Tbk. atas dukungan serta izin yang diberikan selama penulis melakukan penelitian di wilayah kerja yakni *Site* Pulau Pakal. Terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam aktivitas penelitian.

6. Referensi

- [1] Cabri, L. J, Laflamme J. H. Gilles, *Canmet Report 79-27*, Can Mineral, Canada, 1979.
- [2] Hardiyatmo, H.C. "*Mekanika Tanah 2*", UGM Press, Yogyakarta, 2007.
- [3] Supriyadi, J., dan Widiyanti, A., Interpretasi Letak Bidang Longsor dan Faktor Aman Lereng dengan Bahasa Pemrograman MATLAB.
- [4] Bishop, A.W., "*The use of Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*", Geotechnique, 1955.
- [5] Abdia Away, Gunaidi, "*The Shortcut of MATLAB Programming*, Edisi Revisi", Informatika Bandung, Bandung, 2014.
- [6] Sahetapy, G.B., "Perancangan Program Faktor Keamanan Menggunakan MATLAB Pada PT. Antam (Persero) Tbk UBPN Site Pakal Provinsi Maluku Utara", Universitas Cenderawasih, Laporan Tugas Akhir, 2015.