

Interpretasi Letak Bidang Longsor dan Faktor Aman Lereng dengan Bahasa Pemrograman MATLAB

(Sliding Plane Position and Safety Factor Interpretations using MATLAB)

JOKO SUPRIYADI, ANITA WIDIANTI

ABSTRACT

Slope stability analyses can be performed using computer program, such as Matrix Laboratory (MATLAB). In the current work, a computer program for slope stability analysis named JOZLOPE based on MATLAB and using Bishop simplified analysis method was used to determine the location of a slip surface and its safety factor. The validation is carried out by analyzing three simple slope models and comparing their results by JOZLOPE and some comparator slope stability analysis programs. It is found that the variations between JOZLOPE's results and those of the comparators are less than 1% for bottom circle-slope geometry intersection, less than 7% for top circle-slope geometry intersection and less than 4% for Safety Factor. These findings demonstrates that the a MATLAB program is successfully compiled and it produced measured values that agree with those of their respective comparator.

Keywords: slip surface, Safety Factor, MATLAB

PENDAHULUAN

Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk menentukan lokasi bidang longsor yang berpotensi mengalami kelongsoran, dan faktor aman dari lereng tersebut. Metode Bishop merupakan salah satu metode keseimbangan batas, dan merupakan metode yang cukup akurat untuk analisis stabilitas lereng. Analisis dengan menggunakan metode Bishop tersebut membutuhkan waktu yang lama apabila dihitung secara manual, karena perhitungan dilakukan secara coba-banding (*trial and error*) (Hardiyatmo, 2007). Untuk membantu mempercepat perhitungan, saat ini telah tersedia banyak program komputer yang menggunakan suatu bahasa pemrograman tertentu dengan berdasarkan metode analisis tertentu. Di antara bahasa pemrograman yang cukup memadai untuk keperluan ini adalah bahasa pemrograman *Matrix Laboratory* (MATLAB) (Ari, 2008). Dalam penelitian ini akan dibuat suatu program komputer berbasis bahasa pemrograman MATLAB untuk menentukan lokasi bidang longsor dan nilai faktor aman dari suatu lereng, dengan batasan lereng yang dikaji adalah lereng dua dimensi

yang mengalami longsor di kaki dan dasar lereng, kondisi tanahnya homogen dan kering, tanpa retakan, tanpa pengaruh gaya eksternal seperti gempa atau beban lalu lintas kendaraan. Sebagai program pembanding untuk validasi adalah program analisis stabilitas lereng SLIDE, STABLE, XSTABL dan GALENA.

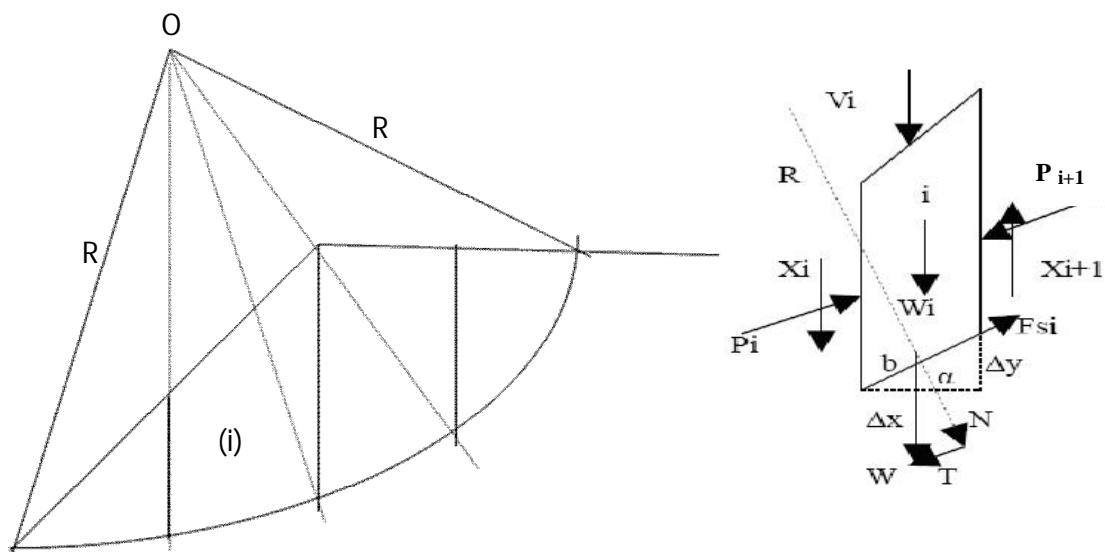
Metode Bishop Disederhanakan

Kebanyakan peristiwa lereng longsor terjadi dengan bentuk bidang longsor berupa lingkaran (Collin, 1846 dalam Hardiyatmo, 2007). Dalam metode Bishop lereng tanah dibagi menjadi beberapa buah pias/irisan vertikal seperti dalam Gambar 1. Stabilitas setiap pias dihitung secara terpisah (Das, 1990).

Digunakan asumsi letak garis kerja berat pias ke i (W_i) pada titik tengah area pias, diperoleh hubungan (Bowles, 1984):

$$N_i = (W_i) \cdot \cos \alpha_i \quad (1)$$

$$T_i = (W_i) \cdot \sin \alpha_i \quad (2)$$



GAMBAR 1. Analisis stabilitas lereng dengan metode Bishop (Bowles, 1984)

$$b_i = \frac{\Delta x_i}{\cos \alpha_i} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} F_{si} &= N_i \tan \phi + cb \\ &= (W_i) \cos \alpha_i \tan \phi + c \frac{\Delta x}{\cos \alpha_i} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\alpha_i = \arctan\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) \quad (5)$$

dengan:

- i : nomor urut pias,
- W_i : berat pias ke -i (kN),
- N_i : beban tegak lurus pada dasar pias ke -i (kN),
- T_i : vektor gaya berat W_i sejajar dasar pias (kN),
- F_{si} : gaya tahan geser (kN),
- b_i : lebar alas pias (m),
- Δx : jarak horisontal antar pias (m),
- Δy : jarak vertikal antar pias (m),
- α : sudut kemiringan pias ke -i ($^\circ$),
- c : kohesi (kN/m^2),
- ϕ : sudut gesek internal ($^\circ$).

Keseimbangan momen di sekitar titik O (pusat lingkaran longsor) adalah jumlah momen dari semua pias yang ada di dalam lingkaran bidang

longsor, dirumuskan dalam Persamaan 6 (Bowles, 1984).

$$\sum R F_{si} - \sum R W_i \sin \alpha_i = 0 \quad (6)$$

dengan:

- R : Jari-jari lingkaran bidang longsor (m),
- F_{si} : Gaya tahan geser tanah (kN).

Faktor aman (FS) lereng dari bahaya longsor dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (7).

$$FS = \frac{\sum \left[\frac{[c \Delta x_i + \tan \phi \{W_i\}] FS}{FS \cos \alpha_i + \tan \phi \sin \alpha_i} \right]}{\sum (W_i) \sin \alpha_i} \quad (7)$$

Menurut Bowles (1984), suatu analisis iteratif diperlukan untuk menentukan FS dalam Persamaan (7) di atas, karena FS terdapat di kedua sisi persamaan. Pemrograman pada komputer akan memberikan pemecahan yang cepat setelah beberapa putaran (biasanya 2 atau 3 kali).

Bahasa Pemrograman MATLAB

Software Matrix Laboratory (MATLAB) dibuat oleh The Mathworks.inc (Away, 2006). MATLAB dikembangkan sebagai bahasa

pemrograman sekaligus sebagai alat visualisasi, yang menawarkan banyak kemampuan untuk menyelesaikan berbagai kasus yang berhubungan langsung dengan disiplin ilmu matematika, seperti bidang rekayasa teknik, fisika, statistika, komputasi dan *modelling*. Kelebihan MATLAB terletak pada kemudahan manipulasi struktur matriks, jumlah *routine-routine* yang berlimpah dan terus berkembang, kekuatan fasilitas grafik tiga dimensi yang sangat memadai, sistem *scripting* yang memberikan keleluasaan bagi pengguna untuk mengembangkan dan memodifikasi *software* untuk kebutuhan sendiri, kemampuan *interface* (misal dengan bahasa C, *word* dan *mathematica*) dan dilengkapi dengan *toolbox*.

Pencarian Otomatis Lokasi Bidang Longsor

Permasalahan utama dalam analisis stabilitas lereng adalah menentukan permukaan bidang longsor (Bardet dan Kapuskar, 1989). Kesalahan analisis stabilitas lereng tidak banyak disebabkan oleh bentuk anggapan bidang longsor, akan tetapi oleh kesalahan dalam penentuan lokasi bidang longsor kritisnya (Bowles, 1984).

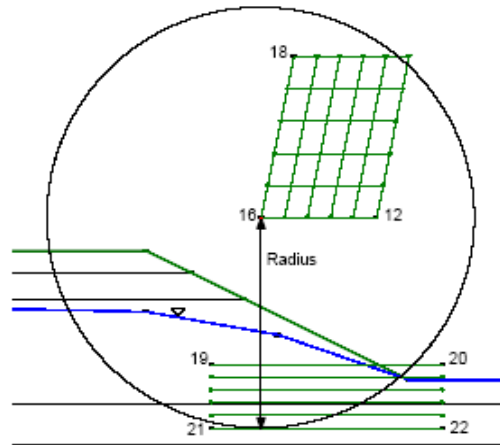
Menurut Hardiyatmo (2007), dalam metode komputasi, untuk menemukan permukaan bidang longsor diperlukan prosedur coba-banding (*trial and error*). Suatu permukaan bidang longsor potensial dibuat dan nilai FSnya dihitung. Hal ini diulang untuk sejumlah permukaan bidang longsor coba-coba. Di akhir perhitungan, permukaan bidang longsor dengan nilai FS terendah ditentukan sebagai permukaan bidang longsor kritis (*critical failure surface*).

Saat ini analisis stabilitas lereng banyak dilakukan dengan menggunakan bantuan komputer (Bardet dan Kapuskar, 1989). Prosedur penentuan posisi permukaan bidang longsor coba-coba menggunakan komputer terbagi menjadi dua macam, yakni metode grid-jejari (*The Grid and Radius Method*) dan metode masuk-keluar (*The Entry And Exit Method*) (SLOPE/W Guidebook, 2008).

Metode grid-jejari mengasumsikan terdapatnya suatu area pencarian berupa grid-grid dan tersedianya garis-panduan yang tersusun paralel (Gambar 2).

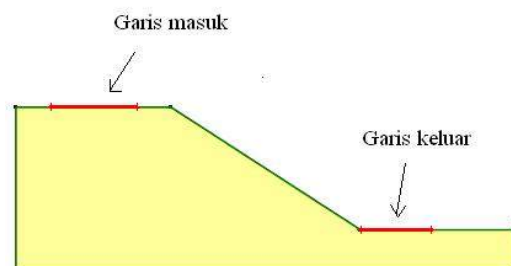
Tiap titik pada grid merupakan titik pusat lingkaran coba-coba dan garis yang

menghubungkan titik pusat itu secara tegak lurus dengan salah satu garis panduan adalah jari-jari lingkaran tersebut. Persamaan lingkaran longsor dibuat berdasarkan titik pusat dan nilai jejari yang didapatkan. Pencarian lokasi bidang longsor dilakukan dengan cara optimasi sekumpulan persamaan lingkaran longsor yang dihasilkan oleh sejumlah titik grid yang diasumsikan.



GAMBAR 2. Metode grid-jejari (SLOPE/W Guidebook, 2008)

Salah satu kesulitan dalam penggunaan metode grid-jejari adalah visualisasi batas-batas permukaan bidang longsor coba-coba (SLOPE/W Guidebook, 2008). Kesulitan ini dapat diatasi dengan cara menentukan lokasi awal permukaan bidang longsor coba-coba akan memasuki permukaan tanah dan akhir bidang longsor. Teknik ini disebut sebagai metode masuk-keluar (SLOPE/W Guidebook, 2008). Dalam metode ini, suatu persamaan lingkaran longsor dibuat berdasarkan optimasi titik-titik di area masuk dan keluar yang diasumsikan tanpa penggunaan area grid (Gambar 3).



GAMBAR 3. Metode masuk-keluar (SLOPE/W Guidebook, 2008)

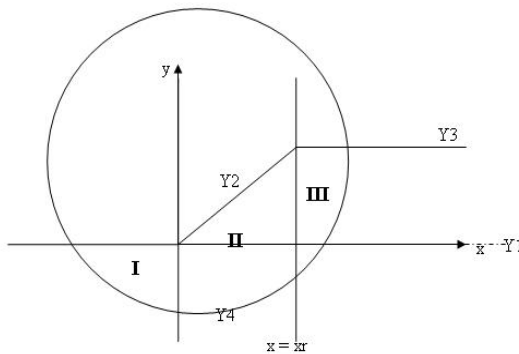
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap dengan cara merumuskan persamaan lingkaran longsor potensial, merancang algoritma program, membuat model program menggunakan bahasa pemrograman MATLAB dan melakukan validasi program dengan cara membandingkan hasil analisis terhadap beberapa model lereng sederhana menggunakan program yang dibuat dengan program komputer analisis stabilitas lereng yang lain.

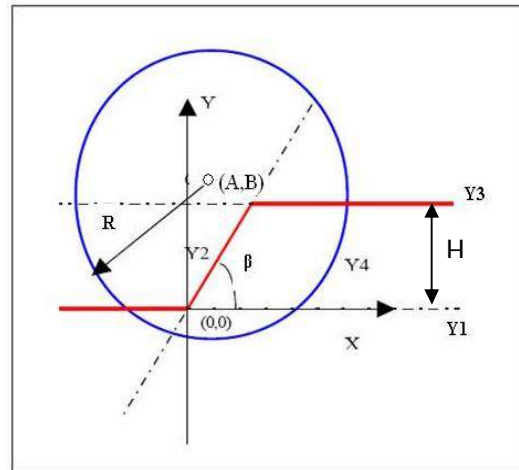
Persamaan Lingkaran Longsor

Suatu sistem koordinat kartesian dua dimensi diterapkan pada model grafis lereng, kemudian lereng dibagi-bagi dalam tiga bidang longsor (Gambar 4). Parameter persamaan lingkaran longsor dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

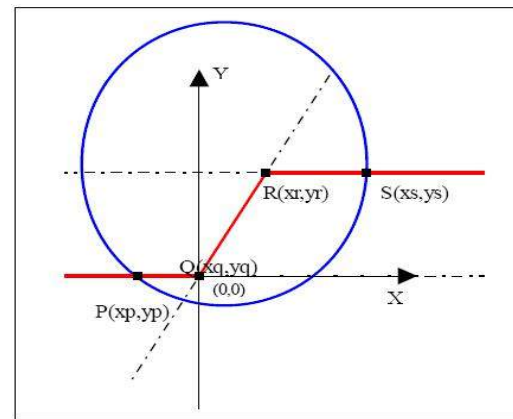
Berdasarkan model grafis tersebut dibuat persamaan lingkaran longsor yang dapat diidentifikasi dari data propertis tanah (c, γ, ϕ) dan variabel lingkaran (A, B dan x_p) seperti pada Persamaan 8 sampai dengan 17.



GAMBAR 4. Tiga bidang longsor lereng



GAMBAR 5. Ilustrasi persamaan garis utama



GAMBAR 6. Ilustrasi persamaan titik utama

$$FS = \frac{\sum_h^m \left(\sum_i^n \left(c \int_{x_i}^{x_{i+1}} \sqrt{1 + \left(\frac{d(Y_4)}{dx} \right)^2} dx \cos \alpha_i + \gamma \tan \phi \int_{x_i}^{x_{i+1}} (Y_h - Y_4) dx \right) \frac{FS}{FS \cos \alpha_i + \tan \phi \sin \alpha_i} \right)}{\sum_h^m \sum_i^n \gamma \int_{x_i}^{x_{i+1}} (Y_h - Y_4) dx \sin \alpha_i} \quad (8)$$

$$h = 1, 2, 3 \quad (9)$$

$$Y_h = Y_1, Y_2, Y_3 \quad (10)$$

$$Y_1 = 0 \quad (11)$$

$$Y_2 = x \tan \beta \quad (12)$$

$$Y_3 = H \quad (13)$$

$$\alpha_i = \left(\arctan \left| \frac{d \left(B - \sqrt{R^2 - (x_{zi} - A)^2} \right)}{dx} \right| \right) \quad (14)$$

$$x_{zi} = \frac{\int_{x_i}^{x_{i+1}} \int_{Y_4}^{Y_h} x dy dx}{\int_{x_i}^{x_{i+1}} Y_h - Y_4 dx} \quad (15)$$

$$R = \sqrt{(A - x_p)^2 + B^2} \quad (16)$$

$$Y_4 = B - \left| \sqrt{R^2 - (x_p - A)^2} \right| \quad (17)$$

dengan

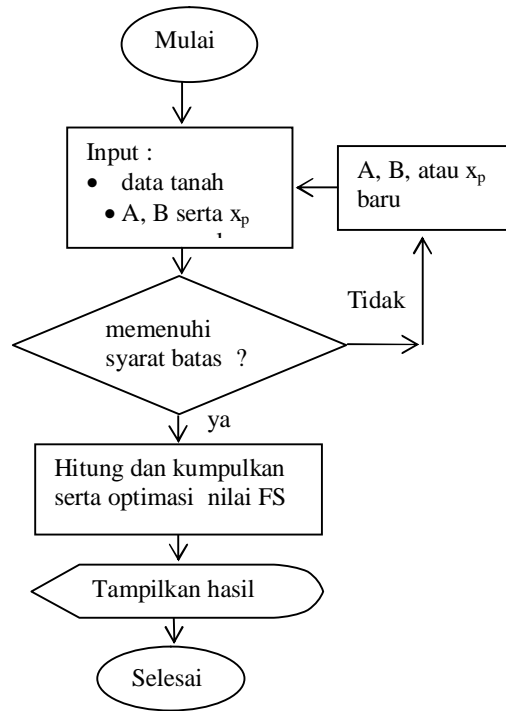
- FS : faktor aman,
- m : banyak bidang longsor dalam satu lingkaran longsor,
- Y_h : persamaan batas atas bidang longsor ke-h yang terdiri dari Y₁, Y₂ dan Y₃,
- Y₄ : persamaan lingkaran,
- h : indeks bidang longsor
- n : banyak pias dalam bidang longsor ke-h,
- i : indeks pias,
- β : kemiringan lereng,
- H : ketinggian lereng,
- x_i : absis awal pias ke-i,
- x_{i+1} : absis akhir pias ke-i,
- γ : berat unit tanah,
- x_{zi} : titik berat pias,
- R : jejari lingkaran,
- x_p : absis titik keluar lingkaran longsor,
- A : asumsi absis titik pusat lingkaran,
- B : asumsi ordinat titik pusat lingkaran.

Algoritma Program

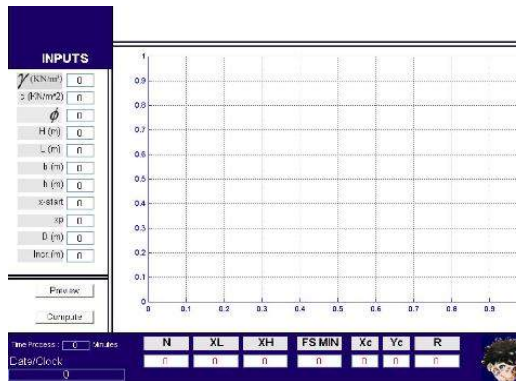
Untuk keperluan pembuatan program, maka dibuat algoritma program seperti pada Gambar 7.

Model Program

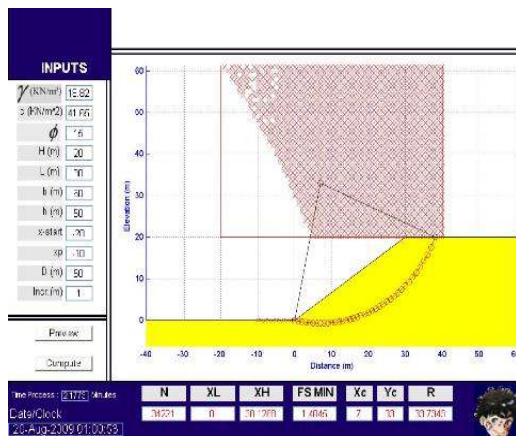
Program dibuat menggunakan bahasa pemrograman MATLAB dan diberi nama JOZLOPE. Model program dibuat seperti dalam Gambar 8 dan Gambar 9.



GAMBAR 7. Algoritma program



GAMBAR 8. Model blank JOZLOPE



GAMBAR 9. Model Input Output JOZLOPE

Validasi Program

Validasi program dilakukan dengan cara membandingkan hasil analisis JOZLOPE dengan hasil program pembanding terhadap tiga model lereng. *Output* yang diharapkan adalah nilai absis perpotongan bawah (XL) dan absis perpotongan atas (XH) antara lingkaran longsor dengan geometri lereng serta nilai Faktor Aman (FS) lereng tersebut. Adapun program pembanding yang digunakan adalah GALENA, XSTABL, STABLE dan SLIDE. Data dua buah model lereng diambil dari literatur yang dipublikasikan dan satu buah model lereng rekayasa. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Model Lereng 1 dianalisis dengan program STABLE, XSTABL dan

JOZLOPE. Model Lereng 2 dianalisis dengan program GALENA, STABLE dan JOZLOPE, sedangkan Model Lereng 3 dianalisis dengan program SLIDE, XSTABL dan JOZLOPE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis terhadap Model Lereng

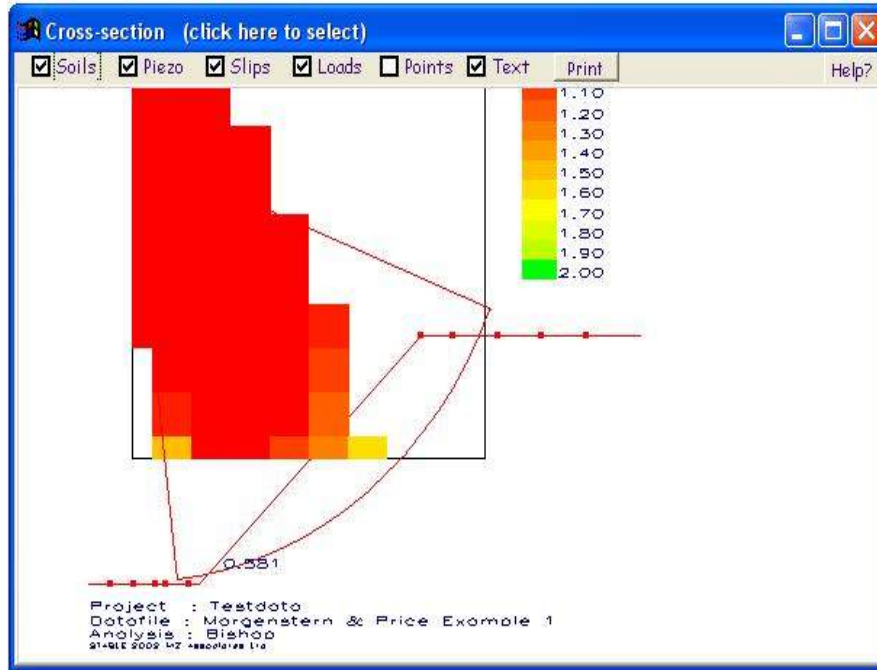
Hasil analisis terhadap Model Lereng 1, 2 dan 3 dapat dilihat dalam Tabel 2. *Output* lingkaran longsor untuk Model Lereng 1 ditunjukkan dalam Gambar 10, 11 dan 12. Untuk Model Lereng 2 ditunjukkan pada gambar 13, 14 dan 15. Untuk Model Lereng 3, ditunjukkan pada Gambar 16, 17 dan 18.

TABEL 1. Data tiga model lereng

No.	Data	Nilai			satuan
		Model 1	Model 2	Model 3	
1	Berat satuan tanah	20	16	18,82	kN/m ³
2	Kohesi tanah	10	20	41,65	kN/m ²
3	Sudut gesek internal tanah	15	20	15	derajat
4	Tinggi lereng	20	20	20	m
5	Bentang lereng	20	40	30	m
6	Tekanan air pori tanah	0	0	0	kN/m ²
7	Tipe lereng	Homogen	Homogen	Homogen	-
8	Gaya eksternal	0	0	0	kN
9	Metode analisis	Bishop	Bishop	Bishop	-
10	Perkuatan	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	-

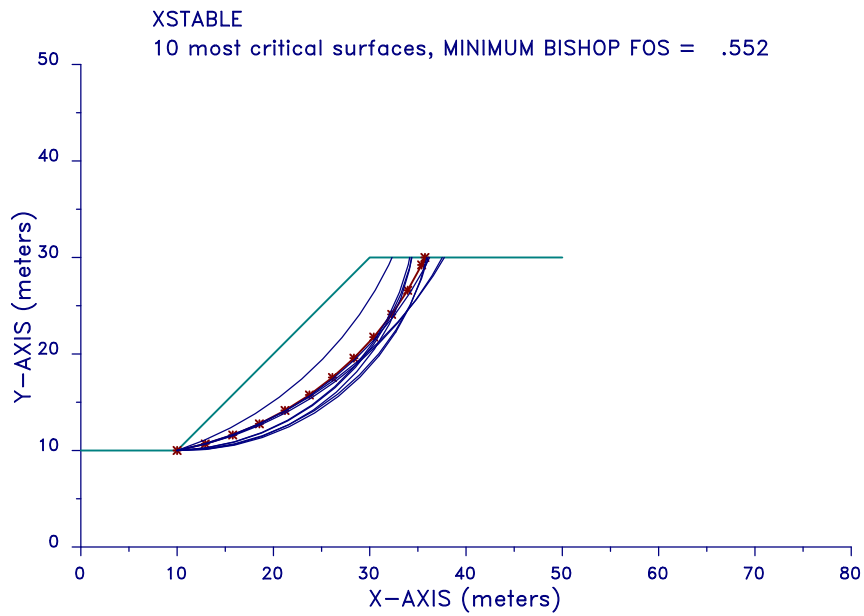
TABEL 2. Hasil analisis terhadap 3 model lereng

No	Model Lereng 1	Simbol	Satuan	Nilai		
				STABLE	XTABL	JOZLOPE
1	Absis perpotongan bawah	XL	m	0	0	0
2	Absis perpotongan atas	XH	m	+23,00	+25,74	+24,13
3	Faktor Aman	FS MIN	-	0,581	0,552	0,574
No	Model Lereng 2	Simbol	Satuan	Nilai		
				GALENA	STABLE	JOZLOPE
1	Absis perpotongan bawah	XL	m	0	0	0
2	Absis perpotongan atas	XH	m	+46,27	+45,33	+45,74
3	Faktor Aman	FS MIN	-	1,480	1,489	1,482
No	Model Lereng 3	Simbol	Satuan	Nilai		
				SLIDE	XTABL	JOZLOPE
1	Absis perpotongan bawah	XL	m	-0,19	0	0
2	Absis perpotongan atas	XH	m	38,99	39,90	38,13
3	Faktor Aman	FS MIN	-	1,409	1,376	1,405

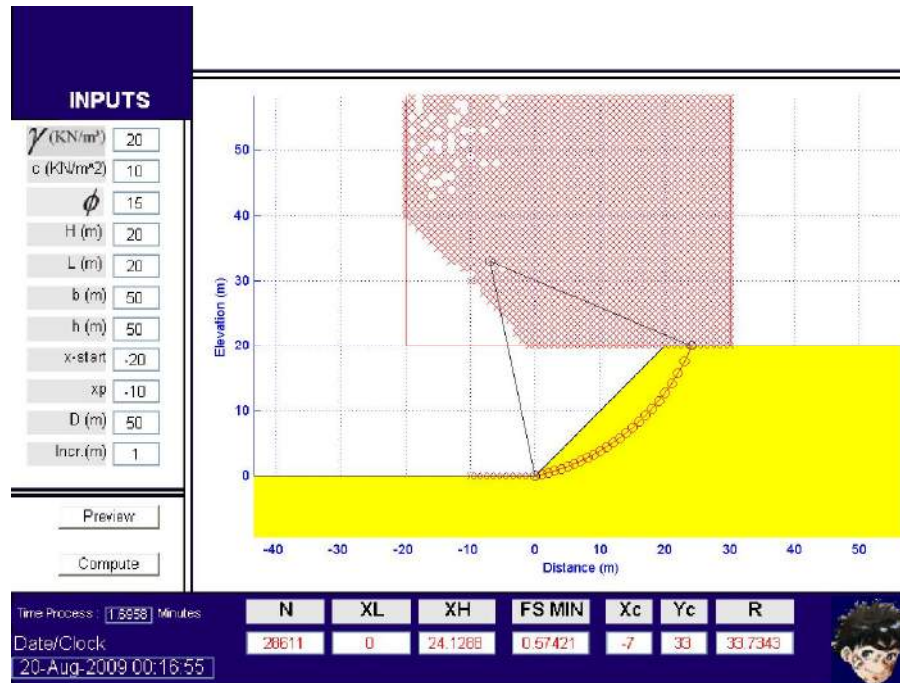


GAMBAR 10. Lingkaran longsor STABLE untuk Model Lereng 1

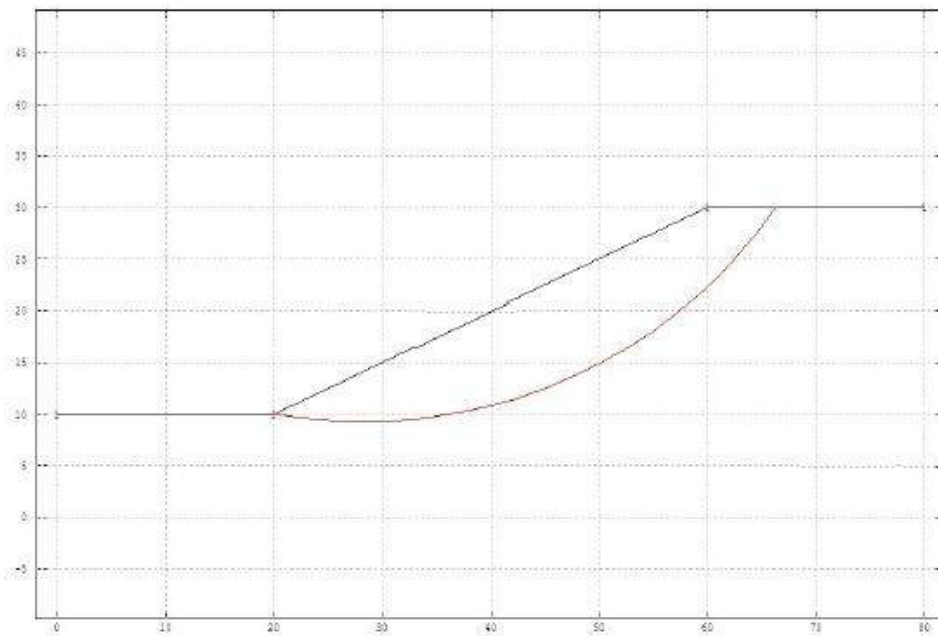
COPY 7-31-08 23:56



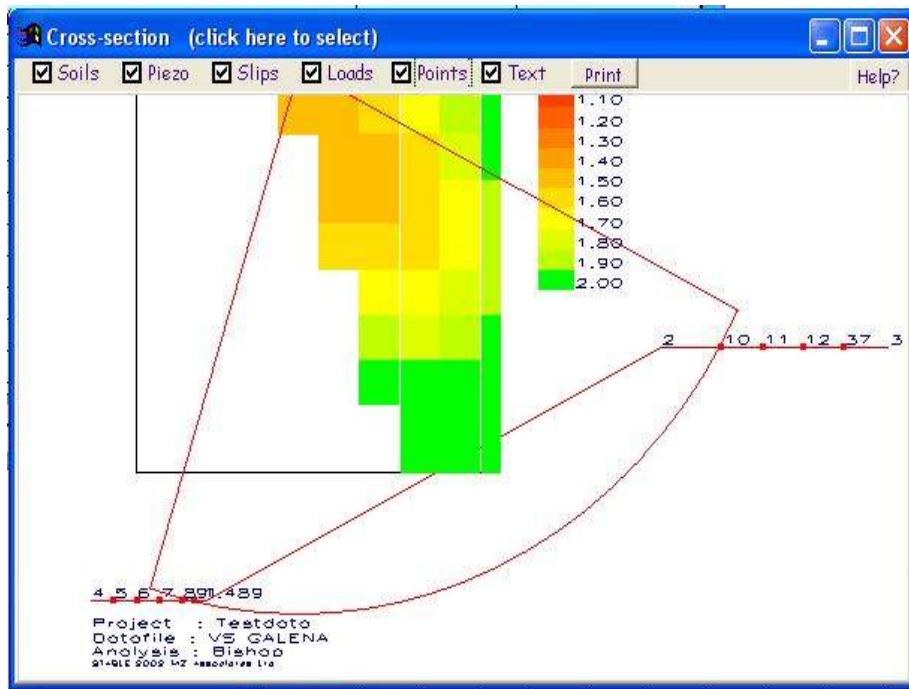
GAMBAR 11. Lingkaran longsor XSTABL untuk Model Lereng 1



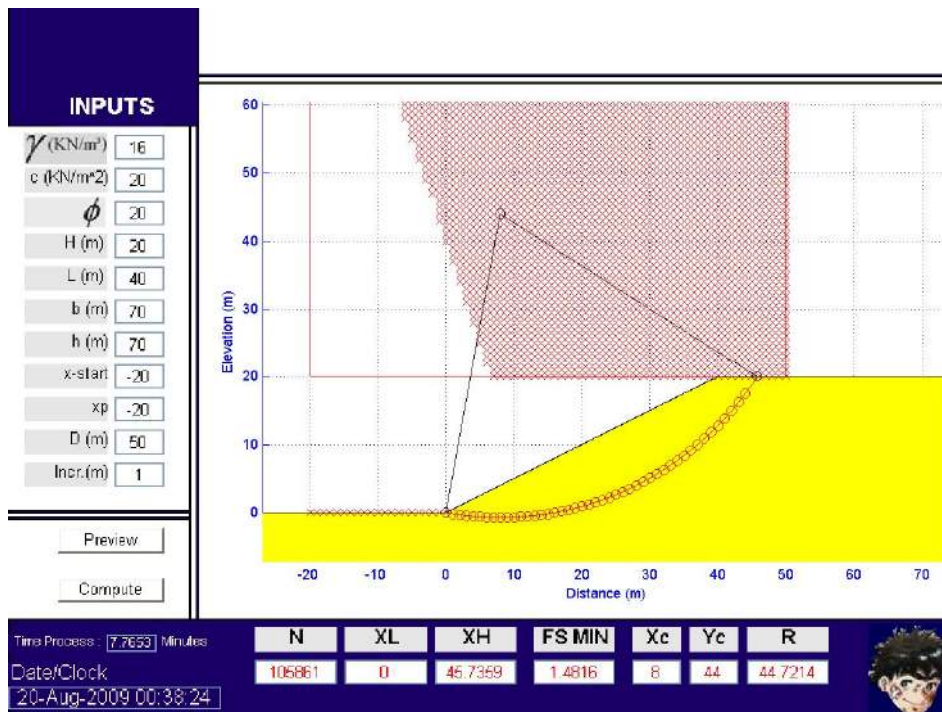
GAMBAR 12. Lingkaran longsor JOZLOPE untuk Model Lereng 1



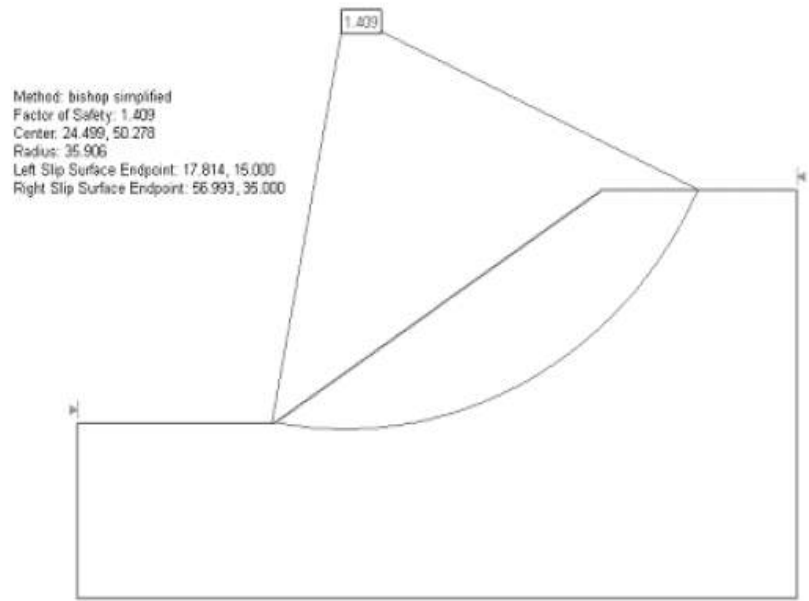
GAMBAR 13. Lingkaran longsor GALENA untuk Model Lereng 2



GAMBAR 14. Lingkaran longsor STABLE untuk Model Lereng 2

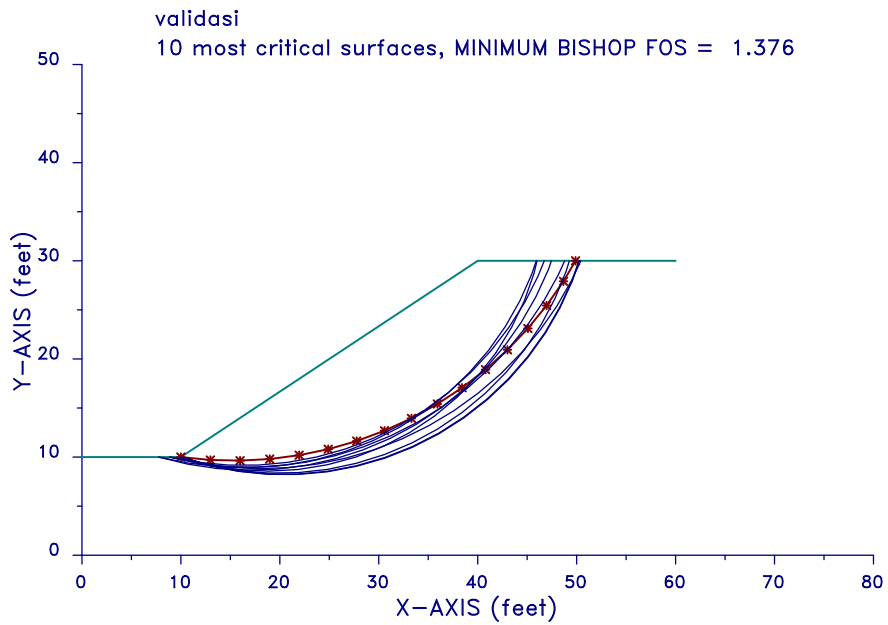


GAMBAR 15. Lingkaran longsor JOZLOPE untuk Model Lereng 2

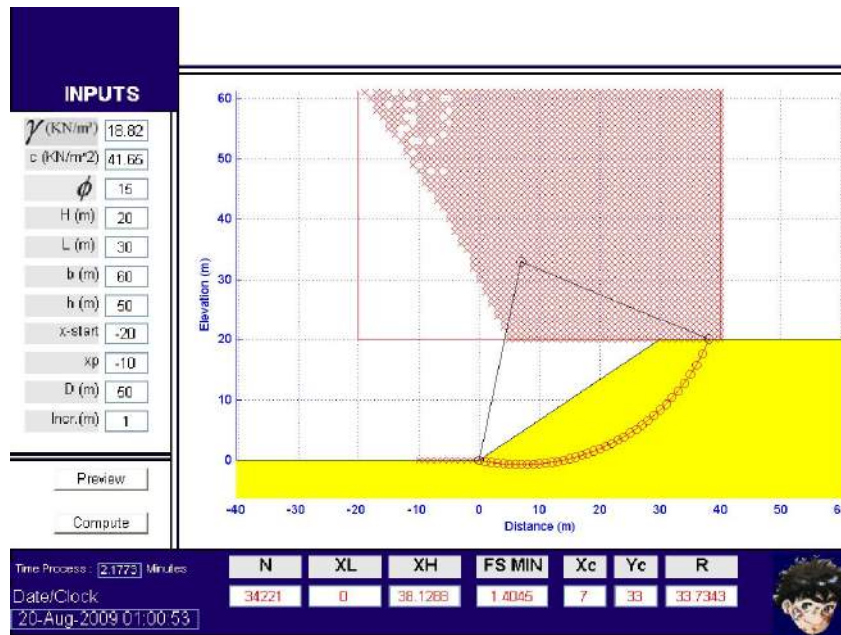


GAMBAR 16. Lingkaran longsor SLIDE untuk Model Lereng 3

SLIDE1C 8-01-08 0:05



GAMBAR 17. Lingkaran longsor XSTABL untuk Model Lereng 3



GAMBAR 18. Lingkaran Kelongsoran JOZLOPE untuk Model Lereng 3

Pembahasan

Hasil analisis terhadap Model Lereng 1, 2 dan 3 yang ditampilkan pada Tabel 2 memberikan hasil kedekatan nilai antara program pembandingan dengan program JOZLOPE. Nilai absis perpotongan bawah (XL) dan atas (XH) antara lingkaran longsor dengan geometri lereng Model Lereng 1 yang dihasilkan oleh program STABLE, XSTABL dan JOZLOPE jatuh pada nilai yang sama yakni 0 (nol). Begitu pula dengan *output* gambar letak lingkaran longsor sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10, 11 dan 12. Letak bidang longsor yang ditampilkan JOZLOPE tidak jauh berbeda dengan yang ditampilkan STABLE dan XSTABL yakni bidang longsor melalui kaki lereng (*toe circle*), demikian juga *output* untuk model lereng lainnya.

Bila selisih nilai hasil analisis pada Tabel 2 dibuat dan dipersentasekan, maka hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3, nilai XL yang dihasilkan JOZLOPE hanya memiliki selisih kurang dari 1% dari nilai yang dihasilkan program pembandingan, sedangkan untuk nilai XH, selisih keseluruhan kurang dari 7%. Untuk nilai FS, selisih yang dihitung kurang dari 4 %.

TABEL 3. Persentase selisih nilai hasil analisis model lereng antara program pembandingan dengan JOZLOPE

No	Model Lereng 1	Sat.	Selisih terhadap Hasil Analisis JOZLOPE (%)	
			STABLE	XTABL
1	XL	m	0	0
2	XH	m	-4,678	6,677
3	FS MIN	-	1,182	-3,868
No	Model Lereng 2	Sat.	Selisih terhadap Hasil Analisis JOZLOPE (%)	
			GALENA	STABLE
1	XL	m	0	0
2	XH	m	1,168	-0,887
3	FS MIN	-	-0,108	0,499
No	Model Lereng 3	Sat.	Selisih terhadap Hasil Analisis JOZLOPE (%)	
			SLIDE	XTABL
1	XL	m	-0,186	0
2	XH	m	2,267	4,645
3	FS MIN	-	0,320	-2,029

KESIMPULAN

Dari validasi program JOZLOPE dengan program pembandingan GALENA, SLIDE, STABLE dan XSTABL, maka dapat diambil kesimpulan bahwa suatu program analisis stabilitas lereng dapat dibuat menggunakan bahasa pemrograman MATLAB dengan validitas yang cukup memuaskan. Visualisasi lingkaran longsor lereng mendekati tampilan

yang dihasilkan program pembanding. Persentase selisih nilai XL, XH dan FS yang dihasilkan JOZLOPE dengan nilai yang dihasilkan program pembanding berturut-turut adalah kurang dari 1 %, kurang dari 7% dan kurang dari 4 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Ari, A.K. (2008). *Persoalan Optimasi Faktor Keamanan Minimum Dalam Analisis Kestabilan Lereng Dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab*, Tugas Akhir, ITB, Bandung.
- Away, G.A. (2006). *The Shortcut of MATLAB Programming*, Informatika Bandung, Bandung.
- Bardet, J. P., dan M. M. Kapuskar (1989). A Simplex Analysis of Slope Stability, *Computers and Geotechnics Journal*, Vol. 8, No. 4, pp. 329 - 348, California.
- Bowles, E. (1984). *Physical and geotechnical properties of soil*, New York: McGraw-Hill.
- GALENA user's Guide (1999). *Slope Stability Analysis System*, Australia: Clover Associates Pty. limited.
- Hardiyatmo, H.C. (2007). *Mekanika Tanah 2*, Yogyakarta: UGM Press.
- SLIDE Verification manual (2006). *2D Limit Equilibrium Slope Stability For Soil And Rock Slopes*, Rocscience Inc.
- SLOPE/W Guidebook (2008). *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version (An Engineering Methodology)*, Fourth Edition, GEO-SLOPE International Ltd.

PENULIS:

Joko Supriyadi✉

Alumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul 55183.

✉ Email: joozuzuzu@gmail.com

Anita Widianti

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul 55183.