

## VALIDASI GRAFIK DESAIN PROBABILITAS KESTABILAN LERENG MENGGUNAKAN SLIDE 6.0

Dio Alif Hutama

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No. 59 Surabaya, Jawa Timur 60113  
Email: [dioalifhutama@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:dioalifhutama@ft.um-surabaya.ac.id)

### Abstract

Slope stability design charts are commonly used to estimate the factor of safety of slope with simple geometry, isotropic, and homogeneous soil properties. However, most of the design charts proposed by previous researchers are only focus on determination of factor of safety that the appreciation of the probability of failure of the slope cannot be made. The paper by Javankhoshdel and Bathurst (2014) is the first that introduced a series of probabilistic slope stability design charts for cohesive-frictional ( $c-\phi$ ) soils. In this paper, the results of probabilistic slope stability analysis using those design charts are compared and validated with the results obtained from Monte Carlo simulation using Slide 6.0. At the first stage, 42 slope models with variation of slope angle ( $\alpha$ ) and mean friction angle ( $\mu_\phi$ ) are built. Then, probabilistic slope stability analysis is conducted using both methods. Two statistical parameters including R-square ( $R^2$ ) and standard error (SE) are used to assess the correlation of the results obtained from both methods. Based on the statistical analysis, the following data are obtained:  $R^2$  of mean factor of safety, probability of failure with  $COV_c=COV_\phi=0.1$ , and probability of failure with  $COV_c=0.5$ ,  $COV_\phi=0.2$  are 0.9902; 0.9934; 0.9942, respectively. Moreover, SE of mean factor of safety, probability of failure with  $COV_c=COV_\phi=0.1$ , and probability of failure with  $COV_c=0.5$ ,  $COV_\phi=0.2$  are 0.060; 3.789; 3.112, respectively. The results of statistical analysis indicate that the results of probabilistic slope stability analysis using design chart and Slide 6.0 have strong correlation. It also confirms that the probabilistic slope stability design charts proposed by Javankhoshdel and Bathurst (2014) are valid.

**Keywords:** Probability Analysis, Slope Stability, Design Chart, Slide 6.0, Monte Carlo Simulation

### Abstrak

Grafik desain kestabilan lereng umumnya digunakan untuk menentukan faktor keamanan dari suatu lereng dengan geometri sederhana, isotropik, dan memiliki properti tanah yang homogen. Akan tetapi, kebanyakan grafik desain yang diusulkan oleh para peneliti terdahulu hanya fokus pada penentuan faktor keamanan dimana probabilitas keruntuhan dari lereng tersebut tidak dapat diketahui. Penelitian yang dilakukan oleh Javankhoshdel dan Bathurst (2014) merupakan penelitian pertama yang memperkenalkan serangkaian grafik desain probabilitas kestabilan lereng untuk tanah *cohesive-frictional* ( $c-\phi$ ). Dalam penelitian ini, hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain tersebut dibandingkan dan divalidasi dengan hasil analisis menggunakan simulasi Monte Carlo pada Slide 6.0. Awalnya, 42 model lereng dengan variasi kemiringan lereng ( $\alpha$ ) dan sudut gesek dalam rerata ( $\mu_\phi$ ) dibuat. Kemudian, analisis probabilitas kestabilan lereng dilakukan dengan kedua metode tersebut. Dua parameter statistik berupa *R square* ( $R^2$ ) dan *standard error* (SE) digunakan untuk menilai korelasi hasil analisis kedua metode tersebut. Berdasarkan hasil analisis statistik diperoleh data sebagai berikut: *R square* ( $R^2$ ) untuk faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0.1$ , dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0.5$ ,  $COV_\phi=0.2$  berturut-turut sebesar 0,9902; 0,9934; dan 0,9942. Selain itu, diperoleh nilai *standard error* (SE) untuk faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0.1$ , dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0.5$ ,  $COV_\phi=0.2$  berturut-turut sebesar 0,060; 3,789; dan 3,112. Hasil analisis statistik mengindikasikan bahwa hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain dan Slide memiliki korelasi yang kuat. Hal ini sekaligus mengkonfirmasi bahwa grafik desain probabilitas kestabilan lereng yang diusulkan Javankhoshdel dan Bathurst (2014) valid.

**Kata Kunci:** Analisis Probabilitas, Stabilitas Lereng, Grafik Desain, Slide 6.0, Simulasi Monte Carlo

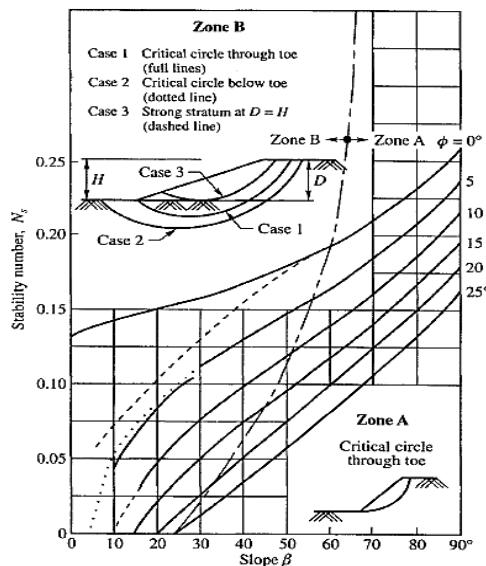
### PENDAHULUAN

Variabilitas spasial dari properti tanah menyebabkan masalah kelongsoran lereng kerap kali terjadi karena umumnya analisis kestabilan lereng dengan metode deterministik hanya memperhitungkan nilai rerata dari parameter geomekanik. Oleh karena itu, analisis probabilitas perlu dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan dan probabilitas keruntuhan dari suatu lereng dengan mempertimbangkan variabilitas properti tanahnya.

Salah satu metode yang cukup mudah untuk menentukan faktor keamanan dari suatu lereng dengan geometri sederhana, isotropik, dan memiliki properti tanah yang homogen adalah dengan menggunakan grafik desain kestabilan lereng. Taylor (1937) mengusulkan grafik desain

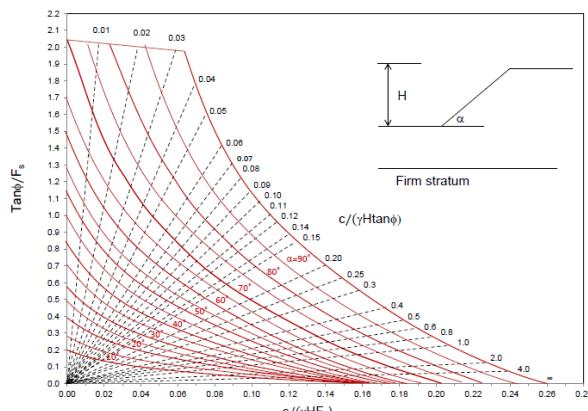
untuk menentukan faktor keamanan sebuah lereng sederhana dengan tanah  $c-\phi$  (*cohesive-frictional*) seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**. Angka stabilitas ( $N_s$ ) =  $c/F_c \gamma H$  dimana  $c$  = kohesi,  $F_c$  = faktor keamanan kohesi,  $\gamma$  = berat volume tanah, dan  $H$  = ketinggian lereng.

Grafik desain yang diusulkan oleh Taylor dianggap masih memiliki kekurangan khususnya dalam prosedur penentuan faktor keamanan sehingga beberapa peneliti mencoba untuk mengusulkan model grafik desain baru yang lebih mudah digunakan. Salah satunya adalah grafik desain yang dikembangkan oleh Steward, dkk (2011) seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Grafik tersebut dikembangkan berdasarkan konsep analisis keseimbangan batas dan penggunaannya jauh lebih mudah dibandingkan dengan grafik desain yang diusulkan Taylor.



Gambar 1. Grafik desain kestabilan lereng untuk tanah c- $\phi$ (cohesive-frictional) yang diusulkan Taylor.

Sumber: Murthy (2003)



Gambar 2. Grafik desain kestabilan lereng untuk tanah c- $\phi$ (cohesive-frictional) yang diusulkan Steward, dkk.

Sumber: Steward, dkk (2011)

Grafik desain yang diusulkan oleh Taylor (1937) dan Steward, dkk (2011) hanya dapat digunakan untuk menentukan faktor keamanan lereng deterministik dan tidak dapat menunjukkan probabilitas keruntuhan lereng tersebut. Oleh karena itu, Javankhoshdel dan Bathurst (2014) mengusulkan enam jenis grafik desain probabilitas kestabilan lereng untuk c- $\phi$ (cohesive-frictional) yang dikembangkan dari grafik desain yang sebelumnya telah dibuat oleh Taylor (1937) dan Steward, dkk (2011) dengan menambahkan fitur baru untuk menentukan persentase probabilitas keruntuhan suatu lereng seperti ditunjukkan pada **Gambar 3 (a) s/d (f)**. Grafik pada Gambar 3a digunakan untuk menentukan probabilitas kestabilan lereng yang memiliki tanah dengan sudut gesek dalam rerata( $\mu_\phi$ ) = 20°. Selanjutnya secara berturut-turut, grafik pada Gambar 3b s/d 3f digunakan untuk lereng yang memiliki tanah dengan  $\mu_\phi$  = 25°, 30°, 35°, 40°, dan 45°.

Serangkaian grafik desain Javankhoshdel dan Bathurst (2014) dibuat melalui simulasi Monte Carlo menggunakan software SVSlope berdasarkan manual yang

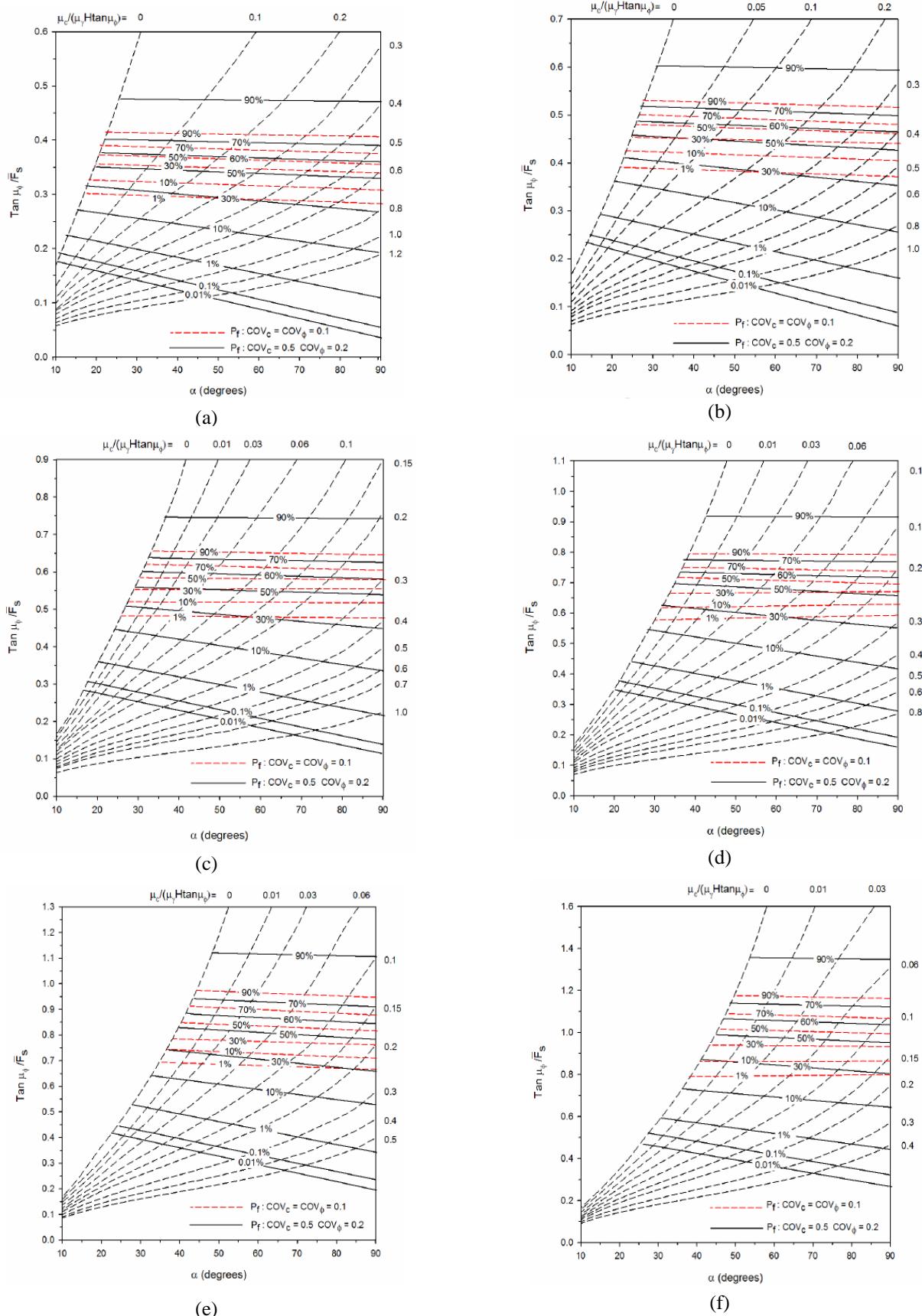
disusun oleh Fredlund dan Thode (2011) dengan jumlah sampel sebanyak 4500 untuk tiap analisis dan dilakukan pada tingkat kepercayaan (*confidence level*) yang sama yaitu 90%. Analisis kestabilan lereng pada SVSlope menggunakan konsep analisis keseimbangan batas.

Dalam pembuatan grafik desain probabilitas kestabilan lereng, Javankhoshdel dan Bathurst (2014) memilih menggunakan metode analisis *floating method* pada SVSlope. Selain itu, untuk menentukan faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ) digunakan metode irisan Bishop yang disederhanakan (*Simplified Bishop Method*). Grafik desain yang diusulkan Javankhoshdel dan Bathurst (2014) dibuat untuk dua rentang nilai koefisien varian dari kuat geser ( $COV_c$  = koefisien varian untuk kohesi dan  $COV_\phi$  = koefisien varian untuk sudut gesek dalam) yang berbeda yaitu  $COV_c=COV_\phi=0,1$ , dan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$ . Kedua rentang nilai tersebut dipilih berdasarkan saran pada penelitian yang dilakukan oleh Phoon dan Kulhawy (1999). Berdasarkan penelitian yang sama, diperoleh bahwa koefisien varian untuk berat volume ( $COV_\gamma$ ) < 0,1 sehingga dalam analisis variabilitas berat volume diabaikan ( $COV_\gamma=0$ ). Selain itu, pengaruh korelasi silang (*cross-correlation*) juga diabaikan dalam pembuatan grafik desain probabilitas kestabilan lereng tersebut.

Untuk melakukan analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain Javankhoshdel dan Bathurst (2014), diperlukan input parameter berupa kemiringan lereng ( $\alpha$ ) dan nilai  $\mu_c/(\mu_\gamma H \tan \phi)$  dimana  $\mu_c$  merupakan kohesi rerata,  $\mu_\gamma$  merupakan berat volume rerata, dan  $H$  merupakan ketinggian lereng. Cukup dengan memasukkan input parameter tersebut dengan mudah dapat diperoleh faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0,1$ , dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$  dari suatu model lereng.

Metode lain untuk melakukan analisis probabilitas kestabilan lereng adalah menggunakan simulasi Monte Carlo pada *software* Slide seperti yang dilakukan oleh Singh, dkk. (2013) untuk menganalisis lereng di daerah Amiyan, India. Berdasarkan hasil analisis Slide, didapatkan data berupa faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan lereng, dan indeks reliabilitas dari lereng tersebut. Selain itu, Singh, dkk. (2013) juga membandingkan hasil analisis Slide yang berbasis konsep keseimbangan batas dengan hasil analisis *software* Phase<sup>2</sup> yang berbasis numerik. Kedua metode tersebut terbukti menghasilkan hasil analisis dan kesimpulan yang relatif sama.

Penggunaan grafik desain selama bertahun-tahun telah terbukti bermanfaat dalam menganalisis kestabilan berbagai kasus lereng sederhana. Mengingat grafik desain probabilitas kestabilan lereng masih terbilang baru jika dibandingkan dengan model grafik desain konvensional yang terlebih dahulu ada, oleh karena itu untuk dapat diterapkan terlebih dahulu perlu diadakan pengujian validitas hasil analisis metode tersebut dengan cara membandingkannya dengan hasil analisis metode lain.



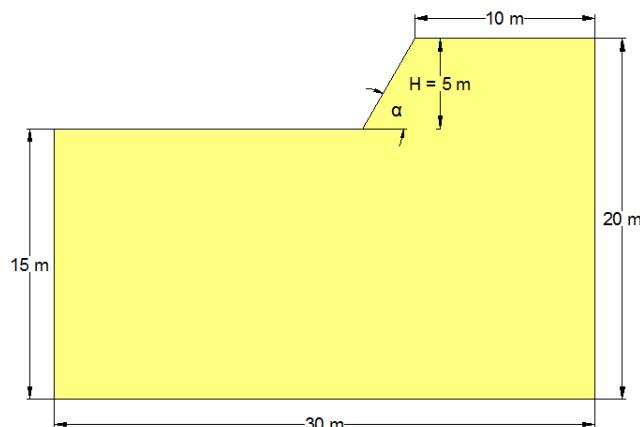
Gambar3. Grafik desain probabilitas kestabilan lereng: (a)  $\mu_\phi=20^\circ$ , (b)  $\mu_\phi=25^\circ$ , (c)  $\mu_\phi=30^\circ$ , (d)  $\mu_\phi=35^\circ$ , (e)  $\mu_\phi=40^\circ$ , (f)  $\mu_\phi=45^\circ$ . Sumber: Javankhoshdel dan Bathurst (2014)

Dalam penelitian ini dilakukan validasi grafik desain probabilitas kestabilan lereng yang diusulkan oleh Javankhoshdel dan Bathurst (2014) dengan cara membandingkannya dengan hasil analisis simulasi Monte Carlo menggunakan *software* Slide 6.0. Selain itu, dilakukan pula pengujian statistik yang bertujuan untuk melihat hubungan antara hasil analisis berdasarkan kedua metode tersebut. Berdasarkan hasil analisis statistik tersebut kemudian disimpulkan validitas hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain.

## METODE PENELITIAN

### Pemodelan Lereng

Dalam penelitian ini dibuat 42 model lereng dengan geometri seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Model lereng yang dibuat memiliki 6 variasi kemiringan lereng ( $\alpha$ ) dan 6 variasi sudut gesek dalam rerata ( $\mu_\phi$ ) yang nilainya disesuaikan dengan 6 grafik desain yang dibuat oleh Javankhoshdel dan Bathurst (2014) sehingga menghasilkan 42 kombinasi model lereng sebagaimana ditunjukkan matriks pemodelan lereng pada **Tabel 1**. Untuk menyederhanakan jumlah sampel, berat volume rerata ( $\mu_\gamma$ ) dan kohesi rerata ( $\mu_c$ ) untuk setiap model lereng dibuat tetap yaitu sebesar  $\mu_\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$  dan  $\mu_c = 7,2 \text{ kPa}$ .



Gambar4. Geometri model lereng

Tabel 1. Matriks pemodelan lereng

		$\alpha (^\circ)$						
		30	40	50	60	70	80	90
$\mu_c$	20	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
	25	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
	30	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21
	35	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28
	40	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35
	45	S36	S37	S38	S39	S40	S41	S42

### Metode Analisis Probabilitas Kestabilan Lereng

Analisis probabilitas kestabilan lereng untuk setiap model lereng dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu grafik desain yang dibuat oleh Javankhoshdel dan Bathurst (2014) serta Slide 6.0.

Untuk melakukan analisis menggunakan grafik desain, mula-mula pilih grafik desain (Gambar 3) yang sesuai dengan sudut gesek dalam rerata ( $\mu_\phi$ ) dari model lereng yang akan dianalisis. Setelah itu, tentukan

kemiringan lereng ( $\alpha$ ) dan nilai dari  $\mu_c/(\mu_\gamma H \tan \mu_c)$ . Selanjutnya dengan menggunakan input parameter tersebut dapat ditentukan faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ), probabilitas keruntuhan (PF) untuk  $COV_c = COV_\phi = 0,1$ , dan probabilitas keruntuhan (PF) untuk  $COV_c = 0,5$ ,  $COV_\phi = 0,2$  untuk model lereng tersebut.

Analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan Slide 6.0 dilakukan dengan memasukkan input parameter yang sama dengan yang digunakan dalam penelitian Javankhoshdel dan Bathurst (2014). Hal ini dimaksudkan agar hasil dari kedua metode tersebut dapat dibandingkan. Analisis dimulai dengan mengaktifkan mode analisis probabilitas dan menginput jumlah sampel untuk simulasi Monte Carlo yaitu 4500. Faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ) ditentukan menggunakan metode irisan Bishop yang disederhanakan (*Simplified Bishop Method*). Selanjutnya, dilakukan pembuatan geometri model lereng dan memasukkan properti tanah yang menjadi variabel tetap yaitu  $\mu_\gamma$  dan  $\mu_c$ . Hal berikutnya yang dilakukan adalah memasukkan input parameter statistik untuk kohesi dan sudut gesek dalam berupa rerata dan standar deviasi sehingga diperoleh nilai COV yang diinginkan. Kedua parameter tersebut dimodelkan dengan distribusi lognormal. Untuk nilai minimum dan maksimum relatif disesuaikan dengan COV yang digunakan sehingga diperoleh hasil analisis pada tingkat kepercayaan yang sama yaitu 90%. Metode pencarian (*search method*) yang dipilih untuk analisis ini adalah *auto refine search*. Selanjutnya, model lereng dapat dianalisis hingga dapat ditentukan faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ), probabilitas keruntuhan (PF) untuk  $COV_c = COV_\phi = 0,1$ , dan probabilitas keruntuhan (PF) untuk  $COV_c = 0,5$ ,  $COV_\phi = 0,2$  untuk model lereng tersebut.

### Metode Pengujian Statistik

Pengujian statistik berupa uji regresi linier berganda dan *standard error* dilakukan untuk menguji validitas hasil analisis menggunakan grafik desain dengan cara membandingkannya dengan hasil analisis Slide 6.0. Analisis statistik ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Microsoft Excel.

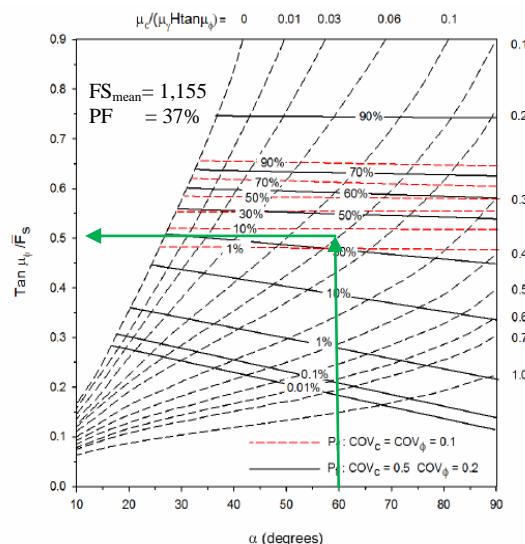
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Analisis Probabilitas Kestabilan Lereng Menggunakan Grafik Desain

Hasil analisis probabilitas kestabilan lereng untuk model lereng S18 dengan  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\mu_\phi = 30^\circ$ , dan  $\mu_c/(\mu_\gamma H \tan \mu_c) = 0,15$ , digunakan sebagai contoh untuk menunjukkan hasil analisis menggunakan grafik desain. Berdasarkan hasil analisis, seperti ditampilkan pada **Gambar 5**, untuk  $COV_c = 0,5$ ,  $COV_\phi = 0,2$  diperoleh  $\tan \mu_\phi / FS = 0,5$  sehingga faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ) = 1,155 dan probabilitas keruntuhan (PF) = 37%.

### Hasil Analisis Probabilitas Kestabilan Lereng Menggunakan Slide 6.0

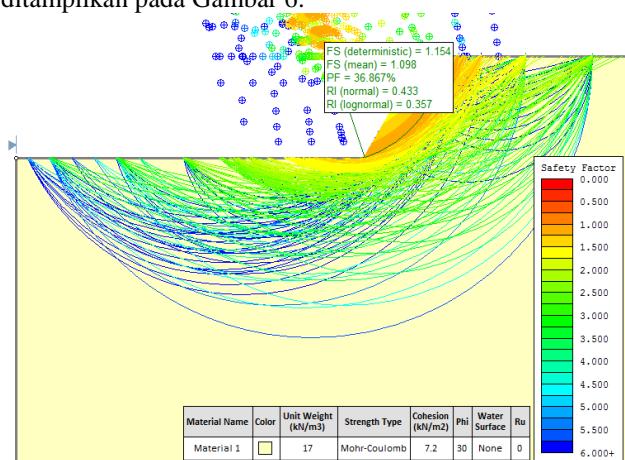
Model lereng yang sama (S18) dengan  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\mu_\phi = 30^\circ$ , juga digunakan sebagai contoh untuk menunjukkan hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan Slide 6.0.



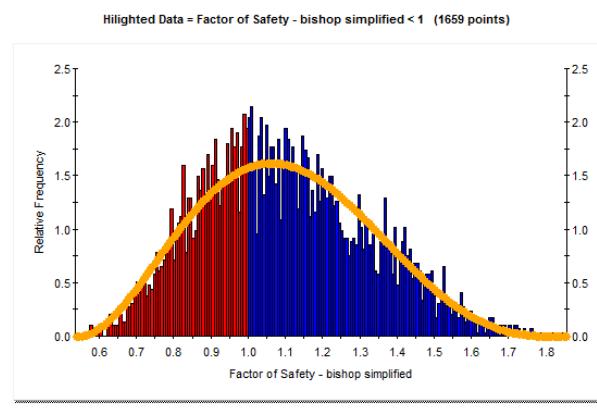
Gambar5. Analisis probabilitas kestabilan model lereng S18 menggunakan grafik desain

Berdasarkan hasil analisis, seperti ditunjukkan **Gambar 6**, untuk  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$  diperoleh faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ) = 1,098 dan probabilitas keruntuhan (PF) = 36,867%. Selain itu, untuk model lereng tersebut diperoleh indeks reliabilitas (RI) < 3 dimana umumnya lerengawan mengalami keruntuhan.

**Gambar 7** menampilkan histogram distribusi probabilitas faktor keamanan rerata untuk model lereng S18 dimana daerah yang berwarna merah menunjukkan data dengan  $FS < 1$ . Nilai probabilitas keruntuhan lereng (PF) juga dapat diperoleh berdasarkan histogram tersebut yaitu dengan cara membagi total area histogram yang berwarna merah ( $FS < 1$ ) dengan total area keseluruhan histogram. Dari histogram tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat 1659 dari 4500 data yang memiliki  $FS < 1$ . Hal ini setara dengan  $PF = 36,867\%$  sebagaimana yang ditampilkan pada **Gambar 6**.

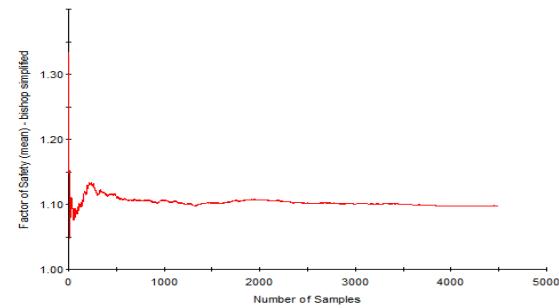


Gambar6. Analisis probabilitas kestabilan model lereng S18 menggunakan Slide 6.0

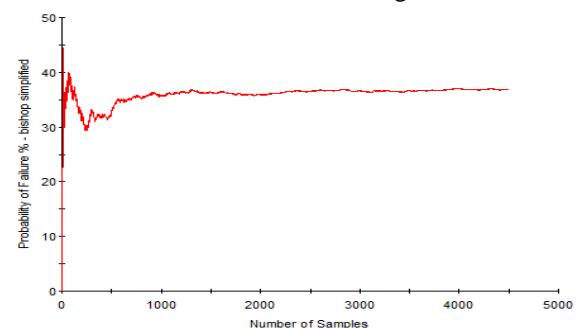


Gambar7. Histogram distribusi probabilitas faktor keamanan rerata untuk model lereng S18

Grafik konvergensi analisis faktor keamanan rerata dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$  untuk model lereng S18 masing-masing ditunjukkan oleh **Gambar 8** dan **Gambar 9**. Umumnya, grafik ini dipakai untuk mengetahui apakah jumlah sampel yang digunakan dalam simulasi Monte Carlo untuk suatu analisis probabilitas telah mencukupi atau belum. Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa grafik telah konstan sebelum jumlah sampel mencapai 4500. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah sampel yang digunakan dalam analisis tersebut telah mencukupi. Selain itu, dapat dilihat pula bahwa hasil akhir analisis faktor keamanan rerata dan probabilitas keruntuhan konvergen pada  $FS_{mean} = 1,098$  dan  $PF = 36,867\%$ .



Gambar8. Grafik konvergensi analisis faktor keamanan rerata untuk model lereng S18

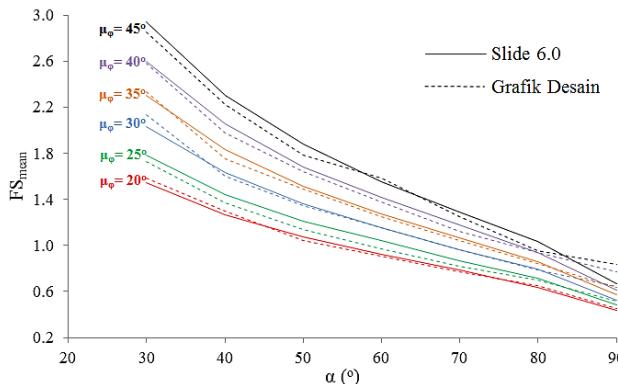


Gambar9. Grafik konvergensi analisis probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$  untuk model lereng S18

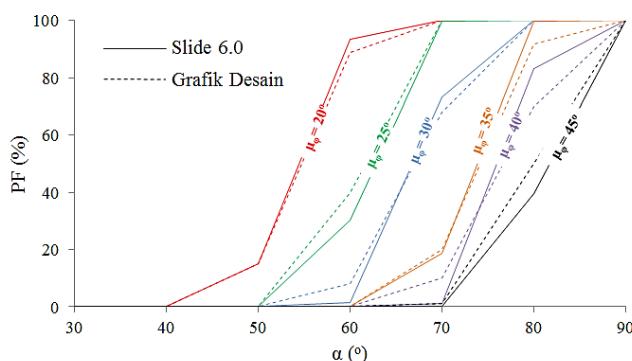
## Perbandingan Hasil Analisis Probabilitas Kestabilan Lereng Menggunakan Grafik Desain dan Slide 6.0

**Gambar 10** menunjukkan perbandingan hasil analisis faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ) menggunakan grafik desain dan Slide 6.0 untuk keseluruhan model lereng. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa  $FS_{mean}$  untuk kedua jenis metode menunjukkan tren yang sama.  $FS_{mean}$  menurun seiring dengan peningkatan kemiringan lereng ( $\alpha$ ) sebaliknya meningkat seiring dengan peningkatan sudut gesek dalam rerata ( $\mu_\phi$ ).

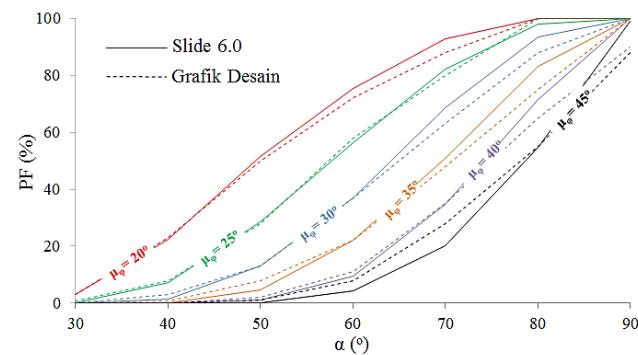
**Gambar 11** dan **Gambar 12** masing-masing menunjukkan perbandingan hasil analisis probabilitas keruntuhan (PF) untuk  $COV_c = COV_\phi = 0,1$  dan  $COV_c = 0,5$ ,  $COV_\phi = 0,2$  menggunakan grafik desain dan Slide 6.0 untuk keseluruhan model lereng. Kedua grafik tersebut juga menunjukkan bahwa nilai PF yang dihasilkan dari kedua jenis metode analisis tersebut memiliki tren yang relatif sama.



Gambar 10. Perbandingan faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ) hasil analisis grafik desain dan Slide 6.0



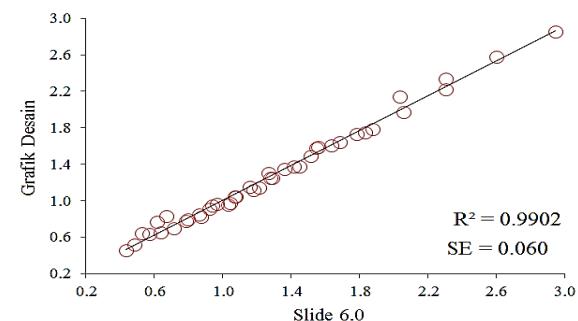
Gambar 11. Perbandingan probabilitas keruntuhan (PF) hasil analisis grafik desain dan Slide 6.0 untuk  $COV_c=COV_\phi=0,1$



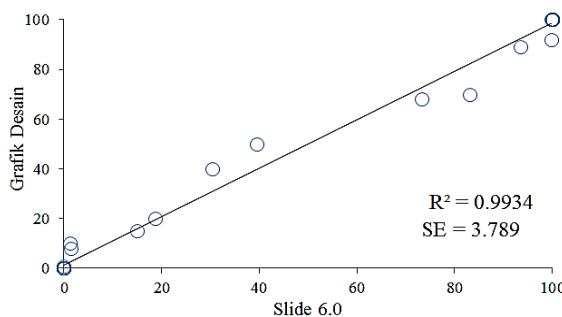
Gambar 12. Perbandingan probabilitas keruntuhan (PF) hasil analisis grafik desain dan Slide 6.0 untuk  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$

## Hasil Analisis Statistik

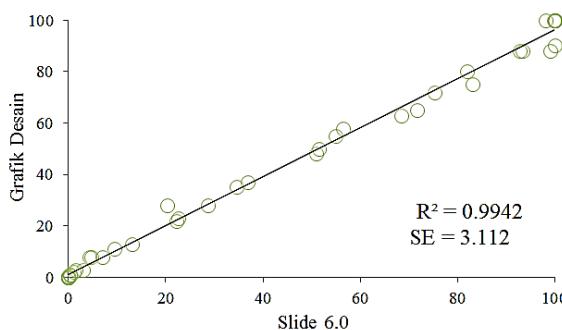
Validitas hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain ditinjau dengan membandingkan hasilnya dengan hasil analisis Slide 6.0. Dua pengujian statistik yang dilakukan untuk melihat hubungan kedua hasil analisis tersebut adalah regresi linier berganda ( $R^2$ ) dan *standard error* (SE). Berdasarkan hasil analisis statistik seperti ditunjukkan **Gambar 13**, **Gambar 14**, dan **Gambar 15**, diperoleh nilai *R square* ( $R^2$ ) untuk faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0,1$ , dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$  berturut-turut sebesar 0,9902; 0,9934; dan 0,9942. Ketiga nilai tersebut mengindikasikan bahwa hasil analisis menggunakan grafik desain memiliki korelasi yang kuat dengan hasil analisis menggunakan Slide 6.0. Hal ini sekaligus dikonfirmasi dengan hasil pengujian *standard error* (SE) dimana diperoleh nilai *standard error* (SE) yang kecil yaitu untuk faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0,1$ , dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$  berturut-turut sebesar 0,060; 3,789; dan 3,112. Kedua parameter statistik tersebut menunjukkan bahwa hasil analisis menggunakan grafik desain memiliki validitas yang tinggi jika dibandingkan dengan hasil analisis Slide 6.0.



Gambar 13. Analisis regresi linear berganda dan *standard error* untuk faktor keamanan rerata



Gambar14. Analisis regresi linear berganda dan *standard error* untuk probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0,1$



Gambar15. Analisis regresi linear berganda dan *standard error* untuk probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$

## KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dilakukan validasi grafik desain probabilitas kestabilan lereng yang diusulkan oleh Javankhoshdel dan Bathurst (2014) menggunakan Slide 6.0. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbandingan hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain dan Slide 6.0 untuk 42 model lereng yang dibuat menunjukkan bahwa faktor keamanan rerata ( $FS_{mean}$ ) yang dihasilkan kedua metode tersebut memiliki tren yang sama yaitu  $FS_{mean}$  menurun seiring dengan peningkatan kemiringan lereng ( $\alpha$ ) sebaliknya meningkat seiring dengan peningkatan sudut gesek dalam rerata ( $\mu_\phi$ ). Selain itu, hasil analisis probabilitas keruntuhan lereng (PF) untuk  $COV_c = COV_\phi = 0,1$  dan  $COV_c = 0,5$ ,  $COV_\phi = 0,2$  dari kedua metode tersebut juga menunjukkan tren yang sama.
2. Analisis statistik berupa uji regresi linier berganda ( $R^2$ ) dan *standard error* (SE) dilakukan untuk menguji validitas hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain dengan cara membandingkannya dengan hasil analisis Slide 6.0. Berdasarkan hasil analisis statistik, diperoleh nilai *R square* ( $R^2$ ) untuk faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0,1$ , dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,

$COV_\phi=0,2$  berturut-turut sebesar 0,9902; 0,9934; dan 0,9942. Selain itu, diperoleh nilai *standard error* (SE) untuk faktor keamanan rerata, probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=COV_\phi=0,1$ , dan probabilitas keruntuhan dengan  $COV_c=0,5$ ,  $COV_\phi=0,2$  berturut-turut sebesar 0,060; 3,789; dan 3,112.

3. Hasil analisis statistik berupa *R square* ( $R^2$ ) dan *standard error* (SE) mengindikasikan bahwa hasil analisis probabilitas kestabilan lereng menggunakan grafik desain dan Slide memiliki korelasi yang kuat. Hal ini sekaligus mengkonfirmasi bahwa grafik desain probabilitas kestabilan lereng yang diusulkan Javankhoshdel dan Bathurst (2014) valid.

## DAFTAR PUSTAKA

Frelund, M. D., dan Thode, R. (2011). *SVSlope Theory Manual*, SoilVision Systems Inc. Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

Javankhoshdel, S., dan Bathurst, R. (2014). "Simplified Probabilistic Slope Stability Design Charts for Cohesive and  $c-\phi$  Soils". *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 51, No. 9, Februari 2014, Hal. 1033 – 1045.

Murthy, V.N.S. (2003). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Marcel Dekker, New York.

Phoon, K.K., dan Kulhawy, F.H. (1999). "Characterization of Geotechnical Variability". *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 36, No. 4, Hal. 612 – 624.

Singh, R., Umrao, R. K., dan Singh, T. N. (2013). "Probabilistic analysis of slope in Amiyan landslide area, Uttarakhand". *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 4, No. 1, Hal. 13-29, Taylor & Francis.

Steward, T., Sivakugan, N., Shukla, S.K., dan Das, B.M. (2011). "Taylor's Slope Stability Charts Revisited". *International Journal of Geomechanics*, Vol. 11, No. 4. Agustus 2011, Hal. 348–352, ASCE, USA.

Taylor, D.W. (1937). "Stability of Earth Slope". *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, Vol. 24, No. 3, Hal. 197 – 246.