

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN LERENG TERHADAP ANGKA STABILITAS LERENG TANAH KOHESIF BERDASARKAN KURVA TAYLOR DAN *SOFTWARE* GEO5

Andrias Suhendra Nugraha¹, Adi Kurniawan Sutanto²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha dan Mahasiswa Program Studi Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Bandung
Email: andrias.sn@eng.maranatha.edu; andrias.sn@students.itb.ac.id

²Alumnus Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Email: pecodriver@yahoo.co.id

ABSTRAK

Perkembangan *software* dalam bidang geoteknik khususnya pada analisis stabilitas lereng akan mempermudah analisis dan juga memberikan tingkat akurasi analisis yang lebih baik dari metode konvensional. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut kemiringan lereng (β) terhadap angka stabilitas (N_s) pada lereng tanah kohesif homogen berdasarkan kurva Taylor dan analisis *output software* Geo5. Jenis tanah kohesif pada lereng adalah lempung dengan konsistensi medium (*medium clay*). Sudut kemiringan lereng (β) yang ditinjau lebih kecil dari 53° . Hasil studi menunjukkan bahwa salah satu keunggulan analisis stabilitas lereng dengan *software* Geo5 adalah dapat memberikan informasi mengenai lokasi *slip circle* atau *circular slip surface*, dimana hal ini tidak dapat diperoleh dari kurva Taylor. Sudut kemiringan lereng semakin besar, maka angka stabilitas semakin besar untuk setiap faktor kedalaman (D_f) yang sama. Hal tersebut berlaku untuk analisis berdasarkan kurva Taylor maupun berdasarkan *software* Geo5. Selisih *absolute* angka stabilitas berdasarkan kurva Taylor terhadap hasil analisis *software* Geo5, berkisar antara 0.17% hingga 3.08% untuk kondisi faktor jarak (n) antara 0 hingga 3. Angka stabilitas dipengaruhi juga oleh faktor kedalaman, dimana angka stabilitas akan meningkat seiring dengan meningkatkan faktor kedalaman.

Kata kunci: Angka stabilitas, Lereng tanah kohesif, Sudut kemiringan, Kurva Taylor, Geo5.

ABSTRACT

The development of software in the geotechnical engineering, especially in the analysis of slope stability will facilitate the analysis and also provide a better level of accuracy than conventional methods. The study aim to analyze effect of stability number (N_s) to the slope of homogenous cohesion soils based on the Taylor's curve and software Geo5. Type of cohesive soil on the slope is medium clay. The slope angle (β) observed less than 53° . The study results show that one of the advantages of slope stability analysis with Geo5 is that it can provide information about the location of the slip circle or circular slip surface, which cannot be obtained from the Taylor's curve. The greater the slope angle, the greater the stability number for each depth factor (D_f). It applies to the analysis based on the Taylor's curve or based on Geo5. The absolute difference of stability number based on the Taylor's curve to the results based on the Geo5 software analysis ranged from 0.31% to 3.08% for the distance factor (n) ranged from 0 to 3. The stability number is also influenced by the depth factor, where the stability number will increase along with increasing depth factor.

Keywords: Stability Number, Slope of cohesion soils, Slope angle, Taylor's curve, Geo5.

1. PENDAHULUAN

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengevaluasi desain yang aman untuk lereng buatan manusia (*human-made*) atau lereng alami dan kondisi

keseimbangan. Desain suatu lereng yang aman dan ekonomis dapat dimungkinkan dengan adanya perkembangan metode yang modern untuk pengujian tanah dan analisis stabilitas (Salunkhe et al., 2017).

Perkembangan *software* dalam bidang geoteknik khususnya pada analisis stabilitas lereng akan mempermudah analisis dan juga memberikan tingkat akurasi analisis yang lebih baik dari metode konvensional. Taylor (1937) mengusulkan suatu kurva desain untuk mengevaluasi faktor keamanan (*factor of safety*) lereng tanah yang homogen. Salah satu kelemahan dari kurva Taylor adalah tidak dapat menentukan lokasi *slip circle* (Steward et al., 2011).

Pada studi ini akan dilakukan tinjauan pengaruh sudut kemiringan lereng terhadap angka stabilitas (*stability number*), N_s berdasarkan kurva Taylor (1937). Kemudian membandingkan nilai N_s tersebut dengan N_s yang diperoleh dari analisis *output software* Geo5.

2. TUJUAN

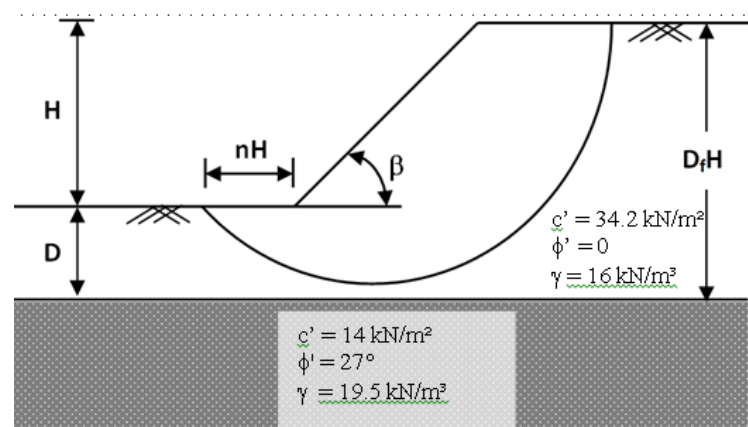
Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi efek pengurangan dimensi *mold* terhadap nilai *California Bearing Ratio (CBR)-unsaturated material crushed limestone* Pangandaran, Jawa Barat.

3. METODOLOGI

3.1 Ruang Lingkup

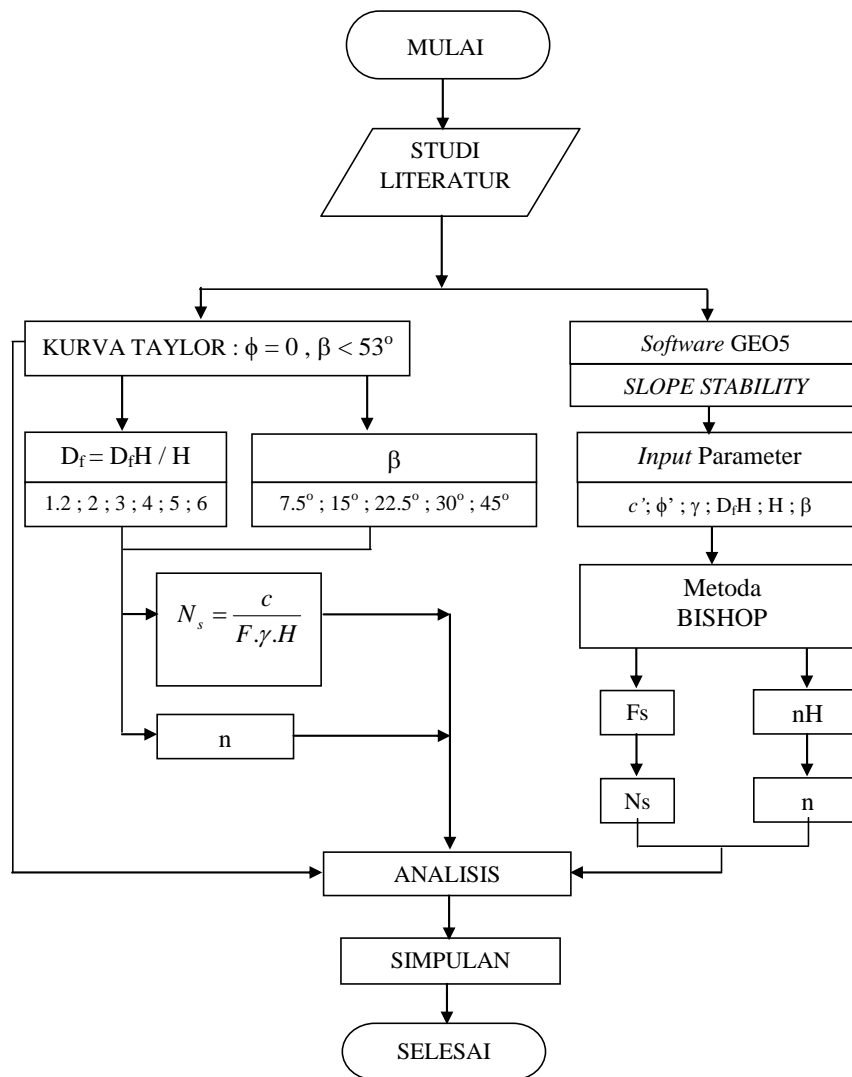
Ruang lingkup studi adalah sebagai berikut:

- a. Skema lereng yang dikaji tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Lereng Tanah Kohesif

b. Bagan alir studi tampak pada Gambar 2.



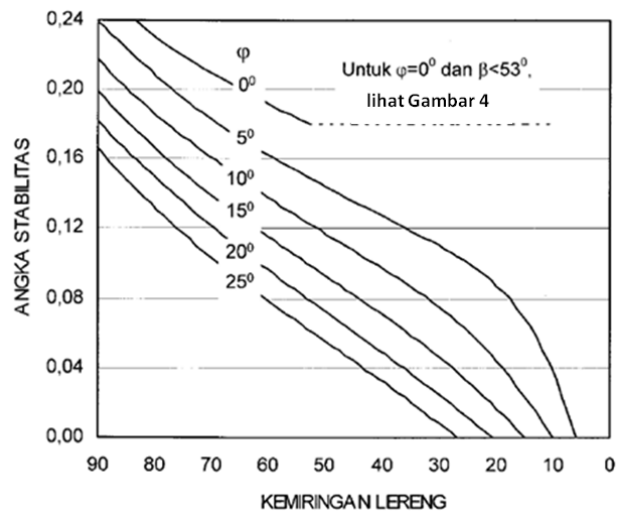
Gambar 2. Bagan Alir Studi

- c. Jenis tanah pada lereng yang ditinjau adalah tanah lempung homogen dengan konsistensi medium (*medium clay*) dengan parameter sebagai berikut: kohesi, $c' = 34.2 \text{ kN/m}^2$, sudut geser dalam, $\phi' = 0^\circ$, dan berat volume, $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$.
- d. Lapisan tanah dasar adalah *gravelly clay* dengan parameter sebagai berikut: $c' = 14 \text{ kN/m}^2$, $\phi' = 27^\circ$, dan $\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$.
- e. Variasi sudut kemiringan lereng (β) adalah : 7.5° ; 15° ; 22.5° ; 30° ; dan 45° .
- f. Ketebalan lapisan *medium clay* (D_fH) adalah 6.0 m.
- g. Tidak ada muka air tanah pada lereng yang ditinjau.

h. Analisis angka stabilitas pada lereng menggunakan kurva Taylor (1937) dan *software Geo5 (V.19 - academic version)*.

3.2 Angka Stabilitas berdasarkan Kurva Taylor

Taylor (1937) telah melakukan pemecahan matematik terhadap analisis stabilitas lereng yang mempunyai kemiringan seragam, dimana faktor keamanan untuk lereng tertentu ditentukan berdasarkan kohesi dan sudut geser dalam (Dep. PU, 2006). Kurva Taylor seperti ditunjukkan pada Gambar 3 merupakan hubungan antara angka stabilitas (*stability number*), N_s dengan sudut kemiringan lereng untuk berbagai nilai sudut geser dalam.



Gambar 3. Kurva Taylor untuk Angka Stabilitas dengan Berbagai Sudut Kemiringan Lereng dan Sudut Geser Dalam
Sumber: Dep. Pekerjaan Umum, 2006

Angka stabilitas dapat didefinisikan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

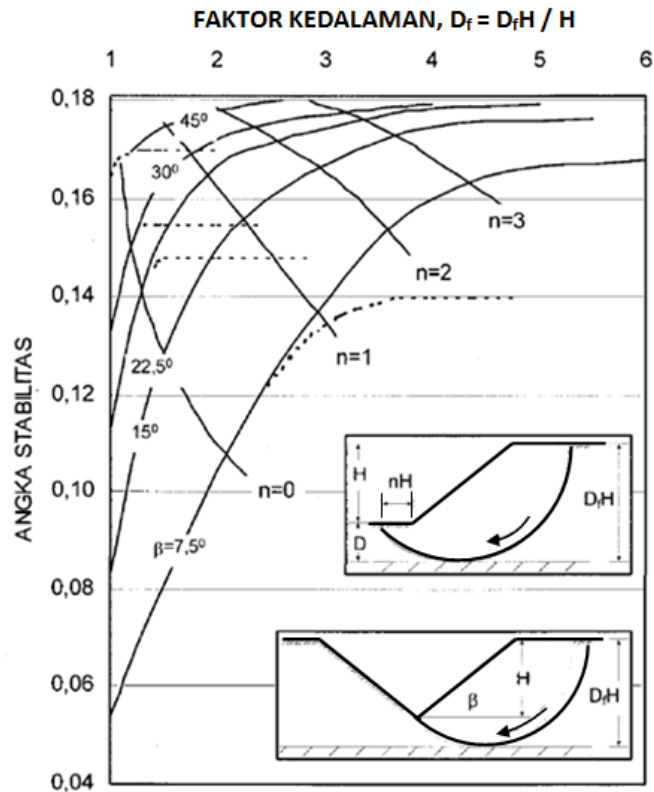
$$N_s = \frac{c}{F \cdot \gamma \cdot H} \quad (1)$$

dimana:

- c = kohesi tanah
- F = faktor keamanan stabilitas lereng
- γ = berat volume tanah
- H = tinggi lereng/kedalaman galian

Dalam menggunakan Persamaan (1), masing-masing parameter harus menggunakan satuan yang konsisten.

Kurva Taylor yang menunjukkan hubungan antara angka stabilitas dan faktor kedalaman (*depth factor*), D_f untuk kondisi $\phi = 0^\circ$ dan $\beta < 53^\circ$ tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Taylor untuk Angka Stabilitas dengan kondisi $\phi = 0^\circ$ dan $\beta < 53^\circ$

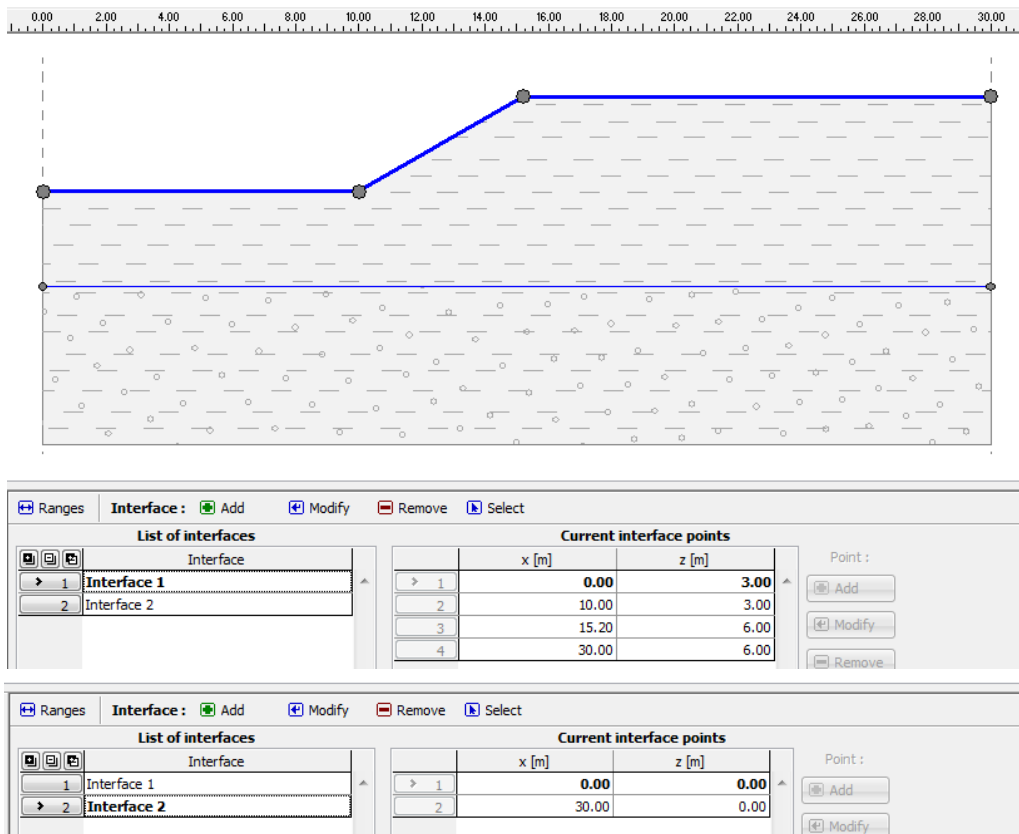
Sumber: Dep. Pekerjaan Umum, 2006

3.3 Analisis Stabilitas Lereng berdasarkan *Software Geo5*

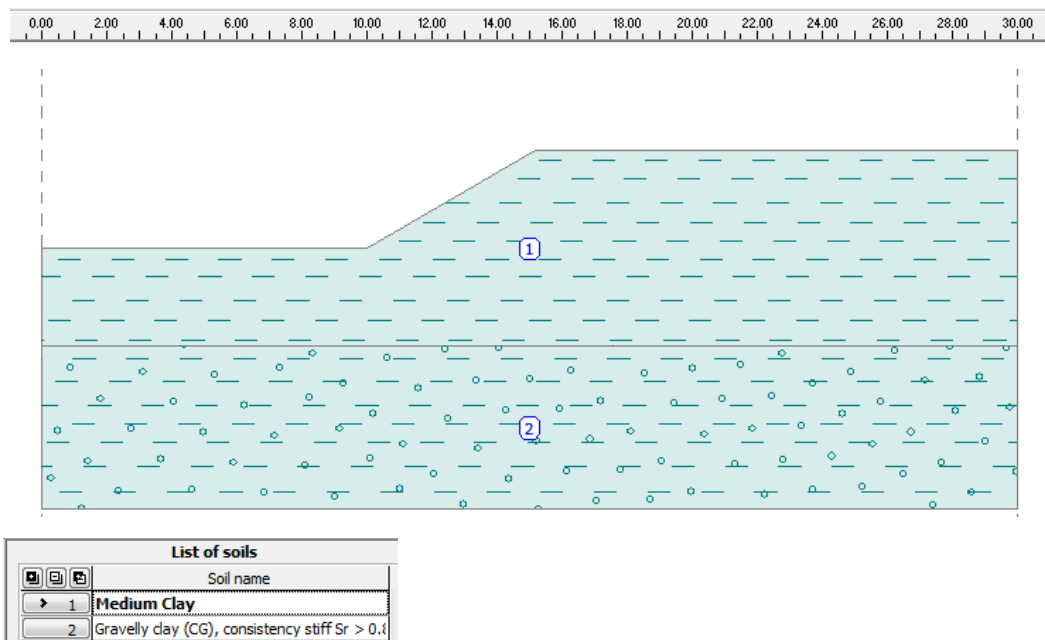
Contoh *input interface*, *input list of soils* dan contoh *output* analisis stabilitas lereng berdasarkan *software Geo5* untuk kondisi $\beta = 30^\circ$ dan $D_f = 2$ tampak berturut-turut pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan bahwa *output software Geo5* akan memberikan parameter dan informasi sebagai berikut :

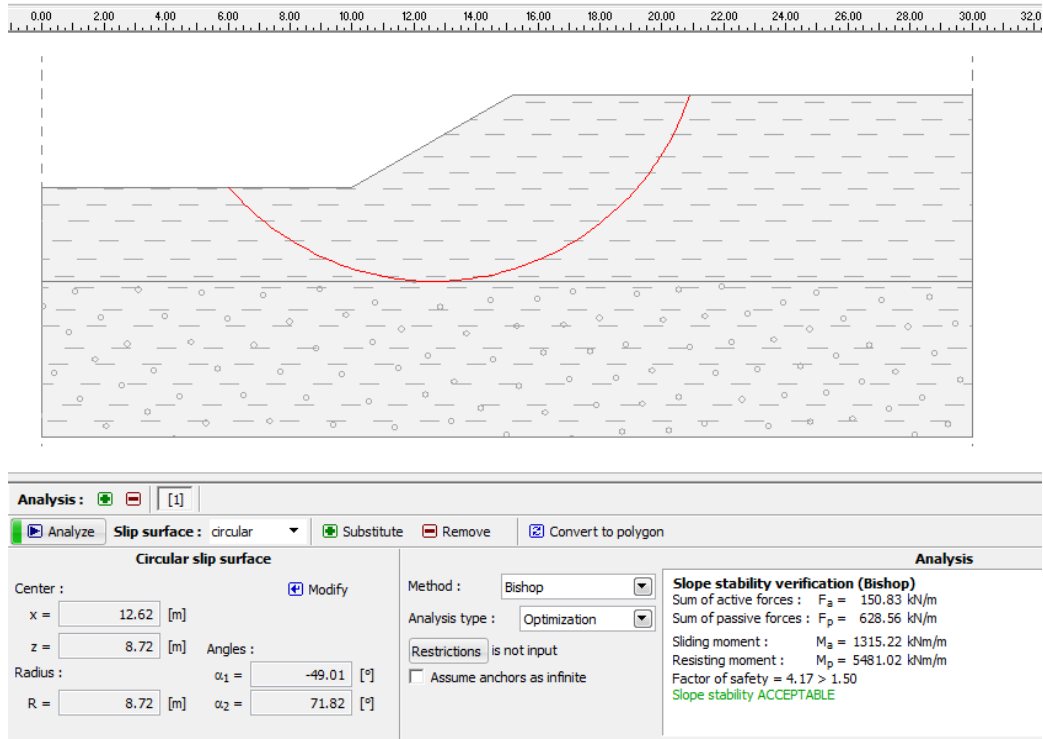
- *factor of safety* (faktor keamanan)
- lokasi *circular slip surface* (*radius*, R dan *center* (x ; z))



Gambar 5. Contoh Input Interface pada Software Geo5 untuk kondisi $\beta = 30^\circ$ dan $D_f = 2$



Gambar 6. Contoh Input List of Soils pada Software Geo5 untuk kondisi $\beta = 30^\circ$ dan $D_f = 2$



Gambar 7. Contoh Output Software Geo5 untuk kondisi $\beta = 30^\circ$ dan $D_f = 2$

Dengan diketahuinya nilai faktor keamanan dari *output software* Geo5, maka nilai N_s dapat diperoleh dengan cara hasil perhitungan empiris yang mengacu pada Persamaan (1). Selanjutnya nilai N_s berdasarkan *output software* Geo5 ini akan dibandingkan dengan N_s yang diperoleh dari kurva Taylor.

4. HASIL DAN DISKUSI

Angka stabilitas dan faktor jarak (*distance factor*) yang diperoleh berdasarkan kurva Taylor (Gambar 4) untuk berbagai sudut kemiringan lereng dan faktor kedalaman yang ditinjau dinyatakan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa faktor kedalaman semakin besar maka angka stabilitas akan semakin besar pula. Demikian pula halnya dengan faktor jarak (n). Batasan untuk faktor jarak menurut kurva Taylor adalah: $0 < n < 3$. Jika $n > 3$ maka nilai angka stabilitas untuk setiap sudut kemiringan lereng tidak dapat ditentukan.

Tabel 1. Angka Stabilitas berdasarkan Kurva Taylor

D _f H (m)	H (m)	Faktor Kedalaman D _f	β (deg)	Kurva Taylor	
				Angka Stabilitas N _s	Faktor Jarak n = nH / H
6	5.0	1.20	45	0.1695	0.23
	3.0	2.00		0.1777	1.92
	2.0	3.00		-	-
	1.5	4.00		-	-
	1.2	5.00		-	-
	1.0	6.00		-	-
6	5.0	1.20	30	0.1510	0.02
	3.0	2.00		0.1718	1.43
	2.0	3.00		0.1768	2.77
	1.5	4.00		0.1790	-
	1.2	5.00		-	-
	1.0	6.00		-	-
6	5.0	1.20	22.5	0.1330	-
	3.0	2.00		0.1661	1.15
	2.0	3.00		0.1738	2.54
	1.5	4.00		0.1780	-
	1.2	5.00		0.1788	-
	1.0	6.00		-	-
6	5.0	1.20	15.0	0.1040	-
	3.0	2.00		0.1493	0.68
	2.0	3.00		0.1662	2.06
	1.5	4.00		0.1741	-
	1.2	5.00		0.1758	-
	1.0	6.00		-	-
6	5.0	1.20	7.5	0.0650	-
	3.0	2.00		0.1040	-
	2.0	3.00		0.1383	1.09
	1.5	4.00		0.1596	2.54
	1.2	5.00		0.1663	-
	1.0	6.00		0.1675	-

Hasil analisis stabilitas lereng berdasarkan *software* Geo5 dengan berbagai sudut kemiringan lereng yang ditinjau pada studi ini dinyatakan pada Tabel 2 hingga Tabel 6. Tabel 2 menunjukkan bahwa untuk $\beta = 45^\circ$; faktor keamanan meningkat seiring dengan meningkatkannya faktor kedalaman. Kondisi ini berlaku pula untuk β lainnya seperti ditunjukkan pada Tabel 3 hingga Tabel 6. Dari keseluruhan sudut kemiringan lereng yang ditinjau pada studi ini, faktor keamanan terendah adalah 2.53 yaitu untuk kondisi $\beta = 45^\circ$. Selain faktor keamanan, lokasi *circular slip surface* yaitu *radius* (R) dan *center* (x ; z) untuk setiap β dapat diketahui dari *output software* Geo5. Hal ini merupakan salah satu keunggulan dari analisis stabilitas lereng berdasarkan *software* Geo5.

Tabel 2. Hasil Analisis Software Geo5 untuk $\beta = 45^\circ$

c' (kN/m ²)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
γ (kN/m ³)	16	16	16	16	16	16
β (deg)	45	45	45	45	45	45
$D_f H$ (m)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
H (m)	5.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
D (m)	1.00	3.00	4.00	4.50	4.80	5.00
D_f	1.20	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
x (m)	12.48	11.47	11.01	10.74	10.62	10.56
z (m)	7.95	8.23	8.77	9.06	9.27	9.41
R (m)	7.95	8.23	8.78	9.05	9.25	9.41
nH (m)	1.38	4.88	6.36	7.08	7.48	7.75
<i>Factor of Safety</i> , F	2.53	4.05	6.00	7.97	9.94	11.93
n	0.276	1.628	3.181	4.718	6.232	7.753
Ns	0.1690	0.1759	0.1781	0.1788	0.1792	0.1792

Tabel 3. Hasil Analisis Software Geo5 untuk $\beta = 30^\circ$

c' (kN/m ²)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
γ (kN/m ³)	16	16	16	16	16	16
β (deg)	30	30	30	30	30	30
$D_f H$ (m)	6	6	6	6	6	6
H (m)	5.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
D (m)	1.00	3.00	4.00	4.50	4.80	5.00
D_f	1.20	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
x (m)	14.35	12.62	12.72	11.33	10.99	10.85
z (m)	9.92	8.72	8.98	9.20	9.34	9.51
R (m)	9.93	8.72	8.99	9.21	9.34	9.51
nH (m)	0.01	3.96	4.76	6.59	7.17	7.52
<i>Factor of Safety</i> , F	2.80	4.17	6.06	8.01	9.98	11.95
n	0.003	1.321	2.382	4.394	5.977	7.523
Ns	0.1527	0.1709	0.1764	0.1779	0.1785	0.1789

Tabel 4. Hasil Analisis Software Geo5 untuk $\beta = 22.5^\circ$

c' (kN/m ²)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
γ (kN/m ³)	16	16	16	16	16	16
β (deg)	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
$D_f H$ (m)	6	6	6	6	6	6
H (m)	5.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
D (m)	1.00	3.00	4.00	4.50	4.80	5.00
D_f	1.20	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
x (m)	15.25	13.62	12.41	9.39	11.46	11.19
z (m)	12.05	9.41	9.17	9.40	9.54	9.53
R (m)	12.29	9.41	9.18	9.34	9.55	9.53
nH (m)	0.13	3.27	5.18	8.56	6.83	7.19
<i>Factor of Safety</i> , F	3.17	4.33	6.16	8.08	10.03	11.99
n	0.026	1.090	2.588	5.708	5.692	7.195
Ns	0.1349	0.1645	0.1735	0.1764	0.1776	0.1783

Tabel 5. Hasil Analisis Software Geo5 untuk $\beta = 15^\circ$

c' (kN/m ²)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
γ (kN/m ³)	16	16	16	16	16	16
β (deg)	15	15	15	15	15	15
$D_f H$ (m)	6	6	6	6	6	6
H (m)	5.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
D (m)	1.00	3.00	4.00	4.50	4.80	5.00
D_f	1.20	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
x (m)	17.76	15.6	13.7	12.81	12.25	11.87
z (m)	18.22	11.17	9.91	9.64	9.64	9.72
R (m)	19.12	11.17	9.91	9.65	9.65	9.72
nH (m)	0.55	2.02	4.25	5.36	6.10	6.63
<i>Factor of Safety</i> , F	3.92	4.76	6.41	8.25	10.16	12.10
n	0.110	0.672	2.127	3.571	5.082	6.627
Ns	0.1091	0.1497	0.1667	0.1727	0.1753	0.1767

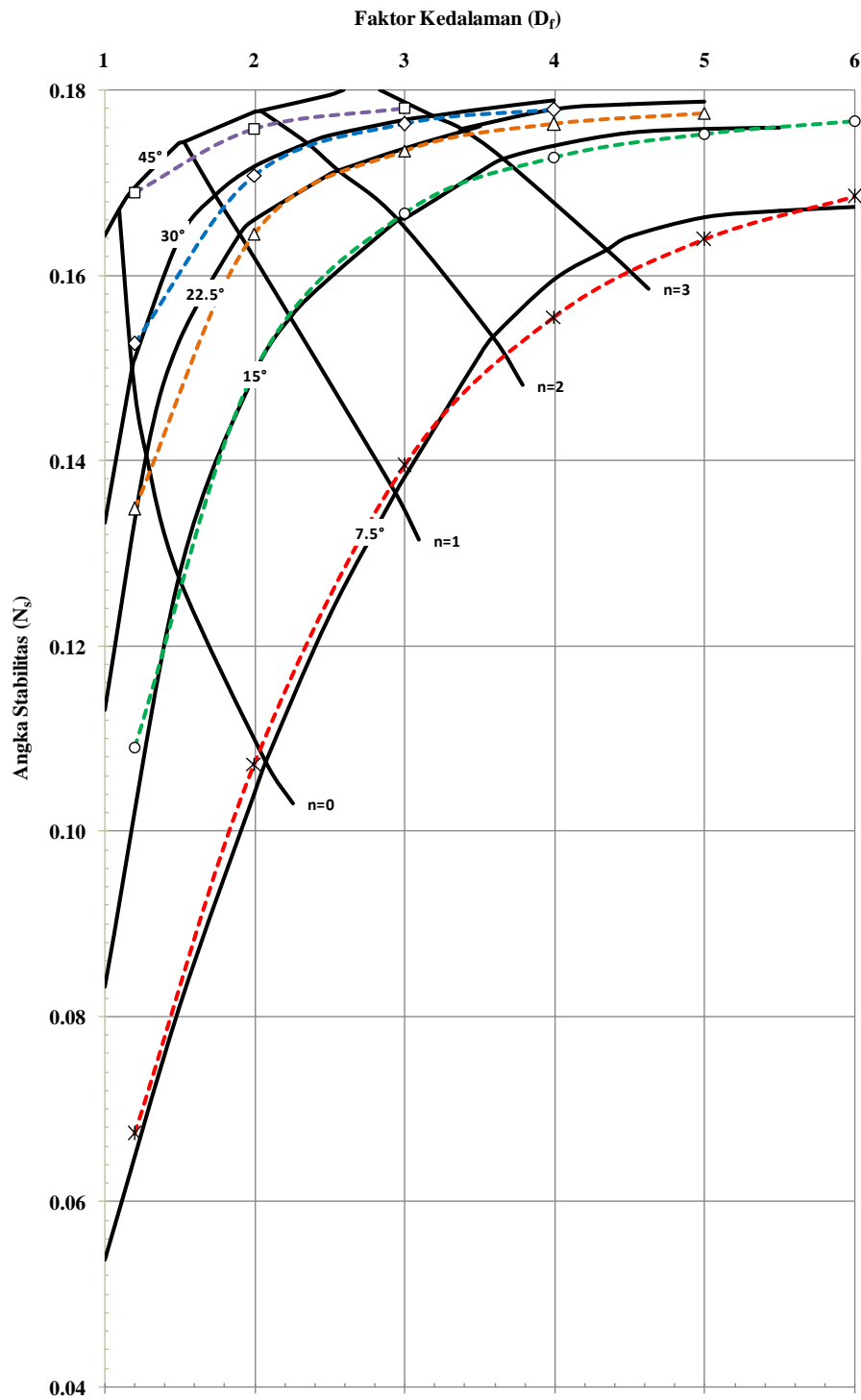
Tabel 6. Hasil Analisis Software Geo5 untuk $\beta = 7.5^\circ$

c' (kN/m ²)	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
γ (kN/m ³)	16	16	16	16	16	16
β (deg)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
$D_f H$ (m)	6	6	6	6	6	6
H (m)	5.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00
D (m)	1.00	3.00	4.00	4.50	4.80	5.00
D_f	1.20	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
x (m)	25.58	21.21	17.57	15.73	14.7	13.76
z (m)	36.72	22.56	14.2	11.97	11.07	10.56
R (m)	39.12	22.57	14.2	11.98	11.08	10.56
nH (m)	0.37	0.05	2.31	3.64	4.44	5.22
<i>Factor of Safety</i> , F	6.35	6.64	7.66	9.16	10.87	12.68
n	0.074	0.017	1.155	2.424	3.696	5.218
Ns	0.0673	0.1073	0.1395	0.1556	0.1639	0.1686

Output software Geo5 tidak secara langsung menghasilkan angka stabilitas. Parameter yang diperoleh dari *output software Geo5* yang digunakan untuk perhitungan empiris angka stabilitas adalah faktor keamanan. Dengan menggunakan Persamaan (1), angka stabilitas untuk setiap sudut kemiringan lereng dapat ditentukan dan nilainya ditunjukkan pada Tabel 2 hingga Tabel 6.

Untuk keseluruhan β yang ditinjau, faktor jarak (n) hasil dari analisis *output software Geo5* dapat memiliki nilai yang lebih besar dari 3. Kondisi ini tidak sama seperti pada saat analisis dengan kurva Taylor yang membatasi nilai n ($0 < n < 3$).

Plot faktor kedalaman dan angka stabilitas untuk berbagai sudut kemiringan lereng yang diperoleh berdasarkan analisis *software Geo5* terhadap kurva Taylor tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Plot Faktor Kedalaman dan Angka Stabilitas untuk Berbagai Sudut Kemiringan Lereng berdasarkan *Software* Geo5 pada Kurva Taylor

Pengaruh sudut kemiringan lereng terhadap angka stabilitas berdasarkan kurva Taylor dan *software* Geo5 dinyatakan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengaruh Sudut Kemiringan Lereng (β) terhadap Angka Stabilitas berdasarkan Kurva Taylor dan *Software* Geo5

Faktor Kedalaman D_f	β (deg)	Kurva Taylor		Geo5		Selisih <i>Absolute</i> Angka Stabilitas (%)
		Angka Stabilitas N_s	Faktor Jarak $n = nH / H$	Angka Stabilitas N_s	Faktor Jarak $n = nH / H$	
1.20	45	0.1695	0.23	0.1690	0.276	0.31
2.00		0.1777	1.92	0.1759	1.628	1.01
3.00		-	-	0.1781	3.181	
4.00		-	-	0.1788	4.718	
5.00		-	-	0.1792	6.232	
6.00		-	-	0.1792	7.753	
1.20	30	0.1510	0.02	0.1527	0.003	1.10
2.00		0.1718	1.43	0.1709	1.321	0.55
3.00		0.1768	2.77	0.1764	2.382	0.25
4.00		0.1790	-	0.1779	4.394	
5.00		-	-	0.1785	5.977	
6.00		-	-	0.1789	7.523	
1.20	22.5	0.1330	-	0.1349	0.026	
2.00		0.1661	1.15	0.1645	1.090	0.94
3.00		0.1738	2.54	0.1735	2.588	0.17
4.00		0.1780	-	0.1764	5.708	
5.00		0.1788	-	0.1776	5.692	
6.00		-	-	0.1783	7.195	
1.20	15.0	0.1040	-	0.1091	0.110	
2.00		0.1493	0.68	0.1497	0.672	0.26
3.00		0.1662	2.06	0.1667	2.127	0.32
4.00		0.1741	-	0.1727	3.571	
5.00		0.1758	-	0.1753	5.082	
6.00		-	-	0.1767	6.627	
1.20	7.5	0.0650	-	0.0673	0.0743	
2.00		0.1040	-	0.1073	0.0170	3.08
3.00		0.1383	1.09	0.1395	1.1546	0.88
4.00		0.1596	2.54	0.1556	2.4239	2.59
5.00		0.1663	-	0.1639	3.6961	
6.00		0.1675	-	0.1686	5.2178	

Tabel 6 menunjukkan bahwa sudut kemiringan lereng semakin besar maka angka stabilitas semakin besar untuk setiap faktor kedalaman yang sama. Hal ini berlaku pada baik pada analisis berdasarkan kurva Taylor maupun *software* Geo5.

Selain itu Tabel 6 menunjukkan juga bahwa selisih *absolute* angka stabilitas berdasarkan kurva Taylor (1937) terhadap hasil analisis *software* Geo5 berkisar antara 0.17% hingga 3.08% untuk kondisi faktor jarak antara 0 hingga 3 ($0 < n < 3$). Untuk angka stabilitas berdasarkan *software* Geo5 dengan kondisi $n > 3$ tidak dilakukan perhitungan selisih angka stabilitasnya, karena tidak dapat dilakukan

penentuan angka stabilitas berdasarkan kurva Taylor untuk kondisi nilai n yang lebih besar dari 3.

5. Simpulan

Simpulan yang diperoleh dari hasil studi ini adalah sebagai berikut:

1. Salah satu keunggulan analisis stabilitas lereng dengan *software* Geo5 adalah dapat memberikan informasi mengenai lokasi *slip circle* atau *circular slip surface*, dimana hal ini tidak dapat diperoleh dari kurva Taylor.
2. Sudut kemiringan lereng semakin besar, maka angka stabilitas semakin besar untuk setiap faktor kedalaman yang sama. Hal ini berlaku untuk analisis berdasarkan kurva Taylor dan *software* Geo5.
3. Selisih *absolute* angka stabilitas berdasarkan kurva Taylor terhadap hasil analisis *software* Geo5 berkisar antara 0.17% hingga 3.08% untuk kondisi faktor jarak antara 0 hingga 3.
4. Angka stabilitas dipengaruhi juga oleh faktor kedalaman, dimana angka stabilitas akan meningkat seiring dengan meningkatkan faktor kedalaman.

DAFTAR PUSTAKA

1. Das, B.M. and Shoban, K, (2014), *Principles of Geotechnical Engineering*, SI, 8th Ed., Cengage Learning, Standford, USA.
2. Departemen Pekerjaan Umum – Dirjen. Bina Marga, (2006), *Pekerjaan Tanah Dasar – Buku 2, Pedoman Konstruksi dan Bangunan*.
3. Look, B.G., (2007), *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, Taylor and Francis, London, UK.
4. Salunkhe, D.P., Chvan, G, Bartakhe, R.N, and Korhavale, P.R., (2017). *An Overview on Methods for Slope Stability Analysis*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 6, 03, pp.528-535.
5. Steward, T., Sivakugan, N., Shukla, S.K., and Das, B.M., (2011). *Taylor's Slope Stability Charts Revisited*, International Journal of Geomechanics, Vol. 11, No. 4, pp.348-352.
6. Taylor, D.W., (1937). *Stability of earth slopes*, J. Boston Soc. Civ. Eng., 24, pp.197-246.