

ANALISA STABILITAS LERENG TANAH BERBUTIR HALUS UNTUK KASUS TEGANGAN TOTAL DENGAN MENGGUNAKAN MICROSOFT EXEL

Handali, S¹⁾, Gea, O²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta

e-mail : safehandali@yahoo.com

²⁾Alumni S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta

ABSTRACT

A simple slope stability program to calculate the safety factor of slopes under total stress condition, assuming circular slip surface, has been developed using Microsoft Excel. Comparisons of the critical safety factors for simple slopes provided by the program and those calculated with the aid of Taylor's stability chart showed satisfactory agreement between the two. The program was then utilized to study how different slope conditions affect the nature of the critical slip circle and the safety factor.

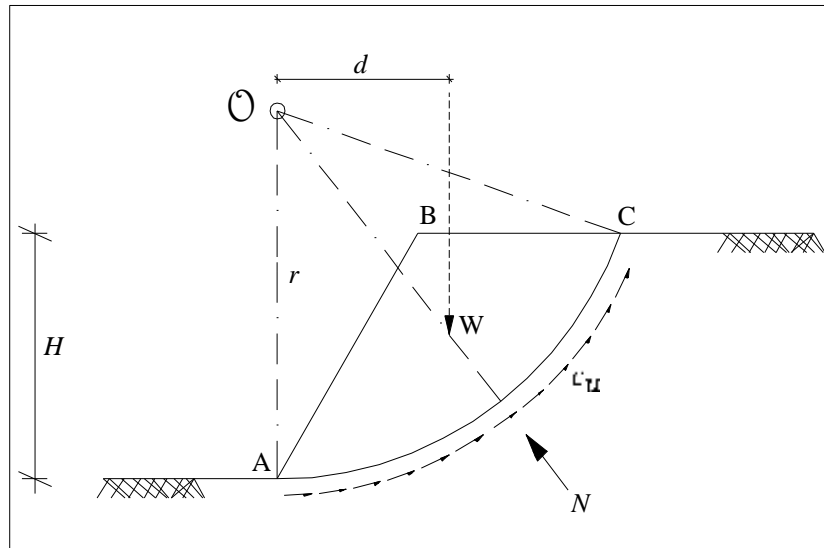
I. PENDAHULUAN

Analisa stabilitas lereng tegangan total adalah analisa stabilitas dilakukan pada lereng yang terbentuk dari tanah berbutir halus yang berada dalam keadaan jenuh sempurna pada kondisi tidak terdrainasi. Kondisi ini dapat terjadi misalnya pada pekerjaan timbunan dengan materi timbunan berupa tanah berbutir halus jenuh air, atau lereng alamiah dari tanah lempung jenuh air yang terbentuk akibat galian sebelum tegangan pori yang timbul akibat proses pembentukan lereng terdisipasi.

Bentuk keruntuhan lereng bervariasi, tergantung dari geometri lereng dan kondisi tanah pada lereng. Pola keruntuhan dapat berupa lingkaran, lengkungan non-lingkaran, translasi atau gabungan dari beberapa pola tersebut. Anggapan bahwa bidang longsor berbentuk busur lingkaran menghasilkan analisa stabilitas lereng yang paling sederhana. Selain itu, anggapan bahwa bidang longsor berbentuk busur lingkaran juga mendekati bentuk sebenarnya dari bidang longsor yang sering terjadi di alam, khususnya untuk lereng yang berada di tanah homogen. Seandainya pun bidang longsor yang sebenarnya tidak berbentuk busur lingkaran sempurna, analisa stabilitas lereng yang didasarkan pada asumsi

bidang longsor berbentuk busur lingkaran akan menghasilkan faktor keamanan yang tidak jauh berbeda dari faktor keamanan yang diperoleh dari bidang longsor yang sebenarnya. Menurut Bowles (1984) kesalahan-kesalahan dalam analisis lereng bukan disebabkan oleh kesalahan dalam menganggap bentuk permukaan keruntuhan tetapi lebih banyak disebabkan oleh kesalahan dalam menentukan besaran-besaran tanah.

Gambar 1 menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada lereng yang mengalami longsor berbentuk busur lingkaran. Untuk analisa tegangan total, parameter geser tanah adalah kuat geser (atau kohesi) *undrained* c_u .



Gambar 1 Keseimbangan Gaya-Gaya pada Bidang Longsor Berbentuk Lingkaran

Faktor keamanan (SF) lereng untuk bidang longsor pada gambar di atas adalah:

$$SF = \frac{c_u \cdot l_a \cdot r}{W \cdot d} \dots\dots\dots (1)$$

dengan l_a = panjang busur lingkaran longsor

r = jari jari lingkaran longsor

W = berat bidang longsor

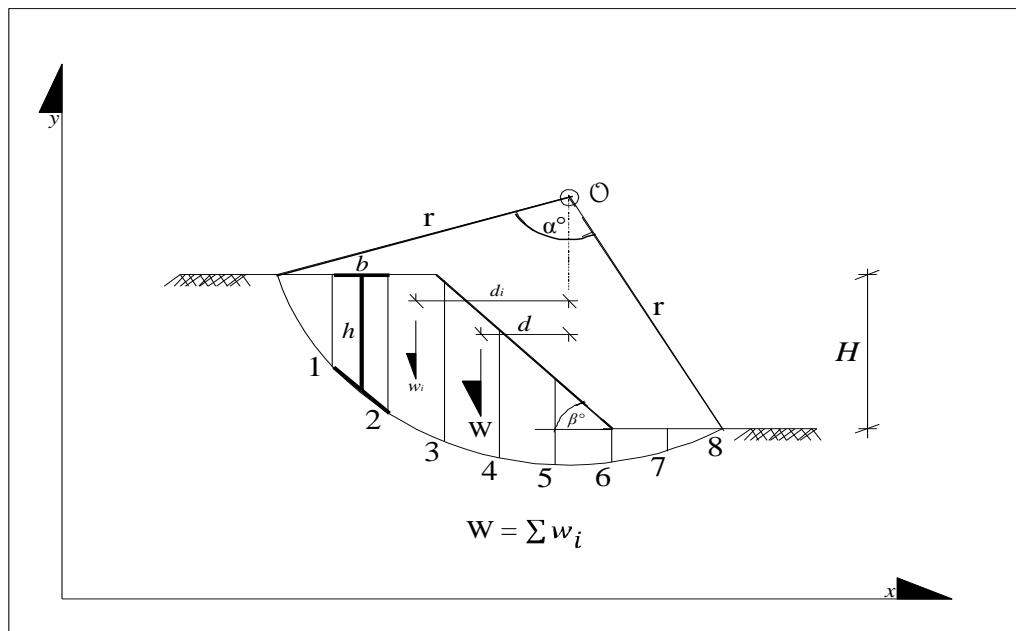
d = lengan momen pusat massa tanah longsor

Untuk lereng tersebut faktor keamanan minimum diperoleh dari bidang longsor paling kritis yang harus ditentukan dari hasil analisa kelongsoran terhadap bidang-bidang longsor potensial lainnya. Proses yang membutuhkan banyak waktu karena untuk setiap lingkaran longsor, berat tanah di bidang longsor dan titik berat bidang tersebut harus

ditentukan. Proses tersebut dapat dilakukan dengan cepat dengan menggunakan program berbasis Microsoft Excel yang dikembangkan dalam studi ini.

Program Stabilitas Lereng Berbasis Microsoft Excel

Persamaan 1 diselesaikan dengan pertolongan program berbasis Microsoft Excel dengan cara yang dijelaskan pada bagian ini.



Gambar 2 Pembagian Bidang Longsor ke Dalam Segmen-Segmen Vertikal

Luas bidang longsor yang dibutuhkan untuk menghitung berat bidang longsor W dihitung dengan membagi bidang longsor ke dalam segmen-segmen vertikal dengan lebar yang sama (Gambar 2). Luas masing-masing segmen (w_i) yang berbentuk trapesium dihitung dengan mengalikan tinggi rata-rata segmen dengan lebar segmen. Kesalahan yang terjadi dalam menganggap busur di bagian bawah segmen sebagai garis lurus dapat diminimalisasi dengan membagi bidang longsor tersebut ke dalam jumlah segmen yang besar.

Jarak W dari titik pusat rotasi O dihitung berdasarkan Persamaan (3) :

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \dots\dots\dots (2)$$

d_i adalah jarak titik pusat massa segmen i ke titik O dan n adalah jumlah segmen.

Panjang busur lingkaran longsor (l_a) adalah:

$$l_a = \frac{\alpha^0}{360^0} \cdot 2 \pi r \dots\dots\dots (3)$$

α^0 = sudut yang dibentuk oleh tali busur lingkaran di titik O

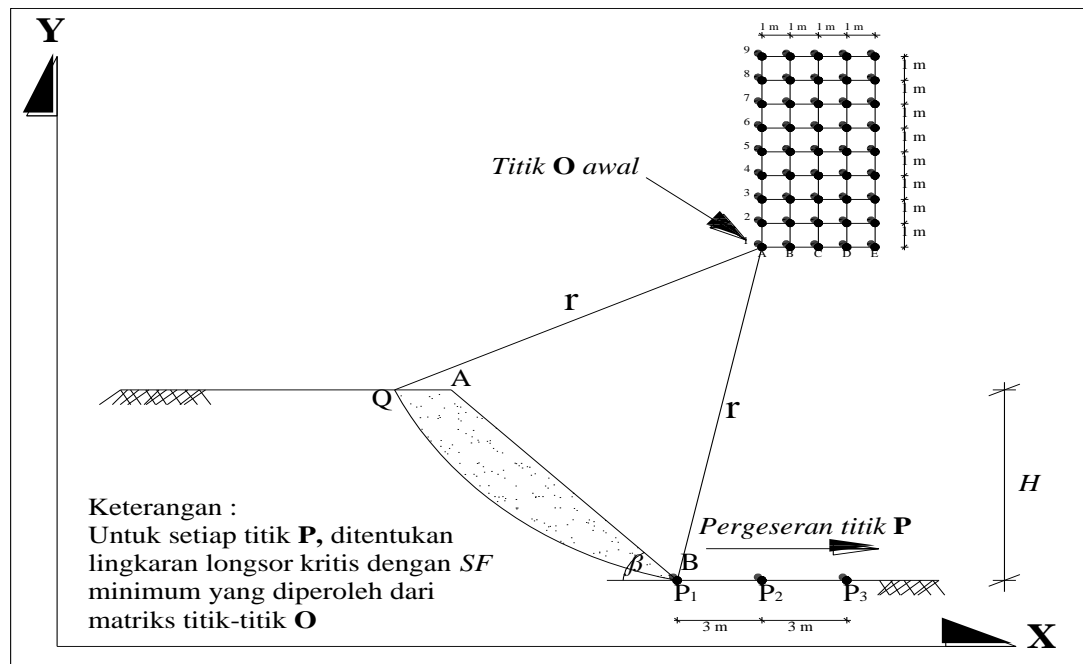
Analisa stabilitas lereng untuk bidang longsor potensial dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

- a. Menggambar geometri lereng sesuai dengan dimensi lereng dan skala gambar pada bidang koordinat cartesian.
- b. Menentukan koordinat titik O untuk lingkaran longsor yang diasumsikan dan titik perpotongan lingkaran longsor pada dasar lereng (titik P pada Gambar 3).
- c. Menghitung jari-jari lingkaran longsor.
- d. Menentukan koordinat titik perpotongan lingkaran longsor pada punggung lereng (titik Q pada Gambar 3).
- e. Menghitung panjang busur lingkaran longsor dengan Persamaan (4).
- f. Membagi bidang longsor ke dalam irisan-irisan vertikal dan menghitung luas bidang longsor.

Langkah selanjutnya adalah menghitung faktor keamanan lereng dengan menggunakan Persamaan (1).

Bentuk fisik lereng digambar dengan menggunakan program AutoCAD pada bidang koordinat cartesian untuk menetapkan koordinat titik-titik yang diperlukan pada program Excel (Gambar 3). Parameter fisik lereng yang diperlukan adalah ketinggian lereng (H) dan sudut antara kemiringan lereng dengan bidang horizontal di dasar lereng. Koordinat yang diperlukan dalam analisa tersebut adalah koordinat titik A, yaitu perpotongan antara lereng bagian atas dengan bidang datar di puncak lereng (lihat Gambar 5) dan titik B, yaitu perpotongan antara lereng bagian bawah dengan bidang datar di dasar lereng.

Untuk memperoleh bidang kelongsoran kritis yang memiliki SF terendah, analisa kelongsoran harus dilakukan untuk semua bidang longsor potensi. Setiap bidang longsor potensi dianggap berupa lingkaran yang berpusat pada titik O dan memotong dasar lereng di titik P (Gambar 3)



Gambar 3. Lokasi Titik-Titik Pusat Lingkaran Kelongsoran Asumsi Melalui Titik *B*

Langkah awal yang diterapkan pada analisa ini adalah menentukan koordinat titik $P_1 =$ titik *B*. Selanjutnya titik *O* ditetapkan, sedemikian hingga busur kelongsoran yang terbentuk melalui P_1 dan memotong puncak lereng. Untuk lingkaran kelongsoran tersebut dapat ditentukan jari-jari lingkaran longsor (r), koordinat titik perpotongan busur dengan punggung lereng (Q) dan panjang busur lingkaran longsor (l_a). Langkah berikutnya adalah membagi bidang longsor kedalam sejumlah irisan vertikal dengan lebar yang sama. Dari koordinat perpotongan sisi-sisi irisan dengan lingkaran longsor dan garis kemiringan lereng dapat ditentukan besaran-besaran yang dibutuhkan untuk perhitungan faktor keamanan lereng.

Faktor keamanan untuk bidang longsor yang berpusat di *O* dan melalui P_1 dihitung. Untuk lingkaran longsor berikutnya dipilih salah satu titik pada matriks titik *O* (Gambar 3). Lingkaran longsor dibuat dengan titik pusat *O* yang baru tersebut, dan melalui P_1 yang sama seperti pada lingkaran kelongsoran sebelumnya. Secara keseluruhan untuk lingkaran longsor yang melalui titik P_1 terdapat 5×9 lingkaran longsor dengan pusat lingkaran yang terletak pada matriks di Gambar 3. Setelah *SF* untuk semua bidang kelongsoran yang melalui titik P_1 tersebut diperoleh, dibuat kontur pada matriks titik *O* untuk memperoleh *SF* minimum. Posisi matriks titik *O* dapat diatur sedemikian rupa sehingga garis-garis kontur dapat dibuat dengan baik untuk penentuan *O* dengan *SF* terkecil seteliti mungkin.

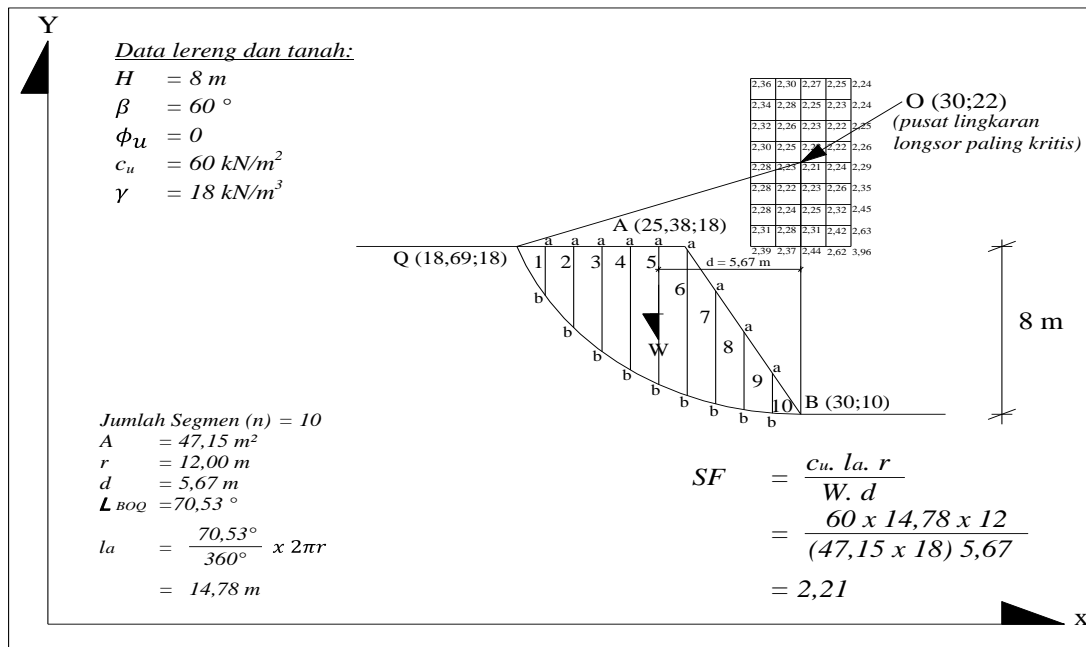
Rangkaian lingkaran kelongsoran selanjutnya ditetapkan memotong dasar lereng di titik P_2 yang berjarak 3 m dari titik B , menjauhi lereng. Penentuan lingkaran kelongsoran dengan SF minimum untuk lingkaran-lingkaran kelongsoran tersebut dilakukan dengan cara yang sama seperti yang telah diterangkan sebelumnya. Rangkaian lingkaran longsor berikutnya dibuat melalui titik P_3 yang bergeser menjauhi lereng sejauh 3 m dari P_2 . Pergeseran titik P dihentikan bila SF minimum yang diperoleh pada titik P terakhir adalah lebih besar dibanding dengan SF minimum dari lingkaran longsor yang melalui titik P sebelumnya.

Seluruh langkah perhitungan yang diuraikan di atas dijabarkan dalam program yang dibuat pada Microsoft Excel. Program tersebut mengakomodasi berapapun jumlah irisan yang dipilih. Semakin banyak jumlah irisan, semakin akurat luas bidang longsor yang dihitung yang juga mempengaruhi akurasi perhitungan faktor keamanan. Pergeseran otomatis titik pusat lingkaran longsor pada matrix titik O dan pergeseran titik P di kaki lereng sebagai bagian dari upaya memperoleh bidang kelongsoran kritis dapat diakomodasi dalam program tersebut, sehingga faktor keamanan minimum untuk lereng tersebut dapat diperoleh dengan cepat.

Contoh Hasil Program Stabilitas Lereng Berbasis Excel

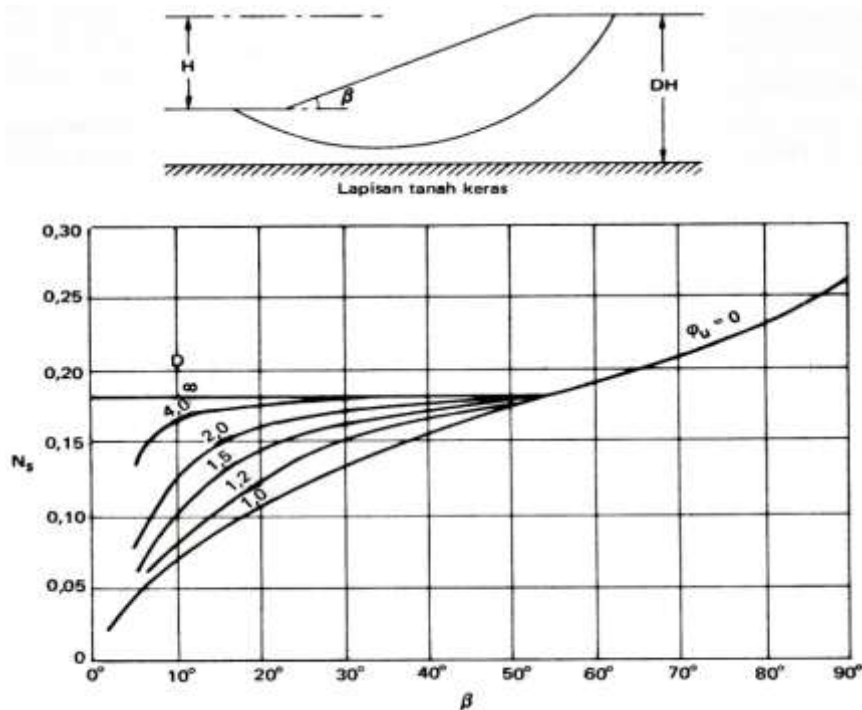
Penggunaan program analisa lereng berbasis Excel yang dikembangkan pada studi ini diilustrasikan dengan mengadakan analisa kestabilan lereng tegangan total terhadap lereng fiktif di tanah berbutir halus jenuh air yang mempunyai ketinggian 8 m dan kemiringan lereng sebesar 60° . Kohesi *undrained* tanah ditetapkan sebesar 60 kN/m^2 dan $\gamma_{\text{total}} = 18 \text{ kN/m}^3$. Tanah keras dianggap berada pada kedalaman yang besar sehingga tidak mengintervensi pola keruntuhan lereng pada tanah yang ditinjau. Jumlah lempeng vertikal untuk penentuan luas bidang longsor adalah 10.

Perhitungan faktor keamanan dilakukan untuk bidang-bidang longsor dengan koordinat-koordinat titik pusat lingkaran longsor O seperti yang terlihat pada Gambar 4. Faktor keamanan yang dihitung untuk setiap lingkaran longsor dicantumkan pada titik-titik pusat lingkaran seperti pada gambar tersebut. Dari matriks tersebut diperoleh faktor keamanan minimum untuk lereng tersebut. Dari Gambar 4 terlihat bahwa pusat lingkaran longsor kritis berada pada koordinat (30,22) dengan jari-jari lingkaran = 12 m. Faktor keamanan minimum = 2,21.



Gambar 4. Faktor Keamanan untuk Lingkaran Longsor Paling Kritis

Faktor keamanan yang diperoleh dari program berbasis Excel tersebut dibandingkan dengan faktor keamanan yang diperoleh dari Koefisien stabilitas Taylor (1948) di Gambar 5.



Gambar 5 Koefisien Stabilitas Taylor (1948)

Faktor keamanan berdasarkan metode Taylor adalah:

$$SF = \frac{c_u}{N_s \cdot \gamma \cdot H} \dots\dots\dots (4)$$

N_s = koefisien stabilitas lereng yang diperoleh dari Gambar 4.

Untuk kasus lereng yang sama dan sudut geser dalam *undrained* (ϕ_u) = 0, cara Taylor menghasilkan faktor keamanan sebesar 2,19. Program berbasis Excel dengan jumlah irisan vertikal bidang longsor = 10 memberikan $SF = 2,21$, yang cukup dekat dengan hasil yang diperoleh dengan cara Taylor. Bila jumlah irisan vertikal untuk perhitungan luas bidang longsor pada program berbasis Excel ini ditingkatkan menjadi 100, angka SF yang diperoleh adalah 2,19, tepat sama dengan SF yang diperoleh dengan cara grafis Taylor. Peningkatan jumlah segmen vertikal bidang longsor jelas mempengaruhi akurasi hasil analisa seperti terlihat pada kasus ini. Kendala yang dihadapi seandainya analisa ini dilakukan secara manual adalah panjangnya waktu yang dibutuhkan bila jumlah segmen menjadi sangat banyak. Pada program berbasis Excel ini usaha yang diperlukan hanyalah memberi *input* jumlah irisan di awal program.

Pengaruh Kemiringan Lereng pada Faktor Keamanan dan Pola Keruntuhan Lereng

Program stabilitas lereng yang dikembangkan pada studi ini dipergunakan untuk menyelidiki pengaruh besarnya sudut kemiringan lereng pada angka keamanan. Tinggi lereng dan parameter tanah yang digunakan untuk peninjauan tersebut adalah sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sudut kemiringan lereng yang dianalisa adalah bervariasi antar 30° dan 80°.

Gambar 6 menunjukkan lingkaran-lingkaran longsor kritis dan pola keruntuhan lereng yang menghasilkan faktor keamanan minimum untuk empat sudut kemiringan lereng (β), yaitu 30°, 45°, 54° dan 80°. Dapat dilihat bahwa faktor keamanan lereng dengan sudut kemiringan yang relatif landai yaitu 30° dan 45° diperoleh dari pola keruntuhan *deep failure*, yaitu lingkaran longsor memotong dasar lereng. Ini berbeda dengan lereng dengan sudut kemiringan 80°, yang menunjukkan pola keruntuhan *toe failure*, yaitu lingkaran longsor bertemu dengan titik perpotongan antara kaki lereng dan dasar lereng. Dapat diamati pula bahwa lereng dengan $\beta = 30^\circ$ dan 45° mempunyai faktor keamanan minimum yang sama, yaitu 2,31, sedangkan lereng dengan $\beta = 80^\circ$ menunjukkan faktor keamanan minimum sebesar 1,81.

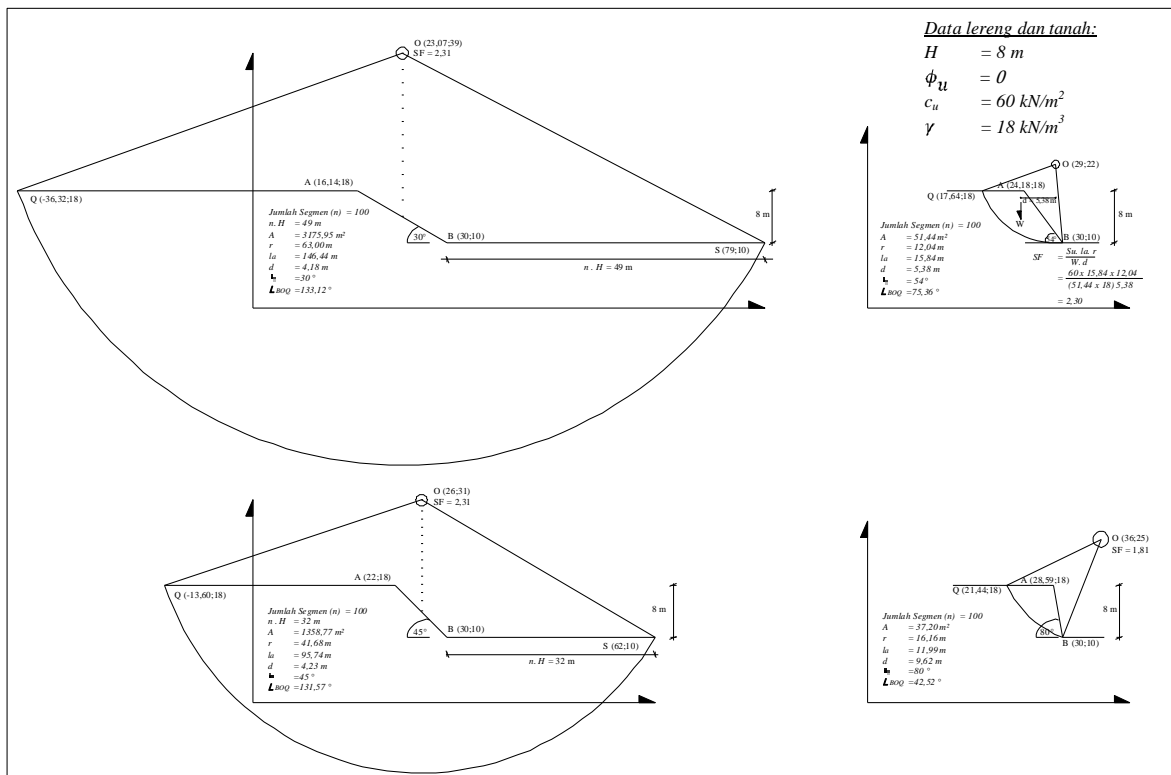
Di Gambar 7 diperlihatkan hubungan antara faktor keamanan dari lingkaran kritis untuk lereng-lereng kemiringannya bervariasi antara 30° dan 80° . Dapat dilihat bahwa semua lereng dengan $\beta \leq 54^\circ$ memiliki faktor keamanan yang sama, yaitu 2,31, terlepas dari besarnya kemiringan lereng, sedangkan faktor keamanan untuk lereng dengan $\beta > 54^\circ$ ditentukan oleh kemiringan lereng. Semakin tinggi β , semakin rendah faktor keamanan lereng. Variasi antara β dan faktor keamanan kurang lebih linier. Dari pengamatan terhadap Gambar 6 dan Gambar 7 tersebut dapat disimpulkan untuk lereng dengan $\beta < 54^\circ$ faktor keamanan minimum diperoleh dari pola keruntuhan *deep failure* dan faktor keamanan untuk semua lereng tersebut adalah sama, yaitu 2,31. Untuk lereng dengan $\beta > 54^\circ$ faktor keamanan minimum diperoleh dari pola keruntuhan *toe failure* dan besarnya faktor keamanan menurun seiring dengan meningkatnya sudut kemiringan lereng.

Telah disinggung sebelumnya bahwa penggunaan grafik Taylor (1948) di Gambar 5 merupakan cara mudah untuk menghitung faktor keamanan minimum untuk lereng dengan tinggi, kemiringan lereng dan kuat geser *undrained* tertentu. Grafik tersebut dipergunakan untuk menghitung faktor keamanan minimum untuk lereng pada studi ini dengan β yang bervariasi antara 30° dan 80° . Variasi antara faktor keamanan minimum dan β yang diperoleh dari cara Taylor tersebut ditunjukkan pada Gambar 8, bersamaan dengan grafik yang ditunjukkan sebelumnya di Gambar 7, yaitu yang diperoleh dari program analisa keruntuhan berbasis Excel.

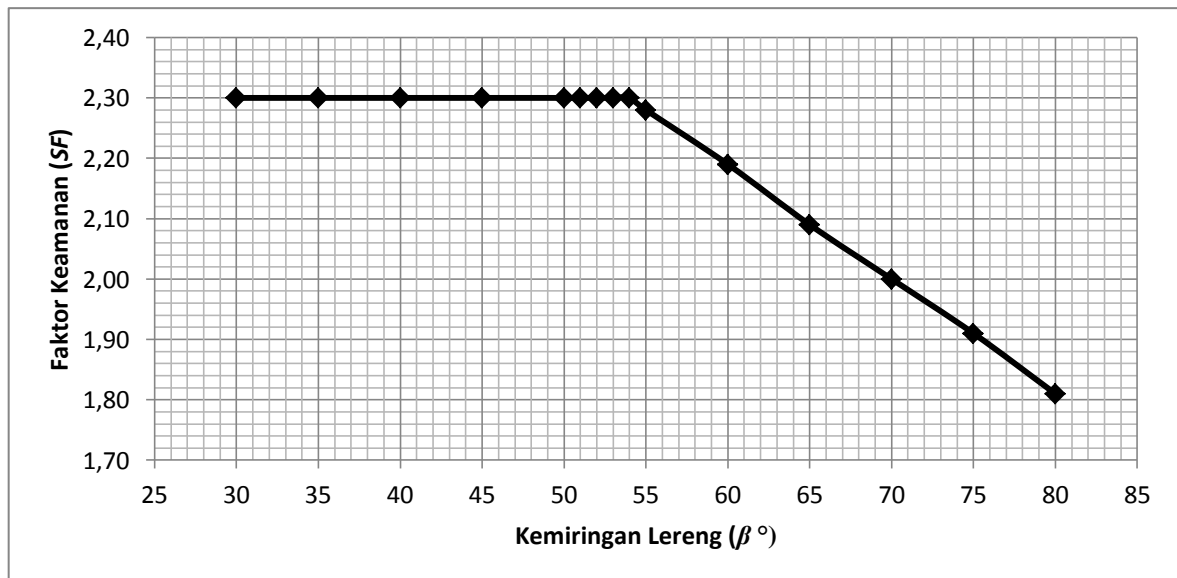
Dapat dilihat bahwa grafik yang diperoleh dari kedua metode analisa tersebut menunjukkan pola yang sama dan kurang lebih berimpit. Untuk setiap sudut kemiringan lereng, selisih antara faktor keamanan dari kedua hasil analisa tersebut hanya berkisar antara 0,01 sampai dengan 0,03, sehingga dapat dikatakan bahwa kedua metode tersebut menghasilkan faktor keamanan minimum yang identik. Mengingat hasil dari metode Taylor (1948) adalah faktor keamanan lereng yang minimum, berimpitnya kedua grafik tersebut memastikan bahwa angka-angka faktor keamanan yang diperoleh dari program berbasis Excel ini adalah memang angka-angka faktor keamanan minimum.

Seperti diketahui metode Taylor (1948) langsung memberikan faktor keamanan lereng untuk lingkaran keruntuhan yang paling kritis. Kekurangan pada metode ini adalah bahwa hasil yang diperoleh melalui cara ini hanyalah angka keamanan minimum. Metode ini tidak menunjukkan geometri lingkaran kelongsoran kritis yang menghasilkan angka

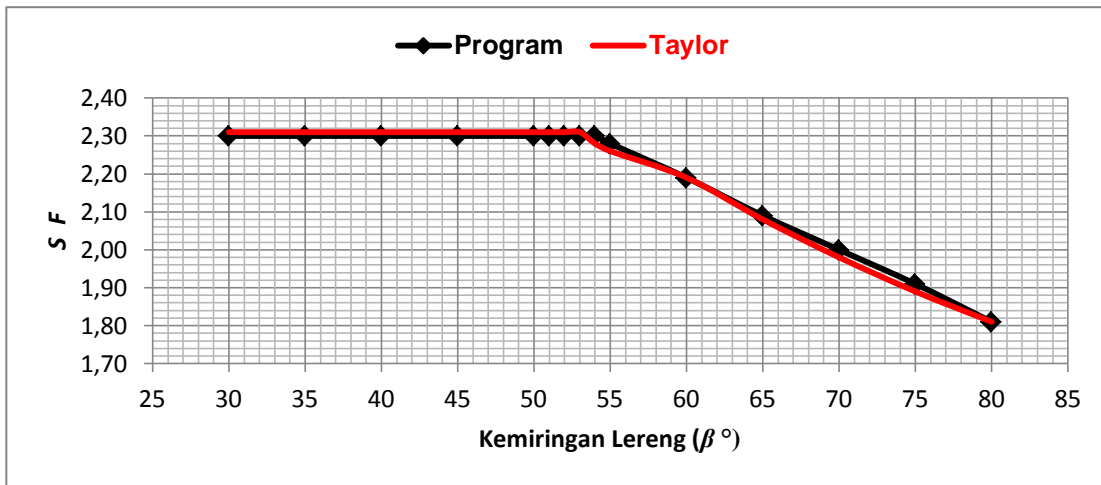
faktor keamanan minimum tersebut, meskipun informasi ini seringkali dibutuhkan. Pada program ini informasi tentang geometri lingkaran kelongsoran tersebut dapat diperoleh dengan mudah.



Gambar 6 Bidang Longsor Lereng dengan Faktor Keamanan Minimum pada Sudut Kemiringan Lereng 30°, 45°, 54°, dan 80°

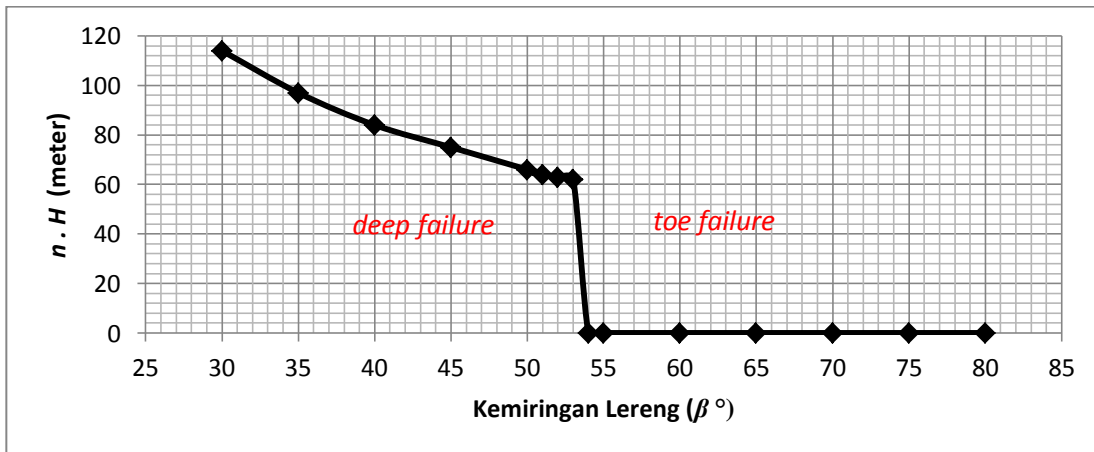


Gambar 7 Hubungan Sudut Kemiringan Lereng dengan Faktor Keamanan untuk Lereng dengan $H = 8,0 \text{ m}$, $c_u = 60 \text{ kN/m}^2$ dan $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$



Gambar 8 Perbandingan Hasil Analisa Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Program Excel dan Grafik Taylor (1948)

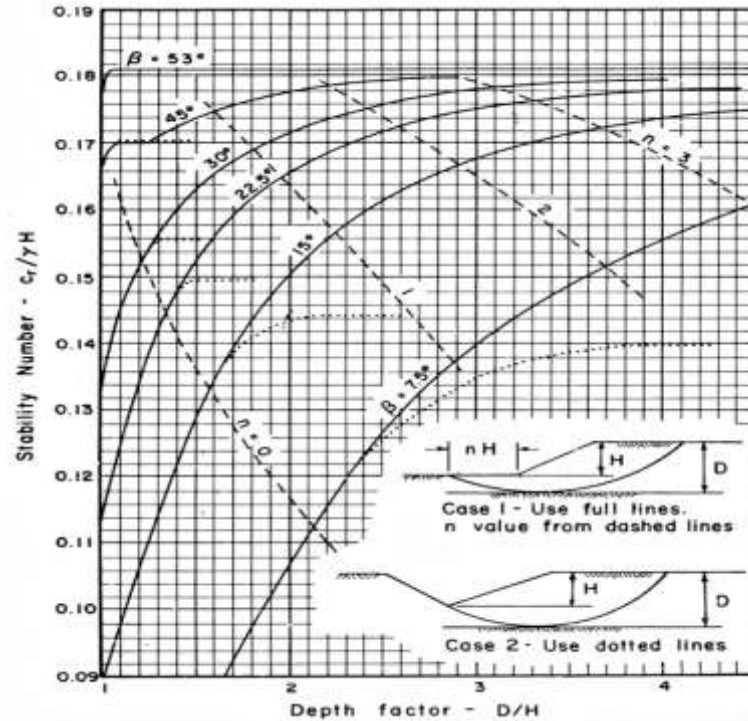
Sebelumnya telah dijelaskan pula bahwa salah satu informasi yang dapat diperoleh dari grafik Taylor pada analisa kestabilan lereng adalah letak titik potong lingkaran longsor yang paling kritis dengan dasar lereng, diukur dari titik potong antara kaki lereng dengan dasar lereng. Jarak tersebut diberi notasi $n.H$, dimana H adalah tinggi lereng. Gambar 9 menunjukkan jarak $n.H$ sebagai fungsi dari β° yang diperoleh dari program analisa kestabilan lereng yang dikembangkan pada penelitian ini. Dapat dilihat bahwa pada lereng dengan $\beta < 53^\circ$, $n.H > 0$ yang menunjukkan *deep failure*. Dapat dilihat pula bahwa $n.H$ menurun dengan meningkatnya β . Peralihan dari $\beta = 53^\circ$ ke 54° menunjukkan penurunan nilai $n.H$ yang dramatis, yaitu dari 60 m menjadi 0. Nilai $n.H = 0$ menunjukkan *toe failure*. Ini menandakan bahwa perubahan dari *deep failure* menjadi *toe failure* terjadi pada sudut kemiringan lereng antara 53° dan $\beta = 54^\circ$. Pola ini juga sesuai dengan pola yang ditunjukkan oleh grafik Taylor di Gambar 10.



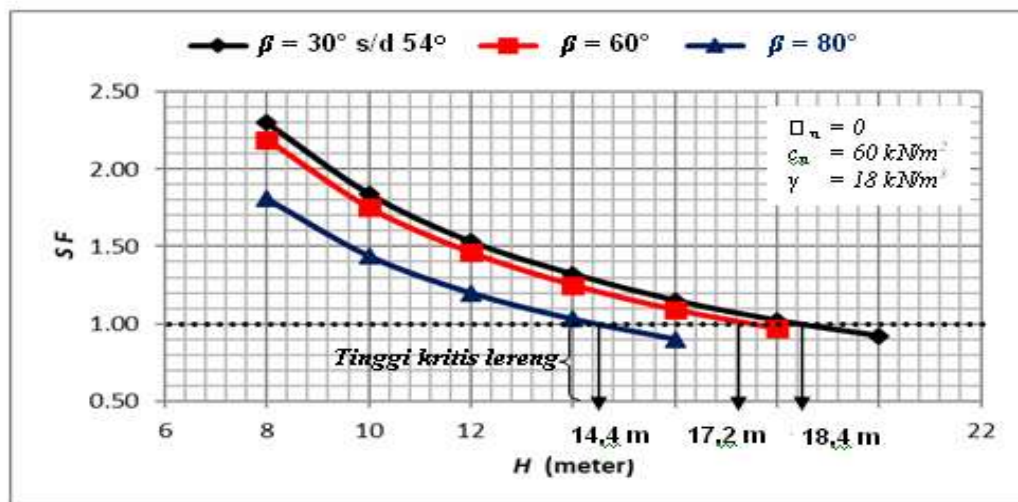
Gambar 9 Hubungan $n.H$ dan β

Pengaruh Ketinggian Lereng Terhadap Faktor Keamanan

Program stabilitas lereng berbasis Excel dipergunakan untuk menyelidiki pengaruh tinggi lereng terhadap faktor keamanan untuk contoh lereng dengan data tanah yang sama seperti pada contoh di atas, yaitu kohesi *undrained* = 60 kN/m², $\gamma = 18$ kN/m³. Faktor keamanan dihitung untuk tiga sudut kemiringan lereng, yaitu 30°, 60°, dan 80°. Tinggi lereng bervariasi antara 8 dan 20 m. Hasil analisa yang berupa faktor keamanan minimum lereng dirangkum pada Gambar 11.



Gambar Koefisien Stabilitas Taylor (1948)



Gambar 11 Hubungan Ketinggian Lereng dengan Faktor Keamanan

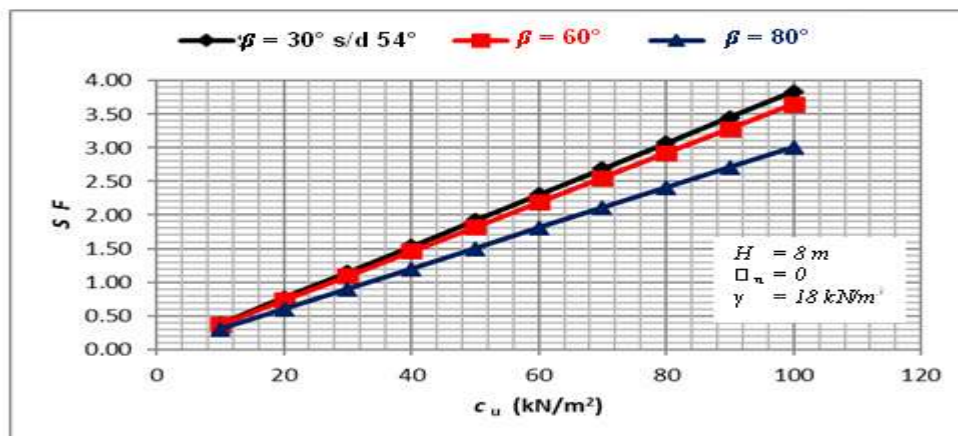
Dari Gambar 11 tersebut dapat diperoleh beberapa pengamatan:

- Faktor keamanan turun dengan meningkatnya tinggi lereng.
- Variasi faktor keamanan dengan tinggi lereng untuk lereng dengan β yang bervariasi antara 30° dan 54° (atau secara umum: $\beta \leq 54^\circ$) terwakili oleh satu kurva saja. Ini menunjukkan bahwa lereng dengan ketinggian sama memiliki faktor keamanan minimum yang sama, tidak tergantung sudut kemiringan lereng selama $\beta < 54^\circ$.
- Untuk lereng dengan tinggi yang sama dan mempunyai kemiringan $\geq 54^\circ$: semakin tinggi β , semakin kecil faktor keamanan
- Gambar 4.7 juga dapat dimanfaatkan untuk menentukan tinggi kritis lereng. Ketinggian kritis lereng didefinisikan sebagai tinggi lereng yang memiliki $SF = 1,0$. Tinggi kritis lereng dengan $\beta = 30^\circ$, 60° dan 80° berturut-turut adalah 18 m, 17 m dan 14 m. Ini berarti bahwa untuk lereng dengan kemiringan-kemiringan tersebut lereng berada dalam keadaan aman bila tinggi lereng lebih rendah dari angka-angka di atas.

Pengaruh Kohesi *Undrained* terhadap Faktor Keamanan Lereng

Program stabilitas lereng berbasis Excel dipergunakan untuk menyelidiki pengaruh besarnya parameter geser tanah c_u terhadap faktor keamanan lereng. Untuk menyelidiki hal tersebut ditetapkan lereng yang tingginya 8,0 m dengan kemiringan lereng 30° , 60° dan 80° , sedangkan c_u bervariasi antara 10 kN/m^2 dan 100 kN/m^2 .

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa untuk ke lereng dengan tiga sudut kemiringan yang berbeda tersebut, faktor keamanan meningkat secara linier dengan peningkatan c_u . Ekstrapolasi garis-garis tersebut menunjukkan bahwa hubungan-hubungan linier tersebut kurang lebih berpangkal dari titik (0,0). Dengan kata lain untuk lereng dengan tinggi tertentu, besarnya faktor keamanan berbanding lurus dengan besarnya c_u .



Gbr 12 Hubungan c_u dengan Faktor Keamanan untuk $\beta = 30^\circ$, 60° dan 80°

Persamaan 4 dari rumus Taylor (1948) untuk menghitung faktor keamanan juga menunjukkan hubungan linier antara SF dan c_u . Persamaan 4 menunjukkan hubungan linier antara SF dan c_u yang memiliki kemiringan garis sebesar $\frac{1}{N_s \gamma H}$. Untuk lereng yang memiliki $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $H = 8 \text{ m}$ dan $\beta = 80^\circ$, angka stabilitas N_s yang diperoleh dari kurva Taylor di Gambar 5 adalah 0,226. Kemiringan garis antara SF dan c_u berdasarkan Taylor adalah 0,0307. Kemiringan garis yang sama yang diperoleh dari Gambar 12 adalah 0,0306 yang boleh dikatakan identik dengan nilai yang diperoleh dari cara Taylor. Ini membuktikan akurasi analisa stabilitas lereng berbasis Excel yang dikembangkan pada studi ini.

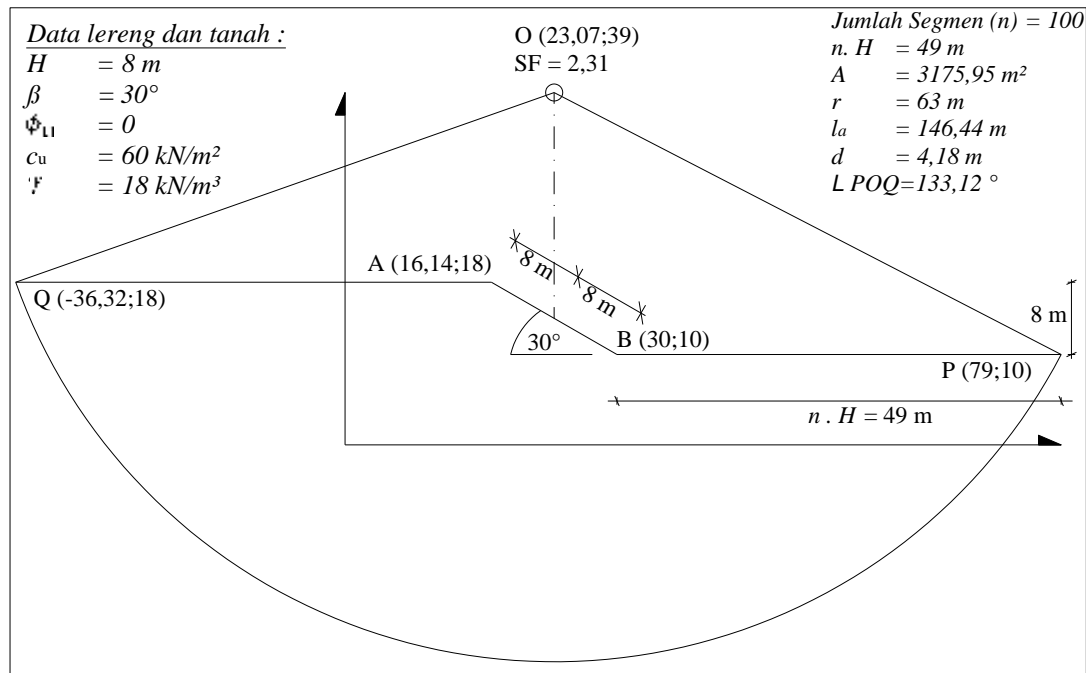
Gambar 11 juga menunjukkan bahwa untuk lereng-lereng dengan $\beta < 54^\circ$ (pola keruntuhan *deep failure*) hubungan antara c_u dan faktor keamanan diwakili oleh satu garis tunggal, yang menunjukkan bahwa faktor keamanan tidak tergantung dari besarnya β . Untuk $\beta > 54^\circ$ (pola keruntuhan *toe failure*) variasi antara faktor keamanan dan c_u tergantung dari sudut β . Dari pengamatan terhadap perbedaan kelandaian garis-garis untuk beberapa nilai β tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin landai lereng, semakin cepat faktor keamanan meningkat dengan peningkatan c_u .

Tempat Kedudukan Titik Pusat Lingkaran Longsor untuk Keruntuhan *Deep Failure*

Bagian ini memuat hasil penyelidikan tentang lokasi titik pusat lingkaran longsor kritis untuk pola keruntuhan *deep failure* dengan kemiringan lereng sebagai variabel. Pola keruntuhan *deep failure* terjadi pada lereng dengan $\beta < 54^\circ$. Sebagai awal dari penyelidikan dilakukan analisa kestabilan untuk lereng dengan $\beta = 30^\circ$, $H = 8 \text{ m}$, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ dan $c_u = 60 \text{ kN/m}^2$.

Gambar 13 menunjukkan lingkaran kelongsoran untuk lereng tersebut. Faktor keamanan minimum yang diperoleh dari analisa adalah 2.31. Lingkaran kelongsoran tersebut berpusat pada titik O yang memiliki koordinat (23;39) pada bidang kartesian yang dibuat untuk menggambar lereng tersebut. Pada gambar dapat dilihat juga bahwa koordinat titik A (perpotongan antara punggung lereng dan sisi lereng) adalah (16,14;18,0) sedangkan koordinat titik B (perpotongan antara sisi lereng dan kaki lereng) adalah (30,0;10,0). Di arah sumbu horizontal, titik tengah antara A dan B berada pada koordinat $x = 23,07 \text{ m}$. Angka ini kurang lebih sama dengan koordinat x dari titik O pada gambar,

yaitu 23,0 m. Bahwa titik pusat lingkaran kritis lereng mempunyai absis yang sama dengan titik tengah lereng untuk keruntuhan *deep failure* telah diungkapkan oleh banyak peneliti, dan juga terbukti dari hasil analisa stabilitas lereng yang dikembangkan pada penelitian ini.



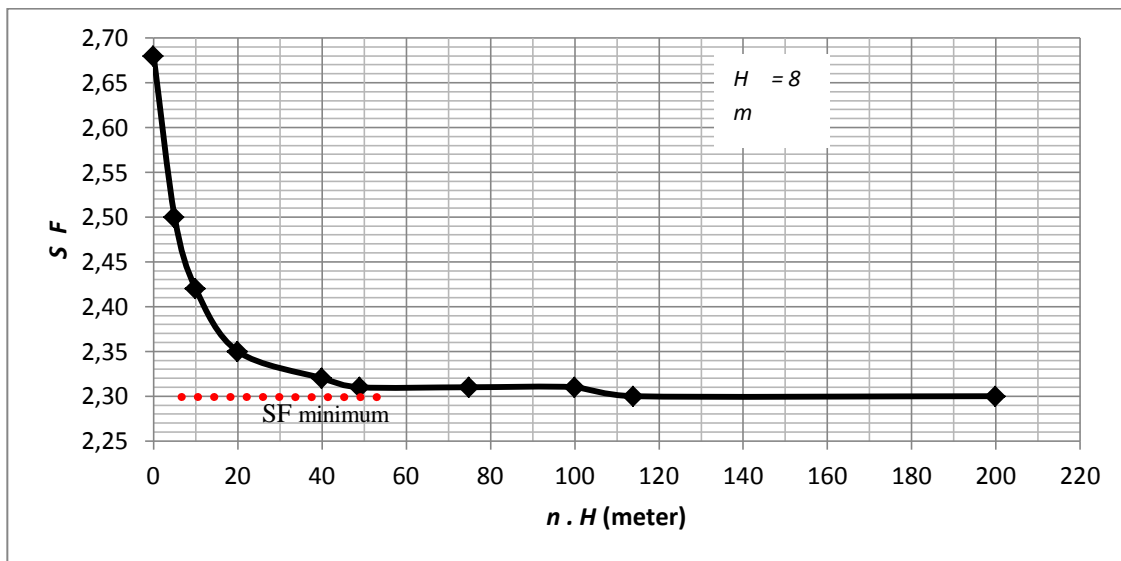
Gambar 13 Letak Titik Pusat Lingkaran Longsor Kritis tipe *Deep Failure*

Pergeseran Titik Potong Lingkaran Longsor dengan Kaki Lereng pada Keruntuhan *Deep Failure*

Sebagaimana telah dibahas sebelumnya, lereng dengan $\beta < 54^\circ$ akan menghasilkan pola keruntuhan tipe *deep failure* dimana lingkaran longsor memotong dasar lereng pada jarak tertentu (titik *P*) dari pertemuan antara kaki lereng dengan dasar lereng (titik *B*). Jarak antara *B* dengan *P* (di Gambar 3) diberi notasi $n.H$, dimana H adalah tinggi lereng. Untuk mempelajari hubungan antara $n.H$ dan faktor keamanan dilakukan analisa stabilitas pada lereng dengan $\beta = 30^\circ$, $H = 8$ m, $c_u = 60$ kN/m² dan $\gamma = 18$ kN/m³. Tanah keras dianggap berada pada kedalaman yang sangat besar. Hasil analisa stabilitas tersebut ditunjukkan pada Gambar 14.

Pada Gambar 14 dapat dilihat hubungan antara faktor keamanan dengan $n.H$. Untuk lingkaran longsor yang melalui titik *B* ($n.H = 0$), $SF = 2,68$. Awalnya SF turun dengan cepat pada saat $n.H$ meningkat dari 0 sampai 20 m. Pada $n.H > 114$ m SF menunjukkan nilai konstan sebesar 2,32, yang merupakan SF minimum lereng tersebut.

Dapat disimpulkan pula bahwa SF minimum untuk lereng dengan pola keruntuhan *deep failure* terjadi pada $n.H$ yang sangat besar dibandingkan dengan ukuran lereng itu sendiri.



Gambar 14 Hubungan antara SF dan $n.H$ untuk Lereng dengan $\beta = 30^\circ$

Penutup

Upaya untuk mengembangkan cara yang mudah untuk melakukan analisa stabilitas lereng di tanah lempung untuk kondisi *undrained* dengan menggunakan Microsoft Excel berhasil dilakukan, terbukti dari tingkat kesamaan yang tinggi dari hasil diperoleh melalui program ini dan melalui metode standard Taylor (1948). Program dengan Microsoft Excel ini dapat dikembangkan untuk mengakomodasi kondisi lereng yang lebih rumit, misalnya keadaan tanah yang berlapis dan lereng dengan kemiringan yang tidak seragam. Program ini juga dapat dikembangkan untuk memecahkan persoalan kestabilan lereng berbasis tegangan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E.** (1984). "*Sifat Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*," Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C.** (2007). "*Mekanika Tanah II*," Edisi ke empat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Taylor, D. W.** (1948). "*Fundamentals of Soil Mechanics*." John Wiley & Sons, New York, 700 pp.