

Analisis Angka Keamanan Lereng Metode *Fellenius* dan Program *Plaxis V.8.2* (Studi Kasus: Bozem Kalidami Surabaya)

Indra Wahyu Utomo¹, Laily Endah Fatmawati²

^{1,2}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45 Surabaya

²E-mail: lailyendah@untag-sby.ac.id

Abstract — *In geotechnical engineering, one of the most common causes of landslides is an increase in the shear stress of the soil or a decrease in the shear strength of the soil mass so that it cannot withstand the applied load. Analysis on the slope of Bozem Kalidami Surabaya is done to determine the safety number of existing slopes based on data obtained from boring tests. The analysis of safety factor was carried out in two ways, namely manual calculations using the Fellenius method and the Plaxis v.8.2 programme which aims to compare the results of both. Analysed using manual calculation of the fellenius method, the safety factor value is 0.208. As for the results of the Plaxis v.8.2 programme, the safety factor value is 0.833. Because the calculation results obtained from both methods <1.5, it can be concluded that the slope of Bozem Kalidami Surabaya is unstable.*

Keywords: *Fellenius; Plaxis; safety factor.*

Abstrak— *Dalam bidang rekayasa geoteknik, salah satu penyebab tanah longsor yang paling umum adalah peningkatan suatu tegangan geser pada tanah atau penurunan kekuatan geser massa tanah sehingga tidak dapat menahan beban yang diterapkan. Analisis pada lereng Bozem Kalidami Surabaya dilakukan untuk mengetahui angka keamanan lereng eksisting dengan berdasarkan data yang diperoleh dari tes boring. Analisis angka keamanan dilakukan dengan dua cara yaitu perhitungan manual menggunakan metode Fellenius dan program Plaxis v.8.2 yang bertujuan membandingkan hasil keduanya. Dianalisis menggunakan menggunakan perhitungan manual metode fellenius didapatkan nilai angka keamanan sebesar 0,208. Sedangkan untuk hasil program Plaxis v.8.2 didapatkan nilai angka keamanan sebesar 0,833. Karena hasil perhitungan yang diperoleh dari kedua metode <1,5, maka dapat disimpulkan bahwa lereng Bozem Kalidami Surabaya tidak stabil.*

Kata-kata kunci: *Fellenius; Plaxis; angka keamanan.*

I. PENDAHULUAN

Pada akhir ini di Indonesia, kejadian tanah longsor semakin parah dan semakin meluas. Dalam bidang rekayasa geoteknik, salah satu penyebab tanah longsor yang paling umum adalah peningkatan suatu tegangan geser yang terjadi pada tanah atau penurunan kekuatan geser massa tanah yaitu, kekuatan geser pada tanah tidak dapat menahan beban yang diterapkan. Lereng pada Bozem Kalidami memiliki kondisi eksisting berupa pasangan batu kali sepanjang 620 meter pada sisi utara dan selatan bozem dengan luasan ± 20.000 m². Sedangkan pada sisi timur dan barat bozem terdapat rumah pompa dan pintu air yang telah menggunakan CCSP sebagai konstruksi yang berfungsi sebagai penahan tanah pada bagian lahan tersebut. Pada lokasi yang ditinjau untuk penelitian tepatnya berada pada sisi utara bozem yang memiliki panjang 310 meter dan beberapa titik telah mengalami keretakan.

Untuk itu pada penelitian ini bertujuan untuk menghitung berapa angka keamanan pada

stabilitas lereng Bozem Kalidami Surabaya menggunakan perhitungan metode *fellenius* dan program *plaxis v.8.2*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

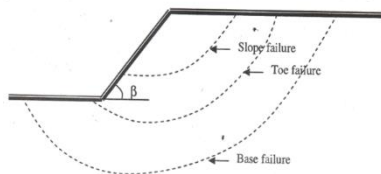
Menurut (Dokuchaev, 1870), tanah merupakan lapisan pada permukaan bumi yang dihasilkan dari bahan induk yang telah mengalami proses lanjutan karena beberapa pengaruh diantaranya air, udara, dan organisme tak hidup dan hidup lainnya. Tingkat transformasi diwakili dalam komposisi, struktur, dan warna produk pelapukan.

Dalam pengertian teknis, menurut (Das, 1995), tanah ialah suatu material yang terdiri dari agregat mineral padat (butiran) yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan partikel-partikel komponen organik yang telah lapuk. Cairan dan gas mengisi ruang antara partikel materi padat.

Dalam kelompok tanah terdapat dua atau tiga bagian. Di dalam tanah yang bersifat kering, tergolong ke dalam dua bagian diantaranya butiran - butiran tanah dan pori - pori udara. Di dalam tanah yang bersifat jenuh mempunyai dua bagian, diantaranya adalah butiran-butiran tanah dan air pori. Sedangkan jika keadaan tanah tersebut tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian butiran-butiran, air pori, dan juga pori-pori udara (Hardiyatmo, 1996).

2.2 Stabilitas Lereng

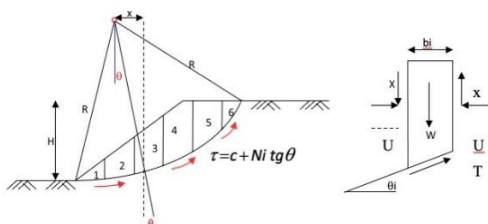
Kelongsoran sering terjadi pada tanah homogen/*uniform* (sepanjang bidang sirkular) dan pada bidang lereng alam yang lemah (*non sirkular*). Pada lereng yang curam biasanya kelongSORan berada didekat permukaan dan untuk lereng yang lebih rendah biasanya terjadi pada tanah keras (Redana, 2010).Tanda – tanda kelongSORan tersebut yaitu adanya tension *crack* pada puncak lereng. Kelongsoran dapat dijelaskan melalui pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Jenis Kelongsoran Bidang Lingkaran
Sumber: Redana, 2010

2.3 Metode Fellenius

Pendekatan *Fellenius*, juga dikenal sebagai Metode Slice Biasa, diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927). Nilai sf ditentukan oleh keseimbangan momen dengan memperhitungkan fakta bahwa gaya bekerja pada sudut yang tegak lurus dengan dasar baji. Fellenius menjelaskan bahwa metodenya dengan membuat asumsi keruntuhan itu disebabkan oleh rotasi sebidang tanah pada bidang gelincir berbentuk melingkar, dengan titik O sebagai pusat rotasi. Metode ini mengasumsikan bahwa gaya tipikal besarnya P bekerja di dalam titik fokus baji.



Gambar 2. Gaya bidang pada pias bidang longsor
Sumber: Das, 1995

Jika terdapat air pada lereng maka tekanan air pori pada daerah yang akan terjadi longsor tidak akan berdampak pada Md. Hal ini dikarenakan gaya yang ditimbulkan oleh tekanan air pori akan melewati pusat lingkaran.

$$FS = \frac{(c \times L) + (Wt \cos * \tan\theta)}{(Wt \sin)} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

- Fs = faktor keamanan
- C = kohesi tanah (kN/m2)
- L = panjang bagian lingkaran (m)
- φ = sudut gesekan dalam tanah (°)
- w = berat irisan tanah ke-1 (kg.m/m2)
- θ = sudut yang diidentifikasi (°)

2.4 Program *Plaxis*

Plaxis adalah suatu paket program yang dirancang khusus untuk menganalisis stabilitas dan deformasi rekayasa geoteknik dan berdasarkan metode elemen hingga. Model elemen hingga yang kompleks dapat dibuat dengan cepat dan simpel menggunakan prosedur pemodelan grafis sederhana, dan berbagai fasilitas dan fitur yang dapat digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan yang terperinci. Faktor keamanan dalam mekanika tanah adalah suatu perbandingan dari kuat tanah yang tersedia terhadap kuat minimum yang dihitung dalam tujuan mencapai keseimbangan. Beracuan pada penerapan kondisi standar dari *Coulomb*, faktor keamanan dihitung melalui Persamaan 2.

$$SF = \frac{Cult + \sigma_n * \tan \phi_{ult}}{Call + \sigma_n * \tan \phi_{all}} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

- SF = Fator keamanan;
- Cult = kohesi yang tersedia;
- σn = Tegangan normal;
- φult = sudut geser dalam yang tersedia;
- Call = kohesi yang diijinkan;
- φall = sudut geser dalam yang diijinkan.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Identifikasi Masalah

Rumusan masalah yang menjadi pembahasan adalah stabilitas lereng sudah memenuhi angka aman atau belum.

3.2 Model Pemecahan Masalah

Model yang digunakan dalam pemecahan masalah yang telah teridentifikasi adalah

perhitungan stabilitas lereng menggunakan metode *fellenius* dan program *Plaxis v.8.2*.

3.3 Pengumpulan Data

- Studi Lapangan

Data yang digunakan adalah data sekunder berupa *soil test*.

- Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas. Teori dasar yang digunakan adalah mengenai angka keamanan lereng.

3.4 Pengolahan Data dan Analisis

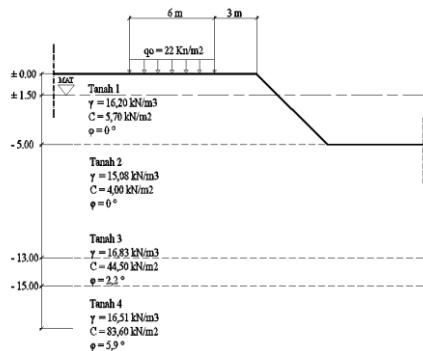
Pengolahan data dan analisis dilakukan dengan perhitungan matematis menggunakan metode *fellenius* dan program *plaxis v8.2* yang nanti nya akan menghasilkan solusi pada permasalahan ini.

3.5 Evaluasi Hasil

Evaluasi hasil perhitungan dengan metode *fellenius* akan dibandingkan dengan hasil pengolahan melalui program *Plaxis v.8.2*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

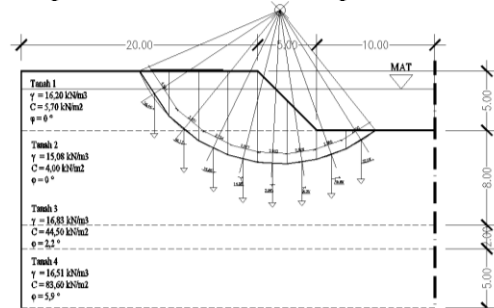
Untuk mengetahui suatu kondisi lereng tersebut stabil atau tidak maka perlu dihitung angka keamanan pada lereng eksisting. Untuk gambar penampang lereng seperti yang terlihat pada Gambar 3. Analisis perhitungan manual untuk stabilitas lereng eksisting di gunakan metode *Fellenius*. Dimana metode tersebut dianalisa berdasarkan daerah potensial keruntuhan. Selain itu, perhitungan juga dilakukan menggunakan program *Plaxis v.8.2* untuk melihat angka keamanan dan *displacement* yang terjadi pada lereng eksisting.



Gambar 3. Permodelan lereng eksisting dengan AutoCAD

4.1 Perhitungan Manual Menggunakan Metode *Fellenius*

Analisis perhitungan manual untuk memperoleh nilai keamanan stabilitas lereng eksisting digunakan dengan menggunakan metode *Fellenius*. Dimana metode tersebut dianalisis berdasarkan daerah potensial keruntuhan pada lereng. Untuk contoh analisis perhitungan dapat dilihat pada uraian dibawah ini pada Gambar 4.



Gambar 4. Irisan Daerah Keruntuhan Tanah Lereng

Sumber: Penulis, 2023

Berdasarkan gambar pada pias-pias tersebut dapat diketahui parameter yang dibutuhkan dalam dasar perhitungan angka keamanan pada metode *Fellenius* seperti panjang, luas, dan sudut yang terbentuk. Untuk mengetahui parameter tersebut dalam setiap piasnya adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data irisan

No	(L) Jarak Irisan (m)	(A) Luasan (m ²)			α (°)
		Tanah ₁	Tanah ₂	Tanah ₃	
1	4,56	5,45	0,00	5,39	56,44
2	3,25	10,88	0,56	11,44	39,13
3	2,75	11,39	1,78	11,68	25,86
4	2,58	11,50	5,07	0,00	14,08
5	2,50	8,38	6,00	0,00	2,86
6	2,53	4,13	6,71	0,00	-8,25
7	2,66	0,00	5,56	0,00	-19,69
8	2,95	0,00	3,12	0,00	-32,08

Contoh perhitungan pada irisan 1 perhitungan manual dengan metode *fellenius* dapat dilihat seperti uraian di bawah ini:

1. Perhitungan Radians

$$Rad = \alpha \times \frac{\pi}{180} = 56 \times \frac{3,14}{180} = 0,98$$

2. Perhitungan Berat Irisan

$$\begin{aligned}
 W1 &= \gamma \times Luasan Irisan \\
 W1 \text{ tanah 1} &= 16,2 \times 5,45 = 88,32 \\
 W2 &= \gamma \times Luasan Irisan \\
 W2 \text{ tanah 2} &= 15,08 \times 0,00 = 0 \\
 W3 &= Beban \times Luasan Irisan \\
 W3 \text{ beban atas} &= 22 \times 5,39 = 118,6 \\
 W \text{ total} &= W1 + W2 + W3 \\
 &= 88,32 + 0 + 118,6
 \end{aligned}$$

- $$= 206,9$$
- 3. Perhitungan $\sin \alpha$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sin(\text{Rad}1) \\ &= \sin 0,98 = 0,83 \end{aligned}$$
- 4. Perhitungan $\cos \alpha$

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \cos(\text{Rad}1) \\ &= \cos 0,98 = 0,99 \end{aligned}$$
- 5. Perhitungan $W_{\text{total}} \times \sin \alpha$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_t \times \sin \alpha \\ &= 206,9 \times 0,83 = 172,34 \end{aligned}$$
- 6. Perhitungan $W_t \times \cos \alpha$

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_t \times \cos \alpha \\ &= 206,9 \times 0,99 = 205,66 \end{aligned}$$

Berdasarkan uraian yang terjabarkan pada contoh perhitungan irisan 1 di atas, maka untuk hasil dari irisan 2 sampai dengan irisan 8 dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut ini:

Tabel 2. Perhitungan irisan total

No	$W_1 = \gamma \times A$	$W_2 = \gamma \times A$	$W_3 = q \times A$	$W_{\text{tot}} = W_1 + W_2 + W_3$	α (...°)
1	88,32	0,00	118,56	206,88	56,44
2	176,24	8,40	251,59	436,23	39,13
3	184,57	26,84	256,96	468,37	25,86
4	186,30	76,50	0,00	262,80	14,08
5	135,68	90,54	0,00	226,22	2,86
6	66,83	101,19	0,00	168,01	-8,25
7	0,00	83,78	0,00	83,78	-19,69
8	0,00	47,11	0,00	47,11	-32,08

Tabel 3. Perhitungan irisan total (lanjutan)

No	Radian (α)	Sin (Rad)	Cos (Rad)	$W_t * \sin(\alpha)$	$W_t * \cos(\alpha)$
1	0,98	0,83	0,99	172,34	205,66
2	0,68	0,63	0,78	275,18	338,49
3	0,45	0,44	0,90	204,19	421,51
4	0,25	0,24	0,97	63,90	254,91
5	0,05	0,05	1,00	11,28	225,93
6	-0,14	-0,14	0,99	-24,10	166,27
7	-0,34	-0,34	0,94	-28,22	78,89
8	-0,56	-0,53	0,85	-25,01	39,92

Setelah semua parameter yang diperlukan dalam menghitung angka keamanan sudah didapatkan maka perhitungan menggunakan Persamaan 3.

$$FS = \frac{(5,70 \times 23,78) + (1731,60 \times 0)}{649,57} \dots\dots\dots(3)$$

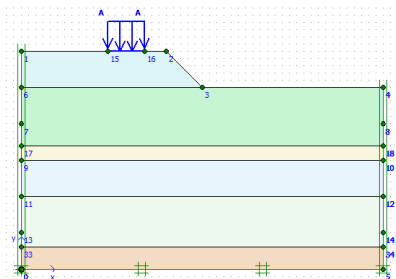
$$= 0,208 < 1,5 \text{ (Tidak Aman)}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai *SF* sebesar 0,208 maka lereng dinyatakan tidak aman karena tidak memenuhi angka keamanan yaitu >1,5.

4.2 Perhitungan Menggunakan Program *Plaxis* v.8.2

Analisis hitungan stabilitas lereng eksisting dengan menggunakan program *plaxis* v.8.2. Yang dimana dasar dari metode *phi/c reduction* yang digunakan dalam program *Plaxis* dalam menghitung faktor keamanan global. Dengan cara ini, parameter tanah seperti kohesi dan sudut geser dalam direduksi dengan proporsi yang sama. Reduksi parameter diatur menjadikan ΣMsf sebagai faktor pengali. Untuk langkah pengoperasian seperti yang ditampilkan pada langkah berikut.

Langkah awal dalam perhitungan ini adalah menggambarkan permodelan kondisi lereng eksisting. Dalam tahap permodelan, digambarkan pula tiap tiap lapisan tanah dengan memasukkan parameter sesuai dengan data tanah yang diperoleh seperti. Parameter tanah tersebut dimasukan ke program *plaxis* untuk mengetahui keruntuhan yang terjadi pada lereng tersebut. *Input* pemodelan lereng dengan kondisi batas, beban kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.

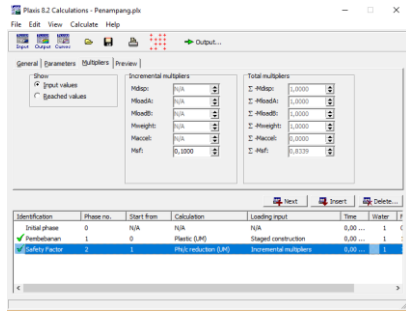


Gambar 3. Permodelan lereng asli *input*

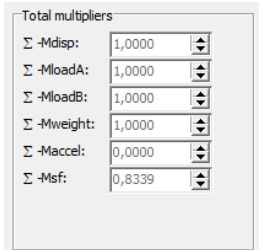
Kondisi Lereng Eksisting

1. Tinggi lereng : 5 m
2. Panjang lereng : 310 m
3. Beban di tanah : 22 kN/m²
4. Sudut Kemiringan : 45°

Proses ini adalah dimana program *plaxis* melakukan perhitungan pada kondisi awal dengan 2 tahap fase. Fase pertama adalah perhitungan beban dan fase kedua adalah perhitungan angka keamanan. Hasil *running* dari program *Plaxis* V 8.2 dapat dilihat sebagai berikut:

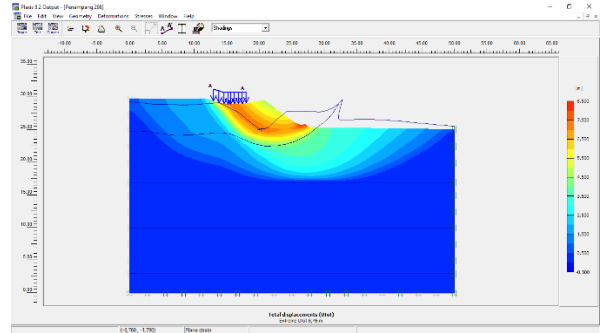


Gambar 4. Tahapan perhitungan Plaxis 2D



Gambar 5 Tahapan Perhitungan safety factor asli lereng

Pada kondisi eksisting didapati angka keamanan dengan besaran nilai yaitu 0,833. Hal tersebut belum memenuhi stabilitas lereng dengan angka keamanan >1,5 dengan itu kondisi lereng masih belum stabil. Maka perlu didesain perkuatan dinding penahan tanah agar lereng tersebut menjadi stabil. Selain itu, keluaran dari program *plaxis* adalah nilai *displacement*. Berikut adalah gambar keluaran program *plaxis* yang juga menunjukkan letak titik dengan nilai *displacement* sebesar 8,46 m.



Gambar 6. Displacement total

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan angka keamanan lereng eksisting Bozem Kalidami Surabaya dengan menggunakan metode *fellenius* didapatkan nilai sebesar 0,208. Sedangkan menggunakan analisis program *Plaxis v 8.2* didapatkan nilai sebesar 0,833. Dikarenakan nilai yang dari perhitungan manual metode *fellenius* dan menggunakan program *Plaxis v 8.2* mendapatkan angka keamanan < 1,5 maka lereng tersebut tidak stabil (tidak aman). Agar lereng tersebut aman harus diberi perkuatan dinding penahan tanah agar kondisi lereng menjadi stabil.

DAFTAR PUSTAKA

Das, B. M. (1995). *Mekanika tanah (Prinsip-prinsip rekayasa geoteknik): Jilid 1*. Penerbit Erlangga, 1–300.

Dokuchaev, I. (1870). *Mekanika tanah*. Jakarta: Erlangga, 1–23.

Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik fondasi 1: Edisi kedua*. In Gramedia Pustaka Utama.

Redana, I. W. (2010). *Pondasi Tiang Pancang*.