

STUDI KASUS KEAMANAN LERENG AKIBAT GALIAN DI PROYEK X CIAWI-BOGOR

Ricky Putra¹ dan Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
ricky.325190071@stu.untar.ac.id

²Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
alfred@ft.untar.ac.id

Masuk: 10-07-2023, revisi: 29-07-2023, diterima untuk diterbitkan: 09-10-2023

ABSTRACT

The construction project sometimes requires construction of a man-made slope. In designing of a slope, safety factor is important thing to analyze, as to prevent failure. A project in Ciawi, Bogor, it is required to build a retaining wall, with the initial step is to construct a 90° or perpendicular slope, with height of 12 m. From the analysis using Fellenius Method, for five possible conditions, it is found the value of safety factor, namely conditions without additional loading of 0,86, surcharge load of 0,84, steady state seepage of 0,60, sudden drawdown 0,61, and earthquake of 0,72, it is known that the slope does not meet the safety factor according to SNI 8460: 2017 which is 1,25, but the project has been completed and the slope has not experienced failure. This is due to the fact that in the calculation of the safety factor, the cohesion (c) and shear angle (φ) values are reduced, assuming that the slope will experience long-term loading and thus lose the cohesion and shear angle values, while the slope is intended for only a few months of construction and does not receive excessive loading so it does not experience cohesion and shear angle reduction values.

Keywords: Fellenius Method; cohesion; shear angle; slope

ABSTRAK

Proses konstruksi dalam proyek terkadang mengharuskan dibuat suatu lereng buatan yang dibuat dengan cara melakukan pemotongan pada suatu lereng alami pada suatu wilayah. Dalam perencanaan pembuatan lereng, perlu dilakukan analisis mengenai faktor keamanan lereng tersebut, sehingga dapat mencegah kemungkinan kegagalan lereng. Pada suatu proyek di Ciawi, Bogor, perlu dibangun dinding penahan tanah (DPT), sehingga diperlukan adanya proses pemotongan kontur dengan desain awal kemiringan lereng adalah 90° atau lereng tegak lurus, dengan ketinggian 12 m. Dari hasil analisis dengan Metode Fellenius, untuk lima kondisi kemungkinan ditemukan nilai faktor keamanan, yaitu kondisi tanpa pembebanan tambahan sebesar 0,86, dengan pembebanan tambahan sebesar 0,84, *steady state seepage* sebesar 0,60, *sudden drawdown* sebesar 0,61, dan gempa sebesar 0,72, diketahui bahwa lereng tidak memenuhi faktor keamanan menurut SNI 8460:2017 yaitu sebesar 1,25, akan tetapi proyek sudah rampung dan lereng tidak mengalami kegagalan. Hal ini diakibatkan karena dalam perhitungan faktor keamanan, dilakukan banyak asumsi, salah satunya adalah reduksi pada nilai kohesi (c) dan juga sudut geser (φ), sebagai asumsi bahwa lereng akan mengalami pembebanan jangka panjang sehingga kehilangan nilai kohesi dan sudut geser, sementara itu lereng diperuntukkan hanya untuk beberapa bulan konstruksi dan tidak menerima pembebanan berlebih, sehingga tidak mengalami reduksi pada nilai kohesi dan sudut geser.

Kata kunci: Metode Fellenius; kohesi; sudut geser; lereng

1. PENDAHULUAN

Dalam proses konstruksi suatu bangunan atau struktur, menyesuaikan dengan keperluan dan kegunaannya, dibutuhkan adanya proses penggalian yang menyebabkan terdapat atau dibuatnya suatu lereng. Lereng hasil pekerjaan proses konstruksi merupakan lereng buatan manusia dan dapat mengalami *failure* atau kegagalan. Kegagalan yang dimaksud, dapat terjadi pada suatu lereng, adalah terjadinya suatu kelongsoran yang mengakibatkan kerugian dalam pengerjaan suatu proyek. Demi menghindari kerugian dalam proses konstruksi dan agar suatu proyek dapat berjalan dengan semestinya dan sesuai dengan jadwal atau *schedule*, rencana, dan aturan yang berlaku, perlu dilakukan perhitungan faktor keamanan, agar pembuatan atau perencanaan suatu lereng akibat konstruksi dapat dikatakan aman sesuai dengan aturan yang berlaku.

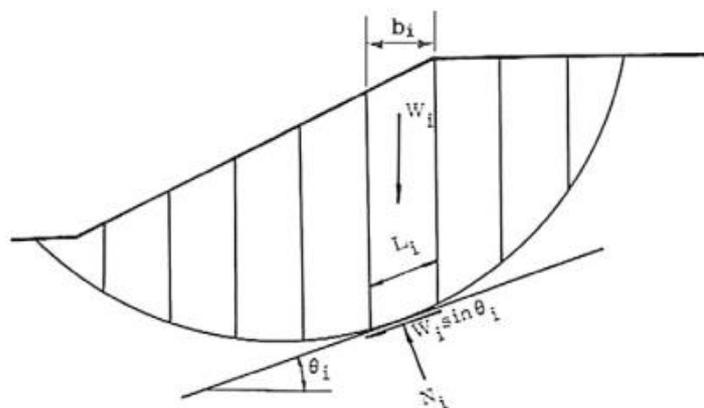
Perencanaan dan perhitungan suatu lereng untuk keperluan konstruksi pada suatu proyek perlu juga mempertimbangkan banyak kemungkinan dan memperhatikan beberapa faktor. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan antara lain adalah kondisi sekitar proyek, jarak lokasi konstruksi dengan lokasi masyarakat umum beraktivitas, tata letak atau denah proyek, dan berbagai macam kemungkinan eksternal lainnya. Sementara itu, terdapat juga beberapa faktor lereng itu sendiri yang perlu ditelisik dan dinilai oleh perencana, mulai dari pertimbangan kondisi tanah, batu, atau material penyusun lereng, pertimbangan tentang kondisi fisik lereng berupa sudut atau kemiringan serta ketinggian, pertimbangan mengenai kondisi atau kemungkinan yang dapat terjadi seperti kemungkinan terjadi rembesan, termungkinan lereng mengalami *submerge* atau terendam akibat kenaikan muka air oleh hujan, banjir, ataupun dengan sengaja di *submerge* sebagai bagian proses konstruksi, dan juga kemungkinan terjadinya gempa megningat secara global, negara Indonesia memiliki intensitas gempa yang cukup sering setiap periode waktu tertentu.

Dengan mengingat semua kemungkinan tersebut, maka dapat dilakukan analisis keamanan lereng untuk suatu proyek, dalam suatu proyek dengan menggunakan desain dinding penahan tanah (DPT) atau *retaining wall* dengan jenis *free-standing*, dimana dalam proses pembuatannya diperlukan adanya pembuatan lereng melalui proses *cut* atau pemotongan suatu kontur, untuk kemudian dibangun struktur DPT, dan pada akhirnya dilakukan *backfill* untuk mengisi kekosongan antara *retaining wall* dan lereng yang sudah dibuat. Analisis faktor keamanan pada penelitian ini adalah mengenai kondisi keamanan lereng pada saat proses penggalian, pembangunan DPT, dan sebelum dilaksanakannya *backfill*.

Metode fellenius

Metode Fellenius mengasumsikan, dari hasil pengamatan dan penemuannya, bahwa bidang kelongsoran atau *failure* pada sebuah lereng mendekati bentuk lingkaran. Sehingga dapat dilakukan analisis terhadap seluruh tekanan atau gaya-gaya yang bekerja pada suatu bidang lereng dalam bentuk lingkaran.

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh parameter untuk perhitungan sehingga dapat dilakukan perumusan untuk menghitung *Factor of Safety* dari suatu lereng, sehingga dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 1.



Gambar 1. Metode fellenius (Huang, 2014)

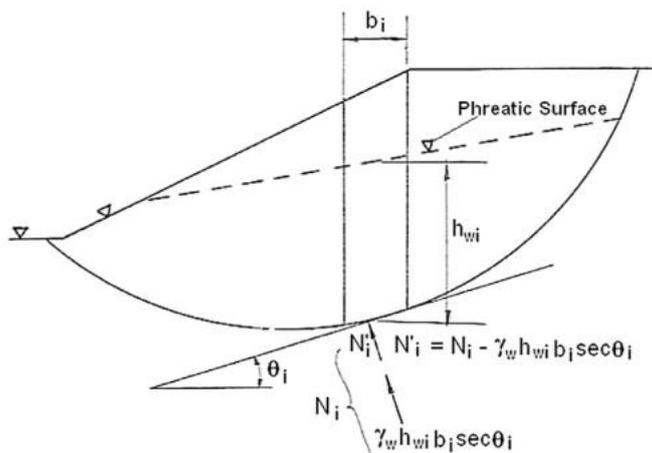
$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i b_i \sec \theta_i + W_i \cos \theta_i \tan \phi_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i)} \quad (1)$$

dengan W = berat potongan atau irisan, L = panjang bidang *failure*, θ = sudut kemiringan, N = gaya normal yang bekerja pada irisan, b = lengan momen

Kondisi steady state seepage

Dalam perhitungan atau analisis kestabilan lereng, perlu dipertimbangkan kondisi bisa terjadi rembesan atau *steady state seepage*, menurut Huang (2014), kondisi *steady state seepage* adalah kondisi dimana terjadi pengurangan pada tegangan efektif tanah (N_i) akibat adanya gaya netral (*neutral force*) akibat adanya tegangan air.

Dari Gambar 2 dapat ditentukan parameter-parameter untuk perhitungan faktor keamanan lereng dalam keadaan *steady state seepage* dan perhitungan atau analisis dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2-3.



Gambar 2. Kondisi *steady state seepage* (Huang, 2014)

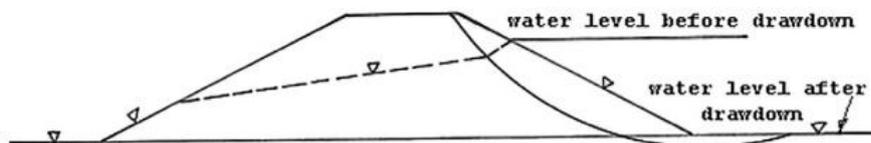
$$F = \frac{\sum c L + N'_i \tan \phi}{\sum W_i \sin \alpha} \quad (2)$$

$$N'_i = W_i \cos \alpha_i - \gamma_w h_{iw} b_i \sec \alpha_i \quad (3)$$

dengan γ_w = berat jenis air, h_{iw} = tinggi *phreatic surface*

Kondisi *rapid drawdown*

Kondisi *rapid drawdown* (Gambar 3) merupakan salah satu kondisi yang mungkin terjadi pada sebuah *earth dam* sehingga perlu dipertimbangkan dalam pengasumsian kondisi lereng untuk menghitung faktor keamanannya. Bila dalam kondisi *downstream* dipengaruhi kondisi *steady state seepage* maka untuk kondisi *upstream* dipengaruhi oleh kondisi *rapid drawdown*.

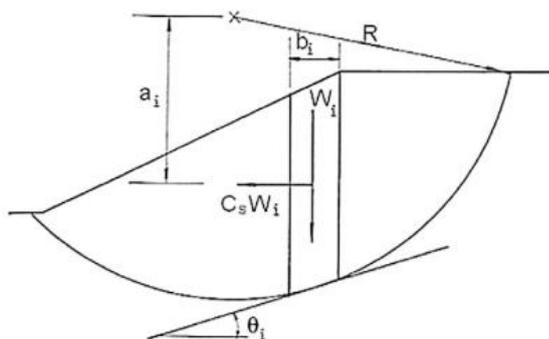


Gambar 3. Kondisi *rapid drawdown* (Huang, 2014)

Kondisi gempa (*earthquake*)

Dalam analisis keamanan suatu lereng, SNI 8460:2017 juga mengharuskan dipertimbangkan kemungkinan terjadinya gempa dan dianggap sebagai kondisi pembebanan dinamik.

Menurut Huang (2014), dalam analisis perhitungan keamanan lereng akibat gempa, dianggap terjadi gaya seismik secara horizontal dan diilustrikan pada Gambar 4. dan setelah diperoleh parameter untuk perhitungan dapat dilakukan analisis dengan menggunakan Persamaan 4.



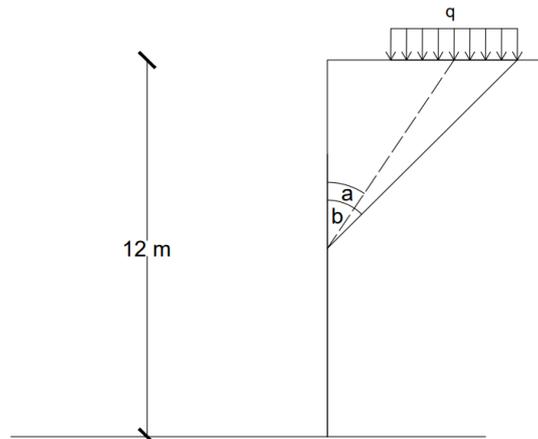
Gambar 4. Kondisi gempa (*earthquake*) (Huang,2014)

$$F_s = \frac{\sum c L + \sec \alpha + W_n \cos \alpha_n \tan \phi}{\sum W_n \cdot \sin \alpha_n + K_h W_n \left(\frac{L_n}{R}\right)} \quad (4)$$

dengan, K_h = koefisien gaya gempa horizontal, L_n = lengan momen untuk gaya seismik, R = jari-jari longsor

Surcharge load

Berdasarkan SNI 8460:2017, dalam perencanaan lereng diperlukan adanya pertimbangan beban-beban yang bekerja pada lereng. Diperlukan juga adanya beban tambahan atau *surcharge load* (Gambar 5) sebesar 10 kN/m².



Gambar 5. Surcharge load

Faktor keamanan

Faktor keamanan yang digunakan untuk menilai suatu lereng stabil atau tidak dapat menggunakan ketentuan SNI 8460:2017 seperti tertera pada Tabel 1-2. Selain itu, erdapat juga perbedaan nilai *factor of safety* terhadap tingkat longornya (Bowles, 1984) seperti pada Tabel 3.

Tabel 1. Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng batuan (SNI 8460:2017)

Kondisi lereng batuan	Rekomendasi nilai faktor keamanan
Kondisi Permanen	1,5
Kondisi Sementara	1,3

Tabel 2. Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah (SNI 8460:2017)

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	≥ 2,0

^aTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.

^bTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.

Tabel 3. Nilai faktor aman terhadap bidang longsor (Bowles, 1984)

Faktor aman	Kejadian
$FK \leq 1,07$	Longsor sering terjadi
$1,07 < FK < 1,25$	Longsor dapat terjadi
$FK \geq 1,25$	Longsor jarang terjadi

Studi kasus

Penelitian ini berfokus menunjukkan langkah perhitungan dalam pendesainan atau perencanaan suatu desain keamanan lereng. Dalam melakukan perencanaan suatu proyek konstruksi, perencana memiliki banyak asumsi, mulai dari pemilihan parameter tanah, penentuan metode perhitungan yang digunakan, asumsi kondisi terburuk yang terjadi, asumsi pembebanan, asumsi *factor of safety*, dan banyak asumsi lainnya yang berfungsi menghindarkan kemungkinan terburuk terjadi. Sehingga hasil analisis pada penelitian ini berfungsi untuk menunjukkan hasil perhitungan teoritis pada salah satu metode dan membandingkannya dengan kondisi lapangan.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan sampel tanah pada sebuah proyek di Ciawi, Bogor. Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah *disturbed* atau sampel tanah terganggu.

Pengolahan data

Setelah dilakukan studi pustaka dan uji laboratorium untuk seluruh sampel tanah sehingga diperoleh data-data hasil pengujian. Kemudian dilakukan pengolahan data untuk menghasilkan parameter tanah yang dapat berguna untuk perhitungan atau analisis kestabilan lereng.

Perhitungan data

Kemudian dilakukan analisis atau perhitungan data untuk lima kemungkinan atau kondisi lereng yang telah direncanakan, yaitu kondisi tanpa pembebanan, kondisi dengan beban tambahan (*surcharge load*), kondisi *steady state seepage*, kondisi *rapid drawdown*, dan kondisi *earthquake* atau gempa. Sehingga diperoleh nilai *factor of safety* dari lereng pada proyek di Ciawi, Bogor.

Analisis dan pembahasan

Hasil perhitungan data kemudian di analisis untuk memperoleh kesimpulan dan saran dari hasil penelitian, sehingga dapat dengan jelas menjawab tujuan penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter tanah

Dari hasil pengujian laboratorium diperoleh parameter tanah pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter tanah (0 – 12 m)

Karakteristik	0 - 12 m	Satuan
Batas Cair (LL)	60	%
Batas Plastis (PL)	50	%
Indeks Plastis (IP)	10	%
Berat Jenis	2.71	
Lolos Saringan 200	89	%
ϕ	11.1	°
Kohesi (c)	11.7	kN/m ²
γ_{dry}	9.3	kN/m ³

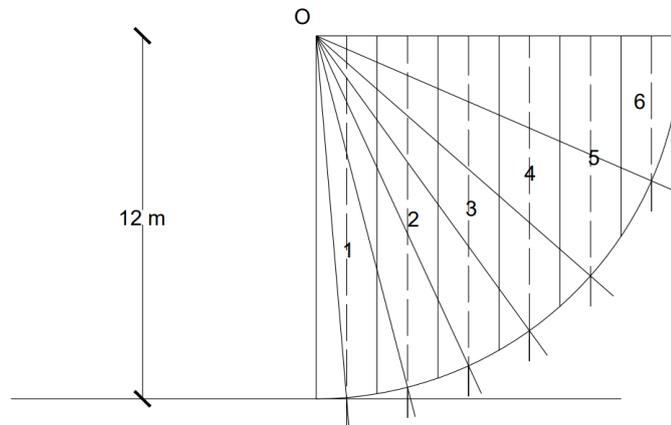
Untuk perhitungan atau analisis digunakan parameter kohesi, sudut geser (ϕ), dan γ_{dry} . Nilai kohesi dan sudut geser yang digunakan adalah nilai kohesi dan sudut geser efektif, dimana nilai kohesi dan sudut geser dibagi dengan faktor reduksi sebesar 3.

$$c' = \frac{c}{FR} = \frac{11.7}{3} = 3.9 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi' = \frac{\phi}{FR} = \frac{11.1}{3} = 3.7^\circ$$

Kondisi tanpa beban

Setelah memperoleh data atau parameter tanah yang diperlukan, dilakukan analisis untuk faktor keamanan lereng tanpa penambahan beban. Proses analisis menggunakan bantuan gambar seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Penerapan metode fellenius

Setelah diperoleh beberapa parameter perhitungan berdasarkan Gambar 6, maka dapat dilakukan perhitungan sesuai dengan Tabel 5.

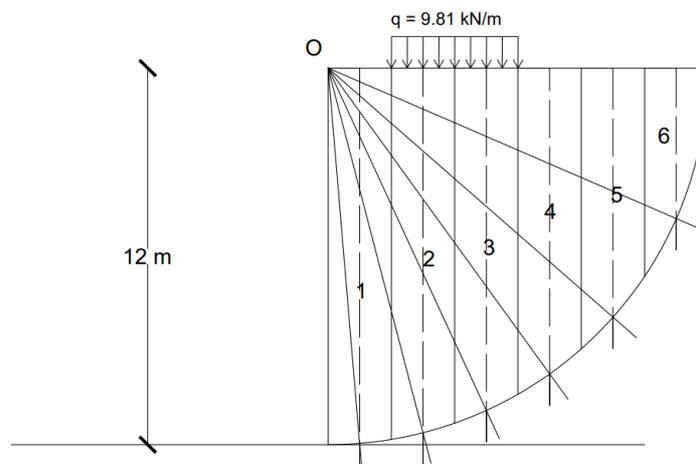
Tabel 5. Perhitungan *factor of safety* tanpa pembebanan

Slice No.	Mid Ordinate	Width	Volume	Weight (kN)	α	N	T
1	11,98	2	23,96	313,8	5	312,6	27,4
2	11,61	2	23,22	304,1	14	295,1	73,6
3	10,9	2	21,8	285,5	25	258,8	120,7
4	9,7	2	19,4	254,1	36	205,6	149,3
5	7,9	2	15,8	206,9	49	135,8	156,2
6	4,7	2	9,4	123,1	66	50,1	112,5
Total	56,8			1487,6		1257,9	639,6

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilakukan analisis sehingga diperoleh nilai F atau (faktor keselamatan) sebesar 0,86.

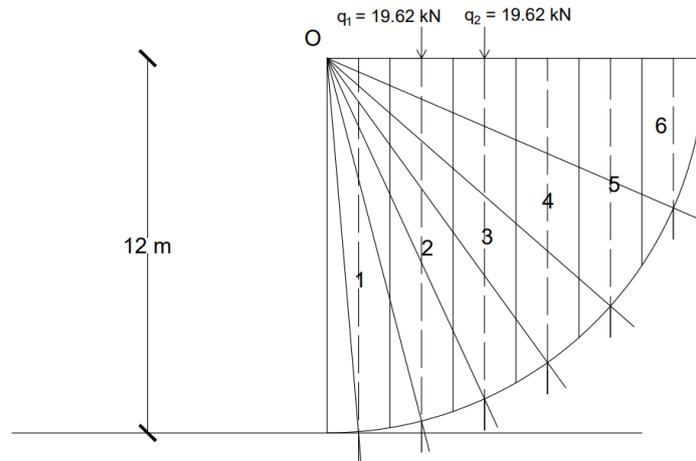
Kondisi dengan *surcharge load*

Setelah analisis tanpa pembebanan, dapat dilakukan analisis dengan beban tambahan atau *surcharge load* sebesar 1 ton/m, yang dianggap sebagai beban timbunan tanah sementara hasil galian dan diilustrasikan melalui Gambar 7.



Gambar 7. Kondisi dengan *surcharge load*

Surcharge load yang terjadi pada lereng diasumsikan sepanjang 4 m dan berjarak 2 m dari tepi lereng. *Surcharge load* yang merupakan beban merata dianggap menjadi dua beban terpusat yang dapat disalurkan kedalam potongan atau irisan dibawahnya seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Perubahan beban *surcharge load*

Setelah memperoleh parameter perhitungan dengan bantuan Gambar 8. maka dapat dilakukan perhitungan sesuai dengan Tabel 6. sehingga diperoleh nilai F atau *factor of safety* sebesar 0,84.

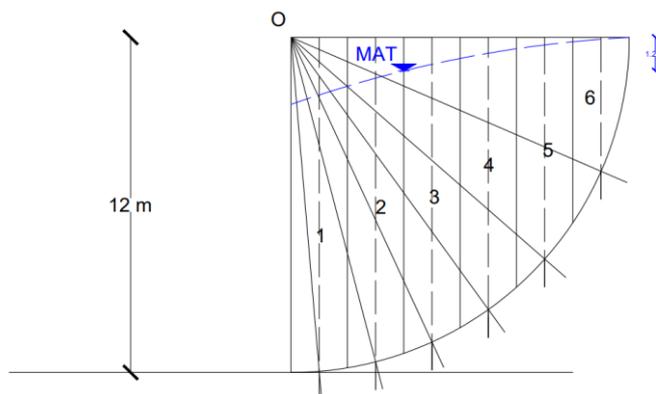
Tabel 6. Perhitungan *factor of safety* dengan *surcharge load*

Slice No.	Mid Ordinate	Width	Volume	Weight (kN)	Surcharge Load	α	N	T
1	11,98	2	23,96	313,8		5	312,6	27,4
2	11,61	2	23,22	304,1	19,6	14	314,1	78,3
3	10,9	2	21,8	285,5	19,6	25	276,5	129,0
4	9,7	2	19,4	254,1		36	205,6	149,3
5	7,9	2	15,8	206,9		49	135,8	156,2
6	4,7	2	9,4	123,1		66	50,1	112,5
Total	56,8						1294,7	652,6

Kondisi *steady state seepage*

Kondisi selanjutnya yang perlu dipertimbangkan adalah kondisi dimana terjadi rembesan atau *steady state seepage*.

Berdasarkan Gambar 9, dapat diperoleh parameter untuk perhitungan atau dilakukannya analisis untuk mencari *factor of safety* atau faktor keamanan dari kestabilan lereng sehingga dapat dilakukan perhitungan kestabilan lereng pada Tabel 7.



Gambar 9. Kondisi *steady state seepage*

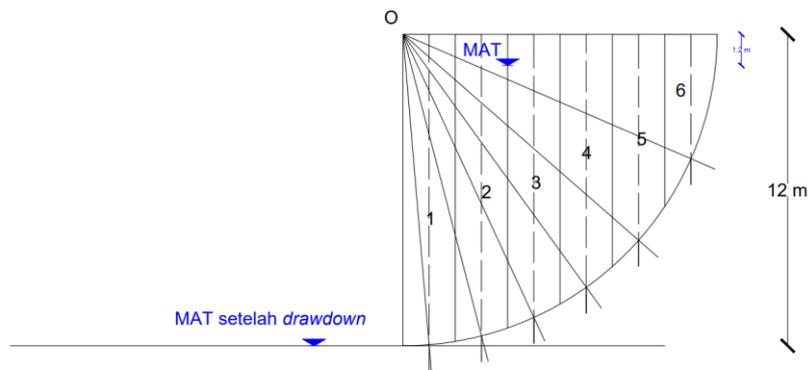
Tabel 7. Perhitungan kondisi *steady state seepage*

Slice No.	Mid Ordinate	Width	Voumel	Weight (kN)	α	N	T	h_{iw}	Water
1	11,98	2	23,96	470,4	5	468,6	41,0	9,9	19,9
2	11,61	2	23,22	455,9	14	442,3	110,3	10,1	20,8
3	10,9	2	21,8	428,0	25	387,9	180,9	9,9	21,8
4	9,7	2	19,4	380,9	36	308,1	223,9	9,2	22,7
5	7,9	2	15,8	310,2	49	203,5	234,1	7,7	23,5
6	4,7	2	9,4	184,5	66	75,1	168,6	4,7	23,1
Total	56,8					1885,6	958,7		131,9

Berdasarkan Tabel 4, diperoleh *factor of safety* sebesar 0,6.

Kondisi *rapid drawdown*

Asumsi dalam analisis kondisi *rapid drawdown* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kondisi *rapid drawdown*

Parameter dari Gambar 10 kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan seperti pada Tabel 8. Dari Tabel 8 diperoleh angka *factor of safety* sebesar 0,61.

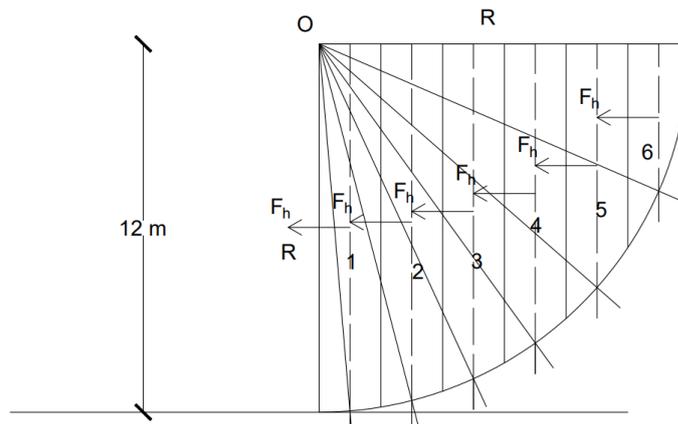
Tabel 8. Perhitungan *rapid drawdown*

Slice No.	Mid Ordinate	Width	Volume	Weight (kN)	α	N	T
1	11,98	2	23,96	470,4	5	468,6	41,0
2	11,61	2	23,22	455,9	14	442,3	110,3
3	10,9	2	21,8	428,0	25	387,9	180,9
4	9,7	2	19,4	380,9	36	308,1	223,9
5	7,9	2	15,8	310,2	49	203,5	234,1
6	4,7	2	9,4	184,5	66	75,1	168,6
Total	56,8					1885,6	958,7

Kondisi gempa (*earthquake*)

Dalam analisis kondisi gempa diasumsikan nilai koefisien seismik horizontal (K_h) adalah sebesar 0,2 untuk gempa yang menimbulkan bencana (*catastrophic earthquake*) (Terzaghi, 1950).

Berdasarkan Gambar 11. diperoleh nilai R atau jari-jari kelongsoran sebesar 12 m sehingga perhitungan untuk *factor of safety* untuk kondisi gempa adalah sebesar 0,72 seperti pada Tabel 9.



Gambar 11. Kondisi gempa atau *earthquake*

Tabel 9. Perhitungan kondisi gempa

Slice no	Mid Ordinate	Width	Volume	Weight (kN)	α	N	T	K_h	L_n	F_h
1	11,98	2	23,96	313,8	5	312,6	27,4	0,20	5,98	31,3
2	11,61	2	23,22	304,1	14	295,1	73,6	0,20	5,80	29,4
3	10,9	2	21,8	285,5	25	258,8	120,7	0,20	5,45	25,9
4	9,7	2	19,4	254,1	36	205,6	149,3	0,20	4,87	20,6
5	7,9	2	15,8	206,9	49	135,8	156,2	0,20	3,97	13,7
6	4,7	2	9,4	123,1	66	50,1	112,5	0,20	2,40	4,9
Total	56,8					1257,9	639,6			125,8

Summary

Setelah dilakukan analisis untuk semua kondisi seperti yang diatur oleh SNI 8460:2017, maka diperoleh data seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Summary Nilai F

Kondisi	F	Nilai Faktor Keamanan SNI 8490:2017	Result	Faktor Aman Terhadap Bidang Longsor (Bowles, 1984)
Tanpa Pembebanan	0,86	1,25	<i>Not Safe</i>	Sering
<i>Surcharge Load</i>	0,84	1,25	<i>Not Safe</i>	Sering
<i>Steady State Seepage</i>	0,60	1,25	<i>Not Safe</i>	Sering
<i>Rapid Drawdown</i>	0,61	1,25	<i>Not Safe</i>	Sering
<i>Earthquake</i>	0,72	1,25	<i>Not Safe</i>	Sering

Niali faktor keamanan pada Tabel 10 digunakan nilai 1,25 dengan asumsi biaya perbaikan akibat kegagalan lereng dianggap sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif dan dengan kondisi tingkat ketidakpastian kondisi analisis rendah, yaitu dimana kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah dianggap seragam, penyelidikan tanah dilakukan secara konsisten, dan lengkap.

Dari hasil analisis ditemukan bahwa lereng mengalami *failure* dan tidak memenuhi kriteria keamanan, baik menurut Bowles, maupun menurut SNI 8490:2017. Pada kondisi *in-situ*, lereng tidak mengalami *failure* dan kegunaan lereng sudah rampung, ditandai dengan selesainya Pembangunan seluru *basement* untuk struktur. Hal ini terjadi karena asumsi yang dilakukan selama perhitungan atau analisis, yang sudah dibuktikan dengan metode fellenius, sangat tergantung dari penilaian masing-masing perencana atau biasa disebut dengan *engineering judgement*. Setiap perencana memiliki asumsi masing-masing, dalam hasil analisis pada penelitian ini asumsi-asumsi yang dibuat antara lain adalah titik ordinat untuk pusat lingkaran keruntuhan, letak dan panjang beban *surcharge load*, ketinggian *phreatic pressure*, letak muka air tanah (MAT), terjadinya kondisi teoritis *rapid drawdown* (tidak mungkin terjadi, mengingat kondisi eksisting lereng berada di daerah pegunungan), nilai faktor gempa, dan penentuan parameter tanah serta asumsi lapisan tanah yang digunakan.

Asumsi lainnya adalah faktor reduksi yang dialami tanah untuk nilai kohesi dan sudut geser, diasumsikan tanah mengalami tekanan yang melebihi beban yang sudah direncanakan dan dalam kondisi terus menerus sehingga mengalami penurunan nilai kohesi dan sudut geser, asumsi mengenai kohesi dan sudut geser berubah menjadi kohesi dan sudut geser efektif ini merupakan pendekatan yang sangat konservatif mengingat fungsi lereng hanya sementara dan dapat dihindarkan dengan menghindari pembebanan agar terjadi pada lereng.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh berdasarkan hasil analisis dalam penelitian ini adalah:

- Nilai F atau *factor of safety* dari kelima kondisi yang ditinjau dalam penelitian ini tidak ada yang memenuhi faktor keamanan yang berasal dari SNI 8460:2017.
- Nilai F atau *factor of safety* dari kelima kondisi yang dianalisis mengindikasikan kondisi yang rawan longsor bila menggunakan faktor keamanan dari Bowles (1984).
- Proyek konstruksi di Ciawi, Bogor sudah rampung dan tidak mengalami kegagalan lereng atau *failure*, sementara hasil perhitungan menunjukkan indikasi tidak aman atau *failure*, hal ini terjadi karena dalam perhitungan atau analisis digunakan komponen seperti faktor reduksi yang mana mereduksi nilai kohesi (c) dan sudut geser (ϕ).
- Faktor keamanan yang diatur dalam SNI 8460:2017 pada 7.5.2 untuk kriteria *loading* dan *unloading (stress history)*, mengasumsikan bahwa lereng mengalami tegangan secara terus menerus hingga mengalami penurunan kohesi dan kuat geser sehingga perlu adanya reduksi kohesi dan sudut geser menjadi kohesi efektif (c') dan sudut geser efektif (ϕ') untuk perhitungan.
- Lereng bersifat sementara dan dalam proses konstruksinya diatur sedemikian rupa sehingga terhindar dari pembebanan (*loading*) yang sudah direncanakan sehingga tidak mengalami reduksi pada kohesi dan sudut geser dalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460:2017).
- Bowles, J. E., & Hainim, J. K. (1984). *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah (mekanika tanah)*. Erlangga
- Huang, Y. H. (2014). *Slope stability analysis by the limit equilibrium method*. American Society of Civil Engineers.
- Terzaghi, K. (1950). *Mechanism of landslides*. Application of Geology to Engineering Practice. <https://doi.org/10.1130/Berkey.1950.83>