

BAB IV

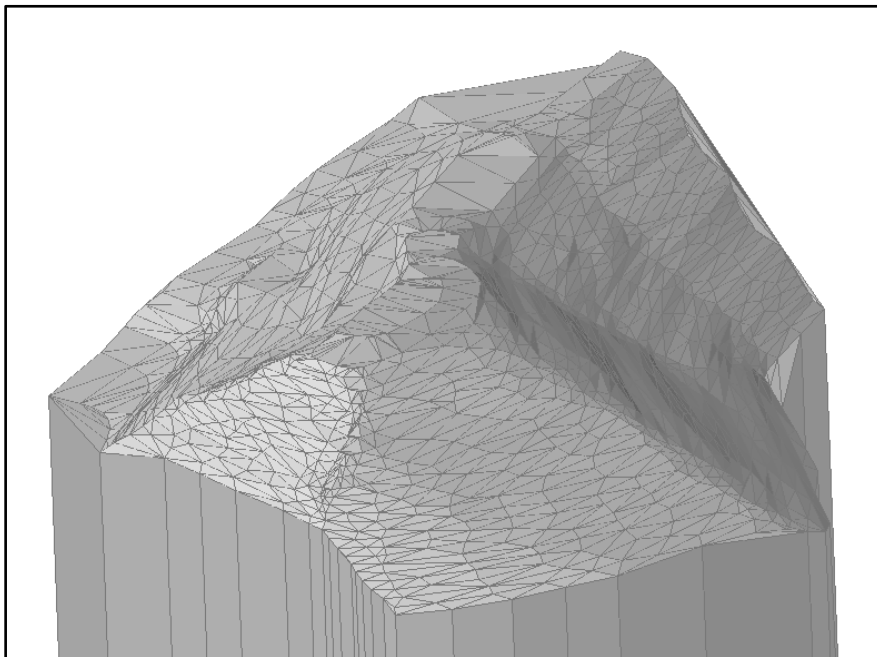
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Lereng Kritis

Pemodelan lereng ditentukan berdasarkan hasil dari topografi dan penyatuan hasil geolistrik. Topografi lokasi Gunung Banyak Batu, Jawa Timur didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya mengenai geolistrik resistivitas pada daerah tersebut.

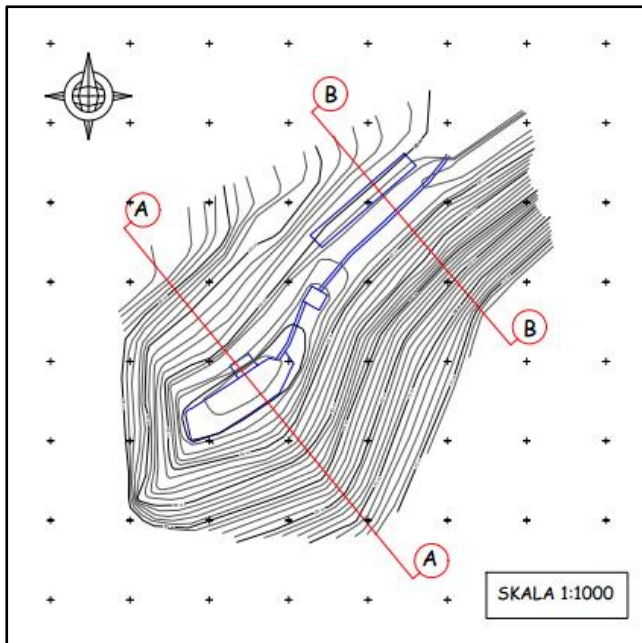
1. Topografi

Topografi bertujuan untuk mengetahui dimensi zona longsor, sehingga dapat diketahui batas-batas longsor. Pemetaan topografi juga diperlukan untuk membuat profil lereng, di mana profil tersebut diperlukan dalam analisis numerik.



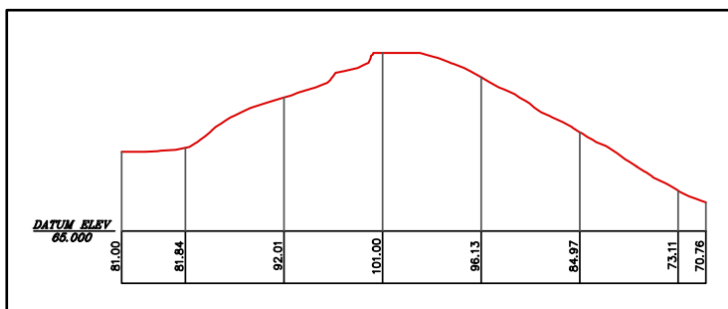
Gambar 4.1 Topografi gunung banyak

Sumber: Tim Geolistrik, 2015

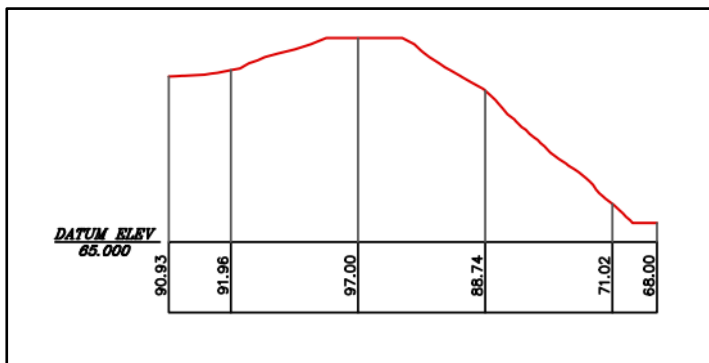


Gambar 4.2 Kontur gunung banyak
 Sumber: Tim Geolistrik, 2015

Berdasarkan peta topografi, ditentukan 2 lereng kritis yaitu potongan A-A dan B-B dengan hasil dari masing-masing potongan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Potongan A-A lereng
 Sumber: Tim Geolistrik, 2015

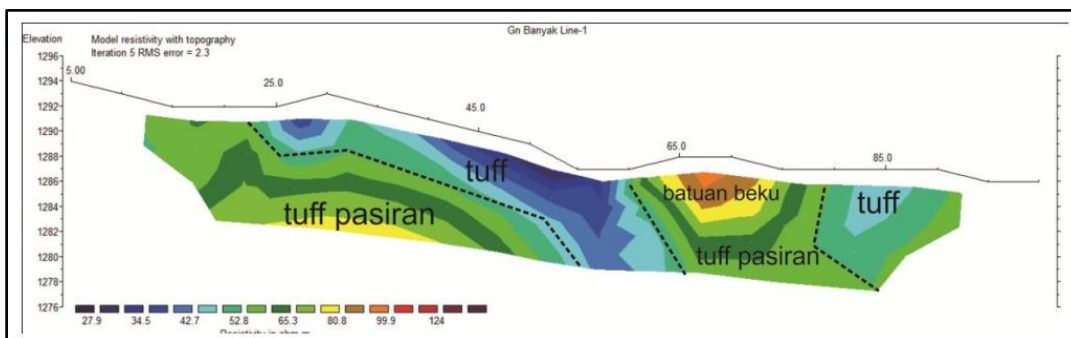


Gambar 4.4 Potongan B-B lereng
 Sumber: Tim Geolistrik, 2015

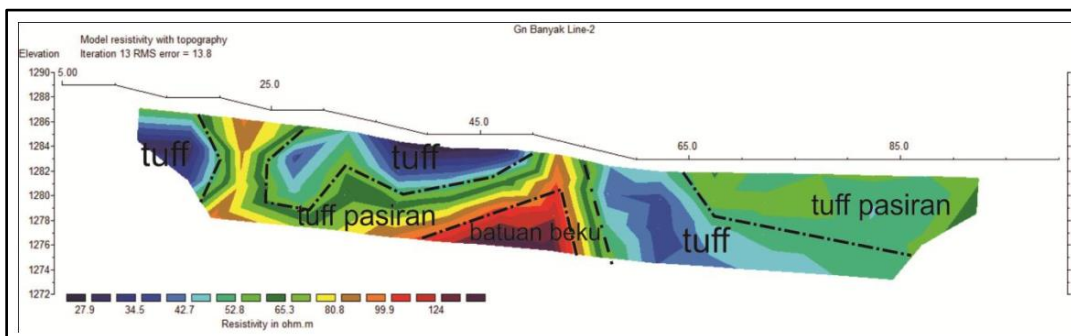
Boring dan SPT (Standart Penetration Test) dilakukan di daerah potongan B-B, sehingga potongan lereng yang digunakan adalah potongan B-B.

2. Hasil Mapping Geolistrik

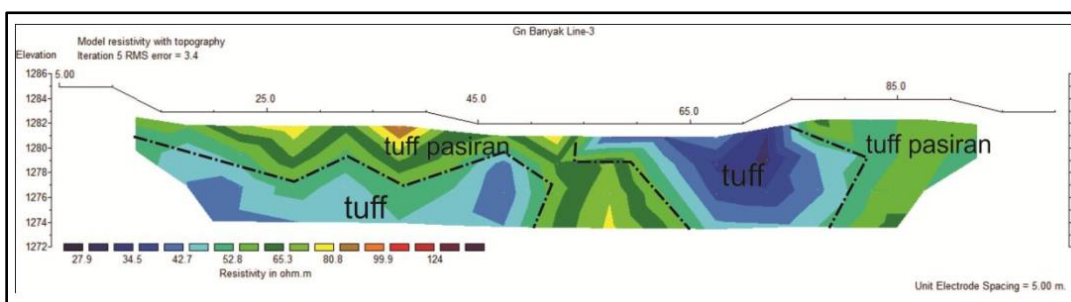
Hasil dari geolistrik yang dilakukan penelitian sebelumnya digunakan untuk menentukan lapisan tanah pada lereng di lokasi tersebut. Penggabungan hasil mapping geolistrik dilakukan secara manual. Pelaksanaan geolistrik dilakukan di 4 line, selanjutnya hasil dari mapping geolistrik tersebut digabungkan berdasarkan nilai resistivitas agar didapatkan lapisan tanah. Hasil dari mapping geolistrik adalah sebagai berikut



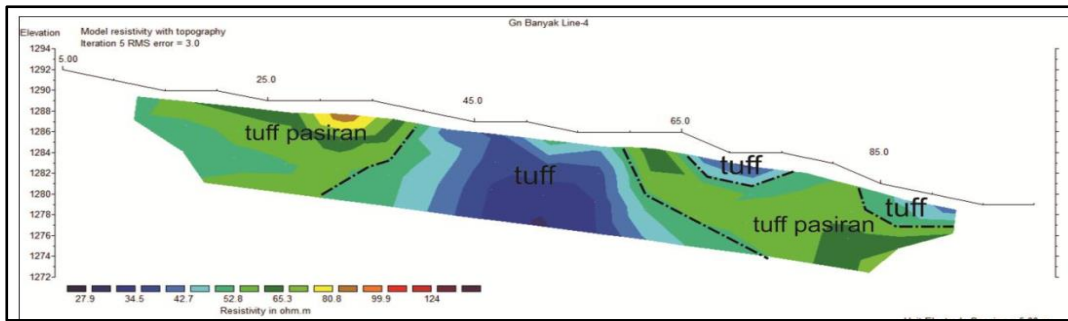
Gambar 4.5 Hasil geolistrik line-1
Sumber: Tim Geolistrik, 2015



Gambar 4.6 Hasil geolistrik line-2
Sumber: Tim Geolistrik, 2015



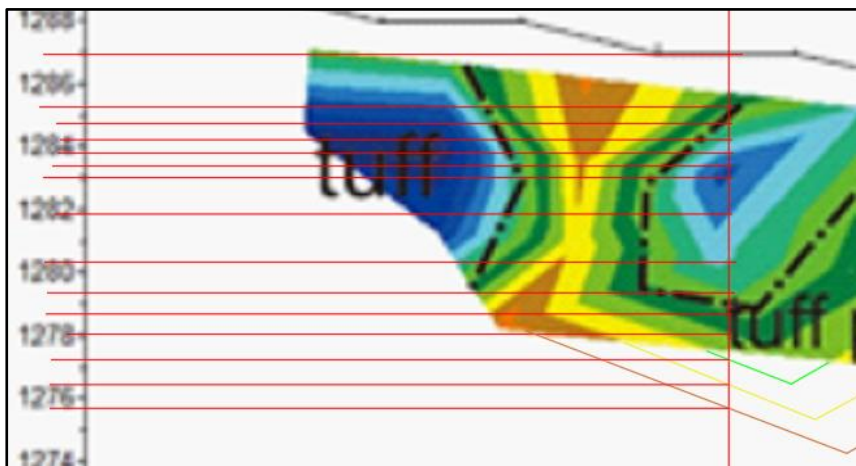
Gambar 4.7 Hasil geolistrik line-3
Sumber: Tim Geolistrik, 2015



Gambar 4.8 Hasil geolistrik line-4

Sumber: Tim Geolistrik, 2015

Selanjutnya menentukan lapisan berdasarkan resistivitas dari hasil geolistrik. Sondir dan SPT (Standart Penetration Test) dilakukan di line 2 geolistrik, sehingga lapisan tanah diambil dari hasil geolistrik pada line 2, hasil dari pembagian lapisan adalah sebagai berikut
















Gambar 4.9 Lapisan berdasarkan line-2

Sumber: Tim Geolistrik, 2015

Dari gambar di atas dapat disajikan dalam bentuk tabel untuk mengetahui kedalaman tiap lapisannya.

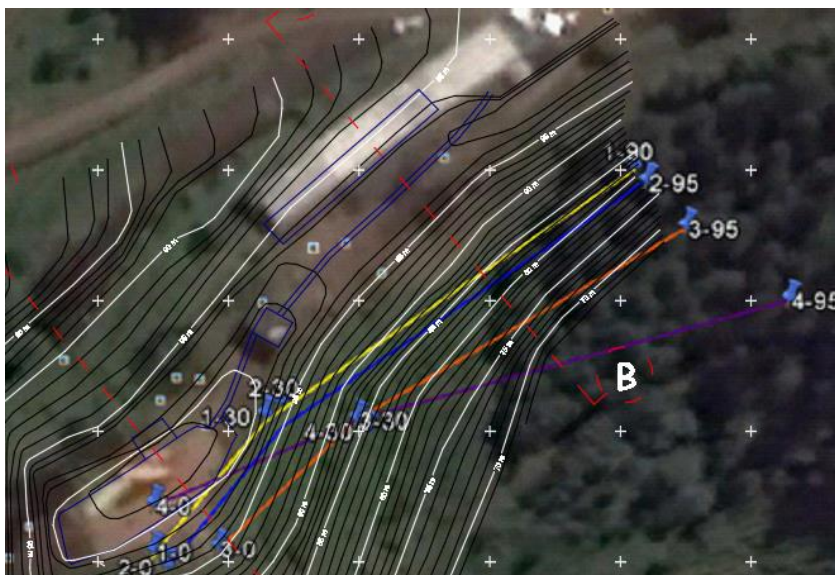
Tabel 4.1
Parameter Tanah pada Line-2

Kode Warna	Kedalaman	γ	c	\emptyset
	m	gr/cm ³	kg/cm ²	o
	1,7	1,935	0,155	24,986
	0,5	1,935	0,155	24,986
	0,7	1,869	0,119	23,45
	0,3	1,819	0,093	22,298
	0,4	1,769	0,066	21,146
	0,4	1,769	0,066	21,146
	1	1,54	0,755	11,320
	1,8	1,479	0,407	25,049
	0,9	1,762	0,167	34,554
	0,5	1,423	0,087	37,722
	0,8	1,608	0,109	38,083
	0,8	1,793	0,131	38,443
	0,7	1,497	0,143	31,715

Dari penelitian sebelumnya, lereng kritis atau zona lemah diperkirakan pada meter ke 60 sampai dengan meter 70. Pada penelitian ini diambil meter ke 65 karena dari hasil mapping geolistrik meter ke 65 merupakan lapisan dengan resistivitas rendah. Rendahnya nilai resistivitas membuktikan bahwa lapisan tanah memiliki kandungan air yang tinggi, sehingga dapat dikatakan lokasi tersebut merupakan zona lemah.

3. Lereng Kritis

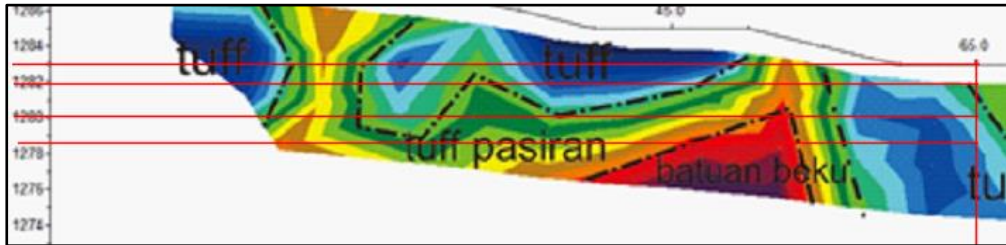
Lereng kritis diambil pada potongan B-B yang terletak pada meter ke 65 pada lintasan ke-1, ke-2, ke-3, dan ke-4 pada geolistrik. Keseluruhan lintasan tersebut selanjutnya dipotong menurut potongan B-B pada potongan tersebut dapat ditentukan lapisan-lapisan tanah yang paling mewakili kondisi di lapangan.



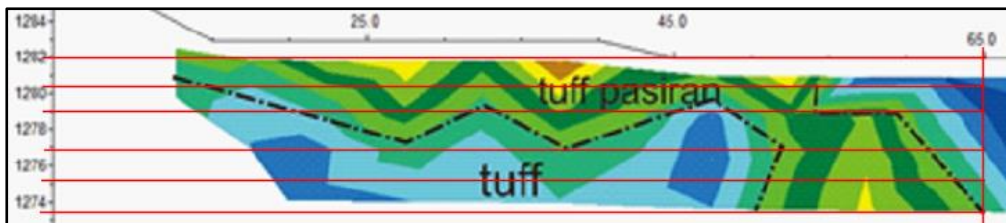
Gambar 4.10 Plot kontur dengan gambar satelit



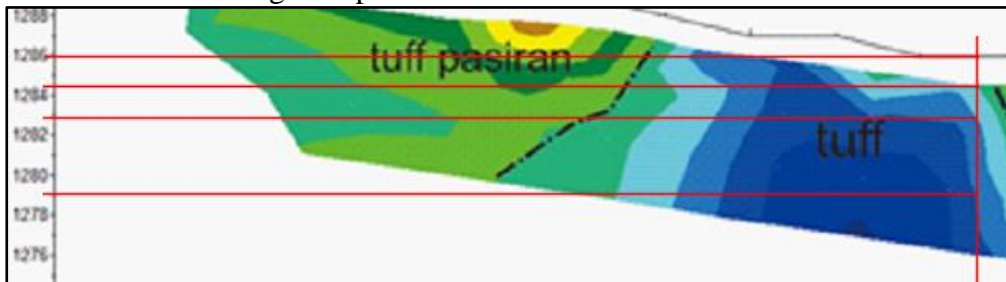
Gambar 4.11 Pembagian lapisan line-1



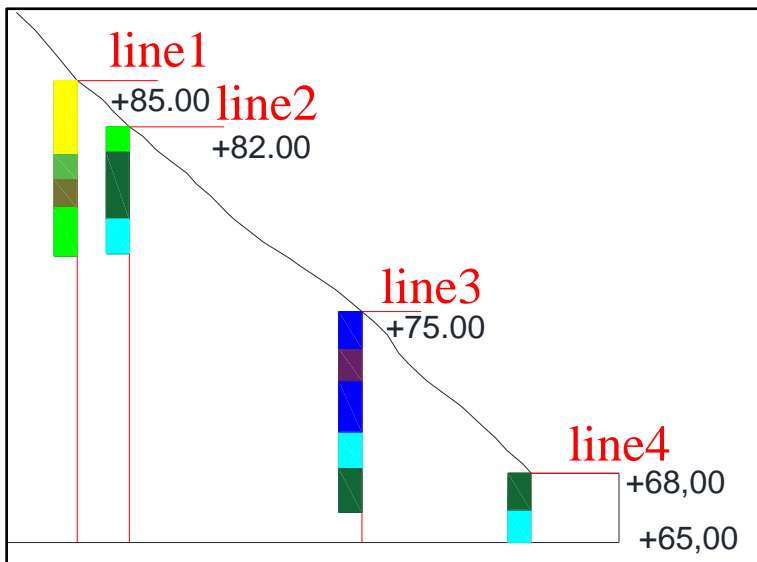
Gambar 4.12 Pembagian lapisan line-2



Gambar 4.13 Pembagian lapisan line-3



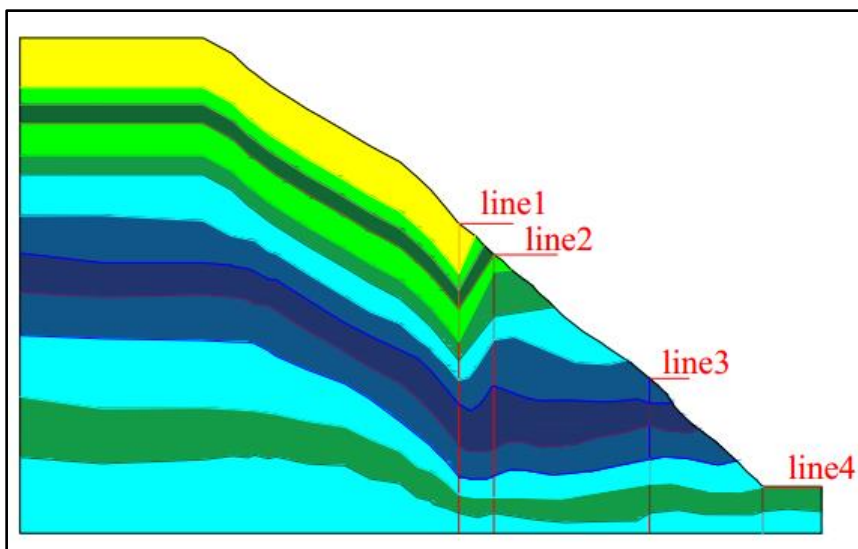
Gambar 4.14 Pembagian lapisan line-4



Gambar 4.15 Model lapisan pada lereng

Maksud dari Gambar 4.10 adalah untuk menentukan lapisan tanah pada masing-masing lintasan. Potongan B-B berada pada meter ke-65 di jalur geolistrik ke-1, ke-2 dan ke-3, sedangkan jalur geolistrik ke-4 potongan B-B memotong garis pada meter ke-57. Dari potongan tersebut sehingga dapat ditentukan kedalaman lapisan seperti pada masing-masing lintasan seperti pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13. Masing – masing gambar lintasan tersebut selanjutnya dimodelkan pada Gambar 4.15.

Dari Gambar 4.15 dapat dibuat kontur yang menggambarkan lapisan yang paling mendekati kondisi lapangan. Penggambaran lapisan lereng mengikuti bentuk kontur di lapangan.



Gambar 4.16 Lereng yang diteliti

4.2. Analisis Stabilitas Lereng

4.2.1. Analisis Lereng - 1

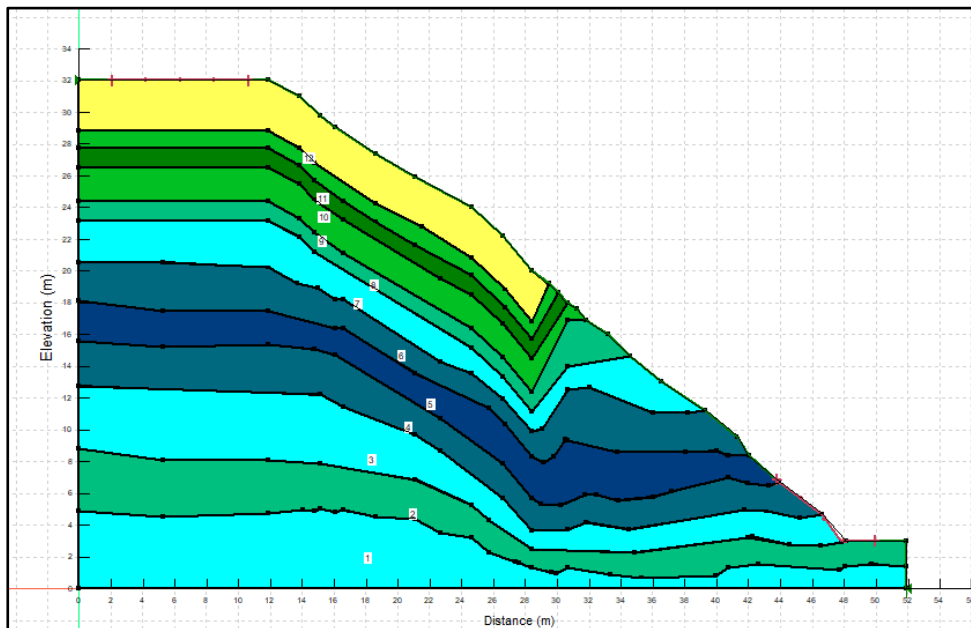
Analisis stabilitas lereng di Kawasan Gunung Banyak menggunakan *software Geostudio SLOPE/W 2018* dengan metode *limit equilibrium*. Pada analisis ini memerlukan beberapa parameter yang dibutuhkan, antara lain berat volume tanah (γ), kohesi tanah (c), dan sudut geser dalam tanah (ϕ). Data yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut

Tabel 4.2

Parameter Tanah Lereng yang Diteliti

Kode Warna	γ	c	ϕ
	kN/m ³	kN/m ²	°
1	14,97	14,30	31,715
2	19,35	15,50	24,986
3	19,35	15,50	24,986
4	19,35	15,50	24,986
5	17,62	16,70	34,554
6	14,79	40,70	25,049
7	15,40	75,50	11,32
8	17,69	6,60	21,146
9	15,40	75,50	11,32
10	14,79	40,70	25,049
11	17,62	16,70	34,554
12	14,79	40,70	25,049

Geometri lereng yang sudah ditentukan selanjutnya digambar pada *software Geostudio SLOPE/W 2018*.



Gambar 4.17 Geometri lereng pada *software*

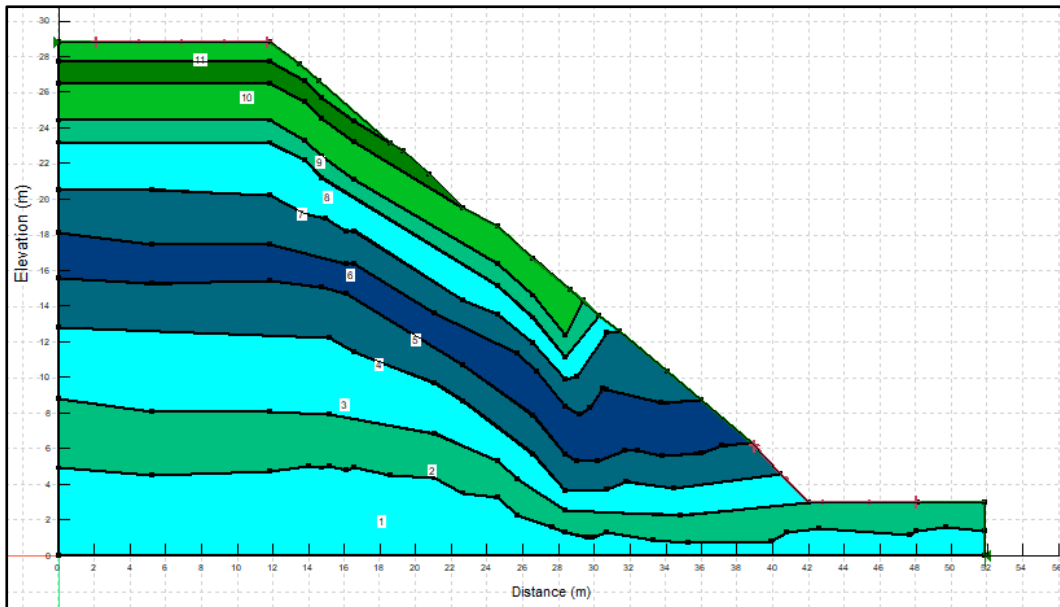
4.2.2. Analisis Lereng - 2

Lereng yang diteliti diasumsikan akan dibuat konstruksi jalan, sehingga dilakukan pemotongan lereng selebar 7 m. Pemotongan lereng mengacu pada peraturan konstruksi jalan raya yaitu jalan kolektor dimana jalan ini menghubungkan antar kota. Syarat dari jalan kolektor yaitu jalan dengan lebar minimum 7 m. Bentuk lereng didasarkan dengan peraturan Bina Marga mengenai Spesifikasi Penguatan Lereng. Pada peraturan tersebut menjelaskan bahwa sudut lereng adalah sudut yang dibentuk oleh garis horizontal dengan kemiringan lereng timbunan atau galian dan dinyatakan dalam angka perbandingan, dimana angka pertama merupakan skala horizontal dan angka kedua menunjukkan skala vertikal. Tabel di bawah ini merupakan pedoman Bina Marga dalam perencanaan lereng :

Tabel 4.3
Perencanaan Lereng Bina Marga

Tinggi Galian/Timbunan (m)	Kondisi Topografi		
	Datar	Cukup Terjal	Terjal
0 - 1,2	6 : 1	4 : 1	4 : 1
1,2 - 3	4 : 1	2 : 1	2 : 1
3 - 4,5	4 : 1	2,5 : 1	1,75 : 1
4,5 - 6	2 : 1	2 : 1	1,5 : 1
> 6	2 : 1	1,5 : 1	1,5 : 1

Tinggi dari lereng yaitu 32 m sehingga lereng yang diteliti termasuk kedalam kondisi terjal yang mana perbandingan antar horizontal dan vertikalnya yaitu 1,5 : 1. Setelah dilakukan pemotongan lereng selebar 7 m lebar dari lereng menjadi 42 m, sehingga dengan menggunakan perbandingan 1,5 : 1 tinggi lereng berubah menjadi 28 m. Geometri lereng yang telah diubah menjadi sebagai berikut

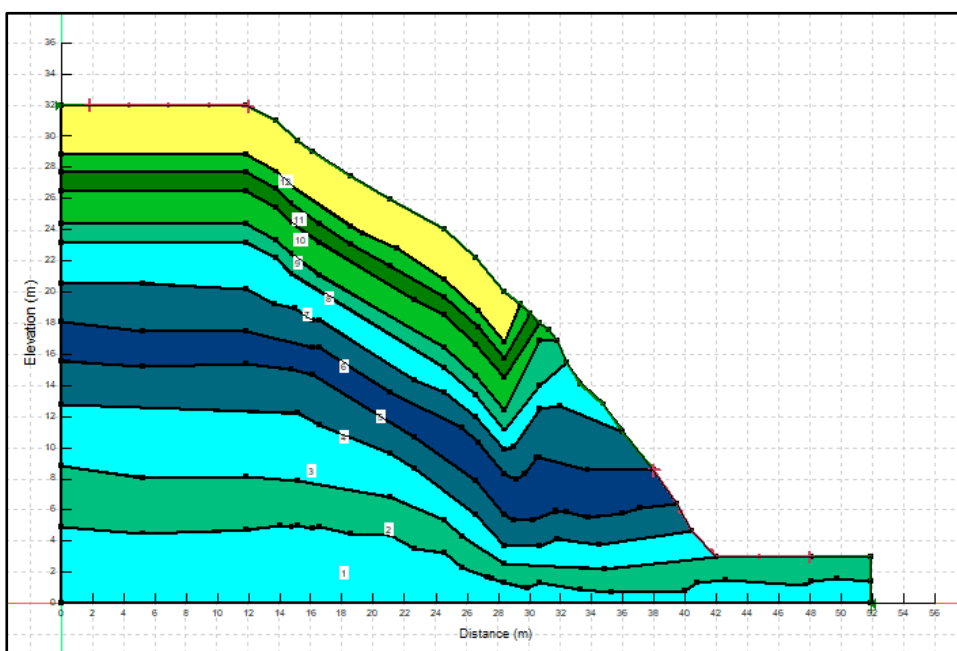


Gambar 4.18 Geometri lereng 2

Karena terjadi perubahan tinggi lereng, material teratas lereng tidak dimasukkan ke dalam analisis. Setelah memasukkan data material, lereng tersebut dapat dianalisis untuk mendapatkan angka keamanan dan juga probabilitas keruntuhannya.

4.2.3. Analisis Lereng - 3

Geometri lereng ke 3 diasumsikan pemotongan lebar lereng sepanjang 7 m, tetapi untuk tinggi lereng tidak dikurangi. Lereng ini tidak menggunakan berbanding horizontal dan vertikal pada lereng. Adapun bentuk geometri lereng ke 3 dapat ditunjukkan dengan gambar berikut ini :

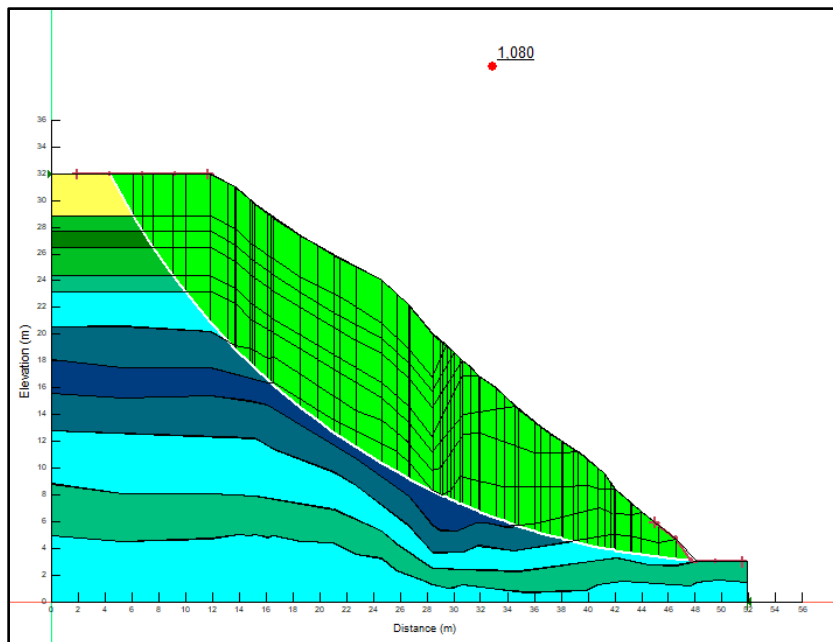


Gambar 4.19 Geometri lereng 3

4.3. Hasil Analisis

4.3.1. Faktor Keamanan Lereng - 1

Lereng yang sudah ditentukan di atas beserta lapisannya selanjutnya dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu Geostudio SLOPE/W 2018. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode Morgenstern-Price yang didasarkan pada konsep kesetimbangan batas. Metode ini lebih cocok digunakan karena lebih spesifik dalam menghitung angka keamanan yaitu mempertimbangkan gaya geser antar irisannya. Sedangkan pada metode lainnya tidak mempertimbangkan gaya geser antar irisan sehingga metode Morgenstern-Price sangat cocok untuk digunakan agar angka keamanan yang dihasilkan lebih akurat. Lereng yang diteliti memiliki sudut kemiringan 40° dengan lebar 52 m dan tinggi 32 m. Dari hasil analisis stabilitas lereng menggunakan software Geostudio SLOPE/W 2018 terlihat nilai faktor keamanan yang didapatkan yaitu 1,080. Dari angka faktor keamanan tersebut menunjukkan bahwa lereng yang diteliti dalam keadaan aman namun dapat terjadi kelongsoran karena hasil faktor keamanan yang mendekati 1.















Gambar 4.20 Hasil analisis faktor keamanan lereng 1

4.3.2. Analisis Probabilitas Lereng - 1

Untuk mengetahui kemungkinan terjadinya longsor pada lereng yang diteliti, maka dilakukan sebuah analisis probabilitas yang tersedia pada software Geostudio SLOPE/W 2018. Dalam melakukan analisis probabilitas diperlukan beberapa metode dan parameter masukan. Metode yang digunakan merupakan metode Monte Carlo dengan mengasumsikan percobaan sebanyak 2000 percobaan di setiap analisis. Untuk parameter masukan yaitu berupa parameter material tanah yang terdiri dari berat satuan (γ), kohesi (c),

dan sudut geser dalam (\emptyset). Dalam analisis ini menggunakan distribusi normal dengan memasukkan nilai rata-rata dan standar deviasi di setiap lapisannya. Parameter masukan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4
Parameter Masukan Lereng 1

Kode Warna	γ kN/m ³	Standar Deviasi	c kN/m ²	Standar Deviasi	\emptyset °	Standar Deviasi
	14,97	1	14,30	3	31,715	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	17,62	1	16,70	3	34,554	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3
	15,40	1	75,50	3	11,32	3
	17,69	1	6,60	3	21,146	3
	15,40	1	75,50	3	11,32	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3
	17,62	1	16,70	3	34,554	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3

Hasil dari analisis dengan memasukkan parameter yang telah ditentukan menghasilkan probabilitas keruntuhan pada lereng yaitu sebesar 10,48 %. Hasil ini didapatkan dari simulasi Monte Carlo sebanyak 2000 percobaan yang telah diproses oleh software Geostudio SLOPE/W 2018. Adapun hasil dari analisis probabilitas sebagai berikut

Tabel 4.5
Hasil Analisis Probabilitas Lereng 1

Keterangan	Hasil
Rata-rata Faktor Keamanan	1,082
Indeks Reabilitas	1,2432
Probabilitas Keruntuhan (%)	10,48
Standar Deviasi	0,0662
Min Faktor Keamanan	0,816
Maks Faktor Keamanan	1,323
Monte Carlo Trial	2000

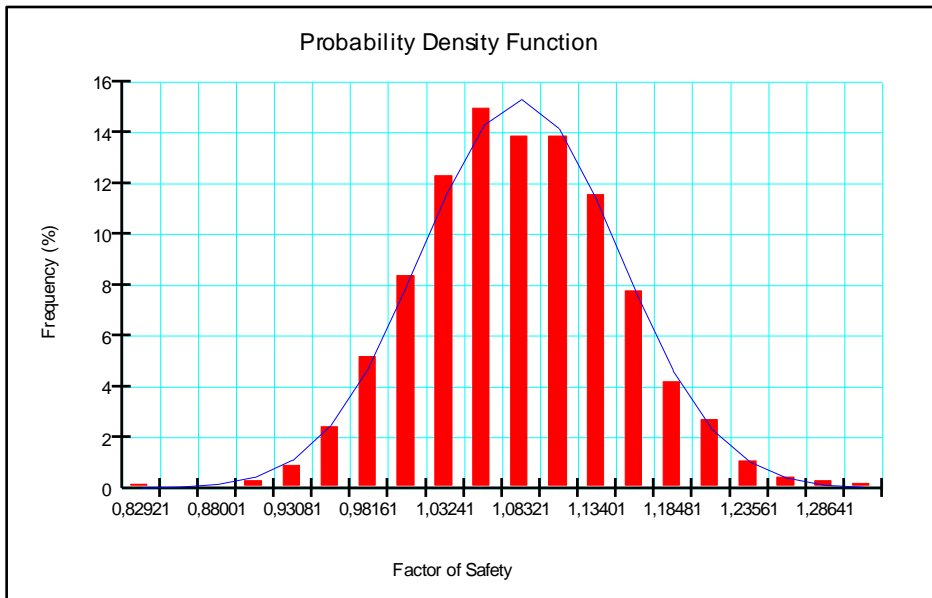
Dari tabel di atas terdapat rata-rata faktor keamanan yang didapatkan dari jumlah faktor keamanan di setiap bidang gelincirnya dibagi dengan total bidang gelincir. Angka indeks reabilitas merupakan cara lain untuk menilai resiko ketidakstabilan dari sebuah lereng. Indeks reabilitas didefinisikan persyaratan rata-rata dan standar deviasi dari percobaan angka keamanan. Perhitungan indeks reabilitas dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$\beta = \frac{(\mu - 1.0)}{\sigma}$$

$$\beta = \frac{(1,082 - 1.0)}{0,0662} = 1,24$$

Probabilitas keruntuhan didapatkan dari perbandingan faktor keamanan kurang dari satu dengan faktor keamanan lebih dari satu dari banyaknya percobaan.

Dari proses simulasi Monte Carlo yang dilakukan pada software maka didapatkan angka minimum faktor keamanan sampai dengan maksimum faktor keamanan yang dapat ditunjukkan oleh gambar grafik fungsi distribusi probabilitas yang didapatkan dari proses analisis probabilitas menggunakan software Geostudio 2018 SLOPE/W.



Gambar 4.21 Fungsi kepadatan probabilitas lereng 1

Gambar di atas merupakan grafik fungsi kepadatan probabilitas yang didapatkan dari hasil analisis dengan memasukkan parameter probabilitas dan dengan melakukan simulasi Monte Carlo. Data yang dihasilkan dari grafik fungsi kepadatan probabilitas pada Gambar 4.21 adalah sebagai berikut

Tabel 4.6

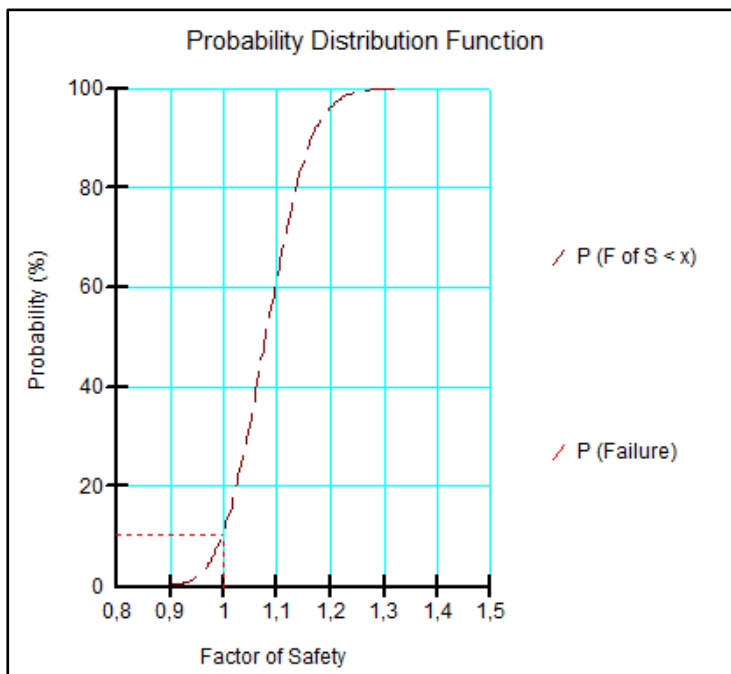
Hasil Fungsi Kepadatan Probabilitas Lereng 1

No	Factor of Safety	Frequency (%)	Monte Carlo Trial/fs	Probabilitas Kumulatif
1	0,82921	0,0102933	0,205866	0,0102933
2	0,85461	0,0414259	0,828518	0,0517192
3	0,88001	0,143913	2,87826	0,1956322
4	0,90541	0,43156	8,6312	0,6271922
5	0,93081	1,1171	22,342	1,7442922
6	0,95621	2,49607	49,9214	4,2403622
7	0,98161	4,8143	96,286	9,0546622
8	1,00701	8,01531	160,3062	17,0699722
9	1,03241	11,5191	230,382	28,5890722
10	1,05781	14,2899	285,798	42,8789722
11	1,08321	15,3021	306,042	58,1810722
12	1,10861	14,1445	282,89	72,3255722

13	1,13401	11,2858	225,716	83,6113722
14	1,15941	7,77302	155,4604	91,3843922
15	1,18481	4,62124	92,4248	96,0056322
16	1,21021	2,37159	47,4318	98,3772222
17	1,23561	1,05059	21,0118	99,4278122
18	1,26101	0,401732	8,03464	99,8295442
19	1,28641	0,132603	2,65206	99,9621472
20	1,31181	0,0377816	0,755632	99,9999288
Jumlah		99,9999288	1999,998576	

Karena banyaknya jumlah percobaan pada simulasi Monte Carlo, maka diambil dua puluh data yang mewakili percobaan tersebut.

Hasil perhitungan probabilitas kumulatif yang didapatkan dari fungsi kepadatan probabilitas kemudian digambarkan menjadi grafik fungsi distribusi probabilitas seperti pada *Gambar 4.22* di bawah ini



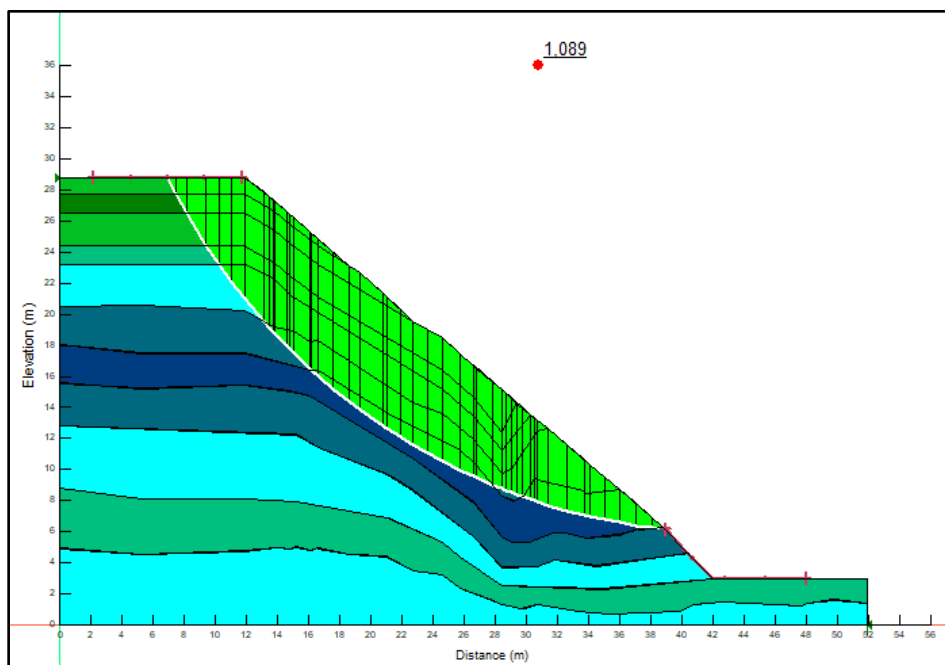
Gambar 4.22 Fungsi distribusi probabilitas lereng 1

Dari gambar grafik fungsi distribusi probabilitas di atas menunjukkan bahwa pada saat faktor keamanan bernilai kurang dari 1 maka probabilitas keruntuhannya adalah 10,48 % untuk semua material yang dimasukkan pada analisa tersebut. Hal ini mengindikasikan lereng tersebut stabil tetapi dapat terjadi kelongsoran. Dari hasil probabilitas keruntuhan tersebut mengartikan bahwa kemungkinan mendapatkan hasil faktor keamanan kurang dari 1 yaitu sebesar 10,48 %. Angka probabilitas keruntuhan ini dapat digunakan sebagai acuan dalam mendesain sebuah konstruksi sehingga berhubungan dengan proyek untuk

menentukan apakah lereng tersebut gagal atau tidak. Langkah untuk menstabilkan lereng agar faktor keamanan lereng semakin besar dan probabilitas keruntuhan lereng semakin kecil dapat dilakukan perbaikan tanah khususnya perkuatan tanah pada lereng. Perkuatan dapat menggunakan geosintetik, soil nailing, ataupun menggunakan elemen perkuatan sebidang.

4.3.3. Faktor Keamanan Lereng - 2

Lereng yang sudah dikonstruksi selanjutnya dianalisis lagi menggunakan software Geostudio SLOPE/W 2018 hingga mendapatkan hasil berupa faktor keamanan. Hasil dari analisis menunjukkan faktor keamanan sebesar 1,089. Dari angka faktor keamanan tersebut menyatakan bahwa lereng dalam keadaan stabil.














Gambar 4.23 Hasil analisa faktor keamanan lereng 2

4.3.4. Analisis Probabilitas Lereng - 2

Untuk mengetahui kemungkinan terjadinya longsor pada lereng yang diteliti, maka dilakukan sebuah analisis probabilitas yang tersedia pada software Geostudio SLOPE/W 2018. Dalam melakukan analisis probabilitas diperlukan beberapa metode dan parameter masukan. Metode yang digunakan merupakan metode Monte Carlo dengan mengasumsikan percobaan sebanyak 2000 percobaan di setiap analisis. Untuk parameter masukan yaitu berupa parameter material tanah yang terdiri dari berat satuan (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Dalam analisis ini menggunakan distribusi normal dengan memasukkan nilai rata-rata dan standar deviasi di setiap lapisannya. Parameter masukan yang digunakan adalah sebagai berikut

Tabel 4.7
Parameter Masukkan Lereng 2

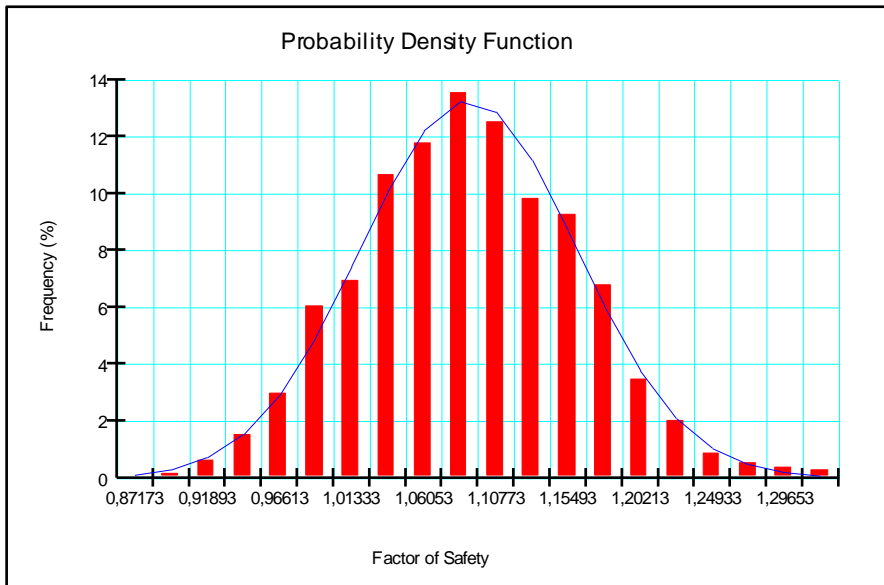
Kode Warna	γ kN/m ³	Standar Deviasi	c kN/m ²	Standar Deviasi	ϕ °	Standar Deviasi
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	17,62	1	16,70	3	34,554	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3
	15,40	1	75,50	3	11,32	3
	17,69	1	6,60	3	21,146	3
	15,40	1	75,50	3	11,32	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3
	17,62	1	16,70	3	34,554	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3

Hasil dari analisis dengan memasukkan parameter yang telah ditentukan menghasilkan probabilitas keruntuhan pada lereng yaitu sebesar 10,96 %. Hasil ini didapatkan dari simulasi Monte Carlo sebanyak 2000 percobaan yang telah diproses oleh software Geostudio SLOPE/W 2018. Adapun hasil dari analisis probabilitas sebagai berikut

Tabel 4.8
Hasil Analisis Probabilitas Lereng 2

Keterangan	Hasil
Rata-rata Faktor Keamanan	1,089
Indeks Reabilitas	1,264
Probabilitas Keruntuhan (%)	10,96
Standar Deviasi	0,0708
Min Faktor Keamanan	0,859
Maks Faktor Keamanan	1,331
Monte Carlo Trial	2000

Probabilitas keruntuhan didapatkan dari perbandingan faktor keamanan kurang dari satu dengan faktor keamanan lebih dari satu dari banyaknya percobaan. Dari proses simulasi Monte Carlo yang dilakukan pada software maka didapatkan angka minimum faktor keamanan sampai dengan maksimum faktor keamanan yang dapat ditunjukkan oleh gambar grafik fungsi distribusi probabilitas yang didapatkan dari proses analisis probabilitas menggunakan software Geostudio 2018 SLOPE/W.



Gambar 4.24 Fungsi kepadatan probabilitas lereng 2

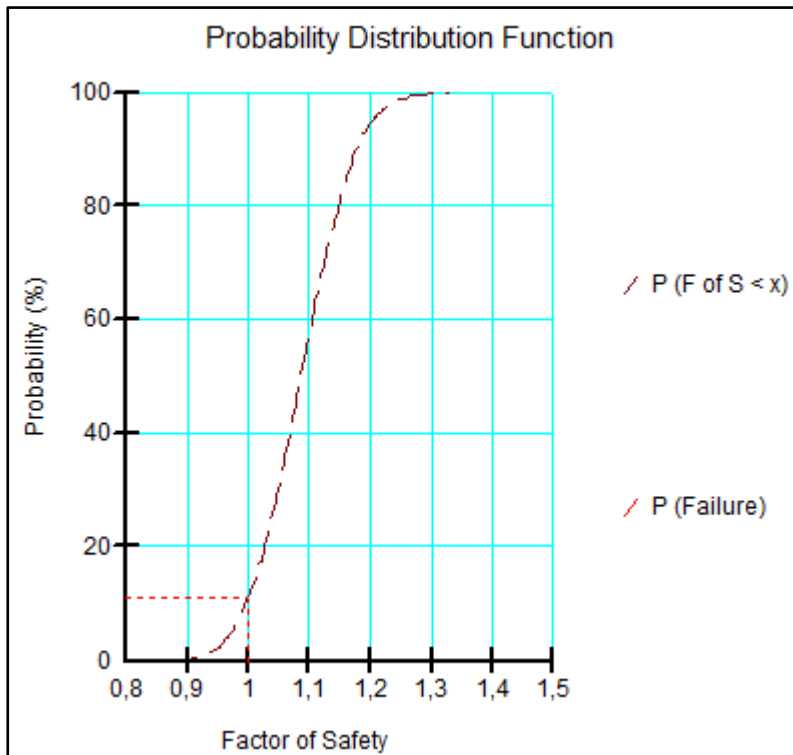
Gambar di atas merupakan grafik fungsi kepadatan probabilitas yang didapatkan dari hasil analisis dengan memasukkan parameter probabilitas dan dengan melakukan simulasi Monte Carlo. Data yang dihasilkan dari grafik fungsi kepadatan probabilitas pada Gambar 4.24 adalah sebagai berikut

Tabel 4.9
Hasil Fungsi Kepadatan Probabilitas Lereng 2

No	Factor of Safety	Frequency (%)	Monte Carlo Trial/fs	Probabilitas Kumulatif
1	0,87173	0,118034	2,36068	0,118034
2	0,89533	0,310791	6,21582	0,428825
3	0,91893	0,732438	14,64876	1,161263
4	0,94253	1,54495	30,899	2,706213
5	0,96613	2,91675	58,335	5,622963
6	0,98973	4,92862	98,5724	10,551583
7	1,01333	7,45407	149,0814	18,005653
8	1,03693	10,0903	201,806	28,095953
9	1,06053	12,2251	244,502	40,321053
10	1,08413	13,257	265,14	53,578053
11	1,10773	12,8671	257,342	66,445153
12	1,13133	11,1778	223,556	77,622953
13	1,15493	8,69107	173,8214	86,314023
14	1,17853	6,04828	120,9656	92,362303
15	1,20213	3,76731	75,3462	96,129613
16	1,22573	2,10026	42,0052	98,229873
17	1,24933	1,04799	20,9598	99,277863
18	1,27293	0,468038	9,36076	99,745901
19	1,29653	0,187089	3,74178	99,93299

20	1,32013	0,0669352	1,338704	99,9999252
	Jumlah	99,9999252	1999,998504	

Hasil perhitungan probabilitas kumulatif yang didapatkan dari fungsi kepadatan probabilitas kemudian digambarkan menjadi grafik fungsi distribusi probabilitas seperti pada *Gambar 4.25* di bawah ini



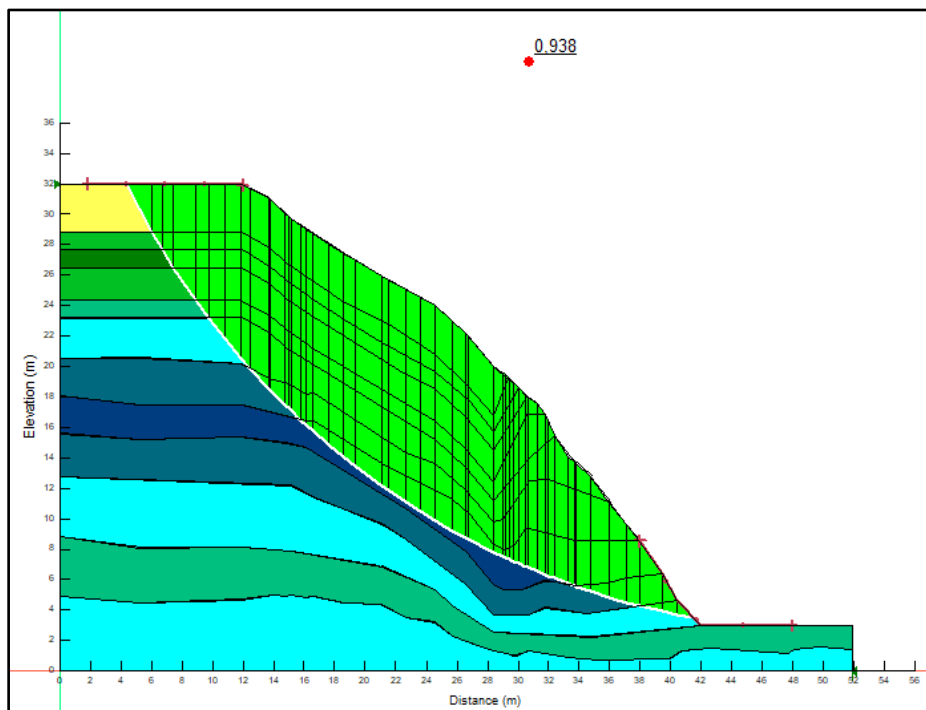
Gambar 4.25 Fungsi distribusi probabilitas lereng 2

Dari gambar grafik fungsi distribusi probabilitas di atas menunjukkan bahwa pada saat faktor keamanan bernilai 1 maka probabilitas keruntuhannya adalah 10,96 % untuk semua material yang dimasukkan pada analisa tersebut. Hasil ini mengindikasikan lereng tersebut relatif stabil tetapi terdapat kemungkinan terjadi kelongsoran karena beberapa hal seperti curah hujan yang tinggi, erosi, dan lainnya yang dapat menyebabkan kelongsoran dari sebuah lereng. Hasil analisis lereng yang sudah dirubah tidak berbeda jauh dengan keadaan lereng sebenarnya.

Langkah untuk menstabilkan lereng agar faktor keamanan lereng semakin besar dan probabilitas keruntuhan lereng semakin kecil dapat dilakukan perbaikan tanah khususnya perkuatan tanah pada lereng. Perkuatan dapat menggunakan geosintetik, soil nailing, ataupun menggunakan elemen perkuatan sebidang.

4.3.5. Faktor Keamanan Lereng - 3

Lereng yang sudah dirubah selanjutnya dianalisis lagi menggunakan software Geostudio SLOPE/W 2018 hingga mendapatkan hasil berupa faktor keamanan. Hasil dari analisis menunjukkan faktor keamanan sebesar 0,938. Dari angka faktor keamanan tersebut menyatakan bahwa lereng dalam keadaan tidak stabil yang berarti suatu saat dapat terjadi kelongsoran.















Gambar 4.26 Hasil analisa faktor keamanan lereng 3

4.3.6. Analisis Probabilitas Lereng - 3

Untuk mengetahui kemungkinan terjadinya longsor pada lereng yang diteliti, maka dilakukan sebuah analisis probabilitas yang tersedia pada software Geostudio SLOPE/W 2018. Dalam melakukan analisis probabilitas diperlukan beberapa metode dan parameter masukan. Metode yang digunakan merupakan metode Monte Carlo dengan mengasumsikan percobaan sebanyak 2000 percobaan di setiap analisis. Untuk parameter masukan yaitu berupa parameter material tanah yang terdiri dari berat satuan (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Dalam analisis ini menggunakan distribusi normal dengan memasukkan nilai rata-rata dan standar deviasi di setiap lapisannya. Parameter masukan yang digunakan adalah sebagai berikut

Tabel 4.10
Parameter Masukkan Lereng 3

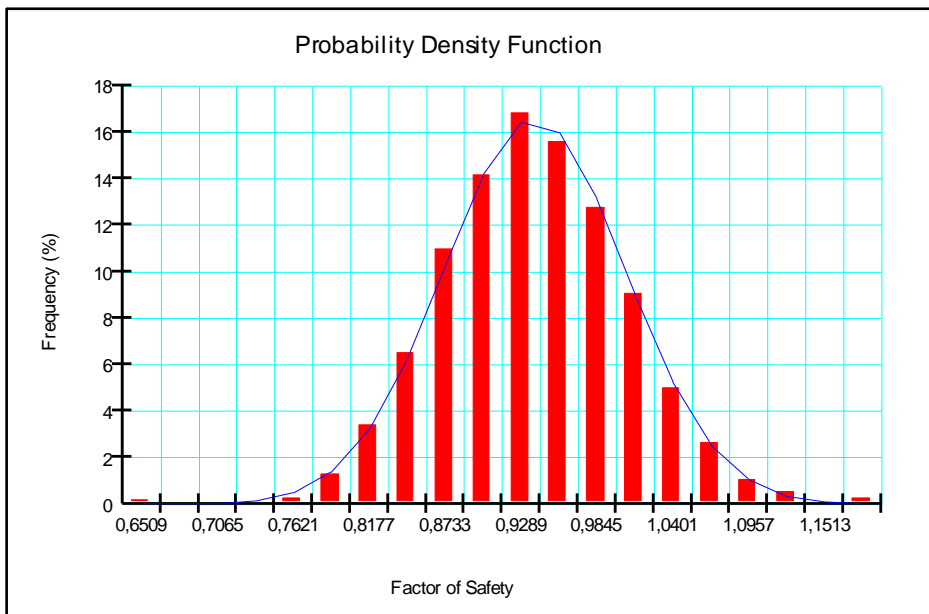
Kode Warna	γ	Standar	c	Standar	ϕ	Standar
	kN/m ³	Deviasi	kN/m ²	Deviasi	°	Deviasi
	14,97	1	14,30	3	31,715	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	19,35	1	15,50	3	24,986	3
	17,62	1	16,70	3	34,554	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3
	15,40	1	75,50	3	11,32	3
	17,69	1	6,60	3	21,146	3
	15,40	1	75,50	3	11,32	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3
	17,62	1	16,70	3	34,554	3
	14,79	1	40,70	3	25,049	3

Hasil dari analisis dengan memasukkan parameter yang telah ditentukan menghasilkan probabilitas keruntuhan pada lereng yaitu sebesar 82,15 %. Hasil ini didapatkan dari simulasi Monte Carlo sebanyak 2000 percobaan yang telah diproses oleh software Geostudio SLOPE/W 2018. Adapun hasil dari analisis probabilitas sebagai berikut

Tabel 4.11
Hasil Analisis Probabilitas Lereng 3

Keterangan	Hasil
Rata-rata Faktor Keamanan	0,938
Indeks Reabilitas	-0,919
Probabilitas Keruntuhan (%)	82,15
Standar Deviasi	0,0667
Min Faktor Keamanan	0,637
Maks Faktor Keamanan	1,191
Monte Carlo Trial	2000

Probabilitas keruntuhan didapatkan dari perbandingan faktor keamanan kurang dari satu dengan faktor keamanan lebih dari satu dari banyaknya percobaan. Dari proses simulasi Monte Carlo yang dilakukan pada software maka didapatkan angka minimum faktor keamanan sampai dengan maksimum faktor keamanan yang dapat ditunjukkan oleh gambar grafik fungsi distribusi probabilitas yang didapatkan dari proses analisis probabilitas menggunakan software Geostudio 2018 SLOPE/W.



Gambar 4.27 Fungsi kepadatan probabilitas lereng 3

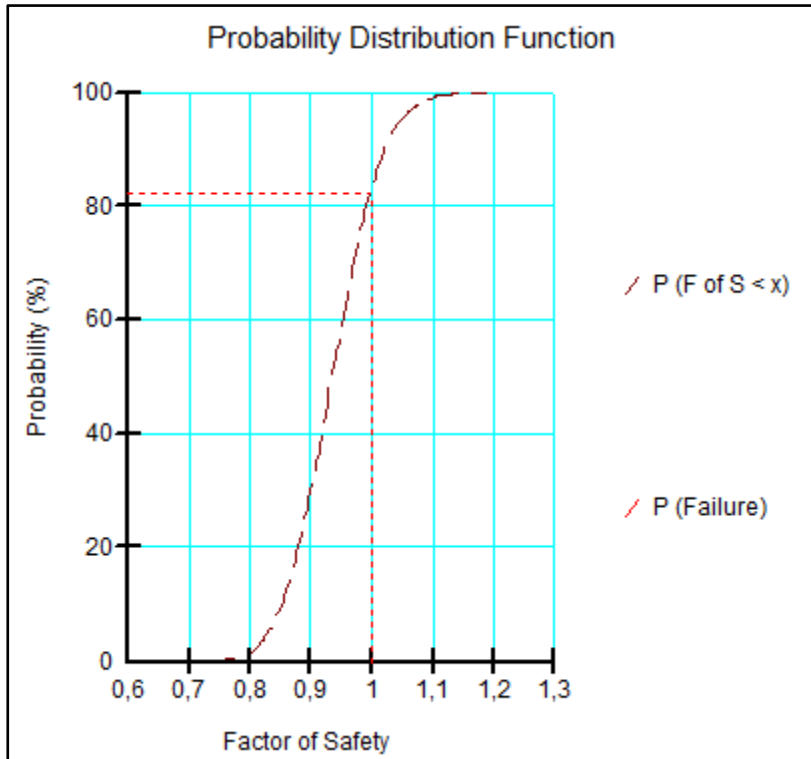
Gambar di atas merupakan grafik fungsi kepadatan probabilitas yang didapatkan dari hasil analisis dengan memasukkan parameter probabilitas dan dengan melakukan simulasi Monte Carlo. Data yang dihasilkan dari grafik fungsi kepadatan probabilitas pada Gambar 4.27 adalah sebagai berikut

Tabel 4.12
Hasil Fungsi Kepadatan Probabilitas Lereng 3

No	Factor of Safety	Frequency (%)	Monte Carlo Trial/fs	Probabilitas Kumulatif
1	0,6509	0,00154546	0,0309092	0,001545
2	0,6787	0,00852162	0,1704324	0,010067
3	0,7065	0,0395094	0,790188	0,049576
4	0,7343	0,154025	3,0805	0,203601
5	0,7621	0,504892	10,09784	0,708493
6	0,7899	1,39161	27,8322	2,100103
7	0,8177	3,22517	64,5034	5,325273
8	0,8455	6,28493	125,6986	11,610203
9	0,8733	10,2982	205,964	21,908403
10	0,9011	14,1886	283,772	36,097003
11	0,9289	16,4372	328,744	52,534203
12	0,9567	16,0115	320,23	68,545703
13	0,9845	13,1144	262,288	81,660103
14	1,0123	9,03195	180,639	90,692053
15	1,0401	5,23031	104,6062	95,922363
16	1,0679	2,54675	50,935	98,469113
17	1,0957	1,0427	20,854	99,511813
18	1,1235	0,358962	7,17924	99,870775
19	1,1513	0,103908	2,07816	99,974683

20	1,1791	0,0252909	0,505818	99,999974
	Jumlah	99,99997438	1999,999488	

Hasil perhitungan probabilitas kumulatif yang didapatkan dari fungsi kepadatan probabilitas kemudian digambarkan menjadi grafik fungsi distribusi probabilitas seperti pada *Gambar 4.28* di bawah ini



Gambar 4.28 Fungsi distribusi probabilitas lereng 3

Dari gambar grafik fungsi distribusi probabilitas di atas menunjukkan bahwa kemungkinan mendapatkan hasil faktor keamanan kurang dari 1 adalah 82,15 % untuk semua material yang dimasukkan pada analisa tersebut. Hasil ini mengindikasikan lereng tersebut relatif tidak stabil dan kemungkinan besar terjadi kelongsoran lereng. Pada peraturan Bina Marga, untuk lereng dalam keadaan tidak stabil dapat diperkuat dengan beberapa metode, diantaranya yaitu perkuatan lereng dengan bahan konstruksi berupa material keras dan tidak lapuk oleh pengaruh cuaca serta lingkungan dalam waktu yang lama seperti beton, batu kali, batu marmer, dan batu bata. Selain itu terdapat juga beberapa metode perkuatan tanah yang dapat digunakan agar lereng tersebut aman yaitu berupa metode soil nailing, metode geosintetik, dan metode perkuatan tanah lainnya yang cocok untuk perkuatan lereng.

4.4. Perbandingan Hasil Analisis

Dari hasil analisis yang didapatkan dari ketiga lereng di atas maka didapatkan perbandingan yang akan ditampilkan pada tabel di bawah ini

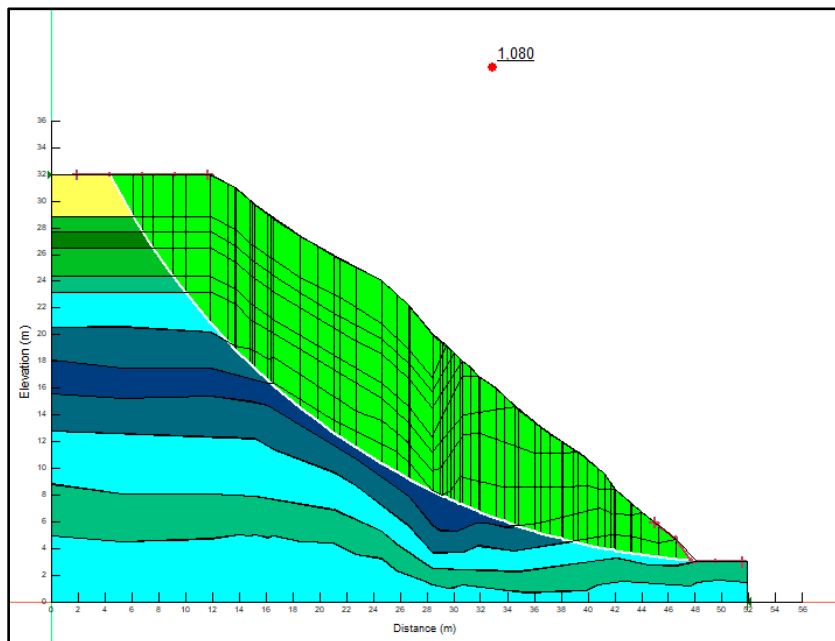
Tabel 4.13
Perbandingan Hasil Analisis

Lereng	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)	Faktor Keamanan	Probabilitas Keruntuhan (%)
1	32	52	33	1,082	10,48
2	28	42	32	1,089	10,69
3	32	42	37	0,938	82,15

4.5. Contoh Perhitungan Monte Carlo

4.5.1. Perhitungan Angka Keamanan

Pada pembahasan ini analisis probabilitas menggunakan metode Monte Carlo dihitung secara manual. Lereng yang digunakan pada perhitungan ini adalah lereng satu yang merupakan lereng dalam keadaan asli. Data asumsi yang digunakan dalam perhitungan didapatkan dari hasil analisis pada software, kemudian perhitungan angka keamanan dihitung secara manual.



Gambar 4.29 Geometri lereng - 1

Dari hasil analisis pada gambar di atas, irisan pada lereng dibagi menjadi 58 irisan. Data yang didapatkan dari setiap irisan pada lereng dari hasil analisis ditampilkan pada tabel di bawah ini

Tabel 4.14
Data Perhitungan Angka Keamanan

Irisan	Ø (°)	c (kPa)	b (m)	h (m)	α (°)	W (kN)	XL (kN)	XR (kN)
1	37,715	14,3	1,7536	1,6	-61,277	3,7636	0	-0,5206
2	24,986	15,5	0,67151	3,75	-58,597	11,983	-0,5206	-0,49437
3	24,986	15,5	0,67151	3,75	-58,597	11,983	-0,4944	0,10998
4	24,986	15,5	1,4729	6,55	-54,955	50,607	0,10998	3,5566
5	23,45	34,554	0,94404	8,22	-52,717	41,426	3,5566	5,8944
6	25,049	40,7	1,8778	9,97	-50,277	98,222	5,8944	11,515
7	25,049	40,7	1,2753	11,469	-47,655	75,316	11,515	16,711
8	11,32	75,5	0,57465	11,989	-46,177	35,291	16,711	18,623
9	11,32	75,5	0,080001	12,16	-45,664	4,9768	18,623	18,902
10	11,32	75,5	0,99	12,21	-44,844	61,906	18,902	22,399
11	11,32	75,5	0,19	12,243	-43,944	11,928	22,399	23,07
12	11,32	75,5	0,18	12,248	-43,665	11,305	23,07	23,702
13	11,32	75,5	0,95	12,325	-42,827	60,005	23,702	27,021
14	11,32	75,5	0,22228	12,428	-41,962	14,148	27,021	27,793
15	21,146	6,6	0,24772	12,487	-41,62	15,859	27,793	30,407
16	21,146	6,6	2,01	12,712	-40,016	131,05	30,407	52,099
17	21,146	6,6	1,24	13,021	-37,741	82,881	52,099	65,42
18	21,146	6,6	1,23	13,219	-36,064	83,718	65,42	78,158
19	21,146	6,6	0,45	13,337	-34,94	30,97	78,158	82,628
20	21,146	6,6	1,18	13,445	-33,871	81,927	82,628	93,691
21	21,146	6,6	1,92	13,591	-31,873	134,82	93,691	109,01
22	21,146	6,6	1,13	13,472	-29,938	78,827	109,01	115,99
23	21,146	6,6	0,85	13,126	-28,705	57,831	115,99	120,02
24	21,146	6,6	0,17	12,913	-28,074	11,376	120,02	120,69
25	21,146	6,6	1,66	12,286	-26,959	105,53	120,69	124,76
26	21,146	6,6	0,62	11,634	-25,576	37,462	124,76	125,19
27	21,146	6,6	0,13	11,536	-25,125	7,8451	125,19	125,21
28	21,146	6,6	0,32	11,475	-24,855	19,346	125,21	125,16
29	21,146	6,6	0,27	11,348	-24,503	16,159	125,16	125
30	21,146	6,6	0,29	11,174	-24,169	16,95	125	124,7
31	21,146	6,6	0,46	10,962	-23,724	26,129	124,7	123,96
32	21,146	6,6	0,17	10,795	-23,351	9,4156	123,96	123,6
33	21,146	6,6	0,58	10,667	-22,909	31,492	123,6	122,09
34	21,146	6,6	0,57	10,356	-22,233	29,739	122,09	120,15
35	21,146	6,6	0,18	10,103	-21,794	9,0945	120,15	119,45
36	21,146	6,6	1,15	9,9096	-21,02	56,626	119,45	114,04
37	21,146	6,6	0,6	9,5591	-20,005	28,211	114,04	110,63
38	21,146	6,6	0,82	9,121	-19,187	36,461	110,63	105,38
39	21,146	6,6	0,28489	8,7928	-18,553	12,168	105,38	103,41
40	11,32	75,5	1,1451	8,4205	-17,738	46,967	103,41	88,733

41	11,32	75,5	0,49	7,9878	-16,807	19,098	88,733	82,405
42	11,32	75,5	0,66	7,7351	-16,157	24,907	82,405	73,921
43	11,32	75,5	0,66	7,7351	-16,157	24,907	73,921	63,055
44	11,32	75,5	0,14	7,261	-14,738	4,9616	63,055	61,316
45	11,32	75,5	0,78759	7,0762	-14,218	27,237	61,316	51,752
46	25,049	40,7	0,32241	6,8523	-13,597	10,812	51,752	47,998
47	25,049	40,7	0,72	6,5769	-13,016	23,159	47,998	40,004
48	25,049	40,7	0,77	6,1384	-12,188	22,983	40,004	32,137
49	25,049	40,7	0,53	5,7476	-11,467	14,769	32,137	27,171
50	25,049	40,7	0,44	5,2821	-10,93	11,333	27,171	23,36
51	25,049	40,7	0,21	4,8322	-10,571	4,9773	23,36	21,651
52	25,049	40,7	0,079998	4,6307	-10,411	1,8222	21,651	21,019
53	25,049	40,7	1,14	4,1771	-9,7392	23,176	21,019	13,057
54	25,049	40,7	0,11	3,7401	-9,051	1,9721	13,057	12,393
55	25,049	40,7	0,67	3,4604	-8,6228	10,925	12,393	8,7481
56	25,049	40,7	1,28	2,8059	-7,5544	16,592	8,7481	3,6223
57	25,049	40,7	1,35	1,9381	-6,1169	11,961	3,6223	0,69021
58	25,049	40,7	1,125	0,74214	-4,7675	3,7636	0,69021	0

Setelah didapatkan data dilakukan perhitungan selanjutnya untuk menghitung angka keamanan dari lereng tersebut. Gaya normal pada setiap irisan dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini

$$N = \frac{W + (Xr - Xl) - \frac{(cl \sin \alpha)}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \varphi}{F}}$$

Tabel 4.15
Perhitungan Gaya Normal

<u>(XR-XL)</u> (kN)	<u>cos α</u>	<u>sin α</u>	<u>l</u> (m)	<u>tan Ø</u>	<u>N</u> (kN)
-0,5206	0,480575568	-0,876953319	3,64895787	0,773306102	184,6146
0,02623	0,521054323	-0,853523516	1,288752382	0,466010215	63,735
0,60438	0,521054323	-0,853523516	1,288752382	0,466010215	65,5295
3,44662	0,57421962	-0,818701306	2,565046454	0,466010215	183,4064
2,3378	0,605752352	-0,795653246	1,558458662	0,433775116	150,4834
5,6206	0,639076623	-0,769143075	2,938301814	0,467349245	326,1868
5,196	0,673593211	-0,739102284	1,893279177	0,467349245	217,592
1,912	0,692432851	-0,721482326	0,829899966	0,200182746	96,42747
0,279	0,698864831	-0,715253765	0,11447278	0,200182746	13,30624
3,497	0,709029407	-0,705178913	1,39627495	0,200182746	160,6594
0,671	0,720018405	-0,693954967	0,263882143	0,200182746	29,99244
0,632	0,723389047	-0,690440647	0,248828761	0,200182746	28,15683
3,319	0,733409604	-0,679786991	1,295319825	0,200182746	145,1292
0,772	0,743588446	-0,668637587	0,298928797	0,200182746	33,20008
2,614	0,747566291	-0,664187203	0,331368606	0,386790563	31,01085

21,692	0,765864913	-0,643001505	2,624483725	0,386790563	246,778
13,321	0,790785731	-0,612093071	1,568060666	0,386790563	147,7809
12,738	0,808359927	-0,588688566	1,521599424	0,386790563	143,1397
4,47	0,819752243	-0,572718308	0,548946348	0,386790563	51,44985
11,063	0,830294479	-0,557324931	1,42118252	0,386790563	132,3217
15,319	0,849220614	-0,528038208	2,260896601	0,386790563	206,2355
6,98	0,866565949	-0,499062578	1,303997695	0,386790563	114,2193
4,03	0,877104253	-0,480300041	0,969098026	0,386790563	80,84121
0,67	0,882340514	-0,470611536	0,19266938	0,386790563	15,60066
4,07	0,891331165	-0,453352793	1,86238299	0,386790563	139,8439
0,43	0,902013439	-0,431707952	0,687351178	0,386790563	47,48946
0,02	0,905383621	-0,424594511	0,143585544	0,386790563	9,797874
-0,05	0,907374415	-0,420323293	0,352665884	0,386790563	23,9505
-0,16	0,909939556	-0,414740888	0,296723006	0,386790563	19,77161
-0,3	0,912341772	-0,409429469	0,317863337	0,386790563	20,49963
-0,74	0,915494146	-0,402331293	0,502460887	0,386790563	31,1049
-0,36	0,918093935	-0,396362871	0,185166238	0,386790563	11,04987
-1,51	0,921124271	-0,389268645	0,629665311	0,386790563	36,40263
-1,94	0,925652811	-0,378373987	0,615781634	0,386790563	33,51162
-0,7	0,928524711	-0,371270603	0,193855907	0,386790563	10,07562
-5,41	0,933455276	-0,358693809	1,231981896	0,386790563	60,95957
-3,41	0,93966277	-0,342102146	0,638526947	0,386790563	29,21786
-5,25	0,944450963	-0,328652366	0,868229301	0,386790563	36,50013
-1,97	0,948029735	-0,318181743	0,300507452	0,386790563	11,85967
-14,677	0,952459629	-0,304664823	1,202255681	0,200182746	50,0206
-6,328	0,957284178	-0,289148753	0,511864722	0,200182746	19,77415
-8,484	0,960502796	-0,278270335	0,687140113	0,200182746	25,34841
-10,866	0,960502796	-0,278270335	0,687140113	0,200182746	22,7944
-1,739	0,967099241	-0,254399405	0,144762806	0,200182746	4,898751
-9,564	0,969368236	-0,245611934	0,812477622	0,200182746	26,67928
-3,754	0,971973311	-0,235091221	0,331706639	0,467349245	9,426998
-7,994	0,974307209	-0,225223141	0,738986629	0,467349245	20,12849
-7,867	0,977460133	-0,211120082	0,787755914	0,467349245	19,93309
-4,966	0,98003937	-0,198803505	0,540794601	0,467349245	12,84391
-3,811	0,981859568	-0,189609569	0,448129258	0,467349245	9,867319
-1,709	0,983028329	-0,183453819	0,213625583	0,467349245	4,324611
-0,632	0,983536795	-0,180707974	0,081337069	0,467349245	1,582167
-7,962	0,985587963	-0,169163728	1,15666997	0,467349245	20,2903
-0,664	0,987548704	-0,157313562	0,111386911	0,467349245	1,750848
-3,6449	0,988696797	-0,149928792	0,677659725	0,467349245	9,801871
-5,1258	0,991320485	-0,13146747	1,291207051	0,467349245	15,53264
-2,93209	0,994306557	-0,106557357	1,357730159	0,467349245	12,35092
-0,69021	0,996540164	-0,083112587	1,128905829	0,467349245	5,099436

Menghitung angka keamanan pada lereng menggunakan metode Morgenstern-Price dengan rumus sebagai berikut

$$f_s = \frac{\sum (cl + N \tan \varphi) \cos \alpha}{\sum N \sin \alpha}$$

Tabel 4.16
Perhitungan Angka Keamanan

N tan Ø	cl + N tan Ø cos α	N sin α
142,7636	93,68515988	-161,898
29,70116	25,88432412	-54,3993
30,53742	26,32005844	-55,931
85,46927	71,90808456	-150,155
65,27595	72,16141662	-119,733
152,4432	173,8493299	-250,884
101,6915	120,4033873	-160,823
19,30312	56,75218669	-69,5707
2,66368	7,901627611	-9,51734
32,16125	97,54826884	-113,294
6,003969	18,66796841	-20,8134
5,636512	17,66739121	-19,4406
29,05236	93,03228203	-98,6569
6,646082	21,72409001	-22,1988
11,9947	10,60178754	-20,597
95,4514	86,36887521	-158,679
57,16026	53,38551999	-90,4557
55,36507	52,87290174	-84,2647
19,90032	19,28332914	-29,4663
51,18078	50,28311697	-73,7462
79,76996	80,41429186	-108,9
44,17897	45,74198707	-57,0026
31,26862	33,03583741	-38,828
6,03419	6,446210294	-7,34185
54,09031	59,16837632	-63,3986
18,36848	20,6606124	-20,5016
3,789725	4,289155217	-4,16012
9,263828	10,51776057	-10,067
7,647471	8,740736626	-8,20009
7,929062	9,148014933	-8,39315
12,03108	14,05038513	-12,5145
4,273987	5,04592134	-4,37976
14,08019	16,79760928	-14,1704
12,96198	15,76029107	-12,6799
3,897154	4,806603736	-3,74078
23,57859	29,5995552	-21,8658
11,30119	14,57931095	-9,99549

14,11791	18,74566942	-11,9959
4,587207	6,229082317	-3,77353
10,01326	95,99227722	-15,2395
3,958443	40,78435529	-5,71767
5,074315	54,70389335	-7,05371
4,563045	54,21281794	-6,34301
0,980645	11,5183815	-1,24624
5,340731	64,64018014	-6,55275
4,4057	17,40431026	-2,2162
9,407034	38,469341	-4,5334
9,315713	40,44473819	-4,20827
6,00259	27,45377469	-2,55341
4,611484	22,43582999	-1,87094
2,021104	10,53380203	-0,79337
0,739425	3,983169866	-0,28591
9,482657	55,74399233	-3,43238
0,818258	5,28506922	-0,27543
4,580897	31,79811822	-1,46958
7,259165	59,29215937	-2,04204
5,772195	60,68433115	-1,31608
2,383217	48,16247192	-0,42383
Jumlah	= 2317,62	2254,01

$$f_s = \frac{\sum (cl + N \tan \varphi) \cos \alpha}{\sum N \sin \alpha}$$

$$f_s = \frac{2317,62}{2254,01} = 1,028$$

4.5.2. Perhitungan Menggunakan Metode Monte Carlo

Pada perhitungan angka keamanan menggunakan metode Monte Carlo, parameter tanah berupa kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) merupakan variabel acak. Nilai rata-rata dan standar deviasi dari masing-masing variabel acak yaitu untuk sudut geser dalam (\emptyset) sebesar 20,47 dengan standar deviasi 5,59 sedangkan untuk nilai rata-rata dan standar deviasi dari kohesi (c) sebesar 31,94 dan 27,46. Nilai rata-rata dan standar deviasi digunakan untuk menghitung \emptyset dan c acak setelah ditentukan bilangan acak. Percobaan Monte Carlo dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan, sehingga ditentukan bilangan acak sebanyak sepuluh

Tabel 4.17
Bilangan Acak Sudut Geser Dalam (\emptyset)

No	U (Bil. Random)	\emptyset Random
1	0,541228797	21,0558697
2	0,235466117	16,4461335
3	0,260896252	16,8955283
4	0,319396859	17,8526994

5	0,338980678	18,1553926
6	0,594789245	21,8182152
7	0,478141773	20,1705479
8	0,600701176	21,9036464
9	0,623004146	22,2291425
10	0,56053646	21,3287078

Tabel 4.18
Bilangan Acak Kohesi (c)

No	U (Bil. Random)	c Random
1	0,541228797	34,78069753
2	0,235466117	12,13511828
3	0,260896252	14,34279441
4	0,319396859	19,04494953
5	0,338980678	20,53194604
6	0,594789245	38,52576085
7	0,478141773	30,43150607
8	0,600701176	38,94544615
9	0,623004146	40,54446355
10	0,56053646	36,12102935

Setelah menentukan bilangan acak dari variasi kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) selanjutnya menghitung angka keamanan menggunakan rumus

$$fs = \frac{\sum (cl + N \tan \varphi) \cos \alpha}{\sum N \sin \alpha}$$

Percobaan dilakukan berulang-ulang sebanyak sepuluh kali, sehingga didapatkan angka keamanan sebanyak sepuluh angka keamanan yang ditampilkan pada tabel di bawah ini

Tabel 4.19
Hasil Angka Keamanan Menggunakan Monte Carlo

No	Bil Random	\emptyset Random	c Random	fs
1	0,541228797	21,0558697	34,78069753	1,139879
2	0,235466117	16,4461335	12,13511828	0,596656
3	0,260896252	16,8955283	14,34279441	0,649358
4	0,319396859	17,8526994	19,04494953	0,761779
5	0,338980678	18,1553926	20,53194604	0,797381
6	0,594789245	21,8182152	38,52576085	1,230343
7	0,478141773	20,1705479	30,43150607	1,035064
8	0,600701176	21,9036464	38,94544615	1,240493
9	0,623004146	22,2291425	40,54446355	1,27919
10	0,56053646	21,3287078	36,12102935	1,172233

(Halaman ini sengaja dikosongkan)