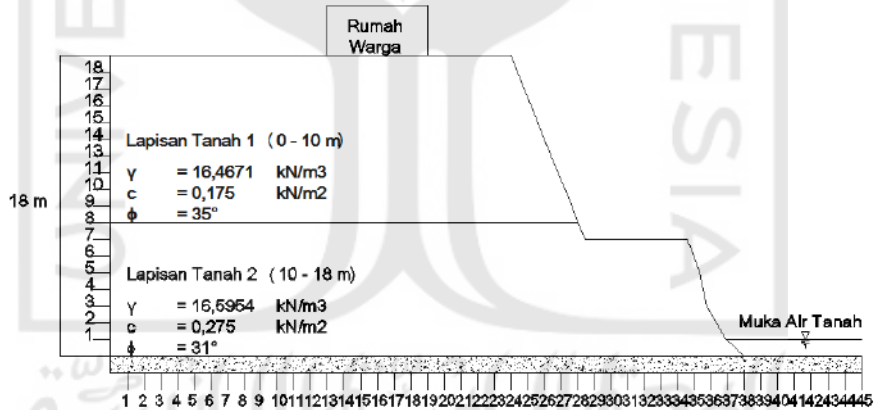


BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

Analisis kestabilan lereng tanpa perkuatan lereng dilakukan terhadap stabilitas kelongsoran lereng. Analisis yang digunakan menggunakan program *Geoslope* terlebih dahulu untuk mendapatkan bidang longsor yang akan ditinjau apakah sudah longsor atau belum, setelah itu akan dihitung kembali dengan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* dan Bishop yang disederhanakan untuk mengetahui besarnya nilai SF pada lereng asli. Perbandingan metode analisis ini digunakan untuk melihat perbedaan hasil perhitungan menggunakan program *Geoslope* dengan metode *Fellenius* dan Bishop yang disederhanakan. Contoh pemodelan yang akan digunakan dalam analisis ini terlihat seperti pada Gambar 5.1. berikut ini.



Gambar 5.1 Profil Potongan Melintang Lereng

5.2 Stabilitas Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dan Metode *Fellenius* dan Bishop yang Disederhanakan Pada Lereng Asli

Analisis lereng menggunakan program *Geoslope* dan manual metode *fellenius* dan Bishop yang disederhanakan adalah untuk mengetahui nilai SF (*safety factor*) yang dimiliki lereng tersebut akibat beban dari berat tanah sendiri dan beban dari luar (rumah

1 lantai) yang berada di atas lereng. Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng alami.

1. Data Parameter Tanah

Data parameter tanah yang digunakan pada penelitian kali ini adalah data sampel tanah asli di lokasi yang di uji di Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah data hasil laboratorium seperti pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data *Input* Material Lereng Asli

Lapisan Tanah (dari atas)	Properti Tanah			Parameter Geser	
	Model Tanah	Material Type	Berat Volume Isi Tanah (γ)	c	ϕ
			(kN/m ³)		
Lapis 1 (0 – 10) m	Mohr Coulomb	Undrained	16,4671	0,175	35
Lapis 2 (10 – 18) m	Mohr Coulomb	Undrained	16,5954	0,275	31

(Sumber: Hasil Uji Laboratorium Peneliti)

2. Data Beban Bangunan

Pada daerah lereng yang ditinjau terdapat bangunan rumah 1 lantai dengan asumsi berat total bangunan adalah jumlah beban akibat berat sendiri (Q_d) ditambahkan dengan beban hidup (Q_l) dengan combo yang digunakan menurut SNI 2847: 2013 Persyaratan kekuatan dan Kemampuan layan adalah $Q_{total} = 1 Q_d + 1 Q_l$. Beban tersebutlah yang akan dimasukkan ke dalam parameter program *geoslope* akibat pengaruh beban dari luar. Berikut perhitungan berat total bangunan akibat beban berat sendiri (beban mati) dan beban hidup pada rumah.

Lebar bangunan $10 \times 6 \text{ m}^2$ dengan luas keliling sepanjang 32 m. bagian atap diasumsi menggunakan pelat dak beton dengan ketebalan 15 cm, ukuran kolom $40 \times 40 \text{ cm}^2$, ukuran balok $20 \times 25 \text{ cm}^2$, ukuran sloof $15 \times 25 \text{ cm}^2$ dengan dinding yang

terpasang sebesar 90% dari sisi luar bangunan dan sisanya sebesar 10% sebagai jendela dan pintu.

Berikut perhitungan volume bangunan.

- a. Volume pondasi = (b x h) pondasi x panjang pondasi

$$= \left(\frac{0,3 + 0,7}{2} \right) \times 0,7 \times 32$$

$$= 11,2 \text{ m}^3$$
- b. Volume sloof = (b x h) sloof x keliling bangunan

$$= (0,15 \times 0,25) \times 32$$

$$= 1,2 \text{ m}^3$$
- c. Volume pelat lantai = tebal pelat x luas bangunan

$$= 0,15 \times (10 \times 6)$$

$$= 9 \text{ m}^3$$
- d. Volume kolom = (b x h) kolom x tinggi kolom x jumlah kolom

$$= (0,4 \times 0,4) \times 3 \times 6$$

$$= 2,88 \text{ m}^3$$
- e. Volume dinding = panjang keliling bangunan = 32 m

$$= \text{panjang keliling} - \text{lebar kolom}$$

$$= 32 - ((2 \times 0,4) + (0,2 \times 4)) = 30,4$$

$$= 30,4 \times \text{tebal dinding} \times \text{tinggi dinding}$$

$$= 30,4 \times 0,15 \times (3 - 0,25) = 12,54 \text{ m}^3$$

$$= \text{reduksi } 10\% \text{ akibat pintu dan jendela} = 11,286 \text{ m}^3$$
- f. Volume balok = (b x h) balok x keliling bangunan

$$= (0,2 \times 0,3) \times 32$$

$$= 1,92 \text{ m}^3$$
- g. Volume dak beton = tebal dak atap beton x luas bangunan

$$= 0,15 \times (10 \times 6)$$

$$= 9 \text{ m}^3$$

Selengkapnya untuk perhitungan beban bangunan dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Perhitungan Berat Bangunan Rumah 1 Lantai

No.	Volume (m ³)		Berat Jenis (kN/m ³)	Berat (kN)
1.	Fondasi	11,2000	22,00	246,4000
2.	Sloof	1,2000	23,5440	28,2528
3.	Pelat Lantai	9,0000	23,5440	211,8960
4.	Kolom	2,8800	23,5440	67,8067
5.	Dinding	11,2860	17,1680	193,7580
6.	Balok	1,9200	23,5440	45,2045
7.	Pelat Atap	9,0000	23,5440	211,8960
Total				1005,2140

Luas bangunan dengan lebar (B) 6 meter dan panjang (L) 10 meter memiliki jumlah total berat sendiri gedung adalah 1005,2140 kN. Maka berat per m² adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Berat bangunan akibat berat sendiri per m}^2 \text{ adalah } = \frac{\text{Berat}}{(\text{B} \times \text{L})} = \frac{1005,2140}{(6 \times 10)} = 16,7536$$

kN. Karena bangunan rumah 1 lantai, beban hidup berdasar Tabel 5.3 sebesar 200 kg/m² atau 1,9613 kN/m².

Agar perkuatan lebih aman, maka digunakan combo beban yaitu 1 Qd + 1 Ql sehingga total berat bangunan menjadi = (1 x 16,7536) + (1 x 1,9613) = 18,7149 kN/m².

Tabel 5.3 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

	Kategori Bangunan	Beban
a.	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m ²
b.	Lantai dan tangga rumah tinggal dan gudang-gudang tidak penting yang bukan took, pabrik atau bengkel	125 kg/m ²

Lanjutan Tabel 5.3 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

c.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, took, toserba, restoran, hotel asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
d.	Lantai ruang olahraga	400 kg/m ²
e.	Lantai ruang dansa	500 kg/m ²

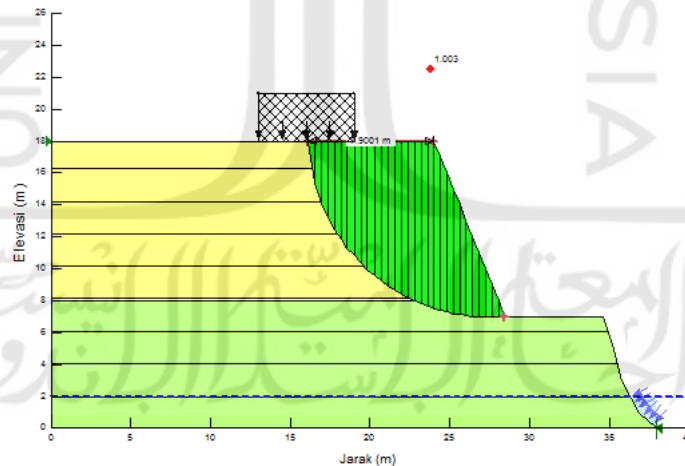
(sumber: SNI 03-2847-2-13 pasal 9.2)

5.2.1 Analisis Lereng Menggunakan Program Geoslope

Analisis lereng menggunakan program *geoslope* dihitung berdasarkan 2 metode, yaitu *fellenius* dan Bishop.

1. Perhitungan SF dengan Program *Geoslope/W* Metode *Fellenius*

Dari hasil perhitungan dengan program *geoslope/w* didapatkan bentuk bidang longsor pada lereng dengan kemiringan 68°, yang kemudian titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan titik *entry and exit* pada perhitungan selanjutnya. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode *Fellenius* pada lereng sebesar 1,003. Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode *fellenius* bisa dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

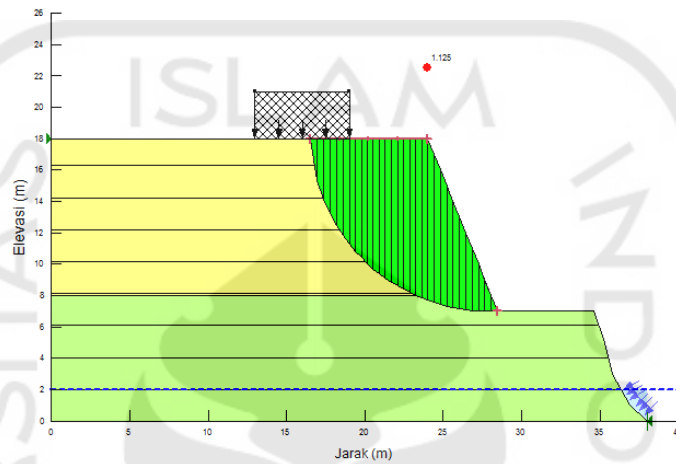


Gambar 5.2 Output *Geoslope/W* Metode *Fellenius* Tanpa Perkuatan

2. Perhitungan SF dengan Program *Geoslope/W* Metode Bishop

Dari hasil perhitungan dengan program *geoslope/w* didapatkan bentuk bidang longsor pada lereng dengan kemiringan 68°, yang kemudian titik koordinat dari

bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan titik *entry and exit* pada perhitungan selanjutnya. Angka keamanan terhadap kelongsoran metode Bishop yang disederhanakan pada lereng sebesar 1,196. Output hasil analisis dengan menggunakan program *geoslope* untuk metode Bishop bisa dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

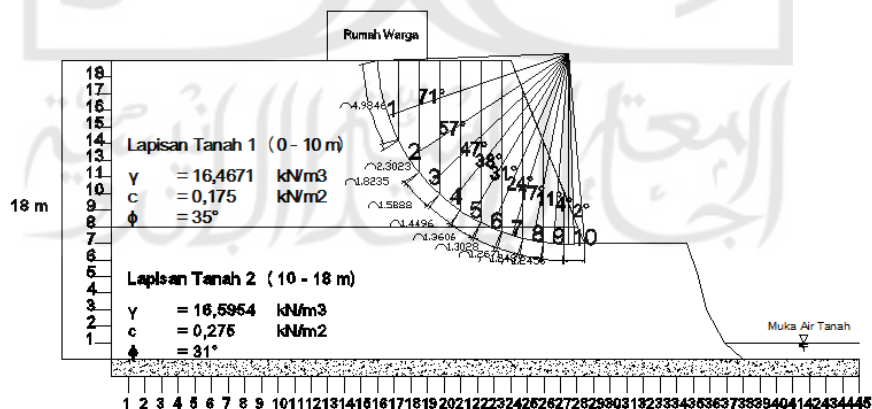


Gambar 5.3 Output *Geoslope/W* Metode Bishop Tanpa Perkuatan

5.2.2 Analisis Lereng Menggunakan Metode Manual

1. Perhitungan SF Manual dengan Metode *Fellenius*

Perhitungan yang digunakan dalam analisis ini yaitu seperti pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Hasil Analisis Lereng Metode *Fellenius* Tanpa Perkuatan

a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Untuk irisan yang terdapat beban bangunan di atasnya, maka berat irisan dapat diperhitungkan dengan rumus berikut.

$$W_i = (\gamma \times A_i) + (q \times L)$$

Dimana q merupakan besarnya beban bangunan dan L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Di bawah ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 10 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$\begin{aligned} W_1 = \gamma \times A_1 &= (16,4671 \times 3,8697) + (18,7149 \times 1,2444) = 87,0116 \text{ kN} \\ W_2 = \gamma \times A_2 &= (16,4671 \times 7,2470) + (18,7149 \times 1,2444) = 142,6259 \text{ kN} \\ W_3 = \gamma \times A_3 &= (16,4671 \times 9,2326) + (18,7149 \times 0,5122) = 161,6199 \text{ kN} \\ W_4 = \gamma \times A_4 &= (16,4671 \times 10,6588) = 175,5195 \text{ kN} \\ W_5 = \gamma \times A_5 &= (16,4671 \times 11,7266) = 193,1031 \text{ kN} \\ W_6 = \gamma \times A_6 &= (16,4671 \times 12,3936) + (16,5954 \times 0,1317) = 206,2723 \text{ kN} \\ W_7 = \gamma \times A_7 &= (16,4671 \times 11,8187) + (16,5954 \times 0,6585) = 205,5478 \text{ kN} \\ W_8 = \gamma \times A_8 &= (16,4671 \times 8,3383) + (16,5954 \times 1,0420) = 154,6000 \text{ kN} \\ W_9 = \gamma \times A_9 &= (16,4671 \times 4,5055) + (16,5954 \times 1,2473) = 94,8920 \text{ kN} \\ W_{10} = \gamma \times A_{10} &= (16,4671 \times 0,8745) + (16,5954 \times 1,0806) = 32,3335 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Radians

Sudut per pias didapatkan dengan bantuan program Autocad 2013.

$$\text{Rad1} = \theta \times \frac{\pi}{180} = 71^\circ \times \frac{22}{180} = 1,2386$$

c. Perhitungan sin α

$$\text{Sin } \alpha 1 = \text{Sin (Rad1)} = \sin (1,2386) = 0,9453$$

d. Perhitungan cos α

$$\text{Cos } \alpha 1 = \text{cos (Rad1)} = \cos (1,2386) = 0,3262$$

e. Perhitungan $W_t \times \sin \alpha$

$$W_t 1 = W_t \times \sin \alpha = 87,0116 \times \sin (0,9453) = 82,2532$$

f. Perhitungan $W_t \times \cos \alpha$

$$W_t 1 = W_t \times \cos \alpha = 87,0116 \times \cos (0,3263) = 28,3799$$

Perhitungan selengkapnya untuk manual *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Perhitungan Manual Metode *Fellenius*

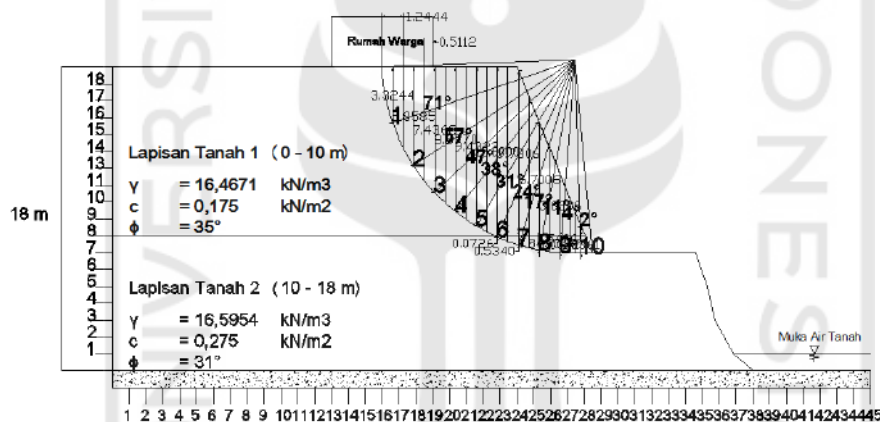
No	Panjang Irisan	Luas Irisan		Sudut Irisan	Γ		Radians	Sin	Cos	Berat Irisan	Wt x Sin	Wt x Cos
	(meter)	(m ²)		(derajat)	(kN/m ³)					(Wt)		
		Atas	Bawah		Atas	Bawah						
1.	4,9846	3,8697		71	16,4671	16,5954	1,2386	0,9453	0,3262	87,0116	82,2532	28,3799
2.	2,3023	7,2470		57			0,9943	0,8384	0,5451	142,6259	119,5769	77,7399
3.	1,8235	9,2326		47			0,8199	0,7311	0,6823	161,6199	118,1555	110,2737
4.	1,5888	10,6588		38			0,6629	0,6154	0,7882	175,5195	108,0141	138,3476
5.	1,4496	11,7266		31			0,5408	0,5148	0,8573	193,1031	99,4100	165,5489
6.	1,3606	12,3936	0,1317	24			0,4187	0,4065	0,9136	206,2723	83,8585	188,4569
7.	1,3028	11,8187	0,6585	17			0,2966	0,2922	0,9563	205,5478	60,0668	196,5754
8.	1,2671	8,3383	1,0420	11			0,1919	0,1907	0,9816	154,6000	29,4843	151,7625
9.	1,2487	4,5055	1,2473	4			0,0698	0,0697	0,9976	94,8920	6,6160	94,6610
10.	1,2456	0,8745	1,0806	2			0,0349	0,0349	0,9994	32,3335	1,1278	32,3138
	18,5736									708,5632	1184,0596	

Nilai faktor keamanan dari perhitungan tersebut di atas adalah:

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{\sum (c \times L + \tan \theta \times W \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha} \\
 &= \frac{(0,175 \times 18,5736 + 0,6494 \times 1184,0596)}{708,5632} \\
 &= 1,0898
 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode *fellenius* secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 1,0898. Hasil tersebut tidak berbeda jauh dengan hasil analisis metode *fellenius* dengan program *geoslope* yaitu sebesar 1,003.

2. Perhitungan SF Manual Dengan Metode Bishop yang Disederhanakan
Contoh perhitungan yang digunakan dalam analisis metode Bishop yang disederhanakan yaitu seperti pada Gambar 5.5. berikut ini.



Gambar 5.5 Hasil Analisis Lereng Metode Bishop Tanpa Perkuatan

Berikut perhitungan manual menggunakan metode irisan Bishop yang disederhanakan.

- a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

$$W_i = \gamma \times A_i$$

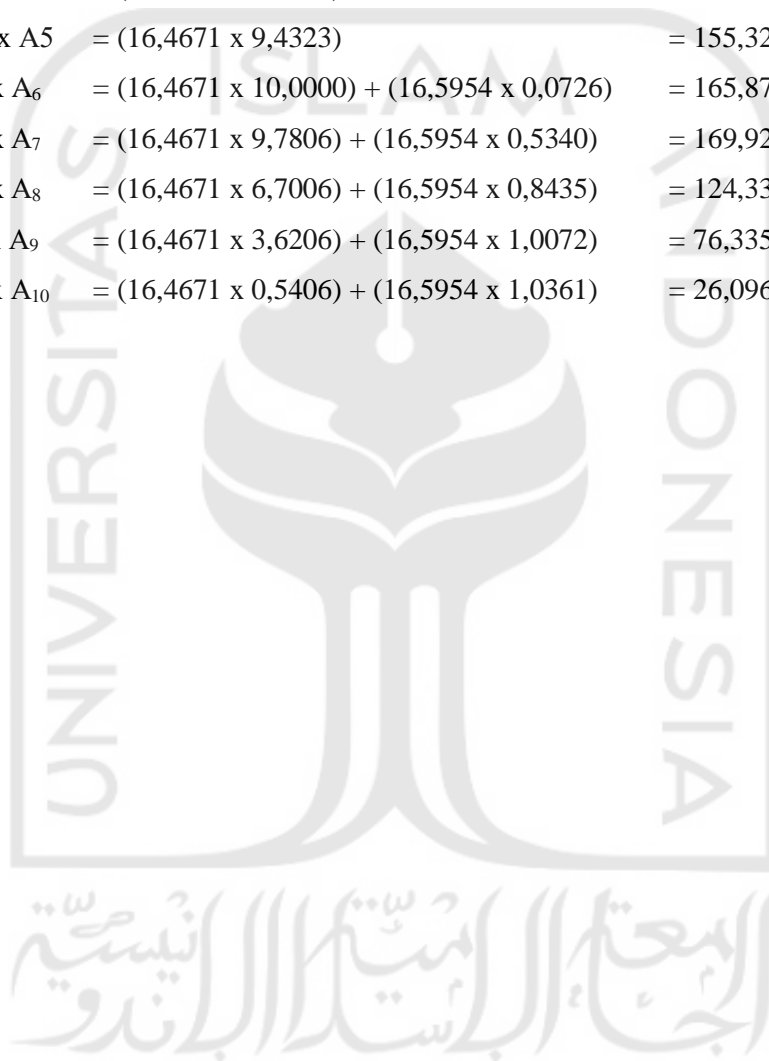
Untuk irisan yang terdapat beban bangunan di atasnya, maka berat irisan dapat diperhitungkan dengan rumus berikut.

$$W_i = (\gamma \times A_i) + (q \times L)$$

Dimana q merupakan besarnya beban bangunan dan L merupakan lebar irisan yang terkena beban (m).

Di bawah ini merupakan perhitungan berat irisan 1 sampai dengan 10 untuk lereng tanpa perkuatan.

$$\begin{aligned}
 W_1 &= \gamma \times A_1 = (16,4671 \times 3,3244) + (18,7149 \times 1,2444) = 78,0320 \text{ kN} \\
 W_2 &= \gamma \times A_2 = (16,4671 \times 5,8585) + (18,7149 \times 1,2444) = 119,7613 \text{ kN} \\
 W_3 &= \gamma \times A_3 = (16,4671 \times 7,4368) + (18,7149 \times 0,5112) = 132,0296 \text{ kN} \\
 W_4 &= \gamma \times A_4 = (16,4671 \times 8,5770) = 141,2383 \text{ kN} \\
 W_5 &= \gamma \times A_5 = (16,4671 \times 9,4323) = 155,3226 \text{ kN} \\
 W_6 &= \gamma \times A_6 = (16,4671 \times 10,0000) + (16,5954 \times 0,0726) = 165,8758 \text{ kN} \\
 W_7 &= \gamma \times A_7 = (16,4671 \times 9,7806) + (16,5954 \times 0,5340) = 169,9201 \text{ kN} \\
 W_8 &= \gamma \times A_8 = (16,4671 \times 6,7006) + (16,5954 \times 0,8435) = 124,3377 \text{ kN} \\
 W_9 &= \gamma \times A_9 = (16,4671 \times 3,6206) + (16,5954 \times 1,0072) = 76,3357 \text{ kN} \\
 W_{10} &= \gamma \times A_{10} = (16,4671 \times 0,5406) + (16,5954 \times 1,0361) = 26,0966 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Untuk perhitungan selengkapnya metode Bishop yang disederhanakan dapat dilihat pada Tabel 5.5 Berikut ini.

Tabel 5.5 Perhitungan Manual Metode Bishop Yang Disederhanakan.

No.	ϕ_i	W	Sin ϕ_i	W x sin ϕ_i	Hw	u = Hw x γ_w	B x u	Φ	(W-bu) x tan ϕ	c' x b	σ	Ma		F		SF	
												1,1	1.196	1,1	1.196	SF 1	SF 2
	($^\circ$)	(kN)		(kN)	(m)	(kN/m ²)	(kN)	($^\circ$)	(kN)	(kN)	(kN)						
1.	71	78,0320	0,9453	73,7934	0	0	0	0,7002	53,3846	0,2178	53,6024	0,9143	0,8670	58,6239	61.821 9	1,1680	1,1964
2.	57	119,7613	0,8384	100,4664	0	0	0	0,7002	81,9331	0,2178	82,1509	1,0670	1,0251	76,9918	80,1432		
3.	47	1132,0296	0,7311	96,5901	0	0	0	0,7002	90,3263	0,2178	90,5441	1,1376	1,1010	79,5924	82,2374		
4.	38	141,2383	0,6154	86,9847	0	0	0	0,7002	96,6263	0,2178	96,8441	1,1716	1,1408	82,6603	84,8922		
5.	31	155,3226	0,5148	80,0261	0	0	0	0,7002	106,2619	0,2178	106,4797	1,1781	1,1523	90,3835	92,4047		
6.	24	165,8758	0,4065	67,4933	0	0	0	0,6009	96,4112	0,5600	96,9712	1,1670	1,1467	83,0939	84,5686		
7.	17	169,9201	0,2922	49,6992	0	0	0	0,6009	98,7618	0,5600	99,3218	1,1385	1,1239	87,2380	88,3735		
8.	11	124,3377	0,1907	23,7342	0	0	0	0,6009	72,2682	0,5600	72,8282	1,1006	1,0910	66,1742	66,7533		
9.	4	76,3357	0,0697	5,3270	0	0	0	0,6009	44,3682	0,5600	44,9282	1,0410	1,0376	43,1568	43,3020		
10.	2	26,0966	0,0349	0,9111	0	0	0	0,6009	15,1680	0,5600	15,7280	1,0211	1,0194	15,4023	15,4287		
jumlah		1188,9497		585,0255										683,3173	699,9255	Tidak aman	Tidak aman

Penjelasan perhitungan tersebut di atas pada Tabel 5.4 adalah berikut ini.

- 1) Penentuan nilai SF menggunakan cara coba-coba dengan menggunakan SF sementara atau SF lama sampai SF menjadi konvergen yaitu $SF_1 = 1,1$ dan $SF_2 = 1,196$.

$$\begin{aligned} Mi_1 &= (1 + \tan \phi_i \times \tan \phi_i / F) \times \cos \phi_i \\ &= (1 + \tan(71) \times \tan(35) / (1,1)) \times \cos(71) \\ &= 0,9143 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mi_2 &= (1 + \tan \phi_i \times \tan \phi_i / F) \times \cos \phi_i \\ &= (1 + \tan(71) \times \tan(35) / (1,196)) \times \cos(71) \\ &= 0,8670 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \quad \sigma_1 &= (W_{tot} - bu) \tan \phi' + cb \\ &= (78,0320 - 0) \tan(35) + 0,2178 \\ &= 53,6024 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \quad F_1 &= \frac{\sigma_1}{Ma_1} \\ &= \frac{53,6024}{0,9143} \\ &= 58,6239 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{\sigma_1}{Ma_1} \\ &= \frac{53,6024}{0,8670} \\ &= 61,8219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \quad SF_1 &= \frac{\sum F_1}{\sum W_{tot} \times \sin \phi} \\ &= \frac{683,3173}{585,0255} \\ &= 1,0841 \end{aligned}$$

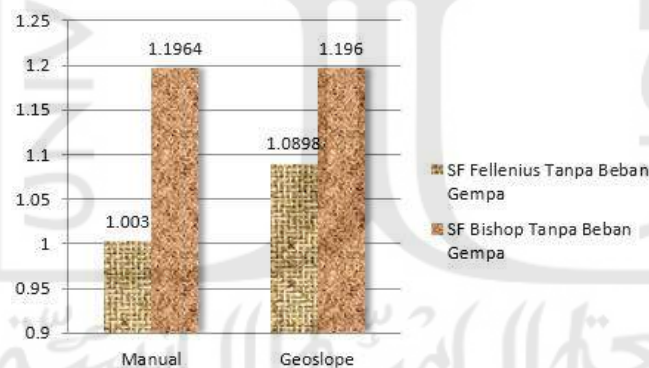
$$\begin{aligned} SF_2 &= \frac{\sum F_2}{\sum W_{tot} \times \sin \phi} \\ &= \frac{699,9255}{585,0255} \\ &= 1,1964 \end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang dihasilkan metode bishop yang disederhanakan secara perhitungan manual tanpa perkuatan yaitu sebesar 1,1964. Hasil tersebut sama dengan hasil analisis metode bishop yang disederhanakan dengan program *geoslope* yaitu sebesar 1,196.

Setelah dilakukan perhitungan baik manual maupun dengan program *geoslope* menggunakan metode *Fellenius* dan Bishop yang disederhanakan, maka dapat dibuat rekapitulasi perhitungan angka keamanan lereng alami seperti pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Angka Keamanan Lereng Alami

Metode	Manual		<i>Geoslope</i>	
	<i>Fellenius</i> tanpa beban gempa	Bishop tanpa beban gempa	<i>Fellenius</i> tanpa beban gempa	Bishop tanpa beban gempa
<i>Safety Factor</i>	1,0898	1,1964	1,003	1,196



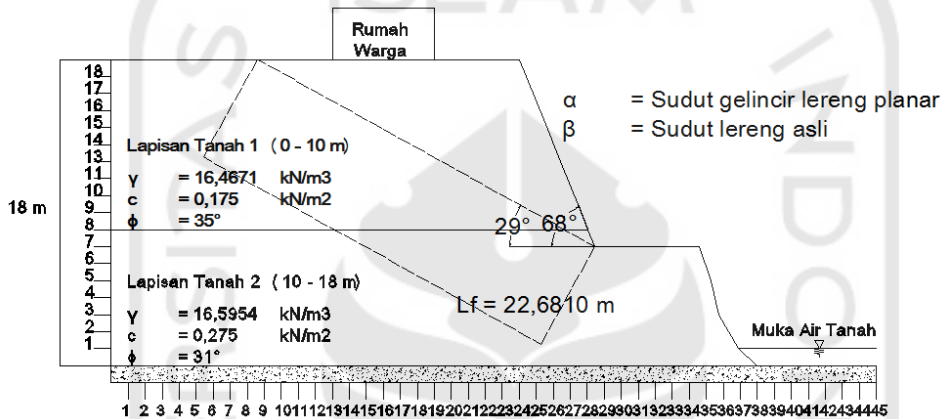
Gambar 5.6 Grafik Nilai SF Lereng Alami

5.3 Analisis Lereng Dengan Metode Perkuatan *Soil Nailing*

5.3.1 Analisis Perkuatan Lereng Menggunakan Metode Baji (*wedge*) dengan Sudut Pemasangan *Nail* 10°

Analisis kestabilan lereng dengan perkuatan lereng dilakukan pada stabilitas terhadap keruntuhan global lereng. Penentuan sudut keruntuhan (α) dilakukan dengan

cara coba-coba menggunakan bantuan dari *ms excel* maka didapatkan bentuk bidang gelincir kritis yang mungkin terjadi, titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan bentuk bidang longsor yang akan terjadi pada analisis stabilitas lereng dengan perkuatan. Adapun besarnya sudut keruntuhan (α) digunakan untuk setiap analisis keruntuhan lereng. Bentuk bidang longsor dengan cara coba-coba bisa dilihat pada Gambar 5.7 berikut perhitungan untuk menentukan besar sudut keruntuhan lereng (α).



Gambar 5.7 Bentuk Bidang Gelincir Longsor Planar

1. Analisis Keruntuhan Bidang Longsor

Kemiringan bidang longsor kritis dihitung dengan cara *trial and error* dan menghasilkan nilai sebesar $\alpha = 29^\circ$ untuk sudut kemiringan lereng (β) = 68° .

a. Menghitung berat tanah yang akan longsor per meter.

$$\begin{aligned} wt &= (\gamma_1 \times A_1) + (\gamma_2 \times A_2) \\ &= (16,4671 \times 64,0595) + (16,5954 \times 0,6981) \\ &= 1066,4594 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Q = 1120,1920 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} W &= wt + \text{berat bangunan (Q)} \\ &= 1231,1304 + 1120,1920 \\ &= 2186,6515 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$L_f = \frac{H}{\sin \alpha}$$

$$= \frac{11}{\sin(29)}$$

$$= 22,6810 \text{ m}$$

b. Cek terhadap gaya Tarik dan ijin geser

1) Daya dukung tarik tulangan

$$R_n = F_y \times A_s \text{ tulangan}$$

$$= 420 \times (0,25 \times \pi \times 43^2)$$

$$= 610,1700 \text{ kN}$$

$$R_c = 0,5 \times R_n$$

$$= 0,5 \times 610,1700$$

$$= 305,0850 \text{ kN}$$

2) Gaya geser ijin tulangan

$$V_n = \frac{R_n}{2\sqrt{1+4 \tan^2 (90 - (\alpha + i))}}$$

$$= \frac{610,1700}{2\sqrt{1+4 \tan^2 (90 - (29 + 10))}}$$

$$= 228,8505 \text{ kN}$$

3) Gaya tarik ijin tulangan

$$T = 4 \times V \times \tan (90 - (\alpha + i))$$

$$= 4 \times 228,8505 \times \tan (90 - (29 + 10))$$

$$= 1131,2557 \text{ kN}$$

4) Gaya geser ijin dari tanah

Dimana nilai c_1 , c_2 dan c_3 didapat dari grafik perbandingan antara hubungan nilai phi dengan c_1 , c_2 dan c_3 pada Gambar 3.19. Berikut adalah nilai C_1 , C_2 dan C_3 untuk tanah lapis 1 dan 2 seperti pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Nilai C Yang Didapatkan Dari Grafik Perbandingan Phi dan C

	Lapis 1	Lapis 2
C1	3,00	2,10
C2	3,45	2,80
C3	54	32

a) Menghitung nilai P_u

$$P_u = (c_1 \times H_1 + c_2 \times D) \times \gamma \times H_1$$

$$\begin{aligned} P_{u1} &= (c_1 \times H_1 + c_2 \times D) \times \gamma_1 \times H_1 \\ &= (3 \times 10 + 3,45 \times 0,043) \times 16,4671 \times 10 \\ &= 4964,5589 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u2} &= (c_1 \times H_2 + c_2 \times D) \times \gamma_2 \times H_2 \\ &= (2,10 \times 1 + 2,80 \times 0,043) \times 16,5954 \times 1 \\ &= 36,8484 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= P_{u1} + P_{u2} \\ &= 5001,4074 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_i = c_3 \times D \times \gamma \times Z$$

$$\begin{aligned} P_{i1} &= c_3 \times D \times \gamma \times Z \\ &= 54 \times 0,043 \times 16,4671 \times 10 \\ &= 382,3661 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{i2} &= c_3 \times D \times \gamma \times Z \\ &= 32 \times 0,043 \times 16,5954 \times 1 \\ &= 22,8353 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_i &= P_{i1} + P_{i2} \\ &= 405,2013 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diambil nilai P terkecil, maka digunakan $p_u = 405,2013 \text{ kN}$ untuk perhitungan selanjutnya.

$$\begin{aligned} P_p &= P_u / 2 \\ &= 405,2013 / 2 \\ &= 202,6007 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_o &= 4 \sqrt{\frac{4EI}{K_s D}} \text{ KsD} \\ &= 4 \sqrt{\frac{4 \times 2 \times 10^8 \times 1,9 \times 10^{-8}}{48000 \times 0,043}} \\ &= 0,5051 \text{ m} \end{aligned}$$

$$V_s = P_p \times \frac{D}{2} L_o$$

Tabel 5.8 Parameter *Nail*

No <i>nail</i>	L <i>Nail</i> (m)	Hi (m)	Le (m)
1	9	7,5	0,9110
2	9	6,5	1,9895
3	9	5,5	3,0681
4	9	4,5	4,1466
5	9	3,5	5,2251
6	9	2,5	6,3037
7	9	1,5	7,3822
8	9	0,5	8,4607

Pada perhitungan ini, nilai faktor keamanan didapatkan dengan cara coba-coba. Perhitungan coba-coba nilai SF dibantu dengan Ms Excel. Nilai coba-coba harus sama dengan nilai hasil perhitungan akhir. Analisis pada perhitungan ini digunakan asumsi SF sebesar 1,5410.

$$f_{\max} = 100 \text{ kN/m}^2 \text{ (didapat dari Tabel 3.10)}$$

$$T1 = \frac{\pi D Le f_{\max}}{SF}$$

$$T1 = \frac{\pi \times 0,043 \times 0,9110 \times 100}{1,5410}$$

$$= 7,9888 \text{ kN} < T_{\max} \text{ (Aman)}$$

Dengan perhitungan yang sama di atas maka penulis mencoba merangkup perhitungan *nail bar* 1-8 dalam Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Perhitungan Manual Le, T dan V

No. <i>Nail</i>	hi (m)	le (m)	T (kN)	V (kN)
1	7,50	0,9110	7,9888	2,2000
2	6,50	1,9895	17,4464	2,2000
3	5,50	3,0681	26,9049	2,2000
4	4,50	4,1466	36,3626	2,2000
5	3,50	5,2251	45,8202	2,2000
6	2,50	6,3037	55,2787	2,2000

Lanjutan Tabel 5.9 Perhitungan Manual Le, T dan V

7	1,50	7,3822	64,7363	2,2000
8	0,50	8,4607	74,1940	2,2000
Total			328,7319	17,6003

- 1) Gaya tarik ijin total dari *nail bar* (per unit panjang tegak lurus bidang)

$$\begin{aligned}\sum T_i &= \frac{T_1+T_2+\dots+T_n}{Sh} \\ &= \frac{7,9888 + 17,4464 + 26,9049 + 36,3626 + 45,8202 + 55,2787 + 64,7363 + 74,1940}{1} \\ &= 328,7319 \text{ kN}\end{aligned}$$

Dimana $Sh = 1$ meter adalah spasi horizontal (tegak lurus bidang)

- 2) Gaya geser ijin total dari *nail bar* (per unit panjang tegak lurus bidang)

$$\begin{aligned}\sum V_i &= \frac{V_1+V_2+\dots+V_n}{Sh} \\ &= \frac{2,2000 + 2,2000 + 2,2000 + 2,2000 + 2,2000 + 2,2000 + 2,2000 + 2,2000}{1} \\ &= 17,6003 \text{ kN}\end{aligned}$$

- 3) Menghitung Faktor Keamanan terhadap keruntuhan global

Nilai factor keamanan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned}FS &= \frac{c L_f + W \cos \alpha \tan \alpha + (\sum T_i \sin (\alpha + i) - \sum V_i \cos (\alpha + i) \tan \varphi}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos (\alpha + i) - \sum V_i \cos (\alpha + i)} \\ &= \frac{0,175 \times 22,6810 + 2186,6515 \cos 29 \tan 29 + (328,7319 \sin (29 + 10) - 17,6003 \cos (29 + 10) \tan 35}{2186,6515 \sin 28 - 328,7319 \cos (29 + 10) - 17,6003 \cos (29 + 10)} \\ &= 1,5411 > 1,3 \text{ maka Aman}\end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang didapatkan adalah sebesar 1,5411, karena nilai yang didapatkan sesuai asumsi awal maka asumsi dianggap benar. Nilai SF sebesar 1,5411 lebih besar daripada 1,25 sehingga dianggap aman.

2. Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Gaya Geser

a. Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif dan pengaruh kohesi.

$$\text{Sudut pemasangan nail } (i) = 10^\circ$$

$$\text{Sudut lereng } (\beta) = 68^\circ$$

$$L \text{ nail} = 9 \text{ meter}$$

$$T \text{ nail} = 0,5 \text{ meter}$$

$$H_1 = 11 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang kemiringan lereng} = \frac{11}{\sin(68)}$$

$$= 11,8616 \text{ meter}$$

$$X_i = \cos(\beta) \times \text{panjang kemiringan lereng}$$

$$= \cos(68) \times 11,8616$$

$$= 4,4382 \text{ meter}$$

$$\text{Beban bangunan } (Q) = 18,7149 \text{ kN/m}^2$$

$$K_{a1} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$= \tan^2\left(45 - \frac{35}{2}\right)$$

$$= 0,2712$$

$$K_{a2} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$= \tan^2\left(45 - \frac{31}{2}\right)$$

$$= 0,3204$$

1) Pengaruh adanya kohesi

$$\text{Lapis 1} = -2 \times c \sqrt{K_{a1}}$$

$$= -2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712}$$

$$= -0,1822 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lapis 2} = -2 \times c \sqrt{K_{a2}}$$

$$= -2 \times 0,275 \times \sqrt{0,3204}$$

$$= -0,3113 \text{ kN/m}^2$$

b. Menghitung Tekanan Tanah Aktif Total Di Belakang Zona Perkuatan Per Lapisan.

Akibat beban merata:

$$\begin{aligned} 1) P_{q1} &= (q \times K_{a1} \times H_1) - 2 \times c \sqrt{K_{a1}} \times H_1 \\ &= (18,7149 \times 0,2712 \times 10) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712} \times 10 \\ &= 48,8184 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) P_{q2} &= (q \times K_{a2} \times H_2) - 2 \times c \sqrt{K_{a2}} \times H_2 \\ &= (18,7149 \times 0,3113 \times 1) - 2 \times 0,275 \times \sqrt{0,3113} \times 1 \\ &= 3,4914 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_q \text{ total} &= 48,8184 + 3,4914 \\ &= 52,3098 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Akibat tekanan tanah sendiri.

$$\begin{aligned} 1) P_{a1} &= \frac{\gamma \times H_1^2}{2} \times K_{a1} \\ &= \frac{16,4761 \times 10^2}{2} \times 0,2712 \\ &= 223,3316 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) P_{a2} &= \gamma_1 \times H_1 \times H_2 \times K_{a2} + \frac{\gamma \times H_2^2}{2} \times K_{a2} \\ &= 16,4761 \times 10 \times 1 \times 0,3113 + \frac{16,5954 \times 12}{2} \times 0,3113 \\ &= 592,2497 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_a \text{ total} &= 223,3316 + 592,2497 \\ &= 815,5813 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

P_w = karena tinggi muka air diabaikan maka dianggap 0.

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_q + P_a + P_w \\ &= 52,3098 + 889,7299 + P_w \\ &= 867,8911 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Faktor Aman Terhadap Penggeseran

$$\begin{aligned} Lx &= L \text{ nail} \times \cos i - t \tan \alpha \\ &= 9 \times \cos (10) - 0,5 \tan (29) \\ &= 5,6314 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BL &= X1 + Lx \\ &= 4,4382 + 5,6314 \\ &= 10,0696 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$W = A_i \times \gamma$$

$$\begin{aligned} W &= (64,0595 \times 16,4671) + (0,6981 \times 16,5954) \\ &= 1066,4594 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Q = 18,7149 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} FS &= \frac{cb \times BL + (W + Q + Pa \sin \delta) \tan \varphi}{Pa \cos \delta} \\ &= \frac{0,175 \times 10,0696 + (1066,4594 + 18,7149 + 867,8911 \sin 35) \tan 35}{867,8911 \cos 35} \\ &= 1,6330 > 1,3 \text{ maka Aman.} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan angka keamanan penggeseran terhadap lereng yang telah diberi perkuatan sebesar 1,6330 ($SF > 1,3$), maka lereng tersebut aman terhadap bahaya penggeseran.

3. Analisis Stabilitas Internal Terhadap Putus dan Cabut Tulangan

Analisis stabilitas internal terhadap putus dan cabut tulangan dilakuka dengan bantuan aplikasi autocad 2013 untuk mengetahui nilai L_e (panjang *nail* di belakang bidang longsor) dan l_i (kedalaman ujung *nail* dari permukaan tanah). Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 5.9 Dan Tabel 5.10 berikut ini.

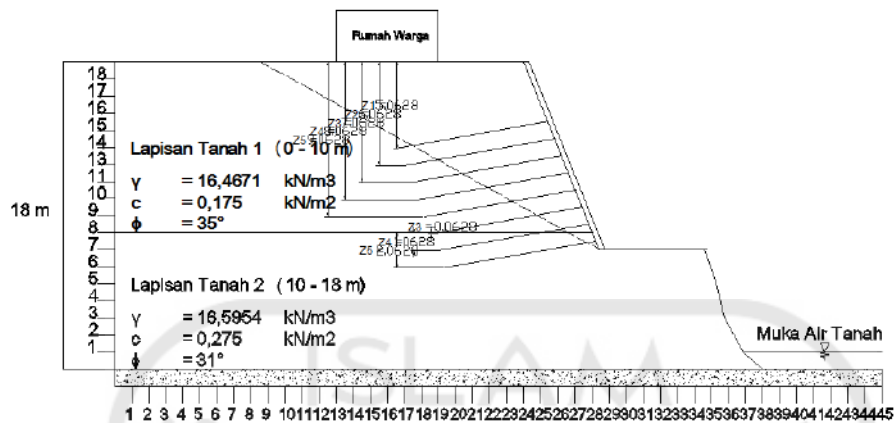
Pada perkuatan pertama *nail* ke – 1.

$$\text{Panjang } \textit{nail} = 9 \text{ meter}$$

$$\text{Jarak vertikal antar } \textit{nail} = 1 \text{ meter}$$

$$\textit{Ultimate bond strength} (q_u) = 100 \text{ kN/m}^2 \text{ (Tabel 3.10)}$$

$$\text{Diameter lubang bor (Ddh)} = 0.1 \text{ meter}$$



Gambar 5.9 Pemodelan Lereng Untuk Putus dan Cabut Tulangan

Tabel 5.10 Data-data Perhitungan Kuat Tarik dan Putus Tulangan

No. nail	Hi (m)	Le (m)	Li (m)
1	7,50	0,9110	5,0628
2	6,50	1,9895	6,0628
3	5,50	3,0681	7,0628
4	4,50	4,1466	8,0628
5	3,50	5,2251	9,0628
6	2,50	6,3037	0,0628
7	1,50	7,3822	1,0628
8	0,50	8,4607	2,0628

a. Menghitung Koefisien Tekanan Tanah Lateral Aktif

$$\begin{aligned}
 K_{a1} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\
 &= \tan^2 \left(45 - \frac{35}{2} \right) \\
 &= 0,2712
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_{a2} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \phi \\
 &= \tan^2 \left(45 - \frac{31}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 0,3204$$

b. Menghitung Tegangan Horizontal

$$\begin{aligned} 1) \sigma_{h1} &= ((q \times K_{a1}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a1}}) + (\gamma_1 \times z1 \times K_{a1}) \\ &= ((18,7149 \times 0,2712) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712} + (16,4671 \times 5,0628 \times \\ &0,2712) \\ &= 27,4955 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \sigma_{h2} &= ((q \times K_{a1}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a1}}) + (\gamma_1 \times z2 \times K_{a1}) \\ &= ((18,7149 \times 0,2712) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712} + (16,4671 \times 6,0628 \times \\ &0,2712) \\ &= 31,9621 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \sigma_{h3} &= ((q \times K_{a1}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a1}}) + (\gamma_1 \times z3 \times K_{a1}) \\ &= ((18,7149 \times 0,2712) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712} + (16,4671 \times 7,0628 \times \\ &0,2712) \\ &= 36,4288 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \sigma_{h4} &= ((q \times K_{a1}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a1}}) + (\gamma_1 \times z4 \times K_{a1}) \\ &= ((18,7149 \times 0,2712) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712} + (16,4671 \times 8,0628 \times \\ &0,2712) \\ &= 40,8954 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) \sigma_{h5} &= ((q \times K_{a1}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a1}}) + (\gamma_1 \times z5 \times K_{a1}) \\ &= ((18,7149 \times 0,2712) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712} + (16,4671 \times 9,0628 \times \\ &0,2712) \\ &= 45,3620 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6) \sigma_{h6} &= ((q \times K_{a2}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a2}}) + ((\gamma_1 \times H1 + \gamma_2 \times z6) \times K_{a2}) \\ &= ((18,7149 \times 0,3113) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,3113} + (16,4671 \times 10 + 16,5954 \\ &\times 0,0628) \times 0,3113) \\ &= 58,7666 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 7) \sigma_{h7} &= ((q \times K_{a2}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a2}}) + ((\gamma_1 \times H1 + \gamma_2 \times z7) \times K_{a2}) \\ &= ((18,7149 \times 0,3113) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,3113} + (16,4671 \times 10 + 16,5954 \\ &\times 1,0628) \times 0,3113) \end{aligned}$$

$$= 64,0839 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} 8) \sigma_{h8} &= ((q \times K_{a1}) - 2 \times c \times \sqrt{K_{a1}}) + (\gamma_1 \times z_8 \times K_{a1}) \\ &= ((18,7149 \times 0,2712) - 2 \times 0,175 \times \sqrt{0,2712} + (16,4671 \times 2,0628 \times \\ &0,2712)) \\ &= 69,4012 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan tiap *nail*

$$\begin{aligned} 1) Fr_1 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times f_y}{1000}\right)}{\sigma_{h1} \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{27,4955 \times 1 \times 1} \\ &= 22,1916 > 1,3 \text{ maka aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) Fr_2 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times f_y}{1000}\right)}{\sigma_{h2} \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{31,9621 \times 1 \times 1} \\ &= 19,0904 > 1,3 \text{ maka aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) Fr_3 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times f_y}{1000}\right)}{\sigma_{h3} \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{36,4288 \times 1 \times 1} \\ &= 16,7497 > 1,3 \text{ maka aman} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) Fr_4 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times f_y}{1000}\right)}{\sigma_{h4} \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{40,8954 \times 1 \times 1} \\ &= 14,9203 > 1,3 \text{ maka aman} \end{aligned}$$

$$5) Fr_5 = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times f_y}{1000}\right)}{\sigma_{h5} \times S_v \times S_h}$$

$$= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{45,3620 \times 1 \times 1}$$

$$= 13,4511 > 1,3 \text{ maka aman}$$

$$6) Fr_6 = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times fy}{1000}\right)}{\sigma h_6 \times Sv \times Sh}$$

$$= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{58,7666 \times 1 \times 1}$$

$$= 10,3829 > 1,3 \text{ maka aman}$$

$$7) Fr_7 = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times fy}{1000}\right)}{\sigma h_7 \times Sv \times Sh}$$

$$= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{64,0839 \times 1 \times 1}$$

$$= 9,5214 > 1,3 \text{ maka aman}$$

$$8) Fr_8 = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d_2 \times fy}{1000}\right)}{\sigma h_8 \times Sv \times Sh}$$

$$= \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 342 \times 420}{1000}\right)}{69,4012 \times 1 \times 1}$$

$$= 8,7919 > 1,3 \text{ maka aman}$$

d. Menghitung Angka Keamanan Terhadap Cabut Tulangan

$$1) Fp_1 = \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_1}{\sigma h_1 \times Sv \times Sh}$$

$$= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 0,9110}{27,4955 \times 1 \times 1}$$

$$= 1,8744 > 1,3 \text{ aman}$$

$$2) Fp_2 = \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_2}{\sigma h_2 \times Sv \times Sh}$$

$$= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 1,9895}{31,9621 \times 1 \times 1}$$

$$= 3,5213 > 1,3 \text{ aman}$$

$$\begin{aligned}
 3) F_{p_3} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_3}{\sigma h_3 \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 3,0681}{36,4288 \times 1 \times 1} \\
 &= 4,7646 > 1,3 \text{ aman}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) F_{p_4} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_4}{\sigma h_4 \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 4,1466}{40,8954 \times 1 \times 1} \\
 &= 5,7361 > 1,3 \text{ aman}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5) F_{p_5} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_5}{\sigma h_5 \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 5,2251}{45,3620 \times 1 \times 1} \\
 &= 6,5163 > 1,3 \text{ aman}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6) F_{p_6} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_6}{\sigma h_6 \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 6,3037}{58,7666 \times 1 \times 1} \\
 &= 6,0682 > 1,3 \text{ aman}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7) F_{p_7} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_7}{\sigma h_7 \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 7,3822}{64,0839 \times 1 \times 1} \\
 &= 6,5168 > 1,3 \text{ aman}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8) F_{p_8} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp_8}{\sigma h_8 \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 100 \times 0.1 \times 8,4607}{69,4012 \times 1 \times 1} \\
 &= 6,8966 > 1,3 \text{ aman}
 \end{aligned}$$

5.3.2 Rekapitulasi Perhitungan *Nail* 10°, 20° dan 30° Lereng Eksisting Terhadap Stabilitas Eksternal dan Internal

Dengan cara perhitungan yang sama seperti sudut pemasangan *nail* 10° tersebut di atas, maka dilakukan perhitungan lain dengan variasi sudut pemasangan 20° dan 30°, maka didapatkan rekapitulasi hasil perhitungan seperti pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.10 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Nilai SF Menggunakan Metode Baji (*Wedge*)

Sudut <i>Nail</i>	SF Terhadap Keruntuhan Global	SF Terhadap Geser
10	1,5411	1,6330
20	1,5988	1,6289
30	1,6072	1,6289

Sedangkan untuk hasil analisis stabilitas internal terhadap putus dan cabut tulangan dengan sudut kemiringan *nail* 10°, 20° dan 30° dapat dilihat pada Tabel 5.12, Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Stabilitas Internal Pada Lereng Kemiringan 10°

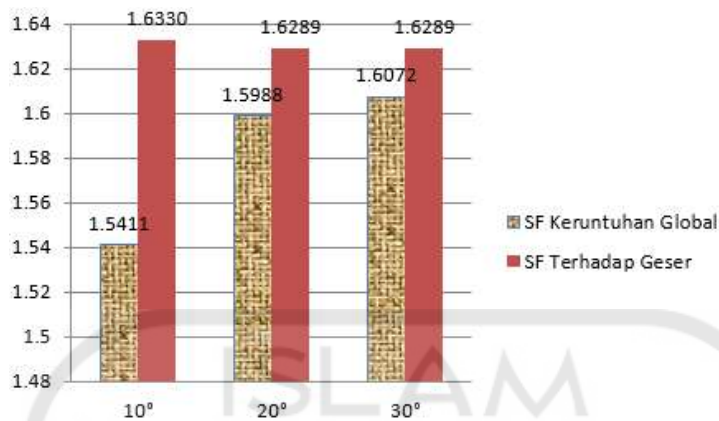
<i>Nail</i>	σ_h (kN/m ²)	Fr	Fp	Keterangan
1	27,4955	22,1916	1,8744	Aman
2	31,9621	19,0904	3,5213	Aman
3	36,4288	16,7497	4,7646	Aman
4	40,8954	14,9203	5,7361	Aman
5	45,3620	13,4511	6,5163	Aman
6	58,7666	10,3829	6,0682	Aman
7	64,0839	9,5214	6,5168	Aman
8	69,4012	8,7919	6,8966	Aman

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan Stabilitas Internal Pada Lereng Kemiringan 20°

<i>Nail</i>	σ_h (kN/m ²)	Fr	Fp	Keterangan
1	36,2406	16,8366	3,5200	Aman
2	40,7073	14,9892	4,3837	Aman
3	45,1739	13,5071	5,0765	Aman
4	49,6405	12,2918	5,6447	Aman
5	63,8417	9,5575	5,1859	Aman
6	69,1590	8,8227	5,5228	Aman
7	74,4764	8,1928	5,8117	Aman
8	79,7937	7,6468	6,0620	Aman

Tabel 5.14 Hasil Perhitungan Stabilitas Internal Pada Lereng Kemiringan 30°

<i>Nail</i>	σ_h (kN/m ²)	Fr	Fp	Keterangan
1	42,5908	14,3263	4,0660	Aman
2	47,0575	12,9665	4,6320	Aman
3	51,5241	11,8424	5,0999	Aman
4	66,0840	9,2332	4,6541	Aman
5	71,4014	8,5456	4,9349	Aman
6	76,7187	7,9533	5,1768	Aman
7	82,0360	7,4378	5,3872	Aman
8	87,3533	6,9851	5,5722	Aman

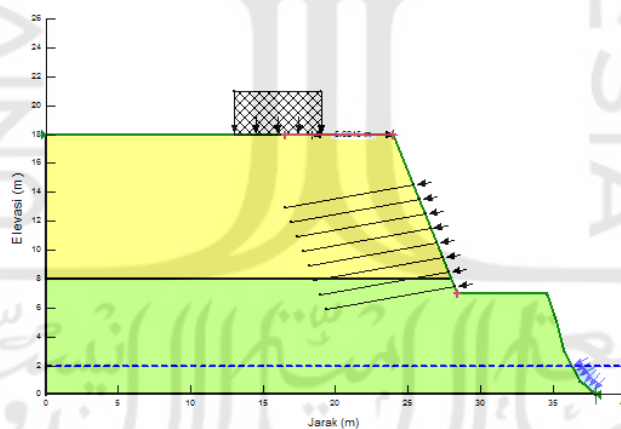


Gambar 5.10 Grafik Rekapitulasi Nilai SF Metode Baji (*Wedge*)

5.3.3 Analisis Menggunakan Program *Geoslope* dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Analisis menggunakan program *geoslope* adalah untuk membandingkan antara perhitungan hasil analisis *geoslope* dengan hasil perhitungan manual menggunakan metode baji (*wedge*).

Pemodelan lereng untuk analisis menggunakan program *geoslope* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Pemodelan Perkuatan Lereng Menggunakan *Geoslope*

1. Data Spesifikasi *Nail*

Data yang digunakan untuk analisis menggunakan program *geoslope* bisa dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Data *Input Material Nail*

<i>L nail</i> (m)	<i>Fy nail</i> (MPa)	E baja (MPa)	Diameter <i>Nail</i> (m)	Diameter Lubang bor untuk <i>nail</i> (m)	<i>T nail</i> (m)	Jarak antar <i>nail</i> (m)	<i>Ultimate Bond strength</i> (qu) (kN/m ²)
9	420	210 x 10 ⁶	0,0043	0.1	0.5	1	100

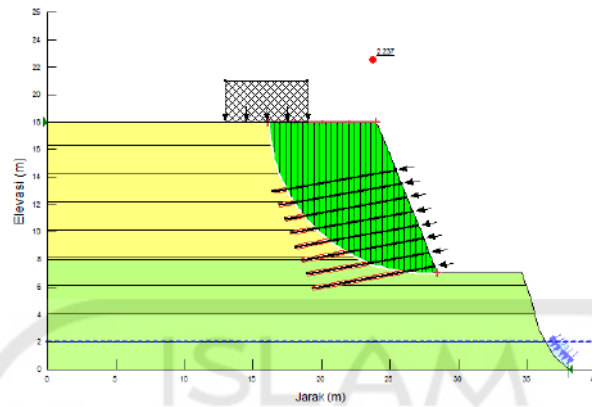
2. Data Teknis Dinding Penahan *Nail (non-structural)*

Dinding penahan *nail* dengan ketebalan 30 cm digunakan untuk menahan gaya dari *nail* yang terpasang pada lereng agar tidak dapat terlepas. Berikut spesifikasi dan data perencanaan dinding penahan *nail* sebagai berikut.

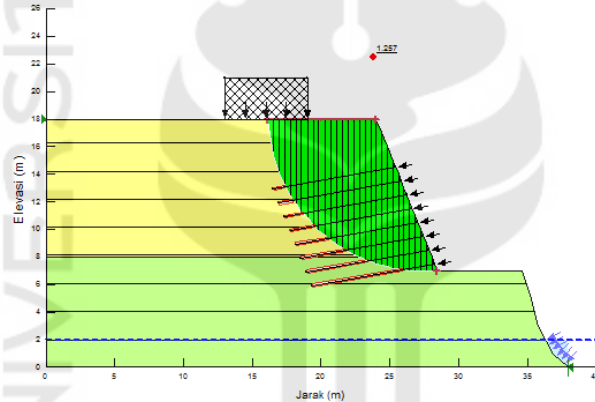
- a. Dinding penahan *nail* terbuat dari pasangan beton
- b. Tinggi yang terpasang 11 m dengan ketebalan 30 cm
- c. Mutu beton f'_c 30 MPa dengan $E = 4700 \times \sqrt{f'_c}$
- d. Berat volume beton γ_c 24 kN/m³

1. Analisis Menggunakan Program *Geoslope* dengan Perkuatan *Soil Nailing* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 10°

Hasil analisis menggunakan program *geoslope* pada lereng yang diperkuat *nail* dengan memperhitungkan beban berat sendiri (tanah) dan beban berat bangunan didapatkan SF sebesar 2,237 tanpa beban gempa, dan SF sebesar 1,257 dengan beban gempa seperti pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut ini.



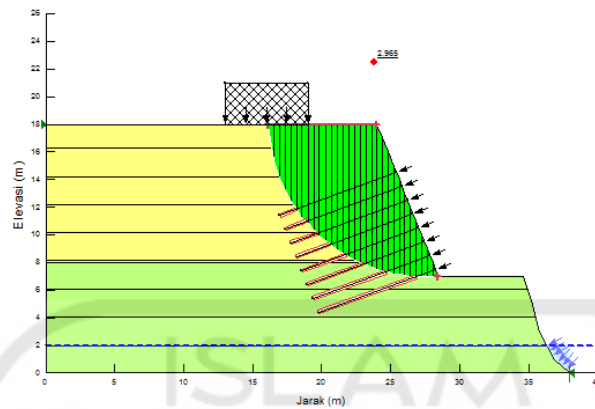
Gambar 5.12 Hasil Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 10° Tanpa Beban Gempa



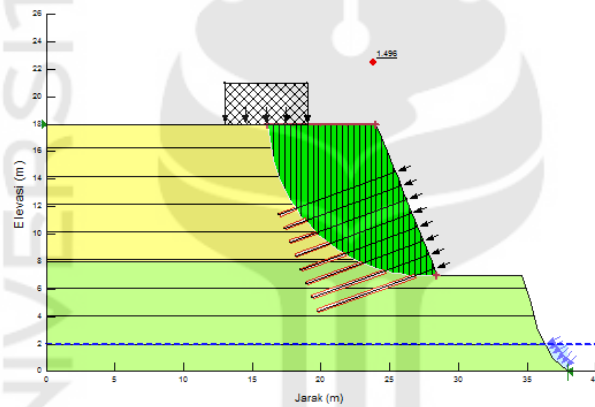
Gambar 5.13 Hasil Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 10° dengan Beban Gempa

2. Analisis Menggunakan Program *Geoslope* dengan Perkuatan *Soil Nailing* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 20°

Hasil analisis menggunakan program *geoslope* pada lereng yang diperkuat *nail* dengan memperhitungkan beban berat sendiri (tanah) dan beban berat bangunan didapatkan SF sebesar 2,965 tanpa beban gempa, dan SF sebesar 1,496 dengan beban gempa seperti pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 berikut ini.



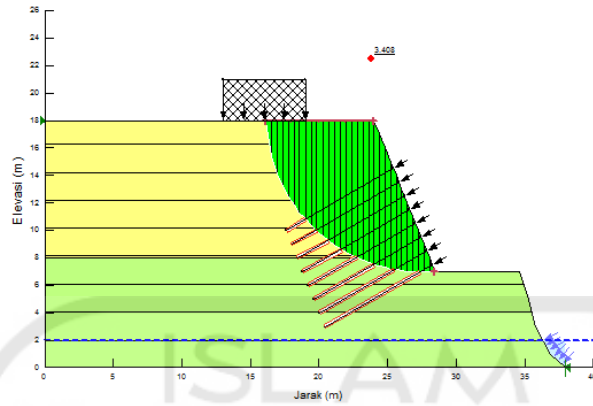
Gambar 5.14 Hasil Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 20° tanpa Beban Gempa



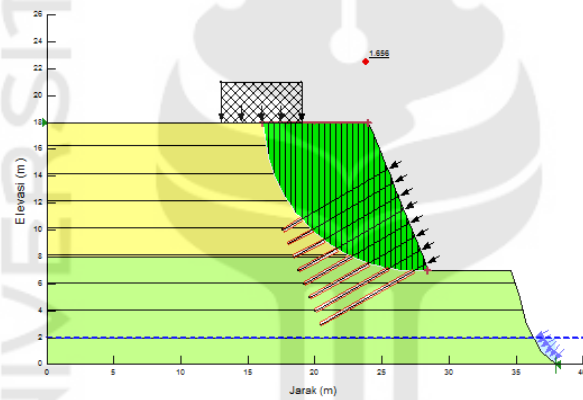
Gambar 5.15 Hasil Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 20° dengan Beban Gempa

3. Analisis Menggunakan Program *Geoslope* dengan Perkuatan *Soil Nailing* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 30°

Hasil analisis menggunakan program *geoslope* pada lereng yang diperkuat *nail* dengan memperhitungkan beban berat sendiri (tanah) dan beban berat bangunan didapatkan SF sebesar 3,408 tanpa beban gempa, dan SF sebesar 1,656 dengan beban gempa seperti pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5.16 Hasil Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 30° tanpa Beban Gempa

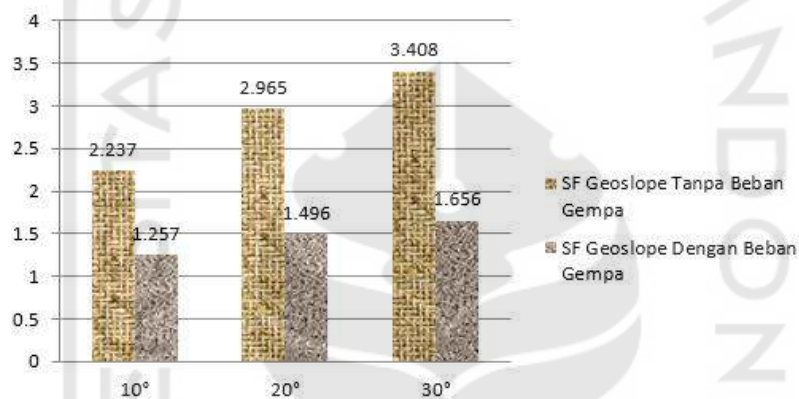


Gambar 5.17 Hasil Analisis Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Sudut Pemasangan *Nail* 30° dengan Beban Gempa

Untuk lebih jelasnya, rekapitulasi hasil analisis *geoslope* perkuatan *soil nailing* tanpa atau dengan beban gempa bisa dilihat pada Tabel 5.16 dan Gambar 5.18 berikut ini.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Analisis Perkuatan Lereng *Geoslope*

Sudut Pemasangan Nail (°)	Panjang Nail (m)	SF Tanpa Beban Gempa	SF Dengan Beban Gempa
10	9	2,237	1,257
20	9	2,965	1,496
30	9	3,408	1,656

**Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Nilai SF *Geoslope* Tanpa dan Dengan Beban Gempa**

5.3.4 Hasil Analisis dan Pembahasan

Analisis perhitungan SF terhadap lereng pada Sungai Code daerah Gemawang, Sinduadi, Mlati, Sleman Yogyakarta yang telah longsor menggunakan dua cara perhitungan yaitu manual dan analisis dengan program *geoslope*. Adapun kedua perhitungan dilakukan karena ingin membandingkan hasil antara perhitungan manual dan analisis menggunakan program *geoslope*. Perhitungan lereng asli manual menggunakan metode *fellenius* dan Bishop yang disederhanakan dengan program *geoslope*. Perhitungan metode manual *fellenius* didapatkan SF sebesar $1,0898 < 1,3$ (tidak aman), untuk analisis dengan program *geoslope* didapatkan SF sebesar $1,003 < 1,3$ (tidak aman). Dan untuk perhitungan metode manual Bishop yang disederhanakan didapatkan SF sebesar $1,1964 < 1,3$ (tidak aman), untuk analisis dengan program *geoslope* didapatkan SF sebesar $1,196 < 1,3$ (tidak aman). Karena nilai SF dari

perhitungan tersebut di atas $< 1,3$ (tidak aman), maka perlu adanya perkuatan pada kondisi lereng asli menggunakan metode *soil nailing*.

Lereng perkuatan dengan metode *soil nailing* menggunakan variasi sudut pemasangan *nail* diantaranya adalah 10° , 20° dan 30° , dengan panjang *nail* 9 meter dan jarak antar *nail* vertical maupun horizontal adalah 1 meter. Lereng perkuatan dianalisis menggunakan metode Baji (*wedge*) dan analisis dengan program *geoslope*. Hasil analisis lereng perkuatan menggunakan metode Baji (*wedge*) untuk sudut 10° menghasilkan SF sebesar $1,5411 > 1,3$ (aman) dan analisis dengan program *geoslope* menghasilkan nilai SF sebesar 2,237 tanpa beban gempa dan SF sebesar 1,257 dengan beban gempa. Untuk hasil analisis lereng perkuatan menggunakan metode Baji (*wedge*) sudut 20° menghasilkan SF sebesar $1,5988 > 1,3$ (aman) dan analisis dengan program *geoslope* menghasilkan nilai SF sebesar 2,965 tanpa beban gempa dan SF sebesar 1,496 dengan beban gempa. Sedangkan hasil analisis lereng perkuatan menggunakan metode Baji (*wedge*) sudut 20° menghasilkan SF sebesar $1,6072 > 1,3$ (aman) dan analisis dengan program *geoslope* menghasilkan nilai SF sebesar 3,408 tanpa beban gempa dan SF sebesar 1,656 dengan beban gempa. Terdapat perbedaan hasil nilai SF dari kedua metode tersebut, penyebab dari perbedaan nilai SF ini ada dua, diantaranya karena pada perhitungan manual menggunakan metode Baji (*wedge*) memperhitungkan bidang gelincir lereng berbentuk planar dan program analisis *geoslope* menganalisis lereng dengan bidang gelincir berbentuk lingkaran, sehingga penentuan bidang gelincir yang berbeda akan berpengaruh terhadap panjang *nail* yang terpasang pada lereng perkuatan. Penentuan bidang longsor planar menggunakan cara coba-coba dengan memperhitungkan nilai SF yang dihasilkan $1,2656 > 1,25$, sehingga SF pada lereng tersebut dikatakan aman dengan sudut planar kelongsoran 29° . dan yang kedua adalah pengaruh dari pemasangan dinding *non-structural* yang dimodelkan pada *geoslope* untuk menahan ujung *nail* sehingga tidak terlepas ketika ada tekanan dari tanah sekitar dan akibat beban berlebih dari luar.

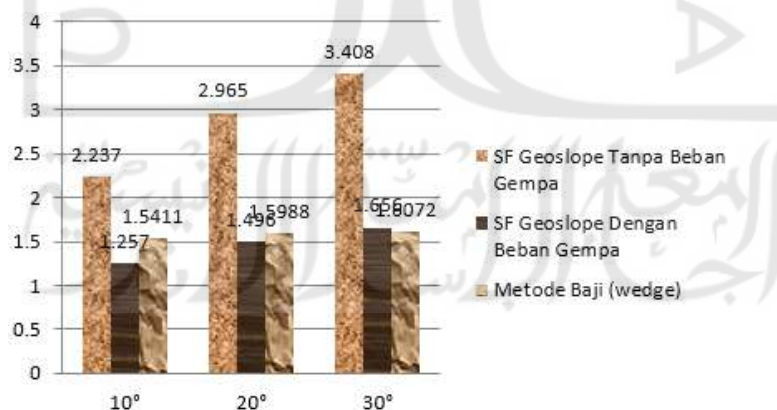
Hasil analisis dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan metode baji (*wedge*) dengan sudut kemiringan *nail* 10° untuk stabilitas eksternal terhadap gaya geser didapatkan SF sebesar $1,6330 > 1,3$ (aman). Analisis dengan perkuatan *soil nailing*

menggunakan metode baji (*wedge*) dengan sudut kemiringan *nail* 20° untuk stabilitas eksternal terhadap gaya geser didapatkan SF sebesar $1,6289 > 1,3$ (aman). Analisis dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan metode baji (*wedge*) dengan sudut kemiringan *nail* 30° untuk stabilitas eksternal terhadap gaya geser didapatkan SF sebesar $1,6289 > 1,3$ (aman). Dan hasil analisis stabilitas internal untuk putus dan cabut tulangan sudut kemiringan *nail* 10° , 20° dan 30° didapatkan SF lebih besar dari 1,25 sehingga *nail* aman terhadap stabilitas internal.

Rekapitulasi nilai SF pada lereng alami dan perkuatan menggunakan *soil nailing* bisa dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Nilai SF Lereng

Sudut Pemasangan <i>Nail</i> (derajat)	Panjang <i>Nail</i> (meter)	SF (<i>safety factor</i>)		
		<i>Geoslope</i> tanpa Beban Gempa	<i>Geoslope</i> dengan Beban Gempa	Baji (<i>Wedge</i>)
10	9	2,237	1,257	1,5411
20	9	2,965	1,496	1,5988
30	9	3,408	1,656	1,6072



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Nilai SF *Geoslope* Tanpa dan Dengan Beban Gempa dan Metode Baji (*wedge*)