

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Data Tanah dan Model Lereng

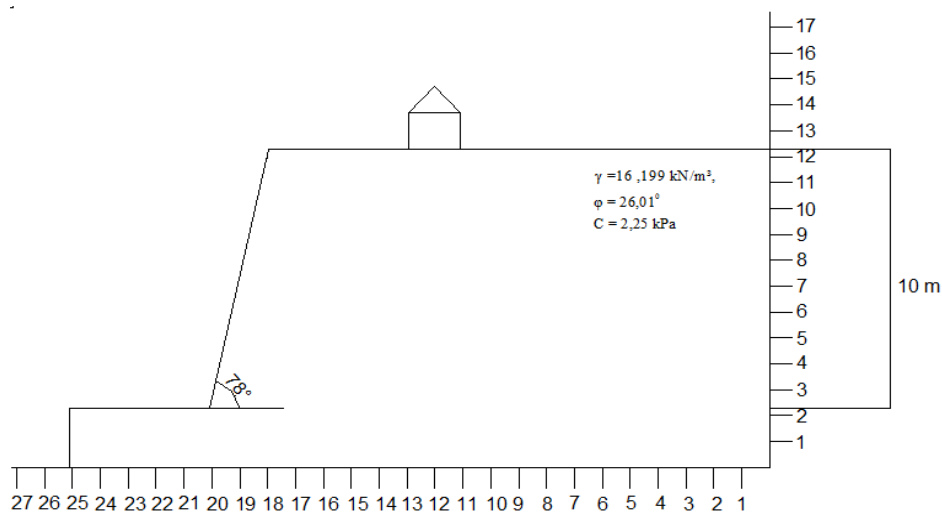
Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah data indeks properties. Data tersebut diperoleh dari uji langsung yang dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil UII. Ada beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain uji kadar air, uji berat jenis tanah, dan uji berat volume serta uji triaksial. Pengujian-pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data hasil pengujian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$\gamma = 16,199 \text{ kN/m}^3,$$

$$\varphi = 26,01^\circ, \text{ dan}$$

$$C = 2,25 \text{ kPa}$$

Lereng eksisting yang dianalisis diketahui memiliki tinggi 10 meter dengan sudut kemiringan 78° serta berdiri sebuah bangunan pada jarak 4 meter dari ujung lereng, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.1 dibawah ini.



Gambar 5.1 Model Lereng Eksisting

5.2 Analisis Berat Bangunan Pada Bagian Atas Lereng

Lereng yang ditinjau adalah sebuah lereng yang berada di dekat pemukiman masyarakat, sehingga terdapat bangunan yang berada diatas lereng tersebut. Bangunan yang terdapat diatas lereng harus dihitung untuk mengetahui pengaruhnya terhadap lereng, dengan asumsi berat total bangunan adalah jumlah beban akibat berat sendiri (Q_d) ditambah dengan beban hidup (Q_l). Kombinasi yang digunakan mengikuti SNI2847:2013 tentang Persyaratan Kekuatan dan Kemampuan Layan dengan $Q_{total} = 1,2Q_d + 1,6Q_l$. Bangunan memiliki lebar 6 x 8, dengan luas keliling 32 m, bagian atap adalah pelat dek beton dengan ketebalan 15 cm, ukuran kolom 0,4 x 0,3, ukuran balok 0,4 x 0,2, ukuran sloof 0,25 x 0,15 m, dan dinding yang terpasang dianggap 95% sedangkan 5% dianggap jendela dan pintu. Perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Volume pondasi = A pondasi x panjang pondasi

$$= (0,7 \times 0,3) \times 32$$

$$= 11,2\text{m}^3$$
2. Volume sloof = A sloof x keliling bangunan

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

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

$$= 0,15 \times (8 \times 6)$$

$$= 7,2\text{m}^3$$
4. Volume kolom = A kolom x tinggi kolom x jumlah kolom

$$= (0,3 \times 0,4) \times 3,0 \times 7$$

$$= 2,52\text{m}^3$$
5. Volume dinding = keliling bangunan – lebar kolom x tebal x tinggi

$$= (32 - (0,2 \times 7)) \times 0,15 \times 3$$

$$= 13,77 \text{ m}^3$$

= reduksi 10% akibat pintu dan jendela

$$= 12,93 \text{ m}^3$$

6. Volume balok = A balok x keliling bangunan

$$= (0,30 \times 0,20) \times 34$$

$$= 2,56 \text{ m}^3$$

7. Volume dak = tebal dak atap beton x luas bangunan

$$= 0,15 \times (6 \times 8)$$

$$= 7,2 \text{ m}^3$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Perhitungan Beban Di Atas Lereng

No	Volume (m3)	Berat jenis (kN/m ³)	Berat (kN)	
1	Fondasi	11,2	22	246,4
2	Sloof	1,2	24	28,8
3	pelat lantai	7,2	24	172,8
4	Kolom	2,52	24	60,48
5	Dinding	12,393	18	223,074
6	Balok	2,56	24	61,44
7	Pelat Atap	7,2	24	172,8
	Total			965,794

Berat bangunan akibat beban sendiri per meter² adalah berat total 965,794 kN dibagi luas bangunan 46 meter², maka didapatkan 20,121 kN/m², dikarenakan bangunan adalah bangunan rumah tinggal maka Q1 adalah 200 kg/m²

$$Q_{\text{total}} = 1,2 Q_d + 1,6 Q_1$$

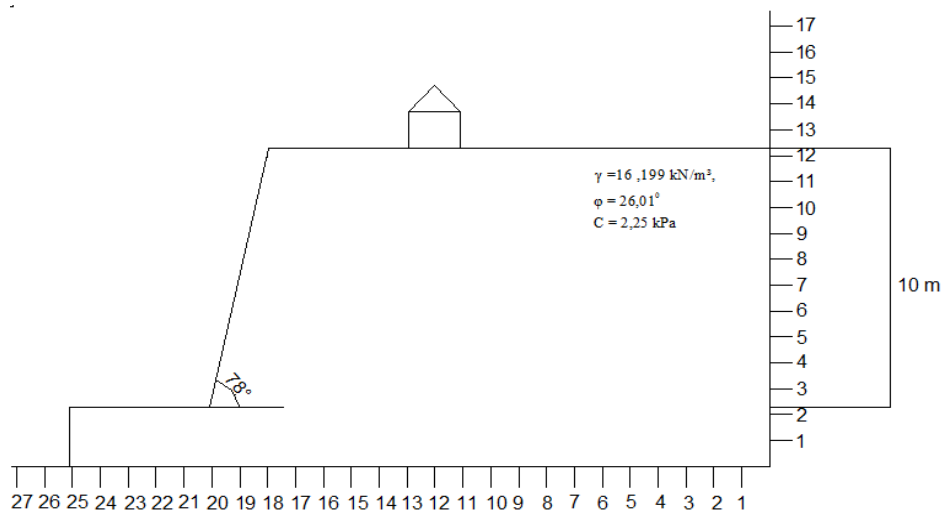
$$= (1,2 \times 20,121) + (1,6 \times 200)$$

$$= 27,282 \text{ kN/m}^2$$

5.3 Analisis Manual Lereng Eksisting

5.3.1 Analisis Manual Lereng Eksisting Tanpa Perkuatan dengan Metode *Bishop*

Analisis stabilitas lereng manual tanpa perkuatan dilakukan dengan menggunakan metode irisan *bishop*. Lereng memiliki ketinggian 10 meter dengan 1 lapis lereng dengan data tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2. Model lereng eksisting dapat dilihat pada Gambar 5.2 dibawah ini.

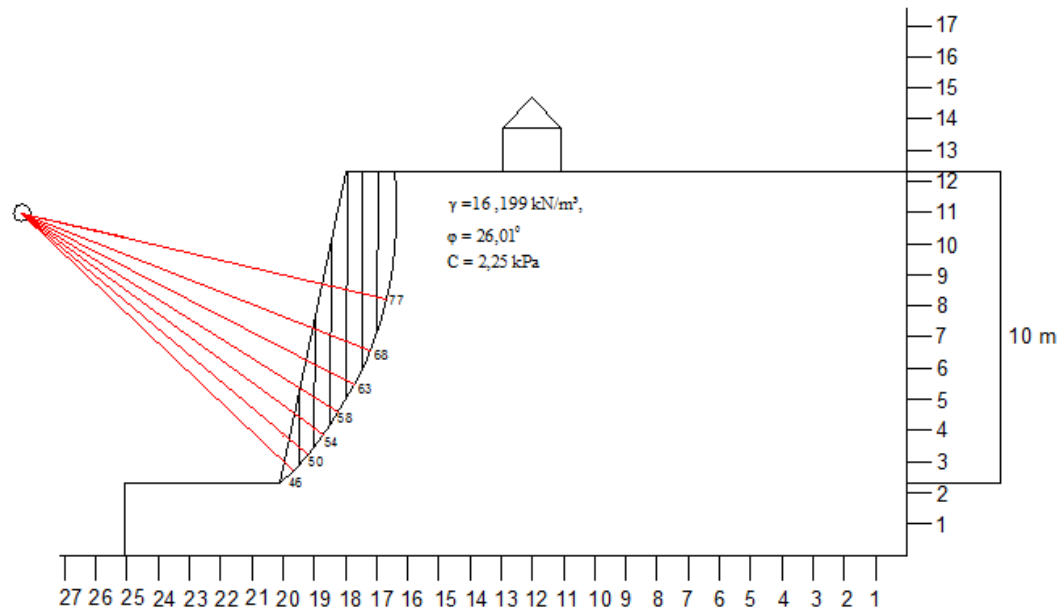


Gambar 5.2 Model lereng Eksisting

Metode *bishop* dilakukan dengan membagi lereng per tiap pias untuk menghitung berat tanah lereng tersebut. Pemodelan lereng dilakukan dengan menggunakan aplikasi autocad 2015. Metode *bishop* yang digunakan menggunakan jari-jari lingkaran $R=12$ m, dengan sudut kemiringan 78^0 . Penentuan besar dan pembagian pias-pias dilakukan dengan asumsi sendiri, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.3. Data tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.2, sedangkan untuk data pembagian pias dapat dilihat pada Tabel 5.3. Jenis tanah yang ada pada lereng homogen, sehingga hanya memiliki satu jenis lapisan tanah.

Tabel 5.2 Data Tanah Pada Lereng

No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m^3)	Parameter Geser	
			ϕ (0)	c (kN/m^2)
1	Lanau Berpasir	16,199	26,01	2,25



Gambar 5.3 Pembagian Pias pada Lereng (Metode *Bishop*)

Tabel 5.3 Data Pias Pada Lereng Asli

No irisan	A (m ²)	B (m)	φ (o)
1	2,190	0,5	46
2	2,830	0,5	50
3	3,460	0,5	54
4	3,250	0,5	58
5	2,530	0,5	63
6	5,295	0,5	68
7	0,740	0,5	77

Berikut adalah perhitungan manual menggunakan metode *bishop* yang disederhanakan.

Perhitungan berat irisan tanah

$$\begin{aligned}
 W_1 &= \gamma \times A_1 \\
 &= 16,199 \times 2,190 \\
 &= 35,476 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \gamma \times A_2 \\
 &= 16,199 \times 2,830 \\
 &= 45,843 \text{ Kn} \\
 W_3 &= \gamma \times A_3 \\
 &= 16,199 \times 3,460 \\
 &= 56,049 \text{ kN} \\
 W_4 &= \gamma \times A_4 \\
 &= 16,199 \times 3,250 \\
 &= 52,647 \text{ kN} \\
 W_5 &= \gamma \times A_5 \\
 &= 16,199 \times 2,530 \\
 &= 40,983 \text{ kN} \\
 W_6 &= \gamma \times A_6 \\
 &= 16,199 \times 5,295 \\
 &= 85,774 \text{ kN} \\
 W_7 &= \gamma \times A_7 \\
 &= 16,199 \times 0,740 \\
 &= 11,987 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya hanya dilakukan pada pias 1 dan untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.4, sedangkan untuk menentukan nilai SF digunakan cara-cara coba-coba dengan menentukan nilai F1 sehingga didapatkan hasil yang sama dengan nilai SF1. Pada analisis didapatkan nilai SF yang konvergen adalah $SF1 = 0,376$

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= (W_{tot} - b \cdot u) \operatorname{tg} \phi' + c' \cdot b \\
 &= (35,476 - 0) \times \operatorname{tg} (26,01) + 2,25 \\
 &= 18,435 \text{ kN} \\
 M_{i1} &= (1 + \tan \phi_i \times \tan \phi_i / F) \times \cos \phi_i \\
 &= (1 + \tan (46) \times \tan (26,01) / 0,376) \times \cos (46) \\
 &= 1,626 \text{ kN} \\
 F_1 &= \frac{\sigma_1}{M_{a1}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{18,345}{1,626} \\ &= 11,340 \\ SF_1 &= \frac{\Sigma F_1}{\Sigma W_{tot} \times \sin \phi} \\ &= \frac{104,737}{278,3535} \\ &= 0,377 < 1,25 \text{ Tidak Aman} \end{aligned}$$

Hasil analisis lengkap dari metode *bishop* yang telah disederhanakan dapat dilihat pada Tabel 5.4 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Lereng Eksisting dengan Metode *Bishop*

no irisan	A	b	ϕ_i (o)	W (kN)	Sin ϕ_1	W x sin ϕ_i (kN)	ϕ	(W-bu) Kn	(W-bu) x tan ϕ (kN)	c' x b (kN)	σ (kN) = 14+15	M1	F1	SF1
1	2,190	0,5	46	35,476	0,719	25,519	26,01	35,476	17,310	1,125	18,435	1,626	11,340	0,3762
2	2,830	0,5	50	45,843	0,766	35,118	26,01	45,843	22,369	1,125	23,494	1,634	14,376	
3	3,460	0,5	54	56,049	0,809	45,344	26,01	56,049	27,349	1,125	28,474	1,635	17,416	
4	3,250	0,5	58	52,647	0,848	44,647	26,01	52,647	25,689	1,125	26,814	1,628	16,475	
5	2,530	0,5	63	40,983	0,891	36,517	26,01	40,983	19,998	1,125	21,123	1,607	13,143	
6	5,295	0,5	68	85,774	0,927	79,528	26,01	85,774	41,853	1,125	42,978	1,575	27,294	
7	0,740	0,5	77	11,987	0,974	11,680	26,01	11,987	5,849	1,125	6,974	1,486	4,693	
				328,7594		278,3535							104,737	

Nilai SF yang dianjurkan minimal 1,25, karena lereng tidak memenuhi standar yang ada maka perlu dilakukan perkuatan lereng.

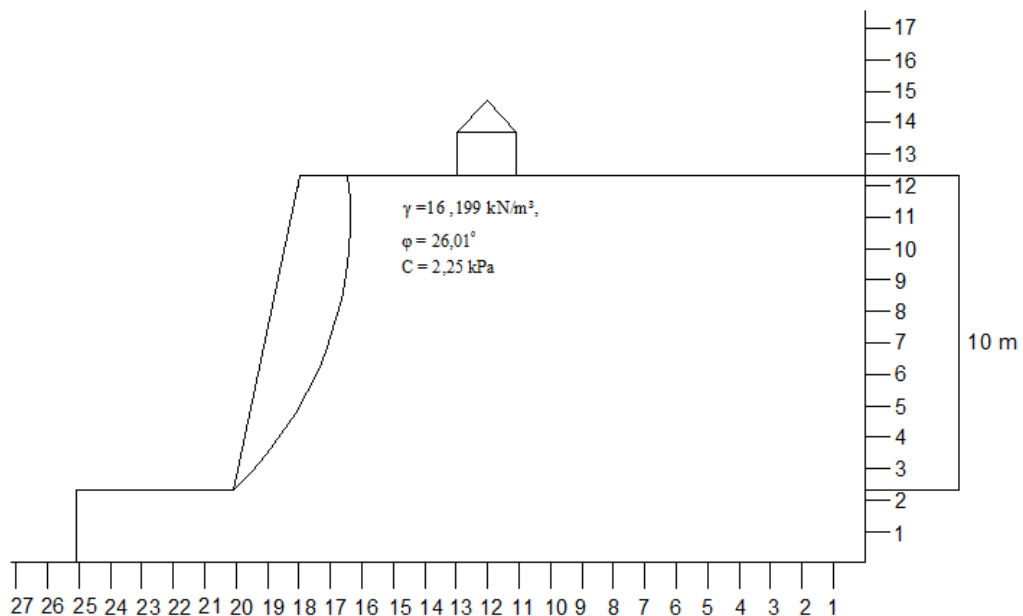
5.3.2 Analisis Manual (Metode Baji) Lereng dengan Perkuatan *Soil nailing* Sudut Pemasangan *Nail* 10°

Analisis manual lereng dilakukan dengan metode baji (*wedge*), metode ini berfungsi untuk mencari kestabilan lereng dan mencari nilai SF pada lereng yang telah diberikan perkuatan. Analisis dilakukan dengan data parameter tanah antara lain γ tanah 16,199, sudut bidang longsor kritis mengikuti nilai dari hasil perhitungan sebelumnya, sudut gesek dalam 26,01, kohesi 2,25, tinggi lereng 10 meter dan sudut kemiringan lereng 78°. Data-data propertis tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.5 Data Tanah Lereng

No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m ³)	Parameter Geser	
			ϕ (°)	c (kN/m ²)
1	Lanau Berpasir	16,199	26,01	2,25

Analisis dilakukan dengan bantuan autocad. Autocad digunakan untuk penggambaran model lereng, penempatan *nail*, dan sudut bidang longsor kritis. Model lereng awal dapat dilihat pada Gambar 5.4 dibawah ini.



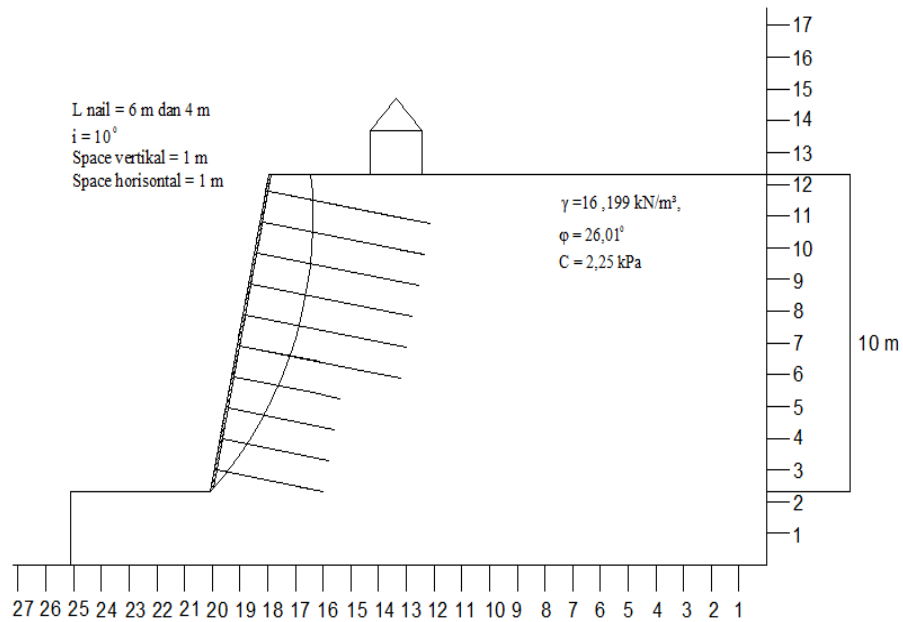
Gambar 5.4 Pemodelan Lereng dengan Longsor Kritis

1. Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Lereng Terhadap Keruntuhan Global

Analisis dilakukan dengan sudut kemiringan lereng diambil sesuai dengan sudut keamanan longsor, dengan sudut kemiringan lereng 78° , sudut pemasangan *nail* 10° . Data *nail* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.6 panjang *nail* yang digunakan 2 variasi panjang dikarenakan bidang longsor yang mengecil. *Nail* yang digunakan 10 batang untuk pemasangannya lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.6 Data-Data Penggunaan Nail 10°

L Nail (m)	Fy Nail (MPa)	E baja (MPa)	Diameter (mm)	Diameter Lubang Bor (m)	T (m)	Jarak Antar Nail (m)	Qu (Ultimate Bond Strength) (kN/m²)	i (°)
6	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
4	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
4	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
4	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10
4	420	210×10^6	25	0,1	0,5	1	130	10



Gambar 5.5 Pemasangan Nail Pada Lereng

$$w_t = \gamma l \times A$$

$$= 16,199 \times 16,5$$

$$= 267,283 \text{ kN}$$

$$Q = 1309,5806 \text{ kN}$$

$$W = W_t + \text{berat beban bangunan (Q)}$$

$$= 267,283 + 1309,5806$$

$$= 1576,864 \text{ kN}$$

$$L_f = \text{Panjang bidang gelincir}$$

$$L_f = \frac{H \text{ tanah}}{\sin(\beta - (\beta - \alpha))}$$

$$= \frac{10}{\sin(78 - (78 - 31))}$$

$$= 19,416 \text{ m}$$

a. Cek terhadap gaya tarik dan ijin geser

1) Daya dukung tarik tulangan

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

$$= 420 \times (0,25 \times \pi \times 0,025^2)$$

$$= 206,167 \text{ kN}$$

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

$$=0,5 \times 206,167$$

$$=103,083 \text{ kN}$$

2) Gaya geser ijin tulangan

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

$$V_n = \frac{206,167}{2\sqrt{1+4 \tan^2(90-(31,99+10))}}$$

$$= 42,311 \text{ kN}$$

3) Gaya tarik ijin tulangan

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

$$= 4 \times 42,311 \times \tan(90 - (31,99 - 10))$$

$$= 187,99 \text{ kN}$$

4) Gaya geser ijin dari tanah

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

Nilai c_1 , c_2 dan c_3 didapatkan dari Gambar 3.15 didasari dari jenis tanah.

$$C_1 = 2,2$$

$$C_2 = 2,8$$

$$C_3 = 34$$

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

$$= (2,2 \times 6,667 + 2,8 \times 0,025) \times 13,024 \times 6,667$$

$$= 1279,5878 \text{ kN}$$

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

$$= 34 \times 0,025 \times 13,024 \times 6,667$$

$$= 73,8056 \text{ kN}$$

Dari perhitungan diatas diambil nilai p terkecil maka digunakan $p_u = 73,8056$ untuk perhitungan selanjutnya.

$$P_p = P_u/2$$

$$= 73,8056/2$$

$$= 36,9028 \text{ kN}$$

$$L_o = \frac{\pi x d^4}{64}$$

$$= \frac{\pi \times 0,025^4}{64}$$

$$= 0,3440$$

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

$$= 36,9028 \times \frac{0,025}{2} \times 0,3440$$

$$= 0,1586 < V_n$$

Karena $V_s < V_n$ maka gaya geser ijin global (V_{max}) maka digunakan yang terkecil. Pembatasan gaya geser ijin yang digunakan diikuti dengan gaya tarik ijin *nail bar* yang koreksi.

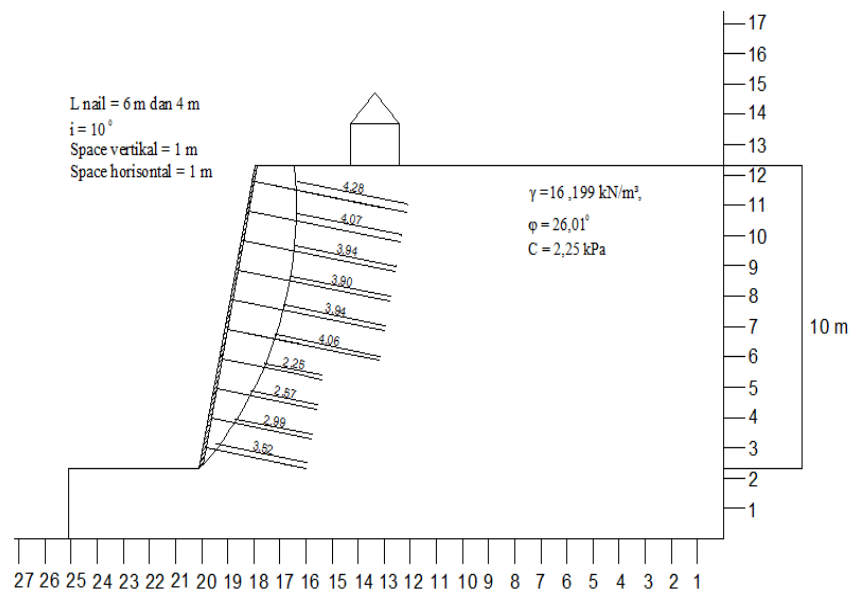
$$\frac{v_{max}^2}{R_c^2} + \frac{T_{max}^2}{R_n^2} = 1$$

$$\frac{0,1586^2}{103,803^2} + \frac{T_{max}^2}{206,167^2} = 1$$

$$\text{Maka } t_{max} = 206,1667 \text{ kN}$$

b. Menghitung panjang L_e

Nilai L_e didapatkan dengan aplikasi autocad. L_e adalah panjang *nail* yang berada dibelakang garis bidang longsor dan setiap *nail* diberikan *space* vertikal 1 meter. Penentuan nilai L_e dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan nilai L_e dapat dilihat pada Tabel 5.7.



Gambar 5.6 Menghitung Panjang Nail (L_e) Dibelakang Longsor Kristis

Tabel 5.7 Parameter Nail

No. Nail	L Nail (m)	Hi (m)	Le (m)
1	6	9,5	4,28
2	6	8,5	4,07
3	6	7,5	3,94
4	6	6,5	3,90
5	6	5,5	3,94
6	6	4,5	4,06
7	4	3,5	2,25
8	4	2,5	2,57
9	4	1,5	2,99
10	4	0,5	3,52
Total			

Pada perhitungan ini nilai faktor keamanan didapatkan dengan cara coba-coba. Perhitungan coba-coba nilai SF dibantu dengan Microsoft excel. Nilai coba-coba harus sama dengan hasil perhitungan akhir. Analisis pada studi kasus ini digunakan asumsi SF dengan nilai 1,569.

$F_{max} = 130$ (didapatkan dari Tabel 3.5)

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

$$T1 = \frac{\pi \times 0,025 \times 4,28 \times 130}{1,539}$$

$$= 28,013 \text{ kN}$$

Perhitungan lengkap tiap *nail* dapat dilihat pada Tabel 5.8 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Perhitungan Pertiap Nail 10⁰

No. Nail	Hi (m)	Le (m)	T (kN)	V (kN)	>Tmax
1	9,5	4,28	28,013	0,1974	AMAN
2	8,5	4,07	26,638	0,1974	AMAN
3	7,5	3,94	25,787	0,1974	AMAN
4	6,5	3,00	19,635	0,1974	AMAN
5	5,5	3,94	25,787	0,1974	AMAN
6	4,5	4,06	26,573	0,1974	AMAN
7	3,5	2,25	14,726	0,1974	AMAN
8	2,5	2,57	16,821	0,1974	AMAN
9	1,5	2,99	19,570	0,1974	AMAN
10	0,5	3,52	23,038	0,1974	AMAN
Total			226,587	11,974	AMAN

Gaya tarik ijin tulangan *nail bar*

$$\begin{aligned}\sum T_i &= \frac{\sum T}{Sh} \\ &= \frac{226,587}{1} \\ &= 226,587 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

c. Gaya geser ijin total dari *nail bar*

$$\begin{aligned}\sum v_i &= \frac{\sum v}{Sh} \\ &= \frac{1,973}{1} \\ &= 1,973 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

d. Menghitung faktor keamanan terhadap kerutuhan global

$$\begin{aligned}SF &= \frac{c x Lf + W \cos \alpha x \tan \alpha + (\sum T_i \sin(\alpha+1) - \sum V_i \cos(\alpha+i)) x \tan \phi}{W \sin \alpha x - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)} \\ &= \frac{2,25 x 18,87 + 1576,864 \cos 31 x \tan 31 + (226,587 \sin (31+1) - 1,973 \cos (31+10)) x \tan 26,01}{1576,864 \sin 31 x - 226,587 \cos (31+10) - 1,973 \cos(31+10)} \\ &= 1,569 > 1,25 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang didapatkan adalah 1,569, karena nilai yang didapatkan sesuai asumsi awal maka asumsi dianggap benar. Nilai SF 1,569 lebih besar daripada 1,25 sehingga dianggap aman.

2. Analisis Stabilitas Terhadap Gaya Geser

Menghitung koefisien tekanan lateral aktif dan pengaruh kohesi

$$\begin{aligned} \phi \text{ tanah I} &= 26,01^\circ \\ \gamma &= 16,199 \text{ kN/m}^3 \\ c &= 2,25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{sudut pemasangan nail(i)} &= 10^\circ \\ \text{sudut lereng } (\beta) &= 78^\circ \\ L_{\text{nail}} &= 6 \text{ m dan } 4 \text{ m} \\ T_{\text{nail}} &= 0,5 \\ H_1 &= 10 \text{ m} \\ \text{Panjang kemiringan lereng} &= \frac{10}{\sin 78^\circ} \\ &= 10,2234 \text{ m} \\ X_i &= \cos(\beta) \times \text{panjang kemiringan lereng} \\ &= \cos(78) \times 10,2234 \\ &= 2,1255 \text{ m} \\ \text{Beban Bangunan}(q) &= 27,28 \text{ kN/m}^2 \\ K_{a1} &= \text{tg}^2(45 - \phi/2) \\ &= \text{tg}^2 \times (45 - 26,01/2) \\ &= 0,3903 \\ \text{Pengaruh Kohesi} & \\ \text{Lereng} &= -2 \times c \sqrt{K_{a1}} \\ &= -2 \times 2,25 \times \sqrt{0,3903} \\ &= -2,811 \end{aligned}$$

Menghitung tekanan aktif total dibelakang zona perkuatan perlapisan

$$\begin{aligned} P_q &= \text{Akibat beban merata} \\ P_{q1} &= (q \times K_a \times H_1) - 2 \times c \sqrt{K_{a1}} \times H_1 \\ &= (27,2829 \times 0,3903 \times 10) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,3903} \times 10 \end{aligned}$$

$$=78,374 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{\gamma x H^2}{2} \times K_a \\ &= \frac{16,199 \times 10^2}{2} \times 0,3903 \\ &= 316,131 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$P_w = \text{Karena tinggi muka air diabaikan maka dianggap } 0$$

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_q + P_a + P_w \\ &= 78,374 + 316,131 + 0 \\ &= 394,506 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Faktor aman terhadap penggeseran L 12,5 meter

$$\begin{aligned} L_x &= L_{\text{nail}} \times \cos i - t \tan \alpha \\ &= 6 \times \cos (10) - 0,5 \tan (31) \\ &= 5,608 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BL &= X1 + L_x \\ &= 2,1255 + 5,6-08 \\ &= 7,733 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= A_i \times \gamma \\ &= 38,86 \times 16,199 \\ &= 629,493 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{C_b \times BL + (W + Q + P_a \sin \phi) \tan \phi}{P_a \times \cos \phi} \\ &= \frac{2,25 \times 7,733 + (629,493 + 27,282 + 316,131 \sin 26,01 \times \tan 26,01)}{316,131 \times \cos 26,01} \\ &= 2,139 > 1,25 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Nilai Analisis keamanan penggeseran terhadap lereng yang telah diberi perkuatan adalah 2,139 lebih besar dari pada 1,25 sehingga lereng dianggap aman terhadap penggeseran lereng.

3. Analisis stabilitas Internal Terhadap putus Tulangan Cabut dan Cabut Tulangan. Analisis stabilitas internal terhadap cabut dan putus tulangan dilakukan dengan bantuan aplikasi autocad untuk mengetahui nilai L_e (panjang *nail* dibelakang

bidang longsor) dan li (Kedalaman ujung *nail* dari permukaan tanah) untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Tabel 5.9 dihalaman selanjutnya.

Pada perkuatan pertama *nail* lke-1

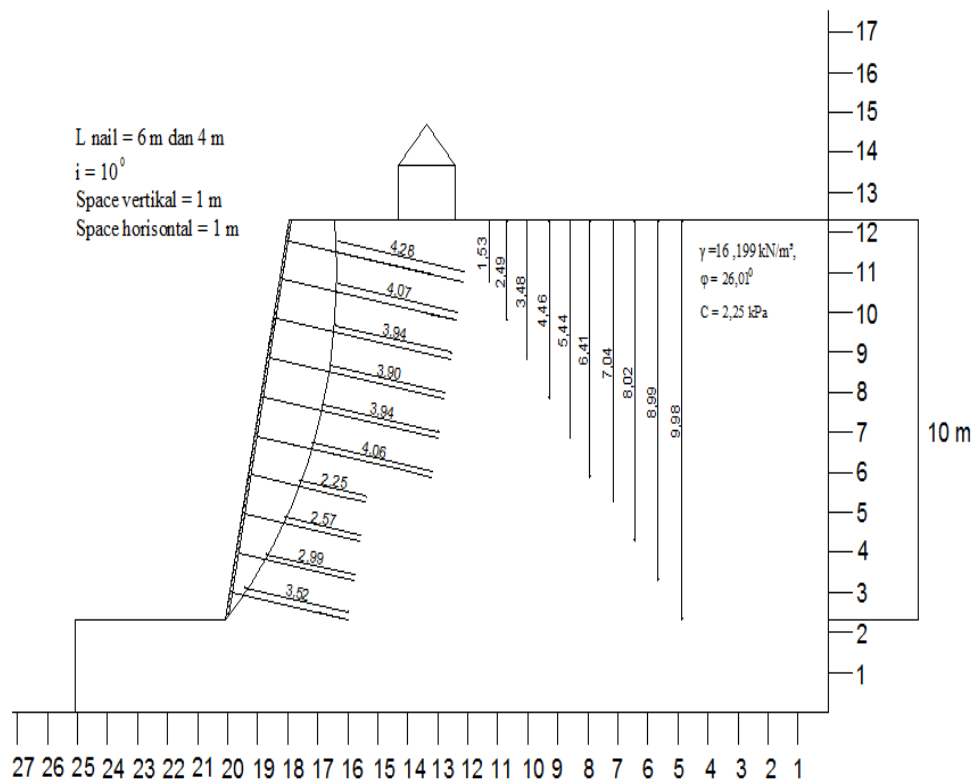
Panjang *nail* = 6 meter dan 4

Jarak vertikal antar *nail* = 1 meter

Ultimate bond strength (q_u) = 125 kN/m² (Tabel 3.9)

Diameter lubang bor (Ddh) = 0.1 meter

Kemiringan pemasangan *nail* = 10°



Gambar 5.7 Menghitung Le da Li

Tabel 5.9 Data-data Perhitungan Kuat Tarik dan Putus Tulangan

No. <i>Nail</i>	Hi (m)	Le (m)	Li (m)
1	9,5	4,28	1,53
2	8,5	4,07	2,49
3	7,5	3,94	3,48
4	6,5	3,00	4,46
5	5,5	3,94	5,44
6	4,5	4,06	6,41
7	3,5	2,25	7,04
8	2,5	2,57	8,02
9	1,5	2,99	8,99
10	0,5	3,52	9,98

- a. Menghitung panjang *nail* yang berada dibelakang garis keruntuhan, digunakan aplikasi autocad 2015

$$L_p/L_e1 = 4,28 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e2 = 4,07 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e3 = 3,94 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e4 = 3,00 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e5 = 3,94 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e6 = 4,06 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e7 = 2,25 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e8 = 2,57 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e9 = 2,99 \text{ meter}$$

$$L_p/L_e10 = 3,52 \text{ meter}$$

- b. menghitung koefisien tekana lateral aktif

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

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

$$= 0,39031$$

c. Menghitung tegangan Horisontal

$$\begin{aligned}
\sigma_{h1} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\
&= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 1,53 \\
&\quad \times 0,390) \\
&= 17,511 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{h2} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\
&= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 2,49 \times \\
&\quad 0,390) \\
&= 23,580 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{h3} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\
&= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 3,48 \\
&\quad \times 0,390) \\
&= 29,840 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{h4} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\
&= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 4,99 \times 4,46 \\
&\quad 0,390) \\
&= 36,036 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{h5} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\
&= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times \\
&\quad \times 0,390) \\
&= 42,232 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{h6} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\
&= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 6,41 \\
&\quad \times 0,390) \\
&= 48,365 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{h7} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\
&= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 7,04 \\
&\quad \times 0,390) \\
&= 52,348 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{h8} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1)
\end{aligned}$$

$$= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 8,02 \times 0,390)$$

$$= 58,544 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h9} = (q \times K_{a1}) - 2 \times c\sqrt{K_{a1}} + (\gamma_1 \times z \times K_{a1})$$

$$= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 8,99 \times 0,390)$$

$$= 64,677 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h10} = (q \times K_{a1}) - 2 \times c\sqrt{K_{a1}} + (\gamma_1 \times z \times K_{a1})$$

$$= (27,2829 \times 0,39031) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 9,98 \times 0,390)$$

$$= 70,937 \text{ kN/m}^2$$

d. Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan setiap *nail*

$$\begin{aligned} Fr1 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{17,511 \times 1 \times 1} \\ &= 11,773 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr2 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{23,580 \times 1 \times 1} \\ &= 8,743 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr3 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{6,909 \times 1 \times 1} \\ &= 6,909 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr4 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{36,036 \times 1 \times 1} \\ &= 5,721 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr5} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{42,2320 \times 1 \times 1} \\ &= 4,881 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr6} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{48,365 \times 1 \times 1} \\ &= 4,262 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr7} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{52,348 \times 1 \times 1} \\ &= 3,938 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr8} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{58,844 \times 1 \times 1} \\ &= 3,181 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr9} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{64,6774 \times 1 \times 1} \\ &= 3,187 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr10} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{70,937 \times 1 \times 1} \\ &= 2,903 \end{aligned}$$

e. Menghitung angka keamana *nail* terhadap cabut tulangan

$$\begin{aligned} \text{Fp1} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Li}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 1,53}{17,511 \times 1 \times 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 9,982 \\
 \text{Fp2} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 2,49}{23,580 \times 1 \times 1} \\
 &= 7,049 \\
 \text{Fp3} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 3,48}{29,840 \times 1 \times 1} \\
 &= 5,397 \\
 \text{Fp4} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 4,46}{5,392 \times 1 \times 1} \\
 &= 3,428 \\
 \text{Fp5} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 5,44}{42,232 \times 1 \times 1} \\
 &= 3,810 \\
 \text{Fp6} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 6,41}{48,369 \times 1 \times 1} \\
 &= 3,428 \\
 \text{Fp7} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 8,99}{52,348 \times 1 \times 1} \\
 &= 1,753 \\
 \text{Fp8} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 2,57}{58,544 \times 1 \times 1} \\
 &= 1,792 \\
 \text{Fp9} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 2,99}{64,677 \times 1 \times 1} \\
 &= 1,88
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{p10} &= \frac{\pi \times q_u \times D_{dh} \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 3,52}{70,937 \times 1 \times 1} \\
 &= 2,026
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat semua hasil nilai keamanan *nail* terhadap cabut tulangan dan putus tulangan lebih dari 1,25 maka dianggap semua *nail* aman. Untuk perencanaan plat digunakan mutu baja plat dan baut sama dengan *nail*.

5.3.3 Rekapitulasi Perhitungan *Nail* 10⁰, 20⁰, dan 30⁰ Lereng Eksisting Terhadap Stabilitas Eksternal dan Internal

Perhitungan terhadap *nail* 20⁰ dan 30⁰ memiliki cara perhitungan yang sama. Dari hasil analisis yang telag dilakukan maka didapatkan hasil perhitungan seperti pada Tabel.5.10

Tabel 5.10 Rekapitulasi Nilai SF Lereng Pertiap *Nail*

Sudut <i>Nail</i>	SF Terhadap Keruntuhan Global	SF Terhadap Geser
10	1,569	2,140
20	1,577	2,185
30	1,542	2,236

Sedangkan untuk perhitungan terhadap keruntuhan global dapat dilihat pada Tabel 5.11, Tabel 5.12 , dan Tabel 5.13.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Perhitungan *Nail* 10⁰ Lereng Eksisting Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

<i>Nail</i>	Panjang <i>Nail</i> (m)	σ_h	Fr	Fp	Keterangan
1	6	17,511	11,774	9,982	Aman
2	6	23,581	8,743	7,049	Aman
3	6	29,840	6,909	5,392	Aman
4	6	36,036	5,721	3,400	Aman
5	6	42,233	4,882	3,810	Aman
6	6	48,366	4,263	3,428	Aman
7	4	52,349	3,938	1,755	Aman
8	4	58,545	3,522	1,793	Aman
9	4	64,678	3,188	1,888	Aman
10	4	70,937	2,906	2,027	Aman

Tabel 5.12 Rekapitulasi Perhitungan Nail 20⁰ Lereng Eksisting Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

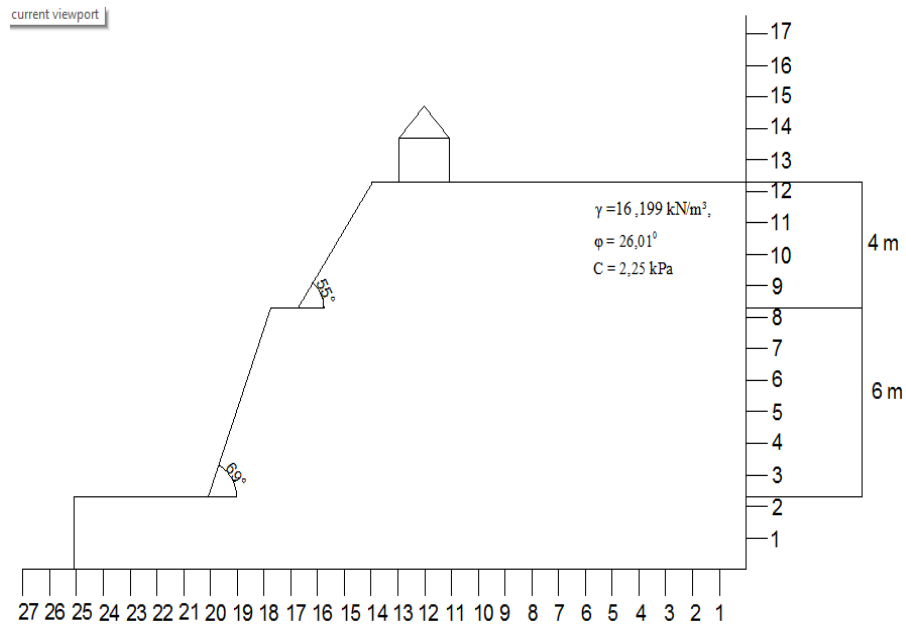
<i>Nail</i>	Panjang Nail	σ_h	Fr	Fp	Keterangan
1	6	20,745	9,938	8,249	Aman
2	6	25,675	8,030	6,363	Aman
3	6	30,655	6,725	5,196	Aman
4	6	35,635	5,785	4,458	Aman
5	6	40,616	5,076	3,982	Aman
6	6	45,545	4,527	3,685	Aman
7	4	50,271	4,101	1,901	Aman
8	4	52,050	3,961	2,087	Aman
9	4	56,979	3,618	2,193	Aman
10	4	61,299	3,363	2,325	Aman

Tabel 5.13 Rekapitulasi Perhitungan Nail 30⁰ Lereng Eksisting Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

<i>Nail</i>	Panjang Nail	σ_h	Fr	Fp	Keterangan
1	6	25,522	8,078	6,465	Aman
2	6	30,503	6,759	5,182	Aman
3	6	35,483	5,810	4,374	Aman
4	6	40,361	5,108	3,865	Aman
5	6	45,392	4,542	3,527	Aman
6	6	50,373	4,093	3,324	Aman
7	4	50,271	4,101	1,917	Aman
8	4	55,251	3,731	1,988	Aman
9	4	60,181	3,426	2,104	Aman
10	4	65,110	3,166	2,252	Aman

5.4 Analisis Manual (Metode Baji) dengan Pemodelan Lereng Baru (2 Lapis)

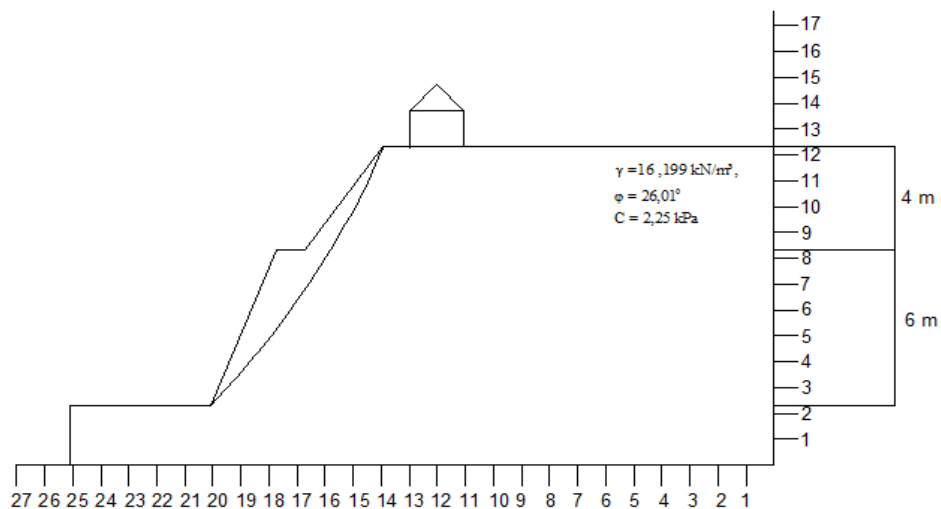
Pemodelan lereng baru dilakukan sebagai salah satu alternatif pengerjaan stabilisasi lereng. Lereng dibagi menjadi dua lapis yaitu lapis bawah dengan tinggi 6 meter dan lapis atas dengan tinggi 4 meter. Sudut kemiringan lereng dirubah untuk mendapatkan stabilitas lereng yang lebih kuat dengan lapis lereng bawah sebesar 69⁰ dan sudut lapis lereng atas sebesar 55⁰ untuk lebih jelaas dapat dilihat pada Gambar 5.8 dibawah ini.



Gambar 5.8 Pemodelan Lereng Baru

5.4.1 Analisis Manual Lereng Baru (2 Lapis) Tanpa Perkuatan dengan Metode *Bishop*

Analisis stabilitas lereng manual tanpa perkuatan dilakukan dengan menggunakan metode irisan *bishop*. Lereng dibagi menjadi 2 lapisan lereng yaitu lereng bawah dengan tinggi 6 meter dan lereng atas 4 meter, dengan data tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2. Model lereng yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 5.9 dibawah ini.

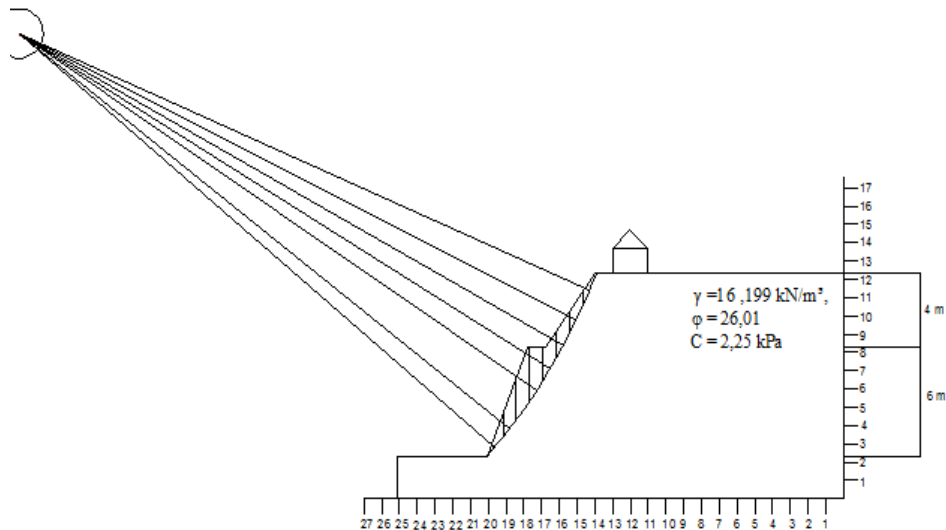


Gambar 5.9 Model lereng 2 Lapis dengan Daerah Longsor Kritis

Metode *bishop* dilakukan dengan membagi lereng pertiap pias untuk menghitung berat tanah lereng tersebut. pemodelan lereng dilakukan dengan menggunakan aplikasi autocad 2015. Metode *bishop* yang digunakan menggunakan jari-jari lingkaran $R=12$ m, dengan sudut kemiringan yang telah di variasi. Penentuan besar dan pembagian pias-pias dilakukan dengan asumsi sendiri, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.14. Data tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.2, sedangkan untuk data pembagian pias dapat dilihat pada Tabel 5.15. Jenis tanah yang ada pada lereng homogen, sehingga hanya memiliki satu jenis lapisan tanah.

Tabel 5.14 Data Tanah Pada Lereng

No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m^3)	Parameter Geser	
			ϕ ($^\circ$)	c (kN/m^2)
1	Lanau Berpasir	16,199	26,01	2,25



Gambar 5.10 Pembagian Pias pada Lereng (Metode *Bishop*)

Tabel 5.15 Data Pias Pada Lereng Asli

No irisan	A	b	ϕ_i (o)
1	0,580	0,95	50
2	1,310	0,75	52
3	1,990	0,75	54
4	1,770	0,75	56
5	1,136	0,75	58
6	0,960	0,75	61
7	0,700	0,75	64

Berikut adalah perhitungan manual menggunakan metode *bishop* yang disederhanakan.

Perhitungan berat irisan tanah

$$\begin{aligned} W_1 &= \gamma \times A_1 \\ &= 16,199 \times 0,580 \\ &= 9,935 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_2 &= \gamma \times A_2 \\ &= 16,199 \times 1,310 \\ &= 21,221 \text{ Kn} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= \gamma \times A_3 \\ &= 16,199 \times 1,990 \\ &= 32,236 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_4 &= \gamma \times A_4 \\ &= 16,199 \times 1,770 \\ &= 28,672 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_5 &= \gamma \times A_5 \\ &= 16,199 \times 1,136 \\ &= 18,402 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$W_6 = \gamma \times A_6$$

$$\begin{aligned}
 &= 16,199 \times 0,960 \\
 &= 15,551 \text{ kN} \\
 W_7 &= \gamma \times A_7 \\
 &= 16,199 \times 0,700 \\
 &= 11,339 \text{ kN} \\
 W_8 &= \gamma \times A_7 \\
 &= 16,199 \times 0,300 \\
 &= 4,860 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya hanya dilakukan pada pias 1 dan untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.4, sedangkan untuk menentukan nilai SF digunakan cara-cara coba-coba dengan menentukan nilai F sehingga didapatkan hasil yang sama dengan nilai SF. Pada analisis didapatkan nilai SF yang konvergen adalah $SF_1 = 0,519$

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= (W_{tot} - b \cdot u) \operatorname{tg} \phi' + c' \cdot b \\
 &= (9,395 - 0) \times \operatorname{tg} (26,01) + 2,25 \\
 &= 6,722 \text{ kN} \\
 M_{i1} &= (1 + \tan \phi_i \times \tan \phi_i / F) \times \cos \phi_i \\
 &= (1 + \tan (50) \times \tan (26,01) / 0,519) \times \cos (50) \\
 &= 1,363 \text{ kN} \\
 F_1 &= \frac{\sigma_1}{M_{a1}} \\
 &= \frac{6,722}{1,363} \\
 &= 4,932 \\
 SF_1 &= \frac{\Sigma F_1}{\Sigma W_{tot} \times \sin \phi} \\
 &= \frac{61,100}{117,647} \\
 &= 0,519 < 1,25 \text{ Tidak Aman}
 \end{aligned}$$

Hasil analisis lengkap dari metode *bishop* yang telah disederhanakan dapat dilihat pada Tabel 5.16 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Lereng 2 Lapis dengan Metode *Bishop*

No irisan	A	B	ϕ_i (o)	W (kN)	Sin ϕ_1	W x sin ϕ_i (kN)	ϕ	(W-bu) Kn	(W-bu) x tan ϕ (kN)	c' x b (kN)	σ (kN) = 14+15	M1	F1	SF1
1	0,580	0,95	50	9,395	0,766	7,197	26,01	9,395	4,584	2,137	6,722	1,363	4,932	0,519
2	1,310	0,75	52	21,221	0,788	16,722	26,01	21,221	10,355	1,687	12,042	1,357	8,877	
3	1,990	0,75	54	32,236	0,809	26,079	26,01	32,236	15,730	1,687	17,417	1,348	12,917	
4	1,770	0,75	56	28,672	0,829	23,770	26,01	28,672	13,991	1,687	15,678	1,339	11,712	
5	1,136	0,75	58	18,402	0,848	15,606	26,01	18,402	8,979	1,687	10,667	1,327	8,037	
6	0,960	0,75	61	15,551	0,875	13,601	26,01	15,551	7,588	1,687	9,276	1,307	7,096	
7	0,700	0,75	64	11,339	0,899	10,192	26,01	11,339	5,533	1,687	7,221	1,283	5,626	
8	0,300	0,75	68	4,860	0,927	4,506	26,01	4,860	2,371	1,687	2,371	1,246	1,903	
	8,746			141,67		117,674							61,100	

Dari hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan nilai stabilitas lereng sebesar 0,519 tidak lebih besar dari 1,25 sehingga dianggap tidak aman.

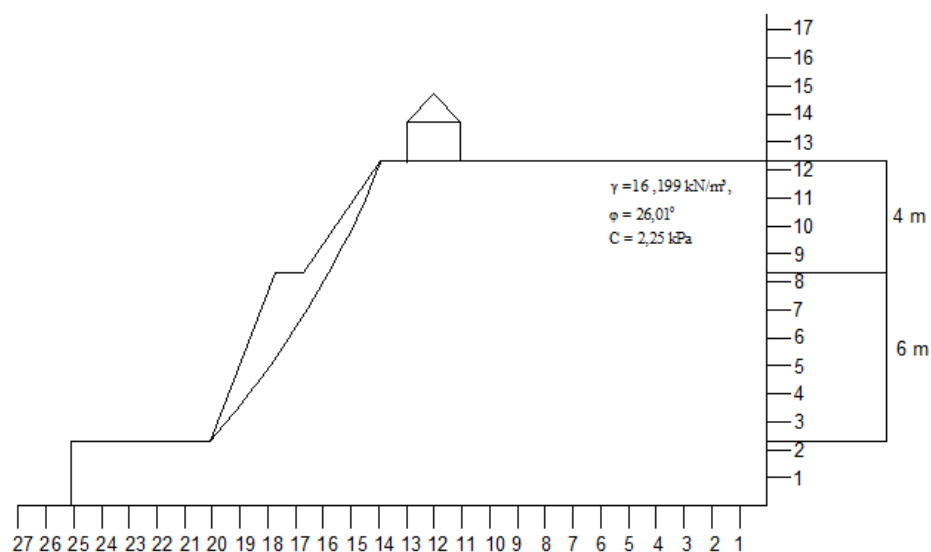
5.4.2 Analisis Manual (Metode Baji) Lereng Baru (2 Lapis) dengan Perkuatan *Soil nailing* Sudut Pemasangan *Nail* 10°

Analisis manual lereng dilakukan dengan metode baji (*wedge*), metode ini berfungsi untuk mencari kestabilan lereng dan mencari nilai SF pada lereng yang telah diberikan perkuatan. Analisis dilakukan dengan data parameter tanah antara lain γ dry 13,024, sudut bidang longsor sesuai dengan hasil yang telah didapatkan sebelumnya, sudut gesek dalam 26,01, kohesi 2,25, tinggi lereng 10 meter dengan 6 meter lereng bawah dan 4 meter lereng atas. Data spesifikasi *nail* dapat dilihat pada Tabel 5.17 dibawah ini.

Tabel 5.17 Data-data Tanah Lereng

No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m^3)	Parameter Geser	
			ϕ ($^\circ$)	c (kN/m^2)
1	Lanau Berpasir	16,199	26,01	2,25

Analisis dilakukan dengan bantuan autocad. Autocad digunakan untuk penggambaran model lereng, penempatan *nail*, dan sudut bidang longsor kritis. *Nail* diletakan 0,5 meter dari permukaan lereng dengan sudut pemasangan 10° . Jarak antar *nail* 1 meter horizontal dan 1 meter vertikal Penggambaran dapat dilihat pada Gambar 5.11 dibawah ini.



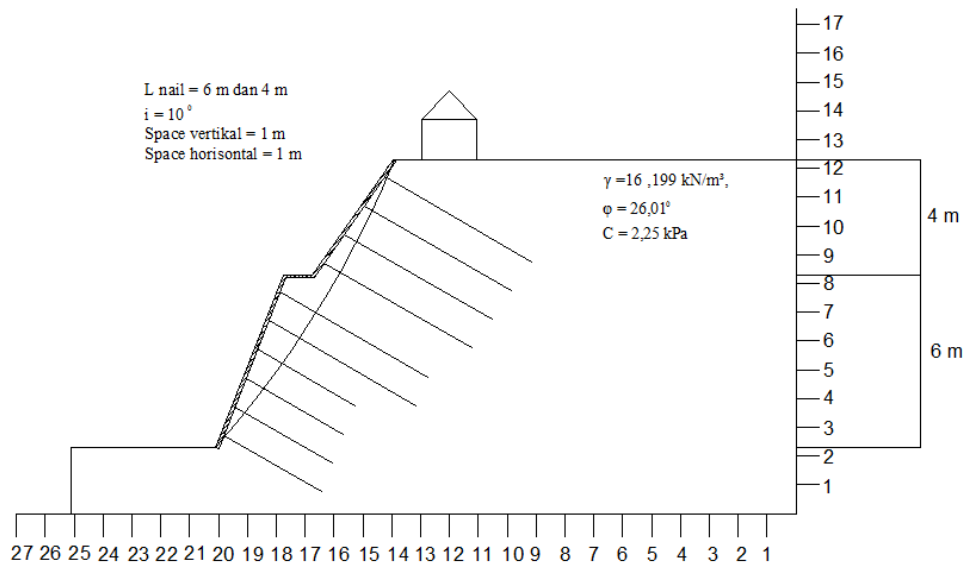
Gambar 5.11 Pemodelan Lereng dengan Daerah Longsor Kritis

1. Analisis Stabilitas Lereng 2 lapis Dengan Perkuatan Lereng Terhadap Keruntuhan Global

Analisis dilakukan dengan sudut kemiringan lereng diambil sesuai perhitungan sebelumnya, dengan sudut kemiringan lereng 69 untuk lereng bawah, dan 55 untuk lereng atas, sudut pemasangan *nail* 10^0 . Data *nail* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.18 panjang *nail* yang digunakan 2 variasi panjang. *Nail* yang digunakan 10 batang untuk pemasangannya lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.12 dibawah ini.

Tabel 5.18 Data-data Penggunaan Nail

L Nail (m)	Fy Nail (MPa)	E baja (MPa)	Diameter (mm)	Diameter lubang Bor (m)	T (m)	jarak antar nail (m)	Qu (ultimate bond strength) (kN/m ²)	i (°)
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210x10 ⁶	25	01	0,5	1	130	10
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210x10 ⁶	25	01	0,5	1	130	10
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	10
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	10
4	420	210x10 ⁶	25	01	0,5	1	130	10
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	10
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	10
4	420	210x10 ⁶	25	01	0,5	1	130	10



Gambar 5.12 Pemasangan Nail Pada Lereng

$$\begin{aligned}
 W_t &= \gamma l \times A \\
 &= 16,199 \times 8,746 \\
 &= 141,676 \text{ kN} \\
 Q &= 1309,5806 \text{ kN} \\
 W &= W_t + \text{berat beban bangunan (Q)} \\
 &= 141,676 + 1309,5806 \\
 &= 1451,257 \text{ kN} \\
 L_f &= \text{Panjang bidang gelincir} \\
 L_f &= \frac{H \text{ tanah}}{\sin(\beta - (\beta - \alpha))} \\
 &= \frac{10}{\sin(78 - (78 - 20))} \\
 &= 29,238 \text{ m}
 \end{aligned}$$

a. Cek terhadap gaya tarik dan ijin geser

1) Daya dukung tarik tulangan

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_y \times A_s \text{ tulangan} \\
 &= 420 \times (0,25 \times \pi \times 0,025^2) \\
 &= 206,167 \text{ kN} \\
 R_c &= 0,5 \times R_n \\
 &= 0,5 \times 206,167
 \end{aligned}$$

$$= 103,083 \text{ kN}$$

2) Gaya geser ijin tulangan

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

$$V_n = \frac{206,167}{2\sqrt{1+4 \tan^2(90-(31,99+10))}}$$

$$= 42,311 \text{ kN}$$

3) Gaya tarik ijin tulangan

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

$$= 4 \times 42,311 \times \tan(90 - (31,99 - 10))$$

$$= 187,99 \text{ kN}$$

4) Gaya geser ijin dari tanah

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

Nilai c_1 , c_2 dan c_3 didapatkan dari Gambar 3.15 didasari dari jenis tanah.

$$C_1 = 2,2$$

$$C_2 = 2,8$$

$$C_3 = 34$$

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

$$= (2,2 \times 6,667 + 2,8 \times 0,025) \times 13,024 \times 6,667$$

$$= 1279,5878 \text{ kN}$$

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

$$= 34 \times 0,025 \times 13,024 \times 6,667$$

$$= 73,8056 \text{ kN}$$

Dari perhitungan diatas diambil nilai p terkecil maka digunakan $p_u = 73,8056$ untuk perhitungan selanjutnya.

$$P_p = P_u / 2$$

$$= 73,8056 / 2$$

$$= 36,9028 \text{ kN}$$

$$L_o = \frac{\pi x d^4}{64}$$

$$= \frac{\pi x 0,025^4}{64}$$

$$=0,3440$$

$$\begin{aligned} V_s &= Pp \times \frac{D}{2} \times L_o \\ &= 36,9028 \times \frac{0,025}{2} \times 0,3440 \\ &=0,1586 < V_n \end{aligned}$$

Karena $V_s < V_n$ maka gaya geser ijin global (V_{max}) maka digunakan yang terkecil. Pembatasan gaya geser ijin yang digunakan diikuti dengan gaya tarik ijin *nail baryang* koreksi.

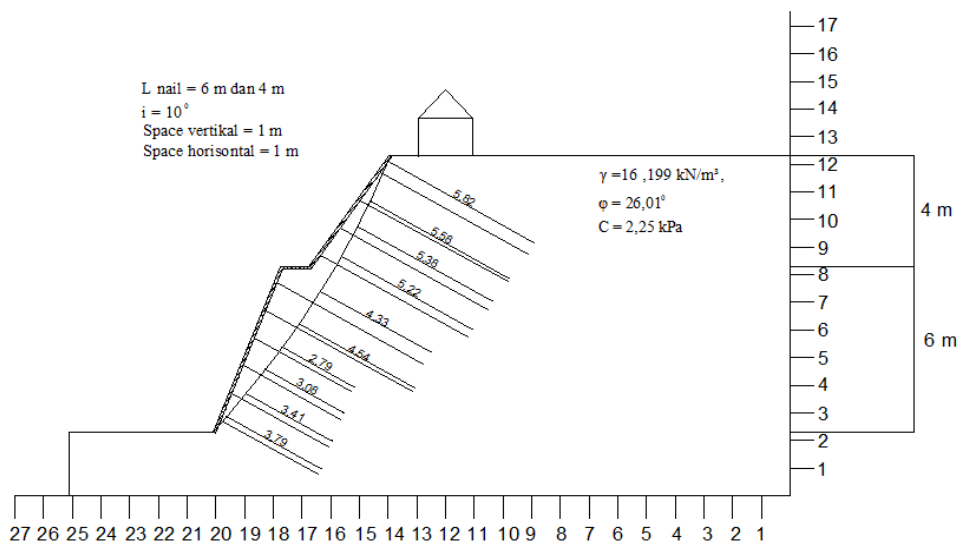
$$\frac{v_{max}^2}{Rc^2} + \frac{T_{max}^2}{Rn^2} = 1$$

$$\frac{0,1586^2}{103,803^2} + \frac{T_{max}^2}{206,167^2} = 1$$

$$\text{Maka } t_{max} = 206,1667 \text{ kN}$$

b. Menghitung panjang L_e

Nilai L_e didapatkan dengan aplikasi autocad. L_e adalah panjang *nail* yang berada dibelakang garis bidang longsor dan setiap *nail* diberikan *space* vertikal 1 meter dan horizontal 1 meter. Penentuan nilai L_e dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan nilai L_e dapat dilihat pada Tabel 5.19 halaman selanjutnya ini.



Gambar 5.13 Menghitung Panjang *Nail* dibelakang Longsor (L_e)

Tabel 5.19 Parameter Penggunaan Nail

No. Nail	L Nail (m)	hi	Le
1	6	9,5	5,82
2	6	8,5	5,58
3	6	7,5	5,38
4	6	6,5	5,22
5	6	5,5	4,33
6	6	4,5	4,54
7	4	3,5	2,79
8	4	2,5	3,08
9	4	1,5	3,41
10	4	0,5	3,79
Total			

Pada perhitungan ini nilai faktor keamanan didapatkan dengan cara coba-coba. Perhitungan coba-coba nilai SF dibantu dengan Microsoft excel. Nilai coba-coba harus sama dengan hasil perhitungan akhir. Analisis pada studi kasus ini digunakan asumsi SF dengan nilai 2,130.

$F_{max} = 130$ (didapatkan dari Tabel 3.5)

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

$$T1 = \frac{\pi \times 0,025 \times 5,82 \times 130}{2,130}$$

$$= 27,898 \text{ kN}$$

Perhitungan lengkap tiap *nail* dapat dilihat pada Tabel 5.20 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Perhitungan Pertiap Nail 10⁰

No. Nail	Hi (m)	Le (m)	T (kN)	V (kN)	>Tmax
1	9,5	5,82	27,898	0,1974	AMAN
2	8,5	5,58	26,748	0,1974	AMAN
3	7,5	5,38	25,789	0,1974	AMAN
4	6,5	5,22	25,022	0,1974	AMAN
5	5,5	4,33	20,756	0,1974	AMAN
6	4,5	4,54	21,763	0,1974	AMAN
7	3,5	2,79	13,374	0,1974	AMAN
8	2,5	3,08	14,764	0,1974	AMAN
9	1,5	3,41	16,346	0,1974	AMAN
10	0,5	3,79	18,167	0,1974	AMAN
Total			210,627	11,974	

c. Gaya tarik ijin tulangan *nail bar*

$$\begin{aligned}\sum T_i &= \frac{\sum T}{Sh} \\ &= \frac{210,626}{1} \\ &= 210,626 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

d. Gaya geser ijin total dari *nail bar*

$$\begin{aligned}\sum v_i &= \frac{\sum v}{Sh} \\ &= \frac{1,974}{1} \\ &= 1,974 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

e. Menghitung faktor keamanan terhadap kerutuhan global

$$\begin{aligned}SF &= \frac{c \times Lf + W \cos \alpha \times \tan \alpha + (\sum T_i \sin(\alpha+1) - \sum V_i \cos(\alpha+i)) \times \tan \phi}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)} \\ &= \frac{2,25 \times 29,238 + 1451,125 \cos 22 \times \tan 22 + (210,626 \sin (22+1) - 1,974 \cos (22+10)) \times \tan 26,01}{1451,125 \sin 22 \times - 210,626 \cos(22+10) - 1,974 \cos (22+10)} \\ &= 2,13 > 1,25 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

Nilai faktor keamanan yang didapatkan adalah 2,130, karena nilai yang didapatkan sesuai asumsi awal maka asumsi dianggap benar. Nilai SF 2,130 lebih besar daripada 1,25 sehingga dianggap aman.

2. Analisis Stabilitas Terhadap Gaya Geser

Menghitung koefisien tekanan lateral aktif dan pengaruh kohesi

$$\begin{aligned} \phi \text{ tanah 1} &= 26,01^\circ \\ \gamma 1 &= 16,199 \text{ kN/m}^3 \\ c1 &= 2,25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{sudut pemasangan } nail(i) &= 10^\circ \\ \text{sudut lereng } (\beta) &= 78^\circ \\ L_{nail} &= 6 \text{ m dan } 4 \text{ m} \\ T_{nail} &= 0,5 \\ H1 &= 10 \text{ m} \\ L \text{ kemiringan Lereng} &= \frac{10}{\sin 78^\circ} \\ &= 10,2234 \text{ m} \\ X_i &= \cos (\beta) \times \text{panjang kemiringan lereng} \\ &= \cos (78) \times 10,2234 \\ &= 2,1255 \text{ m} \\ \text{Lebar Excavation (Be)} &= 8 \text{ meter} \\ \text{Beban Bangunan (w)} &= 27,28 \text{ kN/m}^2 \\ K_{a1} &= \text{tg}^2 (45 - \phi/2) \\ &= \text{tg}^2 \times (45 - 26,01/2) \\ &= 0,3903 \end{aligned}$$

Pengaruh Kohesi

$$\begin{aligned} \text{Lereng} &= -2 \times c \sqrt{K_{a1}} \\ &= -2 \times 2,25 \times \sqrt{0,3903} \\ &= -2,811 \end{aligned}$$

Menghitung Tekanan aktif total dibelakang zona perkuatan perlapisan

$$\begin{aligned} P_q &= \text{Akibat beban merata} \\ P_i &= (q \times K_a \times H1) - 2 \times c \sqrt{K_{a1}} \times H1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (27,2829 \times 0,3903 \times 10) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,3903} \times 10 \\
 &= 78,374 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa &= \frac{\gamma \times H}{2} \times Ka \\
 &= \frac{16,199 \times 10}{2} \times 0,3903 \\
 &= 316,131 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Pw = Karena tinggi muka air diabaikan maka dianggap 0

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= Pq + Pa + Pw \\
 &= 78,374 + 316,131 + 0 \\
 &= 394,506 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Faktor aman terhadap penggeseran L 6 meter

$$\begin{aligned}
 Lx &= L \sin i - t \tan \alpha \\
 &= 6 \times \cos (10) - 0,5 \tan (22) \\
 &= 7,696 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BL &= X1 + Lx \\
 &= 2,1255 + 7,696 \\
 &= 9,822 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= A_i \times \gamma \\
 &= 41,095 \times 16,199 \\
 &= 665,698 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{Cb \times BL + (W + Q + Pa \sin \phi) \tan \phi}{Pa \times \cos \phi} \\
 &= \frac{2,25 \times 9,822 + (665,698 + 27,282 + 316,131 \sin 26,01) \times \tan 26,01}{316,131 \times \cos 26,01} \\
 &= 2,254 > 1,25 \text{ (Aman)}
 \end{aligned}$$

Nilai Analisis keamanan penggeseran terhadap lereng yang telah diberi perkuatan adalah 2,254 lebih besar dari pada 1,25 sehingga lereng dianggap aman terhadap penggeseran lereng.

3. Analisis stabilitas Internal Terhadap putus Tulangan Cabut dan Cabut Tulangan. Analisis stabilitas internas terhadap cabut dan putus tulangan dilakukan dengan bantuan aplikasi autocad untuk mengetahui nilai L_e (panjang *nail* dibelakang

bidang longsor) dan L_i (Kedalaman ujung *nail* dari permukaan tanah) untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Tabel 5.21 dihalaman selanjutnya.

Pada perkuatan pertama *nail* ke-1

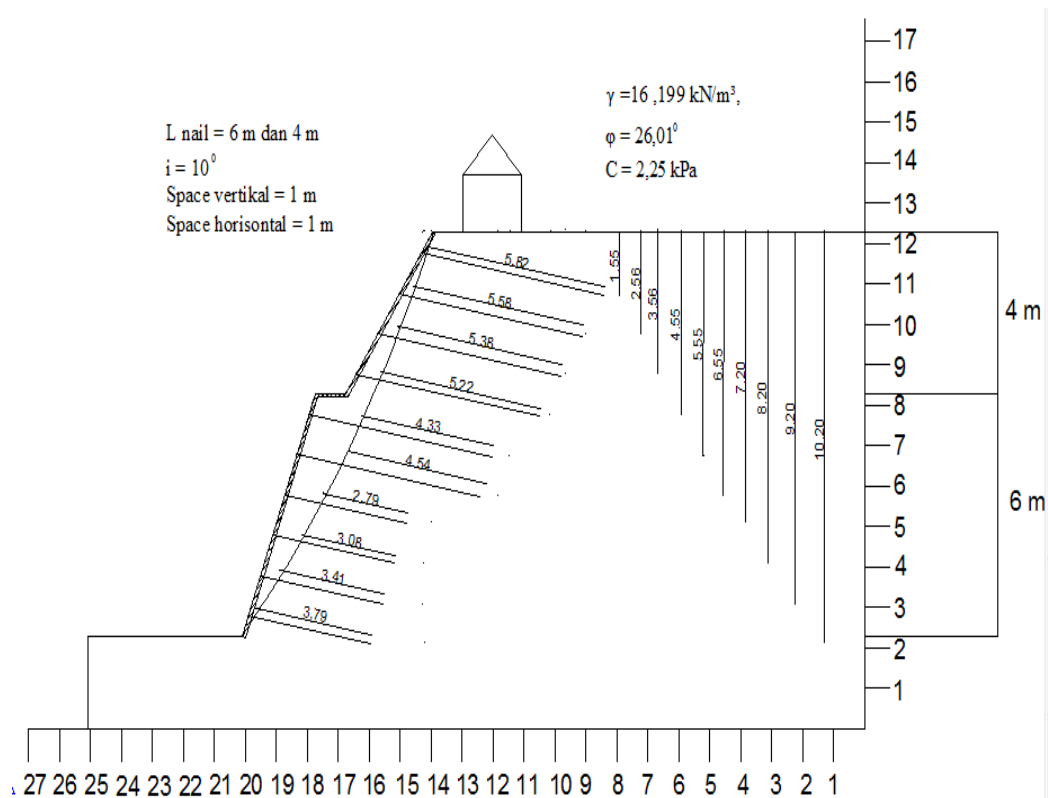
Panjang *nail* = 6 meter dan 4

Jarak vertikal antar *nail* = 1 meter

Ultimate bond strength (q_u) = 125 kN/m² (Tabel 3.9)

Diameter lubang bor (D_{dh}) = 0.1 meter

Kemiringan pemasangan *nail* = 10°



Gambar 5.14 Menghitung Nilai L_e dan L_i

Tabel 5.21 Data-data Perhitungan Kuat Tarik dan Putus Tulangan

No. <i>Nail</i>	Hi (m)	Le (m)	Li (m)
1	9,5	5,82	1,55
2	8,5	5,58	2,56
3	7,5	5,38	3,56
4	6,5	5,22	4,55
5	5,5	4,33	5,55
6	4,5	4,54	6,55
7	3,5	2,79	7,2
8	2,5	3,08	8,2
9	1,5	3,41	9,2
10	0,5	3,79	10,2

- a. Menghitung panjang *nail* yang berada dibelakang garis keruntuhan, digunakan aplikasi autocad 2015

$$Lp/Le1 = 5,82 \text{ meter}$$

$$Lp/Le2 = 5,58 \text{ meter}$$

$$Lp/Le3 = 5,38 \text{ meter}$$

$$Lp/Le4 = 5,22 \text{ meter}$$

$$Lp/Le5 = 4,33 \text{ meter}$$

$$Lp/Le6 = 4,54 \text{ meter}$$

$$Lp/Le7 = 2,79 \text{ meter}$$

$$Lp/Le8 = 3,08 \text{ meter}$$

$$Lp/Le9 = 3,41 \text{ meter}$$

$$Lp/Le10 = 3,79 \text{ meter}$$

- b. menghitung koefisien tekana lateral aktif

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

$$= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{31,99}{2} \right)$$

$$= 0,390$$

c. Menghitung tegangan Horizontal

$$\begin{aligned}\sigma_{h1} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\ &= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 1,55 \\ &\quad \times 0,390) \\ &= 17,637 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h2} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\ &= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 2,56 \\ &\quad \times 0,390) \\ &= 24,023 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h3} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\ &= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 3,56 \\ &\quad \times 0,390) \\ &= 30,346 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h4} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\ &= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 4,55 \\ &\quad \times 0,390) \\ &= 36,605 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h5} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\ &= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 5,55 \\ &\quad \times 0,390) \\ &= 42,928 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h6} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\ &= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 6,55 \\ &\quad \times 0,390) \\ &= 49,250 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h7} &= (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1) \\ &= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 7,20 \\ &\quad \times 0,390) \\ &= 53,360 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\sigma_{h8} = (q \times Ka1) - 2 \times c\sqrt{Ka1} + (\gamma_1 \times z \times Ka1)$$

$$= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 8,20 \times 0,390)$$

$$= 59,683 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h9} = (q \times K_{a1}) - 2 \times c\sqrt{K_{a1}} + (\gamma_1 \times z \times K_{a1})$$

$$= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 9,20 \times 0,390)$$

$$= 66,005 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h10} = (q \times K_{a1}) - 2 \times c\sqrt{K_{a1}} + (\gamma_1 \times z \times K_{a1})$$

$$= (27,2829 \times 0,390) - 2 \times 2,25 \times \sqrt{0,390} + (16,199 \times 10,20 \times 0,390)$$

$$= 72,323 \text{ kN/m}^2$$

d. Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan setiap *nail*

$$\begin{aligned} Fr1 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{17,637 \times 1 \times 1} \\ &= 11,689 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr2 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{24,023 \times 1 \times 1} \\ &= 8,581 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr3 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{30,346 \times 1 \times 1} \\ &= 6,793 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr4 &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{36,605 \times 1 \times 1} \\ &= 5,632 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr5} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{42,928 \times 1 \times 1} \\ &= 4,802 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr6} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{49,250 \times 1 \times 1} \\ &= 4,186 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr7} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{53,360 \times 1 \times 1} \\ &= 3,863 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr8} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{59,683 \times 1 \times 1} \\ &= 3,454 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr9} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{66,005 \times 1 \times 1} \\ &= 3,123 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fr10} &= \frac{\left(\frac{0,25 \times d^2 \times \pi \times fy}{1000}\right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\left(\frac{0,25 \times 25^2 \times \pi \times 130}{1000}\right)}{72,323 \times 1 \times 1} \\ &= 2,850 \end{aligned}$$

e. Menghitung angka keamana *nail* terhadap cabut tulangan

$$\begin{aligned} \text{Fp1} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Li}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\ &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 5,82}{17,637 \times 1 \times 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 13,476 \\
 \text{Fp2} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 5,58}{24,0233 \times 1 \times 1} \\
 &= 9,486 \\
 \text{Fp3} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 5,38}{30,346 \times 1 \times 1} \\
 &= 7,240 \\
 \text{Fp4} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 5,22}{36,605 \times 1 \times 1} \\
 &= 5,823 \\
 \text{Fp5} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 4,33}{42,928 \times 1 \times 1} \\
 &= 4,11 \\
 \text{Fp6} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 5,54}{49,250 \times 1 \times 1} \\
 &= 3,764 \\
 \text{Fp7} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 2,79}{53,360 \times 1 \times 1} \\
 &= 2,135 \\
 \text{Fp8} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 3,41}{59,683 \times 1 \times 1} \\
 &= 2,107 \\
 \text{Fp9} &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 3,41}{66,005 \times 1 \times 1} \\
 &= 2,109
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{p10} &= \frac{\pi \times q_u \times D_{dh} \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\
 &= \frac{\pi \times 130 \times 0,1 \times 3,79}{72,328 \times 1 \times 1} \\
 &= 2,140
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat semua hasil nilai keamanan *nail* terhadap cabut tulangan dan putus tulangan lebih dari 1,25 maka dianggap semua *nail* aman, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 5.17 dihalaman selanjutnya.

5.4.3 Rekapitulasi Perhitungan *Nail* 10⁰, 20⁰, dan 30⁰ Lereng Baru (2 Lapis) Terhadap Stabilitas Eksternal dan Internal

Perhitungan terhadap *nail* 20⁰ dan 30⁰ memiliki cara perhitungan yang sama. Dari hasil analisis yang telag dilakukan maka didapatkan hasil perhitungan seperti pada Tabel.22.

Tabel. 5.22 Rekapitulasi Nilai SF *Nail* 10⁰, 20⁰, dan 30⁰

Sudut <i>Nail</i>	SF Terhadap Keruntuhan Global	SF Terhadap Geser
10	2,135	2,255
20	2,076	2,507
30	2,035	2,249

Sedangkan untuk perhitungan terhadap keruntuhan global dapat dilihat pada Tabel 5.23, Tabel 5.24, dan Tabel 5.25.

Tabel 5.23 Rekapitulasi Perhitungan *Nail* 10⁰ Lereng 2 Lapis Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

<i>Nail</i>	Panjang <i>Nail</i>	σ_h	Fr	Fp	Keterangan
1	6	17,638	11,689	13,477	Aman
2	6	24,023	8,582	9,486	Aman
3	6	30,346	6,794	7,241	Aman
4	6	36,605	5,632	5,824	Aman

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Perhitungan Nail 10⁰ Lereng 2 Lapis Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

<i>Nail</i>	Panjang Nail	σ_h	Fr	Fp	Keterangan
5	6	42,928	4,803	4,119	Aman
6	4	49,251	4,186	3,765	Aman
7	4	53,360	3,864	2,135	Aman
8	4	59,683	3,454	2,108	Aman
9	4	66,006	3,123	2,110	Aman
10	4	72,328	2,850	2,140	Aman

Tabel 5.24 Rekapitulasi Perhitungan Nail 20⁰ Lereng 2 Lapis Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

<i>Nail</i>	Panjang Nail	σ_h	Fr	Fp	Keterangan
1	6	20,847	9,890	11,402	Aman
2	6	25,980	7,936	8,788	Aman
3	6	31,062	6,637	7,100	Aman
4	6	36,143	5,704	5,932	Aman
5	6	41,175	5,007	4,374	Aman
6	4	46,256	4,457	4,079	Aman
7	4	47,883	4,306	2,439	Aman
8	4	52,914	3,896	2,400	Aman
9	4	57,996	3,555	2,430	Aman
10	4	62,722	3,287	2,481	Aman

Tabel 5.25 Rekapitulasi Perhitungan Nail 30⁰ Lereng 2 Lapis Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

<i>Nail</i>	Panjang Nail	σ_h	Fr	Fp	Keterangan
1	6	25,522	8,078	9,313	Aman
2	6	30,503	6,759	7,485	Aman
3	6	35,483	5,810	6,215	Aman
4	6	40,361	5,108	5,322	Aman
5	6	45,392	4,542	3,995	Aman
6	4	50,373	4,093	3,770	Aman
7	4	50,271	4,101	2,348	Aman
8	4	55,251	3,731	2,343	Aman
9	4	60,181	3,426	2,362	Aman
10	4	65,110	3,166	2,396	Aman

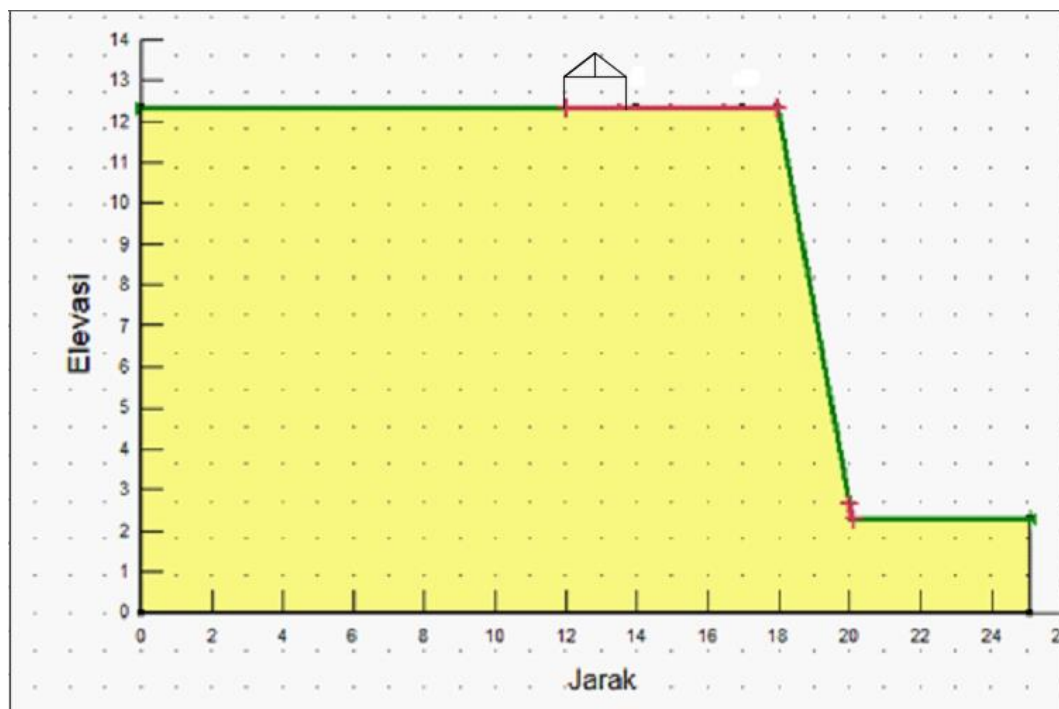
5.5 Analisis Lereng Eksisting dengan dengan Menggunakan Aplikasi *Geslope*

5.5.1 Analisis Lereng Eksisting Tanpa Perkuatan dengan Aplikasi *Geoslope*

Analisis lereng tanpa perkuatan dilakukan dengan aplikasi *geoslope* metode *bishop*. Analisis dilakukan dengan menggunakan pemodelan lereng yang sama seperti pada perhitungan manual. Data-data tanah dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan untuk pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.15 dibawah ini.

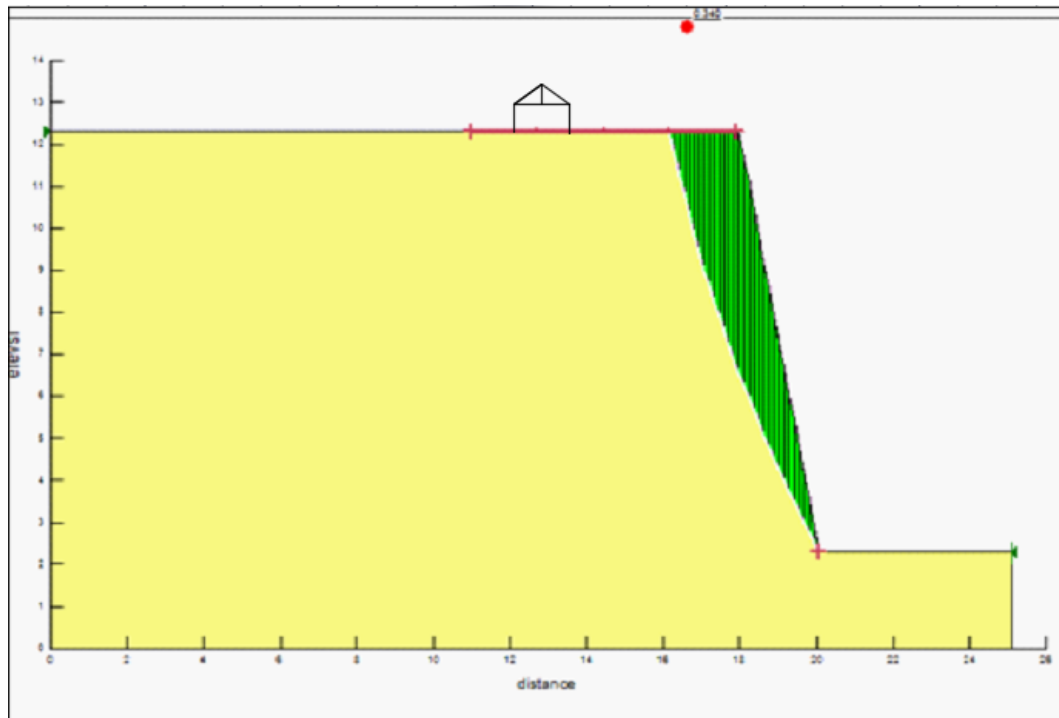
Tabel 5.26 Data Tanah Pada Lereng

No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m ³)	Parameter Geser	
			ϕ (°)	c (kN/m ²)
1	Lanau Berpasir	16,199	26,01	2,25



Gambar 5.15 Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan

Dari hasil pemodelan lereng diatas setelah dimasukan data-data tanah yang telah ada didapatkan hasil SF (*safety factor*) 0,340 lebih kecil dari 1,25, sehingga dianggap tidak aman dan perlu dilakukan perkuatan. Hasil yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.16 dihalaman selanjutnya.



Gambar 5.16 Hasil Analisis Metode *Bishop* dengan Aplikasi *Geoslope*

5.5.2 Analisis Lereng Eksisting dengan Perkuatan *Soil nailing* Menggunakan Aplikasi *Geoslope Nail 10⁰*

Analisis lereng dengan perkuatan *soil nailing* dilakukan dengan aplikasi *geoslope*, analisis ini dilakukan dengan bidang longsor kritis mengikuti dengan perhitungan manual. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan 2 variasi panjang *nail* sesuai dengan perhitungan manual yang telah dilakukan. Semua asumsi dan data disesuaikan dengan perhitungan manual. Berat q adalah $27,28 \text{ kN/m}^2$. Data-data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.27, dan 5.28.

Tabel 5.27 Data Penggunaan *Nail*

L <i>Nail</i> (m)	F _y <i>Nail</i> (MPa)	E baja (MPa)	Diameter (mm)	Diameter lubang Bor (m)	T (m)	jarak antar <i>nail</i> (m)	Q _u (ultimate bond strength) (kN/m ²)	i (^o)
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20

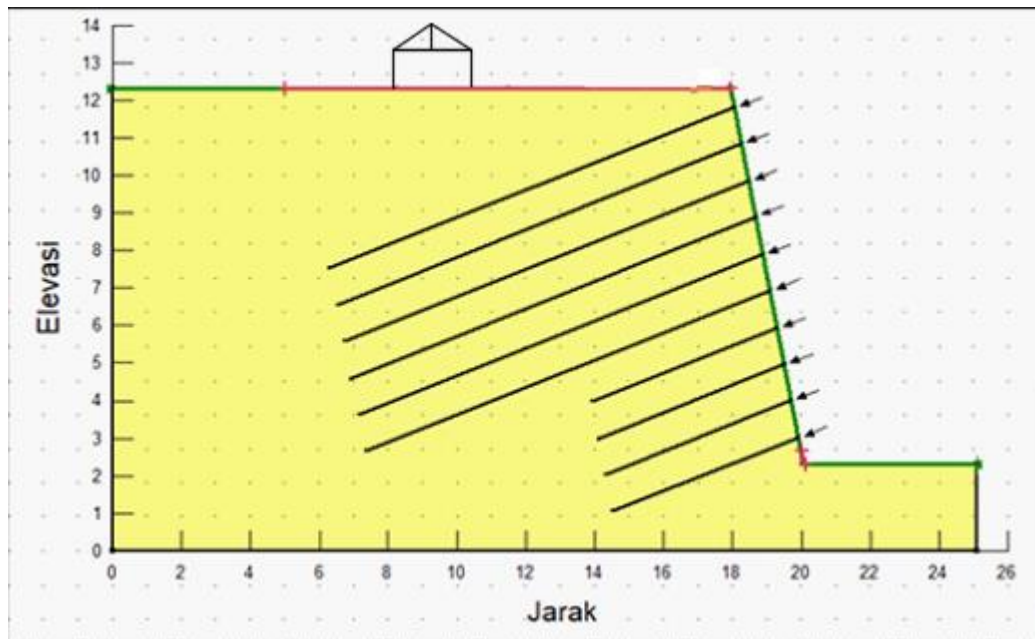
Lanjutan Tabel 5.27 Data Penggunaan Nail

L Nail (m)	Fy Nail (MPa)	E baja (MPa)	Diameter (mm)	Diameter lubang Bor (m)	T (m)	jarak antar nail (m)	Qu (ultimate bond strength) (kN/m ²)	i (°)
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20

Tabel 5.28 Data Tanah Pada Lereng

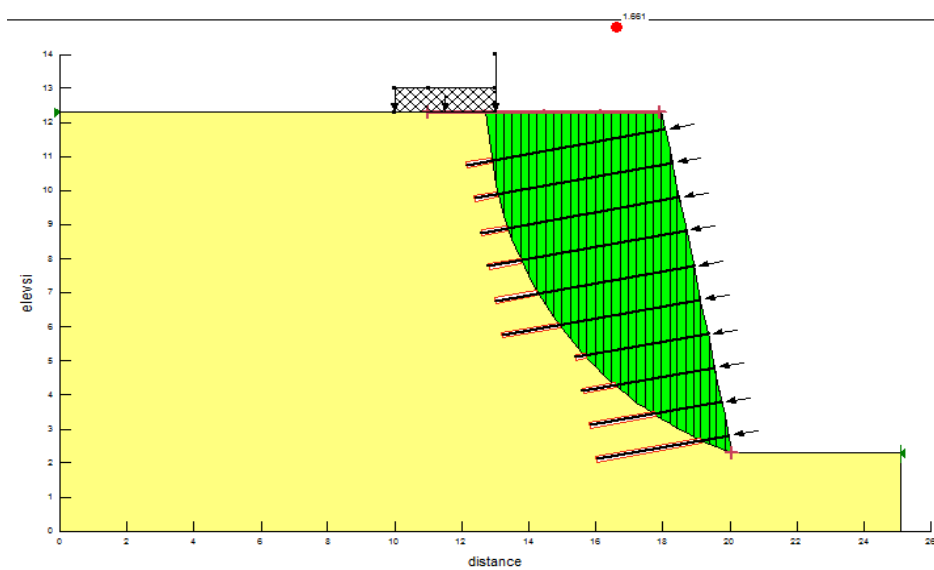
No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m ²)	Parameter Geser	
			ϕ (°)	c (kN/m ²)
1	Lantau Berpasir	16,199	26,01	2,25

Analisis dilakukan dengan meng-input semua data yang telah ditentukan dan dilakukan penggambaran *nail* yang dipasang pada lereng. Pada lereng dilakukan penggambaran beban merata yang berada di atas lereng dikarenakan adanya bangunan di atas lereng. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.17 dibawah ini.



Gambar 5.17 Pemodelan Lereng Eksisting dan Pemasangasangan *Nail* dengan sudut 10° Pada Aplikasi Geoslope

Dari analisis *soil nailing* dengan aplikasi geoslope didapatkan nilai SF sebesar 1,661 lebih besar daripada 1,25 sehingga dapat disimpulkan lereng aman dari kelongsoran. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.18 dibawah ini.



Gambar 5.18 Hasil Analisis lereng Eksisting dengan Perkuatan *Soil nailing* 10° Pada Aplikasi Geoslope

5.5.3 Rekapitulasi Analisis Perkuatan Lereng Eksisting dengan *Soil nailing* Menggunakan Aplikasi *Geslope Nail* 10⁰, 20⁰, dan 30⁰

Analisis lereng dengan perkuatan *nail* 20⁰ dan 30⁰ dilakukan sama seperti *nail* 10⁰ dengan karakteristik dan data yang sama., dari analisis tersebut didapatkan hasil perhitungan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.29 di bawah ini.

Tabel 5.29 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF Lereng Eksisting Dengan Menggunakan Aplikasi Geoslope

Sudut <i>Nail</i>	SF Terhadap Kerutuhan Global
10	1,661
20	1,797
30	1,619

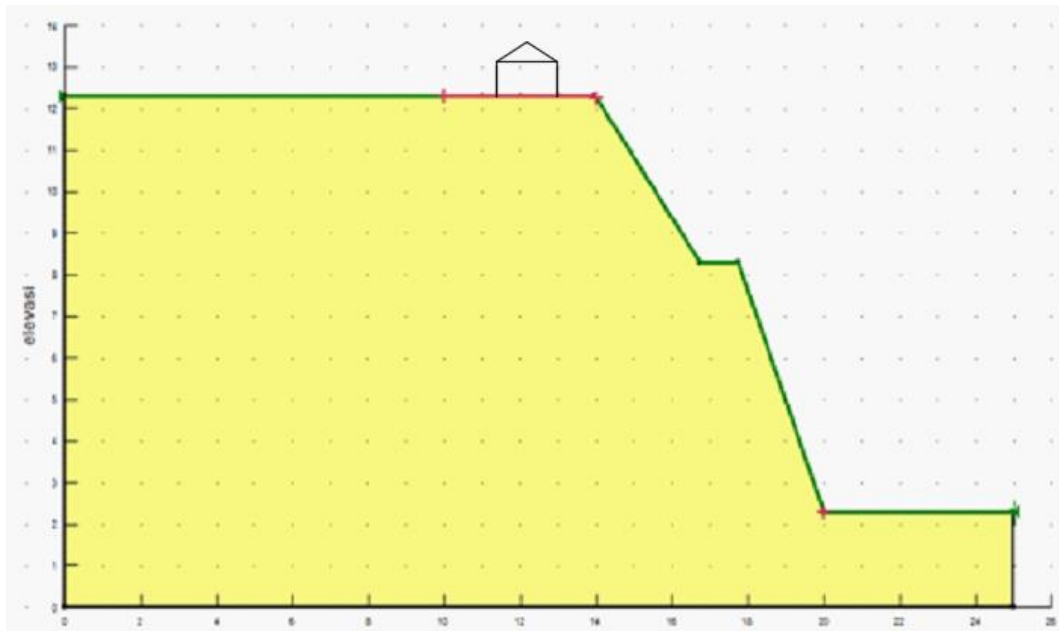
5.6 Analisis Lereng Baru (2 Lapis) dengan Menggunakan Aplikasi *Geslope*

5.6.1 Analisis Lereng Baru (2 Lapis) Tanpa Perkuatan Menggunakan Aplikasi Geoslope

Analisis lereng tanpa perkuatan dilakukan dengan aplikasi geoslope metode *bishop*. Analisis dilakukan dengan menggunakan pemodelan lereng yang sama seperti pada perhitungan manual dengan sudut lereng 69⁰ untuk lereng bawah dan 55⁰ untuk lereng atas Data-data tanah dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan untuk pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.19 dibawah ini.

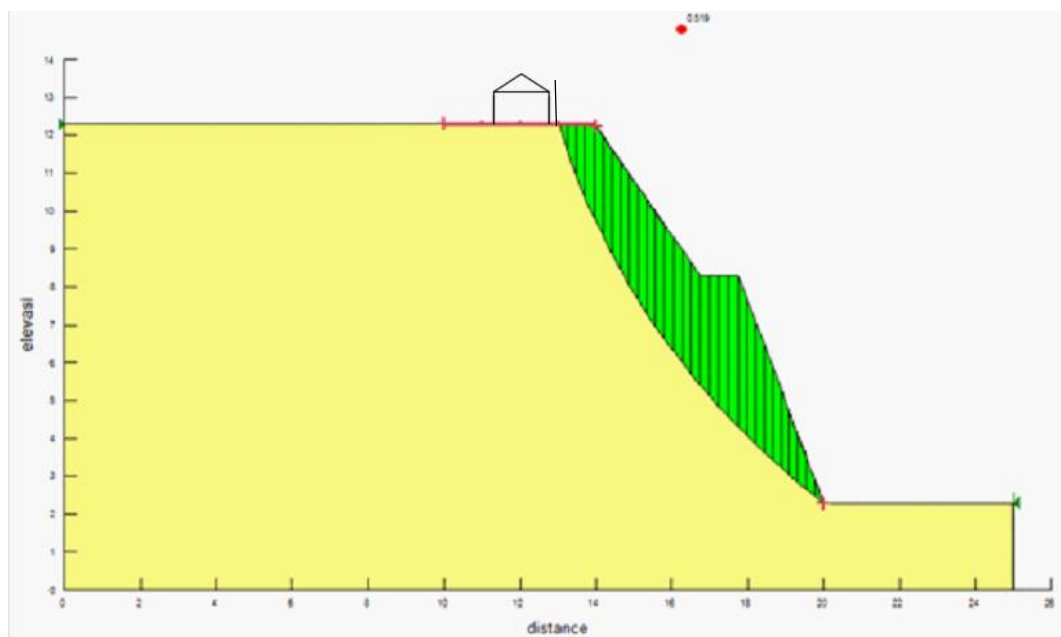
Tabel 5.30 Data Tanah Pada Lereng

No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m ³)	Parameter Geser	
			ϕ (°)	c (kN/m ²)
1	Lanau Berpasir	16,199	26,01	2,25



Gambar 5.19 Pemodelan Lereng 2 Lapis Tanpa Perkuatan

Dari hasil pemodelan lereng diatas setelah dimasukan data-data tanah yang telah ada didapatkan hasil SF (*safety factor*) 0,519 lebih kecil dari 1,25, sehingga dianggap tidak aman dan perlu dilakukan perkuatan. Hasil yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.20 dihalaman selanjutnya.



Gambar 5.20 Hasil Analisis Metode *Bishop* Lereng 2 Lapis dengan Aplikasi *Geoslope*

5.6.2 Analisis Lereng Baru (2 lapis) dengan Perkuatan *Soil nailing* Menggunakan Aplikasi *Gesolope Nail 10⁰*

Analisis lereng dengan perkuatan *soil nailing* dilakukan dengan aplikasi geoslope, analisis ini dilakukan dengan bidang longsor kritis mengikuti dengan perhitungan manual dan sudut lereng untuk bagian bawah 69^0 dan untuk lereng atas 55^0 . Analisis ini dilakukan dengan menggunakan 2 variasi panjang *nail* sesuai dengan perhitungan manual yang telah dilakukan. Semua asumsi dan data disesuaikan dengan perhitungan manual. Berat q adalah $27,28 \text{ kN/m}^2$. Data-data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.31, dan 5.32.

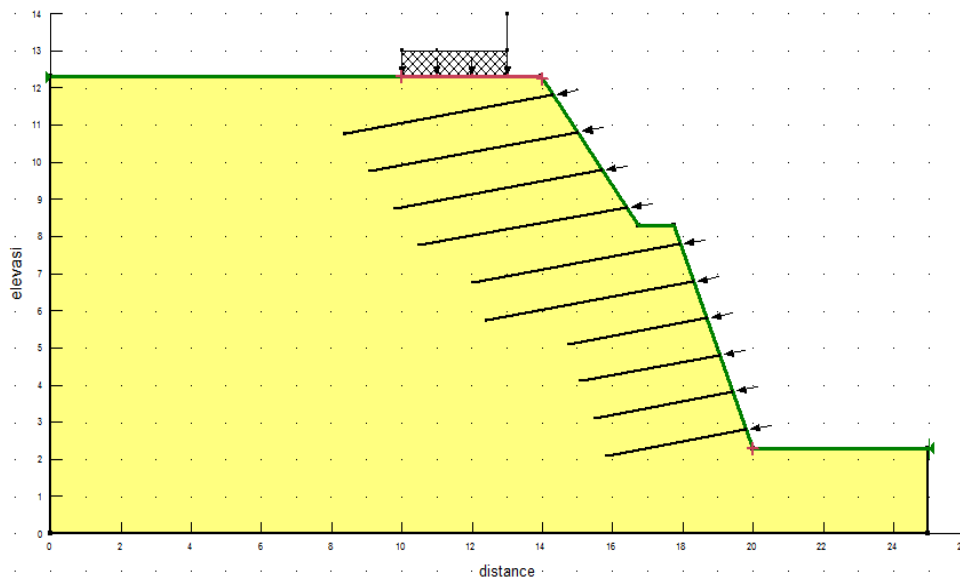
Tabel 5.31 Data Penggunaan Nail

L Nail (m)	Fy Nail (MPa)	E baja (MPa)	Diameter (mm)	Diameter lubang Bor (m)	T (m)	jarak antar nail (m)	Qu (ultimate bond strength) (kN/m ²)	i (°)
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
6	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20
4	420	210x10 ⁶	25	0,1	0,5	1	130	20

Tabel 5.32 Data Tanah Pada Lereng

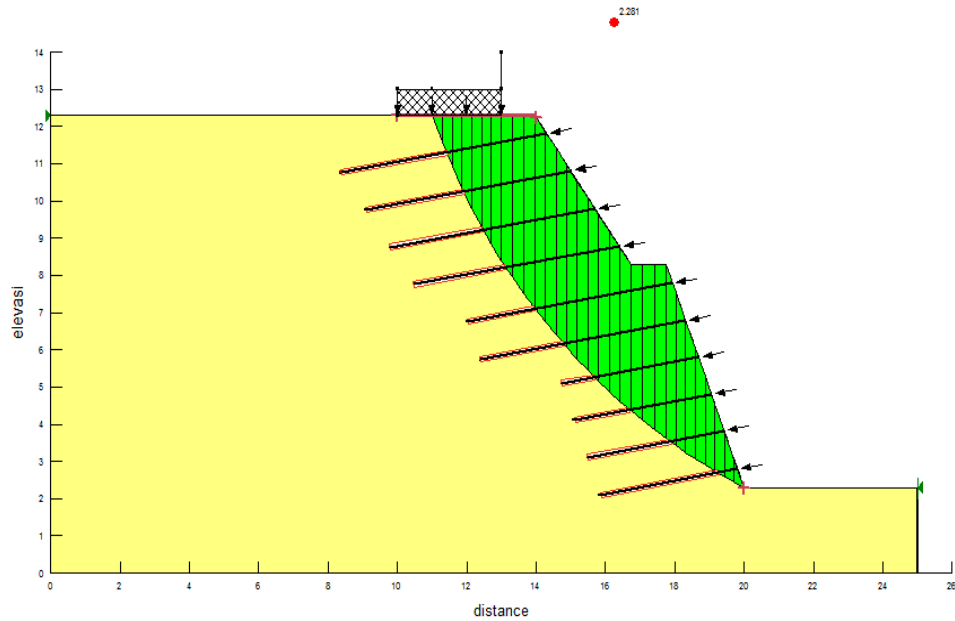
No	Jenis Tanah	Berat Volume tanah (kN/m ²)	Parameter Geser	
			ϕ (°)	c (kN/m ²)
1	Lanau Berpasir	16,199	26,01	2,25

Analisis dilakukan dengan meng-input semua data yang telah ditentukan dan dilakukan penggambaran *nail* yang dipasang pada lereng. Pada lereng dilakukan penggambaran beban merata yang berada di atas lereng dikarenakan adanya bangunan di atas lereng. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.21 dibawah ini.



Gambar 5.21 Pemodelan Lereng 2 Lapis dan Pemasangasangan *Nail* dengan sudut 10^0 Pada Aplikasi Geoslope

Dari analisis *soil nailing* dengan aplikasi geoslope didapatkan nilai SF sebesar 2,281 lebih besar daripada 1,25 sehingga dapat disimpulkan lereng aman dari kelongsoran. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.22 dibawah ini.



Gambar 5.22 Hasil Analisis lereng baru (2 Lapis) dengan Perkuatana *Soil nailing* 10⁰

5.6.3 Rekapitulasi Analisis Perkuatan Lereng 2 Lapis dengan Perkuatan *Soil nailing* Menggunakan Aplikasi *Geslope Nail* 10⁰, 20⁰, dan 30⁰

Analisis lereng 2 lapis dengan perkuatan *nail* 20⁰ dan 30⁰ dilakukan sama seperti *nail* 10⁰ dengan karakteristik dan data yang sama, dari analisis tersebut didapatkan hasil perhitungan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.33 di bawah ini.

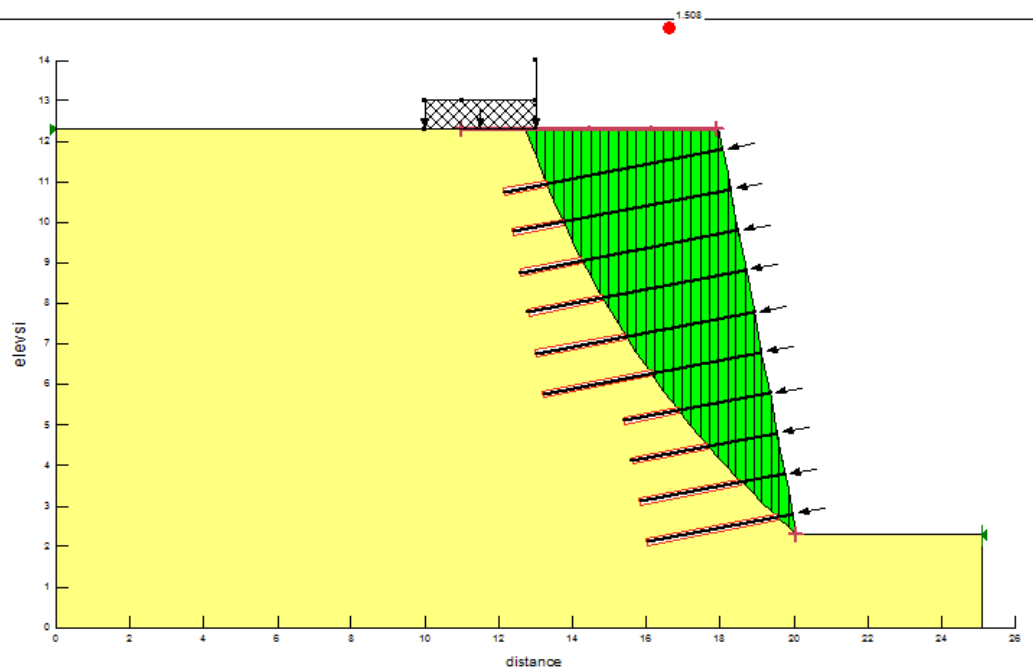
Tabel 5.33 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF Lereng 2 Lapis Dengan Menggunakan Aplikasi *Geoslope*

Sudut <i>Nail</i>	SF Terhadap Kerutuhan Global
10	2,529
20	2,435
30	2,358

5.7 Analisis Lereng dengan Beban Gempa

5.7.1 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting dengan Beban Gempa

Analisis ini dilakukan dengan menggunakan beban gempa yang sesuai dengan lokasi pada peta kegempaan gempa dengan nilai 0,3. Pada analisis lereng dengan perkuatan *nail* 10^0 didapatkan nilai 1,661 seperti pada Gambar 5.23 dibawah ini.



Gambar 5.23 Hasil Analisis Lereng eksisting perkuatan *Soil nailing* dengan Beban Gempa

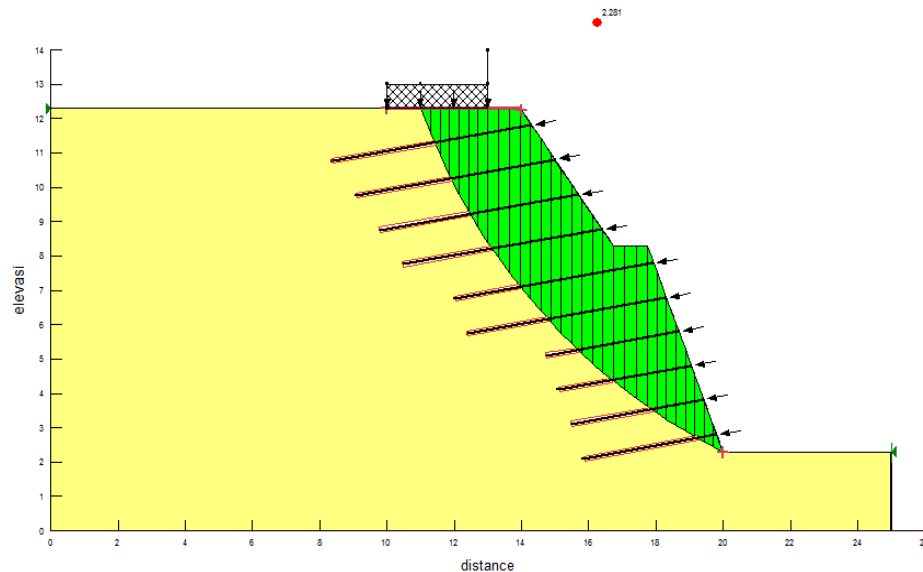
Analisis lereng dengan pemasangan *nail* 20^0 dan 30^0 dilakukan dengan cara yang sama maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.34 dibawah ini.

Tabel 5.34 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF Lereng Eksisting Dengan Beban Gempa Menggunakan Aplikasi Geoslope

Sudut <i>Nail</i>	SF Terhadap Kerutuhan Global
10	1,507
20	1,564
30	1,329

5.7.2 Analisis Stabilitas Lereng Baru (2 Lapis) dengan Beban Gempa

Analisis ini dilakukan dengan menggunakan beban gempa yang sesuai dengan lokasi pada peta kegempaan gempa dengan nilai 0,3. Pada analisis lereng dengan perkuatan *nail* 10^0 didapatkan nilai 1,661 seperti pada Gambar 5.24 dibawah ini.



Gambar 5.24 Hasil Analisis Lereng Baru (2 Lapis) Perkuatan *Soil Nailing* dengan Beban Gempa

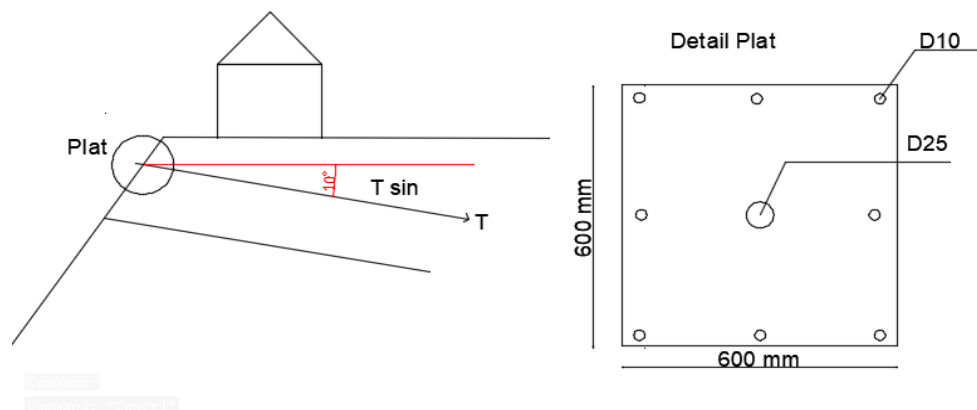
Analisis lereng dengan pemasangan *nail* 20^0 dan 30^0 dilakukan dengan cara yang sama maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.35 dibawah ini.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF Lereng 2 Lapis Dengan Beban Gempa Menggunakan Aplikasi Geoslope

Sudut <i>Nail</i>	SF Terhadap Kerutuhan Global
10	2,281
20	2,193
30	2,174

5.7.3 Perencanaan Plat dan Baut

Untuk prnggunaan baut digunakan mutu plat dan baut yang sama dengan mutu *nail* yaitu 420 Mpa. Dasar perhitungan didasari dari perhitungan nail. Baut digunakan diameter 10 mm^2 dengan mutu baja yang sama.



Gambar 5.25 Penempatan Plat Detail Plat

$$\sigma_h = N/A$$

$$\sigma_h = T \sin \theta / \sigma_h$$

$$A = \frac{226,587}{72,328}$$

$$A = 0,324 \text{ m}^2$$

$$A = 324094 \text{ mm}^2$$

$$A = 324094 - (10 \times 4)$$

$$A = 324034 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan luas penampang plat nail sebesar 600 x 600 mm².

5.8 Hasil dan Pembahasan

Analisis dilakukan di daerah Piyungan, Bantul, Yogyakarta. Lereng dianalisis dengan 2 metode analisis yaitu manual dan aplikasi geoslope serta 2 model lereng yaitu lereng eksisting dan lereng baru (2 lapis). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai SF dari lereng dengan perhitungan manual dan aplikasi. Analisis diawali dengan menggunakan metode manual untuk menghitung nilai stabilitas lereng asli. Analisis manual lereng asli dilakukan dengan metode *bishop*. Analisis yang dilakukan dengan metode manual mendapatkan nilai SF sebesar 0,377 untuk lereng eksisting dan 0,519 untuk lereng baru (2 lapis), sehingga lebih kecil daripada nilai ketentuan yang ada yaitu 1,25 (Tidak Aman). Analisis ke-2 dilakukan dengan menggunakan aplikasi *geoslope*. Analisis lereng asli yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi *geoslope* mendapat nilai yang hampir sama dengan metode

manual yaitu 0,340 untuk lereng eksisting dan 0,519 untuk lereng baru (2 lapis) sehingga lereng dianggap tidak aman, dan membutuhkan perkuatan lereng (metode *soil nailing*).

Perkuatan lereng dengan *soil nailing* dilakukan dengan 2 variasi panjang *nail* yang berbeda yaitu 6 m untuk *nail* 1 sampai 6 dan 4 m untuk *nail* 7 sampai 10, ini dilakukan untuk menghemat penggunaan *nail* yang digunakan dan karena adanya pengecilan bagian longsor kritis pada lereng. *Nail* yang digunakan pada perkuatan lereng diberikan spasi 1 m untuk vertikal dan 1 m untuk horisontal. Lereng yang dilakukan perkuatan memiliki variasi pemasangan *nail* yaitu 10^0 , 20^0 , dan 30^0 . Analisis ini dilakukan dengan dua metode yaitu manual dan aplikasi geoslope. Metode yang dilakukan dengan aplikasi dianalisis dengan ketentuan yang sama dengan metode manual. Analisis manual dilakukan dengan metode baji (*wedge*) dengan sudut kelongsoran sebesar 78^0 . SF yang didapatkan untuk keruntuhan global dari metode baji (*wedge*) yaitu untuk lereng eksisting 10^0 sebesar 1,569, 20^0 1,577, dan untuk 30^0 adalah 1,542, sedangkan untuk lereng 2 lapis didapatkan nilai untuk 10^0 sebesar 2,134, 20^0 2,05, dan untuk 30^0 adalah 2,018. Analisis dengan aplikasi hanya dapat mengitung SF dari kelongsoran global sehingga mendapatkan nilai SF untuk lereng eksisting sebesar 1,661 untuk 10^0 , 1,797 untuk 20^0 , dan 1,619 untuk 30^0 , sedangkan untuk lereng 2 lapis didapatkan nilai 2,529 untuk 10^0 , 2,435 untuk 20^0 , dan 2,358 untuk 30^0 . Pemasangan *nail* dengan sudut 20^0 pada lereng eksisting dan 10^0 pada lereng baru (2 lapis) memiliki nilai SF yang paling besar, dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa sudut tersebut merupakan sudut pemasangan paling efektif dikarenakan memiliki nilai SF yang paling besar. Perbedaan sudut efektif pada dua model lereng berbeda disebabkan oleh beberapa faktor yaitu geometri lereng dan jenis tanah yang berpengaruh pada sudut longsor kritis. Analisis stabilitas pada lereng terhadap cabut dan putus tulangan menggunakan metode manual mendapatkan nilai keamanan *nail* lebih dari 1,25 sehingga *nail* aman terhadap cabut dan putus tulangan. Untuk lebih jelas semua analisis dapat dilihat pada Tabel 5.36, 5.37, dan 5.37.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Perhitungan SF keruntuhan Global

Sudut Pemasangan Nail ($^{\circ}$)	Lereng Eksisting			Lereng bAru (2 Lapis)		
	SF Baji (<i>wedge</i>)	SF Geoslope	SF dengan Beban Gempa	SF Baji (<i>wedge</i>)	SF Geoslope	SF dengan Beban Gempa
10	1,569	1.661	1,507	2,134	2,529	2,281
20	1,577	1.797	1,564	2,059	2,435	2,193
30	1,542	1.619	1,329	2,018	2,358	2,174

Tabel 5.37 Reakapitulasi Perhitungan SF terhadap Gaya Geser dengan Metode Manual

Sudut pemasangan	10 ($^{\circ}$)	20 ($^{\circ}$)	30 ($^{\circ}$)
SF Lereng Eksisting	2,139	2,185	2,235
SF Lereng Baru 2 Lapis	2,254	2,583	2,314

