

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah data indeks properties. Data tersebut diperoleh dari uji langsung yang dilakukan di laboratorium. 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:

$$\gamma = 16,534 \text{ kN/m}^3,$$

$$\phi = 19,63^\circ, \text{ dan}$$

$$C = 7,8 \text{ kPa}$$

5.2 Analisis Stabilitas Lereng

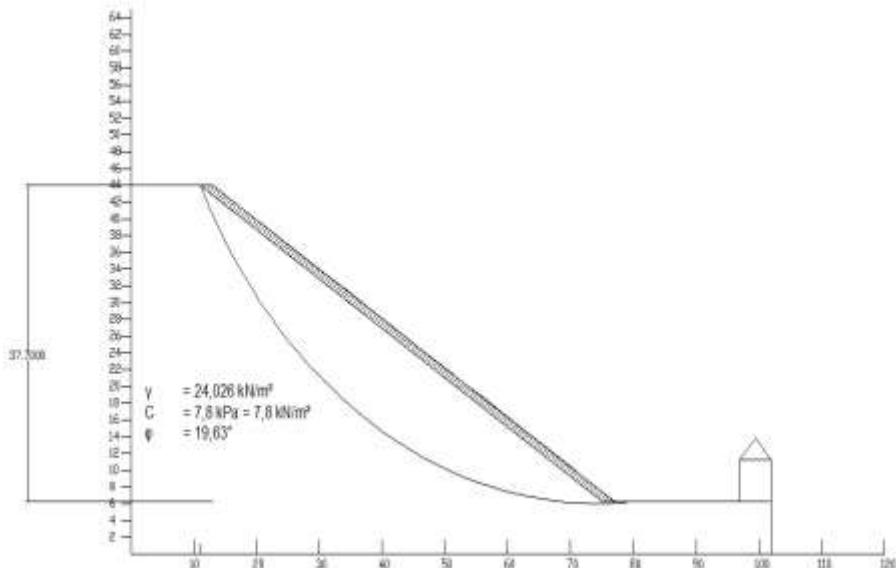
Analisis kestabilan lereng tanpa perkuatan lereng dilakukan pada stabilitas terhadap kelongsoran lereng. Dengan program *Geoslope* didapatkan bentuk bidang longsor kritis yang mungkin terjadi, kemudian kedua hasil perhitungan dibandingkan yakni antara perhitungan secara komputasi dengan program *Geoslope* dengan perhitungan manual dengan metode *Fellenius* dan *Taylor*. Untuk menganalisa suatu lereng, data-data diambil dari lapangan yang kemudian sampel tanah tersebut diteliti di laboratorium. Kemudian data tanah suatu lereng yang didapatkan setelah pengujian laboratorium digunakan dalam perhitungan. Berikut pemodelan lereng pada penelitian ini akan ditunjukkan pada Gambar 5.3 dan berikut data tanah dari hasil pengujian laboratorium :

$$\gamma = 16,534 \text{ kN/m}^3$$

$$H = 37 \text{ m}$$

$$\beta = 30^\circ$$

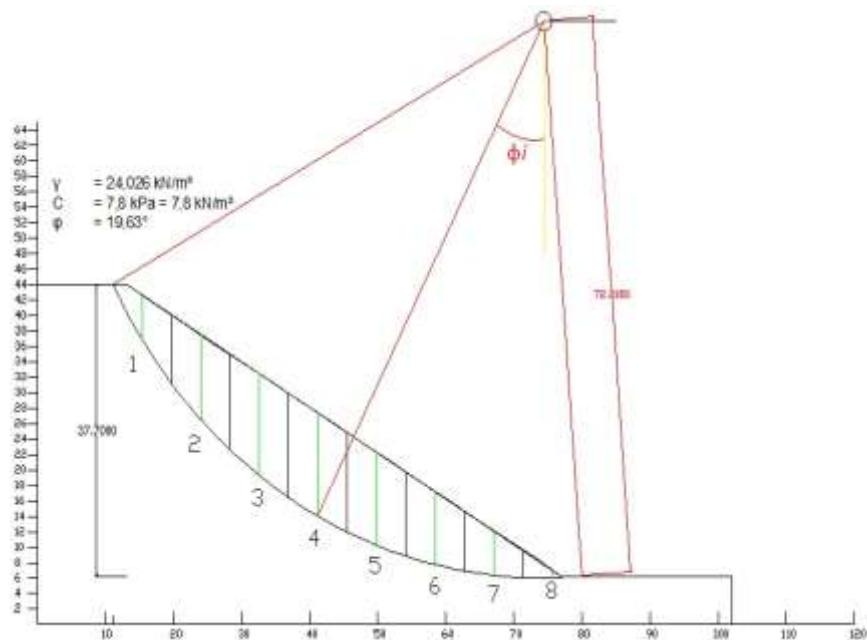
$$\varphi = 19,63^\circ \quad C = 7,8 \text{ kPa}$$



Gambar 5.1 Pemodelan Lereng

5.2.1 Analisis Lereng dengan Metode *Fellenius*

Berdasarkan dari data yang diperoleh melalui uji laboratorium, maka didapatkan ilustrasi gambar seperti pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.2 Metode *Fellenius*

1. Perhitungan manual dengan metode *Fellenius*

a. Perhitungan Berat Irisan Tanah

$$W1 = \gamma \times A1 = 16,534 \times 46,4095 = 767,3347 \text{ kN}$$

$$W2 = \gamma \times A2 = 16,534 \times 93,6197 = 1547,908 \text{ kN}$$

$$W3 = \gamma \times A3 = 16,534 \times 112,777 = 1864,668 \text{ kN}$$

$$W4 = \gamma \times A4 = 16,534 \times 114,672 = 1895,99 \text{ kN}$$

$$W5 = \gamma \times A5 = 16,534 \times 103,468 = 1710,74 \text{ kN}$$

$$W6 = \gamma \times A6 = 16,534 \times 81,326 = 1344,647 \text{ kN}$$

$$W7 = \gamma \times A7 = 16,534 \times 49,4196 = 817,1037 \text{ kN}$$

$$W8 = \gamma \times A8 = 16,534 \times 10,971 = 181,3962 \text{ kN}$$

b. Perhitungan Radians

$$\text{Rad1} = \theta \times \frac{r}{180} = 55^\circ \times \frac{3,14}{180} = 0,9594$$

c. Perhitungan Sin α

$$\text{Sin } \alpha_1 = \text{Sin } (\text{Rad1}) = \text{Sin } (0,9594) = 0,8189$$

d. Perhitungan Cos α

$$\text{Cos } \alpha_1 = \text{Cos } (\text{Rad1}) = \text{Cos } (0,9594) = 0,5739$$

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

$$Wt1 = Wt \times \sin \alpha = 767,3347 \times 0,8189 = 628,3495$$

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

$$Wt1 = Wt \times \cos \alpha = 767,3347 \times 0,5739 = 440,4309$$

Untuk lebih detailnya hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.8

Tabel 5.1 Perhitungan Metode *Fellenius*

No	Panjang Irisan	Luas Irisan	Sudut tiap Irisan	Radius n	Sin	Cos	Berat Irisan (Wt) (Luas*Y)	Wt*sin n	Wt*cos
	A	b	c	d	e	F	g	h	i
1	15,404	46,40	55	0,9594	0,818	0,573	767,334	628,34	440,43
2	12,164	93,61	44	0,7675	0,694	0,719	1547,9	1074,8	1113,89

Lanjutan Tabel 5.1 Perhitungan Metode *Fellenius*

No	Panjang Irisan	Luas Irisan	Sudut tiap Irisan	Radial n	Sin	Cos	Berat Irisan (Wt) (Luas*Y)	Wt*si n	Wt*cos
3	10,616	112,7	35	0,6105	0,573	0,819	1864,6	1069,1	1527,78
4	9,721	114,6	27	0,471	0,453	0,891	1895,99	860,35 7	1689,54
5	9,171	103,4	30	0,5233	0,499	0,866	1710,74	854,97 6	1481,77
6	8,838	81,33	13	0,2267	0,224	0,974	1344,64	302,33	1310,22
7	8,673	49,42	6	0,1046	0,104	0,994	817,103	85,36	812,632
8	8,627	10,97	-1	-0,017	-0,017	0,999	181,39	-3,164	181,368
Σ	83,218	612,6							8557,6

Nilai Faktor Keamanan :

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{\Sigma(c.L + \tan \theta \times W \cos \alpha)}{\Sigma W \sin \alpha} \\
 &= \frac{7,8 \times 83,2183 + 0,3570 \times 8557,635}{4872,107} \\
 &= 0,76
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang telah diperoleh, dengan menggunakan metode *Fellenius* didapatkan nilai faktor keamanan lereng = 0,76. Hal tersebut menunjukkan bahwa lereng dikategorikan dalam lereng tidak stabil (labil), yang artinya lereng tersebut rawan longsor. Agar nilai faktor keamanan lebih akurat, nilai akan dibandingkan dengan perhitungan nilai keamanan lereng dengan menggunakan metode Taylor.

5.2.2 Analisis Lereng dengan Metode Taylor (1948) dengan $\phi > 0$

1. Perhitungan manual dengan metode Taylor

- Mencari nilai $\frac{cd}{\gamma H}$ pada Gambar 3.5 dengan nilai $\beta = 30^\circ$ dan $\phi = 19,63^\circ$,

maka didapatkan nilai sebesar 0,25

- Menghitung nilai Cd

$$\begin{aligned}
 Cd &= \frac{cd}{\gamma H} \times \gamma \times H \\
 &= 0,025 \times 16,354 \times 37 \\
 &= 15,127 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

2) Menghitung nilai $F\phi$

$$\begin{aligned}
 F\phi &= \frac{\tan\phi}{\tan\phi_d} \\
 &= \frac{\tan(19,63)}{\tan(19,63)} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

3) Menghitung nilai F_c

$$\begin{aligned}
 F_c &= \frac{c}{cd} \\
 &= \frac{7,8}{15,127} \\
 &= 0,5156
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan faktor aman terhadap kuat geser, nilai faktor aman yang sama harus diberikan pada kedua komponen kohesi dan gesekan. Nilai faktor keamanan hasil perhitungan ($F_c = 0,5156$) berbeda dengan nilai $F\phi$, maka dengan cara *trial*, faktor aman terhadap kuat geser diperoleh pada saat $F\phi = F_c$. Hal ini dapat ditentukan dengan menggambarkan hubungan $F\phi$ terhadap F_c dan kemudian menggambarkan garis 45° . Satu titik kurva $F\phi = F_c$ telah dihitung, yaitu $F_c = 0,5156$ dan $F\phi = 1$. Dibutuhkan beberapa titik lagi untuk menggambarkan kurvanya. Pada penelitian ini proses *trial* dilakukan sebanyak 5 titik untuk menggambarkan kurvanya.

- b. *Trial* 1 menentukan sudut geser yang terbentuk ϕ_d , adalah sama dengan 15° . Mencari nilai $\frac{cd}{\gamma H}$ pada Gambar 3.5 dengan nilai $\beta = 30^\circ$ dan $\varphi = 15$, maka didapatkan nilai sebesar 0,046

1) Menghitung nilai C_d

$$Cd = \frac{cd}{\gamma H} \times \gamma \times H$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,046 \times 16,354 \times 37 \\
 &= 27,835 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

2) Menghitung nilai $F\phi$

$$\begin{aligned}
 F\phi &= \frac{\tan\phi}{\tan\phi d} \\
 &= \frac{\tan(19,63)}{\tan(15)} \\
 &= 1,331
 \end{aligned}$$

3) Menghitung nilai F_c

$$\begin{aligned}
 F_c &= \frac{c}{cd} \\
 &= \frac{7,8}{27,835} \\
 &= 0,2802
 \end{aligned}$$

- c. *Trial 2* menentukan sudut geser yang terbentuk ϕd , adalah sama dengan 10° . Mencari nilai $\frac{cd}{\gamma H}$ pada Gambar 3.5 dengan nilai $\beta = 30^\circ$ dan $\varphi = 10$, maka didapatkan nilai sebesar 0,075

1) Menghitung nilai C_d

$$\begin{aligned}
 C_d &= \frac{cd}{\gamma H} \times \gamma \times H \\
 &= 0,075 \times 16,354 \times 37 \\
 &= 45,382 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

2) Menghitung nilai $F\phi$

$$\begin{aligned}
 F\phi &= \frac{\tan\phi}{\tan\phi d} \\
 &= \frac{\tan(19,63)}{\tan(10)} \\
 &= 2,0228
 \end{aligned}$$

3) Menghitung nilai F_c

$$\begin{aligned}
 F_c &= \frac{c}{cd} \\
 &= \frac{7,8}{45,382} \\
 &= 0,1719
 \end{aligned}$$

- d. *Trial 3* menentukan sudut geser yang terbentuk ϕ_d , adalah sama dengan 5° . Mencari nilai $\frac{cd}{\gamma H}$ pada Gambar 3.5 dengan nilai $\beta = 30^\circ$ dan $\phi = 5$, maka didapatkan nilai sebesar 0,11

- 1) Menghitung nilai C_d

$$\begin{aligned} C_d &= \frac{cd}{\gamma H} \times \gamma \times H \\ &= 0,046 \times 16,354 \times 37 \\ &= 66,561 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung nilai F_ϕ

$$\begin{aligned} F_\phi &= \frac{\tan\phi}{\tan\phi_d} \\ &= \frac{\tan(19,63)}{\tan(5)} \\ &= 4,0768 \end{aligned}$$

- 3) Menghitung nilai F_c

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{c}{C_d} \\ &= \frac{7,8}{66,561} \\ &= 0,11719 \end{aligned}$$

- e. *Trial 4* menentukan sudut geser yang terbentuk ϕ_d , adalah sama dengan 25° . Mencari nilai $\frac{cd}{\gamma H}$ pada Gambar 3.5 dengan nilai $\beta = 30^\circ$ dan $\phi = 25$, maka didapatkan nilai sebesar 0,01

- 1) Menghitung nilai C_d

$$\begin{aligned} C_d &= \frac{cd}{\gamma H} \times \gamma \times H \\ &= 0,046 \times 16,354 \times 37 \\ &= 6,051 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung nilai F_ϕ

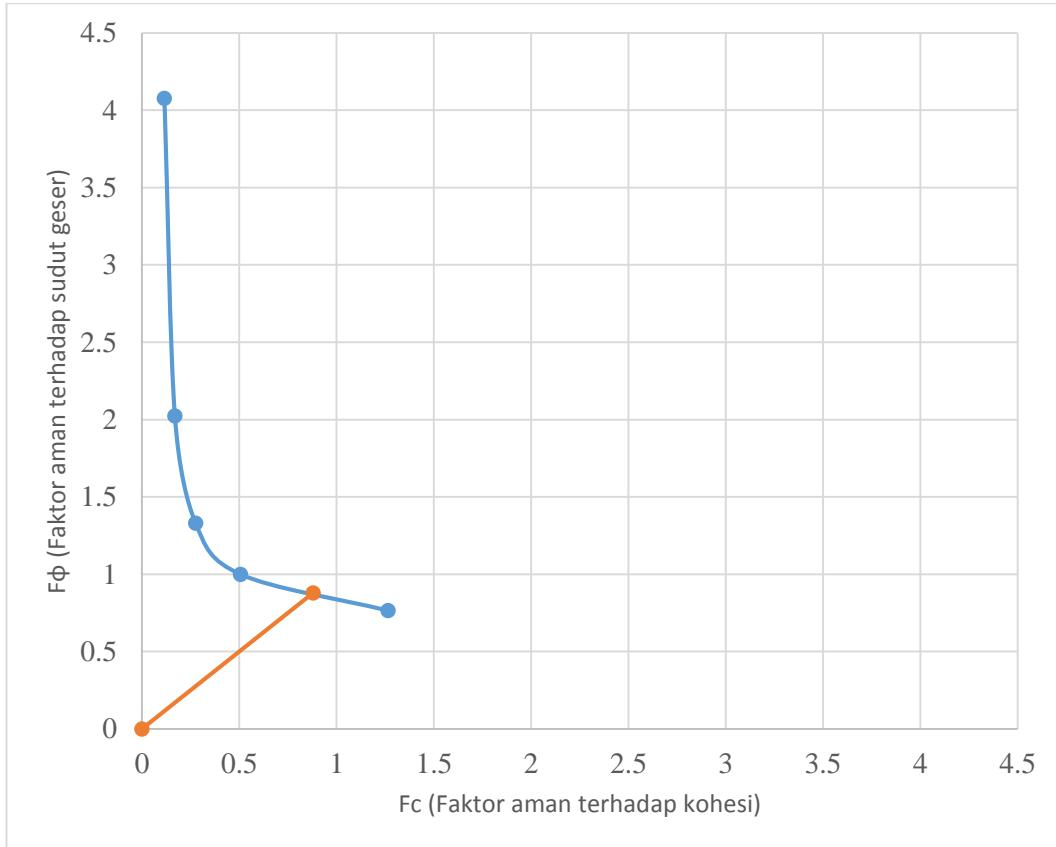
$$F_\phi = \frac{\tan\phi}{\tan\phi_d}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\tan(19,63)}{\tan(25)} \\
 &= 0,7649
 \end{aligned}$$

3) Menghitung nilai Fc

$$\begin{aligned}
 Fc &= \frac{C}{Cd} \\
 &= \frac{7,8}{6,051} \\
 &= 1,289
 \end{aligned}$$

Berikut adalah kurva yang ditarik melalui kelima titik-titik tersebut di atas (Gambar 5.5). Dari garis 45° yang ditarik dari titik 0, diperoleh faktor aman terhadap kuat gesernya, yaitu $F = 0,88$

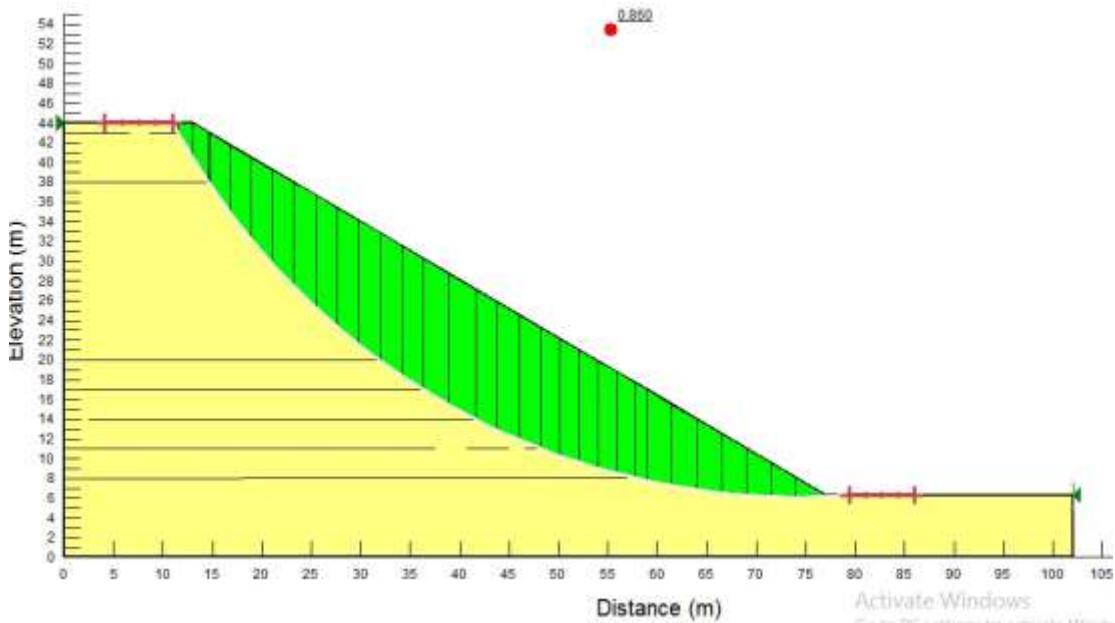


Gambar 5.3 Diagram 45°

5.2.3 Analisis Lereng dengan Program *Geoslope*

Selain dilakukan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* dan Taylor, dilakukan juga perhitungan menggunakan SLOPE/W 2012 untuk

mengevaluasi hasil perhitungan secara manual dan program komputer. Setelah dilakukan running, maka untuk melihat bagian project yang kritis terhadap sliding ditunjukkan seperti pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.4 Output SLOPE/W 2012 Tanpa Perkuatan

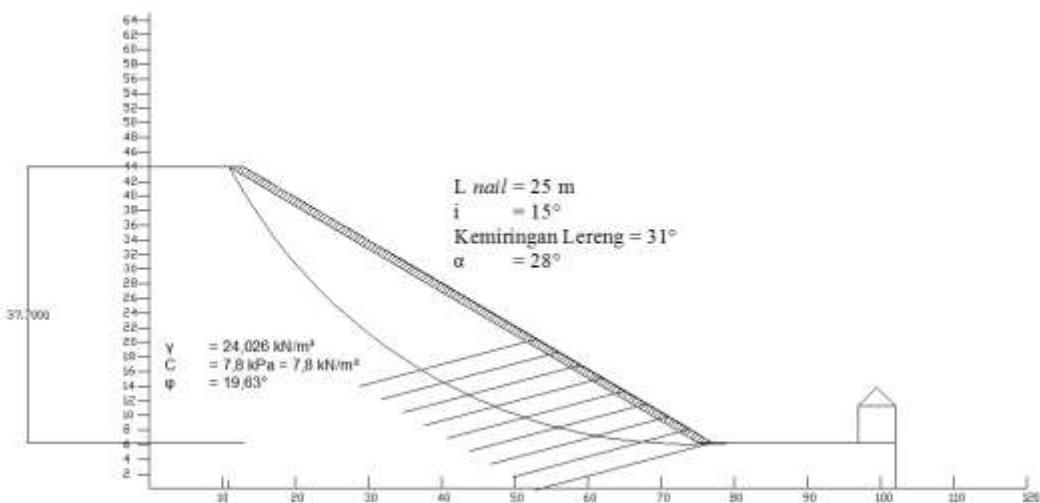
Dari hasil perhitungan dengan *SLOPE/W* 2012 didapatkan bentuk bidang longsor pada lereng dengan kemiringan 30° , yang kemudian titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan titik *entry and exit* pada perhitungan selanjutnya. Nilai faktor keamanan yang diperoleh sebesar $F = 0,860$ yang nilainya tidak berbeda jauh dengan menggunakan metode *Fellenius* dan metode *Taylor*. Dari ketiga perhitungan tersebut berdasarkan faktor keamanan kondisi lereng tidak stabil dimana nilai F kurang dari 1 sehingga diperlukan kembali perencanaan perkuatan kestabilan lereng.

5.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan

5.3.1 Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Keruntuhan Global Lereng

Analisis kestabilan lereng dengan perkuatan lereng dilakukan pada stabilitas terhadap keruntuhan global lereng. Dengan bantuan program *Geoslope* didapatkan

bidang gelincir kritis yang mungkin terjadi, titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan titik *entry and exit* pada analisis stabilitas lereng dengan perkuatan. Kemudian kedua perhitungan dibandingkan yaitu perhitungan secara komputasi menggunakan program *Geoslope* dengan perhitungan manual menggunakan metode baji (*wedge*). Penentuan sudut bidang longsor α selalu sama agar dapat terlihat hasil apakah variasi kemiringan *nail* (i) dan jarak antar nail berpengaruh pada nilai keamanan (SF) ataukah tidak. Gambar 5.7 menunjukkan sketsa lereng dengan perkuatan terhadap keruntuhan global.



Gambar 5.5 Sketsa Lereng dengan Perkuatan terhadap Keruntuhan Global, Kemiringan Nail 15° , dan jarak antar Nail 2 m

Kemiringan bidang longsor kritis dalam kasus ini dihitung dengan *trial and error* dan menghasilkan nilai sebesar $\alpha = 28^\circ$ untuk sudut kemiringan (β) = 30° dan kemiringan *nail* (i) = 15° .

W = berat massa tanah yang longsor

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times [\tan(90-\alpha) - \tan(90-\beta)] \\ &= \frac{1}{2} \times 16,534 \times 37^2 \times [\tan(90-28) - \tan(90-31)] \\ &= 2449,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

L_f = panjang bidang longsor

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

$$= \frac{37,7}{\sin 30^\circ} \\ = 75,4 \text{ m}$$

1. Hitung daya dukung tarik tulangan

$$R_n = F_y \times A_s \text{ tulangan} \\ = 520 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 43^2 \\ = 755144,6 \text{ kN}$$

$$R_c = 0,5 \times R_n \\ = 0,5 \times 755144,6 \text{ kN} \\ = 377572,3 \text{ kN}$$

2. Gaya geser ijin tulangan

$$V_n = \frac{R_n}{2\sqrt{1+4\tan^2(90-(\alpha+i))}} \\ = \frac{755144,6}{2\sqrt{1+4\tan^2(90-(28+15))}} \\ = 159554,9 \text{ kN}$$

3. Gaya tarik ijin tulangan

$$T = 4 \times V \times \tan(90-(\alpha+i)) \\ = 4 \times 159554,9 \times \tan(90-(28+15)) \\ = 684406,6 \text{ kN}$$

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 3.23 Grafik Korelasi.

a. Menghitung nilai P_u

$$P_u = (c_1 \times H + c_2 D) \times \gamma \times H \\ = (0,8 \times 37 + 1,8 \times 0,043) \times 16,534 \times 37 \\ = 50998,38 \text{ kN}$$

$$P_u = c_3 \times D \times \gamma \times Z \\ = 9 \times 0,043 \times 16,534 \times 37 \\ = 486,298 \text{ kN}$$

Diambil P_u terkecil = 486,298 kN

$$P_p = P_u/2$$

$$= 486,298/2$$

$$= 243,149 \text{ kN}$$

$$L_o = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K_s D}} = \sqrt[4]{\frac{4 \times 20000000 \times 1,6782 \times 10^{-7}}{46000 \times 0,043}} = 0,51042 \text{ m}$$

Persamaan diatas meneggunakan parameter-parameter sebagai berikut :

$$E = \text{modulus elastisitas baja} = 2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$$

$$I = \text{momen inersia penampang nail bar}$$

$$= \frac{\pi r^4}{64} = \frac{\pi \times 0,043^4}{64} = 1,6782 \times 10^{-7}$$

$$D = 0,043$$

$$K_s = 46000 \text{ (dari Tabel 3.2)}$$

$$V_s = P_p \times \frac{D}{2} L_o = 243,149 \times \frac{0,043}{2} \times 0,51042$$

$$= 2,66832 \text{ kN} < V_n = 159554,9 \text{ kN}$$

Karena $V_s < V_n$, maka gaya geser ijin global (V_{max}) yang digunakan sebesar 2,66832 kN. Adanya pembatasan gaya geser ijin maka gaya tarik ijin dari *nail bars* harus dikoreksi menjadi sebagai berikut :

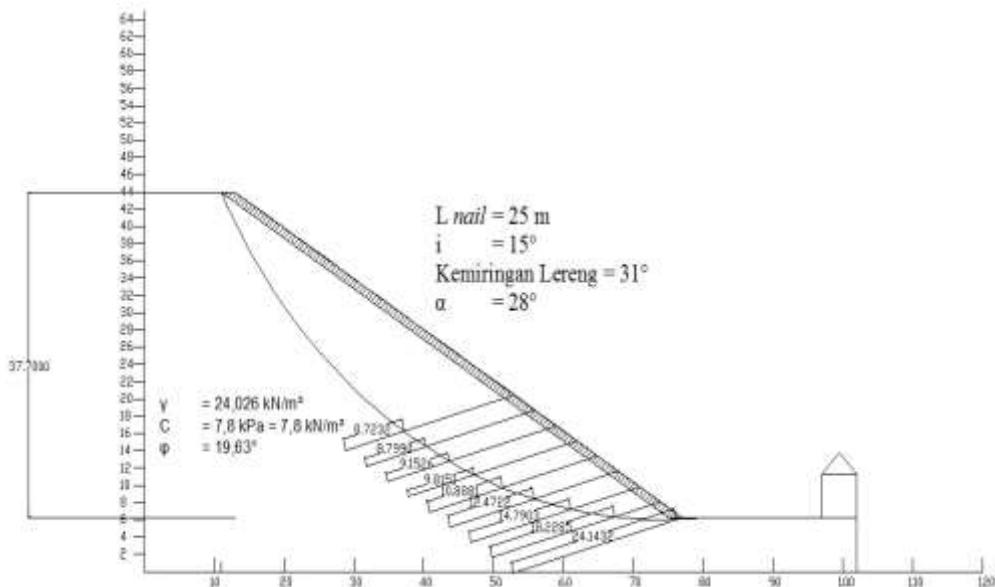
$$\frac{V_{max}^2}{R_c^2} + \frac{T_{max}^2}{R_n^2} = 1$$

$$\frac{2,66832^2}{377572,3^2} + \frac{T_{max}^2}{755144,6^2} = 1$$

$$\text{Maka } T_{max} = 755137,5062 \text{ kN}$$

b. Menghitung panjang L_e

Nilai L_e didapatkan dengan bantuan program *Autocad* 2007 dengan mengukur panjang *nail* yang berada dibelakang garis bidang longsor planar. Berikut Gambar 5.8 pemodelan menghitung panjang nail pada lereng.



Gambar 5.6 Menghitung Panjang Le

Misal perhitungan untuk *nail* ke-1

FS = faktor keamanan, untuk perhitungan pertama diasumsikan faktor keamanan = 2,0 dengan cara coba-coba maka didapatkan nilai SF yang konvergen sebesar SF = 1,6 > 1,5 (Aman)

fmax = 100 (didapat dari Tabel 3.3) untuk *nail* ke-1

$$\begin{aligned}
 T1 &= \frac{\pi D L f_{max}}{SF} \\
 &= \frac{3,14 \times 0,043 \times 8,7232 \times 100}{2} \\
 &= 73,613 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama seperti diatas maka penulis mencoba merangkum semua dalam Tabel 5.9 sebagai berikut :

Tabel 5.2 Perhitungan Manual Le, T dan V

No. Nail	Hi (m)	Le (m)	T (kN)	V (kN)
1	14,1601	8,7232	73,613	1,2990
2	12,3900	8,799	74,253	1,2990
‘	10,600	9,1526	77,237	1,2990
4	8,8600	10,8881	82,827	1,2990
5	7,0800	12,4722	91,882	1,2990
6	5,330	14,7903	105,25	1,2990
7	3,5600	14,7903	14,81	1,2990
8	1,800	18,2285	153,83	1,2990
9	0	24,1432	203,74	1,2990
TOTAL			987,44	11,6914

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

$$\Sigma T_i = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_t}{S_H} = \frac{987,44}{2} = 493,72 \text{ kN/m}$$

S_H = 2 meter = spasi horizontal (tegak lurus bidang)

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

$$\Sigma V_i = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_t}{S_H} = \frac{11,6914}{2} = 5,8458 \text{ kN/m}$$

3. Menghitung Faktor Keamanan

$$F_s = \frac{c \cdot L_f + W \cos \alpha \cdot \tan \alpha + (\Sigma T_i \sin(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)) \tan \varphi}{W \sin \alpha - \Sigma T_i \cos(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)}$$

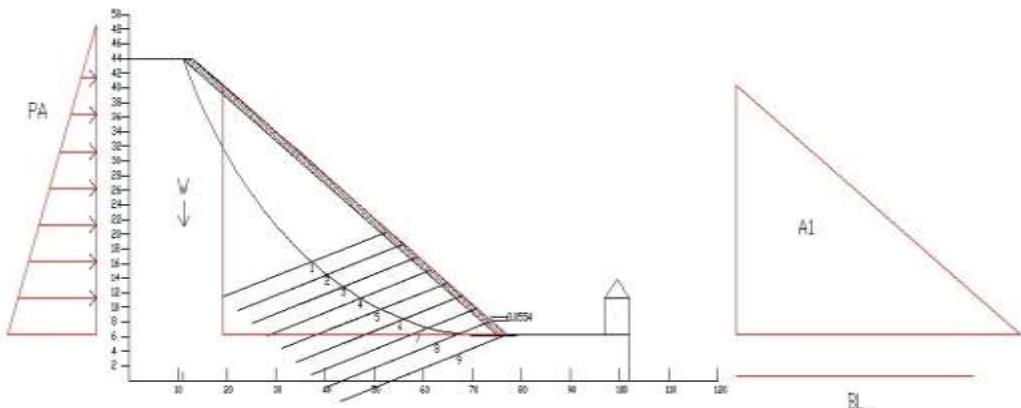
$$F_s = \frac{7,8 \times 75,4x 2449,6 \cos 30 \tan 19,63 (493,72 \sin(45) - 5,8458 \cos(45)) \tan 19,63}{2449,6 \sin 30 - 493,72 \cos 45 - 5,8458}$$

$$F_s = 1,6$$

Berdasarkan nilai FS yang diperoleh, maka disimpulkan bahwa harus dilakukan perhitungan ulang dengan nilai asumsi faktor keamanan yang berbeda. Hal ini terjadi karena nilai faktor keamanan hasil perhitungan berbeda dengan nilai faktor keamanan yang diasumsikan di awal perhitungan (FS = 2,0). Dalam penelitian ini penulis melakukan proses *trial* menggunakan *MS Excel*, dan memberikan nilai faktor keamanan yang konvergen sebesar (FS = 1,6 > 1,5, Aman).

5.3.2 Analisis Stabilitas Terhadap Gaya Geser

Stabilitas terhadap gaya geser dimodelkan pada Gambar 5.9



Gambar 5.7 Pemodelan Lereng Terhadap Gaya Geser

1. Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif dan pengaruh kohesi

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 (45 - \frac{\phi}{2}) \\ &= \tan^2 (45 - \frac{19,63}{2}) \\ &= 0,4971 \end{aligned}$$

2. Menghitung tekanan tanah aktif total di belakang zona perkuatan

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{\gamma \times H^2}{2} \times K_a \\ &= \frac{16,534 \times 37,7^2}{2} \times 0,4217 \\ &= 5840,45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

3. Pengaruh adanya kohesi

$$\begin{aligned} \text{Lapis 1} &= -2 \times c \sqrt{K_a} \\ &= -2 \times c \sqrt{0,4971} \\ &= -11 \end{aligned}$$

4. Faktor aman terhadap penggeseran

$$\begin{aligned} W &= \text{Luas} \times \gamma \\ &= 683,88 \times 16,534 \\ &= 11306 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{c \times BL + (W+Q+PA \sin\phi) \tan\phi}{PA \cos\phi} \\
 &= \frac{7,8 \times 48 + (11306+0+5840,45 \sin 19,63) \tan 19,63}{5840,45 \cos 19,63} \\
 &= 2,2508
 \end{aligned}$$

5.3.3 Analisis Stabilitas Internal Terhadap Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

Pada perkuatan pertama *nail* no.1

Panjang *nail* = 25 m

Jarak vertikal antar *nail* = 2 m

1. Menghitung panjang yang berada di belakang garis longsor.

$$Le1 = 8,7232 \text{ m}$$

$$Le2 = 8,799 \text{ m}$$

$$Le3 = 9,1526 \text{ m}$$

$$Le4 = 9,8151 \text{ m}$$

$$Le5 = 10,8881 \text{ m}$$

$$Le6 = 12,4722 \text{ m}$$

$$Le7 = 14,7903 \text{ m}$$

$$Le8 = 18,2285 \text{ m}$$

$$Le9 = 24,1432 \text{ m}$$

2. Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif.

$$\begin{aligned}
 Ka &= \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2}) \\
 &= \tan^2 (45^\circ - \frac{19,63}{2}) \\
 &= 0,4971
 \end{aligned}$$

3. Menghitung tegangan horizontal

$$\begin{aligned}
 \sigma_h &= (2 \times c\sqrt{Ka}) + (Ka \times \gamma \times z) \\
 &= (2 \times 7,8\sqrt{0,4971}) + (0,4971 \times 16,534 \times 30) \\
 &= 235,56
 \end{aligned}$$

4. Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan

$$Fr = \frac{(0,25 \times \pi \times d^2 \times f_y)}{\sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(0,25 \times \pi \times 0,43^2 \times 520)}{1000} \\
 &= \frac{235,56}{235,56 \times 2 \times 1} \\
 &= 1,6021
 \end{aligned}$$

5. Menghitung angka keamanan terhadap cabut tulangan

$$\begin{aligned}
 F_p &= \frac{\pi \times q_u \times D_d h \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \\
 &= \frac{\pi \times 100 \times 0,3 \times 8,7232}{235,56 \times 2 \times 1} \\
 &= 2,4419
 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya perhitungan stabilitas terhadap putus tulangan dan cabut tulangan pada lereng dapat dilihat pada Tabel 5.10

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Stabilitas Internal

No Kedalaman	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ka	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Le	8.72	8.79	9.15	9.81	10.88	12.47	14.79	18.22	24.14
σ_h	235.5 5	243.77	264.89	279.11	293.90	307.88	321.85	336.64	350.61
Fr	1.60	1.54	1.42	1.35	1.28	1.22	1.17	1.12	1.07
F _p	1.74	1.70	1.74	1.65	1.74	1.90	2.16	2.55	3.24

Berdasarkan perhitungan analisis diatas yang telah diperkuat dengan *soil nailing*, diperoleh nilai angka keamanan terhadap putus tulangan tidak aman. Maka harus dilakukan pemodelan lereng ulang dengan memberi variasi jarak nail agar angka keamanan terhadap putus tulangan menjadi aman.

5.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program *Geoslope* dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Berdasarkan analisis lereng menggunakan metode perhitungan *Fellenius* dan Taylor (1948) serta Program *Geoslope*, didapatkan hasil nilai faktor keamanan lereng yang terkategorikan tidak stabil (labil) atau dengan kata lain rawan longsor. Oleh karenanya untuk meminimalisir terjadinya bencana kelongsoran pada lereng tersebut, diperlukan perencanaan terhadap suatu lereng. Salah satunya adalah dengan perkuatan *Soil Nailing*.

Soil Nailing merupakan salah satu alternatif teknik perkuatan yang digunakan untuk meningkatkan kestabilan dari lereng, tembok penahan dan galian-galian pada suatu lereng tanah alami yang tidak stabil (labil), dengan cara memperkecil gaya penggerak atau momen penyebab longsor. Berikut adalah analisis menggunakan perkuatan soil nailing dengan *Geoslope*.

Data Konstruksi *Soil Nailing* :

$$\text{Diameter baja ulir} = 0,043 \text{ m}$$

$$\text{Diameter injeksi semen} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Jarak Vertikal nail} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Nail} = 25 \text{ m}$$

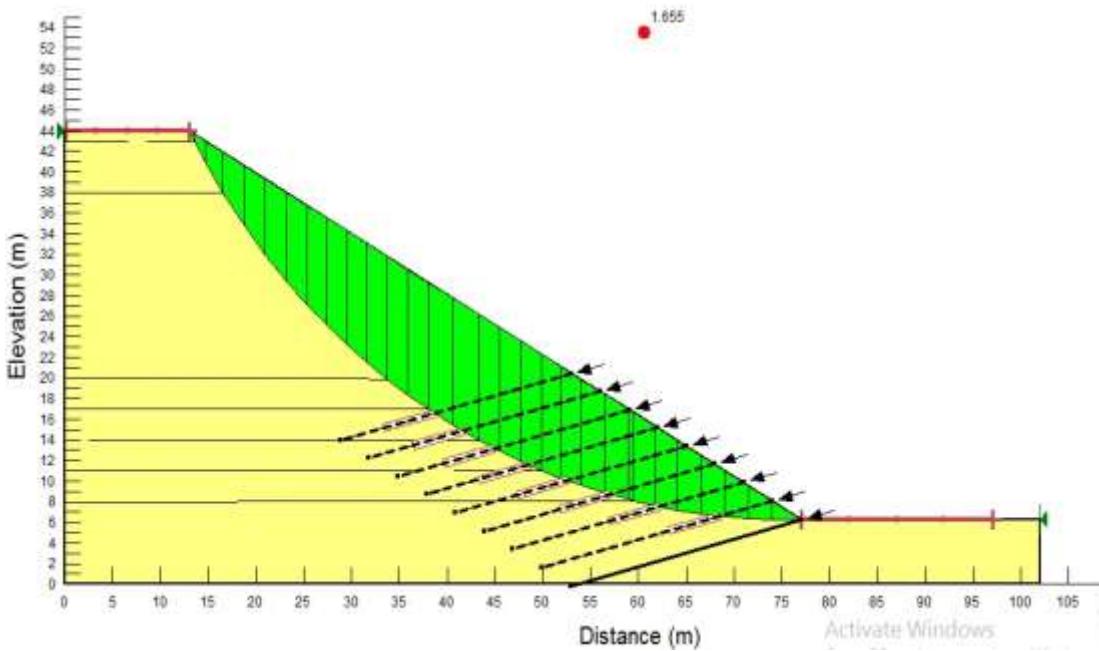
$$\text{Sudut horizontal nail} = 15^\circ$$

Bar capacity

$$\begin{aligned} RT &= \frac{\pi d^2 f_y}{4} \\ &= \frac{3,14 \cdot 0,043^2 \cdot 520 \cdot 0,001}{4} \\ &= 726 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bond skin friction

Kondisi tanah yang merupakan *Silty Clay* maka nilai dari *Bond Skin Friction* yang digunakan adalah 100 kPa.

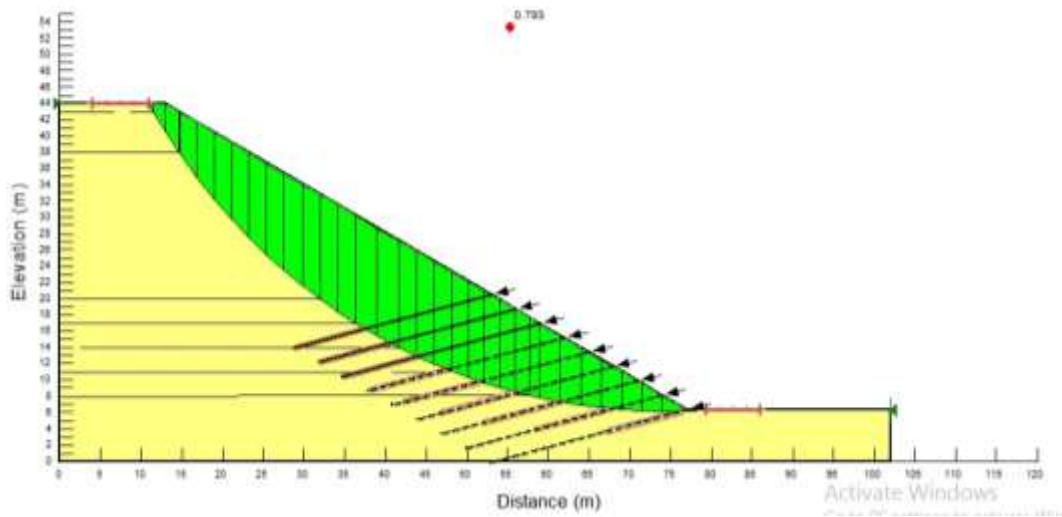


Gambar 5.8 Output SLOPE/W 2012 Dengan Perkuatan

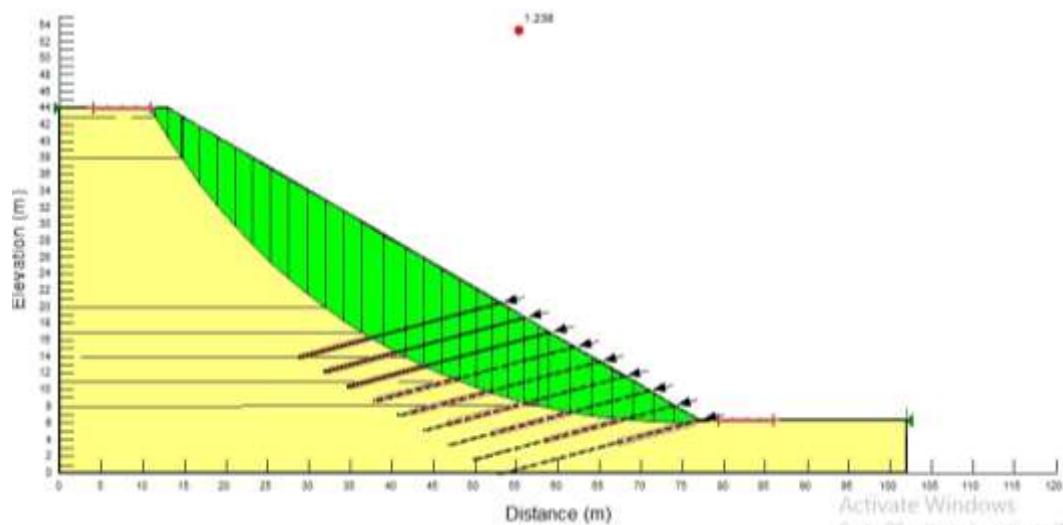
Dari hasil analisa kestabilan lereng yang telah diperkuat *soil nailing*, diperoleh nilai angka 1,655 yang sebelum diperkuat konstruksi tersebut sebelumnya hanya senilai 0,76 , 0,88 , dan 0,860 dengan analisa menggunakan metode *Fellenius*, *Taylor*, dan *Geoslope*. Angka tersebut menunjukan lereng telah stabil dengan ditinjau dari faktor keamanan (*F*) yang dihubungkan dari intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989).

5.5 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan *Geoslope* dengan Beban Gempa

Analisis perkuatan lereng dengan menggunakan metode *soil nailing* adalah untuk meningkatkan nilai *Safety Factor* pada lereng yang longsor. Analisis menggunakan program *Geoslope* pada lereng yang diperkuat dengan memperhitungkan beban gempa. Berikut pemodelan *Geoslope* dengan beban gempa dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12

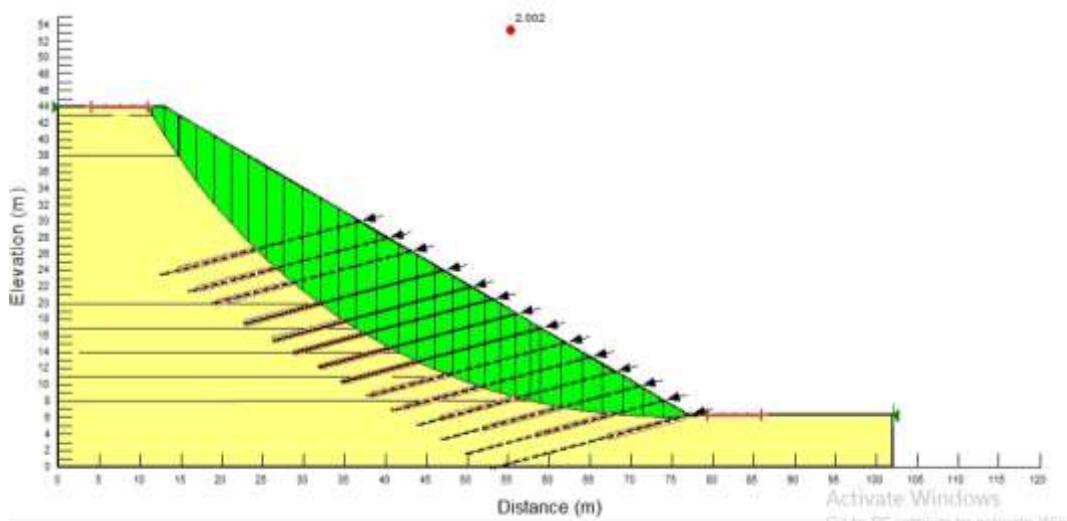


**Gambar 5.9 Analisis Lereng Menggunakan Beban Gempa dengan spasi nail
2 m**



**Gambar 5.10 Analisis Lereng Menggunakan Beban Gempa dengan spasi
nail 1 m**

Berdasarkan perhitungan analisis dengan beban gempa diatas yang telah diperkuat dengan *soil nailing* dengan program *Geoslope*, diperoleh nilai angka keamanan di bawah 1,5 yang dimana lereng dalam kondisi kritis, maka dilakukan penambahan nail hingga ketinggian 25 meter dengan spasi *nail* 1 meter dan mendapatkan angka keamanan 2,002. Hasil analisis penambahan *soil nailing* dapat dilihat pada Gambar 5.12 dibawah ini.



Gambar 5.11 Analisis Lereng Menggunakan Beban Gempa dengan spasi nail 1 m

5.8 Hasil Analisis dan Pembahasan

Analisis perhitungan *Safety Factor* terhadap lereng di desa Srimartani, Kabupaten Bantul menggunakan cara perhitungan manual dan analisis dengan program *Geoslope*. Perhitungan tersebut dilakukan karena ingin membandingkan antara perhitungan manual dan analisis program *Geoslope*. Lereng asli menggunakan metode *Fellenius* didapatkan nilai *Safety Factor* sebesar $0,76 < 1,5$ (tidak aman), menggunakan metode Taylor didapatkan nilai *Safety Factor* sebesar 0,88 (tidak aman), dan menggunakan program *soil nailing* didapatkan *Safety Factor* sebesar 0,86 sehingga perlu adanya perkuatan tanah pada kondisi lereng asli menggunakan metode *soil nailing*.

Lereng perkuatan dengan metode *soil nailing* menggunakan panjang *nail* 25 meter dan jarak antar *nail* adalah 2 meter. Lereng dengan perkuatan dianalisis menggunakan metode Baji (*wedge*) dan analisis dengan program *Geoslope*. Hasil perhitungan analisis lereng perkuatan menggunakan metode Baji (*wedge*) menghasilkan *Safety Factor* sebesar $1,6 > 1,5$ (Aman) dan analisis dengan program *Geoslope* menghasilkan nilai *Safety Factor* sebesar $1,694 > 1,5$ (Aman). Nilai SF dari perhitungan menggunakan metode Baji (*wedge*) dengan hasil analisis program *Geoslope* terdapat perbedaan analisis nilai *Safety Factor*, penyebab dari perbedaan nilai *Safety Factor* ini yaitu perbedaan perhitungan bidang gelincir sehingga dalam 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 *Safety Factor* yang dihasilkan $1,6 > 1,5$ sehingga *Safety Factor* pada lereng tersebut dikatakan aman. Hasil analisis lereng perkuatan menggunakan metode Baji (*wedge*) menghasilkan nilai SF terhadap gaya geser sebesar $2,2508 > 1,5$ (Aman) dan *Safety Factor* terhadap putus tulangan dan cabut tulangan untuk nomor *nail* ke-1 menghasilkan 1,6 (Aman) akan tetapi pada *nail* ke 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 nilai *Safety Factor* terhadap putus tulangan kritis. Sedangkan nilai *Safety Factor* terhadap cabut tulangan pada *nail* ke-1 sebesar $2,4 > 1,5$ (Aman). Akibat dari kritisnya nilai *Safety Factor* terhadap putus tulangan pada *nail* disebabkan karena tekanan horizontal dan jarak *nail* yang terlalu lebar sehingga perlu adanya variasi jarak antar *nail* agar *Safety Factor* terhadap putus tulangan dan cabut tulangan aman. Sedangkan setelah diberi perkuatan didapatkan nilai *Safety Factor* untuk perhitungan manual 2,1, 2,44 dan 2,55 dengan program *geoslope*. Berikut rekapitulasi nilai SF pada lereng alami dan setiap *nail* yang terpasang bisa dilihat pada tabel 5.14, tabel 5.15, dan 5.16.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Angka Keamanan Lereng Eksisting

Metode	Fellenius	Taylor	Geoslope
Safety Factor	0,76	0,88	0,86

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Menggunakan Metode Baji (*wedge*) dan Analisis Program Geoslope

Ketinggian Pemasangan Nail (m)	Panjang Nail (m)	Jarak Nail (m)	SF Geoslope		SF Baji (<i>wedge</i>)
			Tanpa Beban	Akibat Beban Gempa	
14	25	2	1,655	0,793	1,6
14	25	1	6,166	1,238	2,1
19	25	1	5,928	1,813	2,44
25	25	1	8,025	2,002	2,5

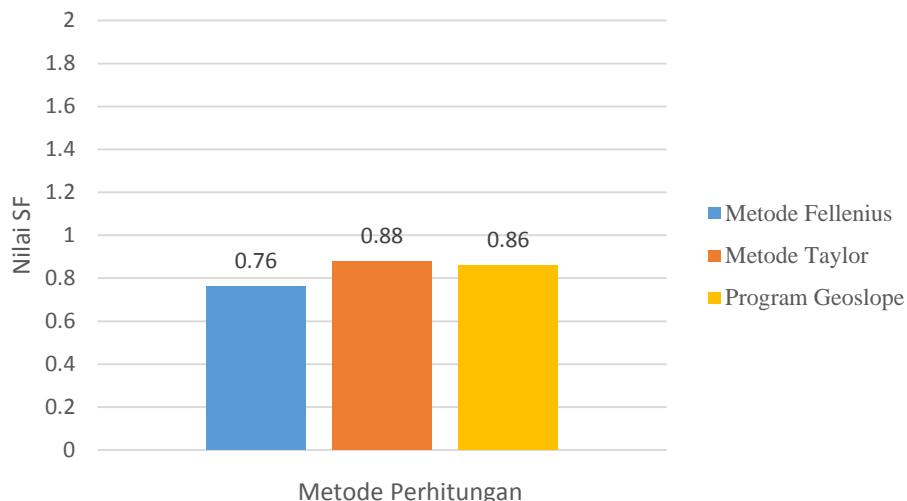
Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Angka Keamanan Lereng dengan Perkuatan

Ketinggian Pemasangan Nail (m)	Jarak Nail (m)	No. Perkuatan	Ka	Le (m)	σ_h	Fr	Fp
14	2	1	0,49	8,72	235,5	1,60	1,74
	2	2	0,49	8,79	43,7	1,54	1,70
	2	3	0,49	9,15	264,8	1,42	1,62
	2	4	0,49	9,81	279,1	1,35	1,65
	2	5	0,49	10,88	293,9	1,28	1,74
	2	6	0,49	12,47	307,8	1,22	1,90
	2	7	0,49	14,79	321,8	1,17	2,16
	2	8	0,49	18,22	336,64	1,12	2,55
	2	9	0,49	24,14	350,6	1,07	3,24
14	1	1	0,49	8,72	235,5	3,20	3,48
	1	2	0,49	8,79	43,7	3,09	3,40
	1	3	0,49	9,15	264,8	2,84	3,49
	1	4	0,49	9,81	279,1	2,70	3,31
	1	5	0,49	10,88	293,9	2,56	3,48
	1	6	0,49	12,47	307,8	2,45	3,81
	1	7	0,49	14,79	321,8	2,34	4,32
	1	8	0,49	18,22	336,64	2,24	5,10
	1	9	0,49	24,14	350,6	2,15	6,48
19	1	1	0,49	9,04	178,03	4,23	9,64
	1	2	0,49	9,40	194,46	3,88	11,69
	1	3	0,49	10,10	210,9	3,57	4,03
	1	4	0,49	10,85	227,34	3,32	3,89
	1	5	0,49	8,72	235,5	3,20	3,48
	1	6	0,49	8,79	43,7	3,09	3,40
	1	7	0,49	9,15	264,8	2,84	3,49

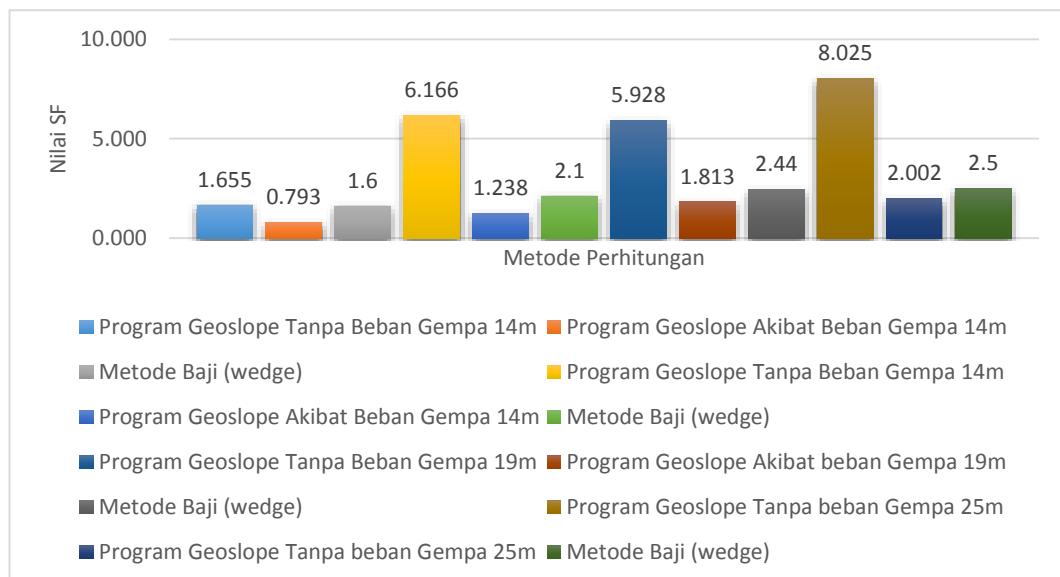
**Lanjutan Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Angka Keamanan Lereng dengan
Perkuatan**

19	1	8	0,49	9,81	279,1	2,70	3,31
	1	9	0,49	10,88	293,9	2,56	3,48
	1	10	0,49	12,47	307,8	2,45	3,81
	1	11	0,49	14,79	321,8	2,34	4,32
	1	12	0,49	18,22	336,64	2,24	5,10
	1	13	0,49	24,14	350,6	2,15	6,48
25	1	1	0,49	11,86	161,59	2,33	3,45
	1	2	0,49	9,04	178,03	4,23	9,64
	1	3	0,49	9,40	194,46	3,88	11,69
	1	4	0,49	10,10	210,9	3,57	4,03
	1	5	0,49	10,85	227,34	3,32	3,89
	1	6	0,49	8,72	235,5	3,20	3,48
	1	7	0,49	8,79	43,7	3,09	3,40
	1	8	0,49	9,15	264,8	2,84	3,49
	1	9	0,49	9,81	279,1	2,70	3,31
	1	10	0,49	10,88	293,9	2,56	3,48
	1	11	0,49	12,47	307,8	2,45	3,81
	1	12	0,49	14,79	321,8	2,34	4,32
	1	13	0,49	18,22	336,64	2,24	5,10

Berikut hasil perbandingan nilai *Safety Factor* pada lereng alami dan perkuatan *soil nailing* yang terpasang bisa dilihat pada Gambar 5.18, Tabel 5.19.



Gambar 5.12 Perbandingan nilai SF perhitungan Manual dan Program Geoslope



Gambar 5.13 Perbandingan nilai *Safety Factor* Perhitungan Manual dan Program Geoslope dengan Perkuatan *Soil Nailing*

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan studi kasus dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil analisis stabilitas lereng alami menggunakan perhitungan manual, metode *Fellenius* didapatkan nilai faktor keamanan 0,76 dan metode *Taylor* didapatkan nilai faktor keamanan 0,88, nilai faktor keamanan kurang dari 1,5 yang berarti lereng dalam keadaan rawan terhadap longsor jika tidak ada perkuatan.
2. Hasil analisis stabilitas lereng alami menggunakan program *Geoslope* didapatkan nilai faktor keamanan 0,86, nilai faktor keamanan kurang dari 1,5 yang berarti lereng dalam keadaan rawan terhadap longsor jika tidak ada perkuatan.
3. Hasil nilai SF pada lereng dengan perkuatan *soil nailing* untuk analisis perkuatan lereng menggunakan metode Baji (*wedge*) dengan ketinggian 14 meter dan jarak nail 2 meter menghasilkan nilai SF 1,6, ketinggian 14 meter dan jarak nail 1 meter menghasilkan SF sebesar 2,1, ketinggian 19 meter dan jarak nail 1 meter menghasilkan SF sebesar 2,44, dan ketinggian 25 meter menghasilkan SF sebesar 2,5. Untuk analisis perkuatan lereng menggunakan program *Geoslope* menghasilkan nilai SF untuk pemasangan ketinggian 14 meter dan jarak nail 2 meter akibat dan tanpa beban gempa sebesar $0,793 < 1,5$ dan $1,6 > 1,5$, SF untuk pemasangan ketinggian 14 meter dan jarak nail 1 meter akibat dan tanpa beban gempa sebesar $6,166 > 1,5$ dan $1,2 < 1,5$, SF untuk pemasangan ketinggian 19 meter dan jarak nail 1 meter akibat dan tanpa beban gempa sebesar $5,928 > 1,5$ dan $1,813 > 1,5$, SF untuk pemasangan ketinggian 25 meter dan jarak nail 1 meter akibat dan tanpa beban gempa sebesar $8,025 > 1,5$ dan $2,002 > 1,5$.

6.2 SARAN

Berdasarkan hasil studi kasus yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya diperlukan dengan variasi yang lebih banyak lagi terkait sudut pemasangan *nail*, jarak antar *nail*, panjang *nail* yang terpasang.
2. Dalam memperbesar nilai faktor keamanan terhadap putus tulangan dapat dilakukan dengan cara memperkecil jarak vertikal *nail* dan merubah sudut pemasangan *nail*.
3. Perlu dilakukan penelitian tentang variasi sudut lereng, kemiringan *nail* dan jarak antar *nail* agar perencanaan *soil nailing* lebih efektif.
4. Diperlukan lagi analisis menggunakan aplikasi Plaxis versi 2D atau Plaxis 3D untuk mengetahui lebih jelas kestabilan lereng tanpa perkuatan luntuk lereng eksisting.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul H. dan Rizki P.M. 2011. Studi Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever Pada Ruas Jalan Silaing Padang-Bukit Tinggi Km 64+500. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil. Volume 7 No 1 Februari 2011 ISSN : 1858-2133. Padang : Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas.
- Anderson, M.G., Richard K.S. 1987. *Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology*. John Wiley and Sons.
- Apri L., Iqbal M., Sri P.R.W., dan Indrastono D.A. 2014. Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya : Studi Kasus Longsoran Pada Ruas Jalan Pringsurat Km. MGL 22+631 – 22+655 Kabupaten Temanggung. Jurnal Karya Teknik Sipil. Volume 3 No 4 (861-889). Semarang : Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro.
- Ariyani N. dan Asrulfa Y.D. 2014. Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dan Rembesan Pada Embung Babadan, Desa Girikerto, Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman, Yogyakarta Majalah Ilmiah UKRIM. Edisi 2/th XVII/2012. Yogyakarta : Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel.
- API., 1987 “*Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids.*” Publication API RP 13B-1, American Petroleum Institute, Washington D.C.
- Bryne et al. 1998. *Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls*, “FHWA-SA-96-69R, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Bowles E.J., 1986. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah* Edisi Kedua (*Mekanika Tanah*) Edisi Kedua. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Bowles E.J., 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah* (*Mekanika Tanah*) Edisi Kedua. Jakarta : Penerbit Erlangga.

- Craig, R. 1986. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Craig, R. 1997. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, B. M.,. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Das, B. M.,. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid II*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. (2008). *Jenis Longsor*.
- Elias, V. and Juran I. 1991. “*Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations.*” Publication FHWA-RD-89-198, Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Didik Y. 2013. Jurnal Analisis Dinding Penahan Tanah dan Stabilitas Lereng dengan Struktur Counter Weight Menggunakan Program Plaxis 8.5 (Studi Kasus : Pada Jembatan Lemah Ireng II Paket VI Sta. 22+125, Proyek Jalan Tol Semarang-Solo). Yogyakarta : Jurusan Teknik SIpil, Universitas Islam Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2012. *Mekanika Tanah II*. Edisi Kelima, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C., 2006. *Mekanika Tanah II*. Edisi Keempat, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah II*. Edisi Kedua, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Teknik Fondasi I*. Edisi Kedua, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia*. Jakarta
- Kumalasari., 2012, Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope (Studi Kasus Pada Lereng Desa Bantas, Kecamatan Selemandeg Timur, Kabupaten Tabanan, Provinsi Bali). Tugas Akhir, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

- Lambe, T.C., and Whitman, R. V., 1969. Soil Mechanics. John Wiley Sons, New York.
- Lazarte, C.A. (2011). “*Proposed Specifications for LRFD Soil-Nailing Design and Construction,*” NCHRP Report 701, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Lazarte, C.A., Elias, V., Espinoza, R.D., and Sabatini, P.J. (2003). “*Soil Nail Walls,*” Geotechnical Engineering Circular, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Nuryanto dan Wulandari., 2017, Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas (Limit Equilibrium) dan Elemen Hingga (Finite Element). Jurnal Sipil. Depok : Universitas Gunadarma.
- Tipikal Hasil Uji Triaksial 2013, <http://www.James-Oetomo.com> Diakses Februari 2018.
- U.S. Department of Tranportation Federal Highway Administration (2015), “*Soil Nail Walls References Manual,*” AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th Edition, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Violleta G.M. 2014., Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus : Kawasan Citraland). Jurnal Sipil Statik. Volume 2 No 1 Januari 2014 (37-46) ISSN : 2337-6732. Manado : Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi.

