

# Analisis Perkuatan Soil Nailing pada Lereng Bawah Jembatan Gantung Alas Bayur Kecamatan Mlandingan Kabupaten Situbondo

Hadi Hamid Abdullah, Paksitya Purnama Putra, Indra Nurtjahjaningtyas  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember  
Kampus Bumi Tegalboto, Jl. Kalimantan No. 37, Jember 68121  
e-mail : [paksitya.putra@unej.ac.id](mailto:paksitya.putra@unej.ac.id)

**Abstrak** — Studi ini bertujuan menganalisis stabilitas lereng kondisi eksisting dan setelah mengalami perkuatan soil nailing. Analisis stabilitas lereng kondisi eksisting dilakukan dengan perhitungan rumus metode fellenius dan program Slope/W. Dari hasil analisis stabilitas eksisting lereng didapatkan bahwa lereng dalam kondisi labil/longsor sering terjadi karena memiliki nilai faktor keamanan  $< 1,07$ . Dari hasil analisis perkuatan soil nailing didapatkan desain yang memenuhi kriteria aman yakni soil nailing dengan 13 nail bar berdiameter 32 mm, fy 520 MPa, panjang 6 meter, diameter lubang bor 20 cm dan sudut pemasangan sebesar  $10^\circ$  dengan nilai faktor keamanannya yakni; (1) stabilitas eksternal; (a) terhadap keruntuhan global,  $FS_{G(Slope/W)} = 1,513$ ,  $FS_{G(Slope/W)} = 1,305$  (kondisi gempa),  $FS_{G(rumus)} = 1,515$ ,  $FS_{G(rumus)} = 1,389$  (kondisi gempa); (b) terhadap gaya geser,  $FS_{SL} = 2,163$ ; (c) terhadap daya dukung tanah,  $FS_H = 15,344$ , dan (2) stabilitas internal, (a) terhadap cabut tulangan;  $FS_P = 2,404$ , (b) terhadap putus tulangan,  $FS_{ST} = 3,125$ .

**Kata Kunci** : Stabilitas Lereng, Faktor Keamanan, Slope/W, Soil Nailing

**Abstrak** — Slope stability analysis of the existing condition is carried out by calculating the formula for the Fellenius method and the Slope/W program. From the analysis of the stability of the existing slope, the value of the safety factor is  $< 1.07$  and the analysis of soil nailing reinforcement with 13 nail bars with a diameter of 32 mm, fy 520 MPa, a length of 6 meters, a drill hole diameter of 20 cm and an installation angle of  $10^\circ$  with a safety factor value. namely; (1) external stability; (a) to global collapse,  $FSG(Slope/W) = 1.513$ ,  $FSG(Slope/W) = 1.305$  (earthquake condition),  $FSG(formula) = 1.515$ ,  $FSG(formula) = 1.389$  (earthquake condition); (b) to the shear force,  $FSSL = 2.163$ ; (c) to soil bearing capacity,  $FSH = 15.344$ , and (2) internal stability, (a) to pull out reinforcement;  $FSP = 2.404$ , (b) to break reinforcement,  $FSST = 3.125$ .

**Kata Kunci** : Slope Stability, Safety Factor, Slope/W, Soil Nailing

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil observasi peneliti yang dilakukan pada 8 Maret 2020, didapatkan fakta bahwa terjadi kerusakan pada struktur bawah Jembatan Gantung Alas Bayur. Rusaknya struktur bawah jembatan disebabkan karena secara pengamatan visual terjadi longsor pada permukaan lereng. Kondisi lereng yang terjal dan tidak adanya bangunan penahan tanah juga menjadi penyebab terjadinya longsor dan kerusakan pada bagian abutment jembatan.

Secara garis besar ada 3 cara dalam analisis stabilitas lereng yakni cara pengamatan visual, cara komputasi dan cara grafik. Cara pengamatan visual yaitu membandingkan kondisi lereng stabil atau tidak stabil dengan cara pengamatan langsung dilapangan. Cara komputasi yaitu analisis stabilitas lereng dengan

cara menghitung berdasarkan rumus-rumus diantaranya Fellenius, Bishop, Janbu, Sarma dan lain sebagainya. Sedangkan cara grafik yaitu analisis stabilitas lereng dengan menggunakan grafik yang sudah standar diantaranya Taylor, Hoek & Bray, Janbu, Cousins dan Morganstern (Zakaria, 2009). Pada penelitian ini yang dilakukan adalah cara pengamatan visual dan cara komputasi.

Pada penelitian terdahulu oleh Sinarta (2014), menyatakan bahwa kondisi tanah asli yang berbeda-beda disetiap daerah dan keadaan lereng yang sangat curam menjadi salah satu penyebab terjadinya longsor, sehingga perlu dilakukan analisis stabilitas lereng yang akurat dan memberi perkuatan yang cocok agar kondisi lereng menjadi stabil. Penanganan kerusakan pada lereng harus diperhatikan agar lereng tersebut dapat menahan beban-beban di atasnya

dan tidak mengalami keruntuhan dikemudian hari.

Berbagai metode telah dikembangkan dalam melakukan perkuatan lereng, salah satunya soil nailing. Soil nailing merupakan salah satu perkuatan kaku yang dapat menahan gaya-gaya dalam tanah seperti gaya normal, gaya momen dan gaya lintang. Perkuatan ini memanfaatkan tekanan pasif yang dikerahkan oleh nail/tulangan sehingga sangat baik digunakan pada kondisi tanah asli atau pada lereng alam. Selain itu, soil nailing merupakan perkuatan yang ekonomis karena sistem pekerjaannya yang cepat dan dalam pelaksanaannya tidak membutuhkan tempat yang luas (Sinarta, 2014).

Slope/W merupakan salah satu program dari aplikasi GeoStudio yang berfungsi untuk membantu perhitungan faktor keamanan tanah dan kemiringan lereng dengan menggunakan teori kesetimbangan batas. Penggunaan aplikasi ini sangat membantu dalam perhitungan faktor keamanan karena efisien terhadap waktu. Selain itu, aplikasi ini dapat memodelkan lereng hingga sesuai kondisi lereng asli.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Stabilitas Lereng

Menurut SNI 03-3997-1995, kondisi lereng dapat diklasifikasikan berdasarkan sudut kemiringan lereng seperti yang telah diuraikan pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Kondisi lereng berdasarkan kemiringan lereng

Kemiringan Lereng (°)	Kondisi Lereng
0 – 5	Sangat Landai
5 – 15	Landai
15 – 30	Sedang
30 – 70	Curam
> 70	Sangat Curam

(Sumber: SNI 03-3997-1995)

Tujuan utama stabilitas lereng adalah untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng dari kemungkinan terjadinya longsor yang potensial. Menurut Bowles (1989) dalam Zakaria (2009), kondisi kestabilan lereng dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai faktor keamanan. Klasifikasi ini dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Kondisi lereng berdasarkan nilai faktor keamanan

Nilai Faktor Keamanan	Kondisi Lereng
FS < 1,07	labil/longsor sering terjadi
1,07 < FS < 1,25	kritis/longsor pernah terjadi
FS > 1,25	Stabil/longsor jarang terjadi

(Sumber: Bowles (1989) dalam Zakaria (2009))

Hardiyatmo (2002), menjelaskan bahwa metode fellenius merupakan salah satu metode dalam analisis stabilitas lereng yang menganggap massa tanah yang longsor dibagi menjadi beberapa irisan secara vertikal. Konsep perhitungan pada metode Fellenius adalah perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak.

$$FS = \frac{\sum cLi + (Wi \cos \emptyset) \tan \emptyset}{\sum W \sin \emptyset + (W Kh \left(\frac{Ln}{R}\right))} \dots\dots\dots(1)$$

dimana,

- Wi = berat irisan tanah ke-i (kN),
- Li = panjang busur irisan ke-i (m),
- c = kohesi tanah (kN/m2),
- ∅ = sudut geser dalam tanah (°),
- Ln = panjang momen pusat irisan-i ke pusat jari-jari (m),
- R = jari-jari lingkaran (m).

### 2. Soil Nailing

#### a. Komponen Soil Nailing

Syarat teknis perkuatan soil nailing menurut SNI 8460-2017 yakni sudut kemiringan pemasangan nail berkisar 10° - 20°, jarak antar spasi nail yakni sebesar 1,5 meter untuk tipe *drilled and grout soil nailing* dan 1 meter untuk tipe *driven soil nailing* serta diameter lubang bor berkisar 100 mm sampai dengan 200 mm untuk tipe *drilled and grout soil nailing*.

Syarat material perkuatan soil nailing menurut standart ASTM A615 yakni baja yang umum digunakan pada soil nailing adalah baja ulir dengan daya dukung tarik 420 MPa (60 ksi atau Grade 60) atau 520 MPa (75 ksi atau Grade 75). Ukuran diameternya yang tersedia adalah 19, 22, 25, 29, 32, 36 dan 43 mm, serta ukuran panjang mencapai 18 m.

#### b. Analisis Stabilitas Soil Nailing

##### 1) Stabilitas Eksternal

Analisis stabilitas eksternal yakni stabilitas terhadap keruntuhan global (persamaan 2), gaya geser (persamaan 3), dan daya dukung tanah. (persamaan 4) dihitung menggunakan rumus berikut (Prashant A, & Mukherjee M., 2010).

$$FS_G = \frac{\sum_{i=1}^n [CL + N \tan \emptyset]}{\sum_{i=1}^n [(W \sin \alpha - n \cos(\alpha + \lambda) + (W Kh (\cos \alpha - \frac{hc}{R}))]} \dots\dots\dots(2)$$

$$N = \frac{1}{m_a} [W - \frac{c \sin \alpha}{FS_G} + Q \cos \delta + T_n \sin \lambda]$$

$$m_a = \cos \alpha [1 + \frac{\tan \alpha \tan \emptyset}{FS_G}]$$

$$FS_{SI} = \frac{cb_L + (W + Q + PA \sin \delta) \tan \emptyset}{PA \cos \delta} \dots\dots\dots(3)$$

$$\begin{aligned}
 Pa &= \frac{c.H_4^2}{2} \cdot Ka \\
 Ka &= \text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) \\
 FS_H &= \frac{c.N_c + 0,5\gamma B_e N_\gamma}{H_{eq.\gamma}} \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

dimana,

- Tn = tegangan maksimum tulangan (kN/m)
- L = panjang lengkung pada irisan ke-i (m),
- Le = panjang nail dibelakang bidang longsor (m),
- λ = kemiringan pasangan sudut nail (°)
- B<sub>e</sub> = lebar efektif (m)
- H<sub>eq</sub> = tinggi efektif (m)

Nilai dari kapasitas daya dukung tanah seperti N<sub>q</sub>, N<sub>γ</sub> dan N<sub>c</sub> dapat diperoleh dari besarnya nilai sudut geser dalam tanah. Nilai ini dapat diperoleh melalui Tabel 3. hubungan kapasitas daya dukung dengan sudut geser tanah dalam tanah oleh terzaghi berikut.

Tabel 3. Nilai kapasitas daya dukung menurut terzaghi

Ø	Nc	Nq	Nγ	Ø	Nc	Nq	Nγ
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.64	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	196.22	407.11
21	18.92	8.16	4.31	47	224.55	224.55	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	258.28	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	298.71	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	347.50	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

(Sumber: Das B., 2011)

2) Stabilitas Internal

Analisis stabilitas internal yakni terhadap putus tulangan (persamaan 5) dan cabut tulangan (persamaan 6) dihitung menggunakan rumus berikut (Prashant A, & Mukherjee M., 2010).

$$FS_T = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times f_y}{1000}\right)}{\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h} \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_h = Ka \cdot \gamma \cdot Z$$

$$FS_p = \frac{\pi \cdot q_u \cdot D_{dh} L_p}{\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h} \dots\dots\dots (6)$$

dimana,

- S<sub>v</sub> = jarak tulangan arah vertikal (m),
  - S<sub>h</sub> = jarak tulangan arah horizontal (m),
  - σ<sub>h</sub> = tekanan horizontal tanah pada kedalaman yg ditinjau (kN/m<sup>2</sup>)
  - L<sub>p</sub> = panjang tulangan zona pasif (m),
  - D<sub>dh</sub> = diameter lubang bor (m)
  - q<sub>u</sub> = ultimate bond strength (kN/m<sup>2</sup>)
- pada kondisi tanah bebatuan, nilai q<sub>u</sub> dapat diperoleh berdasarkan jenis bebatuan yang telah diklasifikasikan oleh Elias & Juran (1991) dalam Prashant A. & Murkherjee M (2010) seperti pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Nilai qu berdasarkan jenis tanah keras menurut Elias & Juran (1991)

Soil/Rock type	qu (kPa)
Marl/Limestone	300-400
Phyllite	100-300
Chalk	500-600
Soft dolomite	400-600
Fissured dolomite	600-1000
Weathered sandstone	200-300
Weathered Shale	100-150
Weathered Schist	100-175
Basalt	500-600
Slate/Hard shale	300-400

(Sumber: Prashant A, & Mukherjee M., 2010)

c. Faktor Keamanan Perkuatan Soil Nailing

Kriteria aman dalam perkuatan soil nailing yakni memiliki nilai faktor keamanan yang sama dengan atau melebihi dari nilai faktor keamanan yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini nilai faktor keamanan minimum untuk desain soil nailing mengacu pada SNI 8460-2017 yang diuraikan pada Tabel 5. Berikut.

Tabel 5. Nilai angka keamanan perkuatan soil nailing

Stabilitas	Nilai FS
Terhadap Keruntuhan Global (FS <sub>G</sub> )	1,5
Terhadap Keruntuhan Global (FS <sub>G</sub> ) Kondisi Gempa	1,1
Terhadap Gaya Geser (FS <sub>SL</sub> )	1,5
Terhadap Daya Dukung Tanah (FS <sub>H</sub> )	3
Terhadap Cabut Tulangan (FS <sub>p</sub> )	1,8
Terhadap Putus Tulangan (FS <sub>T</sub> )	2

(Sumber: SNI 8460-2017)

III. METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lereng area Jembatan Alas Bayur yang berada di Desa Alas Bayur Kecamatan Mlandingan Kabupaten Situbondo.

2. Teknik Pengumpulan Data

a. Data Geometri Lereng

Data geometri lereng diperoleh dengan cara pengukuran langsung dilokasi tinjau.

b. Data Tanah

Data tanah yang digunakan merupakan data tanah asli lokasi penelitian berupa laporan penyelidikan tanah yang diperoleh dari Kontraktor Pelaksana pada proyek pembangunan Jembatan Gantung Alas Bayur Kecamatan Mlandingan Kabupaten Situbondo.

c. Data Beban Lalu Lintas

Data tersebut diperoleh dari klasifikasi nilai beban lalu lintas berdasarkan kelas jalan yang mengacu pada SNI 8460-2017 seperti pada Tabel 6. berikut.

Tabel 6. Beban lalu lintas berdasarkan kelas jalan

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

(Sumber: SNI 8460-2017)

d. Data Beban Gempa

Parameter percepatan gempa didapatkan melalui situs online Dinas PU di link: [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/) dengan data input yakni koordinat atau nama kota dan jenis batuan (keras, sedang dan lunak). Selanjutnya data tersebut diolah guna memperoleh nilai koefisien gempa yang dihitung menggunakan persamaan berikut (SNI 8460-2017).

$$K_h = 0,5 (a \text{ max})/\text{gal} \dots \dots \dots (9)$$

3. Tahapan Penelitian

a. Analisis Data

Data-data yang di gunakan pada penelitian ini yakni; geometri lereng, parameter tanah, beban lalu lintas, koefisien gempa, dan propertis perkuatan soil nailing.

b. Analisis Stabilitas Eksisting Lereng

Analisis stabilitas eksisting lereng dilakukan menggunakan program Slope/W terlebih dahulu untuk mendapatkan angka keamanan kritis serta bidang gelincir yang potensial. Selanjutnya dilakukan analisis stabilitas eksisting lereng dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellenius guna mendapatkan nilai koreksi antara perhitungan manual dan Slope/W. Analisis tersebut dilakukan dengan dan tanpa adanya pengaruh beban gempa

c. Analisis Stabilitas Perkuatan Soil Nailing

Konsep desain perkuatan yakni memberi penahan pada bagian ujung bawah bidang gelincir. Pemberian perkuatan ini dilakukan bertahap

dengan cara *trial and error* pada program Slope/W sampai mendapatkan desain soil nailing yang aman. Analisis ini menghasilkan nilai faktor keamanan perkuatan soil nailing terhadap keruntuhan global dalam kondisi dengan dan tanpa pengaruh beban gempa. Selanjutnya dilakukan analisis stabilitas internal soil nailing terhadap cabut dan putus tulangan serta stabilitas eksternal soil nailing terhadap gaya geser dan daya dukung tanah. Analisis dilakukan pada bidang gelincir kritis dalam kondisi adanya pengaruh beban gempa.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Data

a. Data Tanah

Data tanah yang telah diperoleh dari kontraktor pelaksana proyek jembatan gantung alas bayur dapat dilihat pada Tabel 7. berikut.

Tabel 7. Data tanah pada lokasi tinjau

No.	Parameter	Satuan
1.	Berat jenis tanah jenuh	$\gamma_{sat1} = 16,379 \text{ kN/m}^3$
		$\gamma_{sat2} = 15,48 \text{ kN/m}^3$
		$\gamma_{sat3} = 26,37 \text{ kN.m}^3$
2.	Kohesi	$c_1 = 31,524 \text{ kN/m}^2$
		$c_2 = 35,3 \text{ kN/m}^2$
		$c_3 = 740 \text{ kN/m}^2$
3.	Sudut geser dalam tanah	$\phi_1 = 11,406^\circ$
		$\phi_2 = 15^\circ$
		$\phi_3 = 29,55^\circ$

(Sumber: Kontraktor pelaksana proyek jembatan gantung alas bayur., 2020)

b. Data Beban Lalu Lintas

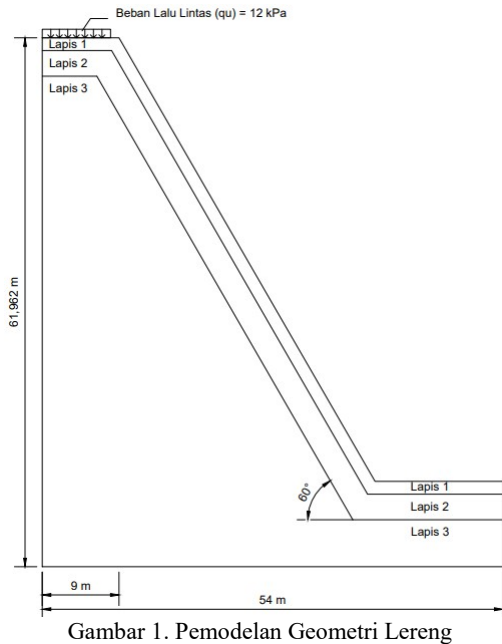
Berdasarkan Undang Undang Republik Indonesia No. 22 Tahun 2009 tentang LLAJ, jalan pada lokasi tinjau termasuk jalan lokal karena secara status merupakan jalan yang menghubungkan kawasan antar desa, sehingga kelas jalan pada lokasi tinjau tergolong pada kelas jalan III yakni  $q = 12 \text{ KPa}$

c. Data Beban Gempa

Dari perhitungan percepatan gempa maksimum melalui PUSKIM, didapatkan nilai percepatan gempa maksimum pada lokasi tinjau sebesar 0,301 gal. Maka nilai koefisien gempa adalah sebagai berikut.

$$K_h = 0,5 \times (0,301 \text{ gal})/\text{gal} = 0,1505$$

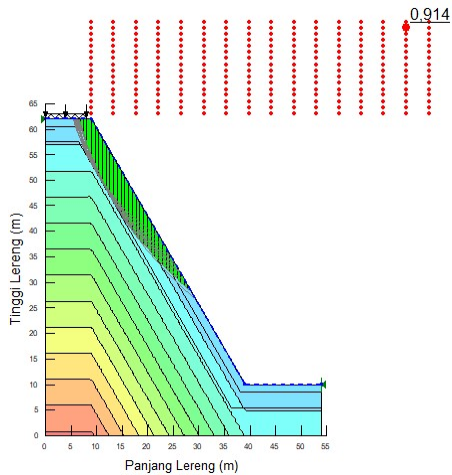
d. Data Geometri Lereng



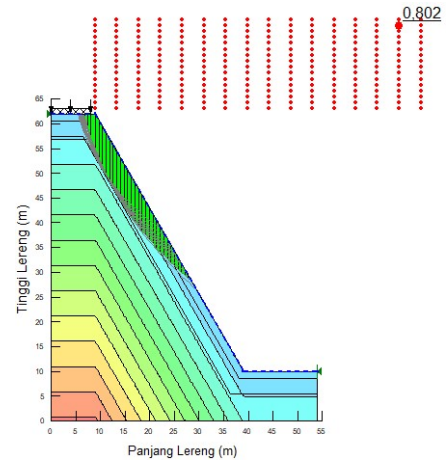
Gambar 1. Pemodelan Geometri Lereng

Dari hasil pengukuran geometri lereng di lapang, didapatkan sudut kemiringan lereng sebesar 60° dengan panjang miring sebesar 60 m sampai permukaan tanah dasar. Mengacu pada SNI 03-3997-1995, hal ini menunjukkan bahwa lereng tergolong curam. Pemodelan geometri lereng dapat dilihat pada Gambar 1.

2. Analisis Stabilitas Eksisting Lereng

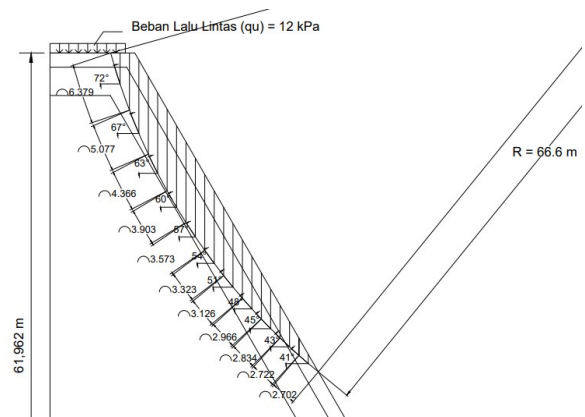


Gambar 2. Hasil analisis dengan Slope/W kondisi eksisting



Gambar 3. Hasil analisis dengan Slope/W kondisi eksisting dengan adanya pengaruh beban gempa

Dari hasil analisis menggunakan program Slope/W seperti Gambar 2. Dan Gambar 3. didapatkan angka keamanan eksisting lereng sebesar 0,914 serta angka keamanan sebesar 0,802 untuk kondisi lereng dengan adanya pengaruh beban gempa. Mengacu pada Bowles (1989) dalam Zakaria (2009), hasil ini menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi labil/longsor sering terjadi. Dari hasil analisis tersebut didapatkan juga koordinat bidang gelincir lereng yakni busur lingkaran dengan pusat O (70,6 ; 79,8) dan jari-jari R sebesar 66,6 m. Hasil tersebut akan dijadikan acuan dalam menentukan koordinat dari bidang gelincir pada perhitungan secara manual menggunakan metode Fellenius.



Gambar 4. Ilustrasi untuk perhitungan metode fellenius

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned}
 W_1 &= (\gamma_1 \times A_1) + (\gamma_2 \times A_2) + (q \times Lq) \\
 &= (16,379 \times 2,751) + (15,48 \times 3,583) + \\
 &\quad (12 \times 1,567) \\
 &= 119,326 \text{ kN} \\
 W_1 \sin \alpha_1 &= 119,326 \times \sin (72^\circ)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 113,486 \text{ kN} \\
 W_1 \cos \alpha &= 119,326 \times \cos (72^\circ) \\
 &= 36,874 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan hanya dilakukan pada irisan ke-1, sedangkan rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8. untuk kondisi tanpa gempa dan Tabel 9. untuk kondisi dengan adanya beban gempa.

Tabel 8. Rekapitulasi perhitungan rumus metode fellenius

No.	Luas Irisan (AUTOCAD)		Panjang	Sudut	Berat	Wt sin α	Mr
	Lapis 1	Lapis 2	Irisan (L)	Irisan	Irisan (Wi)	(Md)	
	m <sup>2</sup>		m	α	kN		
1	2,751	3,583	6,379	72	119,326	113,486	208,533
2	5,722	9,395	5,077	67	239,153	220,142	204,256
3	6	10,967	4,366	64	268,041	240,914	185,604
4	6	11,248	3,903	60	272,391	235,897	174,269
5	6	10,619	3,573	57	262,654	220,280	164,457
6	6	9,296	3,323	54	242,174	195,923	155,443
7	6	7,389	3,126	51	212,653	165,263	146,207
8	6	5,077	2,966	48	176,864	131,435	136,410
9	6	2,343	2,834	45	134,541	95,135	125,532
10	5,142	0,120	2,722	43	86,076	58,704	98,509
11	1,895	0	2,702	41	31,037	20,362	89,904
						1697,541	1689,126

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{\sum(C.L + (\tan \phi \times W \cos \alpha))}{\sum W \sin \alpha} \\
 &= \frac{1689,126}{1697,541} \\
 &= 0,995
 \end{aligned}$$

Tabel 9. Rekapitulasi perhitungan rumus metode fellenius dengan adanya pengaruh beban gempa

No.	W kh	Ln Jarak irisan ke titik O	W x kh x (Ln/R)
1	17,959	63,167	17,033
2	35,993	61,167	33,056
3	40,340	59,167	35,838
4	40,995	57,167	35,188
5	39,529	55,167	32,744
6	36,447	53,167	29,096
7	32,004	51,167	24,588
8	26,618	49,167	19,651
9	20,248	47,167	14,340
10	12,955	45,167	8,786
11	4,671	43,167	3,028
			253,347

$$\begin{aligned}
 W_{g1} &= W_1 \times Kh \times (L_{n1}/R) \\
 &= 119,326 \times 0,1505 \times (63,167/66,6) \\
 &= 17,033 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FS_{(gempa)} &= \frac{\sum(C.L + (\tan \phi \times W \cos \alpha))}{\sum W \sin \alpha + W_g} \\
 &= \frac{1689,126}{1697,541 + 253,347} \\
 &= 0,866
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis perhitungan rumus metode fellenius didapatkan nilai angka keamanan eksisting lereng sebesar 0,995 serta angka keamanan sebesar 0,866 untuk kondisi lereng dengan adanya pengaruh beban gempa. Mengacu pada Bowles (1989) dalam Zakaria (2009), hasil ini menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi labil/longsor sering terjadi.

### 3. Analisis Stabilitas Perkuatan Soil Nailing

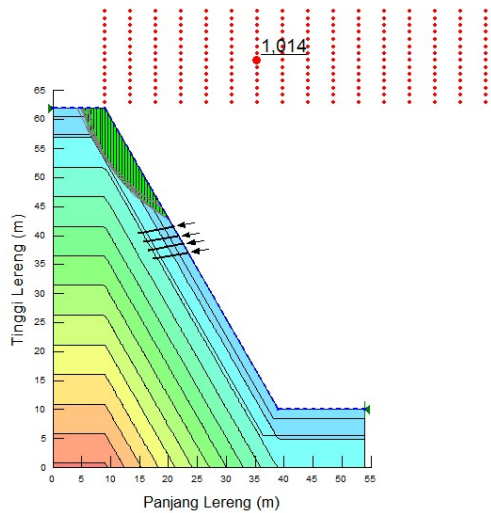
#### a. Analisis Stabilitas terhadap Keruntuhan Global dengan Slope/W

Parameter input pada perkuatan ini yakni; D<sub>nail</sub> = 32 mm; f<sub>y</sub> = 520 MPa; Panjang nail = 6 meter (melebihi bidang bidang gelincir kritis terdalam dari kondisi eksisting); q<sub>u</sub> = 500 kPa resistance reduction force = 1,5 D<sub>bor</sub> = 0,2 m; S<sub>v</sub> & S<sub>h</sub> = 1,5 m; kapasitas tarik = 0,25 x π x f<sub>y</sub> x d<sup>2</sup> = 417,997 kPa; reduction faktor = 1,8.

Pada perhitungan *trial and error* tahap 1 sampai tahap 3 dilakukan dengan panjang nail 6 meter dan sudut pemasangan 10°, sedangkan pada tahap 4 dilakukan perhitungan sudut pemasangan nail sebesar 10, 15 dan 20° guna mendapatkan variasi desain soil nailing

#### 1) Tahap 1

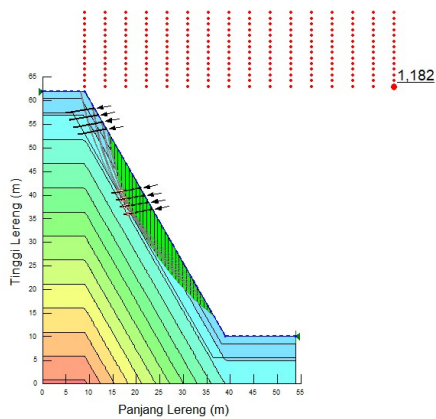
Tahap pertama yakni memberi perkuatan soil nail pada bagian bawah bidang gelincir kritis kondisi eksisting berjumlah 4. Dari hasil analisis tahap 1 didapatkan bahwa desain perkuatan masih belum memenuhi kriteria aman yakni FS < 1,5. Dari hasil analisis ini juga terjadi perubahan bidang gelincir kritis seperti yang di tampilkan pada Gambar 5. Oleh sebab itu, dilakukan tambahan desain soil nailing pada bawah bidang gelincir kritis tersebut.



Gambar 5. Analisis tahap 1 perkuatan soil nailing dengan Slope/W

2) Tahap 2

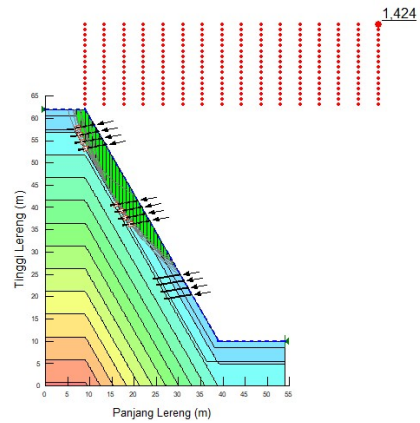
Dari hasil analisis tahap 2 yakni penambahan nail pada bagian bawah bidang gelincir kritis tahap 1 sejumlah 4 nail didapatkan bahwa desain perkuatan masih belum memenuhi kriteria aman. Dari hasil analisis ini juga terjadi perubahan bidang gelincir kritis seperti yang di ditampilkan pada Gambar 6. Oleh sebab itu, dilakukan tambahan desain perkuatan pada bawah bidang gelincir kritis tersebut.



Gambar 6. Analisis tahap 2 perkuatan soil nailing dengan Slope/W

3) Tahap 3

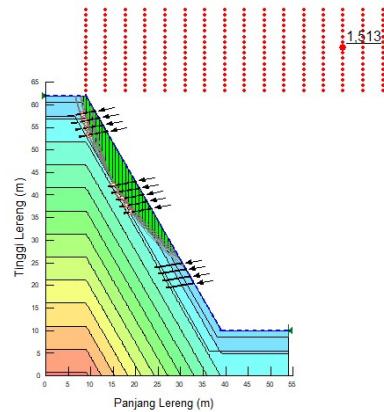
Hasil analisis tahap 3 dengan memberi nail sejumlah 4 pada bagian bawah bidang gelincir lereng didapatkan bahwa desain perkuatan masih belum memenuhi kriteria aman yakni  $FS < 1,5$ . Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 7. sebagai berikut



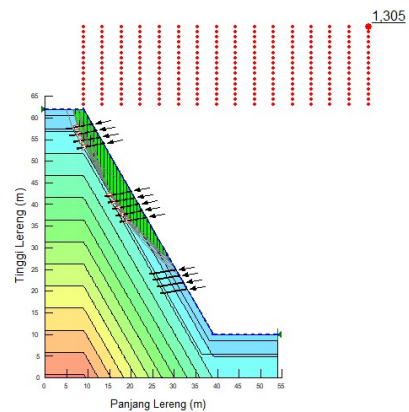
Gambar 7. Analisis tahap 3 perkuatan soil nailing dengan Slope/W

4) Tahap 4

Dari hasil analisis tahap 3 didapatkan bahwa desain belum memenuhi nilai faktor keamanan dengan nilai FS hampir memenuhi kriteria. Oleh sebab itu, peneliti melakukan tambahan desain perkuatan pada bawah bidang gelincir kritis tersebut dengan penambahan 1 nail seperti pada Gambar 8. Analisis juga dilakukan dalam kondisi dengan adanya beban gempa seperti Gambar 9. Berikut.



Gambar 8. Analisis tahap 4 perkuatan soil nailing dengan Slope/W



Gambar 9. Analisis tahap 4 perkuatan soil nailing melalui program Slope/W dengan adanya pengaruh beban gempa

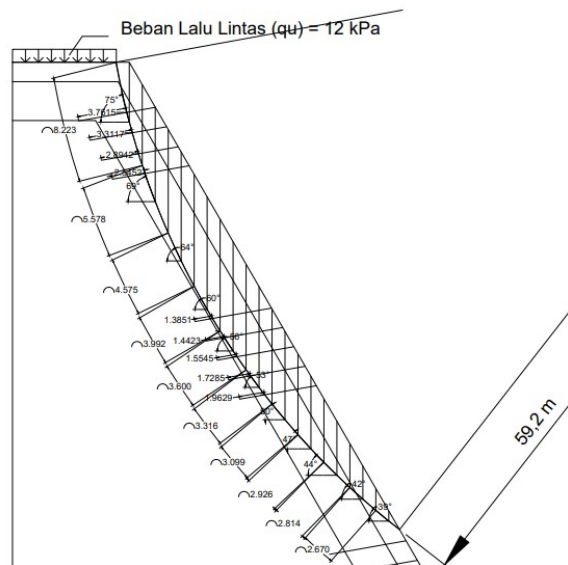
Dari hasil analisis tahap 4 didapatkan bahwa desain perkuatan memenuhi kriteria aman yakni FS = 1,513 > 1,5 dan didapat juga nilai FS = 1,305 > 1,1 untuk kondisi dengan pengaruh gempa. Pada tahap ini juga dilakukan analisis terhadap variasi panjang nail 5 dan 6 meter serta sudut pemasangan sebesar 10°, 15° dan 20° guna mendapatkan desain yang efektif. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 10. berikut.

Tabel 10. Rekapitulasi perhitungan dengan Slope/W

Sudut Pemasangan	10°		15°		20°	
	Kondisi tanpa Gempa	dengan Gempa	Kondisi tanpa Gempa	dengan Gempa	Kondisi tanpa Gempa	dengan Gempa
6 meter	1,513	1,305	1,398	1,22	1,294	1,143

b. Analisis Stabilitas terhadap Keruntuhan Global dengan Rumus

- 1) Pada bidang gelincir kondisi tanpa pengaruh beban gempa



Gambar 10. Pemodelan analisis stabilitas keruntuhan global dengan *Simplified Bishop Method* tanpa beban gempa

Pemodelan pada Gambar 10. diatas didapatkan dari hasil analisis menggunakan Slope/W yakni jari-jari bidang gelincir sebesar 59,2 m dengan titik pusat lingkaran (66,2 ; 72,6). Gambar tersebut memodelkan irisan bidang gelincir sejumlah 11 pada kondisi tanpa adanya pengaruh gempa yang akan di pakai pada perhitungan ini.

$$W_1 = (\gamma_1 \times A_1) + (\gamma_2 \times A_2) + (q \times Lq)$$

$$= (16,379 \times 4,958) + (15,48 \times 3,048)$$

$$= 128,338 \text{ kN}$$

$$L_1 = 8,220 \text{ m}$$

$$Le_1 = 3,762 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 75^\circ$$

$$T_{n1} = \pi d q_{ul} l_{e1} / FOS_T$$

$$= \pi \times 0,032 \times 500 \times 3,762 / 1,5$$

$$= 188,978 \text{ kN}$$

$$m_a = \cos \alpha \left[ 1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{FSG} \right]$$

$$= \cos 75 \left[ 1 + \frac{\tan 75 \tan 11,406}{1,5} \right]$$

$$= 0,431$$

$$N_1 = \frac{1}{m_a} [W + T_{n1} \sin \lambda]$$

$$= \frac{1}{0,431} [128,388 + 188,978 \sin 10^\circ]$$

$$= 373,706 \text{ kN}$$

Tabel 11. Rekapitulasi perhitungan stabilitas global soil nailing *simplified bishop method* tanpa beban gempa

No	Sudut Irisan (α)	Luas Irisan (CAD)		Panjang busur	cL + N tan Ø	W sin α - Tn cos (α + i)
	o	Lapis 1	Lapis 2			
		m2	m			
1	75	4,958	3,048	8,220	390,300	107,543
2	69	6	8,396	5,578	387,864	109,511
3	64	6	10,74	4,575	385,599	111,342
4	60	6	11,309	3,992	324,692	188,685
5	56	6	18,36	3,600	192,569	237,755
6	53	6	9,508	3,316	276,747	287,628
7	50	6	7,584	3,099	277,120	285,318
8	47	6	5,153	2,926	210,824	156,616
9	44	6	2,297	2,814	211,562	151,256
10	42	5,073	0	2,670	146,541	165,214
11	39	1,544	0	2,348	135,823	130,210
Jumlah					3497,112	2308,473

Berdasarkan Tabel 11. rekapitulasi perhitungan perkuatan soil nailing dengan *Simplified Bishop Method* secara manual, didapatkan momen tahan total sebesar 3497,112 kN dan momen geser sebesar 2308,473 kN, sehingga nilai faktor keamanan pada kondisi eksisting lereng adalah sebagai berikut.

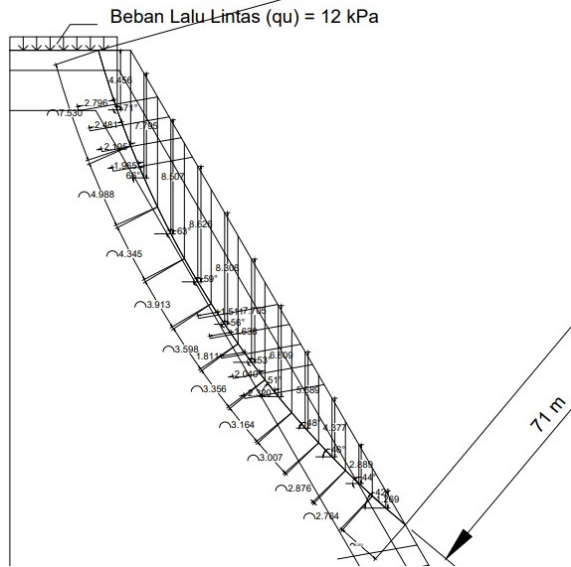
$$FS = \frac{\sum_{i=1}^{n=i} [CL + N \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{n=i} [(W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda))]}$$

$$= \frac{3497,112}{2308,473}$$



$$= 1,515 > 1,5 \text{ OK}$$

2) Terhadap bidang gelincir kondisi adanya pengaruh beban gempa



Gambar 11. Pemodelan analisis stabilitas keruntuhan global dengan *Simplified Bishop Method* dengan beban gempa

Pemodelan Gambar 11. diatas didapatkan dari hasil analisis menggunakan Slope/W yakni jari-jari bidang gelincir sebesar 71 m dengan titik pusat lingkaran (75 ; 81). Gambar tersebut memodelkan irisan bidang gelincir sejumlah 11 pada kondisi dengan adanya pengaruh gempa yang akan di pakai pada perhitungan ini.

$$\begin{aligned} W_1 &= (\gamma_1 \times A_1) + (\gamma_2 \times A_2) + (q \times L_q) \\ &= (16,379 \times 3,923) + (15,48 \times 5,071) \\ &\quad + (12 \times 1,4) \\ &= 159,992 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$L_1 = 7,53 \text{ m}$$

$$Le_1 = 2,796 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 71^\circ$$

$$\begin{aligned} T_{n1} &= \pi d q_u l_{e1} / FOS_T \\ &= \pi \times 0,032 \times 500 \times 2,796 / 1,5 \\ &= 140,471 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_a &= \cos \alpha \left[ 1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{FSG} \right] \\ &= \cos 71 \left[ 1 + \frac{\tan 71 \tan 15}{1,5} \right] \\ &= 0,494 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{m_a} [W + T_{n1} \sin \lambda] \\ &= \frac{1}{0,494} [159,992 + 140,471 \sin 10^\circ] \\ &= 372,005 \text{ kN} \end{aligned}$$

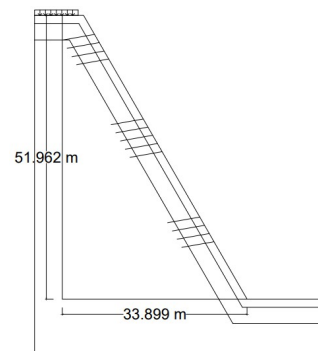
Tabel 12. Rekapitulasi perhitungan stabilitas global soil nailing *simplified bishop method* dengan beban gempa

No.	Sudut	Luas Irisan		Le	L	
	Irisan	Lapis 1	Lapis 2		panjang	hc
	°	m2		m	busur	
1	71	3,923	5,071	2,796 2,481	7,530	2,228
2	66	6	9,481	2,195 1,965	4,988	3,898
3	63	6	10,941	1,511 1,638	4,345	4,254
4	59	6	11,173	1,811 2,040	3,913	4,313
5	56	6	10,627	2,320	3,598	4,153
6	53	6	9,377	3,007	3,356	3,853
7	51	6	7,604	2,876	3,164	3,405
8	48	6	5,354	2,764	3,007	2,845
9	46	6	2,733	2,698	2,876	2,189
10	44	5,493	0,285	0	2,764	1,445
11	42	2,698	0	0	3,263	0,635

Berdasarkan Tabel 12. rekapitulasi perhitungan perkuatan soil nailing metode *Simplified Bishop Method* secara manual dengan pengaruh gempa, didapatkan momen tahan total sebesar 3497,112 kN dan momen geser sebesar 2308,473 kN, serta didapatkan momen geser total akibat gempa sebesar 159,223 kN, sehingga nilai faktor keamanan pada kondisi eksisting lereng adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} FS &= \frac{\sum_{i=1}^{n=i} [CL + N \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{n=i} [(W \sin \alpha - T_n \cos(\alpha + \lambda)) + (W Kh (\cos \alpha - \frac{hc}{R}))]} \\ &= \frac{3249,109}{2179,340 + 159,223} \\ &= 1,389 \end{aligned}$$

c. Analisis Stabilitas terhadap Gaya Geser  
Analisis ini dilakukan pada pemodelan lereng dalam kondisi terburuk yakni dengan kondisi tanah jenuh dan dengan adanya pengaruh beban gempa. Pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Ilustrasi untuk perhitungan stabilitas terhadap gaya geser dan daya dukung tanah

$$\begin{aligned} Ka &= \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2) \\ &= \text{tg}^2(45^\circ - 18,652/2) \\ &= 0,515 \end{aligned}$$

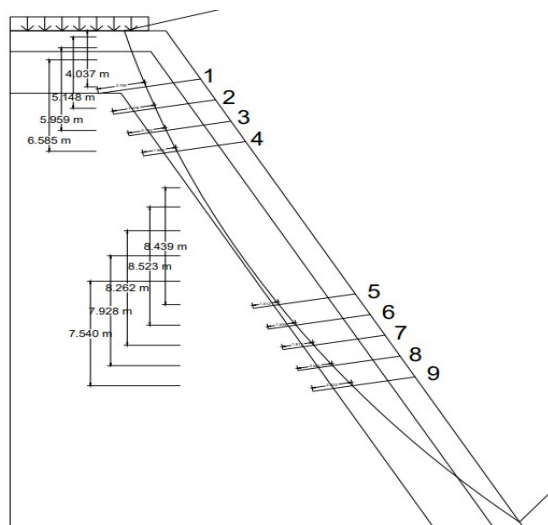
$$\begin{aligned}
 Pa &= \frac{c \cdot H^2}{2} \cdot K_a \\
 &= \frac{268,941 \times 51,962^2}{2} \times 0,515 \\
 &= 13504,114 \text{ kN/m} \\
 W &= \frac{\gamma \times B_L \times H}{2} \\
 &= \frac{19,41 \times 33,899 \times 51,962}{2} \\
 &= 17094,56 \text{ kN} \\
 FS_{SL} &= \frac{C_b B_L + (W + P \sin \alpha) \tan \phi}{P \cos \alpha} \\
 &= \frac{268,941 \times 33,899 + (17094,56 + 13504,114 \sin 18,652) \tan 18,652}{13504,114 \cos 18,652} \\
 &= 2,163 > 1,5 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

d. Analisis Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah

Berdasarkan Tabel 3. didapatkan nilai  $N_c$  dan  $N_\gamma$  dari nilai  $\phi = 18,652^\circ$  yakni sebesar  $N_c = 30,14$  dan  $N_\gamma = 22,4$ , sehingga nilai faktor keamanan terhadap daya dukung tanah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{(c \times N_c) + (0,5 \times \gamma \times B_L \times N_\gamma)}{H \times \gamma} \\
 &= \frac{(268,941 \times 30,14) + (0,5 \times 19,41 \times 33,899 \times 22,4)}{51,962 \times 19,41} \\
 &= 15,344 > 3 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

e. Analisis Stabilitas terhadap Putus Tulangan  
 Analisis ini dilakukan pada pemodelan lereng bidang gelincir dalam kondisi terburuk yakni dengan kondisi tanah jenuh dan dengan adanya pengaruh beban gempa yang telah diperoleh dari program Slope/W yakni pada jari-jari bidang gelincir sebesar 71 m dengan titik pusat lingkaran (75 ; 81). Pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 13. berikut

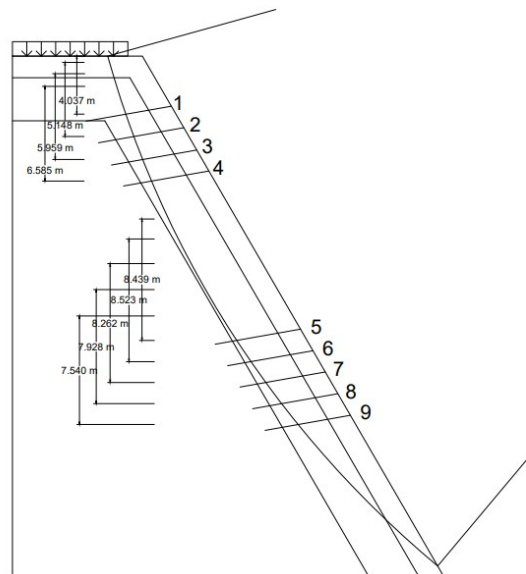


Gambar 13. Ilustrasi untuk perhitungan stabilitas terhadap putus tulangan

Gambar 13. menunjukkan bahwa bidang gelincir terdalam terjadi pada nail bar ke 5, sehingga perhitungan stabilitas putus tulangan digunakan pada nail ke 5.

$$\begin{aligned}
 Ka_5 &= \text{tg}^2(45^\circ - \phi_2/2) \\
 &= \text{tg}^2(45^\circ - 15/2) \\
 &= 0,589 \\
 \sigma_{h5} &= Ka_5 \cdot \gamma \cdot z \cdot \cos 10^\circ \\
 &= Ka [(\gamma_1 \times z_1) + (\gamma_2 \times z_2)] \cos 10^\circ \\
 &= 0,589[(16,379 \times 3) + (15,48 \times 5,436)] \cos 10^\circ \\
 &= 77,285 \text{ kN/m}^2 \\
 FS_T &= \frac{(\frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times f_y}{1000})}{\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h} \\
 &= \frac{(\frac{0,25 \times \pi \times 32^2 \times 520}{1000})}{77,285 \times 1,5 \times 1,5} \\
 &= 2,404 > 1,8 \text{ OK}
 \end{aligned}$$

f. Analisis Stabilitas terhadap Cabut Tulangan  
 Analisis ini juga dilakukan pada pemodelan lereng bidang gelincir dalam kondisi terburuk yakni dengan kondisi tanah jenuh dan dengan adanya pengaruh beban gempa yang telah diperoleh dari program Slope/W yakni pada jari-jari bidang gelincir sebesar 71 m dengan titik pusat lingkaran (75 ; 81). Pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 13. berikut



Gambar 14. Ilustrasi untuk perhitungan stabilitas terhadap cabut tulangan

Gambar 14. menunjukkan bahwa bidang gelincir terdalam terjadi pada nail bar ke 5, sehingga perhitungan stabilitas cabut tulangan digunakan

pada nail ke 5 dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_u &= 500 \text{ kPa (jenis batuan sedimen)} \\
 &\quad \text{lihat Tabel 4.} \\
 K_{a_3} &= \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2) \\
 &= \text{tg}^2(45^\circ - 29,55/2) \\
 &= 0,339 \\
 \sigma_{h_5} &= K_a \cdot \gamma \cdot z \cos 10^\circ \\
 &= K_a [(\gamma_1 \times z_1) + (\gamma_2 \times z_2) + (\gamma_3 \times z_3)] \\
 &\quad \cos 10^\circ \\
 &= 0,339 [(16,379 \times 3) + (15,48 \times 6) + (26,37 \times 2,276)] \cos 10^\circ \\
 &= 67,533 \text{ kN/m}^2 \\
 L_p &= 1,512 \text{ m} \\
 F_{Sp} &= \frac{\pi \cdot q_u \cdot D \cdot h \cdot L_p}{\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h} \\
 &= \frac{\pi \times 500 \times 0,2 \times 1,512}{67,533 \times 1,5 \times 1,5} \\
 &= 3,125 > 2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

## V. KESIMPULAN

1. Dari hasil analisis stabilitas eksisting lereng dengan program Slope/W didapatkan nilai angka keamanan yakni  $FS_{(\text{Slope/W})} = 0,914$ ,  $FS_{(\text{Slope/W})} = 0,802$  (kondisi gempa),  $FS_{(\text{fellnius})} = 0,995$ ,  $FS_{(\text{fellenius})} = 0,866$  (kondisi gempa). Hasil tersebut menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi labil/longsor sering terjadi karena memiliki nilai nilai faktor keamanan  $< 1,07$ .
2. Dari hasil analisis perkuatan soil nailing didapatkan desain yang memenuhi kriteria aman yakni soil nailing dengan 13 nail bar berdiameter 32 mm, fy 520 MPa, panjang 6 meter, diameter lubang bor 20 cm dan sudut pemasangan sebesar  $10^\circ$  dengan nilai faktor keamanannya yakni; (1) stabilitas eksternal; (a) terhadap keruntuhan global,  $FS_{G(\text{Slope/W})} = 1,513$ ,  $FS_{G(\text{Slope/W})} = 1,305$  (kondisi gempa),  $FS_{G(\text{rumus})} = 1,515$ ,  $FS_{G(\text{rumus})} = 1,389$  (kondisi gempa); (b) terhadap gaya geser,  $FS_{SL} = 2,163$ ; (c) terhadap daya dukung tanah,  $FS_H = 15,344$ , dan (2) stabilitas internal, (a) terhadap cabut tulangan;  $FS_p = 2,404$ , (b) terhadap putus tulangan,  $FS_T = 3,125$

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik, SNI 8460-2017. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 1995. Tata Cara Pembuatan Peta Kemiringan Lereng Menggunakan Rumus Horton, SNI 03-3977-1995. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Hary Christady Hardiyatmo, 2002, Mekanika Tanah II, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Lazarte C.A, Berg R. 2015. Soil Nail Walls – Reference Manual. Washington, D.C. FHWA-NHI-14-007
- Prashant A, dan Mukherjee M., 2010. Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks, Research Design and Standard Organization (RDSO), Lucknow, Indian Institute of Technology Kanpur.
- Sinarta, I Nengah. 2014. “Metode Penanganan Tanah Longsor dengan Pemakuan Tanah (Soil Nailing)”. PADUAKSARA, 3(2).
- Zakaria, Z. 2009. Analisis Kestabilan Lereng Tanah. Bandung: Fakultas Teknik Geologi Univeristas Padjadjaran