

Analisis Kestabilan Lereng pada Inlet dan Outlet Dengan Perkuatan Shotcrete dan soil nailing (Studi Kasus: Bangunan Pengambilan Bendungan Manikin)

Slope Stability Analysis At Inlets And Outlets With Shotcrete Reinforcement And Shotcrete dan soil nailing (Case Study: Manikin Dam Retrieval Building)

Desinta Banni Lomi¹, Denik Sri Krisnayanti², Judi K. Nasjono^{3*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Kestabilan Lereng, Soil Nailing, shotcrete, Bangunan pengambilan

Keywords:

Slope Stability, Soil Nailing, Building Intake

Article history:

Received: 16-06-2025

Accepted: 21-07-2025

^{*}Koresponden email:

desintalomi@gmail.com

denik.krisnayanti@staf.undana.ac.id

judi.nasjono@staf.undana.ac.id

Abstrak

Bendungan Manikin terletak di Desa Kuaklalo, Nusa Tenggara Timur (NTT), dengan kondisi geologi yang kurang baik yang didominasi oleh tanah lempung bobonaro yang merupakan salah satu jenis tanah yang ekspansif. Tujuan penelitian ini adalah: Mengetahui nilai faktor keamanan pada lereng *inlet* dan *outlet* bangunan pengambilan tanpa perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* dan akibat adanya pembebanan dan setelah diberikan perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing*. Analisis stabilitas lereng *inlet* dengan Geostudio menggunakan dua kondisi yaitu kondisi nonNWL (*slope/w*) tanpa perkuatan SF=1.141, dengan perkuatan SF=1.303, dan kondisi NWL (*seep/w*) tanpa perkuatan SF=1.528, dengan perkuatan SF=1.844. Dengan perhitungan manual stabilitas lereng *inlet* tanpa perkuatan SF= 1.260, akibat adanya gempa SF= 1.148 dan analisis stabilitas dengan perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* terhadap keruntuhan global SF=1,708. Hasil perhitungan stabilitas lereng *outlet* tanpa perkuatan *slope/w* SF=1.490, dengan perkuatan 1.597 lalu dengan perhitungan manual tanpa perkuatan menggunakan metode Bishop SF=1.791, akibat gempa SF=1.600 dan analisis stabilitas dengan perkuatan *shotcrete* dan *soil inleting* terhadap keruntuhan global SF=1,665.

Abstract

Manikin Dam is located in Kuaklalo Village, East Nusa Tenggara (NTT), with poor geological conditions dominated by bobonaro clay soil which is one type of expansive soil. The objectives of this study are: To determine the value of the safety factor on the inlet and outlet slopes of the intake structure without shotcrete and soil nailing reinforcement and due to loading and after being given shotcrete and soil nailing reinforcement. Inlet slope stability analysis with Geostudio using two conditions, namely non-NWL conditions (*slope/w*) without reinforcement SF=1.141, with reinforcement SF=1.303, and NWL conditions (*seep/w*) without reinforcement SF=1.528, with reinforcement SF=1.844. With manual calculation of inlet slope stability without reinforcement SF=1.260, due to earthquake SF=1.148 and stability analysis with shotcrete reinforcement and soil nailing against global collapse SF=1.708. The results of the calculation of outlet slope stability without reinforcement *slope/w* SF=1.490, with reinforcement 1.597 then with manual calculation without reinforcement using the Bishop method SF=1.791, due to earthquake SF=1.600 and stability analysis with shotcrete reinforcement and soil nailing against global collapse SF=1.665.

Kutipan:

1. Pendahuluan

Bendungan Manikin terletak di Desa Kuaklalo, yang berbatasan dengan Desa Bokong, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur (NTT). Kondisi topografi di Kecamatan Taebenu memiliki ketinggian antara 131 m – 401 m di atas permukaan laut dengan kemiringan lahan yang berbeda – beda dari landai – sedang. Desa Kuaklalo yang merupakan tempat pekerjaan Bendungan berada pada ketinggian 292 m di atas permukaan laut.

Potensi terjadinya longsor karena dipengaruhi oleh beberapa hal, misalnya adanya galian, kemiringan lereng yang curam, intensitas curah hujan yang tinggi, terjadi pergerakan tanah, maupun kondisi tanah yang kurang baik. Terjadinya longsor karena adanya ketidakseimbangan antara gaya yang bekerja pada lereng yaitu gaya pendorong yang terjadi pada lereng lebih besar dari pada gaya penahan yang berada di lereng tersebut (Pragustus et al., 2019).

Pada pelaksanaan proyek Pembangunan Bendungan Manikin diketahui bahwa kondisi geologi yang kurang baik dengan tanah eksisting didominasi oleh tanah lempung bobonaro yang merupakan salah satu jenis tanah yang ekspansif yang dalam pembangunan sebuah bendungan kurang direkomendasikan. Lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki sifat kembang susut yang besar dan perilakunya sangat dipengaruhi oleh air yang memiliki kembang susut yang tinggi, berdasarkan karakteristik tersebut maka lempung ekspansif sangat mempengaruhi kuat geser tanah (Kay et al., 2022). Kondisi lahan area *Inlet* dan *Outlet* Bangunan Pengambilan/*Intake* Bendungan Manikin yang memiliki jenis tanah lempung ekspansif dengan lahan terbuka sehingga memerlukan analisa lanjutan terkait potensi longsor yang bisa terjadi di area tersebut. Dikarenakan adanya potensi kelongsoran pada daerah lereng *inlet* maupun *outlet* pengambilan maka dibutuhkan sebuah upaya perkuatan pada lereng- lereng tersebut.

Kelongsoran bisa dicegah dengan melakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut dan apabila kondisi lereng tidak aman, maka lereng tersebut harus diberi perkuatan.

Perkuatan yang digunakan pada lereng *inlet* dan *outlet* bangunan pengambilan (*intake*) proyek Pembangunan Bendungan Manikin yaitu menggunakan perkuatan *soil nailing* yang di kombinasi dengan *shotcrete*.

2. Bahan dan Metode

Lokasi penelitian bertempat di Bendungan Manikin yang secara administratif terletak di Sungai Manikin, diantara Desa Kuaklalo dan Desa Bokong Kecamatan Taebenu, secara topografis terletak pada koordinat 10°12'46"LS dan 123°43'04"BT. Tepatnya pada lereng *inlet* dan *outlet* bangunan pengambilan. Bahan penelitian yang digunakan berasal dari data primer dan data sekunder. Data primer berupa gambar lereng *inlet* dan *outlet*. Sedangkan data sekunder diperoleh dari pihak – pihak proyek yaitu Balai Besar Wilayah Sungai Nusa Tenggara II (BBWS NT II) dan Konsultan Perencana, PT. Inakko Internasional Konsulindo KSO, PT. Bina Karya (Persero), PT. Indah Karya (Persero) berupa.

1. Gambar *layout* dan *cross section* lereng *inlet* dan *outlet* bangunan pengambilan Bendungan Manikin
2. Data tanah hasil penyelidikan geologi pada *inlet* dan *outlet* Bangunan Pengambilan Bendungan Manikin
3. Trial *mix* beton K-225 *wet shotcrete*

Dalam penelitian ini, dalam menganalisis stabilitas lereng menggunakan *software* Geostudio V.23 *slope/w* dan *seep/w* dan juga perhitungan manual menggunakan *excel*. *Slope/w* untuk menganalisis stabilitas lereng dan *Seep/w* untuk menganalisis rembesan. Fitur ini menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium*) untuk mencari angka keamanan sebuah lereng dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan untuk berbagai permukaan tanah yang miring, tekanan air pori, sifat tanah, dan beban terkonsentris. Kemudian *Seep/w* untuk menganalisis rembesan air dan masalah disipasi tekanan air pori berlebih dalam bahan berpori seperti tanah dan batuan. Dengan formulasi yang komprehensif memungkinkan dapat mempertimbangkan analisis mulai dari yang sederhana, masalah kondisi jenuh atau tidak jenuh *steady-state* sampai dengan masalah kondisi jenuh atau tidak jenuh yang tergantung pada waktu (Putra et al., 2022). Pada penelitian ini dilakukan analisis pada lereng *inlet* dan *outlet*. Pada lereng *Inlet* di analisis dengan dua kondisi yaitu dengan *normal water level* dan tanpa *normal water level* dengan elevasinya 147.5 MDPL. Perkuatan yang digunakan pada Bendungan Manikin yaitu *shotcrete* dan *soil nailing*. *Shotcrete* merupakan campuran berbahan dasar semen yang diproyeksikan dengan kecepatan tinggi ke area permukaan yang menerima

(Putro et al., 2023). *Soil nailing* adalah salah satu teknik konstruksi yang bisa digunakan sebagai metode untuk memperkuat kondisi lereng tanah yang tidak stabil atau sebagai teknik konstruksi yang digunakan untuk menambah keamanan bagi lereng eksisting yang telah stabil (Atikah et al., 2017)

2.1. Analisis Stabilitas

Analisis stabilitas lereng adalah menentukan faktor keamanan dari bidang longsor. Faktor keamanan (FK) didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (Fauzi et al., 2019). Faktor keamanan dapat didefinisikan dalam persamaan berikut

$$FK = \frac{\tau}{\tau d} \quad (1)$$

Dimana:

FK : faktor keamanan,

τ : tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah [kN/m²]

τ_d : tegangan geser akibat gaya dorong tanah yang mengakibatkan longsor [kN/m^2]

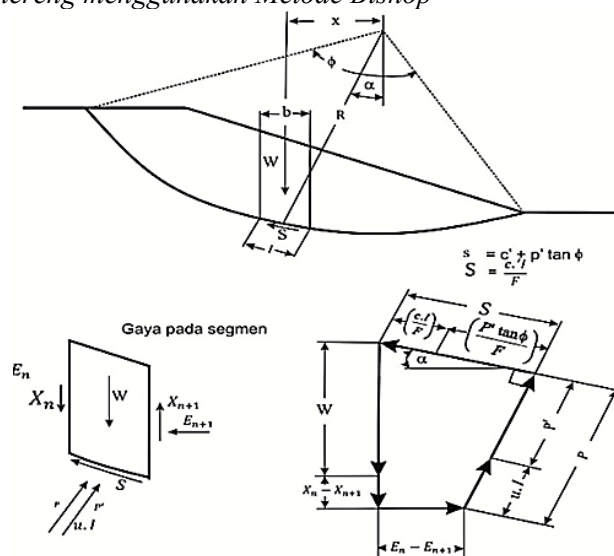
Nilai-nilai faktor keamanan (FK) atau *safety factor* (SF) untuk menilai kestabilan suatu lereng menurut Bowles (1984) yaitu sebagai berikut:

SF < 1,07 : keruntuhan biasa terjadi (labil)

1,07 < SF < 1,25 : keruntuhan pernah terjadi (kritis)

SF $\geq 1,25$: keruntuhan jarang terjadi (stabil)

2.2. Analisis stabilitas lereng menggunakan Metode Bishop



Gambar 1. Gaya – Gaya Yang Bekerja Pada *Metode Bishop Simplified*

Sumber: (Eveny et al., 2014)

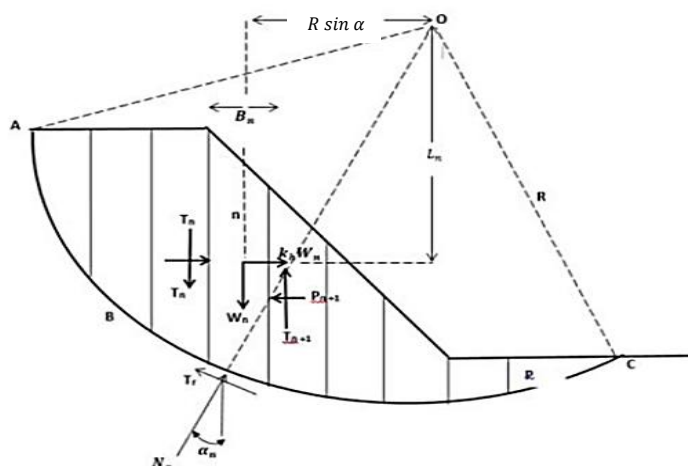
Asumsi yang digunakan dalam metode Bishop adalah gaya geser antar irisan sama dengan nol ($x=0$) dengan bidang longsor berbentuk lingkaran

$$FK = \frac{\Sigma[c.b + (W - u.b) \tan \phi] \left(\frac{1}{Mi} \right)}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (2)$$

$$M_i = \cos \alpha \left(\frac{1 + \tan \phi \tan \alpha}{E} \right) \quad (3)$$

Dengan, c : kohesi (kN/m^2), b : lebar irisan (m), W : berat massa tanah (kN/m), u : tekanan air pori (kN/m)

2.3. Analisis Stabilitas Lereng Akibat Gempa



Gambar 2. Metode Irisan Konvensional

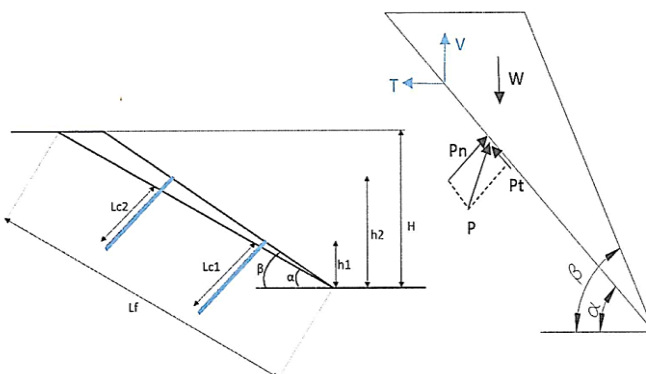
Sumber : (Sutiyono et al., 2017)

ABC adalah busur dari lingkaran dengan pusatnya dititik O tanah di atas permukaan dibagi menjadi beberapa irisan. Panjang setiap irisan tidak perlu sama untuk lapis ke-n pertimbangkan ketebalan satuan disudut kanan untuk penampang yang ditampilkan.

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^p (c B_n + \sec \alpha + W_n \cos \alpha \tan \phi)}{\sum_{n=1}^p (W_n \sin \alpha_n + k_h W_n (L_n/R))} \quad (4)$$

2.4. Analisis Stabilitas Dengan Perkuatan Shotcrete dan soil nailing

Perkuatan lereng harus aman terhadap keruntuhan, pada perhitungan manual, mengadopsi metode Baji (wedge) dengan bidang longsor planar yaitu :



Gambar 3. Gaya Yang Bekerja Pada Metode Baji

Sumber : (Wibowo et al., 2022)

Nilai faktor keamanan terhadap keruntuhan global, terhadap pergeseran, terhadap cabut tulangan dan putus tulangan dapat dihitung dengan persamaan – persamaan berikut:

2.4.1. Analisis Stabilitas Lereng eksternal

1. Faktor aman terhadap keruntuhan lereng global (global stability failure)

Faktor aman terhadap (SF) keruntuhan lereng global menggunakan persamaan berikut :

$$FS = \frac{c.L_f + W \cos \alpha \cdot \tan \alpha + (\sum T_i \sin (\alpha+i) - \sum V_i \cos (\alpha+i) \tan \phi)}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos (\alpha+i) - \sum V_i \cos (\alpha+i)} \quad (5)$$

Dengan FS: factor aman, c : kohesi (kN/m^2), ϕ : sudut geser dalam (kN/m^3), α : sudut kemiringan bidang longsor ($^\circ$), W : berat irisan tanah (kN/m), I : kemiringan pemasangan sudut *nail* ($^\circ$), $\sum T_i$: jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m), $\sum V_i$: jumlah daya dukung terhadap gaya geser (kN/m) (K, Mina, and B 2015).

2. Faktor aman terhadap penggeseran termasuk beban gempa (*sliding stability failure*)

Tekanan tanah aktif diperhitungkan dari gaya horizontal yang timbul akibat beban tanah, konstruksi jalan, beban kendaraan dan beban gempa. Faktor aman terhadap (SF) penggeseran menggunakan persamaan berikut :

$$FS = \frac{c.BL + (W + Q + Pa \sin \varphi) \tan \varphi}{Pa \cos \varphi} \quad (6)$$

Dengan FS : factor aman, c : kohesi (kN/m^2), BL : lebar struktur (m), Q : beban mati di atas lereng (kN/m), φ : sudut geser dalam ($^\circ$).

2.4.2. Analisis Stabilitas Lereng Internal

1. Faktor aman terhadap putus tulangan

Faktor aman terhadap (SF) putus tulangan menggunakan persamaan berikut :

$$Fr = \frac{\left(\frac{0.25 \times \pi \times d^2 \times f_y}{1000} \right)}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \quad (7)$$

$$\sigma = K a \times \gamma \times z \quad (8)$$

Dengan D : diameter tulangan (mm), Sv : jarak tulangan *vertical* (m), Sh : jarak tulangan horizontal (m), σ_h : tekanan horizontal tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m^2), z : kedalaman yang ditinjau.

2. Faktor aman terhadap cabut tulangan

Faktor aman terhadap (SF) cabut tulangan menggunakan persamaan berikut :

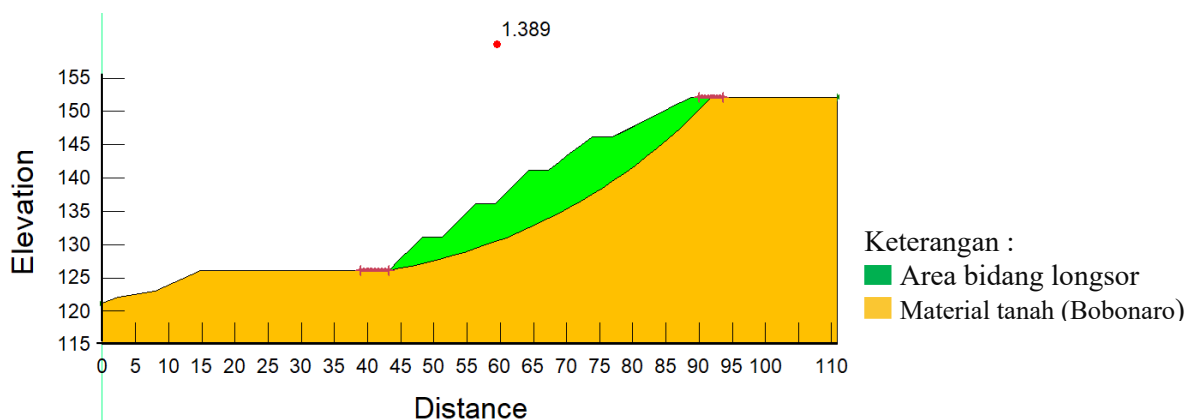
$$Fp = \frac{\pi \times q_u \times D_{dh} \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \quad (9)$$

Dengan q_u : *ultimate bond strength* (kN/m^3), L_p : panjang tulangan yang berada pada zona pasif (m), D_{dh} : diameter lubang bor (m).

3. Hasil dan Pembahasan

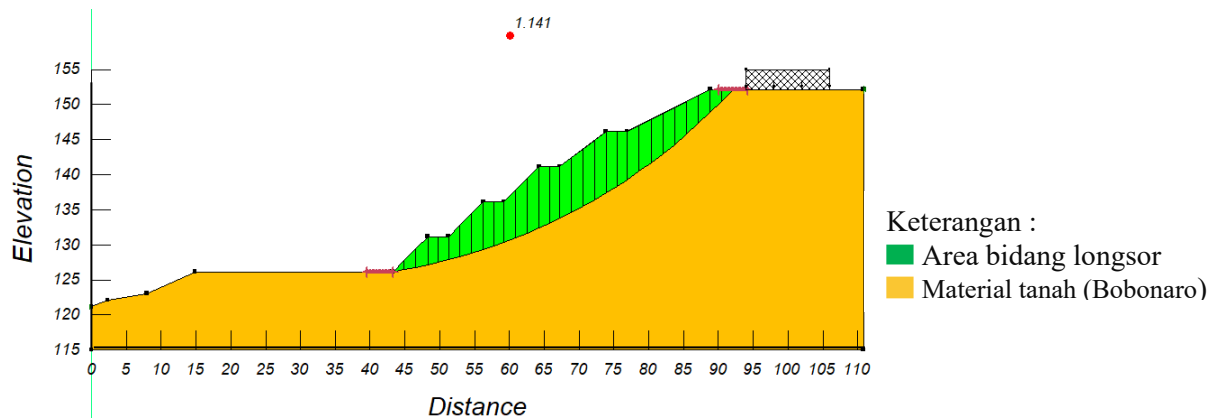
Tabel 1. Parameter Tanah

No	Lokasi penyelidikan	No. sampel	Berat isi tanah (gr/cm^3)	Berat isi tanah kering (gr/cm^3)	Sudut geser dalam ($^\circ$)	kohesi (kg/cm^2)
1	Inlet	INA GT- 37	2.134	1.829	14.12	0.42
2	Outlet	INA GT-41	2.194	1.702	22.55	0.30

3.1. Analisis menggunakan *slope/w* dan *seep/w*

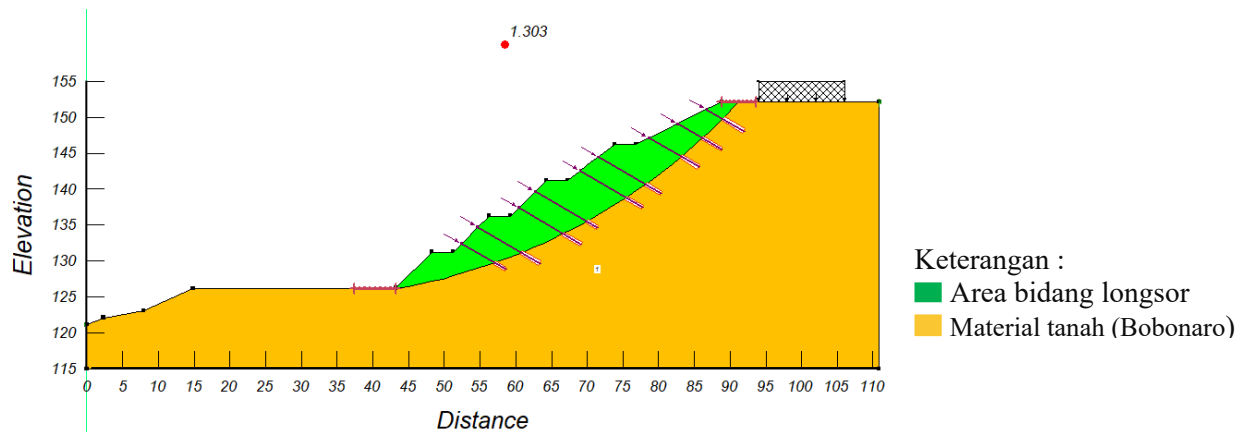
Gambar 4. Faktor Keamanan Kondisi Belum Digenangi Tanpa Gempa

Hasil analisis *slope/w* dengan kondisi belum digenangi air tanpa pembebanan gempa dan konstruksi jalan, dan tanpa perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* $FK = 1.389 > 1.25$ (aman).



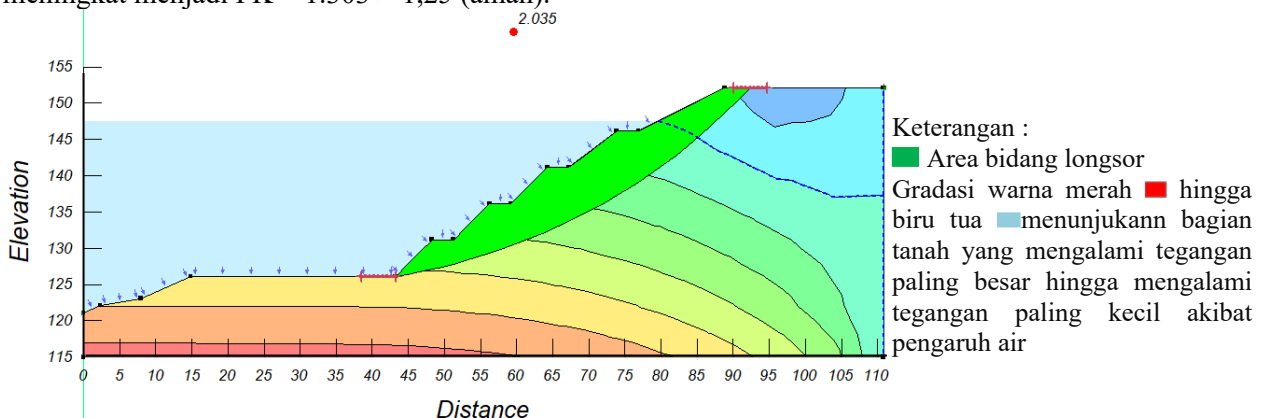
Gambar 5. Faktor Keamanan Kondisi Belum Digenangi + Gempa

Hasil analisis *slope/w* dengan kondisi belum digenangi air setelah diberikan pembebanan gempa dan konstruksi jalan dan tanpa perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* $FK = 1.141 < 1.25$ (tidak aman).



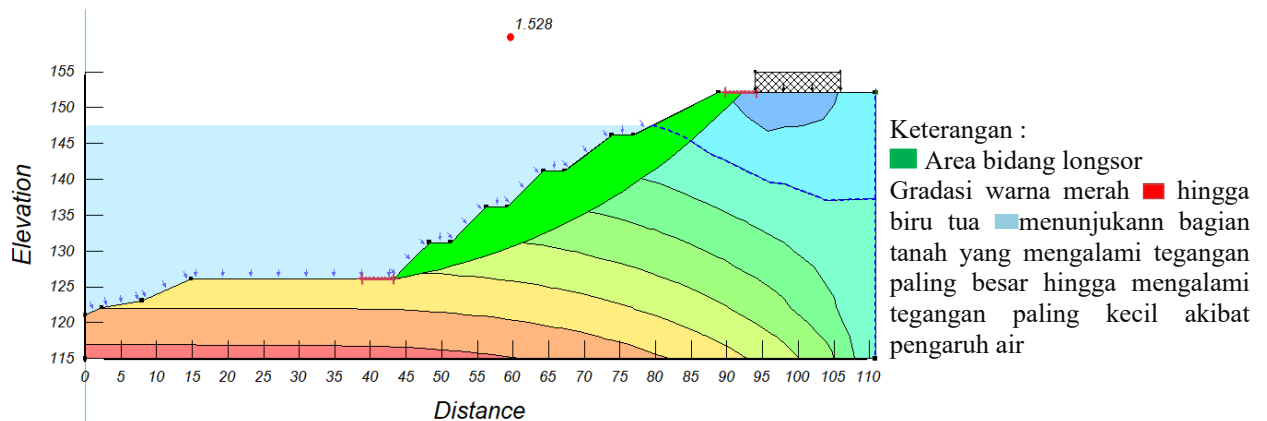
Gambar 6. Faktor Keamanan Kondisi Belum Digenangi + Gempa + SN

Hasil analisis *slope/w* dengan kondisi sebelum digenangi air, setelah diberikan pembebanan konstruksi jalan dan gempa, dan setelah diberikan perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* faktor keamanan meningkat menjadi $FK = 1.303 > 1.25$ (aman).



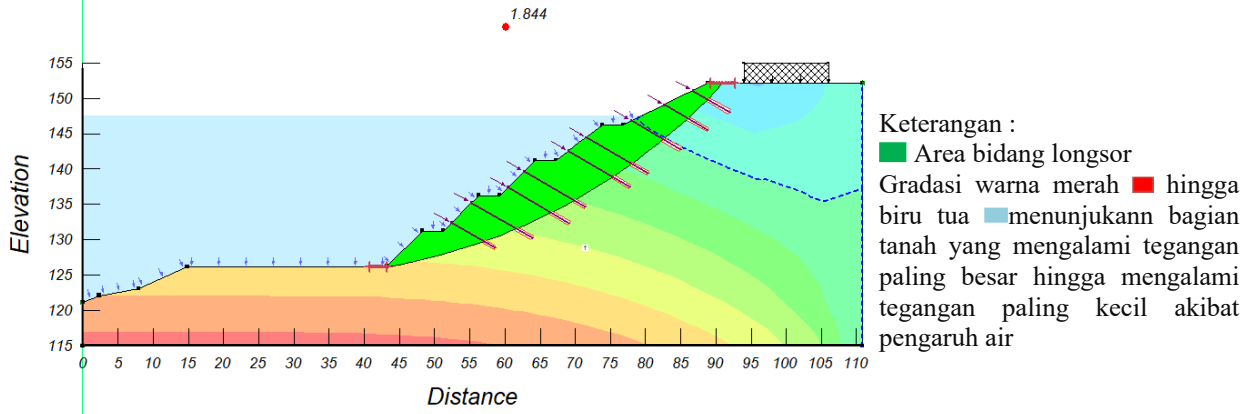
Gambar 7. Faktor Keamanan Kondisi Digenangi + Tanpa Gempa

Hasil analisis rembesan dengan *seep/w* dengan kondisi *Normal Water Level* (NWL) elevasi 147.5 MDPL tanpa pembebanan konstruksi jalan dan gempa, dan tanpa perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* $FK = 2.035 > 1.25$ (aman).



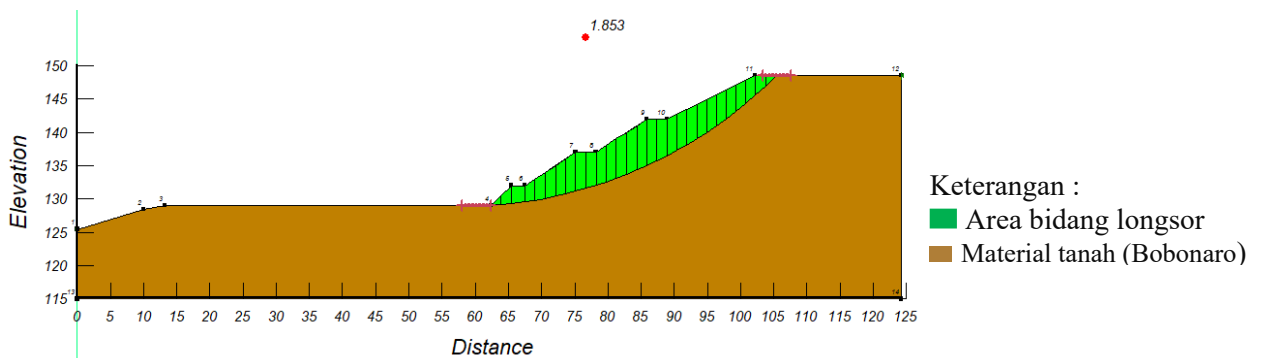
Gambar 8. Faktor Keamanan Kondisi Digenangi + Gempa

Hasil analisis rembesan dengan *seep/w* dengan kondisi *Normal Water Level* (NWL) elv. 147.5 MDPL dengan adanya pembebanan konstruksi jalan dan gempa, dan tanpa perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* $FK = 1.528 > 1,25$ (aman).



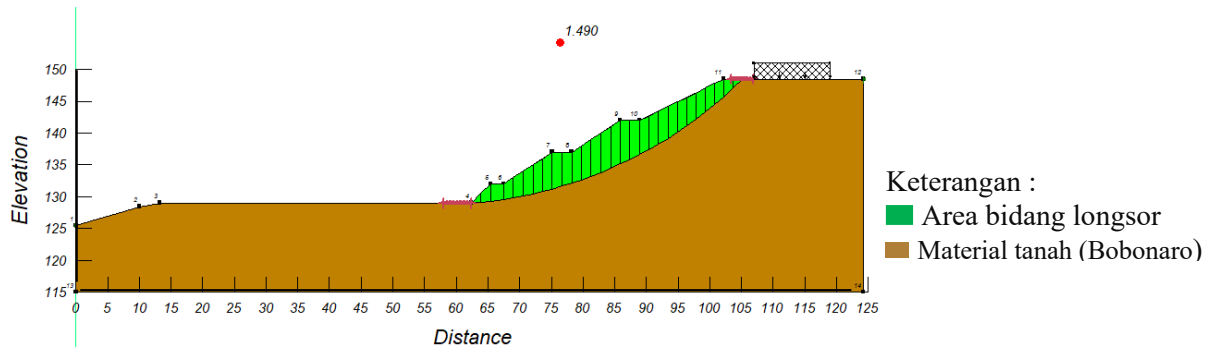
Gambar 9. Faktor Keamanan Kondisi Digenangi + Gempa +SN

Hasil analisis rembesan dengan *seep/w* dengan kondisi *Normal Water Level* (NWL) elv 147.5 MDPL dengan adanya pembebanan konstruksi jalan, pembebanan gempa dan setelah diberikan perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* $FK = 1.844 > 1,25$ (aman).



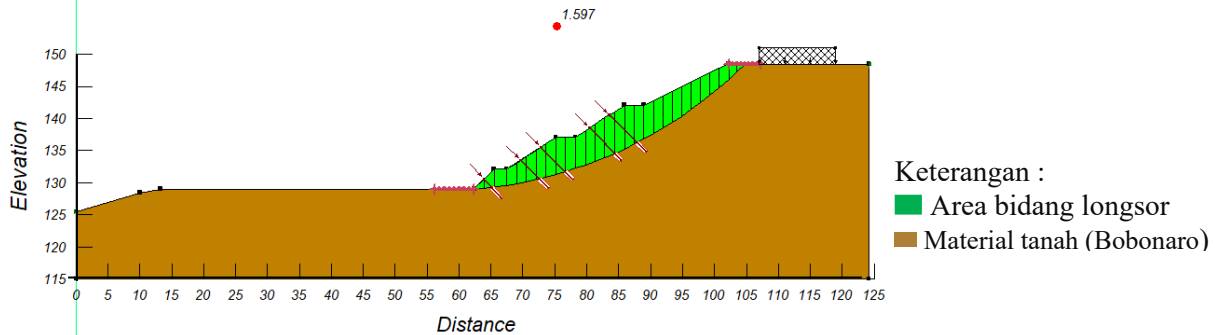
Gambar 10. Faktor Keamanan Tanpa Gempa

Hasil analisis *slope/w* lereng *outlet* tanpa diberikan pembebanan konstruksi jalan dan juga gempa, dan tanpa diberikan perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* faktor keamanan $FK = 1.853 > 1.25$ (aman).



Gambar 11. Faktor Keamanan Dengan Gempa

Hasil analisis *slope/w* lereng *outlet* setelah diberikan pembebanan konstruksi jalan dan juga gempa, dan tanpa diberikan perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* faktor keamanan $FK = 1.490 > 1.25$ (aman).



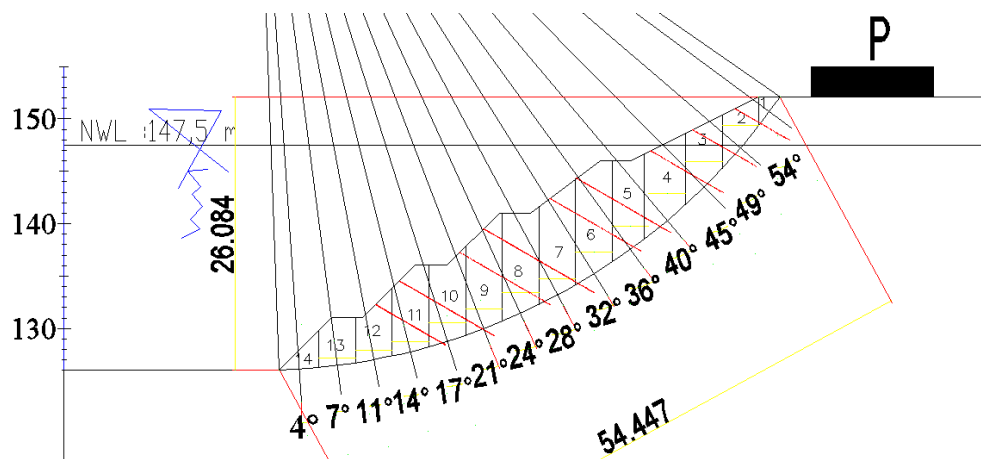
Gambar 12. Faktor Keamanan Setelah Diberi Perkuatan

Hasil analisis *slope/w* lereng *outlet* setelah diberikan pembebanan konstruksi jalan dan juga gempa, dan setelah diberikan perkuatan *shotcrete* dan *soil nailing* faktor keamanan $FK = 1.597 > 1.25$ (aman).

3.2. Analisis tanpa Perkuatan Shotcrete dan soil nailing

3.2.1. Analisis dengan metode Bishop

Pada Tabel 13 merupakan perhitungan stabilitas lereng *inlet* menggunakan metode Bishop.



Gambar 13. Pembagian Bidang Longsor Dalam Bentuk Irisan
Tabel 2. Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng *Inlet* Metode Bishop

FS	Irisan	Bentuk	b	h1	h2	hw	α_i	c (kN/m ²)	ϕ	γ_{sat} (kN/m ³)	$\sin \alpha_i$	$\cos \alpha_i$	$\tan \alpha_i$	$\tan \phi$
Ruas Kiri	No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,260	1	segitga	2	1,344	0,000	0	54	41,188	14,120	20,82	0,809	0,588	1,376	0,252
	2	trapesium	3,5	2,7905	1,121	0	49	41,188	14,120	20,82	0,755	0,656	1,150	0,252
	3	trapesium	3,5	1,993	3,919	3,988	45	41,188	14,120	20,82	0,707	0,707	1,000	0,252
	4	trapesium	3,5	0,559	7,162	6,995	40	41,188	14,120	20,82	0,643	0,766	0,839	0,252
	5	trapesium	3,5	0	8,592	0	36	41,188	14,120	20,82	0,588	0,809	0,727	0,252
	6	trapesium	3,5	0	10,160	0	32	41,188	14,120	20,82	0,530	0,848	0,625	0,252
	7	trapesium	3,5	0	9,753	0	28	41,188	14,120	20,82	0,469	0,883	0,532	0,252
	8	trapesium	3,5	0	9,507	0	24	41,188	14,120	20,82	0,407	0,914	0,445	0,252
	9	trapesium	3,5	0	9,937	0	21	41,188	14,120	20,82	0,358	0,934	0,384	0,252
	10	trapesium	3,5	0	7,697	0	17	41,188	14,120	20,82	0,292	0,956	0,306	0,252
	11	trapesium	3,5	0	7,615	0	14	41,188	14,120	20,82	0,242	0,970	0,249	0,252
	12	trapesium	3,5	0	4,788	0	11	41,188	14,120	20,82	0,191	0,982	0,194	0,252
	13	trapesium	3,5	0	4,271	0	7	41,188	14,120	20,82	0,122	0,993	0,123	0,252
	14	segitga	3,792	0	1,798	0	4	41,188	14,120	20,82	0,070	0,998	0,070	0,252

w1	W2	Wtot	u= hw. Yw	b.u	c.b	(w - u.b)tan ϕ	18+19	ma	w.Sin α_i	FK	20 x 21
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
55,964	0,000	55,964	0	0	82,376	14,078	96,454	1,335	45,276		128,725
203,344	81,687	285,031	0	0	144,158	71,701	215,859	1,240	215,116		267,571
145,230	285,541	430,771	39,122	136,92798	144,158	73,917	218,075	1,179	304,601		257,080
40,734	521,859	562,593	68,62095	240,17333	144,158	81,106	225,264	1,118	361,628		251,868
0	626,063	626,063	0	0	144,158	157,488	301,646	1,079	367,990		325,623
0	740,323	740,323	0	0	144,158	186,231	330,389	1,048	392,311		346,376
0	710,701	710,701	0	0	144,158	178,780	322,938	1,024	333,654	1,260	330,650
0	692,739	692,739	0	0	144,158	174,261	318,419	1,005	281,762		320,100
0	724,073	724,073	0	0	144,158	182,143	326,301	0,995	259,484		324,637
0	560,880	560,880	0	0	144,158	141,092	285,250	0,986	163,986		281,124
0	554,905	554,905	0	0	144,158	139,588	283,746	0,982	134,244		278,567
0	348,902	348,902	0	0	144,158	87,767	231,925	0,981	66,574		227,440
0	311,191	311,191	0	0	144,158	78,281	222,439	0,983	37,925		218,748
0	141,951	141,951	0	0	156,185	35,708	191,893	0,989	9,902		189,713
6746,086									2974,452		3748,221

3.2.2. Analisis Stabilitas Lereng Akibat Gempa

Tabel 3. Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng *Inlet* Akibat Adanya Gempa

Irisan	Bentuk	b	L	r	h1	h2	hw	α_i	c (kN/m ²)	ϕ	γ_{sat} (kN/m ³)	Cos α_i	sin α_i
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	segitga	2	2	60,87	1,344	0,000	0	54	41,188	14,120	20,82	0,588	0,809
2	trapesium	3,5	5,387	60,87	2,7905	1,121	0	49	41,188	14,120	20,82	0,656	0,755
3	trapesium	3,5	4,918	60,87	1,993	3,919	3,988	45	41,188	14,120	20,82	0,707	0,707
4	trapesium	3,5	4,58	60,87	0,559	7,162	6,995	40	41,188	14,120	20,82	0,766	0,643
5	trapesium	3,5	4,324	60,87	0	8,610	0	36	41,188	14,120	20,82	0,809	0,588
6	trapesium	3,5	4,127	60,87	0	10,160	0	32	41,188	14,120	20,82	0,848	0,530
7	trapesium	3,5	3,972	60,87	0	9,753	0	28	41,188	14,120	20,82	0,883	0,469
8	trapesium	3,5	3,846	60,87	0	9,507	0	24	41,188	14,120	20,82	0,914	0,407
9	trapesium	3,5	3,749	60,87	0	9,937	0	21	41,188	14,120	20,82	0,934	0,358
10	trapesium	3,5	3,669	60,87	0	7,697	0	17	41,188	14,120	20,82	0,956	0,292
11	trapesium	3,5	3,607	60,87	0	7,615	0	14	41,188	14,120	20,82	0,970	0,242
12	trapesium	3,5	3,561	60,87	0	4,788	0	11	41,188	14,120	20,82	0,982	0,191
13	trapesium	3,5	3,529	60,87	0	4,271	0	7	41,188	14,120	20,82	0,993	0,122
14	segitga	3,8	3,801	60,87	0	1,798	0	4	41,188	14,120	20,82	0,998	0,070
tan α_i		sec α_i	tan ϕ	w1	w2	Wtot	c.b	(w . Cos α_i . tan ϕ)	15+20+21	kh.Wn.(Ln/R)	w.sin α_i	FK	
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
1,376	1,701	0,252	55,964	0,000	55,964	82,376	8,275	92,352	0,186	45,276			
1,150	1,524	0,252	203,344	81,687	285,031	144,158	47,040	192,722	2,558	215,116			
1,000	1,414	0,252	145,230	285,541	430,771	144,158	76,624	222,196	3,529	304,601			
0,839	1,305	0,252	40,734	521,859	562,593	144,158	108,412	253,876	4,292	361,628			
0,727	1,236	0,252	0	627,411	627,411	144,158	127,685	273,079	4,519	368,783			
0,625	1,179	0,252	0	740,323	740,323	144,158	157,933	303,270	5,089	392,311			
0,532	1,133	0,252	0	710,701	710,701	144,158	157,853	303,144	4,702	333,654			
0,445	1,095	0,252	0	692,739	692,739	144,158	159,195	304,448	4,438	281,762		1,148	
0,384	1,071	0,252	0	724,073	724,073	144,158	170,045	315,274	4,522	259,484			
0,306	1,046	0,252	0	560,880	560,880	144,158	134,927	280,130	3,428	163,986			
0,249	1,031	0,252	0	554,905	554,905	144,158	135,442	280,631	3,334	134,244			
0,194	1,019	0,252	0	348,902	348,902	144,158	86,155	231,332	2,070	66,574			
0,123	1,008	0,252	0	311,191	311,191	144,158	77,698	222,863	1,829	37,925			
0,070	1,002	0,252	0	142,288	142,288	156,556	35,706	193,264	0,901	9,926			
										3468,581	45,397	2975,268	

Dengan perhitungan dan metode yang sama dilakukan pada lereng *outlet*, maka didapatkan faktor tanpa perkuatan menggunakan metode Bishop FS = 1,791 dan akibat diberikan pembebanan *seismic* FS = 1,600

3.3. Perkuatan Shotcrete dan soil nailing

Pada penelitian ini perkuatan yang digunakan yaitu *shotcrete* dan *soil nailing*. Berikut merupakan data- data yang digunakan sebagai berikut:

Data tulangan <i>nail</i>	:
Diameter tulangan <i>nail</i>	: 25 mm
Mutu baja (fy)	: 420 Mpa
Diameter lubang bor	: 0,31 m
Panjang <i>nail</i>	: <i>inlet</i> = 7 m, 10m, 8m, 7m, 6m : <i>outlet</i> = 4m, 6m, 7m, 8m
Kemiringan <i>nail</i> (i)	: <i>inlet</i> 30 ° : <i>outlet</i> 45°
Jarak <i>vertical</i>	: 2,5 m
Jark horizontal	: 2 m
Data material tanah	:
Berat isi tanah	: <i>inlet</i> 20,82 kN/m ³ : <i>outlet</i> 21,94 kN/m ³
Kohesi	: <i>inlet</i> 41,188 kN/m ² : <i>outlet</i> 29,42 kN/m ²
Sudut geser dalam	: <i>inlet</i> 14,120 ° : <i>outlet</i> = 22,55°
Sudut lereng	: <i>inlet</i> = 45° : <i>outlet</i> = 44°
Tinggi lereng (m)	: <i>inlet</i> =26,084 m : <i>outlet</i> = 19,5m

3.3.1. Perhitungan pembebanan pada lereng

1. Konstruksi jalan

a. Berat perkerasan jalan beton

$$\begin{aligned} \text{berat perkerasan jalan} &= \text{berat perkerasan beton} + \text{berat pondasi bawah} \\ &= (0,2 \times 24) + (0,1 \times 24) \\ &= 7,2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban kendaraan truk 3 as

$$P = 100 \text{ kN}$$

$$B = \sqrt{\frac{P\sqrt{2}}{Pc}}$$

$$B = \sqrt{\frac{100\sqrt{2}}{620}} = 0,48 \text{ m}$$

$$L = 0,5 \times B$$

$$L = 0,24 \text{ m}$$

$$p' = \frac{P}{2(B+2h \operatorname{tg} \alpha)(L+2h \operatorname{tg} \alpha)}$$

$$p' = \frac{100}{2(0,48+2 \times 0,55 \operatorname{tg} 27^\circ)(0,24+2 \times 0,55 \operatorname{tg} 27^\circ)}$$

$$p' = 60,033 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{tot}} = q_{\text{perkerasan}} + 4p'$$

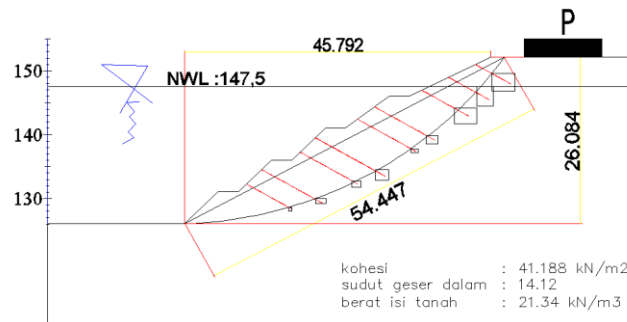
$$= 7,2 + 4 \times 60,033$$

$$= 247,331 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban gempa

Menghitung percepatan gempa dipermukaan tanah berdasarkan peta gempa 2010, dengan T=100 tahun, diketahui $k_h = 0,101$

2. Analisis stabilitas lereng eksternal

Gambar 14. Sketsa Lereng *Inlet* Dengan Perkuatan

Perhitungan manual dengan mengadopsi metode baji (*wedge*) dengan bidang longsor planar, perhitungan di bawah ini merupakan perhitungan pada lereng *inlet*,

a. Analisis stabilitas lereng terhadap keruntuhan global

$$F_s = \frac{c.Lf + W \cos \alpha \cdot \tan \alpha + (\Sigma Ti \sin (\alpha+i) - \Sigma Vi \cos (\alpha+i) \tan \phi}{W \sin \alpha - \Sigma Ti \cos (\alpha+i) - \Sigma Vi \cos (\alpha+i)}$$

$$F_{s_{inlet}} = \frac{(41,188 \times 54,447) + (6746,086 \times \cos 29 \times \tan 29) + (41,894 \times \sin (19+30)) - (0,069 \times \cos (29+30) \tan 14,12)}{6746,086 \times \sin 29 - 41,894 \times \cos (29+30) - 0,207 \times \cos (29+30)}$$

$$F_{s_{inlet}} = 1,708$$

$$F_{s_{outlet}} =$$

$$\frac{(29,42 \times 48,032) + (5294,284 \times \cos 24 \times \tan 24) + (12,258 \times \sin [(24+45)] - (0,328 \times \cos [(24+45)] \tan 22,550)}{5294,284 \times \sin 24 - 31,774 \times \cos (24+45) - 0,328 \times \cos (24+45)}$$

$$F_{s_{outlet}} = 1,665$$

b. Analisis stabilitas lereng terhadap keruntuhan gesar

$$F_s = \frac{c.b.BL + (W + Q + Pa \sin \phi) \tan \phi}{Pa \cos \phi}$$

$$F_{s_{inlet}} = \frac{41,188 \times 47,792 + (6746,086 + 247,331 + 1598,04) \times 0,252}{6352,665}$$

$$F_{s_{inlet}} = 1,474$$

$$F_{s_{outlet}} = \frac{29,420 \times 39,896 + 5294,284 + 247,331 + 1243,31 \times 0,415}{2994,230}$$

$$F_{s_{outlet}} = 2,415$$

3. Analisis stabilitas lereng internal

$$Q_u = 400 \text{ kN/m}^2$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$S_v = 2,25 \text{ m}$$

$$S_h = 2 \text{ m}$$

$$D_{dh} = 0,31 \text{ m}$$

$$L_p = 0,43 \text{ m}$$

a. Menghitung nilai faktor keamanan terhadap putus tulangan

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

$$F_r = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times 25^2 \times 420}{1000} \right)}{15,615 \times 2,26 \times 2} = 2,921$$

b. Menghitung nilai faktor keamanan terhadap cabut tulangan

$$F_p = \frac{\pi \times q_u \times D_{dh} \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h}$$

$$F_p = \frac{3,14 \times 400 \times 0,31 \times 0,43}{15,615 \times 2,26 \times 2} = 2,373$$

Dengan perhitungan yang sama, maka penulis merangkum hasil perhitungan terhadap putus tulangan dan terhadap cabut tulangan *nail* di *inlet* dan *outlet* yang dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Rekapitan SF Putus Tulangan dan Cabut Tulangan

No	<i>inlet</i> L <i>nail</i> (m)	Fr	Fp	<i>outlet</i> L <i>nail</i> (m)	Fr	Fp
1	7	2,921	2,373	4	2,775	9,322
2	10	1,444	3,493	6	1,875	2,225
3	10	2,921	3,455	7	1,484	1,399
4	10	2,178	7,182	7	1,900	1,791
5	10	2,353	3,392	8	1,339	1,265
6	10	1,550	3,369			
7	8	2,215	7,399			
8	7	1,333	5,960			
9	6	1,512	9,184			

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini terkait stabilitas lereng *inlet* dan *outlet* Bangunan Pengambilan Bendungan Manikin sebelum diberikan perkuatan akibat adanya beban diketahui hasil analisis stabilitas lereng *inlet* menggunakan *slope/w* FK = 1.141, menggunakan *seep/w* FK= 1.528, berdasarkan perhitungan manual FK= 1.148 ,sedangkan angka keamanan lereng *outlet* menggunakan *slope/w* FK=1.490 menggunakan perhitungan manual FK = 1.600> 1,25. Hasil stabilitas lereng *inlet* dan *outlet* Bangunan Pengambilan Bendungan Manikin setelah diberikan perkuatan akibat adanya beban berdasarkan analisis *slope/w* pada lereng *inlet* diketahui FK= 1.303, hasil analisis *seep/w* FK = 1.844, berdasarkan perhitungan manual FK =1.708. dan hasil analisis stabilitas lereng *outlet* menggunakan *slope/w* FK =1.597, menggunakan perhitungan FK= 1.665.

Daftar Pustaka

- Atikah, Dewi, Pitojo Tri Juwono, and Andre Primantyo Hendrawan. 2017. "Pengaruh Hujan Pada Stabilitas Lereng Di Jalan Tol Gempol – Pandaan." *Jurnal Teknik Pengairan* 008(01): 79–88.
- Eveny, OFFI NUR. 2014. Universitas Sriwijaya "Perbandingan Metode Bishop, Janbu Dan Spencer Dalam Perhitungan Stabilitas Lereng Pada Batuan Tuff."
- Fauzi, Imron Maulana, and Indra Noer Hamdhan. 2019. "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven Akibat Pengaruh Termal Menggunakan Metode Elemen Hingga." *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual* 2(1): 61–72.
- K, Rama Indera, Enden Mina, and Sevenuary B. 2015. "Analisis Stabilitas Lereng Dan Perencanaan Soilnailing Dengan Software Geostudio 2007." *Fondasi* 4(1).
- Kay, Imanuel Suryantha Dominggus. 2022. "Pengaruh Stabilisasi Fly Ash Terhadap Kuat Geser Lempung Ekspansif Pada Siklus Basah Dan Kering ' (Studi Kasus : Kecamatan Takari) Skripsi." Universitas Nusa Cendana.
- Pragustus, Depniel, Agnes T. Mandagi, and Arens E. Turangan. 2019. "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Software Slide 6.0 (Studi Kasus: Ruas Jalan Manado-Tomohon)." *Jurnal Sipil Statik* 7(11): 1445–52.
- Putra, Sahal Priyono, Abdul Rochim, and Sumirin. 2022. "Studi Metode Perkuatan Terhadap Lereng Menggunakan Geomat, Shortcrete, Dan Soil Nailing (Studi Kasus: Lereng Spillway Bendungan Sadawarna Paket II Subang)." 28(1): 65–77.
- Putro, Muhammad Fatoni Eko Nugroho, and Dian Hastari Agustina. 2023. "Analisis Kestabilan Lereng Dengan Perkuatan Shotcrete Menggunakan Plaxis (Studi Kasus : Ruas Jalan Tarempa – Rintis Sta 07 + 800 Kab . Anambas)." 6(1): 223–30.
- Sutiyono, Dina Iis, Sjachrul Balamba, and Alva Noviana Sarajar. 2017. "Analisis Stabilitas Lereng Akibat Gempa Di Ruas Jalan Noongan - Pangu." *Tekno* 15(1–12).
- Wibowo, Agung Hari. 2022. "Stabilisasi Lereng Metode Soil Nailing Stabilisasi Lereng Metode Soil Nailing Di Ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong Km. Ska. 81+200(Kab. Wonogiri)." 200.