ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN BRONJONG MENGGUNAKAN METODE *BISHOP* DAN *SOFTWARE GEOSLOOF/W* DI *CLUSTER* 37 PERTAMINA GEOTERMAL *ENERGY* AREA LAHENDONG

Veby Adinda Kapantow[1], Nova. A.R.A Mamarimbing[2], Nicky W. Rampengan[3]
[1,2,3] Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado
e-mail: kapantowveby@gmail.com[1], novamamarimbing@unima.ac.id[2], nickyrampengan@gmail.com[3]

ABSTRAK

Kestabilan lereng merupakan aspek krusial dalam perencanaan infrastruktur untuk mengantisipasi risiko bencana tanah longsor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai faktor keamanan (FK) pada lereng dalam kondisi alami (tanpa perkuatan) serta mengevaluasi efektivitas pemasangan struktur perkuatan. Analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu perhitungan manual dengan Metode Bishop dan simulasi numerik berbasis perangkat lunak GeoSlope/W. Berdasarkan hasil analisis, kondisi lereng tanpa perkuatan menunjukkan nilai faktor keamanan yang kritis dan tidak aman, yaitu sebesar 1,054 (Metode Bishop) dan 1,059 (GeoSlope/W). Setelah diberikan struktur perkuatan, stabilitas lereng mengalami peningkatan yang signifikan dengan nilai faktor keamanan mencapai 1,707 pada Metode Bishop dan 1,706 pada GeoSlope/W. Hasil ini mengindikasikan bahwa desain perkuatan yang direncanakan telah memenuhi standar keamanan (> 1,5) dan efektif dalam menjaga kestabilan lereng. Selain itu, hasil analisis menunjukkan tingkat konsistensi dan akurasi yang sangat tinggi antara perhitungan manual Metode Bishop dan pemodelan digital menggunakan GeoSlope/W dengan selisih nilai yang sangat tipis.

Kata Kunci: *Faktor Keamanan, GeoSlope/W, Kestabilan Lereng, Metode Bishop, Perkuatan Lereng.*

ABSTRAK

Slope stability is a crucial aspect of infrastructure planning for mitigating landslide risks. This study aims to analyze the Factor of Safety (FS) for a slope in its natural state (unreinforced) and to evaluate the effectiveness of installing reinforcement structures. Slope stability analysis was conducted using two approaches: manual calculation via the Bishop Method and numerical simulation using GeoSlope/W software. The analysis results indicate that the unreinforced slope exhibited critical and unsafe Factor of Safety values—specifically 1.054 (Bishop Method) and 1.059 (GeoSlope/W). Following the installation of reinforcement structures, slope stability improved significantly, with FS values reaching 1.707 (Bishop Method) and 1.706 (GeoSlope/W). These results demonstrate that the proposed reinforcement design meets safety standards (> 1.5) and effectively ensures slope stability. Furthermore, the analysis reveals a high

ISSN 2798-141X

level of consistency and accuracy between the manual Bishop Method calculations and the digital modeling using GeoSlope/W, with only a negligible difference in values.

Keywords: *Bishop Method, Factor of Safety, GeoSlope/W, Slope Reinforcement, Slope Stability.*

PENDAHULUAN

Kelongsoran lereng merupakan salah satu bencana geoteknik yang paling sering terjadi di wilayah beriklim tropis dengan topografi curam. Fenomena ini mengancam keselamatan infrastruktur vital, termasuk kawasan pembangkit listrik tenaga panas bumi yang dituntut beroperasi tanpa gangguan. Pada area industri seperti ini, pemotongan lereng alami untuk konstruksi sering kali mengganggu keseimbangan tegangan alami tanah. Pemodelan stabilitas lereng modern saat ini menuntut analisis yang mampu mengakomodasi tingginya ketidakpastian (*spatial variability*) parameter tanah di lapangan serta pengaruh dinamika cuaca secara presisi (Amri & Burhan, 2026).

Kondisi kritis ini sangat relevan dengan wilayah operasi Cluster 37 Pertamina Geothermal Energy (PGE) Area Lahendong, Sulawesi Utara. Sebagai kawasan pemanfaatan energi panas bumi yang aktif, stabilitas lereng di area ini bersifat mutlak guna menjamin keamanan pipa penyalur uap bertekanan tinggi. Wilayah Lahendong dicirikan oleh curah hujan tinggi dan karakteristik tanah residual yang sensitif terhadap air. Analisis stabilitas lereng akibat pengaruh lingkungan ini harus memperhitungkan fluktuasi muka air tanah secara transien guna memodelkan penurunan Faktor Keamanan (FK) secara periodik akibat infiltrasi air hujan (Ng & Shi, 1998).

Untuk memitigasi risiko struktural di Cluster 37 PGE Area Lahendong, perkuatan dinding penahan tanah tipe bronjong (*gabion*) dipilih sebagai solusi teknik yang optimal. Sifat bronjong yang fleksibel mampu menahan tekanan lateral tanah sekaligus bertindak sebagai sistem drainase alami yang porous. Penggunaan kombinasi dinding penahan tanah tipe bronjong memberikan solusi perkuatan lereng yang fleksibel sekaligus adaptif terhadap deformasi lateral yang besar di area rawan. Evaluasi stabilitas lereng yang diperkuat bronjong harus memastikan bahwa susunan blok mampu mengalirkan air pori dengan cepat untuk mencegah akumulasi tekanan hidrostatik di belakang struktur (Wantoro, 2025).

Guna menilai efektivitas perkuatan ini secara ilmiah dan presisi, penelitian ini menggunakan Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan pendekatan Metode Bishop yang Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*). Perhitungan mekanika tanah ini diintegrasikan ke dalam perangkat lunak komputasi geoteknik GeoStudio (GeoSlope/W) sub-program SLOPE/W untuk memetakan tingkat keamanan lereng di Cluster 37 PGE Area Lahendong secara komprehensif demi keberlangsungan operasional energi nasional.

ISSN 2798-141X

LANDASAN TEORI

Stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh parameter internal tanah seperti kohesi dan sudut geser dalam serta faktor eksternal seperti fluktuasi air tanah. Kuantifikasi tingkat kestabilan ini dinyatakan melalui nilai Faktor Keamanan (SF). Batas aman minimum yang umumnya diadopsi dalam standar keteknikan global untuk lereng permanen adalah >1,25 hingga 1,50 tergantung pada tingkat ketidakpastian parameternya (Kottamad kk, 2023). Keruntuhan lereng di Cluster 37 Pertamina Geothermal Energy (PGE) Area Lahendong diantisipasi menggunakan perkuatan bronjong. struktur bronjong yang permeabel efektif mereduksi tekanan hidrostatik sekaligus memberikan gaya penahan gravitasi di kaki lereng

integrasi antara perhitungan manual berbasis keseimbangan batas dan simulasi terkomputerisasi digunakan dalam penelitian ini untuk memastikan keandalan analisis stabilitas lereng sebelum dan sesudah diberikan perkuatan struktur **(**Syah & Alami, 2025). Penentuan Faktor Keamanan minimum untuk desain lereng wajib merujuk pada regulasi terbaru dengan mempertimbangkan faktor beban dan kombinasi pembebanan terburuk, termasuk beban lalu lintas dan seismik" (SNI 8460:2024 / Standar Mutakhir). Pemodelan stabilitas lereng modern saat ini menuntut analisis yang mampu mengakomodasi tingginya ketidakpastian (*spatial variability*) parameter tanah di lapangan serta pengaruh dinamika cuaca secara presisi.

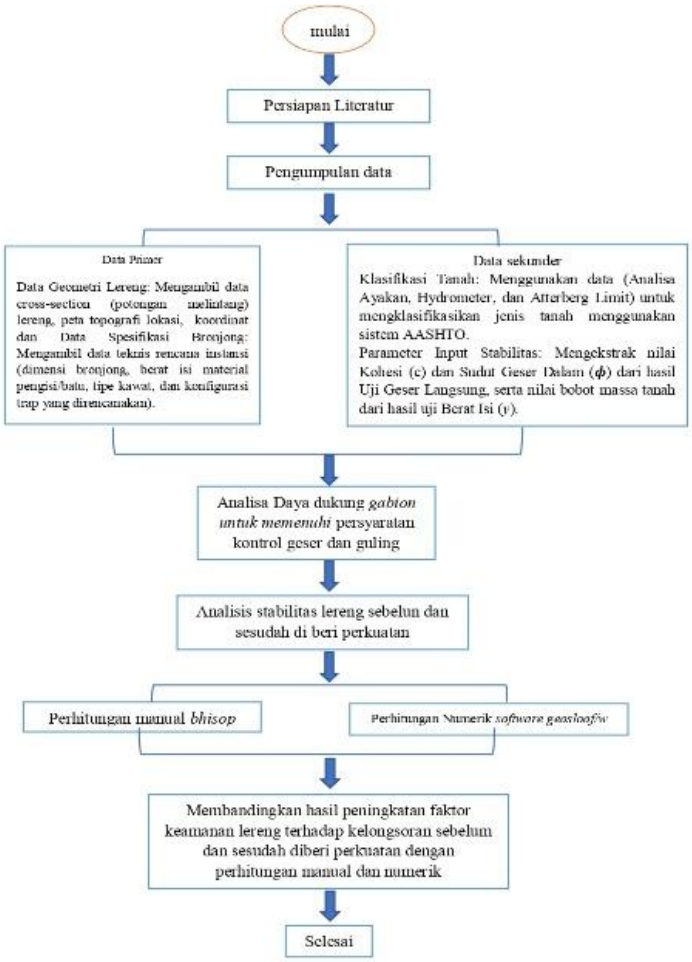
Di samping aspek mekanisnya, keunggulan utama bronjong di area bercurah hujan tinggi adalah sifatnya yang sangat permeabel. Penggunaan kombinasi dinding penahan tanah tipe bronjong memberikan solusi perkuatan lereng yang fleksibel sekaligus adaptif terhadap deformasi lateral yang besar di area rawan. Karakteristik porous ini mencegah terjadinya efek bendungan (*damming effect*) yang sering merusak struktur penahan tanah masif seperti beton kaku. Evaluasi stabilitas lereng yang diperkuat bronjong harus memastikan bahwa susunan blok mampu mengalirkan air pori dengan cepat untuk mencegah akumulasi tekanan hidrostatik di belakang struktur.

METODE PENELITIAN

Data geometri lereng yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui data sekunder berupa peta topografi dan data *As-Built Drawing* resmi dari pihak PT Pertamina Geothermal Energy (PGE) Area Lahendong. Pengambilan data geometri dari dokumen teknis perusahaan ini mencakup parameter dimensi tinggi lereng, panjang lereng, elevasi trap (berm), serta sudut kemiringan aktual Cluster 37. Menurut Jarir dkk (2026) penggunaan data geometri sekunder yang diperoleh langsung dari perusahaan pengelola lahan memiliki tingkat validitas yang tinggi karena didasarkan pada survei topografi internal berkala dengan standar pemetaan industri yang presisi. Langkah ini juga sejalan dengan protokol keselamatan kerja di area vital geotermal, di mana pemanfaatan data digital korporasi mampu meminimalkan risiko kecelakaan kerja tanpa mengurangi akurasi profil lintang (*cross-section*) 2D yang akan diekspor ke dalam *software* GeoSlope/W (Dunnicliff & Green, 1998).

ISSN 2798-141X

Metodologi penelitian eksperimental-komputasional di Cluster 37 PGE Area Lahendong ini diawali dengan pengambilan sampel tanah terganggu dan tak terganggu menggunakan *shelby tube* sesuai standar ASTM D1587 untuk mempertahankan struktur asli tanah di lapangan. Karakterisasi fisis tanah residual tropis yang memiliki heterogenitas tinggi diidentifikasi melalui pengujian berat isi, berat jenis, batas-batas Atterberg, serta analisis ukuran butiran lewat uji ayakan dan hydrometer. Selanjutnya, parameter kuat geser mekanis (c dan $\boldsymbol{\phi}$) diperoleh melalui uji geser langsung (*direct shear test*) berdasarkan standar ASTM D3080 guna memprediksi kapasitas ketahanan tanah terhadap kelongsoran (Das & Sobhan, 2006). Seluruh parameter laboratorium ini diintegrasikan ke dalam *software* GeoSlope/W untuk menganalisis Faktor Keamanan ($FK) lereng eksisting menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan karena akurasinya yang tinggi pada bidang runtuh busur lingkaran dengan mempertimbangkan variabilitas spasial tanah di lapangan. Apabila nilai FK berada di bawah standar aman SNI 8460, dilakukan perancangan rekayasa perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe bronjong yang dimodelkan kembali pada *software* guna memastikan efektivitas struktur porous tersebut dalam menahan deformasi lateral lereng.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

ISSN 2798-141X

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

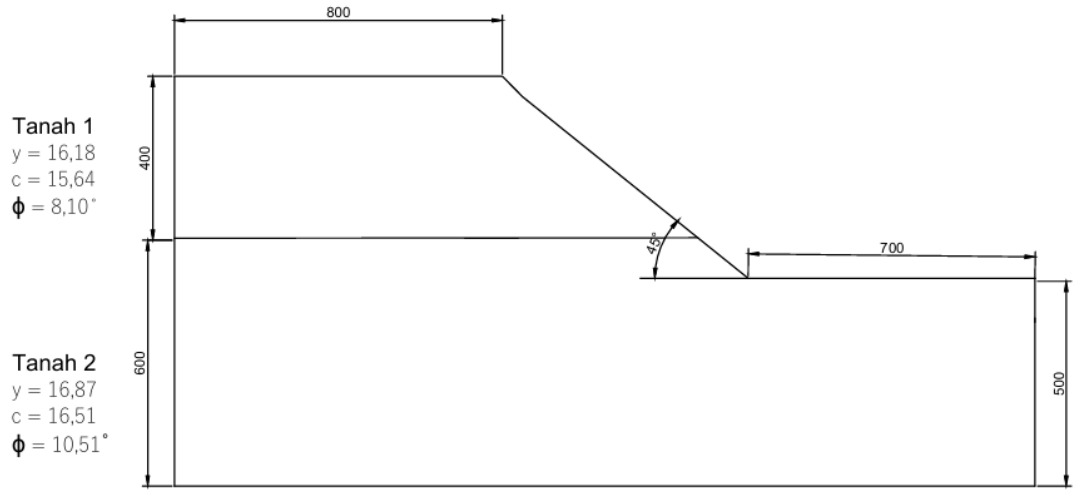
Analisis stabilitas lereng membutuhkan pemahaman komprehensif mengenai parameter hidromekanis tanah yang diperoleh melalui serangkaian pengujian laboratorium. Pengujian sifat fisis tanah yang meliputi pengukuran kadar air (w), berat jenis (Gs), dan berat isi (*y*) menjadi dasar untuk menghitung beban vertikal serta tingkat kejenuhan massa tanah pada lereng. Perilaku tanah berbutir halus lebih lanjut diidentifikasi melalui analisis hidrometer untuk mengetahui distribusi ukuran butiran, serta uji *Atterberg limits* untuk menentukan batas plastisitas tanah saat berinteraksi dengan air. Seluruh parameter fisik tersebut berkorelasi langsung terhadap karakteristik mekanis tanah, di mana kohesi (*c*) dan sudut geser dalam ($\boldsymbol{\phi}$) yang diperoleh dari uji kuat geser bertindak sebagai parameter resistensi utama yang menahan gaya pendorong longsor di sepanjang bidang gelincir.

Tabel 1. Hasil rekapitulasiPengujian Karakteristik Tanah

No	Lapisan	Berat jenis (Gs)	Berat isi	Geser langsung		*Atterbag Limit*		
				Kohesi (c)	Sudut geser ($\boldsymbol{\phi}$)	Kadar Air % (LL)	Kadar Air % (PL)	PI
1	Tanah 1	2,3	16,18	14	8,52	51,22199593	41,4953271	9,73 %
2	Tanah 2	2,45	16,87	16	10,47	56,56824989	45,01510574	11,55%

Pemodelan Geometri Lereng Eksisting

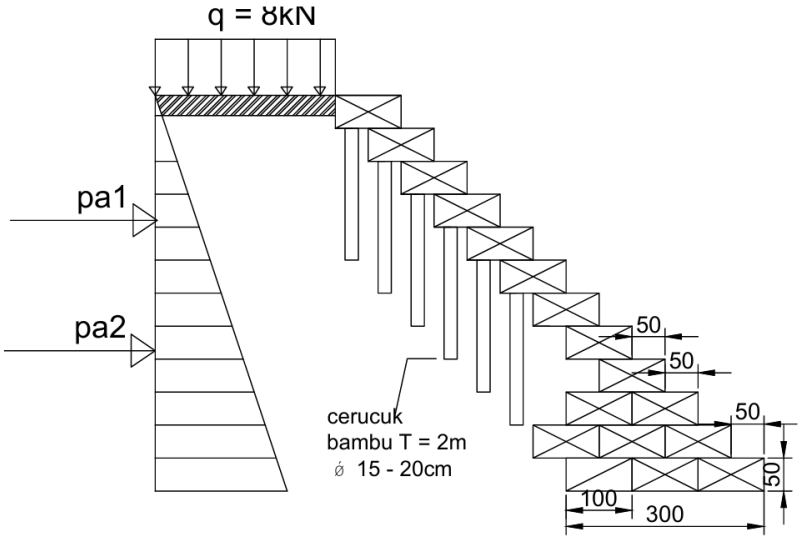
Pemodelan lereng dibuat menggunakan *autocad* dengan standar pemodelan geometri lereng. Data yang digunakan merupakan data hasil sekunder. Dibuat dengan kedalaman 11.10 meter dan terdiri dari 2 lapisan tanah



Gambar 2. Pemodelan lereng

ISSN 2798-141X

Desain Bronjong
Berat Volume Tanah (1) γ = 16,18 kN/m3
Beban merata = 8 kN
Sudut geser tanah 1 ($\boldsymbol{\phi}$) = 8,52°
Berat volume = 16 kN
Ukuran 3 x 1 x 0,5 = 25,5 kN



Gambar 3. Desain bronjong

Tabel 2. Berat sendiri bronjong

No.	Beban (kN)	Lengan Momen	Momen (kNm)
1.	76,5	1,5	114,75
2.	76,5	2	153
3.	51	2,5	127,5
4.	25,5	3	76,5
5.	25,5	3,5	89,25
6.	25,5	4	102
7.	25,5	4,5	114,75
8.	25,5	5	127,5
9.	25,5	5,5	140,25
10.	25,5	6,5	165,75
11.	25,5	7	178,5
12.	25,5	7,5	191,25
Σ	433,5		1581

a. Tekanan tanah lateral
   Koefisien tekanan tanah aktif (Ka)

ISSN 2798-141X

Ka1 = $\text{Tan}^2 (45 - \frac{\phi}{2})$
= $\text{Tan}^2 (45 - \frac{8{,}52}{2})$
= 0,741

b. Tekanan tanah Aktif akibat berat isi Tanah
$Q_{total} = q_{jalan} + q_{kendaraan}$ = 8 kN + 10kN
Pa1 = Ka x q x h
= 0,741 x 15 x 6
= 66,69 kN
Pa2 = $\frac{1}{2}$ x Ka x γ x h
= $\frac{1}{2}$ x 0.741 x 16,86 x 6^2
= 224.878 kN

c. Kapasitas geser bambu (H_u)
1. $H_{izin} = \frac{H_{ult}}{2{,}5\ m} = \frac{5\ kN}{2{,}5\ m}$ = 2 kN/batang
2. F_{bambu} = n x H_{izin} = 8 x 2,0 = 16 kN

d. Tekanan tanah pasif
berat volume tanah jenuh dapat ditulis sebagai:
Tinggi muka air belakang pondasi = 30 cm = 0,30 m

e. Gaya *uplift*
U = $\frac{1}{2}$. *0,3.2 = 0,6 kN/M*

Tabel 3. Tekanan pasif tanah

Nomor tingkat	Gaya Lateral (kN)	Lengan Momen	Momen (kN/m)
Pa1	66,69	3	200.070
Pa2	224.878	2	449.756
Σ	291.568		649.826

Kontrol Terhadap geser
SF = $\frac{\Sigma V}{\Sigma H} \geq 1{,}5$
SF = $\frac{[(w_{bronjong-u}]+\text{Rbambu}}{Gaya\ Letral}$
SF = $\frac{(433{,}5-0{,}6)+12}{291.568} = 1{,}537 > 1{,}5$ OK (memenuhi)
1) terhadap guling
SF = $\frac{\Sigma V}{\Sigma H} \geq 1{,}5$
SF = $\frac{1581+12}{556.460} = 2{,}862 >$ OK (Memenuhi)

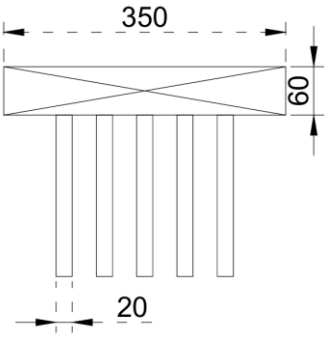
Desain Pondasi *Pile Cap*

Berdasarkan hasil pengujian tanah dari laboratorium data tanah di bawah pondasi, ukuran pondasi, diameter cerucuk bamboo dan berat beton adalah seperti pada tabel 4.

ISSN 2798-141X

Tabel 4. Parameter input desain pondasi pile cap

Ukuran *pile cap* (m)	ϕ	Y_{tanah} (kN/m^3)	Y_{beton} (kN/m^3)	c (kN/m^2)	D bambu (cm)
P = 3,5 T= 0,6 L= 3,5,	10,52°	16,86	24	16,50	15 - 20



Gambar 4. Desain pondasi Pile Cap

Faktor Adhesi ((α): Untuk tanah lempung dengan kohesi c = 16,50 = 0,9 (lempuk lunak)

1. Daya Dukung Cerucuk Bambu Tunggal
   a. Luas selimut 1 bambu (A_s)
      $A_s = \pi$ x D X L = 3,1416 x 0,175 x 2 = $1,10^2$
   b. Tahanan gesek dinding (Q_s)
      Q_s = α x c x As = 0,9 x 16,50 x 1,10 = 16,335 kN
   c. Daya dukung izin 1 cerucuk (Q_{ijin})
      $Q_{ijin} = \frac{Q_S}{SF} = \frac{16,335}{3}$ = 5,445 kN
      $Q_{total\ cerucuk}$ = 5 x 5,445 = 27,225
   d. Daya dukung tanah asli di bawah pondasi
      Tebal *pile cap* (D_f) = 0,6 m

      Untuk sudut geser dalam ϕ = 10,47°, nilai faktor kapasitas dukung Terzaghi (pendekatan) adalah:
      N_c = 9,6, N_q = 2,7, N_y = 1,2
   e. Faktor bentuk pondasi persegi panjang Terzaghi:
      sc = 1 + 0,3 $\frac{B}{L}$ = 1 + 0,3 $(\frac{3}{3,5})$ = 1,257
      s_y= 1 - 0,2 $\frac{B}{L}$ = 1 – 0,2 $(\frac{3}{3,5})$ = 0,828
   f. Daya dukung *ultimit* tanah :
      q_u = (c x N_c x sc) (y_{tanah} x D_f x N_q) (0,5 x y_{tanah} x B x N_y x s_y)
      q_u = (16,50 x 9,6 x 1,257) (16,81 x 0,6 x 2,7) (0,5 x 18,51 x 3 x 1,2 x0,828
      q_u = 251,58 kN
      daya dukung ijin tanah :

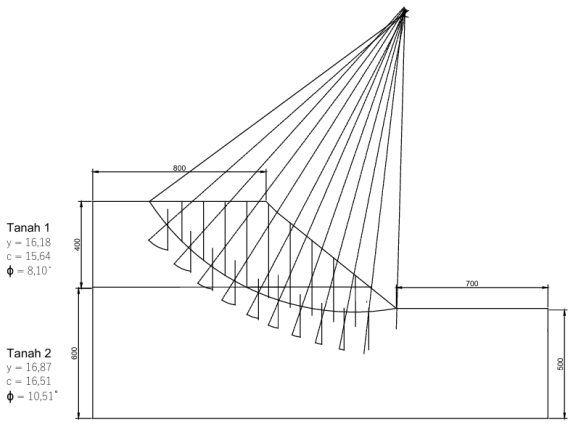
ISSN 2798-141X

$q_{all} = \frac{251,58}{3} = 83,86$ kN/m^2

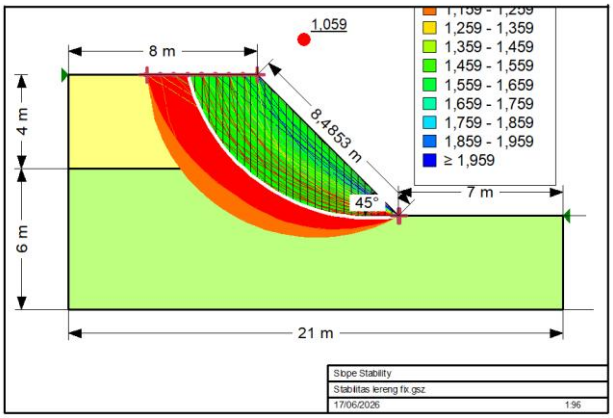
g. Kombinasi daya dukung total pondasi :
Luas total pile cap $A_{pc} = 3 \times 3,5 = 10,5$ kN /m^2

Kapasitas dukung total nominal sistem pondasi sebelum dikurangi berat sendiri adalah:
$Q_{ijin\ total} = q_{all} x\ A_{pc} \times Q_{total\ cerucuk} =$
$Q_{ijin\ total} = (83,86\ x\ 10,5) + 27,225 = 907,775$ kN
Koreksi terhadap berat sendiri pile cap = P x L x T x $y_{beton} = 151,2$ kN
907,775 - 151,2 = 756,555 kN
P_{aktual} (Berat bronjong + beban merata) = 466,5 kN
756,555 > 466,5 OK (Memenuhi)

Hasil Analisis Stabilitas Lereng tanpa Perkuatan (Kondisi Eksisting)



Gambar 4. Anasisis stabilitas lereng metode bhisop tanpa perkuatan (FK = 1,054



Gambar 5 Anasisis stabilitas lereng Geoloof/w tanpa perkuatan (FK = 1,059)

Nilai faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,05 menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi tidak stabil dan tidak memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 yang

ISSN 2798-141X

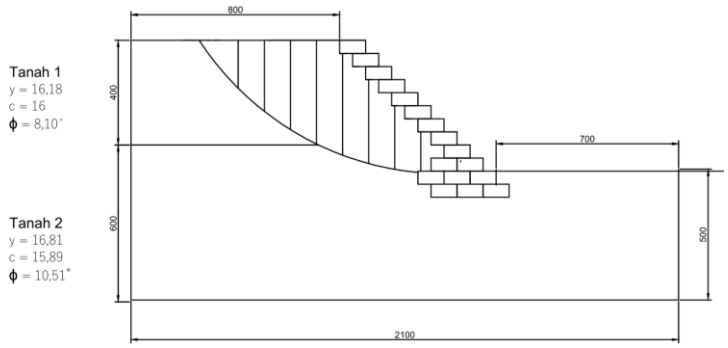
mensyaratkan faktor keamanan minimum 1,50 untuk kondisi permanen. Oleh karena itu diperlukan modifikasi geometri lereng atau penambahan sistem perkuatan untuk meningkatkan stabilitas lereng.

Analisa dengan Perkuatan Bronjong (*Gabion*)

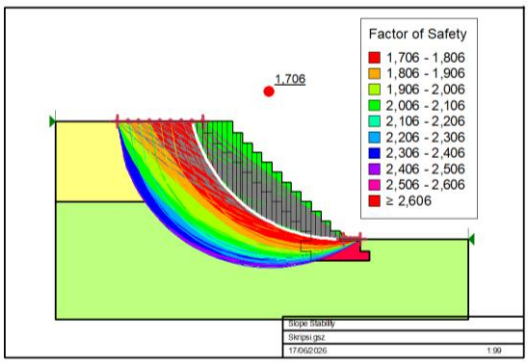
Tabel 5. Data bronjong

Bronjong ukuran 3x1x0,5		
ϕ	c (kPa)	y(kN/m^3)
40°	0	22,5

Data dimensi kawat(3 x 1 x 0,5) dan properti mekanis di dalamnya disesuaikan dengan katalog teknis pabrikan bronjong standar.Sumber: PT. Maccaferri Indonesia, 2021 (*Design Manual and Technical Specifications for Gabion Retaining Walls*) dan Parameter seperti berat isi (*y*), 22,5 kN (hasil kombinasi batu belah dan rongga) dan nilai kohesi (c = 0) sesuai dengan acuan standar Kementerian PUPR.Sumber**:** Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020 (Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, Divisi 7 - Struktur).



Gambar 6 Analisis stabilitas lereng metode bhisop dengan perkuatan bronjong (FK=1,707)



Gambar 7. Analisis stabilitas lereng geosloof/w dengan perkuatan bronjong (FK=1,706)

ISSN 2798-141X

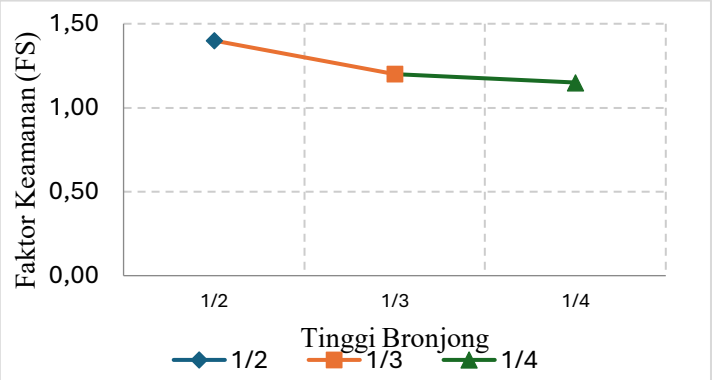
Hasil kalkulasi matematis dan numerik setelah memasukkan parameter dimensi dan gaya tahanan perkuatan pada irisan yang bekerja, diperoleh nilai Faktor Keamanan (Fs) baru sebesar 1,707 .Berdasarkan standar geoteknik (SNI 8460:2017), nilai minimum faktor keamanan untuk lereng jangka panjang pada kondisi statis adalah 1,5.Dengan hasil Fs = 1,7 > 1,5, secara teknis perancangan perkuatan ini dinyatakan aman, stabil, dan telah memenuhi standar kelayakan untuk mengantisipasi bahaya kelongsoran.

Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Perangkat Lunak

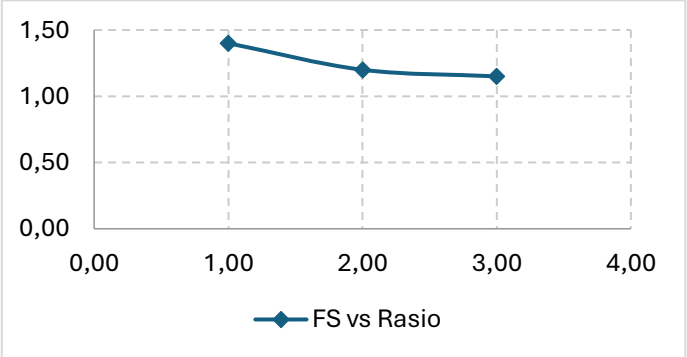
Secara keseluruhan, pemberian perkuatan memberikan dampak yang sangat signifikan pada stabilitas lereng. Nilai Faktor Keamanan meningkat sekitar 61,10% hingga 61,95%. Peningkatan ini juga mengubah status lereng yang semula berada dalam kondisi kritis/labil (FK mendekati 1,0) menjadi kondisi yang aman dan stabil sesuai standar geoteknik karena telah melampaui ambang batas minimum 1,5.

Tabel 6. Perbandingan peningkatan faktor keamanan sebelum dan sesudah diberi perkuatan

Hasil Analisis	Dengan Perkuatan	Tanpa perkuatan
Bhisop	1,707	1,054
Geosloof/w	1,706	1,059



Gambar 8. Hubungan faktor keamanan dengan tinggi bronjong



Gambar 9. Grafik hubungan faktor keamanan vs rasio

ISSN 2798-141X

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan Metode Bishop Manual dan *Software* Geoslope/W**,** dapat disimpulkan bahwa kondisi lereng tanpa perkuatan memiliki nilai faktor keamanan yang rendah. Nilai faktor keamanan pada kondisi tanpa perkuatan adalah 1,054 berdasarkan Metode Bishop Manual dan 1,059 berdasarkan Software Geoslope/W. Nilai tersebut berada di bawah angka 1,25 sehingga lereng dapat dikategorikan dalam kondisi tidak stabil dan berpotensi mengalami kelongsoran. Setelah dilakukan perkuatan, nilai faktor keamanan mengalami peningkatan yang signifikan. Pada kondisi dengan perkuatan, nilai faktor keamanan berdasarkan Metode Bishop Manual adalah 1,707 sedangkan berdasarkan Software Geoslope/W adalah 1,708**.** Nilai tersebut menunjukkan bahwa perkuatan mampu meningkatkan kestabilan lereng sebesar 61,95%. Perbedaan hasil antara perhitungan manual dan software relatif kecil, yaitu sebesar 1 pada kondisi dengan perkuatan dan 5 pada kondisi tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisis menggunakan Metode Bishop Manual dan *Software* Geoslope/W memiliki tingkat kesesuaian yang baik. Dengan demikian, penggunaan perkuatan dapat dinyatakan efektif dalam meningkatkan nilai faktor keamanan lereng dan mengurangi potensi terjadinya kelongsoran. Peningkatan Gaya Penahan (*Resisting Force*): Bronjong bekerja sebagai dinding penahan tanah tipe gravitasi (*gravity retaining wall*). Berat sendiri dari susunan batu belah di dalam kawat anyaman memberikan beban vertikal yang besar di kaki lereng (*toe*), yang secara langsung meningkatkan gaya lawan terhadap momen dorong longsoran. Karakteristik bronjong yang fleksibel terhadap penurunan tanah (*settlement*) dan memiliki drainase yang baik menjadikannya opsi perkuatan yang paling ideal untuk memitigasi risiko longsor di kawasan sensitif proyek panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, H., & Burhan, L. I. (2026). Pemetaan Risiko Longsor Berbasis Skenario Iklim melalui Integrasi GIS–AHP dan Pemodelan Stabilitas Lereng. *DINAMIKA: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, *2*(2), 46-60.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2006). Principles of geotechnical engineering.

Dunnicliff, J., & Green, G. E. (1988). *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance* (Vol. 577). New York: Wiley.

Jarir, D. V., Hidayat, R. R., Kusumaningsih, A. R. P., Saifulloh, M., Putra, I. P. G. E. H., Aryuni, V. T., ... & Hadi, I. K. (2026). *BASIS DATA SPASIAL UNTUK PERENCANAAN DAN PENGELOLAAN WILAYAH*. LSO Creative.

Kottama, G. W., Candra, A. I., Rivianto, A., Rohman, M. R. F., Budiawan, M. R. A. J., Taufani, M. S., & Prasetyo, M. W. (2023). Optimasi Geometri Lereng dengan Evaluasi Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Software Geostudio. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, *6*(2), 84-98.

Ng, C. W. W., & Shi, Q. (1998). A numerical investigation of the stability of unsaturated soil slopes subjected to transient seepage. *Computers and geotechnics*, *22*(1), 1-28.

ISSN 2798-141X

Syah, A., & Alami, F. (2025). Evaluasi dan Analisis Stabilitas Lereng Pasca Longsor Datarajan, 24 Mei: Studi Geoteknik dan Penanganan Segera. *Jurnal Teknik Sipil*, *18*(1), 91-102.

Wantoro, M. (2025). Perencanaan Dan Evaluasi Struktur Bronjong Untuk Penanganan Longsoran Badan Jalan Ruas Waghete-Moanamani (KM 219+ 600). *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, *3*(1), 207-216.

ISSN 2798-141X