

## ANALISIS STABILITAS LERENG DAN PENANGANAN LONGSOR PADA DESA GURIMBANG KABUPATEN BERAU KALIMANTAN TIMUR

Heri Sutanto<sup>1)\*</sup>, M. Jazir Alkas<sup>2)</sup>, Ferdian Sutanto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

E-mail: [hery.sutanto@yahoo.com](mailto:hery.sutanto@yahoo.com)

### ABSTRAK

Jalan poros utama di Desa Gurimbang yang menghubungkan Desa Gurimbang, Sukan Tengah, dan Tanjung Perangat mengalami longsor, mengakibatkan terganggunya akses transportasi darat dan berpotensi menghambat pasokan air bersih karena lokasi longsor berdekatan dengan intake Perumda Tirta Segah Unit Gurimbang. Diperlukan analisis geoteknik untuk menilai stabilitas lereng dan merancang perkuatan yang efektif. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini untuk menganalisis penanganan longsor menggunakan perkuatan *sheet pile* dan dinding *cantilever*, mencakup stabilitas terhadap geser, guling, daya dukung tanah, serta stabilitas global. Tekanan tanah dihitung menggunakan teori Rankine, dengan analisis kapasitas dukung berdasarkan metode U.S. Army Corps untuk *sheet pile* dan teori Meyerhof serta Hansen untuk dinding *cantilever*. Analisis dilakukan pada empat model kondisi lereng, yaitu sebelum dan sesudah longsor dengan dua variasi muka air tanah (aktual dan penurunan 3 m), menggunakan metode Bishop dan *Finite Element Method* (FEM). Hasil menunjukkan faktor keamanan (SF) metode Bishop berturut-turut 1,411; 1,453; 1,517; dan 1,517, sedangkan metode FEM menghasilkan 1,408; 1,430; 1,509; dan 1,511. Karena  $SF < 1,5$ , lereng dinyatakan tidak stabil dan memerlukan perkuatan sepanjang 35 m. Analisis perkuatan menunjukkan *sheet pile* memiliki stabilitas geser 17,502; guling 5,29; daya dukung 5,269; dan SF global 1,568–1,534, sedangkan dinding *cantilever* menghasilkan 3,595; 4,268; 19,366; dan SF global 1,569–1,529. Perbandingan RAB menunjukkan biaya *sheet pile* Rp740.150.000,00 dan *cantilever* Rp604.442.285,33. Dengan demikian, perkuatan dinding *cantilever* dinilai lebih ekonomis dan menjadi solusi alternatif untuk penanganan longsor di lokasi tersebut.

Kata Kunci: Dinding penahan tanah, *sheet pile*, *Cantilever*, metode Bishop, Metode elemen hingga

### ABSTRACT

The main access road in Gurimbang Village, connecting Gurimbang, Sukan Tengah, and Tanjung Perangat, experienced a landslide that disrupted land transportation and potentially affected the clean water supply, as the landslide occurred near the intake facility of Perumda Tirta Segah Unit Gurimbang. Therefore, a geotechnical analysis was conducted to evaluate slope stability and design an effective retaining structure. This study analyzes landslide mitigation using *sheet pile* and *cantilever* wall reinforcements, including stability against sliding, overturning, bearing capacity, and overall slope stability. Earth pressure was calculated using Rankine's theory, while the bearing capacity was analyzed based on the U.S. Army Corps method for *sheet piles* and Meyerhof and Hansen theories for *cantilever* walls. Four slope models were analyzed—pre-failure, post-failure, *sheet pile*, and *cantilever* wall—under two groundwater level (GWL) conditions: actual and 3-meter lowered. Slope stability was analyzed using the Bishop method and the *Finite Element Method* (FEM). The results show safety factors (SF) of 1.411, 1.453, 1.517, and 1.517 for the Bishop method, and 1.408, 1.430, 1.509, and 1.511 for the FEM, indicating instability since  $SF < 1.5$ . Thus, reinforcement along 35 meters of the slope is required. The *sheet pile* design achieved sliding, overturning, and bearing stability factors of 17.502, 5.29, and 5.269, with global SFs of 1.568 and 1.534. The *cantilever* wall achieved 3.595, 4.268, and 19.366, with global SFs of 1.569 and 1.529. Cost estimation shows Rp740,150,000.00 for *sheet pile* and Rp604,442,285.33 for *cantilever* wall. Therefore, the *cantilever* wall is considered the more economical and feasible alternative for landslide mitigation at the site.

Keyword: retaining wall, *sheet pile*, *cantilever*, Bishop method, finite element method

## 1. Pendahuluan

Kabupaten Berau di Provinsi Kalimantan Timur memiliki topografi yang bervariasi mulai dari dataran rendah hingga perbukitan dengan kemiringan lereng yang curam. Berdasarkan karakteristik geologi, wilayah ini tersusun atas batuan sedimen, batuan gamping, dan dolomit yang mudah mengalami pelapukan dan erosi intensif (Hardiyatmo, 2003). Kondisi ini menyebabkan sebagian besar daerah dengan lereng curam rentan mengalami penurunan stabilitas, terutama saat musim hujan ketika tanah menjadi jenuh air. Salah satu lokasi dengan risiko tinggi adalah Desa Gurimbang, Kecamatan Gunung Tabur, di mana lereng jalan utama yang menghubungkan Desa Gurimbang, Sukan Tengah, dan Tanjung Perangat telah mengalami longsor. Longsor tersebut mengganggu konektivitas transportasi masyarakat dan berpotensi menghambat pasokan air bersih dari Perumda Tirta Segah Unit Gurimbang karena lokasi longsor berdekatan dengan intake utama.

Permasalahan ini bukan hanya bersifat teknis, tetapi juga berdampak sosial dan ekonomi bagi masyarakat sekitar. Penurunan kestabilan lereng menunjukkan bahwa sistem perkuatan tanah eksisting belum mampu menahan tekanan air pori dan gaya geser tanah. Kasus serupa juga dilaporkan di wilayah lain di Kalimantan Timur, seperti di Balikpapan, di mana aktivitas pemotongan lereng untuk pembangunan jalan serta kenaikan muka air tanah menjadi faktor utama pemicu longsor (Sari, 2024). Selain itu, Sujiman (2024), menyoroti pentingnya pendekatan keberlanjutan dalam pengelolaan kawasan rawan longsor di wilayah tambang Kutai dengan melibatkan masyarakat lokal dan institusi daerah sebagai bagian dari sistem mitigasi bencana terpadu.

Secara geoteknik, analisis kestabilan lereng menjadi kunci utama dalam memahami penyebab dan solusi longsor. Sam dkk. (2025), mengembangkan pendekatan integratif menggunakan metode seismik refraksi dan uji tanah geoteknik untuk menentukan zona rawan longsor di Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan. Penelitian mereka menunjukkan bahwa sebagian besar lereng memiliki faktor keamanan (FoS)  $< 1,0$  akibat dominasi tanah lempung jenuh dan tekanan air pori tinggi. Di sisi lain, Kumar dkk. (2025), membandingkan metode Bishop dan *Finite Element Method (FEM)* pada kawasan Himalaya, dan menemukan bahwa metode numerik berbasis perangkat lunak Plaxis 2D memberikan prediksi deformasi dan bidang gelincir yang lebih akurat dibandingkan perhitungan manual. Temuan tersebut sejalan dengan pandangan klasik Bowles (1977) dan Das (2006) yang menekankan pentingnya pendekatan kombinatorik antara analisis manual dan numerik dalam desain stabilitas lereng.

Dalam kajian stabilitas lereng, metode Bishop sering digunakan untuk menghitung faktor keamanan berdasarkan kondisi tanah dan geometri lereng (Bina Marga, 2005). Sementara itu, metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) melalui perangkat lunak seperti Plaxis 2D V20 memungkinkan analisis yang lebih detail terhadap deformasi dan tekanan dalam tanah.

Beberapa studi terdahulu juga menunjukkan efektivitas penggunaan perkuatan struktural seperti *sheet pile* dan *cantilever retaining wall* dalam menahan gaya lateral tanah pada lereng terjal (Hardiyatmo 2020a; Dasopang, 2018). Dinding penahan tanah tipe *cantilever* banyak diterapkan karena memiliki desain yang efisien dengan kemampuan menahan beban geser dan momen guling, sementara *sheet pile* lebih unggul pada area dengan kondisi tanah jenuh air (Bowles, 1977).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan lereng di Desa Gurimbang sebelum dan sesudah longsor menggunakan metode Bishop dan *Finite Element Method* (Plaxis 2D V20), serta merencanakan desain perkuatan menggunakan *sheet pile* dan *dinding kantilever*. Selain itu, dilakukan analisis ekonomi untuk menentukan jenis perkuatan yang paling efisien dan aplikatif di lapangan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan, pengamatan visual, dan pengukuran geometrik lereng di lokasi longsor. Data sekunder berasal dari hasil uji tanah oleh CV. Prisma Soenoe, meliputi nilai berat isi tanah ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), serta muka air tanah (MAT). Parameter tambahan seperti modulus elastisitas ( $E$ ) dan rasio Poisson ( $\nu$ ) digunakan untuk pemodelan numerik pada Plaxis 2D V20, sesuai acuan SNI 8460:2017.

### A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung dari lapangan melalui pengamatan kondisi lereng, pengukuran geometrik, dan dokumentasi visual lokasi longsor. Selain itu dilakukan pengamatan terhadap posisi longsor terhadap badan jalan dan intake Perumda Tirta Segah Unit Gurimbang. Data sekunder berasal dari hasil uji tanah oleh CV. Prisma Soenoe,

meliputi uji sondir, uji berat isi tanah ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), dan posisi muka air tanah (MAT). Parameter tambahan seperti modulus elastisitas ( $E$ ) dan rasio Poisson ( $\nu$ ) digunakan untuk kebutuhan analisis numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D V20. Pengumpulan data dilakukan dengan mengacu pada standar SNI 2827:2021 tentang investigasi geoteknik dan SNI 8460:2017 mengenai perancangan stabilitas lereng. Proses akuisisi data ini bertujuan memperoleh parameter tanah yang representatif terhadap kondisi lapangan.

## B. Analisis Parameter Tanah

Tanah merupakan campuran butiran mineral yang dapat mengandung bahan organik, dengan sifat fisik dan mekanik yang dipengaruhi oleh proses pelapukan serta kadar air (Hardiyatmo, 2006). Dalam teknik sipil, klasifikasi seperti kerikil, pasir, lanau, dan lempung digunakan untuk membedakan jenis tanah berdasarkan ukuran butiran dan perilaku mekanisnya. Sifat kuat geser tanah menjadi faktor utama yang menentukan stabilitas lereng, terutama pada kondisi jenuh air. Li & Zhang (2020), menegaskan bahwa perubahan kadar air berpengaruh langsung terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah lempung, sedangkan Pham (2021), menunjukkan bahwa tanah residu tropis memiliki perilaku tak jenuh yang menimbulkan kohesi semu selama proses pengeringan. Adapun nilai parameter diperoleh dari hasil uji laboratorium dan korelasi empiris, mencakup sebagai berikut.

1. Kuat Geser, merupakan kemampuan tanah menahan gaya geser akibat beban luar tanpa mengalami keruntuhan.

$$S = C' + (\tau - \mu) \tan \Phi' \quad (1)$$

2. Tekanan air pori, tekanan yang ditimbulkan oleh air di dalam rongga pori tanah.

$$\mu = \gamma_w h \quad (2)$$

3. Berat isi, berat total tanah per satuan volume, termasuk rongga udara dan air.

$$\gamma_{unsat} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (3)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \quad (4)$$

$$\gamma_b = \frac{\gamma_w G_s (1 + w)}{1 + e} \quad (5)$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_{air} \quad (6)$$

4. Modulus Elastisitas, kemampuan tanah menahan deformasi saat menerima beban.

- Lempung (*Clay*)

$$E_s \text{ (Mpa)} = 500 \text{ s/d } 1500 \times c_u \quad (7)$$

- Pasir (*Sand*)

$$E_s \text{ (Mpa)} = 350 \text{ s/d } 500 \times \log N \times 9,81 \quad (8)$$

5. Angka Poisson, menunjukkan perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial pada saat tanah diberi beban

Tabel 1. Perkiraan Rasio Poisson

Jenis Tanah	$\nu$
Lempung Jenuh	0,40–0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10–0,30
Lempung Berpasir	0,20–0,30
Lanau	0,30–0,35
Pasir Padat	0,20–0,40

Pasir Kasar ( $e = 0,4-0,7$ )	0,15
Pasir Halus ( $e = 0,4-0,7$ )	0,25
Batu	0,10-0,40
Loess	0,10-0,30
Beton	0,15

6. Kohesi ( $c$ ), gaya tarik-menarik antar butir tanah yang menyebabkan butiran tetap saling melekat walau tanpa tekanan luar

$$cu=0,5 qu \quad (9)$$

7. Faktor Keamanan lereng, perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak pada lereng.

Tabel 2. Rekomendasi Faktor Keamanan Lereng

Risiko terhadap nyawa manusia	Risiko Ekonomis	Risiko nilai faktor keamanan terhadap kehilangan nyawa manusia		
		Diabaikan	Rendah	Tinggi
Rekomendasi faktor keamanan terhadap risiko kehilangan secara ekonomis	Diabaikan	1,1	1,2	1,5
	Rendah	1,2	1,2	1,5
	Tinggi	1,4	1,4	1,5

### C. Analisis Stabilitas Lereng Metode Bishop dan dengan Program *Plaxis 2d V20*

Menurut Hardiyatmo (2003), menambahkan analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya.

Pada tahap analisis stabilitas lereng, ditentukan lereng yang paling kritis untuk selanjutnya dilakukan perhitungan faktor aman lereng dengan 8 (delapan) permodelan lereng yang berbeda yakni:

- Model lereng sebelum longsor dengan beban sendiri kondisi penurunan MAT
- Model lereng sebelum longsor dengan beban sendiri kondisi MAT aktual
- Model lereng Model lereng sebelum longsor dengan beban sendiri dan beban lalu lintas kondisi penurunan MAT
- Model lereng setelah longsor dengan beban sendiri kondisi penurunan MAT Model lereng setelah longsor dengan beban sendiri kondisi MAT aktual
- Model lereng setelah longsor dengan beban sendiri dan beban lalu lintas kondisi penurunan MAT
- Model lereng setelah longsor dengan beban sendiri dan beban lalu lintas kondisi MAT aktual

Analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu Metode Bishop (1955) dan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method, FEM). Metode Bishop termasuk dalam *Limit Equilibrium Method* (LEM), yang mengasumsikan lereng terdiri atas beberapa irisan vertikal dengan keseimbangan gaya dan momen pada setiap irisan. Faktor keamanan (FK) lereng dihitung menggunakan persamaan berikut (Bina Marga, 2005).

$$FK_{akhir} = \frac{\sum \frac{1}{m\alpha_n} (c' b_n + (W_n - u') \tan \varphi')}{\sum (W_n \sin \alpha_n)} \quad (10)$$

Dengan,

$$m = \cos \alpha + \left( \frac{\tan \varphi \cdot \sin \alpha}{F_{awal}} \right) \quad (11)$$

Nilai  $FK \geq 1,50$  menunjukkan kondisi lereng stabil, sedangkan  $FK < 1,50$  menandakan kondisi kritis atau tidak stabil (Hardiyatmo, 2014). Metode ini dipilih karena kemampuannya memberikan estimasi cepat terhadap kestabilan lereng berdasarkan parameter kuat geser tanah dan kondisi geometri yang ada di lapangan.

Pendekatan numerik menggunakan FEM dilakukan dengan membagi massa tanah menjadi elemen berhingga (*meshing*) yang dihubungkan melalui *nodes*. Setiap elemen diasumsikan elastoplastik dengan kriteria Mohr–Coulomb, memungkinkan analisis distribusi tegangan, deformasi, dan bidang gelincir aktual (Bowles, 1977; Das, 2006). Pembebanan mencakup berat sendiri dan beban lalu lintas, dengan dua kondisi muka air tanah. Nilai faktor keamanan diperoleh melalui *Strength Reduction Method (SRM)*, yaitu reduksi bertahap parameter kuat geser hingga tercapai kondisi batas kegagalan (Plaxis, 2012). Plaxis merupakan rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisis deformasi dan stabilisasi geoteknik dalam perencanaan–perencanaan sipil. Berdasarkan persamaan tegangan geser tanah ( $t$ ) Mohr–Coulomb (1776), kekuatan geser tanah yang tersedia atau yang dapat dikerahkan tanah sebagai berikut.

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \varphi \quad (12)$$

$$Sf = \frac{\text{Kekuatan Geser yang Tersedia}}{\text{Kekuatan Geser saat Runtuh}} \quad (13)$$

Pendekatan kombinitif antara metode Bishop dan FEM memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif karena menggabungkan keakuratan perhitungan gaya internal dengan kemampuan model numerik untuk menggambarkan deformasi aktual lereng. Kajian oleh Zhou & Chen (2023) menunjukkan bahwa integrasi antara metode limit equilibrium dan metode elemen hingga menghasilkan prediksi bidang gelincir yang lebih realistis. Hasil serupa juga diperoleh Sam dkk. (2025) melalui penggabungan data seismik refraksi dan uji tanah geoteknik untuk menganalisis kestabilan lereng di Barru, Sulawesi Selatan, yang menunjukkan peningkatan akurasi hasil numerik. Selain itu, Kumar dkk. (2025) membuktikan bahwa penggunaan metode FEM dalam studi lereng di kawasan Himalaya memberikan hasil pergeseran permukaan yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan dibandingkan metode konvensional.

Pendekatan kombinitif antara Bishop dan FEM memberikan hasil yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan. Hasil dari kedua metode kemudian dibandingkan untuk menentukan lereng tidak stabil sebagai dasar perencanaan perkuatan menggunakan *sheet pile* dan dinding penahan tanah tipe kantilever, sesuai kriteria SNI 8460:2017.

#### D. Evaluasi Stabilitas Lereng

Pada bagian ini dilakukan evaluasi terhadap ruas jalan berlereng sehingga dapat diketahui mana lereng eksisting yang aman dan tidak aman. Panjang lereng total yang direncanakan dibatasi dengan dua lereng aman dan di antara dua lereng aman tersebut adalah lereng yang tidak aman (tidak stabil). Lebih lanjut, cara menentukannya adalah dengan dilakukan peninjauan sepanjang ruas jalan berlereng dengan jarak pengamatan setiap 0,5 sampai 1,0 meter. Ini berarti, peninjauan di sisi satu lereng dimundurkan dan di sisi satu lagi dimajukan per 1 m. Kemudian, pada saat peninjauan, bentuk lereng diasumsikan dalam kondisi sebelum longsor. Berdasarkan teori kestabilan lereng Hardiyatmo (2014), batas antara dua lereng aman digunakan sebagai acuan dalam menentukan panjang serta batas area perkuatan yang diperlukan. Pendekatan observasi berinterval pendek seperti ini juga digunakan oleh Zhao dkk. (2024), dalam pemantauan kestabilan lereng jalan raya, yang menunjukkan bahwa variasi kemiringan dan karakteristik tanah sepanjang lintasan dapat diidentifikasi lebih akurat melalui pemetaan mikrosposial. Sejalan dengan itu, Amarasinghe dkk. (2024), menegaskan bahwa evaluasi geometri lereng secara detail berperan penting dalam memahami respon tanah terhadap curah hujan dan kondisi tak jenuh, terutama pada lereng koluvial yang rentan terhadap gerakan tanah. Dengan demikian, evaluasi ini tidak hanya membantu menentukan segmen prioritas perkuatan sesuai kondisi eksisting di lapangan, tetapi juga meningkatkan ketepatan analisis kestabilan melalui pemahaman perilaku geoteknik lokal.

#### E. Perancangan Struktural

Perancangan struktural dilakukan untuk menentukan dimensi dan kapasitas sistem perkuatan lereng yang mampu menahan gaya lateral tanah serta mencegah kelongsoran. Dua jenis perkuatan yang dirancang adalah *sheet pile* dan dinding penahan tanah tipe kantilever, dengan prinsip kerja menahan tekanan tanah aktif dan beban tambahan akibat lalu lintas di atas permukaan lereng.

1. *Sheet Pile*, pada *sheet pile* perancangan dilakukan untuk menentukan kedalaman penanaman (*embedment depth*) dan kapasitas lentur yang diperlukan agar turap dapat menahan tekanan tanah lateral

dan momen maksimum yang terjadi. Analisis ini menggunakan persamaan hasil penurunan teori tekanan tanah Rankine untuk kondisi tanah lempung dengan  $\phi = 0$ , dilampirkan sebagai berikut.

$$D^2(4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)) - 2DP_1 - \left( \frac{P_1(P_1 + 12c\bar{z}_1)}{((\gamma L_1 + \gamma L_2) + 2c)} \right) = 0 \quad (14)$$

Dengan dilanjutkan menghitung besarnya momen maksimum,

$$M_{max} = P_1(z' + \bar{z}_1) - \frac{P_6 z'^2}{2} \quad (15)$$

2. Dinding Kantilever, pada dinding penahan tanah tipe kantilever, perancangan dilakukan untuk menentukan dimensi dan stabilitas struktur terhadap gaya geser, guling, dan daya dukung tanah. Pendekatan yang digunakan tetap mengacu pada teori tekanan tanah Rankine, namun dengan memperhitungkan eksentrisitas gaya dan distribusi tekanan tanah di bawah pelat dasar.

$$\text{Bila } e \leq \frac{B}{6}$$

$$q = \frac{V}{B} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (16)$$

$$\text{Bila } e > \frac{B}{6}$$

$$q_{max} = \frac{2V}{3(B - 2e)} \quad (17)$$

Bila  $e \leq B/6$ , maka tekanan dinding ke tanah yang terjadi berbentuk trapesium, sedang bila  $e > B/6$ , maka diagram tekanan berupa segitiga.

## F. Analisis Stabilitas Konstruksi Lereng

Pada Analisis stabilitas konstruksi lereng dilakukan untuk menilai kinerja sistem perkuatan terhadap gaya geser, momen guling, dan kapasitas dukung tanah. Dua tipe perkuatan yang dianalisis adalah sheet pile dan dinding penahan tanah tipe kantilever, yang masing-masing diuji menggunakan perhitungan manual serta simulasi numerik dengan Plaxis 2D V20.

1. Perhitungan manual, perhitungan manual stabilitas struktur konstruksi perkuatan lereng bertujuan memperoleh nilai keamanan terhadap stabilitas geser
  - Stabilitas geser (*sliding*), gaya gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh gesekan antara tanah dengan dasar fondasi, dana tekanan tanah pasif bila di depan dinding penahan terdapat tanah timbunan

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad (18)$$

- Stabilitas terhadap guling (*Overturning*), untuk memastikan agar momen penahan lebih besar daripada momen pengguling akibat tekanan tanah aktif.

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (19)$$

- Stabilitas terhadap Keruntuhan Daya Dukung Tanah (*Bearing Capacity*), Daya dukung ultimit dihitung berdasarkan teori Meyerhof (1963) dan (Hansen, 1970), dengan memperhitungkan bentuk pondasi, kedalaman pondasi, serta kemiringan beban dan bidang dasar. Meyerhof (1963), menyarankan persamaan kapasitas dukung dengan mempertimbangkan bentuk fondasi, kemiringan beban dan kuat geser tanah di atas fondasinya.

$$q_u = s_c d_c i_c c N_c + s_q d_q i_q p_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \quad (20)$$

Brinch Hansen (1970) menyarankan persamaan kapasitas dukung yang pada dasarnya sama dengan Terzaghi, hanya di dalam persamaannya memperhatikan pengaruh–pengaruh bentuk fondasi, kedalaman, inklinasi beban, inklinasi dasar dan inklinasi permukaan tanah.

$$q_u = \frac{Q_u}{B'L'} = s_c d_c i_c b_c g_c N_c + s_q d_q i_q b_q g_q p_o N_q + s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma 0,5 B' \gamma N_\gamma \quad (21)$$

2. Perhitungan dengan program *Plaxis 2D V20*, perhitungan stabilitas struktur konstruksi perkuatan lereng dengan program *Plaxis 2D V20* bertujuan memperoleh nilai keamanan terhadap stabilitas global masing-masing perkuatan tanah.

### 3. Hasil dan Pembahasan

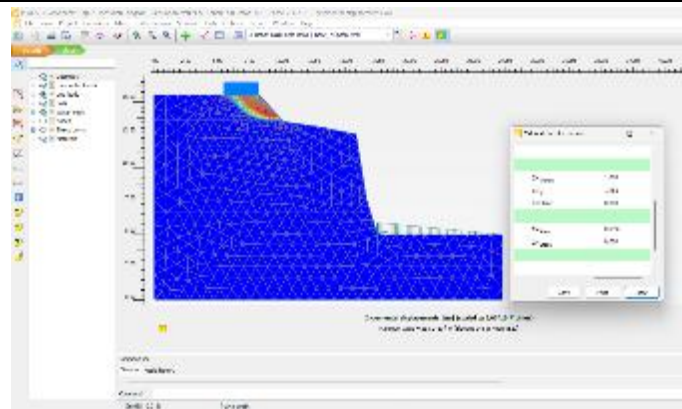
#### A. Hasil Perhitungan Manual Stabilitas Lereng Metode Bishop

Tabel 3. Rekapitulasi Faktor Aman Perhitungan Manual Stabilitas Lereng Metode Bishop

Nama		Model	Nilai Keamanan Lereng	Nilai Keamanan Lereng
Sebelum Longsor	MAT Aktual	Berat Sendiri	1,436	Tidak stabil
		Beban Lalu Lintas	1,411	Tidak stabil
	Penurunan MAT	Berat Sendiri	1,526	Aman ( $\geq 1,50$ )
		Beban Lalu Lintas	1,453	Tidak aman
Sesudah Longsor	MAT Aktual	Berat Sendiri	1,787	Aman ( $\geq 1,50$ )
		Beban Lalu Lintas	1,689	Aman ( $\geq 1,50$ )
	Penurunan MAT	Berat Sendiri	1,827	Aman ( $\geq 1,50$ )
		Beban Lalu Lintas	1,714	Aman ( $\geq 1,50$ )

Berdasarkan hasil perhitungan manual menggunakan metode Bishop (1955), nilai faktor keamanan (SF) lereng sebelum longsor pada kondisi muka air tanah (MAT) aktual menunjukkan hasil 1,436 untuk beban sendiri dan 1,411 untuk kondisi dengan tambahan beban lalu lintas. Nilai tersebut berada di bawah batas aman 1,50; yang berarti lereng dalam keadaan kritis atau tidak stabil. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kombinasi beban tanah dan beban lalu lintas pada permukaan jalan meningkatkan gaya penggerak, sementara tekanan air pori yang tinggi menurunkan kekuatan geser tanah, sehingga memicu terjadinya longsor. Pada kondisi penurunan muka air tanah sebesar 3 meter, nilai SF meningkat menjadi 1,526 dan 1,453; menunjukkan bahwa penurunan tekanan air pori mampu meningkatkan stabilitas lereng. Peningkatan ini sesuai dengan teori Hardiyatmo (2014), yang menyatakan bahwa kestabilan lereng sangat dipengaruhi oleh posisi muka air tanah. Dengan demikian, pada kondisi MAT yang lebih rendah, lereng mendekati kondisi aman meskipun masih menunjukkan potensi kritis saat diberi beban lalu lintas. Setelah longsor terjadi, nilai keamanan lereng meningkat signifikan dengan SF sebesar 1,787 dan 1,689 pada MAT aktual, serta 1,827 dan 1,714 pada kondisi MAT turun 3 meter. Nilai ini berada di atas batas aman, menandakan bahwa lereng pascalongsor telah stabil secara alami akibat perubahan geometri lereng yang lebih landai dan berkurangnya massa tanah di bagian atas.

#### B. Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng dengan Program *Plaxis 2D V20*



Gambar 1. Deformasi total dan SF pada lereng setelah longsor dengan beban lalu lintas

Tabel 4. Rekapitulasi faktor aman pada lereng kritis dengan program *Plaxis 2D V20*

Nama		Model	Nilai Keamanan Lereng
Sebelum Longsor	MAT Aktual	Berat Sendiri	1,503
		Beban Lalu Lintas	1,408
	Penurunan MAT	Berat Sendiri	1,526
		Beban Lalu Lintas	1,436
Sesudah Longsor	MAT Aktual	Berat Sendiri	1,830
		Beban Lalu Lintas	1,509
	Penurunan MAT	Berat Sendiri	1,771
		Beban Lalu Lintas	1,511

Pada Hasil analisis numerik dengan program Plaxis 2D V20 menunjukkan kecenderungan hasil yang sejalan dengan perhitungan manual, meskipun terdapat sedikit variasi akibat pendekatan numerik berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Pada kondisi sebelum longsor dengan MAT aktual, diperoleh nilai SF sebesar 1,503 untuk beban sendiri dan 1,408 untuk kondisi dengan beban lalu lintas. Nilai  $SF < 1,50$  pada kondisi kedua mengonfirmasi bahwa lereng tidak stabil dalam kondisi eksisting, dan beban lalu lintas merupakan faktor pemicu utama kelongsoran. Pada kondisi penurunan muka air tanah 3 meter, nilai SF yang diperoleh meningkat menjadi 1,526 dan 1,430, menunjukkan pola peningkatan yang sama seperti hasil Bishop. Hal ini membuktikan bahwa pengurangan tekanan air pori meningkatkan kestabilan lereng baik secara manual maupun numerik.

Untuk kondisi setelah longsor, hasil analisis Plaxis memberikan nilai SF sebesar 1,830 dan 1,509 pada MAT aktual, serta 1,771 dan 1,511 pada MAT turun 3 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa lereng setelah longsor telah berada pada kondisi aman ( $SF \geq 1,50$ ) baik untuk beban sendiri maupun beban lalu lintas. Secara umum, hasil perhitungan numerik memperlihatkan distribusi tegangan dan bidang gelincir yang konsisten dengan hasil manual, di mana deformasi terbesar terjadi pada area tengah lereng, menandakan bahwa kelongsoran sebelumnya terjadi akibat kombinasi tekanan air tanah tinggi dan beban tambahan dari permukaan jalan.

### C. Hasil Analisis Lereng Aman dan Tidak Aman

Tabel 5. Rekapitulasi nilai keamanan lereng per 1 m

Station	Lereng dengan Kondisi MAT Aktual		Lereng dengan Penurunan MAT	
	Beban Sendiri	BS + BLL	Beban Sendiri	BS + BLL
0+006	1,686	1,588	1,624	1,535
0+007	1,675	1,573	1,612	1,522
0+008	1,659	1,554	1,594	1,503
0+009	1,642	1,538	1,582	1,487
0+010	1,629	1,524	1,571	1,476
0+011	1,629	1,523	1,573	1,478



0+012	1,624	1,518	1,567	1,472
0+013	1,614	1,509	1,561	1,463
0+014	1,607	1,502	1,555	1,457
0+015	1,604	1,494	1,553	1,45
0+016	1,597	1,491	1,545	1,448
0+017	1,600	1,493	1,547	1,448
0+018	1,603	1,494	1,547	1,453
0+019	1,606	1,496	1,548	1,456
0+020	1,584	1,397	1,542	1,435
0+021	1,595	1,49	1,544	1,447
0+022	1,593	1,489	1,541	1,442
0+023	1,597	1,492	1,543	1,447
0+024	1,599	1,498	1,546	1,454
0+025	1,604	1,498	1,549	1,453
0+026	1,604	1,498	1,549	1,453
0+027	1,623	1,517	1,57	1,472
0+028	1,633	1,523	1,577	1,481
0+029	1,62	1,513	1,564	1,468
0+030	1,587	1,487	1,534	1,444
0+031	1,539	1,454	1,505	1,414
0+032	1,529	1,45	1,504	1,426
0+033	1,501	1,42	1,478	1,399
0+034	1,504	1,422	1,479	1,399
0+035	1,502	1,421	1,478	1,399
0+036	1,501	1,421	1,479	1,401
0+037	1,502	1,423	1,48	1,399
0+038	1,53	1,44	1,528	1,439
0+039	1,544	1,455	1,543	1,454
0+040	1,571	1,478	1,567	1,473
0+041	1,605	1,504	1,585	1,503

Dari Tabel 5, dapat diketahui bahwa panjang lereng yang membutuhkan perkuatan adalah sepanjang 35 m yakni terhitung dari STA 0+006 hingga STA 0+041. Dikarenakan kedua batas ujung lereng memiliki kondisi yang aman baik secara visual maupun berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program Plaxis dengan variasi kondisi dan pembebanan yang dilakukan.

#### D. Hasil Perencanaan *Sheet Pile* Perhitungan Manual

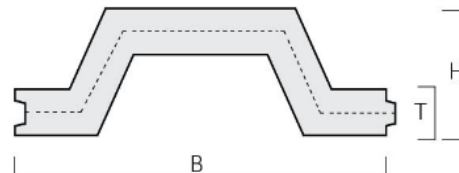
Tabel 6. Hasil Analisis Perencanaan *Sheet Pile* (Perhitungan Manual)

Jenis Analisis	Parameter / Metode	Hasil Perhitungan Manual	Kriteria Stabilitas (SNI 8460:2017)	Keterangan
Stabilitas Geser (Fgeser)	$\Sigma Pp / \Sigma Pa$	17,502	$\geq 1,50$	Aman
Stabilitas Guling (Fguling)	$\Sigma Mw / \Sigma Mg$	5,29	$\geq 2,00$	Aman
Daya Dukung Tanah (Fdd)	Metode Meyerhof (1963)	5,269	$\geq 3,00$	Aman
Panjang Efektif Sheet Pile	Perhitungan stabilitas	8,0 meter	—	Optimal
Profil yang Digunakan	Corrugated Sheet Pile W-325-A-1000	—	—	Cracking Moment 11,7 ton·m > Momen Rencana 8,35 ton·m (Aman)

Hasil perhitungan manual memenuhi kriteria keamanan struktur penahan tanah sesuai . Nilai faktor keamanan terhadap geser sebesar 17,502, guling sebesar 5,29, dan daya dukung tanah sebesar 5,269 menunjukkan bahwa struktur Sheet Pile memiliki kestabilan sangat baik dan aman digunakan pada lokasi

penelitian. Panjang efektif 8 meter ditetapkan sebagai dimensi optimum karena telah memberikan keseimbangan antara kestabilan dan efisiensi penggunaan material. Sehingga profil *sheet pile* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Jenis : *Corrugated Sheet Pile Type*  
 Tipe : W-325-A-1000  
 Cracking moment : 11,7 Ton.m  
 Mutu Beton : 62 Mpa  $\approx$  62000 kN/m<sup>2</sup>  
 B : 996 mm  
 T : 110 mm  
 H : 325 mm



Gambar 2. Detail Profil Sheet Pile

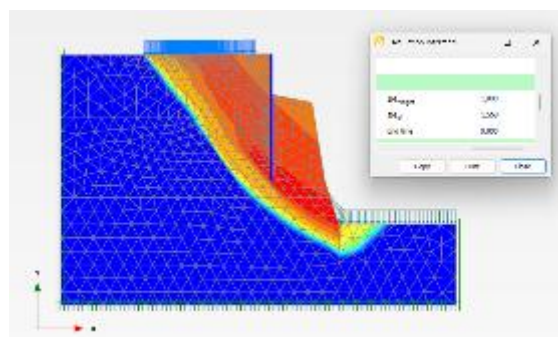
#### E. Hasil Perencanaan *Cantilever Wall*

Tabel 7. Hasil Rekapitulasi Perhitungan Manual Dinding Kantilever

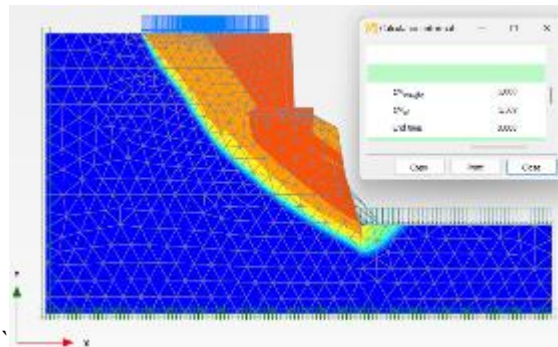
Jenis Analisis	Parameter/Metode	Hasil Perhitungan Manual	Kriteria (acuan umum)	Status
Stabilitas geser ( $F_{geser}$ )	$\Sigma P^p / \Sigma P^a$	3,595	$F \geq 1,50$	Aman
Stabilitas guling ( $F_{guling}$ )	$\Sigma M_r / \Sigma M_o$	4,268	$F \geq 2,00$	Aman
Daya dukung tanah ( $F_{dd}$ )	Meyerhof-Hansen	19,366	$F \geq 3,00 (\approx q_u/3)$	Aman

Dengan perhitungan manual dalam menganalisis DPT Kantilever yang didesain diperoleh nilai stabilitas geser  $3,595 > 1,5$ , nilai stabilitas guling  $4,268 > 2$ , dan daya dukung  $19,366 > 3$ . . Dapat diketahui seluruh nilai keamanan yang diperoleh melebihi yang disyaratkan sehingga dapat digunakan sebagai solusi penangan longsor di lokasi penelitian.

#### F. Hasil Analisis Stabilitas Global pada Lereng dengan Dinding Penahan Tanah menggunakan Program *Plaxis 2D V20*



Gambar 3. *Output* Tahap Perkuatan berupa deformasi total dan *safety factor* pada lereng dengan *gravity wall* kondisi MAT Aktual



Gambar 4. Output tahap perkuatan dengan deformasi total dan *safety factor* pada lereng dengan *cantilever wall* kondisi MAT Aktual

Tabel 8. Rekapitulasi faktor aman pada lereng kritis dengan program *Plaxis 2D V20*

Model		Nilai Keamanan Lereng Sheet Pile	Nilai Keamanan Lereng Cantilever Wall
MAT Aktual	Galian	1,905	1,957
	Galian dengan Beban	1,435	1,416
	Perkuatan	1,660	1,663
	Perkuatan dengan Beban	1,568	1,569
Penurunan MAT	Galian	1,848	1,895
	Galian dengan Beban	1,435	1,416
	Perkuatan	1,619	1,614
	Perkuatan dengan Beban	1,534	1,529

Hasil analisis stabilitas global pada lereng dengan dinding penahan tanah menggunakan program *Plaxis 2D V20* menunjukkan bahwa kedua jenis perkuatan yang direncanakan *Sheet Pile* dan dinding kantilever mampu meningkatkan kestabilan lereng secara signifikan dibandingkan kondisi sebelum penanganan. Berdasarkan simulasi numerik, nilai faktor keamanan global untuk perkuatan *Sheet Pile* adalah 1,568 pada kondisi muka air tanah (MAT) aktual dan 1,534 pada kondisi penurunan MAT sebesar 3 meter. Sedangkan pada perkuatan Dinding Kantilever, diperoleh nilai 1,569 pada MAT aktual dan 1,529 pada penurunan MAT. Seluruh nilai faktor keamanan yang diperoleh telah memenuhi standar batas aman ( $SF \geq 1,50$ ) menurut kriteria SNI 8460:2017, sehingga secara keseluruhan lereng yang diperkuat dapat dikategorikan stabil terhadap keruntuhan global.

#### G. Hasil Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Sesuai dengan perencanaan yang telah dilakukan, perkuatan tanah dengan *Sheet Pile* ataupun DPT Kantilever yang akan direncanakan sepanjang 35 meter. Dalam perhitungan rencana anggaran biaya ini akan diperhatikan pada perbandingan jumlah biaya berdasarkan kebutuhan biaya material dari dua jenis perkuatan yang direncanakan. Berikut adalah perkiraan anggaran biaya yang diperlukan dari kedua jenis perkuatan yang direncanakan.

Tabel 9. Rencana Anggaran Biaya *Gravity Wall*

No.	Uraian	Jumlah Harga
1	Tahapan Persiapan	Rp 70.000.000,00
2	Pekerjaan Sheet Pile	
	Penyediaan Sheet Pile CPC W-325-B-1000	Rp 246.400.000,00
	Pemancangan Sheet Pile D = 5,5 m	Rp 365.750.000,00
	Pekerjaan Harian dan Pekerjaan Lain-lain	Rp 58.000.000,00
	Jumlah	Rp 740.150.000,00

Tabel 10. Rencana Anggaran Biaya *Cantilever Wall*

No.	Uraian	Jumlah Harga
-----	--------	--------------

1	Tahapan Persiapan	Rp 70.000.000,00
2	Pekerjaan Dinding Penahan Tanah Kantilever	
	Beton <i>Ready Mix</i> K-250	Rp 296.083.480,00
	Baja Tulangan Sirip BjTS 420A	Rp 116.558.805,33
	Pekerjaan Harian dan Pekerjaan Lain-lain	Rp 121.800.000,00
	Jumlah	Rp 604.442.285,33

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, lereng di Desa Gurimbang sebelum longsor dinyatakan tidak stabil karena nilai faktor keamanan (SF) < 1,50. Setelah dilakukan simulasi perkuatan, baik *Sheet Pile* maupun Dinding Kantilever (DPT) mampu meningkatkan kestabilan lereng dengan nilai SF > 1,50, sehingga lereng berada dalam kondisi aman terhadap keruntuhan global. Hasil perhitungan manual dan numerik menunjukkan konsistensi antara metode Bishop dan Plaxis 2D V20, di mana kedua sistem perkuatan memenuhi kriteria stabilitas terhadap geser, guling, dan daya dukung tanah. Secara teknis, keduanya layak diterapkan sebagai solusi penanganan longsor di Desa Gurimbang. Namun, dari segi ekonomi dan ketersediaan material, Dinding Kantilever lebih unggul, dengan biaya Rp604.442.285,33 dibandingkan Rp740.150.000,00 untuk *Sheet Pile*, serta material dan peralatan yang lebih mudah diperoleh di sekitar lokasi penelitian. Oleh karena itu, Dinding Kantilever direkomendasikan sebagai solusi paling efektif dan ekonomis untuk penanganan longsor di Desa Gurimbang, Kabupaten Berau.

#### 5. Daftar Pustaka

- Amarasinghe, A. T., Dissanayake, D. M. K., & Bandara, R. M. (2024). Slope stability analysis of unsaturated colluvial soils under rainfall conditions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 83(6), 1347–1362. <https://doi.org/10.1007/s10064-024-03933-1>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik (SNI 8460:2017). Jakarta, Indonesia: BSN.
- Bowles, J. E. (1977). *Foundation analysis and design*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Das, B. M. (2006). *Principles of geotechnical engineering* (7th ed.). Boston, MA: PWS Publishers.
- Dasopang, Y. H. (2018). Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan geogrid menggunakan Plaxis v.8.2 (Studi kasus: Ruas jalan provinsi km. 150–Sibuhuan). *Jurnal Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara*, Medan, Indonesia.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2005). *Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada tanah residual dan batuan*. Jakarta, Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum.
- Hansen, J. B. (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. *Bulletin of the Danish Geotechnical Institute*, 28, 5–11.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika tanah II* (3rd ed.). Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Mekanika tanah I*. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika tanah I* (6th ed.). Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika tanah II* (5th ed., 2nd print). Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2020). *Analisis dan perancangan fondasi 1* (4th ed.). Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press.
- Kumar, A., Rai, S. K., Khan, I., Prashanth, M., & Verma, O. (2025). Slope stability and surface displacement analysis of the Kuthar landslide in the Dehar watershed, Himachal Himalaya. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(2), 1–18.
- Li, X., & Zhang, L. (2020). Updated correlations for soil shear strength based on meta-analysis of triaxial tests. *Engineering Geology*, 272, 105622.
- Meyerhof, G. G. (1963). Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 89(SM3), 29–54.
- Pham, H. T. (2021). Shear strength parameters of tropical residual soils under variable saturation conditions. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(7), 5297–5312.

Sam, D. N., Massinai, M. A., & Pramadi, A. M. (2025). Slope stability analysis by integrating seismic refraction method and geotechnical soil testing: Case study of landslide in Barru Regency, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 12(3), 7779–7787. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2025.123.7779>

Sari, P. T. K. (2024). Special case on landslide in Balikpapan, Indonesia. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 16(4), 911–920. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.02.007>

Sujiman, S. (2024). Mine landslide management sustainability model in Kutai – East

Plaxis BV. (2012). Tutorial manual. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.

Zhao, Y., Liu, H., & Zhang, R. (2024). Monitoring and stability analysis of roadbed and high slope along mountain highways using integrated sensor networks. *Sensors*, 24(8), 11182516. <https://doi.org/10.3390/s240811182516>

Zhou, Y., & Chen, Q. (2023). Comparative assessment of slope stability using limit equilibrium and finite element approaches. *Computers and Geotechnics*, 163, 105472.