



Tersedia Secara Online di
<http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>
<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v6i2.4864>

JURMATEKS

Optimasi Geometri Lereng dengan Evaluasi Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Software Geostudio

G. W. Kottama¹, A. I. Candra^{2*}, A. Rivianto³, M. R. F. Rohman⁴, M. R. A. J. Budiawan⁵, M. S.
Taufani⁶, M. W. Prasetyo⁷

^{1,2*,3,4,5,6,7}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri, Kediri, Indonesia.

Email : ¹wahyugilang970@gmail.com, ^{2*}iwan_candra@unik-kediri.ac.id, ³arifrivianto74@gmail.com,
⁴rifqifatkhur86@gmail.com, ⁵mochamadbudil7@gmail.com, ⁶taufanisousa@gmail.com,
⁷mokhamatwildanprasetyo@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 16 – 07 – 2023
Artikel revisi : 15 – 08 – 2023
Artikel diterima : 13 – 12 – 2023

Keywords :

Geostudio, Landslide, Sand Poor, Shear Angle, Slope Stability.

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

G. W. Kottama, A. I. Candra, A. Rivianto, M. R. F. Rohman, M. R. A. J. Budiawan, M. S. Taufani, M. W. Prasetyo, "Optimasi Geometri Lereng dengan Evaluasi Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Software Geostudio" *Jurmateks*, vol.6, no.2, pp. 84-98, 2023, doi: 10.30737/jurmateks.v6i2.4864

ABSTRACT

The slopes of the Widas watershed in Kutorejo Village, Bagor District, Nganjuk Regency were hit by a landslide, damaging a 50-meter-long road. This damage has an impact on the activities and mobility of residents. The impact of landslides caused enormous losses, both infrastructure damage and loss of life. Several studies have been carried out, in determining slope stability it is necessary to observe at the research location and determine the type of soil, soil consistency, and soil shear strength parameters. This research aims to determine the value of the safety factor (FK) on the slopes of the Widas River. This research began by conducting a case study, including interviews, collecting field survey data, taking soil samples, and laboratory testing. Slope stability analysis was carried out using Geostudio software. The research results show that the soil type is classified as Poorly Graded Sand (SP), and the soil consistency is classified as Non-Plastic soil with a liquid limit of 26.093 and a shear angle of 20° - 30°. Slope improvements were carried out by changing the slope geometry until a slope ratio of 1V:2H was obtained by creating two slope core models. The FK value increased from 1.007 to 1.107 and 1.437 to 1.585 under pore water pressure conditions. Thus, the slope modeling obtained can be used to overcome landslide problems.

1. Pendahuluan

Di Indonesia, tanah longsor menjadi bencana alam yang paling sering terjadi. Dalam satu dekade terakhir, rata-rata terdapat 785 kasus di setiap tahunnya. Pada tahun 2022, terdapat 716 insiden tanah longsor yang terjadi dengan 83% kejadian tersebut terjadi di pulau Jawa [1]. Hal ini mengindikasikan tingkat kerentanan wilayah pulau Jawa terhadap fenomena alam yang dapat berdampak besar, baik dalam hal kerusakan infrastruktur maupun jumlah korban yang

terkena dampaknya. Pada tahun 2022, terjadi tanah longsor di sempadan Sungai Widas di Desa Kutorejo, Kecamatan Bagor, Kabupaten Nganjuk. Kejadian tersebut menyebabkan kerusakan jalan sepanjang 50 meter yang berdampak pada aktivitas dan mobilitas warga setempat.

Lereng sempadan Sungai Widas memiliki kemiringan 16 m dengan sudut 22° . Kondisi ini tergolong landai, namun kurangnya perencanaan sanitasi rumah warga yang mengarahkan aliran langsung ke arah sungai menjadikan kondisi tanah lereng jenuh sehingga berpotensi terjadi kelongsoran. Pemicu paling umum terjadinya tanah longsor adalah akibat adanya air yang berlebihan ke dalam tanah [4]–[6]. Ketika tanah menerima jumlah air yang tinggi akan berdampak pada berat isi dan konsistensi tanah. Selain itu, aliran air yang terjadi di permukaan tanah juga dapat menjadi faktor utama yang memicu terjadinya tanah longsor [7]. Aliran air dapat mengakibatkan pengikisan pada permukaan tanah, sehingga lambat laun struktur tanah melemah dan risiko longsor dapat terjadi [8]. Tingginya kadar air cenderung mengurangi kohesi tanah serta menurunkan sudut gesernya, faktor-faktor ini secara langsung meningkatkan risiko terjadinya tanah longsor. Fokus pada aspek-aspek mikrostruktur tanah menjadi esensial dalam upaya mendalami mekanisme terjadinya tanah longsor [2], [3], [9].

Para peneliti telah melakukan kajian mengenai bagaimana longsor terjadi. Evaluasi secara eksperimental dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan mekanik tanah. Hasil evaluasi digunakan sebagai landasan penting untuk memahami dan mengatasi risiko tanah longsor secara lebih efektif dan mendalam. Distribusi ukuran partikel, kadar air, batas konsistensi, kohesi, sudut gesekan internal dan komposisi ditentukan dalam kaitannya dengan perilaku tanah longsor dan stabilitas lereng [10], [11]. Penelitian di Provinsi Udi, Nigeria menunjukkan parameter kuat geser tanah dengan kohesi 1-5 kPa dan sudut geser 22° - 30° mengalami ketidakstabilan lereng ketika kondisi jenuh Faktor Keamanan (FK) < 1 dan stabil pada kondisi tidak jenuh FK > 1 [12]. Penelitian di Jepara, Indonesia menunjukkan jenis pasir berlumpur (SM) mempunyai sudut geser dan kohesi yang cukup tinggi, nilai FK diperoleh sebesar 0,61 tanpa penguatan dan 1,01 dilakukan upaya perkuatan dengan mengubah geometri lereng menjadi 5 model teras dengan kemiringan 1:1, FK meningkat menjadi 1,56 [13].

Beberapa penelitian telah melakukan analisis mengenai kondisi lereng dengan mempertimbangkan parameter geoteknik tanah dan geometri lereng. Kondisi yang ada di tepi Sungai Widas memerlukan kajian serupa yang mempertimbangkan parameter geoteknik tanah serta geometri lereng. Hal ini penting untuk memahami potensi risiko tanah longsor di area tersebut dan mengidentifikasi strategi yang tepat untuk mengelola dan mengurangi risiko tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (FK) pada lereng

sempadan Sungai Widas. Nilai FK diperoleh melalui analisis stabilitas lereng menggunakan program bantu Geostudio dengan memperhatikan parameter geoteknik tanah. Berdasarkan analisis tersebut akan ditemukan solusi perbaikan untuk mengatasi masalah tanah longsor pada lereng sempadan Sungai Widas.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan fokus pada analisis terhadap stabilitas lereng menggunakan alat bantu Geostudio. Metode ini melibatkan pengumpulan data lapangan terkait karakteristik geoteknik tanah, dengan melakukan observasi pada sempadan Sungai Widas di Desa Kutorejo, Kecamatan Bagor, Kabupaten Nganjuk. Sampel tanah yang digunakan sebanyak 15 Kg dan sampel untuk uji geser langsung sebanyak 6 buah. Dari perolehan data dan sampel dilanjutkan dengan melakukan uji gradasi ayakan, uji konsistensi tanah dan uji geser langsung (*Direct Shear Test*). Kemudian, analisis setiap pengujian dilakukan untuk memperoleh klasifikasi tanah, konsistensi tanah, dan sudut geser. Penentuan nilai FK dilakukan melalui analisis stabilitas lereng menggunakan program bantu Geostudio serta upaya meningkatkan nilai FK.

2.1 Pengumpulan Data

Peninjauan lokasi penelitian dilakukan untuk menentukan titik pengambilan sampel tanah dan data dimensi lereng. Survei pengukuran dimensi lereng dilakukan menggunakan alat Theodolite. Selain itu, pengumpulan sampel data dilakukan untuk serangkaian pengujian sifat fisis dan sifat mekanis di Laboratorium.

2.2 Pengujian Tanah

2.2.1 Gradasi ayakan

Proses pengujian berdasar pada standar ASTM C136 [14]. Dalam metode gradasi ayakan, hasilnya berupa persentase agregat yang lolos pada setiap ukuran ayakan sehingga diperoleh nilai C_u dan C_c .

2.2.2 Konsistensi Tanah

Pengujian batas cair dilakukan berdasarkan ASTM D4318 [15]. Hasil uji batas cair berupa korelasi antara kadar air dan jumlah ketukan yang diberikan pada tanah selama uji. Kemudian dilakukan analisis untuk mendapat persamaan matematis yang memungkinkan penentuan jumlah ketukan ke-25 yang menandakan batas cair tanah tersebut. Prosedur pengujian batas plastis dilakukan berdasar pada ASTM D4318 [15]. Hasil pengujian didapat dari menghitung rata-rata kadar air pada sampel pengujian.

2.2.3 Direct Shear Test

Pengujian ini dilakukan mengacu pada standar ASTM D3080 [16]. Sampel dibagi menjadi 3 bagian dengan diameter, tebal dan kerapatan sampel yang ditentukan. Beban tiap pengujian bervariasi dari 0.8 kg, 1.595 kg dan 3.163 kg. Sebelum melakukan pengujian, pastikan dial horizontal, dial vertikal dan proving ring menunjukkan angka nol. Setelah nilai percobaan sudah sama sebanyak 3 kali maka pengujian dapat dihentikan.

2.3 Pengolahan Data

2.3.1 Analisis Gradasi Ayakan

Dari pengujian gradasi ayakan diperoleh persentase relatif terhadap keseluruhan sampel yaitu ukuran butiran partikel kerikil, pasir, lempung dan lanau. Selain itu, penentuan D10, D30 dan D60 diperoleh untuk mendapatkan Koefisien keseragaman (Cu) dan Koefisien gradasi (Cc). Sehingga, dari nilai Cu dan Cc yang diperoleh digunakan untuk menentukan klasifikasi jenis tanah, sesuai klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) [17].

2.3.2 Konsistensi Tanah

Data yang diperoleh meliputi batas cair (*liquid limit*) dan batas plastis (*plastic limit*). Nilai indeks plastis dihitung dengan mengurangi nilai batas cair terhadap batas plastis.

2.3.3 Kuat Geser Tanah

Setelah dilakukan pengujian kuat geser tanah, didapatkan nilai parameter kuat tanah. Data yang diperoleh dari pengujian ini berupa nilai tegangan normal dan tegangan geser yang diolah untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

2.3.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Bantu Geostudio

Dalam analisis stabilitas lereng mencakup nilai kohesi (c), nilai sudut geser dalam (ϕ). Selain itu dilakukan pengujian *Unit Weight* atau berat isi tanah (γ). Dalam analisis stabilitas lereng, perolehan nilai faktor keamanan (FK) dilakukan menggunakan pemodelan SLOPE/W. Nilai FK yang diperoleh akan menunjukkan tingkat kestabilan suatu lereng. Pada input metode pemodelan SLOPE/W menggunakan metode bishop diakibatkan bidang longsor berbentuk circular. Mengingat hasil kuat geser didapatkan 2 sudut geser dengan 2 kondisi sampel maka pemodelan dilakukan dalam 4 kondisi yaitu kondisi 1 (persentase kadar air tinggi dengan sudut geser dan kohesi lebih rendah, dalam kondisi normal/tidak hujan), kondisi 2 (persentase kadar air rendah dengan sudut geser dan kohesi lebih rendah, dalam kondisi normal/tidak hujan), kondisi 3 (persentase kadar air tinggi dengan sudut geser dan kohesi lebih rendah, dalam kondisi basah/hujan), kondisi 4 (persentase kadar air rendah dengan sudut geser dan kohesi lebih rendah, dalam kondisi basah/hujan).

Tabel 1. Klasifikasi Nilai Faktor Keamanan Terhadap Kestabilan Lereng

Nilai FK	Stabilitas Lereng	Tingkat Bahaya
FK > 1.5	Kemiringan Stabil	Bahaya Rendah
1.0 < FK < 1.5	Kemiringan Kritis	Bahaya Sedang
FK < 1.0	Tidak Stabil	Bahaya Tinggi

Sumber: Slope stability classification based on FoS [18]

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Analisis Ukuran Butiran

Pada pengujian gradasi ayakan diperoleh hasil analisis pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Analisis Ukuran Butiran

Kerikil	Pasir	Lempung & Lanau	D60	D30	D10	Cu	Cc
4.360	90.250	5.390	0.530	0.170	0.094	5.548	1.248

Sumber: Analisis Data (2023).

Berdasarkan analisis ukuran butiran menunjukkan bahwa sampel tanah didominasi oleh pasir sebesar 90.250 %. Pada **Tabel 2**, digunakan sebagai parameter identifikasi jenis tanah sesuai klasifikasi tanah USCS pada **Gambar 1**.

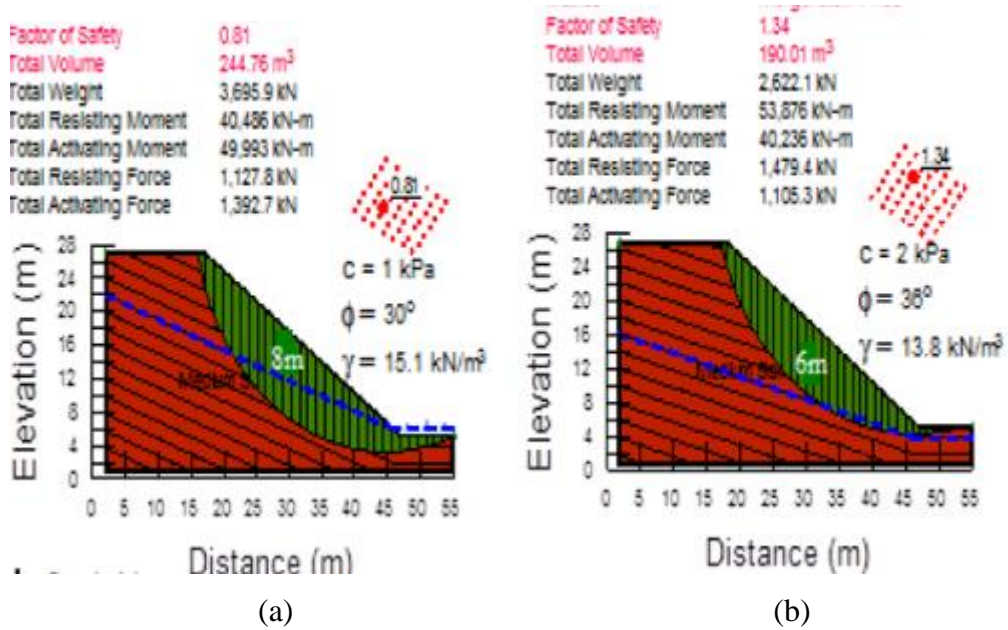
Criteria for assigning group symbols				Group symbol	
Coarse-grained soils More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels Less than 5% fines ^a	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^b$ $C_u < 4$ and/or $C_c < 1$ or $C_c > 3^b$	GW GP	
		Gravels with Fines More than 12% fines ^{a,d}	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) $PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	GM GC	
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands Less than 5% fines ^a	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^b$ $C_u < 6$ and/or $C_c < 1$ or $C_c > 3^b$	SW SP	
		Sands with Fines More than 12% fines ^{a,d}	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) $PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	SM SC	
	Fine-grained soils 50% or more passes No. 200 sieve	Silts and clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3) ^c $PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) ^c	CL ML
			Organic	Liquid limit—oven dried < 0.75; see Figure 5.3; OL zone Liquid limit—not dried	OL
Silts and clays Liquid limit 50 or more		Inorganic	PI plots on or above "A" line (Figure 5.3) PI plots below "A" line (Figure 5.3)	CH MH	
		Organic	Liquid limit—oven dried < 0.75; see Figure 5.3; OH zone Liquid limit—not dried	OH	
Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor		Pt		

^aGravels with 5 to 12% fine require dual symbols: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bSands with 5 to 12% fines require dual symbols: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

Sumber: Analisis Data (2023).

Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Berdasarkan **Gambar 1** tanah tersebut tergolong jenis tanah *Poorly Graded Sand* (SP). Sifat non-kohefif dan ukuran butiran tanah SP sangat rentan mengalami longsor, jika tanah tersebut terpengaruh oleh air yang berlebih atau getaran yang kuat terjadi di sekitar area tersebut [19]. Tanah SP cenderung memiliki struktur yang tidak stabil, membuatnya mudah longsor ketika ada tekanan eksternal. Faktor-faktor seperti hujan deras atau aktivitas manusia semacam konstruksi di sekitar area tanah bisa memicu longsor. Hasil penelitian sebelumnya, hubungan klasifikasi tanah dan nilai FK ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Sumber: Erodibility characteristics and slope stability analysis of geological units prone to erosion in Udi area, southeast Nigeria[12].

Gambar 2. Kondisi Lereng Tanah *Poorly Graded Sand* (a) Kondisi Basah (b) Kondisi Kering.

Pada **Gambar 2** stabilitas lereng tanah SP pada kondisi basah dengan berat isi tanah 15 kN/m^3 memiliki nilai FK 0,81 dan pada kondisi kering dengan berat isi sebesar $13,8 \text{ kN/m}^3$ nilai FK meningkat menjadi 1,34. Hal ini, menunjukkan bahwa air akan mempengaruhi nilai FK pada stabilitas lereng tanah SP [12].

3.2 Konsistensi Tanah

Pengujian konsistensi tanah SP ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsistensi Tanah

Batas Cair	Batas Plastis	Indeks Plastisitas
26,093	NP	NP

Sumber: Analisis Data (2023).

Berdasarkan **Tabel 3** menunjukkan bahwa batas cair tanah SP sebesar 26,093, batas plastis dan plastisitas indek adalah *Non-Plastic* (NP). Hal itu menunjukkan bahwa tanah tersebut termasuk tanah non-kohesif. Jenis tanah SP pada dasarnya tidak memiliki nilai lekatan (non-kohesif) dan tidak memiliki sifat plastisitas (non-plastic). Nilai kohesif pada tanah merujuk pada kemampuan tanah untuk mempertahankan gaya gesekan antara partikel-partikelnya. Tanah SP dianggap sebagai tanah non-kohesif sehingga mempunyai kekuatan daya dukung rendah, pemampatannya tinggi dan sulit dipadatkan, sehingga nilai batas cair akan

sangat berkaitan pada terjadinya tanah longsor [20]. Dengan demikian, nilai yang diperoleh sesuai dengan temuan dari penelitian sebelumnya tercermin dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Pengujian konsistensi tanah

Parameter	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
MDD	1.73	1.83	1.86	1.75	1.96	1.73	1.73	1.68
OMC	12.9	12.9	12.7	12	12.07	13	13.5	11.9
NMC	9	10	3	9	4	15	9	3
LL	29	28	18	22	19	30	29	20
PL	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
PI	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP

NP nonplastic

Sumber: Erodibility characteristics and slope stability analysis of geological units prone to erosion in Udi area, southeast Nigeria[12].

Pada **Tabel 4** kondisi tanah SP memiliki nilai batas cair 20-30, batas plastis dan plastisitas indek adalah *Non-Plastic* (NP). Hal ini menunjukkan tanah tersebut non-kohefif dan tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan saat kadar air berubah [12]. Meskipun demikian, kondisi ini tidak mengecualikan kemungkinan terjadinya tanah longsor, karena faktor lingkungan seperti kelembaban, curah hujan, dan perubahan struktur tetap dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan di Provinsi Udi, menunjukkan bahwa kondisi tanah non-plastik dengan curah hujan yang memiliki intensitas tinggi (1750-2500 mm/tahun) mengalami kelongsoran [12].

3.3 Kuat Geser Tanah

Berdasarkan hasil klasifikasi tanah dan konsistensi tanah dilanjutkan pengujian kuat geser untuk mengetahui besar sudut geser dalam tanah SP pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah

Sampel	Kadar Air(%)	Sudut Geser(°)	Kohesi (kPa)
A	25,45	22,079	0,671
B	0,36	28,136	2,304

Sumber: Analisis Data (2023).

Berdasarkan **Tabel 5** terdapat dua sampel dengan kadar air 25,45% dan 0,36% diperoleh sudut geser 22,0° dan 28,1° serta kohesi diperoleh 0,671 dan 2,304. Hal ini, menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar air tanah maka tahanan geser tanah semakin rendah dan kohesi tanah cenderung menurun, semakin tinggi kadar air dapat mengurangi gesekan antar partikel tanah dan efektif mengurangi kuat geser tanah [21][22]. Efek ini dapat mempengaruhi stabilitas secara keseluruhan, terutama pada kondisi lereng atau struktur yang bergantung pada daya dukung dan daya cengkram tanah. Hasil penelitian sebelumnya, mengenai kuat geser tanah ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah

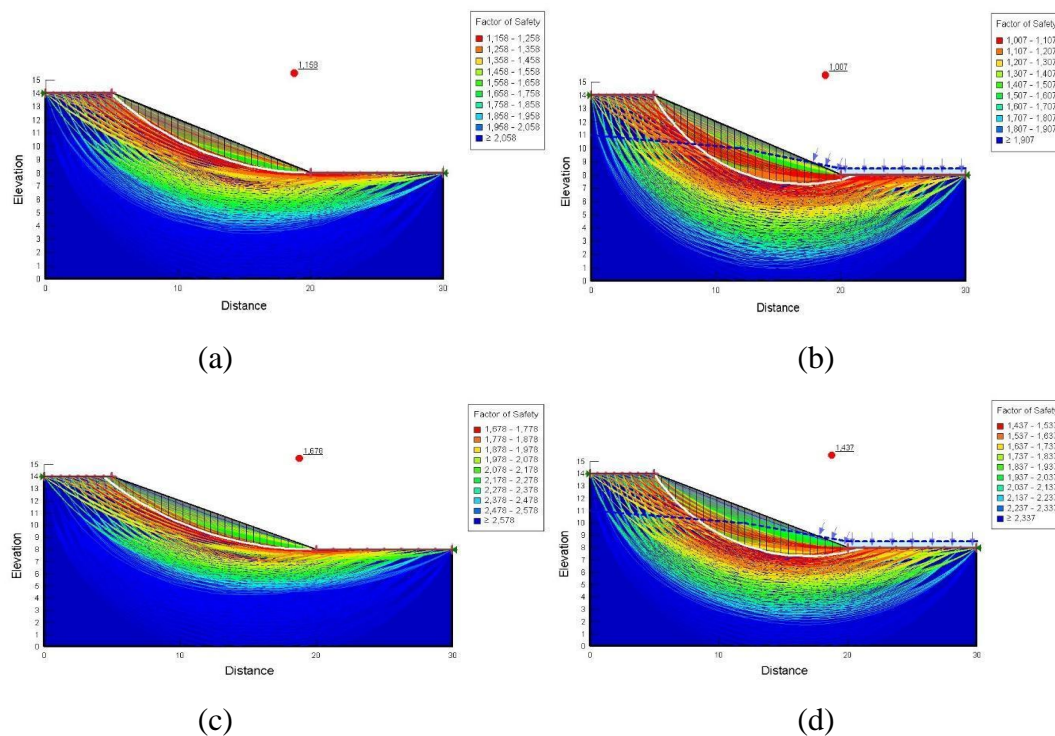
Sample ID	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Cohesion (C , kPa)	3	5	0	0	0	5	4	1
Friction angle (ϕ , °)	25	23	29	30	26	27	22	26
Unit weight (γ , kN/m ³)	16	17.8	16.4	15.1	16.2	17.5	17.2	15.5

Sumber: *Erodibility characteristics and slope stability analysis of geological units prone to erosion in Udi area, southeast Nigeria*[12].

Tabel 6 menunjukkan nilai kohesi berkisar antara 0 – 1 kPa dan nilai sudut geser 26°-30°. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah dianggap rentan terhadap tanah longsor [12].

3.4 Stabilitas Lereng Eksisting dengan Metode Bishop

Pada analisis stabilitas lereng eksisting menggunakan data dari pengujian *direct shear test* dengan program bantu geostudio ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Sumber: *Analisis Data Menggunakan Software Geostudio (2023)*

Gambar 3. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Eksisting (a) Kondisi Normal; (b) Kondisi Hujan; (c) Kondisi Normal; (d) Kondisi Hujan

Pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa garis berwarna merah memiliki nilai FK rendah. Garis keruntuhan ditunjukkan oleh garis berwarna putih berbentuk semicircular. Kondisi eksisting lereng dalam keadaan normal menunjukkan bahwa lereng memiliki nilai FK yang tinggi. Namun berbeda apabila lereng tersebut dalam kondisi hujan, nilai FK mengalami penurunan. Pemodelan keadaan lereng dalam kondisi hujan dilakukan dengan penambahan tekanan air pori, hal tersebut diilustrasikan pada **Gambar 3(b)** dan **Gambar 3(d)**. Tekanan air

Optimasi Geometri Lereng dengan Evaluasi Nilai Faktor Keamanan Menggunakan Software Geostudio

<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v6i2.4864>

pori adalah tekanan dari air yang terperangkap dalam pori-pori tanah. Air pori memainkan peran penting dalam stabilitas lereng, perilaku tanah dalam kondisi tergantung air, serta proses geoteknik lainnya[23]. Ketika ada perubahan dalam tekanan air pori, misalnya akibat curah hujan yang tinggi atau perubahan muka air tanah, itu bisa mempengaruhi kekuatan dan stabilitas tanah atau batuan. Tekanan air pori muncul akibat gaya tekanan yang dihasilkan oleh air dalam pori-pori tersebut. Sehingga, menunjukkan bahwa tanah *Poorly Graded Sand* akan lebih rentan terjadi longsor pada saat kondisi hujan.

Tabel 7. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

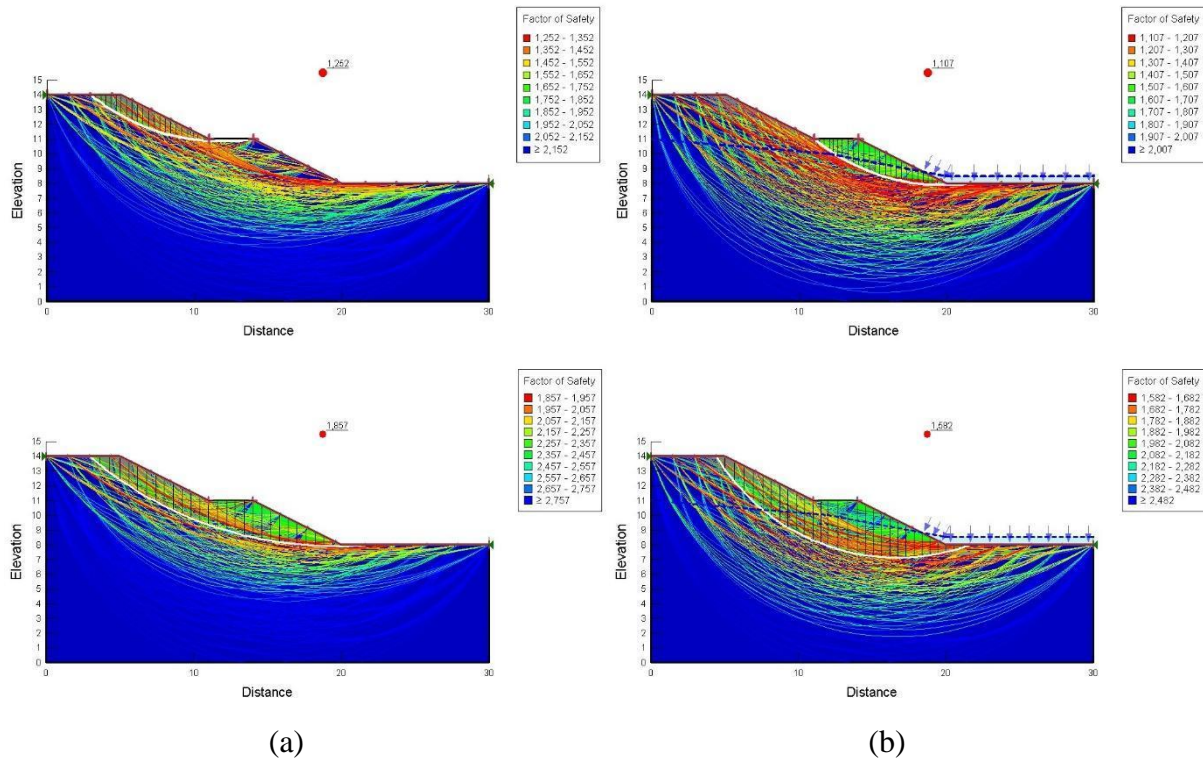
Kode	Kondisi	Sudut Geser (°)	FK	Potensi Bahaya
1	Normal	22,079	1,158	Bahaya Sedang
2	Normal	28,136	1,678	Bahaya Rendah
3	Hujan	22,079	1,007	Bahaya Sedang
4	Hujan	28,136	1,437	Bahaya Sedang

Sumber: Analisis Data Menggunakan Software Geostudio (2023).

Berdasarkan **Tabel 7** Hasilnya didapatkan Kondisi 1 menghasilkan FK (Faktor Keamanan) 1,158 dengan bahaya sedang, Kondisi 2 menghasilkan FK (Faktor Keamanan) 1,678 dengan bahaya rendah, Kondisi 3 menghasilkan FK (Faktor Keamanan) 1,007 dengan bahaya sedang, Kondisi 4 menghasilkan FK (Faktor Keamanan) 1,437 dengan bahaya sedang. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan kondisi kadar air jenuh saat hujan dan tak jenuh ketika tanah kering juga berpengaruh terhadap nilai FK, sehingga juga memengaruhi potensi kelongsoran, sesuai yang tertera pada **Gambar 2**.

3.5 Upaya Perbaikan Lereng dengan Metode Bishop

Dalam upaya perbaikan lereng, *counterweight* merupakan salah satu cara untuk meningkatkan nilai FK ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Sumber: Analisis Data Menggunakan Software Geostudio (2023).

Gambar 4. Hasil Analisis Perbaikan Stabilitas Lereng (a) Kondisi Normal (b) Kondisi Hujan

Pada **Gambar 4** Menunjukkan hasil pemodelan lereng 1V:2H dengan tinggi 3 meter dan lebar 6 meter berbentuk 2 model teras diperoleh nilai FK meningkat pada rentan sudut geser 20° - 30°. Peran geometri lereng sangat penting dalam analisis stabilitas dan perencanaan perkuatan[24][25]. Hal ini disebabkan oleh pengaruh geometri lereng terhadap tegangan dan pergerakan tanah pada lereng, yang secara langsung mempengaruhi kestabilan lereng tersebut[26], dengan kondisi awal lereng adalah 1V:2,5H.

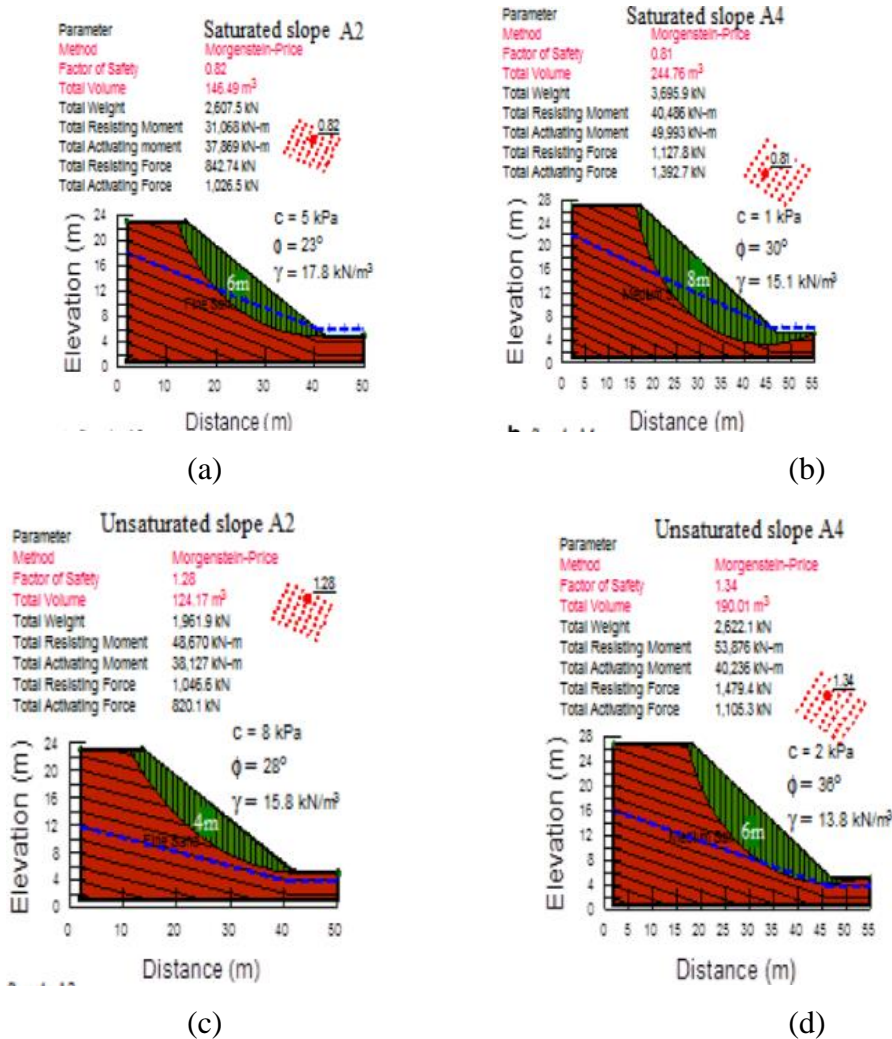
Tabel 8. Hasil Analisis Perbaikan Stabilitas Lereng.

Kode	Kondisi	Sudut Geser(°)	FK	Potensi Bahaya
A0	Normal	22,079	1,252	Bahaya Sedang
A1	Normal	28,136	1,857	Bahaya Rendah
B0	Hujan	22,079	1,107	Bahaya Sedang
B1	Hujan	28,136	1,585	Bahaya Rendah

Sumber: Analisis Data Menggunakan Software Geostudio (2023).

Tabel 8. Menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi normal maupun hujan menghasilkan nilai FK lebih dari 1 yang mengindikasikan potensi bahaya rendah hingga sedang. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melakukan perubahan geometri kemiringan menjadi 1V:2H, kemiringan mampu meningkatkan nilai faktor keamanan lereng sehingga potensi terjadinya bahaya kelongsoran menjadi berkurang. Penyesuaian kemiringan ini dapat

mengurangi dampak langsung dari perubahan kadar air dengan stabilitas lereng, baik dalam kondisi normal maupun kondisi hujan. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan di Provinsi Udi, Nigeria yang ditunjukkan dalam **Gambar 5**.



Sumber: *Erodibility characteristics and slope stability analysis of geological units prone to erosion in Udi area, southeast Nigeria* [12].

Gambar 5. Kondisi Lereng Tanah *Poorly Graded Sand* (a) Kondisi Basah (b) Kondisi Basah; (c) Kondisi Kering; (d) Kondisi Kering

Dari gambar tersebut diketahui bahwa semakin curam geometri lereng, ketika dalam kondisi basah nilai faktor keamanan lerengnya akan menurun. Ketika kemiringan curam saat hujan dapat dengan cepat mengalir ke bawah membawa tanah dan material lainnya. Sementara lereng dengan kemiringan landai akan lebih baik dalam mempertahankan tanah. Pada saat tanah tanpa kadar air, lereng yang curam akan mendapatkan pengaruh gaya gravitasi yang lebih kuat dari pada lereng yang memiliki kemiringan landai. Sehingga tanah menjadi rentan untuk runtuh karena memperoleh gaya tarik dari gravitasi. Hal ini, mengindikasikan bahwa penyesuaian kemiringan dapat mengurangi dampak dari perubahan kadar air terhadap stabilitas lereng.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng pada Sungai Widas tidak stabil. Hal tersebut didasarkan pada nilai FK yang diperoleh dari kondisi lereng eksisting sebesar 1,007 hingga 1,678. Perbaikan lereng dengan *counterweight* dapat meningkatkan nilai FK baik saat kondisi normal maupun kondisi hujan. Pemodelan geometri lereng menunjukkan rasio kemiringan 1V:2H berbentuk 2 model teras lereng pada jenis tanah *Poorly Graded Sand* (SP). Sehingga, pemodelan lereng yang diperoleh dapat digunakan sebagai solusi perbaikan untuk mengatasi masalah tanah longsor.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih untuk rekan-rekan mahasiswa dan dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Kadiri yang telah banyak membantu pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] BNPB, “Badan Nasional Penanggulangan Bencana,” *gis.bnpb.go.id*, 2022. .
- [2] S. Dewedree and S. N. Jusoh, “Slope stability analysis under different soil nailing parameters using the SLOPE/W software,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1174, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1174/1/012008.
- [3] Y. L. Chen, G. Y. Liu, N. Li, X. Du, S. R. Wang, and R. Azzam, “Stability evaluation of slope subjected to seismic effect combined with consequent rainfall,” *Eng. Geol.*, vol. 266, no. December 2019, 2020, doi: 10.1016/j.enggeo.2019.105461.
- [4] U. Arsyad, R. A. Barkey, W. Wahyuni, and K. K. Matandung, “Characteristics of Landslides in the Tangka River Basin,” *J. Hutan dan Masy.*, vol. 10, no. 1, pp. 203–214, 2018.
- [5] I. S. Wibowo, P. W. Ciptadi, and R. H. Hardyanto, “Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor Menggunakan Sensor Accelerometer dan Sensor Soil Moisture Berbasis Android,” *Din. Inform.*, pp. 164–169, 2021.
- [6] A. Setyawan, J. E. Suseno, R. D. Winesthi, and S. A. Otaviana, “Peringatan Dini Tanah Longsor Berdasarkan Kelembaban Tanah Secara Jarak Jauh Menggunakan Sensor FC-28 dan Node MCU,” *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 18, no. 2, pp. 242–246, 2020, doi: 10.14710/jil.18.2.242-246.
- [7] J. S. Gidon and S. Sahoo, “Rainfall-Induced Slope Failures and Use of Bamboo as a Remedial Measure: A Review,” *Indian Geotech. J.*, vol. 50, no. 5, pp. 766–783, 2020, doi: 10.1007/s40098-020-00409-3.
- [8] B. Zhang *et al.*, “Water Flow Characteristics Controlled by Slope Morphology under Different Rainfall Capacities and Its Implications for Slope Failure Patterns,” *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 8, 2022, doi: 10.3390/w14081271.
- [9] M. I. Khan and S. Wang, “Slope stability analysis to correlate shear strength with slope angle and shear stress by considering saturated and unsaturated seismic conditions,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 10, 2021, doi: 10.3390/app11104568.
- [10] Z. Dai, J. Guo, H. Luo, J. Li, and S. Chen, “Strength characteristics and slope stability analysis of expansive soil with filled fissures,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 13, 2020, doi: 10.3390/app10134616.
- [11] M. W. Riskyanto, P. P. Putra, and L. A. Wicaksono, “Optimalisasi Stabilitas Lereng pada Daerah Sempadan Sungai Santer Kecamatan Gumukmas Kabupaten Jember,” *Bentang J. Teor. dan Terap. Bid. Rekayasa Sipil*, vol. 11, no. 1, pp. 11–20, 2023, doi: 10.33558/bentang.v11i1.4531.

- [12] U. C. Nebeokike, O. Igwe, J. C. Egbueri, and S. I. Ifediegwu, "Erodibility characteristics and slope stability analysis of geological units prone to erosion in Udi area, southeast Nigeria," *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 6, no. 2, pp. 1061–1074, 2020, doi: 10.1007/s40808-020-00741-w.
- [13] A. Rochim and Pratikso, "Characterization of landslide and its earthwork solutions," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1517, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1517/1/012035.
- [14] ASTM, "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA," *ASTM International*. pp. 1–5, 2019.
- [15] ASTM D4318, ASTM D 4318-10, and A. D4318-05, "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils," *Report*, vol. 04, no. March 2010, pp. 1–14, 2005, doi: 10.1520/D4318-17. Therefore.
- [16] ASTM, "Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions," *Am. Soc. Test. Mater. -Astm*, vol. 4, pp. 1–9, 2011, doi: 10.1520/D3080.
- [17] Das, "Principles of Geotechnical Engineering," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [18] D. S. Hadmoko, F. Lavigne, J. Sartohadi, P. Hadi, and Winaryo, "Landslide hazard and risk assessment and their application in risk management and landuse planning in eastern flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia," *Nat. Hazards*, vol. 54, no. 3, pp. 623–642, 2010, doi: 10.1007/s11069-009-9490-0.
- [19] S. Ravindran, I. Gratchev, and C. Author, "ESTIMATION OF SHEAR STRENGTH OF GRAVELLY AND SANDY," vol. 18, no. 70, pp. 130–137, 2020.
- [20] D. P. A. P. Bujung, Turangan Arens E, and A. N. Sarajar, "Pengaruh intensitas curah hujan terhadap kuat geser tanah," *J. Tekno*, vol. 17, no. 22, pp. 47–51, 2019.
- [21] N. Fan, T. K. Nian, X. Sen Guo, H. Bin Jiao, and S. Lu, "Piecewise strength model for three types of ultra-soft fine-grained soils," *Soils Found.*, vol. 60, no. 4, pp. 778–790, 2020, doi: 10.1016/j.sandf.2020.04.010.
- [22] H. M. Shiferaw, "Study on the influence of slope height and angle on the factor of safety and shape of failure of slopes based on strength reduction method of analysis," 2021.
- [23] J. S. Frans and M. H. Nurfalaq, "Studi Geoteknik Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Batubara," *Pros. Temu Profesi Tah. PERHAPI*, vol. 1, no. 1, pp. 475–488, 2020, doi: 10.36986/ptptp.v1i1.90.
- [24] N. Analysis, "water Topographic Effects on Three-Dimensional Slope," pp. 1–24, 2020.

- [25] I. A. Chusna, N. R. Mulyaputra, V. Vergiagara, and H. Suharyadiv, “Study of the effect on stability of slope variations and reserve estimation in the Kaolin mining quarry design,” *Evol. Geotech - 25 Years Innov.*, pp. 103–109, 2022, doi: 10.1201/9781003188339-14.
- [26] R. Feng, G. Fourtakas, B. D. Rogers, and D. Lombardi, “Two-phase fully-coupled smoothed particle hydrodynamics (SPH) model for unsaturated soils and its application to rainfall-induced slope collapse,” *Comput. Geotech.*, vol. 151, no. August, p. 104964, 2022, doi: 10.1016/j.compgeo.2022.104964.