

PENGARUH INTENSITAS CURAH HUJAN TERHADAP STABILITAS LERENG PADA RUAS JALAN TAWAELI TOBOLI KM 48±702

Nurul Anisa^{1*}, *Sriyati Ramadhani², dan Martini³

¹*Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta KM. 9 Palu Sulawesi Tengah
e-mail: nanusurante@gmail.com*

¹*Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta KM. 9 Palu Sulawesi Tengah
e-mail: sriyatiramadhani@gmail.com*

¹*Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta KM. 9 Palu Sulawesi Tengah
e-mail: sudihardjomartini@gmail.com*

*Corresponding Author

ABSTRAK

Ruas Jalan Tawaeli–Toboli merupakan jalur transportasi utama yang berperan penting dalam menghubungkan daerah di Provinsi Sulawesi Tengah. Pada tanggal 13 Juli 2022, terjadi peristiwa longsor yang merupakan salah satu dari beberapa kejadian longsor yang sering muncul di ruas jalan tersebut, terutama pada musim hujan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh intensitas curah hujan terhadap stabilitas lereng pada ruas jalan Tawaeli– Toboli KM 48±702. Data penelitian diperoleh melalui pengujian laboratorium dan simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak Rocscience RS2. Variasi intensitas hujan yang digunakan meliputi periode ulang dua tahun dan lima tahun. Untuk periode ulang dua tahun, intensitas hujan rendah, sedang, dan tinggi masing-masing sebesar 0,0027 m/s, 0,0043 m/s, dan 0,0090 m/s. Sedangkan untuk periode ulang lima tahun, intensitas hujan rendah, sedang, dan tinggi masing-masing sebesar 0,0033 m/s, 0,0055 m/s, dan 0,0098 m/s. Hasil yang diperoleh untuk karakteristik tanah di wilayah penelitian adalah pasir buruk (SP) dan pasir berlanau (SM) berdasarkan sistem klasifikasi tanah USCS. Potensi longsor meningkat seiring dengan bertambahnya intensitas hujan dan lamanya durasi hujan. Nilai faktor keamanan (safety factor) pada kondisi kejemuhan lereng sebesar 0,54 mengalami penurunan hingga 0,46 ketika ditambahkan pengaruh beban seismik horizontal sebesar 0,2 g dan vertikal sebesar 0,15 g. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa intensitas curah hujan yang tinggi serta tingkat kejemuhan tanah yang besar memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan stabilitas lereng pada ruas Jalan Tawaeli–Toboli.

Kata kunci: Stabilitas Lereng, Intensitas Hujan, Tingkat Kejemuhan, Faktor Keamanan dan RS2

1. PENDAHULUAN

Wilayah Sulawesi Tengah terletak tepat di sekitar garis khatulistiwa, yang menjadikan iklim daerah ini bersifat tropis dengan dua musim , yaitu musim hujan dan musim kemarau. Kondisi ini menyebabkan curah hujan tahunan yang tinggi dan fluktuatif, yang berpotensi memicu bencana hidrometeorologi termasuk longsor (Sunardi et al., 2022). Data historis menunjukkan bahwa curah hujan maksimum tahunan di beberapa daerah di Sulawesi Tengah bisa mencapai nilai yang sangat tinggi, sehingga meningkatkan risiko kejadian gerakan massa tanah (Sunardi et al., 2022). Kondisi lereng akan semakin memburuk karena curah hujan yang tinggi yang mengakibatkan peningkatan kandungan air pada lereng, kemudian tanah menjadi jenuh dan terjadi perlamaan yang mengakibatkan kekuatan geser tanah menurun dan sewaktu-waktu akan mengakibatkan bencana tanah longsor pun tidak dapat dihindari. Menurut Aisah (2022) menjelaskan bahwa bencana tanah longsor seringkali berkaitan erat dengan intensitas dan durasi hujan karena infiltrasi air ke dalam tanah dapat menaikkan tekanan pori, menurunkan tegangan efektif, dan menurunkan kekuatan geser material lereng.

Pada tanggal 13 Juli 2022 telah terjadi longsor di ruas Jalan Tawaeli–Toboli pada lokasi sekitar KM 48±702, hal ini dipicu karena hujan terus menerus dengan durasi yang lama. Hujan intens dan durasi hujan yang panjang dapat meningkatkan infiltrasi air ke dalam lereng sehingga menaikkan tekanan air pori dan menurunkan tegangan efektif, yang berdampak pada penurunan kekuatan geser material lereng dan menurunkan faktor keamanan. Proses perubahan kejemuhan (*saturation*) dan peningkatan tekanan air pori selama dan setelah peristiwa hujan merupakan mekanisme utama pemicunya (Cho, 2024).

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka perlu dilakukan dilakukan penelitian terkait pengaruh intensitas curah hujan

terhadap stabilitas lereng pada ruas jalan Tawaeli Toboli KM 48±702. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh intensitas curah hujan terhadap stabilitas lereng pada ruas jalan Tawaeli–Toboli KM 48±702.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah dibuat dengan tujuan untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisik. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemandatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, 1997). Ada beberapa Sistem klasifikasi tanah namun yang paling umum digunakan adalah sistem USCS dan AASHTO.

2.2 Modulus Elastisitas

Nilai *modulus Young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997)

Jenis Tanah	Es (kN/m ²)
Lempung	Sangat Lunak
	300-3000
	Lunak
	2000-4000
	Sedang
Pasir	4500-9000
	Keras
	7000-20000
	Berpasir
	30000-42500
Pasir	Berlanau
	5000-20000
	Tidak Padat
Pasir dan Kerikil	10000-25000
	Padat
	50000-100000
Lanau	80000-200000
	Tidak Padat
Loess	50000-140000
	2000-20000
Serpih	15000-60000
	120000-1400000

2.3 Angka Poisson

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai *poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2

Tabel 2. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Das, 2016)

Macam Tanah	Angka Poisson μ
Pasir Lepas	0,40-0,50
Pasir Sedang	0,10-0,30
Pasir Padat	0,20-0,40
Pasir Berlanau	0,30-0,35
Lempung Lanau	0,20-0,40
Lempung Berpasir	0,15

2.4 Analisa Stabilitas Lereng

Analisis kestabilan lereng merupakan tindakan untuk mengetahui kondisi suatu lereng dengan tujuan memperkirakan bentuk keruntuhan dan menentukan tingkat kerawanan lereng terhadap longsoran serta rancangan lereng yang memenuhi kriteria keamanan (Rahmawati, 2022).

2.5 Pengaruh Curah Hujan Terhadap Kestabilan Lereng

Faktor pemicu utama kelongsoran tanah adalah air hujan. Hujan diperkirakan sebagai penyebab utama terjadinya kelongsoran. Meningkatnya kandungan air dalam tanah dapat disebabkan oleh hujan selama periode tertentu, sehingga tegangan efektif menurun dan berakibat tegangan geser dalam tanah menurun pula (Rochmawati & Tonggiroh, 2019).

Salah satu mekanisme inti dalam pemicu longsor adalah peningkatan kandungan air dalam tubuh lereng akibat hujan yang meresap ke dalam tanah. Infiltrasi air meningkatkan tekanan air pori (pore water pressure) dan mengurangi tegangan efektif (effective stress), sehingga kekuatan geser tanah menurun (Leroueil & Hight, 2022).

Beberapa penelitian numerik dan laboratorium dalam lima tahun terakhir menegaskan bahwa intensitas hujan, durasi hujan, pola distribusi hujan, dan kondisi kelembaban awal tanah sangat memengaruhi kecepatan peningkatan tekanan air pori dan waktu tunda menuju kegagalan (Zhang et al., 2023; Guo et al., 2024).

2.6 Mononobe

Untuk keperluan perancangan, curah hujan rancangan yang telah ditetapkan berdasarkan hasil analisis perlu diubah menjadi lengkung curah hujan. Lengkung tersebut dapat diperoleh berdasarkan data hujan dari stasiun hujan otomatis dengan rentang waktu yang pendek yaitu, menit atau detik. Data hujan otomatis relatif sulit untuk diperoleh, sehingga lengkung intensitas untuk durasi pendek ditentukan berdasarkan data hujan harian. Dengan menggunakan metode mononobe intensitas hujan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$= \left(\frac{24}{24} \right) \left(\frac{24}{24} \right)^2 \quad (1)$$

Dengan I = Intensitas hujan rancangan (mm), R24 = Tinggi hujan harian maksimum atau hujan rancangan (mm), T = durasi hujan atau waktu konsentrasi (jam)

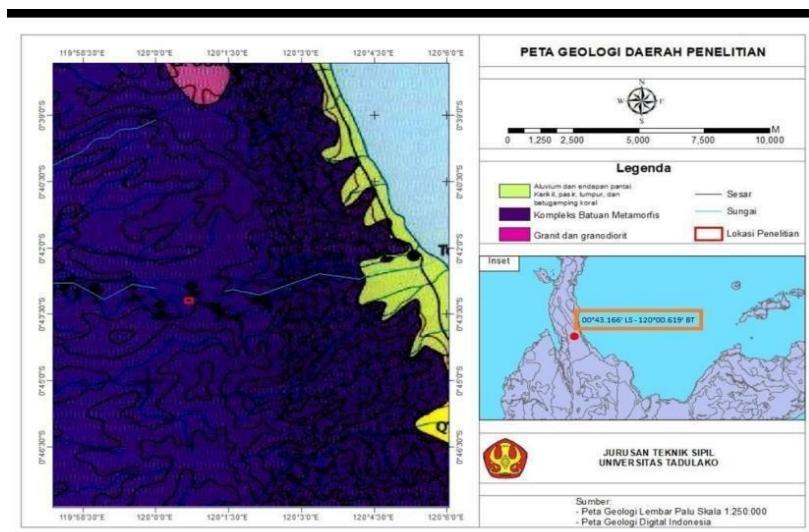
2.7 Metode Elemen Hingga

Konsep dasar Metode elemen hingga adalah apabila suatu sistem dikenai gaya luar, maka gaya luar tersebut diserap oleh sistem tersebut dan akan menimbulkan gaya dalam dan perpindahan. Untuk mengetahui besarnya gaya dalam dan perpindahan akibat gaya luar tersebut, perlu dibentuk suatu persamaan yang mewakili sistem tersebut. Dalam Metode Elemen Hingga keseluruhan sistem dibagi kedalam elemen-elemen dengan jumlah tertentu. Elemen-elemen tersebut dianggap saling berkaitan satu sama lain pada sejumlah titik-titik simpul. Perpindahan pada setiap titik-titik simpul dihitung terlebih dahulu, kemudian dengan sejumlah fungsi interpolasi yang diasumsikan, perpindahan pada sembarang titik dapat dihitung berdasarkan nilai perpindahan pada titik-titik simpul. Selanjutnya regangan yang terjadi pada setiap elemen dihitung berdasarkan besarnya perpindahan pada masing-masing titik simpul. Berdasarkan nilai regangan tersebut dapat dihitung tegangan yang bekerja pada setiap elemen. Metode elemen hingga dimodelkan dengan pembagian seluruh daerah permasalahan menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Masing-masing elemen merupakan batas permasalahan baru yang akan dilakukan analisis dan secara eksplisit dimodelkan responsnya terhadap elemen yang lain. (Suhendro, 2000).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini secara geografis terletak di Jalan Trans Sulawesi Kebun Kopi, KM 48±702, Kecamatan Uwentiro, Kecamatan Toboli, Kabupaten Parigi Moutong dan Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah, koordinat S 00°43'13,1" - E 120°00'35,9". Lokasi penelitian merupakan lereng dengan tinggi 24 m dan sudut kemiringan 53°.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Tahapan Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan penelitian ini dibagi dalam tiga tahap, yaitu tahap uji pendahuluan, tahap uji utama dan tahap pelaporan.

1. Tahap uji pendahuluan

Pada tahap uji pendahuluan dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap materi-materi yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu materi kestabilan lereng dan materi program *Rocscience*. Setelah melakukan studi literatur dilanjutkan dengan *Survey* lokasi. *Survey* lokasi pada penelitian ini dilakukan untuk melihat kondisi lapangan yang akan di lakukan pengambilan sampel tanah dan geometri lereng.

2. Tahap uji utama

Pada uji utama, hasil dari uji laboratorium dan geometri lereng kemudian dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program *Rocscience (RS2)*

3. Tahap pelaporan

Pada tahap pelaporan dilakukan evaluasi dan pembahasan pada mekanisme keruntuhan, faktor keamanan dan deformasi lereng. Kemudian dibuat kesimpulan dari hasil evaluasi dan pembahasan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji sifat Fisis dan Mekanis Tanah

Hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tadulako saat musim hujan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Saat Musim Hujan

No	Deskripsi	Simbol	Satuan	Puncak	Lokasi	
					Tengah	Kaki
1	Kadar Air			20.32	17.05	17.44
a.	Tanah basah	<i>W</i>	%	23.36	25.11	22.99
b.	Tanah jenuh	<i>W</i>	%	2.65	2.65	2.65
2	Berat jenis	<i>Gs</i>	-	1.55	1.57	1.53
3	Berat isi basah	γ_b	gr/cm ³	1.29	1.34	1.31
4	Berat isi kering	γ_d	gr/cm ³	1.29	1.34	1.31
5	Berat isi jenuh	γ_{sat}	gr/cm ³	1.76	1.62	1.57
6	Analisa saringan					
a.	Kerikil	<i>G</i>	%	5.12	4.32	4.36
b.	Pasir	<i>S</i>	%	94.88	95.68	95.64
c.	Lanau/Lempung	M/C	%	3.99	4.82	3.36
7	Uji geser langsung					
A	Tanah basah					
a.	Kohesi	<i>c</i>	kPa	3.83	4.51	2.94
b.	Sudut gesek	ϕ	°	29.46	32.29	30.61
B	Tanah jenuh					
a.	Kohesi	<i>c</i>	kPa	4.11	4.02	1.27
b.	Sudut gesek	ϕ	°	23.28	25.20	24.57
8	Permeabilitas	<i>K</i>	cm/dtk	0.001	0.001	0.001
9	Uji atterberg					
a.	Batas cair	<i>LL</i>	%	-	-	-
b.	Batas plastis	<i>PL</i>	%	-	-	-
c.	Indeks plastisitas	<i>IP</i>		NP	NP	NP

Hasil pengujian uji sifat fisis dan mekanis tanah pada lokasi kebun kopi KM 48+702 saat musim hujan berdasarkan Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa nilai berat jenis tanah dari hasil laboratorium 2.65, klasifikasi tanah tersebut menurut Hardiyatmo (2018) dapat diklasifikasikan ke dalam tanah pasir. Klasifikasi dari uji sifat fisis tanah berdasarkan USCS dari lokasi mengambil 3 titik pengambilan sampel sebesar 50% fraksi kasar yang lolos saringan nomor 4 pada pengujian Analisa saringan, namun pada titik lokasi tengah dan puncak lereng yang lolos saringan nomor 200 di peroleh >12%, sehingga dapat diklasifikasikan sebagai tanah pasir yang mengandung lanau, SM (*Sand Anorganic Silt*). Untuk lokasi kaki lereng karena tanah yang lolos saringan nomor 200 berkisar antara 5-12% dapat diklasifikasikan sebagai tanah pasir SP (*Sand Poorly Graded*) ataupun Pasir SW (*Sand Well Graded*). Penelitian ini, pengujian sifat mekanis tanah dilakukan pada sampel tanah yang berasal dari lokasi penelitian (sampel tanah tidak terganggu) pada 3 titik lokasi pengambilan sampel dengan titik kedalaman 10-15 cm dengan jumlah 6 sampel pada musim hujan. Uji sifat mekanis yang digunakan pada penelitian ini yaitu uji geser langsung (*direct shear test*).

4.2 Data

Curah Hujan

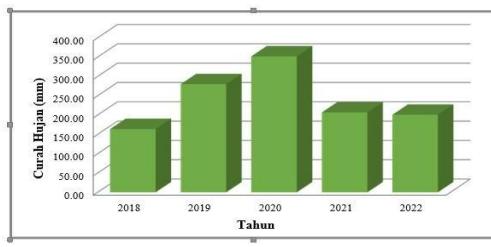
Untuk menentukan intensitas hujan dalam analisis stabilitas lereng digunakan metode mononobe dimana menggunakan data curah hujan yang digunakan pada stasiun curah hujan Parigi Barat (data curah hujan selama 5 tahun) dapat di lihat pada Tabel 4.

Tabel 4.

ecamatan Toboli, Kabupaten Parigi Moutong dan Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah Tahun 2018-2022

TAHUN	BULAN											
	JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOV	D
2018	16	57	30	86	16 4	12 5	86	96	58	78	89	8
2019	43	53	89	109	10 6	28 0	67	25	12	10 9	10 5	9
2020	18	72	78	120	62	85	35 2	12 2	23	95	36	1
2021	22	29	89	64	84	15	13 0	20 7	16 0	11 9	65	4
2022	60	13 5	124	60	60	13 7	14 7	20 1	15 9	11 2	63	4

Data curah hujan bulanan pada Tabel 4 di ubah menjadi data curah hujan maksimum tahunan yang dapat di lihat pada Gambar 2 dan disusun berdasarkan rangking dan dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 2. Grafik Curah Hujan Tahunan Maksimum Stasiun Parigi Barat (BMKG Stasiun Meteorologi Mutiara Palu, 2022)

Tabel 5. Data Curah Hujan Tahunan Maksimum Berdasarkan Rangking

H	Rangking Data		Curah Hujan (X_i) (mm)
	Rangking	Tahun	
u	1	2020	352
j	2	2019	280
a	3	2021	207
n	4	2022	201
B	5	2018	164
u			

4.3 Menghitung Parameter Statistik

Untuk menentukan jenis distribusi probabilitas dapat menggunakan Metode Log Person III dengan menghitung parameter statistik meliputi nilai rerata, standar deviasi, koefisien skewness, koefisien kurtosis dan koefisien variasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Parameter Statistik Metode Log Person III

N	Tahun	Curah hujan (X_i) (mm)	Log X_i (mm)	Log X_i – Log X_{irt} (mm)	(Log X_i – Log X_{irt}) ² (mm)	(Log X_i – Log X_{irt}) ³ (mm)	(Log X_i – Log X_{irt}) ⁴ (mm)
1	2020	352	2,54654	0,1810 0	0,03276	0,00593	0,00107
2	2019	280	2,44716	0,0816 2	0,00666	0,00054	0,00004
3	2021	207	2,31597	-0,04957	0,00246	-0,00012	0,00001
4	2022	201	2,30320	-0,06235	0,02271	-0,00024	0,00002
5	2018	164	2,21484	-0,15070	0,06848	-0,00269	0,00052
	Jumlah		11,82771	0,00000 0	0,06848	0,00269	0,00165
	Rata-Rata (Log X_{irt})		2,36554				
	Maksimum		2,54654				
	Minimum		2,21484				
	Standar Deviasi (Sx Log X_i)		0,13084				
	Koefisien Skewnes (Cs)		0,49983				
	Koefisien Kurtosis (Cs)		5,88091				
	Koefisien Varians (Cs)		0,05531				

O
,
K

Menghitung Nilai rerata Metode Log Person III

$$= \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 11,8277 = 2,3655$$

1. Menghitung Standar Deviasi (S)

$$2. S \text{ Log } X_o = \sqrt{\frac{1}{5-1} \sum_{i=1}^5 (0,06848)} = 0,13084$$

3. Menghitung Koefisien $Skewness$ (Cs)

$$\begin{aligned} Cs &= \frac{5}{(5-1)(11-2)0,13084^2} \sum_{i=1}^5 (0,00269) \\ &= 0,49983 \end{aligned}$$

4. Menghitung Koefisien $Skewness$ (Ck)

$$\begin{aligned} Ck &= \frac{5}{(5-1)(11-2)0,13084^2} \sum_{i=1}^5 (0,00269) \\ &= 0,49983 \end{aligned}$$

5. Menghitung Koefisien Kurtosis (Ck)

$$\begin{aligned} Ck &= \frac{5}{(5-1)(11-2)0,13084^3} \sum_{i=1}^5 (0,00165) \\ &= 5,88091 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan distribusi sebesaran yang memenuhi syarat sesuai dengan data statistik dapat dibandingkan dengan Batasan nilai parameter jenis distribusi dapat di lihat pada Tabel 7

Tabel 7. Nilai Parameter Jenis Distribusi (Soewarno, 1995)

No.	Jenis Sebaran	Cs	Ck	Cv	Keterangan
1	Gumbel	< 1,14	< 5,4	Bebas	Tidak Memenuhi
2	Log Person Tipe III	Bebas	Bebas	Bebas	Memenuhi

Dari Hasil Perbandingan pada Tabel 7 di atas, dapat di simpulkan bahwa sebaran Log Person III yang memenuhi syarat. Sehingga dapat di lakukan analisis lanjut.

4.3.1 Menghitung Hujan Rancangan

Dari Hasil Perbandingan pada Tabel 7 di atas, dapat di simpulkan bahwa sebaran Log Person III yang memenuhi syarat. Sehingga dapat di lakukan analisis lanjut.

Diketahui

$$\text{Log } X_{ir} = 2,36554 \text{ mm}$$

$$S_x \text{ Log } X_i = 0,13084$$

$$C_s = 0,49983$$

$$K_{Tr} = 0,06600 \text{ (Nilai } K_{Tr} \text{ diperoleh dari table pada lampiran berdasarkan hubungan antara } Cs \text{ dan periode ulang)}$$

Penyelesaian

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X_{ir} + K_{Tr} \times S_x \text{ Log } X_i$$

$$\text{Log } X_T = 2,36554 + 0,06600 \times 0,13084$$

$$\text{Log } X_T = 2,36554 + 0,00864$$

$$\text{Log } X_T = 2,37418$$

$$X_T = 236,689 \text{ mm}$$

Tabel 8. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Metode Log Person III

Periode Ulang (Tahun)	Standar Deviasi (Sx Log Xi)	Log Xirt (mm)	Koefisien Skewnes (Cs)	Faktor Frekuensi (K _{Tr})	Curah Hujan Rancangan (X _T) (mm)
2	0,13084	2,365 54	0,500	0,066	236,689
5	0,13084	,3655 4	0,500	0,855	300,200

4.3.2 Pola Distribusi Hujan

Pola distribusi hujan dapat didekati dengan cara empiris. Dengan hasil olahan data dari hujan kurun waktu 2018-2022. Berikut perhitungan intensitas hujan menggunakan Metode Mononobe sebagai berikut:

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$$

Dari data hujan rancangan periode ulang 2 tahun diketahui:

$$R_{24} = 236,689 \text{ mm}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

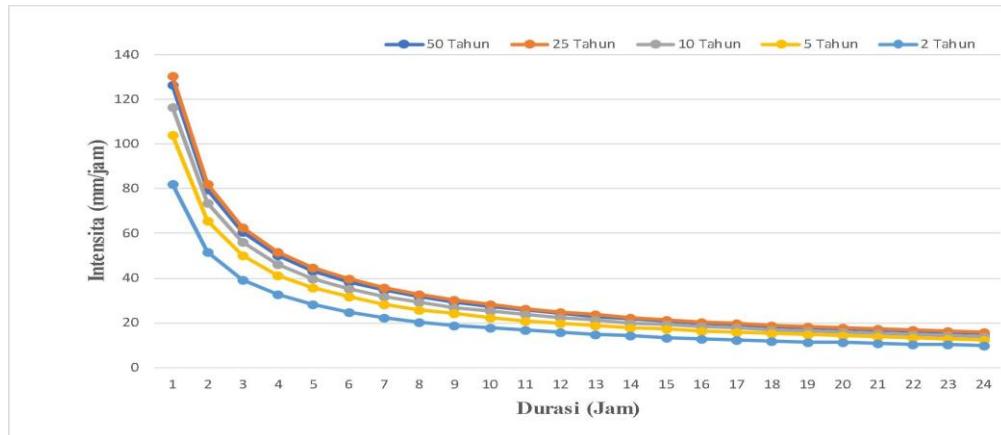
maka:

$$I = \left(\frac{236,689}{24} \right) \left(\frac{24}{24} \right)^{2/3}$$

$$I = 9,86 \text{ mm/jam}$$

Durasi Jam Ke-	Periode Ulang (Tahun)				
	2	5	10	2	50
1	82,14	104,18	116,68	130,64	126,52
2	51,73	65,62	73,49	82,28	79,69
3	39,48	50,07	56,07	62,78	60,80
4	32,58	41,33	46,28	51,82	50,19
5	28,08	35,61	39,88	44,65	43,25
6	24,86	31,53	35,32	39,54	38,30
7	22,43	28,45	31,87	35,68	34,55
8	20,52	26,03	29,15	32,64	31,61
9	18,97	24,06	26,95	30,17	29,22
10	17,68	22,4	25,12	28,12	27,24
11	16,59	21,05	23,57	26,39	25,56
12	15,66	19,86	22,24	24,90	24,12
13	14,84	18,83	21,09	23,61	22,87
14	14,13	17,92	20,07	22,47	21,76
15	13,49	17,11	19,17	21,46	20,87
16	12,92	16,39	18,36	20,55	19,91
17	12,41	15,74	17,63	19,74	19,12
18	11,95	15,15	16,97	19,00	18,40
19	11,52	14,62	16,37	18,33	17,75
20	11,14	14,13	15,82	17,71	17,15
21	10,78	13,67	15,31	17,15	16,61
22	10,45	13,26	14,85	16,62	16,10
23	10,15	12,87	14,41	16,14	15,63
24	9,86	12,51	14,01	15,68	15,19

Untuk intensitas hujan rancangan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun dan 50 tahun dengan berbagai durasi berdasarkan waktu konsetrasi dapat disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 9.



Gambar 3. Kurva Hubungan Intensitas Hujan dengan Waktu Konsentrasi

Tabel 9. Intensitas Hujan Mononobe

4.4 Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Berdasarkan hasil-hasil yang telah dipaparkan sebelumnya seperti data parameter tanah dan data geolistrik. Data tersebut akan digunakan sebagai data masukan untuk pemodelan pada program *RS2* untuk menganalisis kestabilan lereng. Analisis kestabilan lereng dimulai dengan membuat model dari lereng lokasi penelitian, perlu diketahui juga beberapa informasi terkait dari lereng yang ditinjau seperti bentuk geometri lereng, karakteristik lereng, data parameter tanah dan kedalaman tiap lapisan penyusun lereng. Penulis melakukan peninjauan langsung ke lokasi, dan melakukan beberapa pengukuran untuk mendapatkan data-data yang diperlukan.

Lereng dimodelkan dengan program *Autocad*, lereng terdiri dari 2 lapisan tanah penyusun dan pada tanah pasir terdapat daerah yang diduga kondisi basah berdasarkan hasil interpretasi data geolistrik resistivitas. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software *RS2*, dengan menganalisis lereng pada kondisi hujan. *Input* parameter yang diperlukan dalam analisis kestabilan lereng pada model ini yaitu parameter material lapisan tanah dan batuan serta variasi intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. *Input* Parameter Tanah yang digunakan Dalam RS2

Parameter Tinjauan Letak Lereng Nama Material	Hujan	
	Permukaan Lereng Pasir Berlanau	
	2 Tahun	5 Tahun
Berat Isi Tanah Basah (kN/m ³)	15,20	
Kohesi (kPa)	3,83	
Sudut Gesek (°)	29,46	
Berat Isi Tanah Jenuh (kN/m ³)	17,55	
Kohesi (kPa)	4,11	
Sudut Gesek	23,28	
Modulus Elastisitas (kN/m ³)	20000	
Angka Poissin	0,30	
Permeabilitas (m/s)	0,001	

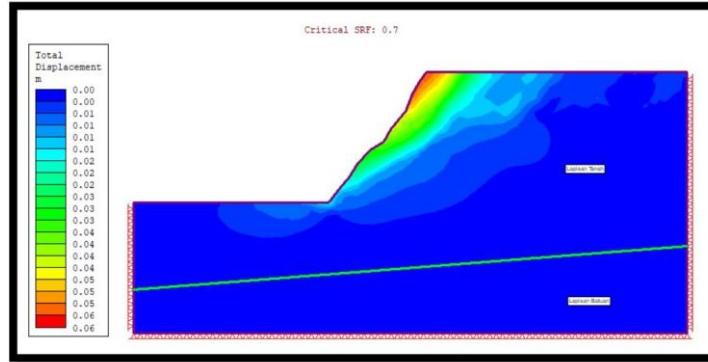
Tabel 11. *Input* Parameter Hujan

Deskripsi	Periode Ulang	
	2 Tahun	5 Tahun
Intensitas (m/s)		

Intensitas Rendah	0,0027	0,0033
Intensitas Sedang	0,0043	0,0055
Intensitas Tinggi	0,0090	0,0098

4.4.1 Analisis Kestabilan Lereng Pada Kondisi Tanpa Hujan

Deformasi yang terjadi pada lereng tanpa hujan diperlihatkan pada Gambar 11. Nilai faktor keamanan (FK) dihitung menggunakan metode *shear strength reduction* (SSR) diperoleh sebesar 0,7. Menurut Bowles (1984), kondisi ini longsor biasa terjadi dengan $FK \leq 1,25$.

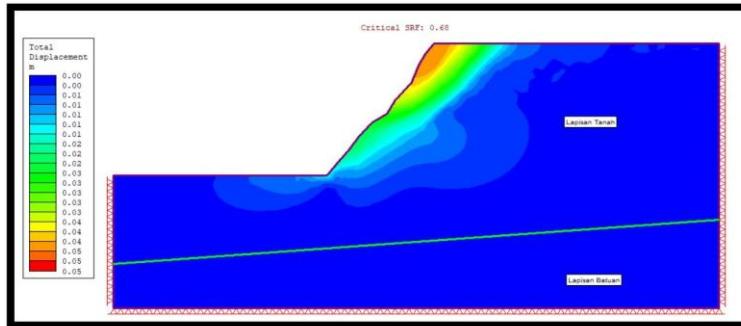


Gambar 4. Deformasi yang Terjadi pada Lereng Tanpa Hujan

4.4.2 Analisis Kestabilan Lereng pada Kondisi Hujan Periode Ulang 2 Tahun

A. Analisis lereng variasi hujan rendah dengan intensitas 0,0027 m/s

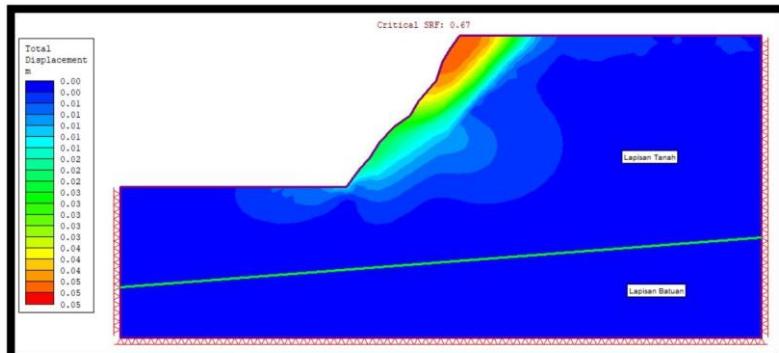
Nilai faktor keamanan (FK) pada kondisi intensitas hujan rendah sebesar 0,68 sehingga lereng dalam keadaan labil atau longsor biasa terjadi dengan $FK \leq 1,25$ (Bowles, 1984). Dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Deformasi yang Terjadi pada Lereng dengan Intensitas 0,0027 m/s Hujan Rendah

B. Analisis lereng variasi hujan sedang dengan intensitas 0,0043 m/s

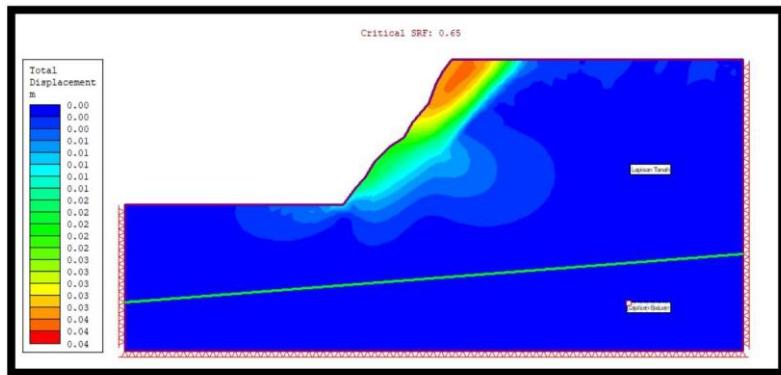
Dari hasil analisis kestabilan lereng variasi hujan sedang menggunakan metode *shear strength reduction* (SSR) didapatkan nilai faktor keamanan (FK) sebesar 0,67 yang dapat dilihat pada gambar 5 kondisi ini longsor biasa terjadi dengan $FK \leq 1,25$ (Bowles, 1984).



Gambar 5. Deformasi yang Terjadi pada Lereng dengan Intensitas 0,0043 m/s Hujan Sedang

C. Analisis lereng variasi hujan tinggi dengan intensitas 0,0090 m/s

Pada Gambar 6 memperlihatkan deformasi yang terjadi pada lereng dengan intensitas 0,0090 m/s diperoleh nilai faktor keamanan (FK) = 0,65.

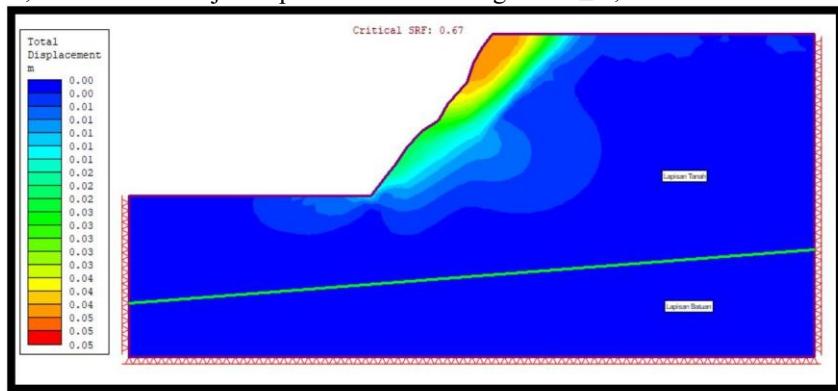


Gambar 6. Deformasi yang Terjadi pada Lereng dengan Intensitas 0,0090 m/s Hujan Tinggi

4.4.3 Analisis Kestabilan Lereng Pada Kondisi Hujan Periode Ulang 5 Tahun

A. Analisis lereng variasi hujan rendah dengan intensitas 0,0033

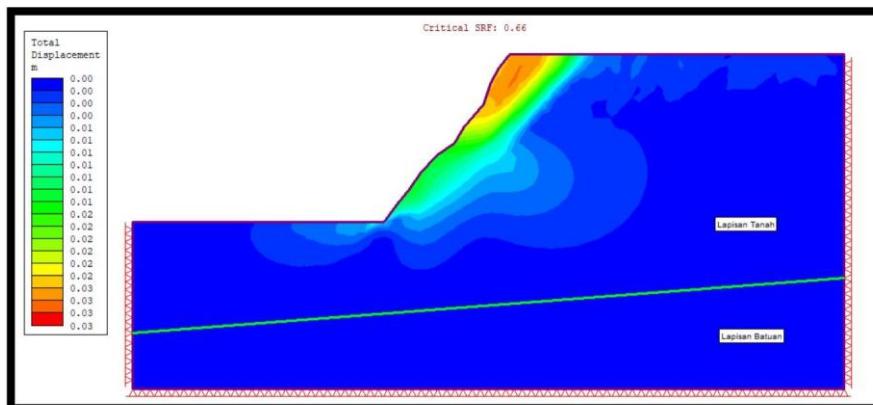
Pada intensitas hujan rendah nilai faktor keamanan (FK) sebesar 0,67. Menurut Bowles (1984) termasuk keadaan longsor biasa terjadi, kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 7 dengan $\text{FK} \leq 1,25$.



Gambar 7. Deformasi yang Terjadi pada Lereng dengan Intensitas 0,0033 m/s Hujan Rendah

B. Analisis lereng variasi hujan sedang dengan intensitas 0,0055 m/s

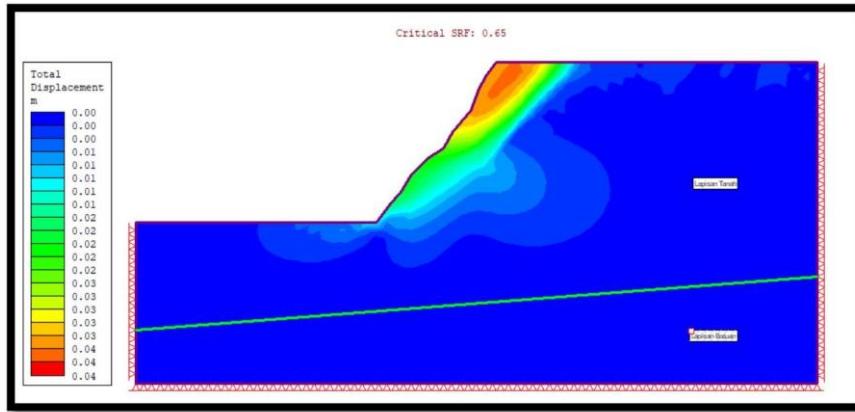
Hasil yang diperoleh dari analisis kestabilan lereng dengan kondisi hujan sedang sebesar 0,66 yang dapat dilihat pada Gambar 8 deformasi yang terjadi pada lereng.



Gambar 8. Deformasi yang Terjadi pada Lereng dengan Intensitas 0,0055 m/s Hujan Sedang

C. Analisis lereng variasi hujan tinggi dengan intensitas 0,0098 m/s

Hasil yang diperoleh pada Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai faktor aman dengan intensitas 0,0098 m/s variasi hujan tinggi di hitung menggunakan metode *shear strength reduction* (SSR) sebesar 0,65.



Gambar 9. Deformasi yang Terjadi pada Lereng dengan Intensitas 0,0098 m/s Hujan Tinggi

Rekapan hasil analisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) dapat dilihat pada Tabel 11. Hasil menunjukkan bahwa Nilai *Shear Reduction Factor* (SRF) menurun seiring meningkatnya intensitas hujan dan periode ulang yang artinya semakin besar dan lama hujan, semakin besar potensi longsor. Curah hujan berpengaruh signifikan terhadap kestabilan lereng.

Tabel 11. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga

Deskripsi	Kemiringan Sudut	SRF	Keterangan
Tanpa Hujan	53°	0,7	Labil (Longsor biasa terjadi)
Intensitas hujan rendah (0,0027 m/s) Peroide ulang 2 tahun	53°	0,68	Labil (Longsor biasa terjadi)
Intensitas hujan sedang (0,0043 m/s) Periode ulang 2 tahun	53°	0,67	Labil (Longsor biasa terjadi)
Intensitas hujan sedang (0,0090 m/s) Periode ulang 2 tahun	53°	0,65	Labil (Longsor biasa terjadi)
Intensitas hujan rendah (0,0033 m/s) Peroide ulang 5 tahun	53°	0,67	Labil (Longsor biasa terjadi)
Intensitas hujan sedang (0,0055 m/s) Periode ulang 5 tahun	53°	0,66	Labil (Longsor biasa terjadi)
Intensitas hujan sedang (0,0098 m/s) Periode ulang 5 tahun	53°	0,65	Labil (Longsor biasa terjadi)

4.5 KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik tanah pada ruas jalan Tawaeli-Toboli pada lereng Kebun Kopi khususnya KM 48+702 menurut klasifikasi USCS termasuk dalam jenis tanah SP dan SM yang berdasarkan hasil pengujian laboratorium.
2. Kestabilan lereng daerah Kebun Kopi KM 48+702 dengan menggunakan metode *finite element* dengan bantuan *software RS2* untuk mendapatkan nilai faktor keamanan berdasarkan *Shear Strength Reduction* (SSR)

pada lereng dengan kondisi tanpa hujan, kondisi hujan periode ulang 2 tahun, kondisi hujan periode ulang 5 tahun, kondisi tidak jenuh dan gempa, kondisi jenuh, dan kondisi jenuh dan gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan:

- a. Kondisi tanpa hujan sebesar 0,7.
- b. Kondisi hujan periode ulang 2 tahun variasi hujan rendah dengan intensitas 0,0027 m/s sebesar 0,68, variasi hujan sedang dengan intensitas 0,0043 m/s sebesar 0,67, dan varisa hujan tinggi dengan intensitas 0,0090 m/s sebesar 0,65.
- c. Kondisi hujan periode ulang 5 tahun variasi hujan rendah dengan intensitas 0,0033 m/s sebesar 0,67, variasi hujan sedang dengan intensitas 0,0055 m/s sebesar 0,66, dan varisa hujan tinggi dengan intensitas 0,0098 m/s sebesar 0,65.
- d. Kondisi tidak jenuh dan gempa sebesar 0,53.
- e. Kondisi jenuh sebesar 0,46.
- f. Kondisi jenuh dan gempa sebesar 0,37.

Sehingga lereng tersebut termasuk dalam keadaan labil atau longsor dengan nilai faktor keamanan ($FK \leq 1,25$).

DAFTAR PUSTAKA

- Aisah, E. (2022). *Studi Pengaruh Curah Hujan Terhadap Stabilitas Lereng*. Jurnal Riset Sipil, Fakultas Teknik. Bowles, J. E. (1984). Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta.
- Cho, M. T. T., et al. (2024). *Effects of pore water and pore air pressure on slope failure: mechanisms under continuous rainfall*. Geoenvironmental Disasters.
- Guo, H., Liu, Z., & Xie, F. (2024). *Effect of Rainfall Characteristics on the Failure Process of Slopes Based on Coupled Infiltration–Seepage Modeling*. Engineering Failure Analysis, 166, 108734. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108734>
- Leroueil, S., & Hight, D. W. (2022). *Slope Stability and Effective Stress Principle in Unsaturated Soils under Rainfall Infiltration*. Engineering Geology, 310, 106888. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106888>
- Rahmawati S. (2022). Kajian Longsor Kebun Kopi KM 41+881 dan KM 42+163 Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Universitas Tadulako.
- Rochmawati, N., & Tonggiroh, A. (2019). *Analisis Pengaruh Curah Hujan terhadap Kejadian Longsor di Kabupaten Tana Toraja*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 7(2), 145–154.
- Sunardi, Nurmasiyta Anggraini, Solih Alfiandy, Asep Firman Ilahi. (2022). *Identifikasi Tingkat Kerawanan Tanah Longsor di Provinsi Sulawesi Tengah*. Buletin GAW Bariri
- Suhendro, B. (2000). *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya (1st ed.)*. Yogyakarta, Indonesia: Jurusan Teknik Sipil, .
- Supriyadi, Priyatari, N., & Suprianto (2019). *Modul Praktikum Geofisika*
- Zhang, Q., Li, P., & Wang, J. (2023). *Influence of Rainfall Duration and Intensity on Transient Seepage and Stability of Unsaturated Slopes*. Natural Hazards, 117(2), 1457–1473. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05812-7>