



STUDI PENGARUH CURAH HUJAN TERHADAP STABILITAS LERENG MENGUNAKAN PROGRAM PERISI

ELPITA AISAH¹, NURLY GOFAR^{1*}

¹Program Magister Teknik Sipil, Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

*Corresponding author: ✉ nurly_gofar@binadarma.ac.id

Naskah diterima : 28 Agustus 2021. Disetujui: 6 Juli 2022

ABSTRAK

Hujan merupakan salah satu penyebab keruntuhan lereng. Infiltrasi hujan ke dalam tanah dapat meningkatkan kadar air tanah, menurunkan tekanan air pori negatif, dan meningkatkan berat isi tanah atau bahkan menaikkan muka air tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kondisi lereng di sepanjang Jalan Lematang Kota Pagar Alam, meliputi geometri dan kondisi tanah serta menganalisis curah hujan yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Pengamatan dan analisis stabilitas dilakukan pada enam titik sepanjang jalan tersebut. Pengamatan awal dan pengujian laboratorium menunjukkan bahwa tanah pembentuk lereng adalah lempung dan lanau dengan plastisitas rendah. Sudut kemiringan lereng berkisar antara 27° hingga 39°, dan panjang lereng antara 60 dan 350 m. Analisis stabilitas menggunakan Metode Bishop menunjukkan bahwa secara umum lereng tidak stabil ($FOS < 1,5$), meskipun secara visual lereng dalam kondisi baik. Oleh karena itu, dipasang rambu peringatan untuk memperingatkan pengguna jalan agar berhati-hati. Dalam studi ini, program PERISI digunakan untuk mengevaluasi apakah hujan dapat mempengaruhi stabilitas lereng di masa yang akan datang. Program ini mengasumsikan panjang lereng tidak terhingga dan dikembangkan berdasarkan konsep tanah tak jenuh. Program ini membutuhkan tiga input yaitu: geometri lereng, IDF yang dihitung berdasarkan curah hujan yang tercatat di stasiun curah hujan Pagar Alam selama 30 tahun (1985 – 2015), dan karakteristik tanah yang diwakili oleh SWCC dan fungsi konduktivitas hidrolik, serta kekuatan geser tanah tak jenuh. Dari analisis menggunakan PERISI dengan hisapan awal -30 kPa didapatkan bahwa lereng dalam kondisi aman. Kondisi ekstrim disimulasikan dengan menerapkan curah hujan dengan durasi 30 hari berdasarkan IDF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan faktor keamanan yang signifikan pada kedalaman 0 – 5 m. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berdasarkan IDF curah hujan dengan intensitas 24 mm/hari selama 30 hari tidak menyebabkan terjadinya longsor di Jalan Lematang Kota Pagaralam.

Kata kunci : Kurva IDF, Stabilitas Lereng, SWCC

1. PENDAHULUAN

Kestabilan suatu lereng dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kemiringan lereng, beban tambahan, tinggi lereng, gempa bumi, tekanan air pori berlebihan, dan hilangnya kekuatan geser akibat pelapukan, pencairan, dan rembesan air. Kegagalan lereng dipicu oleh

DOI : <https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.133-147.2022>

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

bergeraknya massa tanah di atas bidang perlemahan. Lokasi bidang perlemahan sangat dipengaruhi oleh kemiringan lereng dan panjang lereng. Lereng yang terjal atau curam cenderung mengalami kegagalan dengan bidang longsor yang dalam. Kejadian longsor umumnya sangat cepat. Dalam hal ini pengaruh infiltrasi hujan tidak terlalu penting, kestabilan lereng ini lebih dipengaruhi oleh naiknya muka air tanah. Sebaliknya lereng yang landai akan mengalami keruntuhan dengan bidang longsor yang dangkal sehingga dipengaruhi oleh infiltrasi air hujan.

Kegagalan lereng di daerah tropis, umumnya dipicu oleh hujan deras yang berkepanjangan selama musim hujan. Mekanisme dari keruntuhan lereng adalah sebagai berikut: infiltrasi curah hujan yang berkepanjangan mengurangi kohesi tanah yang pada gilirannya menurunkan kekuatan geser tanah, dan selanjutnya memicu keruntuhan lereng (Lee et al., 2009). Dengan demikian, dalam menganalisis kestabilan lereng, selain geometri lereng, perlu dipertimbangkan karakteristik curah hujan dan sifat tanah pembentuk lereng, dalam hal ini kemampuan tanah menyerap air dan mengalirkan air.

Banyak studi telah dilakukan berkaitan dengan hubungan antara hujan dengan kelongsoran lereng terutama di Singapore (H. Rahardjo et al., 2001; Rahardjo et al., 2020); Hongkong dan Italy (Muntohar & Liao, 2010), dan Malaysia (Gofar & Lee, 2008). Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng yang dibentuk oleh tanah dengan permeabilitas tinggi (pasir) akan runtuh akibat hujan dengan intensitas tinggi dan durasi pendek, sedangkan lereng yang dibentuk oleh tanah lempung akan runtuh akibat hujan yang berdurasi panjang walaupun intensitas hujan tidak begitu tinggi. (Rahardjo et al., 2020) menegaskan bahwa kondisi awal (*antecedent rainfall*) sangat menentukan dalam kejadian longsor di lokasi di mana tanah pembentuk lereng merupakan tanah lempung.

Studi yang dilakukan oleh (Gofar & Lee, 2008) dilanjutkan dengan pengembangan Program komputer PERISI yang merupakan bentuk pendek dari *Preliminary Evaluation of Rainfall Induced Slope Instability* (Lee et al., 2009) untuk mengidentifikasi apakah hujan merupakan pemicu kejadian longsor di suatu lokasi. Selain untuk analisis longsor di lokasi studi yaitu Johor Bahru (Lee et al., 2009), penggunaan program telah di gunakan untuk menganalisis kembali (*backanalysis*) beberapa kejadian longsor di Sabah, Malaysia Timur oleh (Matlan & Lee, 2010).

Kejadian longsor sering terjadi di kota Pagar Alam yang terletak dalam jalur Bukit Barisan di sebelah barat Provinsi Sumatera Selatan. Sebagian besar longsor terjadi bersamaan dengan kondisi hujan dengan intensitas tinggi dan terjadinya banjir bandang. Oleh karena itu, curah hujan yang tinggi dianggap sebagai penyebab kegagalan lereng di kota Pagar Alam. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aplikasi program PERISI untuk menganalisis kejadian tanah longsor di Pagar Alam. Sebagai studi kasus dipilih longsor di Jalan Lematang yang terletak di antara Kecamatan Dempo Tengah dan Kecamatan Dempo Selatan, Kota Pagar Alam dimana telah terjadi longsor tanah di sepanjang jalan tersebut.

1.1. Mekanika Tanah tak jenuh

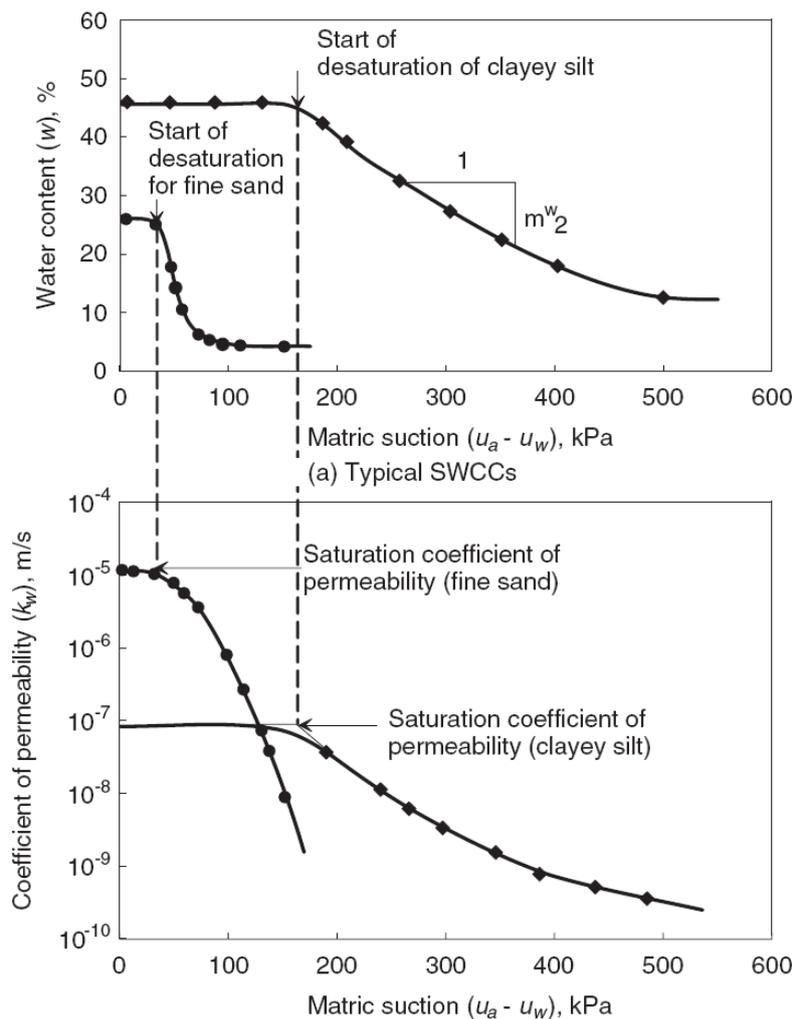
Dalam konsep tanah tak jenuh, kemampuan tanah menyerap air dinyatakan sebagai SWCC (*soil water characteristic curve*) dan kemampuan tanah untuk mengalirkan air atau permeabilitas tanah tak jenuh dinyatakan sebagai k_w (*hydraulic conductivity function*). Kurva SWCC dan permeabilitas tanah tak jenuh merupakan fungsi hisapan (suction) seperti diperlihatkan pada **Gambar 1**.

Kekuatan geser tanah dalam keadaan tak jenuh mendapat kontribusi dari hisapan yang ada dalam tanah. Rumus praktis untuk kekuatan geser tanah tak jenuh dikemukakan oleh (M. D. Fredlund et al., 1997) dimana pada kondisi atmosferik dapat dituliskan sebagai berikut:

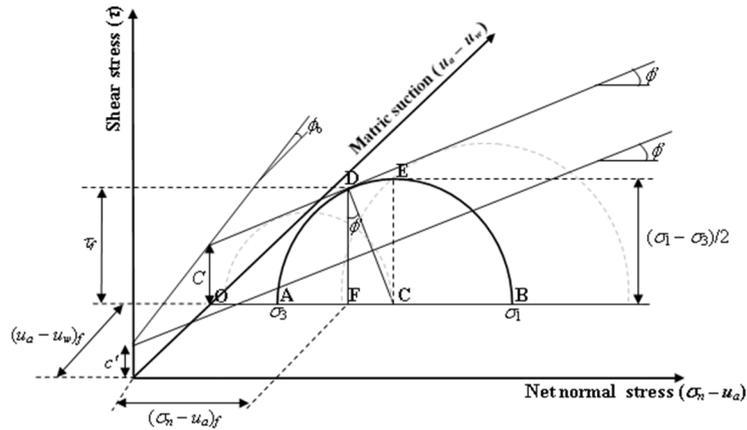
$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' + \psi \tan \phi^b$$

dimana c' kohesi; ϕ' adalah sudut geser dalam; σ_n adalah tekanan efektif pada saat runtuh; ϕ^b adalah kenaikan kekuatan geser tanah terhdap penambahan hisapan ψ . Hisapan ini dipresentasikan sebagai axis y dalam penggambaran selubung keruntuhan Coulomb (D. G. Fredlund & Rahardjo, 1993) seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Penjelasan yang rinci mengenai Mekanika tanah tak jenuh bisa dilihat dalam buku (D. G. Fredlund & Rahardjo, 1993) dan *Krisnanto (2021)*



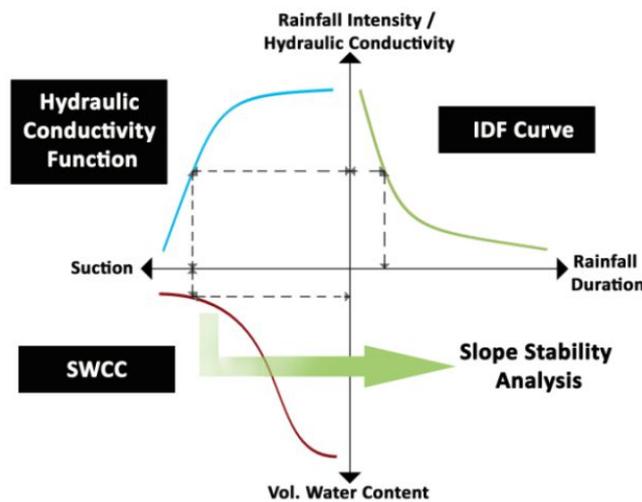
Gambar 1. Kurva SWCC dan Permeabilitas tanah tak jenuh serta hubungan antara keduanya (sumber: Fredlund & Rahardjo, 1993)



Gambar 2. Lingkaran Mohr dan garis selubung keruntuhan Coulomb untuk tanah tak jenuh (sumber Fredlund & Rahardjo, 1993)

1.2. Program PERISI

Program PERISI (Preliminary Evaluation of Rainfall Induced Slope Instability) dikembangkan oleh (Gofar & Lee, 2008)) berdasarkan hubungan yang unik antara karakteristik hujan yang dinyatakan sebagai kurva IDF (*Intensity Duration Frequency*), fungsi permeabilitas tanah, yang dinyatakan sebagai *hydraulic conductivity function*, dan kemampuan tanah menyerap air dinyatakan sebagai SWCC (*soil water characteristic curve*) untuk mengevaluasi stabilitas lereng seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Setelah menetapkan data input yang diperlukan, program ini dapat digunakan untuk menghitung distribusi hisapan minimum dalam tanah sebagai hasil dari beberapa kondisi curah hujan kritis. Kondisi curah hujan kritis sebenarnya merupakan kombinasi dari hujan awal (*antecedent*) dan curah hujan utama (*major rainfall*). Namun dalam hal penggunaan program PERISI, kondisi curah hujan kritis hanya dinyatakan sebagai kombinasi intensitas dan lama hujan utama. Dalam hal ini hujan awal diwakilkan kepada durasi hujan.



Gambar 3. Hubungan unik antara kurva IDF, SWCC dan fungsi permeabilitas yang di digunakan dalam program *PERISI* (Sumber: Gofar and Lee, 2009a)

Karakteristik curah hujan dan karakteristik tanah tidak jenuh yang dihasilkan dalam bentuk selubung hisapan kritis (*suction envelope*) diintegrasikan ke dalam analisis stabilitas lereng. Oleh karena itu, geometri lereng dan sifat kekuatan geser tanah juga diperlukan untuk menganalisis stabilitas lereng. Faktor keamanan pada lereng dihitung menggunakan kekutan geser tanah tak jenuh. Perhitungan stabilitas lereng dalam PERISI didasarkan pada konsep lereng tak terbatas (*infinite slope*) karena umumnya kegagalan lereng yang disebabkan oleh hujan mengakibatkan bidang longsor yang dangkal dan terjadi pada lereng yang panjang dengan sudut yang cukup landai (Gofar & Lee, 2008)

Konsep suction envelope ini berguna untuk memajukan aplikasi mekanika tanah tak jenuh dalam analisis stabilitas lereng. Efek dari infiltrasi curah hujan kritis yang terjadi terhadap stabilitas lereng dapat dinilai melalui perbandingan faktor keamanan antara kondisi curah hujan kritis dan kondisi hujan normal sehingga kedalaman bidang runtuh dapat diprediksi. Program ini telah diverifikasi dengan pengujian laboratorium dan studi kasus di beberapa lokasi di Malaysia (Gofar & Lee, 2008; Lee et al., 2009; Matlan & Lee, 2010)

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analisis numerik dimana kondisi nyata dimodelkan dalam suatu program komputer untuk menganalisis fenomena yang terjadi. Dalam hal ini dikaji kestabilan suatu lereng dan pengaruh hujan terhadap kestabilan lereng tersebut. Program komputer yang digunakan adalah PERISI. Tahapan penelitian dimulai dengan penentuan lokasi penelitian, pengumpulan data, analisis data untuk input program dan analisis kestabilan lereng menggunakan PERISI.

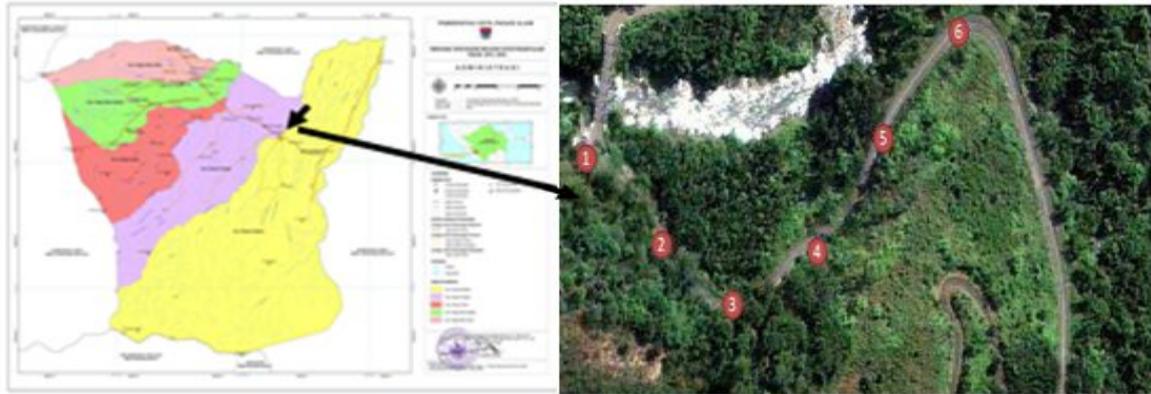
2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah di Jalan Lematang Kota Pagar Alam, Provinsi Sumatera Selatan. Jalan ini melalui daerah perbukitan dengan kontur tanahnya yang miring, bahkan banyak terdapat lereng terjal yang labil. Di bawah trase jalan terdapat aliran sungai yang besar dan memiliki jurang yang tinggi dan banyak memiliki lahan gambut. Banyak kejadian kegagalan lereng telah terjadi di sepanjang jalan Lematang. Kebanyakan kejadian ini bersamaan dengan kondisi hujan dengan intensitas tinggi dan terjadinya banjir bandang. Oleh karena itu, curah hujan yang tinggi dianggap sebagai penyebab kegagalan lereng di Jalan Lematang.

Penelitian di fokuskan pada ruas jalan yang secara visual masih stabil. Dipilih 6 (enam) titik pengamatan seperti diperlihatkan pada **Gambar 4**. Jarak antara dua titik pengamatan adalah 50 m. Koordinat titik pengamatan diperlihatkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Koordinat Titik Pengamatan

Titik	Koordinat
Titik 1	4° 4'22.14"LS-103°19'22.67"BT
Titik 2	4° 4'23.07"LS-103°19'23.55"BT
Titik 3	4° 4'24.27"LS-103°19'24.80"BT
Titik 4	4° 4'23.67"LS-103°19'26.47"BT
Titik 5	4° 4'22.37"LS-103°19'27.87"BT
Titik 6	4°4'20.45"LS-103°19'29.42"BT



Gambar 4. Lokasi Penelitian

2.2. Pengumpulan Data

Setelah menentukan lokasi penelitian, maka tahapan penelitian selanjutnya adalah pengumpulan data. Ada tiga jenis data yang diperlukan untuk analisis pengaruh curah hujan terhadap kestabilan lereng yaitu: (a) data hujan, (b) geometri lereng dan (c) karakteristik tanah pembentuk lereng. Data hujan di anggap sebagai data umum karena mewakili dari setiap titik pengamatan (Titik 1 – 6) sedangkan data geometri dan data karakteristik tanah merupakan data lokal yang spesifik terhadap setiap titik pengamatan.

Data geometri lereng di kumpulkan pada setiap titik pengamatan. Data geometri lereng diperlukan untuk mengetahui besarnya sudut dan kemiringan lereng. Data ini di dapatkan dengan melakukan survey pemetaan.

Data karakteristik tanah juga dikumpulkan pada setiap titik pengamatan. Data yang dikumpulkan termasuk sifat fisik tanah, distribusi ukuran partikel tanah, plastisitas, permeabilitas tanah dan kuat geser tanah didapatkan dengan melakukan serangkaian uji laboratoium mengikuti standar SNI. Pengujian kadar air menggunakan standar SNI 1965:2008 (Nasional, 2008), berat isi tanah menggunakan standar SNI 1965:2008 (Nasional, 2008) dan berat jenis tanah menggunakan SNI 1964:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008c) serta pengujian analisis saringan menggunakan SNI 3423:2008 dan batas plastis dan batas cair menggunakan SNI 1966:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008b) dan 1967:2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008a). Dari distribusi ukuran partikel tanah dan batas batas Atterberg didapatkan klasifikasi tanah dan dapat diperkirakan sifat tanah yang diperlukan untuk analisis dengan menggunakan PERISI yaitu *SWCC* dan *permeability function*. Untuk pengujian permeabilitas tanah jenuh (k_{sat}) digunakan metode falling head yang dilakukan berdasarkan SNI 03-6870:2002. Pengujian kuat geser tanah untuk analisis kestabilan lereng dilakukan pengujian Direct shear mengikuti SNI 2813-2008 (Badan Standardisasi Nasional, 2008d).

Data hujan merupakan data sekunder yang diperoleh dari data hujan harian stasiun curah Hujan PTPN VII Pagar Alam. Rentang waktu data yang didapatkan adalah dari tahun 1985 sampai tahun 2015. Jarak antara stasiun hujan dengan lokasi penelitian adalah 18 km atau kurang dari jarak maximum antara stasiun pencatat hujan dengan lokasi tinjauan yaitu 20 km (Gofar & Lee, 2009). Dari data hujan ini dibangun suatu kurva intensity duration frequency (IDF) yang di anggap mewakili untuk seluruh lokasi yang diteliti dan digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Kurva ini di buat menggunakan metode Gumbel, seperti yang dijelaskan pada rumus rumus berikut ini:

$$X_{TR} = X + \left(\frac{y^{TR} - y^n}{sn}\right) S_X \quad (1)$$

Besarnya koefisien - koefisien diatas dihitung dengan persamaan berikut:

$$Y_{TR} = -\ln \left(-\ln \left(\frac{TR-1}{TR}\right)\right) \quad (2)$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Dimana :

X_{TR} = Curah Hujan Dengan Periode Ulang TR (mm)

X = Curah Hujan Rata - Rata (mm)

TR = Periode Ulang

$Y_{TR} S_n$ = Konstanta berdasarkan data yang dianalisis

S_X = Standar Deviasi data X

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

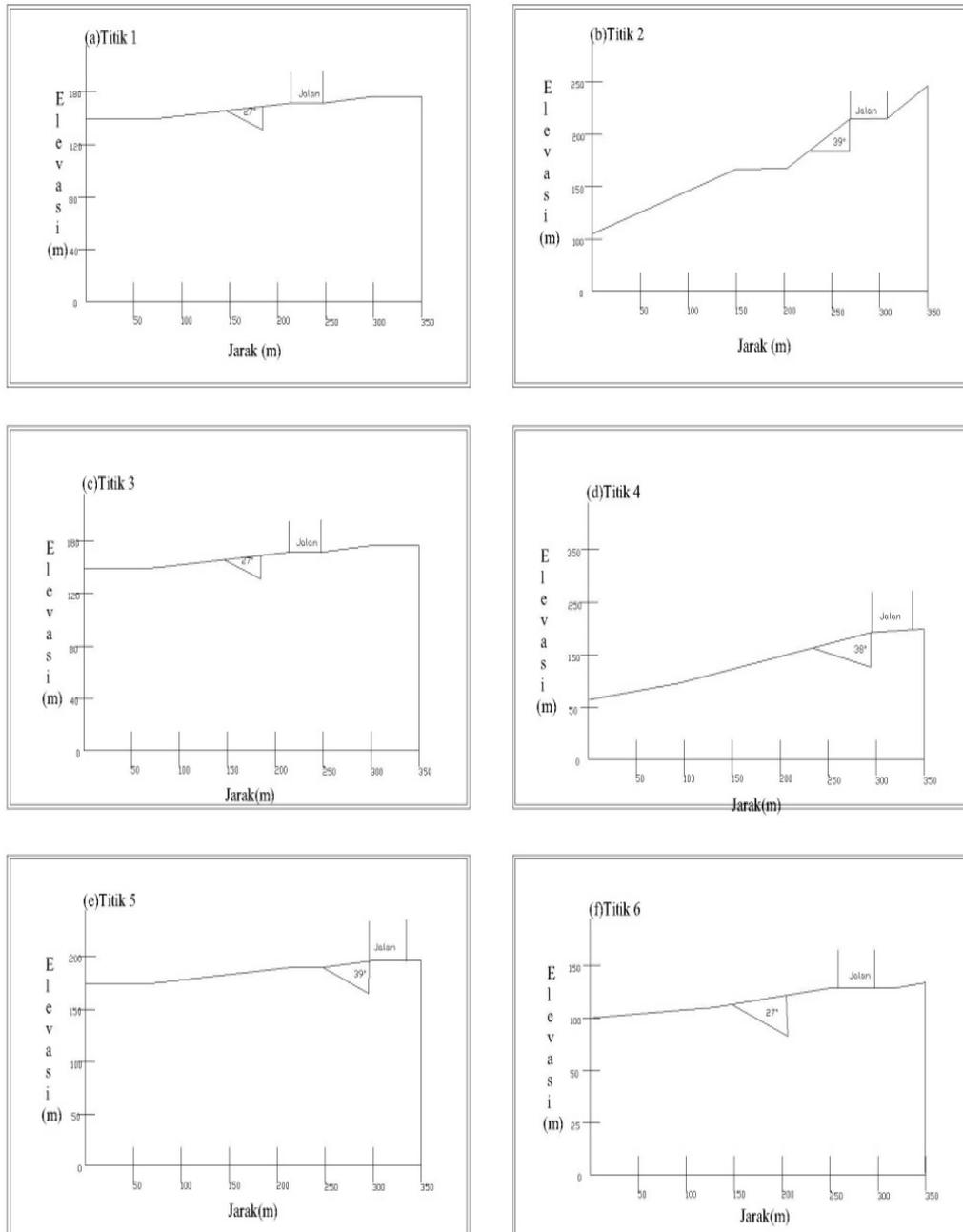
Dalam analisis kestabilan lereng pada umumnya diperlukan data geometri dan karakteristik tanah. Selanjutnya data hujan kritis diperlukan untuk mengetahui pengaruh hujan terhadap kestabilan lereng tersebut.

3.1. Geometri Lereng

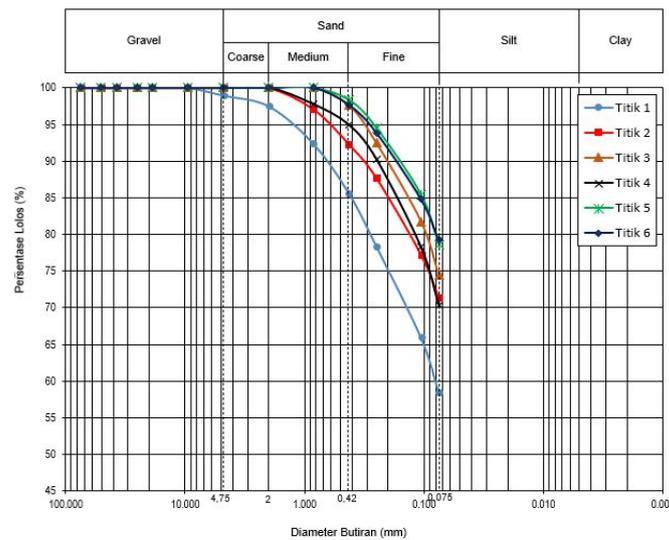
Data geometri lereng merupakan data yang diperoleh langsung dengan mengukur langsung ke lokasi tinjauan, pengambilan sudut lereng dilakukan dengan menggunakan alat theodolite. Adapun gambar geometri lereng masing-masing titik terlihat pada **Gambar 5**. Dari gambar ini dapat disimpulkan bahwa sudut kemiringan lereng berkisar antara 27° hingga 39° , dan panjang lereng antara 60 dan 350 m. Dengan demikian asumsi lereng tak terbatas (*infinite slope*) yang digunakan oleh PERISI dapat diterapkan pada kondisi ini.

3.2. Karakteristik Tanah

Data karakteristik tanah disajikan dalam **Tabel 2** sedangkan **Gambar 6** memperlihatkan distribusi ukuran butiran tanah. Berdasarkan **Gambar 6** dan batas-batas Atterberg yang disajikan dalam **Table 1**, dapat disimpulkan bahwa tanah berupa tanah butir halus (lempung dan lanau) dengan plastisitas rendah kecuali pada Titik 4, dimana tanahnya memiliki index plastisitas yang sedikit di atas 40. Untuk analisis selanjutnya menggunakan PERISI digunakan klasifikasi tanah lempung dan lanau (SILT) dengan plastisitas rendah.



Gambar 5. Geometri Lereng



Gambar 6. Distribusi ukuran butiran tanah

Tabel 2. Karakteristik Tanah

Parameter tanah	Satuan	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6
Kadar Air	%	24,11	27,48	23,94	28,23	25,60	25,60
Berat Jenis (Gs)		2,62	2,67	2,66	2,69	2,7	2,94
Berat isi	kN/m ³	13,23	13,03	13,03	13,03	13,03	13,132
Angka Pori		0,653	0,65	0,65	0,69	0,69	0,69
Koefisien permeabilitas	m/det	3,9E-06	3,9E-06	3,9E-06	4,5E-06	4,5E-06	4,5E-06
Analisis Saringan							
No.3/8	%	100	100	100	100	100	100
No.4	%	100	100	100	100	100	100
No.10	%	97,89	100	100	100	100	100
No.40	%	94,36	94,36	97,61	94,93	98,36	97,65
No.200	%	18,53	64,46	64,46	56,39	70,18	69,68
Batas cair LL	%	49,4	49,66	49,4	51,05	43,59	43,43
Batas Plastis PL	%	22,27	20,98	22,27	20,6	22,28	22,28
Index plastisitas PI	%	27,13	26,01	26,01	30,45	21,3	21,15
Klasifikasi tanah (SNI 6371-2015)							
		CH	CH	CH	CH	CH	CH
c'	kPa	13	13	15	12	11	8
ϕ'	°	21	20	17	22	22	27
ϕ^B	°	14	14	12	15	15	18

3.3. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop

Berdasarkan data geometri (Gambar 5) dan kekuatan geser tanah (Tabel 1) maka sebagai perbandingan dengan metode PERISI dapat dianalisis kestabilan lereng menggunakan metode Bishop (Gofar & Rahardjo, 2017). Faktor keamanan yang di dapat dari hasil analisis kestabilan lereng pada titik pengamatan 1 – 6 diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor keamanan untuk setiap titik pengamatan

Titik Pengamatan	Faktor keamanan (FK)
Titik 1	0,897
Titik 2	0,725
Titik 3	0,840
Titik 4	0,709
Titik 5	0,636
Titik 6	1,204

Dari Table 3 di atas dapat dilihat bahwa lereng yang ditinjau pada titik 1 sampai 6 dalam kondisi tidak aman ($FK < 1.5$) namun kenyataannya secara visual bahwa lereng dalam kondisi baik (**Gambar 7**). Oleh karena itu, dipasang rambu peringatan untuk memperingatkan pengguna jalan agar berhati-hati.



Gambar 7. Kondisi Lereng saat ini pada Titik 1 – 6 (Gambar di ambil pada bulan Juli 2021)

3.4. Analisis Pengaruh hujan terhadap stabilitas Lereng menggunakan PERISI

Tahapan analisis menggunakan program PERISI adalah (1) Persiapan input berupa intensity duration function (*IDF*) hujan setempat serta Soil Water Characteristics Curve (*SWCC*), hydraulic conductivity function (*k_w*), dan kuat geser tanah tak jenuh (*c'* dan *φ'_b*) tanah setempat,

(2) Analisis dan (3) keluaran atau output berupa sebaran suction / hisapan yang terjadi sesudah hujan dan Faktor keamanan yang berupa fungsi terhadap kedalaman.

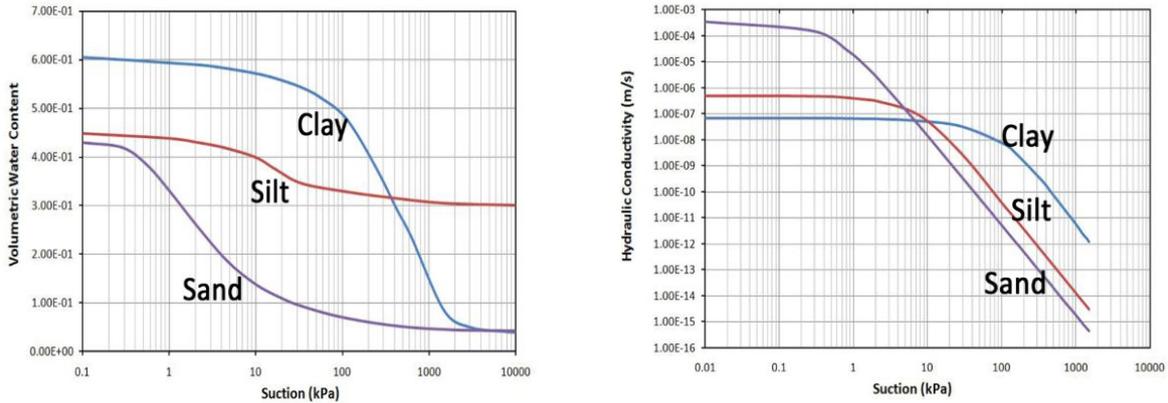
Untuk menganalisis pengaruh curah hujan terhadap kestabilan lereng di Jalan Lematang, maka diperlukan data *IDF*, *SWCC* dan k_w , serta data kuat geser tanah tak jenuh dari lokasi tersebut. Kurva *IDF* digunakan secara umum untuk setiap titik pengamatan, sedangkan *SWCC* dan k_w , serta data kuat geser tanah tak jenuh diambil untuk setiap titik pengamatan.

Kurva *IDF* yang diolah berdasarkan data hujan dari Stasiun Hujan Kota Pagar Alam selama 30 tahun (1985 – 2015) menggunakan metode Gumbel diperlihatkan pada **Gambar 8**. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa curah hujan di kota Pagar Alam dengan periode ulang 10 tahun untuk intensitas hujan kumulatif 1 hari adalah 140 mm/hari, untuk intensitas hujan 3 hari adalah 69,85 mm/hari, untuk hujan 7 hari adalah 46 mm/hari, dan intensitas hujan 30 hari adalah 24 mm/hari. Berdasarkan penelitian (Gofar & Lee, 2008) untuk tanah pasir maka hujan kritis adalah kurang dari 1 hari dan keruntuhan lereng dapat terjadi selama atau segera setelah hujan berhenti, sedangkan untuk tanah lanau atau lempung, maka hujan kritis adalah hujan kumulatif dengan waktu yang panjang karena sifat tanah lempung yang lambat mengalirkan air (permeabilitas rendah) sehingga keruntuhan tanah dapat terjadi lama setelah hujan berakhir (*delayed failure*). Dengan demikian dipakai durasi 30 hari.



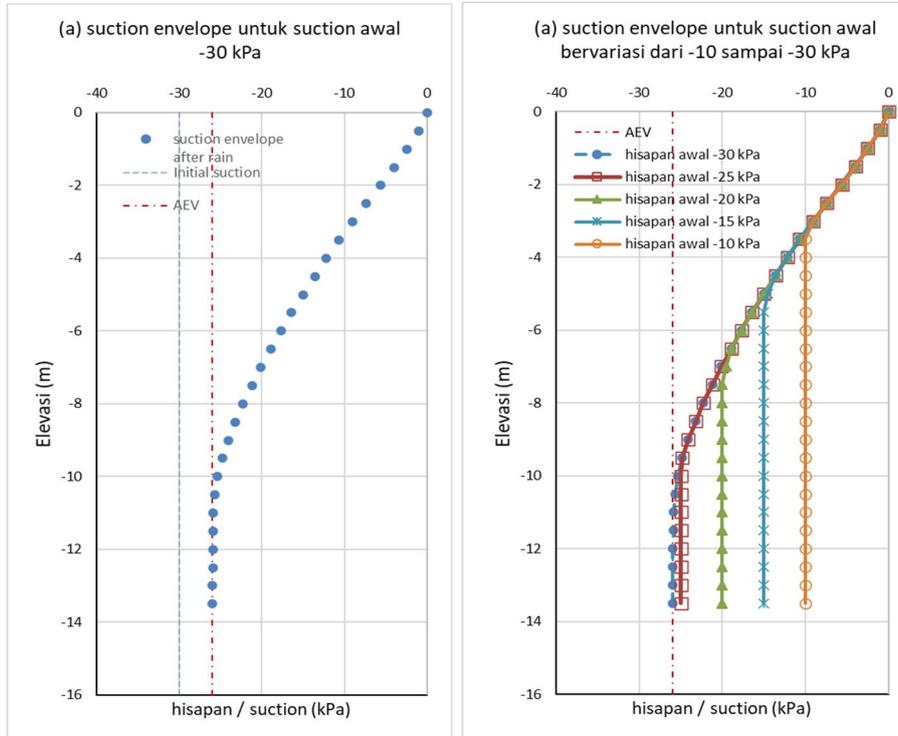
Gambar 8. Kurva IDF Kota Pagaralam (Periode ulang 10 tahun)

Kurva *SWCC* dan kurva permeabilitas k_w merupakan karakteristik yang penting dalam analisis stabilitas lereng pada tanah tak jenuh. Namun pengukurannya di laboratorium sangat sukar dan mahal. Namun (M. D. Fredlund et al., 1997) menyatakan bahwa parameter ini mempunyai hubungan yang erat dengan distribusi partikel tanah (Gambar 6) dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu PERISI mempunyai *database* yang dapat digunakan untuk input *SWCC* dan kurva permeabilitas seperti diperlihatkan pada **Gambar 9**. Untuk analisis distribusi hisapan terhadap kedalaman pada lokasi yang ditinjau, digunakan *SWCC* dan kurva permeabilitas dengan label SILT, dengan sedikit penyesuaian terhadap distribusi ukuran butiran (Gambar 6) dan pada nilai permeabilitas tanah jenuh yang diberikan pada Tabel 1.



Gambar 9. Kurva SWCC dan permeabilitas yang disarankan dalam PERISI

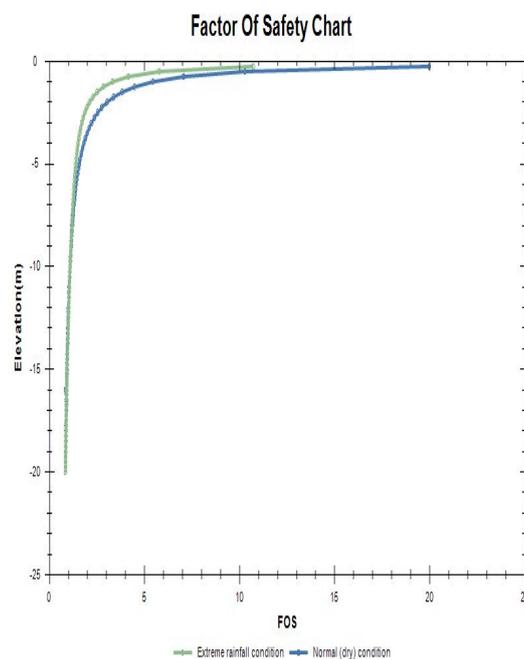
Analisis dilakukan dengan asumsi hisapan awal dalam tanah sebesar -30 kPa. Dari hasil analisis didapatkan penyebaran nilai hisapan seperti pada Gambar 10a. Gambar ini memperlihatkan grafik distribusi hisapan pada titik pengamatan 1 terhadap kedalaman sebelum (garis biru) dan sesudah hujan (titik biru). Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa akibat hujan nilai suction pada permukaan tanah naik sampai 0 (nol). Hisapan maximum setelah hujan adalah -26 kPa pada kedalaman 9 m. Dengan demikian hujan dengan intensitas 22 mm/hari selama satu bulan tidak membuat tanah menjadi jenuh seluruhnya. Kemudian dilakukan analisis dengan variasi nilai hisapan awal bervariasi dari -10 sampai -30 kPa dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 10b dimana hisapan maximum terjadi tetap pada kedalaman yang sama dengan suction maximum sama dengan suction awal. Dapat dilihat bahwa distribusi hisapan juga dipengaruhi oleh bentuk kurva SWCC dalam hal ini AEV (*air entry value*) sebesar -26 kPa.



Gambar 10. Distribusi hisapan terhadap kedalaman tanah sebelum dan sesudah hujan untuk titik pengamatan 1 (a) hisapan awal -30 kPa (b) hisapan awal bervariasi dari -10 sampai -30 kPa.

Selanjutnya untuk analisis stabilitas lereng digunakan nilai kuat geser tanah efektif (c' dan ϕ') seperti pada Tabel 2. Pengujian untuk mendapatkan nilai peningkatan sudut geser yang disebabkan oleh hisapan (ϕ^b) sangat sulit dan mahal. Namun beberapa peneliti, misalnya Leong et al (2002) menganjurkan untuk menggunakan ϕ^b antara $0.5\phi'$ sampai ϕ' . Untuk penelitian ini digunakan $\phi^b = 2/3\phi'$.

Grafik faktor keamanan terhadap kedalaman diperlihatkan pada **Gambar 11**. Dari gambar ini dapat terlihat posisi kedalaman tanah dimana FK mencapai 1.0 pada kondisi normal dan pada kondisi kritis. Posisi kedalaman tanah dimana FK = 1 untuk titik pengamatan 1 sampai 6 dapat dilihat pada **Tabel 4**. Dari tabel ini dapat dilihat kedalaman air yang masuk kedalam tanah pada masing masing titik pengamatan untuk mencapai kegagalan lereng mempunyai nilai yang berbeda-beda. Dengan demikian karakteristik tanah dan geometri berpengaruh pada nilai faktor keamanan lereng.



Gambar 11. Variasi Faktor keamanan terhadap kedalaman dari titik pengamatan 1

Tabel 4. Kedalaman dimana FK mencapai nilai kritis atau FK = 1.0

Titik pengamatan	Sudut Lereng (°)	Panjang Lereng (m)	FK Kondisi normal = 1.0	FK Kondisi kritis = 1.0
Titik 1	27	340	21	12
Titik 2	39	65	25	13
Titik 3	27	250	17	9
Titik 4	39	195	17	10
Titik 5	39	308	17	10
Titik 6	27	170	20	7

4. KESIMPULAN

Penelitian ini di fokuskan pada pengaruh hujan terhadap kestabilan lereng di jalan Lematang Kota Pagaralam, Sumatera Selatan. Lereng mempunyai sudut kemiringan antara 27° dan 39° , dengan panjang lereng 60 – 350m. Jenis tanah pembentuk lereng umumnya adalah lempung dan lanau dengan plastisitas rendah (CL). Analisis stabilitas secara pada kondisi efektif menggunakan metode Bishop menunjukkan bahwa lereng di jalan Lematang tidak aman dengan $FK < 1.5$. Namun pengamatan yang dilakukan pada 6 titik tinjauan disepanjang jalan tersebut memperlihatkan bahwa secara visual lereng di atas dan bawah jalan tersebut masih dalam kondisi stabil. Curah hujan di kota Pagar Alam cukup tinggi terutama saat musim penghujan yaitu bulan Nopember sampai April. Analisis menggunakan PERISI menunjukkan bahwa kondisi aman yang ada sekarang adalah disebabkan oleh adanya hisapan yang meningkatkan kekuatan geser tanah. Dalam hal ini analisis dengan PERISI menggunakan asumsi lereng tak terbatas (*infinite slope model*) dan tanah tak jenuh air dengan hisapan awal sebesar -30 kPa. Kondisi kritis di simulasikan dengan mengaplikasikan hujan dengan intensitas 24 mm/hari selama 30 hari. Hasil analisis menunjukkan pengurangan faktor keamanan yang cukup besar pada kedalaman 0 – 5m namun tidak menyebabkan keruntuhan lereng. Hal ini disebabkan karena intensitas curah hujan (q) yang diaplikasikan yaitu $2,78 \cdot 10^{-7}$ m/det lebih rendah dibandingkan dengan k_{sat} tanah yaitu $4,5 \cdot 10^{-6}$ m/det ($q/k_{sat} \leq 1$). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hujan yang berlangsung lama tidak menjadi penyebab terjadinya longsor di lereng sepanjang Jalan Lematang.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2008a). Cara uji penentuan batas cair tanah. In *Sni 1967:2008*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008b). Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah. In *Sni 1966:2008*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008c). *SNI 1964:2008. Cara uji berat jenis tanah*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008d). *SNI 2813:2008 Cara Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase*.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). Soil Mechanics for Unsaturated Soils. In *Soil Mechanics for Unsaturated Soils* (Issue April 2020). <https://doi.org/10.1002/9780470172759>
- Fredlund, M. D., Wilson, G. W., Fredlund, D. G., Wilson, W., Fredlund, D. G., & Fredlund, M. D. (1997). Indirect procedtires to determine unsaturated soil property functions. *Proceedings of the 50th Canadian Geotechnical Conferenc*, 1(1), 407–414.
- Gofar, N., & Lee, L. M. (2008). Extreme rainfall characteristics for surface slope stability in the Malaysian Peninsular. *Georisk*, 2(2), 65–78. <https://doi.org/10.1080/17499510802072991>
- Gofar, N., & Lee, L. M. (2009). Perisi: a computer program for preliminary evaluation of rainfall-induced slope instability. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 21(2), 237–242. <https://doi.org/10.1038/241236b0>
- Gofar, N., & Rahardjo, H. (2017). Saturated and unsaturated stability analysis of slope subjected to rainfall infiltration. *MATEC Web of Conferences*, 101(2), 1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710105004>
- H. Rahardjo, Li, X. W., Toll, D. G., & Leong, E. C. (2001). The Effect of Rainfall on Slope Stability in Vietnam. *Geotechnical and Geological Engineering*, 9(2), 371–399.
- Lee, L. M., Gofar, N., & Rahardjo, H. (2009). A simple model for preliminary evaluation of rainfall-induced slope instability. *Engineering Geology*, 108(3–4), 272–285. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.06.011>
- Matlan, S. J., & Lee, M. L. (2010). Backanalysis of rainfall induced landslide by Perisi Model. *8th International Conference on Geotechnical and Highway Engineering (Geotropika 2010)*, 2(2), 1–5.
- Muntohar, A. S., & Liao, H. J. (2010). Rainfall infiltration: Infinite slope model for landslides triggering

by rainstorm. *Natural Hazards*, 54(3), 967–984. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9518-5>
Nasional, B. S. (2008). *SNI 1965:2008. Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium*.

Rahardjo, H., Nistor, M. M., Gofar, N., Satyanaga, A., Xiaosheng, Q., & Chui Yee, S. I. (2020). Spatial distribution, variation and trend of five-day antecedent rainfall in Singapore. *Georisk*, 14(3), 177–191. <https://doi.org/10.1080/17499518.2019.1639196>