Jurnal Teknik Hidraulik
Vol. 14, No.1, Juni 2023

P -ISSN 2087 - 3611
E- ISSN 2580 - 8087
Terakreditasi Kemenristek Dikti
http://jurnalth.pusair-pu.go.id

# MEKANISME LONGSOR AKIBAT INFILTRASI DARI GENANGAN AIR (STUDI KASUS LONGSOR DI LAHAT, SUMATERA SELATAN)

## *LANDSLIDE MECHANISM DUE TO INFILTRATION FROM WATER PONDING (CASE STUDY OF LANDSLIDE IN LAHAT, SOUTH SUMATERA)*

**Rokhmat Hidayat[1*)] I Putu Eddy Purna Wijaya[2)] Moh. Dedi Munir[3)]**

[1,2,3)]Balai Teknik SABO, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jalan Sopalan, Maguwoharjo, Sleman, D.I. Yogyakarta
*Correspondent email: rokhmathidayat33@gmail.com

Diterima: 27 Mei 2022; Direvisi: 19 Oktober 2022; Disetujui: 20 Juni 2023

***ABSTRACT***

*The landslide occurred in the Lahat-Pagaralam road section on February 2, 2019. The landslide caused the road to be cut off for several days. The disconnection of roads triggered disruption of economic activity. The landslide might be caused by a puddle of rainwater seeping into the road. Several cases of landslide triggered by ponding water also occurred on the Kuningan-Tasikmalaya road in Cikijing Tasikmalaya, and on the Gempol-Pandaan toll road in East Java. The purpose of this study, therefore, was to determine the safety criteria based on the results of safety factors, the amount of seepage, and the pattern of collapse of the road, thus the incidents can be anticipated and are expected not to occur in other locations. The research method begins with field survey, depicting the geometry of the road, and collecting geotechnical data for landslide locations. Slope stability modeling due to water infiltration was processed using the SLOPE-W program. The results of road slope stability modeling at the landslide location show that when there is a 1m inundation, the slope stability value of factor of safety (FS) is 0.916 (a condition prone to landslides). The direction of flow comes from right to left, the right is a small slope and the left slope is a river bank. The difference in water level on the right and left of the road causes water to seep into the soil layer and cause the groundwater level to rise. The occurrence of water flow along the soil pile, causing water to fill the gaps between soil. The value of the slope stability number decreases due to water infiltration into the soil, resulting in landslides. SF value decreases from 0.916 to 0.887 when the inundation height increases from 1 m to 5 m. We concluded that the presence of water ponding around the road strongly suspected to be the cause of landslides. It is necessary to prevent ponding with a drainage system, so that it will not affect to the stability of the road.*

***Keywords:*** *landslide, slope stability, water infiltration, water ponding, drainage.*

***ABSTRAK***

*Telah terjadi longsor pada ruas jalan Lahat-Pagaralam pada 2 Februari 2019. Longsoran menyebabkan jalan terputus selama beberapa hari. Terputusnya ruas jalan menyebabkan gangguan aktivitas ekonomi. Longsor diduga disebabkan adanya genangan air hujan yang meresap ke badan jalan. Beberapa kasus longsor yang dipicu oleh genangan air juga terjadi pada ruas jalan Kuningan-Tasikmalaya di Cikijing Tasikmalaya, dan pada ruas tol Gempol-Pandaan Jawa Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kriteria keamanan lereng berdasarkan hasil analisis yang berupa angka faktor keamanan dan jumlah debit rembesan serta pola runtuh/longsor pada badan jalan, sehingga kejadian seperti ini bisa diantisipasi dan diharapkan tidak terjadi di lokasi lain. Metode penelitian diawali dengan survei lapangan, penggambaran geometri badan jalan, dan pengumpulan data geotek tanah lokasi longsor. Pemodelan stabilitas lereng akibat infiltasi air dilakukan dengan progran SLOPE-W. Hasil pemodelan stabilitas lereng jalan di lokasi longsor menunjukkan bahwa saat terjadi genangan 1m maka nilai stabilitas lereng (factor of safety FS) adalah 0,916 (kondisi rawan terjadi longsor). Arah aliran datang dari kanan ke kiri badan jalan, lereng kanan berupa alur kecil dan lereng kiri merupakan tebing sungai. Perbedaan tinggi muka air di kanan dan kiri menyebabkan air merembes masuk ke dalam lapisan tanah dan menjadikan muka air tanah naik. Terjadinya aliran air sepanjang timbunan tanah, mengakibatkan air mengisi celah antar butir. Nilai angka stablitas lereng turun akibat infiltrasi air ke dalam tanah, sehingga terjadi longsor. Nilai SF turun dari 0,916 menjadi 0,877 ketika tinggi genangan naik dari 1 m menjadi 5 m. Kajian ini menyimpulkan bahwa keberadaan genangan air di sekitar jalan diduga kuat menjadi penyebab terjadinya longsoran. Oleh karena itu, perlu dicegah terjadinya genangan dengan sistem drainase sehingga tidak mempengaruhi stabilitas lereng jalan.*

***Kata kunci:*** *longsor, stabilitas lereng, infiltasi air, genangan air, drainase*

DOI: https://doi.org/10.32679/jth.v14i1.701
© Bintek SDA, Dirjen SDA, Kementerian PUPR Naskah ini di bawah kebijakan akses terbuka dengan lisensi CC-BY-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

**PENDAHULUAN**

Longsor merupakan peristiwa pergerakan lapisan tanah, runtuhan batu, atau tanah yang bergerak miring ke bawah dalam jumlah banyak atau sebagai sebuah massa, karena adanya tarikan gravitasi (Plummer, 2007). Menurut UU Nomor 24 tahun 2007 mengenai Penanggulangan Bencana, bencana yaitu peristiwa ataupun rangkaian peristiwa yang bisa mengancam dan mengganggu kehidupan maupun penghidupan masyarakat, yang disebabkan oleh faktor alam dan atau nonalam maupun manusia sehingga menimbulkan korban jiwa manusia (Republik Indonesia, 2007).

Mayoritas kejadian tanah longsor dipicu oleh infiltrasi air, gempa dan pencairan gletser. Analisis mengenai jenis longsoran diperlukan pada proses mitigasi. Dengan diketahui tipe longsoran maka akan membantu dalam penentuan tindakan mitigasi yang diperlukan. Menurut Cruden & Varnes (dalam Hardiyatmo 2012) jenis longsoran dapat dibagi menjadi longsoran rotasi, translasi, pergerakan blok, runtuhan batu, tipe rayapan tanah, dan aliran debris (bahan rombakan). Infiltrasi air hujan menjadi penyebab terganggunya stabilitas lereng serta gempa bumi. Perubahan iklim serta kejadian hujan ekstrim, telah menyebabkan meningkatnya frekuensi kejadian bencana hidrometeorologi. Infiltrasi air dalam lereng menyebabkan berkurangnya kekuatan geser tanah karena gaya apung yang diberikan oleh air pada tanah jenuh dan pengisapan tanah pada tanah tak jenuh (Chen *et al*., 2015).

Ada tiga parameter penting dalam proses terjadinya longsor akibat proses hidrologi suatu lereng, yaitu tekanan air pori, tingkat kemiringan lereng, dan luas area (Wayllace, 2012). Pada prinsipnya tanah longsor pada lereng terjadi bila gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan. Terjadinya tanah longsor disebabkan oleh terganggunya kestabilan alami suatu lereng. Tanah longsor dapat menyertai kejadian hujan lebat atau mengikuti kekeringan, gempa bumi, atau letusan gunung berapi. Tanah longsor terjadi ketika air dengan cepat terakumulasi di tanah dan menghasilkan gerakan batuan yang jenuh air, tanah, dan puing-puing.

Sebagian besar tanah longsor dan aliran debris di seluruh dunia terjadi selama atau setelah periode curah hujan yang tinggi, dan sering dikaitkan dengan bencana besar yang menyebabkan kerusakan dan kerugian harta benda. Sehubungan dengan efek perubahan iklim, beberapa daerah pegunungan bisa mengalami lebih banyak tanah longsor akibat meningkatnya curah hujan. Proses hidrologi bawah permukaan merupakan pemicu utama dari proses terjadinya tanah longsor (Sidle & Boogaard, 2018).

Infiltrasi air pada suatu lereng dipengaruhi oleh ukuran atau luas, sifat hidrologi tanah, dan perubahan kecuraman dari batuan. Ketiga faktor ini sangat mempengaruhi arah, kecepatan, dan jumlah aliran air tanah yang melewati lereng. Hal ini juga menunjukkan bahwa hidrologi musiman pada suatu lokasi merupakan faktor kunci dalam stabilitas lereng (Wayllace *et al.*, 2019).

Proses kegagalan suatu lereng dimulai dengan proses infiltrasi curah hujan ke tanah granular, distribusi kadar air, dan tekanan pori di kedua lapisan jenuh dan tidak jenuh (Spolverino *et al.*, 2019). Untuk mengurangi risiko tanah longsor dan untuk memberikan sistem peringatan dini, penting untuk mengetahui lebih baik proses fisik dan mekanik yang mendasari pemicu longsor. Beberapa makalah yang merujuk pada studi kasus menggunakan model matematika dan metode simulasi, terutama untuk lereng yang dipengaruhi oleh infiltrasi curah hujan (Iverson 2000; Godt 2012).

Beberapa studi tentang mekanisme tanah longsor akibat pengaruh perilaku infiltrasi curah hujan telah dilakukan, bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh durasi curah hujan, jumlah curah hujan, dan kegagalan lereng yang diinduksi oleh aliran lateral, menggunakan model longsor vertikal dua dimensi (Tsai, 2013; Chen *et al*., 2017; Chiu *et al.*, 2019). Beberapa studi telah menghubungkan tanah longsor dengan kedalaman aliran air. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kedalaman aliran lebih berpengaruh dalam stabilitas lereng dibanding nilai curah hujan (Chan, 2018; Muntohar & Liao, 2010). Oleh karena itu. penelitian mengenai pemodelan aliran air tanah dua dimensi telah dilakukan (Vreugdenhil 2013; Tsakiris & Bellos, 2014)

Longsoran yang disebabkan oleh infiltrasi curah hujan dan mekanisme pemicu yang relevan telah dipelajari secara luas. Infiltrasi air menyebabkan meningkatnya berat tanah, gaya rembesan dan tekanan air pori. sementara kekuatan mekanik tanah menjadi turun. Peningkatan tekanan air pori di lereng mengurangi tekanan efektif tanah dan dapat memicu kegagalan lereng. Tekanan gas pori di lereng juga mengurangi tegangan efektif tanah (Liu *et al*., 2018). Terjadinya genangan mendorong proses keruntuhan tebing akibat tekanan hidrostatik serta tekanan pori. Untuk mencegah runtuhnya tebing maka keberadaan genangan harus dintisipasi (Nanda & Hamdan, 2016).

Kondisi air tanah sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Oleh karena itu telah dilakukan pengujian menggunakan simulator aliran air tanah, dengan kondisi geologi lokasi penelitian yang disederhanakan. Analisis aliran air tanah dan simulator kemiringan dapat digunakan untuk melakukan tes fisik kualitatif (Li *et al.*, 2019). Beberapa faktor yang memengaruhi proses longsor, yaitu mekanisme kejadian, tinggi muka air tanah, dan permeabilitas tanah (Wei *et al*., 2015).

Kasus longsor akibat infiltrasi air terjadi di Kabupaten Lahat. Jalan penghubung Kabupaten Lahat dengan Kotamadya Pagar Alam, mengalami longsor pada Sabtu 2 Februari 2019. Fenomena jalan yang membendung air memang sangat berisiko terjadi longsor, karena bangunan jalan tidak didesain sebagai bendungan. Beberapa kasus longsor yang pernah terjadi di Indonesia dipicu oleh tejadinya genangan.

Sebagai contoh kasus kejadian longsor pada jalan penghubung Kuningan – Tasikmalaya pada Februari 2017. Kejadian longsor jalan akibat membendung air atau karena adanya genangan adalah kejadian di Cikijing, Sumedang (**Gambar 1**). Longsor pada badan jalan diduga diakibatkan terjadinya hujan ekstrim sehingga air meluap dan menggerus badan jalan. Kondisi jalan ketika terjadi longsor Sebagian (**Gambar 1a**), serta kondisi jalan Ketika dalam kondisi longsor total (**Gambar 1b**).

Kejadian longsor akibat genangan air juga terjadi di jalan tol ruas Gempol-Pandaan, Jawa Timur. Ambrolnya tebing ini dipicu luapan air dari saluran di kawasan pemukiman penduduk yang berada diatas ruas jalan tol. Menurut informasi dari pihak Jasa-Marga, longsor terjadi pada tanggal 2-5 Februari 2015 lokasi longsor berada di KM 51, Desa Randupitu, Kecamatan Gempol, Kabupaten Pasuruan. Terjadi hujan deras sebelum longsor. Akibat akumulasi air hujan di sekitar lokasi pabrik gesing dan permukiman sekitarnya, terjadi genangan di atas badan jalan yang mengalami longsor.

(a) (b)

*(sumber: binamarga 2017)*

**Gambar 1**. Kejadian Longsor Akibat Genangan Air di Cikijing, Sumedang

(a) (b)

*(sumber: foto lapangan)*

**Gambar 2**. Kondisi Longsoran Akibat Luapan Air Dari Atas Tebing di Jalan Tol Pandaan

Dari **Gambar 2** dapat dilihat kondisi lokasi tebing jalan tol sebelum mengalami longsor. Air hujan yang mengumpul dan menggenang di atasnya melimpas menuruni tebing (**Gambar 2a**). Besarnya volume air pada genangan mengakibatkan sebagian air meresap ke tanah dan sebagian melimpas menuruni lereng pada tebing jalan tol. Terjadinya infiltrasi ini mengakibatkan berat tanah menjadi naik, serta nilai daya dukung tanah menjadi turun sehingga mengalami longsor (**Gambar 2b**).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh keberadaan genangan terhadap terjadinya keruntuhan lereng dan faktor tinggi genangan terhadap stabilitas lereng. Sehingga kasus kasus jalan longsor karena keberadaan genangan air dapat diatasi. Dalam penelitian ini juga dilakukan pemodelan dan analisis tinggi genangan air dan stabilitas lereng badan jalan dengan *software* GEO-STUDIO (SLOPE-W) model 2D.

## METODOLOGI

### Lokasi penelitian

Lokasi penelitian berada pada jalan poros Kabupaten Lahat dengan Kotamadya Pagar Alam, Propinsi Sumatera Selatan. Lokasi longsor berada di Desa Jati, Kecamatan Padang Bulan, Kabupaten Lahat (**Gambar 3**). Lokasi ini mengalami longsor diduga akibat jalan yang membendung aliran air yang dipicu curah hujan tinggi. Badan jalan anjang 30 m amblas dengan kedalaman 15 m. Fenomena jalan yang membendung air memang sangat berisiko terjadi longsor, karena bangunan jalan tidak didesain sebagai bendungan.

### Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan pada penelitian ini berupa data dari studi literatur, dan hasil survei lapangan. Data sekunder berupa data nilai-nilai parameter tanah, serta lapisan tanah. Data survei lapangan berupa keberadaan alur, morfologi lokasi longsor, serta **Gambar** melintang jalan.

### Pemodelan stabilitas lereng dengan *software* SLOPE-W

Analisis tinggi air yang menggenang dan stabilitas lereng dengan pemodelan 2D menggunakan *software* SLOPE/W. SLOPE/W adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung stabilitas lereng. faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. SLOPE/W bisa digunakan untuk analisis kondisi sederhana ataupun kompleks. Juga dapat digunakan untuk analisis tekan pori, tegangan dinamik maupun tegangan statis, dalam analisis stabilitas lereng. Analisis rembesan dan stabilitas lereng bertujuan untuk mengetahui nilai keamanan lereng, kondisi rembesan, dan bidang keruntuhan pada kondisi genangan minimum dan maksimum yang masih berpotensi menyebabkan keruntuhan lereng.

### Batasan pemodelan

Pemodelan dilakukan pada kondisi tinggi genangan yang bervariasi dan nilai stabilitas lereng yang dihasilkan. Pemodelan mengacu pada data teknis jalan. Pada kondisi genangan minimum dan maksimum akan dilakukan pemodelan. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dengan mengubah tinggi (H) muka air tanah yang datang dan pergi di sebelah kiri maupun kanan geometri jalan.

Arah aliran dari kanan ke kiri dilakukan analisis dengan menggunakan aplikasi seep/W. Metoda dan jenis bidang longsor berupa *entry-exit* dan Morgenstein-price.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Survey lapangan

Hasil survey lapangan menujukkan keruntuhan jalan antara Lahat dengan Pagar Alam yang diduga akibat pergeseran tanah yang dipicu curah hujan yang tinggi. Diduga badan jalan membendung aliran air, sehingga air merembes ke badan jalan dan terjadilan longsor (**Gambar 4**). Kondisi longsor paska longsor (**Gambar 4a**), serta jalan darurat yang dialihkan ke samping jalan awal (**Gambar 4b**). Fenomena jalan yang membendung air memang sangat berisiko terjadi longsor, karena bangunan jalan tidak didesain sebagai bendungan. Beberapa kasus longsor terjadi karena dipicu oleh tejadinya genangan. Kejadian longsor di Lahat ini memiliki beberapa faktor pengontrol dan pemicu yaitu kelerengan, kondisi litologi, adanya genangan air, dan curah hujan.

*(Sumber: Google.earth)*

**Gambar 3**. Lokasi Penelitian di Jalan Penghubung Lahat dengan Pagaralam

Dari **Gambar 5** dapat dilihat sistem drainase untuk penanganan pada lokasi longsor. Hujan dengan intensitas tinggi dan drainase buruk seringkali mengakibatkan kejadian longsor. Jalan dalam proses kontruksi dengan adanya saluran drainase (**Gambar 5a**), serta saat konstruksi jalan dengan saluran selesai dibangun (**Gambar 5b**). Dengan adanya saluran drainase maka air akan mengalir melintasi jalan tidak lagi membentuk genangan. Kondisi jalan yang sebelumnya tidak terdapat saluran drainase mengakibatkan air akan terbendung oleh jalan. Pembendungan yang mengakibatkan genangan ini memicu ketidakstabilan badan jalan, karena terjadi infiltrasi air ke badan jalan.

Masyarakat yang bertempat tinggal di lingkungan rawan tanah longsor, harus selalu memantau lingkungan tempat tinggal. Daerah berlereng terjal seharusnya diperkuat dengan sistem pengaliran air atau sistem drainase guna mengirangi potensi longsor. Fenomena longsor seringkali diakibatkan sistem drainase yang buruk. Tanpa drainase, air akan menggenang, dan terus menerus meresap ke dalam tanah sehingga menambah beban yang terjadi pada lereng dan memicu longsor.

Longsor terjadi karena terjadinya penurunan gaya penahan suatu lereng, dan atau naiknya gaya pendorong. Oleh karena itu pencegahan longsor merupakan fungsi dari penurunan gaya dorong atau peningkatan gaya penahan. Setiap tindakan mitigasi longsor yang digunakan harus memiliki salah satu atau kedua parameter di atas. Drainase yang tidak tepat adalah kontributor tunggal yang paling penting untuk inisiasi tanah longsor (Korulla, 2019).

Namun, pengelolaan drainase permukaan yang tidak memadai dapat menghambat efisiensinya dan seringkali mengakibatkan aliran air permukaan yang tidak terkendali yang berkontribusi pada longsor. Pemeliharaan drainase permukaan yang tidak memadai dapat memperburuk dan menyebabkan tanah longsor yang cukup besar bahkan pada lereng yang direkayasa. Beberapa tanah longsor dapat dihindari jika ada pemeliharaan drainase permukaan yang tepat.

(a)

(b)

*(news .detik 2019)*

**Gambar 4**. Kondisi Longsor di Lokasi Penelitian Selama Proses Perbaikan

(a)

(b)

*(sumber: foto lapangan)*

**Gambar 5.** Kondisi Lokasi Longsor Jalan Dilakukan Setelah Proses Perbaikan

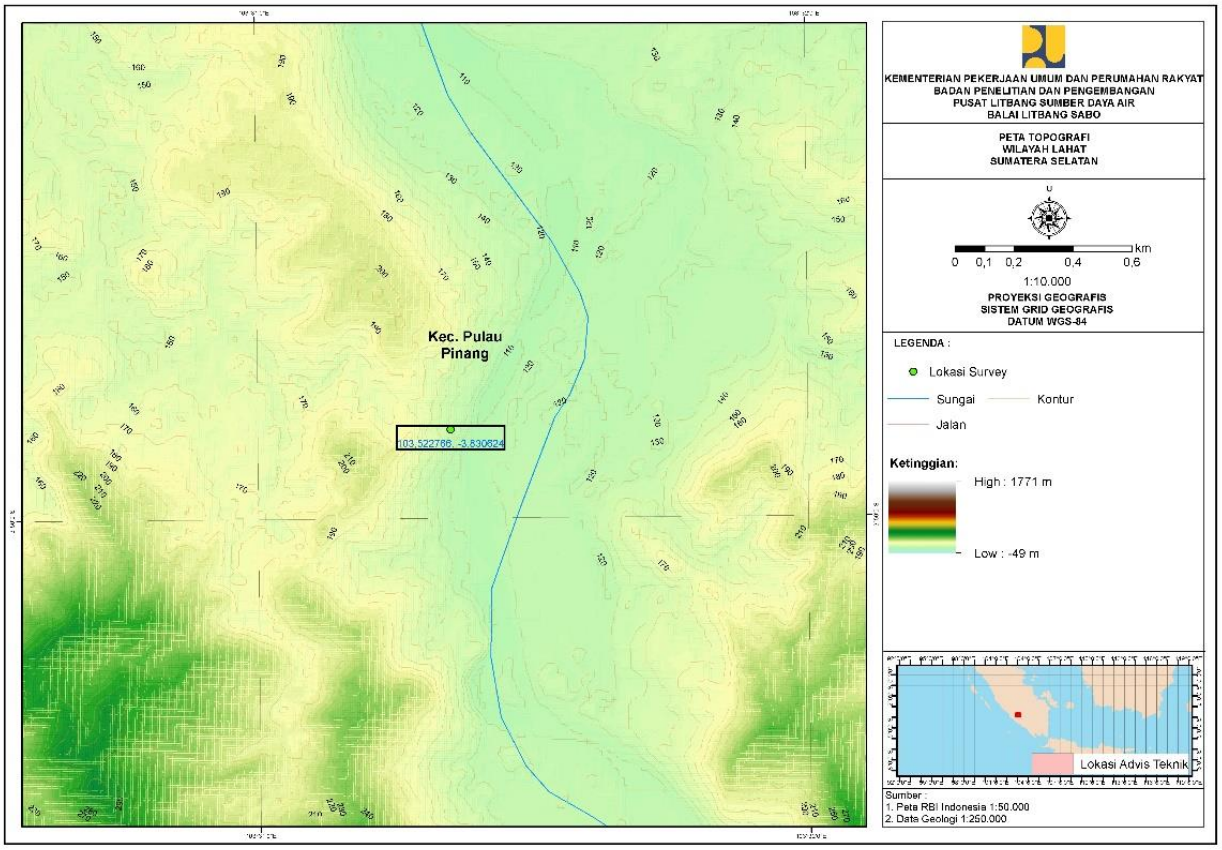
**Kondisi lereng dan parameter tanah**

Dari hasil plot lokasi longsor di peta kelerengan dapat dilihat bahwa lokasi longsor berada di daerah yang relatif datar (**Gambar 6**). Kondisi kemiringan tebing jalan menjadi faktor utama penyebab longsor. Lokasi longsor merupakan badan jalan yang diduga membendung alur aliran air.

Menurut Wayllace et.al., 2019, hasil dari simulasi pemodelan numerik dikalibrasi terhadap hasil pengukuran lapangan. Berdasarkan hasil pemodelan dan nilai stabilitas lereng yang bervariasi, menunjukkan bahwa stabilitas lereng yang disebabkan infiltarsi terutama dipengaruhi faktor dari (1) ukuran besarnya DAS yang memungkinkan besarnya infiltrasi pencairan salju ke lereng bukit, (2) perbedaan/kontras sifat hidrologi tanah di dalam satu DAS, dan (3) perubahan kecuraman kemiringan batuan dasar di bawah longsoran. Ketiga faktor ini mengendalikan arah, kecepatan, dan jumlah aliran air tanah yang melalui lereng.

Faktor yang sangat mempengaruhi longsor seperti proses infiltrasi air hujan, pengamatan stratigrafi, dan geomorfologi DAS sangat penting terhadap proses kejadian longsor. Pemodelan proses kejadian longsor yang dipengaruhi infiltrasi air, harus didasarkan pada morfologi dan stratigrafi lokasi, dan mekanisme fisik utama di lereng, didukung oleh pengamatan lapangan perpindahan dan variasi air tanah. **Gambar 6** menujukkan bahwa kondisi kelerengan lokasi longsor tidak terjal, sehingga faktor utama pemicu lereng bukanlah kemiringan lereng. Kondisi Geologi kawasan lokasi longsor memiliki litologi berupa batuan alluvial atau endapan sungai. Tanah secara umum berwana coklat tua, dengan ukuran butir lempung-pasir dominasi lempung.

Parameter sifat geotek tanah lokasi longsor yang digunakan dalam pemodelan stabilitas lereng adalah permeabilitas tanah, berat jenis, kohesi, dan sudut gesek dalam. Nilai sifat geotek tanah yang digunakan dalam pemodelan disajikan pada **Tabel 1**. Parameter lain yaitu kemiringan tebing jalan, tinggi tebing jalan dan tinggi genangan.




*(sumber: Peta RBI)*

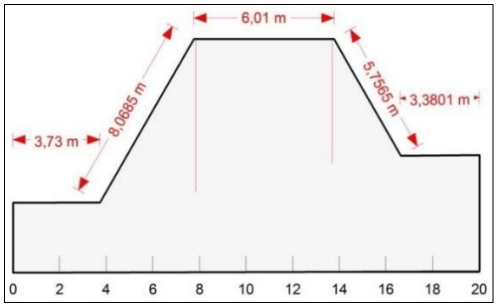
**Gambar 6**. Peta Kelerengan Lokasi Longsor

**Tabel 1**. Sifat geotek tanah

| Parameter | Satuan | Nilai |
|---|---|---|
| **Permeabilitas tanah (K)** | $m/s^2$ | $4.10^{-5}$ |
| **Berat jenis tanah** | $kN/m^2$ | 15,6 |
| **Kohesi tanah** | kPa | 11 |
| **Sudut geser dalam** | derajat ($^0$) | 13 |

*Sumber: hasil uji lab*

Kondisi geomteri jalan, meliputi kemiringan tebing jalan dan tinggi tebing jalan yang menjadi dasar pada pembuatan analisis dapat dilihat pada **Gambar 7**.




**Gambar 7**. Pemodelan geometri jalan

## Pengolahan Data Input Dengan Kondisi Skenario Berbeda

Pada pemodelan stabilitas lereng, dibuat dengan beberapa skenario berbeda dengan maksud untuk melihat kondisi mendekati lapangan dan mencari penyebab terjadinya kegagalan lereng di lapangan. Dilakukan pemodelan dengan kondisi yang bervariasi, terutama untuk mengetahui perubahan nilai stabilitas lereng dan tinggi genangan air yang terjadi. Pemodelan dilakukan dengan merubah tinggi head (H) muka air tanah yang datang dan pergi sebelah kiri maupun kanan geometri jalan, untuk mengetahui perilaku arah aliran dari kanan ke kiri (menggunakan aplikasi seep/W). Metoda dan jenis bidang longsor yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng berupa entry-exit dan Morgenstein-price (menggunakan aplikasi slope/W)

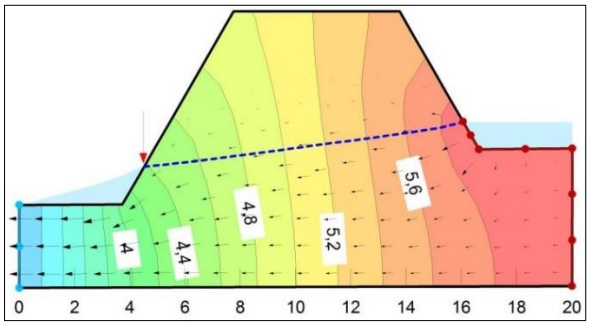
Dari pemodelan dapat dilihat bagaimana aliran air yang menjadi rembesan pada badan jalan. Bagian hulu (kanan jalan) merupakan tebing terjal dengan tinggi 5 m, terdapat alur kecil yang terbendung badan jalan. Sementara bagian hilir (kiri jalan) berupa tebing tinggi 7m, merupakan bagian dari sungai yang besar. Simulasi kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan tiga skenario, yaitu tinggi genangan pada sisi kanan badan jalan 1 m untuk skenario 1, 2 m untuk skenario 2, dan 3 m untuk skenario 3.

Skenario 1 (**Gambar 8**)

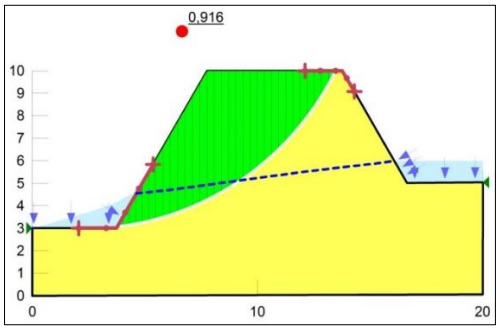
Kondisi: genangan sisi kanan badan jalan 1m dari permukaan tanah, Arah aliran datang dari kanan ke kiri dengan perbedaan tinggi 3 m. Hasil dari analisis aliran air yang melalui lapisan tanah dari kanan ke kiri pada tinggi genangan 1 m, dapat dilihat pada **Gambar 8**. Untuk warna-warna pada **Gambar 8a** atas menunjukkan beda tekanan air tanah atau pore water pressure, akibat terjadinya proses infiltrasi sebagai efek dari terjadinya genangan.

Pada skenario ini diasumsikan terjadi kenaikan tinggi muka air di sebelah kanan (hulu), terjadi kenaikan akibat banyaknya jumlah air yang terakumulasi dari air hujan yang deras. Akibat dari kenaikan jumlah air yang ditampung maka mengakibatkan jumlah rembesan air tanah menjadi lebih tinggi (tanda panah merah pada **Gambar** 8b).

Nilai faktor aman dari skenario ini menunjukkan angka 0,916. Penyebab terjadinya kenaikan nilai analisis angka aman karena perbedaan gradien kemiringan muka air tanah yang ada dalam lapisan tanah, akibat adanya genangan. Kondisi ini menjadikan tekanan angka pori meningkat.




(a)




(b)

**Gambar 8**. Hasil pemodelan stabilitas lereng dengan tinggi genangan 1 m

Skenario 2 (**Gambar 9**)

Kondisi: genangan pada sisi kanan jalan adalah 2 m dari permukaan tanah. Arah aliran datang dari kanan ke kiri dengan perbedaan tinggi 5 m. Hasil dari penampakan analisis aliran air yang melalui lapisan tanah, dapat dilihat di **Gambar 9a**.

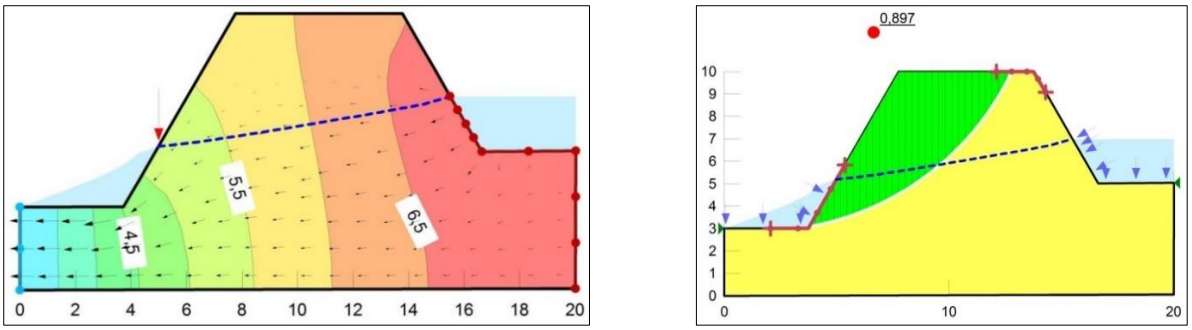
Tinggi muka air 2 m dari permukaan di bagian hulu mengakibatkan beberapa kondisi antara lain tingginya muka air tanah pada lapisan tanah bagian tengah mencapai 6,5 m, rembesan air terjadi di bagian hilir dengan tinggi 4,7 m dari dasar analisis, dan jarak antar ketinggian muka air tanah (head) mengalami pelebaran antara 1.

Analisis stabilitas lereng menggunakan aplikasi slope/W didapatkan nilai angka aman 0,897 (lihat **Gambar 9b**), terjadi penurunan nilai angka aman sebesar 0,019 dari skenario 1. Aliran masuk tidak hanya melalui bawah lapisan lapisan tanah, namun melalui tanah lapisan yang terdiri atas lempung sehingga menambahkan gaya dorong pemicu longsor.

Skenario 3 (**Gambar 10**)

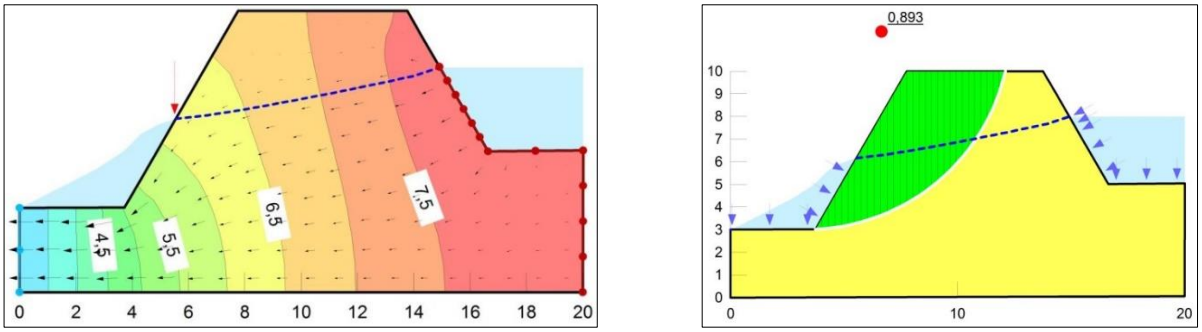
Kondisi: genangan pada sisi kanan badan jalan adalah 3 m dari permukaan tanah. Arah aliran datang dari kanan ke kiri dengan perbedaan tinggi 5 m. Hasil dari kenampakan analisis aliran air yang melalui lapisan tanah pada genangan 3 m, dapat dilihat pada **Gambar 10a**.

Perbedaan tinggi muka air di hulu dengan hilir mencapai 5 m, dimana air sudah merembes masuk ke dalam lapisan tanah dan menjadikan muka air tanah (head) hulu mencapai 7,5 m sementara bagian hilir mencapai 6,3 m. Terjadi lengkungan air yang menurun sepanjang lapisan tanah akibat penurunan muka air, dengan jenis tanah lempung mengakibatkan penurunan air sedikit akibat air mengisi celah antar butir. Nilai angka aman lereng berdasarkan kondisi infiltrasi air tanah menunjukkan angka 0,893 (lihat **Gambar 10b**). Nilai ini tidak mengalami perubahan yang banyak dibandingkan dengan kondisi genangan air 1 m lebih rendah pada skenario 2.




(a) (b)

**Gambar 9**. Hasil pemodelan stabilitas lereng dengan tinggi genangan 2 m

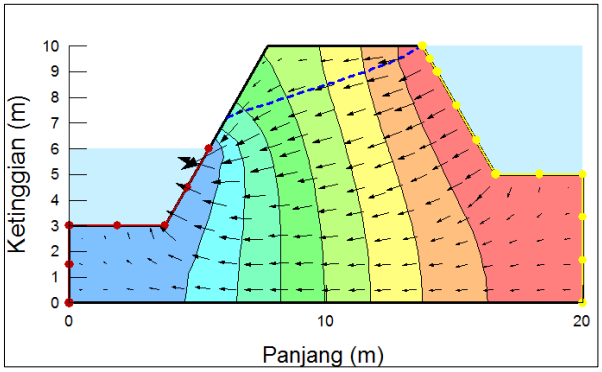



(a) (b)

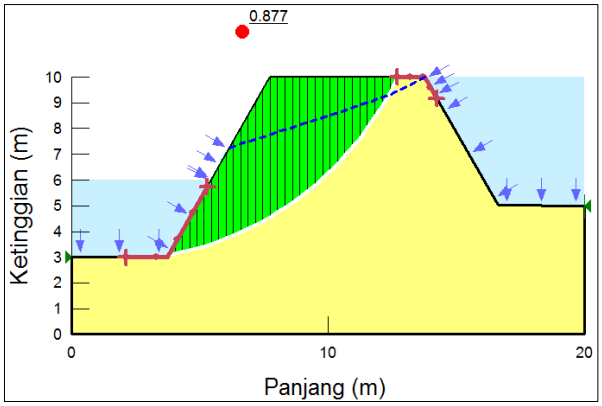
**Gambar 10**. Hasil pemodelan stabilitas lereng dengan tinggi genangan 3 m

Skenario 4 (**Gambar 11**)

Kondisi: genangan pada sisi kanan badan jalan adalah 5 m dari permukaan tanah. Arah aliran datang dari kanan ke kiri dengan perbedaan tinggi 5 m. Hasil dari kenampakan analisis aliran air yang melalui lapisan tanah pada genangan 5 m, dapat dilihat pada **Gambar 11a**.




(a).




(b).

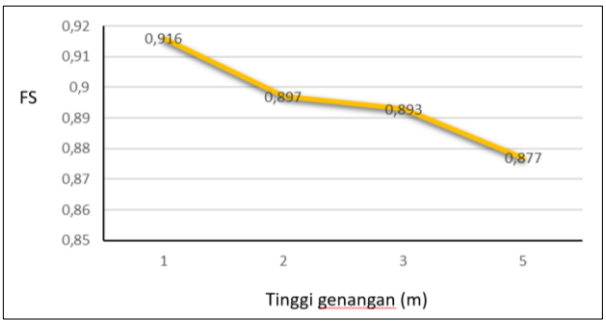
**Gambar 11**. Hasil pemodelan stabilitas lereng dengan tinggi genangan 3 m

Perbedaan tinggi muka air di hulu dengan hilir mencapai 5 m, dimana air merembes masuk ke dalam lapisan tanah. Terjadi lengkungan air yang menurun sepanjang lapisan tanah akibat penurunan muka air, dengan jenis tanah lempung mengakibatkan penurunan air sedikit akibat air mengisi celah antar butir. Nilai angka aman lereng berdasarkan kondisi infiltrasi air tanah menunjukkan angka 0,877 (lihat **Gambar 11b**). Nilai ini tidak mengalami perubahan yang banyak dibandingkan dengan kondisi genangan 3 meter.

Nilai stabilitas lereng berdasar tinggi genangan dapat dilihat pada **Tabel 2**. Nilai SF berada di bawah angka 1 menunjukkan bahwa lereng sangat rawan terjadi runtuhan atau longsoran. Pada kondisi genangan air 3 m, kondisi lereng sudah sangat rawan terjadi longsor pada badan jalan sehingga tidak perlu untuk pemodelan dengan genangan lebih tinggi. Untuk pola hubungan antara tinggi genangan dengan penurunan nilai FS dapat dilihat pada **Gambar 12**.

**Tabel 2.** Nilai SF (*safety of factor*) berdasarkan tinggi genangan

| Tinggi genangan (m) | Nilai SF (*safety factor*) |
|---|---|
| 1 | 0,916 |
| 2 | 0,897 |
| 3 | 0,893 |
| **5** | 0,877 |




**Gambar 12.** Hubungan Tinggi Genangan Terhadap Nilai FS

Berdasar hasil survey lapangan keruntuhan jalan diduga diakibatkan jalan yang membendung aliran air. Kondisi jalan yang membendung air memang sangat berisiko terhadap stabilitas lereng. Beberapa kasus longsor terjadi karena dipicu oleh tejadinya genangan air.

Jalan tanpa sistem drainase yang baik, bila terjadi hujan dengan intensitas tinggi akan mengakibatkan genangan. Dengan adanya saluran drainase maka air akan mengalir melintasi jalan tidak lagi membentuk genangan. Pembendungan yang mengakibatkan genangan ini memicu ketidakstabilan badan jalan, karena terjadi infiltrasi air ke badan jalan.

Infrastruktur yang berada di lingkungan rawan tanah longsor, harus selalu dipantau kondisi keairannya. Daerah berlereng terjal seharusnya diperkuat dengan sistem pengaliran air atau system drainase guna memiminimalkan longsor

Secara umum longsor terjadi karena penurunan gaya penahan suatu lereng, dan atau atau naiknya gaya pendorong. Maka tindakan pengurangan risiko

longsor dilakukan dengan mengurangi gaya pendorong atau menambah gaya penahan. Genangan air menyebabkan gaya penahan turun dan gaya pendorong naik. Gaya penahan turun karena dengan adanya infiltrasi air maka ikatan antar butir tanah akan menjadi lepas, sementara gaya pendorong naik karena material tanah menjadi lebih berat.

Berdasarkaan hasil pemodelan stabilitas lereng akibat genangan, dapat diketahui seberapa besar pengaruh genangan terhadap stabilitas lereng. Akibat dari kenaikan genangan air maka akan mengakibatkan jumlah rembesan air tanah menjadi lebih tinggi. Dari hasil pemodelan dapat dilihat semakin tinggi genangan maka lereng semakin rawan terjadi keruntuhan

Drainase permukaan yang biasa dibuat pada lereng bertujuan untuk mencegah erosi permukaan dan mengurangi infiltrasi. Hal ini memainkan peran penting untuk mencegah ketidakstabilan lereng. Namun, pengelolaan drainase permukaan yang tidak memadai dapat menghambat efisiensinya dan seringkali mengakibatkan aliran air permukaan yang tidak terkendali yang berkontribusi pada longsor. Pemeliharaan drainase permukaan yang tidak memadai dapat memperburuk dan menyebabkan tanah longsor yang cukup besar bahkan pada lereng yang direkayasa. Beberapa tanah longsor dapat dihindari jika ada pemeliharaan drainase permukaan yang tepat.

Hasil survey lapangan menunjukkan terjadinya genangan pada badan jalan yang dapat menyebabkan longsoran. Hal ini mengakibatkan terjadinya proses infiltrasi air yang menyebabkan naiknya air pada permukaan tanah yang menyebabkan keruntuhan badan jalan. Untuk mengatasi kejadian seperti ini, maka harus segera diatasi dengan membuat lubang/saluran drainase, untuk mengalirkan air pada setiap terjadi genangan. Tidak perlukan perhitungan jumlah infiltrasi, genangan cukup dialirkan dengan saluran drainase.

Nilai stabilitas lereng pada jalan sejak genangan 1m adalah kurang dari 1. Berarti lereng sudah tidak aman semenjak terjadi genangan 1m. terjadinya infiltrasi air menjadikan tanah menjadi lepas-lepas sehingga kuat geser tanah menjadi turun. Keberadaan genangan harus dihindari, dan perlu segera dibuat pada genangan-genangan yang terjadi pada tebing jalan.

Drainase air yang memadai merupakan elemen yang paling signifikan dari tindakan mitigasi tanah longsor baik untuk tanah longsor yang ada maupun yang potensial. Drainase dapat berupa tindakan permukaan (saluran tepi jalan, saluran penangkap/interseptor dan saluran pembuangan) atau bawah permukaan (pipa drainase atau saluran horizontal, saluran internal dari struktur tanah penahan.

## KESIMPULAN

Beberapa kasus longsor terjadi karena dipicu oleh tejadinya genangan seperti di Lahat, ruas jalan Kuningan-Tasikmalaya di Cikijing Tasikmalaya, dan pada ruas tol Gempol-Pandaan Jawa Timur. Infiltrasi air menyebabkan stabilitas lereng jalan menjadi turun dan memicu terjadinya runtuhan atau longsoran pada badan jalan.

Hasil pemodelan stabilitas lereng jalan di Lahat menunjukkan bahwa saat terjadi genangan 1 m, maka nilai stabilitas lereng FS adalah 0,916 (kondisi rawan terjadi longsor). Perbedaan tinggi muka air di kanan dan kiri menyebabkan air merembes masuk ke tanah dan menjadikan naiknya muka air tanah di bawah badan jalan. Terjadinya aliran air menurun sepanjang lapisan tanah, mengakibatkan air mengisi celah antar butir. Arah aliran datang dari kanan ke kiri dengan perbedaan tinggi 3 m. Saat kondisi genangan sisi kanan badan jalan 1 m dari permukaan tanah, maka mengakibatkan jumlah rembesan air tanah menjadi lebih tinggi. Nilai faktor aman dari skenario ini menunjukkan angka 0,916. Semakin tinngi genangan mengakibatkan nilai stabilitas lereng turun. Nilai angka aman turun akibat infiltrasi air ke dalam tanah, sehingga terjadi longsor.

Keberadaan genangan air di sekitar jalan perlu segera ditangani dengan pembuatan drainase, sehingga tidak mempengaruhi stabilitas lereng jalan. Dengan menghilangkan genangan maka stabilitas lereng akan terjaga.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Balai Teknik Sabo, rekan-rekan diskusi, rekan-rekan laboraorium atas dukungan maupun masukkan, dan semua pihak sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

## DAFTAR PUSTAKA

Chan, H.C., Chen, P.A., & Lee, J.T. (2018). Rainfall-Induced Landslide Susceptibility Using a Rainfall–Runoff Model and Logistic Regression. *Water*, *10(10)*, 1354. https://doi.org/10.3390/w10101354

Chen, S. C., Lin, T. W., Chen, C.Y. (2015). Modeling of Natural dam Failure Models and Downstream

Riverbed Morphological Changes with Different Dam Materials in a Fume Test. *Engineering Geology,* 188, 148–158. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.01.016

Chen, H.E., Tsai, T.L., & Yang, J.C. (2017). Threshold of Slope Instability Induced by Rainfall and Lateral Flow. *Water*, *9(9)*, 722. https://doi.org/10.3390/w9090722

Chiu, Y.Y., Chen, H.E. & Yeh, K.C. (2019). Investigation of the Influence of Rainfall Runo on Shallow Landslides in Unsaturated Soil Using a Mathematical Model. *Journal of water*, 11(6), https://doi.org/10.3390/w11061178

Godt, J. W., Şener-Kaya, B., Lu, N., and Baum, R. L. (2012). Stability of infinite slopes under transient partially saturated seepage conditions. *Water Resour. Res*. *Water Resour. Res.*, *48*, W05505 https://doi.org/10.1029/2011WR011408

Hardiyatmo, H.C. 2012. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi.* Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Iverson R. M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resour Res, 36(7)*, 1897–1910. https://doi.org/10.1029/2000WR900090

Korulla, M. (2019). Significance of Drainage Measures on Landslide Mitigation Measures. *Geotechnics for Natural Disaster Mitigation and Management,* 97–107. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8828-6_9

Liu, G., Tong, Fg., Zhao, Yt. (2018). A force transfer mechanism for triggering landslides during rainfall infiltration. *Journal Of Mountain Science 15*, 2480–2491.

https://doi.org/10.1007/s11629-018-5043-x

Li, X., Zhao, C., Hölter, R., Datcheva, M. & Lavasan A. A. (2019). Modelling of a Large Landslide Problem under Water Level Fluctuation—Model Calibration and Verification. *Geosciences*, 9(2), 89. https://doi.org/10.3390/geosciences9020089

Muntohar, A.S. and Liao, H.-J. (2010). Rainfall infiltration: Infinite slope model for landslides triggering by rainstorm. *Nat. Hazards*, 54(3), 967-984. https://doi.org/10.1007/s11069-010-9518-5

Nanda, T. N. F. and Hamdhan I. N. (2016). Analisis Rembesan dan Stabilitas Bendungan Bajulmati dengan Metode Elemen Hingga Model 2D dan 3D. *Jurnal Reka Racana*, *2(4)*, 148-159.

Plummer, (2007). *Physichal Geology 11th Edition*. New York: McGraw-Hill.

PUPR. (2017). Jalan Putus Darma Cikijing Tersambung Sebelum Mudik 2017. https://binamarga.pu.go.id/index.php/berita/jalan-putus-darma-cikijing-tersambung-sebelum-mudik-2017 (diakses 8 Juni, 2019)

Republik Indonesia, (2007). *Undang-undang RI No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana.* Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 66. Jakarta.

Sidle, R.C. and Bogaard, T.A. (2016). Dynamic earth system and ecological controls on rainfall-initiated landslides. *Earth-Sci. Rev.*, 159, 275–291. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.05.013

Siregar, R. A. (2019). Jalan Lahat Pagar Alam Sumsel Putus Total Akibat Longsor. https://news.detik.com/berita/d-4411202/jalan-lahat-pagar-alam-sumsel-putus-total-akibat-longsor (diakses 8 Juni, 2019)

Spolverino G., Capparelli G., Versace P., (2019). An Instrumented Flume for Infiltration Process Modeling, Landslide Triggering and Propagation. *Journal Of Geosciences*, 9(3), 108 https://doi.org/10.3390/geosciences9030108

Tsai, T.L. and Wang, J.K. (2011). Examination of influences of rainfall patterns on shallow landslides due to dissipation of matric suction. *Environmental Earth Sciences,* 63(1), 65-75. https://doi.org/10.1007/s12665-010-0669-1

Tsakiris, G. and Bellos, V. A. (2014). Numerical Model for Two-imensional Flood Routing in Complex Terrains. *Water Resour Manage,* 28, 1277–1291. https://doi.org/10.1007/s11269-014-0540-3

Vreugdenhil, C.B. (2013). *Numerical Methods for Shallow-Water Flow Volume 13*. Berlin: Springer Science & Business Media.

Wayllace, A. and Lu, N. (2012). A transient water release and imbibitions method for rapidly measuring wetting and drying soil water retention and hydraulic conductivity functions. *Geotechnical Testing Journal*, *35(1)*, 103–117. https://doi.org/10.1520/GTJ103596

Wayllace, A., Thunder, B., Lu, N., Khan, A., and Godt, J. W. (2019). Hydrological Behavior of an Infiltration-Induced Landslide in Colorado, USA.

*Journal of Hindawi Geofluids*, 2019. https://doi.org/10.1061/9780784482070.021

Wei, L.W., Huang, W.K., Huang, C.M., Lee, C.F., Lin, S.C. & Chi, C.C. (2015). The mechanism of landslides caused by Typhoon soudelor in northern Taiwan. *Soil Water Conserv*, 46, 223–232.

Wayllace, A., Thunder, B., Lu, N., Khan, A., and Godt, J. W. (2019). Hydrological Behavior of an Infiltration-Induced Landslide in Colorado, USA. *Journal of Hindawi Geofluids*, 2019. https://doi.org/10.1061/9780784482070.021

Wei, L.W., Huang, W.K., Huang, C.M., Lee, C.F., Lin, S.C. & Chi, C.C. (2015). The mechanism of landslides caused by Typhoon soudelor in northern Taiwan. *Soil Water Conserv*, 46, 223–232.