

## ANALISIS PENGARUH INFILTRASI HUJAN TERHADAP STABILITAS LERENG DI PANGKALAN, SUMATERA BARAT

### *RAINFALL INFILTRATION EFFECT ON SLOPE STABILITY IN PANGKALAN, WEST SUMATERA*

Rokhmat Hidayat <sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Balai Teknik Sabo, Direktorat Bina Teknik SDA  
Jl.Sabo 1, Sopalan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta

\*Corresponden author : [rokhmathidayat33@gmail.com](mailto:rokhmathidayat33@gmail.com)

Diterima: 27 Mei 2019; Direvisi: 30 Mei 2019; Disetujui: 12 Juni 2020

#### ABSTRACT

*The landslides event that is triggered by rain infiltration is occurrence annual in Indonesia, majority of landslide occur in rainy season. In this research, the landslide case was taken in Pangkalan Area, District of Limapuluh Kota, West Sumatera Province. This location is the main access of West Sumatra-Riau, so the landslide in the location is certainly causing the road closed. Research phases were geological mapping, geotechnical analysis, and hydrological modeling. Hydrological modeling and slope stability simulation by SEEP/W software using laboratory data. The modeling results that the rain infiltration process produced in the formation of positive water pressure zone at the foot of the slope, then spread towards the top of the slope. The day after the rainfall, the soil layer had been saturated. The soil layer will saturate the water, so the slope stability will decrease and the landslide event will occur. Modeling was done with the 70mm/day rainfall. Shortly after the rains the value of safety factor (SF) becomes 1.2. The day after the rain, the FS value dropped drastically to 0.775. Two days two and three days after the rainfall, the value of the FS was not change. The rainfall with 70mm/day intensity can trigger the landslide. Preventing water from entering the permeable layer with the installation of the shotcrete layer, and draining the water from the slopes by the installation of horizontal drain can improved slope stability.*

**Keywords:** *Infiltration, hidrologycal modelling, slope stability*

#### ABSTRAK

*Kejadian longsor yang dipicu infiltrasi hujan merupakan kejadian tahunan di Indonesia, mayoritas longsor terjadi pada musim hujan. Dalam penelitian ini, diambil kasus longsor di Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Limapuluh Kota, Sumatera Barat. Lokasi studi kasus merupakan akses utama Sumatera Barat-Riau, sehingga longsor di lokasi tersebut sudah tentu menimbulkan kerugian. Tahap penelitian meliputi pemetaan geologi, analisis geoteknik, dan pemodelan hidrologi. Pemodelan hidrologi dilakukan simulasi numerik dengan perangkat lunak SEEP/W yang menggunakan data hasil laboratorium. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa proses infiltrasi hujan mengakibatkan pembentukan zona tekanan air positif di bagian kaki lereng, selanjutnya menyebar ke arah atas lereng. Sehari setelah hujan infiltrasi air hujan sudah menjenuhkan lapisan tanah. Lapisan tanah menjadi jenuh air, sehingga stabilitas lereng akan berkurang dan peristiwa longsor akan terjadi. Pemodelan dengan hujan 70mm/hari. Sesaat setelah hujan nilai faktor keamanan (SF) menjadi 1,2. Sehari setelah hujan nilai angka aman menurun drastis menjadi 0,775. Pada hujan hari ke dua dan tiga, nilai angka aman tidak berubah. Hal tersebut menunjukkan bahwa hujan satu hari dengan intensitas 70mm/jam sudah dapat memicu longsor. Untuk meningkatkan stabilitas lereng pada kejadian longsor tersebut, dapat dilakukan dengan mencegah air masuk dalam lapisan permeabel dengan pemasangan lapisan semen, dan mengeluarkan air dari lereng dengan pemasangan drainase horisontal.*

**Kata kunci:** *Infiltrasi, pemodelan hidrologi, stabilitas lereng*

## PENDAHULUAN

Bencana longsor yang dipicu infiltrasi hujan merupakan kejadian tahunan di Indonesia. Pada tahun 2017, tercatat ratusan kasus longsor terjadi saat musim hujan. Dalam penelitian ini, diambil kasus longsor di Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Pangkalan, Sumatera Barat. Lokasi studi kasus merupakan akses utama Sumatera Barat-Riau, sehingga longsor di lokasi tersebut menimbulkan kerugian baik berupa material maupun sosial seperti kerusakan infrastruktur, korban jiwa maupun terputusnya akses jalan. Banyak kendaraan terjebak di jalan akibat kejadian longsor tersebut (Gambar 1).

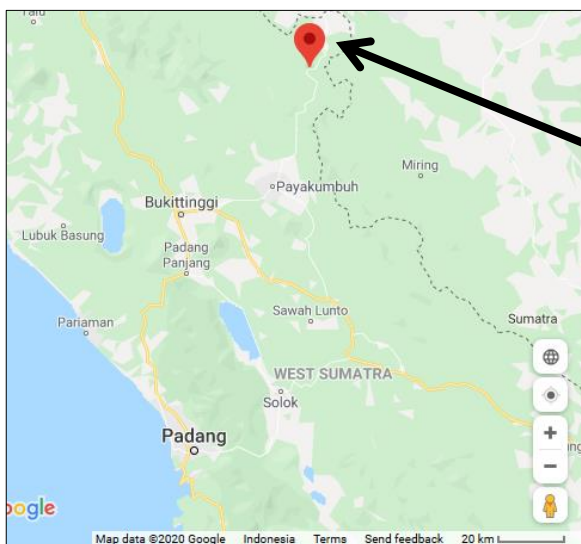
Banyaknya kejadian longsor dipicu hujan menunjukkan urgensi analisis pendekatan mengenai infiltrasi hujan dalam pengaruhnya terhadap ketidakstabilan lereng. Melalui pendekatan numerik, dapat diterapkan beberapa kondisi batas, seperti penerapan tanah jenuh dan tanah jenuh sebagian.

Longsor merupakan bencana alam yang sering terjadi pada daerah berbukit-bukit atau pegunungan, seperti di wilayah Sumatera Barat. Material yang mengalami longsor dapat berupa tanah, batuan, atau tanah dan batuan. Penyebab longsor antara lain adalah curah hujan yang tinggi, kondisi tanah dan batuan yang rentan, kegempaan yang kuat, dan kemiringan lereng yang besar. Di samping itu akibat peran manusia yang berkaitan dengan penggunaan lahan yang tidak tepat. Penggundulan hutan, serta pemotongan lereng

untuk pembuatan jalan dan pemukiman dapat memicu terjadinya longsor. Banyak lereng di Sumatera Barat yang mengalami longsor akibat curah hujan yang cukup tinggi, apalagi pada tebing jalan di jalur Sumbar Riau khususnya di kawasan ketinggian Kecamatan Harau hingga Pangkalan Koto Baru. Untuk meminimalkan kerugian yang disebabkan oleh longsor, maka dilakukan analisis kestabilan lereng dengan melakukan survei lapangan pengambilan sampel kemudian dilakukan penelitian data di laboratorium. Dalam hal ini akan dianalisis apakah lereng tersebut masih aman berdasarkan nilai stabilitas lereng.

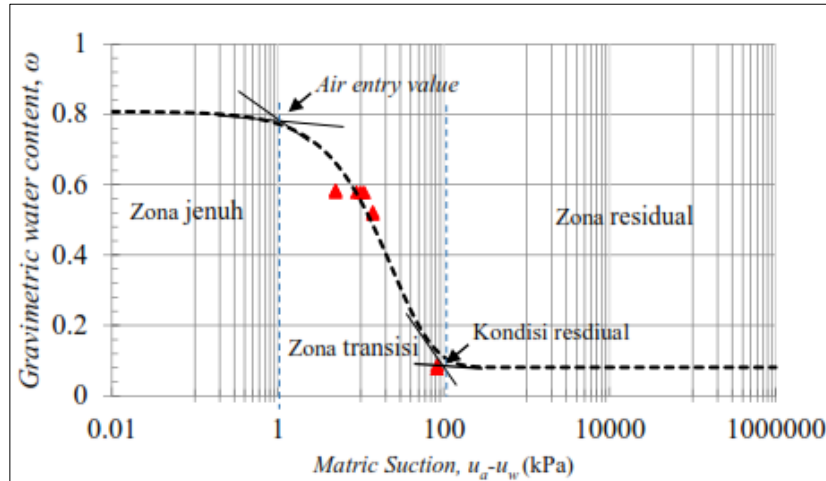
Air hujan yang masuk ke dalam tanah akan mengisi pori-pori udara dalam tanah, sehingga massa tanah menjadi bertambah akibat kejenuhan tanah. Pertambahan kejenuhan tanah berpengaruh pada perubahan kemampuan tanah dalam menyerap air (*suction*) (Fredlund et al., 1993).

Hubungan perubahan kejenuhan air dengan *suction* digambarkan melalui kurva karakteristik kejenuhan tanah SWCC (*Soil Water Characteristic Curve*). Nilai SWCC ini mewakili kondisi kejenuhan tanah pada saat musim penghujan hingga musim kemarau. Pada musim hujan, kurva memuncak pada nilai jenuh tertinggi dan seiring terjadinya evaporasi, kurva menurun hingga mencapai kondisi air terendah. Apabila evaporasi terus terjadi hingga musim kemarau, kurva akan mengalami kondisi residual, dimana nilai *suction* tinggi dan nilai kejenuhan sangat rendah (gambar 2).



Sumber: <https://www.merdeka.com>

**Gambar 1** Longsor di Pangkalan, Limapuluh Kota, Sumatera Barat



Sumber: Prasetyaningtyas, 2016

**Gambar 2** Kondisi SWCC pada Tanah Lokasi Longsor

Dalam infiltrasi hujan, kurva SWCC hanya diterapkan pada kondisi *transient*. Kondisi aliran transient adalah kondisi batas yang diterapkan apabila infiltrasi air menyebabkan adanya perubahan kapasitas reservoir dalam pori tanah (Chen-Yuan et al., 2005). Besarnya air yang masuk dianggap sebagai flux aliran air ke dalam tanah ( $q_w$ ), sedangkan permeabilitas ( $K_w$ ) dimasukkan sebagai fungsi yang digambarkan pada gambar 2. Kedua fungsi tersebut terikat oleh air pori tanah ( $u_w$ ). Hubungan ketiga fungsi tersebut tergambar dalam sebuah persamaan, (Geo-Slope Ltd., 2017).

Longsoran lereng pada musim hujan disebabkan terutama oleh infiltrasi air hujan ke dalam tanah yang menyebabkan tanah menjadi jenuh disertai perubahan pada karakteristik tanah terutama kekuatannya. Faktor utama yang menyebabkan longsor adalah berkurangnya *suction* (air pori negatif) sampai mencapai nol oleh infiltrasi (Cheng et al., 2010). Longsor yang terjadi pada tanah berlereng setelah hujan lebat, tidak hanya disebabkan oleh karena naiknya tegangan air pori seiring dengan naiknya permukaan air tanah, tetapi juga oleh berkurangnya kekuatan geser tanah akibat naiknya derajat kejenuhan tanah atau berkurangnya air pori negatif tanah. Air yang memasuki tanah yang kering berasal dari permukaan tanah, dengan jalan masuk yang tetap yaitu pori-pori tanah. Meskipun jumlah pori-pori dapat dianggap tetap, tetapi volume pori dapat berubah-ubah. Pada tanah lempung, *swelling* akibat pembasahan dapat mengurangi volume pori-pori tanah berukuran besar yang mempengaruhi laju infiltrasi dan kapasitas infiltrasi.

Sistem drainase merupakan serangkaian bangunan yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau

lahan. Sistem drainase tidak memadai menyebabkan air hujan yang turun tidak dapat dialirkan dengan baik dan lancar, sehingga terjadi genangan air yang tinggi dan lama surutnya (Kang et al., 2016)

Kejadian tanah longsor terkait erat terutama dengan curah hujan, sifat tanah, geometri lereng, dan vegetasi (Sangseom et al., 2017). Analisis numerik juga dilakukan untuk mengkonfirmasi efek dari faktor-faktor ini pada kejadian longsor. Perhatian khusus diberikan untuk analisis rembesan curah hujan untuk menentukan kedalaman pembasahan pada kemiringan lereng pada longsor dangkal dan longsor dalam.

Hujan dengan intensitas sedang dan berdurasi lama paling berpengaruh terhadap besarnya infiltrasi, sedang hujan rata-rata dan hujan deras dengan durasi yang sama menghasilkan infiltrasi yang relatif sama. Makin tinggi infiltrasi, maka tekanan air pori semakin besar sehingga nilai kohesi akan semakin rendah dan sudut gesek internal akan semakin tinggi. Pengaruh infiltrasi akan signifikan terhadap perubahan stabilitas lereng saat kondisi lereng masih kering (Putra, 2014). Pengaruh infiltrasi hujan terhadap kejadian longsor membutuhkan skala waktu yang berbeda. Model ini mengaitkan kegagalan lereng dan gerakan tanah longsor akibat tekanan air tanah yang berubah sebagai respons terhadap hujan. Beberapa faktor yang berpengaruh yaitu kedalaman bidang longsor, lama hujan, kondisi hidrolis diffusivitas, kondisi bidang longsor, dan sifat mekanik material tanah (Iverson, 2000).

Keruntuhan lereng sering disebabkan oleh proses meningkatnya regangan geser atau menurunnya tegangan geser tanah. Peningkatan kadar air akibat infiltrasi air hujan akan menurunkan *suction* tanah dan menaikkan berat

tanah (Abramson et al.,1995). Infiltrasi air hujan mengakibatkan peningkatan berat isi tanah, berkurang atau hilangnya tegangan suction pada zona tidak jenuh air, peningkatan tekanan air pori tanah, erosi internal dan perubahan kandungan mineral tanah pada lereng (Karnawati, 2006)

Model infiltrasi *Green-Ampt* dan model stabilitas lereng tak terbatas, dapat digunakan untuk mempelajari pengaruh infiltrasi curah hujan terhadap kejadian tanah longsor dangkal. Model ini digunakan untuk memperkirakan waktu terjadinya longsor telah dikonfirmasi oleh analisis deterministik berdasarkan kasus longsor di Indonesia, Italia dan Hong Kong. Perkiraan waktu longsor dari model yang diusulkan berbeda sekitar 1-2 jam dari waktu yang dilaporkan pada kasus. Model juga dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman bidang longsor (Muntohar dan Liao, 2010). Ketika tanah tanah bersifat homogen, hanya pada kedalaman dangkal kondisi tanah yang dipengaruhi oleh curah hujan. Tekanan pori di bidang gelincir memiliki sedikit variasi selama musim hujan. Mayoritas tanah longsor yang terjadi saat dipicu hujan adalah longsor dangkal, yaitu tanah longsor dengan kedalaman kurang dari 5m (Hardiyatmo, 2012). Infiltrasi curah hujan menghasilkan tekanan air pori positif pada banyak kejadian tanah longsor. Selain infiltrasi curah hujan di atas permukaan lereng keberadaan retakan pada tanah juga mempunyai peran penting dalam infiltrasi air tanah (Sun et al., 2009).

Mekanisme pemicu longsor pada lereng alami sering kali terdiri dari interaksi yang kompleks antara proses hidrologi dan geoteknik, yang pada intinya tergantung pada topografi yang tidak teratur, sifat hidro-geoteknik, kondisi batas seperti permeabilitas. Dari perspektif geoteknis, alasan utama kegagalan lereng adalah hilangnya matrik hisap dan karenanya kehilangan tegangan efektif karena air menyusup ke dalam tanah (Sorbino & Nicotera, 2013; Kim et al., 2014; Alvioli & Baum, 2016; Jeong et al., 2014).

Infiltrasi menyebabkan kondisi tanah dari kondisi jenuh sebagian (*unsaturated*) menjadi jenuh total (*saturated*), akibatnya tekanan air pori negatif berkurang mencapai nol pada saat kondisi tanah jenuh sempurna, kemudian berubah menjadi tekanan positif pada tanah yang berada dibawah muka air tanah. Naiknya tekanan air pori, menyebabkan tegangan normal pada tanah berkurang dan kuat geser tanah turun, sehingga stabilitas tanah berkurang (Hardiyatmo, 2012). Permasalahan utama dalam aplikasi konsep tanah jenuh sebagian adalah dalam penentuan parameter tanahnya. Ada beberapa pendekatan untuk menentukan parameter tanah jenuh sebagian

dengan menggunakan tes laboratorium (Fredlund & Rahardjo, 2012).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh infiltrasi hujan terhadap perubahan tekanan air pori dan angka keamanan lereng di Pangkalan melalui simulasi numerik dua dimensi. Simulasi infiltrasi hujan di dalam tanah, hingga pengaruhnya terhadap kestabilan lereng akan diterapkan dalam penelitian ini. Simulasi tersebut diharapkan menjadi pendekatan yang mewakili kondisi eksisting. Dengan pendekatan yang baik, akan dipahami masalah ketidakstabilan lereng tersebut, dalam rangka mengatasi ketidakstabilan lereng tersebut.

## METODOLOGI

Metode penelitian yaitu dengan menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Dilakukan pengamatan lapangan untuk mengetahui kondisi longsor. Pengamatan meliputi sebaran batuan, kondisi keairan, luas longsor, penggunaan lahan, dan pengambilan sampel tanah. Dilakukan uji lab terhadap sampel lapangan untuk mengetahui sifat fisik tanah. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode penyelidikan geoteknik yang terdiri dari investigasi lapangan, pengujian laboratorium dan pemodelan numerik. Pengambilan contoh tanah tak terganggu dilakukan dengan menggunakan tabung besi dan conto terganggu dimasukkan dalam plastik. Pengujian laboratorium dilakukan pada contoh tanah untuk mengetahui parameter guna mengetahui berat jenis tanah/ *specific gravity* ( $G_s$ ), nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\delta'$ ). Identifikasi kedalaman bidang gelincir longsor dilakukan dengan pengamatan singkapan pada lokasi longsor.

Pemodelan infiltrasi menggunakan software SEEP/W, untuk mengetahui kondisi infiltrasi pada awal hujan dan perkembangan infiltrasi terhadap waktu. Dari pemodelan dapat dijelaskan bagaimana proses infiltrasi terhadap longsor. Bagaimana proses penjenjutan berlangsung mulai pada kaki lereng, kemudian menuju ke arah kepala lereng. Bagaimana perkembangan dari hari pertama sesaat setelah terjadi hujan, hingga hari-hari berikutnya.

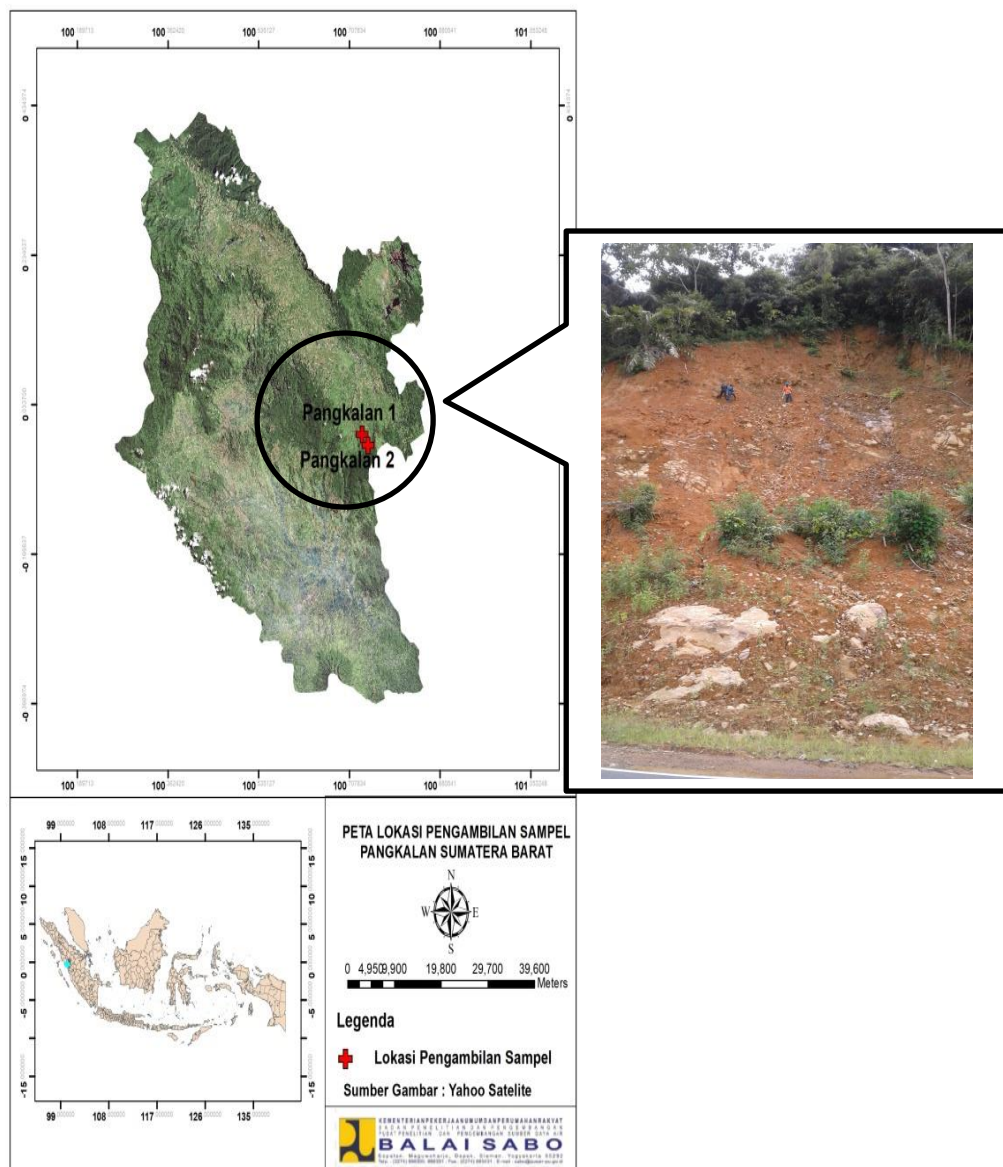
Selanjutnya dilakukan pemodelan nilai stabilitas lereng berdasar tinggi muka air tanah. Analisis faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GEOSLOPE/W 7.12. Analisis perhitungan dan pemodelan adalah metode keseimbangan batas (*limit Equilibrium Methode*), yaitu dengan pembagian massa tanah menjadi beberapa irisan dengan arah gaya yang bekerja diasumsikan dan untuk pendefinisian

permukaan bidang longsor yang digunakan untuk perhitungan faktor keamanan minimum pada lereng.

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Limapuluh Kota, propinsi Sumatera Barat. Lokasi longsor merupakan sebuah lereng pada jalan utama Sumatera Barat-Riau. Koordinat lokasi pengambilan sampel tanah berada pada  $00^{\circ}01'3.8''\text{LS}$   $100^{\circ}43'16.1''\text{BT}$ . Gambar 3 menunjukkan peta lokasi penelitian disertai dengan tampak depan lokasi longsor Pangkalan.

Kondisi topografi daerah Pangkalan terdiri dari perbukitan curam dengan elevasi 400 – 2.800m di atas permukaan laut. Dari peta topografi (gambar 4) dapat dilihat bahwa lokasi longsor berada pada suatu alur atau lembah. Kondisi ini punya pengaruh tinggi terhadap kerawanan longsor. Apabila terjadi hujan maka air sebagian akan meresap ke dalam tanah dan sebagian akan mengalir di permukaan tanah. Resapan air tanah maupun aliran permukaan akan menuju titik terendah (alur atau lembah) sehingga lokasi ini mudah jenuh air.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

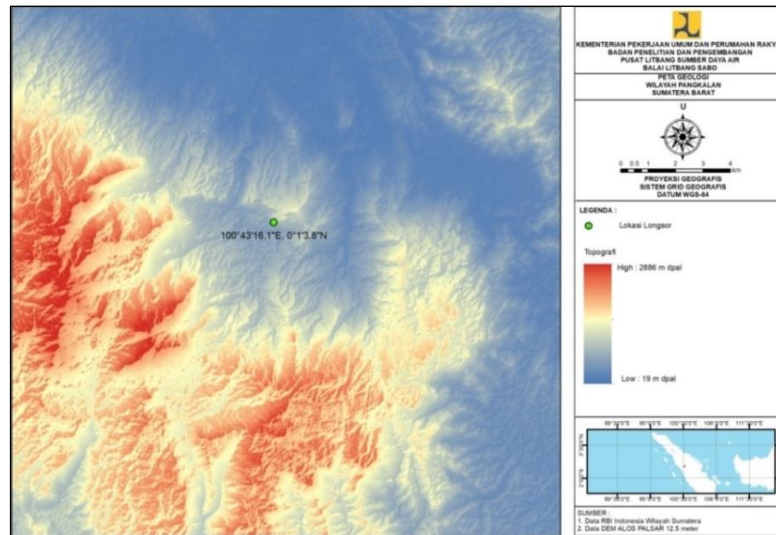


Gambar 3 Lokasi Penelitian

**Profil Lapisan Tanah**

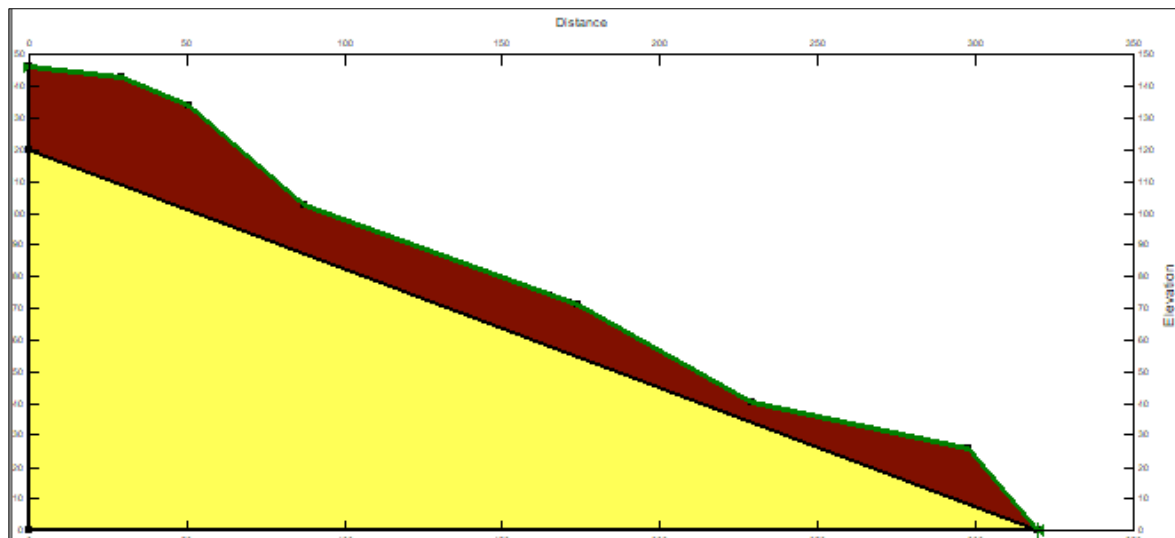
Potongan melintang lereng didapatkan melalui pengukuran di lapangan melalui *distant meter* dan *plotting* koordinat pada *Google-earth*. Untuk lapisan tanah terdiri atas dua jenis yaitu tanah lanau kepasiran untuk bagian tanah jenuh sebagian dan lapisan batu granit untuk lapisan jenuh, sesuai pengamatan dilapangan (Gambar 5).

Diketahui pada kondisi eksisting hasil penelitian lapangan, terdapat aliran muka air tanah pada bidang longsor tepat diatas permukaan batuan. Oleh karena itu, pada simulasi, untuk kondisi awal muka air tanah digambarkan tepat pada lapisan tanah keras. Kontak antara batuan dasar dan zona lapukan diduga menjadi bidang gelincir saat terjadi longsor.



Sumber: hasil pengolahan

**Gambar 4** Kondisi Topografi Lokasi Longsor Pangkalan dan Sekitarnya



Sumber: hasil pengolahan

**Gambar 5** Potongan Melintang Lereng Lokasi Longsor

Sampel tanah diambil pada beberapa titik bidang gelincir, dan hasilnya dianggap dapat mewakili lapisan satu dan dua. Sampel tanah selanjutnya dianalisis di lab untuk mengetahui nilai-nilai parameter geotek tanah. Untuk profil lapisan dua, karena lapisan bercampur dengan batuan lepas, dilakukan pula pendekatan empiris dari berat isi tanah menggunakan grafik pada gambar 6. Lebih lengkapnya mengenai data sifat fisik tanah dapat dilihat pada tabel 1.

**Pemodelan Infiltrasi Tanah**

Dalam pemodelan infiltrasi hujan ini diterapkan kondisi batas yaitu, lapisan tanah pertama merupakan tanah jenuh sebagian dengan nilai kadar air volumetric. Kondisi koefisien permeabilitas yang digambarkan pada gambar 6.

Untuk lapisan tanah kedua merupakan tanah jenuh sempurna yang tidak memiliki fungsi koefisien permeabilitas.

Fungsi koefisien permeabilitas dan kadar air volumetrik dapat dicari menggunakan estimasi dan *fitting* menggunakan contoh tanah pada *database* SEEP/W (gambar 7). Kondisi batas aliran pada beberapa tahap analisis hujan dapat dilihat pada tabel 2. Sesaat setelah hujan turun, kondisi aliran tetap diterapkan. Kondisi ini dijadikan sebagai kondisi awal. Selanjutnya setelah periode waktu hujan ditentukan sesuai analisis yang dibutuhkan, diterapkan aliran tidak tetap (*transient flow*). Hal ini disebabkan adanya perubahan kondisi diterapkan (Choudary et al., 2014).

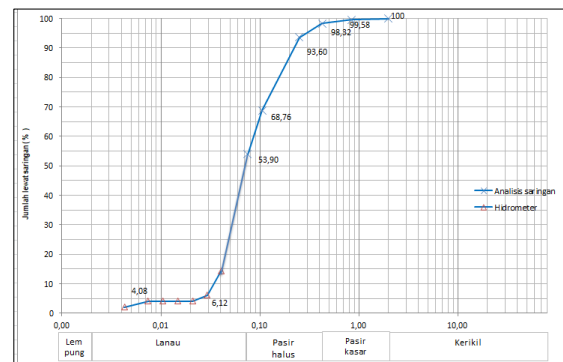
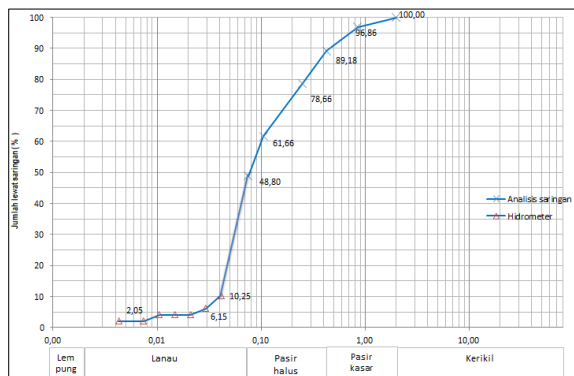
**Tabel 1** Nilai Parameter Parameter Pada Setiap Lapisan Tanah

No. Lapisan	1	2
Jenis Tanah	Lanau kelepungan	Pasir lanauan
$\gamma_b$ (kN/m <sup>3</sup> )	15.61	16
$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	24.2	5
$\phi$ (°)	25	35
Batas cair (%)	42,47	58,56
Batas plastis (%)	23,38	39,65

Sumber: hasil uji lab

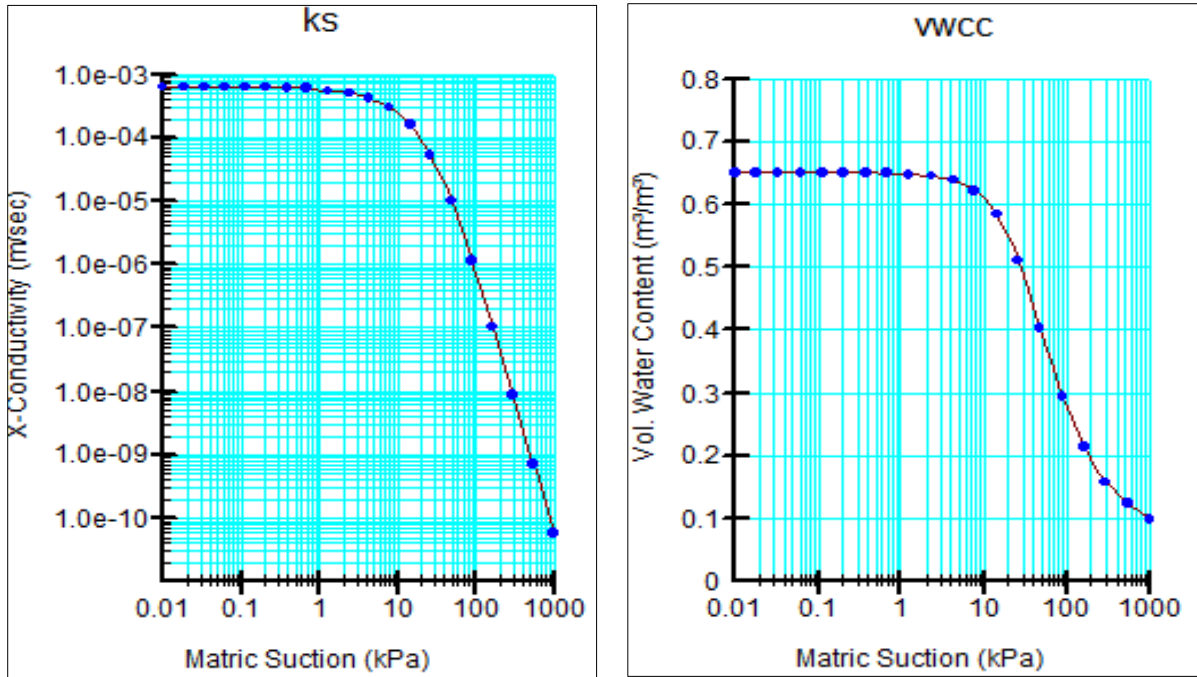
**Tabel 2** Nilai Kondisi Batas Simulasi

No. Lapisan Tanah	1	2
Intensitas Hujan (mm/jam)	70	-
Durasi hujan (hari)	3	3
Kondisi batas	Jenuh sebagian	Jenuh sempurna
Permeabilitas Jenuh (m/s)	-	0.0006



Sumber: hasil pengolahan

**Gambar 6** Grafik Distribusi Ukuran Butir Lanau Lempungan dan Pasir Lanauan



Sumber: hasil pengolahan

**Gambar 7** Fitting Koefisien Permeabilitas Tanah (Kiri) dan Kadar Air Volumetrik (Kanan)

Gambar 8 menunjukkan hasil dari proses perhitungan pemodelan menggunakan SEEP/W, pada awal hujan turun infiltrasi air tidak terlalu tinggi. Dapat dijelaskan bahwa longsor di lokasi tersebut yang diawali dengan penjuanan pada kaki lereng, kemudian menuju ke arah kepala lereng. Pada waktu sesaat setelah terjadi hujan, tekanan air pori di atas permukaan air tanah masih bernilai negatif. Terbukti, tekanan air pori positif masih terbatas pada lapisan jenuh. Pada kondisi peralihan, terjadi perubahan tekanan air pori dari waktu ke waktu. Pada saat satu hari setelah hujan, terjadi kenaikan tekanan air pori negatif seiring dengan kenaikan muka air tanah. Aliran infiltrasi mengarah menuju kaki lereng. Pada periode hujan satu hari muka air tanah sudah mencapai kenaikan maksimal, dapat dilihat pada hari ke dua dan ketiga, muka air tanah tidak mengalami kenaikan. Adanya aliran pada kaki lereng juga mempengaruhi kestabilan muka air tanah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan hujan 70mm/hari, sudah membuat lereng dalam keadaan jenuh maksimal. Bila diperhatikan, muka kenaikan muka air tanah juga terjadi pada badan lereng. Pada eksisting area, pada saat kondisi sangat jenuh air hujan cenderung menjadi aliran permukaan.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa proses infiltrasi hujan yang mengakibatkan pembentukan sebagian zona tekanan air positif di bagian kaki lereng mulai terjadi setelah hujan sehari. Pada hari kedua, proses infiltrasi telah menjenuhkan

sebagian besar lapisan tanah yang permeabel. Dari Gambar 8 dapat diamati bahwa kaki lereng mulai jenuh sampai pada waktu hujan sehari. Selanjutnya, zona tekanan air positif tersebut menyebar ke arah atas lereng, akibatnya lapisan tanah tersebut akan jenuh air. Pada saat tersebut kekuatan lereng akan berkurang dan peristiwa longsor akan terjadi.

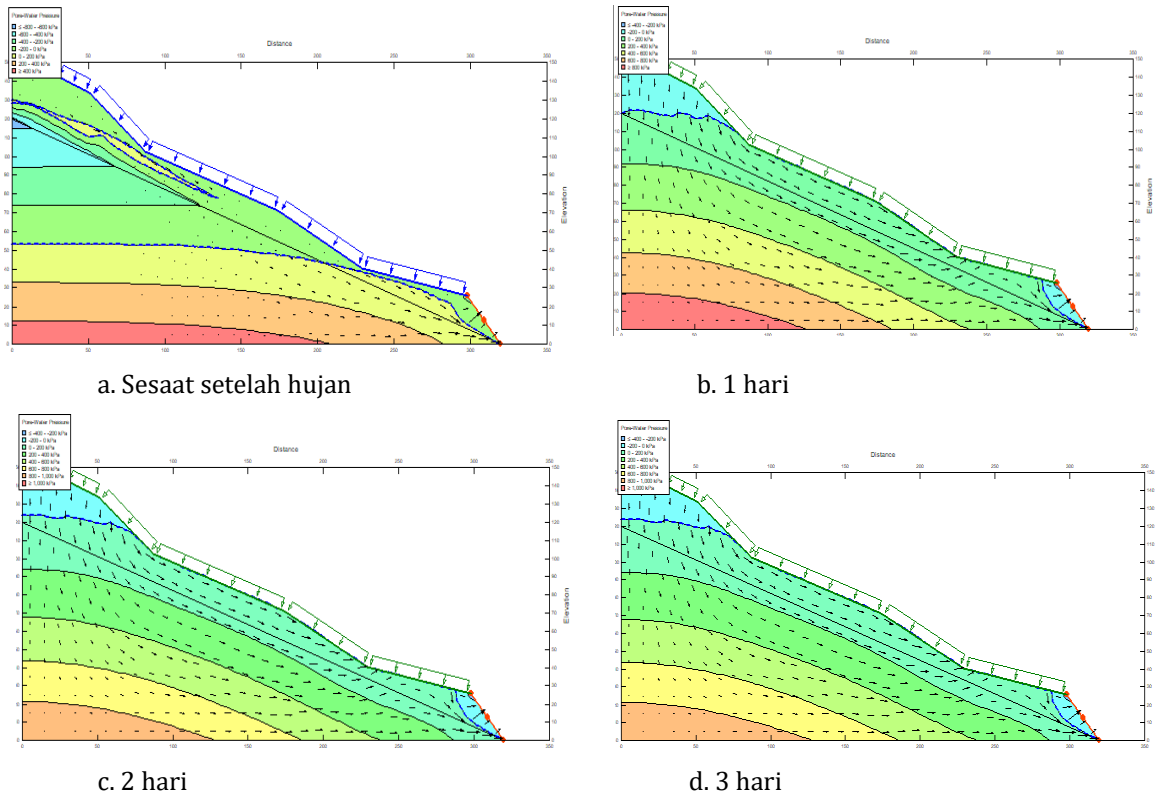
Angka aman Lereng menunjukkan perubahan angka aman dari kondisi *steady state* hingga 3 hari setelah hujan. Pada keadaan ini, nilai angka aman ada pada kondisi aman >1,2. Sedangkan pada akhir hujan satu hari nilai angka aman menurun drastic menjadi 0,775. Pada hujan hari ke dua dan tiga, nilai angka aman tidak berubah. Hal tersebut menunjukkan bahwa hujan satu hari dengan intensitas 70mm/hari sudah dapat memicu longsor. Pengaruh hujan dan waktu terhadap stabilitas lereng dapat dilihat pada table 3. Bila diperhatikan, bidang longsor antara kondisi *steady state* maupun kondisi *transient* tidak memiliki perubahan pada bidang longsor, namun memiliki perubahan pada nilai angka aman. Oleh karena itu, angka aman dalam penelitian ini sangat dipengaruhi oleh infiltrasi hujan yang mengakibatkan kenaikan pada muka air tanah dan penambahan massa air di dalam tanah. Apabila terdapat penjuanan tanah, maka kuat geser berkurang, dalam simulasi ini angka aman lereng menunjukkan posisi tidak stabil. Penurunan kuat geser akan membuat angka aman lereng berkurang



sehingga lereng akan longsor (Rahardjo et al., 2005).

Meningkatnya curah hujan meningkatkan muka air tanah dan mengurangi stabilitas lereng.

Lereng yang direkayasa dengan baik seharusnya tidak gagal karena dirancang untuk muka air yang paling memungkinkan selama hujan deras. Kecuali ketika curah hujan aktual lebih besar dari curah hujan yang dirancang (Sew & Chung, 2016).



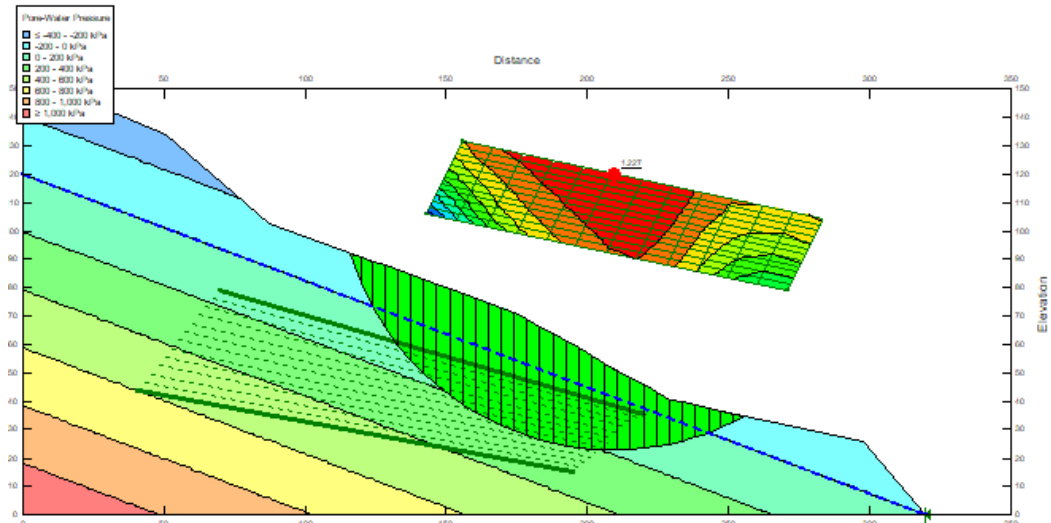
Sumber: hasil pengolahan

**Gambar 8** Hasil Simulasi Infiltrasi Air Hujan Berbanding Waktu

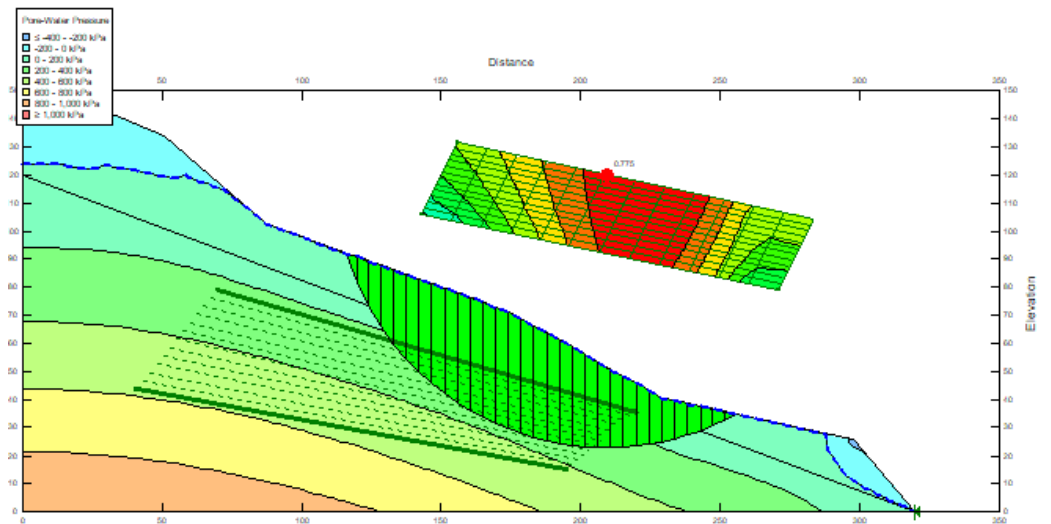
**Tabel 3** Angka Stabilitas Lereng Kondisi Batas Simulasi

Waktu	Nilai FS
Sesaat setelah hujan	1,2
1 hari setelah hujan	0,775
2 hari setelah hujan	0,775
3 hari setelah hujan	0,775

Sumber: hasil pengolahan



Sesaat setelah hujan



1 hari setelah hujan

Sumber: hasil pengolahan

**Gambar 9** Hasil Simulasi Pengaruh Infiltrasi Hujan Terhadap Perubahan Tekanan Air Pori dan Angka Aman Berbanding Waktu. Sesaat Setelah Hujan (Atas), Sehari Setelah Hujan (Bawah).

Untuk meningkatkan stabilitas lereng pada kejadian longsoran tersebut dan menghadapi lereng pada lokasi lain dengan kondisi yang mirip, dapat dilakukan dengan mencegah air masuk dalam lapisan permeabel dan mengeluarkan air di sekitar permukaan lereng. Untuk mencegah air masuk ke dalam lapisan di sekitar permukaan lereng bisa dilakukan pemasangan lapisan semen (*shotcrete*), juga perlu dibuat drainase permukaan. Drainase permukaan berfungsi mengalirkan air ke badan sungai. Dengan adanya drainase permukaan akan dapat mengurangi resapan air ke lereng jalan. Sedangkan untuk mengeluarkan air dari lereng dapat dilakukan dengan pemasangan drainase

horizontal. Pipa drainase horizontal dapat dipasang dengan spasi 5-8m, sehingga mengurangi potensi infiltrasi pada lereng (DPU, 2005).

Memasang sistem peringatan dini sederhana berbasis sensor curah hujan dan partisipasi masyarakat. EWS (*Early Warning Sistem*) sederhana dapat dibuat dengan didasarkan pada ambang batas hujan. Hal ini dapat diatur pada beberapa nilai ambang batas hujan, sehingga bisa disesuaikan dengan karakteristik masing-masing lokasi. Dengan adanya EWS ini akan dapat digunakan untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat terhadap bencana longsor.

Memberikan sosialisasi mengenai kemungkinan terulangnya kondisi longsor yang telah terjadi kepada masyarakat yang terkena bencana dan yang tinggal di daerah rawan longsor. Masyarakat harus senantiasa waspada bila terjadi hujan deras, sehingga harus segera mengungsi ke tempat aman jika mereka tinggal pada daerah rawan longsor tersebut. Perlu dibentuk komunitas masyarakat tangguh bencana, terutama untuk ketahanan terhadap bencana longsor sehingga komunitas masyarakat terkait menjadi awas dan waspada baik terhadap gejala kejadian bencana maupun saat terjadi bencana longsor.

## KESIMPULAN

Infiltrasi hujan berpengaruh besar dalam dalam peningkatan muka air tanah dan penurunan angka aman. Dari hasil pemodelan, pada akhir hujan lereng dalam kondisi stabil. Sehari setelah hujan nilai angka aman menurun drastis menjadi 0.775. Pada hujan hari ke dua dan tiga, nilai angka aman tidak berubah. Hal tersebut menunjukkan bahwa dari hasil pemodelan, hujan satu hari dengan intensitas 70mm/jam sudah dapat memicu longsor. Oleh karena itu, angka aman dalam penelitian ini sangat dipengaruhi oleh infiltrasi hujan yang mengakibatkan kenaikan pada muka air tanah dan penambahan massa air di dalam tanah.

Adanya peningkatan muka air tanah tersebut menambah besarnya tekanan air pori positif di dalam tanah. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa proses infiltrasi hujan yang mengakibatkan pembentukan sebagian zona tekanan air positif di bagian kaki lereng mulai terbentuk sehari setelah hujan terjadi. Selanjutnya, zona tekanan air positif tersebut menyebar ke arah atas lereng, akibatnya lapisan tanah tersebut akan jenuh air. Pada saat tersebut kekuatan lereng akan berkurang dan peristiwa longsor akan terjadi.

Usaha peningkatan stabilitas lereng dapat dilakukan dengan mencegah air masuk dalam pada area rawan longsor, serta mengeluarkan air dari area longsor. Untuk mencegah air masuk ke dalam lapisan di sekitar permukaan lereng bisa dilakukan memberikan lapisan semen (*shotcrete*), serta dengan membuat parit pengarah. Untuk mengeluarkan air dari lereng dapat dilakukan dengan pemasangan drainase horisontal. Pipa drainase horisontal dapat dipasang dengan spasi 5-8m.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Kepala Balai Teknik Sabo atas kesempatan yang diberikan sehingga bisa menyelesaikan makalah ini. Tak lupa kami ucapkan banyak terimakasih kepada teman-teman semua atas bantuan dan kerjasamanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvioli, M. & Baum, R.L. (2016). Parallelization of the TRIGRS model for rainfall-induced landslides using the message passing interface. *Environment Modelling Software*.
- Abramson, L. W., Lee, T., Sharma, S. & Boyce, J. M. (1995). *Slope Stability and Stabilization Methods*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Choudhary, S. K., Singh, R. N., Upadhyay, P. K., Singh, R. K., Choudhary, H. R. & Vijay Pal. (2014). Effect of Vegetable Intercrops and Planting Pattern of Maize on Growth, Yield and Economics of Winter Maize in Eastern Uttar Pradesh. *Environment & Ecology*, 32 (1), 101–105, 2014, ISSN 0970-0420
- Chen-Yuan, C., Chen, T-C., Fan-Chieh, Y. & Sheng-Chi, L. (2005). Analysis Of Time-Varying Rainfall Infiltration Induced Landslide. *Environ Geol*, 48, 466–479.  
[DOI 10.1007/s00254-005-1289-z](https://doi.org/10.1007/s00254-005-1289-z).
- Cheng, Q., Chen, X., Chen X., Zhang, Z. & Ling M. (2010). Water Infiltration Underneath Single-Ring Permeameters and Hydraulic Conductivity Determination. *Journal of Hydrology*, 398, 135 – 143.
- DPU, (2005), PdT-09-2005-B, *Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada tanah residual dan batuan*, Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Fredlund, D.G. & Rahardjo, H., (2012), *Soil Mechanics For Unsaturated Soil*. Singapore: John Wiley & Sons, New York.
- Fredlund, M.D., Fredlund, D.G. & Wilson, G.W. (1993). *Estimation of Unsaturated Soil Properties Using a Knowledge-Based System*. University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask. Canada.
- Geo-Slope International, Ltd. (2017). *Stability Modeling With Geostudio*. Canada: Geo-Slope International, Ltd.
- Hardiyatmo, H.C. (2012). *Tanah Longsor dan Erosi*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

- Iverson R. M. (2000). Landslide Triggering By Rain Infiltration. *Water Resource Research*, Vol. 36, NO. 7, 1897–1910.
- Jeong, S. S., Kim, J. H., Kim, Y. M. & Bae, D H. (2014), Susceptibility Assessment of Landslides under Extreme-Rainfall Events Using hydro-Geotechnical Model; A Case Study of Umyeonsan (Mt.), Korea. *Natural Hazards Earth System*. [www.nat-hazards-earth-syst-sci-discuss.net/2/5575/2014/](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci-discuss.net/2/5575/2014/)
- Kang, N., Kim, S., Kim, Y., Noh, H., Hong, S.J. & Kim, H.S. (2016). Urban Drainage System Improvement for Climate Change Adaptation. *Water*, doi:10.3390/w8070268
- Karnawati D. (2006). Pengaruh Kondisi Vegetasi dan Geologi Terhadap Gerakan Tanah dengan Pemicu Hujan. *Media Teknik No. 3*, 12-22.
- Kim, J., Lee, K., Jeong, S. & Kim, G. (2014). GIS-Based Prediction Method of Landslide Susceptibility Using A Rainfall Infiltration-Groundwater Flow Model. *Engineering Geology Journal volume 82*, 63-76.
- Muntohar, A., & Liao H. J. (2010). Rainfall Infiltration: Infinite Slope Model for Landslides Triggering by Rainstorm. *Natural Hazard Journal 54(3)*, 967-984. DOI: 10.1007/s11069-010-9518-5
- Prasetyaningtiyas, G.A. (2016). *Pengaruh Kejenuhan Tanah Terhadap Stabilitas Lereng Pada Jalan Wanayasa, KM. 70+350, Banjarnegara*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Putra, H. (2014). *Pengaruh Infiltrasi Terhadap Perubahan Parameter Tanah Jenuh Sebagian Dalam Analisis Stabilitas Lereng*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Rahardjo, H.B., Lee, T.T., Leong, E.C. & Rezaur, R., (2005). Response of a residual soil slope to rainfall. *Can. Geotech. J*, 42, h. 340–351  
<https://www.merdeka.com/foto/peristiwa/819002/20170304204923-tanah-longsor-telan-8-mobil-di-sumbar-002-debby-restu-utomo.html>
- Sangseom J, Kwangwoo L, Junghwan Ki, Yongmin K. (2017). Analysis of Rainfall-Induced Landslide on Unsaturated Soil Slopes. *Sustainability 2017, 9*, 1280; doi:10.3390/su9071280  
[www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability)
- Sew, G.S., and Chung, F.C. (2016). *Slope Safety: Factors and Common Misconceptions*. Gue and Partners Sdn Bhd
- Sorbino, G. & Nicotera, M.V. (2013). Unsaturated Soil Mechanics in Rainfall-Induced Flow Landslides. *Engineering Geology Journal volume 165*, 105-132.
- Sun, J. P., Liu, Q.Q., Li, J.C. & An, Y. (2009). Effects of Rainfall Infiltration on Deep Slope Failure. *Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy*
- Yang, X., dan You, X.. (2013). Estimating Parameters of Van Genuchten Model for Soil Water Retention Curve By Intelligent Algorithms. *Appl. Math. Inf. Sci. 7, No. 5*, 1977-1983.