

KONDISI GEOLOGI DAN INFILTRASI TERHADAP ANCAMAN GERAKAN TANAH PADA BATUAN VULKANIK DI KALDERA GUNUNG BATUR

I Nengah Sinarta¹, A.A. Gede Sumanjaya²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No.24 Denpasar
Email: inegahsinarta@gmail.com

ABSTRAK

Pengaruh intensitas curah hujan dan durasi hujan menyebabkan parameter kuat geser tanah menurun serta terbentuknya bidang gelincir pada lapisan dasar yang berupa batuan vulkanik. Terkait kondisi tersebut dilakukan penelitian pengaruh kondisi geologi dan infiltrasi terhadap ancaman bencana tanah longsor dengan lokasi penelitian di sekitar kaldera Gunung Batur, Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli, Provinsi Bali. Kawasan ini sering terjadi bencana tanah longsor terutama pada musim hujan karena di kelilingi oleh perbukitan dengan vegetasi rendah.

Penyelidikan potensi longsor diawali dengan pengambilan sampel di dua titik borhole pada lereng yang memberikan ancaman terbesar terhadap permukiman dan fasilitas umum. Analisis dengan interpretasi terhadap singkapan lereng dan analisis numerik dengan GeoStudio 2012 yang didalam terdapat SEEP/W untuk analisis infiltrasi air hujan selanjutnya dikaitkan dengan SLOPE/W, intensitas curah hujan 125 mm/hari dan durasi hujan 5 jam berdasarkan hasil kajian BMKG Bali pada tanggal 9 Februari 2017.

Batuan vulkanik berupa breksi vulkanik yang ditutupi pelapukan batuan yang telah menjadi lempung atau lanau berada pada ketinggian 500-2000 mdpl, kemiringan lereng 20%-40% memiliki risiko ancaman tinggi. Volume batuan vulkanik di atas 60% akibat adanya infiltrasi air hujan menimbulkan bidang gelincir. Pengaruh curah hujan terhadap infiltrasi faktor keamanannya <1 sudah terjadi pada hujan jam ke 2. Penurunan angka keamanan kritis terjadi antara 0,96 sampai 0,62. Penurunan angka keamanan cukup drastis terjadi pada hujan ke 4 menuju hujan jam ke 5. Kondisi ini akibat dari volume hujan konstan dan tinggi menyebabkan rembesan tinggi ke tanah yang menyebabkan tekanan air pori naik, tanah menjadi jenuh sehingga sudut gesek internal tanah menurun.

Keywords: *Tanah Longsor, Batuan Vulkanik, Curah Hujan, Infiltrasi*

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Kintamani merupakan salah satu kecamatan yang terdapat di Kabupaten Bangli yang mempunyai luas wilayah sebesar 366,92 km², atau sekitar 70,45% dari luas wilayah Kabupaten Bangli dan bahkan merupakan kecamatan terluas di Provinsi Bali (6,51% dari luas wilayah Provinsi Bali). Keunikan kecamatan yaitu memiliki geopark kaldera Batur berukuran sekitar 13,8 × 10 km, dan struktur kaldera lainnya terbentuk di tengahnya dengan diameter 7,5 km dan anak Gunung Batur dengan puncak tertinggi +1.717 m (Bemmelen, 1949).

Berdasarkan data Pusdalop BPBD Provinsi Bali tahun 2014, di Kabupaten Bangli telah terjadi 14 kali bencana longsor atau sekitar 7,33% dari seluruh kejadian gerakan tanah di Pulau Bali (Pusdalop BPBD Provinsi Bali, 2014). Kejadian tersebut sebagian besar terjadi di Kecamatan Kintamani dan kejadiannya terjadi pada awal bulan Januari sampai dengan Maret, yang merupakan bulan-bulan intensitas curah hujan tertinggi terjadi di kawasan tersebut.

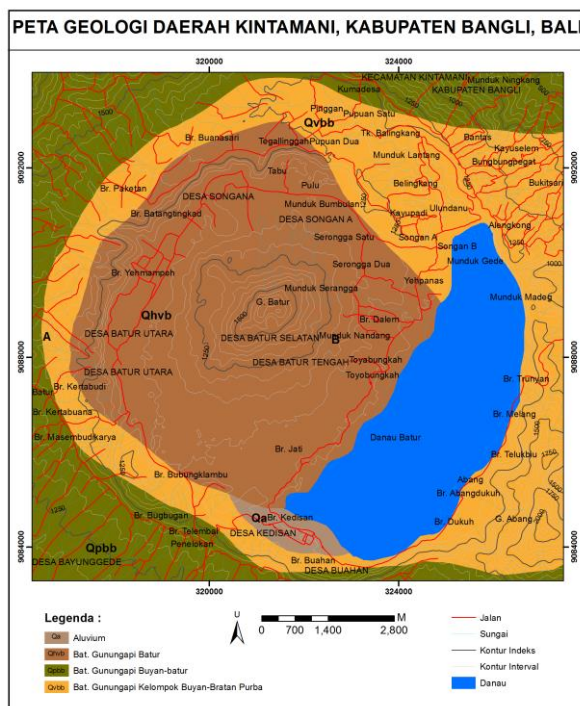
Ancaman gerakan tanah di kawasan geopark Gunung Batur dalam Sinarta dkk., (2016b) menunjukkan bahwa kaldera Gunung Batur berada pada 500 – 2000 mdpl, dengan persentase ancaman tinggi sebesar 11% dan sangat tinggi 9%. Paparan luasan tingkat sangat tinggi sebesar 4216 ha terdapat di puncak Gunung Batur dan puncak serta punggung Gunung Abang dengan dusun rawan paparan yaitu Dusun Trunyan, Dusun Abang Batudinding dan Dusun Buahman dengan jenis longsor berupa aliran debris. Tingkat ancaman tinggi seluas 5232 ha berada di sekitar lereng Gunung Batur dengan jenis longsor berupa jatuhnya batuan, daerah ini merupakan jalur tracking dan area galian-C.

Peta kondisi geologi daerah kaldera Gunung Batur ditunjukkan pada Gambar 1 (a). Berdasarkan peta geologi lembar Bali dalam Hadiwidjojo, Samodra dan Amin (1998), batuan penyusun daerah ini berupa breksi dan lava yang berasal dari kelompok Batuan gunung api Buyan-Bratan Purba (Qpbb), yang terdiri dari tufa dan endapan lahar vulkanik Buyan-Beratan dan Batur yang berumur kwarter atas. Formasi geologi yang berumur kwarter bawah ada di sekeliling Gunung Batur termasuk Gunung Abang yang merupakan batuan muntahan dari gunung berapi Buyan-

Bratan purba serta Batur Purba. Sekitar lereng Gunung Batur terdapat batuan yang berumur lebih muda yang merupakan batuan vulkanik Gunung Batur.

Berdasarkan Peta kontur dan analisa kemiringan lereng untuk Kabupaten Bangli memiliki kemiringan tanah di atas 40% yang sebarannya terutama terdapat pada di seluruh dinding Kaldera Gunung Batur Gambar 1 (b), baik kaldera luar maupun kaldera dalam serta pada beberapa spot kawasan tersebar di wilayah Kecamatan Kintamani lainnya serta di pinggir sungai. Kawasan-kawasan tersebut merupakan kawasan yang termasuk dalam zona kerentanan gerakan tanah tinggi (Sinarta dkk., 2016c). Tingginya bencana tanah longsor di Kecamatan Kintamani telah menyebabkan kerugian besar baik korban jiwa manusia dan harta benda seperti peristiwa bencana tanah longsor yang terjadi pada 10 Februari 2017 di beberapa tempat secara bersamaan yaitu; di Dusun Bantas (Desa Songan B) Gambar 1 (c), Desa Sukawana, Desa Awan, Dusun Yeh Mampeh, Desa Subaya. Peristiwa bersama tersebut terjadi akibat curah hujan ekstrim selama 3 hari pada tanggal 9 – 11 Februari 2017 dengan intensitas hujan 218,7-288 mm/hari (Tim Analisa Stasiun Klimatologi Jembrana, 2017).

Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan analisis teknis terhadap potensi ancaman bencana tanah longsor akibat pengaruh litologi batuan dan akibat pengaruh intensitas curah hujan di Kecamatan Kintamani. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan Informasi sebagai usaha mitigasi bencana alam tanah longsor dalam penanggulangan dan pencegahan bencana untuk dijadikan pedoman pemerintah dan masyarakat dalam penataan wilayahnya.



(a) Peta geologi Kec.Kintamani



(b) Situasi geomorfologi



(c) Bencana Tanah longsor di Dusun Bantas

Gambar 1. Kondisi litologi dan Lingkungan Kaldera Gunung Batur

2. TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum terdapat dua tipe hujan pemicu longsor di Indonesia, yaitu: (1) tipe hujan lebat, biasanya dapat mencapai 70 mm/jam atau lebih dari 100 mm/hari. Premchit (1995) dalam Karnawati (2005); (2) tipe hujan normal tapi berlangsung lama, merupakan hujan yang terjadi kurang dari 20 mm/hari. Tipe hujan lebat hanya akan efektif memicu longsor pada lereng-lereng yang tanahnya mudah menyerap air seperti misalnya pada tanah lempung pasir dan tanah pasir (Karnawati 1997, 2000). Intensitas hujan rata-rata sebesar 125 mm/hari dengan durasi 5 jam berpengaruh terhadap besarnya infiltrasi yang menyebabkan keruntuhan lereng (Sinarta dkk., 2017)

Kandungan abu vulkanik akibat erupsi gunung berapi yang mengandung silika dan telah terikat dengan lapukan batuan jika bercampur air berpotensi mempercepat terjadinya gerakan tanah (Latif dkk., 2016). Karakteristik matriks tanah lempung jenuh berkontribusi pada kecepatan gerakan dan jarak jangkauan longsor pada daerah batuan vulkanik

dan terdapat 2 karakteristik longsor yang ditemukan yaitu: (1) penurunan tanah/amblesan (*subsidence*); (2) aliran material (Debris flow) sehingga menimbulkan cerukan pada lereng terjal (Sinarta dkk., 2016).

Verstappen (2014), Zulmi dkk., (2015), interpretasi terhadap peta topografi memperlihatkan bahwa daerah perbukitan dengan relief halus hingga kasar dengan kemiringan landai hingga terjal (0 - 70%) pada ketinggian 0-1380 meter di atas permukaan laut terutama pada tebing-tebing sungai yang memiliki kemiringan yang terjal (> 70%) batuanannya terdiri dari batuan-batuan sedimen (pasir kompak dan konglomerat) dan batuan vulkanik tua yang terdiri dari breksi gunung api, lava, tufa yang bersifat keras dan kompak, tingkat erosi permukaannya jika intensitas hujan di atas 100 mm/hari dengan durasi hujan panjang.

Sutawidjaja (2009) dalam penelitiannya menyebutkan Kaldera Batur yang terletak di bagian timur laut Pulau Bali, merupakan sebuah struktur runtuh berbentuk elips berukuran 13,8×10 km, dengan struktur runtuh lainnya yang berbentuk melingkar di bagian pusatnya, dan berdiameter 7,5 km. Pembentukan kedua runtuh tersebut diselingi oleh erupsi lava andesit silikaan dan pembentukan kubah-kubah lava andesitis.

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas, metode ini menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, metode ini juga dikenal dengan metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa bagian. Metode ini dianalisis dalam kondisi keseimbangan gaya, seperti berikut: (1) keseimbangan gaya pada arah vertikal (atau arah tegak lurus bidang gelincir); (2) keseimbangan gaya pada arah horisontal (atau arah sejajar bidang longsor); (3) keseimbangan momen pada satu titik tertentu (Furuya, 2004). Adapun maksud analisis stabilitas adalah menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Metode keseimbangan plastis batas (limit plastic equilibrium) terdapat tiga asumsi yaitu: (1) kelongsoran terjadi di sepanjang bidang longsor tertentu dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi; (2) massa tanah yang longsor dianggap sebagai bidang masif; (3) kuat geser dianggap isotropis dimana faktor aman memperhatikan tegangan geser dan kuat geser rata-rata. (Abramson dkk., (2002), (Hardiyatmo, 2012).

Geostudio merupakan software di bidang geoteknik yang dikembangkan dari Kanada. Dalam penelitian ini program ini dipakai untuk menganalisa stabilitas lereng. Menganalisa stabilitas lereng pada program ini kita menggunakan Slope/W, adapun metode yang digunakan di dalam program ini adalah Metode Limit Plastic Equilibrium. Pada Slope/W terdapat beberapa metode keseimbangan batas, diantaranya yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Bishop, Ordinary, Janbu dan Morgenstern-Price. (GEO-SLOPE International, 2010).

Persamaan untuk aliran air di dalam tanah yang digunakan pada perangkat lunak SEEP/W untuk analisis lengkap transien dua dimensi dan rembesan adalah:

$$m_w^2 \gamma_w \frac{\partial h_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(-k_{wx} \frac{\partial h_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-k_{wy} \frac{\partial h_w}{\partial y} \right) + q \quad (1)$$

where m_w^2 = slope soil-water relationship characteristic curves; γ_w = unit weight of water; h_w = total head; k_{wx} = soil permeability coefficient of water in the x-direction; k_{wy} = soil permeability coefficient of water in the y-direction; q = flux boundary; t = time.

Dua parameter tanah penting yang digunakan dalam analisis SEEP/W adalah fungsi koefisien permeabilitas tanah dan Soil Water Characteristic Curve (SWCC). Persamaan kekuatan geser untuk tanah tak jenuh yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng, SLOPE/W, ditunjukkan sebagai Persamaan 2. Persamaan ini umumnya menggabungkan kekuatan geser tanah sebagai akibat tekanan air pori negatif dan suction tanah tak jenuh. Untuk mendapatkan faktor keamanan (SF) dalam analisis SLOPE/W, digunakan metode Morgenstern-Price.

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_w) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (2)$$

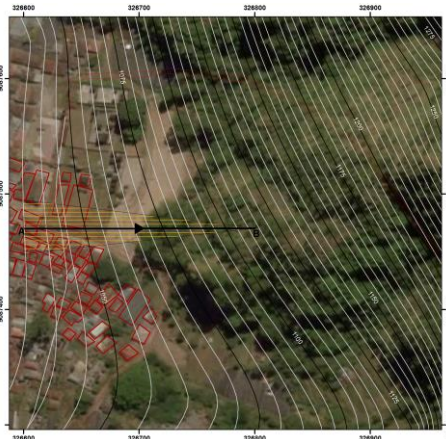
where τ = unsaturated soil shear strength; c' = cohesion; σ_n = total normal stress; u_a = pore air pressure; ϕ = internal friction angle; u_w = pore-water pressure; $(u_a - u_w)$ = matrix suction.

3. METODELOGI

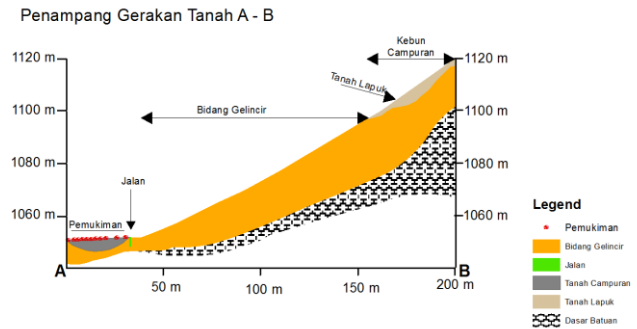
Penelitian ini melakukan interpretasi terhadap singkapan batuan dan analisis kondisi geomorfologi merupakan rangkaian penjelasan terhadap kenampakan situasi dan kondisi morfologi sesungguhnya pada daerah penelitian yang terekam sebagai akibat dari proses-proses geologi yang pernah terjadi pada masa lampau ataupun sekarang. Analisis stabilitas lereng dengan Metode *Limit Equilibrium* dengan bantuan program Slope/W dan Seep/W dalam Geostudio 2012, berdasarkan data lapangan dan dibandingkan dengan kondisi di lapangan dimana sebuah lereng mengalami keruntuhan yaitu nilai faktor keamanan mendekati 1. Penelitian yang dilakukan hanya meninjau nilai faktor keamanan, akibat dari infiltrasi air hujan.

Data curah hujan berdasarkan analisis curah hujan ekstrim di Kintamani (Bangli) tanggal 9 Februari 2017 oleh BMKG Jembrana-Bali. Intensitas hujan yang terjadi saat itu rata-rata terbesar sebesar 125 mm/hari dengan durasi 5 jam. Analisa infiltrasi dengan memodelkan rembesan kedalam tanah akibat pengaruh hujan digunakan metode numerik, program SEEP/W dari Geostudio.

Pengambilan sampel dilaksanakan pada tanggal 5 Februari 2017 di Desa Terunyan Kecamatan Kintamani (Gambar 2,a) dibantu oleh tim dari laboratorium mekanika tanah jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Warmadewa. Penyelidikan sampel dilakukan pada lereng yang terdekat dengan permukiman penduduk dan fasilitas umum. Kedalaman muka air tanah yang diperhitungkan dalam stabilitas lereng adalah kondisi pada saat pengambilan sampel, sedangkan posisi kedalaman air tanah berdasarkan rembesan air pada lereng.



(a) Kontur dan titik pengambilan sampel



(b) Penampang lapisan tanah

Gambar 2 Lokasi pengambilan sampel

Hasil pengujian beberapa parameter fisik tanah terhadap masing-masing sampel didasarkan atas deskripsi penyelidikan profil tanah (*geological drill log*) di lapangan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik dan mekanis sampel tanah

Kedalaman (m)	Jenis tanah	(w) (%)	(G_s)	(γ_b) kN/m ³	(c) kN/m ²	(ϕ) ^o	k_s
B1							
0 – 2,5	Lanau berlempung	25,57	2,65	16,8	8,3	30	2,23 10 ⁻⁵
2,5 - 6	Lempung berlanau berkerikil	32	2,74	21,5	24	33	2,34 10 ⁻⁵
6 -	Breksi Vulkanik	43	2,64	19,4	22	45	0,06 10 ⁻⁵
B2							
0 – 2	Lanau berpasir	25,57	2,65	16,8	8,3	30	2,23 10 ⁻⁵
3,5 – 6	Lempung berlanau berkerikil	32	2,74	21,5	24	33	2,34 10 ⁻⁵
6 -	Breksi Vulkanik	43	2,64	19,4	22	45	0,06 10 ⁻⁵

Analisis numerik dilakukan dengan menggunakan parameter fisik tanah disesuaikan dengan data hasil pengukuran geometri di wilayah Desa Terunyan, selanjutnya dilakukan pemotongan kontur seperti Gambar 2.b untuk mengetahui geometri lereng yang akan dianalisis pada program GeoStudio 2012. Gambar 2b. adalah model geometri untuk simulasi GeoStudio 2012 pada setiap jenis lapisan tanah di Desa Terunyan untuk dapat di analisa dalam GeoStudio 2012.

Analisis litologi batuan dilakukan berdasarkan interpretasi terhadap singkapan lereng disekitar daerah penelitian. Analisis stabilitas lereng menggunakan Morgenstern-Price dengan kondisi pore-water pressure yang diambil dari hasil analisis SEEP/W. Selanjutnya analisis angka keamanan menggunakan SLOPE/W untuk mengetahui besar nilai faktor keamanan. SLOPE/W memiliki 3 program eksekusi, yaitu: Define untuk mendefinisikan model lereng, Solve untuk menganalisa perhitungan dan Contour untuk menampilkan hasil analisa. Hasil ini diharapkan dapat menyelesaikan masalah-masalah geoteknik yang berhubungan dengan kestabilan tanah atau lereng

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis Peta Geologi lembar Bali-Nusa Tenggara ditinjau dari umur bahwa formasi geologi yang berumur Kuartar Bawah ada di sekeliling Gunung Batur termasuk Gunung Abang yang merupakan batuan muntahan dari gunung berapi Buyan - Bratan Purba serta Batur Purba. Batuan yang berumur Miosen Bawah sampai atas diperkirakan ada di sekitar Daerah Kubu yang terdiri dari breksi gunung api, lava, tufa dengan sisipan batuan gamping merupakan Formasi Ulakan (Formasi tertua di Bali).

Pengamatan visual dan interpretasi seperti Gambar 3, menunjukkan singkapan lereng bahwa sekitar lereng Gunung Batur terdapat batuan yang berumur lebih muda yang merupakan batuan vulkanik Gunung Batur, sehingga mempunyai potensi bahan galian batu andesit, batu lahar maupun pasir. Sekitar tepi Tenggara Danau Batur terdapat endapan colovium.

Kenampakan lapangan satuan ini, memberikan kenampakan yang masih *fresh* (Gambar 3 a,b), namun terdapat pula kenampakan yang telah mengalami pelapukan (Gambar 3 c) dimana rata-rata bongkahan-bongkahan batuan Breksi Andesit memiliki volume di atas 60% terhadap batuan pelapukan atau tanah endapan. Breksi Andesit yang mengalami pelapukan menghasilkan retakan retakan intensif pada arah horizontal.



(a) Singkapan lereng di Desa Songan (b) Singkapan lereng di Desa Songan (c) Singkapan pelapukan batuan

Gambar 3. Singkapan lava andesit/breksi andesit dan pelapukan.

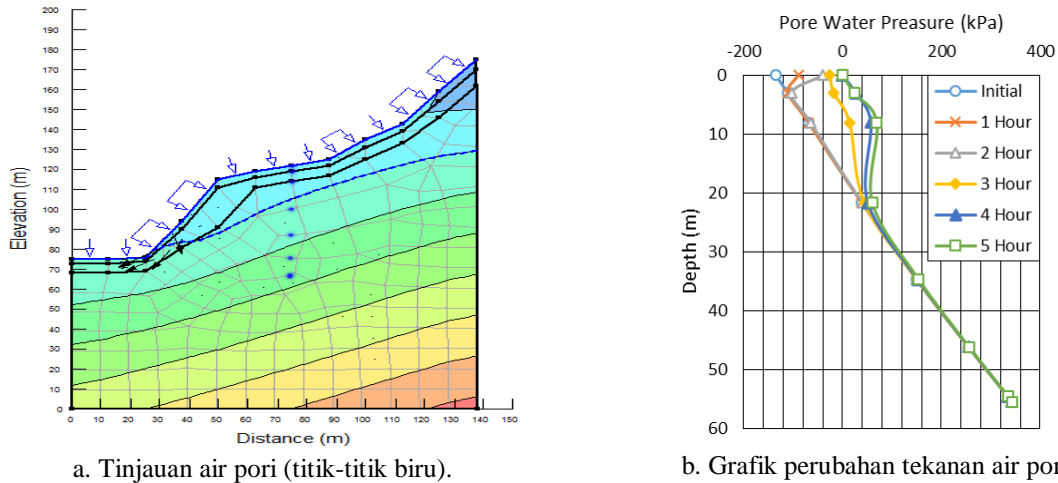
Berdasarkan pengamatan titik-titik longsor terjadi pada kemiringan lereng di atas 45° seperti pada Gambar 4. Bencana tanah longsor terjadi pada Bulan Februari akibat intensitas hujan tinggi dan durasi panjang, sehingga terjadi infiltrasi ke dalam tanah melalui retakan dan ruang antar pori. Infiltrasi menyebabkan tanah jenuh air sehingga tekanan air pori meningkat dan menurunkan parameter kuat geser tanah. Akibat batuan dasar berupa lava andesit atau breksi andesit dan akibat masuknya air hujan membentuk bidang gelincir antar batuan menyebabkan tanah pelapukan di atasnya menjadi tidak stabil.



(a) Bencana longsor di Desa Kedisan (b) Bencana longsor di Desa Terunyan

Gambar 4. Bencana tanah longsor.

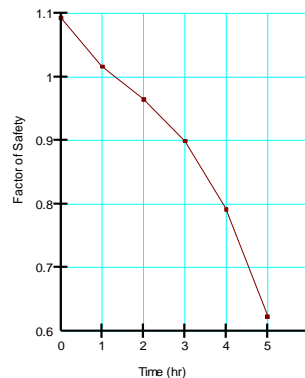
Analisis infiltrasi menggunakan program SEEP/W, diperoleh perubahan tekanan air pori pada setiap jam hujan yang terjadi. Tinjauan perubahan tekanan air pori seperti Gambar 5a, kemudian diplotkan pada grafik perubahan tekanan air pori versus kedalaman untuk setiap jamnya seperti pada Gambar 5.b. Secara umum terdapat kecenderungan perubahan tekanan air pori yang sama pada setiap jam hujan.



Gambar 5. Perubahan tekanan air pori.

Gambar 5b terjadi perubahan tekanan air pori pada kondisi steady state diawali relatif linier, kemudian perilaku nonlinier terjadi pada jarak 3-21 m yang merupakan jarak bidang gelincir terhadap titik kontrol. Tekanan air pori negatif masih terjadi pada hujan 1 jam, karena infiltrasi belum mencapai kedalaman kritis, sehingga tanah masih dalam kondisi jenuh sebagian. Sedangkan hujan 2 jam sampai 5 jam tekanan air pori menuju positif menunjukkan kondisi jenuh atau kritis pada bagian bidang gelincir. Ketika tanah sudah mulai jenuh, hujan yang terjadi akan cenderung menjadi aliran permukaan karena tanah sudah tidak mampu lagi menyerap air.

Analisis numeris selanjutnya terhadap penampang lereng dengan sifat fisis dan mekanis tanah dengan program SLOPE/W untuk analisa keruntuhan lereng. Hasil perhitungan kemudian di buat dalam bentuk grafik hubungan antara angka keamanan dengan lama hujan seperti pada Gambar 6, dan nilai angka keamanan pada setiap waktu perubahan tekanan air pori seperti Gambar 5.



Gambar 6. Hubungan antara Angka Keamanan dan Waktu Hujan

Gambar 6 menunjukkan dengan intensitas curah hujan harian 125 mm/hari tertinggi dalam durasi hujan selama 5 jam, terjadi penurunan angka aman <1 pada jam ke 2. Penurunan angka keamanan selanjutnya terjadi akibat durasi hujan makin panjang dimana penurunan terjadi antara 0,96 sampai 0,62. Kondisi ini akibat dari volume hujan yang konstan dan tinggi menyebabkan rembesan tinggi ke tanah. Air ini mengisi kekosongan tanah dan menyebabkan tekanan air pori meningkat.

5. KESIMPULAN

Pegunungan ketinggian 500–2000 mdpl dengan kemiringan lereng berkisar antara 21% sampai dengan 40% dan lereng tersusun batuan vulkanik baik dalam bentuk lava vulkanik atau breksi vulkanik, memiliki risiko terjadi bencana tanah longsor dangkal dan longsor bahan rombakan. Batuan breksi vulkanik terdiri dari bongkahan-bongkahan dengan volume di atas 60% dari jumlah tanah dengan akibat infiltrasi air menyebabkan terbentuknya bidang gelincir antar batuan yang menyebabkan larutnya tanah dan menyebabkan longsoran rombakan.

Intensitas hujan harian tertinggi sebesar 125 mm/hari di analisis dalam durasi lima jam berpengaruh terhadap besarnya infiltrasi yang menyebabkan keruntuhan lereng. Semakin tinggi infiltrasi yang terjadi, terjadi perubahan tekanan air pori akan semakin besar dan durasi makin panjang menyebabkan genangan atau limpasan permukaan

yang menyebabkan banjir bandang. Hasil penelitian pada lereng yang memiliki kemiringan sekitar 40°-45°, pengaruh infiltrasi sangat signifikan terhadap kestabilan lereng dari kondisi lereng masih kering atau steady state menuju jenuh, perubahan pada durasi 1 jam hujan sebesar 1.093 menjadi 1.060. Sementara itu pada kondisi lereng yang mendekati kondisi jenuh pada hujan jam ke 2 menuju jam ke 5, pengaruh infiltrasi yang terjadi sangat signifikan, yaitu menjadi dari 0,965 sampai 0,623.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S. and Boyce, G.M., 2002. *Slope Stability and Stabilization Methods*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Bemmelen, R.W.V., 1949. *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Batavia: Government Printing Office, The Hague 1949.
- Furuya, T., 2004. Review and comparison of limit equilibrium methods of slices for slope stability analysis. *Bulletin of the National Institute for Rural Engineering*, 43, pp.1–22.
- GEO-SLOPE International, 2010. Seepage Modeling with SEEP/W 2007. *Geostudio Helpfile*, (February), p.307.
- Hadiwidjojo, P.M., Samodra, H. and Amin, T., 1998. *Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara*. Bandung.
- Hardiyatmo, H.C., 2012. *Tanah Longsor dan Erosi: Kejadian dan Penanganan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Karnawati, D., 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Yogyakarta: Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Latif, D.O., Rifa'i, A. and Suryolelono, K.B., 2016. Chemical Characteristics Of Volcanic Ash In Indonesia For Soil Stabilization: Morphology And Mineral Content. *International Journal of Geomate*, 11(26), pp.2606–2610.
- Pusdalop BPBD Provinsi Bali, 2014. *Laporan Kejadian Bencana Provinsi Bali 2010-2014*. Denpasar.
- Sinarta, I.N., Rifa'i, A., Fathani, T.F. and Wilopo, W., 2016a. Geotechnical Properties and Geologi Age on Characteristics of Landslides Hazards of Volcanic Soils in Bali , Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 11(26), pp.2595–2599.
- Sinarta, I.N., Rifa'i, A., Fathani, T.F. and Wilopo, W., 2016b. Indeks Ancaman Gerakan Tanah Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Untuk Penataan Infrastruktur Kepariwisata Di Kawasan Geopark Gunung Batur, Kabupaten Bangli, Bali. *Seminar Nasional KonsepSi#2 (Konsep dan Implementasi 2)*, 1, pp.110–120.
- Sinarta, I.N., Rifa'i, A., Fathani, T.F. and Wilopo, W., 2016c. Pemetaan Ancaman Gerakan Tanah berdasarkan Indeks Stabilitas pada ekstensi SINMAP di Kabupaten Bangli , Bali. *SEMINAR NASIONAL GEOTEKNIK 2016 HATTI Yogyakarta*, 1.
- Sinarta, I.N., Rifa'i, A., Fathani, T.F. and Wilopo, W., 2017. Landslide Hazards Due To Rainfall Intensity in the Caldera of Mount Landslide Hazards Due To Rainfall Intensity in. *The 1st Warmadewa University International Conference on Architecture and Civil Engineering Sustainability, Design And Culture 20th October 2017, Faculty of Engineering, Warmadewa University, Bali LANDSLIDE*, 1, pp.160–167.
- Sutawidjaja, I.S., 2009. Ignimbrite Analyses of Batur Caldera , Bali , based on 14 C Dating. *Indonesian Journal on Geoscience*, [online] 4(3), pp.189–202. Available at: <<http://ijog.bgl.esdm.go.id>>.
- Tim Analisa Stasiun Klimatologi Jemberana, 2017. *Analisis Banjir Bandang dan Tanah Longsor Di Sekitar Bedugul (Buleleng) dan Kintamani (Bangli) Tanggal 9 Februari 2017*. Negara, Jemberana.
- Verstappen Th, H., 2014. *Garis Besar Geomorfology Indonesia*. edisi:2 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Zulmi, A.P.P., Wati, D.L., Muhajir, M.A. and Assidiqy, M.R., 2015. *Struktur Geologi Bali Dan Nusa Tenggara*.