



ISSN 2985-7007



PROSIDING

KoNTeks16

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke - 16

"Resilience of Construction Industry In Post - Pandemic Era"

GRAND INNA KUTA - BALI,
27-28 OKTOBER 2022



DI DUKUNG OLEH



EDITOR : PUTU IKA WAHYUNI

VOLUME 16





GT-18

NILAI RESISTIVITAS DAN STRUKTUR BATUAN VULKANIK PASCA GEMPA DI
KALDERA GUNUNG BATUR SERTA USAHA MITIGASII Nengah Sinarta^{1,2*}, Kadek Windy Candrayana², A.A. Gede Sumanjaya²^{1*}Program Studi Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No. 16, Denpasar*e-mail: inengahsinarta@gmail.com²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No. 24, Denpasare-mail: windy.candrayana@gmail.come-mail: agung.suman31@gmail.com

ABSTRAK

Gempa tektonik tanggal 16 Oktober 2021 menyebabkan terjadinya longsor dengan dua korban jiwa dan kerusakan rumah warga, terputusnya akses jalan, tepatnya di Dusun Cemara Landung. *Debris flow* dan *Rock fall* terjadi berlanjut pada ruas jalan menuju Dusun Terunyan. Penelitian untuk mengetahui pemicu longsor dilakukan dengan uji geolistrik dan foto udara dengan drone. Pengamatan profil tanah dilakukan alat geolistrik metode *Wenner*. Analisis dan kajian ini menghasilkan korelasi antara pemetaan morfologi longsor dan kondisi lapisan tanah dan batuan, sebagai acuan pemicu longsor akibat gempa dan usaha mitigasi selanjutnya bagi masyarakat sekitar kaldera Gunung Batur. Kajian menunjukkan penumpukan material tanah endapan jenuh pada patahan lereng dan lembah dangkal, adanya sesar pada lereng pengamatan dan foto udara. Pengamatan dengan Geolistrik menunjukkan nilai resistivitas didominasi nilai resistivitas berkisar 516 - 252 Ω m, dipermukaan nilai resistivitas tinggi berupa batuan lepas nilai resistivitas 788 - 2168 Ω m, dan terdapat patahan lereng dengan endapan pasir dan lanau dengan nilai resistivitas rendah 29,2 - 111 Ω m. Kajian pemicu longsor akibat gempa karena adanya patahan serta lembah dangkal dengan material jenuh air, serta endapan tipis sekitar 1,5- 2 m diatas *bed rock*. Lapisan tanah berupa pasir, batu pasir, dan andesit dengan kepadatan yang berbeda-beda cenderung lepas. Sebagai daerah tujuan wisata untuk menjaga keamanan dan kenyamanan turis perlu usaha mitigasi bencana tanah longsorsor dengan non struktural melalui edukasi kepada masyarakat dan pelaku pariwisata. Mitigasi struktural tetap mengedepankan sisi estetika dan alami seperti membangun konstruksi cekdam, dinding penahan tanah alami dan konstruksi *rock fence* dari jaring bambu.

Kata kunci: Kaldera Batur, Gempa, *Debris flow*, Resistivitas, Mitigasi

1. PENDAHULUAN

Kaldera Batur yang terletak di bagian timur laut Pulau Bali, merupakan sebuah struktur runtuh berbentuk elips berukuran $13,8 \times 10$ 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. Runtuh pertama yang terjadi sekitar 29.300 tahun lalu, diawali oleh erupsi 84 km^3 *ignimbrit dasit*, disebut "*Ignimbrit Ubud*" dan menyebabkan terbentuknya depresi sedalam 1 km. Ignimbrit kedua, yang disebut sebagai "*Ignimbrit Gunungkawi*", di erupsi melalui sebuah kawah besar sekitar danau sekarang, dan memuntahkan 19 km^3 *Ignimbrit Dasit* yang sama pada 20.150 tahun lalu. Erupsi kedua ini memicu terbentuknya runtuh di bagian pusat, dan membentuk sebuah cekungan yang membentuk Danau Batur (Watanabe et al., 2010). Kaldera Batur terlihat dari aktifitas geothermal dalam kaldera yang membentuk beberapa kerucut oleh tanah yang tebal akibat pelapukan batuan vulkanik dan tanah humus dari vegetasi. Terbentuknya kaldera tersebut adalah salah satu bahaya alam yang disebut erupsi Plinian dengan informasi ilmiah yang cukup kita mungkin dapat mengurangi geohazard yang sangat langka akan mungkin terjadi lagi dan akan memberikan dampak yang sangat besar.

Gerakan tanah didefinisikan sebagai perpindahan material pembentuk lereng, berupa batuan, bahan timbunan, tanah, atau material campuran yang bergerak ke arah bawah dan keluar lereng. Faktor pemicu kejadian longsor umum adalah kondisi alam yaitu kemiringan lereng yang curam, tetapi ada faktor dominan lainnya yaitu; curah hujan, pelapukan batuan, rekahan permukaan, dan gempa bumi (Dragičević et al., 2014). Analisis spasial berdasarkan infiltrasi dan analisis stabilitas lereng pada lereng tak berhingga menunjukkan bahwa: (1) Intensitas hujan 48,2–49,1 mm/hari (9–13 hari), nilai SF = 2,65–1,82 (ancaman rendah); (2) Intensitas hujan 87,32–92,27 mm/hari (6 – 7 hari), SF = 2,13–1,39 (ancaman sedang); (3) Intensitas hujan 155,375–210,114 mm/hari (6 hari), SF = 1,79–1,03 (ancaman tinggi). Hujan dengan intensitas 155,38–210,11 mm/hari, menyebabkan ancaman gerakan tanah sangat tinggi, akibat kenaikan muka air pada lapisan tanah tanah bergradasi kasar membentuk bidang gelincir pada kedalaman 804–1,484 mm,

dengan nilai angka keamanan sebesar 1–1,03 dalam hal menyebabkan bencana tanah longsor rombakan (*debris flow*) (Sinarta.I.N et al., 2020). Faktor pengontrol merupakan faktor alam pada masing-masing daerah yang dapat mengkondisikan lereng stabil menjadi rentan atau siap bergerak. Pergerakan lereng akan terjadi apabila terdapat gangguan, baik secara alamiah maupun non alamiah seperti: (1) kondisi geomorfologi; (2) kondisi litologi atau tanah/batuan penyusun lereng; (3) kondisi struktur geologi; (4) kondisi hidrologi lereng; (5) Kondisi tata guna lahan.(Karnawati, 2005).

Penelitian sebelumnya menunjukkan di sekitar lereng kaldera Gunung Batur memiliki ancaman gerakan tanah sangat tinggi, dimana dengan analisis ekstensi Sinmap terdapat 208 titik longsor (I Nengah Sinarta et al., 2016b). Berdasarkan analisa metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) potensi gerakan tanah di kawasan geopark Gunung Batur yang berada pada 500 – 2000 mdpl, dengan persentase ancaman tinggi sebesar 11% dan sangat tinggi 9%. (Sinarta I.N et al., 2016a). Bagian dari kaldera Gunung Batur yaitu lereng Gunung Abang memiliki kemiringan lereng lebih dari 40% dan litologi batuan vulkanik yang telah lapuk yang terdiri dari breksi vulkanik, dan breksi tufaan dalam kondisi agak lapuk hingga lapuk sedang dan pasir berlempung dengan batuan vulkanik, dimana rata-rata bongkahan-bongkahan batuan breksi andesit mengalami pelapukan memiliki volume di atas 60% terhadap batuan pelapukan atau tanah endapan sehingga pada curahujan efektif rata-rata pada 10-50 tahun sebesar 238 mm/hari akan menyebabkan larutnya lapisan permukaan tanah yang memicu longsor rombakan (Sinarta.I.N et al., 2021).

Berdasarkan informasi BMKG, Sabtu tanggal 16 Oktober 2021, pukul 03:18:23 WIB dengan *magnitudo* (M 4,8), pusat gempa bumi terletak di darat dikedalaman 10 km, koordinat 115,45° BT dan 8,32° LS, berjarak sekitar 18,4 km timur laut Kota Bangli, Kabupaten Bangli. Berdasarkan data dari BPBD, dampak kejadian gempa bumi tercatat 2 orang meninggal dunia, 3 orang korban luka berat, dan 5 orang luka ringan, kerusakan rumah warga berjumlah 44 unit, tempat ibadah milik pribadi sebanyak 28 unit, fasilitas umum milik masyarakat 3 unit, dan fasilitas milik pemerintah berjumlah 3 unit. Sebagai daerah tujuan wisata dampak lainnya berupa bahaya ikutan yaitu gerakan tanah dan retakan tanah, longsor batuan, sebaran lokasi gerakan tanah terdapat di beberapa lokasi, yaitu pada dinding Kaldera Batur, sepanjang akses jalan menuju Desa Trunyan di Kecamatan Kintamani. Usaha mitigasi untuk kemandirian dan kenyamanan pelancong perlu dipikirkan untuk perlu dilakukan secara menyeluruh untuk mengurangi dampak investasi (Sinarta I.N, 2021).

Menindaklanjuti kejadian tersebut dilakukan penelitian pasca gempa sebagai usaha mitigasi baik struktural maupun non struktural terhadap ancaman longsor di sekitar Kaldera Gunung Batur dilakukan investigasi struktur geologi yang dapat menunjukkan ketidakstabilan kekompakan batuan, sehingga kemungkinan terjadi longsor susulan. Survei awal atau kajian khusus untuk mendapatkan informasi kondisi bawah permukaan tanah yang sesuai dengan kriteria diatas dengan melakukan foto udara dan. Penyelidikan lapisan lereng untuk mendeteksi lapisan tanah dan patahan batuan dengan metode geolistrik, khususnya tahanan jenis dengan konfigurasi Wenner (Cozzolino et al., 2018).

2. METODE PENELITIAN

Investigasi gerakan tanah dilakukan pada dusun yang terisolir pasca gempa yang terjadi pada 16 Oktober 2021. Dusun yang ditinjau adalah Dusun Terunyan, Dusun Cemara Landung, dan Dusun Dukuh (Abang Batu Dinding), peristiwa menyebabkan korban jiwa dan kerusakan rumah warga serta terputusnya akses menuju Terunyan. Berdasarkan peta zona kerentanan gerakan tanah Pulau Bali oleh Djaja, 2007 menunjukkan ke 3 dusun masuk ke dalam Zona kerentanan gerakan tanah tinggi (Sinarta.I.N, 2018).

Metode survey menggunakan drone untuk pengambilan foto udara sehingga dapat mengetahui area longsor serta kondisi tebing pada bagian atas yang sulit dijangkau dengan treking. Survey juga dilakukan dengan mengamati batuan serta kondisi tanah secara visual sebagai identifikasi awal kerapuhan batuan yang terjadi. Lokasi survey dan investigasi gerakan tanah dilakukan pada dusun yang terisolir pasca gempa yang terjadi pada 16 Oktober 2021. Dusun yang ditinjau adalah Dusun Terunyan, Dusun Cemara Landung, dan Dusun Dukuh (Abang Batu Dinding). Berikut adalah sebaran titik lokasi survey yang dilakukan seperti pada Gambar 1a.



Gambar 1 Sebaran lokasi titik survey

Gambar 1b. Menunjukkan kondisi lereng yang terjal dengan tanah berupa lanau berpasir dengan batuan breksi vulkanik lepas akibat adanya gempa menyebabkan lahan labil sehingga longsoran terjadi melalui lembah dangkal akibat tanah endapan yang jenuh air. Kondisi titik utama penelitian di Dusun Cemara Landung adalah dusun yang mengalami longsor sehingga menyebabkan adanya korban jiwa. Gambar 2. adalah kejadian longsor bahan rombakan yang menyebabkan korban terjadi pada titik-5. Titik-5 merupakan posisi longsor yang menyebabkan korban sebanyak 2 orang. Longsor pada titik ini terjadi 30 menit pasca gempa yang terjadi.



Gambar 2 Kondisi longsor titik-5

Penelitian terhadap nilai resistivitas tanah berlokasi di Dusun Teruyan Banjar Cemara Landung yang rawan mengalami kelongsoran seperti terlihat pada Gambar 3. Identifikasi gerakan tanah dilakukan dengan menggunakan metode Geolistrik dengan konfigurasi wenner alfa sebanyak dua lintasan pada titik GL-4 dan GL-5 dan panjang masing-masing lintasan adalah 200 m dengan spasi 5 meter diperbesar dengan kelipatan 20 sampai n=10 sesuai dengan kedalaman yang diinginkan (Telford et al., 2004).

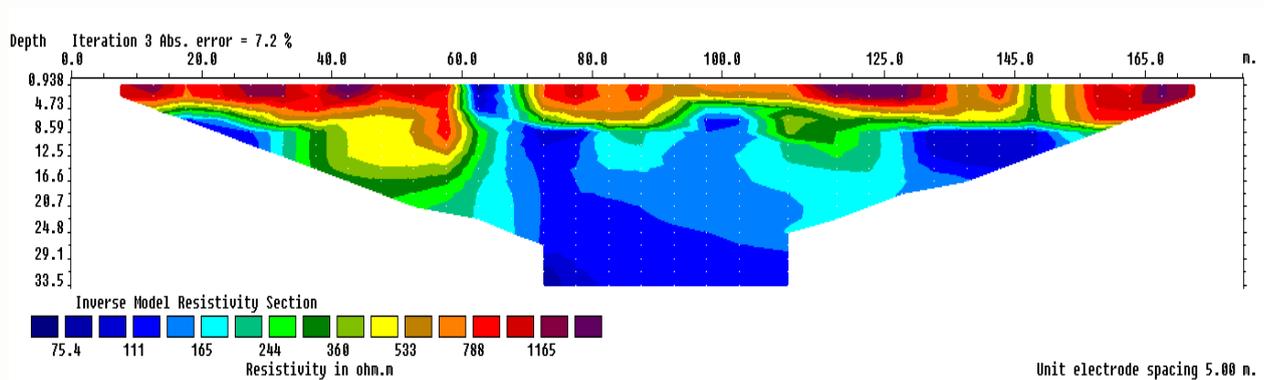


Gambar 3. Lokasi bentangan geolistrik di Desa Terunyan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

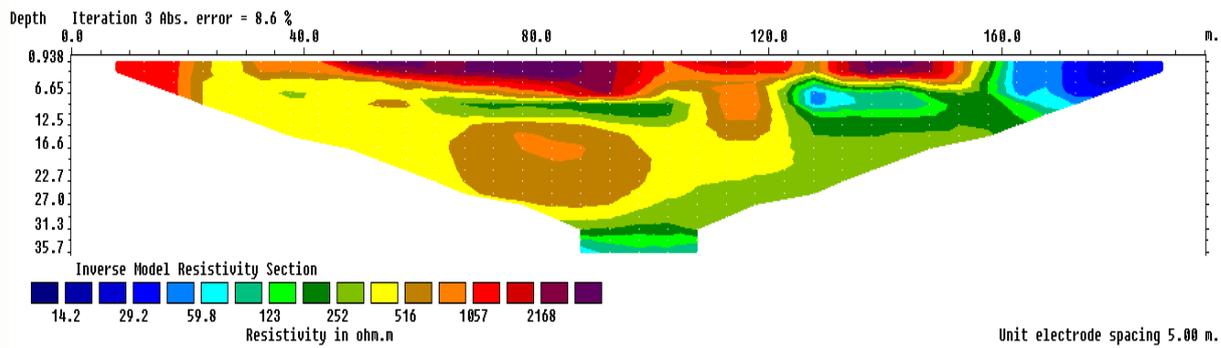
Hasil pengujian geolistrik

Penelitian terhadap pendugaan lapisan batuan bawah tanah di areal longsor dan potensi longsor di Desa Terunyan, dalam penelitian dilakukan investigasi dan identifikasi litologi batuan dengan metode geolistrik resistivitas dengan menggunakan konfigurasi *wenner* sebagai keperluan studi awal kegiatan mitigasi struktural terhadap ancaman gerakan tanah.



Gambar 4. GL-4 jarak ± 200 meter dari arah Tenggara hingga Barat Laut,

Akuisisi data pada lintasan GL-4 pada Gambar 4. dilakukan di perbatasan dusun Terunyan dengan Dusun Cemara Landung dengan panjang lintasan 200 meter dengan titik awal (titik 0 meter) berada pada koordinat GL4-1; X = 326811.0 m, Y = 9087343.0 m dan GL4-2 ;X = 326636.0 m, Y = 9087445.0 m. Hasil menunjukkan kondisi yang beragam dari warna merah-merah tua dengan nilai resistivitas tinggi berkisar antara 788 – 1165 Ωm yang merupakan tanah keras atau batuan, terdapat patahan atau kantong air yang berwarna biru tua yang menunjukkan nilai resistivitas rendah sebesar 111 Ωm , patahan tersebut berada pada jarak 70 m, dan patahan berikutnya berwarna hijau tua dengan resistivitas sekitar 244 Ωm merupakan lapisan tanah lanau berpasir berada pada jarak 150 m dari titik 0, dan dimana titik 0 tersebut diukur dari sisi kanan jalan menuju Desa Terunyan.



Gambar 5. GL-5 jarak ± 200 meter dari arah Tenggara hingga Barat Laut

Berdasarkan Gambar 5. untuk GL-5 yang berada diperbatasan antara Dusun Terunyan pada koordinat GL5-1; X = 326688.0 m, Y = 9087291.0 m dan GL5-2; X = 326707.0 m, Y = 9087477.0 m, hasil menunjukkan bahwa, terdapat lapisan dengan resistivitas sedang yang berwarna kuning dengan nilai $400 \Omega\text{m}$ yang merupakan lempung sampai dengan lanau berpasir, selanjutnya berwarna coklat sampai dengan hitam yang memiliki resistivitas tinggi $788\text{--}2168 \Omega\text{m}$ menunjukkan adalah lapisan batuan selanjutnya adalah lapisan air yang berada di dekat Danau Batur.

Berdasarkan pengujian geolistrik untuk mendapatkan kerapatan batuan dan lapisan tanah bahwa kondisi tanah di sekitar lokasi longsor khususnya di Desa Terunyan Br. Cemara Landung didominasi oleh warna kuning dengan nilai resistivitas berkisar $516 \Omega\text{m}$, kemudian warna hijau dengan resistivitas berkisar $252 \Omega\text{m}$, kemudian dipermukaan terdapat warna merah dan coklat yang memiliki nilai resistivitas tinggi berupa batuan lepas dengan nilai resistivitas berkisar antara $788\text{--}2168 \Omega\text{m}$, dan terdapat patahan-patahan lereng dengan endapan pasir dan lanau dengan nilai resistivitas rendah $29,2\text{--}111 \Omega\text{m}$.

Korelasi nilai resistivitas pengujian dengan material tanah dapat dilihat bahwa nilai yang diberikan oleh pengujian geolistrik dapat diperkirakan bahwa lapisan tanah berupa pasir, batu pasir, dan andesit dengan kepadatan yang berbeda, selain itu kondisi di lapangan memperlihatkan lapisan permukaan yang terdiri dari lapisan kepasiran bercampur kerikil dan batuan lepas.

Hasil survey dan foto udara

Berdasarkan pengamatan batuan dan interpretasi pelapukan seperti Gambar 7, Kenampakan lapangan satuan ini, memberikan kenampakan yang masih fresh (Gambar 6a), namun terdapat pula kenampakan yang telah mengalami pelapukan (Gambar 6b) 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 vertikal dan horisontal.



(a)



(b)

Gambar 6. Singkapan *lava andesit/breksi andesit* dan pelapukan

Pembahasan

Pengamatan di titik longsor menunjukkan longsoran bahan rombakan terjadi pada kemiringan lereng di atas 45° seperti pada Gambar 7. Daerah lembah cenderung memiliki cukup vegetasi dengan jumlah endapan tanah lapukan cukup tebal sekitar 1-2,5 m, tetapi pada daerah punggung lereng cenderung memiliki vegetasi rendah hanya semak dan rumput dengan ketebalan tanah lapukan sekitar 1 m. Pada ke dua type lereng tersebut, akibat batuan dasar berupa lava andesit atau breksi andesit serta akibat masuknya air hujan membentuk bidang gelincir antar batuan menyebabkan tanah pelapukan mengalami erosi.



a. Batuan Lembah lereng tererosi

b. Batuan punggung lereng tererosi

Gambar 7 Singkapan batuan lereng tererosi

Berdasarkan dua metode penelitian dan pengamatan foto udara yang menghasikan kondisi batuan dan gerakan tanah, dapat ditarik kesimpulan lapisan tanah bahwa pemicu longsor akibat gempa tektonik pada 16 Oktober 2021, pemicu longsoran adalah akibat getaran dan beberapa hari telah terjadi hujan, sehingga kuat geser tanah menurun di ikuti dengan berat material akibat kemiringan lereng diatas 45° . Pengaruh gap atau celah daerah yang memiliki resistivitas rendah dan lebar pada badan lereng sebagai tampungan air hujan, serta vegetasi rendah pada *bedrock* yang luas menyebabkan erosi dan masuknya air ke celah-celah pasir dan kerikil, pasir, batu pasir, hingga andesit. sehingga dapat mendorong terjadinya gerakan tanah khusus kejadian longsor bahan rombakan (*debris flow*).

Akibat pembangunan infrastruktur jalan yang memotong tebing dan pengikisan air akibat curah hujan yang tinggi di jalur jalan sekitar Kaldera Gunung Batur, dengan dipicu getaran gempa menyebabkan tebing batuan kehilangan kuat geser atau lepas membentuk kestabilan baru. Dimana morfologi tebing terjal sampai sangat terjal dan berbatu breksi vulkanik sehingga sangat gampang lepas akibat terpaan angin atau masuknya air kedalam celah antar batu. Lompatan *Rock fall* batuan berarah sembarang sedangkan limpasan material longsoran akibat tererosi pada dinding Kaldera yang terkikis oleh air membentuk alur berupa kipas.

Usaha Mitigasi

Intensitas hujan disekitar kaldera Gunung Batur sangat tinggi terutama di saat musim hujan di bulan Januari-Februari hingga mencapai mencapai 225 mm/jam dan panjang diikuti tekanan angin yang tinggi. Mitigasi non struktural adalah; 1) Merelokasi warga-warga yang tinggal di cerukan lembah-lembah meskipun terlihat relatif datar karena endapan erosi sebelumnya dan tertutup vegetasi tetapi kondisi di hulu lembah memiliki vegetasi rendah berisiko terjadi longsor susulan dengan volume lebih besar, 2) Peringatan pada titik longsor yg memiliki sejarah pernah longsor sebaiknya masyarakat yang tinggal disekitar titik tersebut mengungsi jika turun hujan lebat, 3) Mengefektif Tim Siaga Bencana dusun dan selalu mengedukasi masyarakat tentang ancaman gerakan tanah, 4) Akomodasi wisata (vila, hotel dan tempat camping) tidak dibangun pada lembah datar, sebaiknya punggung lembah, 5) Penambahan vegetasi dan menjaga fungsi hutan pada lereng bagian atas dan ditanami tanaman keras yang berakar kuat dan dalam.

Mitigasi Struktural dimana Secara umum permasalahan yang terjadi pada lokasi karena kestabilan lereng sudah rendah akibat getaran gempa dan intensitas hujan tinggi sangat rentan terjadinya longsor seperti *rock fall* dan banjir lumpur (*debris flow*) atau memungkinkan juga terjadi longsor sliding karena banyak terdapat sesar-sasar pada punggung bukit arah horizontal, jadi usaha yang perlu dilakukan adalah: 1) Pembangunan *checkdam* sebagai penampung dan penghambat energi material longsor, penempatan pada alur-alur lembah yg berhubungan dgn permukiman, 2) Penguatan Dinding penahan tanah (DPT) berfungsi sebagai penahan saat terjadi longsor khususnya jenis bronjong agar air hujan dapat terdrainase dengan baik, 3) *Rock Fence* adalah struktur pengamanan longsor jatuhnya batuan (*rock fall*), konsep penanganan *rock fence* adalah menahan batuan jatuh dengan membuat pagar pelindung di sekitar jalan dengan lereng berbatu dan terjal.

4. KESIMPULAN

Akibat getaran gempa tanah dan batuan kehilangan kuat geser dan penambahan beban air hujan serta berat material akibat kemiringan lereng diatas 45°. Pengaruh gap atau celah daerah yang memiliki resistivitas rendah dan lebar pada badan lereng sebagai tampungan air hujan, serta vegetasi rendah pada *bedrock* yang luas menyebabkan erosi dan masuknya air ke celah-celah pasir dan kerikil, pasir, batu pasir, hingga andesit. sehingga dapat mendorong terjadinya gerakan tanah khusus kejadian longsor bahan rombakan (*debris flow*). Kerapatan batuan dan lapisan tanah bahwa kondisi tanah di sekitar lokasi longsor khususnya di Desa Terunyan Br. Cemara Landung didominasi oleh warna kuning dengan nilai resistivitas berkisar 516 Ω m, kemudian warna hijau dengan resistivitas berkisar 252 Ω m, kemudian dipermukaan terdapat warna merah dan coklat yang memiliki nilai resistivitas tinggi berupa batuan lepas dengan nilai resistivitas berkisar antara 788 - 2168 Ω m, dan terdapat patahan-patahan lereng dengan endapan pasir dan lanau dengan nilai resistivitas rendah 29,2 – 111 Ω m

Kaldera Gunung Batur sebagai daerah tujuan wisata terkenal dan ramai dikunjungi turis wajib melakukan mitigasi bencana tanah longsor dengan non struktural melalui edukasi kepada masyarakat dan pelaku pariwisata, serta mengefektifkan program kerja tim siaga bencana secara berkelanjutan. Mitigasi struktural sangat perlu juga dilakukan dengan tetap mengedepankan sisi estetika dan alami seperti membangun konstruksi cekdam, dinding penahan tanah alami seperti bronjong dan konstruksi *rock fence* dari jaring bambu.

DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA

- Cozzolino, M., Di Giovanni, E., Mauriello, P., Piro, S., & Zamuner, D. (2018). *Geophysical Methods for Cultural Heritage Management* (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74790-3>
- Dragičević, S., Lai, T., & Balram, S. (2014). GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments. *Habitat International*, 45(P2), 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.06.031>
- Karnawati, D. (2005). *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sinarta, I N, Wahyuni, P. I., & Aryastana, P. (2021). Analysis of discharge and area of the debris flow based on geological structural and rainfall levels in the slopes of Mount Abang, Kintamani. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1098. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/2/022064>
- Sinarta, I Nengah. (2018). *Tingkat Ancaman Gerakan Tanah Pada Batuan Vulkanik di Bali Berdasarkan Pendekatan Geoteknik Komprehensif* [Perpustakaan Universitas Gadjah Mada]. http://etd.repository.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&act=view&typ=html&buku_id=158648&obyek_id=4
- Sinarta, I Nengah. (2021). Mitigasi Bencana Geologi Terhadap Investasi Pariwisata Di Indonesia. In S. Sri Gusty, A. Raidyarto, & Masdiana (Eds.), *Investasi Pariwisata Indonesia* (pertama, pp. 107–132). TOHAR MEDIA.
- Sinarta, I Nengah, Rifa'i, A., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2016a). 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, 110–120.
- Sinarta, I Nengah, Rifa'i, A., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2016b). Pemetaan Ancaman Gerakan Tanah berdasarkan Indeks Stabilitas pada ekstensi SINMAP di Kabupaten Bangli, Bali. *Seminar Nasional Geoteknik 2016, HATTI Yogyakarta*, 1.
- Sinarta, I Nengah, Rifa'i, A., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2020). Spatial Analysis of Safety Factors due to Rain Infiltration in the Buyan-Beratan Ancient Mountains. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*,

11(2), 90. <https://doi.org/10.15866/irece.v11i2.17668>

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (2004). *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Watanabe, K., Yamanaka, T., Haijoko, A., Saitra, C., & Warmada, I. W. (2010). Caldera Activities in North Bali, Indonesia. *Journal of Southeast Asian Applied Geology*, 2(3), 283–290.



KoNTeks16

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke - 16



ISSN 2985-7007



9 772985 700008