



Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP)

Alamat Prosiding: snip.eng.unila.ac.id



Evaluasi stabilitas lereng dan mitigasi longsor di Kelurahan Pidada, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung

A Syah^{a,*}, R Mulyasari^b

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

^bJurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:

Diterima tgl/bln/tahun
(pengiriman artikel pertama;
contoh: Diterima 10 Agustus
2021)

Direvisi tgl/bln/tahun
(pengiriman artikel kedua
setelah revisi; contoh Direvisi 1
September 2021)

Kata kunci:

Pidada
mitigasi longsor
stabilitas lereng
faktor aman
longsor

Tanah longsor adalah salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia. Kondisi alam berupa perbukitan dengan pegunungan terjal dan dipicu oleh kondisi geografis yang beriklim tropis menyebabkan daerah ini sering mengalami bencana longsor. Sebagian besar daerah yang terpapar bencana tersebut menimpa pemukiman penduduk di pedesaan yang memiliki tingkat aksesibilitas yang kurang baik, tingkat pendidikan rendah dan tingkat ekonomi menengah ke bawah. Kejadian ini salah satunya terdapat di Kelurahan Pidada, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung. Penelitian ini menjelaskan investigasi longsor yang dilakukan pada beberapa titik longsor yang terjadi di Gang Sakal, Kelurahan Pidada. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan metode keseimbangan batas berupa irisan Morgenstern-Price berdasarkan data hasil pengukuran dan investigasi geoteknik. Dengan demikian, evaluasi stabilitas lereng dilakukan untuk memberikan penilaian terhadap kondisi aktual daerah studi dan memberikan alternatif mitigasi yang tepat. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa, dengan tindakan mitigasi yang akurat dan terencana, lokasi rawan longsor dapat stabil. Upaya mitigasi yang baik dapat mengurangi risiko kerugian yang ditimbulkan di masa yang akan datang.

1. Pendahuluan

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melaporkan sebanyak 1.423 kejadian bencana alam terjadi di Tanah Air dalam rentang waktu 1 Januari hingga 15 Juni 2021. Dari jumlah kejadian bencana tersebut, bencana hidrometeorologi seperti banjir, puting beliung, tanah longsor, dan kebakaran hutan adalah yang paling dominan. Korban meninggal dunia akibat dampak bencana alam tersebut adalah sebanyak 493 jiwa, 68 orang yang hilang dan 12.853 jiwa mengalami luka-luka. Bencana tanah longsor selalu berulang setiap tahun dan dari tahun ke tahun menunjukkan kecenderungan peningkatan jumlah kejadian. Sekitar 40,9 juta jiwa penduduk Indonesia yang berpotensi terpapar karena tinggal di daerah bahaya longsor sedang hingga tinggi (BNPB, 2018).

Kecamatan Panjang memiliki potensi gerakan tanah menengah-tinggi (PVMBG, 2019). Kondisi ini mengakibatkan banyaknya kejadian longsor di Kelurahan Pidada, khususnya pada musim hujan. Kejadian bencana ini mengakibatkan kerugian yang sangat besar baik dari aspek material maupun non-material. Minggu (24/2/2019) malam, kejadian longsor di Gang Sakal, RT 3 Lingkungan I, Kampung Dwijaya, Kelurahan Pidada, Kecamatan Panjang mengakibatkan dua unit rumah warga rusak. Longsor masih sering terjadi di area ini dikarenakan upaya pengurangan risiko bencana masih belum optimal.

Sebagian besar metode untuk menghitung stabilitas lereng didasarkan pada prinsip keseimbangan gaya dan momen (Azizi dkk., 2015). Bentuk bidang gelincir longsor berbeda-beda tergantung jenis material penyusun lereng. Bidang gelincir longsor ini dapat berupa planar, lingkaran, lengkung atau logaritmik atau kombinasi keduanya. Jika

*Aminudin Syah.

E-mail: aminudin.syah@eng.unila.ac.id.

bahan penyusunnya homogen maka permukaan keruntuhan akan mendekati lingkaran (Rahimi 2013).

Beberapa metode perhitungan stabilitas lereng yang dikembangkan menggunakan metode keseimbangan batas diantaranya metode Fellenius (Fellenius 1927), metode Bishop yang dimodifikasi (Bishop dan Morgenstern 1960), keseimbangan kekuatan Lowe dan Karafath (1960), metode Janbu yang dimodifikasi (Janbu 1973), metode U.S. Army Corps of Engineers (1970), metode Spencer (Spencer 1967), metode Morgenstern-Price (Morgenstern dan Price 1965) dan metode Sarma (Sarma 1973). Sharma dkk. (2019) mempelajari analisis stabilitas lereng dengan analisis Bishop menggunakan program MATLAB berbasis *particle swarm optimization* (PSO).

Proses keruntuhan lereng adalah produk dari kondisi geomorfologi, hidrologi, dan geologi setempat, modifikasi dari kondisi ini adalah dengan proses geodinamika, vegetasi, praktik penggunaan lahan, dan aktivitas manusia. Prinsip dasar mitigasi longsor adalah dengan mengurangi gaya pendorong dan menambah gaya penahan. Gedney dan Weber (1978) memberikan tinjauan singkat tentang teori tersebut untuk merancang saluran drainase. Forsyth dan Bieber (1984) mengusulkan geogrid untuk stabilisasi eksternal. Carrara (1989) merekomendasikan pembuatan drainase permukaan yang baik sebagai bagian dari perawatan erosi atau potensi erosi. Schuster (1995) memberikan sejumlah ilustrasi tambahan tentang stabilitas erosi menggunakan drainase bawah permukaan. Penelitian yang dilakukan oleh Salmasi dkk. (2019) menunjukkan bahwa penurunan muka air tanah dengan drainase dapat menghilangkan tekanan hidrostatik pada lereng dan mengakibatkan nilai faktor aman menjadi naik. sistem ini.

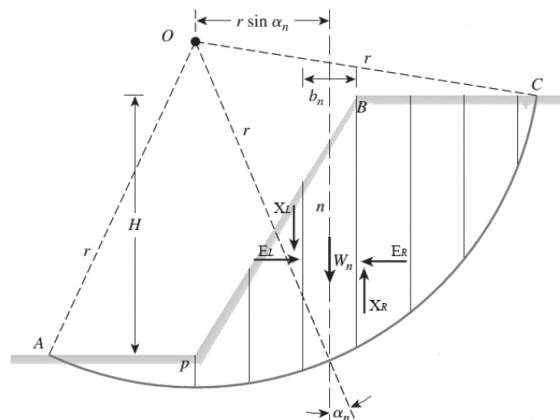
2. Metodologi

Survei dan investigasi dilakukan pada lokasi longsor dan area terdampak longsor. Lokasi penelitian berada di Kelurahan Pidada, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung (Gambar 1). Survei geoteknik dilakukan untuk mengetahui kondisi litologi area longsor, pengukuran geometri lereng dan pengambilan sampel tanah untuk diuji di laboratorium. Identifikasi titik longsor serta pengambilan sampel tanah *undisturbed* dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat kerentanan gerakan tanah serta kondisi geologi teknik. Topografi detail area penelitian, tata guna lahan, dan pembebanan diperoleh dari hasil foto udara dan pemetaan dilakukan dengan drone yang sudah dilakukan. Selain itu, juga digunakan data sekunder berupa citra satelit dan hasil penelitian terdahulu terkait profil bawah permukaan di area studi. Hasil uji laboratorium yang dihasilkan adalah parameter fisik dan mekanik tanah berupa: 1) Berat volume – ASTM D635; 2) Kadar air– ASTM D2216-71; 3) Gravitasi khusus – ASTM D854-10; 4) Batas-batas Atterberg –ASTM D 423-66 - D 424-59; 5) Uji distribusi ukuran butiran tanah–D422-72; 6) Uji geser langsung–ASTM D3080-03. Data geometri lereng, parameter kuat geser tanah dan data penunjang lainnya digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pada penelitian ini, analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan metode kesetimbangan batas Morgenstern-Price. Morgenstern dan Price (1965) mengembangkan metode analisis dengan memperhitungkan parameter variasi kuat geser dan tekanan air pori dalam tanah. Kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada setiap irisan dari bidang longsor diilustrasikan pada Gambar 2. Kesetimbangan gaya dan momen dihitung pada satu blok dan antarblok material. Nilai yang dijadikan acuan kestabilan lereng adalah SF (*Safety Factor*). Prinsip perhitungan nilai faktor aman dalam penelitian ini menggunakan metode Morgenstern-Price yang telah diuraikan pada Syah A, dkk. (2020). Dikarenakan lereng tanah bukan material yang kaku dan percepatan puncak gempa terjadi dalam waktu yang singkat, menurut Kramer (1996), dalam pelaksanaannya digunakan percepatan yang jauh lebih rendah dibandingkan percepatan puncaknya. Meskipun sebenarnya pemilihan koefisien seismik masihlah sangat subjektif, koefisien seismik yang digunakan adalah yang direkomendasikan oleh (Melo, C. dan Sharma, S., 2004) dengan FS > 1 adalah 1/2 s.d. 1/3 dari PGA.

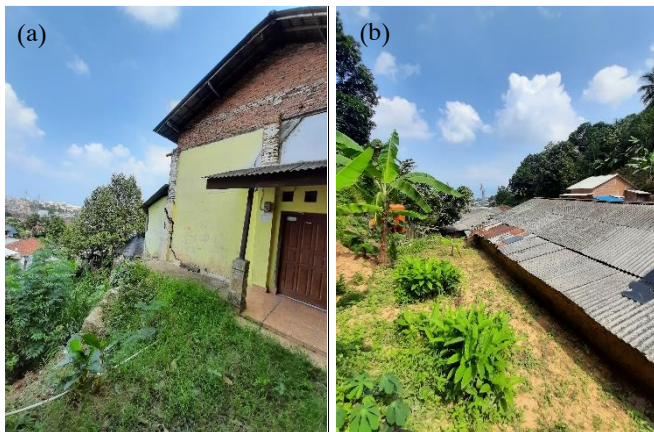


Gambar 2. Gaya yang bekerja pada bidang irisan metode Morgenstern-Price (Das, 2006)

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Hasil Investigasi Lapangan

Berdasarkan hasil survei dan investigasi geoteknik, daerah penelitian terdiri dari morfologi dataran rendah dan perbukitan dengan ketinggian berkisar antara 20 hingga 150 mdpl. Sebagian besar rumah penduduk dibangun di atas lereng yang curam tanpa menggunakan proteksi lereng yang baik. Longsor diidentifikasi terjadi pada salah satu rumah warga yang menyebabkan amblesan dan retaknya dinding dan lantai rumah (Gambar 3a). Longsor juga menimpa dinding rumah warga pada bagian belakang dikarenakan adanya pemotongan lereng yang tanpa adanya perkuatan atau jarak yang memadai dari tebing lereng (Gambar 3b).



Gambar 3. Longsor yang terjadi di Gg Sakal, Kelurahan Pidada

Daerah Panjang tersusun oleh litologi berupa sedimen tuff yang sangat tebal. Daerah ini termasuk dalam Peta Geologi Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993), yang formasi batuan terletak pada Formasi Tarahan (Tpot) dengan batuan penyusun berupa tuff padu, breksi dengan sisipan rijang.

Berdasarkan hasil investigasi geoteknik dan uji laboratorium, tanah di Gg. Sakal Kelurahan Pidada mempunyai presentase lolos saringan No. 4 sebesar 92,79 % dan No. 200 sebesar 48,98 %. Berdasarkan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*), sampel tanah dapat diklasifikasikan sebagai SM-SC yaitu pasir berlanau (campuran pasir lanau) atau pasir berlempung (campuran pasir lempung).

Berdasarkan hasil survei dan analisis data laboratorium, longsor di Gg Sakal merupakan tipe gabungan translasional-rotasional. Material longsor berupa pasir berlanau yang cukup tebal berada di atas lapisan *bedrock* berupa batu breksi. Tanah lanau ini memiliki plastisitas rendah dan permeabilitas yang juga rendah. Jika terjadi hujan dengan intensitas tinggi atau hujan dengan durasi yang lama maka dapat menyebabkan muka air tanah naik. Kenaikan muka air tanah mengakibatkan bertambahnya beban pada lereng, di sisi lain juga mengakibatkan berkurangnya tahanan gesek internal tanah. Kondisi pembebanan yang berada di atas lereng yang curam menambah potensi longsor. Oleh karena itu, hujan dan geometri lereng merupakan faktor pemicu terjadinya longsor dan merupakan hal yang perlu menjadi perhatian bagi masyarakat dan pemangku kepentingan di area ini.

3.2 Analisis Stabilitas Lereng

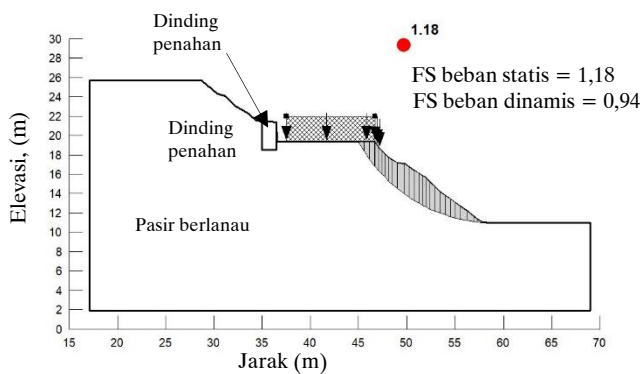
Analisis stabilitas lereng dilakukan pada salah satu lereng yang mengalami longsor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3a dan potongan A-B pada Gambar 4. Pembebanan pada lereng didominasi oleh beban rumah yang padat dan saling berdempetan. Pada bagian atas lereng yang telah mengalami longsor tata guna lahan didominasi oleh pohon dan semak belukar. Pada area ini sudah ada drainase, namun belum kedap air dan kondisinya kurang terawat sehingga aliran air permukaan belum terkontrol dengan baik dan masih dapat masuk ke tubuh lereng melalui retakan dan saluran drainase yang tidak kedap air. Dengan demikian dapat diketahui bahwa faktor muka air tanah dan pembebanan sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng pada tanah dengan kondisi bawah permukaan berupa pasir berlanau yang cukup tebal.



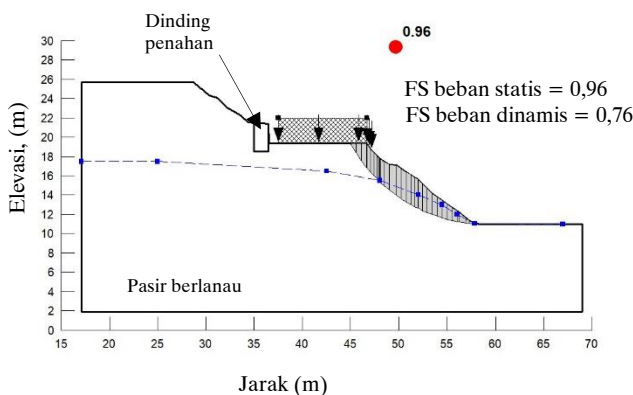
Gambar 4. Kondisi pembebanan lereng di Gg Sakal dari foto udara

Hasil analisis stabilitas lereng pada *cross section* A-B menunjukkan bahwa pada kondisi aktual lereng dengan muka air tanah sangat dalam nilai faktor aman pada kondisi statis adalah 1,18 (Gambar 5). Nilai faktor aman pada kondisi beban statis sebesar $1,07 \leq SF \leq 1,25$ memiliki kondisi lereng kritis yang sewaktu-waktu dapat mengalami longsor (Bowles, 1989). Hal itu berarti pada musim kemarau lereng ini berada pada kondisi tidak longsor. Hasil analisis pada beban dinamis dengan input beban gempa sebesar 1/2 s.d. 1/3 dari PGA diperoleh nilai faktor aman sebesar 0,94 ($FS < 1$, runtuh). Hal itu berarti, gempa dapat memicu terjadinya longsor pada lereng ini meskipun pada musim kemarau. Selain itu, penambahan beban berupa penambahan bangunan, kolam atau beban lainnya dapat mengakibatkan longsor pada area ini.

Muka air tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan nilai faktor aman lereng. Kenaikan muka air tanah menyebabkan nilai *FS* turun dari 1,18 menjadi 0,96 (Gambar 6).. Nilai faktor aman pada kondisi beban statis sebesar $SF < 1,07$ memiliki kondisi lereng yang tidak stabil. Hal itu berarti kenaikan muka air tanah dapat menyebabkan lereng ini mengalami longsor. Kondisi ini terjadi ketika intensitas hujan tinggi atau hujan dengan durasi yang lama. Oleh karena itu tindakan mitigasi juga dapat berjalan efektif dengan mengontrol parameter muka air tanah, sehingga drainase lereng menjadi sangat penting.



Gambar 5. Hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi aktual lereng saat musim kemarau

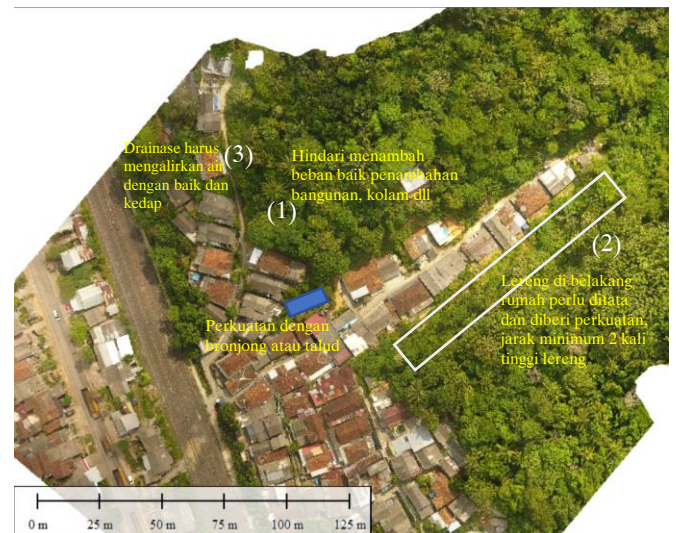


Gambar 6. Hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi dengan kenaikan muka air tanah lereng saat musim hujan

3.3 Upaya Mitigasi longsor di Gg Sakal

Mitigasi longsor secara struktural dapat dilakukan dengan metode kontrol dan metode perkuatan. Metode kontrol ditujukan untuk mengurangi beban pada lereng atau hal-hal yang dapat menyebabkan berkurangnya gaya parameter kuat geser tanah. Metode kontrol dilakukan dengan mengontrol kemiringan lereng, mengatur drainase baik drainasi permukaan atau drainase bawah permukaan. Metode perkuatan dilakukan dengan menambah gaya penahan tanah dan dapat dilakukan dengan membuat struktur penahan pada kaki lereng. Metode perkuatan yang banyak digunakan adalah perkuatan dengan dinding penahan tanah, talud atau bronjong.

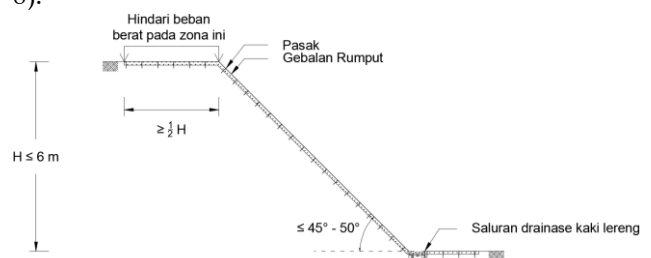
Upaya mitigasi struktural yang dapat diterapkan pada lereng di Gg sakal adalah berdasarkan hasil analisis mekanisme longsor dan pemicu terjadinya keruntuhan lereng. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng yang mengalami longsor adalah berupa pasir berlanau yang cukup tebal dan dipicu oleh kenaikan muka air tanah, pembebanan dan faktor geometri lereng yang curam. Terdapat 3 (tiga) hal yang perlu menjadi perhatian sebagai upaya mitigasi longsor seperti ditunjukkan pada Gambar 7 sebagai berikut:



Gambar 7. Mitigasi longsor di Gg Sakal

- 1) Hindari penambahan beban pada area di atas bangunan yang sudah mengalami longsor. Hal ini juga berlaku pada lereng lain jika tanpa ada proteksi lereng. Pada bagian bawah lereng yang
- 2) Pematangan lereng pada bagian belakang rumah warga tidak boleh terlalu dekat dengan bangunan. Minimal ada jarak horizontal sebesar 2 kali tinggi lereng dari bangunan.
- 3) Drainase merupakan faktor penting dalam upaya proteksi lereng. Drainase yang ada harus kedap air dan berfungsi dengan baik untuk mengalirkan air menjauhi tubuh lereng.

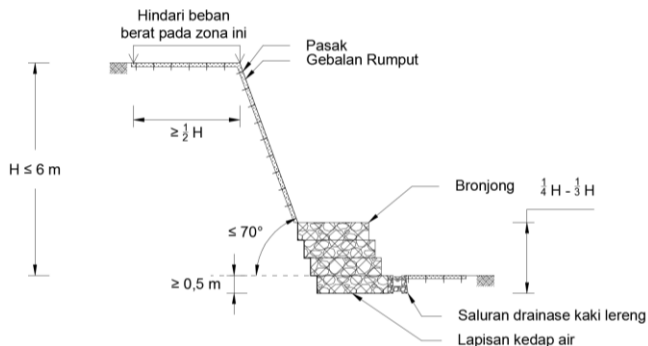
Penanganan metode kontrol menitik beratkan pada upaya penataan geometri lereng, yaitu pekerjaan galian dan timbunan (*cut and fill*), pemasangan perlindungan permukaan menggunakan gebalan rumput dan pembangunan saluran drainase permukaan. Secara umum metode kontrol dapat diterapkan pada lereng di belakang rumah warga yang masih memiliki jarak dan kemiringan yang cukup. Tipikal penanganan metode ini dapat diterapkan dengan lereng dengan ketinggian kurang dari 6 m (Gambar 8).



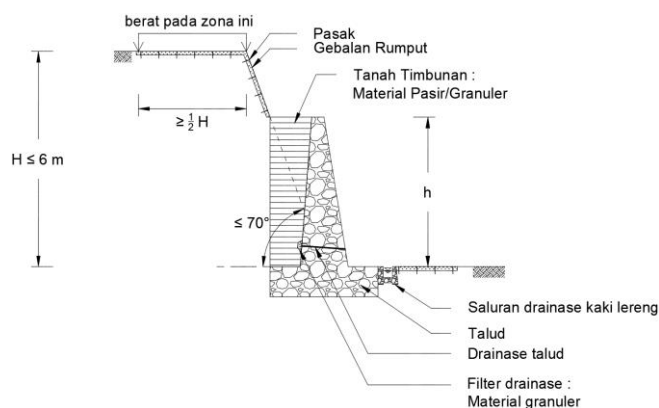
Gambar 8. Mitigasi longsor di Gg Sakal

Penanganan lereng menggunakan metode perkuatan dilakukan dengan membangun bangunan konstruksi penahan yang bertujuan meningkatkan gaya penahan yang terjadi di lereng. Di Gg Sakal, penanganan dengan metode ini dapat dilakukan karena lahan yang sempit. Secara garis besar kriteria pada metode kontrol tetap diterapkan pada tipikal ini, namun dilengkapi dengan struktur perkuatan. Pada pembahasan ini direkomendasikan dua tipikal metode

perkuatan, yaitu alternatif menggunakan struktur bronjong (Gambar 9) atau dinding penahan tanah tipe talud (Gambar 10). Perkuatan bronjong dan talud dapat diterapkan sebagai konsep desain untuk penanganan longsor pada area yang ditunjukkan pada nomor (1) dan (2) pada Gambar 7.



Gambar 9. Mitigasi longsor di Gg Sakal



Gambar 7. Mitigasi longsor di Gg Sakal

4. Kesimpulan

Hasil survei dan investigasi longsor di Kelurahan Pidada menunjukkan bahwa lereng yang mengalami longsor adalah berupa pasir berlanau yang cukup tebal dan dipicu oleh kenaikan muka air tanah, pembebanan dan faktor geometri lereng yang curam. Tanah lanau ini memiliki plastisitas rendah dan permeabilitas yang juga rendah. Jika terjadi hujan dengan intensitas tinggi atau hujan dengan durasi yang lama maka dapat menyebabkan muka air tanah naik. Kenaikan muka air tanah mengakibatkan bertambahnya beban pada lereng, di sisi lain juga mengakibatkan berkurangnya tahanan gesek internal tanah. Kondisi pembebanan yang berada di atas lereng yang curam menambah potensi longsor. Oleh karena itu, hujan dan geometri lereng merupakan faktor pemicu terjadinya longsor dan merupakan hal yang perlu menjadi perhatian bagi masyarakat dan pemangku kepentingan di area ini

Hasil analisis stabilitas lereng pada salah satu lereng yang ditinjau menunjukkan bahwa pada kondisi aktual lereng dengan muka air tanah sangat dalam nilai faktor aman pada kondisi statis adalah 1,18. Hal itu berarti pada musim kemarau lereng ini berada pada kondisi tidak longsor akan tetapi penambahan beban gempa dapat menurunkan nilai faktor aman menjadi 0,94 yang berarti terjadi keruntuhan lereng. Muka air tanah memiliki pengaruh yang signifikan

terhadap penurunan nilai faktor aman lereng. Kenaikan muka air tanah menyebabkan nilai FS turun dari 1,18 menjadi 0,96 yang berarti terjadi keruntuhan lereng.

Upaya mitigasi struktural yang dapat diterapkan pada lereng di Gg Sakal berdasarkan hasil analisis mekanisme dan pemicu terjadinya keruntuhan lereng adalah metode kontrol dan perkuatan. Metode kontrol dilakukan dengan penataan geometri lereng, yaitu pekerjaan galian dan timbunan (*cut and fill*), pemasangan perlindungan permukaan menggunakan gebalan rumput dan pembangunan saluran drainase permukaan. Sedangkan metode perkuatan dilakukan dengan menggunakan struktur bronjong atau turap.

Selain mitigasi struktural, perlu disusun strategi mitigasi non-struktural yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi bencana. Metode ini menjadi alternatif yang sering digunakan pada lokasi pedesaan karena membutuhkan biaya yang lebih rendah. Curah hujan, gempa dan aktifitas manusia berupa penambahan beban dan pemotongan lereng menjadi hal yang perlu diperhatikan oleh masyarakat dan pemangku kepentingan di daerah ini dalam upaya pengurangan risiko bencana.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung atas dukungannya dalam pemberian Hibah BLU Universitas Lampung Tahun 2021. Ucapan terimakasih juga diberikan kepada laboran Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung, mahasiswa yang terlibat, lurah dan warga Kelurahan Pidada atas bantuannya selama kegiatan survei lapangan.

Daftar pustaka

- _____, (2018) "40,9 Juta Orang Indonesia Tinggal di Wilayah Longsor", BNPB, Jakarta. Tersedia di: <http://sibima.pu.go.id/mod/resource/view.php?id=35987> (Accessed: 28 May 2019).
- Azizi M, Kielanei F, Kielanei P. (2015) *Comparison of the methods of limit equilibrium in slope stability of embankments*. In: First national conference on soil mechanics and engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei University.
- Bishop, A.W. Morgenstern N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. *Geotechnique* Vol. 10(4), pp 129–147
- Das, B. M. (2006) *Principles of Geotechnical Engineering*. Toronto: Nelson.
- Carrara A (1989) Landslide hazard mapping by statistical methods: A 'black-box' model approach; In: Int. Wksh. on Natural Disasters in European–Mediterranean Countries, Perugia 27 427–445.
- Forsyth R and Bieber D (1984) La Honda slope repair with geogrid reinforcement; In: Polymer grid reinforcement, Thomas Telford Publ., pp. 54–57.
- Gedney D and Weber W (1978) Design and Construction of Soil Slopes. In: *Special Report 176: Landslide: Analysis and Control* (eds) Schuster R L and Krizek R J, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, Chapter 8, pp. 172–191; *Geomorphology* 30 65–78, ISSN: 0360-859X.

- Janbu N (1973) *Slope stability computations*. In: Hirschfeld E, Poulos S (eds) *Embankment dam engineering, Casagrande memorial volume*. Wiley, New York, pp 47–86
- Kramer SL. 1996. “Geotechnical Earthquake Engineering.” Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, pp. 434-437.
- Mangga, S. A., Amirudin, T., Suwarti, S., Gafoer dan Sidarto. 1993. *Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatra*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Melo, C. dan Sharma, S., 2004. *Seismic Coeficient for Pseudostatic Slope Analysis*. Vancouver.
- Morgenstern, N.R., and Price, V.E. (1965) *The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. Geotechnique*, Vol. 15, pp. 79-93.
- Morgenstern NR (1963) *Stability charts for earth slopes during rapid drawdown. Geotechnique* Vol. 13(2), pp 121–133
- Morgenstern NR, Price VE (1965) *The analysis of the stability of general slip surfaces. Geotechnique* Vol. 15(1), pp 79–93
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2019) *Wilayah potensi gerakan tanah di Provinsi Lampung, Bandung*
- Rahimi H (2013) *Embankment dams, 4th edn*. University of Tehran, Tehran.
- Salmasi F., Pradhan B., and Nourani B., 2019. Prediction of the sliding type and critical factor of safety in homogeneous finite slopes. *Applied Water Science*, Vol. 9, pp 158
- Sharma R, Kumar A (2019) Slope stability analysis by Bishop analysis using MATLAB program based on particle swarm optimization technique; In: *Proceedings of the 1st Internat. Conf. Sustain. Waste Management through Design, ICSWMD2018* (eds) Singh H, Garg P and Kaur I, Lect. Notes in Civil Eng., Springer, Cham 21 285–293.
- Schuster R L (1995) Landslides and Coods triggered by the June 6, 1994, Paez earthquake, southwestern Colombia; *AEG News* 38(1) 32–33.
- Syah, A and Dani, I and Erfani, S (2020) *Kombinasi Metode Kontrol dan Perkuatan untuk Penanganan Longsor (Studi Kasus: Longsor Waikerap, Tanggamus, Lampung). Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 4 (2). pp. 180-191. ISSN 2581-1134