

Studi Kehandalan Penanganan Lereng Menggunakan Metode Kontrol dan Metode Perkuatan

(Studi Kasus Lereng di Kabupaten Bengkulu Tengah, Bengkulu, Indonesia)

Lindung Zalbuin Mase^{1*}, Hardiansyah², Khairul Amri³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia, 38371 A

*Email: lmase@unib.ac.id

Abstrak: Intensitas curah hujan yang tinggi telah memicu terjadinya longsoran masif di area pegunungan Provinsi Bengkulu, khususnya di Bengkulu Tengah. Longsoran tersebut menyebabkan terputusnya jalan, sehingga mobilitas dari kabupaten lain menuju Kabupaten Bengkulu Tengah ikut terganggu. Penelitian ini menyajikan studi metode kontrol dan metode perkuatan untuk remediasi lereng di Bengkulu Tengah. Studi ini diawali dengan melakukan pengumpulan sampel dari lokasi longsoran. Selanjutnya, uji sifat fisis dan teknis dilakukan di laboratorium. Hasil uji laboratorium digunakan sebagai parameter input untuk analisis. Metode elemen hingga diterapkan untuk melihat kehandalan penanganan longsor. Deformasi dan faktor aman dari hasil analisis dilaporkan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penanganan lereng yang diterapkan telah berhasil meningkatkan faktor keamanan lereng dan dapat mengurangi deformasi. Hasil studi ini dapat menjadi rekomendasi untuk penanganan lereng di Bengkulu Tengah.

Kata-kata kunci: Longsor; Kabupaten Bengkulu Tengah, Penanganan Lereng, Metode Kontrol, Metode Perkuatan, Metode Elemen Hingga.

Abstract: The high rainfall intensity had triggered the massive landslide in the mountainous area of Bengkulu Province, Central Bengkulu Regency. The landslide had also destructed the highway; therefore, the mobility from other regencies to Central Bengkulu Regency was disturbed. This paper presents the performance of slope countermeasure using controlling method and reinforcement method for slope remediation in Central Bengkulu Regency. This study was initiated by collecting the sampling from the site. Furthermore, soil properties were investigated in laboratory. The results of laboratory tests were used as the input parameters in the analysis. In this study, the finite element method was employed to investigate the performance of the model. The deformation and factor of safety from the analysis were reported. The results showed that the implemented slope countermeasure methods were successful to increase the factor of safety of slope and decrease the deformation. The results of this study could be a recommendation for the slope stability countermeasure in Central Bengkulu Regency.

Keywords: Landslide; Central Bengkulu Regency, Slope

Countermeasures, Controlling Work, Reinforcement Work Finite Element Method.

I. PENDAHULUAN

Provinsi Bengkulu adalah sebuah daerah yang unik di Indonesia. Provinsi ini memiliki kondisi topografi dan geologi yang sangat kompleks. Sejauh ini, Provinsi Bengkulu dikenal sebagai suatu area yang memiliki tingkat intensitas seismik yang tinggi. Meskipun demikian, beberapa bencana alam, seperti banjir, longsor, dan lainnya dapat terjadi di beberapa area di Provinsi Bengkulu. Area berbukit di Provinsi Bengkulu diketahui memiliki tingkat kerentanan longsor yang tinggi. Kondisi geologi yang kompleks disertai dengan intensitas curah hujan tinggi menjadi faktor utama mengapa longsor sering terjadi pada area ini.

Pada tanggal 31 Oktober 2017, sebuah longsor terjadi pada jalan lintas menuju Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi, di Bengkulu Tengah. Longsor ini telah memutus akses menuju Kabupaten Kepahiang [1]. Bencana ini menyebabkan runtuhnya aktifitas sosial-ekonomi, khususnya pada Kabupaten Bengkulu Tengah dan kabupaten-kabupaten sekitarnya. Hal ini berimplikasi pula pada Ibukota Provinsi Bengkulu, yaitu Kota Bengkulu, karena beberapa pasokan kebutuhan penting tidak dapat sampai ke Bengkulu tepat waktu. Mempertimbangkan dampak yang dapat terjadi di masa yang akan datang, khususnya pada area jalan lintas Kota Bengkulu-Kabupaten Bengkulu Tengah-Kabupaten Kepahiang, maka sebuah studi yang mengulas desain penanganan longsor di pegunungan perlu dilakukan.

Tulisan ini menyajikan sebuah studi penanganan longsor menggunakan metode kontrol dan metode perkuatan. Metode kontrol difokuskan pada pengurangan potensi longsor, seperti pengurangan massa yang potensial bergerak dan rembesan air ke dalam tanah. Untuk metode perkuatan, perkuatan struktur seperti tembok penahan tanah, bronjong, dan geogrid dapat diterapkan.

Pada penelitian ini, desain penanganan lereng yang mengalami longsoran pada tanggal 31 Oktober 2017 dianalisis. Kehandalan metode kontrol dan metode perkuatan juga diamati, khususnya yang berkaitan dengan faktor aman (*FS*) dan deformasi yang memungkinkan terjadi. Secara umum, hasil penelitian ini dapat memberikan deskripsi mengenai kehandalan desain penanganan yang tepat, khususnya di Kabupaten Bengkulu Tengah.

II. AREA PENELITIAN

Penelitian ini fokus pada area longsor di Bengkulu Tengah, Bengkulu, Indonesia, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Prasidya dkk. [1] menyebutkan bahwa lokasi longsor pada Oktober 2017 silam adalah pada 3.62283 Lintang Utara dan 102.552 Bujur Timur. Longsor disebabkan oleh tingginya curah hujan pada area tersebut, yang berlangsung selama beberapa hari. Lereng yang mengalami kelongsoran diprediksi memiliki ketinggian sebesar 8 m, panjang horizontal sebesar 15 m, dengan kemiringan lereng 45 sampai 60°.

Mawardi dkk. [2] pernah melakukan investigasi pada area yang berpotensi mengalami kelongsoran di Kabupaten Bengkulu Tengah dan Kepahiang. Mengikuti studi terdahulu tersebut, investigasi lapangan dan pengambilan sampel tanah tidak mengganggu (*undisturbed sample*) dilakukan pula pada studi ini. Selanjutnya, sampel diuji di laboratorium untuk diinvestigasi sifat fisis dan teknis-nya. Uraian detail pengujian sifat fisis dan mekanis sampel yang mengalami kelongsoran diperlihatkan pada Tabel 1. Secara umum, berdasarkan *Unified Soils Classification System* atau USCS, material longsor didominasi oleh lempung organik yang dinotasikan sebagai OH [3]. Hasil uji laboratorium juga memperlihatkan bahwa terdapat 3 per lapisan tanah pada area yang mengalami kelongsoran. Tabel 1 digunakan sebagai parameter input untuk simulasi elemen hingga [4].

III. TEORI

A. Analisis Stabilitas Lereng

Pada sebuah lereng, elemen gravitasi dapat menyebabkan masa tanah tergelincir ke bawah. Jika elemen gravitasi terlalu

besar dan melebihi tahanan geser tanah, maka longsor dapat terjadi. Analisis pada lereng sering disebut sebagai analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng umumnya sulit dilakukan, karena banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasil analisis, seperti geometri lereng, iklim, aktifitas mahasiswa, sifat fisis, sifat teknis dan lain sebagainya. Analisis stabilitas lereng dapat dilakukan jika geometri lereng dan kondisi per lapisan tanah setidaknya telah diketahui. Pemecahan masalah lereng menggunakan metode-metode yang tepat dapat diimplementasikan dalam analisis stabilitas lereng [5].

Hardiyatmo [6] menyebutkan bahwa stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh kuat geser tanah. Parameter ini memainkan peranan penting dalam menentukan ketahanan tanah terhadap keruntuhan atau longsor. Secara umum, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode ini menekankan pada penentuan Faktor Aman (*FS*) dari bidang gelincir potensial. *FS* sendiri didefinisikan sebagai perbandingan antara komponen gaya atau momen penahan kelongsoran dan komponen gaya atau momen pendorong kelongsoran. Formula *FS* dituliskan ke dalam persamaan berikut,

$$FS = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \quad (1)$$

dimana, M_r is momen penahan dan M_d adalah momen pendorong



Gambar 1. Lokasi longsor pada Tanggal 31 Oktober 2017 [1]

Bishop [7] dalam penelitiannya menyebutkan bahwa untuk mendefinisikan suatu lereng yang dinyatakan aman, maka nilai faktor aman minimum yang dimiliki adalah sebesar 1,5. Bishop [7] juga menyebutkan bahwa lereng dengan nilai FS kurang dari 1,5 dapat dianggap sebagai lereng yang berpotensi mengalami kelongsoran atau dalam kondisi yang tidak stabil. Ini juga mengindikasikan bahwa suatu lereng dapat dikatakan stabil dan tidak berpotensi longsor apabila nilai FS yang dimiliki adalah bernilai lebih besar dari 1,5.

Dalam implementasinya, stabilitas lereng dapat dihitung menggunakan metode keseimbangan batas atau metode irisan. Secara umum, metode irisan mempertimbangkan banyak parameter, seperti momen, gaya horizontal, dan gaya vertikal. Beberapa peneliti sudah mengusulkan metode untuk memecahkan permasalahan stabilitas lereng, seperti dirangkum pada Tabel 2. Dalam konsep teknis praktis, Metode Fellenius [8] dan Metode Bishop Disederhanakan [9] dapat dikategorikan sebagai metode yang paling banyak digunakan. Meskipun demikian, terdapat beberapa kelemahan yang terdapat dalam metode-metode tersebut, khususnya proses iterasi yang memakan waktu cukup lama. Selain itu, kedua metode tersebut hanya melaporkan nilai faktor aman saja, sedangkan deformasi yang memungkinkan terjadi tidak diperoleh. Oleh karena itu, analisis menggunakan metode elemen hingga dapat menjadi alternatif untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Tabel 1. Sifat fisis dan sifat teknis tanah

Sifat Fisis	Sampel			Satuan
	1	2	3	
Jenis tanah berdasarkan USCS	OH	OH	OH	-
Berat Volume Basah (γ_b)	1.59	1.62	1.56	gr/cm ³
Berat Volume Kering (γ_d)	1.09	1.12	1.14	gr/cm ³
Berat Volume Jenuh (γ_{sat})	1.66	1.67	1.68	gr/cm ³
Kadar Air (w)	46.55	48.60	50.24	%
Batas Cair (LL)	79.57	71.5	75.44	%
Batas Plastis (PL)	56.40	55.13	54.70	%
Indeks Plastisitas (PI)	19.57	15.37	20.74	%
Kohensi (c)	23.37	27.79	22.62	kPa
Sudut Geser (ϕ)	17.03	19.58	18.05	

Tabel 2. Kriteria metode keseimbangan batas plastis

Metode	Faktor Keseimbangan Batas		Momen
	Gaya		
	Horizontal	Vertikal	
Bishop Disederhanakan [7]	-	-	
Fellenius [8]	-	-	
Simplified Janbu [9]	-	-	-
Lowe dan Karfiath [10]	-	-	-
Spencer [11]	-	-	
Sarma [12]	-	-	
Morgenstern dan Price [13]	-	-	

B. Metode Elemen Hingga dan Model Mekanis

Clough dan Woodward [14] merupakan peneliti yang pertama kali mengusulkan metode elemen hingga. Metode elemen hingga dapat diimplementasikan untuk memecahkan beberapa permasalahan di bidang geoteknik, khususnya yang berkaitan dengan timbunan, pengaruh tegangan-regangan, dan deformasi massa tanah. Kualitas hasil yang diperoleh dari

metode elemen hingga sangat tergantung pada kehandalan dan kesesuaian model tanah yang diterapkan. Metode elemen hingga adalah sebuah metode perhitungan yang menggunakan diskretisasi sistem struktur, massa, elemen solid ke dalam elemen yang lebih kecil. Metode ini biasanya disebut sebagai *meshing*. *Meshing* dapat memungkinkan untuk membangun sebuah sistem dengan derajat kebebasan tidak berhingga yang memudahkan dalam perhitungan. Metode elemen hingga menjadi lebih akurat apabila elemen yang diterapkan semakin kecil. Metode elemen hingga juga dapat digunakan untuk perhitungan distribusi beban yang terjadi pada setiap elemen, seperti deformasi, tegangan, dan regangan [5].

Dalam berbagai permasalahan di bidang geoteknik, perilaku mekanis tanah dapat dimodelkan menggunakan beberapa konsep permodelan yang telah teruji. Permodelan sederhana tegangan-regangan adalah model elastik liner dari Hukum Hooke. Pada model sederhana ini, terdapat dua parameter yang digunakan, yaitu Modulus Young (E) dan Rasio Poisson (ν). Meskipun demikian, hasil yang diperoleh dari model ini cenderung lebih konservatif. Oleh karena itu, beberapa model, seperti Mohr Coulomb Model, Jointed Rock Model, Hardening Soil Model, Soft Soil Creep Model, dan Soft Soil Model dapat digunakan dalam analisis [4].

Brinkgreve dkk. [4] menyebutkan bahwa Model Mohr-Coulomb adalah salah satu model yang dikenal secara luas dan diimplementasikan untuk menganalisis keruntuhan lereng. Keruntuhan lereng dapat terjadi akibat pergerakan relatif partikel tanah. Kondisi ini mengakibatkan lereng dapat mengalami kelongsoran pada tanah. Untuk tanah kohesif, seperti lempung dan lanau, kuat geser tanah didominasi oleh nilai lekatan antar partikel atau kohesi (c). Untuk tanah granuler, seperti pasir, kekuatan tanah umumnya dikontrol oleh sudut geser internal (ϕ). Untuk material campuran tanah kohesif dan granuler, maka kedua komponen, yaitu c and ϕ merupakan parameter yang menentukan kuat geser tanah.

C. Desain Penanganan Lereng

Hardiyatmo [6] menyebutkan bahwa upaya mitigasi longsor dapat diterapkan untuk mengurangi potensi massa tanah yang dapat tergelincir. Secara umum, desain penanganan longsor ditekankan pada dua metode utama, yaitu metode kontrol dan metode perkuatan. Hardiyatmo [15] menyebutkan bahwa beberapa metode, seperti pengurangan massa tanah, pembuatan trap atau *benching*, *berm*, drainase bawah permukaan, drainase permukaan, perbaikan struktur sungai, dan pemanfaatan vegetasi dapat dikategorikan sebagai metode kontrol. Penanganan dengan angkur tanah, perkuatan geosintesis, *soldier piles*, cerucuk, dinding penahan tanah dan brojong, dapat dikategorikan sebagai metode perkuatan.

Beberapa peneliti telah mengimplementasikan kedua metode tersebut untuk penanganan lereng. Adi dkk. [16] melakukan analisis stabilitas lereng pada tanah lunak di sepanjang Sungai Kapuas, Kalimantan Barat, Indonesia. Adi dkk. [16] menerapkan pemasangan tiang-tiang cerucuk sebagai upaya penanganan lereng tanah lunak di sepanjang Sungai Kapuas. Hasil analisis memperlihatkan bahwa tiang cerucuk dapat meningkatkan faktor aman lereng hingga mencapai 1,416.

Zhang dkk. [17] melakukan studi stabilitas lereng melalui penerapan metode kontrol, yakni pengurangan massa material potensial yang dapat bergerak. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa faktor aman lereng dapat meningkat hingga 2,180. Meskipun demikian, pengaruh rembesan tidak dipertimbangkan pada studi tersebut. Taufiq dan Kurniawan [18] menyebutkan bahwa rembesan dapat mempengaruhi stabilitas lereng. Penurunan nilai FS dapat terjadi apabila terdapat rembesan pada suatu lereng tanah. Taufiq dan Kurniawan [18] juga menyebutkan bahwa lereng landai cenderung lebih rentan mengalami keruntuhan akibat rembesan.

IV. METODOLOGI

Studi ini diawali dengan melakukan investigasi lapangan ke lokasi yang mengalami kelongsoran pada tanggal 31 Oktober 2017 silam, seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Sampel tanah tidak terganggu dilakukan dan diuji di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil, Universitas Bengkulu, untuk mendapatkan informasi mengenai sifat fisis dan sifat teknis. Selanjutnya, identifikasi jenis tanah menggunakan metode USCS dilakukan. Dari klasifikasi tersebut, diketahui bahwa perlapisan yang mengalami kelongsoran adalah material yang dikategorikan sebagai lempung organik atau OH. Sifat fisis tanah selanjutnya dianalisis lebih lanjut untuk simulasi menggunakan metode elemen hingga. Model Mohr-Coulomb diterapkan pada studi ini. Analisis numeris menggunakan metode elemen hingga [4] dilakukan.

Dalam simulasi, beberapa desain penanganan yang menekankan pada metode kontrol dan metode perkuatan diterapkan. Tujuan dari simulasi lereng dengan desain penanganan tersebut adalah mengamati deformasi dan faktor aman lereng. Kondisi dengan desain penanganan dipertimbangkan dalam analisis. Kondisi pertama adalah kondisi lereng tanpa perkuatan atau sesaat sebelum kelongsoran terjadi. Lereng dengan pengurangan masa tanah merupakan kondisi kedua, sedangkan lereng yang ditata dengan pengaturan trap merupakan kondisi ketiga.

Kondisi keempat merupakan kondisi dimana lereng diperkuat dengan bronjong pada bagian kaki lereng. Secara umum Kondisi 2, 3, dan 4 masing-masing dapat dianggap sebagai alternatif 1, 2, dan 3. Studi ini fokus pada implementasi desain penanganan lereng yang mengalami kelongsoran pada tanggal 31 Oktober 2017, di Bengkulu Tengah. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi kepada pemerintah setempat dalam menentukan desain penanganan lereng yang tepat untuk wilayah longsor dan area lainnya di Kabupaten Bengkulu Tengah.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi 1

Hasil simulai elemen hingga untuk Kondisi 1 dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2a, dari deskripsi deformasi *meshing* terlihat bahwa lereng cenderung bergerak ke bawah akibat dari masa tahan yang telah jenuh akibat peningkatan tegangan air pori akibat infiltrasi air hujan. Gambar 2b

memperlihatkan bahwa pergerakan diawali dari kaki lereng. Deformasi dalam bentuk kontur menunjukkan bahwa bidang gelincir cenderung memotong kaki lereng. Deformasi maksimal pada kondisi ini adalah sebesar 2,140 m, yang terkonsentrasi pada badan lereng. Nilai FS untuk kondisi ini adalah sebesar 1,399. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa lereng Kondisi 1 berada pada level yang tidak aman. Sejalan dengan apa yang dijumpai di lapangan, hasil analisis telah memberikan konfirmasi mengapa keruntuhan lereng pada Oktober 2017 silam dapat terjadi.

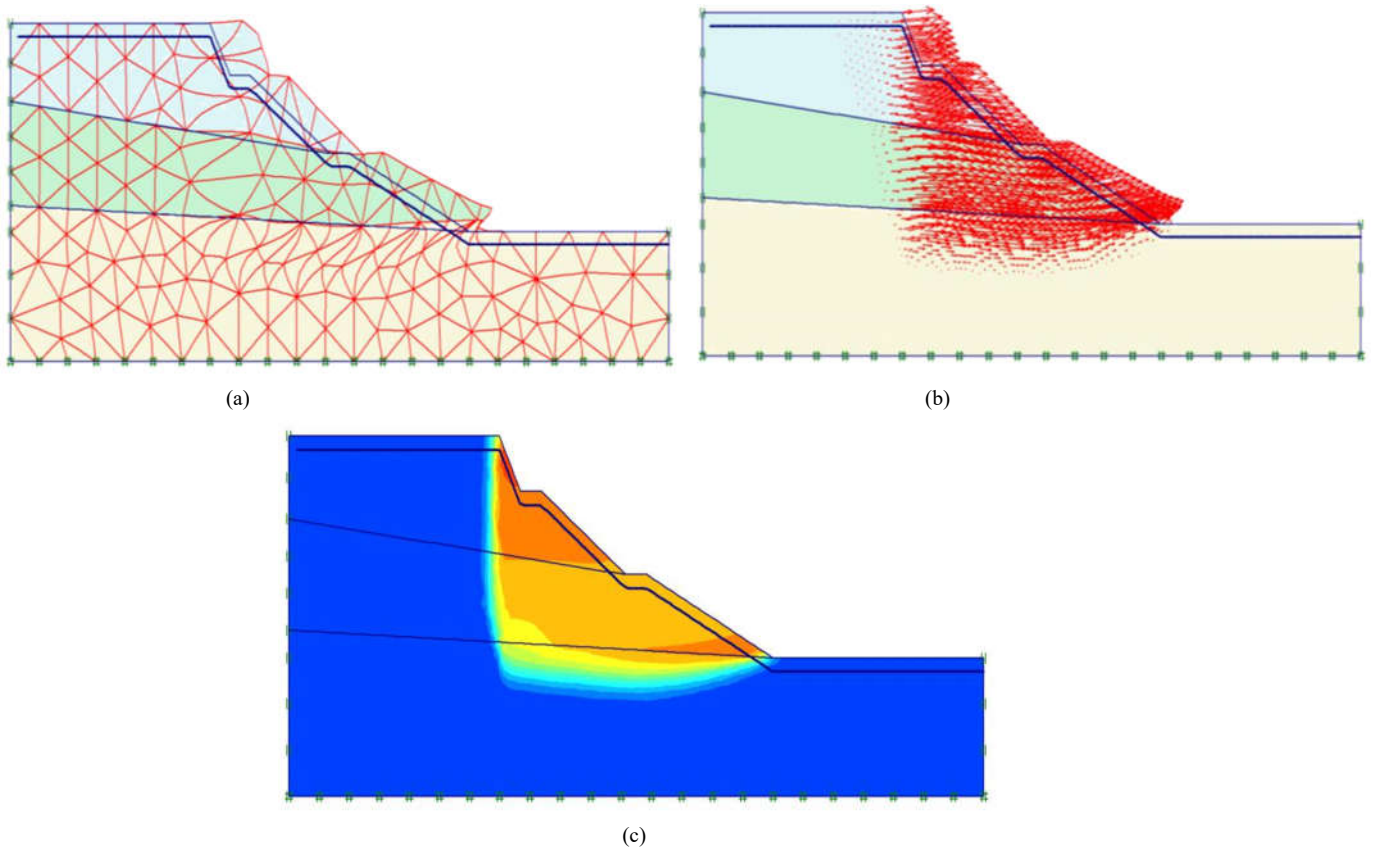
B. Kondisi 2

Hasil analisis untuk Kondisi 2 dapat dilihat pada Gambar 3. Pada kondisi ini, lereng diremediasi dengan melakukan pelandaian. Secara umum, deformasi lereng memiliki kecenderungan yang sama seperti Kondisi 1, yakni permukaan keruntuhan lereng telah melewati kaki lereng, seperti ditunjukkan pada Gambar 3a dan Gambar 3b. Deformasi yang memungkinkan terjadi pada kondisi ini terkonsentrasi pada kaki lereng, yakni sebesar 0,440 m. Berkaitan dengan Kondisi 1, desain penanganan yang dilakukan adalah melandaikan lereng atau dengan kata lain mengurangi massa tanah yang berpotensi bergerak. Metode ini cukup efektif mengurangi deformasi yang terjadi pada Kondisi 1. Hal ini disebabkan karena potensi tanah yang bergerak telah diakomodir, sehingga gaya pendorong dari massa tanah dapat dikurangi. Faktor aman untuk Kondisi 2 ini adalah sebesar 1,679.

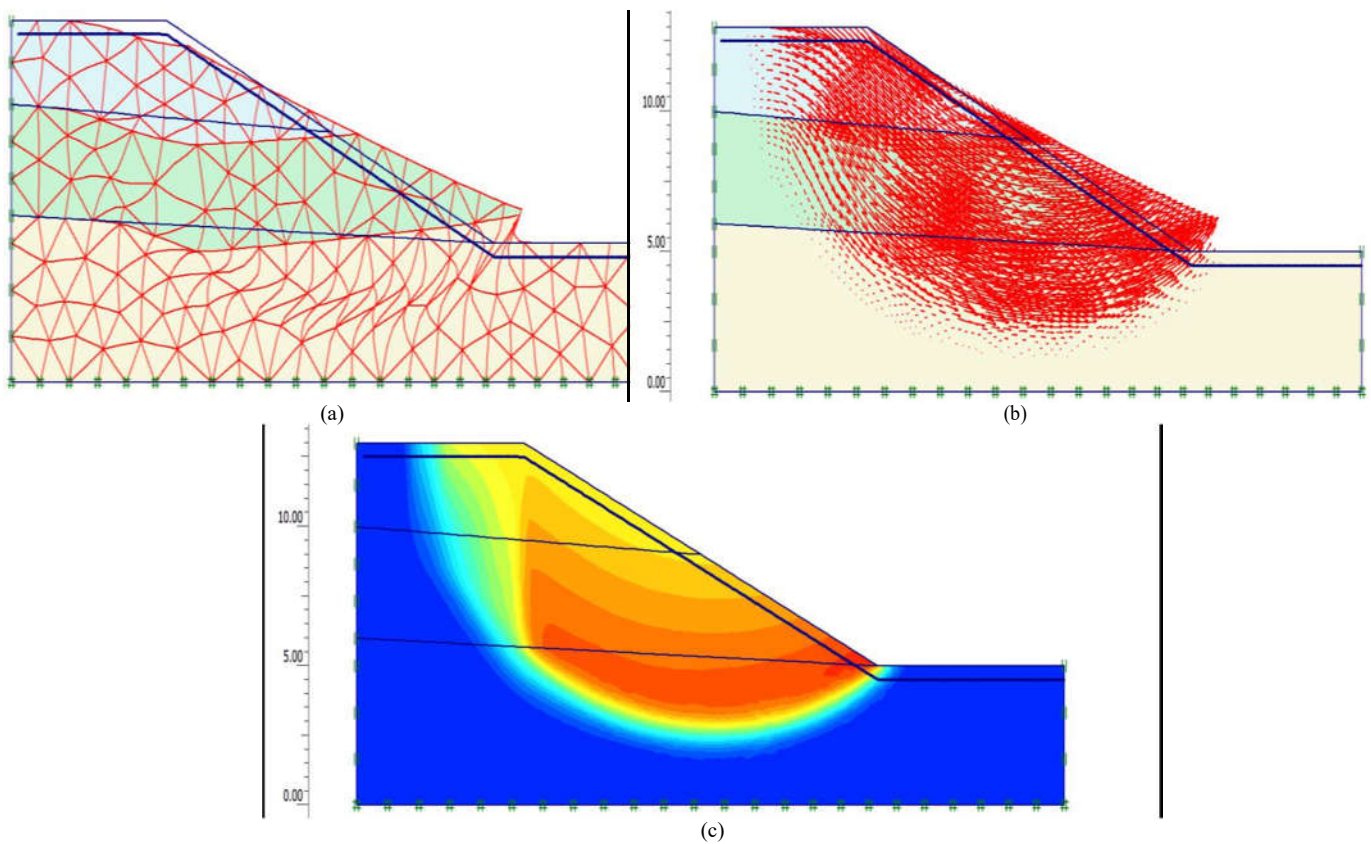
C. Kondisi 3

Hasil simulasi elemen hingga untuk Kondisi 3 ditampilkan pada Gambar 4. Penerapan desain penanganan menggunakan trap atau *benching* memberikan pengurangan potensi deformasi lereng yang dapat terjadi. Hasil simulasi juga memperlihatkan bahwa deformasi maksimal yang dapat terjadi pada Kondisi 3 ini adalah sebesar 1,699 m. Deformasi maksimal tersebut teridentifikasi pada lereng trap pertama. Hal ini disebabkan karena kemiringan lereng trap yang terlalu curam. Pada bagian ini dapat menjadi celah bagi aliran permukaan untuk meresap ke dalam lereng.

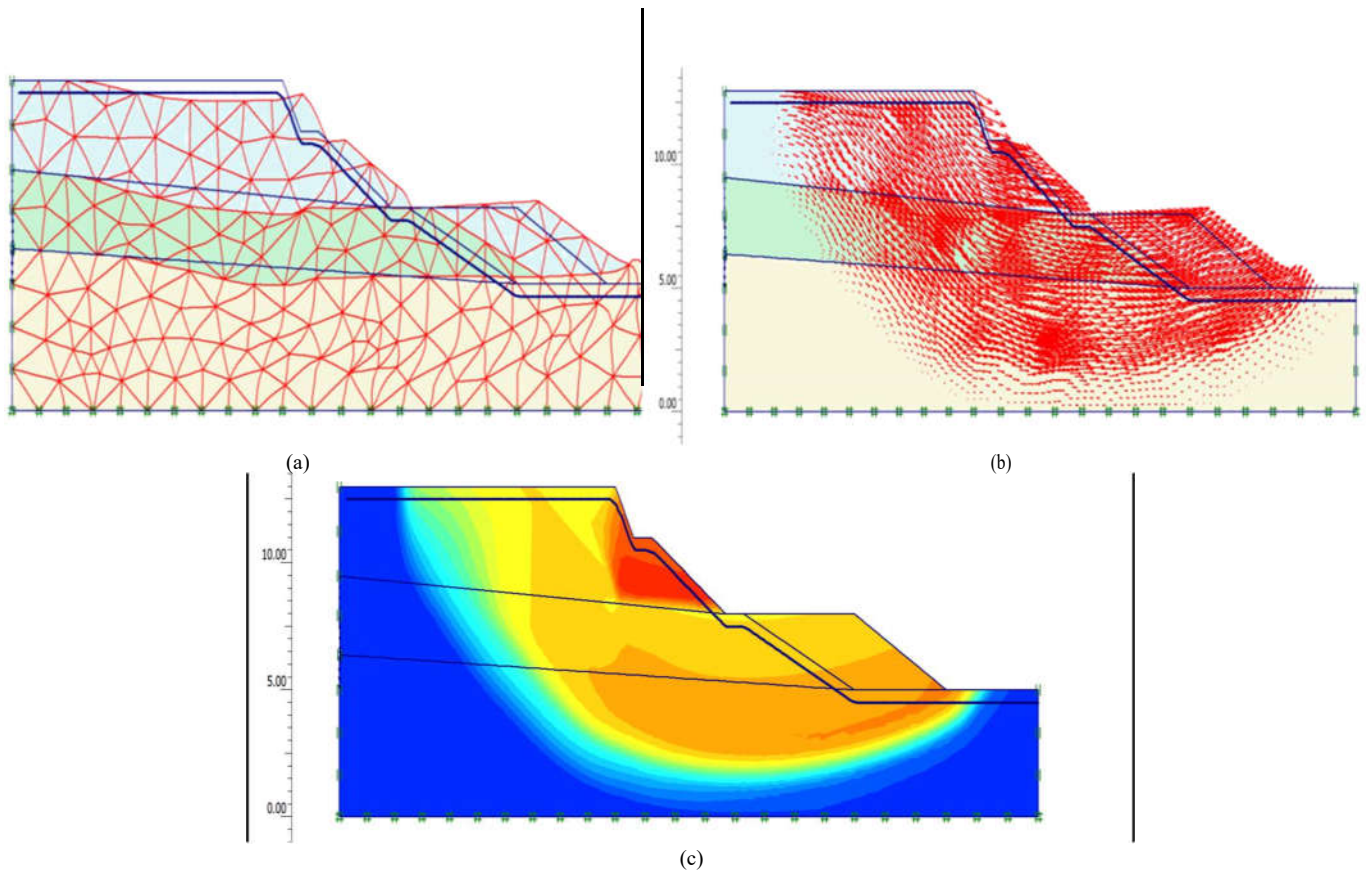
Oleh karena itu, metode trap perlu dikombinasikan dengan metode lainnya, salah satunya adalah dengan memberikan vegetasi pada bagian badan lereng dan juga drainase permukaan. Metode vegetasi juga dapat mengurangi potensi erosi permukaan pada permukaan lereng yang memiliki trap. Sebagaimana diketahui bahwa erosi pada permukaan lereng juga dapat menjadi bidang perlemahan bagi lereng. Ini disebabkan karena alur erosi dapat menjadi jalan air hujan masuk ke dalam badan lereng. Secara umum, perkuatan lereng menggunakan metode trap juga tetap menimbulkan potensi pergerakan pada kaki lereng. FS yang dapat dicapai menggunakan metode trap ini adalah sebesar 1,852.



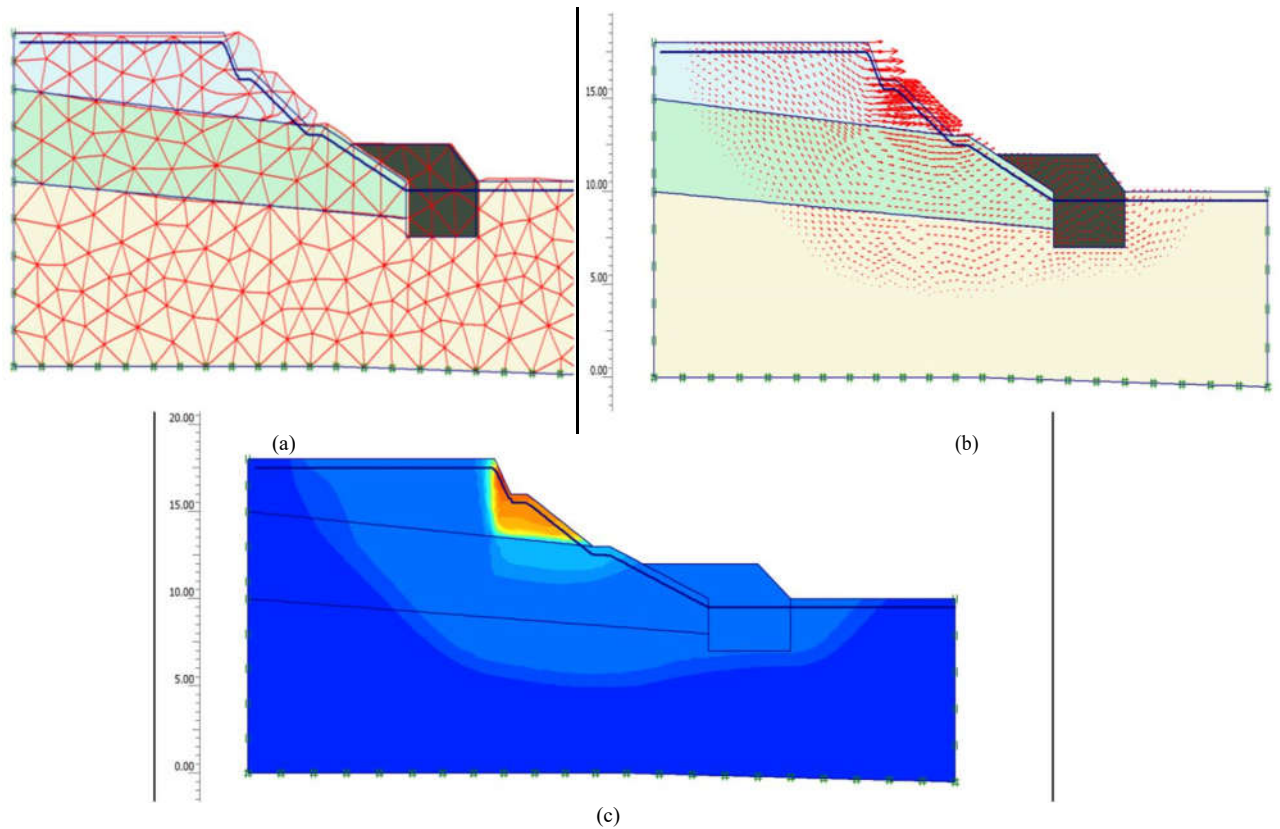
Gambar 2. Hasil simulasi elemen hingga Kondisi 1 (a) deformasi *meshing* (b) pergerakan geliciran (c) kontur deformasi



Gambar 3. Hasil simulasi elemen hingga Kondisi 2 (a) deformasi *meshing* (b) pergerakan geliciran (c) kontur deformasi



Gambar 4. Hasil simulasi elemen hingga Kondisi 3 (a) deformasi *meshing* (b) pergerakan geliciran (c) kontur deformasi



Gambar 5. Hasil simulasi elemen hingga Kondisi 4 (a) deformasi *meshing* (b) pergerakan geliciran (c) kontur deformasi

D. Kondisi 4

Hasil simulasi Lereng Kondisi 4 ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Kondisi 4, perkuatan lereng yang diterapkan adalah pemasangan bronjong pada kaki lereng, sebagai dinding penahan tanah. Sifat fisis bronjong yang digunakan mengacu pada studi yang telah dilakukan oleh [4]. Metode ini diterapkan karena melihat dari ketiga kondisi sebelumnya, dimana pergerakan lereng selalu diawali dari kaki lereng. Berdasarkan hasil simulasi, terlihat bahwa pemasangan bronjong dapat mengurangi deformasi pada kaki lereng. Deformasi maksimal untuk Kondisi 4 adalah sebesar 0.099 m, yakni pada bagian badan lereng bagian atas. Pada bagian yang mengalami deformasi maksimum tersebut, metode penanganan lain dapat dilakukan, seperti pelandaian lereng, pemasangan drainase permukaan, vegetasi, dan pengaturan trap. *FS* pada kondisi ini adalah sebesar 1,956.

E. Perbandingan Peningkatan Nilai *FS* dan Pengurangan Deformasi pada masing-masing Desain Penanganan

Perbandingan kehandalan masing-masing alternatif penanganan diperlihatkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa penanganan lereng Kondisi 4, yakni dengan pemasangan bronjong pada kaki lereng, memberikan nilai *FS* paling besar dan deformasi paling kecil. Mengacu pada Tabel 3, persentase peningkatan *FS* ditampilkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6, terlihat bahwa pelandaian lereng (Kondisi 2) dapat meningkatkan nilai *FS* hingga 20% dari kondisi awal (Kondisi 1). Untuk Kondisi 3 dan Kondisi 4, Nilai masing-masing *FS* dapat meningkat hingga 27% dan 30%. Persentase pengurangan deformasi diperlihatkan pada Gambar 7. Terlihat bahwa semua alternatif dapat memberikan pengurangan deformasi. Penanganan dengan pelandaian lereng lereng (Kondisi 2) dapat mereduksi deformasi hingga 80 %. Penanganan dengan trap (Kondisi 3) dapat mengurangi deformasi hingga 22%. Penanganan dengan bronjong (Kondisi 4) dapat mengurangi deformasi hingga 95%. Mengacu pada hasil tersebut, pemasangan bronjong pada kaki lereng dapat menjadi alternatif untuk pencegahan dan perbaikan lereng yang mengalami keruntuhan dan kelongsoran di Kabupaten Bengkulu Tengah, Provinsi Bengkulu.

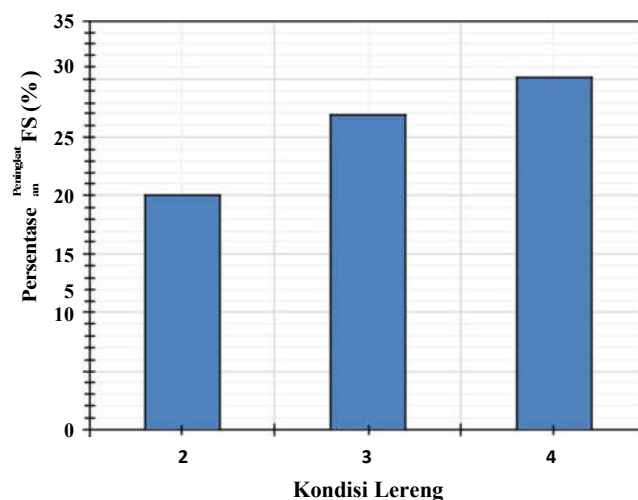
Tabel 3. Rangkuman hasil simulasi elemen hingga.

Kondisi	Faktor Aman (<i>FS</i>)	Deformasi (m)
1	1.399	2.140
2	1.679	0.440
3	1.852	1.669
4	1.956	0.099

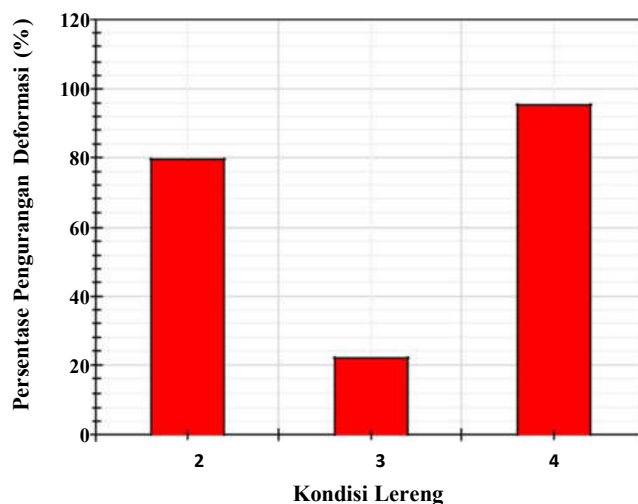
VI. KESIMPULAN

Penelitian ini fokus pada implementasi penanganan lereng yang mengalami kelongsoran pada Tanggal 31 Oktober 2017, di Kabupaten Bengkulu Tengah, Provinsi Bengkulu. Metode elemen hingga digunakan untuk mengamati kehandalan desain penanganan yang diterapkan. Secara umum, metode perkuatan melalui pemasangan bronjong pada kaki lereng dapat menjadi solusi yang efektif untuk

penanganan lereng yang rentan mengalami kelongsoran. Kombinasi beberapa desain penanganan dan estimasi biaya yang diperlukan dapat dilakukan untuk studi lanjutan. Hasil penelitian ini dapat menjadi pertimbangan bagi pemerintah setempat, dalam menentukan desain penanganan dan pencegahan pada area berpotensi mengalami kelongsoran.



Gambar 6. Persentase peningkatan *FS*



Gambar 7. Persentase pengurangan deformasi

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Skema Penelitian Pembinaan Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu tahun anggaran 2019. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil Universitas Bengkulu untuk data hasil pengujian sampel tanah tidak terganggu yang digunakan pada penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A.S. Prasidya and R. Rizcanofana, "Pemetaan Topografi Area Longsor Di Jalan Hantar Km10 Plta Musi, Bengkulu Menggunakan Total Station Berbasis Reflektor," In: *Proceeding of Seminar Nasional Geomatika Penggunaan dan Pengembangan Produk Informasi Geospasial Mendukung Daya Saing Nasional*, vol. 3 pp. 1019-1028, 2018.
- [2] Mawardi, G. Gunawan, M.R. RazaliShinta, "Model longsor akibat perubahan iklim dengan menggunakan digital elevation models dan geoslope," *Teknosia.*, vol. 3(2), pp. 32-39, Sept. 2017.
- [3] A.K. Howard, "The revised ASTM standard on the unified classification system," *Geotechnical Testing Journal*, vol 7(4), pp. 216-222, 1984.
- [4] R. B. J. Brinkgreve, W.M. Swolfs, and E. Engin, D. Waterman, A. Chesaru, P. Bonnier and Galavi V. "PLAXIS 2D Reference manual," Delft University of Technology and PLAXIS by The Netherlands, 2011
- [5] Hardiansyah, L.Z. Mase, K. Amri," *Proposal of Performance of Reinforcement Method and Controlling Method for Slope Stability in Central Bengkulu Regency*," Faculty of Engineering, Univesity of Bengkulu, 2019.
- [6] H.C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II* (fourth edition), Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press, 2007.
- [7] A.W. Bishop, "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes," *Geotechnique*, vol. 5(1), pp. 7-17, 1955.
- [8] W. Fellenius, "Erdstatische Berechnungen mit Reibungund und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen," Ernst & Sohn, Berlin. [Translated from Swedish (Stockholm 1926).], 1927. (in Swedish).
- [9] N. Janbu, "Application of composite slip surface for stability analysis," In: *Proceedings of European Conference on Stability of Earth Slopes*, Sweden, Vol. 3, pp. 43-49, 1954.
- [10] Lowe, J and Karafiath, L. Effect of anisotropic consolidation on the undrained shear strength of compacted clays. In: *Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE*, pp. 837-858, June, 1960.
- [11] E. Spencer, "A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Geotechnique*, vol. 17(1), pp. 11-26, 1967.
- [12] S.K. Sarma, "Stability analysis of embankments and slopes," *Geotechnique*, vol. 23(3), pp. 423-433, 1973.
- [13] N. R. Morgenstern and V. E. Price, "The analysis of the stability of general slip surfaces," *Geotechnique*, vol. 15(1), pp. 79-93, 1965.
- [14] R. W. Clough and R.J. Woodward, "Analysis of embankment stresses and deformations," *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div ASCE*, vol.93(SM.4), pp. 529-549, 1967.
- [15] H. C. Hardiyatmo, *Tanah Longsor dan Erosi: Kejadian dan Penanganan*, Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press, 2011. (in Bahasa)
- [16] A.D. Adi, L.Z. Mase, T. Pranata, S.L. Kuncara, D. Sulistyowati. Stabilitas lereng menggunakan cerucuk. In: *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI)*, pp. 151-156, June 10-11, Yogyakarta, Indonesia, 2014.
- [17] Y. Zhang, G. Chen, L. Zheng, Y. Li, and X. Zhuang, "Effects of geometries on three-dimensional slope stability," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 50(3), pp. 233-249, 2013