



Contents list available at the journal.uib.ac.id

Journal of Civil Engineering and Planning

Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

## Investigasi geoteknik, studi mekanisme dan penanganan longsor pada jalan di atas tanah lempung lunak-sedang, studi kasus: Longsor di Sukarami, Lahat

### *Geotechnical investigation, landslide mechanism and countermeasure on the road above the soft-medium clay*

Aminudin Syah<sup>1\*</sup>, Fikri Alami<sup>2</sup><sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung<sup>2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung\*Email korespondensi: [aminudin.syah@eng.unila.ac.id](mailto:aminudin.syah@eng.unila.ac.id)

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p><b>Kata kunci :</b></p> <p>longsor muka air tanah penanganan longsor faktor aman</p>	<p>Pada awal tahun 2024, longsor terjadi di Sukarami, Kabupaten Lahat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mekanisme longsor, pengaruh kenaikan muka air tanah dan beban terhadap stabilitas lereng serta memberikan konsep penanganan. Metode penelitian difokuskan untuk melakukan survei longsor, penyelidikan tanah dan analisis stabilitas dengan metode kesetimbangan batas. Hasil survei dan investigasi longsor menunjukkan bahwa longsor terjadi karena penurunan parameter kuat geser tanah di sekitar bidang gelincir yang dipicu oleh hujan dan limpasan drainase jalan. Bidang gelincir ini berada pada lapisan tanah lempung dengan konsistensi lunak hingga sedang yang sangat rentan ketika dipicu oleh air. Hasil simulasi numeris menunjukkan bahwa semakin tinggi muka air tanah, semakin rendah faktor aman lereng. Hal ini terjadi saat air mencapai bidang gelincir potensial (kritis). Pada saat muka air tanah normal, faktor aman lereng eksisting adalah 1,37 untuk beban statis dan 1,02 untuk beban dinamis. Nilai ini masih berada di bawah standar SNI. Nilai faktor aman kombinasi bronjong, DPT, dan minipile dapat memperkuat lereng dan meningkatkan faktor aman hingga memenuhi standar SNI. Nilai faktor aman setelah adanya perkuatan adalah 2,36 (beban statis) dan 1,73 (beban dinamis). Pada kasus ini, penambahan beban kendaraan hingga 30 kN/m<sup>2</sup> tidak berdampak signifikan terhadap stabilitas lereng.</p>

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Keywords:</b></p> <p>landslide groundwater level countermeasure safety factor</p>	<p><i>A landslide event occurred in Sukarami, Lahat Regency, in early 2024. This study investigates the landslide mechanism, analyzes the influence of groundwater level rise and load on slope stability, and proposes a management concept. The methodology employed a landslide survey, soil investigation, and limit equilibrium-based stability analysis. Field investigations and surveys revealed that the landslide resulted from a decrease in the shear strength parameter of the surrounding soil layer triggered by rainfall and road drainage runoff. The slip plane, located within a soft to medium consistency clay layer, exhibits high susceptibility to water-induced instability. Numerical simulations demonstrated a negative correlation between groundwater level and slope safety factor, particularly when the water table reaches the critical slip plane. At normal groundwater levels, the safety factor of the existing slope is 1.37 for static loads and 1.02 for dynamic loads, which is below the SNI standard. The combination of gabions, DPT, and minipiles can reinforce the slope and increase the safety factor to meet SNI standards. After reinforcement, the safety factor values are 2.36 for static loads and 1.73 for dynamic loads. Notably, the addition of vehicle loads up to 30 kN/m<sup>2</sup> exerted an insignificant influence on slope stability.</i></p>

## 1. Pendahuluan

Kondisi geografis berupa lereng yang curam, jenis tanah lempung yang mengandung montmorillonite dan curah hujan tinggi sering kali dikaitkan dengan kejadian longsor di Indonesia. Salah satunya adalah berada di Desa Sukarami, Kecamatan Kota Agung, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Pada awal Februari 2024, longsor mengakibatkan kerusakan pada jalan akses Lahat-Simpang Mio. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi geoteknik, menganalisis penyebab dan mekanisme longsor serta memberikan contoh rekomendasi perkuatan sederhana yang dapat dilakukan oleh pemerintah daerah setempat.

Sebagian besar metode untuk menghitung stabilitas lereng didasarkan pada prinsip kesetimbangan gaya dan momen [1]. Dalam metode ini, kegagalan diasumsikan terjadi pada permukaan kegagalan tertentu yang sering disebut sebagai bidang longsor. Bidang longsor dapat berbentuk lengkung/rotasional dan datar/translasiional [2]. Oleh karena itu, asumsi yang dibuat sangat berpengaruh terhadap ketepatan hasil analisis stabilitas. Validasi kondisi *real* di lapangan akan sangat berguna dan menentukan keberhasilan. Metode kesetimbangan batas biasanya menggunakan model parameter kuat geser tanah Mohr-Coulomb. Model ini membutuhkan parameter kuat geser pada berbagai jenis profil bawah permukaan yang dapat ditentukan melalui penyelidikan tanah. Kejadian longsor di Indonesia sering kali dikaitkan dengan penurunan kuat geser tanah pada lapisan lempung yang diakibatkan oleh air.

Bidang runtuh lereng biasanya terjadi pada kaki lereng, namun pada beberapa kasus juga terjadi pada tengah lereng [3]. Pada lereng dengan kemiringan 30° s.d 45°, permukaan kegagalan longsor dapat terjadi pada kaki, tengah dan bidang miring lereng [4]. Penelitian lain menunjukkan bahwa tipe bidang longsor rotasional berhubungan dengan nilai faktor aman ketika terdapat variasi parameter lapisan tanah, beban dan kemiringan lereng [5]. Faktor kedalaman galian dan kemiringan lereng juga sangat berpengaruh terhadap nilai faktor aman [6].

Penelitian ini akan membahas studi kasus seperti apa bidang kegagalannya, bagaimana penyebab dan mekanismenya sehingga dapat memberikan metode perkuatan yang sesuai untuk longsor sejenis disesuaikan dengan kondisi dan kemampuan pemerintah daerah setempat. Penelitian ini juga membahas pengaruh kenaikan muka air tanah dan beban kendaraan terhadap stabilitas yang divalidasi dengan bidang longsor yang terjadi di lapangan.

## 2. Tinjauan Pustaka

Stabilitas lereng dapat dinyatakan stabil jika gaya yang menahan lebih besar dari gaya yang menggerakkan. Faktor aman ( $SF$ ) merupakan representasi dari stabilitas tanah terhadap potensi dari keruntuhan [7]. Parameter yang berpengaruh terhadap tahanan geser tanah dalam hal ini adalah kohesi, sudut gesek internal, tegangan, beban dan muka air tanah.  $SF$  dinyatakan sebagai perbandingan antara gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan seperti ditunjukkan pada Persamaan berikut:

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \quad (1)$$

dengan,  $\tau$  adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah ( $\text{kN/m}^2$ ) dan  $\tau_d$  adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor ( $\text{kN/m}^2$ ). Persamaan (1) ini selanjutnya dikembangkan untuk berbagai bidang longsor dan variasi gaya dan/atau momen yang diperhitungkan seperti metode Fellenius, Bishop modifikasi [8], Janbu modifikasi [9], dan metode Morgenstern-Price [10].

Tambahan gaya pendorong sebagai pemicu longsor dapat diperoleh dari infiltrasi air permukaan pada lereng, getaran dan aktivitas manusia [11]. Infiltrasi hujan dapat mengakibatkan kenaikan muka air tanah yang pada banyak kasus diidentifikasi sebagai penyebab longsor [12]. Getaran dapat berasal dari gempa atau aktivitas lainnya. Untuk gempa, parameter yang digunakan dapat mengikuti nilai *Peak* berdasarkan berbagai standar. Koefisien Seismik Horizontal ( $k_h$ ) yang sering digunakan adalah  $1/2$  s.d.  $1/3$  dari PGA [13] atau  $1/2$  dari PGA [14] dengan  $FS > 1$ .

### 3. Metode Penelitian

Kegiatan penelitian secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu: a) kegiatan survei dan investigasi lapangan, dan b) Analisis stabilitas dan perkuatan lereng. Survei dan investigasi lapangan terdiri dari survei longsor untuk mengidentifikasi penyebab dan mekanisme longsor serta penyelidikan geoteknik untuk menentukan karakteristik geoteknik pada area sekitar longsor. Selain itu juga dilakukan pengukuran topografi untuk mengetahui kondisi kelerengan dan tata guna lahan di sekitar area yang diamati. Survei longsor terutama dimaksudkan untuk mengetahui faktor pengontrol dan pemicu longsor. Penentuan faktor pengontrol lereng berupa jenis tanah, kondisi hidrologi, pembebanan dan tata guna lahan sedangkan faktor pemicu adalah curah hujan, gempa atau aktivitas lain yang menambah beban pada lereng. Lokasi penelitian ini berada di Desa Sukarami, Kecamatan Kota Agung, Kabupaten Lahat dengan koordinat  $4^{\circ} 3' 9,927''$  LS  $103^{\circ} 25' 44,093''$  BT.

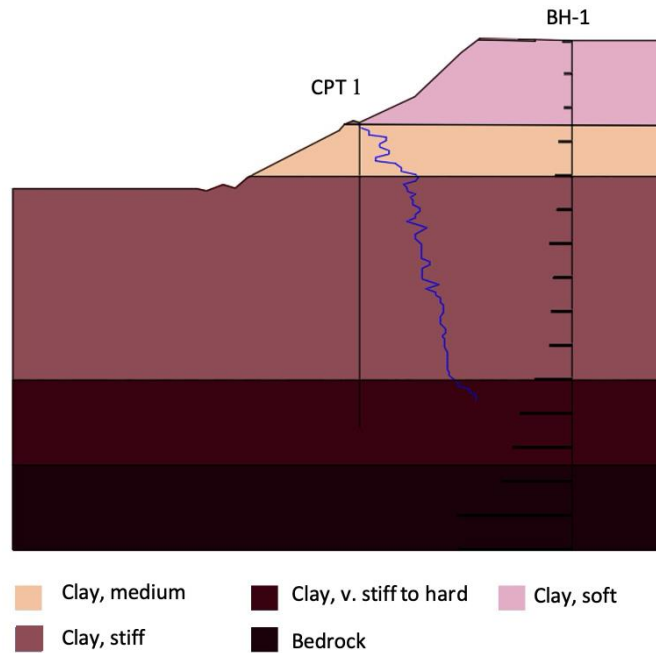
Sebagai bagian dari survei dan investigasi geoteknik dilakukan pengujian insitu berupa 2 titik bor mesin dengan NSPT dan 1 titik sondir. Pada beberapa titik dan kedalaman dilakukan pengambilan sampel dengan tabung uji untuk selanjutnya diuji di laboratorium sebagai penentuan parameter sifat fisik dan mekanik lapisan tanah. Hasil penyelidikan tanah kemudian dikombinasikan dengan data sekunder dan lainnya untuk membentuk profil bawah permukaan yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Pengujian laboratorium (standar ASTM) terdiri dari: berat volume, kadar air, gravitasi khusus, batas-batas atterberg, uji distribusi ukuran butiran tanah, uji geser langsung dan uji triaksial *Consolidated Undrained* (CU).

Analisis stabilitas dan perkuatan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dapat dilakukan setelah parameter geoteknik dari uji laboratorium dan profil bawah permukaan dari hasil survei, bor SPT dan sondir diperoleh. Pemodelan *back analysis* dilakukan untuk memodelkan kondisi saat terjadinya longsor berdasarkan topografi sebelum dan setelah longsor. Variasi muka air tanah dan pembebanan diberikan untuk mempelajari mekanisme dan penyebab longsor yang disesuaikan dengan kondisi *real* di lapangan. Dalam model, *matrix suction* pada kondisi *undrained* tidak diperhitungkan. Hal itu berarti perhitungan ini berada pada kondisi yang lebih konservatif. Selanjutnya, diberikan rekomendasi perkuatan sederhana sesuai dengan kemampuan pemerintah daerah setempat untuk menanggulangi longsor.

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Hasil Investigasi

Berdasarkan hasil borlog pada 2 titik, tahanan konus dan hasil uji laboratorium terhadap 4 buah sampel tanah dapat diketahui bahwa lapisan tanah dibagi menjadi 5 (lima) jenis yaitu: lempung lunak, lempung sedang, lempung kaku, lempung sangat kaku hingga keras serta lapisan batuan keras (*bedrock*). Lapisan batuan dengan NSPT  $> 60$  diperoleh pada kedalaman di atas 26 m. Secara umum, potensi likuifaksi pada area ini sangat rendah karena tidak adanya lapisan pasir halus dengan konsistensi longgar [15]. Profil bawah permukaan pada bidang longsor hasil interpretasi dari data penyelidikan tanah ditunjukkan pada Gambar 1. Lapisan lempung yang tebal ini mempengaruhi bidang gelincir longsor yang memiliki tipe lengkung/rotasional.



Gambar 1 Profil bawah permukaan longsor

Berdasarkan hasil hasil uji laboratorium, tanah di daerah longsor secara umum diklasifikasikan sebagai MH yaitu lanau anorganik atau pasir halus diatome atau lanau yang elastik atau OH yaitu lempung organik dengan plastisitas sedang hingga tinggi. Nilai kadar air sampel yang diuji memiliki nilai 36,64 % - 49,53 % dengan persentase butiran lolos saringan No.200 adalah 75,61 % - 90,94 %. Hasil bor juga menunjukkan bahwa nilai NSPT pada lapisan tanah 0-8 m adalah <10. Hal itu berarti lapisan tanah asli di bawah perkerasan jalan merupakan lempung yang sangat dominan dengan konsistensi lunak-sedang.

Tabel 1 Hasil Penyelidikan Tanah

Deskripsi	Depth (m)	NSPT range	NSPT Avg	Kadar Air (w, %)	Specific Gravity, G <sub>s</sub>	LL, (%)	PL, (%)	PI, (%)
Clay, soft	0 - 5	4 - 5	5					
Clay, medium	5 - 8	7 - 9	8	36,44	2,41	50,41	39,91	10,50
Clay, stiff	8 - 20	9 - 20	16	47,89	2,49	54,43	44,07	10,35
Clay, v. stiff to hard	20 - 25	20 - 38	29					
Bedrock	> 25	60	60					

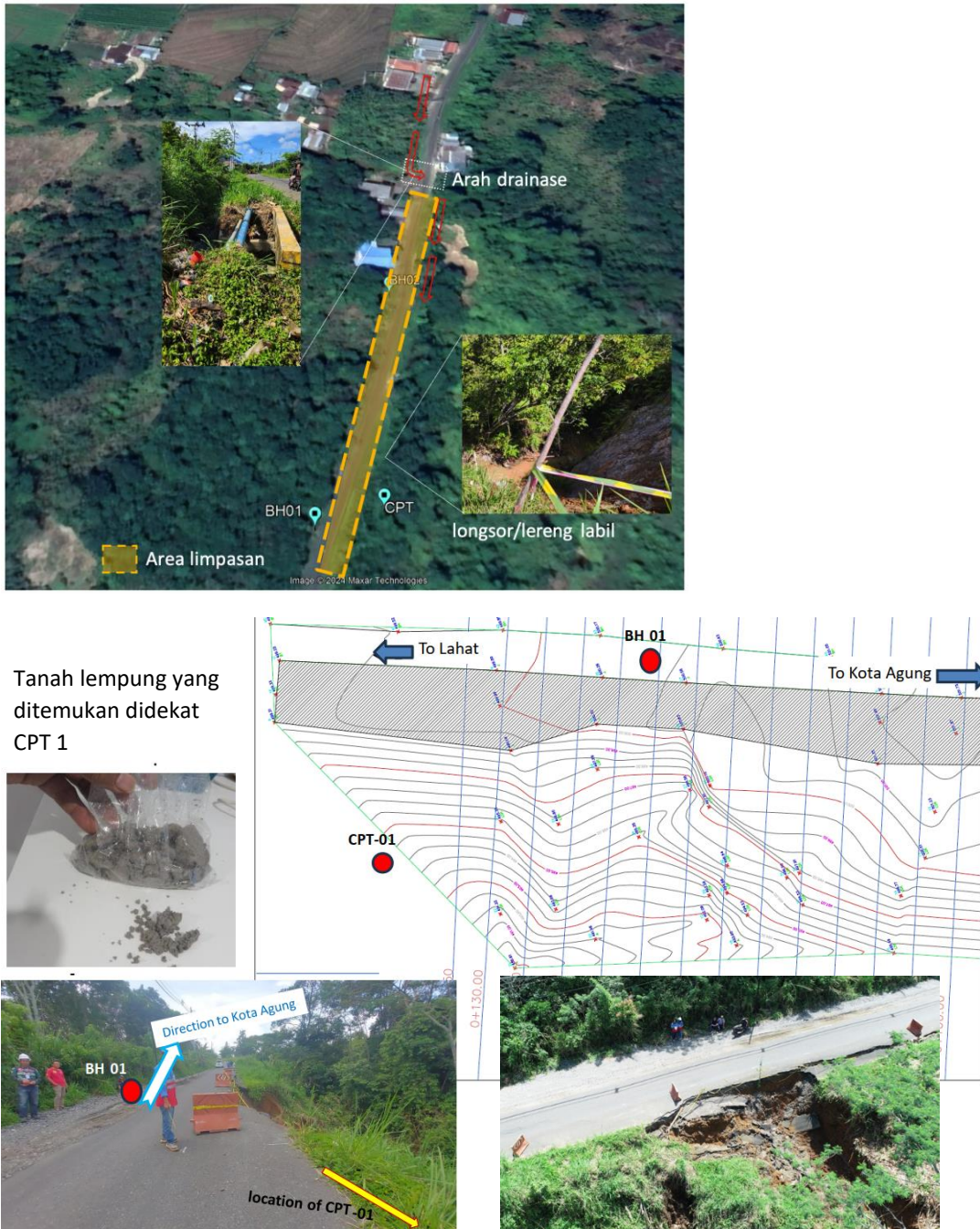
Tabel 1 Hasil Penyelidikan Tanah (Lanjutan)

Deskripsi	Depth (m)	Finer #200	$\gamma_b$ gr/cm <sup>3</sup>	Direct Shear		Triaxial CU		Unconfined Test	
				c, kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ , °	c', kg/cm <sup>2</sup>	$\phi'$ , °	c, kg/cm <sup>2</sup>	q <sub>u</sub> , kg/cm <sup>2</sup>
Clay, soft	0 - 5								
Clay, medium	5 - 8	90,94	1,67	1,73	42,06	0,94	4,20	1,43	2,86
Clay, stiff	8 - 20	75,61	1,71	3,39	48,43	0,14	40,34	2,03	4,06
Clay, v. stiff to hard	20 - 25								
Bedrock	> 25								

#### 4.2 Mekanisme

Berdasarkan hasil survei dan investigasi, dapat diketahui faktor pengontrol dan pemicu terjadinya longsor pada lereng. Faktor pengontrol berupa kondisi geometri lereng yang curam (> 40°) dan beda tinggi lebih dari 8 m. Lapisan tanah/batuan penyusun lereng didominasi oleh lempung yang sangat tebal dengan tingkat konsistensi lunak hingga keras (lihat Gambar 1). Faktor pengontrol lainnya adalah kondisi hidrologi dan tata guna lahan yang belum tertata dengan baik. Sebagai faktor pemicu terjadinya

longsor adalah curah hujan tinggi. Pada saat musim hujan, drainase jalan yang ada di hulu dapat melimpas dan mengalir ke jalan (Gambar 2). Hal itu terjadi karena kurangnya kapasitas saluran dan gorong-gorong untuk melewati debit banjir yang terjadi. Selanjutnya aliran ini menjadi liar dan sebagian masuk ke tubuh lereng yang berada di bawah jalan. Limpasan air dari drainase jalan berpotensi menyebabkan longsoran-longsorannya.



Gambar 2 Survei dan investigasi longsor

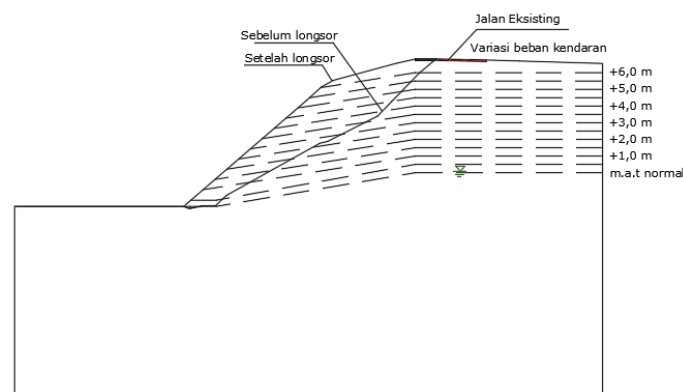
Kondisi litologi penyusun lereng berupa lempung mengandung mineral montmorillonite sangat rentan jika berinteraksi dengan air. Kondisi ini dapat mengurangi parameter kuat geser tanah, di sisi lain masuknya air juga menambah gaya pendorong (*driving force*) lereng menuju keruntuhan. Aliran permukaan juga mengakibatkan lereng rentan terjadi erosi. Di sisi lain, aliran yang sangat deras di kaki lereng mengikis kaki lereng sehingga dapat mempercepat terjadinya longsor.



## 4.2 Analisis Stabilitas dan Perkuatan Lereng

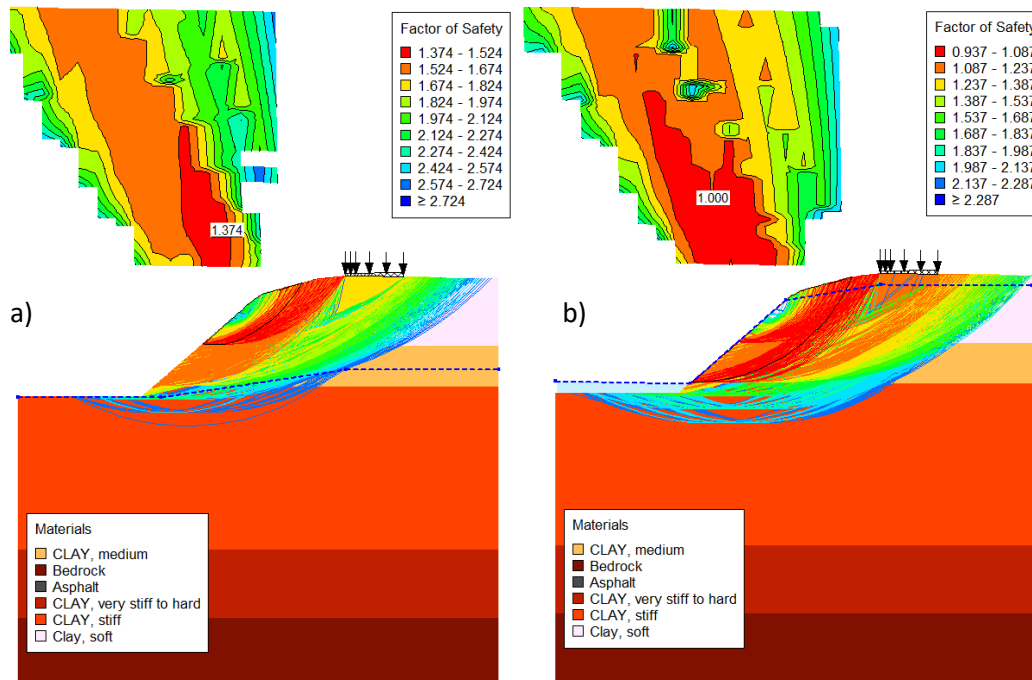
### 4.2.1 *Back analysis* longsor dengan variasi muka air tanah dan beban

Analisis stabilitas lereng menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dilakukan terhadap lereng pada kondisi eksisting (sebelum dan setelah longsor) serta kondisi setelah penanganan. Untuk membuktikan mekanisme longsor yang didapatkan dari hasil survei, dilakukan pemodelan untuk mencari titik kritis lereng ( $SF=1$ ) dengan bidang longsor yang sama dengan kondisi lapangan. Faktor pemicu yang dipertimbangkan dalam model adalah kenaikan muka air tanah, variasi beban kendaraan dan beban seismik. Untuk mengetahui pengaruh kenaikan muka air tanah terhadap stabilitas lereng, dimodelkan variasi kenaikan muka air tanah setiap 0,5 m dari ketinggian muka air tanah normal sampai mendekati permukaan tanah (Gambar 3). Variasi beban kendaraan yang dimodelkan disesuaikan dengan berat kendaraan maksimum yang lewat. Beban kendaraan yang dimodelkan adalah 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 dan 30 kN/m<sup>2</sup>.



Gambar 3 Variasi kenaikan muka air tanah

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi muka air tanah normal,  $SF$  beban statik adalah 1,374 dan  $SF$  beban dinamis adalah 1,015. Koefisien Seismik Horizontal ( $k_h$ ) yang digunakan adalah 1/2 s.d. 1/3 dari PGA pada kondisi beban seismik sehingga diperoleh  $k_h=0,18$ . Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik ( $SF$  statis  $>1,5$  dan  $SF$  beban dinamis  $>1,1$ ), faktor aman lereng ini masih belum memenuhi standar [16]. Selanjutnya, variasi kenaikan muka air tanah disimulasikan sesuai dengan data dan informasi yang didapatkan dari lapangan. Kenaikan muka air tanah mengakibatkan nilai faktor aman lereng menjadi berkurang dan mencapai titik kritis  $SF=1$  saat muka air tanah naik sebesar 6 m (Gambar 4). Hubungan antara kenaikan muka air tanah terhadap faktor aman pada kondisi lereng eksisting sebelum dan saat longsor ditunjukkan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa kenaikan muka air tanah dari kondisi normal sampai 2,5 m tidak mempengaruhi nilai  $SF$ . Jika dibandingkan dengan topografi setelah terjadinya longsor, kenaikan muka air tanah ini belum berpengaruh terhadap parameter kuat geser tanah di sekitar bidang longsor. Selanjutnya nilai  $SF$  berkurang seiring dengan bertambah jenuhnya tanah dengan muka air tanah sampai mendekati permukaan jalan. Limpasan drainase seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya dapat menjadi penyebab kenaikan muka air tanah menjadi lebih cepat. Pada kasus ini, longsor terjadi ketika muka air tanah sudah mendekati permukaan jalan.

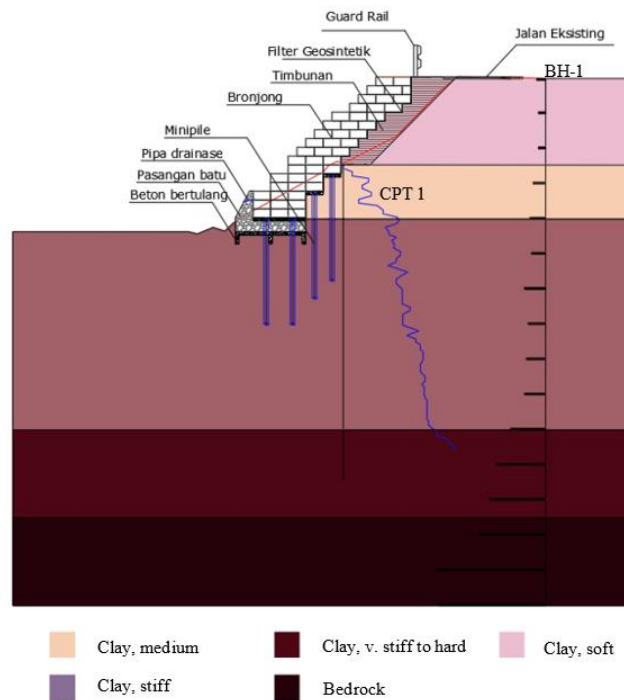


Gambar 4 Hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi sebelum longsoran: a) kondisi m.a.t normal, b) m.a.t naik dengan SF=1

Parameter pemicu longsoran lainnya yang disimulasikan adalah beban. Berdasarkan hasil simulasi, penambahan beban sebesar 8-30 kN/m<sup>2</sup> tidak berdampak signifikan terhadap nilai faktor aman. Hal itu berarti pada kondisi muka air tanah normal beban kendaraan tidak dapat menurunkan nilai faktor aman atau mempengaruhi stabilitas lereng secara keseluruhan. Pada kondisi ini beban kendaraan bersifat lokal (*surchage*) dan nilainya masih terlalu kecil jika dibandingkan dengan gaya keseluruhan yang menggerakkan lereng. Berdasarkan berbagai variasi dan skenario tersebut dapat disimpulkan bahwa longsoran dipicu oleh infiltrasi air hujan ditambah dengan limpasan permukaan yang berasal dari melimpahnya drainase jalan di bagian hulu. Kenaikan muka air tanah mengakibatkan parameter kuat geser tanah pada lereng menjadi berkurang, di sisi lain beban sebagai gaya penggerak lereng juga bertambah.

#### 4.2.2 Penanganan longsor

Konsep desain penanganan longsor yang diberikan disesuaikan dengan faktor pengontrol dan pemicu terjadinya longsor seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya. Gambar konsep desain penanganan longsoran ditunjukkan pada Gambar 5. Rekomendasi penanganan longsor yang dapat diterapkan pada lokasi ini adalah dengan memberikan *restraint works* berupa pemasangan bronjong dikombinasikan dengan Dinding Penahan Tanah (DPT) dan *minipile*. Pemasangan bronjong yang dikombinasikan dengan DPT dan *minipile* dimaksudkan untuk menambah perkuatan tanah di kaki lereng, dengan tujuan untuk menahan pergerakan tanah. Penambahan timbunan pada lereng juga ditujukan sebagai *Counterweight berm*. Mengingat kondisi tanah di lokasi merupakan material yang tidak padat, maka perlu dilakukan pemadatan pada tanah di sekitar lokasi longsoran dan pada *counterweight berm*. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi pori-pori tanah, sehingga akan memberikan kepadatan tanah yang tinggi dan dapat mengurangi rembesan. Perlu dipahami bahwa penanganan akan lebih optimal jika sistem drainase tertata dengan baik dan air dapat dicegah untuk masuk ke tubuh lereng.

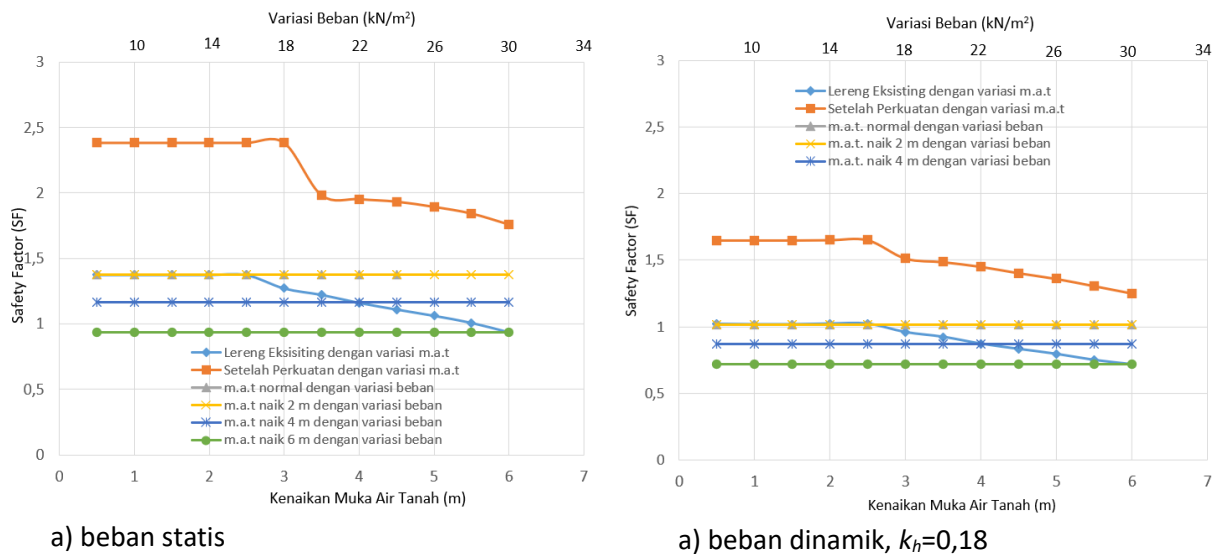


Gambar 5 Rekomendasi penanganan longsor

Analisis stabilitas lereng juga dilakukan setelah dilakukan perkuatan menggunakan bronjong yang dikombinasikan dengan DPT dan *minipile*. Hasil analisis menunjukkan bahwa apabila penanganan sudah selesai, dalam kondisi statis faktor aman lereng secara keseluruhan adalah 2,358, lebih besar dari nilai faktor aman minimum SNI ( $SF_{\text{statis}} > 1,5$ ). Dalam kondisi dinamik akibat gempa, faktor aman lereng turun menjadi 1,733, masih lebih besar dari nilai faktor aman minimum SNI ( $SF_{\text{dinamis}} > 1,1$ ).

Hubungan antara kenaikan muka air tanah vs  $SF$  dan variasi beban vs  $SF$  pada kondisi sebelum longsor dan setelah penanganan dapat dilihat pada Gambar 6. Grafik ini memberikan gambaran bahwa kenaikan muka air tanah mulai berpengaruh terhadap penurunan faktor aman ketika posisi muka air tanah tersebut sudah mencapai bidang gelincir lereng paling kritis. Variasi beban kendaraan tidak berpengaruh signifikan terhadap stabilitas karena beban tersebut hanya bersifat lokal (*surchage*) dan masih berada di luar bidang longsor. Penurunan nilai  $SF$  masih terjadi setelah lereng diperkuat dengan bronjong, DPT dan *minipile*, dengan laju penurunan  $SF$  yang kurang lebih sama dengan sebelum diperkuat, akan tetapi penurunan  $SF$  ini masih berada di atas standar nilai faktor aman baik pada kondisi beban statis maupun beban dinamis.





Gambar 5 Grafik hubungan faktor aman dengan kenaikan muka air tanah dan variasi beban

## 5. Kesimpulan dan Saran

Infiltrasi air hujan adalah faktor pemicu utama terjadinya longsor di Sukarami, Lahat. Bidang longsor berada pada lapisan tanah lempung lunak hingga sedang dengan kedalaman hingga 8 m. Pada saat musim hujan, drainase jalan yang ada di hulu dapat melimpas dan mengalir ke jalan. Aliran limpasan ini mempercepat tanah di bawah badan lereng menjadi jenuh dan muka air tanah naik. Kondisi ini mengakibatkan parameter kuat geser tanah berkurang hingga menyebabkan terjadinya keruntuhan.

Hasil analisis stabilitas lereng dengan variasi kenaikan muka air tanah menunjukkan bahwa kenaikan muka air tanah mengakibatkan penurunan nilai faktor aman. Kondisi ini diperoleh ketika posisi muka air tanah mencapai bidang longsor paling kritis. Perkuatan dengan bronjong, yang dikombinasikan dengan DPT dan *minipile* dapat meningkatkan nilai faktor aman menjadi memenuhi standar yang berlaku. Penelitian ini juga menyimpulkan bahwa penambahan beban kendaraan hingga mencapai 30 kN/m<sup>2</sup> tidak berdampak signifikan terhadap penurunan nilai faktor aman lereng.

## Daftar Rujukan

- [1] Haji 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 Rajae University.
- [2] Hardiyatmo, H.C. (2014) *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- [3] Steward T, Sivakugan N, Shukla SK, Das BM (2011) Taylor's slope stability charts revisited. *Int J Geo-mech ASCE* Vol. 11 (4) , pp 348–352
- [4] 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
- [5] Gaopen T., Lianheng Z., Liansheng G., Wei L., (2014) Stability Charts for Undrained Clay Slopes in Overload Conditions Based on Upper Bound Limit Analysis, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* Vol. 19:1531-1537
- [6] Arif M., dan Ilpandari (2022) Pengaruh Galian Terhadap Stabilitas Lereng Tanah, *Journal of Civil Engineering and Planning*, Vol.2 No.1 pp. 171-179
- [7] Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning: USA
- [8] Bishop, A.W. Morgenstern N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. *Geotechnique* Vol. 10(4), pp 129–147
- [9] Janbu N (1973) *Slope stability computations*. In: Hirschfeld E, Poulos S (eds) Embankment dam engineering, Casagrande memorial volume. Wiley, New York, pp 47–86

- [10] Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1965. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Geotechnique*, Vol. 15, pp. 79-93.
- [11] Karnawati, D., 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [12] Syah, A., Dani, I., Erfani, S., 2020. Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor Metode Kontrol dan Perkuatan (Studi Kasus: Longsor Waikerap, Tanggamus, Lampung). *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*. Volume 4 Nomor 2: 180-191
- [13] Melo, C. dan Sharma, S., 2004. *Seismic Coefficient for Pseudostatic Slope Analysis*. Vancouver.
- [14] Hynes-Griffin M.E., dan Franklin A.G. (1984) *Rationalizing the Seismic Coefficient Method*. Department of the Army Waterways Experiment Station, Mississippi USA.
- [15] Arif M., dan Adriyati M. (2021) Pemodelan 2D Tanah Likuefaksi Menggunakan Quake/W, *Journal of Civil Engineering and Planning*, Vol.2 No.1 pp. 171-179
- [16] Badan Standarisasi Nasional. 2017. *Persyaratan perancangan geoteknik*. 8460:2017. Jakarta.