

Analisis Penyebab Amblasan Ruas Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Gunung Ulin – Gunung Sari)

Yusti Yudiawati^{1*}, Rusdiansyah²

¹Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banjarmasin, Banjarmasin

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru

*Koresponden email: y.yudiawati72@gmail.com

Diterima: 1 Maret 2024

Disetujui: 7 Maret 2024

Abstract

The different behaviour of soils from one region to another requires in-depth identification of the reaction of soils to certain treatments. A comprehensive study is needed to obtain information on the cause and effect of geotechnical cases such as collapse and landslide. The analysis conducted in this paper is based on the collapse of the Gunung Ulin - Gunung Sari road section that occurred in 2018 until the emergence of potential landslides on the excavated slope in 2021 for the construction of retaining walls. The analysis was carried out by reviewing the location of the collapse and conducting identification in the form of field and laboratory soil tests. The information obtained was then used to analyse the stability of the slope under review with the Geo5 application. The results of the analysis based on the geotechnical approach assumed that the collapse was caused by the condition of the soil layer itself in the form of soft clay and claystone whose condition was influenced by high rainfall during the time span of the incident. The analysis results obtained in this paper are expected to be a reference in anticipating similar events to occur in the future.

Keywords: *subsidence, road section, landslide, slope, safety factor, soft clay, claystone*

Abstrak

Perilaku tanah yang berbeda dari suatu daerah ke daerah lain memerlukan identifikasi mendalam mengenai reaksi yang ditimbulkan oleh tanah terhadap perlakuan tertentu. Kajian yang komprehensif sangat diperlukan demi memperoleh informasi mengenai sebab-akibat terjadinya suatu kasus geoteknik seperti amblasan dan longsor. Analisis yang dilakukan pada makalah ini berdasarkan pada peristiwa amblasnya ruas jalan Gunung Ulin – Gunung Sari yang terjadi sejak tahun 2018 hingga munculnya potensi longsor pada lereng galian tanah pada tahun 2021 untuk pembangunan dinding penahan tanah penanggulangan amblasa. Analisis dilakukan dengan meninjau lokasi terjadinya amblasan dan melakukan identifikasi berupa uji tanah lapangan dan laboratorium. Informasi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng yang ditinjau dengan aplikasi Geo5. Hasil analisa berdasarkan pendekatan secara geoteknik diasumsikan bahwa amblasan disebabkan oleh kondisi lapisan tanah itu sendiri berupa tanah lempung lunak dan *claystone* yang kondisinya dipengaruhi oleh curah hujan yang cukup tinggi pada rentang waktu kejadian. Hasil analisa yang diperoleh pada makalah ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam mengantisipasi kejadian serupa terjadi di masa depan.

Kata Kunci: *amblasan, ruas jalan raya, longsor, lereng, angka keamanan, lempung lunak, claystone*

1. Pendahuluan

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting dalam sektor pertumbuhan ekonomi [1], [2] yang terkait dengan tersedianya mobilitas serta aksesibilitas terhadap lahan dan berbagai macam kegiatan komersial dan sosial [3], [4]. Kepentingan infrastruktur jalan dapat terganggu apabila terjadi suatu kerusakan jalan seperti menurunnya muka tanah hingga terjadinya longsor. Longsor dapat disebabkan oleh peristiwa alam seperti gempa bumi dan curah hujan yang tinggi [5], kondisi tanah itu sendiri, maupun aktivitas manusia yang dapat memicu longsor [6], [7]. Tanda awal terjadinya longsor diantaranya adalah retakan pada tanah dan jalan yang tidak biasa, kemiringan pada tiang listrik atau pohon di sekitarnya, menurunnya permukaan badan jalan, dan lain-lain [8].

Terjadinya longsor memiliki hubungan yang erat dengan stabilitas tanah, yaitu kemampuan tanah untuk membatasi redistribusi partikel tanah akibat pengaruh angin dan air [1]. Tanah yang stabilitasnya rendah cenderung lebih sensitif terhadap terjadinya keruntuhan. Keruntuhan tanah terjadi karena ikatan antar partikel tanah yang melemah akibat penjenahan tanah [9]. Hal ini juga didukung oleh kurang tepatnya perlakuan terhadap tanah pada kondisi-kondisi tertentu. Telah banyak kajian dan analisis mengenai amblasan dan longsor [10]–[15]. Adanya perilaku tanah yang berbeda dari satu tempat dengan tempat

yang lain, maka diperlukan identifikasi yang lebih mendalam mengenai reaksi yang akan ditimbulkan oleh tanah terhadap perlakuan tertentu. Sehingga diperlukan kajian yang komprehensif agar memperoleh informasi yang tepat mengenai sebab-akibat suatu kasus geoteknik yang terjadi.

Kasus yang ditinjau pada kajian ini adalah kasus amblasan jalan pada ruas jalan Gunung Ulin – Gunung Sari, Desa Gunung Sari, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Jalan berada di lokasi yang memiliki perbedaan elevasi kontur permukaan tanah yang relatif besar dan telah mengalami amblasan sejak tahun 2018, kemudian berlanjut pada peristiwa longsor. Kajian ini disusun untuk menganalisis penyebab terjadinya peristiwa tersebut dengan metode analisis berupa observasi langsung di lapangan, dilanjutkan dengan penyelidikan tanah pada area amblasan. Berdasarkan data-data yang telah diperoleh, dengan mempertimbangkan justifikasi geotekniknya disesuaikan untuk analisis perhitungan stabilitas lereng. Kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi untuk mencegah terjadinya kejadian serupa di wilayah lain.

2. Metode Penelitian

Metode Analisa

Analisa yang dilakukan pada kajian ini berupa observasi lapangan, kemudian melakukan penyelidikan tanah pada area terjadinya amblasan yaitu uji lapangan berupa uji bor dalam atau *Soil Penetration Test* (SPT) serta uji laboratorium berupa uji sifat fisis dan mekanis tanah. Hasil observasi dan penyelidikan tanah yang diperoleh kemudian disesuaikan untuk dianalisis dalam perhitungan stabilitas lereng. Pendekatan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas dan metode elemen dibantu dengan bantuan perangkat lunak khusus untuk stabilitas lereng yaitu Geo5 untuk mendekati pola keruntuhan maupun arah dan besaran deformasi (*displacement*) yang terjadi.

Lokasi, Kasus dan Riwayat Amblasan

Pada 3 Juli 2018 terjadi amblasnya badan jalan di Desa Gunung Sari, Kecamatan Pulau Laut Utara, Kabupaten Kotabaru yang mengakibatkan akses jalan terputus. Peristiwa ini diduga akibat struktur tanah yang labil, ditambah dengan curah hujan yang tinggi 1 (satu) hari sebelum waktu kejadian (**Gambar 1**). Kemudian pada 25 Agustus 2020 ruas jalan menuju ke Desa Gunung Sari juga mengalami amblas (**Gambar 2**). Ruas jalan tersebut merupakan rencana jalan alternatif utama setelah akan adanya pemanjangan landasan pacu (*runway*) Bandara Gusti Syamsir Alam, Kotabaru.



Gambar 1: Lokasi badan jalan yang amblas (3 Juli 2018)



Gambar 2: Kerusakan jalan setelah mengalami amblas (25 Agustus 2020)

Pada 20 Oktober 2021 dilaksanakan pekerjaan galian tanah dengan kedalaman 7 m sepanjang 45 m pada ruas jalan yang telah amblas sebagai bagian dari pekerjaan pembangunan Dinding Penahan Tanah untuk penanganan amblas (**Gambar 3**). Pekerjaan galian ini mengakibatkan munculnya gerakan tanah yang ditandai dengan kondisi tiang listrik di sekitar galian mengalami kemiringan pada 23 Oktober 2021, kemudian terjadi pula retakan tanah di sekitar area tiang listrik pada 25 Oktober 2021 (**Gambar 4**).



Gambar 3: Kegiatan penggalian pada ruas jalan yang amblas pada lokasi kajian



Gambar 4: Tiang listrik terlihat miring akibat kegiatan penggalian

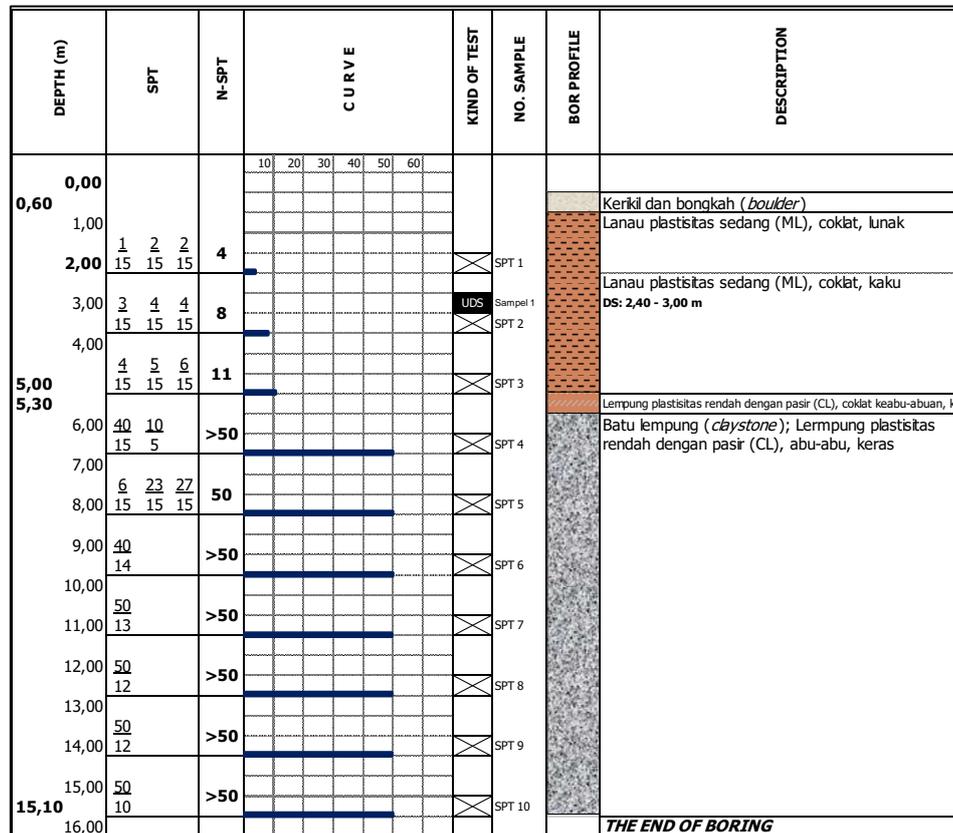
3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Data Hasil Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah yang dilakukan pada studi kasus ini yaitu uji bor dalam dan SPT serta uji laboratorium untuk memperoleh nilai properti indeks tanah. Hasil penyelidikan tanah dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Tabel 1**. Berdasarkan uji SPT, diperoleh nilai N -SPT yaitu jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus kedalaman tanah dengan interval 150 mm dan merupakan perkiraan kepadatan tanah [16]. Nilai N -SPT koreksi yang diperoleh menunjukkan bahwa hingga kedalaman tanah 5 m lapisan tanah tergolong tanah lunak dan hal ini sangat tidak menguntungkan karena sangat berpotensi menimbulkan masalah lanjutan apabila dipengaruhi oleh air. Hal ini ditunjukkan dengan pada laporan kejadian amblasnya

jalan pada tanggal 3 Juli 2018 kemungkinan disebabkan oleh curah hujan cukup tinggi 1 (satu) hari sebelumnya.

Kemudian berdasarkan uji laboratorium, dapat dilihat bahwa nilai kuat geser tanah pada kedalaman hingga 3 m yang merupakan batas tabung sampel tanah adalah tergolong rendah yaitu hanya sebesar 0,128 kg/cm². Pada analisis stabilitas lereng, nilai kuat geser tanah memiliki peran yang lebih besar dibandingkan sudut gesek dalam. Hal ini karena pada kondisi hujan lebat, air memenuhi pori-pori tanah sehingga tanah diasumsikan berada dalam kondisi jenuh. Kondisi ini menyebabkan nilai sudut gesek dalam yang digunakan lebih kecil daripada hasil uji laboratorium yaitu mendekati angka 0 (nol).



Gambar 5: Hasil penyelidikan tanah berdasarkan uji bor dalam dan SPT

Tabel 1. Hasil penyelidikan tanah berdasarkan uji laboratorium

No.	Pengujian	BH-2 2,40 – 3,00 m
A. Sifat Fisik		
1.	Kadar Air (ω)	32.04%
2.	Berat Volume (γ)	1.98 gr/cm ³
3.	Berat Jenis (Gs)	2.49
4.	Batas Cair (LL)	41.61%
	Batas Plastis (PL)	35.11%
	Indeks Plastisitas (PI)	6.50
5.	Gradasi Butiran (Analisa Saringan)	
	# 10 2,000 mm	100,00%
	# 40 0,425 mm	100,00%
	# 200 0,075 mm	97,15%
6.	Proporsi Tanah (Analisa Hidrometer)	
	Kerikil	0.00%
	Pasir	5,40%
	Lanau	38,00%
	Lempung	56,60%
B. Sifat Mekanis		
1.	Direct Shear	
	Kohesi (c)	0.168 kg/cm ²
	Sudut Gesek Dalam (ϕ)	24.1°

2.	UCS (<i>Unconfined Compressive Strength</i>)	
	Kondisi <i>Undisturbed</i> (q_u)	0.256 kg/cm ²
	Kondisi <i>Remolded</i> (q_r)	0.201 kg/cm ²
	Kohesi <i>Undrained</i> (c_u)	0.128 kg/cm ²
	Sensitivitas (S_t)	1.276
3.	Uji Triaxial: <i>Unconsolidated Undrained</i>	
	Kohesi (c)	0.158 kg/cm ²
	Sudut Gesek Dalam (ϕ)	16.8°
4.	Uji Triaxial: <i>Consolidated Undrained</i>	
	- Total	
	Kohesi (c)	0.154 kg/cm ²
	Sudut Gesek Dalam (ϕ)	20.4°
	- Efektif	
	Kohesi (c)	0.243 kg/cm ²
	Sudut Gesek Dalam (ϕ)	23.9°
5.	Konsolidasi	
	Indeks Kompresi (C_c)	0.1512
	Indeks Pengembangan (C_s)	0.0465
	Koefisien Konsolidasi (C_v)	0.0192 cm ² /det
	Angka Pori (e)	0.8483
C. Klasifikasi Tanah		
1.	(<i>Unified Soil Classification</i>)	ML (Lanau Plastisitas Rendah)

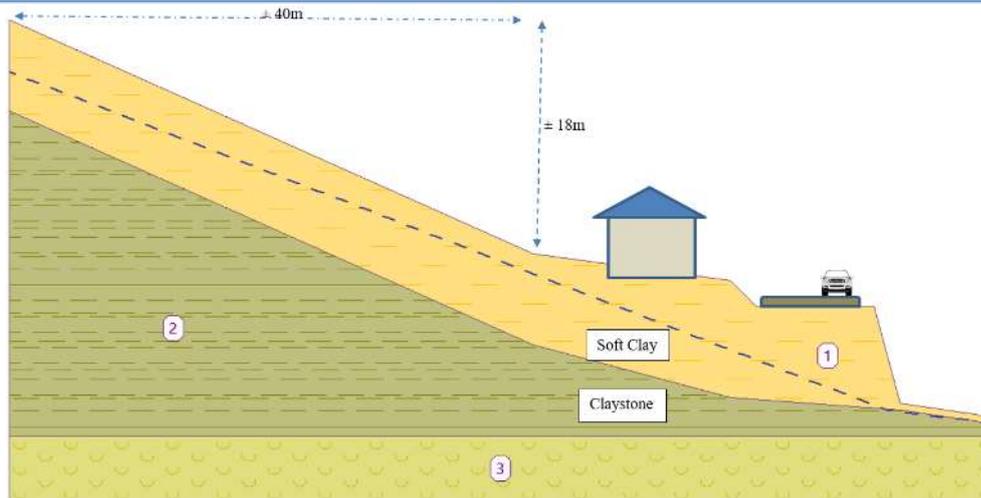
Sumber: Data hasil penyelidikan tanah

Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng sangat berperan dalam kajian ini mengingat perbedaan elevasi permukaan lereng di lapangan memiliki perbedaan angka kontur yang signifikan (**Gambar 6**). Berdasarkan data kontur, konfirmasi pengukuran di lapangan, serta data hasil pengujian bor dalam, maka pendekatan geometri lereng untuk analisis stabilitas lereng dapat ditentukan sebagaimana yang ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 6: Kontur bentang alam daerah kajian

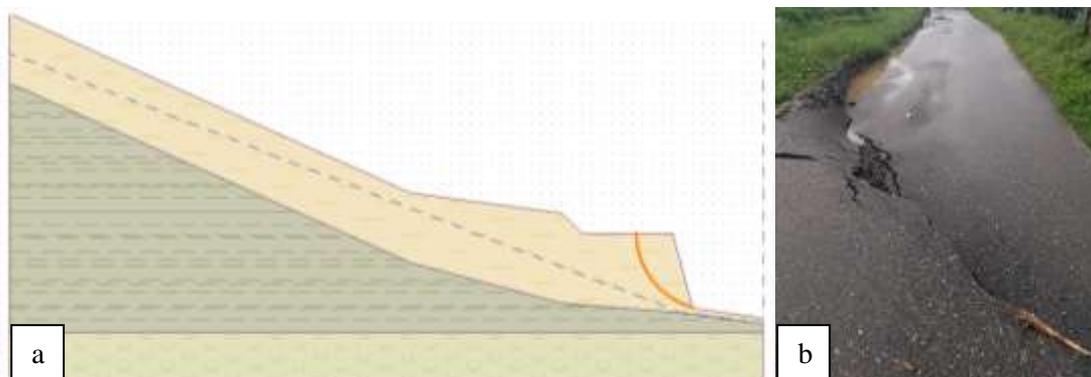


Gambar 7: Pendekatan geometri lereng kondisi awal sebelum amblas

Tinjauan Stabilitas Lereng Kondisi Awal

Analisis pada tahap ini yaitu dengan memodelkan geometri lereng area kajian sebagaimana pada pondasi awal sebelum terjadinya kelongsoran (**Gambar 8a**). Pada kondisi lapangan, ditemukan adanya titik-titik sumber air pada area yang berdekatan dengan letak muka air tanah dalam model ini, sehingga aliran muka air tanah diasumsikan relatif tinggi.

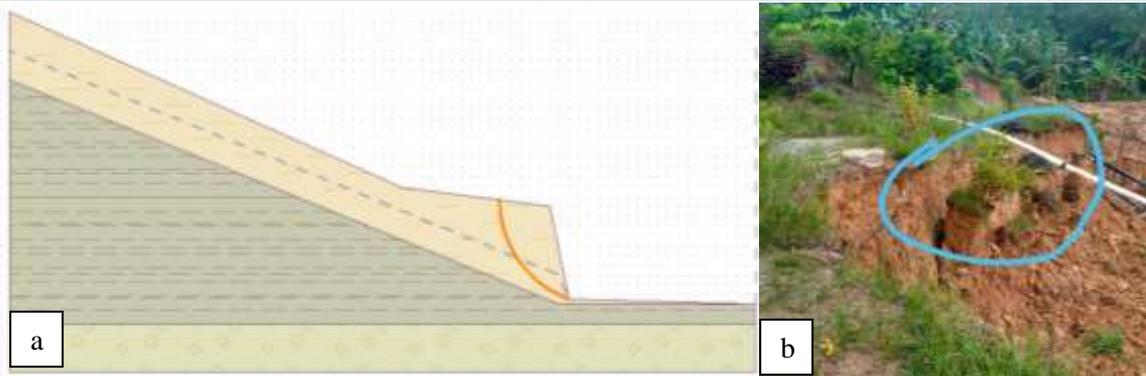
Berdasarkan hasil perhitungan dengan bantuan analisis *software* Geo5 versi 2021 dan versi 2022, menunjukkan nilai angka keamanan stabilitas lereng (SF) hanya sebesar 0,53 di mana lereng yang ditinjau tidak memenuhi syarat aman ($SF > 1,5$) sehingga lereng tersebut berpotensi besar mengalami kelongsoran. Hal ini dibuktikan pada kenyataan di lapangan di mana terjadinya amblasan yang merupakan gejala longsoran (**Gambar 8b**).



Gambar 8: a) Permodelan lereng kondisi awal, b) Kelongsoran lereng yang diawali dengan amblasan pada jalan

Tinjauan Stabilitas Lereng Kondisi Setelah Amblas Kemudian Dilakukan Penggalian

Analisis pada tahap ini, lereng dimodelkan dengan kondisi adanya galian sedalam ± 10 m sesuai kondisi lapangan berupa lubang besar dari hasil kegiatan penggalian tanah pada ruas jalan yang amblas sebagai tahap awal dari pekerjaan penanganan amblasan yaitu pembangunan dinding penahan tanah (**Gambar 9a**). Pada kondisi ini, lereng diasumsikan berada dalam kondisi jenuh air akibat frekuensi dan intensitas hujan yang cukup tinggi sehingga menyebabkan air terperangkap dalam tanah. Hasil analisis stabilitas lereng menunjukkan adanya potensi longsoran susulan pada lereng di sekitar area galian berdasarkan nilai SF yang dihasilkan pada kondisi ini lebih rendah dibandingkan pada kondisi awal sebelum dilakukan penggalian yaitu sebesar 0,39. Hal ini sesuai dengan kondisi yang telah terjadi di lapangan (**Gambar 3, 4, dan 9b**).

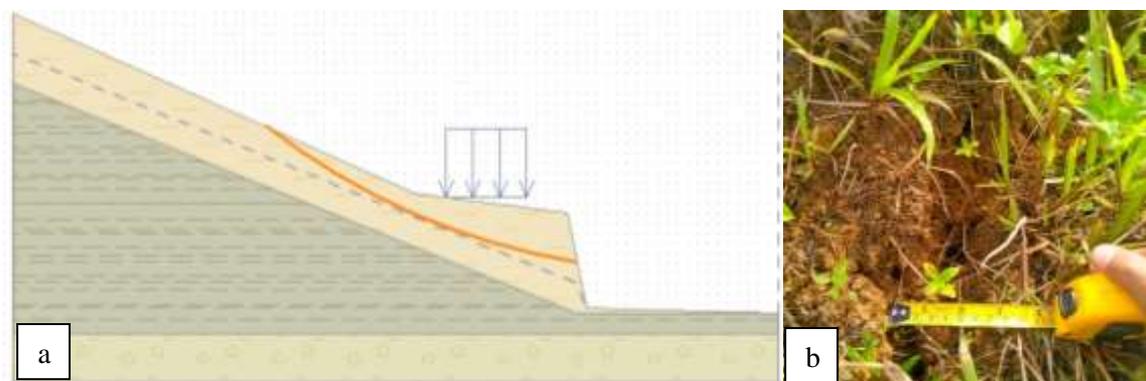


Gambar 9: a) Permodelan lereng kondisi setelah ambles kemudian dilakukan penggalian, b) Adanya tanda longsoran susulan pada lereng dekat area galian

Tinjauan Stabilitas Lereng Sisi Atas Setelah dilakukan Penggalian

Analisis pada tahap ini, permodelan lereng difokuskan pada tinjauan lereng sisi atas untuk melihat gejala gerakan tanah secara menyeluruh setelah adanya kegiatan penggalian yang cukup dalam (**Gambar 10a**). Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng, diperoleh nilai angka stabilitas lereng sebesar $SF = 1,13$ yang mendekati kondisi kritis, maka dapat disimpulkan bahwa lereng sisi atas memiliki potensi untuk mengalami pergerakan tanah maupun adanya kelongsoran di kemudian hari apabila kondisi adanya lubang galian berlangsung dalam jangka waktu yang lama.

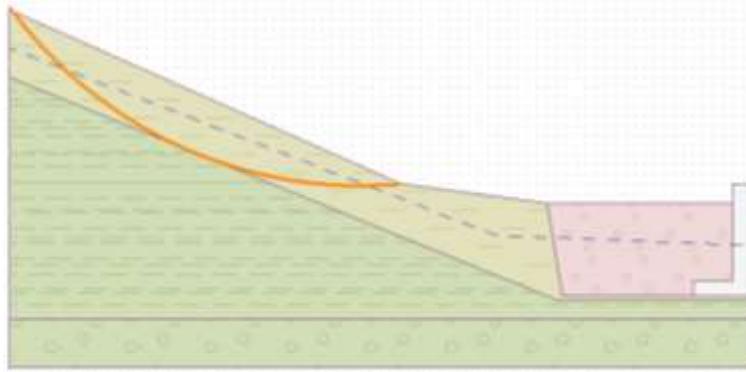
Setelah adanya penggalian, ditemukan retakan-retakan sesuai kondisi lapangan pada area lereng sisi atas padahal retakan-retakan ini belum ditemukan sebelum penggalian (**Gambar 10b**). Retakan tanah ini merupakan gejala adanya gerakan tanah yang berpotensi mengalami kelongsoran. Lereng sisi atas diperkirakan akan terjadi longsoran apabila frekuensi dan intensitas hujan yang relatif besar, ditambah dengan kondisi penggalian yang terus menerus dilakukan tanpa adanya penimbunan tanah sebagai gaya lawan longsoran.



Gambar 10: a) Permodelan lereng sisi atas setelah dilakukan penggalian, b) Visualisasi retakan tanah di lereng sisi atas

Tinjauan Stabilitas Lereng Sisi Atas Setelah Kondisi Akhir

Pada tahap ini, analisis dimodelkan berdasarkan tinjauan kondisi akhir penanganan berupa telah terbangunnya dinding penahan tanah (DPT) dan galian telah diurug dengan material pilihan (**Gambar 11**). Meski telah adanya penanganan, posisi muka air tanah masih dekat dengan permukaan atau apabila terjadi hujan yang berlangsung lama dapat mengakibatkan adanya intrusi air hujan di dalam tanah dasar lereng. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng, kondisi lereng sisi atas berpotensi mengalami gerakan tanah atau ada potensi terjadinya longsor di kemudian hari yang ditunjukkan dengan nilai angka stabilitas lereng sisi atas sebesar $SF = 0,65$ belum memenuhi syarat aman.



Gambar 11: Permodelan lereng sisi atas setelah kondisi akhir

Dalam menganalisis penanganan yang dapat dilakukan, dimodelkan dengan posisi muka air tanah akibat intrusi air hujan lebat yang berlangsung relatif lama diturunkan beberapa meter. Hal ini diasumsikan bahwa adanya sistem drainase yang baik sehingga air hujan yang masuk ke dalam tanah dapat dikelola dengan baik dan tidak terkandung dalam tanah. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperoleh angka stabilitas lereng sebesar 1,75 sehingga lereng sisi atas dapat dianggap aman dan stabil.

Hasil Analisa dan Diskusi

Pada tahap ini, analisis dimodelkan berdasarkan tinjauan kondisi akhir penanganan berupa telah terbangunnya dinding penahan tanah (DPT) dan galian telah diurug dengan material pilihan (**Gambar 11**). Meski telah adanya penanganan, posisi muka air tanah masih dekat dengan permukaan atau apabila terjadi hujan yang berlangsung lama dapat mengakibatkan adanya intrusi air hujan di dalam tanah dasar lereng. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng, kondisi lereng sisi atas berpotensi mengalami gerakan tanah atau ada potensi terjadinya longsor di kemudian hari yang ditunjukkan dengan nilai angka stabilitas lereng sisi atas sebesar $SF = 0,65$ belum memenuhi syarat aman.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah berupa uji bor dalam/SPT dan uji laboratorium, stratigrafi lapisan penyusun tanah di bawah konstruksi jalan yang mengalami amblesan terdiri dari lapisan lempung lunak hingga sangat lunak mencapai kedalaman 5 m dari permukaan tanah, kemudian pada kedalaman di bawah 5 m hingga 14 m (batas akhir pengeboran) ditemukan lapisan tanah keras berupa *claystone*.

Apabila ditinjau dari aspek geoteknik, lapisan dangkal hingga kedalaman 5 m yang didominasi oleh tanah lempung lunak merupakan tanah yang memiliki kuat geser relatif rendah, rentan mengalami penurunan, mudah terdeformasi, mudah jenuh air, dan sangat lemah apabila dipengaruhi oleh adanya air akibat rembesan hujan. Sementara lapisan tanah di bawah 5 m yang didominasi oleh *claystone* dalam kondisi kering. Asumsi penyebab terjadinya amblesan pada ruas jalan Gunung Sari – Gunung Ulin dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Adanya perlemahan kuat geser tanah yang kemudian menimbulkan gerakan lapisan deposit tanah lempung lunak tergelincir pada permukaan lapisan keras *claystone*. Tergelincirnya deposit tanah lempung lunak dipicu oleh adanya kondisi penjenjutan tanah pada lapisan tersebut akibat meningkatnya volume air di dalam tanah sehingga menambah bobot massa tanah lempung lunak. Peningkatan volume air di dalam tanah ini terjadi akibat intrusi air hujan dari permukaan tanah yang masuk melalui celah-celah pori berupa retakan yang terbentuk saat musim kemarau sebelumnya.
2. Adanya perlemahan kuat geser tanah baik pada lapisan lempung lunak maupun pada lapisan *claystone*. Lapisan *claystone* yang berada di bawah lapisan lempung lunak memiliki karakteristik yang sangat mudah mengalami perlemahan kuat geser tanah atau degradasi kekuatan apabila kondisi tanah terbuka dan dipengaruhi atau terendam oleh air. Berdasarkan topografi lereng sisi atas dari sisi sebelah konstruksi jalan yang ambles, diyakini saat hujan lebat air dari dalam tanah lereng sisi atas yang lebih tinggi akan melewati atau menembus lapisan *claystone* yang lebih rendah dan berada di bawah konstruksi jalan yang ambles.

Kejadian longsor susulan setelah penggalian tanah sedalam 10 m dan sepanjang 45 m yang merupakan awal tahapan pembangunan DPT penanganan longsor, diakibatkan oleh berkurangnya massa tanah sehingga gaya penahan longsor dari sisi bawah lereng tidak ada. Hal ini berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng yang menyatakan gaya penahan longsor (1590,02 kNm/m) adalah lebih kecil daripada gaya yang melongsorkan (4080,25 kNm/m).

Apabila berdasarkan hasil analisis daya dukung tanah, penurunan tanah, serta hasil analisis stabilitas lereng maka dapat dinyatakan bahwa amblesan jalan Desa Gunung Sari, Kotabaru diakibatkan oleh adanya

penurunan/perlemahan kuat geser tanah akibat kondisi tanah dasar berada dalam kondisi jenuh yang terjadi sepanjang waktu di musim penghujan. Kondisi ini juga didukung oleh adanya titik-titik sumber pengaliran air (jalur akuifer/geohidrologi) yang terpotong saat penggalian tanah (**Gambar 12**). Jalur akuifer ini secara langsung dapat menurunkan kekuatan tanah karena dapat memicu proses pembilasan dan penggerusan partikel-partikel massa tanah sehingga ikatan antar partikel tanah akan melemah dan lepas. Apabila proses ini terjadi sepanjang waktu selama musim penghujan, akan berdampak pada terjadinya gerakan tanah yang progresif berupa amblesan maupun longsor.



Gambar 12: Titik-titik akuifer/geohidrologi

4. Kesimpulan

Perlemahan kuat geser tanah yang terjadi baik pada lapisan tanah atas (lempung lunak) maupun lapisan tanah dasar (*claystone*) merupakan akibat dari menjenuhnya tanah yang disebabkan oleh intrusi air hujan dengan intensitas tinggi yang masuk melalui celah-celah pori berupa retakan pada tanah dan terjadi secara terus menerus. Retakan ini terbentuk saat musim kemarau sebelumnya.

Ditemukannya titik-titik jalur akuifer/geohidrologi di area galian yang secara langsung dapat memicu proses penggerusan partikel-partikel tanah. Akibatnya ikatan antar partikel tanah akan melemah dan lepas sehingga menyebabkan kekuatan tanah semakin menurun

Kajian yang telah dilakukan pada studi kasus ini menunjukkan bahwa air sangat berpengaruh terhadap kondisi tanah. Tanah yang berada dalam kondisi jenuh berkepanjangan akibat intrusi air saat musim hujan dapat menyebabkan perilaku tanah yang kurang menguntungkan dan memicu terjadinya longsor. Ke depannya perencana harus mengantisipasi kemungkinan kondisi terburuk terlebih dahulu dalam proses perencanaan agar dapat mencegah terjadinya kejadian serupa berulang kembali.

5. Referensi

- [1] X. Deng and J. Du, "Land Quality: Environmental and Human Health Effects," in *Encyclopedia of Environmental Health*, Elsevier, 2011, pp. 362–365. doi: 10.1016/B978-0-444-52272-6.00520-1.
- [2] Z. Xueliang, "Has Transport Infrastructure Promoted Regional Economic Growth?— With an Analysis of the Spatial Spillover Effects of Transport Infrastructure," *Soc. Sci. China*, vol. 34, no. 2, pp. 24–47, May 2013, doi: 10.1080/02529203.2013.787222.
- [3] Dimitriou, Harry T. *A Developmental Approach to urban transport planning: an Indonesian illustration*. Routledge, 2022.
- [4] C. P. Ng, T. H. Law, F. M. Jakarni, and S. Kulanthayan, "Road infrastructure development and economic growth," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 512, p. 012045, Apr. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/512/1/012045.

- [5] J. Cepeda, H. Smebye, B. Vangelsten, F. Nadim, and D. Muslim, "Landslide risk in Indonesia," 2010. [Online]. Available: https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/bgdocs/Cepeda_et_al._2010.pdf
- [6] N. Untoro, K. Rini, and Lashari, "The Triggering Factor of Landslide Phenomenon in Karangkoobar, Banjarnegara, Indonesia," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 73, no. 7, pp. 460–470, 2017.
- [7] G. Li, B. Hu, H. Li, and F. Lu, "Early Identifying and Monitoring Landslides in Guizhou Province with InSAR and Optical Remote Sensing," *J. Sensors*, vol. 2021, pp. 1–19, Jul. 2021, doi: 10.1155/2021/6616745.
- [8] Landslide Hazards Program, "Landslide Preparedness." Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards/landslide-preparedness>
- [9] A. W. Opukumo, C. T. Davie, S. Glendinning, and E. Oborie, "A review of the identification methods and types of collapsible soils," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 69, no. 1, p. 17, Dec. 2022, doi: 10.1186/s44147-021-00064-2.
- [10] N. M. A. G. Nuansa Mare Apui Ganang, B. S. Budi Sulistianto, and T. K. Tri Karian, "Analisis Longsor Bidang, Studi Kasus Pada Lereng Pit Bakam PT KBK di Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah," *J. Geomine*, vol. 6, no. 3, p. 101, Dec. 2018, doi: 10.33536/jg.v6i3.240.
- [11] H. S. Naryanto, H. Soewandita, D. Ganesha, F. Prawiradisastra, and A. Kristijono, "Analisis Penyebab Kejadian dan Evaluasi Bencana Tanah Longsor di Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur Tanggal 1 April 2017," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 17, no. 2, p. 272, Sep. 2019, doi: 10.14710/jil.17.2.272-282.
- [12] A. Apriyono, "Analisis Penyebab Tanah Longsor di Kalitlaga Banjarnegara," *J. Ilm. Din. Rekayasa*, vol. 5, no. 1, pp. 14–18, 2009, doi: 10.20884/1.dr.2009.5.1.18.
- [13] A. Azizi and M. A. Salim, "Kajian Penyebab Jalan Ambles Pada Ruas Jalan Banjarparakan-Menganti Kabupaten Banyumas," *Techno (Jurnal Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 21, no. 1, pp. 11–20, Apr. 2020, doi: 10.30595/techno.v21i1.5533.
- [14] S. T. S. Jagad, A. T. Mulyono, W. Santosa, and Sunjoto, "Penyebab Badan Jalan Nasional Ambles Di Provinsi Jawa Barat," *J. Himpun. Pengemb. Jalan Indones.*, vol. 6, no. 2, pp. 151–164, 2020.
- [15] W. A. Saputro, A. Purba, and G. F. Nama, "Penanganan Amblesan Jalan Kereta Api Pada Km. 112+000 - Km. 114+000 Antara Cempaka - Ketapang Lintas Tarahan – Tanjung Enim," *J. Profesi Ins. Univ. Lampung*, vol. 3, no. 2, pp. 63–68, Nov. 2022, doi: 10.23960/jpi.v3n2.82.
- [16] M. N. A. Alel, M. R. A. Upom, R. A. Abdullah, and M. H. Z. Abidin, "Estimating SPT-N Value Based on Soil Resistivity using Hybrid ANN-PSO Algorithm," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 995, p. 012035, Apr. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/995/1/012035.