

PENGARUH HUJAN TERHADAP STABILITAS LERENG SIMPANG SUGIH WARAS – BATAS KOTA BATURAJA

Putri Indah Sary¹, Nurly Gofar²

^{1,2}Program Studi S2 Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Bina Darma,
Jalan Ahmad Yani No 3, 9-10 Ulu, Seberang Ulu I, Palembang, Indonesia

²Email: 1putriindah300885@gmail.com; nurly_gofar@binadarna.ac.id

ABSTRACT

This paper presents results of saturated and unsaturated stability analysis of slope failures along jalan Simpang Sugih Waras – Batas Kota Baturaja. Most slopes failures occurred after a heavy rainfall; thus, rainfall infiltration is identified as the cause of the failures. Four locations were selected for this study. Soil samples were collected and tested in laboratory. The results indicate that the slope was made of clay with low plasticity. In the absence of the exact time of failure, IDF curve was used to identify the critical rainfall. In this case 19mm/hr rainfall for 6 hr was selected from 10-year-return-period IDF curve developed based on 20 year of rainfall data from nearby rainfall station. Seep analyses were carried out on the four slopes to obtain the seepage induced by rainfall infiltration and change of pore water pressure. Slope stability analyses were performed at selected times during and after rainfall application. The results of slope stability analysis show that the critical condition for slope was at the end of rainfall. Among the four slopes analyzed in his study, slope height has the most influence on the slope stability.

Keywords: rainfall, seepage, slope stability, unsaturated soil

1. PENDAHULUAN

Tanah longsor atau gerakan tanah adalah suatu peristiwa geologi yang terjadi karena pergerakan masa batuan atau tanah dengan berbagai tipe dan jenis seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. Secara umum kejadian longsor disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor pendorong dan faktor pemicu. Faktor pendorong adalah faktor-faktor yang memengaruhi kondisi material sendiri, sedangkan faktor pemicu adalah faktor yang menyebabkan bergerak material tersebut. Kejadian tanah longsor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kemiringan lereng, beban tambahan, tinggi lereng, gempa bumi, tekanan air pori berlebihan, dan hilangnya kekuatan geser akibat pelapukan, pencairan, dan infiltrasi dan rembesan air.

Bagian barat Provinsi Sumatera Selatan merupakan daerah dengan perbukitan dan pegunungan. Banyak keruntuhan lereng terjadi di daerah ini terutama pada musim hujan. Hal ini disebabkan topografi sebagian besar wilayahnya perbukitan dan lembah bergelombang sedang. Dari kondisi yang ada pada saat ini, kondisi Jalan

provinsi yang menghubungkan Kabupaten Muara Enim – Lahat tepatnya di Simpang Sugih - Batas Kota Baturaja merupakan salah satu ruas jalan yang rawan longsor tinggi. Hal ini disebabkan topografi sebagian besar wilayahnya berupa perbukitan bergelombang sedang dan juga terdapat lembah dan sungai. Jenis lereng di daerah tersebut adalah lereng alam, namun ada beberapa lereng yang mengalami rekayasa yaitu galian dan timbunan untuk memberi ruang pada pembangunan infrastruktur terutama jalan. Jenis lereng di daerah tersebut adalah lereng alam, sebagian sudah mengalami rekayasa untuk konstruksi jalan.

Dalam beberapa tahun terakhir telah terjadi sejumlah longsor di sepanjang ruas jalan Simpang Sugih Waras sampai Batas Kota Baturaja terutama di Kecamatan. Tanjung Agung Kabupaten Muara Enim atau biasa di sebut daerah Simpang Meo. Kelongsoran biasanya terjadi selama hujan berlangsung atau sesaat setelah hujan berhenti. Oleh karena itu hujan di anggap sebagai penyebab longsor. Infiltrasi hujan ke dalam tanah menyebabkan peningkatan kandungan air dalam tanah, perubahan tekanan air pori, dan pengurangan kekuatan geser tanah sehingga tahanan tanah terhadap longsor menjadi lebih kecil. Selain itu, infiltrasi hujan juga mengakibatkan peningkatan berat isi tanah sehingga gaya dorong menjadi lebih besar.

Penelitian yang dilakukan oleh [1] menunjukkan bahwa longsor yang terjadi selama hujan berlangsung atau setelah hujan lebat itu berhenti akan terjadi pada lereng yang terbentuk dari tanah pasir atau kepasiran. Sedangkan untuk lereng yang terbentuk dari tanah lempung atau lanau memerlukan suatu kondisi awal yang memicu terjadinya longsor. Analisis terhadap kegagalan lereng yang telah terjadi di Singapura menunjukkan bahwa hujan anteseden tetap diperlukan untuk memicu terjadinya kegagalan lereng baik yang terbentuk oleh tanah kepasiran maupun tanah lempung [2, 3]. Namun, studi lanjutan oleh [4] memberikan kesimpulan yang hampir sama dengan Gofar & Lee dimana hujan anteseden 5 hari diperlukan untuk keruntuhan lereng yang terbentuk oleh tanah lempung sedangkan untuk lereng yang terbentuk oleh tanah kepasiran, hujan harian maximum merupakan kondisi paling ekstrim yang menyebabkan longsor.

Berdasarkan kondisi di atas, maka permasalahan yang dipelajari dalam penelitian ini adalah kondisi tanah, pola hujan dan kondisi lainnya yang dapat menjadi penyebab dari terjadinya longsor atau pergerakan tanah di lokasi Simpang Sugih Waras – Batas Kota Baturaja. Dalam hal ini di pelajari kondisi hujan yang mempengaruhi stabilitas lereng sehingga dapat menyebabkan keruntuhan (longsor). Dengan demikian dapat digunakan sebagai informasi dini terkait mitigasi kebencanaan. Analisis dilakukan dengan menggunakan program SEEP/W dan SLOPE/W [5, 6]. SEEP/W dikembangkan menggunakan metode *finite element* (beda hingga) sedangkan SLOPE/W menggunakan metode *limit equilibrium* (kesetimbangan batas).

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan numerik yang dilakukan terhadap empat lokasi lereng yang dipilih berdasarkan data tingkat risiko dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Sumatra Selatan [7] seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Analisis dilakukan terhadap 4 lokasi lereng yang mengalami keruntuhan dengan geometri yang di ukur di lapangan yaitu pada titik titik 15-022-049-A; 15-022-053-B; 15-022-059-B dan 15-022-061-A (berdasarkan data BBPJNPSS). Geometri Lereng yang ditinjau diperlihatkan pada Gambar 2. Pemodelan dilakukan dengan software SEEP/W & SLOPE/W [5, 6].

Sample tanah di ambil dari lokasi lereng tersebut dan di uji di laboratorium untuk mendapatkan distribusi ukuran butiran tanah, plastisitas tanah, permeabilitas tanah serta kuat geser tanah menggunakan alat geser langsung. Semua pengujian laboratorium dilakukan mengikuti standar SNI yang relevan.

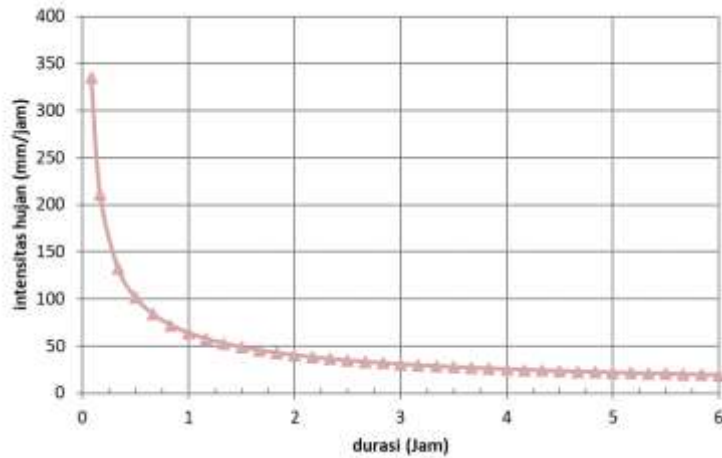
Data hujan didapatkan dari stasiun hujan Muara Enim. Berhubung data hujan pada saat terjadi kelongsora tidak bisa didapatkan maka analisis dilakukan menggunakan Intensity Duration Frequency Function (kurva IDF).



Gambar 1. Lokasi penelitian dan pengambilan data tanah

Penelitian dimulai dengan pemilihan lokasi untuk studi kasus dan pengumpulan data data yang diperlukan untuk analisis. Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan geometri dan input data yang diperlukan untuk analisis rembesan sesuai dengan keperluan software SEEP/W. Data geometri yang diperlukan adalah tinggi dan kemiringan lereng serta lokasi muka air tanah. Untuk analisis menggunakan SEEP/W, data tanah yang diperlukan adalah *soil water characteristic curve* (SWCC) dan *permeability function* (kurva permeabilitas), serta kuat geser tanah tak jenuh. Data hujan di pilih dari kurva IDF yang dibuat dengan menggunakan data hujan 20 tahun (2000 – 2019) dari STA hujan Muara Enim menggunakan metode Gumbel

[8]. Analisis dilakukan untuk periode ulang 10 tahun. Gambar 2 memperlihatkan kurva IDF yang digunakan untuk menentukan curah hujan kritis yang digunakan dalam analisis. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa untuk periode ulang 10 tahun dan curah hujan berterusan selama 6 jam dalam satu hari, intensitas hujannya adalah 19mm/jam atau intensitas hujan perhari sebesar 114 mm.



Gambar 2 Kurva IDF dengan periode ulang 10 tahun dari Stasiun Hujan Muara Enim

Tabel 1 Data geometri lereng yang ditinjau

KETERANGAN	NOMOR LERENG			
	15-022-049-A	15-022-053-B	15-022-069-B	15-022-061-A
Tata Guna Lahan	Tanah Kebun	Hutan	Tanah Kebun	Tanah Kebun
Bangunan di Atas Lereng	-	-	Perumahan	-
Bangunan di Bawah Lereng	Jalan	Jalan	Jalan	Jalan
Tinggi Lereng	7 m	18,5 m	17 m	6 m
Sudut Lereng	55 derajat	57 derajat	58 derajat	79 derajat
Gambar				

Gambaran situasi yang digunakan dalam pemodelan untuk lereng No 15-0220049-A diperlihatkan pada Gambar 3. Tinggi dan sudut untuk semua lereng yang ditinjau diperlihatkan pada Tabel 1. Muka air tanah terletak 5 m di bawah dasar lereng dan 8 m dibawah puncak lereng.

Gambar 3 kemudian diterjemahkan dalam bentuk pemodelan yang akan digunakan dalam analisis rembesan menggunakan SEEP/W (Gambar 4). Penentuan kondisi batas sangat penting dalam analisis rembesan menggunakan metode *finite element*. Gambar 4 memperlihatkan kondisi dan kondisi batas pada

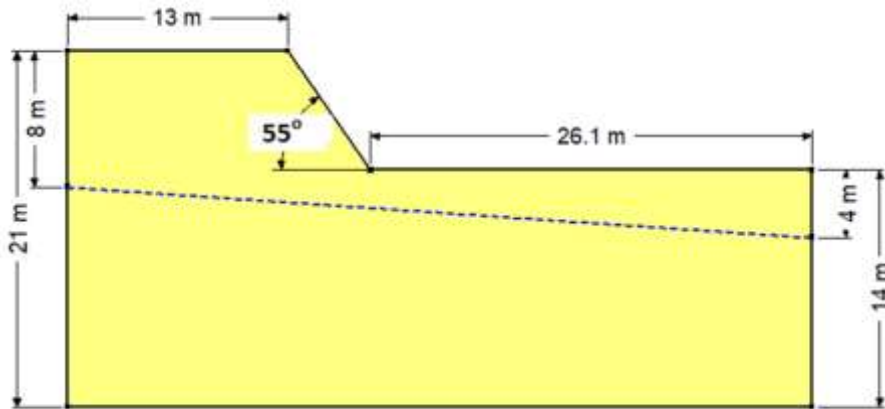
bagian bawah, samping dan di atas model. Bagian bawah dimodelkan sebagai no flow condition, sedangkan curah hujan di aplikasikan di atas lereng sebagai water flux. Kondisi batas pada kiri dan kanan model adalah total head yaitu 5 m pada sisi kanan dan 8 m pada sisi kiri.

Analisis dilakukan dengan urutan seperti diperlihatkan pada Gambar 4 dimulai dengan analisis rembesan yang terjadi akibat hujan dengan intensitas 19 mm/jam selama 6 jam. Analisis stabilitas lereng dilakukan pada waktu waktu yang telah ditentukan yaitu setiap jam selama aplikasi hujan dan setiap 3 jam setelah hujan berhenti sampai 24 jam. Kriteria yang digunakan sebagai dasar penentuan kondisi stabilitas lereng mengikuti SNI 8640 [9] seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

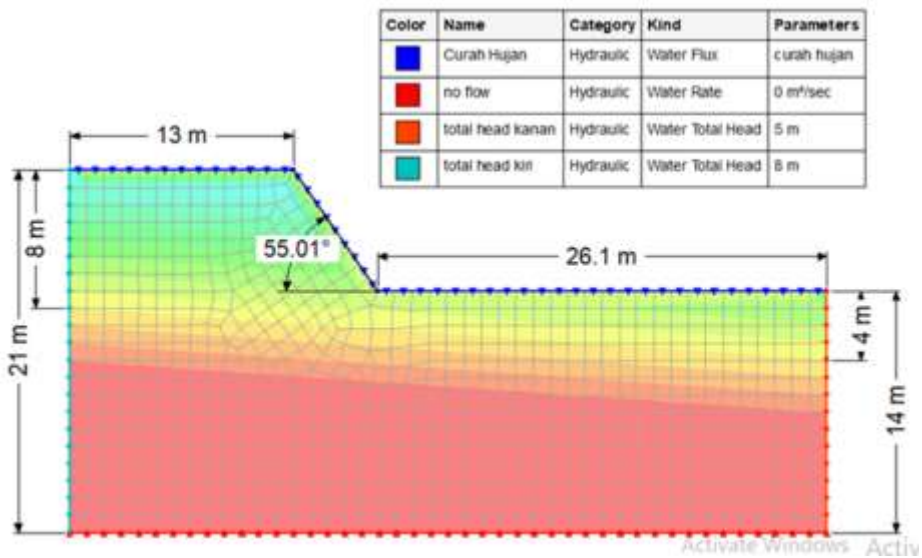
Seperti dijelaskan di atas, data data yang diperlukan untuk analisis rembesan dengan SEEP/W adalah SWCC dan kurva permeabilitas. Ke dua sifat tanah ini bisa didapatkan melalui uji laboratorium yang cukup rumit, mahal dan memakan waktu lama [10, 11]. Oleh karena itu, beberapa rumus empiris telah dikembangkan oleh peneliti antara lain (misalnya 12) untuk SWCC berdasarkan distribusi ukuran butiran tanah dan permeabilitas tanah dan berdasarkan koefisien permeabilitas tanah dan SWCC untuk mendapatkan kurva permeabilitas tanah tanah tak jenuh.

Demikian juga untuk analisis stabilitas lereng pada tanah tak jenuh diperlukan data kuat geser tanah tak jenuh yang diwakili oleh ϕ . Nilai ϕ bisa di dapatkan melalui pengujian laboratorium menggunakan alat Triaxial atau pengujian geser langsung yang khusus dikembangkan untuk tanah tak jenuh. Alat ini pun mahal dan pengujiannya rumit. Karena keterbatasan alat, maka nilai ini didapatkan dengan menggunakan rumus empiris, misalnya [13], yang dikembangkan berdasarkan sudut geser dalam efektif dan kurva SWCC.

Dalam penelitian ini, dilakukan dilakukan pengambilan contoh tanah di desa Padang Bindu, Kecamatan Tanjung Agung yang merupakan lokasi titik longsor 15-022-049-A. Lereng ini terletak pada 4,043351 LS dan 103,776062 BT, telah beberapa kali mengalami longsor dan yang terakhir adalah tanggal 24 Mei 2022. Observasi dilakukan pada tanggal 29 Mei 2023 dan pengambilan contoh tanah untuk pengujian laboratorium dilakukan pada tanggal 12 Juli 2023. Dalam hal ini dilakukan pengujian laboratorium standar yang hasilnya digunakan dalam rumus empiris untuk mendapatkan parameter tanah tak jenuh yang diperlukan untuk analisis numerik menggunakan SEEP/W dan SLOPE/W.



Gambar 3 Geometri lereng 15-022-049-A yang di analisis



Gambar 4 Mesh lereng 15-022-049-A untuk analisis dengan SEEP/W



Gambar 4 Urutan analisis dan SEEP/W

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

^aTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.

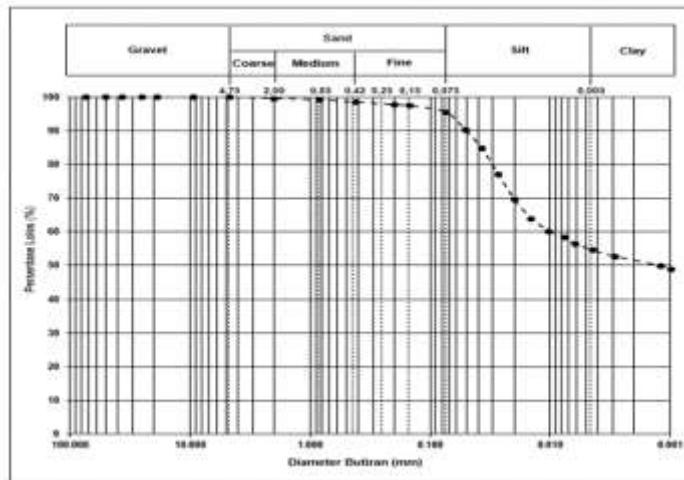
^bTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.

Gambar 5 Kriteria Stabilitas Lereng (SNI 8640-2017)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sifat tanah pembentuk lereng

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium terhadap sampel yang diambil di desa Padang Bindu. Dari hasil pengujian analisis saringan dan batas batas Atterberg didapatkan bahwa tanah memiliki kadar lempung : 54,63% ; LL = 37,65% dan PI = 23,90%. Dengan demikian jenis tanah pembentuk lereng dapat di klasifikasikan sebagai lempung dengan plastisitas rendah (CL) menurut USCS. Grafik distribusi ukuran butiran tanah diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik distribusi ukuran butiran tanah

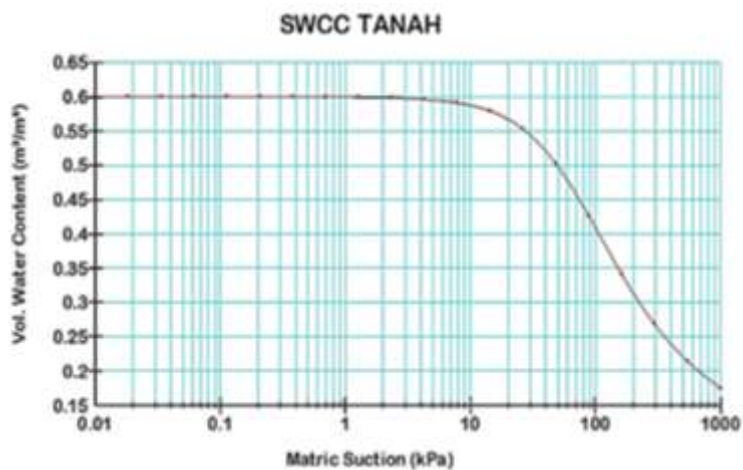
Data yang paling utama dalam analisis stabilitas lereng adalah kuat geser tanah, dalam hal ini didapatkan dengan pengujian geser langsung mengikuti SNI 3420-

2016. Gambar 7 memperlihatkan pengujian Direct shear yang dilakukan di laboratorium. Ringkasan data tanah yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 2.

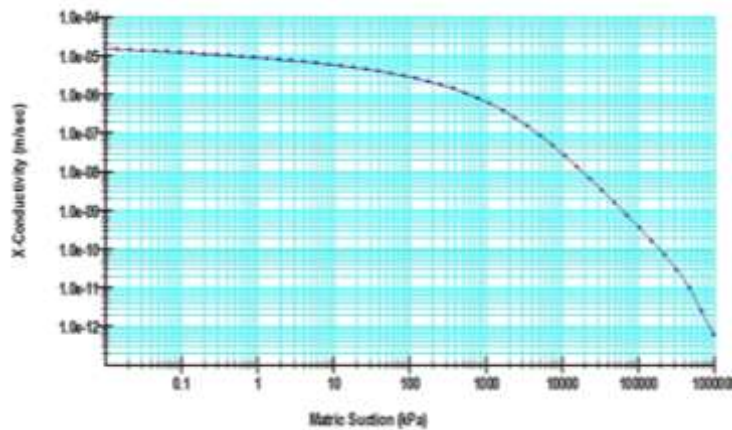
Tabel 2 Parameter tanah yang digunakan dalam analisis

No.	Parameter	Simbol	Hasil	Satuan	Metode Standar
1	Berat Jenis	Gs	2.678	-	SNI 1964 :2008
2	Porositas	n	0.600	-	dihitung
3	Komposisi Material				
	> 19,0	mm	Kerikil	0.80	%
	4,75 - 2,00	mm	Pasir Kasar	0.38	%
	2,00 - 0,420	mm	Pasir Sedang	1.89	%
	0,420 - 0,075	mm	Pasir Halus	2.98	%
	0,075 - 0,005	mm	Lanau	40.93	%
	< 0,002	mm	Lempung	54.63	%
4	Atterberg Limit				
	Batas Cair	LL	37.65	%	SNI 1966 : 2008
	Batas Plastis	PL	13.66	%	
Plastisitas Indeks	PI	23.99	%		
5	Klasifikasi Tanah	USCS	CL	-	SNI 6371 : 2015
6	Kuat Geser Langsung				
	Sudut Geser Dalam	ϕ	34.122	°	SNI 3420 2016
	Kohesi	c	0.228	kg/cm ²	
7	Koefisien Permeabilitas	kv	2 x 10 ⁻⁵	mdet	

Seperti dijelaskan di Bagian 2, SWCC dan kurva permeabilitas yang diperlukan untuk analisis di dapatkan secara empiris. Untuk SWCC digunakan metode Zapata [12] yang didasarkan kepada persen lempung dan index plastisitas. Sedangkan untuk kurva permeabilitas digunakan koefisien permeabilitas tanah jenis, kurva SWCC menggunakan metode Fredlund and Xing [13] yang terintegrasi dalam program SEEP/W. Gambar 7 dan 8 memperlihatkan kurva SWCC dan kurva permeabilitas yang digunakan dalam analisis.



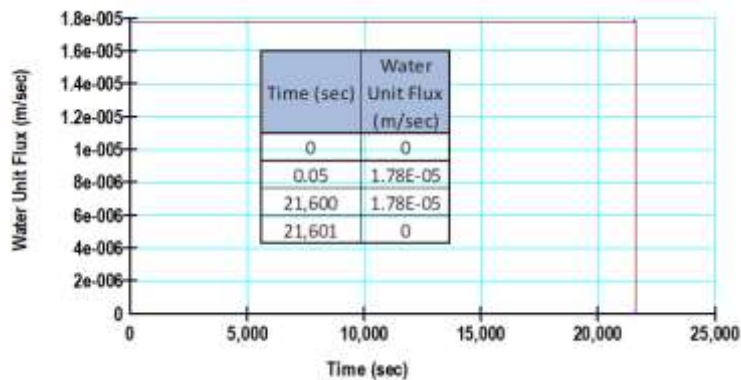
Gambar 7 SWCC tanah pembentuk lereng di desa Padang Bindu



Gambar 8 Kurva permeabilitas tanah pembentuk lereng di desa Padang Bindu

3.2 Curah hujan

Seperti dijelaskan pada bagian 2, input curah hujan untuk analisis rembesan menggunakan SEEP/W didasarkan kepada kurva IDF dengan periode ulang 10 tahun yang dibuat dengan menggunakan data hujan 20 tahun (2000 – 2019) dari STA hujan Muara Enim. Gambar 9 memperlihatkan flux yang digunakan dalam analisis yaitu intensitas 19 mm/jam selama 6 jam, atau $1,78 \cdot 10^{-5}$ mm/jam selama 21.600 detik.

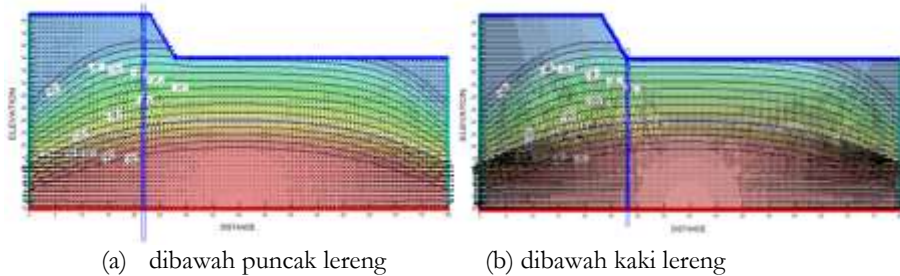


Gambar 9 Input curah hujan yang digunakan dalam analisis

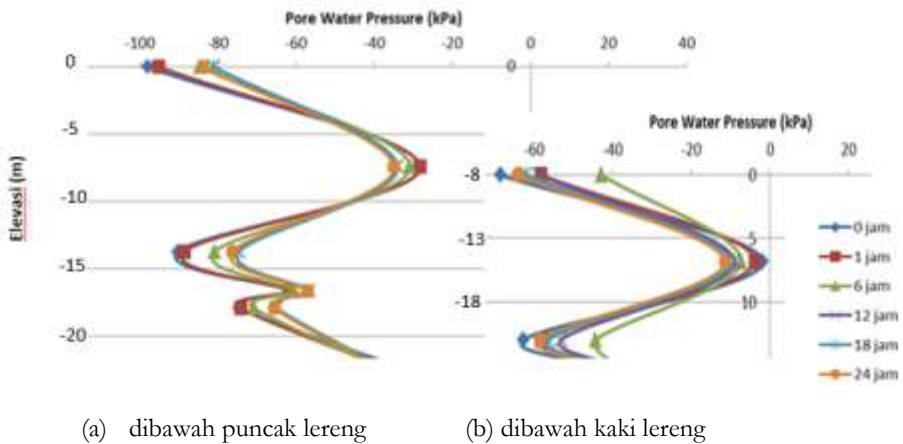
3.3 Hasil analisis rembesan

Infiltrasi curah hujan ke dalam tanah menyebabkan terjadinya perubahan pola rembesan dan distribusi tekanan air pori dalam tanah. Dalam hal ini dianalisis perubahan tekanan air pori dibawah puncak lereng (*crest*) dan di bawah kaki lereng (*toe*). Posisi analisis tekanan air pori diperlihatkan pada Gambar 10. Gambar 11 memperlihatkan distribusi tekanan air pori selama hujan dibawah puncak dan

dibawah kaki lereng pada awal analisis,1 jam, 6 jam, 12, 18, 24 jam setelah mulai hujan. Hujan berhenti pada 6 jam.



Gambar 10 Posisi analisis perubahan tekanan air pori untuk Lereng No 15.022.049.A

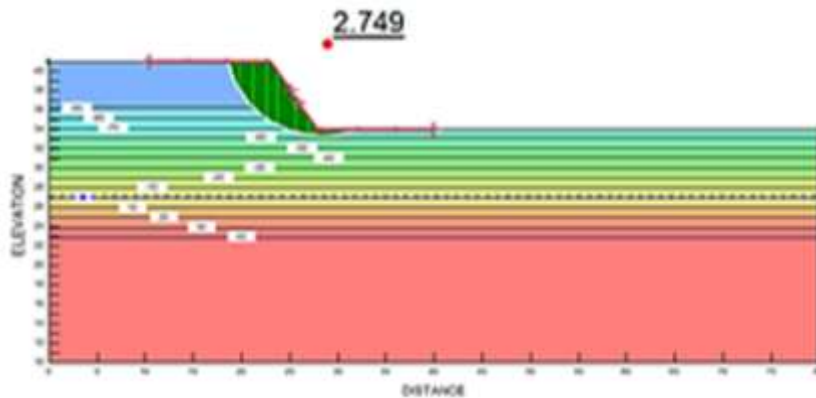


Gambar 11 Distribusi tekanan air pori dibawah puncak dan kaki lereng No 15.022.049A

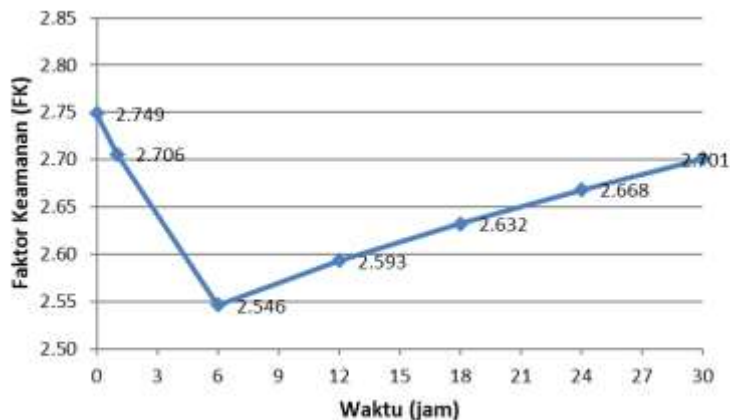
Dapat dilihat bahwa curah hujan tidak mengakibatkan perubahan yang signifikan pada distribusi tekanan air pori. Hal ini disebabkan karena koefisien permeabilitas yang digunakan dalam analisis hampir sama dengan intensitas hujan yaitu 2×10^{-5} m/detik sedangkan hujan yang digunakan adalah $1,78 \times 10^{-5}$ m/detik. Pada awal analisis, tekanan air pori negatif pada permukaan tanah (puncak dan kaki lereng) merupakan fungsi dari kedalaman muka air tanah yaitu -100 kPa pada puncak dan -60 kPa pada kaki lereng. Tekanan air pori negatif ini berkurang sejalan dengan aplikasi curah hujan yaitu selama 6 jam. Tekanan air pori negatif minimum tercapai pada jam ke 6 yaitu pada saat hujan berhenti. Seterusnya tekanan air pori pada kaki lereng kembali ke posisi semula pada 24 jam meskipun pada puncak lereng masih lebih basah daripada posisi semula.

3.3 Hasil analisis stabilitas lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan pada kondisi awal, pada saat hujan berhenti (6 jam) dan selanjutnya pada 12 jam 18 jam dan 24 jam setelah hujan mulai. Gambar 12 memperlihatkan Faktor keamanan lereng pada kondisi awal sebelum hujan. Faktor keamanan untuk lereng dengan sudut lereng 55° dan tinggi 8 m adalah cukup tinggi yaitu 2,749. Pengaruh hujan terhadap faktor keamanan dapat dilihat pada Gambar 13. Dari analisis ini data disimpulkan bahwa longsoran di lokasi penelitian ini akan terjadi sesaat sesudah hujan berhenti dan umumnya terjadi pada hujan maximum satu hari. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian oleh [1] dan [4], dan sesuai juga dengan kondisi yang sebenarnya dimana umumnya longsoran di bagian barat Sumatera Selatan terjadi setelah hujan yang sangat deras berlangsung sekitar 6 jam.



Gambar 12: Faktor keamanan lereng pada kondisi awal untuk Lereng No 15.022.049.A



Gambar 13 Trend faktor keamanan lereng terhadap waktu untuk Lereng No 15.022.049.A

3.4 Pembahasan

Seperti dijelaskan pada Bagian 2, analisis stabilitas dalam penelitian ini dilakukan terhadap 4 lokasi seperti pada Table 1. Hasil lengkap untuk semua lereng yang di analisis dapat dilihat pada Table 3. Analisis Table 3 menyimpulkan bahwa lereng No 15.022-049-A dan 15-022-061-A memiliki faktor keamanan di atas 1, 5 setelah hujan sehingga menurut SNI 8460 – 2017 dapat dinyatakan aman. Namun lereng No 15.022-053-B dan 15-022-069-B memiliki faktor keamanan kurang dari 1,5 sebelum hujan dan makin turun setelah hujan sehingga dapat menyebabkan longsor. Perbedaan antara lereng No 15.022-049-A dengan lereng No 15.022-053-B dan 15-022-069-B adalah pada ketinggian lereng. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian oleh [14] dimana ketinggian lereng mempunyai pengaruh yang besar terhadap stabilitas lereng. Lereng yang paling kritis dalam penelitian ini adalah Lereng No 15-022-069-B karena di bagian atas lereng terdapat perumahan sehingga perlu menjadi perhatian.

Tabel 3 Hasil analisis stabilitas lereng untuk semua lokasi yang diteliti.

No Lereng	Sudut lereng (°)	Tinggi lereng (m)	Bangunan atas lereng	Faktor keamanan minimum	Kritis Pada saat	Keterangan
15-022-049-A	55	8	Tidak ada	2,546		Aman
15-022-053-B	57	18,5	Tidak ada	1,323	Hujan berhenti	Tidak aman < 1,5
15-022-069-B	58	17	Perumahan	1,035		Tidak aman < 1,5
15-022-061-A	79	6	Tidak ada	2,076		Aman

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan dalam penelitian ini terhadap empat lereng yang rawan terhadap longsor, dapat ditarik beberapa kesimpulan seperti berikut:

1. Lereng di sepanjang jalan Simpang Sugih Waras sampai Batas Kota Baturaja rawan terhadap longsor. Variasi sudut lereng antara 55° sampai 79° Dan tinggi lereng antara 6 m sampai 18,5 m.
2. Tanah yang membentuk lereng berupa lempung dengan plastisitas rendah (CL) dengan koefisien permeabilitas yang cukup tinggi yaitu 2×10^{-5} m/detik. Dengan demikian curah hujan sebesar 19 mm /jam ($1,78 \times 10^{-5}$ m/detik tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distribusi tekanan air pori dalam tanah.
3. Untuk empat lereng yang ditinjau, faktor keamanan terendah dicapai pada saat hujan berhenti (6 jam). Faktor keamanan naik lagi pada setelah hujan

berhenti karena penyebaran kembali tekanan air pori dalam tanah ke keadaan semula.

4. Faktor keamanan lereng terendah terdapat pada lereng dengan nomor lereng 15-022-069-B karena lereng lebih tinggi dan di atasnya terdapat perumahan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada BBJNPSS atas data yang digunakan dan Universitas Bina Darma yang memberikan fasilitas software berlisensi yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Gofar, N. & Lee M.L. (2008) Extreme Rainfall Characteristics for Surface Slope Stability in the Malaysian Peninsular. *GEORISK: Assessment & Management Risk for Engineering Systems & Geohazards*. 2(2) 65-78
- [2.] Rahardjo, H., Nistor, M.M., Gofar, N., Satyanaga, A., Qin, X. & Yee. SIC. (2019): Spatial distribution, variation and trend of five-day antecedent rainfall in Singapore, *Georisk*. 1-15.
- [3.] Toll, D.G. (2006) Landslides in Singapore. *Ground Engineering*, 35-36.
- [4.] Kim, Y., Rahardjo, H., Nistor, M.M., Satyanaga, A., Leong, E.C., Sham, A.W.L. (2022). Assessment of critical rainfall scenarios for slope stability analyses based on historical rainfall records in Singapore. *Environmental Earth Sciences* (2022) 81:39.
- [5.] Geoslope International Ltd. 2018. Seepage Modelling with SEEP/W. Calgary, Canada.
- [6.] Geoslope International Ltd. 2018. Slope Stability Analysis with SLOPE/W. Calgary, Canada.
- [7.] Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Sumatra Selatan (2018) Laporan Inventarisasi Jalan. Ruas Simpang Sugih Waras – Batas Kota Baturaja.
- [8.] Aisyah, E. & Gofar, N. (2022) Studi Pengaruh Curah Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Menggunakan Program PERISI. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 18(2):133-147 DOI: <https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.133-147.2022>
- [9.] Badan Standarisasi Nasional. (2017). SNI-8460 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta.
- [10.] Ibrahim, I; Arif, D.N., & Gofar, N. (2018) Determining Unsaturated Soil Properties through Parameter Estimation. *Proc. 20th South East Asian Geotechnical Conference*. Jakarta; p. 231–235
- [11.] Abdullah, N.H.H. Gofar, N. Rahman, N.A.A. Roslan, S.M. (2013) Empirical Correlation for Estimation of Unsaturated Soil Shear Strength. *Proc. IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium BEIAC 2013, Pulau Langkawi, Malaysia*. p. 690 – 694.

- [12.] Zapata, C. E. (1999). Uncertainty in soil soil-water characteristic curve and impacts on unsaturated shear strenght predictions. (PhD Tesis), Arizona State University, Tempe AZ.
- [13.] Fredlund, D. G., & Xing, A. (1994). Equations for the soil-water characteristic curve. *Canadian Geotechnical Journal*, 31(3), 521 - 532.
- [14.] Apriansyah, A. & Gofar, N. (2022) Pengaruh Geometri terhadap Kestabilan Lereng. *Dinamika Teknik Sipil* 15(2): 85-90 doi: <https://10.23917/dts.v15i2.19622>