

Pengaruh Pelapukan Lapisan Batuan Terhadap Stabilitas Lereng

Adolf Situmorang¹⁾, Kusrin²⁾, Ngudi Hari Christa³⁾, Yesina Intan Pratiwi⁴⁾
Galih Widyarini⁵⁾, Kukuh Wisnuaji Widiatmoko⁶⁾

^{1, 2, 3, 4, 5, 6)}Universitas Semarang, Jalan Soekarno Hatta, Semarang – Jawa Tengah

Email: situmorangadolf@usm.ac.id¹⁾, kusrin@usm.ac.id²⁾, ngudihari_crista@usm.ac.id³⁾, yesina@usm.ac.id⁴⁾, Galihwidyarini@usm.ac.id⁵⁾, kukuhwisnuajiwidiatmoko@usm.ac.id⁶⁾

Corresponding Author: situmorangadolf@usm.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i2.707>

(Received: January 2022 / Revised: July 2022 / Accepted: August 2022)

Abstrak

Longsor merupakan suatu proses perpindahan massa batuan atau tanah akibat pengaruh gravitasi sebagai respon terhadap aktivitas alam yang menyebabkan kerusakan morfologi permukaan lereng, dan longsor yang terjadi di Wonogiri kemungkinan karena pelapukan lapisan batuan akibat curah hujan yang sering terjadi di area tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan pengambilan sampel batuan, pengukuran dan pengumpulan data sekunder. Klasifikasi batuan menggunakan parameter RQD, RMR dan Q-system untuk mengetahui karakteristik batuan. Hasil dari klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa lapisan batuan di lokasi longsor masuk dalam kategori sedang hingga sangat rentan mengalami pelapukan. Dengan mempertimbangkan siklus curah hujan dan jumlah hujan dalam hari yang dihitung dalam satu tahun diketahui ada pengurangan kekuatan batuan berdasarkan penelitian terdahulu. Hasil analisa metode element hingga menunjukkan terjadi pengurangan kekuatan batuan berdasarkan parameter geser yang berakibat pada stabilitas lereng batuan tersebut, dan pada tahun ke-10 diindikasikan nilai *Safety Factor* (SF) <1,3.

Kata kunci: *Kuat geser, siklus basah-kering, batuan*

Abstract

Landslide is a process of mass transfer of rock or soil due to the influence of gravity in response to natural activities that cause damage to the surface morphology of the slopes, and the landslide that occurred in Wonogiri was probably due to weathering of rock layers due to frequent rainfall in the area. This research was conducted with the stages of taking rock samples, measuring and collecting secondary data. Rock classification uses RQD, RMR and Q-system parameters to determine rock characteristics. The results of the classification indicate that the rock layers at the landslide location are in the moderate to very vulnerable category to weathering. By considering the rainfall cycle and the amount of rain in days calculated in one year, it is known that there is a reduction in rock strength based on previous research. The results of the finite element method analysis showed that there was a reduction in rock strength based on shear parameters which resulted in the stability of the rock slopes, and 10th year indicated the value of *Safety Factor* (SF) <1.3.

Keywords: *Landslide, wet-dry cycle, rock*

1. Latar Belakang

Longsor merupakan suatu proses perpindahan massa batuan atau tanah akibat pengaruh gravitasi sebagai respon terhadap aktivitas alam dan antropogenik yang menyebabkan kerusakan morfologi permukaan lereng (Komadja et al., 2020), sedangkan menurut (Naryanto et al., 2019) longsor terjadi karena adanya gangguan kesetimbangan gaya yang bekerja pada lereng, yaitu gaya penahan dan gaya peluncur atau gaya pendorong. Jika dilihat dari sisi geologi, bencana longsor merupakan suatu peristiwa geologi yang terjadi karena massa batuan atau tanah mengalami pergerakan seperti jatuhnya atau pergeseran dari posisi semula. Pergerakan lapisan ini akibat tegangan yang terjadi atau pendorong melebihi tegangan yang menahan sebagaimana dalam penelitian (Situmorang & Muldiyanto, 2021).

Bencana longsor bisa diakibatkan beberapa hal, menurut (Shahabi & Hashim, 2015) penyebab longsor adalah akibat lereng yang terjal dan curah hujan yang tinggi merupakan faktor utama terjadinya longsor terutama untuk daerah kondisi tropis, di sisi lain faktor geologi sangat berperan terhadap terjadinya longsor, di mana batuan yang mudah lapuk dapat mempercepat terjadinya longsor terutama pada daerah galian di mana lereng batuan terbuka sehingga mudah mengalami perubahan akibat cuaca (El-Haddad et al., 2021).

Kondisi longsor di Kabupaten Wonogiri mengakibatkan terputusnya jalan antar dua wilayah sehingga mengganggu aktivitas warga setempat yang dapat mempengaruhi perkembangan perekonomian masyarakat setempat, meskipun setelah kejadian material longsor dapat segera dipindahkan dari badan jalan, namun dengan kejadian ini perlu menjadi perhatian agar kejadian yang sama tidak terjadi dimasa masa yang akan datang.

Jika dilihat dari material longsor (Gambar 1) merupakan batuan yang masih terdapat lapisan pasir, sehingga dengan masuknya air akan mengurangi kekuatan batuan atau karena proses pelapukan akibat hujan yang menyebabkan pengurangan kekuatan batuan sehingga mempengaruhi stabilitas lereng. Proses pelapukan akibat siklus basah kering dapat mengakibatkan penurunan kekuatan batuan, (Zheng et al., 2018) menyatakan bahwa kekuatan batuan akan menurun seiring dengan siklus basah kering yang terjadi hingga mencapai 34% untuk siklus basah kering 15 kali dalam setahun, sehingga perlu penanganan khusus terutama lereng batuan yang terbuka untuk mengurangi potensi pelapukan yang dapat menyebabkan longsor pada lereng.



Gambar 1 Material longsor bercampur pasir

Kondisi basah kering pada lapisan batuan sangat mempengaruhi stabilitas suatu lereng, pada kondisi ini batuan akan mudah mengalami lapuk yang dapat mengurangi

kekuatan batuan itu sendiri. Menurut (Mišćević & Vlastelica, 2014) menyatakan bahwa pengaruh basah kering permukaan lereng batuan akan menyebabkan lereng menjadi terkikis dan butiran akan saling melepaskan dan hal ini akan berpotensi menjadi pelapukan pada lapisan permukaan lereng.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses siklus pembasahan dan pengeringan terhadap pelapukan lapisan batuan akibat hujan yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng batuan. Siklus pembasahan dan pengeringan diambil berdasarkan jumlah hujan di lokasi penelitian dari data sekunder yang akan diakumulasi dalam satu tahun siklus hujan. Pengaruh stabilitas lereng dilihat dari nilai perubahan *Safety Factor* (*SF*), yang merupakan rasio antara gaya pendorong dan gaya penahan, dan jika nilai *Safety Factor* (*SF*) mendekati 1 (satu) berarti kondisi lereng kurang stabil.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan diantaranya pengambilan data batuan dengan bor mesin untuk mengetahui karakteristik batuan, pengukuran topografi, pengumpulan data sekunder seperti curah hujan selama 6 (enam) tahun dan geologi regional lokasi longsoran. Dari data-data tersebut akan dianalisa dengan metode element hingga bantuan *software Plaxis 2D* untuk mendapatkan pengaruh perubahan pelapukan batuan terhadap nilai *Safety Factor* (*SF*) selama 11 (sebelas) tahun.

2.1 Pengambilan Data Penelitian

Pengambilan data batuan tidak terganggu (*undisturbed*) untuk dilakukan uji fisis dan mekanis. Sample batuan yang diambil adalah yang tertutup dan belum terekspos yang dianggap sebagai sample yang belum mengalami pelapukan sehingga diharapkan dapat mewakili kondisi batuan *fress* yang sebenarnya. Selain pengambilan sampel batuan, juga dilakukan pengukuran geometrik untuk mendapatkan tinggi dan elevasi lereng, yang akan digunakan sebagai pedoman dalam analisa stabilitas lereng. Beberapa acuan yang akan digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan seperti:

2.1.1 Rock Quality Designation (RQD)

Rock Quality Designation (*RQD*) merupakan suatu indeks dalam menentukan kualitas batuan apakah batuan itu mengalami lapuk, retak, dan geser (Zhang et al., 2019). Menurut (Zheng et al., 2018), *RQD* didefinisikan sebagai persentasi sampel batuan yang diambil dengan minimal 10cm dalam tiap 1m.

Tabel 1 Indeks klasifikasi RQD (RQD sampel penelitian dengan kriteria)

RQD	Depth			Rock Mass Quality
	1-5m	5-10m	10-15m	
< 25%	8%			<i>Very poor</i>
25-50%		37%		<i>Poor</i>
50-75%			65%	<i>Fair</i>
75-90%				<i>Good</i>
90-100%				<i>Excellent</i>

Berdasarkan klasifikasi batuan menurut (Azimian, 2016) dibagi dalam 5 kelompok nilai RQD, yaitu: *Very poor*, *poor*, *fair*, *good* dan *excellent*, dan Tabel 1 menunjukkan nilai RQD batuan di lokasi penelitian sebanyak 8% (*very poor*) sampai

kedalaman 5m, dan 37% (*poor*) kedalaman 5-10 m dan kedalaman 10-15 m sebesar 65% dengan kategori *fair*.

2.1.2 Rock Mass Quality atau (Q)-system

Q-System merupakan system yang memperhitungkan enam parameter klasifikasi batuan yaitu *Rock Quality Designation (RQD)*, jumlah kekar, kekasaran kekar, perubahan kekar, kondisi air pada kekar dan faktor tekanan. Klasifikasi massa batuan berdasarkan *Q-system* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Klasifikasi massa batuan berdasarkan *Q-system* (Barton et al., 1974)

Q	Group	Classification
10 - 40	1	<i>Good</i>
40 - 100		<i>Very good</i>
100 - 400		<i>Extremely good</i>
400 - 1000		<i>Exceptionally good</i>
0.1 - 1.0	2	<i>Very poor</i>
1.0 - 4.0		<i>Poor</i>
4.0 - 10.0		<i>Fair</i>
0.001 - 0.01	3	<i>Exceptionally poor</i>
0.01 - 0.1		<i>Extremely poor</i>

2.1.3 Rock Mass Rating (RMR)

Rock Mass Rating (RMR) merupakan suatu metode yang dilakukan untuk mengetahui kualitas massa batuan. Klasifikasi kualitas massa batuan berdasarkan RMR seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Klasifikasi massa batuan berdasarkan nilai RMR (Bieniawski, 1989)

Parameter /properties of rock mass rating	Rock Mass Rating (Rock Class)				
	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Classification of rock mass	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
Average stand-up time	10 years for	6month for	1 week for 5m	10 h for	30 min for
	15m span	8m span	span	2.5 m span	1m span
Cohesion of the rock mass	> 400 kpa	300-400 kpa	200-300 kpa	100-200 kpa	< 100 kpa
Friction angle of the rock mass	> 45 ⁰	35-45 ⁰	25-35 ⁰	15-25 ⁰	< 15 ⁰

Klasifikasi lainnya secara empiris berdasarkan nilai *Rock Quality Designation (RQD)*, seperti *Rock Mass Rating (RMR)*, *Q-system* dan *Geological Strenght Index (GSI)* diperlihatkan pada persamaan 1 sampai 3.

Rock Mass Rating (RMR)

$$RMR = 0,46RQD + 25.2 \tag{1}$$

Q tunnelling index (Barton, 2002)

$$Q = 10^{\frac{RMR-50}{15}} \tag{2}$$

Geological Strength Index atau GSI (Zhang et al., 2019).

$$GSI = \left(\frac{RMR-15.4}{0.827} \right) \quad (3)$$

2.2 Data sekunder jumlah hari hujan

Pengambilan jumlah hari hujan dari Badan Pusat Statistik, digunakan untuk mengetahui besaran jumlah hari hujan setiap tahun selama 6 tahun, data ini digunakan untuk mengetahui jumlah hari hujan yang *equivalen* dengan siklus pembasahan dan pengeringan seperti pada Tabel 4. Hari hujan *equivalent* terbesar terjadi pada bulan Januari sampai April dan bulan Nopember sampai Desember, untuk bulan yang lain relatif tidak terlalu tinggi.

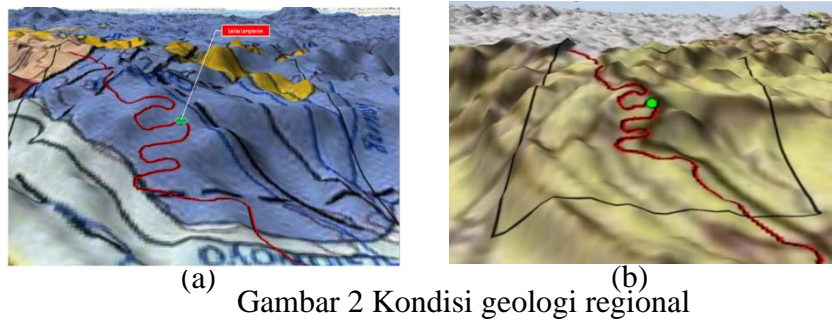
Tabel 4 Jumlah hari hujan 6 tahun terakhir

Bulan	Jumlah Hari Hujan						Rata2
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Januari	19	21	21	29	19	18	21
Februari	18	20	21	21	15	20	19
Maret	17	20	12	12	18	20	17
April	18	16	17	14	10	11	14
Mei	6	8	3	4	2	12	6
Juni	1	10	8	1	-	-	5
Juli	-	11	1	-	-	-	6
Agustus	1	9	-	-	-	2	4
September	-	13	4	-	-	2	6
Oktober	-	16	6	-	-	8	10
Nopember	11	24	20	10	3	12	13
Desember	18	17	18	15	10	15	16
TOTAL	109	185	131	106	77	120	137

2.3 Data geologi

Lokasi longsor berdasarkan peta geologi regional berada pada formasi Wonosari-Punung (lembar pacitan) dengan susunan batuan diantaranya adalah batugamping, batugamping napalan-tufaan, batugamping konglomerat, batu pasir tufaan dan batulanau seperti ditunjukkan pada Gambar 2a. Jika dilihat peta kerawanan gempa lokasi tersebut menunjukkan daerah rawan gempa bumi menengah dengan intensitas antara V-VIII MMI (*Modified Mercalli Intensity*) dan pada kawasan ini masih berpotensi terjadi retakan tanah, longsor pada tebing terjal dalam skala terbatas dan percepatan gempa bumi antara 0,10 g - 0,20 g seperti ditunjukkan pada Gambar 2b.

Meskipun daerah longsor ini masuk dalam kawasan retakan tanah, namun longsor yang terjadi bukan karena proses kegempaan tetapi kemungkinan akibat proses pelapukan yang terjadi karena perubahan cuaca yang sangat sensitive terutama pada lapisan batu gamping (*lime stone*) sesuai dengan kondisi geologi setempat, hal ini sesuai dengan hasil penelitian (El-Haddad et al., 2021) bahwa batu gamping merupakan material yang lemah yang rentan terhadap longsor, terutama akibat proses siklus basah kering karena cuaca.



(a) (b)
Gambar 2 Kondisi geologi regional

2.4 Interpretasi hasil penelitian

Interpretasi hasil penelitian terutama parameter geser dan modulus deformasi akibat siklus pembasahan dan pengeringan dapat dilakukan dengan beberapa metode yang ada, untuk penelitian ini mengacu metode (Huang et al., 2018) yang ditunjukkan pada persamaan 4 sampai persamaan 7 sebagai berikut :

$$\text{Sandstone } \sigma_{cm}(\%) = 23.512 \cdot N^{-0.7} \quad (4)$$

$$\text{Sandstone } E_m(\%) = 12.779 \cdot N^{-0.6} \quad (5)$$

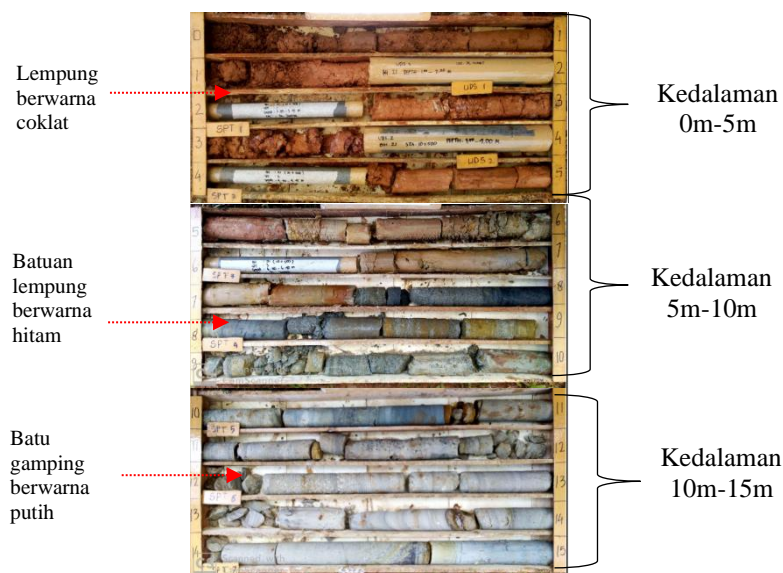
$$\text{Mudstone } \sigma_{cm}(\%) = 43.778 \cdot N^{-0.94} \quad (6)$$

$$\text{Mudstone } E_m(\%) = 28.833 \cdot N^{-0.74} \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Klasifikasi massa batuan

Dari hasil pengambilan sampel batuan dengan menggunakan bor mesin diketahui bahwa nilai *Rock Quality Designation (RQD)* terbesar sekitar 65% yang diukur secara visual dari sampel batuan berdasarkan *core box* yang didapatkan dari lokasi longsor (Gambar 3).



Gambar 3 Core box lapisan batuan

Deskripsi lapisan batuan lokasi longsor merupakan lapisan lempung berwarna coklat dan padat hingga kedalaman 5m, sedangkan kedalaman 5m sampai 10m merupakan lapisan batuan lempung bercampur batu gamping dan berpasir dan sisanya sampai kedalaman 15m merupakan batu gamping yang keras berwarna putih.

Dari hasil klasifikasi batuan untuk kondisi di atas dirangkum seperti diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rangkuman klasifikasi batuan

No	Klasifikasi Massa Batuan	Batuan Pasir	Keterangan
1	Rock Quality Designation (RQD)	65	<i>Fair</i>
2	Rock Mass Rating (RMR)	55.1	<i>Class III (Fair)</i>
3	Q-system	2.188	<i>Poor</i>
4	Geological Strength Index (GSI)	49.625	

Tabel 5 menunjukkan bahwa lapisan batuan dilokasi longsor masuk dalam kategori sedang bahkan sampai buruk dengan indeks RQD 65%, sedangkan indeks *Q-system* masuk dalam kategori *buruk*, dan RMR masuk dalam kategori *sedang*. Kategori lapisan batuan di lokasi longsor memperlihatkan bahwa batuan tersebut bukan batuan yang kuat tetapi masuk dalam kategori sedang bahkan buruk, sehingga perlu diantisipasi agar dapat mengurangi pelapukan terutama ketika terjadi pembasahan dan pengeringan akibat cuaca dalam jangka panjang.

Interpretasi penentuan nilai kuat tekan dan modulus deformasi berdasarkan lapisan batuan dilokasi longsor dapat dikategorikan sebagai lapisan *mudstone* sehingga persamaan (6) dan persamaan (7) dapat digunakan untuk menentukan modulus dan kuat tekan batuan. Persamaan (6) dan persamaan (7) sangat dipengaruhi jumlah hari hujan yang terjadi selama satu tahun, sehingga nilai N pada rumusan di atas menunjukkan jumlah siklus *wetting* dan *drying* dalam satu tahun, semakin besar nilai N maka potensi pelapukan semakin besar. Menurut (Y. Zhao et al., 2018) menyebutkan bahwa proses basah kering pada tanah dapat meningkatkan porositas batuan sehingga akan mempengaruhi kuat geser batuan. Menurut (Huang et al., 2018) siklus basah kering yang sering terjadi dapat menurunkan kekuatan lapisan batuan hingga mencapai 20%, sehingga dalam waktu yang lama akan mempengaruhi stabilitas yang dapat mengakibatkan longsor. Menurut (Z. Zhao et al., 2017) pembasahan kering sangat mempengaruhi perubahan kuat geser batuan, dimana siklus pembasahan dan pengeringan di atas 15 kali setiap tahun akan mengurangi kuat geser batuan sampai 5% terhadap kuat geser semula. Penelitian yang dilakukan oleh (Li et al., 2020) menyebutkan bahwa pengaruh rendaman terhadap sampel yang dilakukan menyebabkan terjadinya pengelupasan antara butiran tanah, dan semakin banyak waktu perendaman akan semakin banyak partikel-partikel tanah yang terkelupas.

Penentuan jumlah hari hujan yang *equivalen* didasarkan pada lamanya waktu hujan yang terjadi dalam satu hari berdasarkan data jumlah hujan setiap tahun. Hasil penentuan jumlah hari hujan yang *equivalen* dapat dilihat pada Tabel 6.

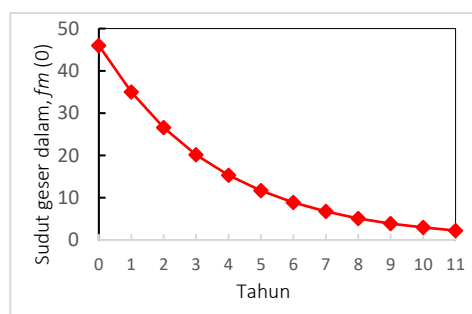
Tabel 6 Jumlah hari hujan yang *equivalen* dengan siklus basah kering

Bulan	Jumlah Hari Hujan						Rata ²
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Januari	5	4	3	3	3	4	4
Februari	4	5	3	3	3	4	4
Maret	4	4	3	2	2	4	3
April	4	3	4	2	2	2	3
Mei	1	1	1	0	0	2	1
Juni	0	1	1	0	0	0	0
Juli	0	2	0	0	0	0	0
Agustus	0	1	0	0	0	0	0
September	0	2	0	0	0	0	0
Oktober	0	2	1	0	0	1	1
Nopember	2	3	2	2	0	2	2
Desember	4	4	2	2	1	2	3
TOTAL	24	32	20	14	11	21	20

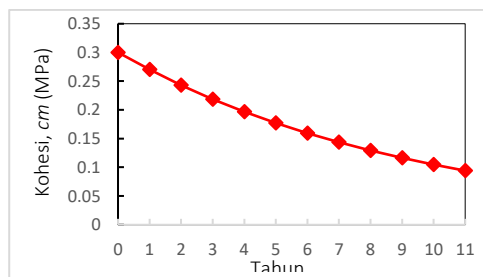
Tabel 6 menunjukkan jumlah hari hujan yang *equivalen* dengan basah kering setiap tahun yang diambil selama 6 tahun. Dengan nilai N rata-rata 20 dalam setiap tahun, jika mengacu persamaan (1) sampai (3) maka penurunan kuat tekan sebesar 3% per tahun, dan modulus sebesar 2.2% per tahun. Untuk penurunan kuat geser pada penelitian ini mengacu hasil penelitian (Yasuda, 2012), dimana akibat pembasahan dan pengeringan mengurangi kekuatan geser maksimum 50% untuk 5 siklus pembasahan dan pengeringan, tetapi pada penelitian ini digunakan pengurangan parameter geser sebesar 10% tiap tahunnya. Pengurangan nilai parameter berdasarkan siklus pembasahan dan pengeringan yang terjadi akan dilakukan perhitungan numeris stabilitas lereng batuan selama 11 tahun. Rangkuman hasil perhitungan parameter geser dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Rangkuman parameter batuan

No	Parameter	Simbol	Penurunan Properties tiap tahun											
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Modulus deformasi	E_m (MPa)	80	78	77	75	73	72	70	68	67	65	64	63
2	Nisbah Poison	ν_m	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
3	Kohesi	c_m (MPa)	0.3	0.27	0.24	0.22	0.2	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.1	0.09
4	Sudut gesek dalam	f_m (°)	1.94	1.86	1.80	1.72	1.65	1.56	1.51	1.46	1.38	1.32	1.21	1.12



Gambar 4 Grafik penurunan Sudut geser



Gambar 5 Grafik penurunan kohesi

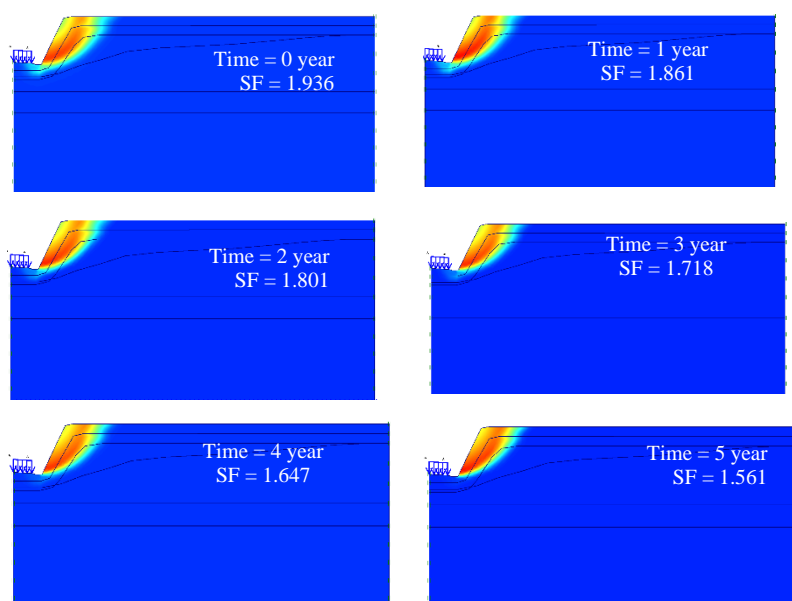
Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan grafik penurunan sudut geser dalam dan kohesi lapisan batuan akibat siklus pembasahan dan pengeringan berdasarkan jumlah hujan dalam hari setiap tahun, simulasi hingga pada tahun ke-11 menunjukkan nilai sudut geser mengalami penurunan sampai 95% atau mendekati 2^0 jika dibandingkan dengan sudut geser semula 46^0 , sedangkan kohesi mengalami penurunan hingga 70% selama 11 tahun atau mendekati 0.09 MPa jika dibandingkan dengan nilai kohesi semula sebesar 0.3 MPa.

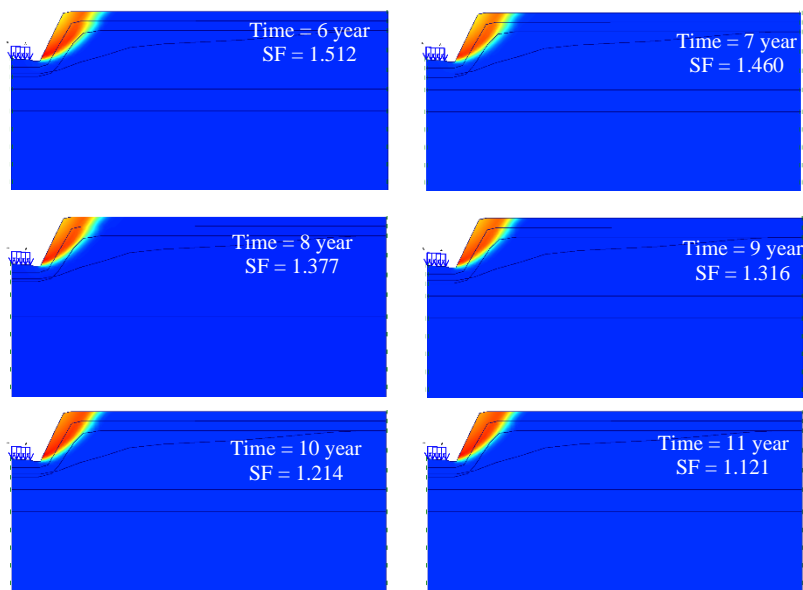
Hasil ini menunjukkan bahwa kekuatan batuan mengalami penurunan seiring dengan siklus pembasahan dan pengeringan yang terjadi, yang berakibat pada pelapukan lapisan batuan, terutama pada lapisan lereng batuan terbuka tanpa ada pengaman pada lapisan luar atau permukaan lereng

3.2 Analisa Stabilitas Lereng

Data-data hasil analisa pengurangan kuat geser batuan dan modulus elastisitas batuan akibat siklus basah kering digunakan untuk memprediksi stabilitas lereng berdasarkan nilai *Safety Factor (SF)* lereng sampai tahun ke-11, perhitungan ini menggunakan metode element hingga (*finite element method*) dengan kriteria desain sesuai dengan (Badan Standarisasi Nasional, 2017) tentang perancangan geoteknik, dimana nilai *Safety Factor (SF)* < 1.3 dianggap kurang stabil, dan berpotensi longsor jika *Safety Factor (SF)* mendekati 1.

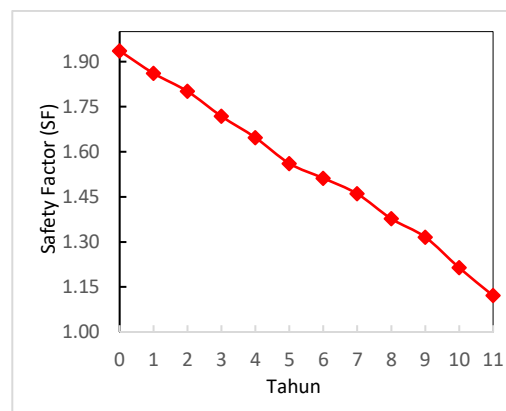
Hasil Analisa stabilitas lereng dengan metode elemen hingga (*finite element method*) seperti diperlihatkan pada Gambar 6.





Gambar 6 Hasil analisa stabilitas lereng

Gambar 6 menunjukkan perubahan nilai *Safety Factor* (SF) setiap tahun yang dihitung selama 11 tahun. Jika mengacu pada kriteria yang ada bahwa pada tahun ke-10 kondisi lereng masuk kategori kurang stabil karena *Safety Factor* (SF) < 1.3, bahkan pada tahun ke-11 nilai *Safety Factor* (SF) mendekati 1 atau cenderung berpotensi mengalami longsor.

Gambar 7 Grafik penurunan *Safety Factor* (SF)

Gambar 7 adalah grafik perubahan *Safety Factor* (SF) dari tahun pertama sampai tahun ke-11, rata-rata penurunan tiap tahun sekitar 5% dari tahun sebelumnya, bahkan pada tahun ke-11 total penurunan 65% terhadap tahun pertama.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh yang signifikan antara proses siklus pembasahan dan pengeringan berdasarkan data jumlah hujan setiap tahun terhadap pengurangan kekuatan batuan dilihat dari parameter geser dan modulus batuan, dimana semakin lama siklus pembasahan dan pengeringan terjadi, semakin berkurang parameter geser batuan.

Berdasarkan analisa di atas pengurangan parameter geser dan modulus batuan mempengaruhi stabilitas lereng dilihat dari nilai *safety factor*, yang cenderung mengalami penurunan, bahkan pada tahun ke-10 diindikasikan lereng batuan di lokasi penelitian ini tidak stabil bahkan cenderung akan terjadi longsor, seperti yang terjadi beberapa waktu yang lalu.

4.2 Saran

Perlu menambah perlindungan permukaan lereng atau penutup pada setiap lereng batuan yang terbuka terutama lereng yang masuk kategori *curam* dan mudah lapuk akibat hujan, untuk menghindari terjadinya longsor diwaktu yang akan datang.

Daftar Kepustakaan

- Azimian, A, 2016. A new method for improving the RQD determination of rock core in borehole. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49(4), 1559–1566. <https://doi.org/10.1007/s00603-015-0789-8>
- Badan Standarisasi Nasional, 2017. Sni 8460-2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik, 8460, 2017.
- Barton, N, 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39(2), 185–216. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00011-4)
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J, 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics Felsmechanik Mecanique Des Roches*, 6(4), 189–236. <https://doi.org/10.1007/BF01239496>
- Bieniawski, 1989. *Engineering Rock Mass Clasifications*.
- El-Haddad, B. A., Youssef, A. M., El-Shater, A. H., & El-Khashab, M. H, 2021. Landslide mechanisms along carbonate rock cliffs and their impact on sustainable development: a case study, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(7), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06688-1>
- Huang, S., Wang, J., Qiu, Z., & Kang, K, 2018. Effects of cyclic wetting-drying conditions on elastic modulus and compressive strength of sandstone and mudstone. *Processes*, 6 (12). <https://doi.org/10.3390/pr6120234>
- Komadja, G. C., Pradhan, S. P., Roul, A. R., Adebayo, B., Habinshuti, J. B., Glodji, L. A., & Onwualu, A. P, 2020. Assessment of stability of a Himalayan road cut slope with varying degrees of weathering: A finite-element-model-based approach. *Heliyon*, 6 (11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05297>
- Li, Z., Liu, S., Ren, W., Fang, J., Zhu, Q., & Dun, Z, 2020. Multiscale Laboratory Study and Numerical Analysis of Water-Weakening Effect on Shale. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/5263431>
- Miščević, P., & Vlastelica, G, 2014. Impact of weathering on slope stability in soft rock mass. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(3), 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.03.006>
- Naryanto, H. S., Soewandita, H., Ganesha, D., Prawiradisastra, F., & Kristijono, A, 2019. Analisis Penyebab Kejadian dan Evaluasi Bencana Tanah Longsor di Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur Tanggal 1 April 2017. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 272. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.272-282>

- Shahabi, H., & Hashim, M, 2015. Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment. *Scientific Reports*, 5, 1–15. <https://doi.org/10.1038/srep09899>
- Situmorang, A., & Muldiyanto, A, 2021. The Effectiveness of Wire Mesh to Protect Landslide Rockfall Type. *xx(xx)*, 45–50.
- Yasuda, S, 2012. Reduction of static and dynamic shear strength due to the weathering of mudstones. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon Portugal, 4–11.
- Zhang, Q., Huang, X., Zhu, H., & Li, J, 2019. Quantitative assessments of the correlations between rock mass rating (RMR) and geological strength index (GSI). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 83(April 2018), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.09.015>
- Zhao, Y., Ren, S., Jiang, D., Liu, R., Wu, J., & Jiang, X, 2018. Influence of wetting-drying cycles on the pore structure and mechanical properties of mudstone from Simian Mountain. *Construction and Building Materials*, 191, 923–931. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.069>
- Zhao, Z., Yang, J., Zhang, D., & Peng, H, 2017. Effects of Wetting and Cyclic Wetting–Drying on Tensile Strength of Sandstone with a Low Clay Mineral Content. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50(2), 485–491. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1087-9>
- Zheng, J., Yang, X., Lü, Q., Zhao, Y., Deng, J., & Ding, Z, 2018. A new perspective for the directivity of Rock Quality Designation (RQD) and an anisotropy index of jointing degree for rock masses. *Engineering Geology*, 240(April), 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.013>.