



Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) untuk Menentukan Faktor Keamanan Lereng Pada Tambang Tuf Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Marolop P Pangaribuan^{1*}, Nofrohu Retongga²

¹Teknik Geologi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

²Program Studi Magister Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Abstrak

Batuan yang tersingkap di permukaan bumi umumnya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan konstruksi bangunan. Masyarakat Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta mengambil batu dengan cara sederhana yaitu penambangan tuf menggunakan pahat dan palu besi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kestabilan lereng tambang tuf akibat aktifitas penambangan oleh masyarakat sekitar sehingga dapat mengetahui nilai faktor keamanan lereng pada tambang tuf di Desa Candirejo. Metode yang digunakan adalah *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR). Hasil analisis hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor berdasarkan nilai faktor keamanan $< 1,07$ termasuk longsor sering terjadi (lereng labil), $1,07 < FK < 1,25$ termasuk longsor pernah terjadi (lereng kritis) dan $> 1,25$ longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil). Faktor keamanan yang dianalisis menggunakan bantuan *software Rocscience Slide v.6.005* setelah dianalisis didapatkan nilai FK sebesar 4,775. Berdasarkan nilai FK 4,775 adalah longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil). Faktor keamanan yang tinggi di pengaruhi oleh tingkat pelapukan batuan yang rendah, intensitas kekar yang sedikit, dan litologi yang di dominasi struktur masif.

Kata kunci: tuf; tambang; kestabilan lereng; faktor keamanan lereng

Abstract

Rocks exposed on the earth's surface can generally be used for building construction needs. The people of Candirejo Village, Semin District, Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region take stones in a simple way, namely by mining tuff using chisels and iron hammers. The purpose of this study was to analyze the stability of the slopes of the tuff mines due to mining activities by the surrounding community so as to determine the value of the slope safety factor in the tuff mines in Candirejo Village. The methods used are Rock Mass Rating (RMR) and Slope Mass Rating (SMR). The results of the analysis of the relationship between the value of the slope safety factor and the intensity of landslides based on the value of the safety factor < 1.07 including frequent landslides (unstable), $1.07 < FK < 1.25$ including landslides that have occurred (critical slopes) and > 1.25 landslides are rare (slopes are relatively stable). Safety factors were analyzed using the help of software Rocscience Slide v.6.005 after being analyzed, the FK value was 4.775. Based on the FK value of 4.775, landslides rarely occur (relatively stable slopes). The high factor of safety is influenced by the low level of rock weathering, the low joint intensity, and the lithology which is dominated by massive structures.

Keywords: tuff; mine; slope stability; slope safety factor

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Batuan yang tersingkap di permukaan bumi umumnya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan

konstruksi bangunan. Masyarakat Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta

*) Korespondensi: maroloppangrib@gmail.com

Diajukan : 30 November 2021

Diterima : 1 Desember 2022

Diterbitkan : 24 Januari 2023

mengambil batu dengan cara sederhana yaitu penambangan tuf menggunakan pahat dan palu besi. Akibat aktivitas penambangan tersebut menimbulkan perubahan permukaan bumi menjadi miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal yang dinamakan lereng. Menurut Abramson dkk., (2001) lereng terbagi menjadi 2 yaitu lereng alam (lereng yang terbentuk oleh proses alam) dan lereng buatan (lereng yang terbentuk oleh aktivitas manusia).

Batuan pada lereng akan mengalami proses pelapukan dan erosi yang dipengaruhi oleh struktur geologi, jenis litologi, morfologi, cuaca dan iklim, dan lain-lain selama berjalannya waktu geologi serta penambahan beban pada lereng akibat aktifitas manusia yang mengurangi kestabilan lereng tersebut. Kestabilan lereng pada lokasi penelitian dianalisis dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) untuk mendapatkan kelas massa batuan dan kelas massa lereng serta jenis longsoran yang akan terjadi. Metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) ini digunakan karena lokasi penelitian mempunyai parameter yang terpenuhi pada metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) serta untuk mengetahui massa batuan dan massa lereng dengan menghubungkan hasil analisis faktor keamanan lereng.

Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki morfologi yang terjal dengan kemiringan yang sangat curam akibat kegiatan penambangan batu oleh rakyat sekitar. Tambang batu ini merupakan objek wisata yang bernama Telaga Biru Enim dan sering dikunjungi oleh wisatawan. Menurut Indriani dkk., (2017), keadaan lereng yang tidak memenuhi kriteria keamanan dan tidak terpantau akan menjadi ancaman bagi keadaan di sekitarnya. Keadaan ini akan menjadi ancaman bagi Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta sehingga digunakan sebagai lokasi yang baik untuk diteliti dan evaluasi keamanan lereng pada daerah tersebut.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) sehingga dapat mengetahui nilai faktor keamanan lereng pada tambang tuf di Desa Candirejo, Kecamatan

Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif berada di Desa Candirejo dan sekitarnya, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta sekitar 51,5 km ke arah Timur dari Kota Yogyakarta. Koordinat geografi lokasi penelitian $07^{\circ} 48' 30'' - 07^{\circ} 49' 15''$ LS dan $110^{\circ} 45' 30'' - 110^{\circ} 46' 15''$ BT. Luas lokasi penelitian 1,4 km x 1,4 km. Lokasi penelitian berada pada elevasi 120 mdpl dan memiliki morfologi perbukitan bergelombang sedang dengan beda tinggi 76 - 88 mdpl.

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam fisiografi regional menurut van Bemmelen (1949) adalah Pegunungan Selatan. Geomorfologi satuan Pegunungan Selatan yang terletak di Kabupaten Gunungkidul, atau dikenal sebagai Pegunungan Seribu merupakan wilayah perbukitan batugamping (*limestone*) yang kritis, tandus dan selalu kekurangan air dengan bagian tengah terdapat dataran (*Wonosari Basin*). Di sisi utaranya, perbukitan kerucut Gunung Sewu berbatasan dengan dua buah ledok (*basins*), yaitu Ledok Wonosari di bagian barat dan Ledok Baturetno di bagian timur. Batas utara dari punggung tersebut berupa tebing curam (*steep escarpment*), memanjang mulai daerah Parangtritis ke utara, di selatan Prambanan berbelok ke arah timur hingga Wonogiri. Sebelah utaranya membentang dataran rendah, di mana lipatan batuan yang lebih tua turun cukup dalam, tertutup oleh kipas-kipas fluvio - vulkanik muda dari beberapa gunungapi.

Lokasi penelitian termasuk dalam Formasi Semilir. Formasi ini menindih secara selaras Formasi Kebo-Butak dan merupakan batuan hasil erupsi letusan gunungapi asam. Bagian bawah (Formasi Semilir bawah) Formasi ini didominasi oleh tuf lapili dengan sisipan tuf dan lempung tufan, batupasir tufan, dan breksi batuapung. Sedangkan bagian atas (Formasi Semilir atas) didominasi oleh tuf dengan sisipan tuf lapili, batupasir tufan dan batupasir kerikilan (Surono, 2009). Ketebalan seluruh Formasi Semilir bawah dan atas diduga 460 m (Surono dkk., 1992). Umur Formasi Semilir adalah Miosen Awal (Surono dkk., 1992).

METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Penelitian lapangan dilakukan pengamatan dan pengukuran secara langsung di lapangan dengan cara sebagai berikut:
 - a. Pengukuran *azimuth* lereng, kelerengan (*slope*), arah kemiringan lereng (*dip direction*) serta tinggi dan lebar lereng menggunakan pita ukur dan kompas geologi.
 - b. Deskripsi batuan berdasarkan karakteristik fisik (megaskopis) dan pengambilan sampel batuan untuk dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik batuan di laboratorium.
 - c. Mengamati kondisi umum keairan dari lereng batuan (kering, lembab, berair, basah atau mengalir) dan vegetasi lereng.
 - d. Pengambilan data *Rock Mass Rating* (RMR) berupa pengukuran langsung di lapangan dengan metode *scanline* untuk mendapatkan nilai *Rock Quality Designation* (RQD), pengukuran jarak antar diskontinuitas dengan pita ukur, kondisi diskontinuitas, dan kondisi keairan.
 - e. Pengambilan data *Slope Mass Rating* (SMR) berupa data orientasi bidang diskontinuitas seperti *strike*, arah kemiringan (*dip direction*) dan metode penggalian atau peledakan lereng.
2. Pengujian di laboratorium berupa pengujian sifat fisik batuan di Laboratorium Balai Pengujian Informasi Permukiman dan Bangunan dan Pengembangan Jasa Konstruksi (BALAI PIPBPK) Yogyakarta untuk mendapatkan nilai bobot isi batuan, bobot isi kering, bobot isi jenuh, berat jenis semu, berat jenis sejati, kadar air asli, kadar air jenuh, derajat kejenuhan, porositas dan *void ratio*, sedangkan pengujian sifat mekanik batuan yaitu uji kuat tekan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) di Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan SABO Yogyakarta untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam (Φ).
3. Analisis Studio berupa pembobotan massa batuan untuk tiap lapisan batuan, dilakukan pembobotan dan perhitungan nilai *Rock Mass Rating* (RMR) dengan menggunakan lima parameter yang dikembangkan oleh (Bieniawski, 1989) yaitu kekuatan batuan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), *Rock Quality Designation* (RQD), jarak antar diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, meliputi kemenerusan, jarak antar permukaan

diskontinuitas atau celah, kekasaran diskontinuitas, material pengis dan tingkat kelapukan, dan kondisi airtanah serta penyesuaian bobot orientasi kekar, kemudian dilakukan orientasi kekar dan penyesuaian lalu menentukan bobot untuk memperkirakan lereng penelitian menguntungkan atau tidak. Analisis kinematika pada *software Rocscience Dips v7.016* dengan bantuan stereonet digunakan untuk menganalisis bidang-bidang diskontinuitas serta analisis tipe longsoran. Pembobotan massa jenjang ini nilai *Slope Mass Rating* (SMR) ditentukan dari perpotongan dua bidang diskontinuitas hasil proyeksi stereografi saat analisis kinematik, untuk setiap kriteria faktor koreksi F1, F2, dan F3, serta penentuan F4 dari tipe peledakan. Pemodelan lereng dilakukan pada *software Rocscience Slide* dengan data berupa geometri lereng, nilai kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi natural batuan. Pemodelan lereng akan menggambarkan juga garis muka airtanah (MAT) pada pemodelan lereng agar mendapatkan nilai faktor keamanan terendah karena adanya MAT. Pemodelan lereng menggunakan warna berdasarkan litologi penyusun lereng. Selanjutnya ialah menganalisis kestabilan lereng untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng (FK).

HASIL

Rock Mass Rating (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR)

Data yang dikumpulkan melalui pengukuran di lapangan berupa data kekar yang diukur pada *scanline* secara horizontal sepanjang 27,5 m dengan *plunge/bearing* bentangan tali ialah 3° , N200°E guna mendapatkan bidang diskontinuitas yang berorientasi tegak/vertikal dan *scanline* vertikal untuk mendapatkan bidang perlapisan sebagai bidang diskontinuitas. Pengukuran dilakukan pada 5 lapisan batuan secara berurut dari lapisan bawah ke lapisan atas yang terdiri dari:

1. Jarak (spasi) kekar
Jarak (spasi) kekar di ukur berdasarkan kesamaan *joint set* di lapangan. Pada lokasi pengamatan terdapat 2 *joint set* kekar yaitu *joint set* 1 (J1) dan *joint set* (J2) serta *joint set* 3 (J3) merupakan bidang perlapisan yang di ukur setiap lapisan batuan (Tabel 1, 2, 3, 4 dan 5).

Terdapat 3 joint set pada lokasi pengamatan, yaitu J1 dan J2 merupakan bidang kekar dan J3 merupakan bidang perlapisan yang ditandai dengan garis berwarna merah yang menunjukkan bidang diskontinuitas pada lereng penelitian (Gambar 1).

2. Pengukuran *strike/dip* bidang kekar

Pengukuran *strike/dip* bidang kekar dilakukan pada setiap lapisan batuan serta *dip direction*

dari setiap bidang kekar dan bidang perlapisan pada batuan singkapan di lapangan (Tabel 6, 7, 8, 9, dan 10).

3. Kondisi kekar

Kondisi kekar yang diamati di lapangan adalah kemenerusan kekar, bukaan kekar, material pengisi bukaan kekar, kekasaran kekar, dan pelapukan pada bidang kekar (Tabel 11, 12, 13, 14, dan 15).

Tabel 1. Jarak kekar pada lapisan 1

No	Joint Set	Kekar	Jarak (m)	Keterangan
1	J1	1	0	
2	J1	1 ke 2	3,8	
3	J1	2 ke 3	1	
4	J1	3 ke 4	0,8	
5	J1	4 ke 5	1,8	
6	J1	5 ke 6	1,8	
7	J1	6 ke 7	0,8	
8	J1	7 ke 8	0,3	
9	J1	8 ke 9	2,2	
10	J1	9 ke 10	1,9	
11	J2	11	0	
12	J2	11 ke 12	0,2	
13	J1	10 ke 13	1	
14	J1	13 ke 14	2,6	
15	J1	14 ke 15	1,4	
16	J1	15 ke 16	0,5	
17	J2	12 ke 17	6,8	
18	J1	16 ke 18	2,7	
19	J1	18 ke 19	0,8	
20	J2	17 ke 20	1,9	
21	J1	19 ke 21	4,1	
22	J3	1	0,8	
23	J3	1 ke 2	0,8	
24	J3	2 ke 3	1,2	
25	J3	3 ke 4	0,8	

Tuf berwarna *cream* berstruktur laminasi dengan ketebalan lapisan 4 m

Tabel 2. Jarak kekar pada lapisan 2

No	Joint Set	Kekar	Jarak (m)	Keterangan
1	J1	1	0	
2	J1	1 ke 2	5,7	
3	J1	2 ke 3	6,3	
4	J1	3 ke 4	2	
5	J2	5	2	
6	J1	4 ke 6	2	
7	J1	6 ke 7	1,9	
8	J2	5 ke 8	1,7	
9	J1	7 ke 9	1	
10	J1	9 ke 10	0,8	
11	J2	8 ke 11	0,1	
12	J1	10 ke 12	4	
13	J3	1	3,2	

Tuf berwarna *cream* berstruktur masif dengan ketebalan 4,5 m

Tabel 3. Jarak kekar pada lapisan 3

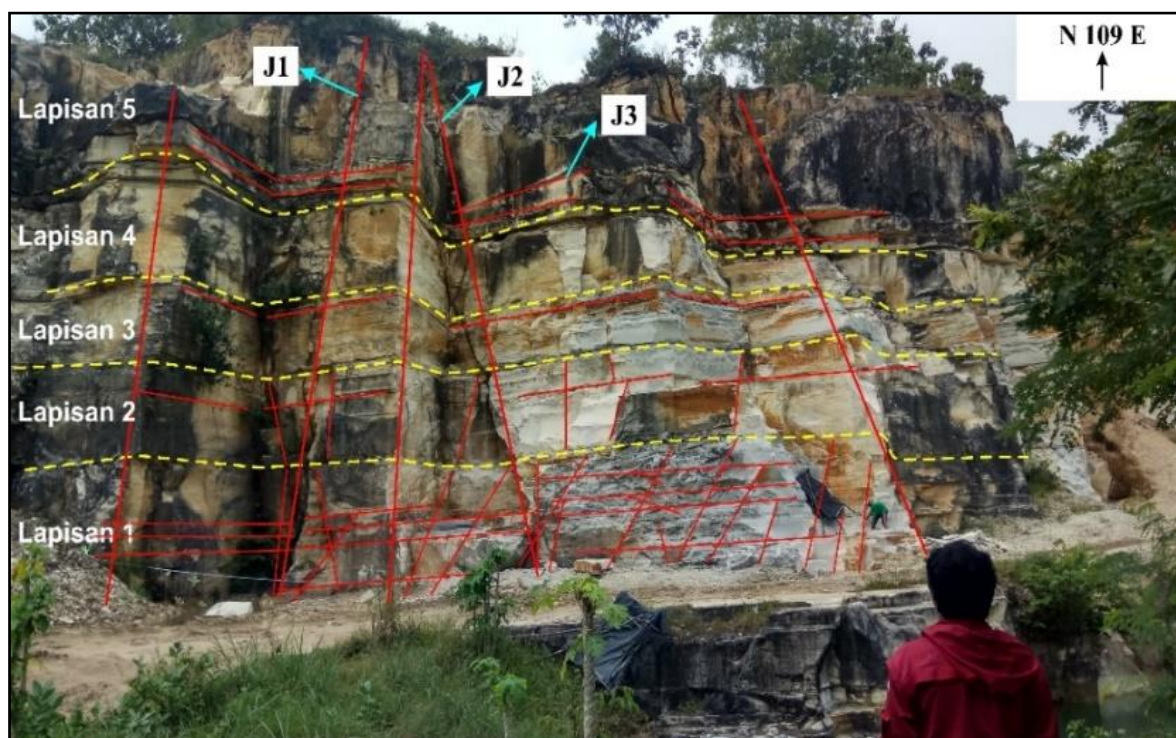
No	Joint Set	Kekar	Jarak (m)	Keterangan
1	J1	1	0	Tuf berwarna <i>cream</i> berstruktur laminasi dengan ketebalan 3,6 m
2	J2	2	0	
3	J1	1 ke 3	20	
4	J1	3 ke 4	3,4	
5	J1	4 ke 5	4,1	
6	J3	1	0,8	

Tabel 4. Jarak kekar pada lapisan 3

No	Joint Set	Kekar	Jarak (m)	Keterangan
1	J1	1	0	Tuf berwarna <i>cream</i> berstruktur masif dengan ketebalan 6,3 m
2	J2	2	0	
3	J1	1 ke 3	20	
4	J1	3 ke 4	3,4	
5	J1	4 ke 5	4,1	

Tabel 5. Jarak kekar pada lapisan 5

No	Joint Set	Kekar	Jarak (m)	Keterangan
1	J1	1	0	Tuf berwarna putih berstruktur masif dengan ketebalan 4,3 m
2	J2	2	0	
3	J1	1 ke 3	20	
4	J1	3 ke 4	3,4	
5	J1	4 ke 5	4,1	
6	J3	1	0,8	
7	J3	1 ke 2	1	



Gambar 1. Lereng penelitian dan garis diskontinuitas (berwarna merah)

Tabel 6. *Strike/dip* bidang kekar pada lapisan 1

No	Joint Set	Pengukuran		Dip Direction Kekar (N...°E)	Keterangan
		Strike (N...°E)	Dip (...°)		
1	J1	235	75	325	
2	J1	300	57	30	
3	J1	285	81	15	
4	J1	290	71	20	
5	J1	301	75	31	
6	J1	301	71	31	
7	J1	297	70	27	
8	J1	299	67	29	
9	J1	310	69	40	
10	J1	310	79	40	
11	J2	120	64	210	
12	J2	125	81	215	
13	J1	305	64	35	
14	J1	305	57	35	
15	J1	297	87	27	
16	J1	300	89	30	
17	J2	106	79	196	
18	J1	322	59	52	
19	J1	294	73	24	
20	J2	105	76	195	
21	J1	310	82	40	
22	J3	20	5	110	
23	J3	18	7	108	
24	J3	23	6	113	
25	J3	25	5	115	

Tuf berwarna *cream* berstruktur laminasi dengan ketebalan lapisan 4 m

Tabel 7. *Strike/dip* bidang kekar pada lapisan 2

No	Joint Set	Pengukuran		Dip Direction Kekar (N...°E)	Keterangan
		Strike (N...°E)	Dip (...°)		
1	J1	235	75	325	
2	J1	245	80	335	
3	J1	300	76	30	
4	J1	284	84	14	
5	J2	120	65	210	
6	J1	290	82	20	
7	J1	300	89	30	
8	J2	106	79	196	
9	J1	322	59	52	
10	J1	294	73	24	
11	J2	105	76	195	
12	J1	310	82	40	
13	J3	27	7	117	

Tuf berwarna *cream* berstruktur masif dengan ketebalan 4,5 m

Tabel 8. *Strike/dip* bidang kekar pada lapisan 3

No	Joint Set	Pengukuran		Dip Direction Kekar (N...°E)	Keterangan
		Strike (N...°E)	Dip (...°)		
1	J1	235	75	325	Tuf berwarna <i>cream</i> berstruktur laminasi dengan ketebalan 3,6 m
2	J2	120	65	210	
3	J1	300	89	30	
4	J1	294	73	24	
5	J1	310	82	40	
6	J3	25	5	115	

Tabel 9. *Strike/dip* bidang kekar pada lapisan 4

No	Joint Set	Pengukuran		Dip Direction Kekar (N...°E)	Keterangan
		Strike (N...°E)	Dip (...°)		
1	J1	235	75	325	Tuf berwarna <i>cream</i> berstruktur masif dengan ketebalan 4,6 m
2	J2	120	65	210	
3	J1	300	89	30	
4	J1	294	73	24	
5	J1	310	82	40	

Tabel 10. *Strike/dip* bidang kekar pada lapisan 5

No	Joint Set	Pengukuran		Dip Direction Kekar (N...°E)	Keterangan
		Strike (N...°E)	Dip (...°)		
1	J1	235	75	325	Tuf berwarna putih berstruktur masif dengan ketebalan 4,3 m
2	J2	120	65	210	
3	J1	300	89	30	
4	J1	294	73	24	
5	J1	310	82	40	
6	J3	18	6	108	
7	J3	20	5	110	

Tabel 11. Kondisi kekar pada lapisan 1

No	Joint Set	Kondisi Kekar				
		Kemenerusan kekar (m)	Bukaan kekar	Kekasaran kekar	Material Pengisi	Pelapukan
1	J1	4	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
2	J1	4,2	3 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
3	J1	4,3	7 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
4	J1	4,2	5 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
5	J1	3,8	3 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
6	J1	1	5 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
7	J1	2	6 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
8	J1	0,5	3 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
9	J1	2	3 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
10	J1	2	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
11	J2	1,2	35 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
12	J2	4	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
13	J1	4,2	5 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
14	J1	4,1	5 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
15	J1	4	30 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk

Tabel 11. (lanjutan) Kondisi kekar pada lapisan 1

No	Joint Set	Kondisi Kekar				
		Kemenerusan kekar (m)	Bukaan kekar	Kekasaran kekar	Material Pengisi	Pelapukan
16	J1	4	3 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
17	J2	4	2 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
18	J1	4	5 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
19	J1	4	50 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
20	J2	4	20 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
21	J1	4	55 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
22	J3	27,5	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk
23	J3	27,5	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk
24	J3	27,5	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk
25	J3	27,5	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk

Tabel 12. Kondisi kekar pada lapisan 2

No	Joint Set	Kondisi Kekar				
		Kemenerusan kekar (m)	Bukaan kekar	Kekasaran kekar	Material Pengisi	Pelapukan
1	J1	4,5	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
2	J1	4,5	3 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
3	J1	3,2	5 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
4	J1	4,5	7 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
5	J2	4,6	35 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
6	J1	4,6	3 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
7	J1	4,5	30 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
8	J2	4,5	5 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
9	J1	4,5	50 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
10	J1	4,6	30 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
11	J2	4,6	20 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
12	J1	4,5	55 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
13	J3	27,5	Tidak ada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk

Tabel 13. Kondisi kekar pada lapisan 3

No	Joint Set	Kondisi Kekar				
		Kemenerusan kekar (m)	Bukaan kekar	Kekasaran kekar	Material Pengisi	Pelapukan
1	J1	3,6	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
2	J2	3,6	35 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
3	J1	3,6	15 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
4	J1	3,6	50 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
5	J1	3,6	55 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
6	J3	27,5	Tidakada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk

Tabel 14. Kondisi kekar pada lapisan 4

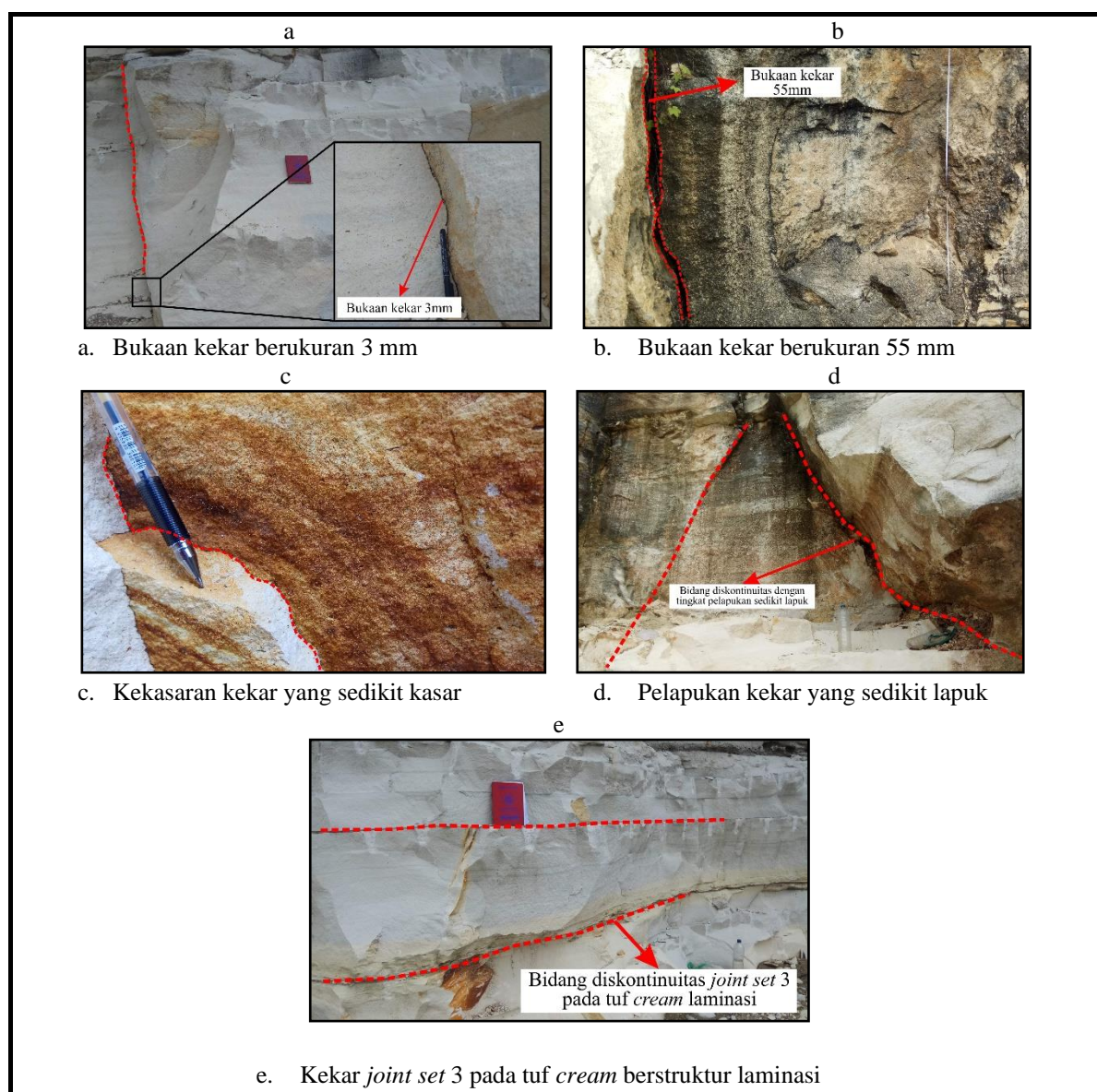
No	Joint Set	Kondisi Kekar				
		Kemenerusan kekar (m)	Bukaan kekar	Kekasaran kekar	Material Pengisi	Pelapukan
1	J1	4,6	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
2	J2	4,6	25 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
3	J1	4,6	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
4	J1	4,6	20 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
5	J1	4,6	25 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk

Kondisi kekar di lapangan (Gambar 2) memiliki bukaan kekar yang tidak ada sampai berukuran 55 mm. Bukaan kekar tersebut tidak terisi dan memiliki tingkat pelapukan yang sedikit lapuk. Kekar di lapangan memiliki bidang kekar yang

sedikit kasar dan berwarna kecoklatan akibat pelapukan. Pada *joint set 3* (J3) tidak memiliki bukaan kekar dan permukaan kekar yang halus serta tidak memiliki material pengisi. Hal ini di karenakan J3 merupakan bidang perlapukan.

Tabel 15. Kondisi kekar pada lapisan 5

No	Joint Set	Kondisi Kekar				
		Kemenerusan kekar (m)	Bukaan kekar	Kekasaran kekar	Material Pengisi	Pelapukan
1	J1	4,3	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
2	J2	4,3	10 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
3	J1	4,3	15 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
4	J1	4,3	20 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
5	J1	4,3	25 mm	Sedikit kasar	Tidak ada	Sedikit lapuk
6	J3	27,5	Tidakada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk
7	J3	27,5	Tidakada	Halus	Tidak ada	Tidak lapuk



Gambar 2. Kondisi kekar pada lereng penelitian

Geometri lereng

Data geometri lereng yang diambil di lapangan berupa *azimuth* lereng, *dip direction*, kemiringan lereng (*slope*), tinggi lereng, dan lebar lereng (Gambar 3). Data tersebut akan digunakan dalam analisis longsor, perhitungan nilai *Slope Mass Rating* (SMR), dan pemodelan lereng dalam menentukan faktor keamanan lereng (Tabel 16).

Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

Hasil uji laboratorium sifat fisik batuan (Tabel 17, 18, dan 19) dan hasil uji kuat tekan batuan *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) (Tabel 20).

Tabel 16. Geometri lereng

Tinggi lereng	21 m
Lebar lereng	30 m
Kemiringan lereng	86°
Strike/dip lereng	N 200°E/86°
Dip direction	N 290°E



Gambar 3. Lokasi pengamatan lereng dengan lensa kamera menghadap ke arah timur

Tabel 17. Hasil pengujian sifat fisik batuan pada kode sampel SL2

No	Parameter	Nilai
1.	Berat Sample Asli (W_n)	333,8 gr
2.	Berat Sampel Kering (W_o)	329,9 gr
3.	Berat Sampel Jenuh (W_w)	334,7 gr
4.	Berat Sampel Jenuh Tergantung Dalam Air (W_s)	124,44 gr
5.	Bobot Isi Natural (<i>Natural Density</i>)	1,569 gr/cm ³
6.	Bobot Isi Kering (<i>Dry Density</i>)	0,291 gr/cm ³
7.	Bobot Isi Jenuh (<i>Saturated Specific Gravity</i>)	1,592 gr/cm ³
8.	Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	0,185 gr/cm ³
9.	Berat Jenis Sejati (<i>True Specific Gravity</i>)	1,015 gr/cm ³
10.	Kadar Air Asli (<i>Natural Water Content</i>)	1,182 %
11.	Kadar Air Jenuh (<i>Absorption</i>)	1,455 %
12.	Derajat Kejenuhan	81,3 %
13.	Porositas	2,283 %
14.	<i>Void Ratio</i>	0,023

Tabel 18. Hasil pengujian sifat fisik batuan pada kode sampel SL3

No	Parameter	Nilai
1.	Berat Sample Asli (Wn)	333,8 gr
2.	Berat Sampel Kering (Wo)	329,9 gr
3.	Berat Sampel Jenuh (Ww)	334,7 gr
4.	Berat Sampel Jenuh Tergantung Dalam Air (Ws)	92,4 gr
5.	Bobot Isi Natural (<i>Natural Density</i>)	1,362 gr/cm ³
6.	Bobot Isi Kering (<i>Dry Density</i>)	0,296 gr/cm ³
7.	Bobot Isi Jenuh (<i>Saturated Specific Gravity</i>)	1,381 gr/cm ³
8.	Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	0,217 gr/cm ³
9.	Berat Jenis Sejati (<i>True Specific Gravity</i>)	1,015 gr/cm ³
10.	Kadar Air Asli (<i>Natural Water Content</i>)	1,182 %
11.	Kadar Air Jenuh (<i>Absorption</i>)	1,455 %
12.	Derajat Kejenuhan	81,3 %
14.	Porositas	1,981 %
16.	<i>Void Ratio</i>	0,020

Tabel 19. Hasil pengujian sifat fisik batuan pada kode sampel SL4

No	Parameter	Nilai
1.	Berat Sample Asli (Wn)	316,2 gr
2.	Berat Sampel Kering (Wo)	311,2 gr
3.	Berat Sampel Jenuh (Ww)	317,6 gr
4.	Berat Sampel Jenuh Tergantung Dalam Air (Ws)	102,54 gr
5.	Bobot Isi Natural (<i>Natural Density</i>)	1,447 gr/cm ³
6.	Bobot Isi Kering (<i>Dry Density</i>)	0,269 gr/cm ³
7.	Bobot Isi Jenuh (<i>Saturated Specific Gravity</i>)	1,477 gr/cm ³
8.	Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	0,186 gr/cm ³
9.	Berat Jenis Sejati (<i>True Specific Gravity</i>)	1,021 gr/cm ³
10.	Kadar Air Asli (<i>Natural Water Content</i>)	1,607 %
11.	Kadar Air Jenuh (<i>Absorption</i>)	2,057 %
12.	Derajat Kejenuhan	78,1 %
13.	Porositas	2,976 %
14.	<i>Void Ratio</i>	0,031

Tabel 20. Hasil pengujian sifat mekanik batuan

No	Parameter	Keterangan		
		SL2	SL3	SL4
1.	Berat Conto Uji	321 gr	331 gr	363 gr
2.	Panjang (p)	5,245 cm	5,210 cm	5,569 cm
3.	Lebar (l)	5,181 cm	5,267 cm	5,298 cm
4.	Tinggi	5,263 cm	5,252 cm	5,476 cm
5.	Luas (A) = p*l	27,174 cm ²	27,441 cm ²	29,505 cm ²
6.	Volume (V)= p*l*t	143,019 cm ³	144,120 cm ³	161,567 cm ³
7.	Berat isi = berat / V	2,244 g/cm ³	2,296 g/cm ³	2,246 g/cm ³
8.	Kecepatan pembebanan	1,042 kN/detik	1,043 kN/detik	0,902 kN/detik
9.	Lama uji hingga runtuh	63 detik	78 detik	75 detik
10.	Beban (P)	6700 kg	8300 kg	6900 kg
11.	Kuat Tekan P/A (kg/cm ²)	246,556 kg/cm ²	302,466 kg/cm ²	233,862 kg/cm ²
12.	Kuat Tekan (MPa)	24,2 MPa	29,7 MPa	22,9 MPa

Pembobotan dan Nilai Rock Mass Rating (RMR)

Hasil *Rock Mass Rating* / RMR_{basic} diperoleh di masukan kedalam tabel koreksi orientasi untuk penggalian dengan *Rock Mass Rating* (RMR) menurut Fowell dan Johnson, (1991) dalam Rai dkk., (2014) memiliki orientasi jurus dan kemiringan termasuk dalam menguntungkan. Berdasarkan tabel penyesuaian bobot, orientasi kekar lapisan 1 termasuk dalam menguntungkan dengan bobot = -5 (ditunjukkan warna merah pada Tabel 21).

Lapisan 1

Lapisan 1 dengan litologi tuf berwarna *cream* berstruktur laminasi mempunyai ketebalan 4 m. Pada hasil pengujian sifat mekanik batuan dengan kode sampel SL2 mempunyai nilai kuat tekan 246,556 kg/cm² atau 24,2 Mpa. Nilai *Rock Quality Designation* (RQD) diperoleh dari hasil

pengukuran lapangan dengan metode *scanline* secara horizontal dan panjang rentangan pita ukur 27,5 m dengan jumlah 25 kekar. Dari hasil perhitungan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) diperoleh nilai sebesar 99,61%. (Tabel 22).

Setelah dilakukan perhitungan nilai RMR_{basic} kemudian dilakukan penjumlahan dengan bobot penyesuaian orientasi bidang diskontinuitas menjadi:

$$RMR_{final} = RMR_{basic} + (\text{bobot penyesuaian orientasi diskontinuitas})$$

$$RMR_{final} = 68 + (-5)$$

$$RMR_{final} = 63$$

Nilai RMR_{final} pada lapisan 1 sebesar 63. Berdasarkan klasifikasi kelas batuan Bieniawski (1989) batuan pada lapisan 1 termasuk kedalam kelas batuan II, batuan baik dengan kohesi 300 - 400 kPa, sudut geser dalam 35° - 45° (Tabel 23).

Tabel 21. Penyesuaian bobot orientasi diskontinuitas (Bienawski, 1989 dalam Singh dan Goel, 2011)

Jurus & Kemiringan orientasi kekar	Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
Terowongan	0	-2	-5	-10	-12
Bobot Fondasi	0	-2	-7	-15	-25
Lereng	0	-5	-25	-50	-60

Tabel 22. Perhitungan *Rock Mass Rating* (RMR) pada lapisan 1

No	Parameter	Keterangan	Bobot
1.	Kekuatan Batuan (Mpa)	24,2 MPa	2
2.	<i>Rock Quality Designation</i> (RQD)	99,61%	20
3.	Spasi Diskontinuitas	1,82 m	15
4.	Kemenerusan/ <i>presistence</i>	3,3 m	2
	Bukaan/ <i>Separation</i>	>5 mm	0
	Kekasaran/ <i>roughness</i>	Sedikit kasar	3
	Pengisi/ <i>infilling</i>	Tidak ada	6
5.	Pelapukan/ <i>weathering</i>	Sedikit lapuk (<i>slightly weather</i>)	5
	Kondisi Airtanah / <i>Ground Water</i>	Kering (<i>dry</i>)	15
Nilai RMR			68
Kelas RMR			II

Tabel 23. Pembobotan kelas massa batuan pada lapisan 1 (Bieniawski, 1989)

Total bobot RMR	100 – 81	80 – 60	60 – 41	40 – 21	< 20
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan sangat baik	Batuan baik	Batuan sedang	Batuan Buruk	Batuan sangat Buruk
Kohesi massa batuan (kPa)	> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	< 100
Sudut geser dalam massa batuan	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Lapisan 2

Lapisan 2 dengan litologi tuf berwarna *cream* berstruktur masif mempunyai ketebalan 4,5 m. Pada hasil pengujian sifat mekanik batuan dengan kode sampel SL3 mempunyai nilai kuat tekan 302,466 kg/cm² atau 29,7 Mpa. Nilai *Rock Quality Designation* (RQD) diperoleh dari hasil pengukuran lapangan dengan metode *scanline* secara horizontal dan panjang rentangan pita ukur 27,5 m dengan jumlah 13 kekar. Metode *scanline* secara horizontal ini dilakukan karena orientasi bidang diskontinuitas yang tegak (vertikal) di lapangan. Dari hasil perhitungan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) diperoleh nilai sebesar 99,89% (Tabel 24).

Nilai RMR_{basic} dijumlahkan dengan bobot penyesuaian orientasi bidang diskontinuitas menjadi:

$$RMR_{final} = RMR_{basic} + (\text{bobot penyesuaian orientasi diskontinuitas})$$

$$RMR_{final} = 75 + (-5)$$

$$RMR_{final} = 70$$

Nilai RMR_{final} pada lapisan 2 sebesar 70. Berdasarkan klasifikasi kelas batuan Bieniawski (1989) batuan pada lapisan 2 termasuk kedalam kelas batuan II, batuan baik dengan kohesi 300 - 400 kPa, sudut geser dalam 35° - 45° (Tabel 25).

Lapisan 3

Lapisan 3 dengan litologi tuf berwarna *cream* berstruktur laminasi mempunyai ketebalan 3,6 m. Pada hasil pengujian sifat mekanik batuan dengan kode sampel SL2 mempunyai nilai kuat tekan 246,556 kg/cm² atau 24,2 Mpa. Nilai *Rock Quality Designation* (RQD) diperoleh dari hasil pengukuran lapangan dengan metode *scanline* secara horizontal dan panjang rentangan pita ukur 27,5 m dengan jumlah 6 kekar. Dari hasil perhitungan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) diperoleh nilai sebesar 99,97% (Tabel 26).

Nilai RMR_{basic} dijumlahkan dengan bobot penyesuaian orientasi bidang diskontinuitas menjadi:

$$RMR_{final} = RMR_{basic} + (\text{bobot penyesuaian orientasi diskontinuitas})$$

$$RMR_{final} = 73 + (-5)$$

$$RMR_{final} = 68$$

Nilai RMR_{final} pada lapisan 3 sebesar 68. Berdasarkan klasifikasi kelas batuan Bieniawski (1989) batuan pada lapisan 3 termasuk kedalam kelas batuan II, batuan baik dengan kohesi 300 - 400 kPa, sudut geser dalam 35° - 45° (Tabel 27).

Tabel 24. Perhitungan *Rock Mass Rating* (RMR) pada lapisan 2

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1.	Kekuatan Batuan (Mpa)	29,7 Mpa	4	
2.	<i>Rock Quality Designation</i> (RQD)	99,89%	20	
3.	Spasi Diskontinuitas	2,5 m	20	
4.	Kondisi Diskontinuitas	Kemenerusan/ <i>presistence</i>	4,4 m	2
		Bukaan/ <i>Separation</i>	>5 mm	0
		Kekasaran/ <i>roughness</i>	Sedikit kasar	3
		Pengisi/ <i>infilling</i>	Tidak ada	6
		Pelapukan/ <i>weathering</i>	Sedikit lapuk (<i>slightlyweather</i>)	5
5.	Kondisi Airtanah / <i>Ground Water</i>	Kering (<i>dry</i>)	15	
Nilai RMR			75	
Kelas RMR			II	

Tabel 25. Pembobotan kelas massa batuan pada lapisan 2 (Bieniawski, 1989)

Total bobot RMR	100 – 81	80 – 60	60 – 41	40 – 21	< 20
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan sangat baik	Batuan baik	Batuan sedang	Batuan Buruk	Batuan sangat Buruk
Kohesi massa batuan (kPa)	> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	< 100
Sudut geser dalam massa batuan	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Lapisan 4

Lapisan 4 dengan litologi tuf berwarna cream berstruktur masif mempunyai ketebalan 4,6 m. Pada hasil pengujian sifat mekanik batuan dengan kode sampel SL3 mempunyai nilai kuat tekan 302,466 kg/cm² atau 29,7 Mpa. Nilai RQD diperoleh dari hasil pengukuran lapangan dengan metode scanline secara horizontal dan panjang rentangan pita ukur 27,5 m dengan jumlah 5 kekar. Metode scanline secara horizontal ini dilakukan karena orientasi bidang diskontinuitas yang tegak (vertikal) di lapangan. Dari hasil perhitungan nilai RQD diperoleh nilai sebesar 99,98% (Tabel 28).

Nilai RMR_{basic} dijumlahkan dengan bobot penyesuaian orientasi bidang diskontinuitas menjadi:

$$RMR_{final} = RMR_{basic} + (\text{bobot penyesuaian orientasi diskontinuitas})$$

$$RMR_{final} = 75 + (-5)$$

$$RMR_{final} = 70$$

Nilai RMR_{final} pada lapisan 4 sebesar 70. Berdasarkan klasifikasi kelas batuan Bieniawski (1989) batuan pada lapisan 4 termasuk kedalam kelas batuan II, batuan baik dengan kohesi 300 – 400 kPa, sudut geser dalam 35° - 45° (Tabel 29).

Tabel 26. Perhitungan Rock Mass Rating (RMR) pada lapisan 3

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1.	Kekuatan Batuan (Mpa)	24,2 MPa	2	
2.	Rock Quality Designation (RQD)	99,97%	20	
3.	Spasi Diskontinuitas	> 3 m	20	
4.	Kondisi Diskontinuitas	Kemenerusan/presistence	3,6 m	2
		Bukaan/Separation	36 mm	0
		Kekasaran/roughness	Sedikit kasar	3
		Pengisi/infilling	Tidak ada	6
		Pelapukan/weathering	Sedikit lapuk (slightly weather)	5
5.	Kondisi Airtanah / Ground Water	Kering (dry)	15	
Nilai RMR			73	
Kelas RMR			II	

Tabel 27. Pembobotan kelas massa batuan pada lapisan 3 (Bieniawski, 1989)

Total bobot RMR	100 – 81	80 – 60	60 – 41	40 – 21	< 20
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan sangat baik	Batuan baik	Batuan sedang	Batuan Buruk	Batuan sangat Buruk
Kohesi massa batuan (kPa)	> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	< 100
Sudut geser dalam massa batuan	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Tabel 28. Perhitungan Rock Mass Rating (RMR) pada lapisan 4

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1.	Kekuatan Batuan (Mpa)	29,7 MPa	4	
2.	Rock Quality Designation (RQD)	99,98%	20	
3.	Spasi Diskontinuitas	> 3 m	20	
4.	Kondisi Diskontinuitas	Kemenerusan/presistence	4,6 m	2
		Bukaan/Separation	36 mm	0
		Kekasaran/roughness	Sedikit kasar	3
		Pengisi/infilling	Tidak ada	6
		Pelapukan/weathering	Sedikit lapuk (slightly weather)	5
5.	Kondisi Airtanah / Ground Water	Kering (dry)	15	
Nilai RMR			73	
Kelas RMR			II	

Lapisan 5

Lapisan 5 dengan litologi tuf berwarna putih berstruktur masif mempunyai ketebalan 4,3 m. Pada hasil pengujian sifat mekanik batuan dengan kode sampel SL4 mempunyai nilai kuat tekan 233,862 kg/cm² atau 22,9 Mpa. Nilai Rock Quality Designation (RQD) diperoleh dari hasil pengukuran lapangan dengan metode scanline secara horizontal dan panjang rentangan pita ukur 27,5 m dengan jumlah 7 kekar. Metode scanline secara horizontal ini dilakukan karena orientasi bidang diskontinuitas yang tegak (vertikal) di lapangan. Dari hasil perhitungan nilai Rock Quality Designation (RQD) diperoleh nilai

sebesar 99,96%. Hasil pengambilan data massa batuan pada lapisan 5 (Tabel 30).

Nilai RMR_{basic} dijumlahkan dengan bobot penyesuaian orientasi bidang diskontinuitas menjadi:

$$RMR_{final} = RMR_{basic} + (\text{bobot penyesuaian orientasi diskontinuitas})$$

$$RMR_{final} = 73 + (-5)$$

$$RMR_{final} = 68$$

Nilai RMR_{final} pada lapisan 5 sebesar 68. Berdasarkan klasifikasi kelas batuan Bieniawski (1989) batuan pada lapisan 5 termasuk kedalam kelas batuan II, batuan baik dengan kohesi 300 - 400 kPa, sudut geser dalam 35° - 45° (Tabel 31).

Tabel 29. Pembobotan kelas massa batuan pada lapisan 4 (Bieniawski, 1989)

Total bobot RMR	100 – 81	80 – 60	60 – 41	40 – 21	< 20
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan sangat baik	Batuan baik	Batuan sedang	Batuan Buruk	Batuan sangat Buruk
Kohesi massa batuan (kPa)	> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	< 100
Sudut geser dalam massa batuan	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Tabel 30. Perhitungan *Rock Mass Rating* (RMR) pada lapisan 5

No	Parameter	Keterangan	Bobot	
1.	Kekuatan Batuan (Mpa)	29,7 MPa	2	
2.	<i>Rock Quality Designation</i> (RQD)	99,98%	20	
3.	Spasi Diskontinuitas	> 3 m	20	
4.	Kondisi Diskontinuitas	Kemenerusan/ <i>presistence</i>	4,6 m	2
		Bukaan/ <i>Separation</i>	36 mm	0
		Kekasaran/ <i>roughness</i>	Sedikit kasar	3
		Pengisi/ <i>infilling</i>	Tidak ada	6
		Pelapukan/ <i>weathering</i>	Sedikit lapuk (<i>slightly weather</i>)	5
5.	Kondisi Airtanah / <i>Ground Water</i>	Kering (<i>dry</i>)	15	
Nilai RMR			73	
Kelas RMR			II	

Tabel 31. Pembobotan kelas massa batuan pada lapisan 5 (Bieniawski, 1989)

Total bobot RMR	100 – 81	80 – 60	60 – 41	40 – 21	< 20
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan sangat baik	Batuan baik	Batuan sedang	Batuan Buruk	Batuan sangat Buruk
Kohesi massa batuan (kPa)	> 400	300 – 400	200 – 300	100 – 200	< 100
Sudut geser dalam massa batuan	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Analisis Kinematika

Hasil analisis kinematik menggunakan *software rocscience Dips 7.016* terdapat 3 bidang diskontinuitas yaitu J1, J2, dan J3. Lereng penelitian memiliki 2 bidang diskontinuitas yang saling berpotongan (J1 dan J2) yang memiliki sudut perpotongan bidang diskontinuitas (ψ) 11° dengan *trend* perpotongan bidang diskontinuitas N 300° E, kemiringan lereng (ψ_f) 86° , dan sudut geser dalamnya (Φ) 35° . Longsoran baji terjadi jika ada dua bidang lemah saling berpotongan dengan kriteria $(\psi_f) > (\psi_p) > (\Phi)$. Namun pada lereng penelitian memiliki nilai sudut geser dalam yang besar dari sudut bidang diskontinuitas ψ_i (11°) $< \Phi$ (35°) maka kecil kemungkinan terjadinya longsoran sehingga di kategorikan mempunyai potensi longsoran baji karena dalam Wyllie dan Mah (2004) memenuhi syarat $(\psi_i) < (\psi_f)$ yaitu ψ_i (11°) $< \psi_f$ (86°) (Gambar 4).

Pembobotan dan Nilai Slope Mass Rating (SMR)

Dalam pembobotan massa jenjang ini nilai *Slope Mass Rating* (SMR) ditentukan dari tipe longsoran hasil proyeksi stereografi sebelumnya (Gambar 4).

1. F1 Keperarelan *strike* lereng (α_s) dan *strike* diskontinuitas/*trend* (α_i). Nilai F1 menggambarkan kepararelan antara *strike*

lereng (N 200° E) dengan *strike* diskontinuitas (N 300° E) sesuai dengan model longsoran yaitu longsoran baji (*wedge failure*). Dalam menghitung nilai F1 dapat menggunakan rumus yang dikembangkan oleh (Romana, 1993 dalam Romana dkk., 2015):

$$F1 = [1 - \sin |A|]^2$$

Dimana:

A = Menandakan selisih antara *strike* lereng dan *strike* diskontinuitas ($\alpha_i - \alpha_s$), dengan menggunakan persamaan diatas maka nilai F1 adalah:

$$F1 = [1 - \sin (\alpha_i - \alpha_s)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin (300 - 200)]^2$$

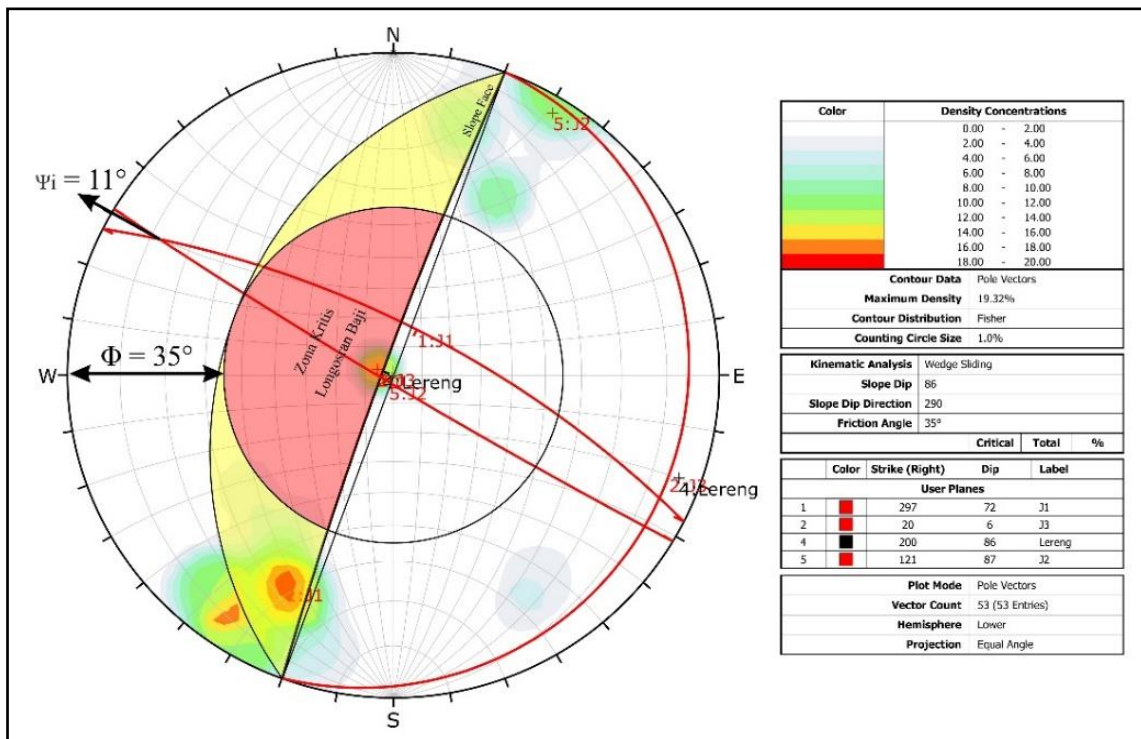
$$F1 = [1 - \sin (100)]^2$$

$$F1 = 0,002^\circ$$

Selanjutnya dengan menggunakan nilai diatas dilakukan pembobotan F1 dengan massa jenjang *Slope Mass Rating* (SMR) (Romana, 1985 dalam Singh dan Goel, 2011).

$$F1 = 0,002^\circ \text{ adalah } 1.$$

F2 adalah hubungan sudut *dip* diskontinuitas (β_i) sesuai dengan model longsoran (F2). Nilai F2 (11°) menggambarkan hubungan sudut *dip* diskontinuitas sesuai dengan model longsoran yaitu longsoran baji (*wedge failure*). Dalam menghitung nilai F2 dapat menggunakan rumus



Gambar 4. Analisis dips pada lereng penelitian

yang dikembangkan oleh (Romana, 1993 dalam Romana dkk., 2015):

$$F2 = \tan^2 \beta_i$$

Dimana:

β_j = Kemiringan perpotongan antar 2 bidang diskontinuitas (*plunge*) dengan menggunakan persamaan diatas maka nilai F2 adalah:

$$F2 = \tan^2 11^\circ$$

$$F2 = 0,03^\circ$$

Selanjutnya dilakukan pembobotan F2 dengan massa jenjang *Slope Mass Rating* (SMR) (Romana, 1985 dalam Singh dan Goel, 2011).

$$F2 = 0,03^\circ \text{ adalah } 0,15.$$

2. F3 adalah hubungan sudut *dip* lereng (β_s) dengan *dip* diskontinuitas (β_i). Nilai F3 menggambarkan hubungan sudut *dip* diskontinuitas (11°) dengan *dip* lereng (86°) sesuai dengan model longsoran yaitu longsoran baji (*wedge failure*). Dalam menghitung nilai F3 dapat menggunakan rumus yang dikembangkan oleh (Romana 1985 dalam Romana dkk., 2015):

$$F3 = \beta_i - \beta_s$$

Dimana:

β_i = Kemiringan perpotongan antar 2 bidang diskontinuitas (*plunge*)

β_s = Kemiringan lereng dengan menggunakan persamaan diatas maka nilai F3 adalah:

$$F3 = \beta_i - \beta_s$$

$$F3 = 11^\circ - 86^\circ$$

$$F3 = - 75^\circ$$

Selanjutnya dilakukan pembobotan F3 dengan massa jenjang *Slope Mass Rating* (SMR) (Romana, 1985 dalam Singh dan Goel, 2011).

$$F3 = -75^\circ \text{ adalah } -60.$$

Daerah penelitian merupakan lereng alamiah sehingga untuk faktor F4 di kategorikan dalam lereng alamiah dengan bobot 15 (Tabel 32), dan hasil pembobotan F1, F2, F3 dan F4 *Slope Mass Rating* SMR dan hasil pembobotan *Slope Mass Rating* (SMR) (Tabel 33).

Selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisis pembobotan massa jenjang yang dikembangkan oleh (Romana, 1985 dalam Singh dan Goel, 2011) dan nilai RMR_{final} rata-rata dari lereng penelitian yaitu 68 dengan rumus:

$$\begin{aligned} SMR &= RMR_{final} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \\ &= 68 + (1 \times 0,15 \times -60) + 15 \\ &= 74 \end{aligned}$$

Sehingga di dapat hasil pembobotan *Slope Mass Rating* (SMR) pada lereng penelitian adalah 74. Lereng penelitian termasuk dalam kelas II (61 - 80) dengan deskripsi baik, kestabilan lereng yang stabil, dan longsoran berupa blok batuan (Tabel 34).

Tabel 32. Pembobotan metode peledakan (Romana, 1985 dalam Endartyanto, 2007)

Metode	Lereng alamiah	Peledakan <i>Presplitting</i>	Peledakan <i>Smooth</i>	Peledakan Mekanis	Peledakan Buruk
F4	15	10	8	0	-8

Tabel 33. Hasil pembobotan *Slope Mass Rating* (SMR)

Parameter	Nilai	Bobot
F1	0,002°	1
F2	0,03°	0,15
F3	- 75°	-60
F4	Lereng alamiah	15

Tabel 34. Deskripsi setiap kelas *Slope Mass Rating* (SMR) (Romana, 1985 dalam Endartyanto, 2007)

SMR	0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100
Kelas	V	IV	III	II	I
Deskripsi	Sangat buruk	Buruk	Normal	Baik	Sangat baik
Kestabilan	Sangat tidak stabil	Tidak stabil	Stabil sebagian	Stabil	Sangat stabil
Longsoran	Bidang	Bidang dan baji	Baji dan kekar	Blok batuan	Tidak ada
Stabilisasi	Reekskavasi	Koreksi lereng	Sistematis	Okasional	Tidak ada

Pemodelan lereng

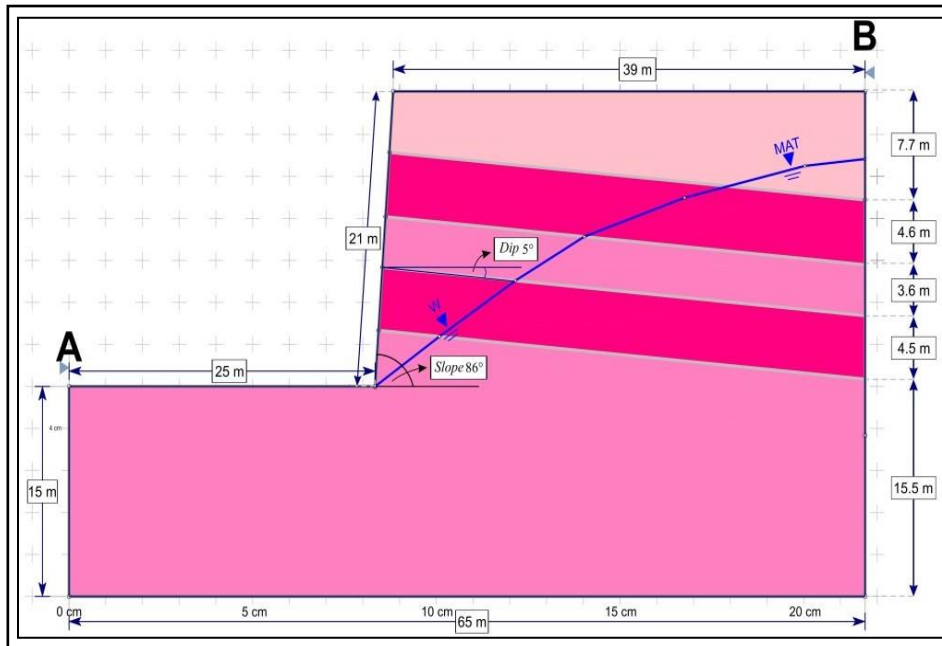
Hasil pemodelan lereng daerah penelitian dari analisis dengan menggunakan *software rocscience slide v.6.005* (Gambar 5).

Faktor Keamanan Lereng

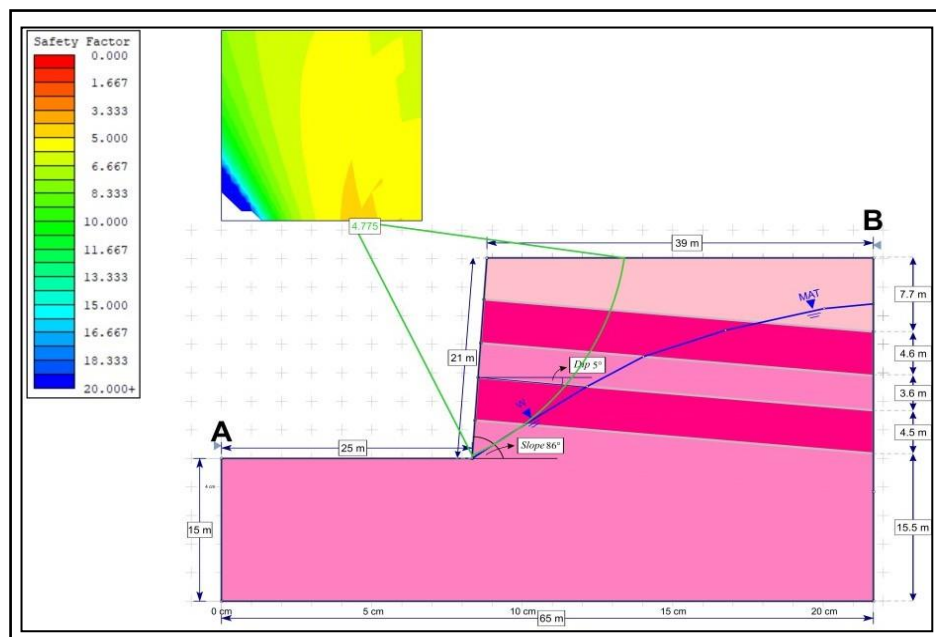
Hasil nilai faktor keamanan lereng daerah penelitian dari analisis dengan menggunakan *software rocscience slide v.6.005* sebesar 4,775 (Gambar 6).

PEMBAHASAN

Setelah didapatkan nilai total *Rock Mass Rating* (RMR) yang didapat setiap lapisan memiliki kelas batuan baik (kelas II) pada lereng yang diteliti. Berdasarkan klasifikasi kelas batuan (Bieniawski, 1989) batuan pada setiap lapisan termasuk kedalam kelas batuan II memiliki nilai kohesi 300 - 400 kPa dan sudut geser dalam 35° - 45° . Perbedaan nilai total RMR dipengaruhi oleh



Gambar 5. Pemodelan lereng pada *rocscience slide*



Gambar 6. Faktor keamanan lereng pada lokasi penelitian

Tabel 35. Hasil *Rock Mass Rating* (RMR) pada lereng lokasi penelitian

No.	Lapisan	Bobot massa batuan (RMR)	Klasifikasi kelas
1	Lapisan 1	63	II (Baik)
2	Lapisan 2	70	II (Baik)
3	Lapisan 3	68	II (Baik)
4	Lapisan 4	70	II (Baik)
5	Lapisan 5	68	II (Baik)

Tabel 36. Hasil *Slope Mass Rating* (SMR) pada lereng lokasi penelitian

Keterangan	Tipe Longsoran	Bobot Massa Lereng (SMR)	Klasifikasi Kelas	Deskripsi	Kestabilan Lereng	Kemungkinan Bentuk Longsor
Lereng Penelitian	Longsoran Baji	79	II	Baik	Stabil	Blok Batuan

jenis batuan pada setiap lapisan seperti lapisan dengan litologi tuf *cream* dan tuf putih akibat perbedaan warna pelapukan dan komposisi mineral. Lapisan dengan batuan yang berstruktur masif memiliki nilai kuat tekan yang tinggi, nilai RMR yang tinggi dan intensitas kekar yang sedikit dan sebaliknya lapisan batuan berstruktur laminasi memiliki nilai kuat tekan yang rendah dan nilai RMR.

Hasil analisis kinematika pada lereng penelitian memiliki 2 bidang diskontinuitas yang saling berpotongan (J1 dan J2) yang memiliki sudut perpotongan bidang diskontinuitas (ψ_i) 11° dengan *trend* perpotongan bidang diskontinuitas N 300° E, kemiringan lereng (ψ_f) 86° , dan sudut geser dalamnya (Φ) 35° . Longsoran baji terjadi jika ada dua bidang lemah saling berpotongan dengan kriteria (ψ_f) $>$ (ψ_i) $>$ (Φ). Namun pada lereng penelitian memiliki nilai sudut geser dalam yang besar dari sudut bidang diskontinuitas ψ_i (11°) $<$ Φ (35°) maka kecil kemungkinan terjadinya longsoran sehingga di kategorikan mempunyai potensi longsoran baji karena dalam (Wyllie dan Mah, 2004) memenuhi syarat (ψ_i) $<$ (ψ_f) yaitu ψ_i (11°) $<$ ψ_f (86°).

Nilai SMR pada lereng penelitian termasuk kelas II (61-80) dengan deskripsi baik, kestabilan lereng yang stabil, dan longsoran berupa blok batuan. Hal ini di pengaruhi dari adanya litologi penyusun yang sedikit lapuk dan dominan berstruktur masif. Intenstias kekar yang sedikit menghasilkan lereng yang stabil. Longsoran berupa blok batuan ini di pengaruhi oleh adanya kekar yang saling berpotongan dan kekar yang berlawanan kemiringan lereng berdasarkan dari hasil pengolahan data.

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan pengolahan data diperoleh nilai RMR, SMR, dan analisis streonet pada lokasi penelitian di Desa Candirejo dan sekitarnya, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta pada (Tabel 35 dan 36).

Hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor menurut Bowles, (1989) nilai faktor keamanan $<1,07$ termasuk longsor sering terjadi (lereng labil), $1,07 < FK < 1,25$ termasuk longsor pernah terjadi (lereng kritis) dan $> 1,25$ longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil). Faktor keamanan yang dianalisis menggunakan bantuan *software rocscience slide v.6.005* setelah dianalisis didapatkan nilai FK sebesar 4,775 menunjukkan longsor jarang terjadi atau lereng relatif stabil (Bowles, 1989). Faktor keamanan yang tinggi di pengaruhi oleh tingkat pelapukan batuan yang rendah, intensitas kekar yang sedikit, dan litologi yang di dominasi struktur masif.

KESIMPULAN

Lokasi peneltian dilakukan pada satu lereng singkapan batuan dengan litologi tuf berwarna *cream* berstruktur masif, tuf berwarna *cream* berstruktur laminasi, dan tuf berwarna putih berstruktur masif, dengan dimensi tinggi lereng 21 m, lebar lereng 27.5 m, *slope* 86° .

Hasil analisis data sifat mekanik batuan di laboratorium SABO berupa uji *Uniaxial Compressive Strength (UCS)* menunjukkan bahwa pada sampel SL2 (tuf berwarna *cream* berstruktur laminasi) ialah $246,556 \text{ kg/cm}^2$, SL3 (tuf berwarna *cream* berstruktur masif) ialah $302,466 \text{ kg/cm}^2$, dan SL4 (tuf berwarna putih berstruktur masif) ialah $233,862 \text{ kg/cm}^2$.

Berdasarkan klasifikasi kelas batuan *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1989) lapisan batuan pada lereng penelitian memiliki 5 lapisan batuan dengan kelas batuan termasuk kelas batuan II (80-60) mempunyai deskripsi kelas batuan baik dan kohesi 300 - 400 kPa, serta sudut geser dalam batuan 35° - 45° .

Berdasarkan analisis kinematika pada *dips* diperoleh 2 *joint set* pada lereng penelitian. Hasil analisis kinematika diperoleh jenis longsoran berupa potensi longsoran baji.

Berdasarkan klasifikasi massa lereng batuan *Slope Mass Rating* (SMR), lereng penelitian termasuk dalam kelas II (61-80) dengan deskripsi baik, kestabilan lereng yang stabil, dan apabila terjadi longsoran maka kemungkinan bentuk longsoran berupa blok batuan. Hal ini di pengaruhi dari adanya litologi penyusun yang sedikit lapuk dan dominan berstruktur masif. Intenstias kekar yang sedikit menghasilkan lereng yang stabil. Longsoran berupa blok batuan ini di pengaruhi oleh adanya kekar yang saling berpotongan dan kekar yang berlawanan kemiringan lereng berdasarkan dari hasil pengolahan data.

Berdasarkan hasil analisis sifat fisik batuan yang digunakan dalam analisis faktor keamanan adalah nilai bobot isi pada kode sampel SL2 sebesar $15,38 \text{ kN/m}^3$, SL3 sebesar $13,35 \text{ kN/m}^3$, dan SL4 sebesar $14,19 \text{ kN/m}^3$. Nilai kohesi pada setiap lapisan ialah 300 kPa dan memiliki sudut geser dalam sebesar 35° . Berdasarkan analisis faktor keamanan lereng menggunakan *rocscience slide v.6.005* diperoleh nilai faktor keamanan lereng 4,775 ($FK > 1,25$ menurut Bowles, (1989) yang menunjukkan kondisi lereng penelitian dalam keadaan stabil (longsoran jarang terjadi).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada ibu/bapak dosen Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta dan ibu/bapak dosen Prodi Magister Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta yang telah memberi ilmu dan masukan selama penelitian, dan keluarga Ambisi Nusantara Grup yang telah bersedia diskusi bersama selama penelitian, kepada orang tua kami yang selalu memberi semangat dan dukungan selama penelitian, dan juga *reviewer* yang telah bersedia mereview sehingga tulisan ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., Boyce, G.M., 2001. *Slope stability and stabilization methods*. John Wiley & Sons.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Bowles, J.E., 1989. Sifat-*Jakarta* sifat fisis dan Geoteknis Tanah. In *Erlangga*, (Vol. 562).
- Endartyanto, A., 2007. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Kinematik dan Klasifikasi Massa Batuan; Studi Kasus di Area Penambangan Andesit, Desa Jelekong, Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Desa Jelekong, Kecamatan Bale Endah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, Teknik Geologi Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat*.
- Indriani, Y.N., Kusumayudha, S.B., Purwanto, H.S., 2017. Analisis Gerakan Massa Berdasarkan Sifat Fisik Mekanik Tanah Daerah Kalijambe, Kecamatan Bener, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 1(2), 39–49.
- Rai, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., 2014. Mekanika batuan. *Bandung: Institut Teknologi Bandung*.
- Romana, M., Tomás, R., Serón, J.B., 2015. Slope Mass Rating (SMR) geomechanics classification: thirty years review. *13th ISRM International Congress of Rock Mechanics*.
- Singh, B. dan Goel, R.K., 2011. *Engineering rock mass classification*. Elsevier.
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Surono, S., 2009. Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 19(3), 209–221.
- van Bemmelen, R.W., 1949. The Geology of Indonesia. Vol. I A. *The Hague, Netherlands*.
- Wyllie, M. dan Mah, C.W., 2004. *Rock slope engineering, civil and mining*. 4th SPONPRESS. New York.