

Analisis Potensi Longsor pada Ruas Jalan Malalak Km 33 di Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat

Resty Prasuryani¹, Rusli HAR², And Raimon Kopa³

¹²³Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*prasuryaniresty@gmail.com

** ruslihar_1603@yahoo.com

*** raimon_unp@yahoo.co.id

Abstract. Based on observations made on Sicincin-Malalak street KM 33 have been found 12th failure point with various conditions and types of failure. In addition, the geometry of the slope, high intensity of the earthquake and rainfall greatly affect to the condition of slope stability. The research was done on rock slope with many joints, steep geometry, and many rockfalls. From these problem, we need to measure the physical characteristic, compressive strength and rock mass condition in research area using Rock Mass Rating (RMR) classification. Furthermore, the analysis of potential failure in the research area doing using dips to know the type of failure and then analyzed the stability of the slope using the limit equilibrium method. The results of rock mass classification with RMR obtained rocks included in Group II which means rock mass in good condition. Analysis using dips in get type of failure is toppling failure with possibly 15,53% with failure stike = N 225 E - N 285 E and dip = 15° - 90°. Furthermore, slope stability analysis was performed using the equilibrium limiting method for toppling failure and obtained FK values of slope is 1,58 which means that the slope is stable but still need protection from rock fall with construction of ditch and wiremesh instalation.

Keyword: Failure, limit equilibrium method, toppling, slope stability, RMR

1. Pendahuluan

Jalan raya Sicincin-Malalak merupakan salah satu wilayah di Sumatera Barat yang sering mengalami longsor. Salah satu kejadian longsor di Kecamatan Malalak seperti yang dilaporkan oleh Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya pada Januari 2017, longsor yang terjadi mengakibatkan tertutupnya ruas jalan alternatif Sicincin-Malalak. Kejadian longsor ini menyebabkan kerugian akibat rusaknya jalan karena tertimbun material longsor^[1].

Kejadian bencana seperti longsor dapat menimbulkan bahaya bagi lalu lintas jalan tersebut dan masyarakat disekitar kejadian bencana. Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Agam, Sumatera Barat, menyatakan sekitar 65.068 dari 519.000 warga Agam berada dan tinggal di lokasi rawan tanah longsor saat curah hujan melanda daerah tersebut^[2].

Terdapat dua belas titik kejadian longsor yang berada di sepanjang jalan raya Sicincin-Malalak. Selain itu, ditemukan juga beberapa titik yang rawan terhadap kemungkinan terjadi nya longsor. Penelitian dilakukan pada lereng batuan yang diduga berada pada kondisi kurang stabil dengan ketinggian lereng 23,06 m, panjang 60 m dan sudut 70°. Kondisi lereng yang memiliki banyak bidang lemah, geometri lereng yang curam, serta banyak nya jatuhnya batuan menjadi alasan dipilihnya lokasi ini untuk dilakukan penelitian lebih lanjut karena diduga lereng tersebut memiliki kemungkinan terjadinya longsor.

2. Metode Penelitian

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk kedalam jenis Penelitian terapan. Penelitian terapan merupakan penelitian yang bertujuan untuk memecahkan masalah-masalah praktis^[3].

2.2 Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan penulis yaitu data primer berupa data litologi, data struktur geologi, data sifat fisik batuan, data kuat tekan batuan dan data geometri lereng. Data sekunder yang berupa peta topografi, peta geologi, peta hidrogeologi dan data curah hujan daerah penelitian.

2.3 Pengolahan dan Analisa Data

2.3.1 Kualitas Massa Batuan

Tujuan dari analisis kualitas massa batuan adalah untuk mengetahui kondisi dari kualitas batuan dan pengelompokannya berdasarkan sistem RMR^[4,5].

2.3.2 Jenis Longsor

Analisis jenis longsor dilakukan menggunakan analisis kinematik^[6,7]. Analisis kinematik dilakukan untuk mengetahui tipe longsor yang mungkin terjadi di lokasi penelitian.

2.3.3 Kestabilan Lereng

Setelah diketahui jenis longsor yang terjadi di lokasi penelitian selanjutnya dilakukan analisis terhadap kestabilan lereng. Metode analisis yang digunakan disesuaikan dengan jenis longsor yang terjadi.

2.3.4 Perkuatan Lereng

Perkuatan lereng ditetapkan setelah diketahui kondisi kestabilan lereng. Jika lereng dalam kondisi tidak stabil maka lereng diberikan perkuatan dan jika lereng dalam kondisi stabil maka tidak perlu diberikan perkuatan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Lokasi Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan pada lereng batuan yang berada di ruas jalan raya Sicincin – Malalak KM 33. Lokasi penelitian berada pada koordinat S = 0° 22.497' dan E = 100° 17.098'

3.2 Geometri Lereng pada Lokasi Penelitian

Geometri lereng pada lokasi penelitian meliputi tinggi 23,06 m, panjang 60 m, *strike* N 345 E dan *dip* lereng 70°. Kondisi lereng yang terdapat pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi *Front* Lereng pada Lokasi Penelitian

3.3 Sifat Fisik dan Kuat Tekan Batuan

3.2.1 Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan yang ditentukan untuk kepentingan penelitian terdiri dari sepuluh parameter antara lain bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), berat jenis semu (*apparent specific density*), berat jenis sejati (*true specific density*), kadar air asli (*natural water content*), kadar air jenuh (*absorption*), derajat kejenuhan, porositas dan *void ratio*^[8]. Data hasil pengujian sifat fisik batuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Uji Sifat Fisik

Sampel	Wn (gram)	Ww (gram)	Ws (gram)	Wo (gram)
1	187,28	188,25	116,12	186,41
2	178,96	179,39	113,22	177,42
3	164,17	164,57	100,13	162,76
4	184,11	184,88	115,73	183,39
5	194,40	196,34	120,53	192,55

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan sepuluh parameter yang telah disebutkan sebelumnya. Pengujian sifat fisik batuan menggunakan perhitungan sebagai berikut^[9]:

- a. Bobot Isi Normal

$$\frac{Wn}{Ww - Ws} = \frac{187,28}{188,25 - 116,12} = 2,6 \text{ gr/cm}^3 \quad (1)$$

- b. Bobot Isi Kering

$$\frac{Wo}{Ww - Ws} = \frac{186,41}{188,25 - 116,12} = 2,58 \text{ gr/cm}^3 \quad (2)$$

- c. Bobot Isi Jenuh

$$\frac{Ww}{Ww - Ws} = \frac{188,25}{188,25 - 116,12} = 2,61 \text{ gr/cm}^3 \quad (3)$$

- d. Apparent Specific Gravity

$$\frac{Wo}{\frac{Ww - Ws}{\text{bobot isi air}}} = \frac{186,41}{\frac{188,25 - 116,12}{1}} = 2,58 \quad (4)$$

- e. True Specific Gravity

$$\frac{Wo}{\frac{Ww - Ws}{\text{bobot isi air}}} = \frac{186,41}{\frac{188,25 - 116,12}{1}} = 2,65 \quad (5)$$

- f. Kadar Air Asli

$$\frac{Wn - Wo}{Wo} \times 100\% = \frac{187,28 - 186,41}{186,41} \times 100\% = 0,47\% \quad (6)$$

- g. Kadar Air Jenuh

$$\frac{Ww - Wo}{Wo} \times 100\% = \frac{188,25 - 186,41}{186,41} \times 100\% = 0,99\% \quad (7)$$

- h. Derajat Kejenuhan

$$\frac{Wn - Wo}{Ww - Wo} \times 100\% = \frac{187,28 - 186,41}{188,25 - 186,41} \times 100\% = 47,28\% \quad (8)$$

- i. Porositas

$$\frac{Ww - Wo}{Ww - Ws} \times 100\% = \frac{188,25 - 186,41}{188,25 - 116,12} \times 100\% = 2,55\% \quad (9)$$

- j. Angka Pori

$$\frac{n}{1 - n} = \frac{0,0255}{1 - 0,0255} = 0,0262 \quad (10)$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan untuk semua sampel dengan cara yang sama. Hasil perhitungan sifat fisik untuk setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Uji Sifat fisik

Sampel	Bobot isi asli (gr/cm ³)	Bobot isi kering (gr/cm ³)	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)	Berat Jenis semu	SG asli	Kadar Air Asli (%)	Kadar Air Jenuh (%)	Derajat Kejuhan (%)	Porositas	Angka pori
1	2,60	2,58	2,61	2,58	2,65	0,47	0,99	47,28	2,55	0,0262
2	2,70	2,68	2,71	2,68	2,76	0,87	1,11	78,17	2,98	0,0307
3	2,55	2,53	2,55	2,53	2,60	0,87	1,11	77,90	2,81	0,0289
4	2,66	2,65	2,67	2,65	2,71	0,39	0,81	48,32	2,15	0,0220
5	2,56	2,54	2,59	2,54	2,67	0,96	1,97	48,81	5,00	0,0526
Rata-rata	2,615	2,597	2,628	2,597	2,680	0,711	1,198	60,098	3,098	0,0321

3.2.2 Kuat Tekan Batuan

Pada uji kuat tekan Perbandingan antara tinggi dan diameter contoh batuan (L/D) akan mempengaruhi nilai kuat tekan batuan. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan perbandingan tinggi dan diameter (L/D) antara 2-2,5. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan didapatkan data seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Uji Kuat Tekan

Parameter	Nilai
Tinggi Sampel (t)	5,512 cm
Diameter Sampel (D)	5,3 cm
Berat Beban (P)	14.899,42 kN

Berdasarkan data hasil uji kuat tekan selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut^[8]:

3.2.2.1 Luas Permukaan Sampel

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2 \quad (11)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (5,3)^2$$

$$= 22,05 \text{ cm}^2$$

3.2.2.2 Kuat Tekan Uniaksial

Pada pengujian kuat tekan yang dilakukan menggunakan perbandingan L/D = 1,04 sehingga nilai kuat tekan yang didapatkan menggunakan persamaan berikut^[10]:

$$\sigma_{CL=1,04} = \frac{P}{A} \quad (12)$$

$$= \frac{14.899,42 \text{ KN}}{22,05 \text{ cm}^2}$$

$$= 675,7 \text{ KN/cm}^2$$

$$= 67,57 \text{ Mpa}$$

Nilai kuat tekan yang didapatkan tersebut kemudian dimasukkan pada persamaan untuk L/D = 1^[8].

$$\sigma_{CL=1} = \frac{\sigma_c}{0,778 + \frac{0,222}{L/D}} \quad (13)$$

$$= \frac{67,57}{0,778 + \frac{0,222}{5,512/5,3}}$$

$$= \frac{67,57}{1,012}$$

$$= 66,77 \text{ MPa}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat tekan pada perbandingan L/D = 2 sebagai berikut^[8]:

$$\sigma_{CL=2} = \frac{\sigma_c}{0,778 + \frac{0,222}{L/D}} \quad (14)$$

$$66,77 = \frac{\sigma_c}{0,778 + \frac{0,222}{10,6/5,3}}$$

$$66,77 = \frac{\sigma_c}{0,899}$$

$$\sigma_{CL=2} = 60,05 \text{ MPa}$$

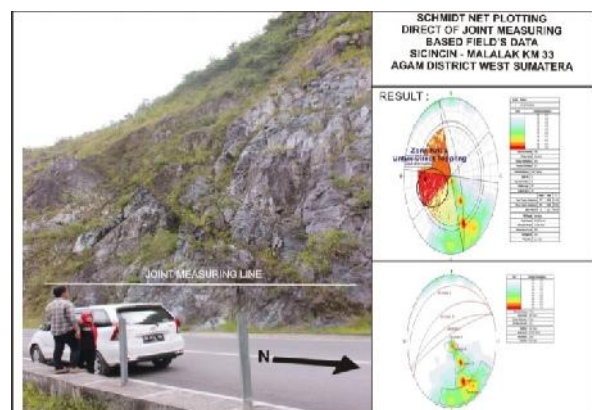
Berdasarkan pengolahan data tersebut dapat disimpulkan hasil dari pengujian UCS seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan UCS

No	Pengujian	Hasil
1	Luas Permukaan Sampel (mm ²)	220,5
2	Kuat Tekan Uniaksial (Mpa)	60,05

3.4 Klasifikasi Massa Batuan (RMR sistem)

Untuk mendapatkan nilai RMR terlebih dahulu dilakukan pengukuran orientasi bidang lemah pada lereng. Pengukuran dilakukan dengan metode pengukuran dengan kompas geologi langsung di lapangan pada garis pengukuran (metode *scanline*)^[11]. Adapun gambaran pengukuran orientasi bidang lemah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran Bidang Lemah pada Lereng

3.4.1 Parameter-parameter RMR sistem

Dalam menghitung nilai klasifikasi geomekanik RMR sistem, terdapat enam parameter yang perlu diketahui^[12]. Ke enam parameter tersebut dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1.1 Uji Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilaksanakan diperoleh data kuat tekan rata-rata batuan sebesar 60,05 Mpa sehingga diperoleh diperoleh bobot uji kuat tekan sebesar 7.

3.4.1.2 Nilai Rock Quality Designation (RQD)

Perhitungan dilakukan dengan cara mengukur jumlah kekar rata-rata menggunakan *scanline* sepanjang 100 cm. Nilai RQD dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut^[13]:

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda} (0,1 \lambda + 1) \quad (15)$$

Selanjutnya perhitungan nilai RQD untuk setiap *scanline* pada lokasi penelitian dapat dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai RQD untuk Setiap *Scanline*

<i>scanline</i>	Banyaknya Joint dalam 1 m <i>scanline</i>	RQD Rata-rata (%)	<i>scanline</i>	Banyaknya Joint dalam 1 m <i>Scanline</i>	RQD Rata-rata (%)
1	2	92,89	31	4	92,17
2	4	89,84	32	6	87,81
3	5	90,98	33	5	90,67
4	5	90,51	34	5	89,63
5	5	86,71	35	2	97,68
6	5	85,26	36	2	92,02
7	3	91,46	37	6	88,2
8	2	97,99	38	5	40,6
9	6	89,25	39	4	80,88
10	3	94,12	40	6	87,41
11	1	97,47	41	6	84,5
12	3	78,81	42	1	99,53
13	4	94,62	43	1	99,12
14	3	95,54	44	3	95,06
15	3	94,74	45	4	82,5
16	3	96,24	46	4	93,15
17	3	87,81	47	4	93,74
18	8	79,99	48	2	98,07
19	9	77,25	49	3	96,31
20	3	95,79	50	3	90,72
21	8	79,36	51	2	98,07
22	8	78,7	52	2	97,87
23	5	90,98	53	2	96,94
24	9	71,41	54	1	99,53
25	3	95,79	55	3	97,14
26	6	86,98	56	3	95,87
27	3	95,95	57	4	93,27
28	3	96,24	58	3	95,71
Nilai RQD rata-rata					90,3

Dari Tabel 5 diperoleh nilai RQD rata – rata pada lokasi penelitian sebesar 90,3%, sehingga diperoleh bobot sebesar 20.

3.4.1.3 Data Spasi Bidang Diskontinu

Semakin besar nilai RQD maka nilai spasi bidang diskontinunya akan semakin besar pula. Persamaan untuk menghitung rata-rata spasi bidang diskontinuitas, yaitu^[13]:

$$x = \frac{1}{\lambda} \quad (27)$$

Tabel 6 menjelaskan nilai spasi bidang diskontinu setiap kemajuan pada lokasi penelitian.

Tabel 6. Nilai Spasi Bidang Diskontinu

<i>Scanline</i>	Banyaknya Joint tiap 1 m <i>Scanline</i>	Spasi Rata-rata	<i>Scanline</i>	Banyaknya Joint tiap 1 m <i>Scanline</i>	Spasi Rata-rata
1	2	0,23	31	4	0,22
2	4	0,19	32	6	0,17
3	5	0,2	33	5	0,2
4	5	0,19	34	5	0,26
5	5	0,16	35	2	0,43
6	5	0,15	36	2	0,22
7	3	0,21	37	6	0,17
8	2	0,47	38	5	0,05
9	6	0,18	39	4	0,13
10	3	0,26	40	6	0,16
11	1	0,41	41	6	0,14
12	3	0,12	42	1	1
13	4	0,27	43	1	0,72
14	3	0,3	44	3	0,28
15	3	0,27	45	4	0,13
16	3	0,33	46	4	0,24
17	3	0,17	47	4	0,25
18	8	0,12	48	2	0,48
19	9	0,11	49	3	0,33
20	3	0,31	50	3	0,2
21	8	0,12	51	2	0,48
22	8	0,12	52	2	0,45
23	5	0,2	53	2	0,37
24	9	0,09	54	1	1
25	3	0,31	55	3	0,38
26	6	0,16	56	3	0,31
27	3	0,32	57	4	0,24
28	3	0,33	58	3	0,31
Nilai Spasi Rata-rata		0,28			

Dari Tabel 6 disimpulkan bahwa nilai spasi rata-rata tergolong rapat (0,2 - 0,6) m, jika di input kedalam *Rock Mass Rating System* diperoleh bobot sebesar 10.

3.4.1.4 Data Kondisi Bidang Diskontinu

1. Panjang Kemenerusan (*Persistence*)

Nilai rata-rata *persistence* lereng di dapatkan sebesar 0,81 m yang berarti bahwa nilai *persistence* lereng <1 m sehingga bobot *persistence* adalah 6. Nilai kemenerusan untuk setiap *scanline* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai *Persistence* untuk Setiap *Scanline*

<i>Scanline</i>	Banyaknya Joint tiap 1 m <i>Scanline</i>	Rata-rata <i>Persistence</i> (m)	<i>Scanline</i>	Banyaknya Joint tiap 1 m <i>Scanline</i>	Rata-rata <i>Persistence</i> (m)
1	2	1,50	31	4	0,72
2	4	0,55	32	6	0,29
3	5	1,84	33	5	0,29
4	5	1,00	34	5	0,67
5	5	0,48	35	2	1,25
6	5	0,27	36	2	0,77
7	3	0,36	37	6	1,12
8	2	0,51	38	5	0,33
9	6	0,24	39	4	0,22
10	3	0,45	40	6	0,51
11	1	0,38	41	6	0,30
12	3	0,29	42	1	1,50
13	4	0,36	43	1	2,00
14	3	0,52	44	3	0,21
15	3	0,36	45	4	0,50
16	3	0,23	46	4	1,16
17	3	0,20	47	4	1,33
18	8	0,17	48	2	0,98
19	9	0,16	49	3	0,49
20	3	0,30	50	3	1,19
21	8	0,57	51	2	2,68
22	8	0,34	52	2	1,75
23	5	0,27	53	2	0,89
24	9	0,57	54	1	2,00
25	3	0,68	55	3	2,34
26	6	1,18	56	3	1,49
27	3	1,28	57	4	0,91
28	3	1,11	58	3	1,42
Rata-rata <i>persistence</i>			0,81		

2. Lebar Rongga (*Separation*)

Nilai rata-rata lebar rongga didapatkan sebesar 2,66 mm. sehingga didapatkan bobot lebar rongga sebesar 1.

3. Kekasaran (*roughness*)

Kondisi kekasaran lereng diketahui dalam kondisi agak kasar sehingga didapatkan bobot kekasaran sebesar 2.

4. Material Pengisi

Material pengisi pada lereng yaitu *sand* (lunak <5 mm) sehingga didapatkan bobot material pengisi sebesar 1.

5. Pelapukan

Kondisi pelapukan lereng berada pada kondisi *fresh* sehingga didapatkan bobot pelapukan sebesar 6.

Berdasarkan uraian di atas kondisi diskontinuitas lereng kemudian ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Kondisi Bidang Diskontinuitas

No	Kondisi Diskontinuitas	Nilai	Bobot
1	Persistence (m)	<1 m	6
2	Lebar Rongga (mm)	1-5 mm	1
3	Kekasaran Kekar	Agak kasar	2
4	Material Pengisi	<i>Sand</i> (Lunak <5mm)	1
5	Pelapukan	<i>Fresh</i>	6

3.4.1.5 Kondisi Airtanah

Kondisi airtanah ditentukan dengan cara mengamati kondisi lereng secara visual. Berdasarkan Tabel kondisi airtanah diperoleh nilai pembobotan kondisi airtanah adalah sebesar 10.

3.4.1.6 Orientasi Diskontinuitas

Nilai rata-rata *strike joint* berada pada N 247 E dengan rata-rata dip sebesar 59° dan arah strike lereng N 345 E. Hal ini berarti arah kekar berpotongan dengan arah lereng kemudian dip kekar sejajar dengan dip lereng pada sudut 59° sehingga berdasarkan Tabel orientasi diskontinuitas didapatkan kondisi lereng sangat menguntungkan sehingga didapatkan bobot sebesar 0.

3.4.2 Klasifikasi Massa Batuan

Dari hasil penjumlahan nilai pembobotan untuk klasifikasi massa batuan pada lokasi penelitian, maka dapat dijelaskan bahwa kelas massa batuan di lokasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

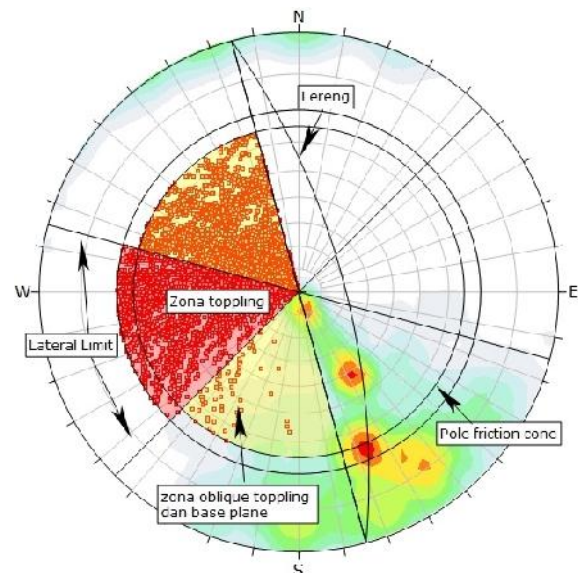
Tabel 9. Kelas Massa Batuan

Parameter Klasifikasi RMR-System			
Parameter	Nilai	Bobot	
RQD (%)	90,3%	20	
Kuat Tekan (UCS) (MPa)	60,05	7	
Spasi (m)	0,2-0,6 m	10	
Kondisi Diskontinuitas	Persistence (m)	<1 m	6
	Lebar Rongga (mm)	1-5 mm	1
	Kekasaran Kekar	Agak kasar	2
	Material Pengisi	<i>Sand</i> (Lunak <5mm)	1
	Pelapukan	<i>Fresh</i>	6
Kondisi Airtanah	lembab	10	
Orientasi kekar	Sangat menguntungkan	0	
RMR		63	

Dari Tabel 9 didapatkan nilai RMR yaitu sebesar 63, sehingga dapat disimpulkan bahwa batuan termasuk dalam golongan II dengan kualitas massa batuan baik.

3.5 Analisis Tipe Longsor

Hasil analisis kinematik terhadap lereng didapatkan bahwa lereng berpotensi mengalami longsor dengan tipe *direct toppling* (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil Analisis Tipe Longsor

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa kemungkinan terjadinya *direct toppling* adalah sebesar 15,53%. Kemungkinan arah longsor berada pada *stike* = N 225 E - N 285 E dan *dip* = 15° - 90°.

3.6 Analisis Kestabilan Lereng

Analisis Kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan nilai Faktor Keamanan (FK) pada lereng di daerah penelitian^[14,15,16]. Pada penelitian ini penulis menggunakan bantuan *Software Roclab* untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam, sedangkan untuk analisis FK lereng penulis melakukan analisis manual menggunakan metode kesetimbangan batas untuk tipe longsor *toppling*.

3.6.1 Software Roclab

1. Nilai *Geological Strength Index (GSI)* didapatkan menggunakan persamaan^[12] :

$$GSI = RMR-5 \quad (16)$$

Pada perhitungan RMR yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan nilai RMR adalah 68. Dengan dilakukan perhitungan pada persamaan 27, maka didapatkan nilai GSI sebesar 63.

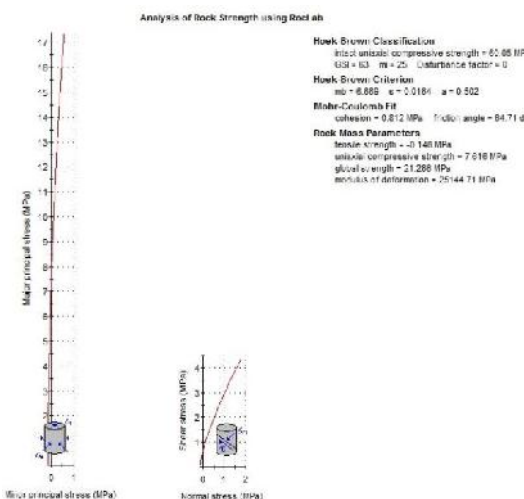
2. Nilai *uniaxial compressive strength (Sigci)* diketahui dari uji laboratorium batuan sebesar 60,05 Mpa.
3. Nilai *intact rock parameter (Mi)* diketahui berdasarkan jenis litologi umum penyusun lereng. Lereng pada daerah penelitian diketahui merupakan jenis batuan andesit, oleh karena itu nilai Mi didapatkan sebesar 25.
4. Nilai *disturbance factor (D)* = 0, karena pada lereng ini tidak ada aktifitas peledakan.

Input data software roclab dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Input Data pada Software Roclab

No	Data masukan	Nilai
1	Kuat tekan batuan	60,05 Mpa
2	GSI	63
3	Jenis batuan (Mi)	25
4	Bobot isi (MN/m3)	0,0257054

output pengolahan menggunakan perangkat lunak roclab dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Output Pengolahan Software Roclab

Parameter-parameter hasil pengolahan menggunakan software roclab disajikan pada Tabel 11.

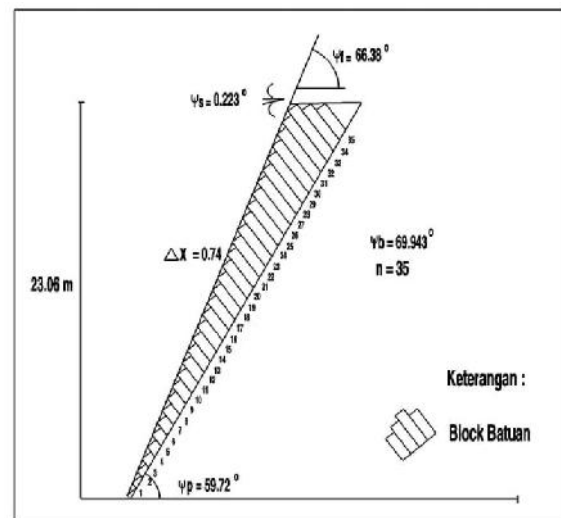
Tabel 11. Nilai Parameter Roclab

No	Parameter	Nilai
1	Kohesi (c)	0,869 Mpa
2	Sudut geser dalam ()	64,71 °
3	Kuat tarik	0,161 Mpa
4	Jari-jari kurva Mohr	8,334 Mpa
5	Modulus Young	25144,71 Mpa

3.6.2 Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas

Longsoran *toppling* terjadi pada lereng yang terjal dan batuan yang keras dengan struktur bidang lemahnya yang berbentuk kolom. Untuk melakukan analisis pada longsoran *toppling* perlu diketahui terlebih dulu kondisi blok-blok yang terbentuk pada lereng yang akan diteliti^[17]. Blok-blok yang terbentuk pada lokasi penelitian di gambarkan sesuai dengan kondisi di lapangan kemudian dilakukan perhitungan dimensi pada masing-masing kolom.

Terdapat 35 blok yang terbentuk di lokasi penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 5. Berdasarkan penggambaran kondisi lereng di lapangan didapatkan beberapa parameter yang dibutuhkan untuk analisis longsoran *toppling* seperti yang terdapat pada Tabel 12.



Gambar 5. Geometri Blok Batuan pada Lokasi Penelitian

Tabel 12. Nilai Parameter Analisis Longsor *Toppling*

Parameter	Nilai
r	66,38 (°)
p	59,72 (°)
b	59,943 (°)
s	0,223 (°)
	64,71 (°)
x	0,75 (m)

Setelah didapatkan model jatuhnya blok batuan dan parameter yang terdapat pada Tabel 24, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai konstanta a₁, a₂, dan b menggunakan persamaan berikut^[17]:

$$a_1 = x \cdot \tan(\phi - \alpha) \quad (17)$$

$$= 0,75 \times \tan(66,38 - 59,72)$$

$$= 0,087574 \text{ m}$$

$$a_2 = x \cdot \tan(\alpha - \phi) \quad (18)$$

$$= 0,75 \times \tan(59,72 - 66,38)$$

$$= 1,273095 \text{ m}$$

$$b = x \cdot \tan(\beta - \alpha) \quad (19)$$

$$= 0,75 \times \tan(59,943)$$

$$= 0,002919 \text{ m}$$

Selanjutnya analisis longsor *toppling* dilakukan dengan cara sebagai berikut^[18]:

1. Menghitung tinggi blok (y_n) dalam hal ini, perhitungan dilakukan dengan dua cara yaitu dengan memperhatikan *crest* lereng.

a. Untuk blok dari *crest* lereng ke bawah, karena blok ke-33 berada di *crest* lereng maka perhitungan dimulai dari blok ke-32 menggunakan Persamaan berikut:

$$Y_{33} = n(a_1 - b) \quad (20)$$

$$= 33 \text{ m} (0,08757 \text{ m} - 0,002919)$$

$$= 2,79 \text{ m}$$

b. Untuk blok di atas *crest*, perhitungan dimulai dari blok ke-34 kemudian blok ke-35 menggunakan Persamaan berikut:

$$y_{34} = y_{32} - a_2 - b \quad (21)$$

$$= 2,79 \text{ m} - 1,273095 \text{ m} - 0,002919 \text{ m}$$

$$= 1,52 \text{ m (blok ke-34)}$$

$$y_{35} = y_{33} - a_2 - b$$

$$= 1,43 \text{ m} - 1,273095 \text{ m} - 0,002919 \text{ m}$$

$$= 0,24 \text{ m (blok ke-35)}$$

2. Menghitung dimensi masing-masing blok dengan ketentuan sebagai berikut:

a. Untuk blok di atas *crest* (blok ke-34 dan blok ke-35) perhitungan dilakukan sebagai berikut:

$$L_{34} = Y_{34} \quad (22)$$

$$= 1,52 \text{ m}$$

$$M_{34} = Y_{34} - a_1 \quad (23)$$

$$= 1,52 \text{ m} - 0,087574 \text{ m}$$

$$= 1,43 \text{ m}$$

$$L_{35} = Y_{35}$$

$$= 0,24 \text{ m}$$

$$M_{35} = Y_{35} - a_1$$

$$= 0,24 \text{ m} - 0,087574 \text{ m}$$

$$= -0,15 \text{ m}$$

b. Untuk blok tepat di *crest* lereng (blok ke-33) perhitungan dilakukan menggunakan sebagai berikut:

$$L_{33} = Y_{33} - a_1 \quad (24)$$

$$= 2,79 \text{ m} - 0,08757 \text{ m}$$

$$= 2,62 \text{ m}$$

$$M_{32} = Y_{32} - a_2 \quad (24)$$

$$= 2,79 - 1,273095 \text{ m}$$

$$= 1,52$$

3. Menghitung nilai W_n dengan cara sebagai berikut:

a. W_n untuk blok ke-35

Diketahui :

Tinggi blok (y_n) = 0,24 m

Lebar blok (x) = 0,75 m

Panjang Blok = 60 m

Densitas batuan = 2610 Kg/m³

$$m = v \cdot x \quad (25)$$

$$= (0,24 \times 0,75 \times 60) \text{ m} \times 2610 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 28373,9 \text{ Kg}$$

$$W_n = m \cdot g \quad (26)$$

$$= 28373,9 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 278065 \text{ N}$$

b. W_n untuk blok ke-34

Diketahui :

Tinggi blok (y_n) = 1,52 m

Lebar blok (x) = 0,75 m

Panjang Blok = 60 m

Densitas batuan = 2610 Kg/m³

$$m = v \cdot x$$

$$= (1,52 \times 0,75 \times 60) \text{ m} \times 2610 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 178241,8 \text{ Kg}$$

$$W_n = m \cdot g$$

$$= 178241,8 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 1746769,8 \text{ N}$$

c. W_n untuk blok ke-33

Diketahui :

Tinggi blok (y_n) = 2,79 m

Lebar blok (x) = 0,75 m

Panjang Blok = 60 m

Densitas batuan = 2610 Kg/m³

$m = v \times$

$$= (2,79 \times 0,75 \times 60) \text{ m} \times 2610 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 328109,6 \text{ Kg}$$

$W_n = m \times g$

$$= 328109,6 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$= 3215474,7 \text{ N}$$

4. Menentukan blok yang terguling dimana blok terguling dengan syarat $x/y_n < \tan \phi$.

1) Untuk blok ke-35 nilai $x/y_n = 3,1$ dan nilai $\tan \phi = 1,71$ sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai blok ke-35 $x/y_n > \tan \phi$ dan blok berada dalam kondisi stabil.

2) Pada blok ke-34 nilai $x/y_n = 0,49$ maka dapat disimpulkan bahwa nilai blok ke-34 $x/y_n < \tan \phi$ dan blok berada dalam kondisi *toppling*.

3) Pada blok ke-33 nilai $x/y_n = 0,27$ maka dapat disimpulkan bahwa nilai blok ke-32 $x/y_n < \tan \phi$ dan blok berada dalam kondisi *toppling*.

5. Menghitung nilai $P_{n,s}$ dan $P_{n,t}$ dimulai dari blok teratas hingga blok paling bawah.

a. Untuk blok ke-35 dikarenakan blok berada dalam kondisi stabil maka nilai $P_{n,s}$ dan $P_{n,t} = 0$, maka nilai $P_n = 0$.

b. Pada blok ke-34 merupakan blok teratas dari set yang terguling maka nilai $P_{n,t}$ dan $P_{n,s} = 0$ dan nilai $P_n = 0$.

c. Pada blok ke-33 dan blok seterusnya perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan berikut:

$$P_{n-1,t} = \frac{[P_n (M_n - \Delta x \cdot \tan \phi) + (\frac{W_n}{2}) (y_n \cdot \sin \psi_p - \Delta x \cdot \cos \psi_p)]}{L_n} \quad (27)$$

$$= \frac{[0 (1,52 \text{ m} - \frac{0,75 \text{ m} \times \tan 64,71^\circ}{2}) + (\frac{3215474,7 \text{ N}}{2}) (2,79 \text{ m} \times \sin 59,72^\circ - 0,75 \text{ m} \times \cos 59,72^\circ)]}{2,71 \text{ m}}$$

$$= 1208646,3 \text{ N}$$

$$P_{n-1,s} = P_n - \frac{[W_n (\tan \phi \cdot \cos \psi_p - \sin \psi_p)]}{1 - \tan^2 \phi} \quad (28)$$

$$= 0 \text{ N} - \frac{[3215474,7 \text{ N} (\tan 64,71^\circ \times \cos 59,72^\circ - \sin 59,72^\circ)]}{1 - \tan^2 64,71^\circ}$$

$$= 188161,7 \text{ N}$$

6. Menentukan model longsoran yang terjadi pada blok. Hasil dari perhitungan nilai $P_{n,t}$ dan $P_{n,s}$ digunakan untuk menentukan apakah blok yang dihitung akan terguling (*toppling*) atau tergelincir (*sliding*) dengan ketentuan sebagai berikut:

a. Blok akan terguling apabila $P_{n-1,t} > P_{n-1,s}$ dan nilai $P_{n-1} = P_{n-1,t}$.

b. Blok akan tergelincir apabila $P_{n-1,s} > P_{n-1,t}$ dan nilai $P_{n-1} = P_{n-1,s}$.

c. Jika $P_{n-1,t} > P_{n-1,s}$ terjadi pada semua blok, maka blok akan terguling seluruhnya dan tidak ada blok yang tergelincir.

7. menentukan nilai R_n dan S_n pada setiap blok

a. Untuk blok ke-35

$$R_n = W_n \cos \phi + (P_n - P_{n-1}) \tan \phi \quad (29)$$

$$= 278065 \text{ N} \times \cos 59,72^\circ + (0 \text{ N} - 0 \text{ N}) \times \tan 64,71^\circ$$

$$= 140207,66 \text{ N}$$

$$S_n = W_n \sin \phi + (P_n - P_{n-1}) \quad (30)$$

$$= 278065 \text{ N} \times \sin 59,72^\circ + (0 \text{ N} - 0 \text{ N})$$

$$= 240129,04 \text{ N}$$

b. Untuk blok ke-34

$$R_n = W_n \cos \phi + (P_n - P_{n-1}) \tan \phi$$

$$= 1746769,85 \text{ N} \times \cos 59,72^\circ + (0 \text{ N} - 188161,73) \times \tan 64,71^\circ$$

$$= 880737,51 \text{ N}$$

$$S_n = W_n \sin \phi + (P_n - P_{n-1})$$

$$= 1746769,85 \text{ N} \times \sin 59,72^\circ + (0 \text{ N} - 1208646 \text{ N})$$

$$= 299814,47 \text{ N}$$

c. Untuk blok ke-33

$$R_n = W_n \cos \phi + (P_n - P_{n-1}) \tan \phi$$

$$= 3215474,71 \text{ N} \times \cos 59,72^\circ + (1208646 \text{ N} - 1166391 \text{ N}) \times \tan 64,71^\circ$$

$$= 1710757 \text{ N}$$

$$S_n = W_n \sin \phi + (P_n - P_{n-1})$$

$$= 3215474,71 \text{ N} \times \sin 59,72^\circ + (1208646 \text{ N} - 1166391 \text{ N})$$

$$= 2819047N$$

8. Tentukan nilai FK

a. Untuk blok ke-34

$$FK = \frac{S_n}{R_n} \quad (29)$$

$$= \frac{240129,04N}{140207,66N}$$

$$= 1,71$$

b. Untuk blok ke-33

$$FK = \frac{S_n}{R_n}$$

$$= \frac{299814,47N}{880737,51N}$$

$$= 0,34$$

c. Untuk blok ke-32

$$FK = \frac{S_n}{R_n}$$

$$= \frac{2819047,26N}{1710757,29N}$$

$$= 1,65$$

Perhitungan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama pada setiap blok. Hasil perhitungan analisis longsor *toppling* untuk setiap blok nya dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Perhitungan Analisis Longsor *Toppling*

n	yn (m)	Δx/yn (m)	Mn (m)	Ln (m)	Wn (N)	Pn1 (KN)	Pn2 (KN)	Pn (KN)	Rn (KN)	Sn (KN)	SwRn	MODE
34	0,16	4,78	-1,12	0,16	180,63	0	0	0	91,08	155,98	1,71	Stabil
33	1,43	0,52	0,16	1,43	1649,33	0	0	0	584,77	257,92	0,44	Toppling
32	2,71	0,28	1,44	2,62	3118,04	1166,39	182,46	1166,39	1661,65	2734,91	1,65	Toppling
31	2,62	0,29	2,62	2,54	3020,60	1124,13	176,76	1124,13	1612,55	2650,78	1,64	Toppling
30	2,54	0,30	2,54	2,45	2923,16	1081,84	171,06	1081,84	1563,45	2566,65	1,64	Toppling
29	2,45	0,31	2,45	2,37	2825,72	1039,55	165,35	1039,55	1514,35	2482,52	1,64	Toppling
28	2,37	0,32	2,37	2,28	2728,28	997,24	159,65	997,24	1465,26	2398,40	1,64	Toppling
27	2,29	0,33	2,29	2,20	2630,84	954,91	153,95	954,91	1326,54	2271,92	1,71	Toppling
27	2,29	0,33	2,29	2,20	2630,84	954,91	153,95	954,91	1416,17	2314,27	1,63	Toppling
26	2,20	0,34	2,20	2,11	2533,40	912,56	148,25	912,56	1367,09	2230,15	1,63	Toppling
25	2,12	0,35	2,12	2,03	2435,97	870,18	142,55	870,18	1318,02	2146,03	1,63	Toppling
24	2,03	0,37	2,03	1,94	2338,53	827,78	136,84	827,78	1268,95	2061,92	1,62	Toppling
23	1,95	0,39	1,95	1,86	2241,09	785,35	131,14	785,35	1219,89	1977,80	1,62	Toppling
22	1,86	0,40	1,86	1,77	2143,65	742,89	125,44	742,89	1170,84	1893,70	1,62	Toppling
21	1,78	0,42	1,78	1,69	2046,21	700,39	119,74	700,39	1121,81	1809,60	1,61	Toppling
20	1,69	0,44	1,69	1,61	1948,77	657,84	114,04	657,84	1072,79	1725,51	1,61	Toppling
19	1,61	0,47	1,61	1,52	1851,33	615,24	108,34	615,24	1023,79	1641,42	1,60	Toppling
18	1,52	0,49	1,52	1,44	1753,90	572,58	102,63	572,58	974,81	1557,35	1,60	Toppling
17	1,44	0,52	1,44	1,35	1656,46	529,84	96,93	529,84	925,87	1473,30	1,59	Toppling
16	1,35	0,55	1,35	1,27	1559,02	487,01	91,23	487,01	876,97	1389,26	1,58	Toppling
15	1,27	0,59	1,27	1,18	1461,58	444,08	85,53	444,08	828,12	1305,25	1,58	Toppling
14	1,19	0,63	1,19	1,10	1364,14	401,01	79,83	401,01	779,34	1221,27	1,57	Toppling
13	1,10	0,68	1,10	1,01	1266,70	357,78	74,12	357,78	730,66	1137,33	1,56	Toppling
12	1,02	0,74	1,02	0,93	1169,26	314,33	68,42	314,33	682,11	1053,46	1,54	Toppling
11	0,93	0,81	0,93	0,84	1071,82	270,61	62,72	270,61	633,75	969,69	1,53	Toppling
10	0,85	0,89	0,85	0,76	974,39	226,52	57,02	226,52	585,69	886,05	1,51	Toppling
9	0,76	0,98	0,76	0,67	876,95	181,93	51,32	181,93	538,10	802,63	1,49	Toppling
8	0,68	1,11	0,68	0,59	779,51	136,61	45,61	136,61	491,27	719,57	1,46	Toppling
7	0,59	1,27	0,59	0,51	682,07	90,20	39,91	90,20	445,83	637,17	1,43	Toppling
6	0,51	1,48	0,51	0,42	584,63	42,05	34,21	42,05	5995,48	27962,43	0,47	Toppling
5	0,42	1,77	0,42	0,34	487,19	-9,17	28,51	28509,35	12313,51	6122,60	0,50	Sliding
4	0,34	2,21	0,34	0,25	389,75	-66,56	22,81	22807,48	12264,38	6038,45	0,49	Sliding
3	0,25	2,95	0,25	0,17	292,32	-139,54	17,11	17105,61	12215,24	5954,31	0,49	Sliding
2	0,17	4,43	0,17	0,08	194,88	-276,52	11,40	11403,74	12166,11	5870,16	0,48	Sliding
1	0,08	8,86	0,08	0,00	97,44	-5091,51	5,70	5701,87	12116,98	25645,26	2,12	Sliding
Rata-rata FK												1,42

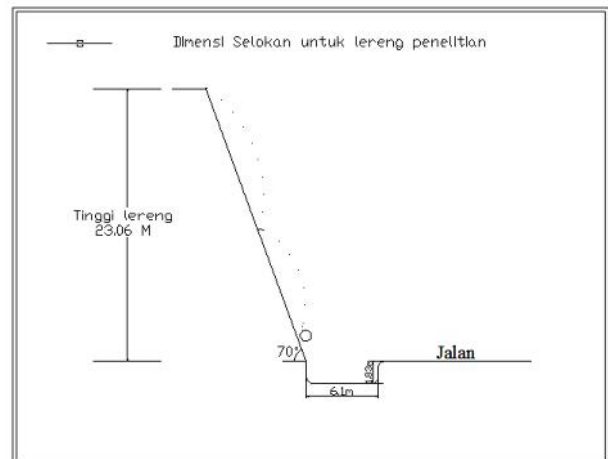
Berdasarkan perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa blok yang terbentuk yaitu blok yang stabil, berpotensi *toppling* dan *sliding* dengan nilai rata-rata FK lereng sebesar 1,58.

3.7 Analisis Perkuatan Lereng

Untuk mengatasi jatuhnya batuan dapat dilakukan dengan cara pembuatan selokan (*ditch*) dan pemasangan jaring kawat (*wiremesh*).

3.7.1 Pembuatan Selokan (Ditch)

Kondisi lereng pada lokasi penelitian yang memiliki tinggi 23,06 m dan sudut kemiringan lereng 70°, maka rekomendasi dimensi saluran yang aman adalah lebar 6,1 m dan kedalaman 1,83 m seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rekomendasi Dimensi Selokan pada Lereng Penelitian

3.7.2 Pemasangan Jaring Kawat (Wiremesh)

Jaring kawat digunakan untuk melokalisasi jatuhnya batu. Bongkah-bongkah batu yang berpotensi runtuh akan ditahan oleh jala kawat yang terpasang pada lereng dan mencegah batu tersebut terpelantik ke jalan.

4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Geometri lereng penelitian diperoleh tinggi 23,06 m, panjang 60 m dan sudut lereng 70° sedangkan hasil uji sifat fisik dan kuat tekan sebagai berikut:
 - Hasil uji sifat fisik di laboratorium didapatkan nilai rata-rata seperti berikut: bobot isi Asli = 2,615 gr/cm³; bobot isi kering = 2,597 gr/cm³; bobot isi jenuh = 2,628 gr/cm³; berat jenis semu = 2,597; berat jenis asli = 2,680; kadar air asli = 0,711%; kadar air jenuh = 1,198%; derajat kejenuhan = 60,098%; porositas = 3,098%; angka pori = 0,032.

- b. Nilai kuat tekan batuan didapatkan = 60,05 Mpa.
2. Nilai *Rock Mass Rating System* (RMR-System) didapatkan bahwa batuan termasuk dalam golongan II yang berarti batuan termasuk dalam kelas batuan baik.
 3. Hasil analisis menggunakan *software dips* didapatkan bahwa kemungkinan jenis longsor yang terdapat di daerah penelitian adalah longsor tipe *direct toppling* dan hasil analisis menggunakan metode kesetimbangan batas didapatkan nilai FK sebesar 1,58 sehingga disimpulkan bahwa lereng dalam kondisi stabil.
 4. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng diketahui bahwa lereng berada dalam kondisi stabil, namun untuk menghindari adanya jatuhnya batuan maka diperlukan perlindungan terhadap lereng berupa pembuatan selokan (*ditch*) dan pemasangan jaring kawat (*wiremesh*).

4.2 Saran

1. Perlu adanya rambu-rambu bahaya longsor sebagai pengetahuan bagi masyarakat tentang keadaan lereng.
2. Perlunya dilakukan analisis pada lereng dengan metode berbeda sebagai pembandingan agar analisis yang didapatkan lebih meyakinkan.

Daftar Pustaka

- [1] Febrianti, Ira. *Enam Tanah Longsor Terjadi Di Malalak Balingka*. [Http://Www.Antara sumbar.com/Berita/ 193032/ Enam-Tanah-Longsor-Terjadi -di-Malalak-Balingka. Html](http://www.antarasumbar.com/Berita/193032/Enam-Tanah-Longsor-Terjadi-di-Malalak-Balingka.Html) (Diakses Tanggal 20 April 2017). (2016)
- [2] Rhony, Jhon Edward. *65.068 Warga Agam Berada di Zona Rawan Longsor*. [Https://Www. En. Metro andalas. Co. Id/ Berita65068-Warga-Agam-Berada-di-Zona Rawan Longsor. Html](https://www.en.metroandalas.co.id/Berita65068-Warga-Agam-Berada-di-Zona-Rawan-Longsor.Html) (Diakses Tanggal 20 April 2017). (2016)
- [3] S. Suriasumantri, Jujun. *Filsafat Ilmu: Sebuah Pengantar Populer*. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan. (2009)
- [4] Hery Syaeful dan Dhatu Kamajati. *Analisis Karakteristik Massa Batuan di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat*. *Jurnal Eksplorium*, **36**, 1. (2015)
- [5] Eko Santoso, Romla Noor Hakim, Adip Mustofa. *Slope Stability Analysis Based On Rock Mass Characterization In Open Pit Mine Method*. *Jurnal Poros Teknik*, **8**, 1. (2016)
- [6] Wulandari, Agusti. Dkk. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Rock Mass Rating Dan Slope Mass Rating Pada Tambang Batu Pasir di Samarinda Seberang, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur*. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, **4**, 1. (2016)
- [7] Audah, M.taufik Toha dan Djuki Sudarmono. *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Slope Mass Rating Dan Metode Stereografis Pada Pit Berenai PT. Dwinad Nusa Sejahtera (Sumatera Copper And Gold), Kabupaten Musi Rawas Utara, Provinsi Sumatera Selatan*. *JP*, **1**, 5. (2017)
- [8] Irwandy, Arif. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia. (2016)
- [9] Badan Standar Nasional Indonesia SNI 2437:1991 *Cara Uji Sifat Fisik Batu*. Jakarta. (2008)
- [10] Badan Standar Nasional Indonesia SNI 2825:2008 *Cara Uji Kuat Tekan Batu Uniaksial*. Jakarta. (2008)
- [11] Rusydy, Ibnu. Dkk. *Analisis Kestabilan Lereng Batu di Jalan Raya Lhoknga KM 17,8, Kabupaten Aceh Besar*. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, **27**, 2. (2017).
- [12] Bieniawski, Z.T. *Engineering Rock Mass Clasification*. Canada: John Wiley & Sons Inc. (1989)
- [13] Priest, S.D., dan Hudson, J.A. *Discontinuity Spacing in Rock*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts*, **13**. (1976)
- [14] Jun Wang dan Hungguang Ji. *Analysis of Rock Slope Stability on the Basis of Limit Equilibrium Method*. *Journal of Advenced Materials Research*, **11**. (2013)
- [15] Angelia Rachel Ludong, Turangan A.E dan Saartje Monintja. *Analisis Kestabilan Lereng Metode Spancer*. *Jurnal Tekno*, **13**, 64. (2015)
- [16] Riki Dwi Pastyo dan Roby Hambali. *Analisis Potensi Longsor pada Lereng Galian Penambangan Timah*. *Jurnal Fropil*, **2**, 1. (2014)
- [17] Hoek, E and Bray. J.W. *Rock Slope Engineering*. 4rd. ed. New York: Taylor & Francis e-Library. (2005)
- [18] Songfeng, Guo. Dkk. *An Analitical Solution for Block Toppling Failure of Rock Slopes During an Earthquake*. *Journal of Applied Science*, **7**. (2017)