

Analisis Klasifikasi Massa Batuan dan Potensi Longsor Pada Area Pit Timur Tambang Terbuka PT. Allied Indo Coal Jaya, Kota Sawalunto, Sumatera Barat.

Rizki Aldi Saputra^{1*}, Bambang Heriyadi¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*rizkialdi17@gmail.com

Abstract. Based on observations made on the slopes in the pit area east of the open pit PT. Allied Indo Coal Jaya, found rock slope which has a height of 16 meters, slope angle is 74 and has many weak plane structures that can cause landslides. Therefore it is necessary to analyze the rock mass and the stability of the slope. From the analysis that has been done, the rock mass classification value is 50, with medium quality and safety factor value at saturation condition is 1,117, original condition is 2,779, dry condition is 2,749 and actual condition in field is 1,789. So it can be concluded that the slope condition is stable, except when saturated. Therefore, improvements need to be made in the form of reducing the slope angle to 66°, so that the value of the saturated slope safety factor changes to 1.596.

Keywords: Open pit, slope, landslide, rock mass, safety factor.

1. Pendahuluan

PT. Allied Indo Coal Jaya (PT. AIC Jaya) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara. Sistem penambangan yang diterapkan oleh PT. AIC Jaya adalah tambang bawah tanah (*underground*) dan tambang terbuka (*surface mining*) dengan metode *open pit mining*.

Dalam sistem tambang terbuka yang dilakukan oleh PT. AIC Jaya, akan berhubungan dengan kegiatan peledakan (*blasting*) dan penggalian sehingga membentuk lereng, baik itu lereng kerja maupun batasan lereng akhir, salah satunya yaitu lereng pada area pit timur tambang terbuka PT. AIC Jaya.

Lereng yang terdapat pada area pit timur tambang terbuka PT. AIC Jaya ini memiliki kondisi geometri dengan ketinggian sekitar 16 meter dan sudut kemiringan lereng sebesar 74°. Selain itu, lereng tersebut juga memiliki kondisi struktur geologi berupa bidang lemah yang jaraknya relatif rapat, sehingga dapat mengganggu dan mengurangi stabilitas lereng tersebut. Kemudian, kegiatan peledakan (*blasting*) juga masih dilakukan di sekitar area pit timur tambang terbuka PT. AIC Jaya. Getaran yang ditimbulkan oleh kegiatan peledakan tersebut dapat menyebabkan gangguan terhadap kestabilan lereng, sehingga memungkinkan terjadinya kelongsoran pada lereng tersebut.

Jadi, untuk menjaga kondisi lereng agar tetap aman dan stabil, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui

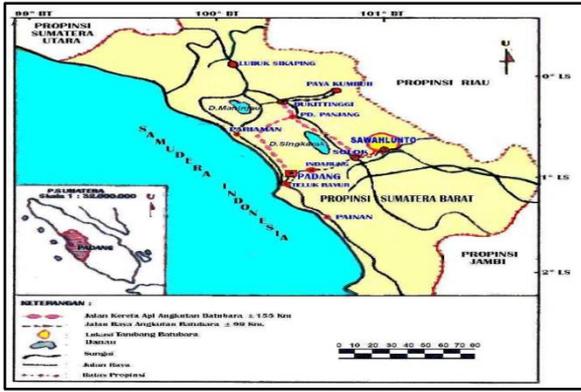
tingkat kestabilan lereng pada area pit timur tambang terbuka di PT. AIC Jaya tersebut. Dan analisis terhadap jenis potensi longsor yang terjadi juga perlu dilakukan untuk menentukan rencana pengendalian sebelum longsor tersebut terjadi. Namun, sampai saat penelitian ini dilaksanakan, belum ada dilakukan analisis mengenai tingkat kestabilan lereng pada area pit timur tambang terbuka PT. AIC Jaya, baik itu dari pihak perusahaan maupun pihak lain yang melakukan penelitian di PT. AIC Jaya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kesampaian Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan PT. AIC Jaya terletak di Parambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis wilayah IUP PT. AIC Jaya berada pada posisi 100°46'48" BT – 100°48'47" BT dan 00°35'34" LS – 00°36'59" LS.

Lokasi penambangan PT. AIC Jaya berjarak sekitar 148 km dari Kota Padang dan dapat ditempuh dengan waktu 4 jam 19 menit. Untuk lebih jelasnya lokasi kesampaian daerah PT. AIC Jaya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Kesampaian Daerah PT. AIC Jaya

2.2 Iklim dan Curah Hujan

Keadaan iklim di lokasi penambangan termasuk iklim tropis dengan suhu udara panas pada siang hari dan cukup dingin pada malam hari, dengan suhu berkisar 22° - 33° C.

Sepanjang tahun terdapat dua musim yang terjadi secara bergantian yaitu musim hujan dan lembab yang biasanya terjadi pada bulan Oktober sampai April dan musim kemarau dan panas dengan sekali hujan yang biasanya terjadi pada bulan April sampai Oktober.

2.3 Dasar Teori

2.3.1 Pengertian Lereng

Lereng adalah sebuah permukaan tanah yang terbuka, yang berdiri membentuk sudut tertentu terhadap sumbu horizontal, atau permukaan tanah yang memiliki dua elevasi yang berbeda dimana permukaan tanah tersebut membentuk sudut^[1]. Dari proses terbentuknya, sebuah lereng dapat terjadi secara alamiah dan buatan manusia.

2.3.2 Bagian-bagian Lereng

Tambang terbuka tersusun atas sekumpulan lereng yang terdiri dari lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) dengan dimensi tinggi dan sudut tertentu. Pada lereng keseluruhan juga terdapat daerah yang menghubungkan antar lereng yang disebut jenjang penahan (*catch berm*) dan bagian lereng untuk jalan tambang yang disebut *ramp*^[2].

2.3.3 Kelongsoran Lereng Tambang

Kelongsoran lereng terjadi ketika gaya-gaya penggerak, yang menyebabkan material bergerak ke bawah, lebih besar daripada gaya penahannya^[3].

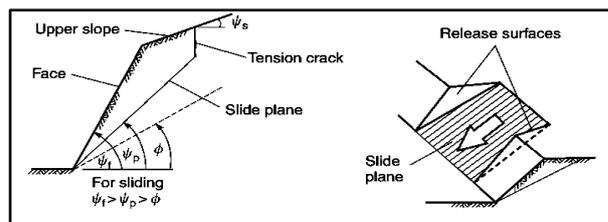
Pada umumnya material di alam dalam keadaan stabil dengan distribusi tegangan dalam keadaan setimbang (*equilibrium*). Adanya penggalian untuk penambangan menyebabkan terjadinya distribusi tegangan baru. Semakin dalam tambang digali, zona

tanpa tegangan ini akan semakin besar sehingga runtuh dapat menjadi lebih buruk^[4].

2.3.4 Jenis-jenis Longsoran Lereng

a. Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

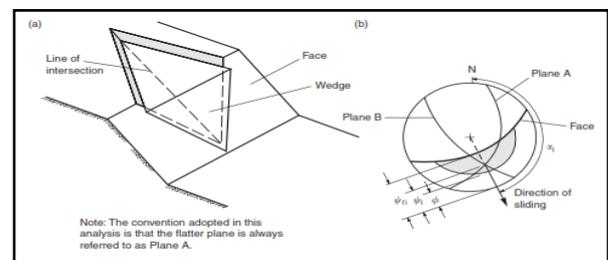
Longsoran bidang terjadi pada batuan yang mempunyai bidang luncur bebas (*day light*) yang mengarah ke lereng dan bidang luncurnya pada bidang diskontinu seperti sesar, kekar, liniasi atau bidang perlapisan. Fenomena lainnya yang memicu longsoran jenis ini yaitu bila sudut lereng lebih besar dari sudut bidang luncur serta sudut geser dalam lebih kecil dari sudut bidang luncurnya. Biasanya terjadi pada permukaan lereng yang cembung dengan kemiringan bidang kekar rata-rata hampir atau searah dengan kemiringan lereng^[5].



Gambar 2. Geometri Longsoran Bidang

b. Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

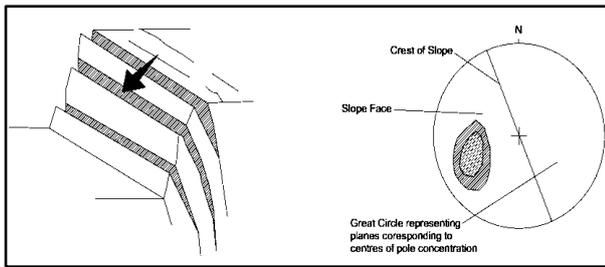
Longsoran baji terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah atau bidang diskontinu yang bebas, dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih besar dari sudut geser dalamnya. Fenomena yang paling sering terjadi adalah garis perpotongan dua bidang kekar mempunyai kemiringan ke arah kemiringan lereng^[5].



Gambar 3. Geometri Longsoran Baji

c. Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

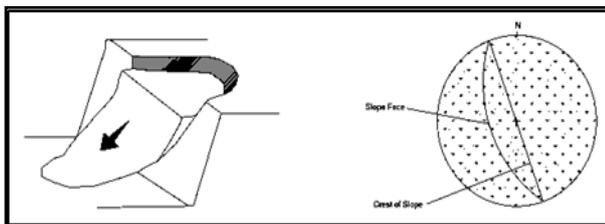
Longsoran guling terjadi pada lereng yang terjal pada batuan keras dengan bidang-bidang diskontinu yang hampir tegak atau tegak, dan longsoran dapat berbentuk blok atau bertingkat. Longsoran guling umumnya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras dengan struktur bidang lemahnya yang berbentuk kolom. Longsoran guling yang akan terjadi pada suatu lereng batuan yang arah kemiringannya berlawanan dengan kemiringan bidang-bidang lemahnya^[6].



Gambar 4. Geometri Longsoran Guling

d. Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Jenis longsoran ini adalah yang paling umum terjadi di alam (tipikal longsoran tanah/*soil*). Pada batuan yang keras, jenis longsoran ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang diskontinu yang rapat (*heavily jointed*), atau menerus sepanjang sebagian lereng sehingga menyebabkan longsoran geser di permukaan^[6].



Gambar 5. Geometri Longsoran Busur

2.3.5 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

a. Geometri Lereng

Geometri lereng mencakup tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng. Lereng yang terlalu tinggi menjadi tidak mantap dan cenderung mudah longsor dibandingkan lereng yang tidak terlalu tinggi bila susunan batuanya sama. Demikian juga sudut kemiringan lereng, lereng akan menjadi kurang mantap jika kemiringannya besar.

b. Aktifitas Manusia

Aktifitas seperti penggalian, pembuatan jalan tambang, dan bendungan dapat menyebabkan perubahan keseimbangan gaya-gaya pada lereng sehingga akan menyebabkan bertambahnya gaya geser dan mengurangi kestabilan lereng.

c. Struktur Geologi

Kondisi geologi yang dapat mempengaruhi kemantapan lereng meliputi:

- Struktur material penyusun lereng.
- Orientasi mineral dan stratigrafi.
- Bidang-bidang diskontinuitas.
- Tingkatan pelapukan

d. Keberadaan Air Tanah

Air tanah memiliki tekanan air pori (*pore water pressure*) yang dapat menimbulkan gaya angkat (*uplift force*) sehingga menurunkan kekuatan geser dan mengakibatkan lereng mudah longsor.

e. Sifat Fisik Batuan

- Bobot isi batuan. Semakin besar bobot isi batuan, maka gaya penggerak yang akan menyebabkan kelongsoran juga semakin besar^[7].
- Porositas, merupakan perbandingan antara volume pori dengan volume butiran seluruhnya. Batuan yang mempunyai porositas tinggi akan lebih banyak menyerap air dan akan mengisi pori-pori batuan^[8].
- Derajat kejenuhan, merupakan perbandingan antara volume air pori dengan dengan volume isi pori seluruhnya^[9]. Semakin jenuh suatu batuan, maka semakin banyak air yang dikandungnya, keberadaan air dalam batuan ini dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran.

f. Sifat Mekanik Batuan

- Kohesi, merupakan kekuatan tarik menarik antara butiran batuan yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas^[10]. Kohesi batuan akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar.
- Sudut geser dalam, merupakan sudut yang terbentuk dari hubungan tegangan normal dan tegangan geser didalam material batuan^[10]. Semakin besar sudut geser dalam suatu material, maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan.

2.3.6 Klasifikasi Massa Batuan

Sistem klasifikasi massa batuan menggunakan enam parameter dasar untuk pengklasifikasian dan evaluasi hasil uji. Keenam parameter yang digunakan untuk menentukan nilai RMR meliputi:

a. Kuat Tekan Batuan

Nilai kuat tekan dari material batuan utuh dapat ditentukan melalui pengujian yang dilakukan di laboratorium berdasarkan uji kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive strength*) atau pengujian beban titik (*point load test*) batuan. Nilai kuat tekan batuan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma_c = 23 I_s \quad (1)$$

Setelah didapatkan nilai dari kuat tekan batuan, selanjutnya diberikan bobot seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemberian Bobot Berdasarkan Nilai Kuat Tekan Batuan

Grade	Deskripsi	Kuat Tekan (MPa)	Bobot
R6	Batuan kuat sekali	> 250	15
R5	Batuan sangat kuat	100 – 250	12
R4	Batuan kuat	50 – 100	7
R3	Batuan kuat menengah	25 – 50	4
R2	Batuan lemah	10 – 25	2
R1	Batuan sangat lemah	2 – 10	1
R0	Batuan lemah sekali	1 – 2	0

b. Rock Quality Designation (RQD)

RQD merupakan suatu penandaan atau penilaian kualitas batuan berdasarkan kerapatan kekar. Perhitungan RQD bisa didapat dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan^[11].

$$RQD = 100 (0.1 \lambda + 1) e^{-0.1 \lambda} \quad (2)$$

$$\lambda = \text{jumlah kekar/panjang scanline} \quad (3)$$

Pembobotan nilai RQD dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Pemberian Bobot Berdasarkan Nilai RQD

RQD (%)	Kualitas Batuan	Bobot
< 25	Sangat jelek (<i>very poor</i>)	3
25 – 50	Jelek (<i>poor</i>)	8
50 – 75	Sedang (<i>fair</i>)	13
75 – 90	Baik (<i>good</i>)	17
90 – 100	Sangat baik (<i>excellent</i>)	20

c. Spasi Diskontinuitas

Spasi merupakan jarak antara bidang lemah dengan arah tegak lurus terhadap bidang lemah tersebut. Klasifikasi spasi diskontinuitas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Indeks Spasi Diskontinuitas

Keadaan Diskontinu	Spasi (m)	Bobot
Sangat lebar	> 2	20
Lebar	0,6 – 2	15
Sedang	0,2 – 0,6	10
Rapat	0,06 – 0,2	8
Sangat rapat	< 0,06	5

d. Kondisi Diskontinuitas

- Kekasaran (*Roughness*)
Kekasaran permukaan bidang diskontinu merupakan parameter yang penting untuk menentukan kondisi bidang diskontinu. Suatu permukaan yang kasar akan dapat mencegah terjadinya pergeseran antara kedua permukaan bidang diskontinu.
- Kemenerusan (*Persistence*)
Kemenerusan merupakan panjang dari suatu bidang diskontinuitas.
- Lebar Rongga (*Separation*)
Lebar rongga merupakan jarak antara kedua permukaan bidang diskontinu. Jarak ini biasanya diisi oleh material lainnya atau bisa juga diisi oleh air. Makin besar jarak ini, semakin lemah bidang diskontinu tersebut.
- Tingkat Pelapukan (*Weathering*)
Tingkat pelapukan menunjukkan derajat kelapukan permukaan diskontinuitas.
- Material Pengisi (*Infilling*)
Material pengisi antara dua permukaan bidang diskontinuitas mempengaruhi stabilitas bidang diskontinu tersebut.

Tabel 4. Pemberian Bobot Klasifikasi Kondisi Kekar

Parameter	Rating				
	Sangat kasar	Kasar	Sedikit kasar	Halus	Sangat halus
Kekasaran	6	5	3	1	0
Panjang	<1 m	1–3 m	3–10 m	10–20 m	>20 m
	6	4	2	1	0
Lebar rongga	Tidak ada	<0,1 mm	0,1–1,0 mm	1–5 mm	>5 mm
	6	5	4	1	0
Pelapukan	Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk	Sangat lapuk	Hancur
	6	5	3	1	0
Pengisi	Tidak ada	Keras		Lunak	
		<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5 mm
	6	4	2	2	0

e. Kondisi Airtanah

Debit aliran airtanah atau tekanan airtanah akan mempengaruhi kekuatan massa batuan. Oleh sebab itu perlu diperhitungkan dalam klasifikasi massa batuan. Kondisi airtanah yang ditemukan pada pengukuran kekar diidentifikasi sebagai salah satu kondisi berikut: kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), terdapat tetesan air (*dripping*), atau terdapat aliran air (*flowing*).

f. Orientasi Diskontinuitas

Nilai *strike* dan *dip* merepresentasikan orientasi dan kemiringan dari bidang diskontinuitas. Nilai *strike* dan *dip* pada pekerjaan rekayasa batuan berhubungan dengan prediksi stabilitas massa batuan dan arah penggalian, serta sangat berperan untuk memberikan penilaian kuantitatif bidang diskontinuitas yang kritis pada penggalian terowongan dan rekayasa lereng pada batuan. Nilai orientasi bidang diskontinuitas terhadap lereng memiliki variasi penilaian kualitatif dan kuantitatif yang sedikit berbeda antara satu dengan lainnya.

2.3.7 Geological Strength Index (GSI)

GSI adalah suatu indeks yang berhubungan dengan kekuatan massa batuan yang terkekarkan dan menghasilkan uji mutu massa batuan untuk perkiraan langsung kekuatan dan kekakuan batuan utuh dan rekahan. GSI mencirikan massa batuan berdasarkan pengamatan struktur (ukuran blok dan bentuk) dan kondisi permukaan diskontinuitas (pelapukan, derajat kekasaran dan alterasi). Ukuran blok dan bentuk menunjukkan geometri massa batuan keseluruhan dan proporsi volume massa batuan yang ditempati oleh diskontinuitas. Nilai GSI berkisar dari 0 hingga 100, dimana nilai GSI 100 adalah setara dengan massa batuan utuh^[12].

Untuk massa batuan berkualitas sangat baik (RMR>25) nilai GSI dapat diperkirakan secara langsung dari RMR Bieniawski dengan bobot air tanah diberikan bobot 10 (kering) dan faktor penyesuaian untuk orientasi kekar diberi bobot 0 (sangat menguntungkan). RMR Bieniawski tidak dapat digunakan untuk menentukan nilai GSI massa batuan dengan kualitas buruk. Jika RMR Bieniawski digunakan, maka:

$$GSI = RMR - 5 \quad (4)$$

2.3.8 Analisis Kestabilan Lereng Penelitian

Analisis tingkat kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan nilai faktor keamanan pada lereng di daerah penelitian. Faktor keamanan dapat dinyatakan dengan *fk* yang memberikan gambaran nilai suatu lereng dan dapat dikategorikan ke dalam 3 jenis^[13], seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hubungan Nilai FK Lereng Dengan Intensitas Longsor

Nilai FK Lereng	Intensitas Longsor
FK < 1,07	Longsor sering terjadi (kritis)
1,07 < FK < 1,25	Longsor pernah terjadi (labil)
FK > 1,25	Longsor jarang terjadi (stabil)

Adapun cara yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *fk* lereng tersebut adalah dengan menggunakan *software slide 6.0* dan analisis manual menggunakan metode Hoek and Bray. Analisis menggunakan *software*

slide 6.0 dilakukan untuk mendapatkan nilai *fk* lereng pada kondisi jenuh, asli dan kering. Sedangkan analisis manual menggunakan metode Hoek & Bray dilakukan untuk mendapatkan nilai *fk* lereng berdasarkan kondisi aktual di lapangan.

Dalam melakukan analisis menggunakan metode Hoek & Bray, nilai *fk* lereng dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$FK = \frac{\Sigma \text{Gaya penahan}}{\Sigma \text{Gaya penggerak}} \quad (5)$$

Gaya penahan yang bekerja pada lereng dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{\text{penahan}} = C \cdot A + (w \cdot \cos \psi - m \cdot a \cdot \sin \psi) \tan \phi \quad (6)$$

Sedangkan besarnya gaya penggerak yang bekerja pada lereng dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{\text{penggerak}} = w \cdot \sin \psi + m \cdot a \cdot \cos \psi \quad (7)$$

Keterangan:

C = Kohesi

A = Luas bidang longsor

W = Berat batuan yang akan longsor

m = Massa batuan yang akan longsor

a = Faktor gangguan

ψ = Sudut lereng

ϕ = Sudut geser dalam

2.3.9 Usaha Mencegah Terjadinya Longsor

a. Memperkecil Gaya Penggerak

- Mengurangi Ketinggian Lereng

Pengurangan ketinggian lereng dilakukan dengan membuang sebagian massa tanah atau batuan di bagian atas hingga lereng tersebut diperkirakan aman. Pekerjaan ini dapat dilakukan dengan peralatan mekanis seperti *backhoe*, *bulldozer* dan *truck*^[14].

- Memperkecil Kemiringan Lereng

Usaha mencegah kelongsoran dapat juga dilakukan dengan memperkecil kemiringan lereng. Sudut lereng awal adalah α dan setelah dilandaikan menjadi β ^[14].

- Menurunkan Muka Airtanah dan Mengendalikan Air Pada Permukaan Lereng

Ada dua cara yang biasa dilakukan untuk menurunkan muka air tanah, yaitu membuat sumur horizontal dan membuat sumur vertikal. Pada sumur vertikal, air tanah dikeluarkan dengan cara memompa, sedangkan pada sumur horizontal air tanah mengalir melalui saluran yang telah dibuat. Air permukaan dapat diatasi dengan membuat saluran pada bagian bawah lereng dan menutup rekahan. Dengan demikian air tidak akan merembes ke dalam tanah^[14].

b. Memperbesar Gaya Penahan

Peningkatan gaya penahan dapat dilakukan dengan menggunakan *counterweight*, yaitu dengan menambahkan tanah pada kaki lereng. Tanah yang ditambahkan kemudian dipadatkan dengan alat mekanis seperti *roller*^[14].

3. Metode Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan merupakan penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah^[15].

3.2 Objek Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada lereng area pit timur tambang terbuka PT. AIC Jaya, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

3.3 Teknik Pengumpulan Data dan Instrumentasi

3.3.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah pengambilan secara langsung ke lapangan/perusahaan tambang. Urutan pengumpulan data adalah sebagai berikut:

- Studi literatur, yaitu dengan mempelajari data-data perusahaan dan laporan penelitian terdahulu.
- Pengamatan langsung di lapangan

3.3.2 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah mempelajari literatur dan orientasi lapangan. Data yang diambil berupa data primer dan data sekunder.

- Data primer diperoleh langsung dari lapangan dan uji laboratorium, yaitu berupa data geometri lereng, data diskontinuitas pada permukaan lereng, data sifat fisik batuan penyusun lereng dan data kuat tekan batuan.
- Data sekunder diperoleh dari studi literatur PT. AIC Jaya, untuk mendukung data-data penelitian seperti data profil perusahaan, peta topografi, peta geologi dan data curah hujan perusahaan.

3.3.3 Instrumentasi

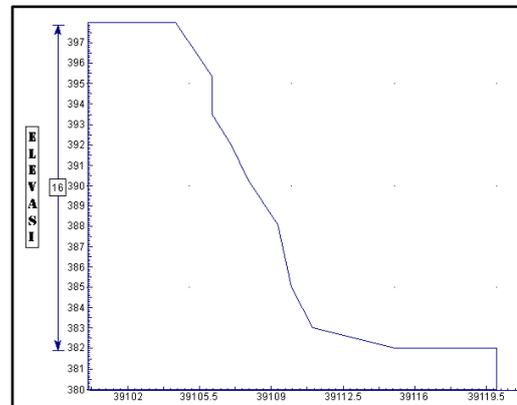
Adapun instrumentasi (peralatan) yang dibutuhkan selama penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Kompas geologi
- GPS
- Meteran
- Palu geologi
- Pemotong batu
- Neraca listrik
- Oven
- Mesin uji *point load*
- Kamera
- Laptop
- Alat tulis

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Geometri Lereng

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, diketahui lereng berada pada koordinat S = 00°36'10.9" dan E = 100°48'35.7", dengan elevasi 382 mdpl. Setelah dilakukan pengukuran di lapangan didapatkan geometri lereng dengan tinggi 16 m, panjang 15 m, dan sudut kemiringan lereng adalah 74°.



Gambar 6. Geometri Lereng Penelitian

4.2 Sifat Fisik Batuan

Dari uji sifat fisik batuan yang telah dilakukan di laboratorium, didapatkan hasil seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Pengujian Sifat Fisik Batuan

Sampel	Wn (gram)	Ww (gram)	Ws (gram)	Wo (gram)
1	140,60	141,04	55,49	138,83
2	154,24	154,72	62,57	151,34
3	140,29	141,02	55,59	138,18

Setelah didapatkan nilai sifat fisik batuan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh batuan. Hasil dari pengolahan nilai sifat fisik batuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Sifat Fisik Batuan

Sampel	Bobot isi asli (gr/cm ³)	Bobot isi kering (gr/cm ³)	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)
1	1,64	1,62	1,65
2	1,67	1,64	1,68
3	1,64	1,61	1,65
Rata-rata	1,65	1,62	1,66

4.3 Kuat Tekan Batuan

Dari uji beban titik (*point load*) batuan yang telah dilakukan di laboratorium, didapatkan hasil seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Pengujian Beban Titik Batuan

Sampel	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Nilai Is (MPa)
1	7,9	5	1,28
2	8,1	5	2,18
3	8,0	5	1,34
Rata-rata			1,60

Maka, nilai kuat tekan batuan berdasarkan persamaan 1 adalah:

$$\sigma_c = 23 \times I_s$$

$$\sigma_c = 23 \times 1,60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 36,8 \text{ MPa}$$

4.4 Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan yang digunakan pada penelitian ini adalah klasifikasi *Rock Mass Rating (RMR)*. Dalam penerapannya klasifikasi ini membutuhkan beberapa parameter yang telah diketahui pada penjelasan sebelumnya. Setiap parameter tersebut memiliki nilai atau bobot yang dijumlahkan sehingga total bobot tersebut dapat menentukan kelas massa batuan berdasarkan teori Bieniawski. Hasil penjumlahan nilai pembobotan untuk klasifikasi massa batuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Klasifikasi Massa Batuan

Parameter	Nilai	Bobot	
Kuat Tekan	36,8 MPa	4	
RQD	45,714 %	8	
Spasi	< 60 mm	5	
Kondisi Diskontinuitas	Kemenerusan	< 1 m	6
	Lebar Rongga	1 – 5 mm	1
	Kekasaran	Sedikit kasar	3
	Pengisi	Lunak	2
	Pelapukan	Tidak melapuk	6
Kondisi Air	Kering	15	
RMR		50	

Berdasarkan analisis klasifikasi massa batuan yang telah dilakukan menggunakan klasifikasi RMR, diperoleh nilai RMR batuan sebesar 50, sehingga dapat

disimpulkan bahwa batuan termasuk golongan III dengan kualitas massa batuan sedang.

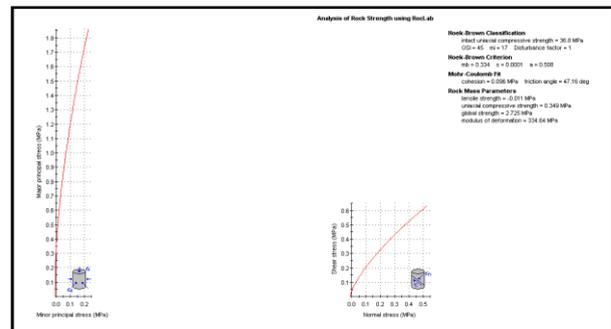
4.5 Analisis Nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam (φ) Batuan

Dalam menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam batuan, dilakukan menggunakan bantuan *software roclab*. Adapun parameter yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Parameter Analisis Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Batuan

No	Parameter	Nilai
1	Kuat tekan batuan	36,8 Mpa
2	GSI	45
3	Jenis batuan (Mi)	17
4	<i>Disturbance factor (D)</i>	1

Setelah dimasukkan data dari parameter-parameter di atas, maka akan keluar nilai dari kohesi dan sudut geser dalam batuan seperti yang terdapat pada Gambar 7.

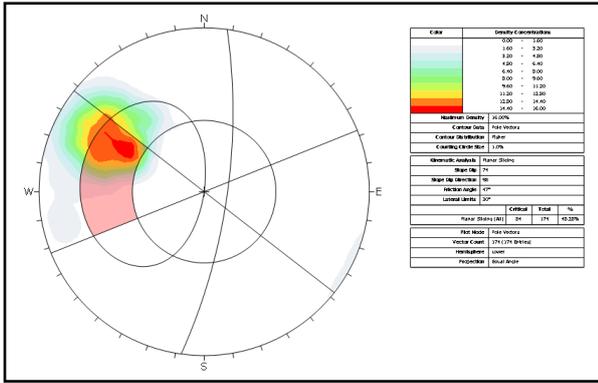


Gambar 7. Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Batuan Berdasarkan *Software Roclab*

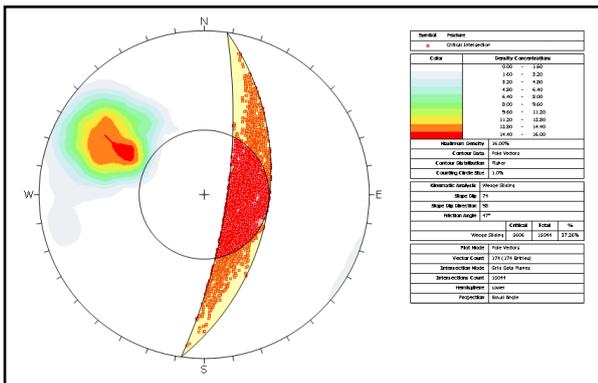
Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software roclab*, didapatkan nilai kohesi (c) batuan sebesar 0,096 MPa dan sudut geser dalam (φ) batuan sebesar 47,16°.

4.6 Analisis Tipe Longsoran Pada Lereng Area Penelitian

Analisis tipe longsoran dilakukan untuk mengetahui jenis longsoran yang mungkin terjadi pada lereng penelitian. Analisis ini dilakukan menggunakan metode analisis kinematik dengan bantuan *software dips6.008*. Adapun data yang dibutuhkan dalam analisis ini adalah nilai kemiringan lereng, nilai *strike* dan kemiringan bidang diskontinuitas dan nilai sudut geser dalam batuan. Setelah dilakukan *input* data pada *software dips 6.008*, maka akan keluar persentase dari longsoran lereng seperti yang terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Analisis Potensi Longsoran Bidang Pada Lereng Berdasarkan *Software Dips 6.008*



Gambar 8. Analisis Potensi Longsoran Baji Pada Lereng Berdasarkan *Software Dips 6.008*

Hasil analisis potensi longsoran pada lereng penelitian berdasarkan *software dips 6.008* dapat dilihat pada Tabel 11 di bawah ini.

Tabel 11. Persentase Tipe Longsoran Lereng Penelitian Berdasarkan *Software Dips 6.008*

No	Tipe Longsoran	Persentase (%)
1	Longsoran bidang	48,28
2	Longsoran guling (<i>flexural</i>)	0,00
3	Longsoran guling (<i>direct</i>)	0,00
4	Longsoran baji	37,26

Berdasarkan persentase tipe longsoran lereng penelitian menggunakan *software dips 6.008*, dapat disimpulkan bahwa jenis longsoran yang terdapat pada lereng penelitian adalah longsoran bidang dan longsoran baji.

Longsoran bidang dapat terjadi pada lereng area penelitian jika *strike* bidang luncur paralel atau mendekati paralel terhadap *strike* bidang permukaan lereng dengan perbedaan maksimal 20%, dan kemiringan bidang luncur lebih kecil daripada kemiringan bidang permukaan lereng. Sedangkan longsoran baji dapat terjadi apabila kemiringan lereng lebih besar daripada kemiringan garis potong bidang

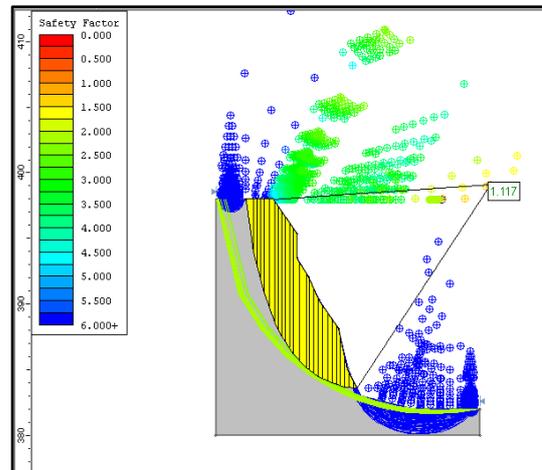
diskontinuitas dan lebih kecil daripada sudut geser dalamnya, kemudian kemiringan garis potong bidang diskontinuitas mengarah keluar muka lereng.

4.7 Analisis Kestabilan Lereng Penelitian

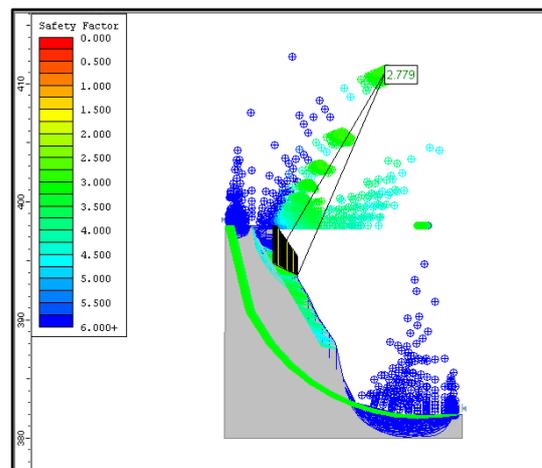
4.7.1 Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan *Software Slide 6.0*

Analisis menggunakan *software slide 6.0* ini dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng penelitian pada saat lereng berada dalam kondisi jenuh, kondisi asli dan kondisi kering. Adapun data yang dibutuhkan dalam melakukan analisis ini adalah data geometri lereng, nilai sifat fisik dan kuat tekan batuan penyusun lereng, serta nilai kohesi dan sudut geser dalam batuan.

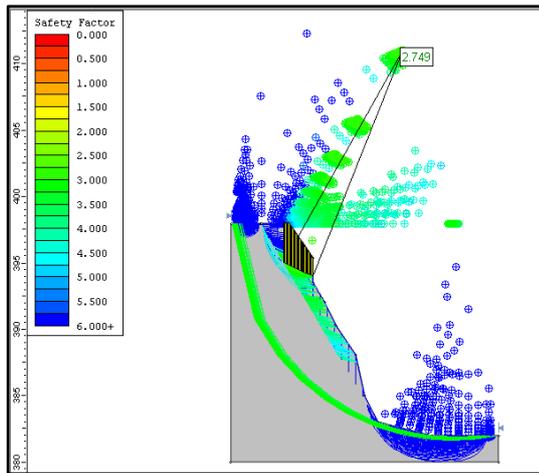
Setelah data yang dibutuhkan tersebut diinput dalam *software slide 6.0*, maka akan didapatkan nilai *fk* lereng penelitian pada kondisi jenuh (Gambar 9), kondisi asli (Gambar 10) dan kondisi kering (Gambar 11).



Gambar 9. Nilai *FK* Lereng Pada Kondisi Jenuh



Gambar 10. Nilai *FK* Lereng Pada Kondisi Asli



Gambar 11. Nilai FK Lereng Pada Kondisi Kering

Dari analisis tingkat kestabilan lereng yang telah dilakukan menggunakan *software slide 6.0*, didapatkan nilai faktor keamanan lereng area penelitian pada kondisi jenuh sebesar 1,117, kondisi asli sebesar 2,779, dan kondisi kering sebesar 2,749. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lereng area penelitian pada saat jenuh berada dalam kondisi tidak aman atau labil, sedangkan lereng pada saat asli dan kering berada dalam kondisi aman atau stabil.

4.7.2 Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Hoek & Bray

Analisis secara manual menggunakan metode Hoek & Bray ini dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng penelitian pada saat kondisi aktual di lapangan. Adapun parameter yang dibutuhkan dalam melakukan analisis ini adalah:

- C = 0,096 MPa = 96 kN/m²
- A = 94,8 m²
- $\psi = 74^\circ$
- $\phi = 47,16^\circ$
- a = 0,5 g = 4,9 m/s²
- m = 425.185,5 kg
- w = 4.166,8 kN

Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai gaya penahan yang bekerja pada lereng penelitian berdasarkan persamaan 6 berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{penahan}} &= C \cdot A + (w \cdot \cos \psi - m \cdot a \cdot \sin \psi) \tan \phi \\
 F_{\text{penahan}} &= 96 \text{ kN/m}^2 \times 94,8 \text{ m}^2 + [(4.166,8 \text{ kN} \times \cos 74^\circ) - (425.185,5 \text{ kg} \times 4,9 \text{ m/s}^2 \times \sin 74^\circ)] \times \tan 47,16^\circ \\
 F_{\text{penahan}} &= 9.100,8 \text{ kN} + [(1.125,036 \text{ kN}) - (2.000.072,6 \text{ kg.m/s}^2)] \times 1,07 \\
 F_{\text{penahan}} &= 9.100,8 \text{ kN} + (1.125,036 \text{ kN} - 2.000,073 \text{ kN}) \times 1,07 \\
 F_{\text{penahan}} &= 9.100,8 \text{ kN} + (- 875,037 \text{ kN}) \times 1,07 \\
 F_{\text{penahan}} &= 9.100,8 \text{ kN} + (- 936,289 \text{ kN}) \\
 F_{\text{penahan}} &= 8.164,511 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai gaya penahan yang bekerja pada lereng penelitian, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari gaya penggerak yang bekerja pada lereng penelitian berdasarkan persamaan 7 berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{penggerak}} &= w \cdot \sin \psi + m \cdot a \cdot \cos \psi \\
 F_{\text{penggerak}} &= (4.166,8 \text{ kN} \times \sin 74^\circ) + (425.185,5 \text{ kg} \times 4,9 \text{ m/s}^2 \times \cos 74^\circ) \\
 F_{\text{penggerak}} &= (4.000,128 \text{ kN}) + (562.520,416 \text{ kg.m/s}^2) \\
 F_{\text{penggerak}} &= 4.000,128 \text{ kN} + 562,52 \text{ kN} \\
 F_{\text{penggerak}} &= 4.562,648 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai dari gaya penahan dan gaya penggerak yang bekerja pada lereng penelitian, kita dapat menghitung nilai dari fk lereng berdasarkan persamaan 5 berikut:

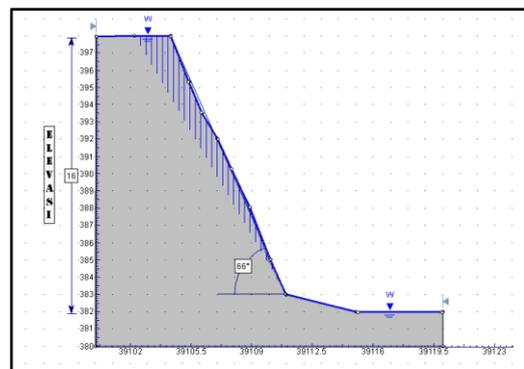
$$\begin{aligned}
 FK &= \frac{\Sigma \text{Gaya penahan}}{\Sigma \text{Gaya penggerak}} \\
 FK &= \frac{8.164,511}{4.562,684} \\
 FK &= 1,789
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis nilai fk lereng penelitian menggunakan metode Hoek & Bray yang telah dilakukan, didapatkan nilai fk lereng penelitian pada kondisi aktual di lapangan sebesar 1,789, sehingga dapat disimpulkan bahwa lereng penelitian berada dalam kondisi aman dan stabil.

4.8 Analisis Lereng Aman Pada Kondisi Jenuh

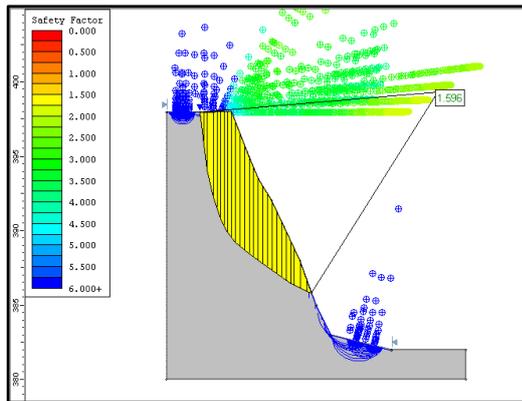
Berdasarkan perhitungan nilai fk lereng yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa lereng berada dalam kondisi aman, kecuali pada saat lereng kondisi jenuh. Oleh karena itu, perlu diberikan rekomendasi geometri lereng aman untuk menghindari kelongsoran pada saat lereng berada dalam kondisi jenuh.

Rekomendasi yang diberikan adalah dengan mengurangi sudut kemiringan lereng dari 74° menjadi 66°, seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Rekomendasi Lereng Aman

Setelah dilakukan perbaikan pada geometri lereng, kita bisa mengetahui nilai faktor keamanan lereng setelah perbaikan, seperti yang terdapat pada Gambar 13.



Gambar 13. Nilai FK Jenuh Setelah Perbaikan

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan lereng pada kondisi jenuh setelah perbaikan berubah dari 1,117 menjadi 1,596, sehingga lereng menjadi aman dan stabil.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

1. Dari analisis klasifikasi massa batuan yang telah dilakukan menggunakan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR), didapatkan nilai RMR batuan pembentuk lereng area penelitian sebesar 50. Sehingga dapat disimpulkan bahwa batuan termasuk dalam golongan III dengan kualitas massa batuan sedang.
2. Berdasarkan analisis jenis potensi longsor lereng area penelitian yang telah dilakukan menggunakan *software dips*, diperoleh hasil bahwa jenis potensi longsor yang mungkin terjadi pada lereng area penelitian adalah longsor bidang (*plane failure*), dengan persentase sebesar 48,28% dan longsor baji (*wedge failure*) dengan persentase sebesar 37,26%.
3. Dalam menentukan nilai faktor keamanan lereng area penelitian, dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan bantuan *software slide 6.0* dan manual menggunakan metode Hoek & Bray. Berdasarkan analisis menggunakan *software slide 6.0*, didapatkan nilai dari faktor keamanan lereng dalam kondisi jenuh sebesar 1,117, kondisi asli sebesar 2,779 dan kondisi kering sebesar 2,749. Sedangkan berdasarkan analisis manual menggunakan metode Hoek & Bray didapatkan nilai dari faktor keamanan lereng dalam kondisi aktual di lapangan sebesar 1,789. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lereng berada dalam kondisi aman atau stabil, kecuali pada saat jenuh.
4. Dalam menjaga kestabilan lereng agar tetap aman atau stabil pada saat kondisi jenuh, perlu dilakukan perbaikan pada geometri lereng tersebut. Perbaikan yang direkomendasikan adalah dengan mengubah sudut kemiringan lereng yang awalnya 74° menjadi 66° , sehingga dapat mengubah nilai faktor keamanan lereng yang awalnya 1,117 menjadi 1,596.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan perbaikan pada geometri lereng tersebut, untuk menjaga agar kondisi lereng area penelitian tetap aman dan stabil.
2. Perlunya perhitungan dan penanganan kelongsoran lebih lanjut, guna untuk meningkatkan faktor keamanan lereng agar lereng tetap berada dalam kondisi aman dan stabil.

Daftar Pustaka

- [1] Pangemanan, V. G. M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. (2014). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1).
- [2] Santoso, S. (2012). Panduan Lengkap SPSS Versi 20, Cetakan Kedua. *PT Elex Media Komputindo, Jakarta*.
- [3] Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons.
- [4] Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set & CD-ROM Pack: V1: Fundamentals, V2: CSMine Software Package, CD-ROM: CS Mine Software*. CRC Press.
- [5] Duncan, C. W., & Christopher, W. M. (2004). *Rock slope engineering: civil and mining*.
- [6] Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). *Underground excavations in rock*. CRC Press.
- [7] Ridwan, P., Arfiansyah, K., Kusumah, P. A., Amrullah, F., & Gani, R. M. G. (2018). Identifikasi Karakteristik dan Kualitas Andesit Sebagai Bahan Bangunan Daerah Batujajar, Kecamatan Batujajar Timur, Kabupaten Bandung Barat. *Geoscience Journal*, 2(3), 193-200.
- [8] Sudarsono, U., & Hasibuan, G. (2011). Karakteristik Geologi Teknik Tanah Residu Batuan Sedimen Kuartar Bawah Daerah Kertajati, Majalengka, Jawa Barat Engineering Geological Characteristics of the Residual Soil, Lower Quaternary Sediments in Kertajati Region, Majalengka, West Java. *Jurnal Geologi Indonesia*, 6(3), 177-189.
- [9] Rosari, A. A., & Arsyad, M. (2018). Analisis Sifat Fisis Dan Sifat Mekanik Batuan Karst Maros. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 13(3), 276-281.
- [10] Haris, V. T., Lubis, F., & Winayati, W. (2018). Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah Pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning. *Sikus: Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 123-130.
- [11] Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (2000). *Engineering rock mechanics: an introduction to the principles*. Elsevier.
- [12] Marinos, P., & Hoek, E. (2000, November). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In *ISRM international symposium*.

International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

- [13] Bowles, J. E. (1986). *Sifat-sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah:(mekanika Tanah)*. Erlangga.
- [14] Setyanto, S., Zakaria, A., & Permana, G. W. (2017). Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V. 8.2 (Studi Kasus: Ruas Jalan Liwa–Simpang Gunung Kemala STA. 263+ 650). *Jurnal Rekayasa*, 20(2), 119-138.
- [15] Yusuf, A. M. (2016). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif & penelitian gabungan*. Prenada Media.