



## Analisis Kinematik Dan Karakterisasi Massa Batuan Menggunakan Metode Kuantifikasi Geological Strength Index (GSI) Pada Lereng Tambang Batubara PT. Mifa Bersaudara

Urwatul Wusqa<sup>1</sup>, Danu Mirza Rezky<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Teknik Geologi, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>2</sup>Geotechnical Engineer, Technical Service Engineering Departement, PT Mifa Bersaudara

### Abstrak

Karakterisasi dilakukan untuk mempelajari dan mengelompokkan massa batuan berdasarkan keterdapatan struktur, pelapukan serta faktor lain yang dapat mempengaruhi kondisi massa batuan, Kondisi massa batuan terus berubah seiring berjalannya waktu dan pergerakan kemajuan penambangan. Oleh karena itu, Pembaruan data mengenai kekuatan massa batuan diperlukan sebagai adjustment parameter analisis kestabilan lereng guna memastikan rekomendasi geoteknik yang dikeluarkan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Metode karakterisasi massa batuan yang digunakan adalah kuantifikasi GSI yang diperbarui oleh Sonmez dan Ulusay (1999), dengan menggunakan dua parameter yaitu struktur rating dan surface condition rating. Metode kuantifikasi GSI dipakai untuk mengurangi bias dari penentuan GSI secara kualitatif. Analisis kinematik dilakukan menggunakan proyeksi stereografis menggunakan software Dips untuk menentukan potensi longsoran apa yang mungkin terjadi sesuai hasil geotechnical *mapping* dilapangan. Dari sembilan lereng yang di *mapping*, teridentifikasi tiga jenis longsoran, yakni longsoran toppling, baji, dan bidang. Hasil pengelompokkan massa batuan terhadap sembilan lereng menunjukkan bahwa kelas massa batuan sebagian besar berada pada tingkat baik dan sedang. Hasil dari GSI akan digunakan sebagai parameter masukan kekuatan massa batuan pada saat analisis dengan output rekomendasi geometri lereng tambang sesuai dengan lokasi pengukuran. Penjelasan tentang pemilihan metode kuantifikasi GSI serta tahapan penentuan nilai GSI dan analisis kinematik dibahas lebih lanjut pada paper ini.

**Kata kunci:** Karakterisasi Massa Batuan; Geological Strength Index; Analisis Kinematik.

### Abstract

*Characterization is carried out to study and group rock masses based on the presence of structure, weathering and other factors that can influence the condition of the rock mass. The condition of the rock mass continues to change over time and the movement of mining progress. Therefore, updated data regarding rock mass strength is needed as an adjustment to slope stability analysis parameters to ensure that the geotechnical recommendations issued are in accordance with actual conditions. The rock mass characterization method used is GSI quantification which was updated by Sonmez and Ulusay (1999), using two parameters, namely structure rating and surface condition rating. The GSI quantification method is used to reduce bias from qualitative GSI determination. Kinematic analysis was carried out using stereographic projection using Dips software to determine what potential landslides might occur according to the results of geotechnical mapping in the field. Of the nine slopes mapped, three types of landslides were identified, namely toppling, wedge and plane landslides. The results of grouping rock masses on nine slopes show that the rock mass classes are mostly at good and medium levels. The results of the GSI will be used as an input parameter for the strength of the rock mass during analysis with the output being a recommendation for the geometry of the mine slope according to the measurement location. An explanation the selection of the GSI quantification method as well as determining the GSI value and kinematic analysis are discussed further in this paper.*

**Keywords:** Rock Mass Characterization; Geological Strength Index; Kinematic Analysis.

---

\*) Korespondensi: danu.mirza@mifacoal.co.id

Diajukan : 20 Januari 2024

Diterima : 26 September 2024

Diterbitkan : 24 Oktober 2024

## PENDAHULUAN

Massa batuan adalah susunan blok dan terdapat banyak diskontinuitas didalamnya (Gambar 1), sedangkan Karakterisasi massa batuan merupakan proses pengelompokan massa batuan kedalam beberapa kelas berdasarkan parameter yang digunakan, salah satunya dengan menggunakan parameter geological strength index (Zuo dan Sheng, 2020).

### Geological Strength Index

*Geological Strength Index* (GSI) diperkenalkan oleh Hoek, Kaiser dan Bawden tahun 1995 yang digunakan untuk memperkirakan berkurangnya kekuatan suatu massa batuan yang disebabkan oleh kondisi geologi yang berbeda. Hal tersebut dikontrol oleh bentuk geometri dari blok-blok batuan penyusun massa batuan maupun kondisi permukaan bidang pemisah antar blok-blok batuan tersebut. Penentuan awal kekuatan massa batuan melalui GSI bersifat subjective (Saptono dan Rezky, 2023), karena hanya melalui pengamatan saja, serta kurangnya parameter terukur dan lebih representative untuk penggambaran truktur batuan dan kondisi permukaan diskontinuitas, Oleh karena itu, beberapa penulis menyarankan penggunaan grafik GSI untuk menilai kondisi massa batuan, diantaranya (Sonmez dan Ulusay, 1999), (Cai dkk, 2004), (Hoek dkk, 2013), dan (Spago dan Jovanovski, 2019).

Dua dari 4 metode kuantifikasi GSI yaitu (Hoek dkk, 2013) dan (Sonmez dan Ulusay, 1999) menggabungkan pengukuran diskontinuitas dilapangan (*Scanline Mapping*) untuk mendapatkan parameter kondisi masaa batuan yang lebih terukur. Penulis mengambil metode GSI dari (Sonmez dan Ulusay, 1999) karena lebih fleksibel baik dari penentuan nilai RQD dari *mapping scanline* serta sudah mengakomodir perhitungan *joint volumetric*. Penentuan nilai akhir dari kekuatan massa batuan merujuk kepada kuantifikasi GSI Sonmez & Ulusay (1991) yang menggabungkan antara *Joint Volumetric* (Gambar 2) dan *Surface structure Rating* (Tabel 1).

Penentuan *joint volumetric* membandingkan frekuensi kekar terhadap panjang *scanline mapping* dengan tujuan untuk mendapatkan frekuensi kekar / m<sup>3</sup>, semakin rapat kekar di suatu lereng, maka semakin besar nilai Jv. Rumus Jv disajikan pada persamaan (1).

$$Jv = \left(\frac{N}{L}\right)^3 \quad (1)$$

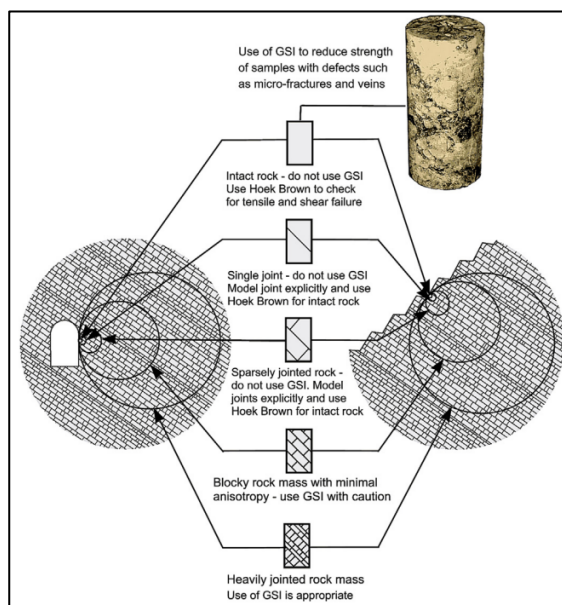
Dimana:

- N : Frekuensi Kekar
- L : Panjang *Scanline* (m)

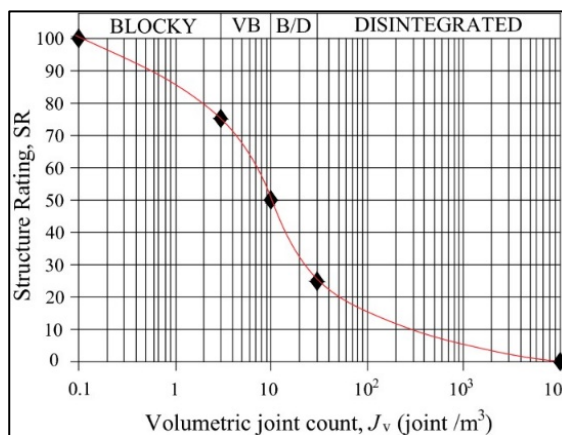
Pendekatan GSI kuantitatif akan digunakan untuk mengkarakterisasi massa batuan lereng yang ada di PT. Mifa Bersaudara untuk mengetahui perubahan kekuatan massa batuan berdasarkan hasil *mapping* dan sebagai *update adjustment* parameter untuk analisis kestabilan lereng.

### Kondisi Geologi

Berdasarkan peta geologi regional dan hasil pemetaan geologi yang dilakukan terdapat 3 sebaran batuan dilokasi penelitian, yaitu :



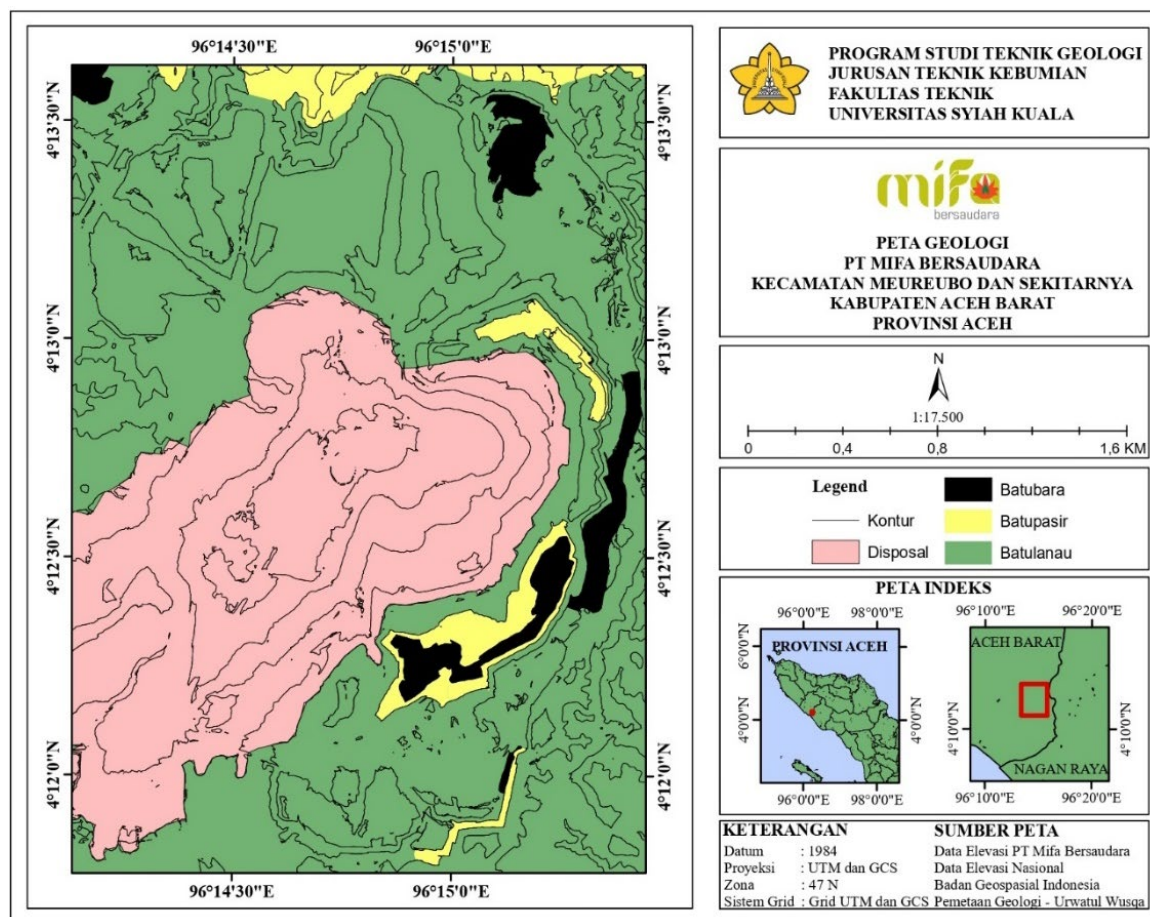
Gambar 1. Rock Mass (Hoek dan Brown, 2018)



Gambar 2. Joint Volumetric

Tabel 1. Surface Structure Rating

Roughness Rating	very rough 6	rough 6	slightly rough 6	smooth 1	slickenside 0
Infilling Rating	none 6	hard <5 mm 4	hard >5 mm 2	soft <5 mm 2	soft >5 mm 0
Weathering Rating	unweathered 6	slightly 5	moderately 3	highly 1	decomposed 0



Gambar 3. Kondisi geologi lokasi penelitian.

batulanau berwarna keabu-abuan dengan ukuran butir silt hingga clay, batupasir warna putih keabuan dengan ukuran butir pasir halus hingga sedang dan batubara berwarna hitam pekat dengan struktur *cleat* dan *butt* pada singkapannya. Hasil interpretasi dari pemetaan manual di lapangan ditampilkan dalam peta geologi (Gambar 3).

### Analisis Kinematik

Analisis kinematika menjadi salah satu pendekatan untuk mengidentifikasi jenis dan potensi longsor di PT Mifa Bersaudara dengan memperhatikan bidang diskontinuitas yang ada di tempat tersebut. Data – data pengukuran bidang diskontinuitas kemudian di kumpulkan dan

dianalisis lebih detail dengan proyeksi stereografis (stereonet) (Ibnu dkk., 2017) dalam hal ini penulis menggunakan bantuan *software dips* yang berguna untuk mendeteksi sebaran kekar dan potensi pola longsor yang mungkin terjadi serta presentase kemungkinannya.

Analisis kinematik lereng dilakukan dengan menggunakan metode proyeksi stereografi yang diperkenalkan oleh Hoek & Bray dan Goodman (Ibnu dkk., 2017) Semua informasi geologi yang dikumpulkan di lapangan mencakup arah kemiringan dan bidang kemiringan rekahan, patahan, kekar, dan perlapisan. Data ini akan dipresentasikan dalam proyeksi stereografi untuk kemudian dianalisis guna mengevaluasi tingkat kestabilan lereng dan mengidentifikasi jenis

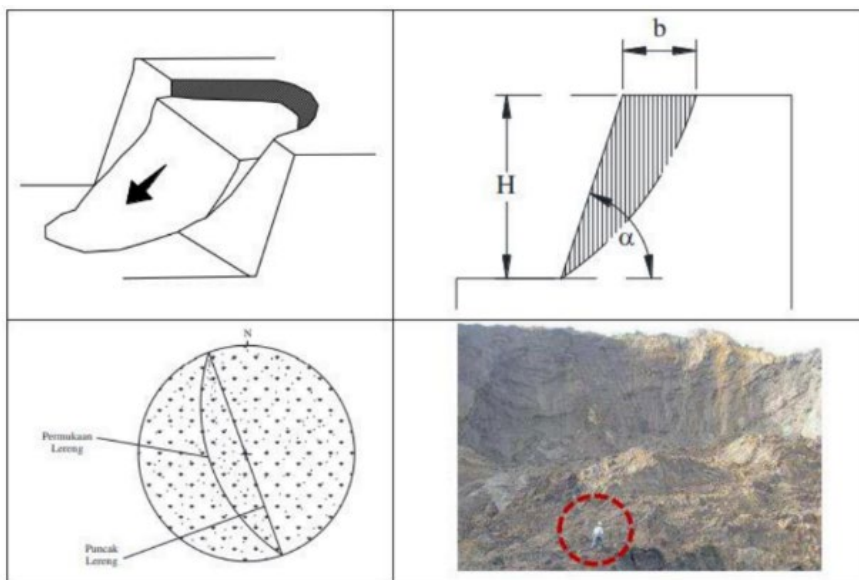
longsoran yang mungkin terjadi. Dari Proyeksi stereografis ada 4 jenis longsoran yang bisa dideteksi yaitu:

*Longsoran Busur*

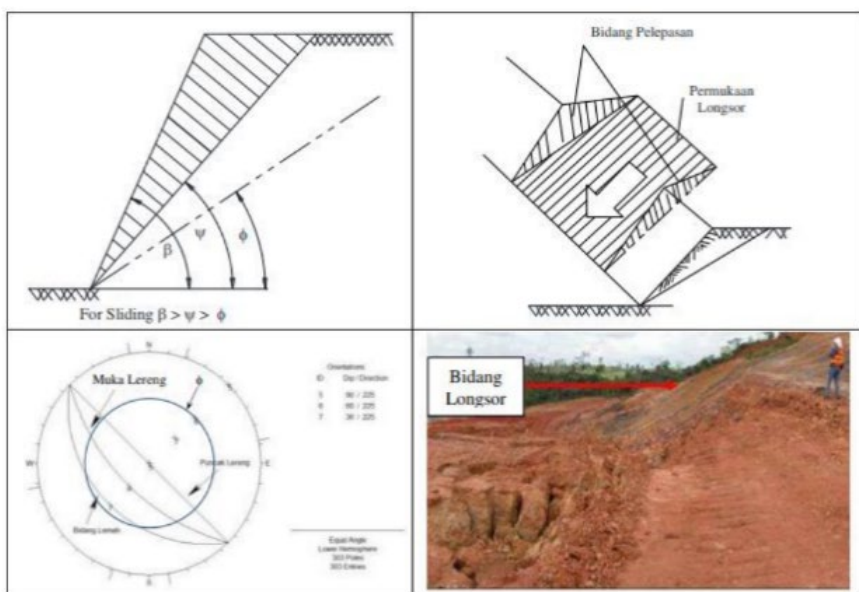
Jenis longsoran ini merupakan yang sering terjadi alam (longsoran tanah yang tipikal). Pada batuan yang keras, longsoran semacam ini hanya mungkin terjadi jika batuan telah mengalami pelapukan dan memiliki bidang-bidang diskontinu yang rapat, atau jika terdapat kelanjutan sepanjang sebagian lereng, yang pada gilirannya dapat menyebabkan terjadinya longsoran (Azizi, 2014) (Gambar 4).

*Longsoran Bidang*

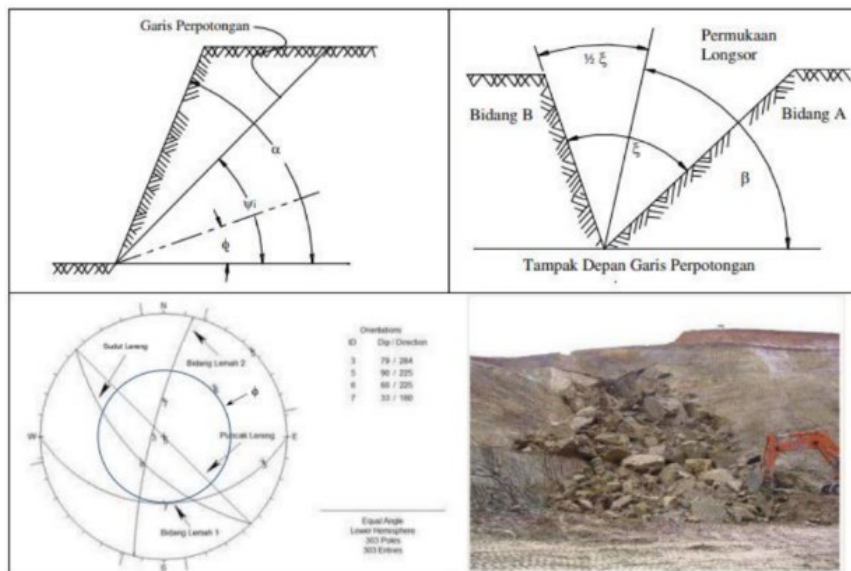
Longsoran jenis ini terjadi pada batuan yang memiliki bidang luncur bebas yang mengarah ke lereng, dan bidang luncurnya terletak pada bidang diskontinu seperti sesar, kekar, liniasi, atau bidang perlapisan (Gambar 5). Kejadian longsoran ini juga dipicu oleh sudut lereng yang lebih besar daripada sudut bidang luncur, dengan sudut geser yang lebih kecil dari sudut bidang luncurnya. Biasanya, longsoran ini terjadi pada permukaan lereng yang cembung, di mana kemiringan bidang kekar rata-rata hampir atau sejajar dengan kemiringan lereng.



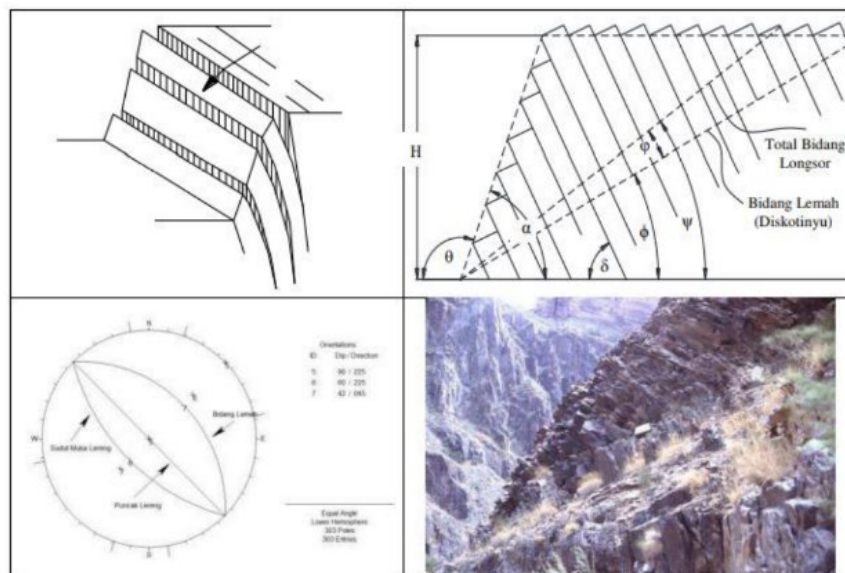
Gambar 4. Longsoran busur (Azizi, 2014)



Gambar 5. Longsoran bidang (Azizi, 2014)



Gambar 6. Longsoran baji (Azizi, 2014)



Gambar 7. Longsoran *toppling* (Azizi, 2014).

### Longsoran Baji

Model longsoran ini hanya mungkin terjadi pada batuan yang memiliki lebih dari satu bidang lemah atau diskontinu yang berpotongan, dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih besar daripada sudut geser di dalamnya. Kejadian yang umumnya terjadi adalah ketika garis perpotongan dua bidang kekar memiliki kemiringan sejajar dengan kemiringan lereng (Gambar 6).

### Longsoran Topling

Longsoran toppling terjadi pada lereng yang curam pada batuan keras dengan bidang-bidang

diskontinu yang hampir tegak atau benar-benar tegak, dan longsoran dapat memiliki bentuk blok atau bertingkat (Gambar 7). Umumnya, longsoran guling terjadi pada lereng curam dan pada batuan keras dengan struktur bidang lemah yang berbentuk kolom. Longsoran guling ini terjadi ketika lereng batuan memiliki kemiringan berlawanan dengan kemiringan bidang lemahnya.

## METODOLOGI

### Pengamatan Lapangan

Langkah awal yang dilakukan adalah pengamatan langsung terhadap lereng yang

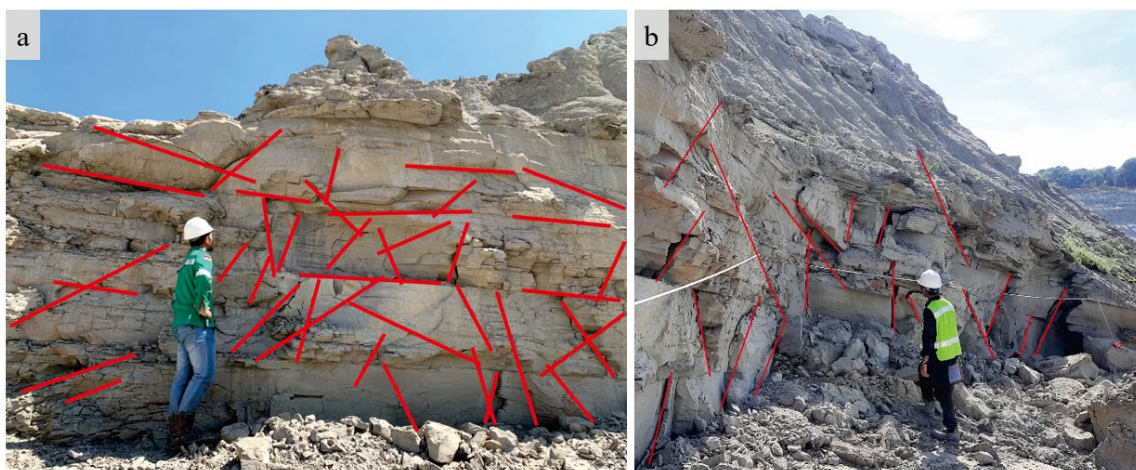
memiliki data diskontinuitas yang kritis. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran langsung yang lebih akurat dan menentukan jumlah kekar maksimal yang akan dijadikan acuan dalam pemetaan.

### Pengambilan Data

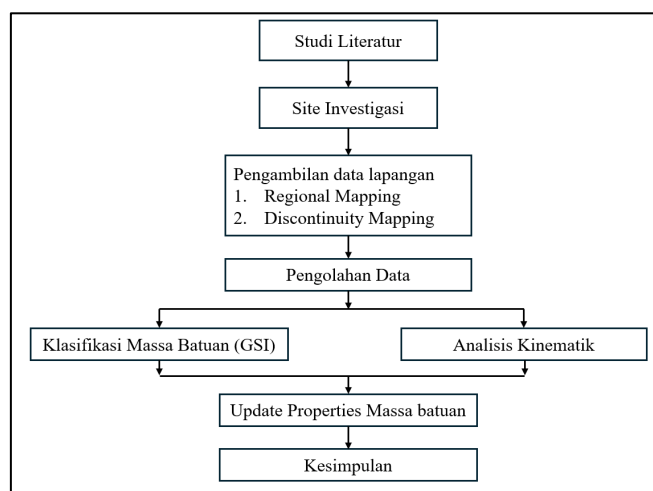
Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode *scanline*, di mana pitapengukuran dibentangkan dengan jarak sekitar 15 hingga 30 m yang memotong arah bidang kekar. Setelah itu menghitung jarak antar kekar, pengisi kekar dan menghitung strike dan dip kekar. Proses ini melibatkan penggunaan kompas geologi, papan tulis, kemudian diambil beberapa data diskontinuitas lainnya yang diperlukan untuk mengelompokkan lereng berdasarkan parameter *Geological Strength Index*. Sebaran pola kekar bisa dilihat pada Gambar 8.

### Pengolahan Data

Dalam proses karakterisasi massa batuan digunakan 2 parameter yaitu struktur rating dan surface condition rating dengan data yang diperoleh dilapangan untuk mengelompokkan kelas massa batuan menggunakan parameter *geological strength index*. Untuk mengetahui potensi longsoran suatu lereng digunakan pendekatan analisis kinematik dengan menggunakan perangkat lunak *Dips*. Perangkat lunak ini digunakan untuk memvisualisasikan lereng dalam bentuk stereonet dengan cara menginput data strike dan dip diskontinuitas yang didapat dilapangan kedalamnya. Dalam memudahkan pemahaman tentang alur metodologi penelitian maka peneliti membuat alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. (a) Pola Sebaran Kekar, (b) *Scanline Mapping*



Gambar 9. Diagram Alir

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi massa batuan di IUP PT Mifa Bersaudara mencakup pemetaan geoteknik pada sembilan lereng atau lokasi terpilih yang paling kritis, mewakili wilayah di IUP PT Mifa Bersaudara. Pemetaan ini dilakukan dengan metode *scanline*, sementara analisis data lereng melibatkan penggunaan parameter (GSI) dan potensi longsoran menggunakan analisis kinematik. Sampel lereng juga dianalisis di Laboratorium Geoteknik PT Mifa Bersaudara, sehingga diperoleh data sikontinuitas, nilai GSI pada Sembilan lereng dan analisis kinematik lereng

### Data Diskontinuitas

#### *Strike dan dip kekar*

Strike diskontinuitas didapat dari pengukuran bidang diskontinuitas di lapangan dengan menggunakan kompas geologi (Gambar 10). Bidang/sisi east kompas ditempelkan pada bidang diskontinuitas sedangkan dip diperoleh dengan menempelkan bidang/sisi west kompas pada bidang diskontinuitas sehingga didapat data srike dan sip dengan penulisan (N 211 E/53°). Tabel data diskontinuitas disajikan pada Gambar 12.

#### *Spasi kekar*

Panjang spasi kekar juga didapat dari lapangan dengan mengukur jarak antara dua kekar yang

terdapat dilapangan. Spasi kekar yang didapat dilapangan bervariasi dengan Panjang 30cm hingga lebih dari 100 cm menyesuaikan dengan orientasi set kekar (Gambar 11).



Gambar 10. (A).Pengukuran *Strike* (B) *Dip*




Gambar 11. Pengukuran spasi kekar



Gambar 12. Rembesan

Tabel 2. Data Diskontinuitas

		FORMULIR				Nomor		: MFA-ENG-XXX-000		
		MAPPING GEOTEKNIK				Tanggal Terbit		: XX-XX-202X		
						Revisi		: 001		
						Halaman		: 1 Dari 1		
Hari/Tanggal	: Kamis, 8 juni 2023				Strike Lereng	: N 90 E				
Kode Bench	: SILTSTONE SEAM C UTARA BAWAH				Dip Lereng	: 77°				
Tinggi Lereng	: Meter				Strike Scanline	: N 255 E				
Panjang Scanline	: 18 Meter				Dip Scanline	: 14°				
User	: Urwatul Wusqa				Koordinat Lokasi	: 194799 E, 466661 N				
Joint Set	Litologi	Spasi (cm)	Strike	Dip	Rembesan	Kondisi Kekar				
						Kekasaran	Persistensi (cm)	Bukaan (cm)	Pelapukan	Pengisi
JS5	Lanau	10	351	57	X	Halus	30	0.1	X	X
JS4	Lanau	20	209	47	X	Halus	60	0.2	X	X
JS5	Lanau	40	302	46	X	Halus	60	0.2	X	X
JS3	Lanau	60	218	45	X	Halus	60	0.1	X	X
JS3	Lanau	65	210	43	X	Halus	60	3	X	X
JS1	Lanau	70	49	87	X	Halus	90	0.1	X	X
JS1	Lanau	140	31	70	X	Halus	60	0.2	X	X
JS1	Lanau	1.5	35	71	X	Halus	60	0.2	X	X
JS5	Lanau	1.6	349	64	X	Halus	100	0.7	X	X
JS5	Lanau	180	306	79	X	Halus	100	0.2	X	X
JS2	Lanau	190	305	78	X	Halus	60	0.1	X	X
JS1	Lanau	210	160	41	X	Halus	60	0.1	X	X
JS1	Lanau	230	234	63	X	Halus	60	0.1	X	X
JS2	Lanau	250	30	90	X	Halus	60	0.3	X	X
JS3	Lanau	270	243	24	X	Halus	70	0.1	X	X
JS2	Lanau	300	140	67	X	Halus	70	0.1	X	X
JS2	Lanau	320	160	51	X	Halus	60	0.1	X	X
JS2	Lanau	370	162	55	X	Halus	60	0.2	X	X
JS2	Lanau	400	146	51	X	Halus	60	8	X	X
JS2	Lanau	430	160	70	X	Halus	30	1	X	X
JS1	Lanau	440	50	76	X	Halus	40	0.2	X	X
JS5	Lanau	450	325	6	X	Halus	100	9	X	X
JS5	Lanau	500	335	6	X	Halus	200	8	X	X
JS3	Lanau	570	180	65	X	Halus	100	3	X	X
JS1	Lanau	580	10	21	X	Halus	100	2	X	X
JS4	Lanau	600	330	90	X	Halus	60	0.1	X	X
JS2	Lanau	650	125	71	X	Halus	90	0.2	X	X
JS2	Lanau	700	151	81	X	Halus	120	0.2	X	X
JS3	Lanau	710	235	11	X	Halus	90	0.2	X	X
JS1	Lanau	740	51	61	X	Halus	60	0.1	X	X
JS5	Lanau	800	349	15	X	Halus	60	0.1	X	X
JS5	Lanau	850	343	14	X	Halus	60	0.1	X	X
JS2	Lanau	880	136	84	X	Halus	30	0.1	X	X
JS2	Lanau	920	132	71	X	Halus	20	0.1	X	X
JS5	Lanau	940	340	6	X	Halus	30	0.1	X	X
JS1	Lanau	970	25	40	X	Halus	40	0.2	X	X
JS1	Lanau	980	23	9	X	Halus	40	0.2	X	X
JS5	Lanau	990	359	9	X	Halus	50	0.2	X	X
JS1	Lanau	1000	40	48	X	Halus	90	0.2	X	X
JS1	Lanau	1030	67	77	X	Halus	100	10	X	X
JS1	Lanau	1040	45	69	X	Halus	30	7	X	X
JS1	Lanau	1060	55	85	X	Halus	90	4.5	X	X
JS1	Lanau	1070	49	9	X	Halus	40	0.3	X	X
JS1	Lanau	1100	24	14	X	Halus	30	0.2	X	X
JS1	Lanau	1110	13	7	X	Halus	40	1	X	X
JS4	Lanau	1150	319	73	X	Halus	50	1	X	X
JS5	Lanau	1200	334	14	X	Halus	50	0.1	X	X
JS5	Lanau	1250	325	10	X	Halus	50	0.2	X	X
JS1	Lanau	1290	50	53	X	Halus	200	5	X	X
JS5	Lanau	1350	355	90	X	Halus	90	0.2	X	X



### *Rembesan*

Rembesan yang dijumpai dilapangan yaitu berupa lereng yang dalam keadaan basah yang dikarenakan adanya air yang mengalir sehingga batuan yang dijumpai dalam kondisi lapuk maupun akan lapuk (Gambar 12).

### *Pengisi Kekar*

Dalam beberapa diskontinuitas atau kekar terdapat ruang atau bukaan kekar yang bervariasi kecil hingga besar sehingga beberapa diskontinuitas atau kekar terdapat pengisi didalamnya berupa batuan dengan litologi yang berbeda-beda, salah satunya batubara (Gambar 13).

### *Kekasaran permukaan lereng*

Kekasaran permukaan kekar berbeda-beda dari yang halus hingga kasar, kekasaran pada permukaan lereng juga dapat dipengaruhi oleh litologi batuan suatu lereng. Lereng dengan litologi batulanau memiliki kekasaran yang lebih halus daripada kekasaran lereng dengan litologi batupasir dan batubara. Indikator penentuan kekerasan permukaan mengacu pada profil JRC (Wyllie dan Mah, 2004).

### *Bukaan kekar*

Bukaan kekar yang didapat dari lapangan memiliki yang sangat bervariasi dari yang sempit hingga sangat lebar. Bukaan kekar dapat mempengaruhi kondisi lereng dikarenakan rembesan air dapat memasuki kekar tersebut (Gambar 14).

### *Persistensi kekar*

Persistensi kekar adalah ukuran seberapa konsisten retakan atau kekar berlanjut dalam batuan. Ini mencerminkan seberapa jauh retakan atau kekar tersebut meluas di lereng batuan. Jika persistensi kekar tinggi, berarti retakan atau kekar tersebut melibatkan area yang lebih besar dan membentuk pola atau jaringan yang luas di dalam batuan. Tingkat persistensi kekar mempengaruhi potensi terjadinya longsor. Semakin tinggi persistensi kekar, semakin besar kemungkinan terjadinya longsor pada suatu daerah (Gambar 15).

### *Pelapukan*

Pelapukan pada lereng terkait dengan infiltrasi air; jika air terus-menerus mengalir atau batuan

memiliki porositas yang buruk, pelapukan dapat terjadi lebih cepat. Berikut ini adalah gambar batuan yang menunjukkan tanda-tanda pelapukan di lapangan (Gambar 16).

### **Nilai GSI**

Nilai Geological Strength Index, diperoleh melalui dua faktor utama, yakni observasi langsung di lapangan dan analisis berdasarkan data diskontinuitas. Estimasi nilai GSI dihitung berdasarkan Grafik GSI menurut Sonmez dan Ulusay (1999), berikut salah satu hasil nilai GSI dari sembilan lereng.



**Gambar 13.** Pengisi kekar



**Gambar 14.** Bukaan Kekar

### Lereng Batupasir Imo

Terdapat 22 retakan yang diidentifikasi pada lereng batupasir imo melalui perhitungan dengan panjang *scanline* sepanjang 14 m. Selanjutnya, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan *Joint volumetric* untuk mendapatkan hasil yang lebih rinci (Sonmez & Ulusay, 1999).

$$J_v = \left(\frac{N}{L}\right)^3$$
$$J_v = \left(\frac{23}{14}\right)^3$$
$$J_v = 4,4 \text{ Joint}/m^3$$



Gambar 15. Persistensi kekar



Gambar 16. Pelapukan pada lereng

Setelah itu, nilai dari *JV* ditandai pada sumbu X, yang merupakan garis horizontal yang menunjukkan total *JV*. Pada Gambar 17, tanda tersebut akan digunakan untuk menilai *Structure Rating* dengan cara menarik garis sehingga ditemukan nilai SR sebesar 70. Selanjutnya, untuk mengevaluasi kondisi SCR, dilakukan pengamatan lapangan vertikal hingga bersinggungan dengan grafik volumetrik, kemudian di tarik ke sumbu Y seperti pada Gambar 18, serta mempertimbangkan tiga parameter utama: kekasaran, pelapukan, dan isian rekahan yang dapat dilihat pada Gambar 19. *Surface Condition Rating*. Pada lereng batupasir imo, tingkat kekasaran diberi bobot 3, menunjukkan kekasaran yang sedikit. Pelapukan pada lereng ini mendapatkan bobot 6, menandakan tidak adanya pelapukan, dan isian rekahan mendapatkan bobot 6 karena tidak ada isian rekahan.

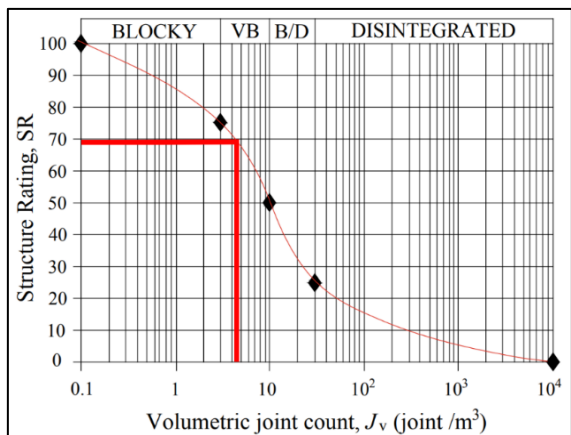
Berdasarkan perhitungan parameter struktur rating dan surface Condition rating, diperoleh nilai geological strength index (GSI) pada Lereng Batupasir Imo diperoleh sekitar 64, seperti yang terlihat pada Gambar 18.

Berdasarkan nilai *Geological Strength Index* (GSI) pada sembilan lereng (Tabel 3), peneliti melakukan pemetaan zonasi kelas massa batuan dalam bentuk peta zonasi kelas massa batuan (Gambar 19). Dari hasil peta zonasi ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Lereng batubara imo, lereng batulanau imo, lereng batupasir motegi *middle*, lereng batulanau moteg *middle*, lereng batulanau motegi *upper*, lereng batulanau seam c, dan lereng batulanau seam b termasuk dalam kelas massa batuan sedang.
2. Lereng batupasir imo dan lereng batupasir seam c masuk dalam kelas massa batuan baik.

### Potensi Longsoran dari Kinematik

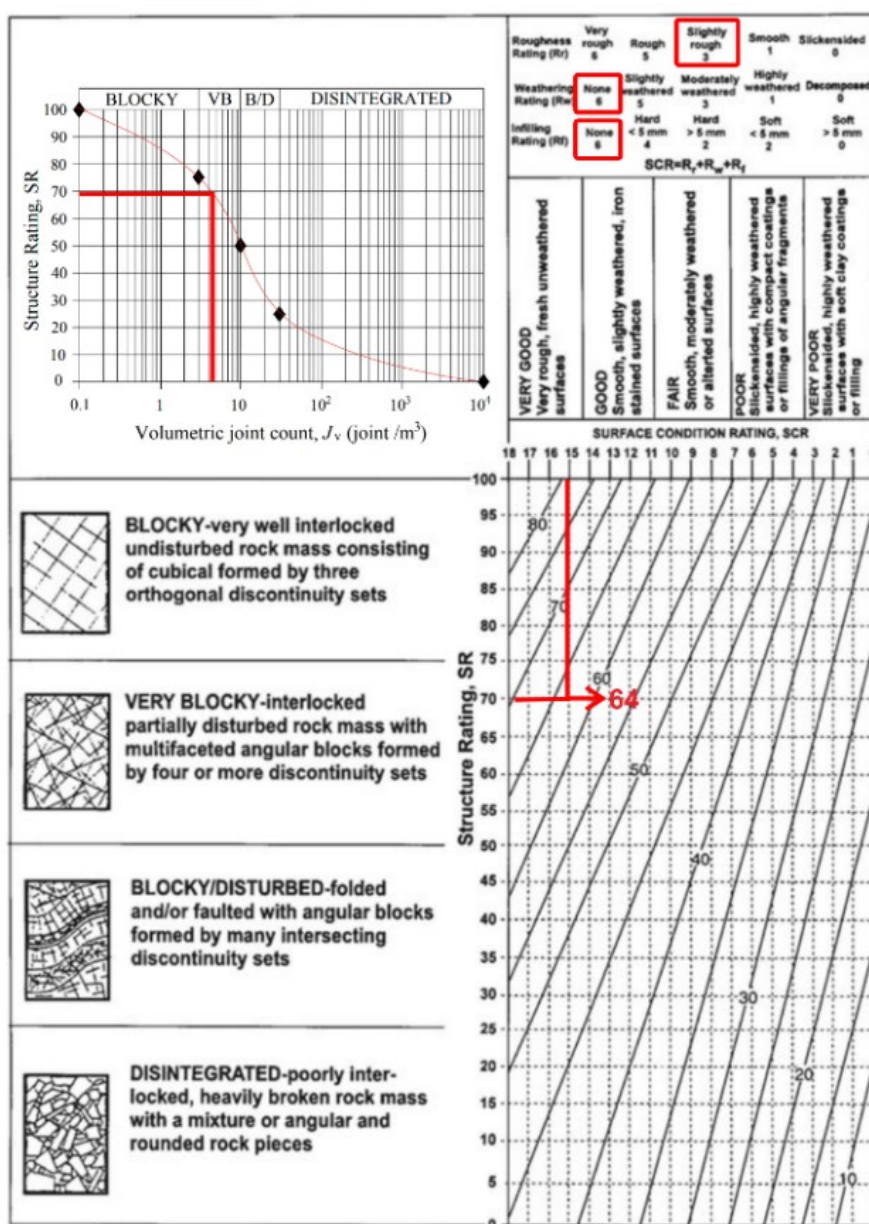
Analisis kinematik dilakukan untuk mengidentifikasi jenis keruntuhan utama dan posisi set joint yang nantinya akan dianalisis lebih lanjut. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak DIPS 6, yang membantu dalam menyusun plot diskontinuitas pada stereonet.



Gambar 17. Structure Rating Lereng batupasir Imo

### Lereng Lanau Motegi

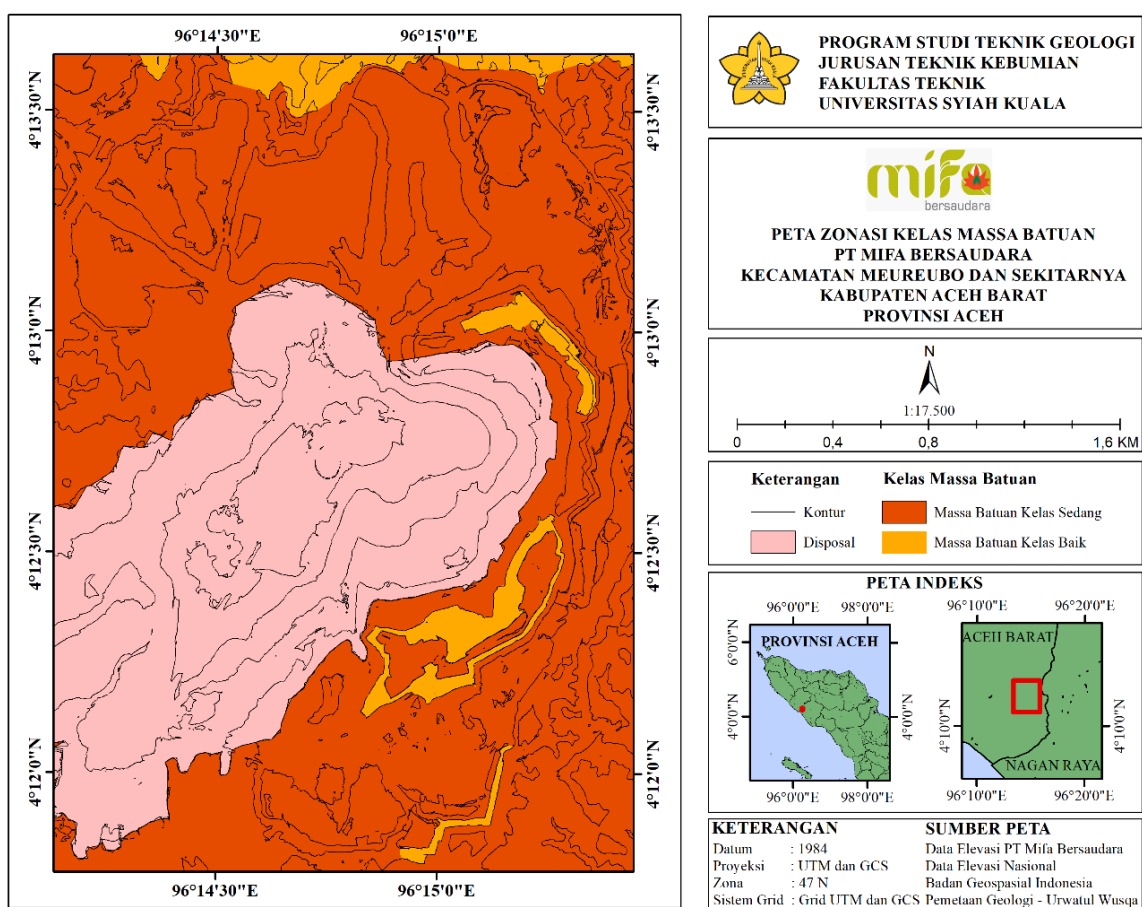
Pada lereng lanau Motegi, dilakukan plotting stereonet berdasarkan 28 data diskontinuitas. Dari persebaran retakan yang diperoleh, diperkirakan bahwa jenis longsor yang mungkin terjadi adalah longsor bidang (Gambar 20). Dengan analisa lanjutan yang ditunjukkan pada Gambar 21, mempertimbangkan kriteria kinematik untuk terjadinya longsor bidang, kondisi di mana kemiringan bidang lemah ( $\Psi=50$ ) harus kurang dari kemiringan lereng ( $\beta=52$ ) seperti pada (Gambar 21).



Gambar 18. Nilai GSI daerah penelitian (grafik Sonmez dan Ulusay, 1999)

Tabel 3. Nilai GSI dari 9 lereng

NO	Lereng	Litologi	Nilai GSI
1	Lereng Imo <i>Upper Seam B</i>	Batupasir	64
2	Lereng Imo <i>Upper Seam B</i>	Batulanau	52
3	Lereng Seam B Imo <i>Middle</i>	Batubara	58
4	Lereng Motegi <i>Middle</i>	Batupasir	53
5	Lereng Motegi <i>Middle</i>	Batulanau	60
6	Lereng Motegi <i>Upper</i>	Batulanau	52
7	Lereng Seam C <i>Bottom</i>	Batupasir	65
8	Lereng Seam C <i>Bottom</i>	Batulanau	44
9	Lereng Seam B <i>Upper</i>	Batulanau	58



Gambar 19. Peta Zonasi Kelas Massa Batuan Berdasarkan Nilai *Geological Strength Index*

### Lereng Lanau Seam C

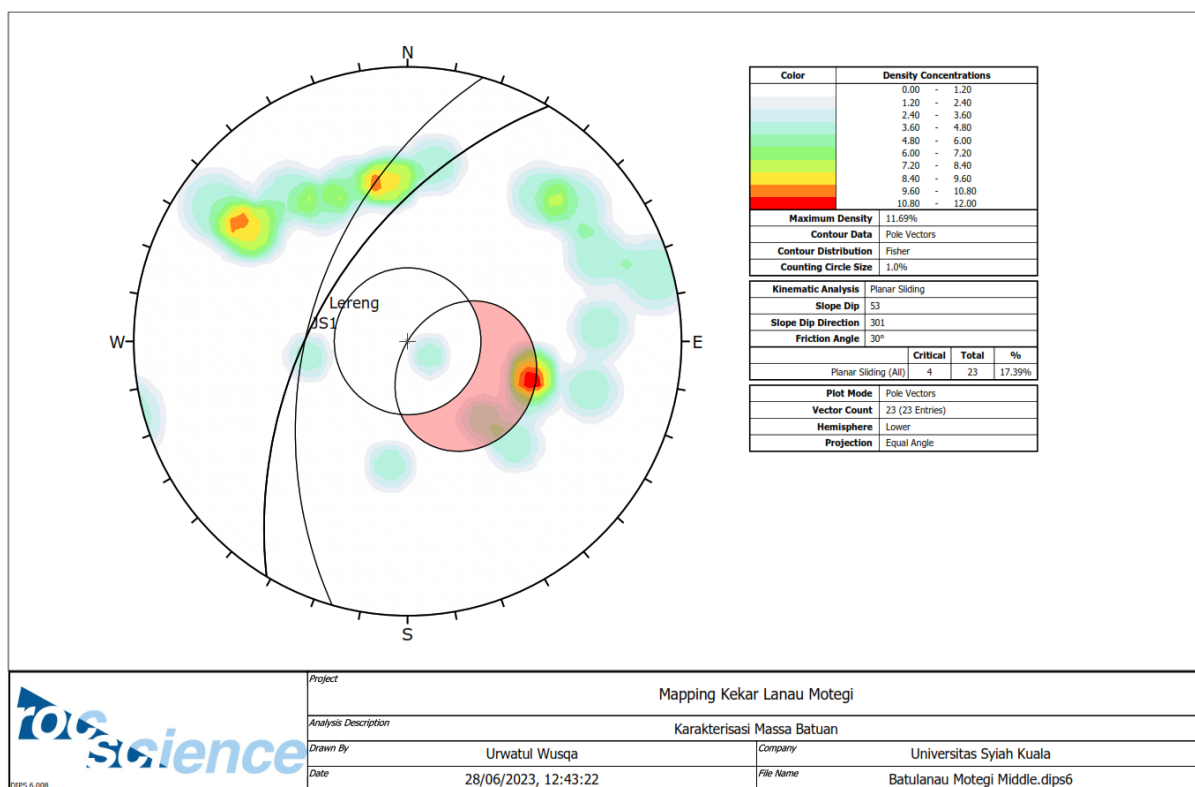
Plotting stereonet dilakukan dengan memperhitungkan data diskontinuitas pada lereng lanau seam c yang berjumlah 73. Dari persebaran retakan yang didapatkan, kemungkinan jenis longsor yang terjadi pada lereng lanau seam c adalah longsor guling langsung (*Direct Toppling*) seperti pada Gambar 22 dengan analisa lanjutan pada Gambar 23.

Didapatkan satu set diskontinuitas (JS1) dengan orientasi N 215° E /46° dan kemiringan bidang lemah  $\psi$  sebesar 46°, serta kemiringan

lereng  $\alpha$  sebesar 77°. Jika mengacu kepada kriteria terjadinya longsor guling, yaitu ( $\psi > 90^\circ + \phi - \alpha$ ) maka nilai 46° lebih besar daripada  $90^\circ + 30^\circ - 77^\circ$ , sehingga longsor guling langsung (*Direct Toppling*) dapat terjadi sesuai dengan syarat analisis kinematik. Hasil analisis kinematik pada lereng Lanau Seam C *Bottom* ditunjukkan pada Gambar 23. Dari analisis kinematik sembilan lereng menggunakan software *dips*, didapat beberapa potensi longsor yang berbeda-beda yang dapat dilihat pada (Tabel 4).



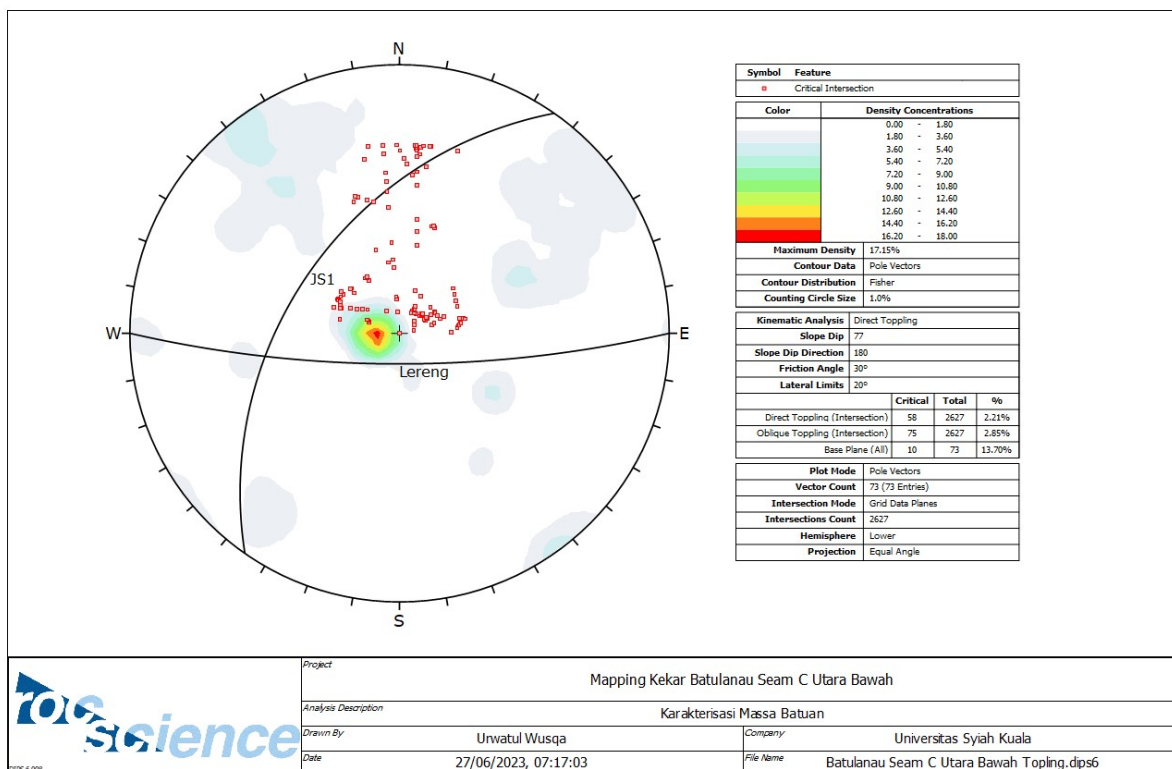
Gambar 20. Potensi Longsoran Bidang



Gambar 21. Analisis Kinematik Lereng lanau Motegi



Gambar 22. Potensi Longsoran *Toppling*



Gambar 23. Analisi Kinematik Lereng Lanau Seam C

**Tabel 4.** Potensi Longsoran dari sembilan lereng

No	Lereng	Potensi Longsor
1	Lereng Imo <i>Upper B</i>	Toppling
2	Lereng Imo <i>Upper B</i>	Baji
3	Lereng Imo <i>Upper B</i>	Toppling
4	Lereng Motegi <i>Middle</i>	Baji
5	Lereng Motegi <i>Middle</i>	Bidang / Planar
6	Lereng Motegi <i>Upper</i>	Baji
7	Lereng Seam C <i>Middle</i>	Baji
8	Lereng Seam C <i>Bottom</i>	Toppling
9	Lereng Seam B <i>Middle</i>	Baji

### KESIMPULAN

Nilai GSI untuk lereng batupasir berada dalam rentang 53-65 (kelas massa batuan sedang), sementara lereng batulanau memiliki nilai GSI antara 44-60 (kelas massa batuan baik), dan lereng batubara memiliki nilai GSI sebesar 58. Sembilan jenis lereng di daerah penelitian menunjukkan potensi terjadinya longsoran *toppling* pada beberapa lereng, seperti lereng imo *upper seam B* batupasir, lereng imo *upper seam B* batubara, dan lereng batulanau *bottom seam c*. Longsoran baji teridentifikasi pada lereng imo batulanau, lereng batupasir motegi *middle*, lereng batulanau motegi *upper*, lereng batupasir seam c, lereng batulanau seam b, sedangkan longsoran bidang terlihat pada lereng batulanau motegi *middle*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan tulus hati, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Mifa Bersaudara, khususnya kepada Departemen Technical Service Engineering. Bantuan dan dukungan yang diberikan oleh tim Anda dalam mengizinkan penelitian di perusahaan tersebut merupakan kontribusi berharga yang sangat kami hargai. Semangat kolaborasi ini memungkinkan kami untuk melaksanakan penelitian dengan lebih baik dan memberikan sumbangan positif dalam pengembangan jurnal ini. Terima kasih atas kerjasama dan dukungan luar biasa dari PT Mifa Bersaudara, semoga kerjasama ini terus berbuah prestasi dan keberlanjutan.

### DAFTAR PUSTAKA

Azizi, M.A. (2014). *Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara Di Indonesia*.

Disertasi. Bandung: Rekayasa Pertambangan FTT Institut Teknologi Bandung.

- Cai, M., Kaiser, P.K., Uno, H., Tasaka, Y., Minami, M. (2004). Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(1), hal.3–19. DOI: doi.org/10.1016/S1365-1609(03)00025-X
- Hoek, E. dan Brown, E.T. (2018). The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(3) DOI: doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001
- Hoek, E., Carter, T.G, Diederichs, M.S. (2013). Quantification of the geological strength index chart. *Proceedings of the 47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*.
- Saptono, S. dan Rezky, D.M. (2023). Application of geological strength index (GSI) quantification method on the characterization of carbonate rock mass. *Journal of Sustainable Mining*, 22(3), hal.227-239. <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1387>
- Sonmez, H. dan Ulusay, R. (1999). Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to the stability of slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, hal. 743–760.
- Spago, A, dan Jovanovski, M. (2019). Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for carbonate rock mass. *In ISRM Specialized Conference and 8th Conference of Croatian Geotechnical Society Geotechnical Challenges in Karst, Split, Croatia* (hal. 395–400).
- Wyllie, D.C. dan Mah, C.W. (2004). *Rock Slope Engineering Civil and Mining (4th ed.)*. London: Spoon Press.
- Zuo, J. dan Jiayi, S. (2020). *The Hoek-Brown Failure criterion – From theory to Application*. Singapore: Springer.