

SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISASI LERENG BATUAN DAN KEMANTAPAN LERENG MENGGUNAKAN METODE *SLOPE MASS RATING* DAN *LIMIT EQUILIBRIUM* DI LERENG *SIDEWALL* UTARA

(Studi Kasus Longsoran Pit Merandai, PT Cipta Kridatama *Site* BBE,
Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur)

Disusun dan diajukan oleh

FAUZAN UMARAH ABDILLAH

D62116505



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISASI LERENG BATUAN DAN KEMANTAPAN
LERENG MENGGUNAKAN METODE *SLOPE MASS RATING*
DAN *LIMIT EQUILIBRIUM* DI LERENG *SIDEWALL* UTARA**

(Studi Kasus Longsor Pit Merandai, PT Cipta Kridatama *Site* BBE,
Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur)

Disusun dan diajukan oleh

FAUZAN UMARAH ABDILLAH

D62116505

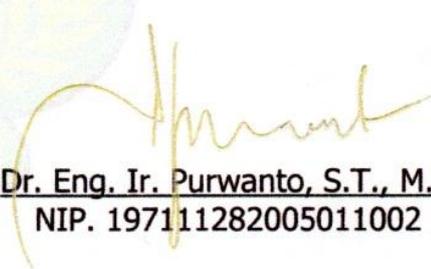
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Desember 2020 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

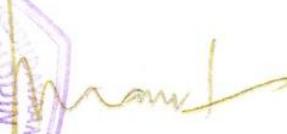
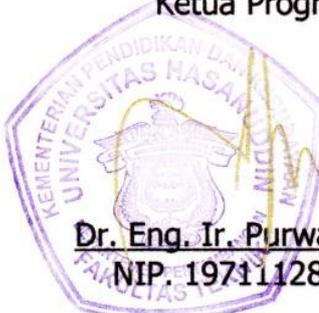
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Ir. H. Djamaluddin, M.T.
NIP. 195604121987031001


Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T.
NIP. 197111282005011002

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T.
NIP. 197111282005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fauzan Umarah Abdillah
NIM : D62116505
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS KARAKTERISASI LERENG BATUAN DAN KEMANTAPAN LERENG
MENGUNAKAN METODE *SLOPE MASS RATING* DAN
LIMIT EQUILIBRIUM DI LERENG *SIDEWALL* UTARA
(Studi Kasus Longsoran Pit Merandai, PT Cipta Kridatama *Site* BBE,
Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur)**

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 28 Desember 2020

Yang menyatakan,



Fauzan Umarah Abdillah

ABSTRAK

PT Cipta Kridatama merupakan salah satu perusahaan penyedia jasa pertambangan di Provinsi Kalimantan Timur yang melakukan aktivitas penambangan lapisan tanah penutup batubara pada area IUPOP (Izin Usaha Penambangan Operasi Produksi) milik PT Bukit Baiduri Energi (BBE). Salah satu lereng pada Pit Merandai PT Cipta Kridatama *Site* BBE yaitu lereng *Sidewall* Utara memiliki potensi kelongsoran tinggi, yang disebabkan oleh *loose material* yang ditempatkan di atas lereng, dan juga getaran oleh aktivitas penambangan yang menimbulkan banyaknya bidang diskontinuitas yang terbentuk pada lereng. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kemantapan lereng, dan potensi arah serta tipe kelongsoran yang dapat terjadi pada lereng *Sidewall* Utara elevasi -10 mdbpl dan 0 m. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Slope Mass Rating* (SMR), *Limit Equilibrium*, dan Kinematika. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai SMR pada elevasi -10 mdbpl yaitu SMR = 53 (kelompok 3, *partially stable*), memiliki nilai faktor keamanan FK = 2,919 dengan potensi terjadinya longsoran bidang pada arah N186°E, sedangkan untuk elevasi 0 m yaitu SMR = 58 (kelompok 3, *partially stable*), memiliki nilai faktor keamanan FK = 2,705 dengan potensi terjadinya longsoran bidang pada arah N182°E. Disimpulkan bahwa lereng *Sidewall* Utara elevasi -10 mdbpl dan 0 m adalah stabil.

Kata Kunci: Kestabilan lereng, lereng, *Slope Mass Rating* (SMR), *Limit Equilibrium*, faktor keamanan, lereng *Sidewall* Utara.

ABSTRACT

PT Cipta Kridatama is one of the mining service provider companies in East Kalimantan Province which conducts coal overburden mining activities in the IUPOP (Production Operations Mining Business License) area of PT Bukit Baiduri Energi (BBE). One of the PT Cipta Kridatama Pit Merandai BBE site slopes, namely the North Sidewall slope, is have a high potential for sliding, which is caused by loose material placed on top of the slope, as well as vibrations by mining activities which cause many discontinuity planes formed on the slope. The purpose of this research is to determine the slope stability, the potential direction, and the type of sliding that can occur on the North Sidewall slope at elevations of -10 mbsl and 0 m. The method used in this research is the Slope Mass Rating (SMR), Limit Equilibrium, and Kinematics methods. Based on the results of the analysis, it was obtained that the SMR value at an elevation of -10 mbsl is $SMR = 53$ (group 3, partially stable), has a factor of safety value of $FK = 2.919$ with the potential for plane sliding towards $N186^{\circ}E$, and for an elevation of 0 m, namely $SMR = 58$ (Group 3, partially stable), has a Factor of Safety value of $FK = 2.705$ with the potential for plane sliding towards $N182^{\circ}E$. It can be concluded that the North Sidewall slope at elevation -10 mbsl and 0 m is stable.

Keywords: Slope stability, slope, Slope Mass Rating (SMR), Limit Equilibrium, factor of safety, North Sidewall slope.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang diberi judul "Analisis Kemantapan Lereng Menggunakan Metode *Slope Mass Rating* (SMR) dan *Limit Equilibrium* pada Lereng *Sidewall* Utara (Studi Kasus Longsoran Pit Merandai, PT Cipta Kridatama *Site* BBE, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur)" tanpa ada halangan yang memberatkan.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Andi Mangkona selaku Direktur Operasional PT CK yang telah memperlancar proses penelitian di perusahaan, Bapak Sukri selaku Project Manager PT CK-BBE, Bapak Dodi Suryanto selaku Pembimbing Satu dan kepada Bapak Aris Setiawan selaku Pembimbing Dua di perusahaan selama proses penelitian berlangsung yang telah memberikan banyak arahan selama proses pengambilan data sampai dengan pengolahan data dan juga kepada staf PT CK-BBE yang telah membantu penulis selama kegiatan penelitian berlangsung.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. H. Djamaluddin, M.T. selaku Pembimbing Satu dalam penyusunan skripsi ini, dan Bapak Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T., IPM selaku Pembimbing Dua dalam penyusunan skripsi ini yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan arahan, saran, dan masukan kepada penulis dalam menyusun dan menyelesaikan laporan penelitian ini.

Terima kasih penulis ucapkan kepada teman-teman ROCKBOLT 2016 (Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2016), kepada Ainul Yaqin, Muh. Safaruddin Iqbal, Joshua Mozes A. Souhoka, dan semua orang yang telah terlibat dalam penyusunan skripsi ini yang telah memberikan doa, dukungan, serta bantuan dalam proses pengerjaannya.

Terima kasih penulis ucapkan kepada ayah saya Drs. Irfan Nur, ibu saya Siti Aisyah, saudara, dan keluarga yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dan dorongan selama proses pengambilan data, penulisan, dan penyusunan skripsi ini.

Harapan penulis sebagai penyusun, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam menambah pengetahuan bagi pembaca.

Makassar, 4 November 2020

Fauzan Umarah Abdillah
NIM: D62116505

DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan Keaslian.....	iii
Abstrak.....	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Lampiran	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	4
1.5.1 Persiapan.....	4
1.5.2 Pengambilan data.....	4
1.5.3 Pengolahan dan analisis data.....	5
1.6 Lokasi Penelitian	5
BAB II Kestabilan Lereng.....	6
2.1 Lereng	6
2.2 Longsoran	9
2.3 Jenis-Jenis Longsoran.....	10

	Halaman
2.3.1 Longsoran Bidang (<i>Plane Failure</i>)	11
2.3.2 Longsoran Baji (<i>Wedge Failure</i>).....	11
2.3.3 Longsoran Busur (<i>Circular Failure</i>).....	12
2.3.4 Longsoran Guling (<i>Toppling Failure</i>).....	13
2.4 Struktur Geologi.....	13
2.4.1 Massa Batuan	13
2.4.2 Bidang Diskontinuitas	14
2.5 Klasifikasi Massa Batuan	17
2.5.1 <i>Rock Mass Rating</i> (RMR).....	18
2.5.2 <i>Slope Mass Rating</i> (SMR).....	23
2.5.3 <i>Geological Strenght Index</i> (GSI)	25
2.6 Analisis Kinematika.....	26
2.6.1 Orientasi Struktur Geologi	28
2.6.2 Orientasi Lereng.....	28
2.6.3 Sudut Gesek Dalam Batuan	29
2.7 Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown	29
2.8 <i>Limit Equilibrium</i>	32
2.9 Konsep Probabilitas Kelongsoran	34
BAB III Metode Penelitian.....	34
3.1 Persiapan	35
3.2 Pengambilan Data.....	35
3.2.1 Data Primer	35
3.2.2 Data Sekunder	36
3.3 Pengolahan dan Analisis Data	36
3.3.1 Analisis <i>Rock Mass Rating</i> (RMR).....	38

	Halaman
3.3.2 Analisis <i>Geological Strenght Index</i> (GSI).....	38
3.3.3 Analisis Sudut Gesek Dalam	39
3.3.4 Analisis Kinematika.....	41
3.3.5 Analisis <i>Slope Mass Rating</i> (SMR)	42
3.3.6 Analisis <i>Limit Equilibrium</i>	44
BAB IV Analisis Kemantapan Lereng <i>Sidewall</i> Utara	44
4.1 Kondisi Lokasi Penelitian.....	45
4.2 Analisis <i>Rock Mass Rating</i> (RMR)	45
4.1.1 RMR pada Elevasi -10 mdbpl	50
4.1.2 RMR pada Elevasi 0 m.....	54
4.3 Analisis <i>Geological Strenght Index</i> dan Penentuan Sudut Gesek Dalam ..	54
4.3.1 GSI pada Elevasi -10 mdbpl.....	54
4.3.2 GSI pada Elevasi 0 m.....	55
4.3.3 Sudut gesek dalam pada elevasi -10 mdbpl	55
4.3.4 Sudut gesek dalam pada elevasi 0 m.....	56
4.4 Analisis Kinematika (<i>software</i> Dips V6.0).....	56
4.4.1 Analisis Kinematika pada Elevasi -10 mdbpl	57
4.4.2 Analisis Kinematika pada Elevasi 0 m	58
4.5 Analisis <i>Slope Mass Rating</i> (SMR)	58
4.5.1 SMR pada elevasi -10 mdbpl.....	61
4.5.2 SMR pada elevasi 0 m.....	63
4.6 Kestabilan Lereng <i>Sidewall</i> Utara Pit Merandai (<i>Limit Equilibrium</i>)	63
4.6.1 Data material isian lereng <i>Sidewall</i> Utara.....	64
4.6.2 Kestabilan lereng pada Elevasi -10 mdbpl.....	64
4.6.3 Kestabilan lereng pada Elevasi 0 m	66

	Halaman
BAB V Penutup	66
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran	67
Daftar Pustaka	68
Lampiran	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Longsorán Bidang (Hoek, 1981)	11
2.2 Longsorán Baji (Hoek, 1981)	12
2.3 Longsorán Busur (Hoek, 1981)	12
2.4 Longsorán Guling (Hoek, 1981)	13
2.5 Karakteristik Bidang Diskontinuitas Batuan (ISRM, 1981 dalam Singh and Goel, 2011)	17
2.6 <i>Geological Strength Index</i> (Hoek and brown, 1980)	26
2.7 Diagram kontur dari data bidang diskontinuitas (Aksoy and Ercanoglu, 2007)	28
3.1 Tampilan <i>software</i> Roclab V1.0	40
3.2 Penentuan Arah longsorán Dips V6.0	41
3.3 Diagram alir penelitian.....	45
4.1 Lokasi penelitian lereng <i>Sidewall</i> Utara.	46
4.2 kegiatan pengukuran jarak diskontinuitas.....	48
4.3 Pengukuran dan pengamatan kondisi bidang diskontinuitas	49
4.4 Kondisi air tanah pada elevasi -10 mdbpl	50
4.5 kondisi air tanah pada elevasi 0 m.....	53
4.6 Nilai sudut gesek dalam pada elevasi -10 mdbpl	57
4.7 Nilai sudut gesek dalam pada elevasi 0 m	58
4.8 Analisis Kinematika pada elevasi -10 mdbpl	59
4.9 Analisis Kinematika pada elevasi 0 m	60
4.10 Kestabilan lereng pada Elevasi -10 mdbpl	66
4.11 Kestabilan lereng pada Elevasi 0 m	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)	19
2.2 Klasifikasi Kuat Massa Batuan (Hoek, 1981)	19
2.3 Hubungan RQD dengan Kualitas Batuan (Deere and Deere, 1967)	20
2.4 Klasifikasi Persistensi Kekar (Bieniawski, 1989)	22
2.5 Tingkat Pelapukan (Bieniawski, 1989)	22
2.6 Kondisi Air Tanah (Bieniawski, 1989)	23
2.7 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985)	24
2.8 Nilai Pembobotan Untuk Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985)	25
2.9 Nilai Pembobotan Massa Lereng SMR (Romana, 1985)	25
2.10 Rekomendasi jenis perkuatan untuk setiap kelas SMR (Romana, 1985)	25
2.11 Nilai Faktor D (Hoek and Brown, 1980)	30
2.12 Nilai Faktor Mi (Hoek and Brown, 1980)	30
3.1 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989)	38
3.2 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989)	39
3.3 Klasifikasi massa batuan RMR (Bieniawski, 1989)	39
3.4 Pembobotan Nilai D (Hoek and Brown, 1981)	40
3.5 Nilai Pembobotan Massa Batuan SMR (Romana, 1985)	42
3.6 Nilai Pembobotan Untuk Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985)	43
3.7 Nilai Pembobotan Massa Lereng SMR (Romana, 1985)	43
3.8 Rekomendaji Jenis Perkuatan Untuk Setiap Kelas SMR (Romana, 1985)	43
4.1 Tabel Klasifikasi Massa Batuan Hoek-Brown (1981) elevasi -10 mdbpl	50
4.2 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989) elevasi -10 mdbpl.....	51
4.3 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989) elevasi -10 mdbpl.....	51

Tabel	Halaman
4.4 Klasifikasi Massa Batuan RMR(Bieniawski, 1989)	52
4.5 Tabel Klasifikasi Massa Batuan Hoek-Brown (1981) elevasi 0 m.....	54
4.6 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989) elevasi 0 m.....	55
4.7 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989) elevasi 0 m.....	55
4.8 Klasifikasi Massa Batuan RMR(Bieniawski, 1989)	56
4.9 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl	62
4.10 Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl.....	63
4.11 Massa Lereng SMR (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl	63
4.12 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985) elevasi 0 m.....	64
4.13 Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985) elevasi 0 m	64
4.14 Nilai Pembobotan Massa Lereng SMR (Romana, 1985) elevasi 0 m	65
4.15 Material isian lereng <i>Sidewall</i> Utara.....	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Data pengukuran orientasi kekar	72
B. Data pengamatan kondisi kekar	75
C. Tabel input material lereng <i>Sidewall</i> Utara	77
D. Peta zonasi gempa di Indonesia.....	78
E. Peta lokasi penelitian	79
F. Peta <i>section</i>	80
G. Dokumentasi lapangan.....	81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Geoteknik tambang pada operasional penambangan batubara sangat penting dan sangat diperlukan untuk menjamin terciptanya operasional penambangan yang aman, lancar, serta ekonomis. Kestabilan lereng merupakan aspek yang sangat penting bagi perusahaan tambang untuk mengejar dan meningkatkan target produksi dengan melakukan pelebaran serta pendalaman penggalian yang menyebabkan resiko terhadap faktor keamanan dan kestabilan lereng meningkat. Kestabilan lereng menjadi hal yang sangat penting diperhatikan karena berhubungan dengan aspek keselamatan pekerja dan peralatan yang berada di bawah lereng penambangan serta operasional penambangan.

PT Cipta Kridatama merupakan perusahaan kontraktor penyedia jasa pertambangan di Provinsi Kalimantan Timur yang melakukan kegiatan penambangan milik PT Bukit Baiduri Energi (BBE) yang terdapat di Desa Loa Duri Ulu, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur dengan menambang batubara. Selama beberapa bulan terakhir pada Pit Merandai telah terjadi beberapa longsor lereng terutama pada lereng *Sidewall* Utara, yang mengakibatkan terganggunya proses penambangan dan juga kerugian dari beberapa aspek.

Aktivitas penambangan pada tambang terbuka selalu berhubungan dengan peledakan (*blasting*), penggalian (*loading*), pengangkutan (*hauling*), dan penimbunan (*dumping*) yang menimbulkan getaran sehingga dapat mengganggu kestabilan lereng yang menyebabkan batuan dapat runtuh. Selain aktivitas penambangan, ketidakstabilan lereng dapat disebabkan juga oleh kondisi struktur geologi, arah

diskontinuitas pada batuan seperti kekar (*joint*), rekahan (*fracture*), bidang perlapisan (*plane*), sesar (*fault*) dan jenis-jenis retakan lain pada batuan, sifat-sifat fisik dan mekanis batuan pembentuk lereng, tekanan air tanah, beban di atas lereng, dan geometri lereng.

Lereng *Sidewall* Utara PT Cipta Kridatama *Site* BBE merupakan lereng yang sementara tidak aktif dalam penggalian dan peledakannya. Bagian atas lereng dijadikan tempat penyimpanan *loose material* dari proses pembongkaran dan peledakan material yang ditambang sehingga menyebabkan munculnya banyak bidang-bidang diskontinuitas pada muka lereng dan diprediksi dapat mengalami longsor. Longsoran umumnya terjadi jika lereng sudah tidak mampu menahan berat lapisan material di atasnya karena ada penambahan beban pada permukaan lereng dan berkurangnya daya ikat antara butiran penyusun lereng (Handayani dkk, 2014)

Letak posisi lereng *Sidewall* Utara berada di atas jalur *hauling* batubara dan *overburden*. Dalam menjaga keselamatan kerja dan menghindari timbulnya kerugian untuk pekerja dan perusahaan, analisis terhadap lereng *sidewall* sangat diperlukan. Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) merupakan salah satu metode perhitungan untuk mengetahui karakterisasi lereng batuan. Nilai SMR didapatkan dari hasil pembobotan *Rock Mass Rating* (RMR) yang kemudian dijadikan acuan dalam pembobotan SMR sesuai parameter-parameter SMR (Romana, 1985), sedangkan klasifikasi *Limit Equilibrium* merupakan salah satu metode untuk menentukan tingkat kestabilan lereng tambang, menggunakan metode irisan pada lereng yang berpotensi longsor dan menunjukkan nilai faktor keamanan suatu lereng.

Menanggapi permasalahan atau kekhawatiran perusahaan terhadap lereng *Sidewall* Utara Pit Merandai PT Cipta Kridatama *site* BBE, dianggap perlu untuk melakukan analisis lanjut terhadap kestabilan lereng *Sidewall* Utara. Oleh sebab itu, dibuat penelitian dengan judul "Analisis Karakterisasi Lereng Batuan dan Kemantapan

Lereng Menggunakan Metode *Slope Mass Rating* dan *Limit Equilibrium* di Lereng *Sidewall Utara*” dalam upaya menghindari potensi bahaya yang dapat terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Penempatan *loose material* di atas lereng *Sidewall Utara* dan pengaruh getaran yang ditimbulkan oleh aktivitas penambangan dan faktor *seismik* menimbulkan banyaknya bidang diskontinuitas yang terbentuk di lereng *Sidewall Utara* yang memengaruhi tingkat kestabilan lereng sehingga menimbulkan kondisi tidak aman dan dianggap berpotensi terjadinya kelongsoran.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis potensi arah dan tipe longsoran pada lereng *Sidewall Utara* menggunakan analisis Kinematika;
2. Menganalisis karakterisasi lereng batuan berdasarkan nilai SMR pada lereng *Sidewall Utara*;
3. Menganalisis nilai faktor keamanan dari lereng *Sidewall Utara* menggunakan metode *Limit Equilibrium*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah untuk memberikan informasi dan data terkait klasifikasi massa batuan, potensi arah dan jenis longsoran, tingkat kestabilan lereng secara analitik, nilai faktor keamanan lereng *Sidewall Utara* kepada PT Cipta Kridatama *site* BBE. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam upaya meningkatkan stabilitas lereng guna mencegah terjadinya longsor di lokasi penambangan, dapat menambah wawasan penulis dalam ilmu geoteknik

pertambahan, dan dapat memberikan perkembangan ilmu pertambahan dan ilmu pengetahuan dan teknologi.

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan sehingga diperoleh pendekatan penyelesaian masalah. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu:

1.5.1 Persiapan

Tahapan persiapan dibagi menjadi beberapa tahapan, antara lain:

A. Administrasi

Pengurusan segala keperluan administrasi dan perizinan yang terkait dengan kegiatan penelitian kepada pihak-pihak yang terkait.

B. Perumusan masalah

Perumusan masalah dibuat untuk menentukan permasalahan-permasalahan dan batasan-batasan yang akan dibahas dalam penelitian. Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini mengenai bagaimana karakterisasi lereng batuan dan tingkat kestabilan lereng *sidewall*.

C. Studi pustaka

Studi Pustaka dilakukan untuk mempersiapkan teori-teori penelitian secara umum, yaitu dengan mengkaji buku-buku, jurnal-jurnal, maupun jenis literatur lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian yaitu kestabilan lereng tambang.

1.5.2 Pengambilan data

Kegiatan pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data yang mendukung penelitian dan untuk mengamati kondisi umum daerah penelitian. Secara umum pengambilan data dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dengan pengambilan data langsung di lapangan

dengan seizin pihak perusahaan, sedangkan data sekunder diperoleh dari perusahaan atau hasil penelitian terdahulu.

1.5.3 Pengolahan dan analisis data

Pengolahan data dilakukan untuk menghitung dan mengkaji data-data yang telah didapatkan untuk kemudian dapat dianalisis. Analisis data dilakukan untuk menyelesaikan masalah dan dalam penarikan kesimpulan dari permasalahan yang ada. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Kinematika *software* Dips V6.0 dalam memprediksi arah dan jenis longsoran yang akan terjadi, metode *Slope Mass Rating* (SMR) dalam penentuan karakterisasi lereng batuan, dan menggunakan *software* Slide v6.0 dalam analisis *Limit Equilibrium*.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada wilayah penambangan Pit Merandai PT Cipta Kridatama *site* BBE, dimana secara astronomis, koordinat PT Cipta Kridatama *site* BBE berada pada garis bujur $0^{\circ}56'1''S$, dan garis lintang $117^{\circ}47''E$. Secara administratif lokasi penambangan berada di Desa Loa Duri Ulu, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Perjalanan dari Bandar Udara Sultan Hasanuddin menggunakan pesawat terbang menempuh waktu kurang lebih 50 menit untuk sampai ke Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggian Balikpapan. Sementara perjalanan dari bandara menuju ke mess perusahaan menggunakan mobil menempuh waktu kurang lebih 3 jam, sedangkan perjalanan dari mess menuju ke kantor PT Cipta Kridatama *Site* BBE menggunakan bus menempuh waktu kurang lebih 30 menit. Perjalanan untuk menuju ke lokasi penelitian, dapat ditempuh menggunakan mobil *Light Vehicle Mine* dengan waktu kurang lebih 10 menit sejauh 1 kilometer dari kantor. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran I.

BAB II

KESTABILAN LERENG

2.1 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya, lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain, galian dan timbunan, tanggul dan dinding tambang terbuka (Arief, 2007).

2.1.1 Faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan lereng

Terjadinya suatu longsoran lereng tambang yang dimulai dengan longsoran yang kecil yang kemudian menjadi besar sehingga menimbulkan masalah pada operasi penambangan (Seegmilier, 1972). Ada dua penyebab terjadinya longsoran, yaitu (Terzaghi, 1950):

1. Penyebab eksternal, menyebabkan naiknya gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh, antara lain:
 - a. Perubahan geometri lereng;
 - b. Beban dinamik karena *dump truck* (*traffic loading*);
 - c. Gaya vibrasi yang ditimbulkan oleh gempa bumi atau ledakan;
 - d. Penurunan muka air tanah secara mendadak.
2. Penyebab internal, menyebabkan turunnya kekuatan geser material, antara lain:
 - a. Pelapukan;
 - b. Keruntuhan progresif;
 - c. Hilangnya sementasi material;

d. Berubahnya struktur material.

Sejumlah penyebab baik internal maupun eksternal yang dapat menyebabkan naiknya gaya geser sepanjang bidang runtuh ataupun menyebabkan turunnya kekuatan geser material, bahkan kedua hal tersebut juga dapat dipengaruhi secara bersamaan (Varnes, 1978).

Terdapatnya sejumlah tipe longsoran menunjukkan beragamnya kondisi yang dapat menyebabkan lereng menjadi tidak stabil dan proses-proses yang memicu terjadinya longsoran. Stabilitas lereng pada lereng batuan selalu dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu (Rai, 1995):

A. Penyebaran batuan

Macam batuan atau tanah yang terdapat di daerah penyelidikan harus diketahui, demikian juga penyebaran serta hubungan antar batuan. Hal ini perlu diketahui karena sifat-sifat fisik dan mekanis suatu batuan berbeda dengan batuan lain sehingga kekuatan menahan bebannya juga berbeda.

B. Relief permukaan bumi

Faktor ini memengaruhi laju erosi dan pengendapan serta menentukan arah aliran air permukaan dan air tanah. Hal ini disebabkan karena untuk daerah yang curam, kecepatan aliran air permukaan tinggi dan mengakibatkan pengikisan lebih intensif dibandingkan pada daerah yang landai, karena erosi yang intensif banyak dijumpai singkapan batuan menyebabkan pelapukan yang lebih cepat. Batuan yang lapuk mempunyai kekuatan yang rendah sehingga kemantapan lereng menjadi berkurang.

C. Geometri lereng

Geometri lereng mencakup tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat memengaruhi kemantapannya.

Semakin besar kemiringan dan tinggi suatu lereng maka kemantapannya semakin kecil.

D. Muka air tanah

Muka air tanah menjadikan lereng sebagian besar basah dan batuan memiliki kandungan air yang tinggi, sehingga menyebabkan kekuatan batuan menjadi rendah dan lereng lebih mudah longsor.

E. Orientasi bidang lemah (diskontinuitas) terhadap orientasi lereng

Struktur batuan yang sangat memengaruhi kemantapan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Oleh karena itu perlu diperhatikan dalam analisa adalah struktur regional dan lokal. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air sehingga batuan menjadi lebih mudah longsor. Dalam mendesain lereng perlu mempertimbangkan arah atau orientasi bidang lemah tersebut. Dalam istilah struktur geologi terdapat dua macam diskontinuitas, yaitu:

a. *Major discountinuity*, seperti sesar (patahan).

b. *Minor discountinuity*, seperti kekar dan bidang perlapisan.

Adanya bidang-bidang lemah ini yang mempunyai arah atau orientasi, panjang, spasi dan kekuatan dari material pengisinya akan menentukan model dari potensial longsoran yang terjadi.

F. Iklim

Iklim memengaruhi temperatur dan jumlah hujan, sehingga berpengaruh pula pada proses pelapukan. Daerah tropis yang panas, lembab dengan curah hujan tinggi akan menyebabkan proses pelapukan batuan jauh lebih cepat dari pada daerah sub-tropis. Karena itu ketebalan tanah di daerah tropis lebih tebal dan kekuatannya lebih rendah dari batuan induknya.

G. Tingkat pelapukan

Tingkat pelapukan memengaruhi sifat-sifat asli dari batuan, misalnya nilai kohesi, besarnya sudut gesek dalam, bobot isi, dan lain-lain. Semakin tinggi tingkat pelapukan maka kekuatan batuan akan menurun.

H. Aktivitas manusia

Selain faktor alamiah, manusia juga memberikan andil yang tidak kecil, misalnya suatu lereng yang awalnya stabil karena manusia menebangi pohon pelindung, pengolahan tanah yang tidak baik, saluran air yang tidak baik, penggalian atau tambang, dan lainnya menyebabkan lereng tersebut menjadi tidak stabil, sehingga erosi dan longsoran mudah terjadi.

I. Sifat fisik dan mekanis batuan

Sifat fisik batuan yang memengaruhi kemantapan lereng yaitu, bobot isi (*density*), porositas dan kandungan air, sedangkan untuk sifat mekanis batuan yaitu, kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kohesi dan sudut gesek dalam yang semuanya memengaruhi kestabilan lereng.

2.2 Longsoran

Longsoran adalah pergerakan masa tanah atau batuan sepanjang bidang gelincir atau suatu permukaan bidang geser. Menurut Cruden (1991) longsoran (*landslide*) adalah pergerakan massa batuan, tanah atau bahan rombakan material penyusun lereng. Selain itu Varnes (1978) mengusulkan terminologi gerakan lereng (*slope movement*) yang dianggap lebih tepat untuk mendefinisikan longsoran, yaitu sebagai gerakan material penyusun lereng ke arah bawah atau keluar lereng di bawah pengaruh gravitasi bumi. Jenis longsoran dapat dikelompokkan menjadi enam kelompok, yaitu jatuhan, robohan, longsoran, pancaran lateral, aliran dan kombinasi

(Varnes, 1978). Penyebab longsorannya diantaranya yaitu (Highway Research Board, 1978):

1. Berkurangnya kekuatan geser material pembentuk lereng akibat:
 - a. Erosi, baik yang disebabkan oleh aliran sungai, hujan maupun suhu;
 - b. Pergerakan alami dari lereng akibat pergeseran bidang longsor;
 - c. Aktivitas manusia, antara lain :
 - a) Penggalian dasar lereng;
 - b) Pengrusakan struktur penahan tanah;
 - c) Penggundulan tanaman pada lereng.
2. Bertambahnya tegangan geser pada lereng akibat:
 - a. Kondisi alam;
 - b. Aktivitas manusia;
 - c. Gempa atau sumber getaran lainnya;
 - d. Pemindahan material di sekeliling dasar material longsor;
 - e. Timbulnya tekanan tanah lateral,

2.3 Jenis-jenis Longsoran

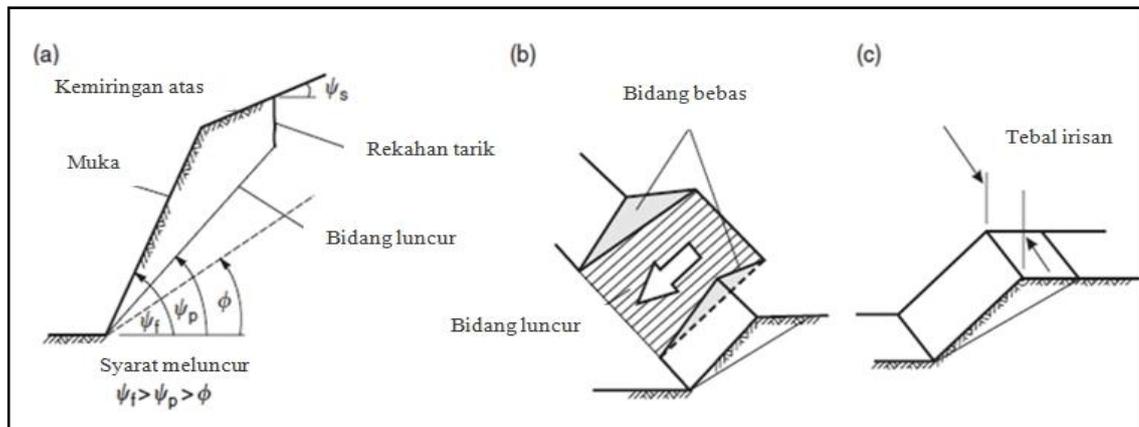
Tipe longsorannya atau *landslide* mengandung pengertian luas, maka istilah *slides* digunakan pada longsorannya gelincir yang terdiri dari atas luncuran atau *slide* (longsorannya gelincir translasional) dan kemerosotan atau *slump* (longsorannya gelincir rotasional) (zakaria, 2009).

Kekuatan material dapat menghasilkan lereng yang besar menjadi stabil, tetapi jika lereng tersebut memiliki bidang-bidang diskontinuitas, maka bidang tersebut penting untuk diperhatikan (Senruni, 2016). Menurut Hoek dan Bray (1981) terdapat beberapa jenis longsorannya umum yang terjadi di tambang terbuka, yaitu longsorannya

bidang (*plane failure*), longsoraji (*wedge failure*), longsoraji guling (*toppling failure*), dan longsoraji busur (*circular failure*).

2.3.1 Longsoraji Bidang (*Plane Failure*)

Longsoraji bidang merupakan suatu longsoraji batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa sesar/patahan, kekar (*joint*) maupun bidang perlapisan batuan.



Gambar 2.1 Longsoraji Bidang (Hoek, 1981)

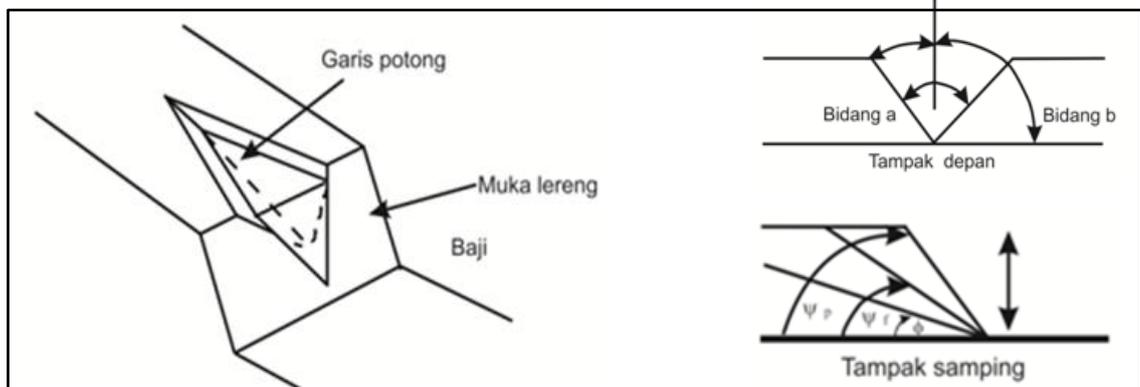
Longsoraji jenis ini akan terjadi jika kondisi di bawah ini terpenuhi (Hoek, 1981):

- Strike bidang luncur mendekati paralel terhadap strike permukaan lereng
- Kemiringan bidang luncur (ψ_p) harus lebih kecil daripada kemiringan permukaan lereng (ψ_f)
- Kemiringan bidang luncur (ψ_p) harus lebih besar daripada sudut gesek dalam (ϕ)
- Terdapat bidang bebas yang merupakan batas lateral dari massa batuan atau tanah yang longsor.

2.3.2 Longsoraji Baji (*Wedge Failure*)

Longsoraji baji dapat terjadi pada suatu batuan jika terdapat lebih dari satu bidang lemah yang bebas dan saling berpotongan dengan arah orientasi bidang lemah

searah lereng. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut gesek dalam batuan.



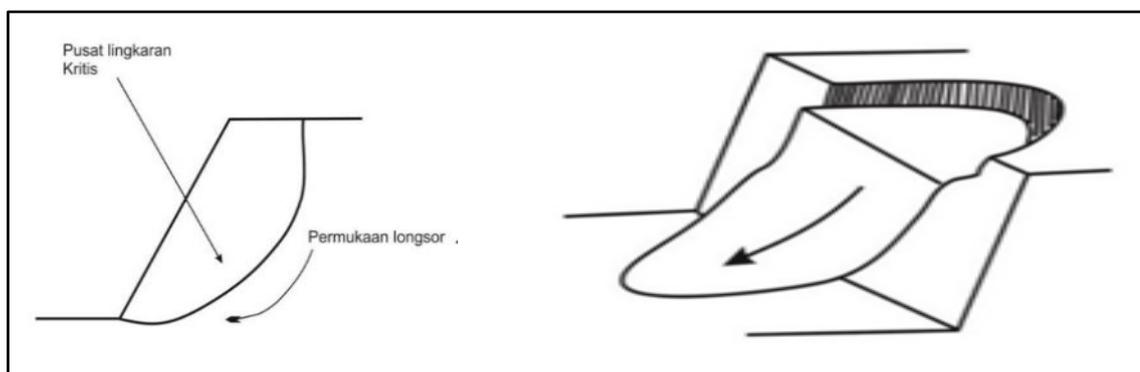
Gambar 2.2 Longsor Baji (Hoek, 1981)

Longsoran jenis ini akan terjadi jika kondisi di bawah ini terpenuhi (Hoek, 1981):

- a. Kemiringan lereng (ϕ_f) harus lebih besar daripada kemiringan garis potong kedua bidang lemah (ϕ_p)
- b. Sudut garis potong kedua bidang lemah (ϕ_p) harus lebih besar daripada sudut gesek dalamnya (θ)

2.3.3 Longsor Busur (*Circular Failure*)

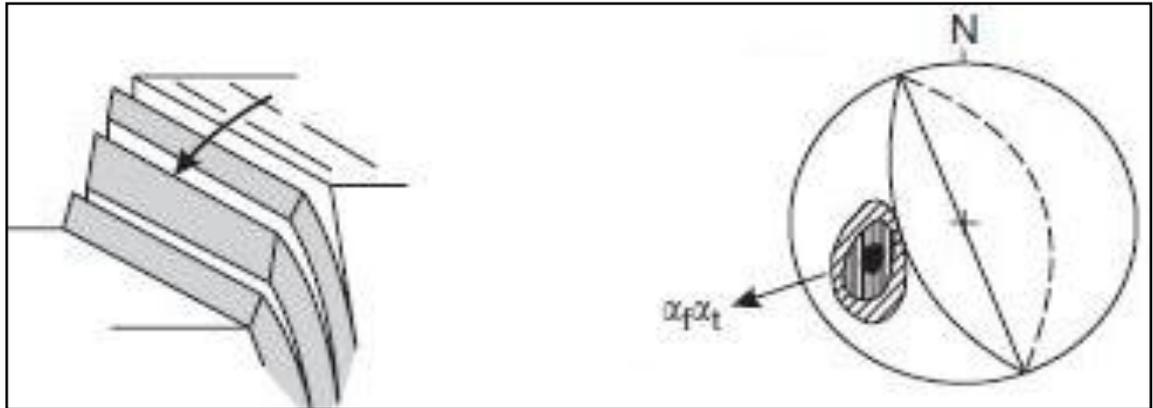
Longsor busur hanya terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah. Longsor busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat lapuk serta banyak mengandung bidang lemah (*lose material*).



Gambar 2.3 Longsor Busur (Hoek, 1981)

2.3.4 Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

Longsoran guling dapat terjadi apabila orientasi bidang lemah yang dominan berlawanan terhadap kemiringan lereng. Keadaan tersebut dapat digambarkan dengan balok-balok yang diletakkan di atas sebuah bidang miring.



Gambar 2.4 Longsoran Guling (Hoek, 1981)

2.4 Struktur Geologi

2.4.1 Massa Batuan

Menurut Palmstorm (2001), Konsep massa batuan yang idealnya merupakan susunan dari sistem blok-blok dan fragmen-fragmen batuan yang dipisahkan oleh bidang-bidang diskontinuitas yang masing-masing saling bergantung sebagai sebuah kesatuan unit. Adanya bidang diskontinuitas ini membedakan kekuatan massa batuan dengan kekuatan batuan utuh atau *intact rock*. Massa batuan akan memiliki kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan batuan utuh. Variasi yang besar dalam hal komposisi dan struktur dari batuan serta sifat dan keberadaan bidang diskontinuitas yang memotong batuan akan membawa komposisi dan struktur yang kompleks terhadap suatu massa batuan. Melakukan tes insitu pada suatu massa batuan akan menghasilkan variasi yang luar biasa dari sifat mekanik yang terdapat dalam satu massa batuan dari satu tempat ketempat lainnya. Kurang tersedianya data geologi untuk pengkarakterisasian dari suatu lokasi batuan akan memberikan halangan utama

terhadap proses desain, konstruksi dan operasi penggalian batuan. Pengembangan dari metode dan teknik pengkarakterisasian suatu lokasi batuan, serta interpretasi data adalah hal yang dibutuhkan, bukan hanya untuk penggalian batuan dalam ukuran besar tapi untuk seluruh bentuk dari rekayasa batuan.

2.4.2 Bidang Diskontinuitas

Secara umum bidang diskontinuitas dapat dibedakan berdasarkan proses pembentukannya, yaitu akibat dari aktivitas alamiah ataupun antropogenik. Contohnya pada aktivitas alamiah adalah peristiwa geologi dapat berupa tektonik yang menghasilkan suatu bidang lemah (kekar, sesar, lipatan, foliasi), dan pada proses yang terjadi secara antropogenik, contohnya adalah akibat dari aktivitas pengeboran, penambangan, peledakan, dll. Bidang diskontinuitas yang terdapat pada batuan akan memengaruhi nilai kekuatan batuan. Semakin banyak suatu batuan yang memiliki bidang diskontinuitasnya, maka kekuatan batuannya akan semakin rendah, hal tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk dan ukuran, serta meningkatkan permeabilitas pada batuan tersebut. Hal tersebut berlaku untuk yang sebaliknya. Menurut Priest (1993), bidang diskontinuitas adalah setiap bidang lemah yang terjadi pada bagian yang memiliki kuat tarik paling lemah dalam batuan. Menurut Gabrielsen (1990), keterjadian bidang diskontinuitas tidak terlepas dari masalah perubahan tegangan (*stress*), temperatur, regangan (*strain*), mineralisasi dan rekristalisasi yang terjadi dalam waktu yang panjang. Beberapa macam bidang diskontinuitas yang digolongkan berdasarkan ukuran dan komposisi bidang diskontinuitas adalah sebagai berikut:

A. *Fault*

Fault atau patahan adalah bidang diskontinuitas yang secara jelas memperlihatkan tanda-tanda bidang tersebut mengalami pergerakan. Tanda-tanda tersebut diantaranya adalah adanya zona hancuran seperti *slickenside*,

offset dari litologi, ataupun striasi yang terdapat disepanjang bidang *fault*. *Fault* dikenal sebagai *weakness zone* karena akan memberikan pengaruh pada kestabilan massa batuan dalam wilayah yang luas.

B. *Joint*

Menurut Price (1966), *joint* atau kekar adalah retakan pada batuan yang tidak menunjukkan tanda-tanda pergerakan, atau meskipun mengalami pergerakan tetapi sangat kecil sehingga bisa diabaikan. *Joint* berdasarkan lokasi keterjadiannya dapat dikelompokkan menjadi :

- a. *Foliation joint* adalah bidang diskontinuitas yang terbentuk disepanjang bidang foliasi pada batuan metamorf.
- b. *Bedding joint* adalah bidang diskontinuitas yang terbentuk disepanjang bidang perlapisan pada batuan sedimen.
- c. *Tectonic joint* adalah bidang diskontinuitas yang terbentuk karena tegangan tarik yang terjadi pada proses pengangkatan atau tegangan lateral, atau efek dari tekanan tektonik regional. Kekar tektonik pada umumnya mempunyai permukaan datar (*planar*), kasar (*rough*) dengan satu atau dua *joint set*.

C. *Fracture*

Fracture atau retak adalah bidang diskontinuitas pada batuan yang terbentuk karena adanya proses perlipatan dan patahan yang intensif (Bates and Jackson, 1980). *Fracture* adalah istilah umum yang dipakai dalam geologi untuk semua bidang diskontinuitas. Namun istilah ini jarang dipakai untuk kepentingan yang berhubungan dengan *rock engineering* dan *geology*.

D. *Crack*

Crack adalah bidang diskontinuitas yang berukuran kecil atau tidak menerus. Namun dibebberapa *rock mechanic engineer* menggunakan istilah *fracture* dan

crack untuk menjelaskan pecahan atau *crack* yang terjadi pada saat pengujian batuan, peledakan dan untuk menjelaskan mekanisme pecahnya batuan.

E. *Rupture*

Rupture adalah pecahan atau bidang diskontinuitas yang terjadi karena proses ekskavasi atau pekerjaan manusia yang lain.

F. *Fissure*

Ada banyak ahli yang menjelaskan pengertian *fissure*, salah satunya adalah menurut Fookes dan Dennes (1969) yang mendefinisikan *fissure* sebagai bidang diskontinuitas yang membagi suatu material utuh tanpa memisahkannya menjadi bagian terpisah.

G. *Bedding*

Bedding merupakan istilah untuk bidang perlapisan pada batuan sedimen. *Bedding* terdapat pada permukaan batuan yang mengalami perubahan ukuran dan orientasi butir dari batuan tersebut serta perubahan mineralogi yang terjadi selama proses pembentukan batuan sedimen.

H. *Seam*

Seam merupakan sesar kecil atau zona alterasi yang berada di sepanjang bidang lemah. Bisa juga terdapat pada bidang perlapisan batubara dengan lapisan-lapisan yang berbeda dan mudah terpisahkan.

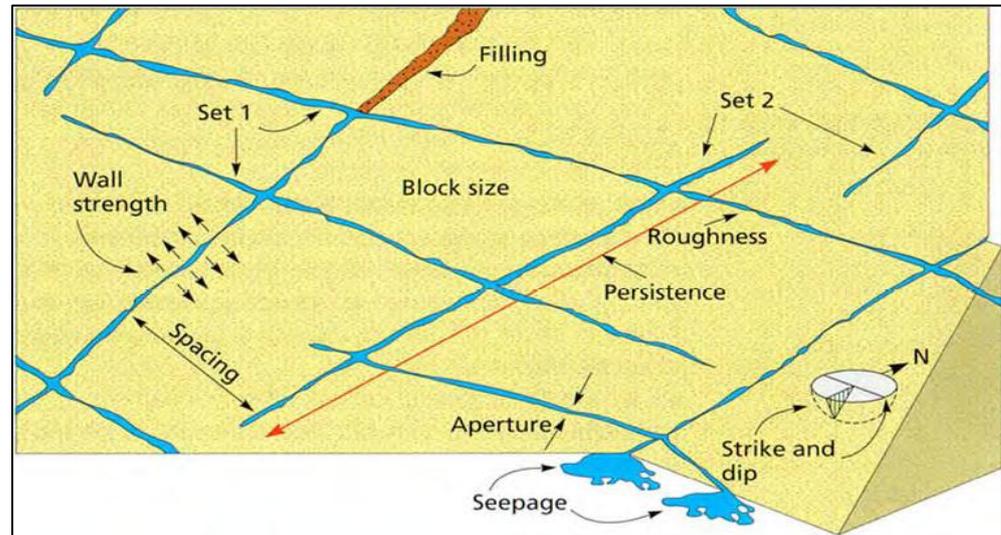
I. Bidang Perlapisan

Bidang perlapisan Merupakan bidang pada batuan sedimen dimana terjadi perubahan komposisi mineralogi yang terjadi pada saat pembentukan batuan.

J. *Shear*

Shear adalah bidang pergeseran yang berisi material hancuran akibat tergerus oleh pergerakan kedua sisi massa batuan dengan ukuran celah yang lebih lebar

dari kekar. Ketebalan material hancuran yang berupa batu atau tanah ini bervariasi dari ukuran beberapa millimeter sampai meter.



Gambar 2.5 Karakteristik Bidang Diskontinuitas Batuan (ISRM, 1981 dalam Singh and Goel, 2011)

2.5 Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan digunakan sebagai alat dalam menganalisis kemantapan lereng yang menghubungkan antara pengalaman di bidang massa batuan dengan kebutuhan pemantapan di berbagai kondisi lapangan yang dibutuhkan. Namun, penggunaan klasifikasi massa batuan tidak digunakan sebagai pengganti perancangan rinci. Pada dasarnya pembuatan klasifikasi massa batuan bertujuan (Bieniawski, 1989):

- Mengidentifikasi parameter-parameter penting yang memengaruhi perilaku massa batuan;
- Membagi formasi massa batuan kedalam grup yang mempunyai perilaku sama menjadi kelas massa batuan. Memberikan dasar-dasar untuk pengertian karakteristik dari setiap kelas massa batuan;
- Menghubungkan kondisi massa batuan di satu lokasi dengan lokasi lainnya;
- Mengambil atau memberikan dasar umum.

Agar dapat dipergunakan dengan baik dan cepat maka klasifikasi massa batuan harus mempunyai beberapa sifat seperti berikut (Bieniawski, 1989) :

- a. Sederhana, mudah diingat dan dimengerti;
- b. Sifat-sifat massa batuan yang penting harus disertakan;
- c. Parameter dapat diukur dengan mudah
- d. Pembobotan dilakukan secara relatif;
- e. Menyediakan data-data kuantitatif.

2.5.1 *Rock Mass Rating* (RMR)

Rock Mass Rating (RMR) adalah sistem klasifikasi geomekanik oleh Bieniawski pada tahun 1973 yang pertama kali mengembangkan sistem *Rock Mass Rating* (RMR) berdasarkan pengalaman dalam terowongan dangkal di batuan sedimen di South African Council of Scientific and Industrial Research (CSIR). Selama bertahun-tahun, RMR telah disempurnakan karena lebih banyak catatan kasus telah diperiksa (Zhang, et al 2019). Sistem ini telah diterapkan pada *tunneling*, penambangan, lereng dan fondasi batuan, dan merupakan cara yang sederhana, murah, dan dapat direproduksi untuk menentukan kualitas batuan. Sistem RMR terdiri dari enam parameter yang meliputi kekuatan tekan uniaksial dari material batuan, *Rock Quality Designation* (RQD), jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, kondisi air tanah, dan orientasi diskontinuitas dengan setiap parameter memiliki masing-masing bobot (lihat Tabel 2.1). Persamaan RMR dapat dilihat pada Persamaan 2.1

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + B \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana: A1 = Nilai UCS

A4 = Kondisi bidang diskontinuitas

A2 = Nilai RQD

A5 = Kondisi air tanah

A3 = Jarak antar spasi diskontinuitas

B = Orientasi bidang kekar

Tabel 2.1 Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)

No	Parameter	Pembobotan						
1	<i>Point-Load Strength Index</i> (MPa)	> 10	4-10	2-4	1-2			
	<i>Uniaxial Compressive Strength</i> (MPa)	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	
	Bobot	15	12	7	4	2	1	
2	RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Bobot	20	17	13	8	3		
3	Jarak Diskontinuitas (m)	>2	0.6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06		
	Bobot	20	15	10	8	5		
	Kondisi Diskontinuitas Kemenerusan Kekar (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20		
	Bobot	6	4	2	1	0		
	Bukaan Kekar (cm)	Tidak Ada	<0,1	0,1-1,0	1-5	>5		
	Bobot	6	5	4	1	0		
4	Kekerasan Kekar	Sangat Kasar	Kasar	Sedikit Kasar	Halus	<i>Slickensided</i>		
	Bobot	6	5	3	1	0		
	Material Pengisi (mm)	Tidak Ada	keras <5	keras >5	lunak <5	lunak >5		
	Bobot	6	4	2	2	0		
	Pelapukan	Tidak Lapuk	Sedikit Lapuk	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur		
	Bobot	6	5	3	1	0		
5	Kondisi Air Tanah	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
	Bobot	15	10	7	4	0		

2.5.1.1 Kuat Tekan Batuan (σ_c) (A1)

Ahli geologi menggunakan uji laboratorium atau palu geologi untuk memukul permukaan lapisan batuan yang terbuka. Reaksi batuan dibobotkan sesuai dengan kekuatan dalam *Megapascal* (MPa) menggunakan alat UCS dan dapat diklasifikasikan menggunakan klasifikasi kuat massa batuan oleh Hoek-Brown (1981) untuk memberi kisaran nilai kuat tekan batuan di lapangan menggunakan palu geologi (lihat Tabel 2.2) (Beemer and Worrells, 2017).

2.5.1.2 *Rock Quality Designation (RQD)* (A2)

RQD dikembangkan pada tahun 1964 oleh D.U. Deere (1964). RQD digunakan sebagai salah satu parameter untuk mendeskripsi massa batuan secara kuantitatif.

RQD merupakan parameter yang dapat menunjukkan kualitas massa batuan sebelum penggalian dilakukan. RQD juga dapat dihitung secara tidak langsung dengan melakukan pengukuran orientasi dan jarak antar diskontinuitas pada singkapan batuan. Perhitungan RQD biasa didapat dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan (baik lapisan batuan maupun kekar atau sesar). Hubungan antara RQD dengan kualitas batuan yang dikemukakan oleh *Deere* (1967), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Klasifikasi Kuat Massa Batuan (Hoek, 1981)

UCS (MPa)	Kualitas Massa Batuan	Contoh Jenis Batuan
0.25 - 1	Sangat Lemah Sekali (<i>Extremely Low</i>)	Dapat dihancurkan dengan mudah menggunakan tangan, mendekati <i>soil</i> .
1 - 5	Lemah Sekali (<i>Very Low</i>)	Mudah dihancurkan dengan ujung palu geologi, dapat dikupas dengan pisau, material seukuran 30 mm dapat dipatahkan dengan tekanan jari.
5 - 25	Lemah (<i>Low</i>)	Mudah dihancurkan dengan palu, dapat melengkung 1-3 mm saat ditumbuk. Dalam bentuk <i>core</i> (panjang 150 mm dan diameter 50 mm) dapat dipatahkan dengan tangan. Jika dipukul dengan palu suaranya melenting.
25 - 50	Medium (<i>Medium</i>)	Mudah dibaret dengan pisau, dalam bentuk <i>core</i> (panjang 150 mm dan diameter 50 mm) bisa namun sangat sulit untuk dipatahkan dengan tangan.
> 200	Kuat (<i>High</i>)	Dalam bentuk <i>core</i> (panjang 150 mm dan diameter 50 mm) tidak dapat dipatahkan dengan tangan tetapi dengan sekali pukulan palu geologi.
50 - 100	Sangat Kuat (<i>Very High</i>)	Sampel dapat dihancurkan dengan lebih dari satu kali <i>blow</i> , jika dipukul dengan palu akan berdenting.
100 - 250	Sangat Kuat Sekali (<i>Extremely High</i>)	Butuh banyak pukulan palu geologi untuk menghancurkannya, suara pukulan berdenting.

Tabel 2.3 Hubungan RQD dengan Kualitas Batuan (Deere and Deere, 1967)

RQD	Kualitas Batuan
< 25	Sangat Jelek
25-50	Jelek
50-75	Sedang
75-90	Baik
90-100	Sangat Baik

Ketika tidak ada data lubang bor tersedia maka dapat menggunakan data garis pemindaian (*scanline data*) untuk memperkirakan RQD, Persamaan Priest dan Hudson dapat digunakan (Tomas et al, 2007):

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0,1\lambda + 1) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

λ = jumlah total kekar per panjang *scanline*.

2.5.1.3 Jarak Diskontinuitas (A3)

Ahli geologi menentukan jarak diskontinuitas menggunakan pita pengukur dan penggaris untuk mengukur jarak antara diskontinuitas yang saling berdekatan dalam satu *cell* sejajar dengan arah normal atau tegak lurus bidang diskontinuitas, sehingga pengukuran dilakukan dalam set yang sama pada singkapan batuan. Diskontinuitas dapat berupa perubahan karakteristik fisik atau kimia dalam lapisan batuan, misalnya lapisan, flotasi, sambungan, pembelahan, fraktur, celah, retakan, atau bidang patahan (Beemer and Worrells, 2017).

RMR menentukan *rating* berdasarkan jarak antar kekar yang paling dominan (Goodman, 1989). Batas terbesar dari jarak antar kekar yang dipakai dalam RMR yaitu >2 m dengan *rating* 20, sedangkan batas terendah <60 mm dengan rating 5. Keterdapatannya di alam biasanya terdiri dari beberapa *set* kekar, sehingga agak sulit dalam menentukan jarak antar kekar. Jika hal ini terjadi maka diambil kondisi yang paling dominan atau beberapa model kekar tersebut tetap diukur jaraknya dan dirata-ratakan. Sen dan Eissa (1991) mendefinisikan spasi kekar sebagai suatu panjang utuh pada suatu selang pengamatan.

2.5.1.4 Kondisi Bidang Diskontinuitas (A5)

Dalam pembobotan kondisi bidang diskontinuitas, dibagi menjadi 5, yaitu:

A. Kemenerusan Bidang Diskontinuitas (*Persistence*)

Kemenerusan Bidang Diskontinuitas ditentukan dengan mengamati dan mengukur panjang dari bidang kekar di massa batuan. Klasifikasi persistensi kekar menurut Bieniawski (1989) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

B. Lebar Bukaannya/Celah (*Aperture*)

Merupakan jarak tegak lurus antar dinding batuan yang berdekatan pada bidang diskontinuitas. Celah tersebut dapat berisi material pengisi (*infilling*) atau tidak (Singh, 2011).

C. Kekasaran (*Roughness*)

Kekasaran merupakan parameter penting dari kondisi ketidakmenerusan. Kekasaran didefinisikan sebagai tingkat kekasaran di permukaan bidang kekar, berfungsi sebagai pengunci antar blok atau mencegah pergeseran sepanjang permukaan kekar (Singh and Goel, 2011).

D. Material Pengisi

Material pengisi didefinisikan sebagai material yang mengisi kekar. Keberadaan material pengisi ini akan memengaruhi kekuatan massa batuan (Singh and Goel, 2011).

E. Pelapukan Pada Batuan (*Weathering*)

Tabel 2.5 Tingkat Pelapukan (Bieniawski, 1989)

Jenis	Definisi
Segar	Tidak ada tanda-tanda pelapukan, warna tidak berubah pada permukaan diskontinuitas, batuan segar.
Pelapukan Sedikit	Sedikit ada tanda-tanda pelapukan dan terdapat sedikit perubahan warna.
Pelapukan Sedang	Kurang dari setengah batuan mengalami pembusukan atau penghancuran menjadi tanah dan terdapat perubahan warna.
Pelapukan Tinggi	Lebih dari setengah batuan mengalami pembusukan atau penghancuran menjadi tanah dan terdapat perubahan warna.
Pelapukan Sangat Tinggi	Semua batuan mengalami pembusukan atau penghancuran menjadi tanah.

Tabel 2.4 Klasifikasi Persistensi Kekar (Bieniawski, 1989)

Deskripsi	Panjang Persistensi
Sangat rendah	< 1 m
Rendah	1-3 m
Sedang	3-10 m
Tinggi	10-20 m
Sangat tinggi	>20 m

2.5.1.5 Kondisi Air Tanah (*Groundwater*) (A5)

Ahli geologi menentukan kondisi air tanah berdasarkan apakah singkapan batuan memiliki kandungan air yang dapat digolongkan menjadi benar-benar kering, basah, basah, menetes, dan mengalir, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6 (Beemer and Worrells, 2017).

Tabel 2.6 Kondisi Air Tanah (Bieniawski, 1989)

Kondisi Air Tanah	Flow (L/min)	Rating
Kering (<i>dry</i>)	Tidak ada aliran	15
Lembab (<i>damp</i>)	< 10	10
Basah (<i>wet</i>)	10 – 25	7
Menetes (<i>dripping</i>)	25 – 125	4
Mengalir (<i>flowing</i>)	> 125	0

2.5.2 *Slope Mass Rating* (SMR)

Romana (1985) memperkenalkan suatu penyesuaian pada konsep *Rock Mass Rating* (RMR) khusus untuk lereng yang dikenal dengan *Slope Mass Rating* (SMR). *Slope Mass Rating* (SMR) adalah klasifikasi geomekanis yang umum digunakan untuk karakterisasi lereng batuan. SMR dihitung dengan menambah indeks *Rock Mass Rating* (RMR), dihitung dengan nilai-nilai karakteristik dari massa batuan, beberapa faktor koreksi tergantung dari paralelisme diskontinuitas-kemiringan, kemiringan diskontinuitas, kemiringan relatif antara diskontinuitas dan kemiringan, serta metode penggalian yang digunakan (Tomas et al, 2012).

$$SMR = RMR_{(1989)} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

F₁= rata-rata *strike* dari *joint* dikurangi *strike* lereng.

F₂= rata-rata *dip* bidang diskontinuitas.

F₃= rata-rata *dip* bidang diskontinuitas dikurangi sudut *dip* lereng.

F₄= metode ekskavasi yang digunakan dalam proses pembentukan lereng

Untuk setiap kriteria faktor koreksi F1, F2, dan F3, Romana membagi nilai besaran faktor koreksi yang dipakai kedalam dua jenis kasus longsor yaitu kasus untuk jenis longsor bidang dan kasus untuk jenis longsor guling (Sitohang, 2008).

Tabel 2.7 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985)

Case	The Calculated value	Very Favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^0$	$30^0 - 20^0$	$20^0 - 10^0$	$10^0 - 5^0$	$< 5^0$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^0 $					
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P/T	$ \beta_j $	$< 20^0$	$20^0 - 30^0$	$30^0 - 35^0$	$35^0 - 45^0$	$> 45^0$
P	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T		1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^0$	$10^0 - 0^0$	0^0	$0^0 - (-10^0)$	$< -10^0$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^0$	$110^0 - 120^0$	$> 120^0$	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

P = Plane failure

α_j = Joint dip direction

β_j = Joint dip

T = Toppling Failure

α_s = Slope dip direction

β_s = Slope dip

Tabel 2.8 Nilai Pembobotan Untuk Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985)

Method	Natural slope	Pre-splitting	Smooth Blasting	Normal Blasting or Mechanical Excavation	Poor Blasting
F4	15	10	8	0	-8

Tabel 2.9 Nilai Pembobotan Massa Lereng SMR (Romana, 1985)

Klasifikasi	V	IV	III	II	I
Bobot Massa Lereng (SMR)	0-20	20-40	40-60	60-80	>80
Deskripsi	Sangat buruk	Buruk	Baik	Bagus	Sangat bagus
Kestabilan Lereng	Sangat Tidak Stabil	Tidak Stabil	Sebagian Stabil	Stabil	Sangat Stabil
Kemungkinan Bentuk Longsor	Bidang Atau Seperti Keruntuhan Material Lepas	Bidang Atau Baji Besar	Dikontrol Oleh Adanya Kekar Atau Baji Kecil	Berupa Blok	-
Probability of failure	0,9	0,6	0,4	0,2	0

Slope Mass Rating (SMR) diperoleh dari nilai RMR yang dikoreksi oleh faktor-faktor penyesuaian tergantung kepada arah relatif bidang diskontinuitas, geometri lereng, dan metode penggalian. Parameter yang dibutuhkan untuk klasifikasi *Slope*

Mass Rating (SMR) antara lain arah kemiringan (*dip direction*) dari permukaan lereng (α_s), arah kemiringan (*dip direction*) bidang diskontinuitas (α_j), sudut kemiringan lereng (β_s) dan sudut kemiringan bidang diskontinuitas (β_j). Pembobotan massa jenjang yang dikembangkan oleh Romana (1985) dapat dilihat pada Persamaan 2.3.

Tabel 2.10 Rekomendasi jenis perkuatan untuk setiap kelas SMR (Romana, 1985)

<i>Class</i>	SMR	<i>Support</i>
Ia	91-100	<i>None</i>
Ib	81-90	<i>None Or Scaling</i>
IIa	71-80	<i>(None, Toe Ditch Or Fence), Spot Bolting</i>
IIb	61-70	<i>Toe Ditch Or Fence, Nets, Spot Or Systematic Bolting</i>
IIIa	51-60	<i>Toe Ditch And/Or Nets, Spot Or Systematic Bolting, Spot Shotcrete</i>
IIIb	41-50	<i>(Toe Ditch And/Or Nets), Systematic Bolting, Anchor, Systematic Shotcrete, Toe Wall And/Or Dental Concrete</i>
IVa	31-40	<i>Anchor, Systematic Shotcrete, Toe Wall And/Or Concrete, (Reexcavation) Drainage</i>
IVb	21-30	<i>Systematic Reinforced Shotcrete, Toe Wall And/Or Concrete, Reexcavation, Deep Drainage</i>
Va	11-20	<i>Gravity Or Anchored Wall Or Reexcavation</i>

2.5.3 *Geological Strenght Index (GSI)*

Hoek dan Brown (1980) mengusulkan metode untuk mendapatkan kekuatan massa batuan terkekarkan, yang dikenal sebagai *Original Hoek-Brown Criterion*. Kriteria ini dimulai dari kekuatan batuan utuh kemudian diperkenalkan faktor-faktor untuk mengurangi kekuatan tersebut berdasarkan pada karakteristik pada bidang diskontinuitas (*joints*) di dalam massa batuan. Kriteria ini terus dikembangkan oleh Hoek et al (1995) dimasukkan konsep *Geological Strength Index (GSI)*.

Penggunaan lebih lanjut dari RMR adalah untuk memperkirakan nilai *Geological Strength Index (GSI)*. GSI adalah suatu indeks yang berhubungan dengan kekuatan massa batuan. Nilai GSI didapat dengan dua cara, yaitu pengamatan dengan observasi geologi di lapangan dengan bantuan *chart* dan dengan hasil analisis RMR.

Rock Type: General	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →				
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40	30	
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes				20	
					10
	N/A	N/A			

Gambar 2.6 *Geological Strength Index* (Hoek and brown, 1980)

GSI adalah suatu indeks yang dipakai untuk memperkirakan nilai konstanta m_b , s , dan a . Konstanta m_b , s , dan a digunakan dalam menentukan kekuatan massa batuan berdasarkan kriteria runtuh (*failure*) Hoek-Brown (1980). Nilai GSI diperoleh dari hasil deskripsi geologi dengan berdasarkan struktur dan kondisi permukaan struktur. RMR pertama kali digunakan oleh Hoek-Brown (1980) untuk memprediksi nilai GSI. Nilai GSI dapat juga diperoleh dari nilai RMR dengan Persamaan sebagai berikut:

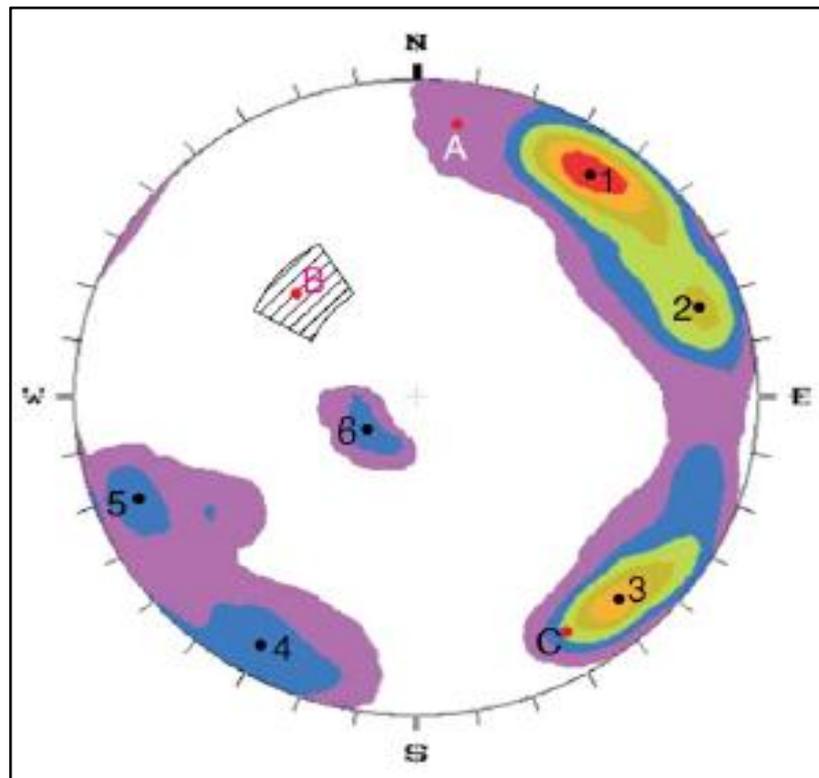
$$GSI = RMR_{(1989)} - 5 \dots \dots \dots 2.5$$

2.6 Analisis Kinematika

Analisis kinematika merupakan salah satu metode analisis tentang pergerakan massa batuan dengan merekonstruksi pergerakan yang terjadi di dalam batuan akibat dari proses deformasi tanpa mempertimbangkan gaya-gaya yang menyebabkannya. Metode ini hanya berdasarkan pada evaluasi detail mengenai struktur geologi yang

terdapat pada massa batuan dan geometri dari bidang lemah yang dapat memberikan kontribusi terhadap ketidakstabilan suatu lereng.

Analisis Kinematika melibatkan penilaian potensi pergerakan yang terjadi pada struktur dalam massa batuan. Parameter analisis Kinematika dibagi menjadi tiga yaitu, orientasi struktur geologi, orientasi lereng, dan sudut gesek dalam. Penilaian dilakukan menggunakan *stereo net* sebagai alat grafis untuk mewakili orientasi tiga dimensi (Wyllie, 2004). *Stereo net* digunakan untuk mengidentifikasi kisaran orientasi bidang planar yang rentan terhadap ketidakstabilan struktural. Ada tiga mekanisme umum yaitu *planar*, *toppling*, dan *wedge sliding* (Brideau et al, 2007).



Gambar 2.7 Diagram kontur dari data bidang diskontinuitas (Aksoy and Ercanoglu, 2007)

Analisis Kinematika dari ketidakstabilan lereng batuan memperhitungkan perbandingan orientasi bidang diskontinuitas atau persimpangan mereka dengan sudut gesek, geometri lereng dan orientasi lereng (Alejano et al, 2010 dalam Smith, 2015). Ketika diplot pada jaring proyeksi stereografis, data bidang diskontinuitas ditampilkan

dengan titik yang terpecah, namun banyak data bidang diskontinuitas mungkin berdekatan dengan yang lain jika jumlah data kutub yang diplot ada banyak.

Seperti yang dijelaskan dalam Priest (1993), dan ditunjukkan pada Gambar 2.6, yang mencerminkan distribusi aktual dari diskontinuitas, data bidang diskontinuitas dapat terkonsentrasi pada zona tertentu sesuai dengan jumlah bidang yang diukur dan diplot pada *stereo net*. Zona tertentu memiliki konsentrasi kutub yang lebih tinggi sementara beberapa yang lain memiliki yang lebih rendah, nilai interval kontur diwakili oleh persentase diskontinuitas yang dihitung dalam zona tertentu (Aksoy and Ercanoglu, 2007).

2.6.1 Orientasi Struktur Geologi.

Struktur geologi adalah gambaran arsitektur bumi akibat deformasi batuan oleh gaya tektonik. Struktur geologi akibat gaya tektonik akan menghasilkan patahan, lipatan dan kekar. Kehadiran struktur geologi pada batuan akan menghasilkan bidang-bidang lemah yang merupakan bidang diskontinuitas yang berpotensi menyebabkan longsor. Jenis-jenis bidang lemah antara lain kekar, sesar, shear zone, bidang perlapisan dan foliasi. Tahap pertama dalam penyelidikan diskontinuitas pada lereng adalah menganalisis orientasi diskontinuitas tersebut. *Dip* adalah besar sudut kemiringan bidang diskontinuitas terhadap bidang datar (sudut ψ). *Dip direction* adalah sudut antara arah perpanjangan horizontal garis dip dengan arah utara, diukur searah jarum jam (sudut α). Pengukuran *dip* dan *dip direction* menggunakan kompas geologi.

2.6.2 Orientasi lereng

Orientasi lereng adalah besar kemiringan lereng terhadap bidang datar (*dip*) dan arah muka lereng tersebut terhadap arah utara diukur searah jarum jam (*dip direction*). Pengukuran *dip* dan *dip direction* lereng dilakukan menggunakan kompas geologi.

2.6.3 Sudut Gesek Dalam Batuan

Sudut gesek dalam batuan adalah besar sudut (ϕ) ketika batuan berada pada permukaan miring akan melebihi gaya gesek dan mulai bergerak, diukur dari bidang normal terhadap permukaan dan gaya-gaya yang bekerja pada tubuh batuan. Nilai sudut gesek dalam batuan didapatkan melalui pengujian batuan di laboratorium dan juga bisa didapat melalui pendekatan dengan kriteria Hoek and Brown.

2.8 Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown

Hoek dan Brown (1980) mengusulkan metode untuk mendapatkan estimasi kekuatan massa batuan terkekarkan berdasarkan pada penilaian ikatan antar struktur pada massa batuan dan kondisi permukaan struktur geologi tersebut yang dikenal sebagai *Original Hoek-Brown criterion*

Kriteria ini dimulai dari kekuatan batuan utuh dan kemudian diperkenalkan faktor-faktor untuk mengurangi kekuatan tersebut berdasarkan pada karakteristik bidang diskontinuitas di dalam massa batuan (*joint*). Pada tahun 1995 Hoek et al, memasukkan konsep *Geological Strength Index (GSI)* yang memberikan estimasi pengurangan kekuatan massa batuan karena perbedaan kondisi geologi. Kriteria ini kemudian dikenal sebagai *Generalized Hoek-Brown criterion*.

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana σ_1' dan σ_3' merupakan tegangan efektif maksimum dan minimum saat batuan runtuh. σ_c adalah kuat tekan (UCS) batuan utuh.

m_b merupakan penurunan konstanta material m_i yang berasal dari pengujian triaksial batuan utuh di laboratorium dengan besarnya :

$$m_b = m_i \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \dots\dots\dots 2.7$$

s dan a merupakan konstanta untuk massa batuan yang diberikan dari hubungan (Hoek and Brown, 1981) :

$$s = \exp\left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right] \dots\dots\dots 2.8$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \dots\dots\dots 2.9$$

Nilai GSI didapat dengan dua cara yaitu dengan pengamatan dengan observasi geologi di lapangan dengan bantuan *chart* dan bisa juga didapatkan dari hasil RMR pengurangan. Nilai D adalah faktor kerusakan (*disturbance factor*) yang tergantung pada derajat kerusakan massa batuan yang disebabkan oleh peledakan maupun pelepasan tegangan akibat penggalian.

Tabel 2.11 Nilai Faktor D (Hoek and Brown, 1980)

Deskripsi dari Massa Batuan	Nilai faktor D ketergangguan yang disarankan
Peledakan skala kecil dalam suatu lereng menghasilkan kerusakan menengah pada massa batuan yang khususnya peledakan terkontrol digunakan, walaupun begitu menghilangkan tegangan menghasilkan beberapa gangguan.	D = 0,7 <i>Good blasting</i>
Kemiringan lereng pada tambang terbuka yang besar mengalami gangguan yang signifikan yang disebabkan oleh peledakan produksi berat dan karena kehilangan tegangan dari pelepasan kelebihan beban.	D = 1,0 <i>Poor blasting</i>
Pada beberapa batuan yang lebih lunak, penambangan dilakukan dengan ripping dan dozing serta tingkat kerusakan pada lereng tambang menjadi berkurang.	D = 0,7 <i>Productions blasting</i> D = 1,0 <i>Mechanical blasting</i>

Parameter material m_i bergantung pada jenis batuan (beku, metamorf, atau sedimen) yang ditentukan pada Tabel 2.9. Kisaran nilai M_i didapatkan untuk setiap material yang bergantung pada granulitas dan *interlocking* pada struktur kristal dalam batuan. Nilai M_i yang lebih besar menggambarkan karakteristik batuan dengan kristal yang semakin *interlocking* dan lebih bersifat friksi.

Tabel 2.12 Nilai Faktor Mi (Hoek and Brown, 1980)

Rock Type	Class	Groups	Texture				
			Coarse	Medium	Fine	Very Fine	
Sedimentary	Clastic		<i>Conglomerate</i> <i>s</i> (21 ± 3)	<i>Sandstone</i> <i>s</i> (17 ± 4)	<i>Siltstones</i> (7 ± 2)	<i>Claystone</i> <i>s</i> (4 ± 2)	
			<i>Breccias</i> (19 ± 5)		<i>Greywacke</i> <i>s</i> (18 ± 3)	<i>Shales</i> (6 ± 2)	
						<i>Marls</i> (7 ± 2)	
	Non-Clastic	<i>Carbonates</i>	<i>Crystalline Limestone</i> (12 ± 3)	<i>Sparitic Limestone</i> <i>s</i> (10 ± 2)	<i>Micritic Limestone</i> <i>s</i> (9 ± 2)	<i>Dolomites</i> (9 ± 3)	
		<i>Evaporites</i>		<i>Gypsum</i> (8 ± 2)	<i>Anhydrite</i> (12 ± 2)		
		<i>Organic</i>				<i>Chalk</i> (7 ± 2)	
	Metamorphic	Non-Foliate		<i>Marble</i> (9 ± 3)	<i>Hornfels</i> (19 ± 4)	<i>Quartzites</i> (20 ± 3)	
					<i>Metasandstones</i> (19 ± 3)		
		Slightly Foliate		<i>Migmatite</i> (29 ± 3)	<i>Amphibolites</i> (26 ± 6)		
Foliated				<i>Gneiss</i> (28 ± 5)	<i>Schists</i> (12 ± 3)	<i>Phyllites</i> (7 ± 3)	<i>Slates</i> (7 ± 4)
					<i>Granite</i> (27 ± 3)	<i>Diorite</i> (25 ± 5)	
Igneous	Plutonic	Light		<i>Granodiorite</i> (29 ± 3)			
				<i>Gabbro</i> (27 ± 3)	<i>Dolerite</i> (16 ± 5)		
		Dark	<i>Norite</i> (20 ± 5)				
	Volcanic	<i>Hypabyssal</i>	<i>Porphyries</i> (20 ± 5)		<i>Diabase</i> (15 ± 5)	<i>Peridotite</i> (25 ± 5)	
		Lava		<i>Rhyolite</i> (25 ± 5)	<i>Dacite</i> (25 ± 3)	<i>Obsidian</i> (19 ± 3)	
					<i>Andesite</i> (25 ± 5)	<i>Basalt</i> (25 ± 5)	
		<i>Pyroclastic</i>	<i>Agglomerate</i> (19 ± 3)	<i>Breccia</i> (19 ± 5)	<i>Tuff</i> (13 ± 5)		

2.9 Metode *Limit Equilibrium*

Metode *Limit Equilibrium* merupakan metode yang dinyatakan dengan persamaan-persamaan kesetimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeformasi dan mengurangi gaya-gaya yang tidak diketahui (reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya-gaya antar blok), khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longsoran yang dipilih sebelumnya. Hipotesis yang dibuat secara umum adalah bahwa gaya-gaya geser ini mewakili seluruh bagian yang sama pada kuat geser adalah gaya-gaya geser ini bekerja. Kondisi kestabilan lereng menggunakan metode ini dinyatakan dalam indeks faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kesetimbangan gaya tersebut tergantung dari metode perhitungan yang dipakai. Penentuan faktor keamanan menggunakan metode ini terdapat beberapa Persamaan statis yang digunakan dalam penentuan faktor keamanan, meliputi (Giani, 1992):

- a. Penjumlahan gaya pada arah vertikal untuk setiap irisan yang digunakan untuk menghitung gaya normal pada bagian dasar irisan.
- b. Penjumlahan gaya pada arah horizontal untuk setiap irisan yang digunakan untuk menghitung gaya normal antar irisan.
- c. Penjumlahan momen untuk keseluruhan irisan yang bertumpu pada suatu titik.
- d. Penjumlahan gaya pada arah horizontal untuk seluruh irisan.

Metode kesetimbangan batas atau metode *limit equilibrium* dikenal sebagai metode irisan karena bidang longsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa irisan. Metode ini terbukti sangat berguna dan dapat diandalkan dalam praktik rekayasa serta menumbuhkan data yang relatif sedikit dibandingkan metode lainnya, seperti metode elemen hingga, metode beda hingga, dan metode elemen diskrit Semua

metode irisan menyatakan kondisi kestabilan suatu lereng, dinyatakan dalam suatu indeks yang disebut faktor keamanan (FK), didefinisikan sebagai berikut :

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{\text{gaya penahan}}{\text{kekuatan penggerak}} \dots\dots\dots 2.10$$

Adapun gaya penahan adalah kekuatan yang menahan lereng tersebut bergerak, yaitu kekuatan dari material tersebut seperti kohesi dan sudut gesek dalam. Sedangkan gaya penggerak adalah, gaya yang menyebabkan pergerakan pada lereng. Keruntuhan (*failure*) terjadi akibat tegangan geser melampaui kekuatan geser material.

Kekuatan geser material yang tersedia yang tersedia untuk menahan material sehingga lereng tidak longsor dinyatakan mencapai syarat batas yang dirumuskan sesuai dengan Persamaan 2.11.

$$T_f = c + \tan \phi \dots\dots\dots 2.11$$

Mohr menjelaskan bahwa keruntuhan sebagai akibat dari kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum saja.

Kestabilan suatu lereng dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah tersebut dan tergantung pada kekuatan geser yang dihasilkan sepanjang pergerakan pergeseran permukaan. Untuk semua kelongsoran batuan maupun material lunak dapat diasumsikan menggunakan persamaan kriteria keruntuhan mohr-coulomb dimana kekuatan geser dinyatakan dengan kohesi (c), dan sudut gesek dalam (ϕ), untuk pergeseran permukaan lebih efektif menggunakan tegangan normal (Wyllie, 2004).