

SKRIPSI

**DESAIN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN
KLASIFIKASI *SLOPE MASS RATING* (SMR)**

(Studi Kasus : Domain 5 dan Domain 9 *Pit* Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh

REZA DENNI

D62114020



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

DESAIN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN KLASIFIKASI *SLOPE MASS RATING* (SMR)

(Studi Kasus : Domain 5 dan Domain 9 *Pit* Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh

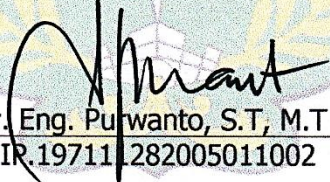
REZA DENNI

D62114020

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 23 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Dr. Eng. Purwanto, S.T, M.T

NIR.197111282005011002

Mengetahui,

Ketua Program Studi,


Dr. Eng. Purwanto, S.T, M.T

NIR.197111282005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reza Denni
NIM : D62114020
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

DESAIN PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN KLASIFIKASI *SLOPE MASS RATING* (SMR)

(Studi Kasus : Domain 5 dan Domain 9 *Pit* Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara)

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, 23 Agustus 2021.

Yang menyatakan



Tanda tangan

Reza Denni

ABSTRAK

Desain perkuatan lereng dapat ditentukan melalui perhitungan tingkat kestabilan lereng dengan beberapa metode salah satunya klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)*. Nilai SMR dapat menjadi acuan dalam pemilihan jenis perkuatan yang digunakan. Penelitian dilakukan di Domain 5 dan Domain 9 *pit* Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara. Domain 5 tersusun oleh batuan andesit dengan penggalian lereng menggunakan metode *line drilling* sedangkan Domain 9 tersusun oleh batuan diorit dengan penggalian lereng menggunakan metode *pre-splitting*. Daerah penelitian dibagi menjadi 4 sektor yaitu sektor 1 dan 2 berada pada domain 5 dengan geometri lereng $45^{\circ}/329^{\circ}\text{NE}$ dan $45^{\circ}/14^{\circ}\text{NE}$, sektor 3 dan 4 berada pada Domain 9 dengan geometri lereng $47^{\circ}/31^{\circ}\text{NE}$ dan $47^{\circ}/63^{\circ}\text{NE}$. Nilai SMR daerah penelitian sebesar 7-60 pada sektor 1, 23-50 pada sektor 2, 43-53 pada sektor 3 dan 43-60 pada sektor 4. Hasil nilai SMR menunjukkan tingkat kestabilan lereng daerah penelitian berada pada kelas V-III (sangat tidak stabil-kritis). Jenis perkuatan yang diberikan berdasarkan klasifikasi SMR yaitu menggunakan *systematic bolting* pada nilai SMR 20-40 dan *spot bolting* pada nilai SMR 41-60. *Spot bolting* diberikan pada sektor 1, sektor 3, dan sektor 4 sehingga faktor keamanan lereng masing-masing menjadi 1,212, 1,262, dan 1,260. *Systematic bolting* diberikan pada sektor 2 sehingga nilai faktor keamanan lereng menjadi 1,267.

Kata kunci : kestabilan lereng, kinematika, SMR, jenis longsor, perkuatan lereng.

ABSTRACT

Slope reinforcement design can be determined by calculating the level of slope stability with several methods, one of which is the Slope Mass Rating (SMR) classification. The SMR value can be a reference in the selection of the type of reinforcement used. The research was conducted in Domain 5 and Domain 9 of the Batu Hijau pit PT Amman Mineral Nusa Tenggara. Domain 5 is composed of andesite rock with slope excavation using the line drilling method while Domain 9 is composed of diorite rock with slope excavation using the pre-splitting method. The research area is divided into 4 sectors, namely sectors 1 and 2 are in domain 5 with a slope geometry of 450/3290NE and 450/140NE, sectors 3 and 4 are in Domain 9 with a slope geometry of 470/310NE and 470/630NE. The SMR value of the research area is 7-60 in sector 1, 23-50 in sector 2, 43-53 in sector 3 and 43-60 in sector 4. The results of the SMR value indicate the level of slope stability of the study area is in class V-III (very unstable-critical). The type of reinforcement given is based on the SMR classification using systematic bolting at SMR values of 20-40 and spot bolting at SMR values of 41-60. Spot bolting is assigned to sector 1, sector 3, and sector 4 so that the slope safety factors are 1,212, 1,262, and 1,260, respectively. Systematic bolting is given to sector 2 so that the value of the slope safety factor becomes 1.267.

Keyword : slope stability, kinematics, SMR, failure type, slope reinforcement.

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan segala limpahan rahmat-Nya penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Desain Perkuatan Lereng Menggunakan Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) (Studi Kasus: Domain 5 dan Domain 9 Pit Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara". Kesuksesan penyusunan tugas akhir tidak terlepas dari dukungan semua pihak yang terlibat dalam penulisan tugas akhir ini.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Amman Mineral, khususnya Bapak Khatib Syarbini dan Bapak Adeni Muhadi S selaku pembimbing penulis di lapangan selama kegiatan penelitian berlangsung serta memberikan ilmu dan pengalaman. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh anggota Departemen *Geotechnical and Hydrogeological* PT Amman Mineral Nusa Tenggara yakni Bapak Dedi Maryadi, Bapak Supardi, Bapak Kardiansyah, Bapak Ida Bagus Donni Viriyatha, Ibu Sri Kustanti Pujiastuti, Bapak F. Cahya Kusnantaka, Bapak Aminollah, Bapak Faisal Mirza, Bapak Satra Giawan, dan Bapak Mahdi yang selalu memberikan arahan kepada penulis selama kegiatan penelitian berlangsung.

Penulis mengucapkan terima kasih pula kepada Bapak Dr.Eng. Purwanto, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan sekaligus pembimbing utama tugas akhir yang memberikan arahan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir. Terima kasih pula kepada Bapak Dr. Sufriadin, S.T., M.T., Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T., dan Ibu Nirmana Fiqra Qaidahiyani, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran terhadap laporan tugas akhir penulis. Tak lupa, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh dosen Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang selalu memberikan ilmu dan arahan dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini.

Terima kasih pula penulis sampaikan kepada kedua orang tua, yang selalu memberikan dukungan moral dan materiil selama penulis berkuliah dan mengingatkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir. Tak lupa terima kasih kepada tiga adik kandung penulis yang selalu memberikan doa dan motivasi kepada penulis selama penulisan tugas akhir ini. Kepada seluruh saudara-saudara di PILLAR 2014, penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya karena selalu setia Bersama melewati seluruh aktivitas selama berada di Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga kepada teman-teman yang telah menemani penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini memberikan manfaat bagi penulis dan untuk kepentingan umum dalam menambah wawasan pengetahuan dan pemikiran.

Gowa, 23 Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian	3
BAB II SIFAT KETENNIKAN BATUAN	5
2.1 Struktur Geologi	5
2.2 Struktur Geologi Daerah Penelitian	6
2.3 Klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> (RMR).....	7
2.4 Klasifikasi <i>Slope Mass Rating</i> (SMR)	17
2.5 Geoteknik Daerah Penelitian	22
2.6 Analisis Kinematika	23

2.7	Desain Perkuatan Lereng	26
BAB III	METODE PENELITIAN.....	30
3.1	Pengambilan Data.....	30
3.2	Pengelompokkan dan Analisis Data	31
BAB IV	DESAIN PERKUATAN LERENG	37
4.1	Daerah Penelitian.....	37
4.2	Klasifikasi <i>Slope Mass Rating</i> (SMR)	39
4.3	Desain Perkuatan Lereng	53
BAB V	PENUTUP	63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64
	DAFTAR PUSTAKA	65
	LAMPIRAN	67
	Lampiran A (Data Orientasi Bidang Diskontinuitas Hasil <i>Line Mapping</i>).....	68
	Lampiran B (Hasil Plot Orientasi Bidang Diskontinuitas).....	73
	Lampiran C (Foto Kegiatan).....	74
	Lampiran D1 (Peta Lokasi Penelitian)	76
	Lampiran D2 (Peta Lokasi Pengukuran Struktur).....	77

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Blok model struktur patahan <i>pit</i> Batu Hijau	7
Gambar 2.2 Metode pengukuran RQD menurut Deere dan CNI	10
Gambar 2.3 Hubungan RQD dan J_v	11
Gambar 2.4 Hubungan antara spasi semu (S_{app}) dan spasi sebenarnya (S).....	12
Gambar 2.5 Profil kekerasan dan deskripsinya	13
Gambar 2.6 Ilustrasi separasi	14
Gambar 2.7 Desain geometri <i>pre-split blasting</i>	19
Gambar 2.8 Geometri peledakan <i>line drilling</i>	20
Gambar 2.9 Nilai RMR <i>pit</i> Batu Hijau	22
Gambar 2.10 Longsoran bidang	23
Gambar 2.11 Longsoran baji.....	24
Gambar 2.12 Longsoran busur.....	24
Gambar 2.13 Longsoran guling	25
Gambar 3.1 Pengambilan data bidang diskontinuitas daerah penelitian	31
Gambar 3.2 Desain geometri lereng tambang.....	32
Gambar 3.3 <i>Input data joint dip/dip direction pada software dips</i>	33
Gambar 3.4 <i>Input parameter slope, joint friction angle, dan lateral limit</i>	34
Gambar 3.5 Hasil analisis kinematika menggunakan <i>software dips</i>	34
Gambar 3.6 Diagram alir penelitian	36
Gambar 4.1 Pembagian sektor lokasi penelitian pada <i>Pit</i> Batu Hijau.....	37
Gambar 4.2 Domain 5 dan domain 9 <i>pit</i> Batu Hijau PT AMNT	38
Gambar 4.3 Arah umum bidang lemah sektor 1 domain 5 tipe longsoran bidang.....	41
Gambar 4.4 Arah umum bidang lemah sektor 1 domain 5 tipe longsoran baji	43

Gambar 4.5 Arah umum bidang lemah sektor 2 domain 5 tipe longsor bidang.....	45
Gambar 4.6 Arah umum bidang lemah sektor 2 domain 5 tipe longsor baji	47
Gambar 4.7 Arah umum bidang lemah sektor 3 domain 9 tipe longsor bidang.....	50
Gambar 4.8 Arah umum bidang lemah sektor 4 domain 9 tipe longsor bidang.....	52
Gambar 4.9 Arah umum bidang lemah sektor 4 domain 9 tipe longsor baji	53
Gambar 4.10 Faktor keamanan lereng sektor 1	55
Gambar 4.11 Faktor keamanan lereng sektor 1 setelah diberi perkuatan	56
Gambar 4.12 Faktor keamanan lereng sektor 2	57
Gambar 4.13 Faktor keamanan lereng sektor 2 setelah diberi perkuatan	58
Gambar 4.14 Faktor keamanan lereng sektor 3	59
Gambar 4.15 Faktor keamanan lereng sektor 3 setelah diberi perkuatan	59
Gambar 4.15 Faktor keamanan lereng sektor 4	61
Gambar 4.17 Faktor keamanan lereng sektor 4 setelah diberi perkuatan	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Manual Indeks <i>Uniaxial Compressive Strenght (UCS)</i>	8
Tabel 2.2 Klasifikasi teknis batuan utuh	9
Tabel 2.3 Hubungan indeks RQD dengan kualitas batuan	9
Tabel 2.4 Deskripsi spasi diskontinuitas	12
Tabel 2.5 Deskripsi keadaan rongga pada permukaan diskontinuitas	14
Tabel 2.6 Klasifikasi kondisi diskontinuitas.....	16
Tabel 2.7 Pembobotan kondisi air tanah.....	16
Tabel 2.8 Pembobotan klasifikasi RMR Bieniawski, 1979	16
Tabel 2.9 Pembobotan klasifikasi SMR Romana 1985	18
Tabel 2.10 Pembobotan metode penggalian SMR.....	18
Tabel 2.11 Deskripsi klasifikasi SMR, Romana, 1985.....	21
Tabel 2.12 Rekomendasi jenis perkuatan lereng klasifikasi SMR	21
Tabel 2.13 Deskripsi kelas massa batuan klasifikasi RMR	22
Tabel 2.14 Deskripsi nilai PoF pada lereng tambang.....	25
Tabel 2.15 Penanganan awal hasil PoF analisis kinematik	26
Tabel 2.16 Klasifikasi longsor berdasarkan nilai SMR.....	26
Tabel 2.17 Jenis perkuatan untuk setiap nilai SMR	28
Tabel 2.18 Kisaran SMR untuk kelas ukur dukungan	29
Tabel 2.19 Deskripsi ukuran blok menurut Jv	29
Tabel 4.1 Geometri domain 5.....	38
Tabel 4.2 Geometri domain 9.....	39
Tabel 4.3 Nilai <i>Slope Mass Rating (SMR)</i> pada sektor 1 domain 5	41
Tabel 4.4 Nilai <i>Slope Mass Rating (SMR)</i> pada sektor 2 domain 5	44

Tabel 4.5 Nilai <i>Slope Mass Rating (SMR)</i> pada sektor 3 domain 9	49
Tabel 4.6 Nilai <i>Slope Mass Rating (SMR)</i> pada sektor 4 domain 9	51
Tabel 4.7 Deskripsi nilai SMR daerah penelitian	54
Tabel 4.8 Nilai FK (Faktor Keamanan) setelah diberi perkuatan	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A (Data Orientasi Bidang Diskontinuitas Hasil <i>Line Mapping</i>).....	66
Lampiran B (Hasil Plot Orientasi Bidang Diskontinuitas)	71
Lampiran C (Foto Kegiatan).....	72
Lampiran D1 (Peta Lokasi Penelitian).....	74
Lampiran D2 (Peta Lokasi Pengukuran Struktur).....	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem penambangan *surface mining* kondisi lereng yang stabil akan menjamin kemenerusan kegiatan penambangan. Adanya kegiatan penggalian pada suatu lereng dapat menyebabkan perubahan gaya-gaya pada lereng yang mengakibatkan terganggunya kestabilan sehingga dapat terjadi longsor. Kestabilan lereng pada batuan lebih ditentukan oleh adanya bidang-bidang lemah yang disebut dengan bidang diskontinuitas, geometri lereng dan sifat fisik maupun mekanis batuan. Beberapa metode didapat digunakan untuk analisis kestabilan lereng diantaranya dengan menggunakan klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* dan analisis kinematika.

Klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* merupakan modifikasi dari klasifikasi *Rock Mass Rating (RMR)* Bieniawski 1979, yang penerapannya dikhususkan pada lereng. Pada klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* Romana 1985, dapat diketahui kondisi massa batuan, tingkat kestabilan lereng, kemungkinan terjadi longsor, dan rekomendasi metode penanganan pada lereng. Selain klasifikasi SMR salah satu analisis kestabilan lereng yang menekankan pada pengaruh arah umum bidang diskontinuitas yaitu analisis kinematika. Analisis kinematika bertujuan untuk mengetahui jenis dan arah longsor.

PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT) merupakan salah satu perusahaan tambang logam terbesar di Indonesia dengan menggunakan metode penambangan *open pit mining*. Beberapa kasus longsor yang terjadi pada PT Amman Mineral Nusa Tenggara lebih dikontrol oleh pengaruh arah umum bidang diskontinuitas (PT AMNT, 2016). Domain 5 dan Domain 9 dipilih menjadi lokasi penelitian karena pada daerah tersebut terdapat dominasi bidang diskontinuitas yang dapat mempengaruhi tingkat

kestabilan lereng. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian analisis tingkat kestabilan lereng menggunakan metode *Slope Mass Rating (SMR)*, karena metode tersebut lebih menekankan pada pengaruh arah umum struktur terhadap tingkat kestabilan lereng. Sehingga dapat dilakukan rekomendasi penanganan lereng di PT Amman Mineral Nusa Tenggara.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini meliputi:

1. Pengaruh keberadaan dominasi bidang diskontinuitas yang menjadi faktor utama penyebab terjadinya longsor terhadap tingkat kestabilan lereng di *pit* Batu Hijau, PT Amman Mineral Nusa Tenggara.
2. Terdapat jatuhnya dari massa batuan pada lereng sehingga perlu dilakukan analisis geoteknik lebih lanjut terhadap nilai kestabilan lereng untuk menentukan jenis perkuatan yang diperlukan di daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tugas akhir yang dilakukan memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menghitung kestabilan lereng berdasarkan klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* menurut Romana, 1985.
2. Mengetahui jenis dan arah longsor yang kemungkinan terjadi pada daerah penelitian menggunakan *software Rocscience Dips*.
3. Memberikan rekomendasi desain perkuatan lereng berdasarkan klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* menggunakan *software Rocscience Slide*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini akhirnya diharapkan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak, yaitu:

1. Perusahaan dapat mengaplikasikan desain lereng final yang stabil dari segi teknis sehingga aktifitas penambangan berjalan maksimal.
2. Bidang akademik akan mendapatkan pustaka mengenai kestabilan lereng khususnya dengan menggunakan metode *Slope Mass Rating (SMR)*.

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

Tahapan kegiatan yang dilakukan selama penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian, kegiatan ini meliputi:

- a. Persiapan administrasi dan pengurusan surat izin dari kampus dan instansi terkait
- b. Konsultasi dengan pembimbing akademik mengenai kegiatan penelitian
- c. Pengumpulan literatur-literatur yang berkaitan dengan kegiatan penelitian

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengkaji buku-buku, jurnal, maupun jenis literatur lainnya yang berhubungan dengan masalah yang dikaji sehingga dapat dijadikan acuan dalam kegiatan penelitian dan penulisan laporan. Studi literatur dilakukan sebelum dan selama penelitian berlangsung.

3. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan pada departemen *Mine Technical Services Section Geotechnical and Hydrogeological* PT Amman Mineral Nusa Tenggara. Data yang

diperoleh berupa peta topografi Batu Hijau, hasil pengukuran *line mapping*, data RMR *pit* Batu Hijau, dan data penunjang lainnya.

4. Pengolahan dan analisis data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dan dilakukan analisis data untuk merumuskan hasil akhir dari penelitian, sehingga dapat diberikan desain perkuatan lereng pada lokasi penelitian.

5. Penyusunan tugas akhir dan seminar

Kegiatan ini merupakan tahap akhir, seluruh hasil pengolahan dan analisis data yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk tugas akhir yang disusun secara sistematis sesuai dengan kaidah penyusunan yang berlaku. Tugas akhir yang telah rampung selanjutnya akan dipresentasikan dalam seminar tugas akhir.

BAB II

SIFAT KETEKNIKAN BATUAN

2.1 Struktur Geologi

Struktur geologi yang dijumpai pada batuan sebagai hasil dari gaya-gaya yang bekerja terhadap batuan pada umumnya ada 3 (tiga) yaitu kekar (*joint*), lipatan (*fold*), dan patahan/sesar (*fault*).

1. Kekar (*joint*)

Kekar adalah struktur retakan/rekahan terbentuk pada batuan akibat suatu gaya yang bekerja pada batuan tersebut dan belum mengalami pergeseran. Secara umum dicirikan oleh, Pemotongan bidang perlapisan batuan, terisi mineral lain (mineralisasi) seperti kalsit, kuarsa, lempung, dll. Struktur kekar dapat dikelompokkan berdasarkan sifat dan karakter retakan/rekahan serta arah gaya yang bekerja pada batuan tersebut. Kekar yang umumnya dijumpai pada batuan adalah sebagai berikut (Read & Stacey, 2009):

a. *Shear Joint* (Kekar Gerus)

Shear joint adalah retakan/rekahan yang membentuk pola saling berpotongan membentuk sudut lancip dengan arah gaya utama. Kekar jenis *shear joint* umumnya bersifat tertutup.

b. *Tension Joint*

Tension joint adalah retakan/rekahan yang berpola sejajar dengan arah gaya utama, umumnya bentuk rekahan bersifat terbuka.

c. *Extension Joint (Release Joint)*

Extension joint adalah retakan/rekahan yang berpola tegak lurus dengan arah gaya utama dan bentuk rekahan umumnya terbuka.

2. Lipatan (*Folds*)

Lipatan adalah hasil perubahan bentuk atau volume dari suatu bahan yang ditunjukkan sebagai lengkungan atau kumpulan dari lengkungan pada batuan.

Lipatan terbentuk oleh unsur yang telah ada sebelumnya akibat terkena gaya.

3. Patahan/Sesar (*Faults*)

Patahan/sesar adalah struktur rekahan yang telah mengalami pergeseran.

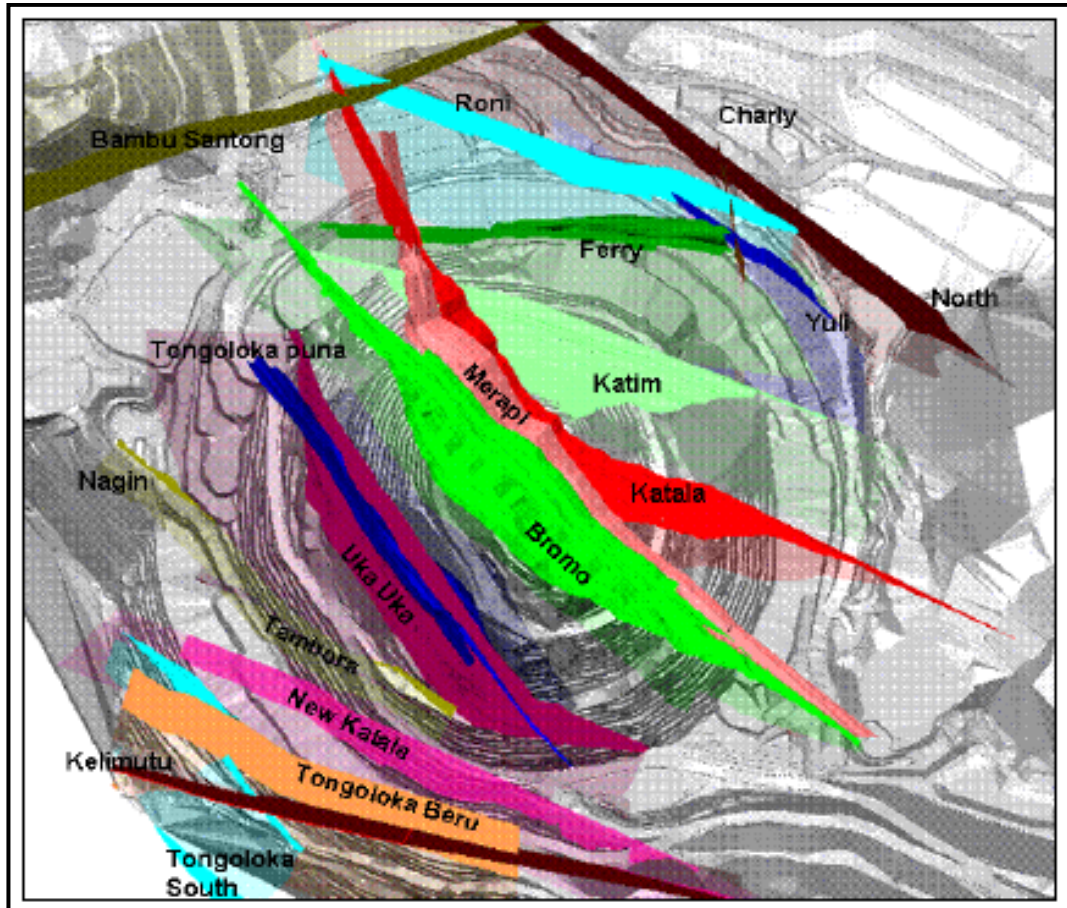
Patahan/sesar umumnya disertai oleh struktur yang lain seperti lipatan dan rekahan. Indikasi patahan dilapangan dapat dikenal melalui bidang sesar, deretan mata air, sumber air panas, air terjun, penyimpangan/pergeseran kedudukan lapisan, gejala-gejala struktur minor seperti cermin sesar dan lipatan.

4. Hubungan antara Lipatan dan Patahan

Batuan yang berbeda akan memiliki sifat yang berbeda terhadap gaya tegangan yang bekerja, dengan demikian dapat diperkirakan bahwa beberapa batuan ketika terkena gaya tegangan yang sama akan terjadi retakan atau patahan, sedangkan yang lainnya akan terjadi lipatan (Ragan, 2009).

2.2 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi yang berkembang di area penambangan berupa patahan (*fault*) berarah baratdaya-tenggara. Dilihat dari *database* terjadi longsor di *pit* Batu Hijau, kontrol struktur mayor berupa patahan di area tambang sangat berpengaruh terhadap longsor besar yang terjadi. Struktur patahan tersebut diantaranya patahan Katala, Bromo, Merapi, Tambora, Uka-Uka, New Katala, Kelimutu, Ferry, dan Roni yang umumnya berarah baratlaut-tenggara. Berikut kenampakan kondisi struktur patahan pada *pit* Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara (gambar 2.1).



Gambar 2.1 Blok model struktur patahan *Pit* Batu Hijau (PT AMNT, 2016)

Struktur daerah penelitian terdiri atas sesar mayor, sesar intermediet, dan kekar. Sesar/patahan dianggap mayor apabila zona patahannya memotong *pit* sepenuhnya dari sisi satu ke sisi lainnya. Sesar/patahan yang hanya memotong sebagian *pit* maka disebut sesar intermediet. Sesar mayor yang melintasi daerah penelitian yaitu Tongoloka Puna, Uka-Uka, Bromo, dan Merapi pada domain 5 dan domain 9. Peran struktur pada daerah penelitian sangat berpengaruh terhadap tingkat kestabilan lereng. Dapat dilihat dari jumlah sesar mayor, sesar intermediet, sangat banyak.

2.3 Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR)

Bieniawski (1979), mempublikasikan suatu metode klasifikasi massa batuan yang dikenal dengan *Rock Mass Rating* (RMR). Metode ini telah dikenal luas dan banyak

diaplikasikan pada keadaan maupun lokasi yang berbeda-beda seperti, tambang pada batuan kuat, terowongan, tambang batubara, kestabilan lereng, dan kestabilan pondasi. Sistem klasifikasi massa batuan RMR 79 menggunakan lima parameter berikut ini yaitu, kuat tekan batuan utuh, *Rock Quality Designation (RQD)*, jarak antar kekar, kondisi bidang diskontinuitas dan kondisi air tanah. Pembobotan (*rating*) setiap parameter dijumlahkan untuk memperoleh nilai total dari *RMR*.

2.3.1 Kuat Tekan Uniaksial Batuan (*Strength of intact rock material*)

Kuat tekan uniaksial batuan dapat diperoleh dari uji laboratorium yakni dengan pengujian *Uniaksial Compressive Strength (UCS)*. Pengujiannya menggunakan mesin tekan (*compressin machine*) untuk memecahkan batuan yang berbentuk silinder, balok atau prisma dari satu arah (*uniaksial*). Pada pengujian ini gaya (kN), perpindahan (mm) aksial dan lateral direkam hingga batuan pecah. Hasil pengujian UCS yaitu data sifat mekanik batuan seperti kuat tekan batuan (σ_c), modulus elastistas (E) dan *poisson ratio* (ν), jika data kuat tekan hasil uji UCS tidak diperoleh maka dapat menggunakan kuat tekan batuan dengan uji *point load strenght index* (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Manual Indeks *Uniaksial Compressive Strenght (UCS)*

Kode	Deskripsi	Uji Lapangan	UCS (MPa)	<i>Index Point Load</i> (MPa)
0	Sangat lemah	Bisa ditekan dengan paku	0,25 – 1,0	-
1	Lemah	Hancur bila dipukul dengan Palu/dapat digores dengan pisau	5 – 25	-
2	Sedang	Tidak dapat digores dengan pisau	25 – 50	<1
3	Kuat	Dapat hancur ketika dipukul lebih dari satu kali	50 – 100	2 – 4
5	Sangat kuat	Dapat hancur ketika dipukul berkali-kali dengan palu geologi	100 – 250	4 – 10
6	Sangat kuat sekali	Sulit pecah dipukul dengan Palu geologi	>250	>10

Deere (1970) membuat klasifikasi teknis batuan utuh untuk beberapa macam batuan dalam menilai kuat tekan batuan, seperti yang terlihat pada (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Klasifikasi teknis batuan utuh (Deere, 1968)

Kekuatan Penerimaan	UCS (MPa)	Batuan
Sangat Lemah	1 - 25	Talk
Lemah	25 - 50	Batubara, Batulanau, Sekis
Sedang	50 - 100	Batupasir, Sabak, Serpih
Kuat	100 - 200	Marmer, Granit, Genis
Sangat kuat	>200	Kuarsa, Dolerit, Gabro, Basal

2.3.2 Rock Quality Designation (RQD)

Pembobotan nilai RMR pada *Rock Quality Designation* (RQD) diberi berdasarkan nilai RQD-nya (tabel 2.3).

Tabel 2.3 Hubungan indeks RQD dengan kualitas batuan (Bieniawski, 1979)

RQD (%)	Kualitas Batuan	Pembobotan
< 25	Sangat jelek (<i>very poor</i>)	3
25 – 50	Jelek (<i>poor</i>)	8
51 - 75	Sedang (<i>fair</i>)	13
76 – 90	Baik (<i>good</i>)	17
91 – 100	Sangat baik (<i>excellent</i>)	20

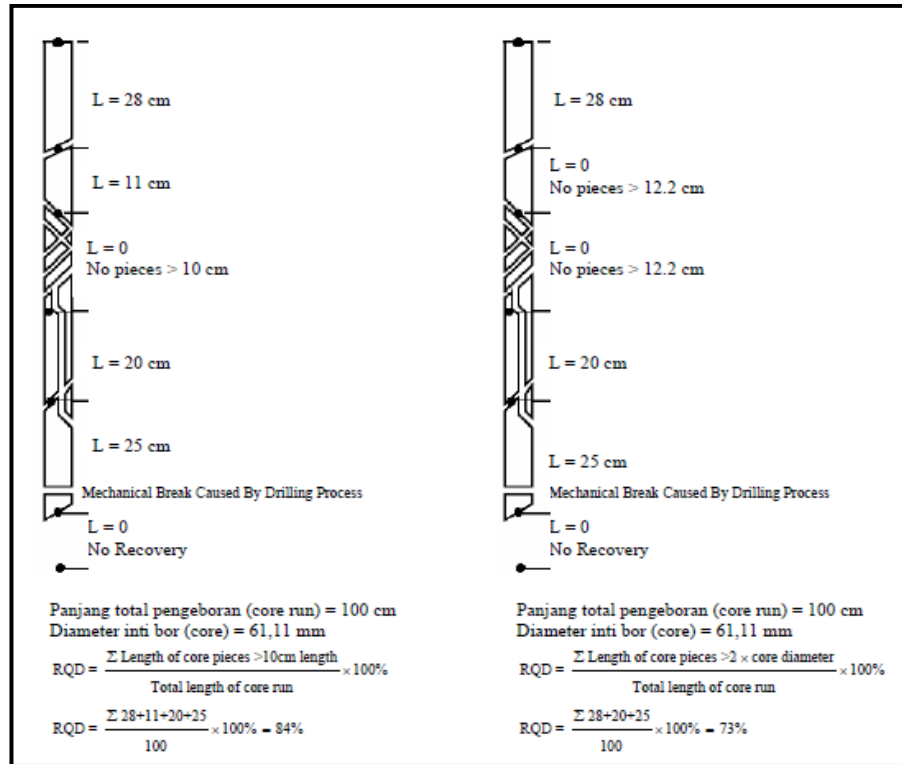
Penentuan besarnya nilai RQD dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metode langsung dan metode tidak langsung, sebagai berikut:

1. Metode Langsung

Metode langsung digunakan apabila *core logs* tersedia. Tata cara untuk menghitung RQD dengan metode langsung menurut Deere diilustrasikan pada (Gambar 2.3). Selama pengukuran panjang inti bor yang pecah/retak akibat aktivitas pengeboran digabungkan kembali dan dihitung sebagai satu bagian yang utuh. Semua pecahan/retakan yang bukan terjadi secara alami tidak dihitung pada panjang inti bor untuk RQD panjang pecahan/retakan yang kurang 10 cm tidak dihitung untuk pembobotan nilai RQD (Deere, 1970).

Call & Nicholas, Inc (CNI), konsultan geoteknik asal Amerika, mengembangkan koreksi perhitungan RQD untuk panjang total pengeboran yang lebih dari 1,5 m.

CNI mengusulkan nilai RQD diperoleh dari persentase total panjang inti bor utuh yang lebih dari 2 kali diameter inti terhadap panjang total pengeboran (*core run*).



Gambar 2.2 Metode pengukuran RQD menurut Deere dan CNI

2. Metode Tidak Langsung

Metode tidak langsung dalam perhitungan RQD digunakan apabila *core logs* tidak tersedia. Beberapa metode perhitungan RQD metode tidak langsung adalah sebagai berikut:

a. Priest and Hudson, 1976

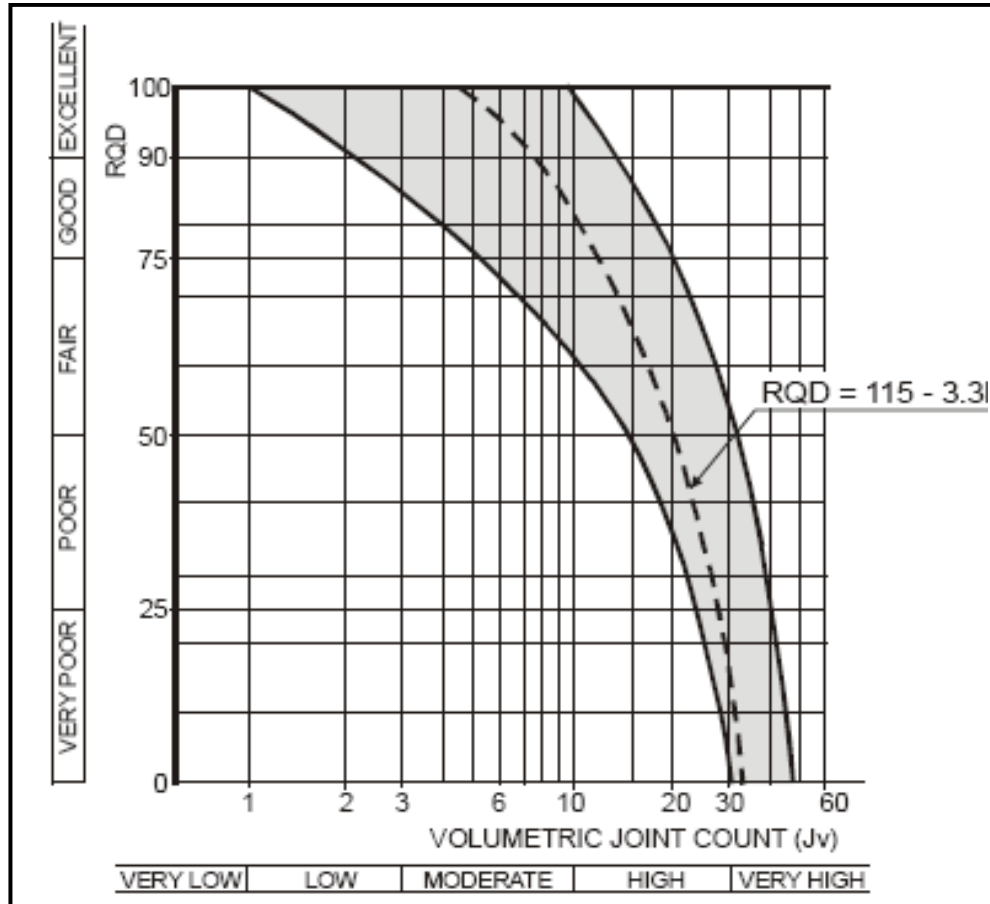
$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana, λ = jumlah total kekar per meter

b. Palmstrom, 1982

$$RQD = 115 - 3,3 J_v \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana, J_v = jumlah total kekar per meter³



Gambar 2.3 Hubungan RQD dan Jv (Palmstrom, 1982)

2.3.3 Jarak Bidang Diskontinuitas

Spasi diskontinuitas dipetakan dari permukaan batuan dan *core bor*, dan spasi sebenarnya dihitung dari spasi semu untuk diskontinuitas yang miring terhadap permukaan (Gambar 2.5). Pengukuran spasi diskontinuitas dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan menurut Terzaghi, (1965):

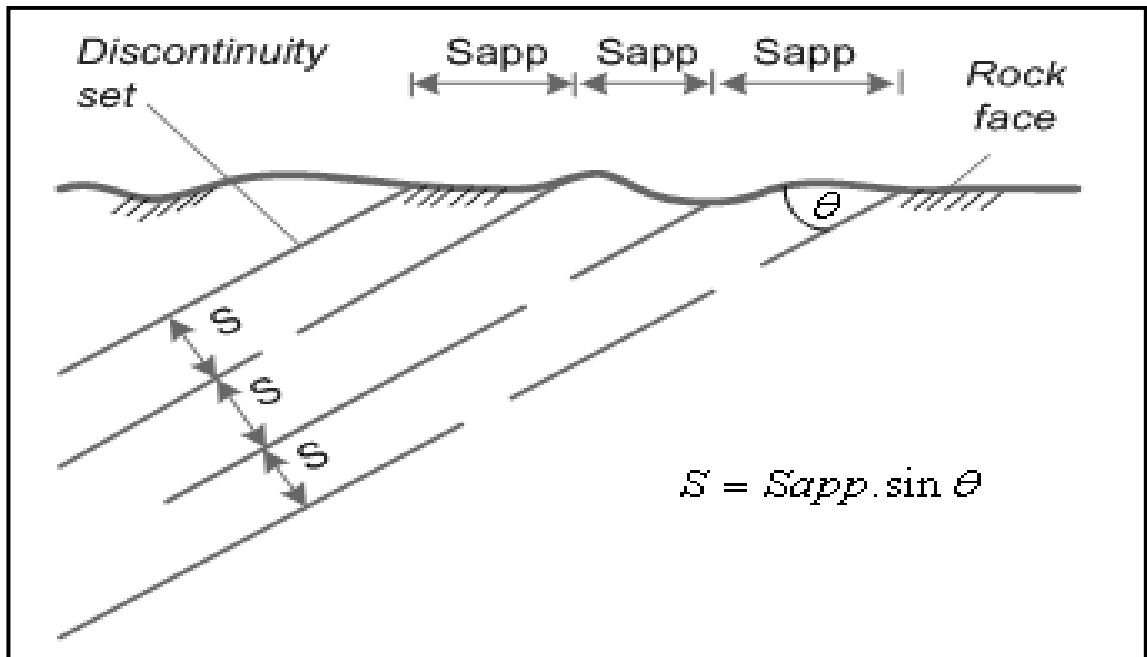
$$S = S_{app} \times \sin \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S = \frac{\text{Panjang Scanline}}{\text{Jumlah Diskontinuitas}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

S = Jarak antar diskontinuitas

S_{app} = Jarak semu diskontinuitas



Gambar 2.4 Hubungan antara spasi semu (S_{app}) dan spasi sebenarnya (S) (Terzaghi, 1965)

Tabel 2.4 Deskripsi spasi diskontinuitas (Bieniawski, 1979)

Description	Spacing (mm)	Rating
Very close	<60	5
Close	60-200	8
Moderate	200-600	10
Wide	600-2000	15
Very wide	>2000	20

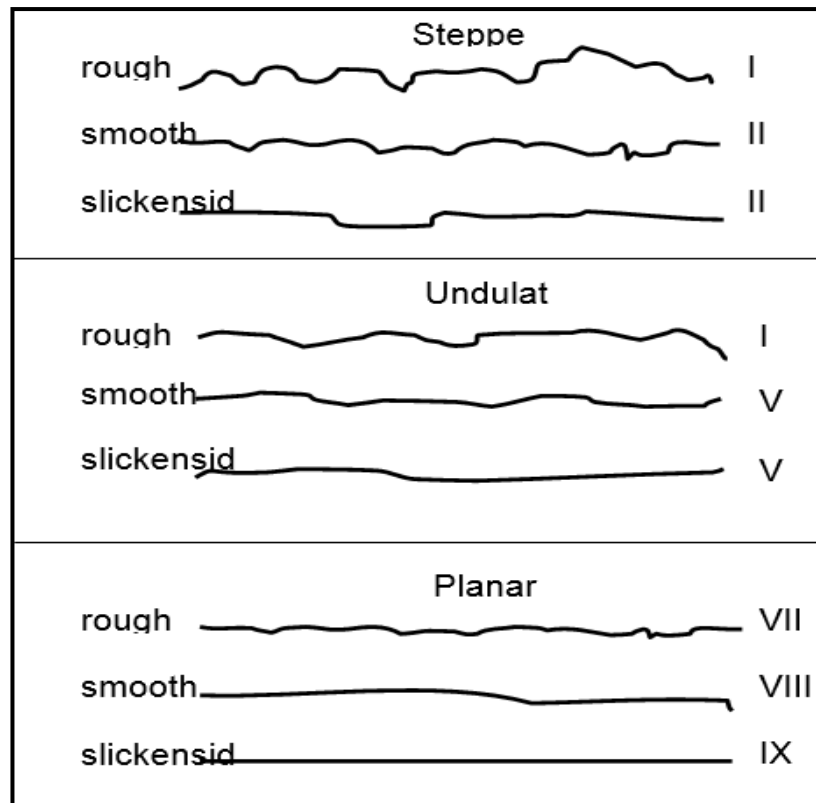
2.3.4 Kondisi Bidang Diskontinuitas

Kondisi bidang diskontinuitas dipengaruhi oleh kekasaran (*roughness*), regangan (*separation*), pelapukan batuan samping dan material pengisi.

1. Kekasaran (*Roughness*)

Kekasaran merupakan komponen penting dalam kuat geser terutama untuk kekar yang mengalami pergeseran atau yang terisi oleh material lain. Kekasaran yang saling mengunci dan menempel akan mempengaruhi kuat geser. Di lapangan penentuan kekasaran dapat dilakukan dengan meraba permukaan kekar. Panduan untuk menentukan profil kekasaran dan diskripsinya dapat dilakukan dengan pendekatan ISRM, (1981):

- a. Sangat kasar (*very rough surfaces*) apabila terdapat banyak gelombang yang sangat berdekatan pada permukaan kekar.
- b. Kasar (*rough surfaces*) apabila terdapat beberapa gelombang, kekasaran terlihat jelas.
- c. Sedikit kasar (*slightly rough surface*) apabila permukaan kekar dapat dibedakan dan dirasakan antara yang relatif kasar dengan yang relatif halus.
- d. Halus (*smooth surfaces*) apabila permukaan kekar terasa halus ketika disentuh.
- e. Polesan (*slickensided surfaces*) terlihat seperti dipoles (digosok).

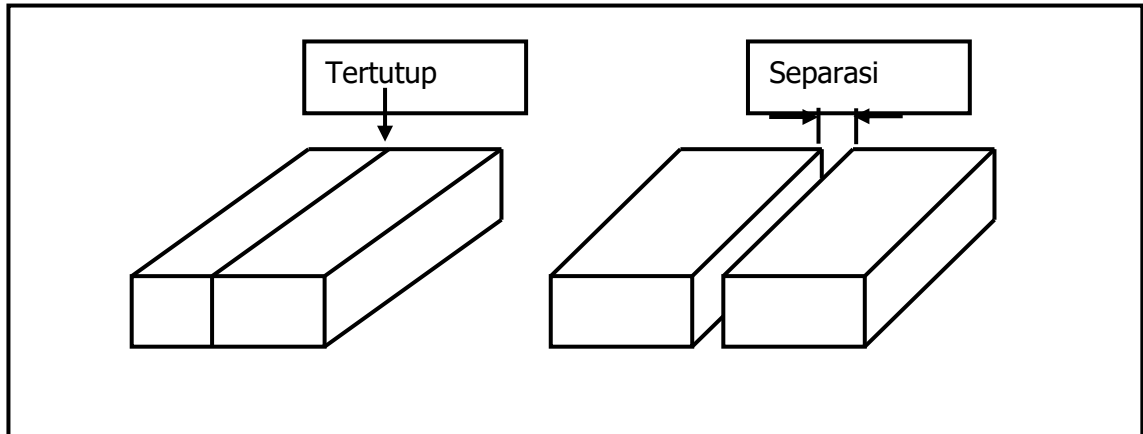


Gambar 2.5 Profil kekasaran dan deskripsinya (*ISRM, 1981*)

2. Regangan (*Separation*)

Besarnya rongga diskontinuitas diperoleh dari pengukuran jarak tegak lurus antara dinding batuan yang berdekatan dari bidang diskontinuitas dan di dalamnya terisi udara atau air. Rongga pada diskontinuitas akan mempengaruhi

nilai kekuatan massa batuan dan besarnya *hydraulic conductivity* air tanah, sehingga berguna untuk mengetahui kekuatan massa batuan.



Gambar 2.6 Ilustrasi separasi

Tabel 2.5 Deskripsi keadaan rongga pada permukaan diskontinuitas (Barton, 1973)

	Deskripsi	Lebar Rongga
Tertutup	Sangat Rapat	< 0,1 mm
	Rapat	0,1 – 0,25 mm
	Sedikit Terbuka	0,25 – 0,5 mm
Celah (<i>Gap</i>)	Terbuka	0,5 – 2,5 mm
	Lebar Menengah	2,5 – 10 mm
	Lebar	> 10 mm
Terbuka	Sangat Lebar	10 – 100 mm
	Lebar Sekali	100 – 1000 mm
	Besar	> 1 m

3. Pelapukan

Pelapukan terjadi akibat proses fisika, kimia, biologi atau melalui proses mekanika dan dipengaruhi oleh keadaan iklim. Pelapukan berbentuk desintegrasi dan dekomposisi (Wyllie dan Mah, 2004). Desintegrasi adalah hasil perubahan lingkungan seperti kelembaban, pembekuan dan pemanasan. Sedangkan dekomposisi menunjukkan perubahan batuan oleh sifat kimia seperti proses oksidasi pada batuan mengandung besi. Tingkat pelapukan batuan dapat ditentukan sebagai berikut:

- a. Tidak lapuk (*unweathered/fresh*)

Unweathered pada lapangan adalah kondisi dimana tidak ada tanda-tanda pelapukan, kondisi batuan segar dan kristalnya tampak jelas.

- b. Sedikit lapuk (*slightly weathered*)

Slightly weathered pada lapangan adalah kondisi dimana pelapukan terdapat pada rekahan yang terbuka, perubahan warna pada terjadi pada radius 10 mm sekitar rekahan.

- c. Terlapukan sedang (*moderately weathered*)

Moderately weathered adalah kondisi dimana perubahan warna mencapai bagian yang lebih luas (>10mm) dan batuan tidak mudah lepas.

- d. Sangat terlapukan (*highly weathered*)

Highly weathered adalah kondisi dimana pelapukan mencapai semua bagian massa batuan, kondisi batuan mudah pecah, dan tidak mengkilap.

- e. Terlapukan sempurna (*completely weathered*)

Completely weathered adalah kondisi dimana massa batuan secara keseluruhan sudah berubah warna dan mengalami dekomposisi serta dalam keadaan rapuh, kenampakan luar sudah seperti tanah (*soil*).

4. Material Pengisi

Material pengisi merupakan material yang mengisi rekahan-rekahan pada bidang diskontinuitas. Material pengisi biasanya lebih lemah kekuatannya dari batuan utuh. Tipe pengisi bisa berupa pasir, lanau, lempung, dan *gauge*. Untuk mineral pengisi seperti Kalsit, Kuarsa dan Pirit memiliki kekuatan yang tinggi. Sehingga secara mekanik material pengisi akan mempengaruhi kuat geser bidang diskontinuitas.

Tabel 2.6 Klasifikasi kondisi diskontinuitas (Bieniawski, 1979)

Deskripsi Kondisi Bidang Diskontinuitas	Pembobotan RMR
Permukaan sangat kasar, tidak menerus, separasi tidak ada, tidak lapuk	30
Permukaan agak kasar, lebar bukaan diskontinuitas <1 mm, tingkat pelapukan rendah <i>slightly weathered</i>	25
Permukaan agak kasar, lebar bukaan diskontinuitas <1 mm, sangat lapuk	20
Bidang diskontinuitas menerus, permukaan halus (<i>slickenside structure</i>), lebar bukaan diskontinuitas 1-5 mm, terdapat material pengisi yang lunak	10
Bidang diskontinuitas menerus, permukaan halus (<i>slickenside structure</i>), lebar bukaan diskontinuitas >5 mm, terdapat material pengisi yang lunak	0

2.3.5 Kondisi Air Tanah

Pengambilan data kondisi air tanah di lapangan relatif mudah yaitu dengan melihat dan meraba permukaan batuan. Kondisi air tanah dinyatakan dengan kondisi sebagai berikut(Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Pembobotan kondisi air tanah (Bieniawski, 1979)

Kondisi Air Tanah	Pembobotan RMR
Kering (<i>dry</i>)	15
Lembab (<i>dam</i>)	10
Basah (<i>wet</i>)	7
Menetes (<i>dripping</i>)	4
Mengalir (<i>Flowing</i>)	0

2.3.6 Pembobotan Nilai RMR

Nilai RMR diperoleh hasil penjumlahan 5 (lima) parameter sebelumnya. Pembobotan RMR dapat dilihat pada (tabel 2.7).

Tabel 2.8 Pembobotan klasifikasi RMR Bieniawski, 1979 (R. K. Umrao et al. 2011).

Parameter		Nilai					Untuk nilai yang kecil di pakai hasil UCS		
1	Kuat Tekan Batuan Utuh	PLI (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2			
		UCS (MPa)	> 250	100 - 200	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1
	Pembobotan		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25		
	Pembobotan		20	17	13	8	3		
3	Jarak Diskontinuitas		> 2m	0,6m - 2m	200mm - 600mm	60mm-200mm	< 60mm		
	Pembobotan		20	15	10	8	5		

4	Kondisi Diskontinuitas	Permukaan sangat kasar, tidak menerus, tidak renggang, tidak lapuk	Agak kasar, separasi < 1 mm, agak lapuk	Agak kasar, separasi < 1 mm, sangat lapuk	<i>Slikensided/ gouge</i> < 5 mm, atau separasi 1 – 5 mm, menerus	<i>Gouge</i> lunak > 5 mm, atau separasi > 5 mm, menerus	
		Pembobotan	30	25	20	10	0
5.	Airtanah	Tekanan pori dibagi tegangan utama	0	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
		Keadaan Umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
	Pembobotan	15	10	7	4	0	

2.4 Klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)*

Slope Mass Rating (SMR) merupakan modifikasi dari klasifikasi *Rock Mass Rating (RMR)* yang dikembangkan oleh Romana, 1985. Parameter yang dibutuhkan untuk klasifikasi *slope mass rating (SMR)* antara lain, nilai RMR Bieniawski 1979, arah (*dip direction*) dari permukaan lereng (α_s), arah (*dip direction*) bidang diskontinuitas (α_j), sudut kemiringan lereng (β_s), dan sudut kemiringan bidang diskontinuitas (β_j). Nilai *SMR* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Romana 1985):

$$SMR = RMR_{basic} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \dots\dots\dots (2.5)$$

Klasifikasi RMR yang digunakan adalah RMR 79 dengan mempertimbangkan 5 (lima) parameter dalam penentuan kelas massa batuan yaitu, kuat tekan batuan utuh (*intact rock strength*), *Rock Quality Designation (RQD)*, jarak antar kekar (*spacing of discontinuity*), kondisi kekar (*joint condition*) dan kondisi air tanah (Saranaathan S. E., 2015). Paramater F1, F2 dan F3 adalah pengaruh orientasi bidang diskontinuitas terhadap lereng, sedangkan F4 adalah faktor koreksi terhadap metode penggalian yang digunakan dalam pembentukan lereng (Siddique T., et al. 2015).

Tabel 2.9 Pembobotan klasifikasi SMR Romana 1985 (Riquelme, et.al, 2016)

<i>Case</i>	<i>The Calculated value</i>	<i>Very Favourable</i>	<i>Favourable</i>	<i>Fair</i>	<i>Unfavourable</i>	<i>Very unfavourable</i>
P	$ \alpha_j - \alpha_s $					
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $	$> 30^0$	$30^0 - 21^0$	$20^0 - 11^0$	$10^0 - 5^0$	$< 5^0$
W	$ \alpha_i - \alpha_s $					
P/W/T	F1	0.15	0.4	0.7	0.85	1.0
P	$ \beta_j $	$< 20^0$	$20^0 - 30^0$	$31^0 - 35^0$	$36^0 - 45^0$	$> 45^0$
W	$ \beta_i $					
P/W	F2	0.15	0.4	0.7	0.85	1.0
T	F2			1.0		
P	$ \beta_j - \beta_s $					
W	$ \beta_i - \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/W/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Keterangan:

α_j = *Joint dip direction*

β_j = *Joint dip*

P = Longsor Bidang

α_s = *Slope dip direction*

β_s = *Slope dip*

W = Longsor Baji

α_i = *Arah Perpotongan Longsor Baji*

β_i = *Wedge dip*

T = Longsor Guling

Penentuan tingkat kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh metode penggalian yang digunakan. Kegiatan peledakan dalam pembentukan lereng akan mempengaruhi tingkat kestabilan, sehingga dipertimbangkan sebagai salah satu parameter pada klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* menurut Romana, (1985). Pembobotan metode penggalian yang digunakan pada klasifikasi SMR adalah sebagai berikut (Tabel 2.10)

Tabel 2.10 Pembobotan metode penggalian SMR (Romana, 1985)

<i>Method</i>	<i>Natural Slope</i>	<i>Pre-split Blasting</i>	<i>Smooth Blasting</i>	<i>Mechanical Blasting</i>	<i>Deficient Blasting</i>
F4	+15	+10	+8	0	-8

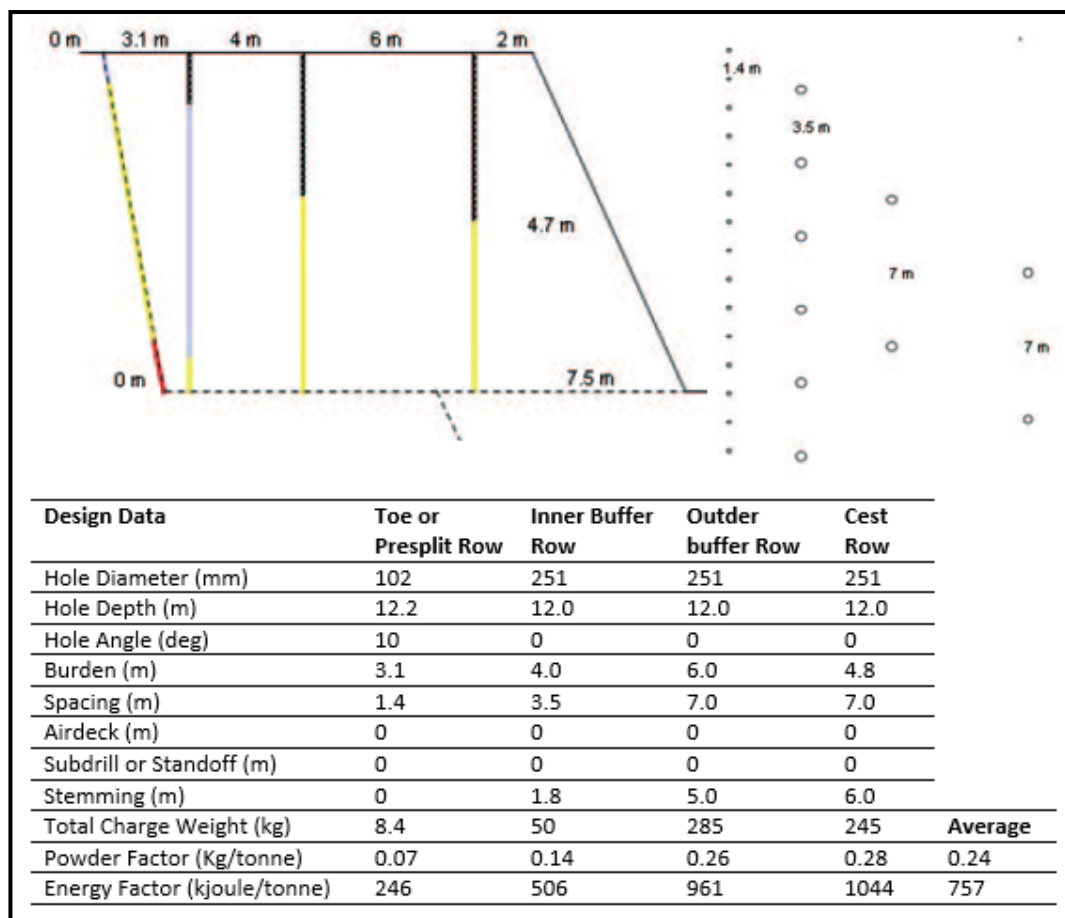
1. *Natural Slope*

Natural slope merupakan kondisi lereng alami dan belum pernah tersentuh oleh tangan manusia dalam pembentukannya yang berupa singkapan (*outcrop*). Untuk pembobotan lereng alami diberi nilai 15 pada klasifikasi SMR (Romana, 1985).

2. Pre-split Blasting

Peledakan *pre-split* merupakan salah satu metode peledakan dalam pembentukan dinding tambang yang baris terakhir dekat dengan dinding diledakan terlebih dahulu sebelum peledakan utamanya (*primary blasting*). Peledakan *presplitting* biasa diterapkan pada kondisi sebagai berikut (Read and Stacey, 2009):

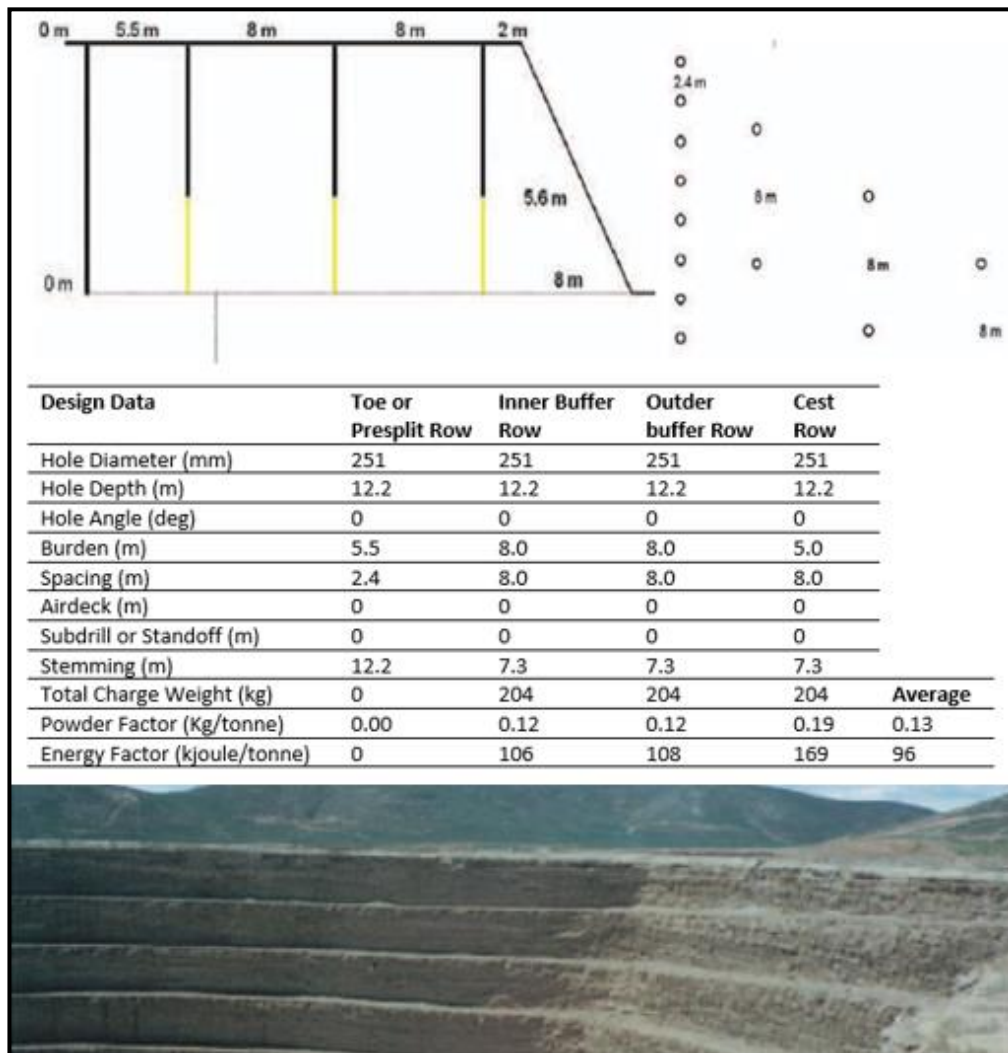
- Batuan masif (*massive rock*)
- Banyak ditemukan orientasi bidang lemah (*tight joints*)
- Arah orientasi bidang lemah dominan searah lereng atau perbedaan sudut antara arah lereng dan arah dari orientasi bidang lemah dibawah 30° .
- Banyak ditemukan struktur pada *daylight zone*.



Gambar 2.7 Desain geometri *pre-split blasting* (Read & Stacey, 2009)

3. Smooth Blasting

Smooth blasting/controlled blasting merupakan teknik peledakan yang bertujuan untuk mengurangi dampak dari getaran akibat kegiatan *blasting*. Salah satu metode *smooth blasting* yang biasa digunakan yaitu *line drilling*. Prinsip metode *line drilling* yaitu baris lubang bor yang berada dekat dinding tidak diberi isian peledak (kosong) sehingga ada ruang bebas untuk mengurangi dampak getaran akibat peledakan terhadap dinding tambang. Metode peledakan *line drilling* diterapkan pada kondisi batuan lunak. Berikut desain dari metode *line drilling* (Read & Stacey, 2009).



Gambar 2.8 Geometri peledakan *line drilling* (Read & Stacey, 2009)

4. *Mechanical Blasting*

Prinsip Kerja dari metode *mechanical blasting* tidak jauh berbeda dengan *smooth blasting*, namun kontrol getaran akibat dari kegiatan *blasting* kurang. Seluruh lubang bor diisi bahan peledak dengan jumlah yang sama dan hanya menggunakan *micro-delay* untuk mengurangi dampak getaran akibat ledakan.

5. *Deficient Blasting*

Deficient blasting merupakan metode peledakan yang tidak mengontrol dampak getaran akibat dari kegiatan *blasting*. *Deficient blasting* sangat jarang digunakan karena terlalu beresiko terhadap tingkat kestabilan. Metode ini bahkan tidak menggunakan *micro-delay* dalam proses peledakannya.

Nilai *Slope Mass Rating (SMR)* yang diperoleh dapat diketahui kondisi massa batuan, tingkat kestabilan, frekuensi longsor (Tabel 2.11).

Tabel 2.11 Deskripsi klasifikasi SMR, Romana, 1985 (Zhang and Liang, 2015).

<i>Class</i>	<i>SMR</i>	<i>Rock Mass</i>	<i>Stability</i>	<i>Failures</i>	<i>Frequency of failure</i>
I	81-100	<i>Very good</i>	<i>Completely Stable</i>	<i>None</i>	0
II	61-80	<i>Good</i>	<i>Stable</i>	<i>Some block</i>	0.2
III	41-60	<i>Normal</i>	<i>Critical</i>	<i>Some joint or many wedges</i>	0.4
IV	21-40	<i>Bad</i>	<i>Unstable</i>	<i>Planar or big wedges</i>	0.6
V	0-20	<i>Very bad</i>	<i>Completely unstable</i>	<i>Big planar or soil-like</i>	0.9

Metode penanganan yang dilakukan pada lereng tambang berdasarkan klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)* adalah sebagai berikut (Tabel 2.12).

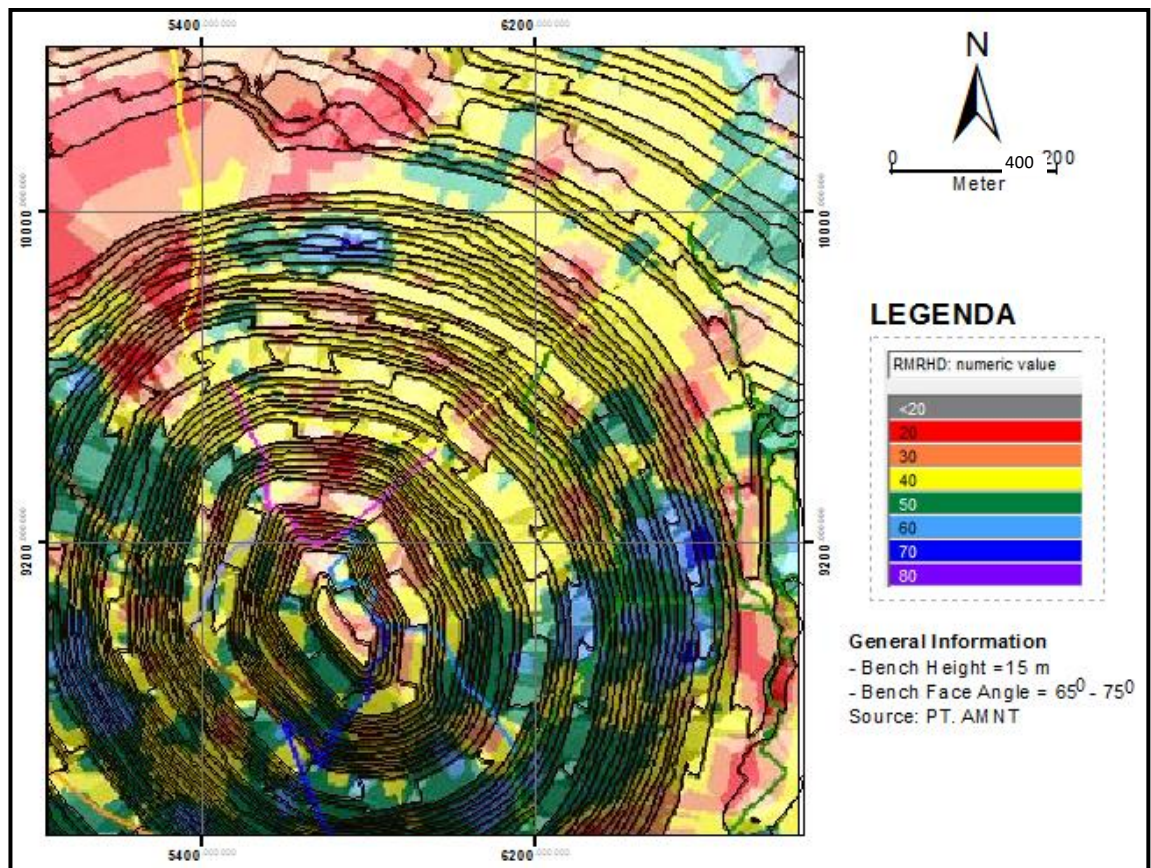
Tabel 2.12 Rekomendasi jenis perkuatan lereng klasifikasi SMR (Romana, 1985)

<i>Class</i>	<i>SMR</i>	<i>Support</i>
Ia	91 – 100	<i>None</i>
Ib	81 - 90	<i>None, Scalling</i>
IIa	71 – 80	<i>None, Toe ditch, Spot bolting</i>
IIb	61 – 70	<i>Toe ditch, nets, spot/systematic bolting</i>
IIIa	51 – 60	<i>Toe ditch, nets, spot/systematic bolting, spot shotcrete</i>
IIIb	41 – 50	<i>Toe ditch, nets, spot or systematic bolting, anchors, systematic shotcrete toe wall</i>

IVa	31 – 40	<i>Anchors, systematic shotcrete, toe wall, systematic bolting reexcavation drainage</i>
IVb	21 – 30	<i>Systematic reinforced shotcrete, systematic bolting, toe wall, concrete, reexcavation, deep drainage</i>
Va	11 - 20	<i>Reexcavation</i>

2.5 Geoteknik Daerah Penelitian

Kekuatan massa batuan (RMR) *pit* Batu Hijau PT Amman Mineral Nusa Tenggara bervariasi dengan nilai RMR antara 20–70, kondisi massa batuan (RMR) *pit* Batu Hijau berada pada kelas IV–II (*bad-good*).



Gambar 2.9 Nilai RMR *pit* Batu Hijau (PT AMNT, 2016)

Tabel 2.13 Deskripsi kelas massa batuan klasifikasi RMR (Bieniawski, 1979)

<i>Rating RMR</i>	100–81	80–61	60–41	40–20	< 20
<i>Class</i>	I	II	III	IV	V
<i>Description</i>	<i>Very good</i>	<i>Good</i>	<i>Normal</i>	<i>Bad</i>	<i>Very bad</i>

2.6 Analisis Kinematika

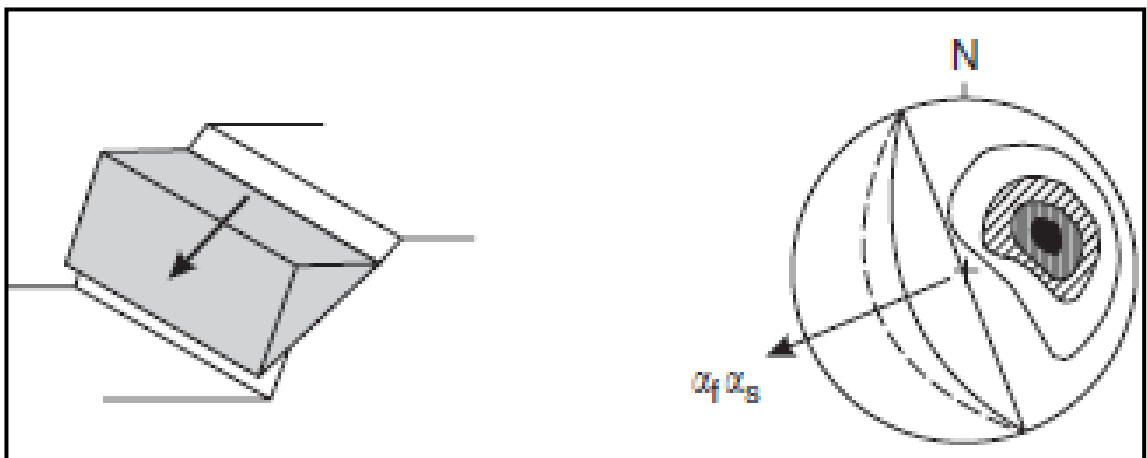
Analisis kinematika merupakan metode yang digunakan pada tahap awal dalam melakukan analisis kemandapan lereng sebelum melangkah ketahap perhitungan faktor keamanan. Hasil analisis kinematika, dapat diketahui jumlah bidang, jenis dan arah longsor serta *Probability of Failure (PoF)* dari longsor tersebut. Metode analisis stereografis (*stereonet*) hanya dipakai untuk batuan yang mempunyai bidang lemah atau bidang diskontinuitas seperti perlapisan, kekar, sesar, dan sebagainya.

2.6.1 Jenis-jenis Longsor

Berdasarkan proses dan jenis longornya, longsor batuan dapat dibedakan menjadi empat macam (Hoek and Bray, 1981) yaitu:

1. Longsor Bidang (*Plane Failure*)

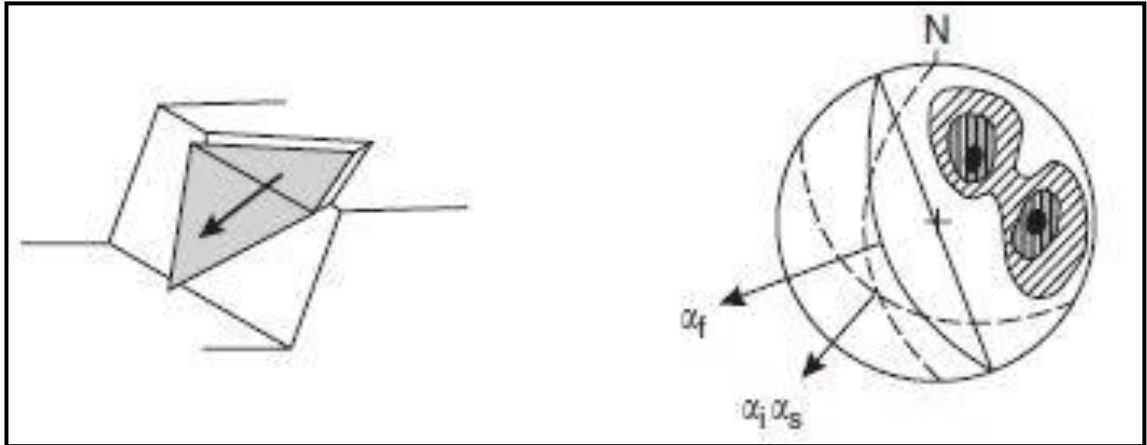
Longsor bidang merupakan suatu longsor batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur dapat berupa sesar/patahan, kekar (*joint*) maupun bidang perlapisan batuan. Longsor bidang dapat terjadi apabila orientasi bidang diskontinuitas searah lereng atau perbedaan sudut antara arah lereng dengan arah bidang lemah maksimal 30° dengan kemiringan bidang gelincir harus lebih besar dari sudut geser dalam batuan.



Gambar 2.10 Longsor bidang (Hoek and Bray, 1981)

2. Longsor Baji (*Wedge Failure*)

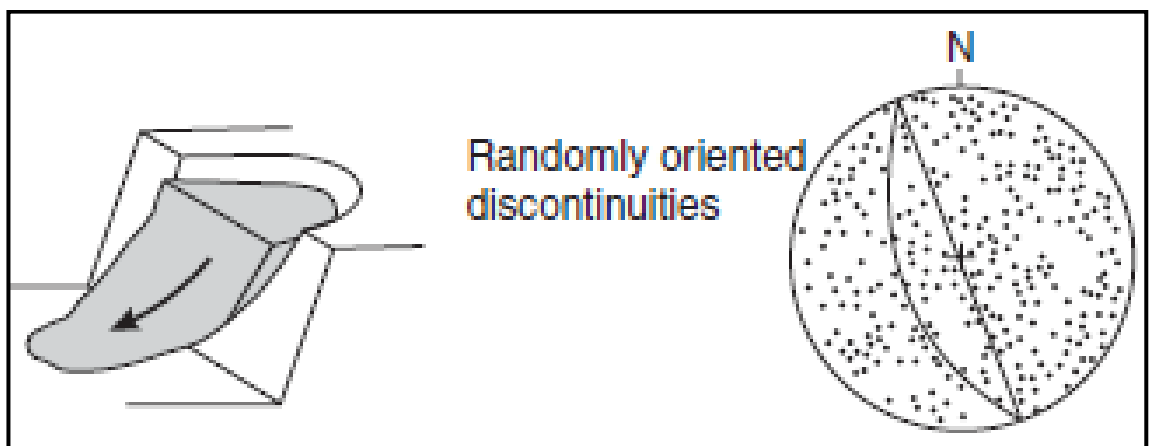
Longsor baji dapat terjadi pada suatu batuan jika terdapat lebih dari satu bidang lemah yang bebas dan saling berpotongan dengan arah orientasi bidang lemah searah lereng atau berada pada zona *daylight*. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam batuan.



Gambar 2.11 Longsor baji (Hoek and Bray, 1981)

3. Longsor Busur (*Circular Failure*)

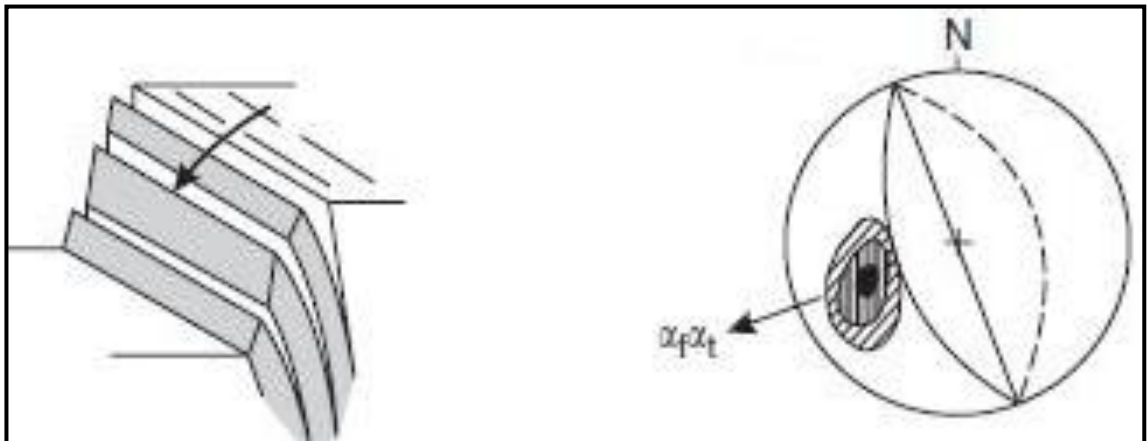
Longsor busur hanya terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah. Longsor busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat lapuk serta banyak mengandung bidang lemah (*lose material*).



Gambar 2.12 Longsor busur (Hoek and Bray, 1981)

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 diatas sebuah bidang miring.



Gambar 2.13 Longsoran guling (Hoek and Bray, 1981)

2.6.2 *Probability of Failure (PoF)*

Probability of Failure (PoF) merupakan besarnya persentase longsoran yang mungkin terjadi pada lereng, semakin tinggi nilai PoF maka kondisi lereng semakin tidak stabil. Standar aman PoF yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Deskripsi nilai PoF pada lereng tambang (Read & Stacey, 2009)

<i>Acceptable</i>		
<i>Category</i>	<i>Description</i>	<i>PoF</i>
1	<i>Critical slopes where failure may affect continuous operation and pit safety</i>	<5%
2	<i>Slopes where failure have a significant impact on costs and safety</i>	<15%
3	<i>Slopes where failure has no impact on costs and where minimal safety hazards exist</i>	<30%

Nilai PoF hasil dari analisis kinematik dapat menjadi acuan untuk penangan penangan awal maupun *maintenance* yang dilakukan sehingga dapat meminimalkan resiko bahaya. Berikut deskripsi penanganan awal yang dapat diberikan dari nilai *Probability of Failure* (Tabel 2.15).

Tabel 2.15 Penanganan awal hasil PoF analisis kinematik (Read & Stacey, 2009)

PoF (%)	<i>Design criteria</i>	<i>Aspects of natural situation</i>
	<i>Minimum surveillance required</i>	<i>Frequency of unstable movements</i>
20-50	<i>Continuous monitoring with intensive sophisticated instruments</i>	<i>Clear evidence of creeping valley sides</i>
10-20	<i>Continuous monitoring with sophisticated instruments</i>	<i>Some evidence of slow creeping valley sides</i>
5-10	<i>Continuous monitoring with simple instruments</i>	<i>Some evidence of very slow creeping valley sides</i>
1.5-5	<i>Conscious superficial monitoring</i>	<i>Extremely slow creeping valley sides</i>
0.5-1.5	<i>Incidental superficial monitoring</i>	<i>No unstable movements evidence</i>
<0.5	<i>No monitoring required</i>	<i>No movements</i>

2.7 Desain Perkuatan Lereng

Banyak tindakan perbaikan yang dapat dilakukan untuk mendukung kemiringan yang tidak stabil, atau untuk mencegah potensi ketidakstabilan. Hanya beberapa literatur membahas tentang efek dari perkuatan pada suatu lereng, terutama bila ukuran yang berbeda pada saat yang bersamaan. Selain itu, banyak peneliti yang mendokumentasikan secara analitis koreksi tanah longsor di dalam tanah dengan menggunakan drainase dalam dan/atau inklusi tahanan pada lereng.

Tabel 2.16 Klasifikasi longsor berdasarkan nilai SMR

<i>SMR</i>	<i>Plane/failures</i>	<i>Wedge</i>	
> 75	<i>None</i>	<i>None</i>	
60–75	<i>None</i>	<i>Some</i>	
40–55	<i>Big</i>	<i>Many</i>	
15–40	<i>Major</i>	<i>No</i>	
<i>SMR</i>	<i>Toppling failures</i>	<i>SMR</i>	<i>Soil-like failures</i>
> 65	<i>None</i>	30	<i>None</i>
50–65	<i>Minor</i>	10–30	<i>Possible</i>
30–35	<i>Major</i>		

Studi tentang lereng yang berpotensi tidak stabil adalah hal yang sulit karena membutuhkan kerja lapangan yang cermat, analisis terperinci dan pemahaman yang baik terhadap kepentingan relatif terhadap beberapa faktor ketidakstabilan pada lereng. Tidak ada sistem klasifikasi yang bisa menggantikan hal tersebut. Namun, sistem

tersebut digunakan untuk menunjukkan batas normal penggunaan setiap jenis perkuatan lereng. Diantara pemilihannya berada di luar ruang lingkup sistem klasifikasi.

Jenis perkuatan/penyanggaan dapat diklasifikasikan menjadi 6 kelas

1. *No support* *None*
Scaling
2. *Protection* *Toe ditches*
Fences (at toe or in the slope)
Nets (over the slope face)
3. *Reinforcement* *Bolts*
Anchors
4. *Concreting* *Shotcrete*
Dental concrete
Ribs and/or beams
Toe walls
5. *Drainage* *Surface*
Deep
6. *Reexcavation*

Dari studi kasus yang dikumpulkan, Tabel 2.17 menyajikan jenis perkuatan yang lebih umum untuk setiap interval kelas. Biasanya tidak diperlukan perkuatan untuk lereng dengan nilai SMR 75–100. Ada beberapa lereng yang stabil dengan nilai SMR 65.

Total penggalian lereng adalah ukuran drastis, normal pada lereng tanah, namun kurang praktis pada lapisan batu, kecuali pada longsoran planar melalui sambungan kontinu yang besar. Hal itu dapat diambil untuk mengurangi kadar, dan berat badan di bagian atasnya dan/ tau menambahkan bobot stabil pada jari kaki. Tidak ada kemiringan yang ditemukan dengan nilai SMR di atas 30. Tidak ada kemiringan yang ditemukan dengan nilai SMR di bawah 10. Mungkin nilai yang rendah seperti itu akan memberikan

ketidakstabilan total dan instan, penggalian lereng (bahkan dalam waktu yang sangat singkat) Tidak layak secara fisik.

Dalam pengertian yang luas, kisaran SMR untuk setiap kelas jenis perkuatan tercantum dalam Tabel 2.18 Pemilihan tindakan yang memadai harus dilakukan dengan mempertimbangkan mekanisme kegagalan umum dan juga frekuensi kekar. Dua parameter dapat berguna untuk mengukur frekuensi kekar.

1. Jarak kekar, S . Nilai modal distribusi jarak kekar dalam suatu bidang. Seringkali nilai jarak kekar yang mengatur sesuai dengan jenis kekar dari ketidakstabilan.
2. Jumlah volume kekar, J_v . Jumlah kekar per meter kubik, J_v , dapat dievaluasi dengan rumus

$$J_v = \sum 1/S_i$$

Dimana S adalah rata-rata jarak untuk setiap kekar. Metode yang Disarankan ISRM untuk deskripsi kuantitatif diskontinuitas dalam Misa Batu '[13] adalah sebagai berikut:

Tabel 2.17 Jenis perkuatan untuk setiap nilai SMR (Romana,1985)

<i>Class</i>	SMR	<i>Support</i>
Ia	91–100	<i>None</i>
Ib	81–90	<i>None. Scaling</i>
IIa	71–80	<i>(None. Toe ditch or fence)</i> <i>Spot bolting</i>
Iib	61–70	<i>Toe ditch or fence. Nets</i> <i>Spot or systematic bolting</i>
IIIa	51–60	<i>Toe ditch and/or nets</i> <i>Spot shotcrete</i>
IIIb	41–50	<i>(Toe ditch and/or nets)</i> <i>Systematic bolting. Anchors</i> <i>Systematic shotcrete</i>
IVa	31–40	<i>Toe wall and/or dental concrete</i> <i>Anchors</i> <i>Systematic shotcrete</i> <i>Toe wall and/or concrete</i>

IVb	21–30	<i>(Re-excavation) Drainage Systematic reinforced shotcrete Toe wall and/or concrete Re-excavation. Deep drainage Gravity or anchored wall</i>
Va		<i>Re-excavation</i>

Tabel 2.18 Kisaran SMR untuk kelas ukur dukungan (Romana,1985)

SMR	<i>Support Measure</i>
65–100	<i>None. Scaling</i>
45–70	<i>Protection</i>
30–75	<i>Reinforcing</i>
20–60	<i>Concreting</i>
10–40	<i>Drainage</i>
10–30	<i>Toe walls. Reexcavation</i>

Tabel 2.19 Deskripsi ukuran blok menurut Jv (Romana,1985)

<i>Descriptions of Blocks</i>	<i>Jv (joints m-3)</i>
<i>Very large</i>	< 1
<i>Large</i>	1–3
<i>Medium</i>	3–10
<i>Small</i>	10–30
<i>Very small</i>	30–60
<i>Crushed rock</i>	> 60