

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kestabilan suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada lokasi tersebut, kondisi air tanah setempat, faktor luar seperti getaran akibat peledakan ataupun alat mekanis yang beroperasi dan juga dari teknik yang digunakan dalam pembuatan lereng. Apabila kestabilan dari suatu lereng dalam operasi penambangan meragukan, maka analisa terhadap kestabilannya harus dinilai dari struktur

Pada daerah dengan morfologi yang curam dengan banyak bidang-bidang diskontinuitas, longsoran batuan adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi. Hal ini terjadi karena adanya bidang diskontinuitas tersebut yang merupakan bidang lemah pada massa batuan yang membentuk lereng. Bidang lemah tersebut umumnya berupa struktur geologi yaitu rekahan atau kekar dan patahan. Berdasarkan struktur geologi yang dominan terdapat pada batuan pembentuk lereng maka dapat ditentukan jenis longsoran batuan berpotensi terjadi pada lereng tersebut.

Analisis stabilitas lereng merupakan salah satu analisis penting dalam kajian geoteknik. Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan suatu lereng secara alami maupun saat beban diberikan. Jika tingkat kestabilan suatu lereng telah diketahui maka teknik perekayasaan untuk mendapatkan lereng yang aman bagi suatu kegiatan konstruksi dapat ditentukan.

Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “*Analisis Kestabilan Lereng Pada Daerah Tompotika Makmur, Kecamatan Masama, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah*”.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian adalah untuk menganalisis kestabilan lereng menggunakan metode *slope mass rating* pada daerah Tompotika Makmur, Kecamatan Masama, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah.

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

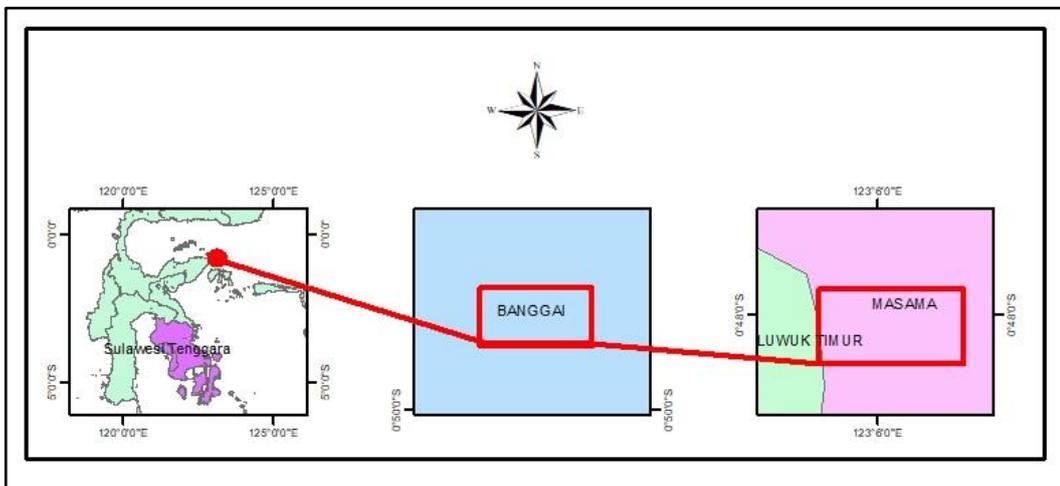
1. Mengetahui karakteristik massa batuan pada daerah penelitian
2. Mengetahui tipe longsor lereng pada daerah penelitian
3. Mengetahui tingkat kestabilan lereng pada daerah penelitian

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini terbatas pada masalah penentuan kelas massa batuan dengan metode *Rock Mass Rating* (RMR), penentuan tipe kelongsoran lereng dengan program *Dips*, dan penentuan tingkat kestabilan lereng dengan metode *Slope Mass Rating* (SMR) pada empat titik stasiun pengamatan yaitu Lereng 1, Lereng 2, Lereng 3 dan Lereng 4 daerah penelitian.

1.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Secara administratif daerah penelitian terletak pada Desa Tompotika Makmur, Kecamatan Mamasa, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah dan secara astronomis terletak pada $120^{\circ} 02' 46''$ - $123^{\circ} 07' 44,8''$ Bujur Timur dan $0^{\circ} 46' 37,1''$ - $0^{\circ} 48' 23,6''$ Lintang Selatan.



Gambar 1 Lokasi penelitian

Daerah penelitian dari Kota Makassar berjarak ± 1.130 Km yang dapat dicapai menggunakan jalur udara, jalur darat, dan jalur laut. Daerah penelitian dapat dicapai dengan jalur udara dan ditempuh dengan waktu $\pm 1,5$ jam hingga mencapai Kota Luwuk, kemudian dilanjutkan dengan perjalanan darat menggunakan mobil/motor hingga sampai ke lokasi penelitian dengan waktu tempuh ± 1 jam perjalanan. Daerah penelitian juga dapat dicapai dengan jalur darat dan dapat

ditempuh dengan waktu ± 36 jam menggunakan mobil hingga sampai ke lokasi penelitian. Sedangkan dengan menggunakan jalur laut, daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan kapal laut dengan waktu tempuh ± 38 jam hingga mencapai pelabuhan Banggai Kepulauan, kemudian membutuhkan waktu ± 8 jam untuk sampai ke Kota Luwuk, dan dilanjutkan dengan dengan perjalanan darat menggunakan mobil/motor hingga sampai ke lokasi penelitian dengan waktu tempuh ± 1 jam perjalanan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Sulawesi dan pulau-pulau di sekitarnya dibagi menjadi tiga mendala (propinsi) geologi, yang secara orogen bagian timur berumur lebih tua sedangkan bagian barat lebih muda. Mendala-mendala tersebut adalah mendala Sulawesi Barat, mendala Sulawesi Timur dan mendala Banggai-Sula dalam Sukanto tahun 1975. Pembagian tersebut didasarkan pada stratigrafi, struktur dan sejarah masing-masing mendala. Kepulauan Banggai dan Kepulauan Sula merupakan satu mendala geologi tersendiri, daerah Sulawesi Tenggara termasuk lengan timur Sulawesi termasuk mendala Sulawesi Timur sedangkan mendala Sulawesi Barat yang meliputi daerah Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah bagian barat dan Sulawesi Utara.

1. Mendala Sulawesi Barat merupakan suatu palung Kapur hingga Paleogen yang telah berkembang menjadi suatu jalur tengah gunung api di dalam zaman yang lebih muda.
2. Mendala Sulawesi Timur tercirikan oleh gabungan ofiolit dan batuan metamorfis, bagian barat mendala ini terutama terdiri dari sekis. Endapan-endapan laut dalam yang luas dengan sisipan rijang terdapat di mendala ini.
3. Mendala Banggai-Sula mempunyai urutan sedimen yang menonjol, yang diendapkan selama Jura dan Kapur. Urutan ini menindih batuan sedimen yang diendapkan tak selaras di atas batuan gunungapi dan kompleks alas batuan metamorf dan batuan bersifat granit.

2.1.1 Geomorfologi Regional

Morfologi daerah Luwuk dapat dibagi menjadi tiga satuan yaitu pegunungan dan kras, perbukitan dan dataran rendah dalam Rusmana dkk (1993)(Gambar 2) yaitu sebagai berikut :

1. Pegunungan dan Kras
Pegunungan menempati bagian tengah daerah pemetaan dengan puncak tertingginya mencapai 2,255 m di atas muka laut. Morfologi pegunungan

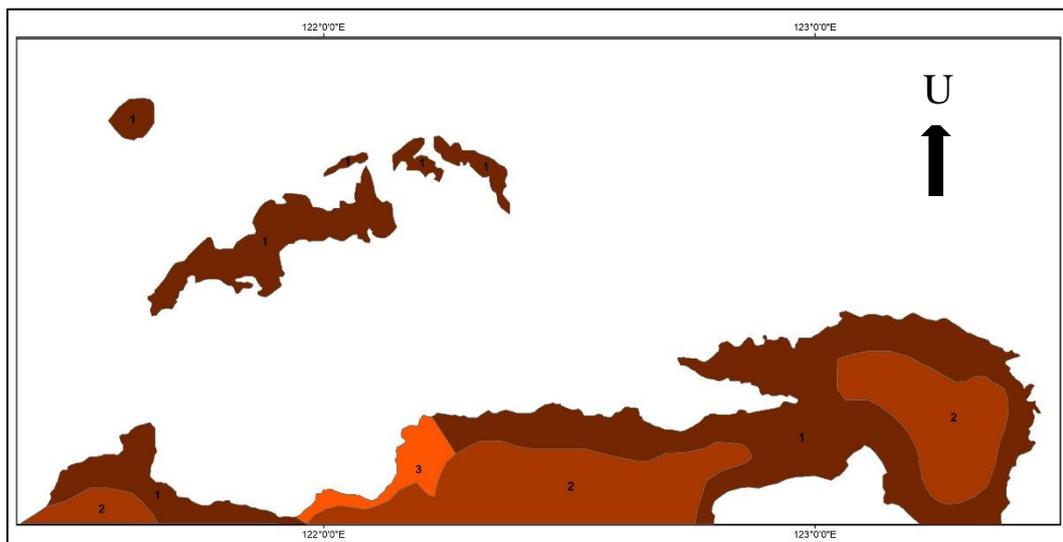
dicirikan oleh tonjolan yang kasar dan berlereng terjal. Kras berupa dolina, gua dan sungai bawah tanah, dengan batuan yang membentuk morfologi pegunungan ini adalah batuan ultramafik, batuan mafik, dan batu gamping pada daerah kras. Lembah sungai yang mengalir di daerah ini berbentuk V, dan banyak dijumpai air terjun.

2. Perbukitan

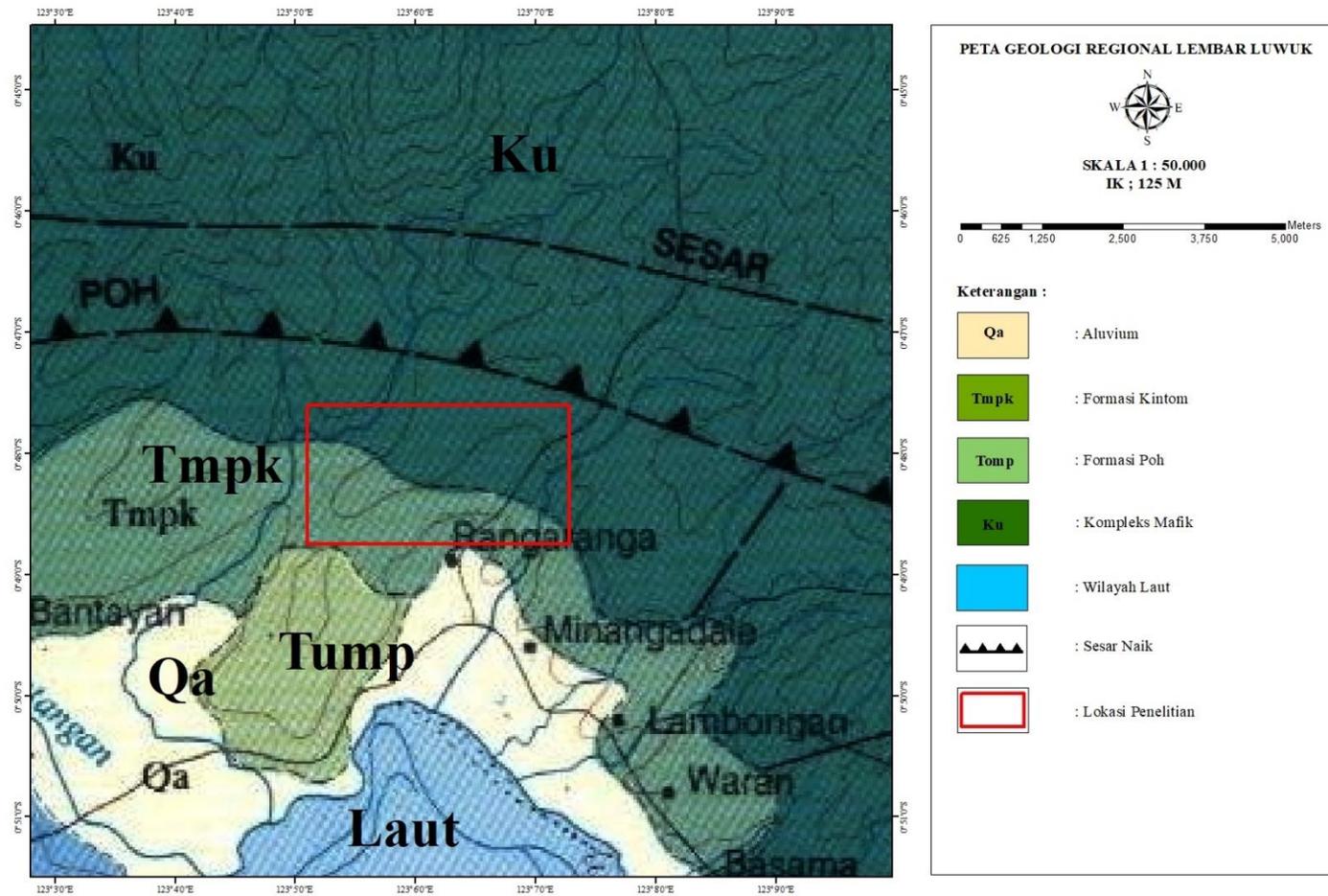
Satuan perbukitan menempati daerah di antara pegunungan dan dataran, ketinggiannya berkisar antara 50 sampai 700 m di atas muka laut. Satuan morfologi ini berlereng landai sampai agak curam dengan batuan yang membentuk morfologi ini ialah batu gamping, batuan ultramafik dan mafik, batuan gunungapi dan sedimen klastika. Pola aliran sungai di daerah ini dapat digolongkan sejajar atau hampir sejajar.

3. Dataran Rendah

Dataran rendah menempati daerah pantai, terutama di bagian utara daerah pemetaan ketinggiannya berkisar antara 0 dan 50 m di atas muka laut. Dataran terdapat di daerah Ampana, Balingara, Bunda, Siuna dan Binsil; kesemuanya terdapat di pantai utara. Sungai yang mengalir di daerah ini umumnya berkelok dan berlembah lebar dan satuan morfologi ini dibentuk oleh endapan sungai dan pantai.



Gambar 2 Geomorfologi daerah Luwuk (Rusmana et al., 1993)



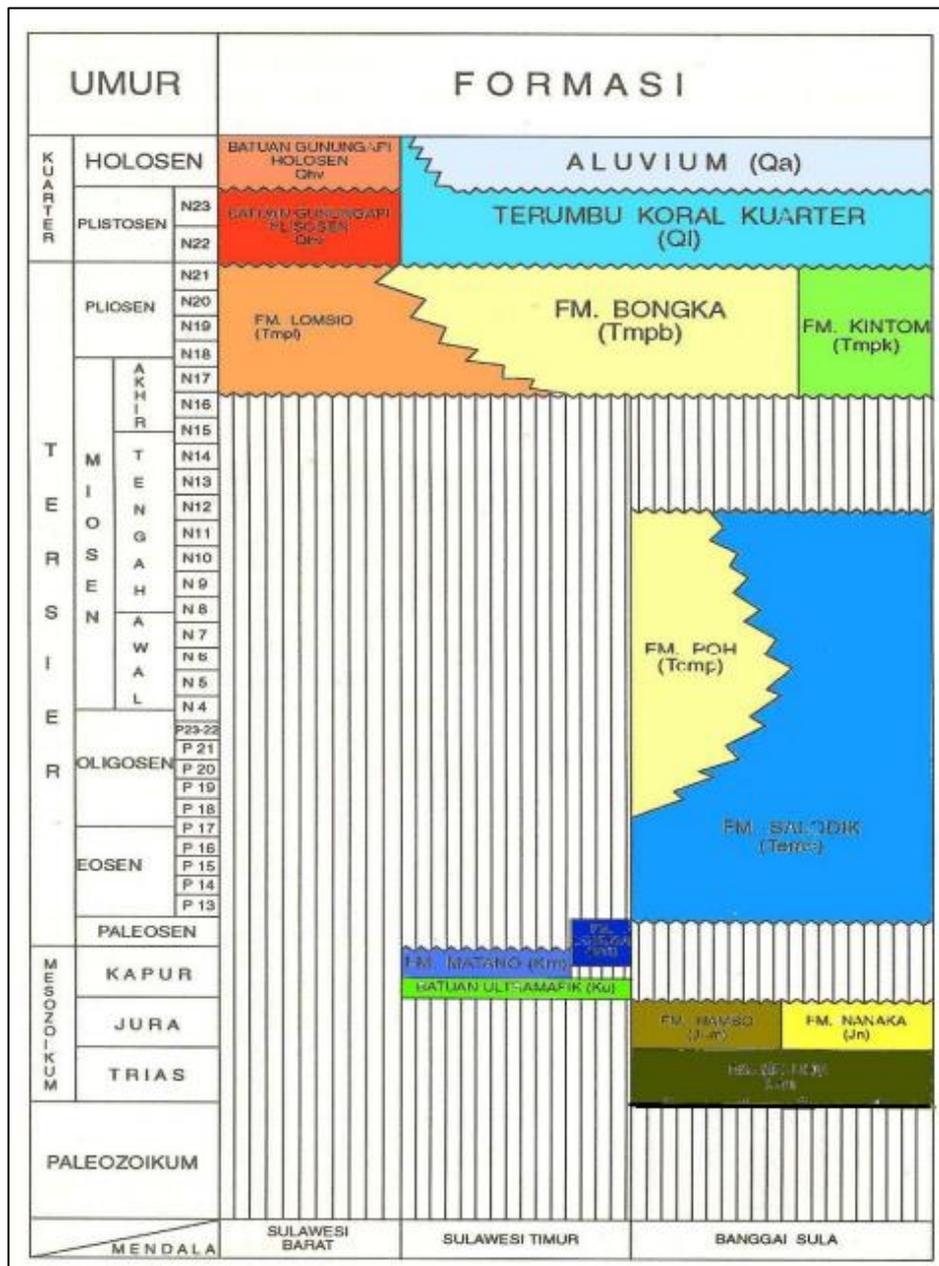
Gambar 3 Peta Geologi Regional Lembar Luwuk (Rusman et al., 1993)

2.1.2 Stratigrafi Regional

Penjelasan kondisi stratigrafi regional dijelaskan berikut :

1. Tataan Stratigrafi

Lembar Luwuk secara regional masuk ke dalam Mendala Sulawesi Timur, Banggai Sula, dan Sulawesi Barat (**Gambar 3**).



Gambar 4 Kolom Stratigrafi daerah penelitian (Rusmana et al., 1993)

Batuan penyusun formasi pada lokasi penelitian dijelaskan berdasarkan kategori umur dan dijelaskan berurutan dari yang paling tua hingga muda yaitu sebagai berikut :

1. Mesozoikum

Formasi Meluhu (TRJm) adalah formasi berumur Trias yang disusun oleh batuan metamorf, dengan ketebalan formasi mencapai 750 meter. Formasi ini bersentuhan tektonik dengan kompleks ultramafik.

Formasi Nambo (Jnm) adalah formasi berumur Jura tengah hingga Jura akhir yang tersusun dari batuan napal dan serpih. Ketebalan formasi ini mencapai 300 meter.

Formasi Nanaka (Jn) adalah formasi yang berumur Jura akhir, tersusun dari batu pasir kuarsa dengan perselingan batu pasir lempungan. Ketebalan formasi mencapai 800 meter. Formasi ini tertindih tak selaras oleh formasi Salodik (Tems).

2. Tersier

Formasi Salodik (Tems) adalah batu gamping yang kaya akan fosil, dengan umur diperkirakan Eosen hingga Miosen Akhir. Ketebalan formasi ini bisa mencapai 1500 meter.

Formasi Kintom (Tmpk) adalah formasi ini tersusun dari konglomerat, batu pasir dan napal di bagian bawahnya. Formasi yang berumur Miosen akhir hingga Pliosen ini mempunyai ketebalan hingga 1200 meter. Formasi ini tertindih tak selaras oleh formasi Terumbu koral Kuarter.

3. Kuarter

Terumbu Koral Kuarter (Q1) adalah formasi yang tersusun oleh batu gamping, dan diduga masih terbentuk sampai sekarang. Ketebalan formasi ini mencapai 400 meter.

Aluvium (Qa) tersusun dari hasil endapan sungai dan pantai. Terdiri dari pasir, kerikil, lumpur dan sisa tumbuhan.

2.1.4 Struktur Regional

Daerah Luwuk terdapat di pulau Sulawesi tepatnya di bagian Tengah, terletak di daerah subduksi, dan berasosiasi dengan batuan mafik dan ultramafik. Struktur geologi di daerah ini dicerminkan oleh sesar, lipatan dan kekar.

1. Struktur sesar yang dijumpai berupa sesar naik, sesar bongkah dan sesar geser jurus. Sesar naik diwakili oleh Sesar Poh, Sesar Batui dan Sesar Lobu. Kesemuanya diduga mempunyai arah gaya dari tenggara. Gaya tersebut menyebabkan terbentuknya sesar naik dan struktur pergentengan di bagian tengah serta sesar geser jurus mengiri di bagian timurnya. Sesar bongkah yang utama adalah Sesar Salodik, berarah barattimur, melibatkan batuan sedimen Tersier.
2. Struktur lipatan yang ditemukan di daerah ini digolongkan menjadi jenis lipatan lemah terbuka yaitu lipatan dengan kemiringan lapisan maksimum 30° dan lipatan kuat tertutup dengan kemiringan lapisan lebih dari 30° . Struktur lipatan di daerah ini membentuk antiklin dan sinklin dengan sumbu berarah timurlaut-baratdaya.
3. Hipotesis perkembangan tektonik menggambarkan bahwa mendala Sulawesi Barat, mendala Sulawesi Timur dan mendala Banggai-Sula dahulunya terpisahkan satu sama lain, karena suatu perkembangan tektonik bagian-bagian tersebut menjadi satu kesatuan seperti sekarang ini. Mendala Sulawesi Timur digambarkan bahwa pada zaman Mesozoikum merupakan pinggir utara benua Australia, pernyataan ini didasarkan oleh kesamaan fasies, struktur dan anomali gaya berat. Sedangkan batuan sedimen berumur Jura sampai Kapur di mendala Banggai-Sula bergeser ke arah barat sepanjang jalur sesar sorong yang disebabkan perpecahan besar daratan Gondwana yang disusul dengan perputaran.

2.2 Kestabilan Lereng Batuan

Kestabilan suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi, bentuk keseluruhan lereng pada lokasi penelitian, kondisi air tanah, faktor luar seperti getaran akibat peledakan ataupun alat mekanis yang beroperasi dan juga dari teknik yang digunakan dalam pembuatan lereng penambangan. Apabila kestabilan dari suatu lereng dalam operasi penambangan meragukan, maka analisa terhadap kestabilannya harus dinilai dari struktur geologi, kondisi air tanah dan faktor pengontrol lainnya yang terdapat pada suatu lereng. (Wulandari et al., 2016)

Kestabilan lereng batuan banyak dikaitkan dengan tingkat pelapukan dan struktur geologi yang hadir pada massa batuan tersebut, seperti sesar, kekar, lipatan dan bidang perlapisan. Struktur-struktur tersebut, selain lipatan, selanjutnya disebut sebagai bidang lemah. Disamping struktur geologi, kehadiran air dan karakteristik fisik dan mekanik juga dapat mempengaruhi kestabilan lereng (Sulistianto, 2001).

Untuk mengetahui adanya potensi tipe kelongsoran pada suatu aktivitas pemotongan lereng batuan, perlu dilakukan pemetaan orientasi diskontinuitas, baik sebelum maupun sesudah lereng batuan tersebut tersingkap. Sementara itu, metode analitik untuk memprediksi potensi kelongsoran batuan dan cara penanggulangannya seringkali tidak efektif. Oleh karena itu, penggunaan desain empiris dan klasifikasi massa batuan menjadi penting (Franklin et al., 1996).

2.3 Karakterisasi Massa Batuan dengan Sistem *Rock Mass Rating* (RMR)

Desain empiris (*empirical design*) merupakan salah satu metodologi desain yang tidak menggunakan metode desain formal (yang pada umumnya menggunakan perhitungan atau persamaan analitis), namun lebih mendasarkan pada pengalaman kumulatif dari berbagai hasil penelitian terdahulu. Sementara itu dalam kaitannya dengan rekayasa batuan, klasifikasi massa batuan (*rock mass classification*) berarti mengumpulkan data dan mengklasifikasikan singkapan batuan berdasarkan parameter - parameter yang telah diyakini dapat mencerminkan perilaku massa batuan tersebut. Salah satu contoh skema klasifikasi yang cukup populer dan yang telah memasukan elemen desain di dalamnya yaitu RMR atau *geomechanics classification system* (Bieniawski, 1989).

Klasifikasi geomekanika diusulkan oleh Bieniawski pada tahun 1989. Dalam menggunakan klasifikasi geomekanika, massa batuan dibagi menjadi beberapa kelompok daerah yang didasarkan kesamaan sifat dan karakteristik. Meskipun massa batuan bersifat diskontinuitas secara alamiah, namun pada setiap kelompok daerah yang telah dibagi akan memiliki kesamaan, seperti misalnya tipe batuan yang sama atau jarak spasi antar bidang diskontinuitas yang relatif sama. Setelah kelompok daerah ditentukan maka selanjutnya dicari parameter - parameter klasifikasi pada setiap kelompok daerah dengan melakukan pengukuran lapangan.

Menurut Bieniawski (1989) ada lima parameter dasar yang diukur atau diestimasi secara langsung di lapangan dan laboratorium, meliputi :

1. Kuat tekan uniaksial material batuan
2. RQD (*Rock Quality Designation*)
3. Spasi Kekar
4. Kondisi Kekar
5. Kondisi Air Tanah

2.3.1 Kuat Tekan Uniaksial Batuan

Kekuatan batuan utuh adalah kekuatan dari batuan utuh yang dapat dilakukan dengan pengujian laboratorium.

1. *Uniaxial Compressive Strength* (UCS)

Uji tekan uniaksial digunakan untuk menentukan kuat tekan uniaksial, rasio Poisson, dan modulus Young. Uji tekan uniaksial juga disebut uji tekan tak terbatas. Dalam pengujian ini, silinder melingkar sampel batuan dikompresi sejajar dengan sumbu longitudinalnya. (Jaeger et al., 1979)

Sampel batuan yang diuji berasal dari *core* yang dipilih berdasarkan kenampakan yang masih utuh tanpa gangguan diskontinuitas dan dipilih litologi yang mewakili daerah penelitian. Sampel ini diuji dalam bentuk silinder dengan perbandingan tinggi dan diameter (l/D) tertentu dimana perbandingan ini akan sangat berpengaruh pada nilai UCS yang dihasilkan. Semakin besar perbandingan panjang terhadap diameter, kuat tekan akan semakin kecil. Sampel kemudian ditekan dari satu arah (*uniaxial*) menggunakan mesin (Widiyaningsih, dkk, 2015).

2. *Point Load Test*

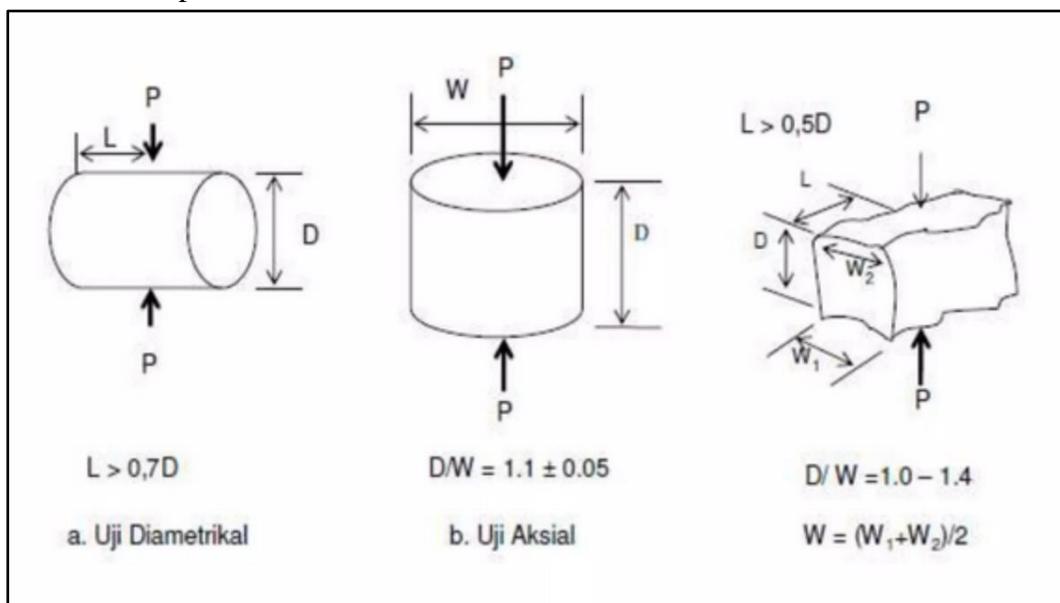
Pengujian ini menggunakan mesin uji *point load* dengan sampel berupa silinder atau bentuk lain yang tidak beraturan. Sampel yang disarankan untuk pengujian ini adalah batuan berbentuk silinder dengan diameter kurang lebih 50mm. Dari pengujian ini didapatkan nilai point load index (Is) yang akan menjadi patokan untuk menentukan nilai kuat tekan batuan (σ_c) atau UCS. (Widiyaningsih et al., 2015).

Menurut Broch dan Franklin (1972), indeks point load (Is) suatu contoh batuan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah :

$$I_{(50)} = \frac{P}{D^2}$$

Apabila diameter contoh batuan yang digunakan bukan 50 mm, maka diperlukan faktor koreksi terhadap persamaan yang diturunkan oleh Broch dan Franklin.

Menurut Greminger (1982), selang faktor koreksi tergantung besarnya diameter. Karena diameter ideal yang digunakan adalah 50 mm, maka Greminger menurunkan persamaan berikut :



Gambar 5 Tipe dan syarat contoh batuan uji PLI (ISRM, 1985)

$$I_{(50)} = F \frac{P}{D^2}$$

Dimana $F = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$, sehingga diperoleh suatu persamaan *Point Load Index* yang telah dikoreksi sebagai berikut :

$$I_{(50)} = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45} \cdot \frac{P}{D^2}$$

Keterangan :

d = Diameter sampel

P = Beban maksimum hingga percontoh pecah

D = Jarak antar dua konus penekan

Jika $I_s = 1$ Mpa, indeks tersebut tidak memiliki arti, maka penentuan kekuatan harus berdasarkan uji UCS, menurut Bieniawski (1989) dengan diameter contoh 50 mm maka UCS dapat ditentukan melalui persamaan dibawah :

$$\text{UCS} = 23 I_s$$

Keterangan :

UCS = *Uniaxial Compressive Strength*

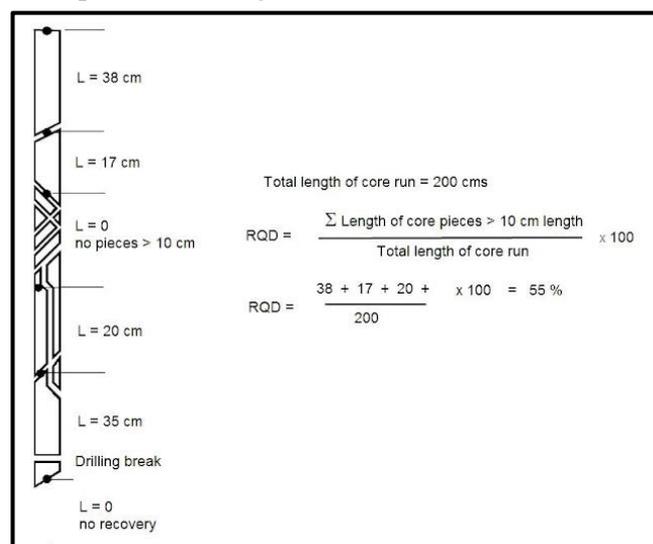
I_s = *Point Load Test Index*

2.3.2 Rock Quality Designation (RQD)

Pada tahun 1966 Deere memperkenalkan *Rock Quality Designation* (RQD) sebagai sebuah petunjuk untuk memperkirakan kualitas dari massa batuan secara kuantitatif. Sama seperti parameter UCS, terdapat dua metode untuk mendapatkan nilai RQD adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan RQD melalui hasil *core*

RQD didefinisikan sebagai persentase dari perolehan inti bor (*core*) yang secara tidak langsung didasarkan pada jumlah bidang lemah dan jumlah bagian yang lunak dari massa batuan yang diamati dari inti bor (*core*). Dengan kata lain, RQD adalah ukuran sederhana dari persentasi perolehan batuan yang baik dari sebuah interval kedalaman lubang bor. Dalam menghitung nilai RQD, metode langsung digunakan apabila *core logs* tersedia (Deere, 1966).



Gambar 6 Cara menghitung nilai RQD (Deere, 1966)

2. Perhitungan RQD melalui hasil data lapangan

Selain metode langsung dalam menghitung nilai RQD terdapat juga metode tidak langsung yang digunakan apabila *core log* tidak tersedia. Metode perhitungan RQD metode tidak langsung melalui Priest dan Hudson(1976) persamaan berikut :

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

Keterangan :

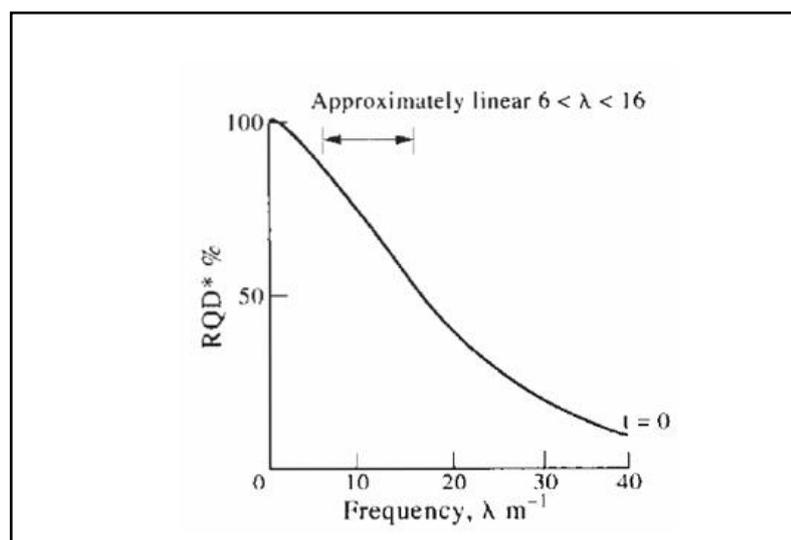
λ = Frekuensi kekar per meter

RQD = *Rock Quality Designation*

e = Bilangan Euler (2,71828182845904)

Tabel 1 Hubungan RQD dan kualitas batuan (Deere, 1966)

Kualitas Batuan	RQD (%)
Sangat Buruk	< 25
Buruk	25 – 50
Sedang	50 -75
Baik	75 – 90
Sangat Baik	90 - 100



Gambar 7 Grafik hubungan antara RQD dengan frekuensi (Hudson dkk, 1997)

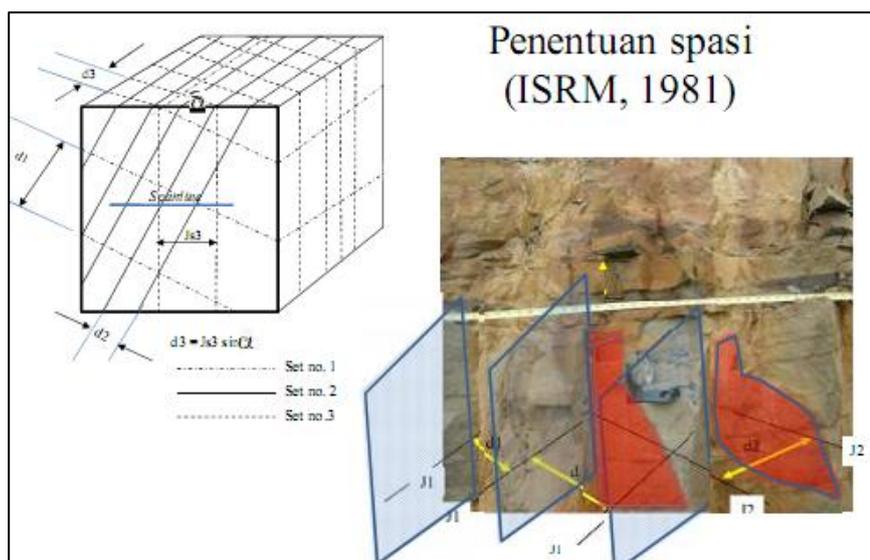
2.3.3 Spasi Kekar

Jarak antar (spasi) bidang diskontinu didefinisikan sebagai jarak tegak lurus antara dua diskontinuitas berurutan sepanjang garis pengukuran yang dibuat sembarang (Widiyaningsih et al., 2015).

Menurut ISRM (1981), jarak antar (spasi) diskontinuitas adalah jarak tegak lurus antara bidang diskontinu yang berdekatan dalam satu set diskontinuitas.

Tabel 2 Klasifikasi spasi kekar (ISRM, 1981)

Deskripsi	Spasi Kekar
Sangat Lebar	> 2 m
Lebar	0,6 – 2 m
Sedang	200 – 600 m
Rapat	60 -200 m
Sangat Rapat	< 60 mm



Gambar 8 Spasi bidang kekar (ISRM, 1981)

Untuk menentukan jarak kekar yang sebenarnya diperlukan koreksi antara orientasi kekar terhadap orientasi *scanline* (Kramadibrata, 2012) persamaan berikut

:

$$d_{i,1+1} = j_{i,1+1} \cos \frac{(\theta_i + \theta_{i+1})}{2}$$

$$\cos \theta = \cos(\alpha_n - \alpha_s) \cos \beta_n \cos \beta_s + \sin \beta_n \sin \beta_s$$

$$\alpha_d < 180, \alpha_n = \alpha_d + 180$$

$$\alpha_d > 180, \alpha_n = \alpha_d - 180$$

$$\beta_n = 90 - \beta_d$$

Keterangan :

$d_{i,1+1}$ = jarak sebenarnya antara 2 kekar yang berurutan dalam satu (m)

$j_{i,1+1}$ = jarak semu antara 2 kekar yang berurutan dalam satu set (m)

θ = sudut normal kekar terhadap *scanline*

α_n = arah dip dari garis normal

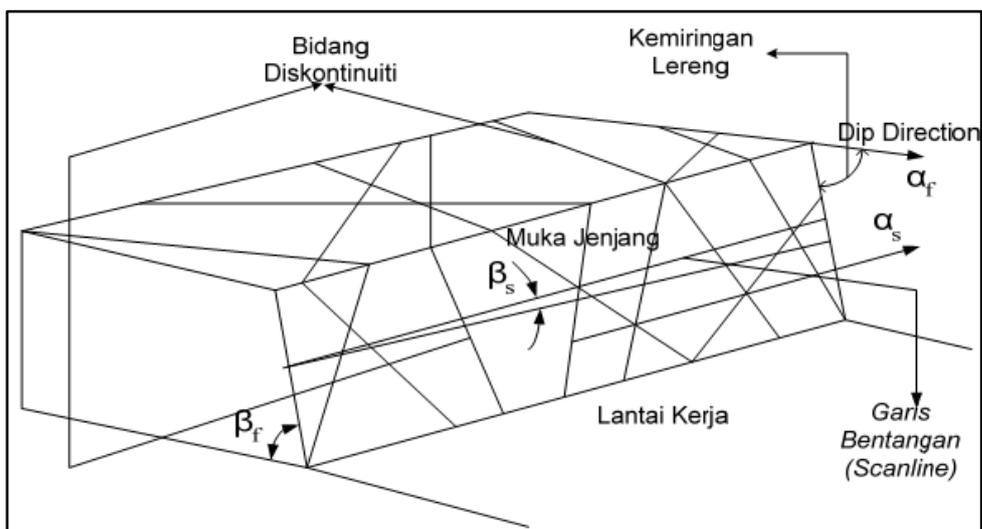
α_s = arah dip dari *scanline*

α_d = arah dip dari kekar (dalam gambar ditunjukkan dengan α_f)

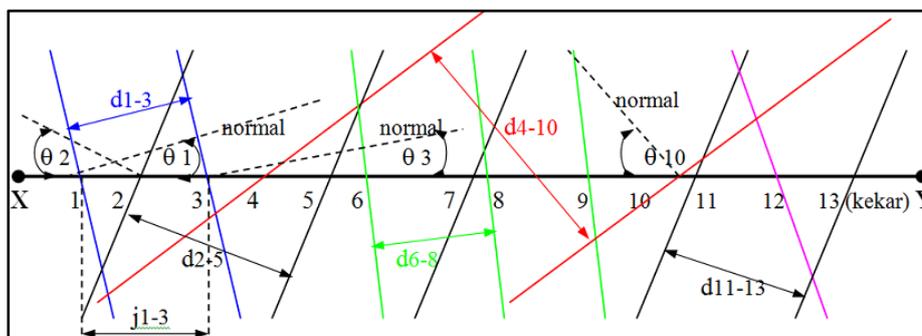
β_n = dip dari garis normal

β_s = sudut kemiringan *scanline*

β_d = dip dari kekar (dalam gambar ditunjukkan dengan β_f)



Gambar 9 Pengukuran spasi bidang kekar dengan metode *Scanline* (Kramadibrata, 2002)



Gambar 10 Metode *Scanline* (Kramadibrata, 2002)

2.3.4 Kondisi Kekar

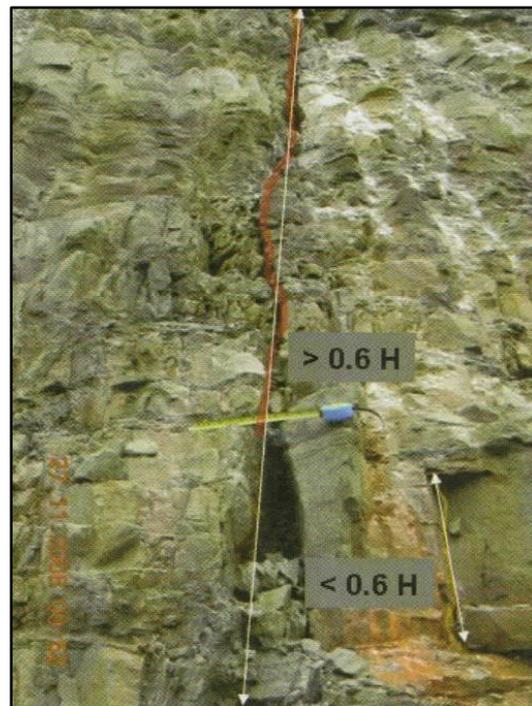
Beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu. Parameter tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kemenerusan (*persistence*)

Persistence didefinisikan sifat kemenerusan dari bidang – bidang kekar yang didefinisikan sebagai panjang dari kekar pada massa batuan dan dapat diukur panjangnya. Kemenerusan ditentukan dengan mengamati dan mengukur panjang dari bidang kekar di massa batuan. Klasifikasi kemenerusan dapat dilihat pada Tabel 3. (ISRM, 1981)

Tabel 3 Klasifikasi kemenerusan (ISRM, 1981)

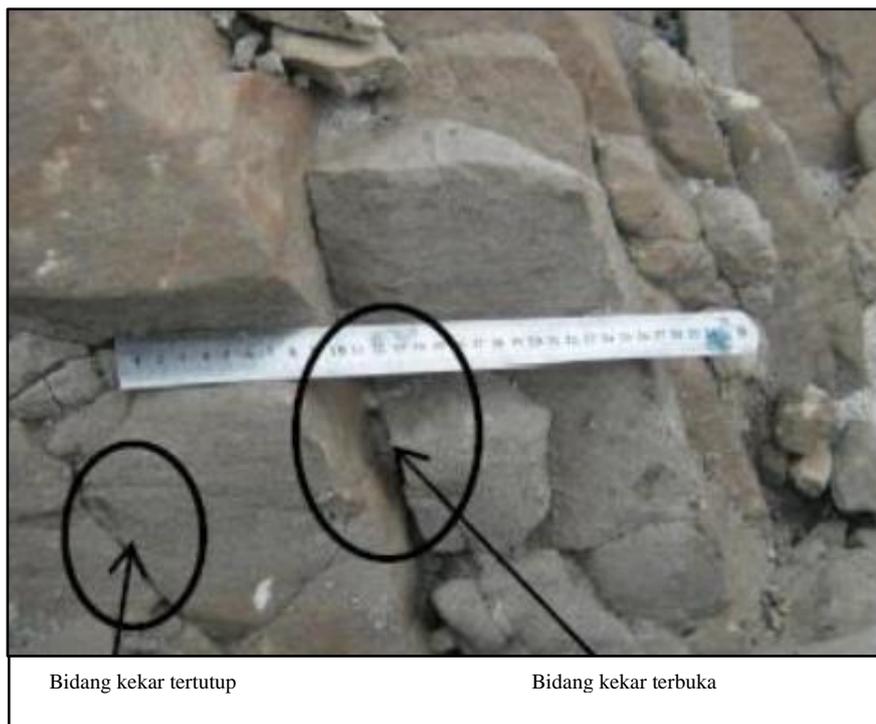
Deskripsi	Panjang Kekar
Sangat Rendah	< 1 meter
Rendah	1 - 3 meter
Sedang	3 - 10 meter
Tinggi	10 - 20 meter
Sangat Tinggi	>20 meter



Gambar 11 Kemenerusan pada suatu kekar ditereng

2. Lebar bukaan (*aperture*)

Aperture didefinisikan sebagai lebar celah pada permukaan ketidakmenerusan mengendalikan permukaan bidang kekar yang berhadapan agar saling mengunci. Lebar bukaan mengendalikan permukaan ketidakmenerusan yang berhadapan agar saling mengunci pada waktu tidak mengunci maka isian ketidakmenerusan mengendalikan kuat geser ketidakmenerusan (Rai et al., 2013).



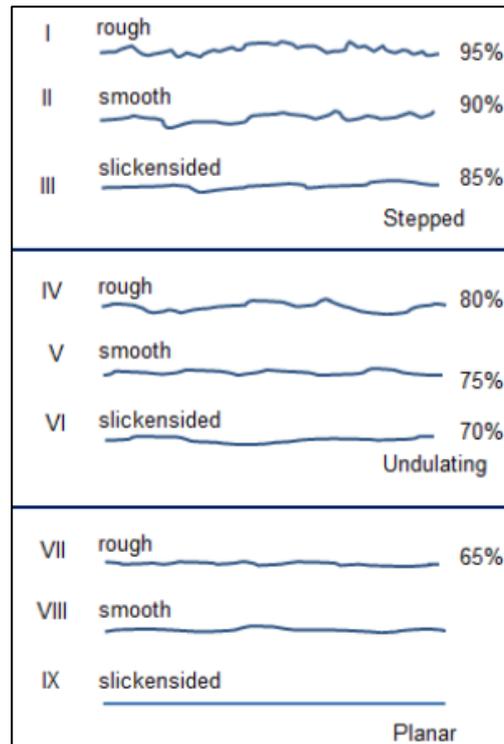
Gambar 12 Kondisi bukaan kekar (ISRM, 1981)

Tabel 4 Klasifikasi kondisi bukaan kekar (ISRM, 1981)

Aperture (mm)	Deskripsi	Panjang Kekar
< 0,1	Sangat Terkunci Rapat	Rekahan Tertutup
0,1 – 0,25	Terkunci Rapat	
0,25 – 0,5	Sebagian Terbuka	
0,5 – 2,5	Terbuka	Rekahan Celah
2,5 – 10	Terbuka Lebar	
10 – 100	Terbuka Sangat Lebar	Rekahan Terbuka
100 – 1000	Sangat Lebar Sekali	
> 1000	Celah Besar	

3. Kekasaran (*roughness*)

Tingkat kekasaran permukaan kekar dapat dilihat dari bentuk gelombang permukaannya. Gelombang ini diukur relatif dari permukaan datar dari kekar. Semakin besar kekasaran dapat menambah kuat geser kekar dan dapat juga mengubah kemiringan pada bagian tertentu dari kekar tersebut (ISRM, 1981).



Gambar 13 Profil kekasaran kekar (ISRM, 1981)

4. Material pengisi (*infilling/gouge*)

Material pengisi berada pada celah antara dua dinding bidang kekar yang berdekatan. Beberapa material yang dapat mengisi celah diantaranya *breccia*, *clay*, *silt*, *mylonite*, *gouge*, *sand*, *quartz* dan *calcite*. Jarak tegak lurus antara dinding batuan yang berdekatan disebut lebar diskontinuitas terisi, berlawanan dengan bukaan celah atau fitur terbuka. Pengisi diskontinuitas menunjukkan berbagai perubahan fisik, khususnya berhubungan dengan kekuatan gesernya. Berbagai macam perubahan fisik tergantung pada banyak faktor antara lain : mineral pengisi, ukuran partikel, rasio konsolidasi berlebih, kadar air dan permeabilitas, pemindahan geser sebelumnya, kekasaran dinding, lebar, dan rekahan. (ISRM, 1981)



Gambar 14 Isian kekar (Widiyaningsih, dkk, 2015)

5. Tingkat pelapukan (*weathering*)

Penentuan tingkat pelapukan kekar didasarkan pada perubahan warna pada batumannya dan terdekomposisinya batuan atau tidak. Semakin besar tingkat perubahan warna dan tingkat terdekomposisi, batuan semakin lapuk (ISRM, 1981).

Tabel 5 Klasifikasi tingkat pelapukan (ISRM, 1981)

Kelas	Jenis	Deskripsi
I	Segar	Tidak ada tanda – tanda pelapukan, warna tidak berubah, batuan segar, warna kristal terang
II	Pelapukan Sedikit	Terjadi perubahan warna pada butiran batuan dan permukaan diskontinu. Batuan terdekomposisi menjadi tanah . Batuan segar dan atau yang hanya mengalami perubahan warna masih tetap ada
III	Pelapukan Sedang	Kurang dari setengah pada butiran batuan terdekomposisi menjadi tanah. Batuan segar dan atau yang hanya mengalami perubahan warna masih tetap ada
IV	Pelapukan Tinggi	Batuan yang dalam kondisi masih segar atau yang mengalami perubahan warna pada tekstur batumannya masih tetap ada terlihat

Kelas	Jenis	Deskripsi
V	Pelapukan Sangat Tinggi	Seluruh material batuan terdekomposisi menjadi tanah. Struktur massa batuan yang asli masih ada
VI	Soil	Seluruh material batuan berubah menjadi tanah. Ada perubahan volume tetapi tanah tidak tertransport

2.3.5 Kondisi Air Tanah

Menurut Hardiyatmo (2002) air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan bumi. Salah satu sumber utamanya adalah air hujan yang meresap ke bawah lewat ruang pori di antara butiran tanah. Air sangat berpengaruh pada sifat-sifat teknis tanah, khususnya tanah berbutir halus. Demikian juga, air merupakan faktor yang sangat penting dalam masalah-masalah teknis yang berhubungan dengan tanah seperti: penurunan, stabilitas fondasi, stabilitas lereng, dan lainnya .

Keberadaan air ini akan mengurangi kuat geser antara kedua permukaan diskontinuitas. Bobot parameter airtanah dapat ditentukan dengan beberapa cara yaitu pengamatan langsung di lapangan dan menentukan kondisi umum air. (Syam, 2018).

Pengamatan kondisi air tanah dilakukan dengan memperhatikan kondisi umum dengan kategori kering (*dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), menetes (*dripping*), dan mengalir (*flowing*) (Bieniawski, 1989).

Berdasarkan 5 parameter yang telah diuraikan diatas yaitu berupa kuat tekan batuan, *rock quality designation*, spasi kekar, kondisi kekar, dan kondisi air tanah, maka pembobotan nilai *rock mas rating* untuk mengklasifikasikan kekuatan massa batuan dapat dilihat pada Tabel 6 dan nilai kelas massa batuan dengan sistem *rock mass rating* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 6 Klasifikasi massa batuan dengan sistem *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1989)

No	Parameter		Pembobotan					
1	Kekuatan Massa Batuan	<i>Point Load Strength Index</i>	> 10 Mpa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	-	
		<i>Uniaxial compressive Strength</i>	> 250 Mpa	100 – 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 – 25 Mpa	1 - 5 Mpa
	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 Spasi Kekar		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Bobot		20	15	10	8	5	
4	Kemenerusan		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
	Bobot		6	4	2	1	0	
	Bukaan		Tidak ada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5mm	
	Bobot		6	5	4	1	0	
	Kekasaran		Sangat Kasar	Kasar	Sedikit Kasar	Halus	Slickensided	
	Bobot		6	5	3	1	0	
	Material Pengisi		Tidak ada	Keras < 5 mm	Keras > 5 mm	Lunak < 5 mm	Lunak > 5 mm	
	Bobot		6	4	2	2	0	
	Pelapukan		Tidak Lapuk	Sedikit Lapuk	Lapuk Sedang	Sangat Lapuk	Hancur	
Bobot		6	5	3	1	0		
5	Kondisi Air Tanah		Kering (dry)	Lembab (damp)	Basah (wet)	Menetes (dripping)	Mengalir (flowing)	
	Bobot		15	10	7	4	0	

Tabel 7 Kelas massa batuan dengan sistem *Rock Mass Rating* (RMR)(Bieniawski, 1989)

Bobot	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 - 21	< 21
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan Sangat Baik	Baik	Batuan Sedang	Batuan Lemah	Batuan Sangat Lemah

2.4 Analisis Kinematik untuk Penentuan Kestabilan Lereng Batuan

Analisis kinematik merupakan salah satu metode analisis kestabilan lereng yang menggunakan parameter orientasi struktur geologi, orientasi lereng dan sudut geser dalam batuan yang diproyeksikan pada stereonet (Hoek dan Bray, 1981).

Proyeksi stereografis merupakan proyeksi yang didasarkan pada perpotongan bidang atau garis dengan suatu bidang proyeksi yang berupa permukaan setengah bola (*lower hemisphere*). Proyeksi stereografis memungkinkan data orientasi 3 dimensi untuk ditampilkan dalam bentuk 2 dimensi, sehingga suatu garis dapat mewakili suatu bidang dan suatu titik dapat mewakili suatu garis. Proyeksi stereografis ini menggambarkan hubungan antara kedudukan atau orientasi bidang dan garis, tanpa menggambarkan posisi dan ukuran objek. Maka dari itu, proyeksi stereografis hanya memiliki kemampuan untuk memecahkan masalah yang berkaitan dengan besaran arah dan sudut (Wyllie dan Mah, 2004).

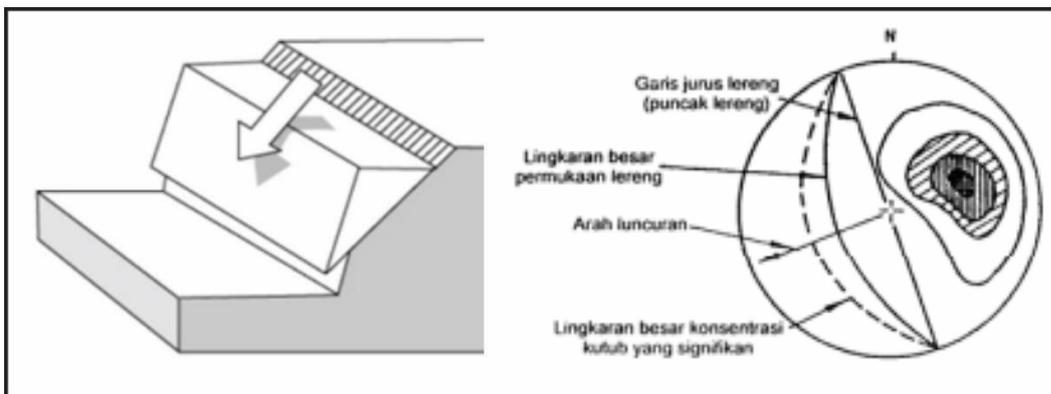
Analisis kinematik bidang diskontinuitas pada suatu lereng batuan menerapkan prinsip-prinsip proyeksi stereografis menggunakan bantuan stereonet. Analisis kinematik dari suatu bidang diskontinuitas pada stereonet dapat mengidentifikasi tipe longsor yang berpotensi pada suatu lereng batuan dan menentukan arah longsor yang akan terjadi. Analisis kinematik ini memberikan indikasi dari suatu kondisi stabilitas lereng. Potensi diskontinuitas menyebabkan longsor tergantung dari orientasi bidang diskontinuitas terhadap muka lereng (Wyllie dan Mah, 2004).

Menurut Hoek and Bray (1981), secara umum perpaduan orientasi diskontinuitas batuan akan membentuk empat tipe longsoran utama pada batuan adalah sebagai berikut :

1. Longsor Bidang (Plane Failure)

Longsor bidang merupakan longsor yang terjadi ketika massa batuan meluncur menuruni lereng di sepanjang bidang planar tunggal. Bidang luncur tersebut dapat berupa rekahan, sesar maupun bidang perlapisan batuan. Kriteria longsor bidang (plane failure) sebagai berikut:

- Bidang gelincir harus sejajar strike atau hampir sejajar (dengan koreksi $\pm 20^\circ$) terhadap muka lereng.
- Terdapat bidang gelincir bebas (daylight) pada muka lereng. Berarti kemiringan bidang gelincir (Ψ_p) harus lebih kecil dari kemiringan lereng (Ψ_f).
- Kemiringan bidang gelincir (Ψ_p) harus lebih besar dari nilai sudut geser dalam batuan (ϕ).
- Terdapat bidang geser (tidak terdapat gaya penahan) pada batas kedua sisi longsor.
- Syarat untuk terjadi longsor bidang : $\Psi_f > \Psi_p > \phi$ Model longsor bidang (plane failure), seperti yang terlihat pada gambar berikut:



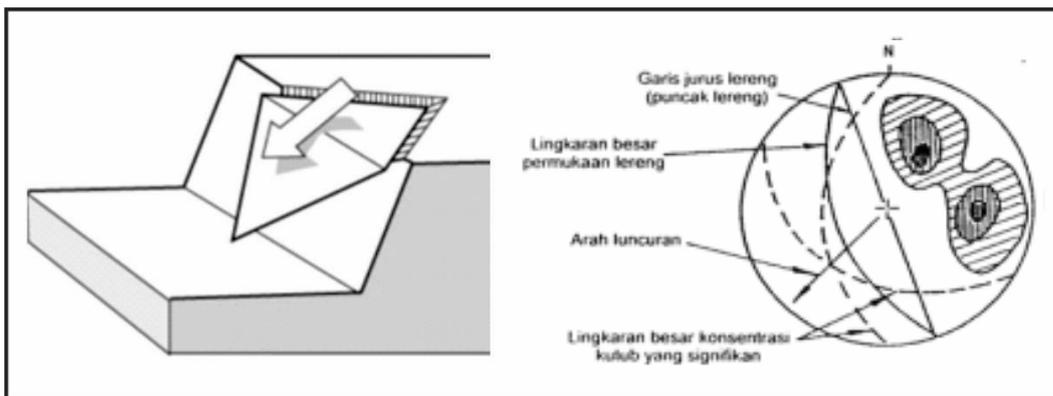
Gambar 15 Gambar dan proyeksi stereografi longsoran bidang (Hoek and Bray, 1981)

2. Longsor Baji (Wedge Failure)

Longsor baji merupakan longsor yang terjadi akibat adanya dua bidang diskontinuitas yang saling berpotongan. Garis perpotongan bidang diskontinuitas miring ke arah muka lereng dan kemiringannya lebih kecil dari kemiringan lereng. Longsor terjadi di sepanjang perpotongan diskontinuitas tersebut sehingga menghasilkan bentuk membaji. Kriteria longsor baji (wedge failure) sebagai berikut:

- Strike/jurus dari bidang diskontinuitas memotong muka lereng.

- b. Kemiringan dari perpotongan dua bidang diskontinuitas menjadi bidang gelincir bebas (daylight) pada muka lereng batuan. Hal ini berarti kemiringan lereng (Ψ_f) harus lebih besar dari kemiringan garis perpotongan dua bidang diskontinuitas (Ψ_p).
- c. Kemiringan dari garis perpotongan dua bidang diskontinuitas (Ψ_i) harus lebih besar dari nilai sudut geser dalam batuan (ϕ).
- d. Syarat untuk dapat terjadi longsor baji : $\Psi_f > \Psi_p > \phi$



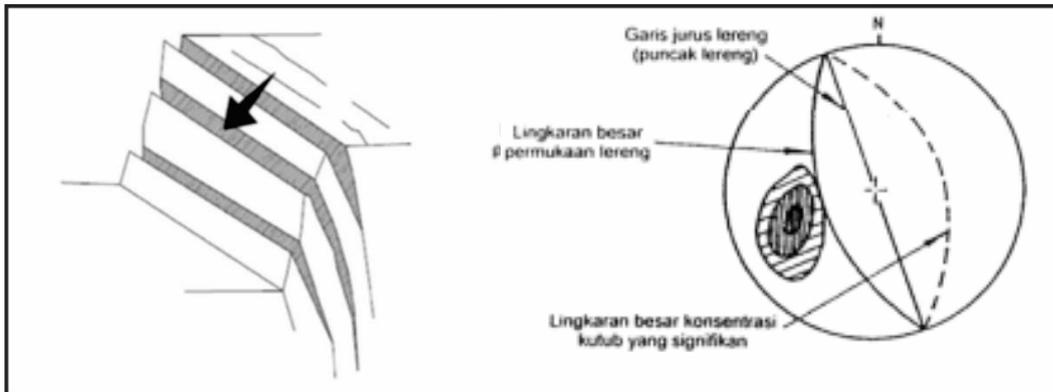
Gambar 16 Gambar dan proyeksi stereografi longsoran baji (Hoek and Bray, 1981)

3. Longsor Guling (Toppling Failure)

Longsoran guling terjadi pada batuan yang keras dan memiliki lereng terjal dengan bidang-bidang lemah yang tegak atau hampir tegak dan arahnya berlawanan dengan arah kemiringan lereng. Longsoran ini bisa berbentuk blok atau bertingkat. Kondisi untuk menggelincir atau meluncur ditentukan oleh sudut geser dalam dan kemiringan bidang luncurnya, tinggi blok dan lebar blok terletak pada bidang miring.

Longsor guling terjadi ketika dip dari bidang diskontinuitas menunjam ke dalam lereng atau berlawanan dengan arah slope lereng, jadi terbentuk bagian bagian lembaran yang paralel terhadap muka lereng. Dip dari bidang diskontinuitas harus cukup curam untuk terjadi pergerakan antar layer batuan. Jika muka lereng dari layer memiliki sudut geser dalam (ϕ) dan slope (Ψ_f), maka longsor guling akan terjadi pada bidang diskontinuitas dengan dip (Ψ_p). Daylight envelope ditentukan dari orientasi keberadaan bidang berlawanan pada sisi stereonet dari pole lereng. Arah pergerakan

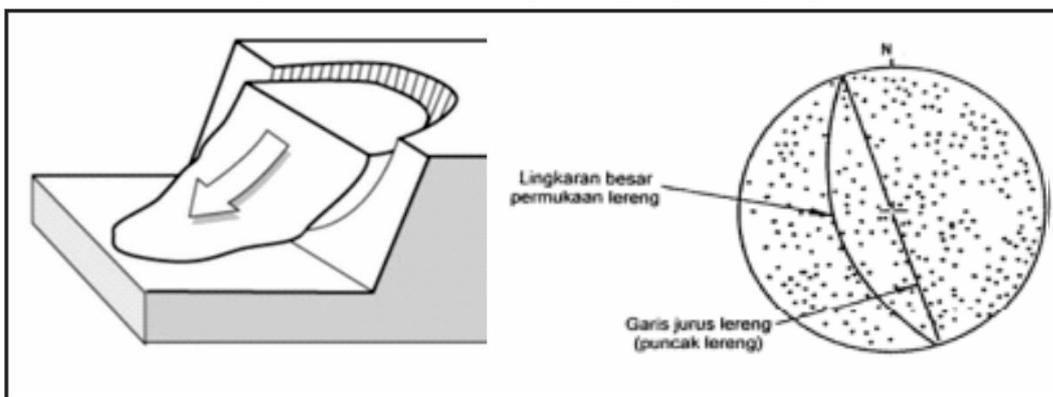
jatuhnya blok batuan berlawanan arah dengan dip direction dari bidang diskontinuitas.



Gambar 17 Gambar dan proyeksi stereografi longsoran guling (Hoek and Bray, 1981)

4. Longsor Busur (Circular Failure)

Longsor busur merupakan jenis longsor dengan bidang longsor berbentuk busur. Longsor ini umumnya terjadi pada batuan yang terlapukkan secara intensif, pada material lepas (soil) ataupun pada batuan dengan diskontinuitas yang rapat dengan orientasi tidak teratur. Longsor busur dalam analisis kinematika melalui stereonet dicirikan oleh penyebaran pole dari bidang diskontinuitas yang rapat dengan orientasi tidak teratur. Arah pergerakan dari longsor busur, tidak dapat ditentukan melalui analisis kinematika, dikarenakan orientasi bidang diskontinuitas yang tidak teratur dan umumnya batuan sudah mengalami pelapukan yang kuat.



Gambar 18 Gambar dan proyeksi longsor busur (Hoek and Bray, 1981)

2.5 Klasifikasi SMR (*Slope Mass Rating*)

Romana (1993) telah memodifikasi sistem klasifikasi RMR untuk menentukan kestabilan lereng dengan sistem klasifikasi SMR. Romana (1993) menambahkan faktor penyesuaian seperti orientasi bidang diskontinuitas dan metoda eskavasi lereng. Faktor penyesuaian untuk orientasi bidang diskontinuitas lebih memberikan gambaran yang lebih spesifik tentang bagaimana menentukan sifat menguntungkan atau tidaknya orientasi bidang diskontinuitas terhadap orientasi lereng (*favourability of discontinuity orientation*), hal tersebut tidak dijelaskan secara lengkap pada sistem klasifikasi RMR. Pendekatan ini sangat cocok untuk penilaian awal kestabilan lereng batuan, termasuk batuan lunak ataupun massa batuan yang sangat terkekarkan (*heavily jointed rock mass*).

Nilai SMR diperoleh dari perhitungan bobot menurut klasifikasi RMR dan faktor faktor penyesuaian F_1 , F_2 , F_3 , dan F_4 pada persamaan dibawah :

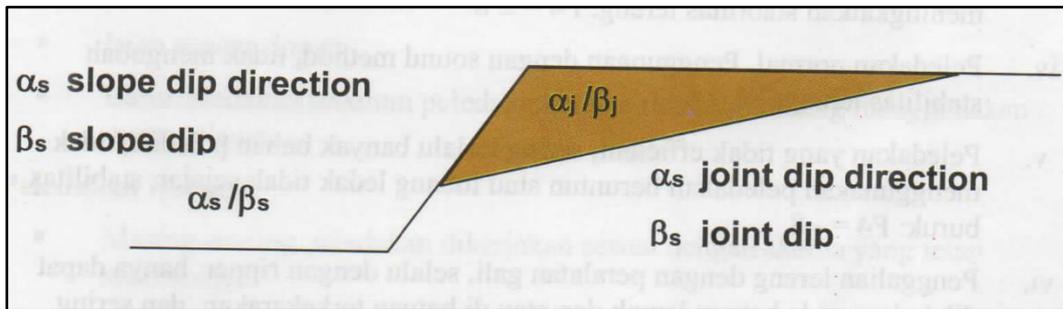
$$\text{SMR} = \text{RMR} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

Besarnya bobot F_1 , F_2 , F_3 dan F_4 dapat dilihat pada tabel 8. Setelah nilai SMR diperoleh, maka nilai tersebut akan berada dalam salah satu kelas dengan nilai bobot tertentu. Tabel 9 mendeskripsikan setiap kelas pada sistem klasifikasi SMR. Dimana :

1. F_1 = Menggambarkan hubungan antara arah kemiringan lereng dengan arah kemiringan kekar sesuai dengan model longsor ($F_1 = \alpha_j - \alpha_s$) untuk model longsor planar, ($F_1 = \alpha_j - \alpha_s - 180$) untuk model longsor guling (*toppling failure*) dan ($F_1 = \alpha_i - \alpha_s$) untuk model longsor baji (*wedge failure*).
2. F_2 = Menggambarkan hubungan sudut dip kekar sesuai dengan model longsor ($F_2 = \beta_j$) untuk model longsor bidang, ($F_2 = 1$) untuk model longsor guling (*toppling failure*) dan ($F_2 = \beta_i$) untuk model longsor baji (*wedge failure*).
3. F_3 = Menggambarkan hubungan dip kekar dan dip lereng sesuai dengan model longsor ($F_3 = \beta_j - \beta_s$) untuk model longsor bidang, ($F_3 = \beta_j +$

Gambar 19 Geometri lereng yang menggambarkan posisi α_j , α_s β_j , β_s (Rai et al., 2013)

β_s) untuk model longsor guling (*toppling failure*) dan ($F_3 = \beta_i - \beta_s$) untuk model longsor baji (*wedge failure*).



4. F_4 = Faktor penyesuaian yang berkaitan dengan metode ekskavasi
Menurut Rai et al (2013), faktor penyesuaian yang berkaitan dengan metode ekskavasi telah ditetapkan sebagai berikut :

1. Metode Peledakan *Presplitting*

Adapun metode peledakan *presplitting* yaitu :

1. Baris dari lubang ledak yang dibor sepanjang permukaan lereng akhir
2. Masing – masing lubang diberi tanda
3. Lubang harus dibuat sejajar (hingga $\pm 20\%$)
4. Jarak antar lubang antara 50 -80 cm
5. Isian diberi jarak dari dinding lubang ledak
6. Isian sangat ringan
7. Baris diledakkan sebelum peledakan utama

2. Metode Peledakan *Smooth*

Adapun metode peledakan *Smooth* yaitu :

1. Setiap baris dari lubang ledak dibor sepanjang dinding akhir
2. Masing – masing lubang diberi tanda
3. Lubang harus dibuat sejajar (hingga $\pm 20\%$)
4. Jarak antar lubang anantara 56 -100 cm
5. Isian diberi jarak dari dinding lubang ledak
6. Isian sangat ringan
7. Baris diledakkan sebelum peledakan utama (kadang kadang menggunakan *microdelays*)

3. Metode Peledakan Normal

Adapun metode peledakan normal yaitu :

1. Masing – masing peledakan dikerjakan sesuai dengan skema yang tetap
2. Masing – masing lubang diberi tanda
3. Isian diisi seminimal mungkin
4. Peledakan dilakukan secara berurutan, menggunakan waktu tunda
4. Metode Peledakan Buruk

Adapun metode peledakan buruk yaitu :

1. Menggunakan skema peledakan hanya dengan satu aturan
2. Isian tidak diisi seminimal mungkin
3. Peledakan tidak dinyalakan secara berurutan

Tabel 8 Penyesuaian pembobotan F1, F2, dan F3 dan F4 pada SMR (Romana, 1993)

Kasus	Kondisi	Sangat Menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak Menguntungkan	Sangat Tidak Menguntungkan
P	$\alpha_j - \alpha_s$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$(\alpha_i - \alpha_s) - 180$					
W	$\alpha_i - \alpha_s$					
P/T/W	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	β_j	< 20°	20 - 30°	30 -35°	35 - 45°	> 45°
W	β_i	< 20°	20 - 30°	30 -35°	35 - 45°	> 45°
P/W	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
T	$\beta_j + \beta_s$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-	-
W	$\beta_i - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
P/T/W	F3	0	-6	-25	-50	-60
Metode Eksavasi	Lereng Alamiah	Peledakan Presplitting	Peledakan Smooth	Peledakan Normal	Peledakan Buruk	
F4		15	10	8	0	-8

α_j = Arah kemiringan bidang kekar

α_s = Arah kemiringan lereng

α_i = Arah penunjaman kedua set kekar

P = Longsoran Planar

T = Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

W = Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

β_j = *dip* kekar

β_s = *dip* lereng

β_i = Sudut penunjaman kedua set kekar

Tabel 9 Deskripsi untuk setiap kelas SMR (Romana, 1993)

Klasifikasi	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 -100
Deskripsi	Sangat Buruk	Buruk	Normal	Baik	Sangat Baik
Kestabilan Lereng	Sangat Tidak Stabil	Tidak Stabil	Sebagian Stabil	Stabil	Sangat Stabil