

ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN MENGGUNAKAN METODE ROCK MASS RATING (RMR) DAN METODE SLOPE MASS RATING (SMR) PADA PENAMBANGAN BATUPASIR DAERAH BUKIT PINANG KECAMATAN SAMARINDA ULU KOTA SAMARINDA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Marlinus Matius Lollong, Tommy Trides, Windhu Nugroho
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
E-mail: marlynus06@gmail.com

Abstrak

Kestabilan pada lereng batuan berhubungan dengan tingkat pelapukan dan struktur geologi yang ada pada massa batuan tersebut, seperti sesar, kekar, lipatan, dan bidang perlapukan. Struktur tersebut selain lipatan disebut dengan bidang lemah. Disamping struktur geologi, kehadiran air dan sifat fisik-mekanik batuan juga mempengaruhi kestabilan lereng. Analisis kestabilan lereng yang digunakan yaitu metode *Rock Mass Rating* (RMR) dilanjutkan dengan metode *Slope Mass Rating* (SMR). Metode *Rock Mass Rating* (RMR) menggunakan lima parameter serta sifat fisik dan sifat mekanik batuan berupa berat jenis batuan dan kuat tekan batuan. Lima parameter tersebut yaitu Kuat Tekan Batuan, *Rock Quality Designation* (RQD), jarak kekar, kondisi kekar, dan kondisi airtanah daerah penelitian. *Slope Mass Rating* (SMR) diperoleh dengan menjumlahkan faktor penyesuaian yang bergantung pada orientasi bidang diskontinuitas dan metode penggalan. Dari analisis yang dilakukan pada lereng di lokasi penelitian, didapatkan nilai parameter metode *Rock Mass Rating* (RMR) yaitu kuat tekan batuan = 81,37 MPa, RQD = 99,72%, jarak kekar = 1,28 meter, kondisi kekar = panjang diskontinuitas 28 - >500 cm, terbuka 0 - 10 mm, agak kasar, isian kasar (lempung), sedikit lapuk. Kondisi Airtanah daerah tersebut termasuk kedalam kondisi kering. Untuk nilai SMR yang didapatkan ada tiga dikarenakan ada tiga potensi longsoran yang terdapat pada daerah penelitian. SMR pada longsoran bidang = 50,2 (kelas SMR nomor III), SMR pada longsoran baji = 43 (kelas SMR nomor III), SMR pada longsoran guling = 49,5 (kelas SMR nomor III). Hal ini menyatakan bahwa lereng dalam keadaan tidak menentu. Perlu dilakukan perubahan pada geometri lereng agar lereng dalam keadaan stabil.

Kata Kunci: Kestabilan lereng, Metode RMR, Metode SMR, Geometri lereng

ABSTRACT

The slope stability is related to the weathering level and geological structure present in the rock mass, such as joint, fault, fold, and field of coating. The structure besides the fold is also said as weak field. Besides of geological structures, the existence of water and physical-mechanical rock properties also influence to the slope stability. Analysis of slope stability that used is Rock Mass Rating (RMR) method and followed by Slope Mass Rating (SMR) method. Rock Mass Rating (RMR) method uses 5 parameters and physical-mechanical rock properties in the form of rock specific gravity and rock compressive strength. The parameters are rock compressive strength, Rock Quality Design (RQD), joint distance, joint condition, and ground-water condition in the study area. From the analysis that carried out on the slope at study area, obtained parameters value Rock Mass Rating (RMR) method, that was Rock Compressive Strength = 81,37 MPa, Rock Quality Design (RQD) = 99,72 %, joint distance = 1,28 meters, joint condition = length of discontinuity 28-700 cm, opened 0-10mm, bit rough, rough filling (clay), bit weathering. Ground-water condition at that area are included in dry condition. For the Slope Mass Rating (SMR) value gained 3, cause there are 3 potential avalanches found in the study area. Slope Mass Rating at field avalanches = 50,2 (SMR Class No.3), Slope Mass Rating at wedge avalanches = 43 (SMR Class No. 3), Slope Mass Rating at rolling avalanches = 49,5 (SMR Class No. 3). This things state the slope is in erratic condition. It was necessary to change the slope geometry in order to keep stabilization slope.

Keyword: Slope stability, RMR method, SMR method, geometry of slope.

PENDAHULUAN

LatarBelakang

Saat ini pendirian suatu konstruksi terus berkembang seiring dengan kebutuhan manusia terhadap kegiatan tersebut yang terus meningkat. Kegiatan konstruksi tersebut umumnya melibatkan pemotongan lereng batuan agar

sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan sebelumnya. Namun perlu dipahami bahwa adanya pemotongan lereng, batuan cenderung menjadi kurang atau bahkan tidak stabil. Atau dengan kata lain bahwa potensi keruntuhan lereng batuan (*rock slope failure*) akan semakin meningkat.

Untuk memastikan kestabilan suatu aktivitas pemotongan lereng, baik lereng yang baru terbentuk maupun yang lama, dibutuhkan evaluasi bidang diskontinuitas dari batuan tersebut. Oleh karena itu, mengenali potensi permasalahan stabilitas lereng pada tahap awal sebuah kegiatan yang melibatkan pembuatan lereng merupakan hal yang sangat penting. Adapun dalam penelitian ini meliputi analisis struktur geologi berupa analisis kinematik dengan menggunakan metode RMR (*Rock Mass Rating*) dan SMR (*Slope Mass Rating*) dilokasi penelitian yang merupakan lereng batuan hasil kegiatan pertambangan.

Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menghitung sifat fisik dan sifat mekanik dari batupasir.
2. Menghitung kelas massa batuan menggunakan *Rock Mass Rating (RMR)*.
3. Menghitung kelas massa lereng menggunakan *Slope Mass Rating (SMR)*.

TINJAUAN PUSTAKA

Kestabilan Lereng

Kemantapan suatu lereng tergantung terhadap besarnya gaya penahan dan gaya penggerak yang terdapat pada bidang gelincir tersebut. Gaya penahan merupakan gaya yang menahan terjadinya suatu longsor. Kemantapan suatu lereng dapat dinyatakan dengan suatu nilai faktor keamanan (FK) yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. Apabila besarnya gaya penggerak lebih besar daripada gaya penahan maka lereng akan mengalami kelongsoran dan sebaliknya bila besar gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak maka lereng tersebut akan stabil.

Adanya bidang ketidakmenerusan ini membedakan kekuatan massa batuan dengan kekuatan batuan utuh (*intact rock*). Massa batuan akan memiliki kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan batuan utuh. Variasi yang besar dalam hal komposisi dan struktur batuan serta sifat dan keberadaan bidang diskontinu yang memotong batuan akan membawa komposisi dan struktur yang kompleks terhadap suatu massa batuan.

Struktur Geologi

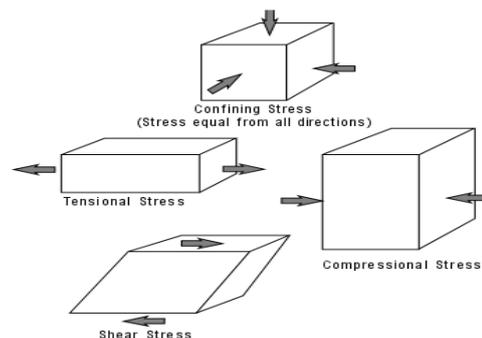
Struktur geologi adalah struktur perubahan lapisan batuan sedimen akibat kerja kekuatan tektonik, sehingga tidak lagi memenuhi hukum superposisi. Disamping itu struktur geologi juga merupakan struktur kerak bumi produk

deformasi tektonik. Kekuatan tektonik yang membentuk struktur geologi itu berupa tegangan (*stress*). Berdasarkan keseragaman kekuatannya. *Stress* dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu:

1. *Uniform Stress (Confining Stress)*, yaitu tegangan yang menekan atau menarik dengan kekuatan yang sama dari atau ke segala arah.
2. *Differential Stress*, yaitu tegangan yang menekan atau menarik dari atau ke satu arah saja dan bisa juga dari atau ke segala arah, tetapi salah satu arah kekuatannya ada yang lebih dominan.

Umumnya struktur geologi terbentuk oleh *differential stress*. Dari aspek arah kerjanya, ada 3 (tiga) macam *differential stress*, yaitu:

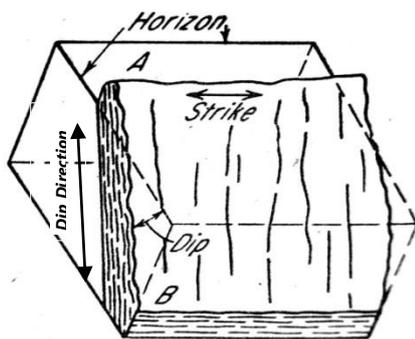
1. *Compressional Stress*
2. *Tensional Stress*
3. *Shear Stress*



Gambar 1. Bentuk dari bermacam-macam tegangan (*stress*)

Untuk menyatakan struktur geologi, harus diketahui posisi atau kedudukan daripada struktur tersebut. Posisi atau kedudukan tersebut biasanya diukur atau ditentukan dari (Suharyadi, 2004):

1. *Jurus (Strike)*
Merupakan arah dari suatu garis yang dibentuk oleh perpotongan antara bidang perlapisan atau bidang miring daripada struktural geologinya dengan bidang datar.
2. *Kemiringan (Dip)*
Besarnya sudut yang dibentuk yang dibentuk oleh perpotongan antar bidang perlapisan/miring (bidang dari struktur geologi) dengan bidang datar.
3. *Arah kemiringan (Dip Direction)*
Merupakan arah orientasi dari suatu bidang objek dapat juga dinyatakan sebagai arah kemiringan dimana pada sudut azimuth harus ditambah 90°.



Gambar 2. Strike/Dip pada sebuah bidang (Krynine D.P, dan Judd W.R, 2005)

Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

Batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi dua dan keduanya dapat dilakukan baik di laboratorium maupun di lapangan, yaitu:

- a. Sifat fisik batuan, seperti: bobot isi asli, bobot isi kering, bobot isi jenuh, berat jenis semu, berat jenis sejati, kadar air asli, kadar air jenuh, void ratio, porositas dan derajat kejenuhan.
- b. Sifat mekanik batuan, seperti: kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas dan rasio Poisson. Kedua jenis sifat batuan dapat dilakukan baik di laboratorium maupun di lapangan.

Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik yang ditentukan untuk kepentingan penelitian geoteknik (Rai dkk, 2013) antara lain:

- Bobot isi asli (*natural density*) = $\frac{W_n}{W_n - W_s}$
- Bobot isi kering (*dry density*) = $\frac{W_o}{W_w - W_s}$
- Bobot isi jenuh (*saturated density*) = $\frac{W_w}{W_w - W_s}$
- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) = $\frac{W_o}{\frac{W_w - W_s}{\text{Bobot Isi Air}}}$
- Berat jenis sejati (*true specific gravity*) = $\frac{W_o}{W_o - W_s}$
- Kadar air asli (*natural water content*) = $\frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100\%$
- Kadar air jenuh (*Saturated water content (absorption)*) = $\frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100\%$
- Derajat kejenuhan = $\frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100\%$
- Porositas, n = $\frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100\%$
- Void Ratio, e = $\frac{n}{1 - n}$

Keterangan:

- W_n : Berat perconto asli (*natural*)
- W_o : Berat perconto kering
- W_w : Berat perconto jenuh
- W_s : Berat perconto jenuh tergantung dalam air
- $(W_o - W_s)$: Volume perconto tanpa pori-pori
- $(W_w - W_s)$: Volume perconto total

Sifat Mekanik Batuan (Kuat Tekan)

Penentuan sifat mekanik batuan merupakan pengujian merusak (*destructive test*) sehingga perconto batuan hancur. Sifat mekanik batuan yang ditentukan untuk kepentingan penelitian geoteknik adalah:

- Kuat tekan
- Kuat tarik
- Kuat geser
- Modulus elastisitas
- Poisson's ratio.

Schmidt Hammer merupakan alat untuk mengukur sifat elastis atau kekuatan beton atau batu, terutama kekerasan permukaan suatu batuan. *Schmidt hammer* bersifat tidak merusak (*non-destructif*) untuk sampel batuan, sehingga bisa digunakan berkali-kali untuk sampel batuan yang sama. Pengujian *Schmidt hammer* pada penelitian ini menggunakan standar ISRM (*International Society Rock Mechanics*).

Schmidt Hammer banyak digunakan untuk menguji tingkat kekerasan dari batuan ataupun beton. *Schmidt Hammer* didesain dengan level energi impact yang berbeda-beda, tetapi tipe L dan N umumnya digunakan untuk pengujian batuan. Tipe L mempunyai energi impact 0,735J yang hanya sepertiga dari energi impact tipe N. Tipe L biasanya digunakan untuk menguji contoh batuan silinder sedangkan tipe N biasanya digunakan menguji contoh batuan lebih besar seperti blok batuan ataupun langsung pada massa batuan.

Pengujian *Schmidt Hammer* dilakukan langsung pada tebing atau singkapan batuan, tanpa harus mengambil contoh batuan. Dengan bantuan tabel atau grafik standar, maka nilai pantulan tersebut dapat dikonversikan menjadi nilai *uniaxial compressive strength* (UCS) batuan bersangkutan. Nilai yang didapatkan dari *schmidt hammer* berupa *Rebound Number* (RN) yang kemudian dimasukkan kedalam persamaan berikut :

$$UCS = 30,3 \times RN - 30,3$$

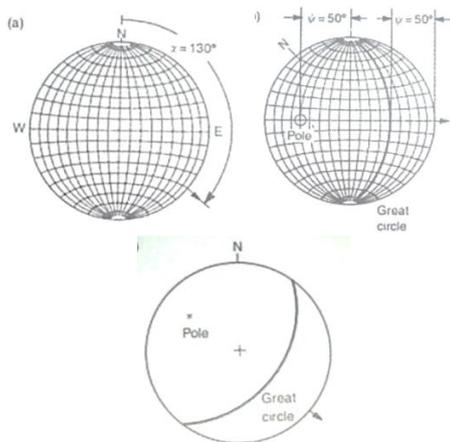
Di mana RN adalah nilai dari *Rebound Number*. Nilai yang didapatkan tersebut

kemudian dirata-ratakan dan di konversi ke MegaPascal (MPa).

Proyeksi Stereografis

Teknik proyeksi stereografi merupakan metode grafis yang digunakan untuk menunjukkan struktur dari suatu bidang berupa strike dan dip dari bidang tersebut (Irwandy, 2016). Sebelum melakukan pengeplotan pada struktur perlu dipahami dahulu beberapa istilah dalam pengukuran bidang lemah. Dalam prakteknya, proyeksi dilakukan oleh komputer atau dengan tangan menggunakan jenis khusus dari kertas grafik disebut stereonet atau Wulff net dan Schmidt Net.

Proyeksi Lambert azimut dapat dilakukan oleh komputer menggunakan rumus eksplisit. Namun, untuk grafik dengan tangan formula ini yang berat, melainkan sudah umum untuk menggunakan kertas grafik, yang disebut Stereo Net atau Wulf net dan Schmidt Net, dirancang khusus untuk tugas tersebut. Untuk membuat kertas grafik, Pertama tempatkan grid paralel dan meridian di belahan bumi, dan kemudian proyeksikan kurva ini ke lingkaran.



Gambar 3. Schmidt net (Arif, 2016)

Sebagai contoh akan di gambarkan sebuah bidang dengan orientasi dengan N 40°E/50°S. Tahap penggambarannya adalah sebagai berikut.

Tahap I : Kertas transparan (kertas kalkir) ditumpangkan pada jaring schmidt, kemudian buat lingkaran luar, tandai titik utara (N) serta titik pusat. Dari arah N di ukur 40° ke arah E, kemudian tandai.

Tahap II : Arah yang ditandai diatas (40° ke arah E) diputar ke arah N (diimpitkan pada N), kemudian gambar busur mengikuti busur pada stereonet, yaitu 50° dari luar stereonet. Kutub bidang tersebut diperoleh dengan menggambar

sebuah titik dengan cara mengukur 90° dari busur yang telah digambar tadi.

Tahap III : Titik utara (N) yang sudah ditandai pada tahap I, kemudian dikembalikan pada posisi semula sehingga bidang dengan orientasi N 40° E/50°S telah digambar.

Dengan cara yang sama, bidang – bidang (struktur batuan) dengan orientasi yang lain dapat digambarkan.

Rock Mass Rating

Sistem *Rock Mass Rating* (RMR), atau sering juga dikenal sebagai *Geomechanics Classification* telah dimodifikasi berulang kali begitu informasi baru dari studi-studi diperoleh dan menjadikannya sesuai dengan *International Standard* dan prosedur. Menurut Rai, dkk (2013) RMR terdiri dari 5(lima) parameter utama dan 1(satu) parameter pengontrol untuk membagi massa batuan, yaitu :

- Kuat Tekan Batuan Utuh (UCS)
- *Rock Quality Designation* (RQD)
- Jarak diskontinu/kekar
- Kondisi diskontinu/kekar
- Kondisi air tanah
- Koreksi dapat dilakukan bila diperlukan untuk orientasi diskontinu/kekar

Slope Mass Rating dikembangkan berdasarkan 87 kasus studi di Valencia dan jenis kelongsoran bidang dan topping. Romana (1985, 1993, 1995) mengusulkan modifikasi pada konsep penggunaan RMR (Bieniawski, 1983) dalam Rai dkk (2013) khususnya untuk kemantapan lereng.

Pada klasifikasi massa batuan lereng (SMR) ini ada penambahan satu faktor penyesuaian, F4 yaitu faktor koreksi terhadap metode penggalian sehingga faktor penyesuaian keseluruhan menjadi empat (F1, F2, F3, dan F4). *Slope Mass Rating* (SMR) diperoleh dengan menjumlahkan faktor penyesuaian yang bergantung pada orientasi bidang diskontinuitas dan metode penggalian.

Seperti halnya pada RMR parameter tertentu dalam SMR adalah bidang diskontinu. Namun demikian, agak berbeda dengan RMR, jika material berupa tanah dan batuan lunak yang sulit diidentifikasi adanya bidang diskontinu, maka SMR tidak dapat dipakai untuk menilai kondisi stabilitas.

Beberapa sistem klasifikasi yang harus dihitung :

- Karakteristik massa batuan keseluruhan (joint frekuensi, kondisi air)
- Perbedaan arah lereng dan kondisi kekar

- Perbedaan antara sudut kemiringan lereng dan kekar – kondisi ini mengontrol blok baji lereng yang akan longsor
- Hubungan kemiringan kekar dengan normal dan kekuatan geser (bidang atau baji)
- Hubungan tegangan tangensial, yang berkembang sepanjang kekar dengan geseran (topping)

Usulan *Slope Mass Rating* didapat dari RMR dengan mengurangi faktor penyesuaian yang bergantung pada kekar – hubungan lereng dan menambahkan suatu faktor bergantung pada metode penggalian. Dan didefinisikan sebagai berikut (persamaan 2.10) :

$$SMR = RMR_{Basic} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Keterangan :

- F1* = Tergantung pada kesejajaran antara kekar dan jurus lereng
- F2* = Merujuk pada kemiringan kekar pada model keruntuhan bidang
- F3* = menunjukkan hubungan antara muka lereng dengan kemiringan lereng
- F4* = Berhubungan dengan metode penggalian lereng

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode deduktif. Metode tersebut dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu tahap pra-lapangan, tahap lapangan, dan tahap pasca lapangan.

Tahap Pra Lapangan

Pada tahap pra lapangan ini hal-hal yang dilakukan antara lain :

1. Studi Literatur
Tahapan ini dilakukan berkaitan dengan masalah yang ada, termasuk juga kajian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan analisis kestabilan lereng. Selain itu dilakukan pula studi terhadap literatur-literatur yang mendukung penelitian ini.
2. Pengamatan Lapangan
Meliputi pengamatan terhadap lokasi penelitian, jenis batuan serta formasi batuan di daerah penelitian.

Tahap Penelitian Lapangan

Tahap ini ditujukan untuk memperoleh data yang akan dianalisis. Pengambilan data lapangan meliputi :

1. Pengukuran Data Kekar
Untuk menyatakan kedudukan kekar dalam ruang (agar dapat dianalisis dengan mudah), maka untuk menentukan arah dipakai besaran

sudut terhadap posisi utara (*azimuth*), sedangkan untuk menemukan arah dipakai besaran sudut terhadap bidang datar. Pengukuran bidang diskontinu dilakukan dengan menggunakan metode *Priest* (1985), yaitu dengan mengukur *dip direction*, *strike* dan *dip* dari setiap bidang diskontinu sepanjang garis *scanline*.

- Jurus/kemiringan (*strike/dip*)
- Arah kemiringan (*dip direction*)

2. Pengukuran Air Tanah

Kondisi air tanah mempengaruhi stabilitas dari suatu lereng. Didalam metode *Rock Mass Rating* (RMR) kondisi air tanah diperlukan sebagai salah satu parameter penentu kelas massa batuan. Untuk mengetahui kondisi air tanah di lapangan dilakukan pengamatan dan observasi mengenai keadaan dan kondisi air tanah pada lereng di lokasi penelitian.

3. Pengambilan Data Lereng

Untuk menyatakan lereng dalam dimensi ruang agar dapat dianalisis dengan mudah, maka untuk menentukannya sama halnya dengan penentuan kekar, yaitu mengukurnya terhadap arah utara (*azimuth*), sedangkan untuk menentukan kemiringan lereng tersebut diambil besaran sudut terhadap bidang datar. Peralatan yang digunakan adalah kompas brunton dan palu geologi.

4. Pengambilan Sampel Batuan untuk Uji Laboratorium

Sampel adalah conto atau wakil dari suatu populasi yang cukup besar jumlahnya atau satu bagian dari keseluruhan yang dipilih dan representative sifatnya. Aktivitas pengumpulan sampel disebut *sampling*. Sampel berfungsi sebagai objek penelitian untuk mendapatkan data yang mewakili dari keseluruhan populasi batuan yang ada disuatu daerah penelitian.

5. Preparasi Sampel Batuan

Preparasi sampel merupakan hal yang sangat diperhatikan dengan benar mengingat kebenaran dan kesempurnaan data yang akan diperoleh bergantung dari baik dan tidaknya sampel yang akan diuji

6. Uji sifat fisik

Pengujian sifat fisik dilakukan terhadap beberapa conto batuan pada masing-masing lokasi untuk mencari nilai-nilai yang berpengaruh terhadap kekuatan batuan seperti *density*, *porosity*, dan lain-lain.

7. Uji Kuat Tekan Batuan

Pada tahap ini dilakukan langsung di lapangan dengan menggunakan *schmidt hammer* untuk mendapatkan nilai *rebound(rebound number)* sehingga sampel untuk pengujian ini tidak diperlukan. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan batuan menggunakan *schmidt hammer*, pada tiap kekar diambil nilai *reboundnya*. Nilai yang didapatkan pada *schmidt hammer* kemudian dimasukkan kedalam persamaan 2.1 pada tinjauan pustaka. Hasil nilai *rebound* dari persamaan tersebut memiliki satuan kg/cm^2 yang kemudian di konversi ke dalam mpa. Semua hasil tersebut kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan.

Tahap Pasca Lapangan

a. Tahap Analisis dengan Proyeksi Stereografis
Setelah orientasi kekar diperoleh dari pengukuran sepanjang scanline selanjutnya adalah memplot data pada proyeksi stereografis atau disebut juga sebagai proyeksi stereonet. Prosedur pembuatan proyeksi stereonet dari data-data kekar dan data lereng yang telah di ukur adalah sebagai berikut.

1. Kertas transparan (kalkir) diletakkan diatas *Schmidt-net* dan diletakkan sedemikian rupa sehingga dapat berputar pada pusat tetap. Kemudian tandai titik Utara (*North*), Timur (*East*), Selatan (*South*), dan Barat (*West*).
2. Putar kertas transparan dengan sumber pusat lingkaran sampai menunjukkan besar sudut *strike*. Diproyeksikan nilai *dip* dengan menambah 90° pada nilai *dip*.
3. Kembalikan posisi N ke tempat semula.
4. Dilakukan *plotting* pada semua data kekar.
5. Letakkan kertas transparan (kalkir) yang telah terisi titik-titik data kekar pada *kalsbeek net*.
6. Tentukan angka dengan menghitung jumlah titik yang berada di dalam segi enam *kalsbeek net*.
7. Buat kontur pada angka yang sama. Buat busur besar dari setiap *joint set* yang terbentuk.
8. *Plotting* data *strike* dan *dip* lereng dengan menggunakan *Schmidt net*.

Program yang digunakan untuk proyeksi stereografis dalam penelitian ini adalah proyeksi manual menggunakan stereonet. Dengan menggunakan proyeksi manual dalam memasukkan bidang lemah menggunakan jarring *Schmidt net*. Data bidang lemah yang dimasukkan menggunakan *strike/dip*. Selanjutnya untuk mengetahui titik puncak dari kumpulan titik-titik kutub (*pole*) tersebut digunakan *Kalsbeek net*. Untuk menggambarkan

kedudukan lereng kembali digunakan *Schmidt net*. Dari proyeksi stereografis ini dapat pula diketahui potensi longsoran pada bidang penelitian.

b. Tahap Analisis Menggunakan Metode RMR
Pada tahap ini parameter-parameter pengukuran yang digunakan antara lain seperti data kuat tekan batuan (*Uniaxial Compressive Strength*), *Rock Quality Designation*, spasi kekar, kondisi kekar, dan kondisi airtanah yang didapatkan dari pengukuran di lapangan dan pengujian di laboratorium dijumlahkan pembobotannya sehingga didapatkan nilai totalnya yang merupakan nilai RMR di lokasi penelitian. Nilai tersebut menunjukkan kelas massa batuan dan kondisi batuan di lokasi penelitian.

c. Tahap Analisis Menggunakan Metode SMR
Pada tahap ini setelah didapatkan nilai total RMR pada lokasi penelitian, maka selanjutnya dianalisis potensi longsoran yang akan terjadi berdasarkan data bidang dikontinuitas dan dimensi lereng penelitian. Terdapat empat parameter tambahan pada metode SMR yaitu F1, F2, F3, dan F4 yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.7. Seluruh parameter tersebut dibobotkan dan dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total SMR. Nilai total tersebut menghasilkan nomor kelas stabilitas lereng yang menjelaskan deskripsi massa batuan, longsoran yang dapat terjadi, dan angka kemungkinan untuk longsor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian dilakukan di jalan *Ring Road 2* yang dimana lokasi tersebut terdapat kegiatan penggalian pada lereng yang akan dilakukan penelitian. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, disimpulkan bahwa jenis batuan yang ada di lokasi penelitian adalah batupasir (*Sandstone*). Sebagian besar batuan di daerah tersebut telah mengalami kerusakan akibat aktivitas pembongkaran. Geometri lereng tersebut memiliki tinggi 8,8 m, *strike/dip* N 21 °E 65°, pada elevasi 35 mdpl. Lokasi penelitian beriklim tropis dimana memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan.



Gambar 4. Lokasi Penelitian

Uji Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

Pengujian sifat fisik dan sifat mekanik batuan penyusun lereng dilakukan dua macam yaitu pengamatan di lapangan dan pengujian di laboratorium. Untuk uji sifat batuan dilakukan di laboratorium. Untuk uji sifat mekanik (dalam penelitian ini hanya dilakukan uji kuat tekan batuan) dilakukan dengan menggunakan *schmidt hammer* yang kemudian data tersebut diolah untuk mendapatkan sifat mekanik yang hasilnya diperlukan untuk melakukan analisis kestabilan lereng pada daerah penelitian.

a. Uji Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik batuan bertujuan untuk mengetahui parameter yang berpengaruh terhadap kekuatan batuan, seperti *density*, porositas, dan lain-lain. Untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut dilakukan perhitungan nilai : berat natural (Wn), berat kering (Wo), berat jenuh (Ww), berat jenuh tergantung dalam air (Ws) yang menjadi pendukung terhadap tingkat kekuatan suatu batuan. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisik Batuan

Sampel	Kode Cawan	Wn (gr)	Ws (gr)	Ww (gr)	Wo (gr)	γ_n (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_s (gr/cm ³)	em (%)	os (%)	S (%)	n (%)	ϵ
1	C5	55	31,6	57,1	52,4	2,16	2,05	2,24	4,96	8,97	55,32	18,43	0,26
2	A7	55,7	35,2	59	52,5	2,34	2,21	2,48	6,09	12,38	49,32	27,31	0,38
3	4X	55,2	38,85	57,4	52,1	2,98	2,81	3,01	5,95	10,17	58,49	28,57	0,4
Hasil Uji Rata-rata						2,49	2,36	2,58	5,67	10,51	54,38	24,77	0,35

b. Uji Sifat Mekanik Batuan

Sifat mekanik batuan yang ditentukan untuk kepentingan penelitian geoteknik ada beberapa macam seperti uji kuat tekan, uji kuat tekan tarik, uji kuat geser dan lain-lain. Untuk penelitian ini hanya dilakukan uji kuat tekan. Pada uji kuat tekan batuan ini dilakukan dengan menggunakan *Schmidt hammer* untuk mendapatkan nilai *Rebound Number* (RN) yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan kuat tekan. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai rata-rata kuat tekan. Berdasarkan hasil uji sifat mekanik di lapangan dengan menggunakan alat *Schmidt Hammer*, didapatkan *Rebound Number* (RN). Hasil persamaan tersebut kemudian dikonversi ke MegaPascal (MPa) dan dirata-ratakan didapatkan nilai yaitu 81,37 MPa. Berdasarkan nilai tersebut, maka nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) lereng di lokasi penelitian mempunyai bobot 7.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Batuan

Nomor Kekar	Rebound Number	(Kg/m ²)	(Mpa)
1	12	333,3	32,70
2	34	999,9	98,09
3	28	818,1	80,26
4	34	999,9	98,09
5	36	1060,5	104,04
6	27	787,8	77,28
7	28	818,1	80,26
8	24	696,9	68,37
9	24	696,9	68,37
10	24	696,9	68,37
11	32	939,3	92,15
12	25	727,2	71,34
13	20	575,7	56,48
14	28	818,1	80,26
15	34	999,9	98,09
16	36	1060,5	104,04
17	38	1121,1	109,98
BP1	30	878,7	86,20
BP2	16	454,5	44,59
BP3	14	393,9	38,64
BP4	26	757,5	74,31
BP5	35	1030,2	101,06
BP6	40	1181,7	115,92
BP7	36	1060,5	104,04
Rata-rata			81,37

Rock Quality Designation

Pada lokasi penelitian tidak terdapat kegiatan pemboran, sehingga perhitungan *Rock Quality Designation* (RQD) dilakukan dengan penilaian empiris berdasarkan data kekar. Nilai perhitungan *Rock Quality Designation* (RQD) dapat dilihat pada Tabel 3.

$$\begin{aligned}
 RQD &= 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda+1) \\
 &= 100^{-0,1*0,77389}(0,1*0,77389+1) \\
 &= 99,72\%
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Nilai RQD

Material	λ / Jumlah kekar rata-rata (m)	RQD (%)
Batupasir	0,77389	99,72

Dari nilai tersebut, maka massa kelas batuan berdasarkan *Rock Quality Designation* (RQD) pada lokasi penelitian tersebut sangat baik dan mempunyai bobot 20.

Jarak Kekar

Spasi diskontinuitas merupakan jarak antara satu bidang diskontinuitas dengan bidang diskontinuitas yang lain yang saling berdekatan dalam satu *scanline*. Pengukuran spasi diskontinuitas dilakukan pada kekar-kekar yang setnya sama. Jarak selama pengamatan di lapangan masih merupakan jarak semu karena pengukuran jarak mengikuti *scanline*, sehingga jarak yang diperoleh belum tentu jarak tegak lurus antara dua kekar karena pengaruh arah lereng dan kemiringan *scanline*. Pada lokasi penelitian terdapat 3 set kekar, set 1 dengan rata-

rata 0,18 m, set 2 dengan rata-rata 2,64 m, set 3 dengan rata-rata 1,55 m, dan *bedding plane* dengan rata-rata 0,56 m. Maka didapatkan jarak spasi antar kekar sepanjang *scanline* yaitu 1,28 m dan jumlah rata-rata kekar per meter yaitu 0,77. Data ini digunakan sebagai perhitungan RQD karena tidak dilakukannya pengeboran dan tentu tidak didapatkan hasil corenya.

Kondisi Kekar

a. Kondisi persistensi kekar

Kondisi ini merupakan sifat kemenerusan dari bidang-bidang kekar yang didefinisikan sebagai panjang dari diskontinuitas pada massa batuan dan dapat diukur panjangnya. Pada lokasi penelitian rata-rata panjang bidang diskontinuitas yaitu 2,62 m.

b. Kondisi kekasaran kekar

Parameter yang terdiri dari kekasaran permukaan ketidakteraturan, pemisah (jarak antar permukaan), pelapukan batuan dinding dari pada bidang lemah, dan material pengisi. Pada lokasi penelitian ini, rata-rata kekasaran kekar yaitu halus.

c. Kondisi bukaan aperture kekar

Didefinisikan sebagai lebar celah pada permukaan bidang kekar yang mengendalikan permukaan bidang kekar yang berhadapan agar saling mengunci. Dari hasil pengukuran dilapangan maka rata-rata bukaan antar kekar yaitu 2,35 mm.

d. Kondisi isian kekar

Merupakan material pengisi sebagai isian celah antar permukaan bidang kekar. Setelah melakukan pengamatan dilapangan maka didapatkan hasil isian dari kekar pada lokasi penelitian yaitu lempung.

e. Kondisi pelapukan kekar

Merupakan kondisi yang menunjukkan derajat kelapukan kekar. Dari hasil pengamatan pada lokasi penelitian kondisi yang terdapat pada kekar yaitu lapuk.

Kondisi Air Tanah

Dalam penelitian ini, kondisi air tanah, diperkirakan dengan cara memberikan gambaran umum kondisi keairan. Deskripsi kondisi umum air tanah akan memberikan parameter kering, lembab, berair, basah, atau mengalir. Dari pengamatan, didapatkan kondisi umum air tanah kering.

Tabel 4. Pembobotan Air Tanah

Aliran per 10 m panjang singkapan (L/menit)	Tekanan air/tegangan utama major	Kondisi umum	Bobot
Kosong	0	Kering	15

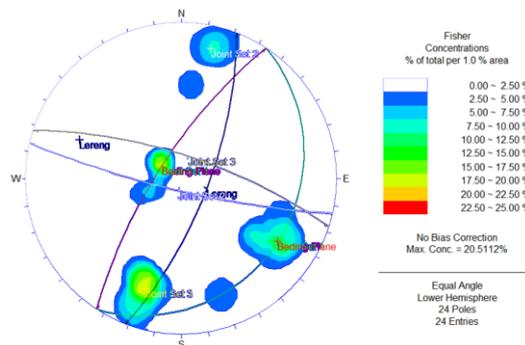
Dari parameter-parameter yang telah disebutkan diatas, didapatkan hasil bobot batuan berdasarkan metode *Rock Mass Rating* (RMR) adalah 67, yang termasuk kedalam kelas massa batuan nomor 2.

Tabel 5. Total Bobot RMR

Parameter	Nilai kekar	Bobot
Kuat tekan (UCS)	81,37 MPa	7
RQD	99,72%	20
Kondisi Air Tanah	Kering	15
Jarak Kekar	1,28 meter	15
Kondisi Kekar	Panjang diskontinuitas 28 cm - 700 cm, terbuka 0 mm - 10 mm, agak kasar, isian kasar (lempung), sedikit lapuk.	3+1+1+2+3 = 10
Jumlah Bobot		67
Kelas Massa Batuan		II

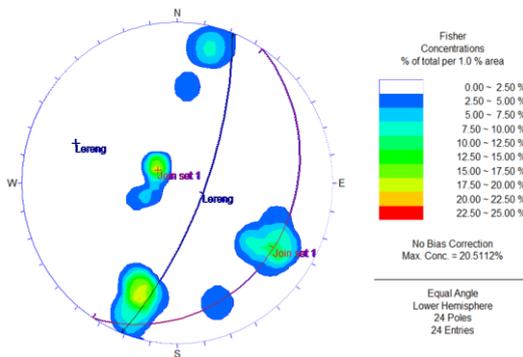
Orientasi Kekar

Pada orientasi kekar ini, mengacu pada orientasi *strike* dan *dip* kekar, maka dari itu di lokasi penelitian pada gambar 4.1 dengan *strike* dan *dip* lereng N 21°E/65°, didapatkan orientasi *Joint Set 1* = N 36°E/20°, *Joint Set 2* N 102°E/83°, *Joint Set 3* = N 293°E/70°, dan didapatkan pula orientasi *Beding Plane* = N 221°E/70°. Berikut analisis orientasi kekar menggunakan *stereonet* dan *schmidt net* yang digambarkan melalui aplikasi *DIPS*. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 5.



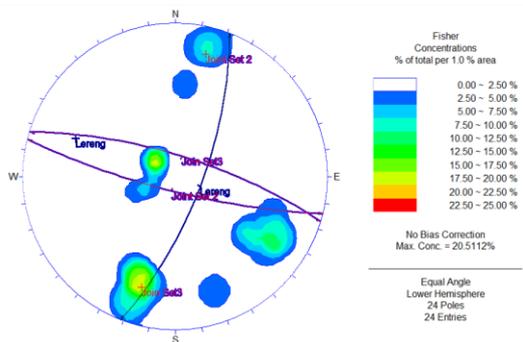
Gambar 5. Visualisasi *Stereonet* dengan aplikasi *DIPS*

Berdasarkan hasil analisa orientasi kekar terdapat tiga kemungkinan jenis longsoran pada daerah penelitian. Yakni longsoran bidang (*plane*), longsoran baji (*wedge*) dan longsoran guling (*toppling*). Longsoran bidang diduga terjadi antara *joint set 1* terhadap lereng, dikarenakan posisi *joint set* berada di depan lereng. Dan juga kemiringan (*dip*) lereng lebih besar dari pada kemiringan dari *joint set 1* dalam hal ini sebagai bidang gelincirnya. Serta selisih *strike* kurang dari 20° yakni 15° hal ini dapat di kategorikan bahwa kedua *strike* tersebut sejajar sesuai dengan ketentuan longsoran jenis bidang. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6.



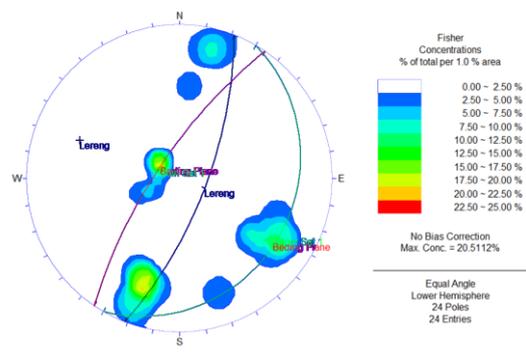
Gambar 6. Orientasi Kekar *Joint Set 1* terhadap lereng

Selanjutnya ialah analisis *joint set 2* dan *joint set 3* terhadap lereng yang memiliki longsoran jenis baji (*wedge*). Hal ini dikarenakan terdapat 2 bidang diskontinu yang saling berpotongan memiliki posisi di depan lereng atau menembus posisi dari muka lereng, sudut lereng (*dip*) sebesar 65° lebih besar dari sudut perpotongan kedua bidang diskontinuitas tersebut yakni 22° . Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Orientasi Kekar *Joint Set 2* dan *Joint set 3* terhadap lereng

Dan yang terakhir adalah analisis *beding plane* terhadap lereng yang memiliki jenis longsoran guling (*toppling*). Hal ini dikarenakan posisi *beding plane* berada dibelakang lereng, disamping itu selisih arah strike antara *beding plane* dengan lereng tidak sampai 20° yaitu 19° . Hal ini dapat dikatakan sejajar/paralel sesuai dengan syarat longsoran jenis guling. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Orientasi Kekar *Bedding Plane* terhadap lereng

Analisis Menggunakan Metode *slope Mass Rating*

Slope Mass Rating (SMR) juga merupakan salah satu sistem klasifikasi massa batuan yang bertujuan untuk mengetahui potensi keruntuhan lereng, tipe keruntuhan lereng dan untuk memilih jenis perkuatan yang sesuai atas dasar basis data empiris (*suggested support designs based on empirical database*). Beberapa parameter yang dimasukkan sebagai dasar penilaian *Slope Mass Rating* (SMR) yakni: (Romana, 1985)

- Arah kemiringan lereng (α_s)
- Arah kemiringan (*dip direction*) bidang diskontinuitas (α_j)
- Sudut kemiringan diskontinuitas (β_j)
- Kemiringan lereng (β_s)

Dalam menentukan nilai parameter-parameter tersebut harus diketahui dulu longsoran yang dapat terjadi di lokasi penelitian. Setelah itu, untuk mendapatkan nilai *Slope Mass Rating* (SMR), nilai nilai yang sudah didapatkan sebelumnya dimasukkan ke dalam Persamaan 2.10. Untuk *joint set 1* berpotensi mengalami longsoran bidang. Pada *joint set 2* dan *joint set 3* memiliki potensi mengalami longsoran baji. Sedangkan untuk *beding plane* memiliki potensi longsoran guling.

a. Perhitungan SMR pada *Joint Set 1* (Longsoran Bidang)

Data untuk perhitungan F1 adalah 0,7, F2 adalah 0,4, F3 adalah -60, sedangkan untuk F4 bernilai 0 karena metode penggaliannya berupa mekanikal.

$$\begin{aligned}
 SMR &= RMR_{Basic} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \\
 F1 &= \alpha_j - \alpha_s = 126^\circ - 111^\circ = 15^\circ = 0,7 \\
 F2 &= \beta_j = 20^\circ = 0,4 \\
 F3 &= \beta_j - \beta_s = 20^\circ - 65^\circ = -45^\circ = -60 \\
 F4 &= 0
 \end{aligned}$$

$$SMR = 67 + (0,7 \times 0,4 \times (-60)) + 0$$

= 50,2 Kelas SMR No III

Tabel 6. Hasil Pembobotan SMR 1

Profil Massa Batuan	Deskripsi
<i>Class Number</i>	III
<i>SMR value</i>	41-60 (50,2)
<i>Rock Mass Description</i>	Normal
<i>Stability</i>	Partially stable
<i>Failure</i>	Planar along some joint and many wedges
<i>Probability of failure</i>	0,4

b. Perhitungan SMR pada *joint set* 2 dan 3 (Longsor Baji)

Data untuk perhitungan F1 adalah 0,7, F2 adalah 0,4, F3 adalah -60, sedangkan untuk F4 bernilai 0 karena metode penggaliannya berupa mekanikal.

$$\begin{aligned}
 \text{SMR} &= \text{RMR}_{\text{Basic}} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \\
 F1 &= \alpha_j - \alpha_s = 105^0 - 111^0 = -6^0 = 1 \\
 F2 &= \beta_i = 22^0 = 0.4 \\
 F3 &= \beta_i - \beta_s = 22^0 - 65^0 = -43^0 = -60 \\
 F4 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SMR} &= 67 + (1 \times 0,4 \times (-60)) + 0 \\
 &= 43 \text{ Kelas SMR No III}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Hasil Pembobotan SMR 2

Profil Massa Batuan	Deskripsi
<i>Class Number</i>	III
<i>SMR value</i>	41-60 (43)
<i>Rock Mass Description</i>	Normal
<i>Stability</i>	Partially stable
<i>Failure</i>	Planar along some joint and many wedges
<i>Probability of failure</i>	0,4

c. Perhitungan SMR pada *beding plane* (Longsor Guling)

Data untuk perhitungan F1 adalah 0,7, F2 adalah 1, F3 adalah -25, sedangkan untuk F4 bernilai 0 karena metode penggaliannya berupa mekanikal.

$$\begin{aligned}
 \text{SMR} &= \text{RMR}_{\text{Basic}} + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \\
 F1 &= \alpha_j - \alpha_s - 180^0 = 311^0 - 111^0 - 180^0 = 20^0 = 0,7 \\
 F2 &= 1 \\
 F3 &= \beta_j + \alpha_s = 70^0 + 111^0 = 181^0 = -25 \\
 F4 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SMR} &= 67 + (0,7 \times 1 \times (-25)) + 0 \\
 &= 49,5 \text{ Kelas SMR No III}
 \end{aligned}$$

Tabel 8. Hasil Pembobotan SMR 3

Profil Massa Batuan	Deskripsi
<i>Class Number</i>	III
<i>SMR value</i>	41-60 (49,5)
<i>Rock Mass Description</i>	Normal
<i>Stability</i>	Partially stable
<i>Failure</i>	Planar along some joint and many wedges
<i>Probability of failure</i>	0,4

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan penelitian yang dilakukan di jalan *Ring Road 2* diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Nilai dari sifat batuan sebagai berikut :
 - a. *Natural density* rata-rata = 2,49 g/cm³.
 - b. *Dry density* rata-rata = 2,36 g/cm³
 - c. *Saturated density* rata-rata = 2,6 g/gram³
 - d. *Natural water content* rata-rata = 5,67%
 - e. *Saturated water content* rata-rata = 10,51%
 - f. *Degree of saturation* rata-rata = 54,35%
 - g. *Porosity* rata-rata = 24,77%
 - h. *Void ratio* rata-rata = 0,33

Nilai dari sifat mekanik batuan sebagai berikut : rata-rata nilai kuat tekan batuan pada lokasi penelitian = 81,37 MPa.

2. Nilai klasifikasi massa batuan berdasarkan metode *Rock Mass Rating* (RMR) yaitu 67 masuk kedalam kelas massa batuan nomor II.
3. Nilai klasifikasi massa batuan berdasarkan metode *Slope Mass Rating* terbagi menjadi 3 dikarenakan pada lokasi penelitian terdapat 3 jenis longsor yang kemungkinan terjadi, yaitu :
 - a. Longsor bidang terjadi pada *joint set* 1 terhadap lereng. Nilai *Slope Mass Rating* pada longsor bidang ini adalah 50,2 termasuk kedalam kelas massa batuan nomor III.
 - b. Longsor Baji terjadi pada *joint set* 2 dan 3 terhadap lereng. Nilai *Slope Mass Rating* pada longsor baji ini adalah 43 termasuk kedalam kelas massa batuan nomor III.
 - c. Longsor Guling terjadi pada *beding plane* terhadap lereng. Nilai *Slope Mass Rating* pada longsor guling ini adalah 49,5 termasuk kedalam kelas massa batuan nomor III.

Saran

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan metode berbeda agar dapat menghitung faktor keamanan (FK) pada lereng tersebut dikarenakan pada metode kali ini tidak bisa menghitung FK.

2. Sebaiknya dilakukan perubahan geometri lereng pada lokasi tersebut agar lereng tersebut lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I., 2016 *Geoteknik Tambang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classification*. The Pennsylvania State University. America.
- Hardiyatmo, H, C. *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/defor.htm>
- Hudson, J.A., dan John, P.H., 2005. *Engineering Rock Mechanics An Introduction to the Principles*. Pergamon : London.
- Krynine, Dimitri P dan Judd, William R. 2005. *Principles of Engineering Geology and Geotechnics*. McGraw-Hill Book Co. Inc: New York.
- Lin, Hang. 2016. *Correlation of UCS Rating with Schmidt Hammer Surface Hardness for Rock Mass Classification. Rock Mechanics and Rock Engineering*. China
- Price, D.G., 2009. *Engineering Geology Principles and Practice*. Springer. Verlag Berlin Heidelberg.
- Rai, M.A., Kramadibrata, S., dan Watimena, R.K., 2013. *Mekanika Batuan*. ITB Press : Bandung.
- Singh, B. & Goel, R.K. 2011. *Engineering Rock Mass Classification*. Elsevier Science Ltd. UK.
- Suharyadi, M.S., 2004. *Pengantar Geologi Teknik*. Dosen Jurusan Teknik Geologi. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada.
- Supriatna, S, Sukardi and Rustandi, E. 1995. *Geologi Map of the Samarinda Sheet*. Kalimantan.