SKRIPSI

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

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

Disusun dan diajukan oleh

FAUZAN UMARAH ABDILLAH

D62116505

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

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

Disusun dan diajukan oleh

FAUZAN UMARAH ABDILLAH

D62116505

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

Menyetujui,

Pembimbing Utama,	Pembimbing Pendamping,
Ir. H. Djamaluddin, M.T.	Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T.
NIP. 195604121987031001	NIP. 197111282005011002

Ketua Program Studi,

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

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

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

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

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

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

Makassar, 28 Desember 2020

Yang menyatakan

Fauzan Umarah Abdillah

ABSTRAK

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

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

ABSTRACT

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

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

KATA PENGANTAR

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

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

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

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

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

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

Makassar, 4 November 2020

Fauzan Umarah Abdillah
NIM: D62116505

DAFTAR ISI

Halaman

Lembar Pengesahan ii

Pernyataan Keaslian..... iii

Abstrak..... iv

Abstract..... v

Kata Pengantar vi

Daftar Isi viii

Daftar Gambar xii

Daftar Tabel..... xiii

Daftar Lampiran xv

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Rumusan Masalah..... 3

1.3 Tujuan Penelitian..... 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian..... 4

1.5.1 Persiapan..... 4

1.5.2 Pengambilan data..... 4

1.5.3 Pengolahan dan analisis data..... 5

1.6 Lokasi Penelitian..... 5

BAB II Kestabilan Lereng..... 6

2.1 Lereng 6

2.2 Longsoran 9

2.3 Jenis-Jenis Longsoran..... 10

Halaman

2.3.1 Longsoran Bidang (*Plane Failure*) 11

2.3.2 Longsoran Baji (*Wedge Failure*) 11

2.3.3 Longsoran Busur (*Circular Failure*) 12

2.3.4 Longsoran Guling (*Toppling Failure*) 13

2.4 Struktur Geologi 13

2.4.1 Massa Batuan 13

2.4.2 Bidang Diskontinuitas 14

2.5 Klasifikasi Massa Batuan 17

2.5.1 *Rock Mass Rating* (RMR) 18

2.5.2 *Slope Mass Rating* (SMR) 23

2.5.3 *Geological Strenght Index* (GSI) 25

2.6 Analisis Kinematika 26

2.6.1 Orientasi Struktur Geologi 28

2.6.2 Orientasi Lereng 28

2.6.3 Sudut Gesek Dalam Batuan 29

2.7 Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown 29

2.8 *Limit Equilibrium* 32

2.9 Konsep Probabilitas Kelongsoran 34

BAB III Metode Penelitian 34

3.1 Persiapan 35

3.2 Pengambilan Data 35

3.2.1 Data Primer 35

3.2.2 Data Sekunder 36

3.3 Pengolahan dan Analisis Data 36

3.3.1 Analisis *Rock Mass Rating* (RMR) 38

Halaman

3.3.2 Analisis *Geological Strenght Index* (GSI)..... 38

3.3.3 Analisis Sudut Gesek Dalam 39

3.3.4 Analisis Kinematika..... 41

3.3.5 Analisis *Slope Mass Rating* (SMR) 42

3.3.6 Analisis *Limit Equilibrium*..... 44

BAB IV Analisis Kemantapan Lereng *Sidewall* Utara 44

4.1 Kondisi Lokasi Penelitian..... 45

4.2 Analisis *Rock Mass Rating* (RMR) 45

4.1.1 RMR pada Elevasi -10 mdbpl 50

4.1.2 RMR pada Elevasi 0 m..... 54

4.3 Analisis *Geological Strenght Index* dan Penentuan Sudut Gesek Dalam .. 54

4.3.1 GSI pada Elevasi -10 mdbpl..... 54

4.3.2 GSI pada Elevasi 0 m..... 55

4.3.3 Sudut gesek dalam pada elevasi -10 mdbpl 55

4.3.4 Sudut gesek dalam pada elevasi 0 m..... 56

4.4 Analisis Kinematika (*software* Dips V6.0)..... 56

4.4.1 Analisis Kinematika pada Elevasi -10 mdbpl 57

4.4.2 Analisis Kinematika pada Elevasi 0 m 58

4.5 Analisis *Slope Mass Rating* (SMR) 58

4.5.1 SMR pada elevasi -10 mdbpl..... 61

4.5.2 SMR pada elevasi 0 m..... 63

4.6 Kestabilan Lereng *Sidewall* Utara Pit Merandai (*Limit Equilibrium*) 63

4.6.1 Data material isian lereng *Sidewall* Utara..... 64

4.6.2 Kestabilan lereng pada Elevasi -10 mdbpl..... 64

4.6.3 Kestabilan lereng pada Elevasi 0 m 66

Halaman

BAB V Penutup 66

5.1 Kesimpulan..... 67

5.2 Saran 67

Daftar Pustaka 68

Lampiran 71

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1 Longsoran Bidang (Hoek, 1981) 11

2.2 Longsoran Baji (Hoek, 1981) 12

2.3 Longsoran Busur (Hoek, 1981) 12

2.4 Longsoran Guling (Hoek, 1981) 13

2.5 Karakteristik Bidang Diskontinuitas Batuan (ISRM, 1981 dalam Singh and Goel, 2011) 17

2.6 *Geological Strength Index* (Hoek and brown, 1980) 26

2.7 Diagram kontur dari data bidang diskontinuitas (Aksoy and Ercanoglu, 2007) 28

3.1 Tampilan *software* Roclab V1.0 40

3.2 Penentuan Arah longsoran Dips V6.0 41

3.3 Diagram alir penelitian..... 45

4.1 Lokasi penelitian lereng *Sidewall* Utara. 46

4.2 kegiatan pengukuran jarak diskontinuitas..... 48

4.3 Pengukuran dan pengamatan kondisi bidang diskontinuitas 49

4.4 Kondisi air tanah pada elevasi -10 mdbpl 50

4.5 kondisi air tanah pada elevasi 0 m 53

4.6 Nilai sudut gesek dalam pada elevasi -10 mdbpl 57

4.7 Nilai sudut gesek dalam pada elevasi 0 m 58

4.8 Analisis Kinematika pada elevasi -10 mdbpl 59

4.9 Analisis Kinematika pada elevasi 0 m 60

4.10 Kestabilan lereng pada Elevasi -10 mdbpl 66

4.11 Kestabilan lereng pada Elevasi 0 m 67

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989) 19

2.2 Klasifikasi Kuat Massa Batuan (Hoek, 1981) 19

2.3 Hubungan RQD dengan Kualitas Batuan (Deere and Deere, 1967) 20

2.4 Klasifikasi Persistensi Kekar (Bieniawski, 1989) 22

2.5 Tingkat Pelapukan (Bieniawski, 1989) 22

2.6 Kondisi Air Tanah (Bieniawski, 1989) 23

2.7 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985) 24

2.8 Nilai Pembobotan Untuk Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985) 25

2.9 Nilai Pembobotan Massa Lereng SMR (Romana, 1985) 25

2.10 Rekomendasi jenis perkuatan untuk setiap kelas SMR (Romana, 1985) 25

2.11 Nilai Faktor D (Hoek and Brown, 1980) 30

2.12 Nilai Faktor Mi (Hoek and Brown, 1980) 30

3.1 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989) 38

3.2 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989) 39

3.3 Klasifikasi massa batuan RMR (Bieniawski, 1989) 39

3.4 Pembobotan Nilai D (Hoek and Brown, 1981) 40

3.5 Nilai Pembobotan Massa Batuan SMR (Romana, 1985) 42

3.6 Nilai Pembobotan Untuk Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985) 43

3.7 Nilai Pembobotan Massa Lereng SMR (Romana, 1985) 43

3.8 Rekomendaji Jenis Perkuatan Untuk Setiap Kelas SMR (Romana, 1985) 43

4.1 Tabel Klasifikasi Massa Batuan Hoek-Brown (1981) elevasi -10 mdbpl 50

4.2 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989) elevasi -10 mdbpl 51

4.3 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989) elevasi -10 mdbpl 51

Tabel Halaman

4.4 Klasifikasi Massa Batuan RMR(Bieniawski, 1989) 52

4.5 Tabel Klasifikasi Massa Batuan Hoek-Brown (1981) elevasi 0 m..... 54

4.6 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989) elevasi 0 m..... 55

4.7 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989) elevasi 0 m..... 55

4.8 Klasifikasi Massa Batuan RMR(Bieniawski, 1989) 56

4.9 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl 62

4.10 Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl..... 63

4.11 Massa Lereng SMR (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl 63

4.12 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985) elevasi 0 m..... 64

4.13 Metode Ekskavasi Lereng (Romana, 1985) elevasi 0 m 64

4.14 Nilai Pembobotan Massa Lereng SMR (Romana, 1985) elevasi 0 m 65

4.15 Material isian lereng *Sidewall* Utara..... 65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

A. Data pengukuran orientasi kekar 72

B. Data pengamatan kondisi kekar 75

C. Tabel input material lereng *Sidewall* Utara 77

D. Peta zonasi gempa di Indonesia 78

E. Peta lokasi penelitian 79

F. Peta *section* 80

G. Dokumentasi lapangan 81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2 Rumusan Masalah

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

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

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

1.4 Manfaat Penelitian

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

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

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

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

1.5.1 Persiapan

Tahapan persiapan dibagi menjadi beberapa tahapan, antara lain:

A. Administrasi

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

B. Perumusan masalah

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

C. Studi pustaka

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

1.5.2 Pengambilan data

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

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

1.5.3 Pengolahan dan analisis data

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

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada wilayah penambangan Pit Merandai PT Cipta Kridatama *site* BBE, dimana secara astronomis, koordinat PT Cipta Kridatama *site* BBE berada pada garis bujur 0°56'1"S, dan garis lintang 117°4'7"E. Secara administratif lokasi penambangan berada di Desa Loa Duri Ulu, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Perjalanan dari Bandar Udara Sultan Hasanuddin menggunakan pesawat terbang menempuh waktu kurang lebih 50 menit untuk sampai ke Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan Balikpapan. Sementara perjalanan dari bandara menuju ke mess perusahaan menggunakan mobil menempuh waktu kurang lebih 3 jam, sedangkan perjalanan dari mess menuju ke kantor PT Cipta Kridatama *Site* BBE menggunakan bus menempuh waktu kurang lebih 30 menit. Perjalanan untuk menuju ke lokasi penelitian, dapat ditempuh menggunakan mobil *Light Vehicle Mine* dengan waktu kurang lebih 10 menit sejauh 1 kilometer dari kantor. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada lampiran I.

BAB II

KESTABILAN LERENG

2.1 Lereng

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

2.1.1 Faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan lereng

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

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

d. Berubahnya struktur material.

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

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

A. Penyebaran batuan

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

B. Relief permukaan bumi

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

C. Geometri lereng

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

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

D. Muka air tanah

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

E. Orientasi bidang lemah (diskontinuitas) terhadap orientasi lereng

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

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

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

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

F. Iklim

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

G. Tingkat pelapukan

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

H. Aktivitas manusia

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

I. Sifat fisik dan mekanis batuan

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

2.2 Longsoran

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

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

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

2.3 Jenis-jenis Longsoran

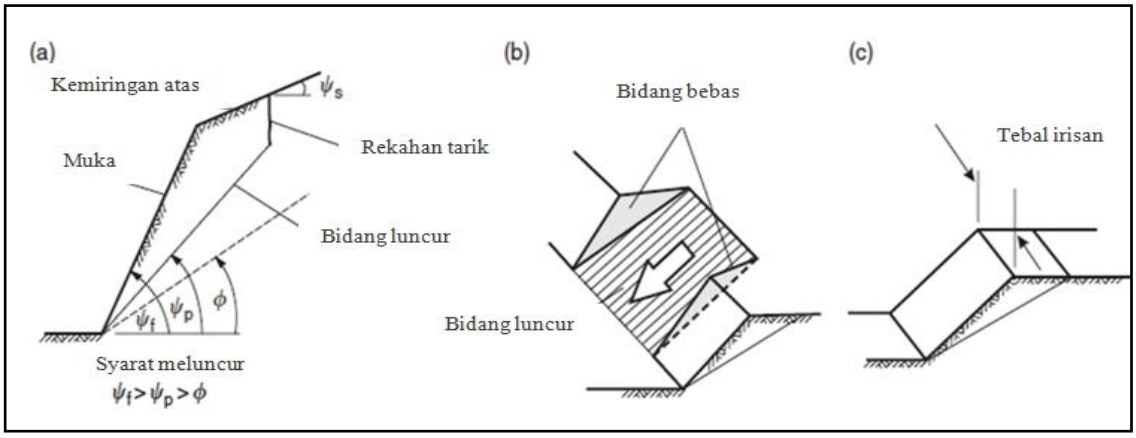
Tipe longsoran atau *landslide* mengandung pengertian luas, maka istilah *slides* digunakan pada longsoran gelincir yang terdiri dari atas luncuran atau *slide* (longsoran gelincir translasional) dan kemerosotan atau *slump* (longsoran gelincir rotasional) (zakaria, 2009).

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

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

2.3.1 Longsoran Bidang *(Plane Failure)*

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



Gambar 2.1 Longsoran Bidang (Hoek, 1981)

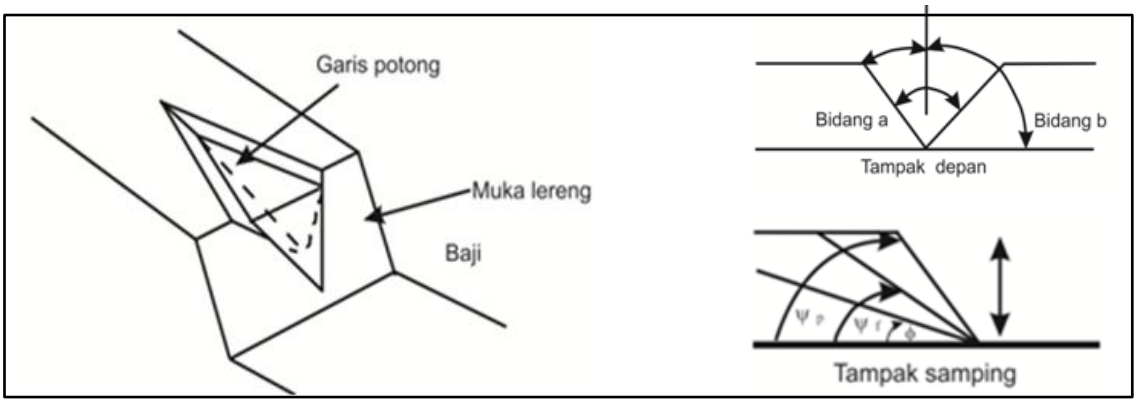
Longsoran jenis ini akan terjadi jika kondisi di bawah ini terpenuhi (Hoek, 1981):

a. Strike bidang luncur mendekati paralel terhadap strike permukaan lereng
b. Kemiringan bidang luncur (φ_p) harus lebih kecil daripada kemiringan permukaan lereng (φ_f)
c. Kemiringan bidang luncur (φ_p) harus lebih besar daripada sudut gesek dalam (ø)
d. Terdapat bidang bebas yang merupakan batas lateral dari massa batuan atau tanah yang longsor.

2.3.2 Longsoran Baji *(Wedge Failure)*

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

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



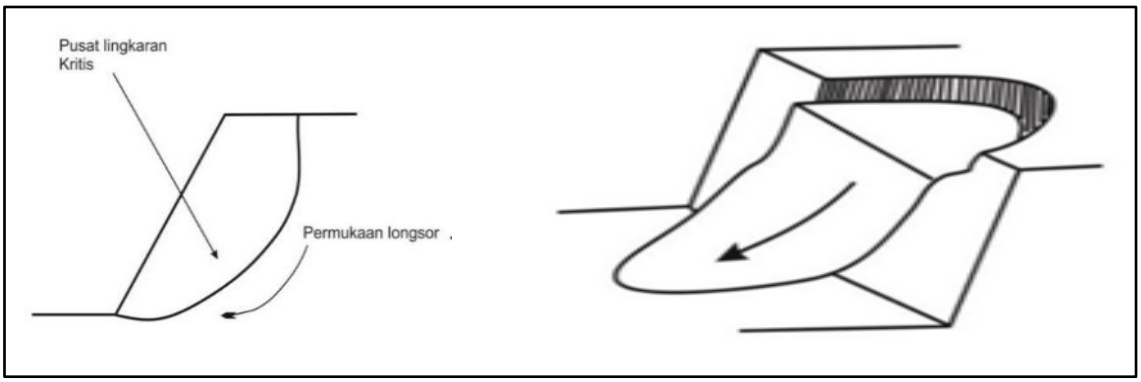
Gambar 2.2 Longsoran Baji (Hoek, 1981)

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

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

2.3.3 Longsoran Busur *(Circular Failure)*

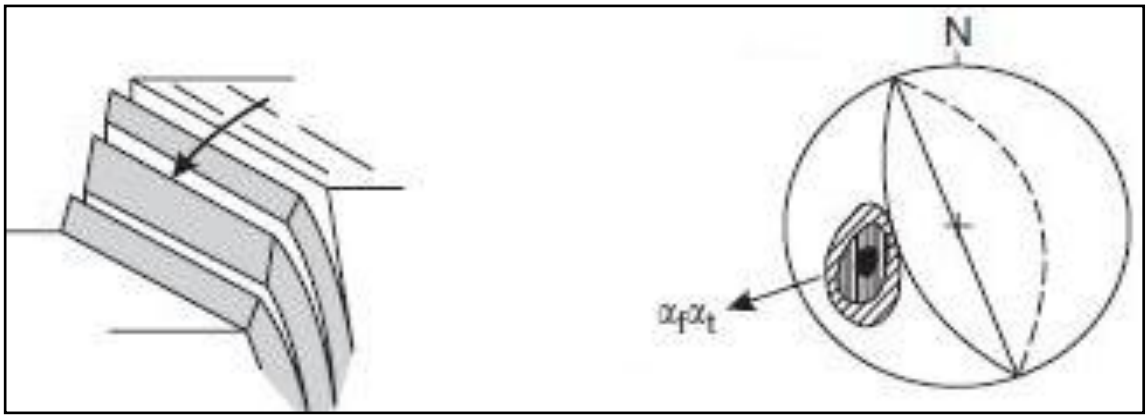
Longsoran busur hanya terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah. Longsoran busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat lapuk serta banyak mengandung bidang lemah *(lose material)*.



Gambar 2.3 Longsoran Busur (Hoek, 1981)

2.3.4 Longsoran Guling *(Toppling Failure)*

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



Gambar 2.4 Longsoran Guling (Hoek, 1981)

2.4 Struktur Geologi

2.4.1 Massa Batuan

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

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

2.4.2 Bidang Diskontinuitas

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

A. *Fault*

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

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

B. *Joint*

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

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

C. *Fracture*

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

D. *Crack*

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

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

E. *Rupture*

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

F. *Fissure*

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

G. *Bedding*

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

H. *Seam*

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

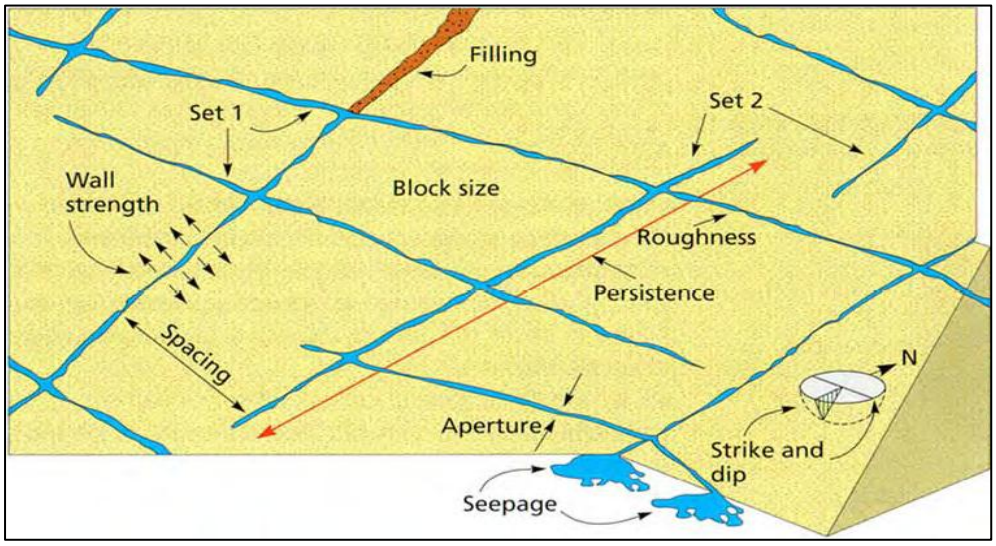
I. Bidang Perlapisan

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

J. *Shear*

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

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



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

2.5 Klasifikasi Massa Batuan

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

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

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

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

2.5.1 *Rock Mass Rating* (RMR)

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

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + B \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana: A1 = Nilai UCS
A2 = Nilai RQD
A3 = Jarak antar spasi diskontinuitas
A4 = Kondisi bidang diskontinuitas
A5 = Kondisi air tanah
B = Orientasi bidang kekar

Tabel 2.1 Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)

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

2.5.1.1 Kuat Tekan Batuan (σ_c) (A1)

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

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

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

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

Tabel 2.2 Klasifikasi Kuat Massa Batuan (Hoek, 1981)

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

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

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

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

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

Keterangan:

λ= jumlah total kekar per panjang *scanline.*

2.5.1.3 Jarak Diskontinuitas (A3)

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

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

2.5.1.4 Kondisi Bidang Diskontinuitas (A5)

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

A. Kemenerusan Bidang Diskontinuitas (*Persistence*)

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

B. Lebar Bukaan/Celah (*Aperture*)

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

C. Kekasaran (*Roughness*)

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

D. Material Pengisi

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

E. Pelapukan Pada Batuan (*Weathering*)

Tabel 2.5 Tingkat Pelapukan (Bieniawski, 1989)

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

Tabel 2.4 Klasifikasi Persistensi Kekar (Bieniawski, 1989)

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

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

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

Tabel 2.6 Kondisi Air Tanah (Bieniawski, 1989)

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

2.5.2 *Slope Mass Rating* (SMR)

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

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

Keterangan:

F_1= rata-rata *strike* dari *joint* dikurangi strike lereng.

F_2= rata-rata *dip* bidang diskontinuitas.

F_3= rata-rata *dip* bidang diskontinuitas dikurangi sudut *dip* lereng.

F_4= metode ekskavasi yang digunakan dalam proses pembentukan lereng

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

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

Case	*The Calculated value*	*Very Favourable*	*Favourable*	*Fair*	*Unfavourable*	*Very unfavourable*
P T	| αj – αs | | αj – αs – 180^0 |	> 30^0	$30^0 – 20^0$	$20^0 – 10^0$	$10^0 – 5^0$	<5^0
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P/T	| βj |	< 20^0	$20^0 – 30^0$	$30^0 – 35^0$	$35^0 – 45^0$	>45^0
P T	F2	0,15 1	0.4 1	0.7 1	0.85 1	1 1
P	βj – βs	> 10^0	$10^0 – 0^0$	0^0	$0^0 – (-10^0)$	< -10^0
T	βj + βs	< 110^0	110^0 - 120^0	> 120^0	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

P = *Plane failure* α_j = *Joint dip direction* β_j = *Joint dip*

T= *Topling Failure* α_s = *Slope dip direction* β_s = *Slope dip*

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

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

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

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

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

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

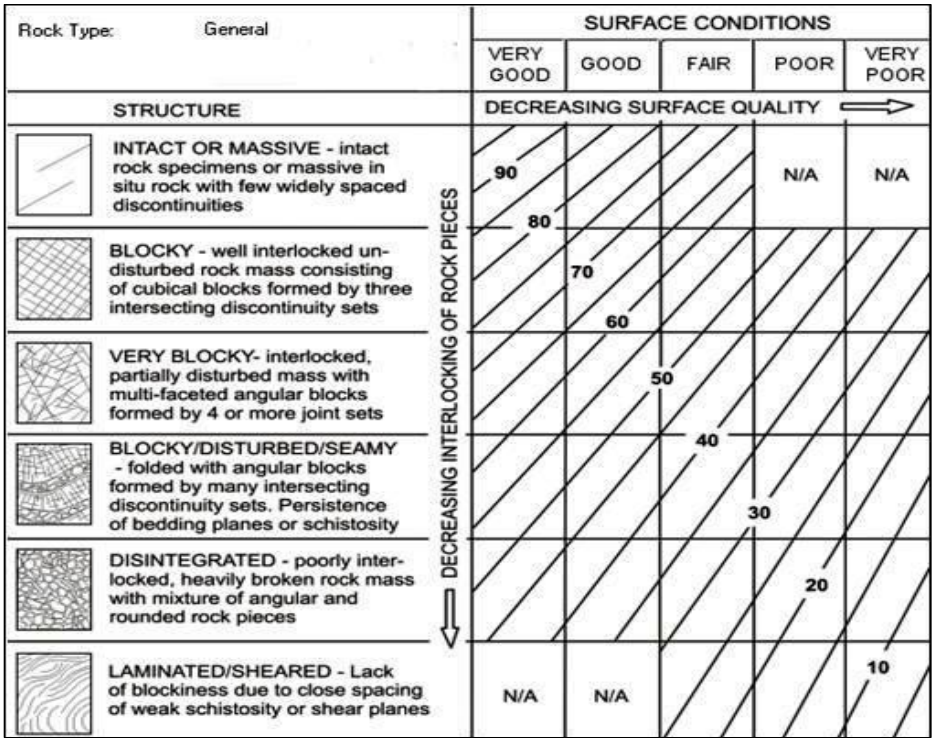
Tabel 2.10 Rekomendasi jenis perkuatan untuk setiap kelas SMR (Romana, 1985)

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

2.5.3 *Geological Strenght Index* (GSI)

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

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



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

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

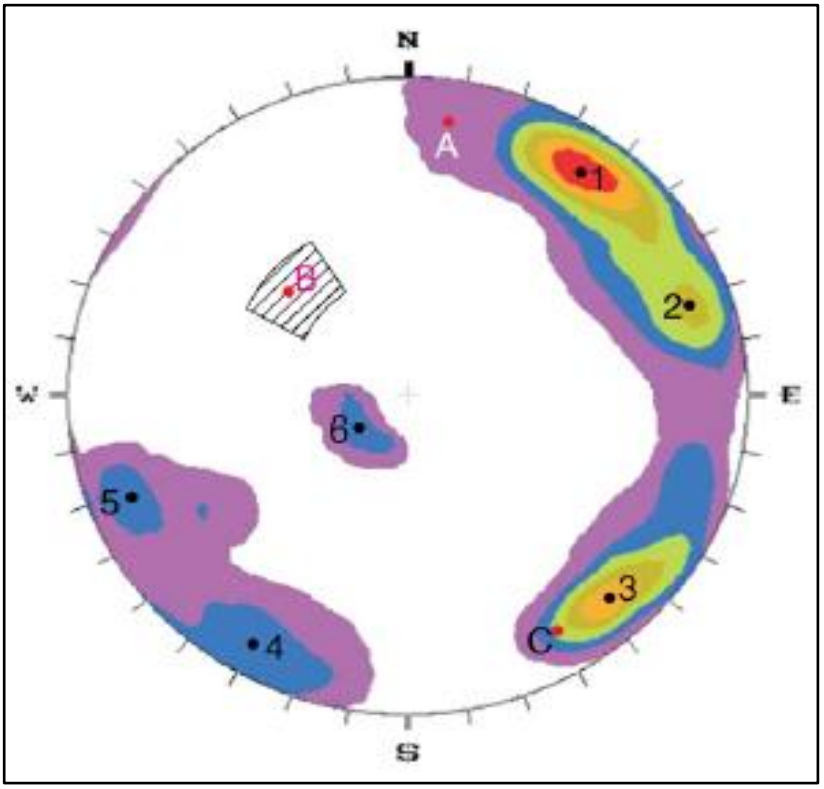
$$GSI = RMR_{(1989)} - 5 \quad \text{..... 2.5}$$

2.6 Analisis Kinematika

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

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

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



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

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

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

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

2.6.1 Orientasi Struktur Geologi.

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

2.6.2 Orientasi lereng

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

2.6.3 Sudut Gesek Dalam Batuan

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

2.8 Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Rock Type	*Class*	*Groups*	*Texture*			
			Coarse	*Medium*	*Fine*	*Very Fine*
Sedimentary		*Clastic*	*Conglomerates* (21 ± 3)	*Sandstones* (17 ± 4)	*Siltstones* (7 ± 2)	*Claystones* (4 ± 2)
			Breccias (19 ± 5)		*Greywakes* (18 ± 3)	*Shales* (6 ± 2)
						Maris (7 ± 2)
	Non-Clastic	*Carbonates*	*Crystalline Limestone* (12 ± 3)	*Sparitic Limestones* (10 ± 2)	*Micritic Limestones* (9 ± 2)	*Dolomites* (9 ± 3)
		Evaporites		*Gypsum* (8 ± 2)	*Anhydrite* (12 ± 2)	
		Organic				*Chalk* (7 ± 2)
Methamorphic		*Non-Foliate*	*Marble* (9 ± 3)	*Homfels* (19 ± 4)	*Quarzites* (20 ± 3)	
				Metasandstones (19 ± 3)		
	Slightly Foliate		*Migmatite* (29 ± 3)	*Amphibolites* (26 ± 6)		
		Foliated	*Gneiss* (28 ± 5)	*Schists* (12 ± 3)	*Phyllites* (7 ± 3)	*Slates* (7 ± 4)
Igneous	*Plutonic*	*Light*	*Granite* (27 ± 3)	*Diorite* (25 ± 5)		
				Granodiorite (29 ± 3)		
		Dark	*Gabbro* (27 ± 3)	*Dolerite* (16 ± 5)		
			Norite (20 ± 5)			
	Hypabysal		*Porphyries* (20 ± 5)		*Diabase* (15 ± 5)	*Peridotite* (25 ± 5)
	Volcanic	*Lava*		*Rhyolite* (25 ± 5)	*Dacite* (25 ± 3)	*Obsidian* (19 ± 3)
				Andesite (25 ± 5)	*Basalt* (25 ± 5)	
		Pyroclastic	*Agglomerate* (19 ± 3)	*Breccia* (19 ± 5)	*Tuff* (13 ± 5)	

2.9 Metode *Limit Equilibrium*

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

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

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

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

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

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

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

$$T_f = c + \tan \phi \quad \text{.....2.11}$$

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

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

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian merupakan suatu kegiatan pengamatan atau penyelidikan yang dilakukan pada suatu objek terencana atau terarah untuk mendapatkan suatu hasil penelitian. Penyelesaian penelitian dilakukan secara bertahap dan sistematis. Metode penelitian menjelaskan mengenai tahapan-tahapan tersebut yang terdiri dari persiapan, pengambilan data, dan pengolahan data.

3.1 Persiapan

Tahapan persiapan meliputi kegiatan-kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. Tahapan persiapan dibagi dalam beberapa tahapan, antara lain:

A. Administrasi

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

B. Perumusan masalah

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

C. Studi pustaka

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

3.2 Pengambilan data

Kegiatan pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data yang mendukung penelitian dan untuk mengamati kondisi umum daerah penelitian, diawali dengan mengobservasi daerah penelitian dengan menentukan lereng yang berpotensi terjadinya kelongsoran untuk selanjutnya dijadikan lokasi penelitian, yaitu lereng *Sidewall* Utara elevasi -10 mdbpl dan elevasi 0 m dan menggunakan *scanline mapping* untuk memberi batasan terhadap pengambilan data orientasi kekar pada lokasi lereng penelitian menggunakan panjang *scanline* untuk elevasi -10 mdbpl yaitu 16 meter, sedangkan untuk elevasi 0 m yaitu 20 meter.

Secara umum pengambilan data dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, data primer dan data sekunder. Data primer diproleh dengan pengambilan data langsung di lapangan dengan seizin pihak perusahaan, sedangkan data sekunder diperoleh dari perusahaan atau hasil penelitian terdahulu.

3.2.1 Data primer

Pengambilan data primer dilakukan dengan pengukuran dan pengamatan langsung pada lokasi lereng penelitian. Data yang dikumpulkan di lapangan berupa data orientasi kekar dan orientasi lereng, kondisi kekar, jarak antar (spasi) kekar yang selanjutnya akan digunakan dalam analisis *Slope Mass Rating* (SMR).

3.2.2 Data sekunder

Pengambilan data sekunder diperoleh dari data perusahaan, dengan data yang mencakup geografis daerah penelitian, geometri lereng, metode ekskavasi dalam pembentukan lereng *Sidewall* Utara, data *section* lereng, dan data *material properties* batuan penyusun lereng *Sidewall* Utara yang selanjutnya akan digunakan dalam menentukan nilai faktor keamanan lereng *Sidewall* Utara.

3.3 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan metode analitis serta menggunakan *software* Dips dalam mengolah data kekar yang diukur langsung di lapangan, dan *software* Slide dalam menentukan nilai faktor keamanan lereng yang akan dianalisis. Tahapan pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini, yaitu:

3.3.1 Analisis *Rock Mass Rating* (RMR)

Dalam penelitian ini nilai RMR digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang menggunakan metode *scanline* dalam perolehan data bidang diskontinuitas. Dalam perhitungan RMR ada lima parameter yang diperhatikan yaitu:

Tabel 3.1 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989)

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

A. Kuat tekan batuan utuh

Nilai kuat batuan utuh diperoleh dengan pengukuran langsung di lapangan menggunakan klasifikasi massa batuan menurut Hoek-Brown (1981) yang kemudian dihubungkan dengan klasifikasi massa batuan menurut Binieawski (1989). Klasifikasi massa batuan Hoek-Brown (1981) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

B. *Rock Quality Designation* (RQD)

Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai RQD yaitu Persamaan menurut Priest dan Hudson (1976) dikarenakan metode yang digunakan adalah metode tidak langsung menggunakan *scanline.* Persamaan yang digunakan dapat dilihat di Persamaan 2.2.

C. Jarak antar (spasi) kekar

Jarak antar spasi kekar diperoleh dangan pengukuran langsung di lapangan, dengan mengukur jarak tegak lurus antar setiap kekar yang diamati.

D. Kondisi kekar

Dalam pembobotan kondisi dari kekar, perlu diperhatikan beberapa parameter, yaitu panjang kekar, lebar bukaan kekar, kekasaran kekar, isian dari bidang kekar, dan juga pelapukan dari dinding batuan. Data kondisi kekar diperoleh dangan cara pengamatan langsung di lapangan.

E. Kondisi air tanah

Penentuan bobot kondisi air tanah, diperoleh dengan pengamatan langsung di lapangan dengan melihat debit air limpasan yang terdapat di lereng.

F. Orientasi kekar

Penentuan bobot orientasi kekar diperoleh berdasarkan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan, dengan melihat bidang gelincir dan arah muka lereng yang dianalisis.

Melalui parameter di atas dapat dilakukan pembobotan berdasarkan kelas yang dapat dilihat pada Tabel 3.2, kemudian dapat dikalkulasikan untuk mendapatkan nilai RMR akhir, dapat dilihat pada Tabel 3.3. Dalam mencari nilai akhir dari RMR menggunakan Persamaan 2.1.

Tabel 3.2 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989)

Strike And Dip Orientations		*Very Favourable*	*Favourable*	*Fair*	*Unfavourable*	*Very Unfavourable*
Ratings	*Tunnel and Mines*	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	

Tabel 3.3 Klasifikasi massa batuan 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

3.3.2 Analisis *Geological Strength Index* (GSI)

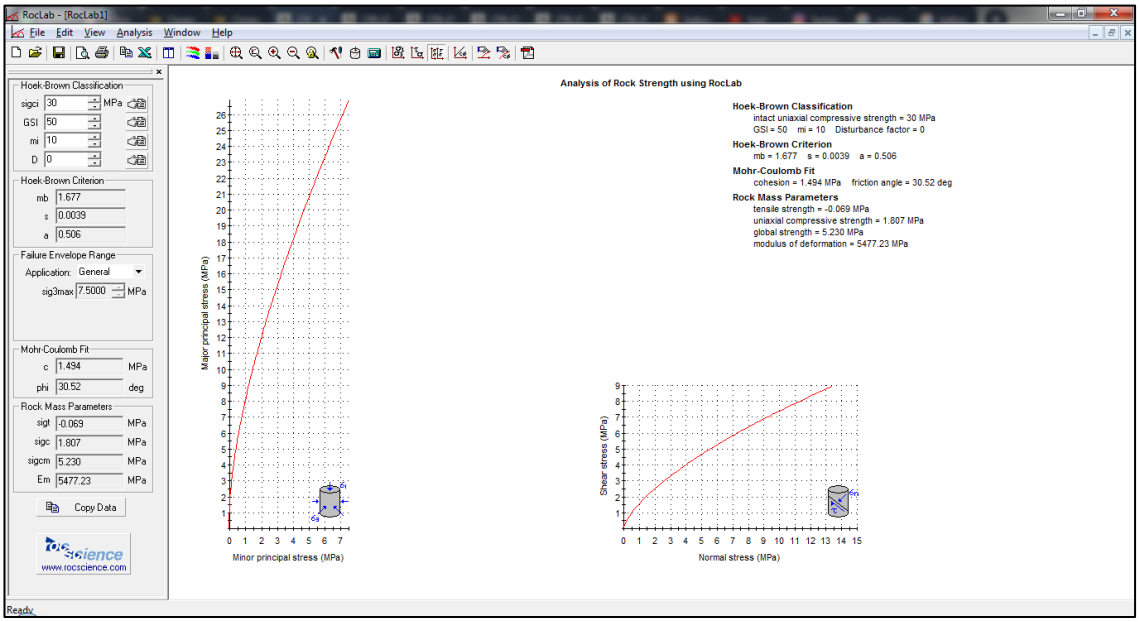
GSI adalah suatu indeks yang berhubungan dengan kekuatan massa batuan terkekarkan. Nilai GSI diperoleh dengan mengurangi nilai RMR yang telah didapatkan (lihat Persamaan 2.5). Perhitungan GSI digunakan untuk mendapatkan nilai sudut gesek dalam yang kemudian sudut gesek dalam digunakan dalam analisis Kinematika.

3.3.3 Analisis sudut gesek dalam

Setelah nilai GSI diperoleh, selanjutnya menentukan sudut gesek dalam menggunakan *software* RocLab v1.0. Dalam menentukan nilai sudut gesek dalam menggunakan *software* RocLab v1.0 dibutuhkan parameter tambahan, yaitu nilai *Geological Strength Index* (GSI), nilai *Sigma Compressive Intact* (Sigci), nilai *Disturbance factor* (D), dapat dilihat pada Tabel 3.5, dan nilai Mi.

Langkah kerja dalam penggunaan *software* RocLab v1.0 dalam menentukan sudut gesek dalam, yaitu penginputan data yang diperlukan. Menginput setiap

parameter yang diperlukan, *software* Roclab secara otomatis mengkomputasi untuk mendapatkan kriteria *Hoek-Brown dan Mohr Coloumb.*



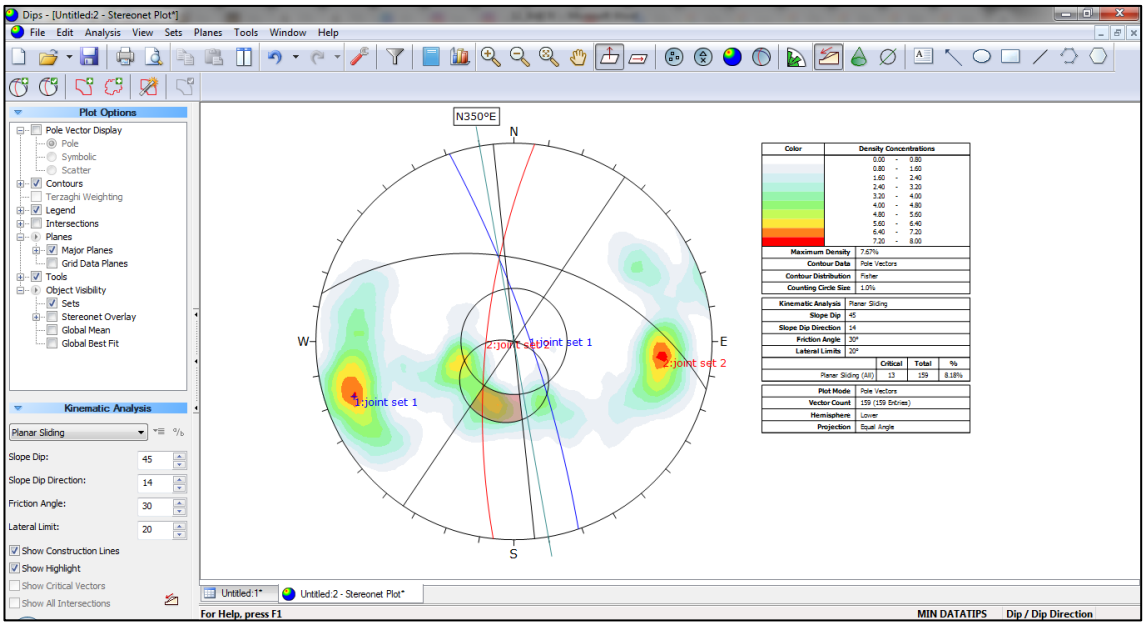
Gambar 3.1 Tampilan *software* Roclab V1.0

Tabel 3.4 Pembobotan Nilai D (Hoek and Brown, 1981)

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

3.3.4 Prediksi arah dan tipe longsoran

Prediksi arah dan tipe longsoran yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *software* Dips V6.0 dimana memerlukan data *dip* dan *dip direction* lereng, sudut gesek dalam. Dalam penelitian ini dilakukan analisis prediksi arah dan jenis longsoran untuk masing-masing elevasi, untuk elevasi -10 mdbpl dan untuk elevasi 0 m. Langkah kerja dalam penggunaan *software* Dips V6.0, yaitu:



Gambar 3.2 Penentuan arah longsoran menggunakan *software* Dips V6.0

1. Input Data

   Data yang diperlukan dalam melakukan analisis Kinematika menggunakan *software* Dips yaitu, data orientasi lereng berupa *strike* dan *dip,* sudut gesek dalam.

2. Analisis Kinematika

   Apabila telah menampilkan bentuk stereografis dari data yang diinput, kemudian melakukan analisis Kinematika untuk mengetahui longsoran yang akan terjadi dan menentukan arah serta jenis longsorannya, dengan cara mengatur *strike* dan *dip* lereng, sudut gesek dalam.

3. Menentukan arah longsoran

   Cara menentukan arah longsoran dalam *software* Dips V6.0 dengan cara klik *add trend line* yang ada pada *toolbar*. Kemudian klik dibagian perpotongan antara *user plan* dan muka lereng yang terdapat pada stereografis, kemudian baca pada posisi keberapa arah longsoran akan terjadi, lihat Gambar 3.2.

3.3.5 Analisis *Slope Mass Rating* (SMR)

Dalam analisis SMR, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan, yaitu arah kemenerusan (*dip direction*) dari permukaan lereng (α_s), arah kemenerusan (*dip direction*) diskontinuitas (α_j), sudut kemiringan diskontinuitas (β_j), dan sudut kemiringan lereng (β_s). Persamaan SMR dapat dilihat pada Persamaan 2.3.

Melalui parameter ini dapat dilakukan pembobotan yang dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan 3.7 kemudian bobot masa jenjang dapat diklasifikasikan berdasarkan niai akhir SMR, lihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.5 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985)

Case	*The Calculated value*	*Very Favourable*	*Favourable*	*Fair*	*Unfavourable*	*Very unfavourable*
P	| αj – αs |					
T	| αj - αs - 180^0 |	> 30^0	30^0 – 20^0	20^0 – 10^0	10^0 – 5^0	<5^0
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P/T	| βj |	< 20^0	20^0 - 30^0	30^0 - 35^0	35^0 - 45^0	>45^0
P	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T		1	1	1	1	1
P	βj – βs	> 10^0	10^0 – 0^0	0^0	0^0 – (-10^0)	< -10^0
T	βj + βs	< 110^0	110^0 – 120^0	> 120^0	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Tabel 3.6 Nilai pembobotan untuk metode ekskavasi lereng (Romana, 1985)

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

Tabel 3.7 Nilai pembobotan massa lereng SMR (Romana, 1985)

Klasifikasi	V	IV	III	II	I
Bobot Massa Lereng (SMR)	0 – 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80	>80
Deskripsi Massa Batuan	Sangat buruk	Buruk	Normal	Baik	Sangat baik
Kestabilan Lereng	Sangat Tidak Stabil	Tidak Stabil	Sebagian Stabil	Stabil	Sangat Stabil
Kemungkinan Bentuk Longsoran	Bidang Atau Seperti Keruntuhan Material Lepas	Bidang atau Baji Besar	Bidang bersama dengan kekar dan banyak baji	Berupa Blok	-
Probability of failure	0,9	0,6	0,4	0,2	0

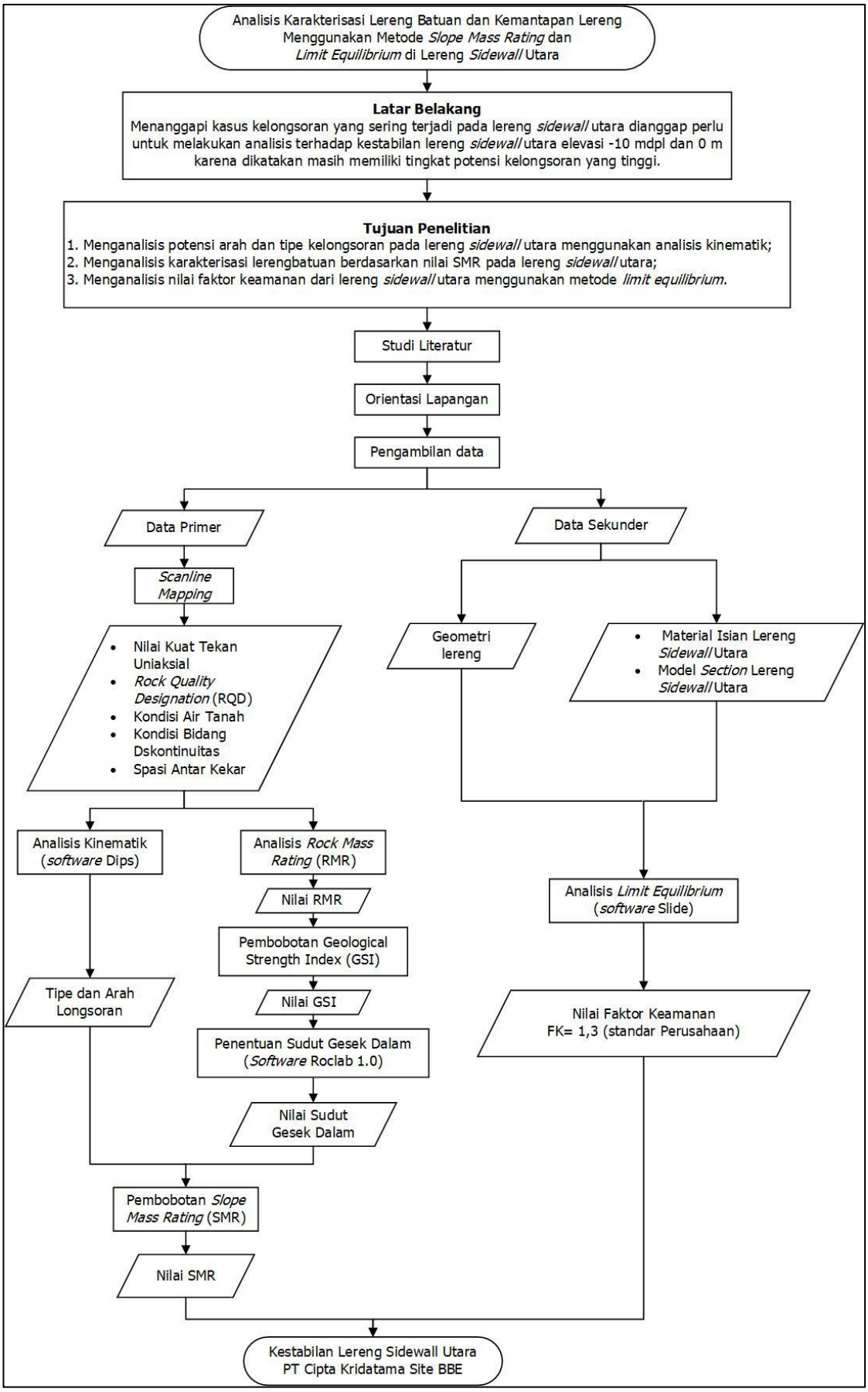
Tabel 3.8 Rekomendasi jenis perkuatan untuk setiap kelas SMR (Romana, 1985)

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

3.3.6 Analisis *Limit Equilibrium* (*software* Slide V6.0).

Dalam analisis faktor keamanan lereng desain akhir tahun 2019, analisis dilakukan pada lereng *Sidewall* Utara. Analisis dilakukan dengan mengambil desain tahun 2019 yang diolah menggunakan *software* Minescape. Desain tersebut berisi informasi geometri lereng dari *section* yang meliputi ketinggian lereng berdasarkan topografi aktual, *overall slope* dan *individual slope*.

Apabila desain telah diperoleh kemudian diolah menggunakan *software* Slide v6.0 dengan parameter masukan berupa *material boundary* terdiri atas setiap massa batuan yang telah dideskripsi dengan ketebalan yang berbeda pada *section* dan juga nilai *material properties*. Secara garis besar keseluruhan tahap dan metode dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB IV

ANALISIS KARAKTERISASI LERENG BATUAN DAN KEMANTAPAN LERENG *SIDEWALL* UTARA

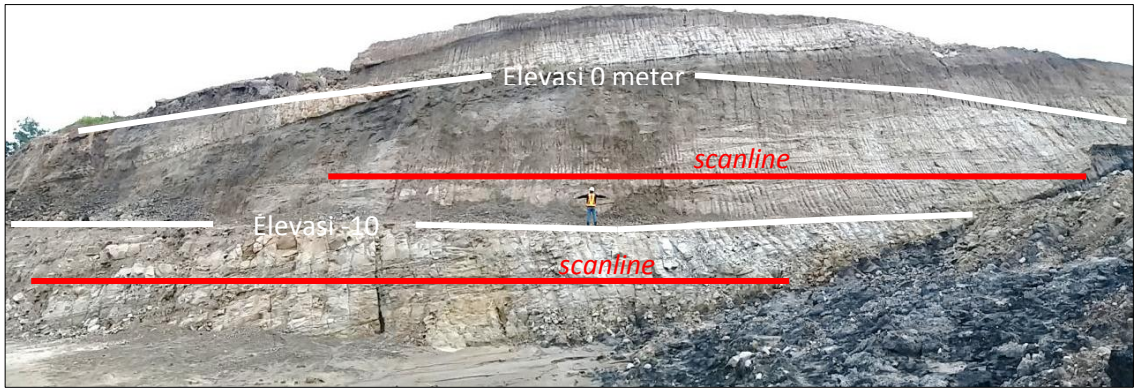
4.1 Kondisi Lokasi Penelitian

Kondisi lereng *Sidewall* Utara sebagai lokasi penelitian dan pengambilan data memiliki beberapa perlapisan batuan antara lain batulempung, batupasir, batubara, dan lain-lain, dengan memiliki banyak bidang diskontinuitas yaitu kekar yang disebabkan oleh penempatan *loose material* pada bagian atas lereng yang membuat munculnya banyak bidang-bidang kekar pada permukaan lereng.

Stratigrafi lokal terdiri dari tiga formasi batuan, yaitu Formasi Balikpapan, Formasi Pulubalang, dan Formasi Bebuluh, namun pada lereng lokasi penelitian termasuk dalam Formasi Batuan Sedimen Pulubalang dengan material batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung dan batubara. Lereng *Sidewall* Utara memiliki lapisan batuan batupasir, batubara, dan batulempung. *Roof* dari material batubara berupa batupasir yang merupakan lokasi pengambilan sampel serta *floor* dari batubara berupa batulempung.

Pada lokasi penelitian lereng *Sidewall* Utara elevasi -10 mdbpl dan 0 m dijumpai material batupasir yang memiliki struktur geologi bidang diskontinuitas berupa kekar, dengan elevasi 0 m memiliki tinggi lereng 11,2 meter dengan kondisi air tanah *fully saturated* dan untuk elevasi -10 mdbpl memiliki tinggi lereng 6,2 meter dengan kondisi air tanah *fully saturated*.

Dalam pengambilan data, menggunakan metode *scanline mapping*, dimana pada elevasi 0 m digunakan panjang *scanline* 20 meter dengan 76 kekar, sedangkan untuk elevasi -10 mdbpl digunakan panjang *scanline* 16 meter dengan 41 kekar.



Gambar 4.1 Lokasi penelitian lereng *Sidewall* Utara.

4.2 *Rock Mass Rating* (RMR)

Klasifikasi massa batuan yang digunakan yaitu metode *Rock Mass Rating* (RMR) dilakukan kepada kedua elevasi -10 mdbpl dan 0 m. Analisis RMR terbagi atas enam parameter, kekuatan batuan utuh, RQD, jarak antar (spasi) diskontinuitas, kondisi kekar, kondisi air tanah, dan orientasi kekar yang masing-masing datanya sudah diperoleh selanjutnya dilakukan analisis.

4.2.1 RMR pada elevasi -10 mdbpl

A. Kekuatan batuan utuh

Penentuan kekuatan batuan utuh daerah penelitian menggunakan pengujian langsung di lapangan yaitu menggunakan tabel *field estimates of uniaxial compressive strength of intact rock* berdasarkan Hoek-Brown (1981) menggunakan palu geologi, dan selanjutnya melakukan pembobotan pada tabel klasifikasi massa batuan Bieniawski (1989). Berdasarkan hasil di lapangan untuk elevasi -10 mdbpl memiliki nilai UCS 45 MPa, yang masuk kedalam kelas *medium strong* dengan nilai UCS 25-50 MPa dengan deskripsi "Tidak dapat dibaret atau dikupas menggunakan pisau, tapi spesimen dapat dipecahkan hanya dengan satu kali pukulan dengan palu geologi" (lihat Tabel 3.1). Kemudian dilakukan pembobotan menggunakan tabel klasifikasi massa batuan

Bieniawski (1989), maka didapatkan nilai kekuatan massa batuan pada elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara yaitu 25-50 MPa dengan bobot 4.

B. *Rock Quality Designation* (RQD)

Pengambilan data RQD dilakukan langsung di lapangan dengan metode *scanline*. Berdasarkan panjang *scanline* pada elevasi -10 mdbpl yaitu 16 meter dengan 41 kekar yang diukur. Menggunakan Persamaan 2.2 maka nilai RQD yang didapatkan sebagai berikut:

$RQD = 100e^{-0,1.2,5}(0,1.2,5 + 1).$

$RQD = 100e^{-0,25}(0,25 + 1).$

$RQD = 77,9(1,25).$

$RQD = 97,4.$

Jadi nilai RQD pada elevasi -10 mdbpl adalah 97,4 maka didapatkan bobot RQD masuk kedalam kelas 90-100% memiliki bobot 20.

C. Jarak diskontinuitas

Gambar 4.2 kegiatan pengukuran jarak diskontinuitas

Dalam pengambilan data jarak diskontinuitas pada area penelitian sangat bervariasi (lihat pada lampiran B), sehingga nilai rata-rata dari jarak

diskontinuitas pada pada elevasi -10 mdbpl yaitu 0,06 – 0,2 m dengan memiliki bobot 8.

D. Kondisi bidang diskontinuitas

Keadaan kondisi bidang diskontinuitas didapatkan dari deskripsi secara langsung di lapangan berupa kemenerusan bidang diskontinuitas, lebar bukaan diskontinuitas, kekasaran bidang diskontinuitas, material pengisi diskontinuitas, dan tingkat pelapukan dari diskontinuitas.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, kondisi bidang diskontinuitas pada elevasi -10 mdbpl ebagai berikut:

Kemenerusan bidang diskontinuitas : 3 – 10 m, bobot 2

Lebar bukaan diskontinuitas : 0.1 – 1.0 mm, bobot 4

Kekerasan bidang diskontinuitas : sedikit kasar, bobot 4

Material pengisi diskontinuitas : lunak <5 mm, bobot 2

Tingkat pelapukan diskontinuitas : sedikit lapuk, bobot 5

Jadi didapatkan bobot kondisi bidang diskontinuitas pada elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara yaitu 17.

Gambar 4.3 Pengukuran dan pengamatan kondisi bidang diskontinuitas

E. Kondisi air tanah

Dari hasil pengamatan langsung di lapangan bahwa pada elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara memiliki kondisi air tanah basah, maka pembobotan kondisi air tanah elevasi -10 mdbpl yaitu 7.

Gambar 4.4 Kondisi air tanah pada elevasi -10 mdbpl

F. Orientasi kekar

Dari hasil pengamatan di lapangan, bahwa elevasi -10 mdbpl memiliki kemiringan bidang gelincir yaitu 40°, maka dapat disimpulkan bahwa orientasi kekar untuk elevasi -10 mdbpl yaitu *favourable* (baik) dengan memiliki bobot -5.

Dari hasil setiap pembobotan parameter di atas, maka selanjutnya dilakukan analisis *Rock Mass Rating*. Menggunakan Persamaan 2.1 maka hasil analisis nilai RMR elevasi -10 mdbpl sebagai berikut:

$$RMR = 4 + 20 + 8 + 17 + 7 - 5$$

$$RMR = 51$$

Tabel 4.1 Klasifikasi massa batuan Hoek-Brown (1981) elevasi -10 mdbpl

Kekuatan Batuan	*Uniaxial Compressive Strength* (Mpa)	Deskripsi
Extremely Strong	>250	Spesimen hanya bisa dipecahkan dengan palu geologi
Very Strong	100-250	Spesimen membutuhkan banyak pukulan dengan palu geologi untuk dapat memecahkannya
Strong	50-100	Spesimen membutuhkan lebih dari satu kali pukulan dengan pukulan geologi untuk dapat memecahkannya
Medium Strong	25-50	Tidak dapat di baret atau di kupas menggunakan pisau, tapi spesimen dapat dipecahkan hanya dengan satu kali pukulan dengan palu geologi
Weak	5-25	Dapat dibaret dan dikupas menggunakan pisau tapi sulit, menimbulkan lekukan dangkal dengan satu kali pukulan dari palu geologi
Very Weak	1-5	Bagian bawah spesimen akan hancur apabila dengan pukulan dari palu geologi
Extremely Weak	0.25-1	Dapat dihancurkan dengan tangan

Tabel 4.2 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989) elevasi -10 mdbpl

No	Parameter		Pembobotan					
1	Kekuatan Massa Batuan	*Point-Load Strenght Index* (MPa)	> 10	04 – 10	02 – 04	01 – 02		
		Uniaxial Compressive Strenght (MPa)	> 250	100-250	50 - 100	25 - 50	5 – 25	1 – 5
		Bobot	15	12	7	4	2	1
2	RQD (%)		90-100	75 – 90	50 – 75	25-50	<25	
	Bobot		20	17	13	8	3	
3	Jarak Diskontinuitas (m)		>2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	<0.06	
	Bobot		20	15	10	8	5	
4	Kondisi Diskontinuitas Kemenerusan Kekar (m)		<1	1-3	3-10	10-20	>20	
	Bobot		6	4	2	1	0	
	Bukaan Kekar (cm)		tidak ada	<0.1	0.1-1.0	1-5	>5	
	Bobot		6	5	4	1	0	
	Kekasaran Kekar		sangat kasar	kasar	sedikit kasar	halus	*slickensided*	
	Bobot		6	5	3	1	0	
	Material Pengisi (mm)		tidak ada	keras <5	keras >5	lunak <5	lunak >5	
	Bobot		6	4	2	2	0	
	Pelapukan		tidak lapuk	sedikit lapuk	lapuk	sangat lapuk	hancur	
	Bobot		6	5	3	1	0	
5	Kondisi Air Tanah		kering	lembab	basah	menetes	mengalir	
	Bobot		15	10	7	4	0	

Tabel 4.3 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989) elevasi -10 mdbpl

Strike And Dip Orientations		*Very Favourable*	*Favourable*	*Fair*	*Unfavourable*	*Very Unfavourable*
Ratings	*Tunnel and Mines*	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60
bobot		0	-5	-25	-50	-60

Setelah melakukan pembobotan RMR pada lereng *Sidewall* Utara elevasi -10 mdbpl, maka didapatkan pada elevasi -10 mdbpl masuk kedalam kelas massa batuan III yaitu *fair* (batuan sedang).

Tabel 4.4 Klasifikasi massa batuan 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

4.2.2 RMR pada elevasi 0 m

A. Kekuatan batuan utuh

Berdasarkan hasil di lapangan untuk elevasi 0 m memiliki nilai UCS 40 MPa, yang masuk kedalam kelas *medium strong* dengan nilai UCS 25 – 50 MPa dengan deskripsi "Tidak dapat dibaret atau dikupas menggunakan pisau, tapi spesimen dapat dipecahkan hanya dengan satu kali pukulan dengan palu geologi" (lihat Tabel 3.1). kemudian di lakukan pembobotan menggunakan tabel klasifikasi massa batuan Bieniawski (1989), maka didapatkan nilai kekuatan massa batuan pada elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara yaitu 25 – 50 MPa dengan bobot 4.

B. *Rock Quality Designation* (RQD)

Menggunakan Persamaan 2.2 maka nilai RQD yang didapatkan sebagai berikut:

$RQD = 100e^{-0,1.3,8}(0,1.3,8 + 1)$.

$RQD = 100e^{-0,38}(1,38)$.

$RQD = 68,4\ (1,38)$.

$RQD = 94,4$.

Jadi nilai RQD pada elevasi 0 m adalah 94,4 maka didapatkan bobot RQD masuk kedalam kelas 90-100% memiliki bobot 20.

C. Jarak diskontinuitas

Dalam pengambilan data jarak diskontinuitas pada area penelitian sangat bervariasi (lihat pada lampiran B), sehingga nilai rata dari jarak diskontinuitas pada pada elevasi 0 m yaitu 0,06 – 0,2 m dengan memiliki bobot 8.

D. Kondisi bidang diskontinuitas

Berdasarkan pengamatan di lapangan, kondisi bidang diskontinuitas pada elevasi 0 m sebagai berikut:

Kemenerusan bidang diskontinuitas : 10 – 20 m, bobot 1

Lebar bukaan diskontinuitas : 0.1 – 1.0 mm, bobot 4

Kekerasan bidang diskontinuitas : halus, bobot 1

Material pengisi diskontinuitas : lunak <5 mm, bobot 2

Tingkat pelapukan diskontinuitas : sedikit lapuk, bobot 5

Jadi didapatkan bobot kondisi bidang diskontinuitas pada elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara yaitu 13.

E. Kondisi air tanah

Dari hasil pengamatan langsung di lapangan bahwa pada elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara memiliki kondisi air tanah lembab (Gambar 4.4), maka dari hasil pengamatan di lapangan, pembobotan kondisi air tanah 0 m yaitu 10.

Gambar 4.5 Kondisi air tanah pada elevasi 0 m

F. Orientasi kekar

Dari hasil pengamatan di lapangan, bahwa pada elevasi 0 m memiliki kemiringan bidang gelincir yaitu 42° maka dapat disimpulkan bahwa orientasi kekar untuk elevasi 0 m yaitu *favourable* (baik) dengan memiliki bobot -5.

Tabel 4.5 Klasifikasi massa batuan Hoek-Brown (1981) elevasi 0 m

Kekuatan Batuan	*Uniaxial Compressive Strength* (Mpa)	Deskripsi
Extremely Strong	>250	Spesimen hanya bisa dipecahkan dengan palu geologi
Very Strong	100-250	Spesimen membutuhkan banyak pukulan dengan palu geologi untuk dapat memecahkannya
Strong	50-100	Spesimen membutuhkan lebih dari satu kali pukulan dengan pukulan geologi untuk dapat memecahkannya
Medium Strong	25-50	Tidak dapat dibaret atau dikupas menggunakan pisau, tapi spesimen dapat dipecahkan hanya dengan satu kali pukulan dengan palu geologi
Weak	5-25	Dapat dibaret dan dikupas menggunakan pisau tapi sulit, menimbulkan lekukan dangkal dengan satu kali pukulan dari palu geologi
Very Weak	1-5	Bagian bawah spesimen akan hancur apabila dengan pukulan dari palu geologi
Extremely Weak	0.25-1	Dapat dihancurkan dengan tangan

Tabel 4.6 Nilai pembobotan RMR (Bieniawski, 1989) elevasi 0 m

No	Parameter		Pembobotan					
1	Kekuatan Massa Batuan	*Point-Load Strenght Index* (MPa)	> 10	04-10	02-04	01-02		
		Uniaxial Compressive Strenght (MPa)	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5
	Bobot elevasi 0 m		15	12	7	4	2	1
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25	
	Bobot elevasi 0 m		20	17	13	8	3	
3	Jarak Diskontinuitas (m)		>2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06	
	Bobot elevasi 0 m		20	15	10	8	5	
4	Kondisi Diskontinuitas Kemenerusan Kekar (m)		<1	1-3	3-10	10-20	>20	
	Bobot		6	4	2	1	0	
	Bukaan Kekar (cm)		tidak ada	<0,1	0,1-1,0	1-5 c	>5	
	Bobot elevasi 0 m		6	5	4	1	0	
	Kekasaran Kekar		sangat kasar	kasar	sedikit kasar	halus	*slickensided*	
	Bobot		6	5	3	1	0	
	Material Pengisi (mm)		tidak ada	keras <5	keras >5	lunak <5	lunak >5	
	Bobot elevasi 0 m		6	4	2	2	0	
	Pelapukan		tidak lapuk	sedikit lapuk	lapuk	sangat lapuk	hancur	
	Bobot elevasi 0 m		6	5	3	1	0	
5	Kondisi Air Tanah		kering	lembab	basah	menetes	mengalir	
	Bobot		15	10	7	4	0	

Tabel 4.7 Nilai bobot orientasi kekar (Bieniawski, 1989) elevasi 0 m

Strike And Dip Orientations		*Very Favourable*	*Favourable*	*Fair*	*Unfavourable*	*Very Unfavourable*
Ratings	*Tunnel and Mines*	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60
bobot		0	-5	-25	-50	-60

Setiap parameter yang telah didapatkan selanjutnya dimasukkan kedalam rumus untuk mendapatkan nilai total RMR. Menggunakan Persamaan 2.1 maka hasil analisis nilai RMR elevasi 0 m sebagai berikut:

$$RMR = 4 + 20 + 8 + 13 + 10 - 5$$

$$RMR = 50$$

Setelah melakukan pembobotan RMR pada lereng *Sidewall* Utara elevasi 0 m, maka didapatkan pada elevasi 0 m masuk kedalam kelas III yaitu *fair* (batuan sedang)

Tabel 4.8 Klasifikasi Massa Batuan 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

4.3 *Geological Strength Index* dan Sudut Gesek Dalam

Dalam penentuan nilai *Geological Strength Index* (GSI) menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Bieniawski 1989. Penentuan nilai GSI dilakukan pada kedua elevasi -10 mdbpl dan 0 m menggunakan Persamaan 2.5.

4.3.1 GSI pada elevasi -10 mdbpl

Menggunakan Persamaan 2.5 maka nilai GSI untuk elevasi -10 mdbpl sebagai berikut:

$$GSI = 51 - 5$$

$$GSI = 46$$

Jadi nilai GSI untuk elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara adalah 46

4.3.2 GSI pada elevasi 0 m

Menggunakan Persamaan 2.5 maka nilai GSI untuk elevasi 0 m sebagai berikut:

$$GSI = 50 - 5$$

$$GSI = 45$$

Jadi nilai GSI untuk elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara adalah 45.

Setelah mendapatkan nilai GSI dari masing-masing elevasi lereng, selanjutnya menentukan nilai sudut gesek dalam menggunakan *software* RockLab v1.0, dengan memasukkan 4 parameter, yaitu nilai Sigci atau UCS, nilai GSI, nilai Mi, dan nilai D.

4.3.3 Sudut gesek dalam pada elevasi -10 mdbpl

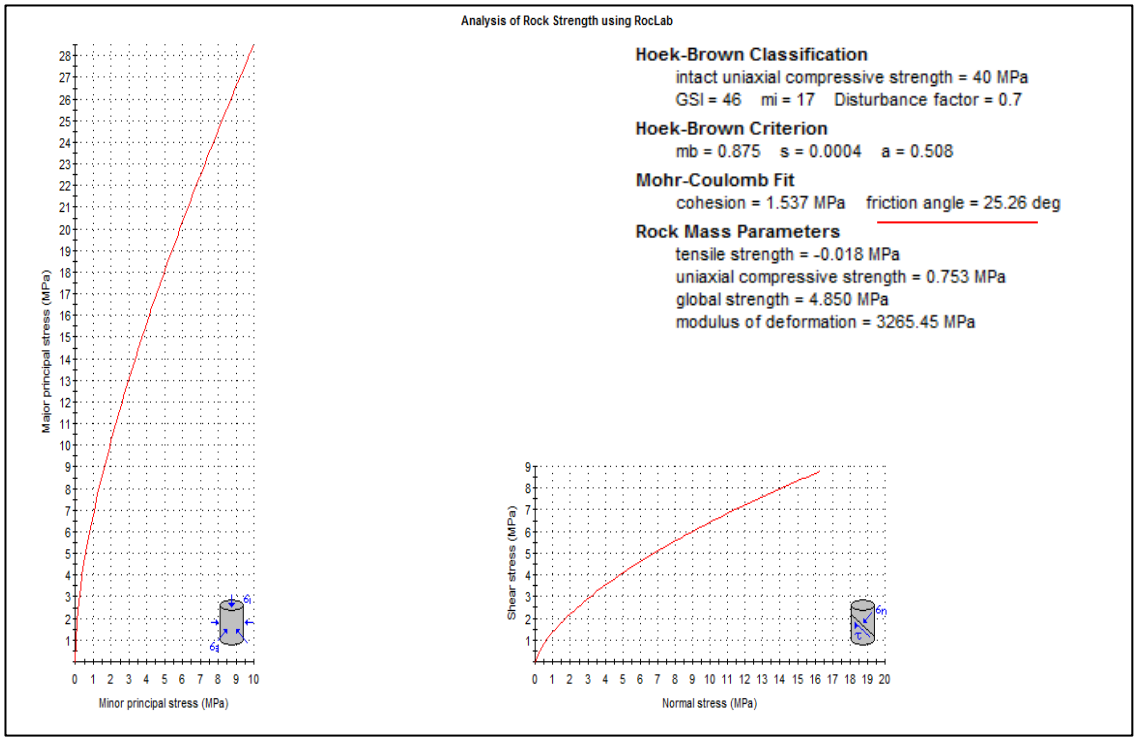
Sigci = 40 MPa

GSI = 46

Mi = 17

D = 0,7

Berdasarkan pembobotan setiap parameter di atas maka nilai *friction angle* untuk elevasi -10 mdbpl yaitu 25,26°, lihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Nilai sudut gesek dalam pada elevasi -10 mdbpl

4.3.4 Sudut gesek dalam pada elevasi 0 m

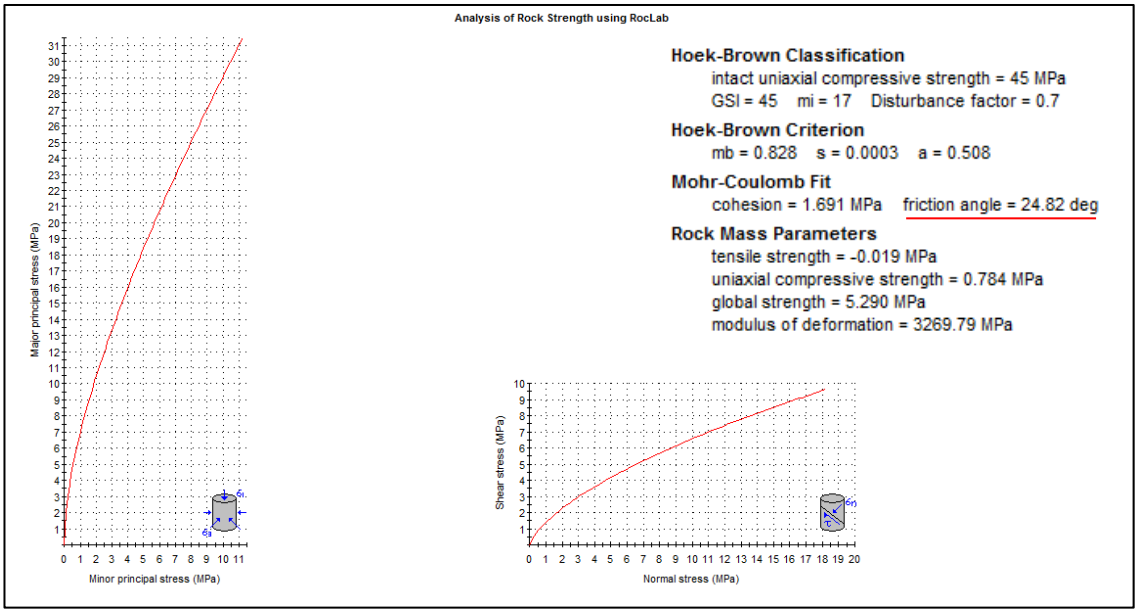
Sigci = 45 MPa

GSI = 45

Mi = 17

D = 0,7

Berdasarkan pembobotan setiap parameter di atas maka nilai *friction angle* untuk elevasi -10 mdbpl yaitu 24,82°, lihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Nilai sudut gesek dalam pada elevasi 0 m

4.4 Analisis Kinematika (*Software* Dips V6.0)

Analisis jenis dan tipe kelongsoran yang digunakan yaitu analisis stereografis menggunakan *software* Dips v6.0 analisis ini dilakukan untuk mengetahui potensi arah dan tipe longsoran pada area penelitian. Dalam menentukan arah dan tipe longsoran dalam *software* Dips v6.0, dibutuhkan parameter-parameter berupa data *dip* lereng, *dip direction* lereng yang didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan, dan sudut gesek dalam. Analisis arah dan tipe kelongsoran dilakukan untuk kedua elevasi -10 mdbpl dan 0 m.

4.4.1 Analisis Kinematika pada elevasi -10 mdbpl

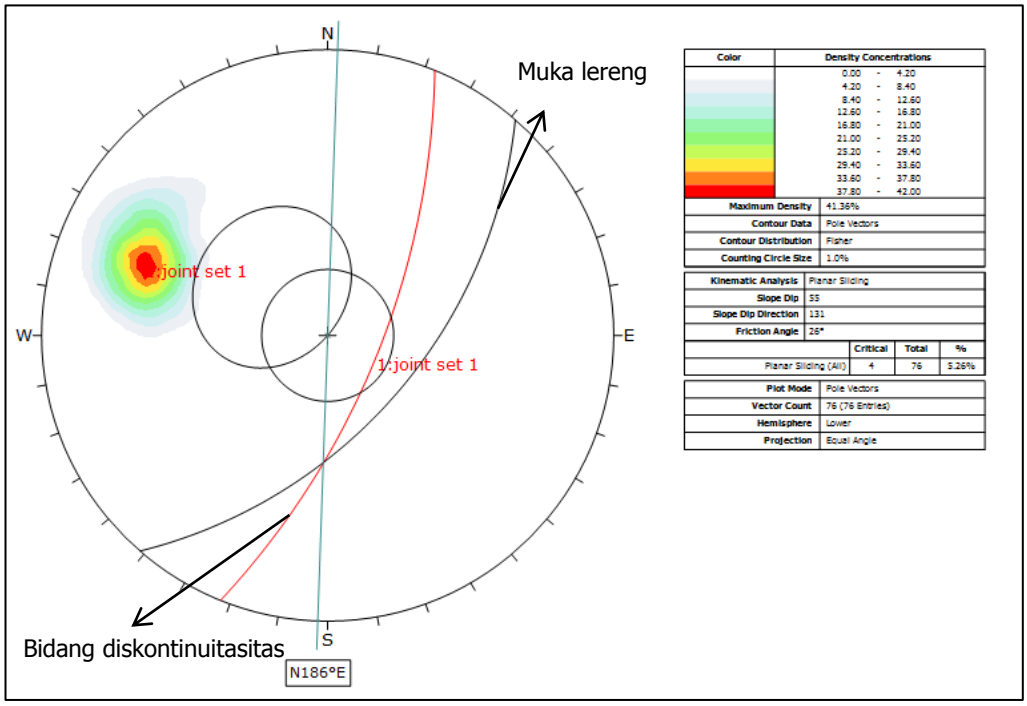
Berdasarkan data pengukuran langsung di lapangan dan analisis menggunakan *software* RockLab v1.0 dalam menentukan sudut gesek dalam, maka diperoleh pembobotan untuk setiap data, sebagai berikut:

Dip lereng (φ_f) = 61

Dip direction lereng = 124

Sudut gesek dalam (ø) = 25,26° ≈ 25

Kemiringan bidang gelincir (φ_p) = 40°



Gambar 4.8 Analisis Kinematika pada elevasi -10 mdbpl

Menurut Wyllie dan Mah (2004) syarat terjadinya tipe longsoran bidang yaitu kemiringan bidang gelincir lebih kecil dari pada kemiringan lereng ($\varphi_p<\varphi_f$) dan sudut kemiringan bidang gelincir lebih besar dari sudut gesek dalam ($\varphi_p<ø$). Berdasarkan hasil analisis pada elevasi -10 mdbpl *Sidewall* Utara diperoleh φ_p (40°) < φ_f (61°) dan φ_p (40°) > ø (25°), sehingga di kategorikan mempunyai potensi longsoran bidang dengan arah longsoran N186°E.

4.4.2 Analisis Kinematika pada elevasi -10 mdbpl

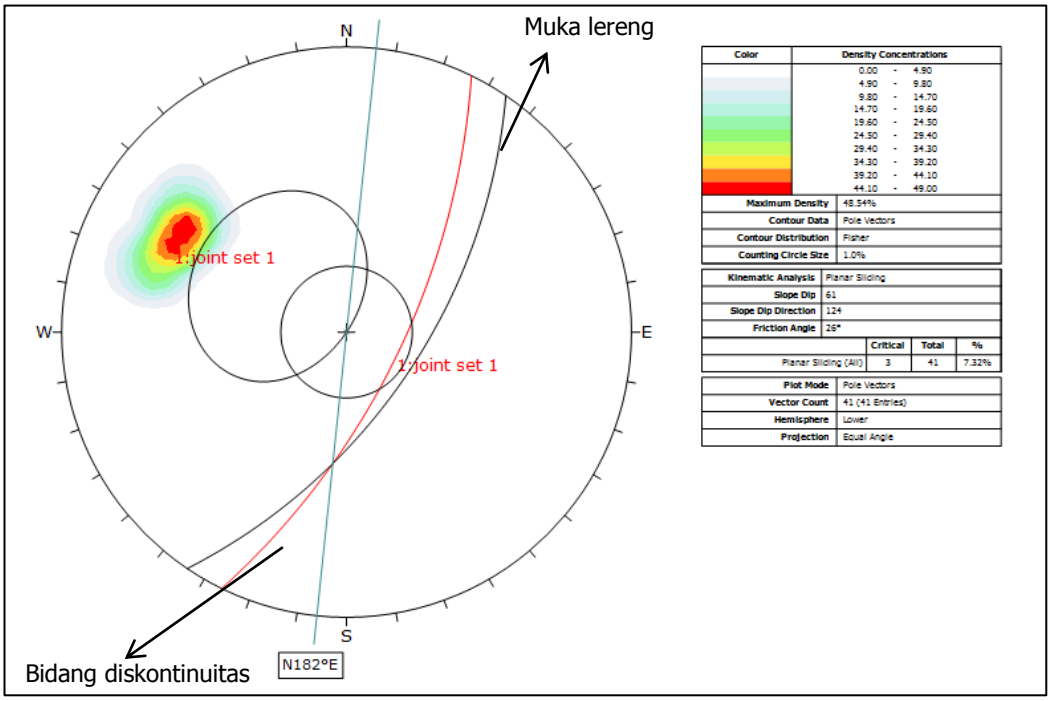
Berdasarkan data pengukuran langsung di lapangan dan analisis menggunakan *software* RockLab v1.0 dalam menentukan sudut gesek dalam, maka diperoleh pembobotan untuk setiap data, sebagai berikut:

Dip lereng (φ_f) = 55

Dip direction lereng = 131

Sudut gesek dalam (ø) = 24,82° ≈ 25

Kemiringan bidang gelincir (φ_p) = 42°



Gambar 4.9 Analisis Kinematika pada elevasi 0 m

Berdasarkan hasil analisis diperoleh φ_p (42°) < φ_f (55°) dan φ_p (42°) > ø (25°), sehingga di kategorikan mempunyai potensi longsoran bidang dengan arah longsoran N182°E.

4.5 *Slope Mass Rating* (SMR)

Analisis karakterisasi lereng batuan yang digunakan yaitu metode *Slope Mass Rating* (SMR). Analisis SMR memerlukan empat parameter dalam analisisnya, dan analisis SMR dilakukan pada kedua elevasi -10 mdbpl dan 0 m.

4.5.1 SMR pada elevasi -10 mdbpl

A. Nilai F1

Dalam mencari nilai F1 menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Romana (1993):

$$F_1 = (1 - sin(\alpha j - \alpha s))^2 \quad (4.1)$$

Ket:

αj = rata-rata *dip direction* diskontinuitas

αs = *dip direction* lereng

Menggunakan persamaan di atas maka nilai F1 untuk elevasi -10 mdbpl yaitu:

$F_1 = (1 - sin(118{,}7 - 124))^2$

$F_1 = (1 - sin(-5{,}3))^2$

$F_1 = 1{,}2°$

Maka pembobotan F1 yaitu 1.

B. Nilai F2

Dalam mencari nilai F2 menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Romana (1993):

$F_2 = |\beta j|$ .....(4.2)

Ket:

βj = rata-rata *dip* diskontinuitas

Menggunakan persamaan di atas maka nilai F1 untuk elevasi -10 mdbpl yaitu:

$F_2 = |68{,}8|$.

$F_2 = 68{,}8°$

Maka pembobotan F2 yaitu 1.

C. Nilai F3

dalam mencari nilai F3 menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Romana (1993):

$F_3 = \beta j - \beta s$ .....(4.3)

Ket:

βj = rata-rata *dip* diskontinuitas

βs = *dip* lereng

Menggunakan persamaan di atas maka nilai F1 untuk elevasi -10 mdbpl yaitu:

$F_3 = 68{,}8 - 61$

$F_3 = 7{,}8°$

Maka pembobotan F2 yaitu 0.

D. Nilai F4

Pada area penelitian, menurut data perusahaan untuk metode ekskavasi menggunakan metode *smooth blasting*, dengan pembobotan 8.

Dari hasil setiap pembobotan parameter di atas, maka selanjutnya dimasukkan ke dalam rumus untuk mendapatkan nilai total SMR yang akan digunakan untuk mengklasifikasi karakterisasi lereng batuan di daerah penelitian. Menggunakan Persamaan 2.3 maka hasil perhitungan SMR elevasi -10 mdbpl sebagai berikut:

$SMR = 51 + (1 \times 1 \times (-6)) + 8$

$SMR = 51 + (-6) + 8$

$SMR = 53$

Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai SMR elevasi -10 mdbpl yaitu 58 maka pada elevasi -10 mdbpl masuk kedalam kelas III dengan kondisi lereng *partially stable*.

Tabel 4.9 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl

Case	*The Calculated value*	*Very Favourable*	*Favourable*	*Fair*	*Unfavourable*	*Very unfavourable*
P T	| αj – αs | | αj - αs - 180^0 |	> 30^0	30^0 - 20^0	20^0 - 10^0	10^0 - 5^0	<5^0
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P/T	| βj |	< 20^0	20^0 - 30^0	30^0 - 35^0	35^0 - 45^0	>45^0
P T	F2 = βj	0,15 1	0,4 1	0,7 1	0,85 1	1 1
P	βj – βs	> 10^0	10^0 - 0^0	0^0	0^0 - (-10^0)	< -10^0
T	βj + βs	< 110^0	110^0 - 120^0	> 120^0	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

Tabel 4.10 Metode ekskavasi lereng (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl

Method	*Natural slope*	*Pre-splitting*	*Smooth*	*Mechanical Excavation*	*Poor Blasting*

		Blasting	*Blasting*		
F4	15	10	8	0	-8

Tabel 4.11 Karakterisasi lereng berdasarkan SMR (Romana, 1985) elevasi -10 mdbpl

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

4.5.2 SMR pada elevasi 0 m

A. Nilai F1

Menggunakan Persamaan 4.1, maka nilai F1 elevasi 0 m, yaitu:

$F_1 = (1 - sin(113{,}1 - 131))^2$

$F_1 = (1 - sin(-17{,}9))^2$

$F_1 = 1{,}7°$

maka pembobotan F1 yaitu 1.

B. Nilai F1

Menggunakan Persamaan 4.2, maka nilai F1 elevasi 0 m, yaitu:

$F_2 = |67{,}7|$.

$F_2 = 67{,}7°$

Maka pembobotan F2 yaitu 1.

C. Nilai F1

Menggunakan Persamaan 4.3, maka nilai F1 elevasi 0 m, yaitu:

$F_3 = 67{,}7 - 55$

$F_3 = 12{,}7°$

Maka pembobotan F3 yaitu 0 .

D. Nilai F4

Pada area penelitian, menurut data perusahaan untuk metode ekskavasi menggunakan metode *smooth blasting*, dengan pembobotan 8.

Dari hasil setiap pembobotan parameter di atas, maka selanjutnya dimasukkan ke dalam rumus untuk mendapatkan nilai total SMR yang akan digunakan untuk mengklasifikasi karakterisasi lereng batuan di daerah penelitian. Menggunakan Persamaan 2.3 maka hasil perhitungan SMR elevasi 0 m sebagai berikut:

$$SMR = 50 + (1 \times 1 \times 0) + 8$$

$$SMR = 50 + 0 + 8$$

$$SMR = 58$$

Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai SMR elevasi 0 m yaitu 58 maka pada elevasi 0 m masuk kedalam kelas III dengan kondisi lereng *partially stable*.

Tabel 4.12 Nilai pembobotan massa batuan SMR (Romana, 1985) elevasi 0 m

Case	*The Calculated value*	*Very Favourable*	*Favourable*	*Fair*	*Unfavourable*	*Very unfavourable*
P	| αj – αs |					
T	| αj - αs - 180^0 |	> 30^0	30^0 - 20^0	20^0 - 10^0	10^0 - 5^0	<5^0
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	| βj |	< 20^0	20^0 - 30^0	30^0 - 35^0	35^0 - 45^0	>45^0
P	F2 = βj	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T		1	1	1	1	1
P	βj – βs	> 10^0	10^0 - 0^0	0^0	0^0 - (-10^0)	< -10^0
T	βj + βs	< 110^0	110^0 - 120^0	> 120^0	-	-
T/P	F3	0	-6	-25	-50	-60

Tabel 4.13 Metode ekskavasi Lereng (Romana, 1985) elevasi 0 m

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

Tabel 4.14 Karakterisasi lereng berdasarkan SMR (Romana, 1985) elevasi 0 m

Klasifikasi	V	IV	III	II	I
Bobot Massa Lereng (SMR)	0-20	20-40	40-60	60-80	>80
Deskripsi	Sangat buruk	Buruk	Baik	Bagus	Sangat bagus
Kestabilan Lereng	Sangat tidak stabil	Tidak stabil	Sebagian stabil	Stabil	Sangat stabil
Kemungkinan Bentuk Longsoran	Bidang atau seperti keruntuhan material lepas	Bidang atau baji besar	Dikontrol oleh adanya kekar atau baji kecil	Berupa blok	-
Probability of failure	0,9	0,6	0,4	0,2	0

4.6 Kestabilan Lereng *Sidewall* Utara Pit Merandai (*Limit Equilibrium*)

Berdasarkan data yang diperoleh dari perusahaan berupa data *material properties* (lampiran C) dan irisan lereng *Sidewall* Utara, selanjutnya melakukan analisis *Limit Equilibrium* menggunakan *software* Slide v6.0 dalam pengolahan datanya menggunakan metode irisan Janbu *simplified method*.

4.6.1 Data material isian lereng *Sidewall* Utara

Data material isian lereng *Sidewall* Utara didapatkan melalui data perusahaan. Secara umum material pengisi pada lereng *Sidewall* Utara PT Cipta Kridatama elevasi -10 mdbpl dan 0 m yang menjadi lokasi penelitian dibedakan berdasarkan lapisan batuan, diketahui material lereng hanya disusun oleh lapisan batuan B1, lapisan batuan B2, lapisan batuan C, dan lapisan batuan C1, yang dapat dilihat pada Tabel 4.15.

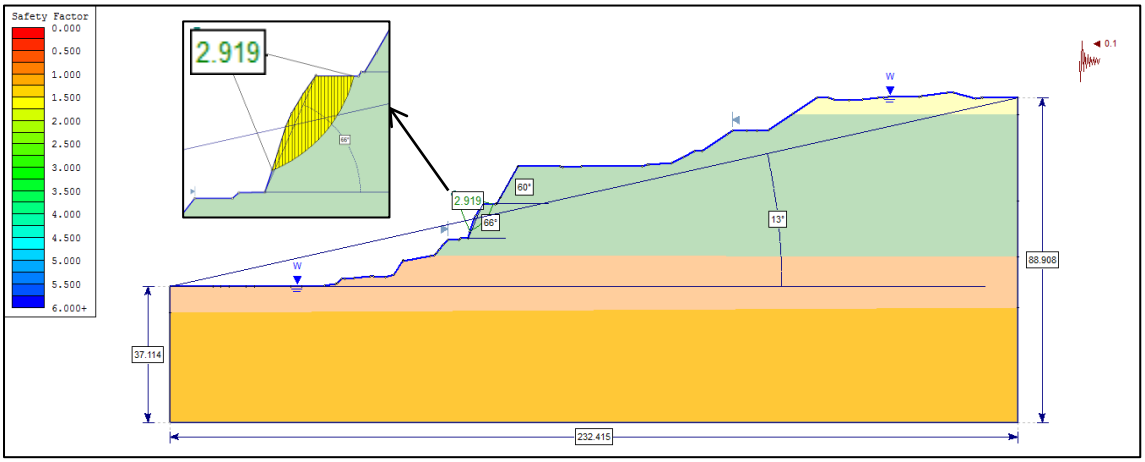
Tabel 4.15 Material isian lereng *Sidewall* Utara

Ket.	γ(kN/m^3)	C(kPa)	ø(°)
lapisan batuan B1	20,51	200	20,67
lapisan batuan B2	18,34	200	17,48
lapisan batuan C	18,34	200	14,97
lapisan batuan C1	19,22	200	18,5

Berdasarkan hasil sayatan didapatkan geometri lereng lereng *Sidewall* Utara memiliki lebar lereng 232,415 meter, tinggi 88,908 meter, kemiringan *overall slope* 13°, kemiringan lereng elevasi -10 mdbpl yaitu 66° dan kemiringan lereng elevasi 0 m yaitu 60°, faktor gempa 0,1 g, dan dengan lokasi penelitian yang memiliki intensitas hujan yang tinggi maka kondisi air tanah lereng *Sidewall* Utara dikategorikan *fully saturated*.

4.6.2 Kestabilan lereng pada elevasi -10 mdbpl

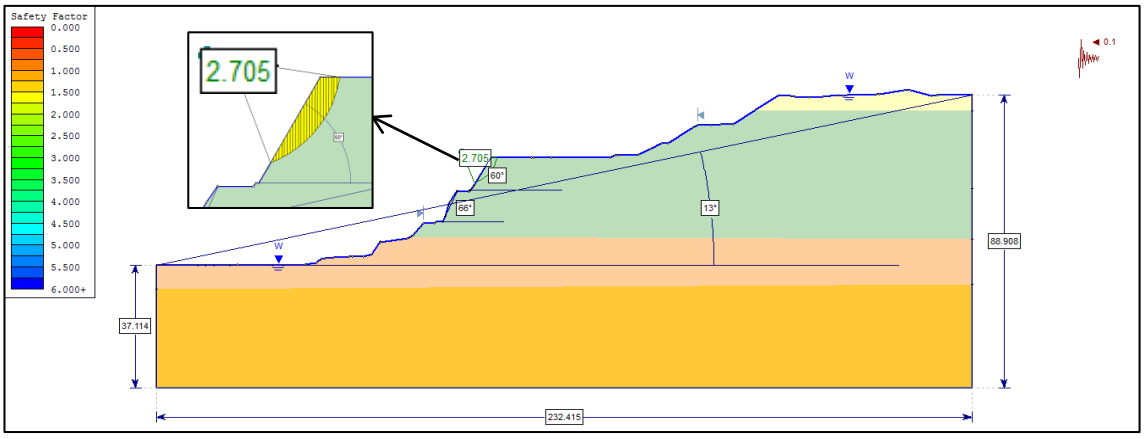
Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* Slide didapatkan hasil untuk elevasi -10 mdbpl menunjukkan nilai FK sebesar 2,919 yang memenuhi standar FK yang digunakan perusahaan yaitu 1,3. Jadi, dapat disimpulkan bahwa lereng pada elevasi -10 mdbpl aman (lihat Gambar 4.9).



Gambar 4.10 Kestabilan lereng pada elevasi -10 mdbpl

4.6.3 Kestabilan lereng pada elevasi 0 m

Berdasarkan hasil analisis menggunakan software slide didapatkan hasil untuk elevasi 0 m menunjukkan nilai FK sebesar 2,705 yang memenuhi standar FK yang digunakan perusahaan yaitu 1,3. Jadi dapat disimpulkan bahwa lereng pada elevasi 0 m aman (lihat gambar 4.11)



Gambar 4.11 Kestabilan lereng pada elevasi 0 m

Berdasarkan hasil analisis dikatakan kedua elevasi digolongkan aman namun sewaktu-waktu dapat berubah dikarenakan faktor dan aktivitas penambangan secara terus menerus maka perlu dilakukan kegiatan *monitoring* lereng secara berkala untuk memantau pergerakan lereng untuk mengantisipasi bahaya yang dapat ditimbulkan bagi perusahaan dan pekerja.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis lapangan terhadap lereng *Sidewall* Utara maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Analisis Kinematika pada elevasi -10 mdbpl dan 0 m lereng *Sidewall* Utara didapatkan hasil sebagai berikut:
   A. Pada elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara didapatkan hasil prediksi arah longsoran adalah N186°E, dan didapatkan φ_p (40°) < φ_f (61°), φ_p (40°) > ø (25°), sehingga dapat dikategorikan mempunyai potensi longsoran bidang.
   B. Pada elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara didapatkan hasil prediksi arah longsoran adalah N182°E, dan didapatkan φ_p (42°) < φ_f (55°), φ_p (42°) > ø (25°), sehingga dapat dikategorikan mempunyai potensi longsoran bidang.
2. Karakterisasi lereng batuan pada elevasi -10 mdbpl dan 0 m lereng *Sidewall* Utara menggunakan metode *Slope Mass Rating* (SMR) didapatkan sebagai berikut:
   A. Pada elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara, diperoleh nilai karakterisasi lereng batuan SMR yaitu 53. Dari nilai SMR ini didapatkan bahwa elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara termasuk *partially stable*.
   B. Pada elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara, diperoleh nilai karakterisasi lereng batuan SMR yaitu 58. Dari nilai SMR ini didapatkan bahwa elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara termasuk *partially stable*.

3. Berdasarkan hasil analisis tingkat faktor keamanan lereng menggunakan metode *Limit Equilibrium* didapatkan hasil sebagai berikut:
   A. Pada elevasi -10 mdbpl lereng *Sidewall* Utara memiliki nilai faktor keamanan 2,919 yang dikategorikan aman berdasarkan nilai FK yang digunakan dalam penelitian yaitu 1,3.
   B. Pada elevasi 0 m lereng *Sidewall* Utara memiliki nilai faktor keamanan 2,705 yang dikategorikan aman berdasarkan nilai FK yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1,3.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan di atas maka penulis menyarankan:

1. Melakukan pembaruan data terkait *material properties* penyusun lereng Pit Merandai terutama lereng *Sidewall* Utara yang rawan longsor;
2. Membuat paritan pada bawah lereng (*toe ditch*) untuk menghindari material batuan penyusun lereng terus terkena air yang dapat memengaruhi membuat massa batuannya menjadi jenuh;
3. Dalam hal penggalian atau pembongkaran material harus lebih memperhatikan tiap arah muka lereng;
4. Melakukan monitoring terhadap pergerakan lereng.

DAFTAR PUSTAKA

Aksoy, H., & Ercanoglu, M. 2007. *Fuzzified kinematic analysis of discontinuity-controlled rock slope instabilities.* Engineering Geology, Vol. 4 , hal. 206–219.

Alejano, L.R., Gómez-Márquez, I., Martínez-Alegría, R. 2010. *Analysis Of A Complex Toppling-Circular Slope Failure*. Eng. Geol. 114. Vol. 1, hal. 93–104.

Arief, S. 2007. *Dasar-Dasar Analisis Kestabilan Lereng*. PT INCO: Sorowako.

Bates, R.L., and Jackson, J.A. 1980. *Glossary of Geology, second edition, American Geological Institute*. Falls Church. Virginia. Hal. 749.

Beemer, H. D., & Worrells, D. S. 2017. *Conducting Rock Mass Rating for Tunnel Construction on Mars*. Acta Astronautica, 139. Hal. 176–180.

Bieniawski, ZT. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Jhon Wiley and Sons, Inc: Canada.

Brideau, M.A., Stead, D., Roots, C., Orwin, J. 2007. *Geomorphology and Engineering Geology of a Landslide in Ultramafic Rocks*, Dawson City, Yukon. Eng. Geol. 89 Vol. 3, hal. 171–194.

Cruden, D.M. 1991. *A Simple Definition of Landslide.* Bulletin Int. Assoc. for. Engineering Geology.

Deere D. U. 1964. *Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes*. Rock Mechanics and Engineering Geology. Vol 1, hal. 16-22.

Deere D.U., dan Deere D.W. 1967. *Rock Quality Designation* (RQD) *Index*. Department of the Army, U.S. Corps of Engineers, Washington DC.

Fookes, P.G., Dennes B. 1969. *Observational Studies On Fissure Patterns In Crestaceous Sediments Of South East England*. Geotechnique.

Gabrielson. 1990. *Discontinuities and Their Origins*. Springer Science and Bussiness Media.

Goodman, R.E. 1989. *Introduction To Rock Mechanics 2nd Edition*. John Wiley And Sons, Canada.

Handayani, T., Wulandari, S., Wulan, A. 2014. Prosiding Seminar Nasional Komputer dan Sistem Intelegen. *Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Geoslope/W* 7.12/ Vol. 8, hal. 4-8.

Highway Research Board. 1978. *Landslides and Engineering Practice*. Washington D.C.: Commitee on Landslide Investigation.

Hoek, E., *and Brown*, E. T. 1980. *Empirical Strength Criterion for Rock Masses*. Journal of the Geotechnical Engineering Division: Proceedings.

Hoek, E., and Bray, J.W. 1981. *Rock Slope Engineering 3rd Ed*. The Institution Of Mining and Metallurgy, London.

Hoek, E., Kaiser, P.K., *and* Bawden, W.F. 1995. *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. AA Balkema, Rotterdam.

Palmström, A. 2001. *Measurement and Characterization of Rock Mass Jointing. In-Situ Characterization of Rocks*. Balkema Publishers, Norway.

Priest S. D., Hudson J. 1976. *Discontinuity Spacing in Rock*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Vol 5, hal. 135-48.

Priest, S. D. 1993, *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. Chapman & Hall. ISBN 0 412 47600 2.

Price, N. J. 1966, *Fault and Joint Development in Brittle and Semi Brittle Rock*. Pergamon Press, New York.

Rai, M.A. 1995. *Klasifikasi Massa Batuan*. Diktat Kuliah Laboratorium Geomekanika Jurusan Teknik Pertambangan, ITB, Bandung, 1995.

Romana, M. 1985. *New Adjustment Ratimgs for Application of Bieniawski Classification to Slopes into John A. Hudson. 1993*. Comprehesive Rock Engineering A Geochemical Classification of Slopes: Slope Mass Rating M. R. Romana.

Seegmiller, B. L. 1972. *Rock Stability Analysis at Twin Buttes*. In Cording, E. J., ed., Stability of Rock Slopes: 13th Symposium-on Rock Mechanics, Proceedings, American Society of Civil Engineers. Hal. 511-517.

Sen, Z., and Eissa E.A. 1991. *Volumetric Rock Quality Designation*. J. Geotech. Eng., Vol 117, No 9, hal.1331 – 1346.

Singh, B. and Goel, R.K. 2011. *Rock Mass Rating. Engineering Rock Mass Classification*. Elsevier Inc. Publication, Amsterdam, hal. 45-364.

Sitohang, E.R. 2008. *Analisis Kemantapan Lereng P3 West Tambang Grasberg PT Freeport Indonesia Menggunakan Metode Klasifikasi Massa Batuan.* Tugas Akhir Program Studi Pertambangan dan Perminyakan. Institut Teknologi Bandung: Bandung.

Smith, J. V. 2015. *A New Approach to Kinematic Analysis of Stress-Induced Structural Slope Instability.* Engineering Geology 187, hal 56–59.

Senruni, V. S. R. 2016. *Analisis Perhitungan Tingkat Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating dan Slope Mass Rating pada Area West Wanagon Slope Stability di PT Freeport Indonesia*. Papua: Universitas Censrawasih.

Tapia, A., Contreras,L.F., Jefferies, M.G., and Steffen, O. 2007. *Risk Evaluation Oof Slope Failure at Chuquicamata Mine*. Proc. Int. Symp. Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, 2007. Perth. Australian Centre for Geomechanics.

Terzaghi, K. 1950. *Mechanicsof Landslides, in Aplication of Geology to Engineering Practice,* Berkey Volume, Geological Society of America.

Tomás, R., Delgado, J., & Serón, J. B. 2007. *Modification of Slope Mass Rating (SMR) by Continuous Functions.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol 7, hal 1062–1069.

Tomás, R., Cuenca, A., Cano, M., & García-Barba, J. 2012. *A Graphical Approach for Slope Mass Rating (SMR).* Engineering Geology 124, hal. 67–76.

Varnes, D.J. 1978. *Slope Movement Types and Process, Special Report 176; Landslides; Analysis and Control*. Eds: R.L. Schuster dan R.J. Krizek, Transport Research Board, National Research Council,Washigton, DC.

Wyllie, D. C., dan Mah, C. W. 2004. *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition*. Spon Press Taylor and Francis Group: London.

Zhang, Q., Huang, X., Zhu, H., & Li, J. 2019. *Quantitative Assessments Of The Correlations Between Rock Mass Rating (RMR) and Geological Strength Index (GSI).* Tunnelling and Underground Space Technology 83, hal 73–81.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

DATA PENGUKURAN ORIENTASI KEKAR

1. Elevasi 0 m

No	*Dip*	*Dip Direction*	*Strike*
1	68	122	32
2	71	105	15
3	66	136	46
4	73	141	51
5	71	126	36
6	63	114	24
7	72	126	36
8	71	113	23
9	45	91	1
10	71	129	39
11	69	131	41
12	66	143	53
13	64	123	33
14	63	111	21
15	72	113	23
16	73	116	26
17	52	101	11
18	61	98	8
19	60	119	29
20	69	105	15
21	59	109	19
22	67	96	6
23	65	112	22
24	70	110	20
25	73	128	38
26	61	114	24
27	52	126	36
28	75	118	28
29	64	103	13
30	60	102	12
31	68	100	10
32	64	114	24
33	63	108	18
34	68	113	23
35	66	104	14
36	67	112	22
37	63	98	8
38	82	110	20
39	73	107	17

No.	*Dip*	*Dip direction*	*Strike*
40	67	117	27
41	77	119	29
42	84	118	28
43	71	126	36
44	80	112	22
45	74	116	26
46	65	109	19
47	63	113	23
48	58	107	17
49	73	103	13
50	69	96	6
51	68	104	14
52	73	105	15
53	72	108	18
54	73	120	30
55	74	108	18
56	67	118	28
57	66	114	24
58	68	112	22
59	71	106	16
60	76	107	17
61	77	126	36
62	67	114	24
63	75	115	25
64	49	104	14
65	60	116	26
66	74	108	18
67	53	123	33
68	67	118	28
69	63	99	9
70	60	98	8
71	80	123	33
72	61	113	23
73	73	109	19
74	75	120	30
75	71	108	18
76	73	121	31

2. Elevasi –10 mdbpl

No	*Dip*	*Dip Direction*	*Strike*
1	59	116	26
2	68	118	28
3	73	106	16
4	67	108	18

No.	*Dip*	*Dip Direction*	*Strike*
5	66	121	31
6	68	117	27
7	72	110	20
8	69	112	22
9	63	119	29
10	63	126	36
11	70	113	23
12	60	132	42
13	74	124	34
14	68	120	30
15	76	136	46
16	70	117	27
17	65	119	29
18	67	110	20
19	68	121	31
20	71	121	31
21	73	130	40
22	65	125	35
23	68	124	34
24	59	127	37
25	74	124	34
26	63	127	37
27	72	128	38
28	71	128	38
29	66	131	41
30	79	117	27
31	70	131	41
32	71	109	19
33	75	106	16
34	78	108	18
35	66	118	28
36	66	109	19
37	68	123	33
38	74	107	17
39	66	99	9
40	70	108	18
41	69	121	31

LAMPIRAN B

DATA PENGAMATAN KONDISI KEKAR

1. Spasi dan bukaan kekar

a. Elevasi 0 m

Spasi *Joint* (cm)	Bukaan *Joint* (cm)	
9,4	0,2	0,2
22	0,1	0,2
6,3	0,1	0,1
16,9	0,1	0,1
10,2	0	0
20,6	0	0
8,5	0	0,1
3,1	0,2	0,1
40,2	0,1	0,1
10,3	0,1	0,3
16,1	0,2	0,1
27,2	0,3	0,1
14,2	0,2	0,4
6,9	0,1	0
21,3	0,3	0
16	0,4	0
13	0	0,1
7	0	0,4
8,7	0,1	0
15,1	0,2	0,1
4,9	0,2	0
12,6	0,3	0,1
8,2	0,4	0,1
41,1	0	0,3
12,2	0	0
8,2	0	0
10	0,1	0,4
8,2	0,2	0,1
8	0,1	0,1
11,2	0,3	0,1
9,1	0,1	0,2
8,4	0,2	0
7,5	0,2	0

Spasi *Joint* (cm)	Bukaan *Joint* (cm)	
9,5	0,1	0
10,4	0	0,4
15,7	0	0
20,2	0,3	0
13,4	0,4	0,1
7,4		0,14872
13,312821		

b. Elevasi -10 mdbpl

Spasi *Joint* (cm)	Bukaan *Joint* (cm)	
11	0,1	0,1
14,3	0,1	0,2
13,2	0	0,2
13,2	0	0,1
10,3	0	0
11,6	0,1	0
20,5	0,1	0,4
11,4	0,1	0,4
24,5	0,4	0,3
28,6	0,3	0,1
36,7	0	0
27,6	0	0
14,6	0,1	0
33,3	0,3	0,4
14,9	0,1	0
11,7	0,1	0
20,3	0,1	0,2
9,4	0,2	0
10,8	0	0,1
13,5	0	0,4
17,57		0,125

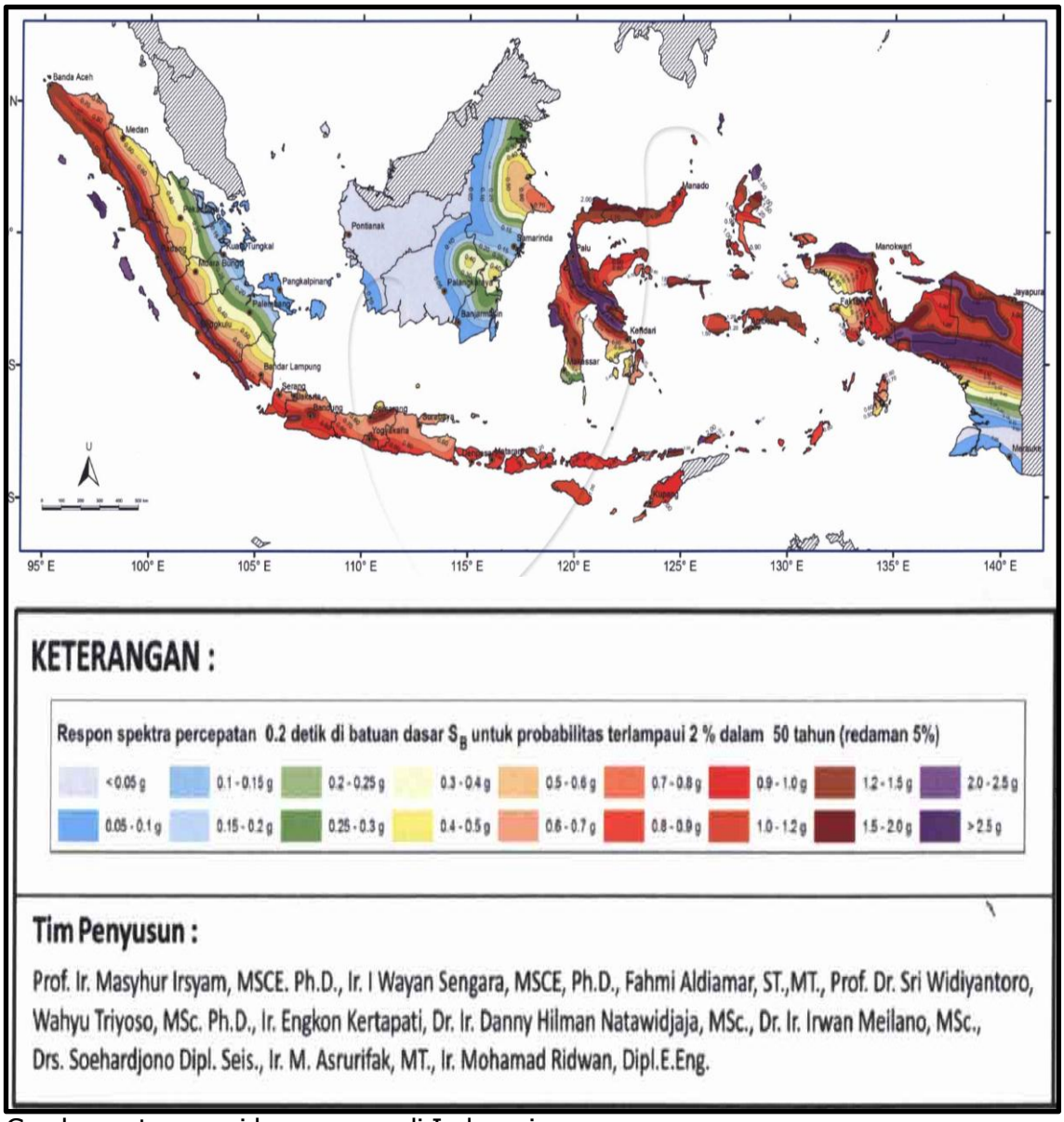
LAMPIRAN C
TABEL INPUT MATERIAL PROPERTI LERENG

Tabel material properties lereng *Sidewall* Utara

Lithology	Unit weight , kN/m^3	Young.s Modulus, kPa	Poisson.s Ratio	UCS, kPa	Tensile Strength, kPa	Friction Peak, Degree	Friction Residu, Degree	Cohesion Peak, kPa	Cohesion Residu, kPa
Mat-1 Soil	17.00	100,000	0.260	200.0	100.0	20.00	10.00	100.00	50.00
Mat 2	19.79	27,848	0.260	1192.0	596.0	18.38	9.19	275.00	137.50
Seam 1	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 3	18.10	90,764	0.270	3217.0	1608.5	33.99	17.00	150.00	75.00
Seam 2	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 4	19.06	54,776	0.270	1010.0	505.0	29.84	14.92	261.00	130.50
Seam 3	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 5	17.95	226,413	0.310	4168.6	2084.3	45.65	22.83	343.00	171.50
Seam 4	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 6	18.24	414,077	0.320	7260.5	3630.2	35.12	17.56	400.00	200.00
Seam 5	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 7	20.51	262,600	0.290	4395.3	2197.7	41.34	20.67	400.00	200.00
Seam 6	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 8	18.34	760,861	0.310	5257.3	2628.7	34.95	17.48	400.00	200.00
Seam 7	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 9	18.43	1,301,367	0.320	9700.3	4850.2	29.93	14.97	400.00	200.00
Seam 8	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat-10	19.22	1,948,156	0.300	18637.9	9319.0	36.99	18.50	400.00	200.00
Seam-9	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat-11	19.58	36,954	0.290	1440.0	3389.5	15.66	7.83	138.35	69.18
Seam -10	13.00	500,000	0.300	1000.0	500.0	25.00	12.50	300.00	150.00
Mat 12	20.89	1,534,465	0.300	10176.3	3389.5	44.74	22.37	138.35	69.18

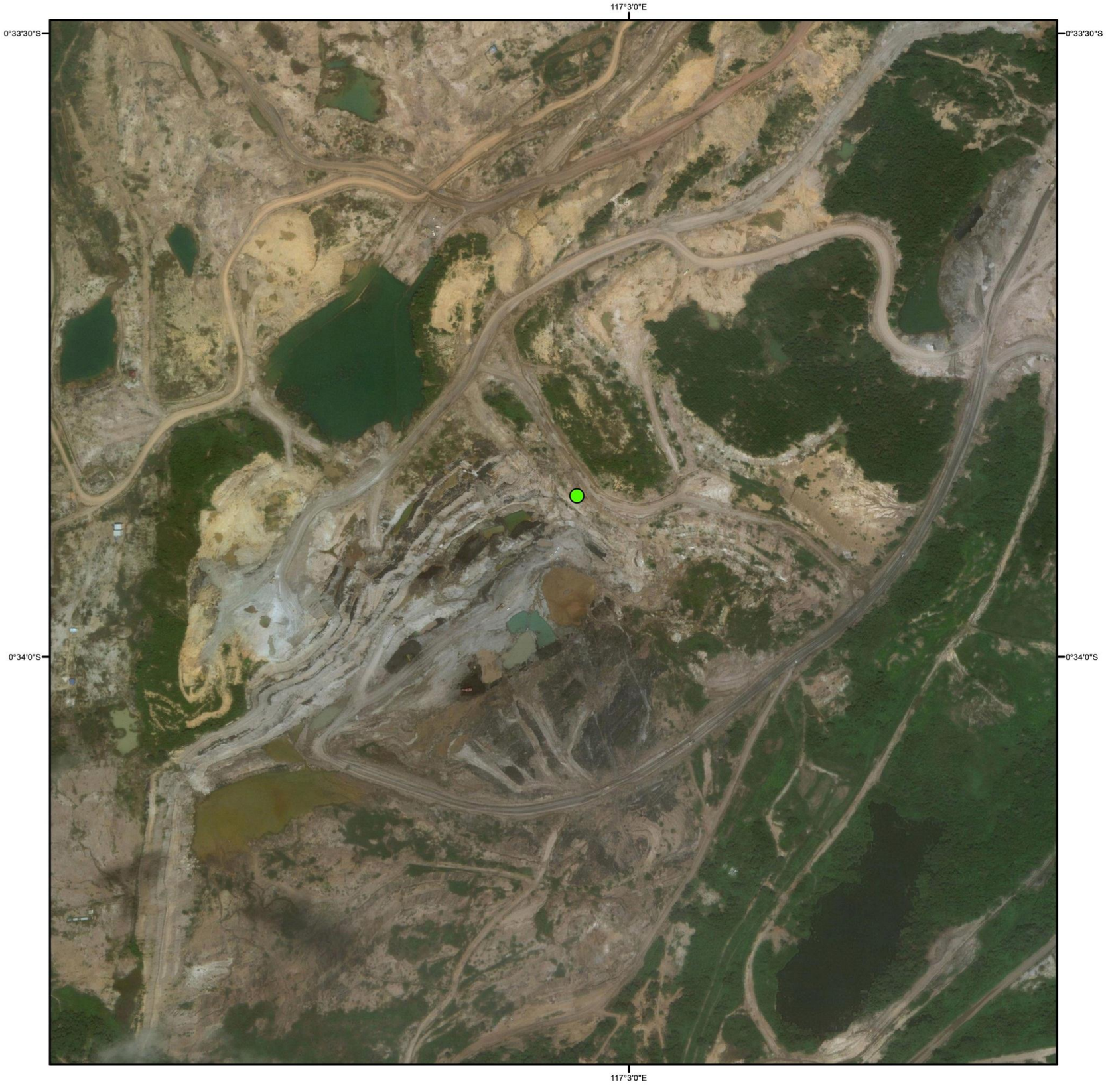
LAMPIRAN D

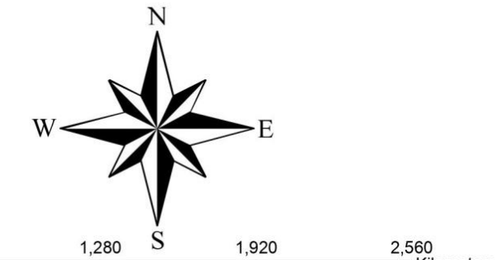
PETA ZONASI GEMPA DI INDONESIA



Gambar peta zonasi kegempaan di Indonesia

PETA LOKASI PENELITIAN



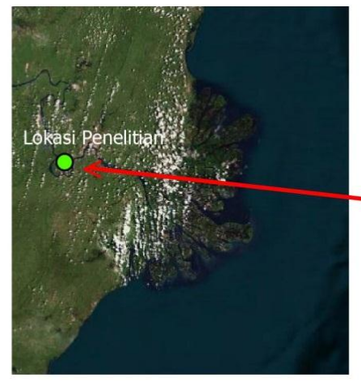


SKALA
1:6.000

Legenda:

- Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan: Pit Merandai PT BBE



DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020

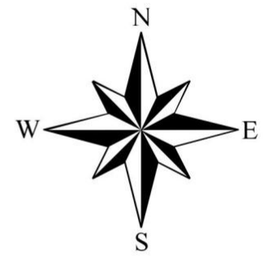
SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK LERENG BATUAN DAN KEMANTAPAN LERENG MENGGUNAKAN METODE SLOPE MASS RATING DAN LIMIT EQUILIBRIUM PADA LERENG SIDEWALL UTARA

DIGAMBAR OLEH	FAUZAN UMARAH ABDILLAH D62116505
PEMBIMBING	Ir. H. DJAMALUDDIN, S.T. Dr. Eng, Ir. PURWANTO, S.T., M.T., IPM

LAMPIRAN E

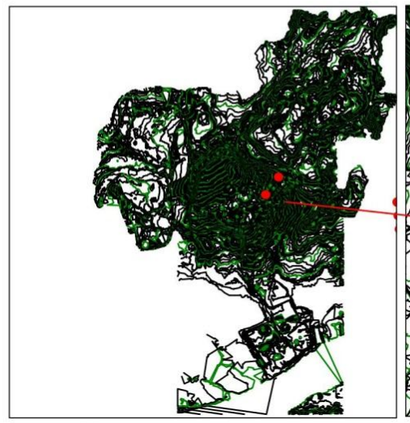
PETA SAYATAN LERENG

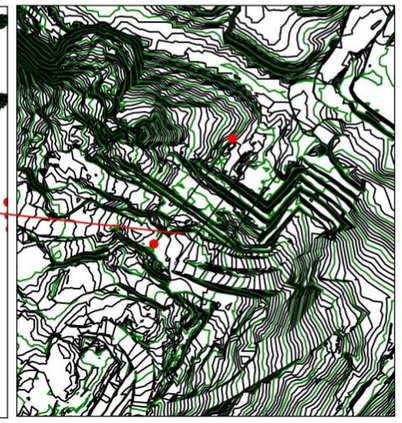


Kilometers
0 25 50 100 150 200

Legenda:
- Sayatan Lereng
- Garis Kontur
- Garis Interval Kontur

Lokasi penambangan: Pit Merandai PT BBE





DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020

SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK LERENG BATUAN DAN KEMANTAPAN LERENG MENGGUNAKAN METODE SLOPE MASS RATING DAN LIMIT EQUILIBRIUM PADA LERENG SIDEWALL UTARA

DIGAMBAR OLEH	FAUZAN UMARAH ABDILLAH D62116505
PEMBIMBING	Ir. H. DJAMALUDDIN, M.T Dr. Eng, Ir. PURWANTO, S.T., M.T., IPM

LAMPIRAN F

LAMPIRAN G
DOKUMENTASI

Kondisi bukaan kekar

Safety talk PT CK-BBE

Kondisi air tanah elevasi -10 mdbpl

Kondisi air tanah elevasi 0 m

Lokasi penelitian lereng *Sidewall* Utara elevasi -10 mdbpl dan 0 m

Pit Merandai PT CK-BBE

Pengamatan langsung di lapangan

Lampiran B 10

Kartu Konsultasi Tugas Akhir

JUDUL: Analisis karakterisasi lereng batuan dan kestabilan lereng menggunakan metode slope Mass Rating dan Limit Equilibrium dilereng sidewall utara.

(Konsultasi minimal 8 kali)

TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF DOSEN
9/Nov/20	· Geological Strenght Index (GSI) · Mohr Coulomb	
15/Nov/20	· Faktor keamanan.	
23/Nov/20	· Kondisi lapangan tempat penelitian. · Mohr coulomb	
27/Nov/20	· Slope Mass Rating	
1/Des/20	· Data lpangan	
4/Des/20	· Format laporan.	
7/des/20	· Format penulisan. · Analisis kinematik. · Limit Equilibrium	
14/des/20	· Format penulisan · Slope Mass rating · peta	
16/des/20.	· Format penulisan.	
18/des/20	ACC.	