

**PENENTUAN ZONASI LERENG *PIT* PADA
TAMBANG EMAS MENGGUNAKAN KLASIFIKASI
ROCK MASS RATING DAN *SLOPE MASS RATING* DI
PIT NORTH OSELA SITE BAKAN PT. J RESOURCES
KECAMATAN PINOLOSIAN KABUPATEN
BOLAANG MONGONDOW SELATAN PROVINSI
SULAWESI UTARA**

SKRIPSI



OLEH :

RIJONA SIHOTANG
DBD 113 186

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN/PRODI TEKNIK PERTAMBANGAN
PALANGKA RAYA
2020**

**PENENTUAN ZONASI LERENG *PIT* PADA
TAMBANG EMAS MENGGUNAKAN KLASIFIKASI
ROCK MASS RATING DAN *SLOPE MASS RATING* DI
PIT NORTH OSELA SITE BAKAN PT. J RESOURCES
KECAMATAN PINOLOSIAN KABUPATEN
BOLAANG MONGONDOW SELATAN PROVINSI
SULAWESI UTARA**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Strata 1
Pada Jurusan Teknik Pertambangan**



OLEH :

**RIJONA SIHOTANG
DBD 113 186**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN/PRODI TEKNIK PERTAMBANGAN
PALANGKA RAYA
2020**

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : RIJONA SIHOTANG
NIM : DBD 113 186
JURUSAN : TEKNIK PERTAMBANGAN

Menyatakan bahwa penyusunan Skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, terkecuali kutipan-kutipan yang telah saya jelaskan sumbernya di daftar pustaka. Apabila terdapat pelanggaran dalam Penulisan dan Penyusunan Skripsi ini, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai aturan dan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat, sadar tanpa ada tekanan dan paksaan dari siapapun.

Palangka Raya, Oktober 2020

Penulis,

RIJONA SIHOTANG
DBD 114 157

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENENTUAN ZONASI LERENG PIT PADA TAMBANG EMAS
MENGUNAKAN KLASIFIKASI ROCK MASS RATING DAN SLOPE
MASS RATING DI PIT NORTH OSELA SITE BAKAN PT. J
RESOURCES KECAMATAN PINOLOSIAN KABUPATEN BOLAANG
MONGONDOW SELATAN PROVINSI SULAWESI UTARA**

Oleh

RIJONA SIHOTANG
DBD 113 186

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada
Hari/Tanggal : Jumat, 25 September 2020
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Tim Dosen Penguji,

- | | | |
|---|------------|-------|
| 1. <u>FAHRUL INDRAJAYA, S.T., M.T</u>
NIP. 19791215 200812 1 001 | Ketua | |
| 2. <u>NENY SUKMAWATIE, S.Hut., M.P.</u>
NIP. 19760614 200801 2 020 | Sekretaris | |
| 3. <u>Ir. YULIAN TARUNA, M.Si</u>
NIP. 19580705 198903 1 019 | Anggota | |
| 4. <u>NOVALISAE, S.T., M.T</u>
NIP. 19881110 201903 2 015 | Anggota | |
| 5. <u>FERDINANDUS, S.T., M.T</u>
NIP. 19891116 201903 1 009 | Anggota | |

Mengetahui,
Dekan
Fakultas Teknik

Menyetujui,
Ketua Jurusan
Teknik Pertambangan

Ir. Waluyo Nuswantoro, MT
NIP. 19651119 199302 1 001

Fahrul Indrajaya, ST.,MT
NIP. 19791215 200812 1 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

SEBAGAI PENYEMANGAT DAN PENEDUH DIKALA SENDU, PENGHIBUR HATI DIKALA JATUH

LAYAKNYA SECANGKIR KOPI YANG MENGAWALI HARI

Kupersembahkan untuk :

- **Tuhan Yesus Kristus yang selalu menyertaiku dan satu-satunya sandaran hidup.**
- **Bapak, mama, kakak-kakak, dan abang-abangku yang selalu menjadi penyematku, kalian adalah harta yang paling berharga yang pernah kumiliki.**
- **Pembimbing Skripsi Bapak Fahrul Indrajaaya, S.T., M.T dan Ibu Neny Sukmawatie, S.Hut., M.P. serta Bapak/Ibu Dosen dan Staf Jurusan Teknik Pertambangan yang sudah banyak membantu.**
- **Teman-teman yang ada di kampus UPR khususnya teman-teman seperjuangan TP 13 yang menjadi teman bertukar pikiran dan bercerita selama study.**
- **De lusi sebagai penyemangat, teman berbagi cerita, serta pengingat dalam masa study.**

ADA MASANYA KITA BERADA DI LEVEL TERENDAH, JADIKAN ITU MOTIVASI SEBAGAI

LONCATAN KE LEVEL YANG TERTINGGI

TERIMAKASIH

JESUS BLESS US

SARI

Sistem tambang terbuka memiliki sistem prosedur keamanan tersendiri yang difungsikan untuk menjaga keselamatan para pekerjanya serta membuat pekerjaan yang dilakukan menjadi efisien dan efektif. Pada daerah dengan morfologi yang curam dengan banyak bidang-bidang diskontinuitas, longsor batuan adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi. Sebelum terjadi longsor batuan, maka perlu dilakukan upaya mitigasi untuk mencegah atau mengurangi risiko longsor batuan. Salah satu upaya mitigasi awal yang dapat dilakukan adalah klasifikasi massa batuan berdasarkan nilai Rock Mass Rating dan Slope Mass Rating serta membandingkan keduanya untuk tiap potensi longsor dan tipe alterasi di PT. J Resources. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan metode windows mapping, diperoleh nilai Rock Mass Rating dengan 26% kelas II, 37% kelas III, 3% kelas IV, dan 34% Kelas V. Untuk nilai Slope Mass Rating diperoleh 24% kelas II, 26% kelas III, 12% kelas IV, dan 38% kelas V. Indikasi terjadinya potensi longsor pada lereng terdapat 32 lereng dari 93 lereng. Keterdapatan potensi longsor berupa 1 longsor bidang (Planar failure), 28 longsor baji (Wedge failure), dan 3 longsor guling (Toppling failure). Klasifikasi Rock Mass Rating pada alterasi advance argilic berada pada kelas II dan III sedangkan pada klasifikasi Slope Mass Rating berada pada kelas II, III, IV, dan V. Klasifikasi Rock Mass Rating dan Slope Mass Rating alterasi argilik berada pada kelas II, III, dan IV. Material top soil berada pada kelas V untuk klasifikasi Rock Mass Rating dan Slope Mass Rating.

Kata Kunci : *Advance argilic, Argilic, Rock Mass Rating, Slope Mass Rating, Top soil, Windows Mapping.*

ABSTRACT

The open pit system has its own system of security procedures that function to maintain the safety of its workers and to make the work done efficiently and effectively. In areas with steep morphology with many areas of discontinuity, rock slide is one of the most frequent natural disaster. Before a rock slide occurs, mitigation efforts are needed to prevent or reduce the risk of rock slide. One of the initial mitigation efforts that can be done is the classification of rock mass based on the value of Rock Mass Rating and Slope mass rating and comparing the two for each potential rockslide and alteration type at PT. J Resources. Based on the research conducted with the windows mapping method, the value of Rock Mass Rating was obtained with 26% class II, 37% class III, 3% class IV, and 34% class V. Slope Mass Rating value obtained 24% class II, 26% class III, and 12% class IV, and 38% class V. Indications of the potential of rockslide on the slopes are 32 out of 93 slopes. The are potential Rockslide in the form of 1 plane rockslide (planar failure), 28 wedge rockslide (wedge failure), and 3 toppling rockslide (toppling failure). The classification of Rock Mass Rating on advance argilic alteration is in class II and III, while the Slope Mass Rating classification is in class II, III, IV, and V. Rock Mass Rating and Slope Mass Rating classification argilic alteration is in class II, III, IV. Top soil material is in class V for the classification of Rock Mass Rating and Slope Mass Rating.

Keywords : Advance argilic, Argilic, Rock Mass Rating, Slope Mass Rating, Top Soil, Windows Mapping.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Penelitian Skripsi di PT. J Resources Bolaang Mongondow Site Bakan dengan topik bahasan “Penentuan Zonasi Lereng *Pit* Pada Tambang Emas Menggunakan Klasifikasi *Rock Mass Rating* dan *Slope Mass Rating* di *Pit North Osela Site* Bakan PT. J Resources Kecamatan Pinolosian Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan Provinsi Sulawesi Utara”.

Dalam pelaksanaan Penelitian ini, penulis mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Fahrul Indrajaya, ST., M.T. Ketua Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya dan Dosen Pembimbing I Skripsi.
2. Ibu Neny Sukmawatie, S.Hut., MP. Dosen Pembimbing II Skripsi.
3. Bapak Ir. Yulian Taruna, M.Si. Dosen Penguji I Skripsi.
4. Ibu Novalisae, ST., M.T. Dosen Penguji II Skripsi.
5. Bapak Ferdinandus, ST., M.T. Dosen Penguji III Skripsi.
6. Yossa Yonathan Hutajulu, ST., M.T. Monev Skripsi Universitas Palangka Raya.

7. Bapak Rendi Teguh Martono, dan Ibu Yolanda Bagaya yang telah membantu dalam pengajuan proposal Skripsi di PT. J Resources Bolaang Mongondow.
8. Bapak Erik Wibisana Barnas selaku Supt. Engineer Mine Departmen PT. J Resources Bolaang Mongondow.
9. Bapak Raymond Yonathan Rumapar, dan Bang Muhammad Hadi Fadhillah sebagai pembimbing Lapangan.
10. Segenap pimpinan dan karyawan PT. J Resources Bolaang Mongondow yang namanya tidak bisa penulis cantumkan satu per satu.
11. Orang tua penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik secara moral maupun materi kepada penulis.
12. Rekan – rekan mahasiswa Jurusan Teknik Pertambangan dan pihak – pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran untuk kebaikan Laporan Penelitian Skripsi ini. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat untuk para pembaca.

Palangka Raya, Oktober 2020

Rijona sihotang
DBD 113 186

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
SARI.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.3.1 Maksud	3
1.3.2 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Pengertian Longsor.....	8
2.3 Kestabilan Lereng dan Faktor-Faktor yang mempengaruhi	8
2.3.1 Geometri Lereng.....	9
2.3.2 Struktur Geologi	10
2.4 Klasifikasi Massa Batuan	13
2.4.1 <i>Rock Mass Rating</i> (RMR).....	13
2.4.2 <i>Slope Mass Rating</i> (SMR)	20
2.5 Longsor.....	24
2.5.1 Jenis-jenis Longsoran	25
2.6 Analisis Kinematika (Stereografis)	29
2.6.1 Parameter Analisis Kinematika	29
2.6.1.1 Orientasi Struktur Geologi.....	29
2.6.1.2 Orientasi Lereng	30
2.6.1.3 Sudut Geser Dalam.....	31
2.6.1.4 Analisis Stereografis.....	31
2.7 Alterasi.....	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian.....	46
3.1.1 Sejarah Singkat Perusahaan.....	46

3.1.2	Lokasi dan Kesampaian Daerah	49
3.2	Kondisi Geologi.....	51
3.2.1	Kondisi Geologi Regional	51
3.2.1.1	Fisiografi	53
3.2.1.2	Statigrafi Regional.....	54
3.2.1.3	Struktur Geologi Regional.....	59
3.2.2	Kondisi Geologi Daerah Penelitian	60
3.2.2.1	Wilayah Penelitian.....	60
3.2.2.2	Geomorfologi Daerah Penelitian	61
3.2.2.3	<i>Lithologi</i> Daerah Penelitian	62
3.2.2.4	Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	64
3.2.2.5	Curah hujan Daerah Penelitian	65
3.3	Alat dan Bahan	65
3.4	Tata Laksana Penelitian	66
3.4.1	Metode Penelitian	66
3.4.2	Langkah Kerja	68
3.5	Diagram Alir Pelaksanaan Skripsi.....	73
3.6	Jadwal Penelitian	74
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	75
4.1	Hasil.....	75
4.1.1	Klasifikasi Massa Batuan	75
4.1.1.1	<i>Rock Mass Rating</i> (RMR).....	75
4.1.1.2	<i>Slope Mass Rating</i> (SMR)	92
4.1.2	Zonasi Klasifikasi Massa Batuan	103
4.2	Pembahasan	109
4.2.1	Klasifikasi Massa Batuan	109
4.2.1.1	<i>Rock Mass Rating</i> (RMR)	109
4.2.1.2	<i>Slope Mass Rating</i> (RMR)	113
4.2.2	Zonasi Klasifikasi Massa Batuan	116
BAB V	PENUTUP	120
5.1	Kesimpulan	120
5.2	Saran	122

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Geometri Lereng pada area tambang terbuka.....	10
Gambar 2.2	Tipe longsor diplot dalam <i>stereonet</i>	25
Gambar 2.3	Longsoran Bidang	26
Gambar 2.4	Kenampakan longsoran baji pada lereng.....	27
Gambar 2.5	Longsoran guling.....	28
Gambar 2.6	Kenampakan isometrik bidang <i>dip</i> dan <i>dip direction</i>	30
Gambar 2.7	Proyeksi <i>equal area</i> dari bidang dan garis	32
Gambar 2.8	<i>Polar equal area net</i>	33
Gambar 2.9	Contoh pengeplotan data diskontinuitas.....	33
Gambar 2.10	<i>Kalsbeek net</i>	34
Gambar 2.11	Contoh kontur kerapatan kutub diskontinuitas.....	35
Gambar 2.12	Proyeksi bidang menjadi garis lengkung pada <i>Schmidt Net</i>	36
Gambar 2.13	Proyeksi stereografis untuk analisis kestabilan lereng	37
Gambar 2.14	Korelasi antar pH, suhu, dan mineral yang terbentuk	42
Gambar 3.1	Korelasi satuan peta lembar kotamobagu.....	59
Gambar 3.2	Wilayah penambangan PT. JRBM melalui citra satelit.....	61
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian	73
Gambar 4.1	Penampakan BHID pada segmen S' - Q''' dengan Surpac 6.5.1.....	84
Gambar 4.2	Penampakan BHID pada segmen A- R' dengan Surpac 6.5.1	85
Gambar 4.3	<i>Rock Mass Cell Mapping Sheet</i>	90
Gambar 4.4	Tipe longsoran Baji pada RL 750 segmen AB dan B'C'	94
Gambar 4.5	Tipe longsoran Bidang pada RL 750 segmen R.....	94
Gambar 4.6	Tipe longsoran Toppling pada RL 750 segmen G'H	95
Gambar 4.7	Patok Penanda	103
Gambar 4.8	Lintasan Lereng Pada lokasi Penelitian dengan Surpac 6.5.1	104
Gambar 4.9	Persentase penyusun dinding lereng.....	107
Gambar 4.10	Kenampakan alterasi argilik di lapangan	108
Gambar 4.11	Kenampakan Alterasi argilik lanjut di lapangan	108
Gambar 4.12	Kenampakan material top soil	109

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Estimasi kekuatan <i>intact rock</i> secara praktis.....	14
Tabel 2.2	<i>Rock Quality Designation</i>	15
Tabel 2.3	Klasifikasi <i>Spacing</i> Diskontinuitas Batuan	16
Tabel 2.4	Klasifikasi Kondisi Diskontinuitas Batuan	17
Tabel 2.5	Panduan Klasifikasi Kondisi Diskontinuitas	18
Tabel 2.6	Kondisi Air Tanah	18
Tabel 2.7	Penilaian untuk Orientasi Diskontinuitas	19
Tabel 2.8	Kelas massa batuan, kohesi, dan sudut geser dalam dari nilai RMR	20
Tabel 2.9	Parameter pemberian nilai F1, F2, dan F3 untuk SMR.....	22
Tabel 2.10	Pemberian nilai pada parameter F4 untuk <i>Slope Mass Rating</i>	23
Tabel 2.11	Penilaian klasifikasi <i>Slope Mass Rating</i>	23
Tabel 2.12	Langkah pertolongan kelas klasifikasi <i>Slope Mass Rating</i>	23
Tabel 2.13	Tingkat Intensitas Alterasi pada Batuan.....	39
Tabel 2.14	Klasifikasi jenis alterasi.....	45
Tabel 3.1	Laporan Sumberdaya JORC dari Pit Durian & Pit Osela.....	48
Tabel 3.2	Total Cadangan dan Sumberdaya PT. J Resources Nusantara	49
Tabel 3.4	Jadwal Kegiatan Penelitian.....	74
Tabel 4.1	<i>Intact Rock Strength</i>	77
Tabel 4.2	Spasi Bidang Diskontinuitas.....	80
Tabel 4.3	Hasil <i>Coring</i> OSD629	83
Tabel 4.4	<i>Rock Quality Designation</i> (RQD)	84
Tabel 4.5	<i>Rating Joint Condition</i> (kondisi diskontinuitas).....	85
Tabel 4.6	<i>Rating Groundwater</i> (Kondisi Airtanah).....	87
Tabel 4.7	Kelas Massa Batuan Klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> (RMR)	91
Tabel 4.8	Nilai uji lab material penyusun lereng <i>North Osela</i>	93
Tabel 4.9	Potensi tipe longsor	96
Tabel 4.10	Kelas Massa Batuan Klasifikasi <i>Slope Mass Rating</i> (SMR).....	100
Tabel 4.11	Koordinat Patok Penanda Segmen	104

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Peta Kesampaian Daerah
- Lampiran B Peta Geologi Regional
- Lampiran C Peta Zonasi *Rock Mass Rating* (RMR)
- Lampiran D Peta Zonasi *Slope Mass Rating* (SMR)
- Lampiran E *Rock Quality Designation* (RQD)
- Lampiran F Tabel Pembobotan Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR)
- Lampiran G Data Struktur
- Lampiran H Hasil Analisa Kinematika (Stereografis)
- Lampiran I Tabel Pembobotan Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR)
- Lampiran J *Rock Mass Cell Mapping Sheet*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. J Resources Nusantara (JRN) adalah perusahaan tambang emas yang berdiri di tahun 2012. Perusahaan ini mengelola tambang emas di Provinsi Sulawesi Utara dengan kapasitas produksi sebesar 100.000 oz per tahun yang dihasilkan dari blok Lanut dan blok Bakan. JRBM memegang izin Kontrak Karya dengan luas lahan 58.150 ha dari pemerintah pusat dan telah mengidentifikasi deposit cadangan mineral sebanyak 491.756 oz di lahan seluas 400 ha di blok Lanut Utara dan sebesar 837.843 oz di lahan seluas 700 Ha di Blok Bakan. Pada Desember 2013, Blok Bakan telah melakukan pencetakan emas pertamanya yang menandakan dimulainya komisioning atas fasilitas produksi di blok ini. Blok Bakan merupakan lokasi tambang emas dengan sistem tambang terbuka (*open pit mining*) dengan 3 *Pit* yang beroperasi yaitu *North Osela*, *Main Ridge* dan *Durian*.

Sistem tambang terbuka memiliki sistem prosedur keamanan tersendiri yang difungsikan untuk menjaga keselamatan para pekerjanya serta membuat pekerjaan yang dilakukan menjadi efisien dan efektif. Masalah stabilitas lereng menjadi hal yang penting karena berhubungan dengan kegiatan penambangan. Jika terdapat longsor pada lereng yang berdekatan dengan jalan angkut utama akan menyebabkan berbagai

macam gangguan pada proses penambangan dan hal itu tentu akan membahayakan jiwa dan merusak peralatan yang ada.

Pada daerah dengan morfologi yang curam dengan banyak bidang-bidang diskontinuitas, longsoran batuan adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi. Hal ini terjadi karena adanya bidang diskontinuitas tersebut merupakan bidang lemah pada massa batuan yang membentuk lereng. Bidang lemah tersebut umumnya berupa struktur geologi yaitu rekahan atau kekar dan patahan. Berdasarkan struktur geologi yang dominan terdapat pada batuan pembentuk lereng maka dapat ditentukan jenis longsoran batuan berpotensi terjadi pada lereng tersebut. Sifat fisik dan mekanik dari batuan pada lereng sangat menentukan mudah tidaknya longsoran batuan itu terjadi. Selain itu, arah orientasi kekar atau diskontinuitas terhadap muka lereng juga dapat memperbesar atau mengurangi kecenderungan longsoran massa batuan.

Sebelum terjadi longsoran batuan, maka perlu dilakukan upaya mitigasi untuk mencegah atau mengurangi risiko longsoran batuan. Salah satu upaya mitigasi awal yang dapat dilakukan adalah klasifikasi massa batuan berdasarkan nilai *Rock Mass Rating* dan *Slope Mass Rating*. Metode ini adalah penilaian potensi longsoran batuan yang menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif didasari oleh arah orientasi kekar sehingga menghasilkan penilaian kestabilan lereng yang lebih baik. Metode *Rock Mass Rating* dan *Slope Mass Rating* sudah lama digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi kondisi kestabilan lereng

batuan secara cepat. Klasifikasi massa batuan dibuat dengan tujuan untuk memformulasikan pendekatan empiris untuk perancangan bukaan tambang secara umum.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi :

1. Bagaimana klasifikasi massa batuan pada lereng berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* dilokasi penelitian?
2. Bagaimana penentuan zonasi lereng dilokasi penelitian berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR)?

1.3 Maksud dan Tujuan

1.3.1 Maksud

Adapun maksud dari kegiatan Penelitian ini adalah :

1. Secara Akademis, kegiatan Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi kurikulum pada Universitas Palangka Raya, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Pertambangan sebagai syarat menyelesaikan Studi S-1 Teknik Pertambangan.
2. Secara Aktual, Penelitian ini dilakukan untuk mengaplikasikan ilmu yang diperoleh di perkuliahan sehingga diharapkan dapat menambah ilmu dan pengalaman tentang kegiatan-kegiatan pertambangan dan aspek-aspek yang berkaitan dengan kegiatan penambangan yang ada di dunia kerja secara aktual.

1.3.2 Tujuan

Adapun tujuan dari kegiatan Penelitian ini adalah :

1. Mengetahui klasifikasi massa batuan pada lereng berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) dilokasi penelitian.
2. Menentukan zonasi lereng dilokasi penelitian berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR).

1.4 Manfaat Penelitian

A. Bagi Mahasiswa

- Dapat menambah wawasan yang lebih luas mengenai ilmu pengetahuan yang telah dipelajari di perkuliahan dengan kondisi sebenarnya di lapangan.
- Dapat mendorong pengembangan ilmu pengetahuan yang akan memperluas pengembangan bagi inovasi baru.

B. Bagi Perusahaan

- Memberikan informasi bagi perusahaan tentang kondisi batuan dilokasi penelitian berdasarkan klasifikasi *Rok Mass Rating* (RMR).
- Memberikan informasi bagi perusahaan tentang klasifikasi lereng dilokasi penelitian berdasarkan klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR).

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini dilaksanakan pada *Pit North Osela* PT. J Resources Bolaang Mongondow RL 750, 765, dan 775 dengan total segmen 93.
2. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *Window Mapping* dengan lebar 10m per segmen.
3. Penentuan parameter klasifikasi massa batuan dilakukan dengan pengamatan secara megaskopis.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Rumbiak, V.S.S. (2016). Penelitian ini memaparkan bahwa dalam kegiatan penelitiannya yaitu Analisis Perhitungan Tingkat Kestabilan Lereng Menggunakan Metode *Rock Mass Rating* dan *Slope Mass Rating* pada Area West Wanagon Slope Stability di PT Freeport Indonesia. Penelitian dilakukan pada lereng buatan dengan ketinggian (level) yang berbeda, yaitu 4165; 4150; 4090 dan 4135. Hasil pengamatan diskontinuitas di lapangan berfungsi untuk menghitung nilai RMR batuan. Tiap level dibagi ke dalam beberapa *window mapping*. Litologi daerah penelitian berupa batuan sedimen limestone sampai *karstic limestone* dengan morfologi pegunungan. Didapat nilai RMR batuan pada level 4165 yaitu 61 kelas II (baik) ; level 4150 yaitu 61 kelas II (baik) ; level 4135 yaitu 57 kelas III (sedang) ; level 4090 yaitu 53 kelas III (sedang). Sedangkan berdasarkan pembobotan massa jenjang (SMR) Romana kestabilan jenjang lereng stabil, kemungkinan bentuk longsoran berupa blok.

Santoso, E. (2016). Penelitian ini memaparkan bahwa dalam kegiatan penelitiannya yaitu Identifikasi Potensi Longsoran Batuan Menggunakan Pendekatan Metode *Slope Mass Rating* (SMR) pada Lereng Bekas Tambang Batubara, Tanah Bumbu Kalimantan Selatan. Observasi

dan pengukuran di lapangan dilakukan pada tiga lokasi berbeda, dimana dasar pemilihan lokasi tersebut telah mempertimbangkan dari segi keamanan, kepraktisan pengambilan data serta keterwakilan kondisi lereng pada daerah penelitian. Secara garis besar lereng penelitian berada pada strata batuan sedimen dengan litologinya berupa batupasir. Lokasi HDS-1 dan HDS-2 berada pada lokasi *high wall* pada lereng bekas galian tambang, sedangkan lokasi HDS-3 mewakili lokasi pada *low wall*. Karakteristik lokasi penelitian meliputi orientasi lereng, geometri lereng sampai dengan orientasi umum kekar (*joint*). Pengukuran di lapangan dilakukan guna mendapatkan parameter utama RMR serta SMR. Penentuan parameter kuat tekan (UCS) batuan utuh menggunakan pendekatan Schmidt Hammer test, 19-21 Mpa. Hasil perhitungan spasi kekar berdasarkan metode *scanline* didapatkan rata-rata spasi kekar sebesar 14 cm. Hasil pengolahan data didapatkan distribusi jarak antar kekar lokasi penelitian memiliki fungsi eksponensial sehingga menurut Priest & Hudson (1976) didapatkan estimasi nilai RQD sebesar 84%. Hasil penelitian di lapangan menunjukkan bahwa kekasaran bidang kekar batupasir adalah dalam kondisi *undulating slickensided* dan *undulating smooth*. Sehingga penyebab terjadinya kelongsoran berasal dari pelapukan bidang kekar (Saptono, 2012). Tinjauan lapangan menunjukkan kondisi lereng dalam keadaan kering, namun mengingat Kalimantan memiliki curah hujan yang tinggi (iklim tropis), maka direkomendasikan kondisi lereng dalam keadaan basah sebagai antisipasi kondisi terburuk serta

kejadian longsor banyak dijumpai saat musim hujan. Hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan pendekatan metode empiris SMR pada lereng bekas tambang, teridentifikasi jika lokasi pada high wall (HDS-1 dan HDS-2) berada pada kondisi *partially stable* (sebagian tidak mantap) dengan mekanisme kelongsoran dikontrol oleh adanya kekar. Pada lokasi penelitian HDS-3 yang mewakili daerah low wall, hasil penelitian mengidentifikasi kondisi lereng tidak stabil dengan model longsor tipe bidang maupun baji.

2.2 Pengertian Longsor

Longsor adalah pergerakan massa batuan atau tanah menuruni lereng karena terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut (Skempton & Hutchinson, 1969). Pada konsep kestabilan lereng, longsor secara alami terjadi untuk bisa mencapai keadaan yang setimbang. Longsor tidak akan terjadi apabila pada suatu lereng memiliki gaya penahan longsor lebih besar daripada gaya penggeraknya (Hoek & Bray, 1981).

2.3 Kestabilan Lereng dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi

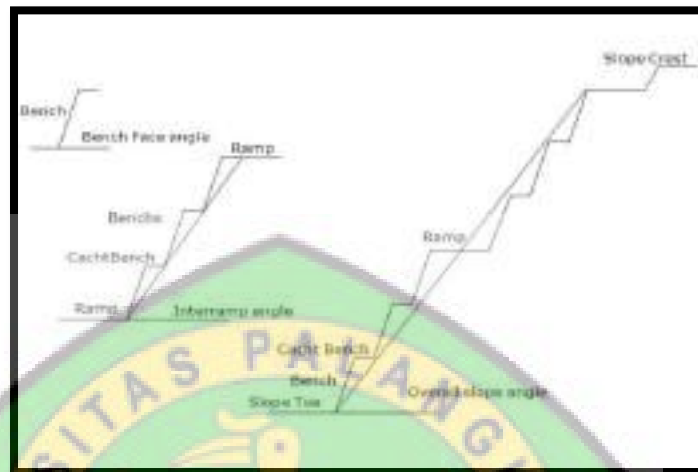
Hoek dan Bray (1981) mengatakan bahwa stabilitas lereng dikontrol melalui kondisi geologi lokal meliputi struktur geologi, jenis litologi dan geomorfologi, bentuk lereng keseluruhan di daerah itu (geometri), kondisi air tanah sekitar dan teknik ekskavasi untuk membentuk lereng tersebut. Faktor-faktor tersebut bisa bervariasi lagi tergantung situasi pertambangan yang berbeda-beda pada tiap lokasi. Sehingga tidak bisa untuk

memberlakukan aturan umum dengan ketinggian atau sudut curam suatu lereng pada angka berapa untuk memastikan keadaan suatu lereng bisa stabil. Karnawati (2005) juga menjelaskan bahwa gerakan massa tanah/batuan pada lereng dapat terjadi karena adanya pengaruh dari beberapa kondisi meliputi kondisi geomorfologi (kemiringan lereng), geologi, batuan/tanah penyusun lereng, hidrologi lereng, iklim dan faktor-faktor pengontrol lainnya. Kondisi-kondisi ini saling berpengaruh sehingga menyebabkan terwujudnya suatu kondisi lereng yang memiliki kecenderungan untuk bergerak. Adapun suatu lereng dapat dikatakan rentan yaitu memiliki potensi atau kecenderungan untuk bergerak, namun belum mengalami gerakan. Lereng yang telah dikategorikan sebagai lereng yang rentan bergerak adalah suatu lereng dengan massa batuan/tanah yang material penyusunnya siap untuk bergerak, namun belum dapat dipastikan waktu terjadinya gerakan. Dalam penelitian yang diambil penulis tentang analisa tingkat kestabilan lereng maka pembahasan terkait elemen kestabilan lereng akan bertitik berat pada geometri lereng, kekuatan massa batuan dan struktur geologi pada dinding lereng tambang yang diamati karena tiga hal tersebut berkaitan dengan parameter-parameter pada metode yang digunakan diantaranya *Rock Mass Rating (RMR)* dan *Slope Mass Rating (SMR)*.

2.3.1 Geometri Lereng

Geometri lereng dimaksudkan sebagai nilai yang menyatakan ukuran tinggi, lebar, besar kemiringan dan *azimuth* dari lereng tersebut (Gambar

2.1). Apabila kondisi lereng berada semakin tinggi dan nilai sudut kemiringannya semakin tajam atau besar maka akan semakin rentan terjadi longsor.



Gambar 2.1 Geometri lereng pada area tambang terbuka
(Sumber : Hoek & Bray, 1981)

2.3.2 Struktur Geologi

Struktur geologi merupakan produk di permukaan bumi yang dihasilkan melalui proses deformasi batuan yang timbul akibat adanya gaya endogen yaitu gaya tektonik (Thompson dan Turk, 1997). Struktur geologi yang biasa dikenal dan dijumpai di permukaan bumi adalah kekar, sesar, lipatan, *shear zone*, bidang perlapisan dan foliasi. Struktur geologi yang terbentuk akan menyebabkan perubahan bentuk pada batuan yang disekitarnya sehingga menyebabkan kekuatannya menjadi berkurang. Hal ini berakibat pada terbentuknya bidang lemah yang memicu terjadinya longsor. Berikut ini penjelasan dari masing-masing struktur geologi yang telah disebutkan sebelumnya.

1. Kekar

Kekar adalah bagian permukaan atau bidang yang memisahkan batuan, dan sepanjang bidang tersebut belum terjadi pergeseran (Billings, 1954). Kekar terbagi menjadi beberapa macam berdasarkan proses pembentukannya. Kekar gerus (*shear joint*) dan kekar tarik (*tension joint*) terbentuk akibat pengaruh gaya tektonik. Kekar lembaran (*sheet joint*) disebabkan akibat hilangnya *overburden* pada suatu batuan di dalam tubuh bumi. Kekar kolom (*columnar joint*) disebabkan oleh proses pendinginan saat pembentukan batuan beku.

2. Sesar

Sesar adalah kekar yang dinding sebelah menyebelahnya sudah saling bergeser satu sama lain disebabkan oleh gaya kompresi (Billings, 1954). Berdasarkan atas arah gerakan relatif bagian-bagian yang bergerak, sesar dapat diklasifikasikan menjadi sesar normal atau sesar turun, sesar naik, dan sesar geser mendatar.

3. Lipatan

Lipatan terbentuk akibat adanya gaya kompresi sehingga dari bentukan lapisan batuan yang datar akan terjadi terlekuk-lekuk. Lipatan akan berasosiasi dengan perlapisan batuan yang akan menjadi jalur lewat air sehingga akan menyebabkan terbentuknya bidang lemah yang memicu terjadinya longsor.

4. *Shear zone*

Shear zone adalah zona yang mengalami penghancuran ataupun terbreksiasi dikarenakan *shear strain*. Zona *shear zone* banyak dijumpai pada zona sesar diakibatkan gesekan batuan yang mengalami pergerakan (sesar).

5. Bidang perlapisan

Bidang perlapisan dijumpai pada batuan sedimen disebabkan adanya jeda pengendapan antara pembentukan suatu batuan ke batuan selanjutnya. Jeda pengendapan diimplementasikan berupa batas litologi antara lapisan di bawah dengan di atasnya sehingga bisa menjadi bidang lemah yang memicu terjadinya longsor.

6. Foliasi

Foliasi ditemukan pada batuan metamorf disebabkan saat proses pembentukan batuan metamorf tersebut. Pembentukan batuan metamorf identik dengan pengaruh tekanan dan suhu yang tinggi sehingga terjadinya perubahan batuan asal (*protolith*) menjadi salah satu macam batuan metamorf. Pada saat pembentukan tersebut maka akan terbentuk tekstur foliasi atau penjajaran mineral-mineral yang menyusun batuan metamorf. Seperti halnya dengan perlapisan pada batuan sedimen, foliasi juga menyebabkan terbentuk bidang lemah yang memicu terjadinya longsor.

2.4 Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan ditentukan oleh sifat keteknikan yang dimiliki oleh tiap-tiap batuan. Sifat keteknikan batuan terdiri atas tiga macam yaitu sifat indeks, mekanik, dan hidrolika. Sifat indeks adalah sifat khas yang dimiliki suatu batuan yang berasal dari proses pembentukan batuan tersebut. Sifat mekanik adalah sifat yang menunjukkan tingkat kekuatan dan deformabilitas yang dimiliki oleh batuan. Sifat hidrolika adalah sifat batuan yang berhubungan dengan proses penyaluran atau penghantaran fluida seperti transmisivitas dan permeabilitas. Dalam penentuan klasifikasi massa batuan, *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) merupakan klasifikasi yang digunakan pada penelitian ini. Klasifikasi massa batuan dibuat berdasarkan sifat keteknikan dari masing-masing batuan. Tujuan dibuat klasifikasi adalah untuk aplikasi batuan dalam kepentingan keteknikan sehingga dapat diketahui penggunaan suatu batuan untuk kepentingan tertentu. Dalam hal ini, untuk mengetahui kestabilan lereng tambang yang tersusun atas batuan-batuan yang bisa berbeda-beda jenisnya sehingga akan berbeda kekuatannya.

2.4.1 *Rock Mass Rating* (RMR)

Klasifikasi RMR dikembangkan oleh Bieniawski (1989). Dalam pengaplikasiannya, massa batuan akan dibagi menjadi beberapa segmen yang memiliki ciri seragam berdasar litologi dan orientasi strukturnya. Penggunaan klasifikasi ini dilakukan dengan melakukan penilaian dari

beberapa parameter. Parameter-parameter tersebut selanjutnya diberi bobot (*rating*).

1. *Intact Rock Strength (IRS)*

Dalam pengambilan data yang dilakukan penulis digunakan klasifikasi lain dalam penentuan nilai *Intact Rock Strength* yaitu menggunakan alat palu geologi (Tabel 2.1). Dalam penentuan kelas *Intact Rock Strength* tersebut ditentukan dengan ketahanan batuan dipukul dengan palu geologi. Selanjutnya dari nilai yang terdapat di klasifikasi tersebut dikorelasikan dengan parameter *rating intact rock* pada model Bieniawski (1989).

Tabel 2.1 Estimasi kekuatan *intact rock* secara praktis

Strength	Code	Term	Field Estimate Strength	Rating
>250 Mpa	R6	Extremely Strong	Specimen can Only be chipped with a geological hammer.	15
100-250 Mpa	R5	Very Strong	Specimen requires many blows of geological hammer to fracture it.	12
50-100 Mpa	R4	Strong	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	7
25-50 Mpa	R3	Medium Strong	Cannot be scrapped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	4
5-25 Mpa	R2	Weak	Shallow indentation made	2

			by firm blow with point of a geological hammer.	
1-5 Mpa	R1	Very Weak	Crumbles under firm blow with point of geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	1
0.25-1 Mpa	R0	Extremely Weak	Indented by tumbnail.	0

Sumber : Hoek-Brown (1981)

2. *Rock Quality Designation (RQD)*

RQD didefinisikan sebagai perbandingan jumlah potongan inti (*core*) utuh yang mempunyai panjang lebih dari 100 mm per jumlah/total *drill core*. RQD harus ditentukan dari *core* batuan atau jumlah *volumetric joint*. Semakin besar persentase RQD maka semakin baik kualitas *intact rock*. Berikut pada (Tabel 2.2) adalah tabel persentasi RQD beserta *rating*.

Tabel 2.2 *Rock Quality Designation*

RQD (%)	Rating	Description
90-100	20	Excellent
75-90	17	Good
50-75	13	Fair
25-50	8	Poor
<25	5	Very Poor

Sumber : Bieniawski (1989)

3. Spasi bidang diskontinuitas (*joint*)

Spasi bidang diskontinuitas merupakan jarak antara dua diskontinuitas, bisa meliputi kekar (*joint*) yang berurutan sepanjang

garis pengukuran yang dibuat sembarang. Menurut ISRM, jarak linear antara dua bidang diskontinuitas tersebut harus jarak tegak lurus antara bidang kekar yang berdekatan dalam satu set kekar. Pada perhitungan nilai RMR, parameter jarak atau spasi antar kekar diberi bobot berdasarkan nilai spasi kekarnya (Tabel 2.3). Dalam penentuan spasi, dihitung jarak tiap kekar tanpa memperhatikan arah dari kekar tersebut dikarenakan spasi yang baik atau jauh-jauh akan berkorelasi dengan nilai RQD yang baik dan begitu juga sebaliknya.

Tabel 2.3 Klasifikasi Spacing Diskontinuitas Batuan

Spacing (m)	Rating	Description
>2	20	Very Wide
0.6-2	15	Wide
0.2-0.6	10	Moderate
0.06-0.2	8	Close
<0.06	5	Very Close

Sumber : Bienawski (1989)

4. Kondisi bidang diskontinuitas

Kondisi bidang diskontinuitas yang dijadikan parameter antara lain tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas (*roughness*), pemisahan (*separation/aperture*), panjang kemenerusan (*persistence*), tingkat pelapukan (*weathering*), serta material pengisi (*infilling/gauge*) (Singh, 2011). Pada parameter ini, terdapat tambahan penjelasan yang difungsikan untuk menyesuaikan suatu kondisi yang eksklusif di lapangan. Kondisi yang dimaksud misalnya apabila pada suatu diskontinuitas terdapat kehadiran mineral pengisi,

maka tingkat kekasaran batuan tidak dapat diketahui atau menjadi suatu anomali dikarenakan mineral pengisi yang berada di suatu urat tersebut akan berada di permukaan batuan dan menjadi bias ratingnya bila menggunakan (Tabel 2.4). Kenyataannya penggunaan perhitungan masing-masing pada parameter kondisi diskontinuitas akan memberikan nilai yang representatif dikarenakan bermacam-macamnya kondisi diskontinuitas yang dapat terjadi saat melakukan pengamatan di lapangan.

Tabel 2.4 Klasifikasi Kondisi Diskontinuitas Batuan

Description	Joint Separation	Rating
Very rough and unweathered, wall rock	0	30
Rough and slightly weathered, wall rock surface separation < 1 mm	<1	25
Slightly rough and moderately to highly weathered, all rock surface separation < 1 mm	<1	20
Slickensided wall rock surface, or 1-5 mm thick gouge, or 1-5 mm wide continuous discontinuity	1-5	10
5 mm thick of gouge, 5 mm wide continuous discontinuity	>5	0

Sumber : Bieniawski (1989)

Dalam memberikan penilaian untuk kondisi seperti yang telah disebutkan maka Bienawski (1989) juga telah membuat panduan penilaian lanjutan yaitu dijelaskan di (Tabel 2.5).

Tabel 2.5 Panduan Klasifikasi Kondisi Diskontinuitas

Parameter Discontinuity	Rating				
	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Length (persistence)	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	Stained (<0.1mm)	0.1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very Rough	Rough	Slightly Rough	Smooth	slicken sided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard <5 mm	Hard >5 mm	Soft <5 mm	Soft >5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weatered	Moderately weatered	Highly weatered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

Sumber : Bieniawski (1989)

5. Kondisi airtanah

Semakin besar kandungan airtanah di dalam batuan, maka tekanan air pori akan menjadi semakin besar. Dengan demikian kuat geser batuan semakin kecil sehingga kemantapan lereng akan berkurang. Untuk mengetahui kondisi airtanah di lapangan dapat dilakukan dengan meraba permukaan batuan. Kondisi *general* dari airtanah ini dijelaskan dalam keadaan kering, lembab, basah, terdapat tetesan air (*dripping*) atau terdapat aliran air (*flowing*). Penjelasan terkait pemberian *rating* untuk kondisi air tanah terdapat pada (Tabel 2.6).

Tabel 2.6 Kondisi Airtanah

General Description	Rating
Complete Dry	15
Damp	10
Wet	7
Dripping	4
Flowing	0

Sumber : Bieniawski (1989)

6. Orientasi bidang diskontinuitas

Parameter ini dapat ditentukan berdasarkan pada hubungan antara orientasi kekar-kekar yang ada pada lereng dengan metode penggalian yang dilakukan, serta mengarah pada *strike* dan *dip* dari bidang diskontinuitas (Goel, R.K., dan Singh, B. 2011). Selain itu, nilai dari *strike* dan *dip* juga dapat memberikan prediksi stabilitas massa batuan dan arah penggalian, dan juga berperan untuk memberikan penilaian kuantitatif bidang diskontinuitas yang kritis pada penggalian terowongan maupun rekayasa lereng pada batuan. Penjelasan terkait pemberian *rating* untuk orientasi diskontinuitas dijelaskan di (Tabel 2.7).

Tabel 2.7 penilaian untuk orientasi diskontinuitas

Pembobotan	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 - 21	< 20
No. Kelas	I	II	III	IV	V
Kondisi	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk

Sumber : Bieniawski (1989)

Penggunaan klasifikasi RMR adalah dengan menjumlahkan tiap-tiap parameter yang dijelaskan sebelumnya dengan telah diberi bobot nilai sesuai sifat keteknikannya. Jumlah keseluruhan bobot nilai tiap-tiap parameter tersebut menjadi nilai total RMR (Tabel 2.8). Nilai RMR ini dapat dipergunakan untuk mengetahui kelas dari massa batuan, memperkirakan kohesi dan sudut geser dalam untuk tiap kelas massa batuan.

Tabel Tabel 2.8 Kelas massa batuan, kohesi, dan sudut geser dalam dari nilai RMR

Profile massa batuan	Deskripsi				
	Rating	100-81	80-61	60-41	40-21
Kelas massa batuan	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Kohesi	>400 kPa	300-400 kPa	200-300 kPa	100-200 kPa	<100 kPa
Sudut geser dalam	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

Sumber : Bieniawski (1989)

2.4.2 Slope Mass Rating

Slope Mass Rating merupakan klasifikasi massa batuan yang dikemukakan oleh Romana (1993) dan diberikan beberapa penyesuaian. SMR merupakan modifikasi dari klasifikasi RMR Bieniawski (1989) dan dirancang khusus untuk mengetahui nilai sudut lereng yang stabil berdasarkan dari kondisi geomekanik batuan dan orientasi diskontinuitas yang terdapat pada lereng tersebut. Parameter yang diperlukan pada klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) adalah parameter-parameter RMR_{basic} dan untuk SMR Romana, ditambah dengan orientasi lereng (*strike* dan sudut lereng) dan orientasi diskontinuitas (*strike* dan *dip* diskontinuitas) atau secara rumus sebagai berikut:

$$SMR = RMR_{basic} + (F1.F2.F3)+F4$$

Dengan keterangan :

- (a) RMR adalah nilai dari RMR_{basic} yang didapatkan dari klasifikasi Bieniawski (1989) yaitu dengan menggunakan lima parameter berupa kekuatan *intact rock*, nilai *Rock Quality Designation*, spasi dari diskontinuitas, kondisi dari diskontinuitas, dan kondisi air tanah.

- (b) F1 adalah kesejajaran dari *azimuth* diskontinuitas (α_d) dan jurus dari muka lereng (α_s) pada runtuh tipe *planar* dan *toppling* (Romana, 1985) serta kesejajaran dari *trend* bidang diskontinuitas yang saling berpotongan (α_{il}) dengan muka lereng pada runtuh tipe *wedge* (Anbalagan et al, 1992).
- (c) F2 adalah nilai dari *dip* diskontinuitas (β_d) pada runtuh tipe *planar* (Romana, 1985) dan nilai *plunge* atau perpotongan dua bidang diskontinuitas (β_{il}) pada runtuh tipe *wedge* (Anbalagan et al, 1992).
- (d) F3 adalah sudut yang terbentuk antara nilai *dip* diskontinuitas (β_d) dan nilai *dip* dari lereng (β_s) pada runtuh tipe *planar* dan *toppling* (Romana, 1985), serta sudut antara nilai *plunge* (β_{il}) dengan nilai *dip* lereng pada runtuh tipe *wedge* (Anbalagan et al, 1992).
- (e) F4 adalah faktor penyesuaian berdasar metode ekskavasi lereng (Romana, 1985). Hal ini mencakup lereng alam atau kemiringan lereng penggalian sebelum dilakukan penggalian, *smooth blasting*, *normal blasting*, *poor blasting* dan penggalian mekanik.

Pada klasifikasi *Slope Mass Rating* oleh Romana (1985,1993) tidak mengacu pada runtuh tipe *wedge*, sehingga digunakan penelitian yang dilakukan oleh Anbalagan et al (1992) untuk mengetahui kondisi F1, F2, dan F3 pada runtuh tipe *wedge*. Berdasarkan Hoek dan Bray (1981) dan Zheng et al (2015), runtuh tipe *wedge* adalah runtuh yang paling umum dan banyak ditemukan dalam konsep analisis kestabilan lereng

batuan sehingga perlu dipertimbangkan dalam penggunaan klasifikasi *Slope Mass Rating*.

Dalam pemberian nilai untuk F1, F2, F3 dan F4 dapat diketahui dari (Tabel 2.9) dan (Tabel 2.11) Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Romana (1985,1993) dan Anbalagan et al (1992), nilai dari γ , η , dan ζ dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \gamma &= \begin{cases} |\alpha_d - \alpha_s| & \text{Plane Failure} \\ |\alpha_d - \alpha_s - 180| & \text{Toppling Failure} \\ |\alpha_{i1} - \alpha_s| & \text{Wedge Failure} \end{cases} \\ \eta &= \begin{cases} |\beta_{i1}| & \text{Wedge Failure} \\ |\beta_d| & \text{Plane Failure} \\ |\beta_s| & \text{Toppling Failure} \end{cases} \\ \zeta &= \begin{cases} |\beta_d - \beta_s| & \text{Plane Failure} \\ |\beta_d + \beta_s| & \text{Toppling Failure} \\ |\beta_{i1} - \beta_s| & \text{Wedge Failure} \end{cases} \end{aligned}$$

Dimana: γ , η , dan ζ adalah variabel untuk menyebutkan besar nilai F1, F2, dan F3.

Tabel 2.9 Parameter pemberian nilai F1, F2, dan F3 untuk SMR

Type of Failure	Parameters	Very Favorable	Favorable	Normal	Unfavorable	Very Unfavorable
P/T/W		>30°	30-20°	20-10°	10-5°	<5°
P/T/W	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P/W		<20°	20-30°	30-35°	35-45°	>45°
P/W	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P/W		>10°	10-0°	0°	0-(-10)°	<(-10)°
T		<110°	110-220°	>120°	-	-
P/T/W	F3	0	-6	-25	-50	-60

Sumber : Anbalagan et al. (1992) dalam Romana (1985)

Tabel 2.10 Pemberian nilai pada parameter F4 untuk SMR

Method	Natural Slope	Presplitting	Smooth Blasting	Blasting or Mechanical	Deficient Blasting
F4	+15	+10	+8	0	-8

Sumber : Romana (1985)

Berdasarkan hasil perhitungan pada parameter RMR_{basic} , F1, F2, F3 dan F4 maka akan didapatkan hasil nilai total yang selanjutnya dari nilai tersebut dicocokkan dengan *rating* dan kondisi berdasar *rating* yang sesuai (Tabel 2.11). Kemudian akan didapatkan hasil analisa kestabilan suatu lereng berdasarkan klasifikasi SMR yaitu berupa massa batuan, tingkat kestabilan, jenis runtuh yang terjadi dan probabilitas terjadinya runtuh.

Tabel 2.11 Penilaian klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR)

Class	V	IV	III	II	I
SMR Value	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Rock Mass	Very Bad	Bad	Normal	Good	Very Good
Description Stability	Completely unstable	Unstable	Partial stable	Stable	Completely Stable
Failure	Big planar, or soil	Planar big wedges	Planar along some joints and many wedges	Some block failure	No failure
Probability of Failure	0.9	0.6	0.4	0.2	0

Sumber : Romana (1985)

Selanjutnya dalam klasifikasi *Slope Mass Rating* ini juga terdapat langkah pertolongan untuk tiap kelas terkait kondisi kestabilan lereng yang didapat (Tabel 2.12).

Tabel 2.12 Langkah pertolongan kelas klasifikasi SMR

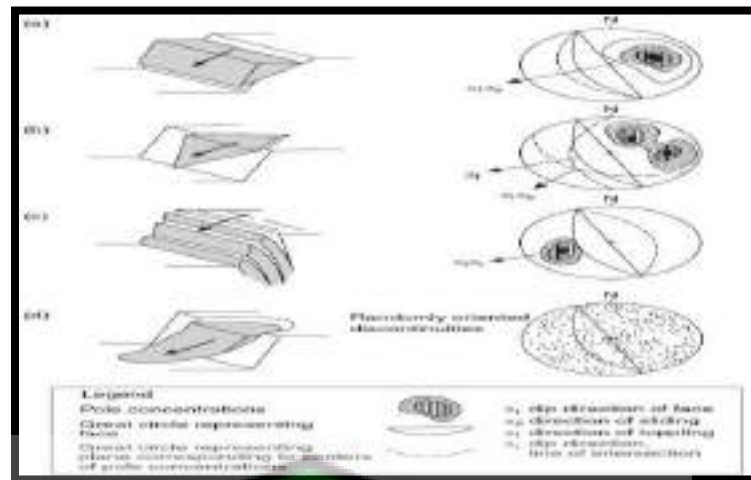
SMR Classes	SMR Values	Suggested Support
IA	91-100	None

IB	81-90	None, Scalling is required
IIA	71-80	(None, Toe ditch), or fence
IIB	61-70	(Toe ditch, or Fence nets), spot or systematic, bloting
IIIA	51-60	(Toe ditch, and/ or nets) spot or systematic, bloting, spot shotcrete
IIIB	41-50	(Toe ditch and/ or nets) systematic, bloting/ anchors, systematic shotcrete, Toe wall and/ or dental concrete
IVA	31-40	Anchors, systematic shotcrete, Toe wall and/or concrete (or re-excavation), drainage
IVB	21-30	Systematic reinforced shotcrete, Toe wall and/ or concrete, re-excavation, deep drainage
V	10-20	Gravity or anchored wall, re-excavation

Sumber : Singh & Goel (2011)

2.5 Longsor

Longsor adalah peristiwa perpindahan massa tanah/batuan menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan lereng (Karnawati, 2005). Tipe longsor berdasarkan asosiasinya dengan orientasi struktur geologi dominan dibagi menjadi empat (Wyllie dan Mah, 2004), yaitu : longsor bidang, longsor baji, longsor guling dan longsor busur. Arah dan tipe longsor diketahui berdasarkan analisis kinematika. Penentuan potensi tipe longsor ini menjadi penting karena terdapat metode analisis kestabilan yang spesifik untuk setiap tipe longsor tersebut untuk keperluan desain lereng.



Gambar 2.2 Tipe longsoran yang diplot dalam *stereonet*
(Sumber : Wyllie & Mah, 2004)

(Gambar 2.2) a) longsoran bidang, b) longsoran baji, c) longsoran guling, d) longsoran busur. Menunjukkan penyederhanaan tipe longsor pada lereng, namun pada kenyataannya, beberapa tipe struktur geologi dapat hadir pada massa batuan, sehingga tipe longsor yang berbeda dapat terjadi pada lereng yang sama.

2.5.1 Jenis-jenis longsoran

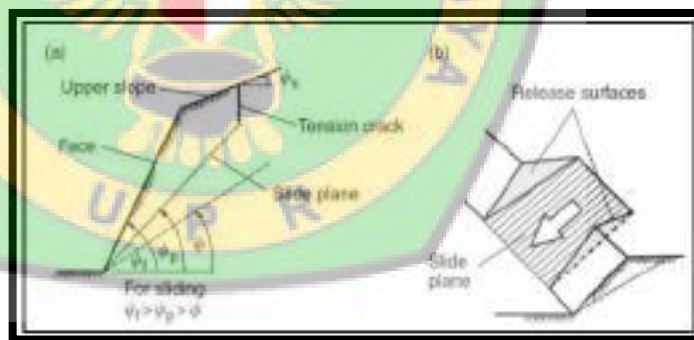
Jenis-jenis Longsoran Berdasarkan proses dan jenis longsornya, longsoran batuan dapat dibedakan menjadi empat macam (Hoek and Bray, 1981) yaitu:

1. Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

Longsoran bidang merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi disepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa rekahan, sesar maupun bidang perlapisan batuan. Longsoran bidang terjadi karena hanya terdapat satu arah

umum dari bidang lemah. Longsoran *planar* pada lereng jika massa batuan bergerak menuruni lereng pada satu bidang gelincir ke arah muka lereng. Kondisi geometri yang menyebabkan longsoran bidang terjadi adalah:

1. Bidang gelincir memiliki jurus yang paralel atau hampir paralel terhadap jurus bidang muka lereng.
2. Kemiringan bidang gelincir lebih kecil daripada kemiringan lereng, $\psi_p > \psi_f$.
3. Kemiringan bidang gelincir lebih besar daripada sudut geser dalam batuan pada bidang gelincir, $\psi_p > \phi$.
4. Bagian atas bidang gelincir memotong bagian atas lereng, atau memiliki panjang hingga *tension crack*.

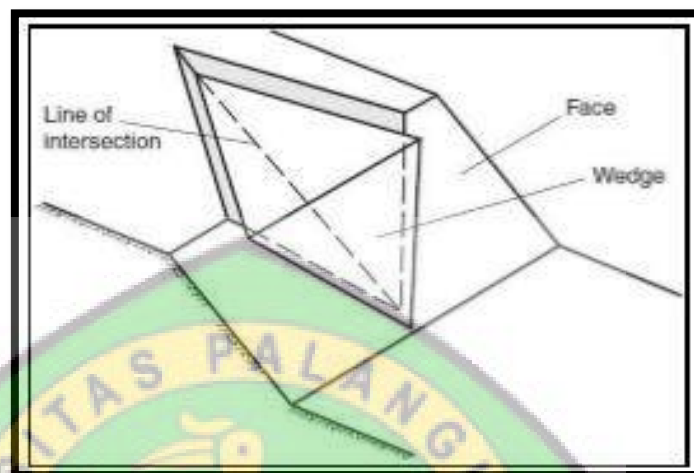


Gambar 2.3 Longsoran Bidang
(Sumber : Hoek & Bray, 1981)

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 geser dalam batumannya. Longsoran baji terjadi bila terdapat dua bidang lemah atau lebih berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng.



Gambar 2.4 Kenampakan longsoran baji pada lereng batuan
(Sumber : Wyllie dan Mah, 2004).

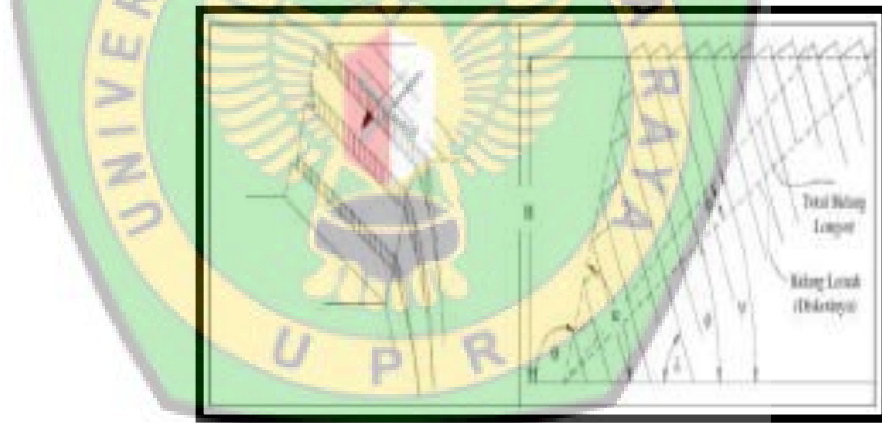
Longsoran Baji pada lereng terjadi ketika pergerakan massa batuan melalui bidang gelincir sepanjang perpotongan dua bidang diskontinuitas *planar*. Kondisi geometri lereng yang menyebabkan longsoran baji adalah :

1. Dua bidang diskontinuitas saling berpotongan pada garis dengan arah (α_i) dan kemiringan (ψ_i) tertentu.
2. Kemiringan garis perpotongan memiliki kemiringan yang lebih kecil daripada kemiringan lereng, dan lebih besar daripada sudut geser dalam batuan, sehingga $\psi_{fi} > \psi_i > \phi$.
3. Garis perpotongan dua bidang diskontinuitas memiliki arah kemiringan ke arah muka lereng.

3. Longsoran Guling (*toppling*)

Longsoran guling terjadi tanpa melalui bidang gelincir. Longsoran guling umumnya terjadi pada lereng yang terjal dengan struktur bidang lemah berbentuk kolom. Syarat geometri longsoran Guling adalah :

1. Bidang diskontinuitas memiliki arah kemiringan berlawanan dengan muka lereng kemiringan $\pm 10^\circ$ terhadap arah berlawanan tersebut.
2. Kemiringan bidang diskontinuitas harus cukup besar agar longsoran guling terjadi, sehingga $\psi > 90^\circ + \phi - \alpha$.



Gambar 2.5 Longsoran guling
(Sumber : Hoek & Bray, 1981)

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.

4. Longsor Busur (*Circular Failure*)

Longsor busur hanya terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah. Longsor busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat lapuk serta banyak mengandung bidang lemah (*lose material*) dengan sistem kekar yang menyebar dan tidak mempunyai pola struktur.

2.6 Analisis Kinematika (*Stereografis*)

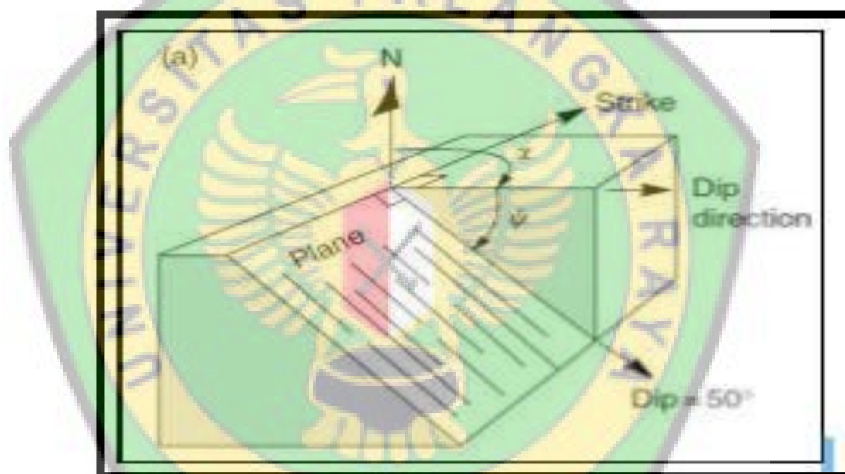
Analisis kinematika merupakan salah satu metode analisis kestabilan lereng yang menggunakan parameter orientasi struktur geologi, orientasi lereng dan sudut geser dalam batuan yang diproyeksikan pada *stereonet*, sehingga dapat diketahui tipe dan arah longsor serta kondisi kestabilan lereng tersebut (Wyllie dan Mah, 2004).

2.6.1 Parameter Analisis Kinematika

2.6.1.1 Orientasi struktur geologi

Struktur geologi adalah gambaran arsitektur permukaan bumi akibat deformasi batuan oleh gaya tektonik (Thompson & Turk, 1997). 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 (West, 2010).

Tahap pertama dalam penyelidikan diskontinuitas pada lereng adalah menganalisis orientasi diskontinuitas tersebut. Terminologi yang direkomendasikan adalah *dip* dan *dip direction*. *Dip* adalah besar sudut kemiringan terbesar 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* diskontinuitas dilakukan menggunakan kompas geologi.



Gambar 2.6 Kenampakan isometrik bidang arah *dip* dan *dip direction*
(Sumber : Wyllie & Mah, 2004)

2.6.1.2 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.

2.6.1.3 Sudut geser dalam batuan

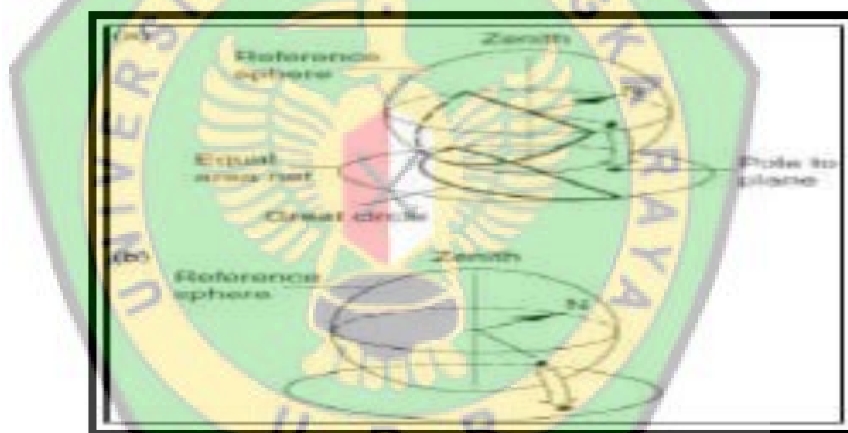
Sudut geser dalam batuan adalah besar sudut (ϕ) ketika tubuh batuan berada pada permukaan miring akan melebihi gaya gesek dan mulai bergerak, diukur dari bidang normal terhadap permukaan dan gaya-gaya yang bekerja pada tubuh batuan. Nilai sudut geser dalam batuan didapatkan melalui pengujian batuan di laboratorium menggunakan metode *direct shear test* dan *triaxial test*. Semakin besar nilai sudut geser dalam, maka semakin besar nilai kestabilan massa batuan.

2.6.1.4 Analisis Stereografis

Analisis kemantapan lereng menggunakan metode stereografis merupakan salah satu analisis yang digunakan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya longsor pada lereng. Proyeksi stereografis adalah salah satu metode analisis data struktur geologi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kestabilan lereng. Proyeksi stereografis memproyeksikan bidang tiga dimensi menjadi dua dimensi. Proyeksi stereografis menghilangkan satu dimensi dari data yang dimasukkan sehingga garis atau titik dapat merepresentasikan bidang, dan titik dapat merepresentasikan garis. Proyeksi stereografis hanya memperhitungkan hubungan menyudut antar garis dan bidang, tetapi tidak merepresentasikan posisi dan ukuran bidang.

Analisis kinematika menggunakan proyeksi stereografis dalam prosedurnya. Parameter orientasi diskontinuitas, orientasi lereng dan

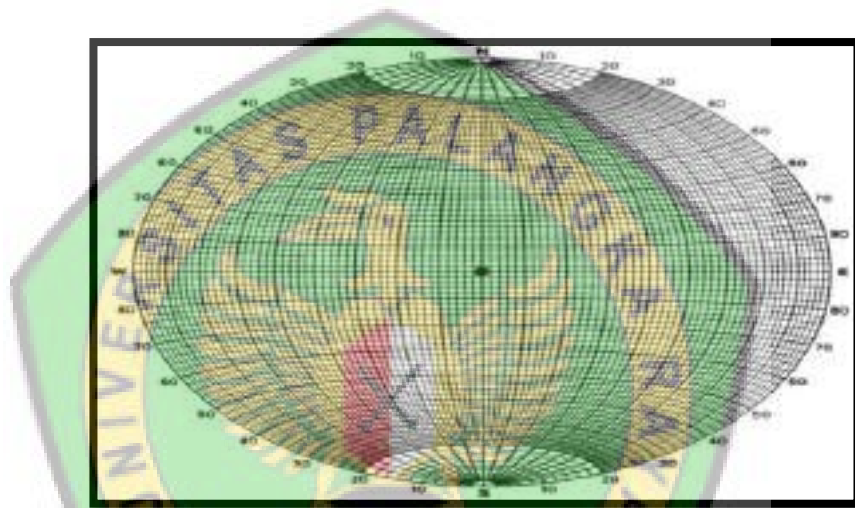
sudut geser dalam batuan diproyeksikan pada *stereonet*. Data yang sudah diplot pada *stereonet* kemudian dapat diinterpretasi untuk menentukan potensi tipe longsor, arah longsor dan kestabilan lereng terhadap tipe longsor tertentu. Tahap pertama analisis kinematika adalah pengeplotan data orientasi diskontinuitas pada *stereonet*. *Stereonet* yang dipakai adalah *Polar net* yang ditunjukkan pada (Gambar 2.7). *Dip direction* pada *Polar net* berada di sekeliling *stereonet*, dihitung dari arah selatan (*dip direction* 0°) searah jarum jam. Pengeplotan nilai *dip* dilakukan dari pusat *stereonet* (0°) ke arah luar, tepi lingkaran.



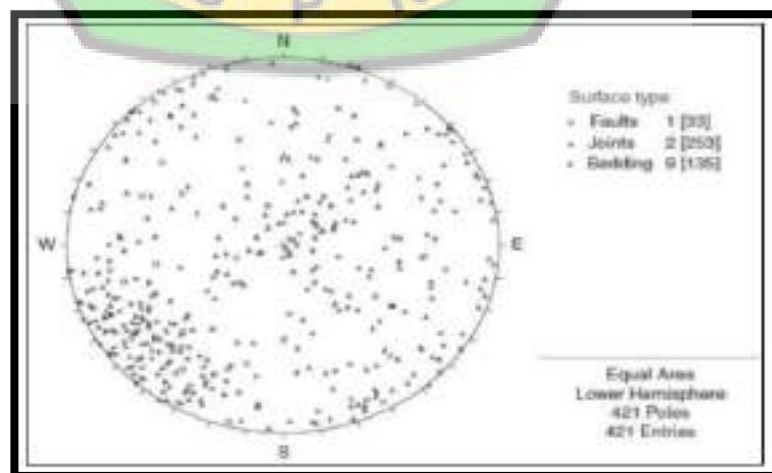
Gambar 2.7 Proyeksi *equal area* dari bidang dan garis
(Sumber : Wyllie & Mah, 2004)

Gambar 2.7 a) bidang diproyeksikan sebagai garis lengkung dan kutub korespondensi, b) garis diproyeksikan sebagai kutub. Untuk membuat proyeksi stereografis (*stereonet*) langkah awal yang harus dikerjakan adalah semua data pengukuran yang didapatkan dari lapangan berupa *strike* dan *dip* diplotkan terlebih dahulu pada jaring stereografi yaitu *Polar equal area net*. Tahap pertama analisis kinematika adalah

pengeplotan data orientasi diskontinuitas pada *stereonet*. *Stereonet* yang dipakai adalah *Polar net* yang ditunjukkan pada (Gambar 2.8). *Dip direction* pada *Polar net* berada di sekeliling *stereonet*, dihitung dari arah selatan (*dip direction* 0°) searah jarum jam. Pengeplotan nilai *dip* dilakukan dari pusat *stereonet* (0°) ke arah luar, tepi lingkaran *stereonet* menunjukkan nilai *dip* 90° .

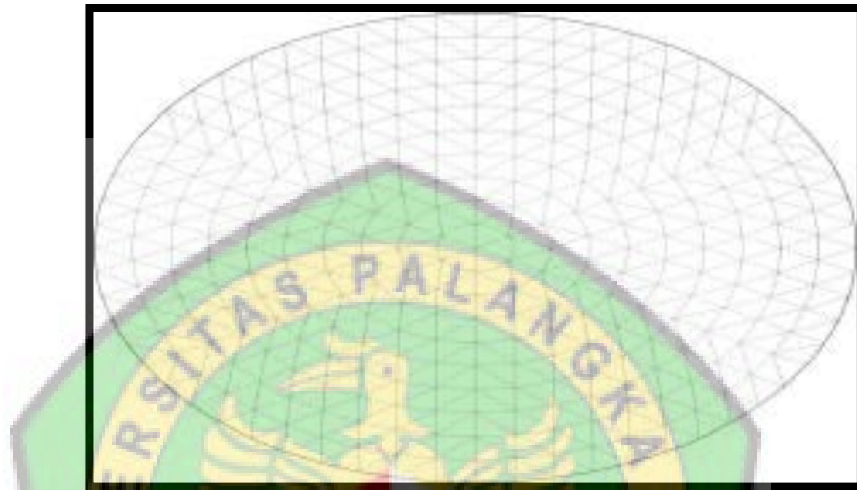


Gambar 2.8 *Polar equal area net*
(Sumber : Duncan & Christopher, 2003)



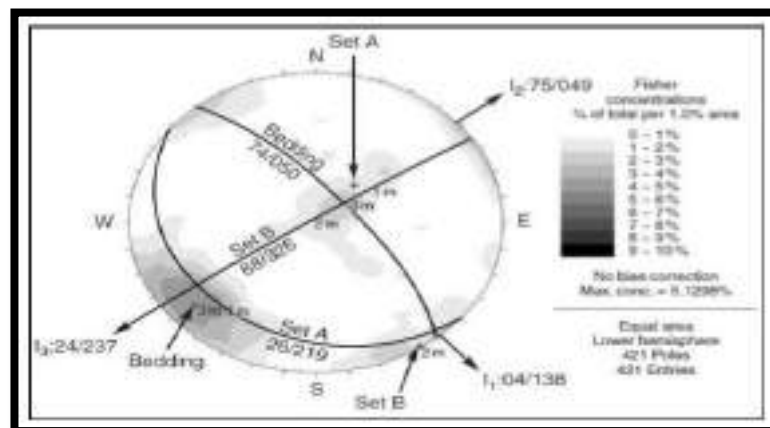
Gambar 2.9 Contoh pengeplotan data diskontinuitas
(Sumber : Wyllie & Mah, 2004)

Selanjutnya adalah jaring yang digunakan untuk menghitung kerapatan kutub dari struktur bidang yang nantinya akan dibuat kontur yang sesuai dengan distribusi dan harga kerapatannya. Jaring yang digunakan yaitu *Kalsbeek net*.



Gambar 2.10 *Kalsbeek net*
(Sumber : Duncan & Christopher, 2003)

Pada tiap segi-6 dari *Kalsbeek net* dihitung jumlah titik di dalamnya kemudian ditulis pada pusat segi enam. Kemudian dari nilai-nilai tersebut dibuat kontur dengan cara menghubungkan titik yang mempunyai nilai yang sama. Pusat dari kontur yang dibuat merupakan orientasi utama diskontinuitas tersebut. Orientasi utama data diskontinuitas dapat diproyeksikan ke garis lengkung. Pembuatan kontur biasanya dilakukan menggunakan program komputer agar lebih cepat.

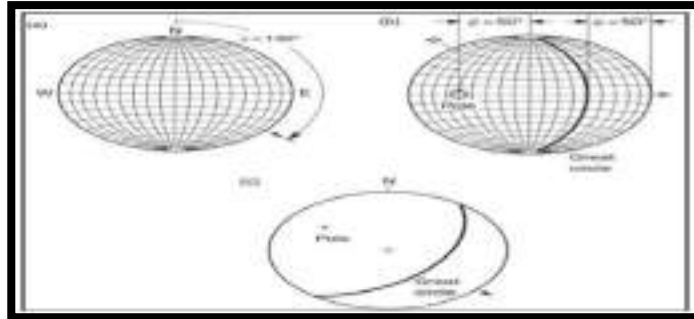


Gambar 2.11 Contoh kontur kerapatan kutub diskontinuitas
(Sumber : Wyllie dan Mah, 2004)

Berdasarkan data, dengan garis lengkung berkorespondensi dengan orientasi rata-rata bidang perlapisan dan dua set kekar orthogonal, dan garis perpotongan antar bidang. Tahap ketiga adalah mengplotkan data orientasi lereng pada stereonet. Stereonet yang digunakan adalah *Schmidt net*. Orientasi lereng biasanya diproyeksikan menjadi garis lengkung. Berikut adalah metode dalam memproyeksikan bidang dengan *dip direction* N130°E dan besar *dip* 50° atau ditulis 50°/130° menjadi garis lengkung maupun titik dengan menggunakan *Schmidt net* (Hoek dan Bray, 1981):

1. Hitung dari arah utara (N) ke timur (E) sebesar 130° dan ditandai, pada (Gambar 2.12 a) ditandai dengan anak panah.
2. Anak panah penanda tersebut dihimpitkan dengan bagian tengah *stereonet*, kemudian dihitung ke arah dalam sebesar sudut *dip* (50°) dan dibuat garis lengkung yang berimpit, pada (Gambar 2.12 b) ditandai dengan garis lengkung yang dipertebal.

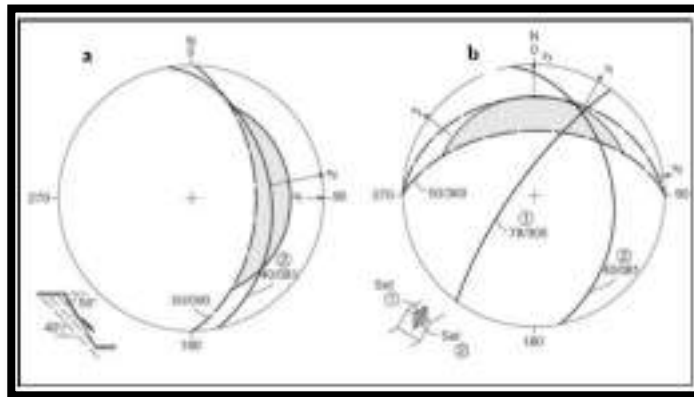
3. Kembalikan *stereonet* pada posisi awal (Gambar 2.12.c).



Gambar 2.12 Proyeksi bidang menjadi garis lengkung pada *Schmidt Net*
(Sumber : Wyllie & Mah, 2004)

Analisis kestabilan lereng terhadap tipe longsor tertentu menggunakan parameter sudut geser dalam batuan yang diproyeksikan sebagai lingkaran (*friction cone*) pada *stereonet*. Proyeksi sudut geser dalam batuan pada *stereonet* memiliki dua cara, yaitu :

1. Jika arah bidang diskontinuitas diproyeksikan sebagai titik, maka sudut geser dalam dihitung dari pusat lingkaran *stereonet*, sehingga titik di luar *friction cone* dan lebih landai daripada kemiringan lereng masuk zona tidak stabil.
2. Jika arah bidang diskontinuitas diproyeksikan sebagai garis lengkung, maka sudut geser dalam batuan dihitung dari tepi lingkaran *stereonet*, sehingga bidang diskontinuitas/perpotongan bidang diskontinuitas yang berada di dalam *friction cone* dan lebih landai daripada muka lereng berada pada zona tidak stabil.



Gambar 2.13 Proyeksi stereografis untuk analisis kestabilan lereng
(Sumber : Wyllie & Mah, 2004)

Menunjukkan proyeksi sudut geser dalam dihitung dari tepi lingkaran *stereonet*, karena bidang diskontinuitas diproyeksikan sebagai garis lengkung. Ketidakstabilan lereng terhadap longsor *planar* (Gambar 2.13 a) karena bidang diskontinuitas masuk area *daylight envelope*, dan semua syarat longsor bidang terpenuhi, yaitu bidang gelincir lebih landai daripada kemiringan lereng, dan lebih besar daripada sudut geser dalam. Ketidakstabilan lereng terhadap longsor *wedge* (Gambar 2.13 b) ditunjukkan oleh perpotongan dua bidang diskontinuitas yang berada pada *daylight a b envelope*, dengan *trend* di depan muka lereng, *plunge* lebih kecil daripada kemiringan lereng dan lebih besar daripada sudut geser dalam batuan.

Berdasarkan data-data diskontinuitas yang diplotkan kedalam *stereonet* kemudian dikombinasikan dengan orientasi lereng pada jaring proyeksi *Wulf net*, hasil yang didapat nantinya adalah berupa arah umum bidang longsor serta kemungkinan jenis longsor yang terjadi (Hoek & Bray, 1981).

2.7 Alterasi

Alterasi terjadi agar terjadi keseimbangan antara mineral-mineral batuan yang berinteraksi dengan larutan fluida hydrothermal, karena alterasi hydrothermal adalah pergantian mineralogi dan komposisi kimia yang terjadi ketika batuan berinteraksi dengan fluida hydrothermal (White N. C. & Hedenquist J. W. (1996). Alterasi umumnya terjadi bersama dengan terbentuknya pengisian rekahan-rekahan oleh urat-urat atau gangue. Adapun faktor yang berpengaruh terhadap alterasi diantaranya interaksi batuan dengan fluida hydrothermal, rasio perbandingan air dan batu, dan komposisi fluida hydrothermal. Dalam bidang eksplorasi mineral ekonomis, alterasi sangat bermanfaat dalam memahami berbagai aspek pembentukan mineral bijih dan genesanya. Proses alterasi bisa menyebabkan sifat fisik ataupun sifat kimia mineral dalam batuan berubah seutuhnya ataupun hanya sebagian yang berubah, sehingga tekstur asli dalam batuan masih dapat terlihat. Hal ini dapat menunjukkan tingkat intensitas alterasi yang dapat dilihat dengan membandingkan persentase antara mineral primer saat batuan terbentuk dengan mineral sekunder yang terbentuk ketika terjadi alterasi. Perbandingan ini dapat dilakukan dengan pengamatan petrologi atau megaskopis di lapangan, analisa petrografi atau dengan analisa XRD dan XRF. Pengamatan megaskopis di lapangan perlu dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui konsep awal terkait tingkat intensitas alterasi pada suatu batuan dan dilanjutkan dengan analisa petrografi, XRD dan XRF agar didapatkan hasil yang lebih detail.

Tabel 2.13 Tingkat Intensitas Alterasi pada Batuan

Tingkat Alterasi	Keterangan
Tidak teralterasi	Tidak dijumpai mineral sekunder
Lemah	Kehadiran mineral sekunder <25% volume batuan
Sedang	Kehadiran mineral sekunder 25%-75% volume batuan
Kuat	Kehadiran mineral sekunder >75% volume batuan
Sangat kuat	Teralterasi secara keseluruhan, tekstur utama batuan masih terlihat
Total	Teralterasi secara keseluruhan, tekstur utama batuan telah hilang

Sumber : Morrisson (1995)

Proses alterasi akan menghasilkan mineral ubahan yang saling berasosiasi membentuk kelompok mineral dan akan menjadi penanda pada suatu keadaan dan kondisi lingkungannya (Corbett dan Leach, 1996).

Kelompok-kelompok mineral tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kelompok Silika yang terbentuk pada pH rendah ($\text{pH} < 2$) yang berasosiasi dengan kandungan besi titanium seperti rutil. Pada suhu $< 100^\circ\text{C}$ dengan kondisi persamaan larutan hidrothermal yang ekstrim akan terbentuk silika opal, kristobalit dan tridymit, lalu pada suhu 100°C - 200°C akan terbentuk kalsedon, sedangkan pada suhu yang tinggi ($>200^\circ\text{C}$) akan terbentuk mineral silika amorf.
2. Kelompok Alunit, dimana ketika kandungan pH dari larutan hidrothermal >2 akan terbentuk asosiasi mineral silika dengan

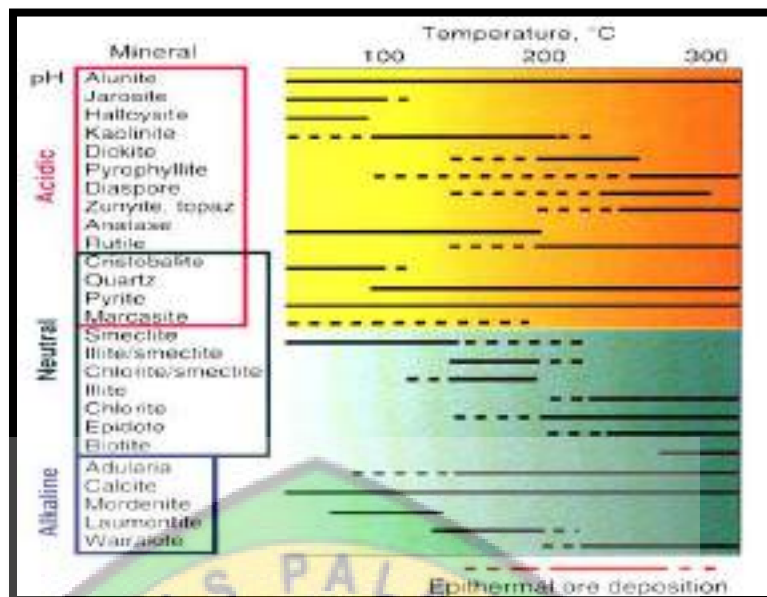
mineral andalusit, ketika suhu larutan memiliki kisaran yang besar ($>300^{\circ}\text{C}$ - 350°C) mineral andalusit akan terbentuk bersamaan dengan mineral korundum. Terdapat empat lingkungan pembentukan alunit yang berbeda yaitu steam heated alunit, supergene alunite, magmatic alunite, dan liquid alunite.

3. Kelompok Kaolin, terbentuk dari lingkungan dengan fluida yang memiliki pH lebih tinggi (± 4) dengan mineral yang terbentuk berupa kaolin dengan suhu yang berkisar $<150^{\circ}\text{C}$ - 200°C dan propilitik pada suhu $<200^{\circ}\text{C}$ - 250°C , dimana dickit dapat dijumpai pada daerah transisi diantara kisaran suhu kedua tingkatan sebelumnya.
4. Kelompok Illit, terbentuk pada kondisi pH larutan hidrothermal tinggi (± 46). Pada pH 4-5 (transisi) akan dijumpai mineral-mineral kaolin yang mendominasi. Pada suhu $<150^{\circ}\text{C}$ - 200°C akan dijumpai mineral smektit yang terbentuk, sedangkan pada suhu 100°C - 200°C akan dijumpai keterdapan mineral illite-smektit yang inter-layering, mineral illit akan ditemukan pada kisaran suhu 200°C - 250°C , mineral-mineral mika berbutir halus pada suhu $>200^{\circ}\text{C}$ - 250°C , sedangkan kristal-kristal kasar mika putih terjadi pada suhu $>250^{\circ}\text{C}$ - 300°C .
5. Kelompok Klorit, terbentuk pada kondisi larutan hidrothermal yang memiliki pH netral klorit-karbonat, dengan terjadi adanya transisi dari kelompok illit, berupa asosiasi antara mineral klorit dan smektit

pada suhu yang rendah, dan didominasi oleh klorit pada suhu yang lebih tinggi.

6. Kelompok Kalksilikat, ditandai dengan hadirnya asosiasi zeolit-kloritkarbonat pada suhu yang rendah dengan kondisi pH larutan hidrothermal bersifat alkali netral 7. Fase mineral-mineral lain, kelompok ini terdiri dari kehadiran mineral-mineral karbonat yang terbentuk pada wilayah pH dan temperatur yang luas ($\text{pH} > 4$). Mineral-mineral ini berasosiasi dengan mineral illit, kaolin, klorit dan fase kalk-silikat. Mineral-mineral Feldspar yang berasosiasi dengan mineral klorit dan fase mineral kalk-silikat. Mineral-mineral sulfida terbentuk hampir pada semua kisaran suhu dan pH. Alunit akan terbentuk pada pH rendah ($< 3-4$) dan anhidrit pada pH yang lebih tinggi dan suhu lebih tinggi dari $100-150^{\circ}\text{C}$. Gypsum terbentuk pada suhu lebih rendah.

Dari kelompok – kelompok mineral tersebut dapat disimpulkan bahwa pembentukan mineral bergantung pada kondisi pH dan fluida yang mengisi rekahan-rekahan (Reyes, 1990). Kelompok mineral tersebut diklasifikasikan berdasar hasil dari aktifitas oleh fluida dengan pH netral dan fluida dengan pH asam. Alterasi pada pH netral terbentuk akibat reaksi fluida bersuhu tinggi yang ber-pH berada di batas normal atau $\text{pH}=7$ dengan fluida alkali klorida, sedangkan kondisi asam terbentuk akibat reaksi oleh fluida yang memiliki pH rendah dan memiliki kandungan sulfur yang tinggi.



Gambar 2.14 Korelasi antar pH, suhu, dan mineral yang terbentuk
(Sumber : Hedenquist et al., 1995 & Morrison . K., 1997)

Alterasi memiliki jenis-jenis tersendiri yang dikelompokkan berdasar asosiasi mineral-mineral ubahan yang terbentuk pada zona alterasi tersebut. Pembagian alterasi menurut Guilbert & Park (1986) adalah sebagai berikut:

1. Potassik, dikenal juga dengan istilah alterasi biotit-ortoklas, ditemukan adanya kandungan K-silikat. Terdapat pembentukan K-feldspar bersama atau tanpa kandungan biotit dan serisit, umumnya disertai dengan sisa kandungan kalsium-garam dalam aksesoris mineral seperti anhidrit $[CaSO_4]$, apatit $[(Ca, Mg, Fe)CO_3]$, fluorit $[CaF_2]$, kalsit atau sideromagnesio kalsit, kalkopirit, molibdenit, pirit, magnetit, atau hematit. Pada alterasi ini ditemukan adanya penambahan kandungan potash seperti yang terdapat pada K-

feldspar. Ditemukan adanya penggantian kandungan hornblenda atau klorit oleh biotit dan plagioklas K-Feldspar.

2. Propilitik, merupakan jenis alterasi yang terjadi dengan menghasilkan kehadiran mineral-mineral seperti epidot, klorit, dan karbonat yang menggantikan komposisi mineral plagioklas serta hornblenda-biotit (klorit, montmorilonit, dan epidot) pada batuan. Terkadang dijumpai adanya kehadiran K-felspar seperti albit. Terjadi juga proses metasomatisme pada kandungan alkali-alkali tanah atau proses peluluhan (leaching) yang tidak berpengaruh.
3. Alterasi filik atau serisitik, merupakan alterasi yang didominasi oleh serisit pilsilikat, sebuah nama yang diberikan karena terdapatnya asosiasi dengan mineral-mineral mika berbutir halus seperti muskovit, hydromika, dan phengite. Semua mineral-mineral asli di batuan seperti feldspar, mika dan mineral mafik berubah menjadi mineral serisit dan kuarsa. Dijumpai kehadiran mineral aksesoris minor seperti pirit, klorit, leukoksen, rutil yang terbentuk dari titanium biotit, serta sphene dan mineral aksesoris lainnya. Terdapat tambahan mineral biotit atau biotit-klorit yang tidak dibarengi dengan kehadiran K-feldspar.
4. Argilik, alterasi yang terdiri dari kumpulan mineral-mineral ubahan berupa kaolin yang berasal dari plagioklas dan montmorilonit yang berasal dari amfibol dan plagioklas. Terdapat K-feldspar yang tidak berpengaruh, terjadi peluluhan kandungan alkali-alkali tanah dalam

jumlah yang besar. Alterasi ini terjadi pada suhu yang rendah dan rendah perbandingan rasio K^+/H^- .

5. Argilik lanjut, menunjukkan adanya perbandingan rasio K^+/H^+ dan Na^+/H^+ yang rendah dan terbentuk pada kondisi asam yang tinggi dengan fluida yang kaya akan kandungan H^+ . Peluluan yang kuat terhadap semua kandungan alkali terjadi. Pada suhu tinggi berkisar $300^\circ C$, terbentuk mineral-mineral pyrofilit, pyrofilit-andalusit, pada suhu yang lebih rendah akan terbentuk mineral kaolin atau dickit dalam jumlah banyak. Kuarsa melimpah dan alunit, topaz, zunyite, turmalin dan hidro-kloro-fluor-boroaluminosilika lainnya juga terbentuk. Distribusi dari argilik lanjut kurang beraturan daripada tipe alterasi lainnya tetapi umum dijumpai pada daerah yang mengalami mineralisasi.
6. Greisen hampir sama dengan argilik lanjut atau filik tetapi menunjukkan lebih banyak kandungan serisit atau muskovit dan tidak adanya kehadiran pyrofilit. Kuarsa, muskovit dan topaz mendominasi dengan turmalin, fluorit, rutil, kasiterit, wolframit dan magnetit sebagai mineral aksesoris umum.
7. Skarn merupakan asosiasi dari kandungan silika yang kaya akan besi dan memiliki kandungan kalsium, alterasi ini mengandung amfibol, piroksen, garnet, epidot-zoisit, dan piroksenoid yang menggantikan batugamping atau dolomit. Umumnya terdapat kandungan silika, aluminium, besi dan magnesium dalam jumlah yang melimpah.

Tabel 2.14 Klasifikasi jenis alterasi

Jenis Alterasi	Mineral-mineral kunci	Mineral-mineral aksesoris	Suhu	Kimia Fluida
Argilik	Smektit atau perlapisan antar smektit-illit	Sulfida, zeolit, kuarsa, kalsit	<200°C	Kondisi pH netral $a_{Ca^{+}}/a_{H^{+}}$ moderat
Sersitik	Serisit (illit) dan kuarsa	Sulfida, oksida, kaolinit (minor)	>220°C	pH netral tetapi kandungan $a_{H^{+}}/a_{K^{+}}$ meningkat
Propilitik	Epidot	Klorit, illit, dan sulfida	250°C	pH netral kandungan $a_{Ca^{+}}/a_{H^{+}}$ relatif tinggi
Propilitik dalam	Epidot dan aktinolit	Klorit dan illit	300°C	pH netral kandungan $a_{Ca^{+}}/a_{H^{+}}$
Potasik	Biotit, <i>K-felspar</i> , <i>magnetit</i>	Epidot, klorit, muskovit	320°C	pH netral kandungan $a_{K^{+}}/a_{H^{+}}$ relatif tinggi
Argilik lanjut (temperatur rendah)	Kaolinit, dan Alunit	Kalsedon, kristobalit, kuarsa dan pirit	180°C	Kondisi pH asam
Argilik lanjut (temperatur tinggi)	Pyropilit, diaspor, dan andalusit	Kuarsa, sulfida, turmalin, enargit, lurzonit	Umumnya 250°C, terkadang mencapai >320°C andalusit	Kondisi pH asam

Sumber: Guilbert & Park (1986)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

3.1.1 Sejarah Singkat Perusahaan

PT. J Resources Asia Pasifik, Tbk adalah salah satu perusahaan terbuka yang fokus di bidang pertambangan emas. Saat ini PT. J Resources Nusantara memiliki 4 aset yang telah berproduksi, yaitu Proyek Lanut (Sulawesi Utara), Proyek Penjom (Pahang, Malaysia), Proyek Bakan (Sulawesi Utara), dan Proyek Seruyung (Kalimantan Utara). Selain itu, perusahaan masih memiliki beberapa aset yang masih dalam tahap eksplorasi dan persiapan konstruksi seperti di Bolangitang, Sulawesi Utara dan Bulagidun, Gorontalo.

PT. J Resources Bakan Gold Mine adalah anak dari PT. J Resources Nusantara (JRN) dan memiliki Kontrak Karya (KK) yang mencakup total area seluas 58.150 ha yang terbagi dalam dua blok terpisah : Blok Bakan dan Blok Lanut, keduanya di Sulawesi Utara, Indonesia. Blok Lanut merupakan tambang emas Lanut Utara yang telah berproduksi sejak akhir tahun 2004, yang memiliki *JORC Compliant Proven & Probable Ore Reserve* per 31 Desember 2015 sebesar 157 Koz emas yang terkandung dalam *Measured, Indicated & Inferred Mineral Resources* sebesar 452 Koz emas. Saat ini, blok Lanut sedang dalam proses reklamasi.

Blok Bakan merupakan tambang emas Bakan yang telah berproduksi sejak Desember 2013. Blok ini telah sesuai dengan *JORC compliant Proven & Probable Ore Reserve* per 31 Desember 2015 sebesar 745 Koz emas yang terkandung dalam *measured, indicated and inferred mineral resources* sebesar 1,38 Moz emas. Bakan berada di bagian selatan Sulawesi Utara lebih tepatnya berada sekitar 25 km ke arah tenggara dari Kotamobagu, Sulawesi Utara, Indonesia. Bakan merupakan Kontrak Karya generasi ke-6 yang dimiliki oleh PT. Avocet Bolaang Mongondow (ABM) hasil akuisisi dari Newmont. ABM dikuasai dan merupakan bagian dari Avocet Mining Plc yang berada di London, melakukan melakukan pencarian secara ekstensif secara sampling di aliran sepanjang sungai dan juga melakukan eksplorasi *greenfield* di sekitar daerah Bolaang Mongondow namun kemudian mereka menarik diri di tahun 1994. Newmont kemudian mengikuti anomali geokimia endapan placer di sekitaran Bakan tapi mereka tidak melakukan pemboran eksplorasi secara intensif. Avocet mengambil alih konsesi dari Newmont di tahun 2002, kemudian melakukan pengeboran dengan target yang telah ditentukan sebelumnya dan mengeluarkan laporan JORC dengan kategori terukur, terindikasi dan tereka untuk total 16.87 million tonnes dengan kadar rata-rata 0.96 gr/ton.

Tabel 3.1 Laporan Sumberdaya JORC dari *Pit Durian & Pit Osela*

	Tonnes (Mt)	Au grade (g/t)	Ounces
Measured	5.42	1.20	209.000
Indicated	4.90	0.93	146.000
Inferred	6.56	0.77	163.000
Total	16.87	0.96	518.000

Lalu pada pertengahan tahun 2011 PT. J Resources Nusantara telah mengakuisisi asset Avocet Mining PLC yang berada di Asia Tenggara, sehingga menjadikan Perseroan sebagai perusahaan emas pertama yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia di Jakarta. Pada saat akuisisi, Perseroan diwarisi dua aset yang sudah berproduksi, yaitu Tambang Lanut Utara di Sulawesi Utara dan Tambang Penjom di Pahang, Malaysia, dengan total kapasitas produksi emas sebesar 100.000 ounces/tahun. Pada pertengahan tahun, dua proyek lainnya di Indonesia (Bakan dan Seruyung) telah diidentifikasi sebagai target pengembangan dalam waktu dekat. Dan akhirnya, pada akhir tahun konstruksi dan pengembangan tambang Bakan dan Seruyung sudah siap untuk melakukan produksi komersialnya. Untuk *site* Bakan sendiri PT. J Resources Nusantara memiliki anak perusahaan PT. J Resources Bolaang Mongondow. Kemudian di tahun 2014 PT. J Resources Bolaang Mongondow mulai berproduksi dan eksplorasi *brownfield* terus dilakukan di sekitar site Bakan.

Tabel 3.2 Total Cadangan dan Sumberdaya PT. J Resources Nusantara

GOLD INVENTORY	2013			2014		
	Tonnes	Grade	Preci	Tonnes	Grade	Preci
Project (Company)	t	g/t Au	g/oz	t	g/t Au	g/oz
ORE RESERVES						
- Bakan (JRM)	9,000,000	0.88	361,000	9,437,310	1.04	372,554
- North Lulut (JRM)	2,780,000	0.58	31,400	3,803,978	1.29	174,003
- Sarayang (GPP)	5,570,000	1.13	234,700	8,483,772	1.15	371,027
- Parom (Malyko)	37,023,000	1.76	959,000	71,091,401	1.89	969,410
Total Ore Reserves	29,373,000	1.26	1,204,100	45,846,781	1.29	1,884,994
GENERAL RESOURCES (including ore reserves)						
- Bakan (JRM)	16,400,000	0.99	323,000	44,800,000	0.70	1,044,000
- North Lulut (JRM)	10,300,000	1.02	33,000	14,000,000	1.13	312,000
- Sarayang (GPP)	10,000,000	1.31	430,000	34,300,000	0.92	421,000
- Dasa (ASA)	20,117,300	1.48	1,460,000	23,000,000	1.48	1,380,000
- Rasi (GSM)	1,900,000	1.27	37,000	1,100,000	1.28	379,000
- Parom (Malyko)	10,000,000	1.00	100,000	28,200,000	1.10	1,250,000
Total General Resources	67,717,300	1.32	2,529,000	127,800,000	1.06	5,144,000

3.1.2 Lokasi dan Kesampaian Daerah

PT. J Resources Bakan Gold Mine Bolaang Mongondow saat ini melakukan kegiatan produksi di daerah Kabupaten Bolaang Mongondow yaitu *site* Bakan. Pelaksanaan penelitian berada PT. J Resources Bakan *Gold Mine* Bolaang Mongondow terletak di Desa Motandoi, Kecamatan Pinolosian, Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan, Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia.

Secara astronomis daerah penelitian terletak pada $0^{\circ} 33' 33.05''$ LU - $0^{\circ} 35' 12.81''$ LU dan $124^{\circ} 17' 52.9''$ BT - $124^{\circ} 35' 12.81''$ BT. Luas daerah IUP yang dimiliki oleh PT. J Resources Bakan *Gold Mine* Bolaang Mongondow khususnya untuk *site* bakan adalah 196,5 Ha.

Perjalanan dari Universitas Palangka Raya menuju lokasi Penelitian di PT. J Resources Bakan *Gold Mine* Bolaang Mongondow memerlukan

waktu kurang lebih 9 jam 12 menit tanpa berhenti, dengan menggunakan mobil sebagai kendaraan darat dan pesawat udara sebagai kendaraan udara. Perjalanan dimulai dari Universitas Palangka Raya menuju Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya, Kalimantan Tengah dengan menggunakan mobil sebagai kendaraan darat dengan jarak tempuh perjalanan ± 14.3 Km dan waktu tempuh ± 29 menit.

Kemudian berangkat dari Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya, Kalimantan Tengah menuju Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar, Sulawesi Selatan menggunakan Pesawat Udara selama ± 1 jam 45 menit dengan jarak tempuh ± 700 Km.

Kemudian berangkat dari Bandar Udara Sultan Hasanuddin Makassar, Sulawesi Selatan menuju Bandar Udara Sam Ratulangi Manado, Sulawesi Utara dengan menggunakan Pesawat Udara selama ± 1 jam 40 menit dan jarak tempuh ± 950 Km.

Dari Bandar Udara Sam Ratulangi Manado, Sulawesi Utara menuju ke *Site* PT. J Resources Bakan Gold Mine Bolaang Mongondow dengan menempuh jarak ± 214 Km dengan waktu tempuh ± 5 jam 18 menit menggunakan mobil sebagai alat transportasi darat dengan rute sebagai berikut :

- Bandar Udara Sam Ratulangi Manado, Sulawesi Utara menuju Kantor PT. J Resources di Manado (kawasan Megamas Manado)
- Kantor PT. J Resources di Manado (kawasan Megamas) menuju Kantor Kantor PT. J Resources di Kotabangon, Kotamobagu.

- Kantor Kantor PT. J Resources di Kotabangon, Kotamobagu menuju Site PT. J Resources Bakan *Gold Mine* Bolaang Mongondow.

3.2 Kondisi Geologi

3.2.1 Kondisi Geologi Regional

Bakan terletak di bagian selatan dari lengan utara pulau Sulawesi. Geologi regional Sulawesi Utara didominasi oleh batuan vulkanik berumur *cenezoic* dan berasosiasi dengan batuan terobosan (intrusi) yang bergabung membentuk busur Kepulauan. Busur ini menjadi lebih tebal dan batuan dasarnya adalah batuan kerak samudra. Busur ini terbentuk selama pembentukan Laut Sulawesi pada masa Eosen (Rangin et al.,1997;van Leeuwen & Muharjo, 2005).

Tiga busur utama telah dapat dipetakan sebagai berikut :

a. Masa Eosen awal - Masa Eosen pertengahan.

Dikarakteristikan oleh lapisan tebal yang didominasi oleh vulkanik *basalt* dengan komposisi *tholeiitic* dan berasosiasi dengan sedimen laut dalam (Trail et al.,1972; van Leeuwen & Muharjo, 2005).

b. Masa Miosen

Diwakili oleh *calc alkaline* vulkanik yang diterobos oleh batuan intrusi *comagmatic granitoid*. Batuan terobosan tersebut menjari dengan batuan sedimen laut dangkal.

c. Masa Pliosen - Terkini

Terdiri dari *sub aerial* vulkanik dengan komposisi andesit, dasit dan intrusi tingkat tinggi (Carlile et al., 1996; Kavalieris et al., 1992; Person & Caira, 1999). Pearson & Caira (1999) menunjukkan bahwa daerah busur Sulawesi Utara merupakan tempat terjadinya mineralisasi, pada Miosen awal terbentuk di bawah regime regional *dextral wrench-tectonic* dan pada masa Pliosen terbentuk di bawah regime *sinistral wrench-tectonic*. Busur normal Utara-Barat Laut dan busur sesar *parallel* Timur-Tenggara, terbentuk pada masa Miosen, mendominasi bentukan struktur. Perpotongan antara beberapa sesar utama umumnya merupakan daerah mineralisasi *porphyry* Cu-Au berkadar rendah dari masa Miosen. Pengaktifan kembali sinistral dari struktur utama Miosen pada akhir masa Miosen dan Pliosen menyebabkan terjadinya *rifting* dan dilasi yang berarah Timur-Timur Laut. Intrusi dari masa Plio-Pleistocene dan mineralisasi yang berhubungan mengeksploitasi kondisi ini. Sesar sinistral yang terjadi belakangan merupakan hasil dari tegangan yang berorientasi Timur-Barat yang disebabkan oleh inisiasi subduksi sepanjang sisi barat dari Laut Maluku. Berdasarkan fakta-fakta diatas keberadaan struktur-struktur merupakan komponen penting bagi mineralisasi di Bakan.

3.2.1.1 Fisiografi

Secara geologi, Sulawesi merupakan wilayah yang geologinya sangat kompleks, karena merupakan perpaduan antara dua rangkaian orogen (Busur Kepulauan Asia Timur dan Sistem Pegunungan Sunda). Sehingga hampir seluruhnya terdiri dari pegunungan, sehingga merupakan daerah paling berpegunungan di antara pulau-pulau di Indonesia (Sutardji, 2006 :100).

Fisiografi Pulau Sulawesi terbagi ke dalam lima lengan utama yaitu, lengan utara, lengan timur, lengan tengah, lengan tenggara, lengan selatan. Untuk Sulawesi lengan utara terbagi ke dalam tiga bagian, yaitu Seksi Minahara, Seksi Gorontalo, dan Jenjang Sulawesi Utara.

1. Seksi Minahara merupakan ujung timur dari lengan utara Sulawesi dengan arah timur laut barat daya yang bersambung dengan pegunungan Sangihe yang terbentuk akibat aktivitas vulkanis Pegunungan Soputan.
2. Seksi Gorontalo merupakan bagian tengah dari lengan utara Sulawesi dengan arah timur ke bawah, namun aktivitas vulkanis sudah padam yang lebar daratannya sekitar 35-110 km, tapi bagian baratnya menyempit 30 km (antara Teluk Dondo di pantai utara dan Tihimbo di pantai selatan). Seksi ini dilintasi oleh sebuah depresi menengah yang memanjang yaitu sebuah jalur antara rangkaian pegunungan di pantai selatan yang disebut *Zone Limboto*.

3. Jengjang Sulawesi Utara, merupakan lengan utara Sulawesi yang arahnya dari utara ke selatan dan terdapat depresi (lanjutan *Zone Limboto* di Gorontalo) yang sebagian besar ditutup oleh vulkan-vulkan muda, sedangkan antara lengan utara dan lengan timur dipisahkan oleh Teluk Tomini yang lebarnya 100 km dibagian timur dan sampai 200 km di bagian barat sedangkan dasar teluknya semakin dangkal kearah barat (kurang dari 200 meter) dan di bagian tengah Teluk Tomini tersebut terdapat pegunungan di bawah permukaan air laut dengan bagian tinggi berupa Kepulauan Togian (Sutardji; 2006; 101)

3.2.1.2 Stratigrafi Regional

Mengacu pada peta Lembar Geologi Kotamobagu (T.Apandi, dkk, 1997) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung susunan stratigrafi regional daerah penelitian dari muda ke tua diurutkan sebagai :

1. Aluvium dan Endapan Pantai (Qal) : terdiri atas pasir, lempung, lumpur, kerikil dan kerakal.
2. Batuan Gunung Api Ambang (Qav) : terdiri atas tufa, aglomerat, lava dan endapan belerang di dalam kawah. Tufa berwarna kelabu muda, lava pejal, bersusunan andesit hipersten-hornblende dan andesit hornblende. Gunung api Ambang masih aktif, berbentuk strato dengan lima lapangan fumarole.

3. Endapan Danau (Qpl) : penyusun utama satuan ini adalah batulempung kelabu, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit. Batupasir berbutir halus sampai kasar serta kerikil dijumpai di beberapa tempat. Satuan ini termampatkan lemah, tebalnya menurut data bor mencapai 94 meter (Trail, 1974).
4. Batuan Gunung Api Pinogu (TQpv) : terdiri atas tufa, tufa lapilli, breksi dan lava. Breksi gunung api yang disusun oleh Andesit piroksin dan Dasit terdapat di Pegunungan Bone, Gunung Mongadalia dan daerah Pusian. Tufa yang tersingkap di Gunung Lemibut dan Gunung Lolombulan umumnya mengandung batuapung, berwarna kuning muda, berbutir sedang-kasar, diselingi oleh Lava. Tufa dan tufa lapilli di sekitar Sungai Bone bersusun dasitan. Lava berwarna kelabu muda hingga kelabu tua, pejal, umumnya bersusunan andesit piroksin. Satuan ini secara umum termampatkan lemah-sedang, umurnya diduga Pliosen-Plistosen (John dan Bird, 1973).
5. Molasa Selebes (Qts) : merupakan endapan pasca orogeny yang terbentuk di cekungan-cekungan kecil, terdiri atas konglomerat, breksi serta batupasir, umumnya termampatkan lemah. Konglomerat dan breksi tersusun oleh aneka komponen berupa andesit, basal, granit, granodiorite, batugamping, batupasir maupun kuarsa. Satuan ini menunjukkan kemiringan landau sampai sekitar

30°, tebalnya mencapai beberapa puluh meter, umurnya diduga Pliosen-Plistosen (Sarasin & Sarasin, 1901).

6. Diorit Bone (Tmb) : terdiri atas diorite kuarsa, diorite, granodiorite dan granit. Diorite kuarsa banyak dijumpai di daerah Sungai Taludaa dengan keragaman diorite, granodiorite dan granit. Sedang granit utamanya dijumpai di daerah Sungai Bone. Satuan ini menerobos batuan gunung api Bilungala maupun formasi Tinombo. Umur satuan ini sekitar Miosen Akhir.
7. Formasi Tapadaka (Tmts) : terdiri atas batupasir, greywacke, batupasir terkarsikkan dan serpih. Batupasir berwarna kelabu muda hingga tua dan hijau, berbutir halus-kasar, mengandung batuan gunung api hijau dan serpih merah, setempat-setempat gampingan. Batupasir yang tersingkap di Sungai Tapadaka mengandung urat kalsit 0,5-1 cm. Greywacke berbutir halus-kasar, bersudut sampai membulat tanggung, pejal, tersusun oleh plagioklas, augit, kuarsa dan sedikit hematit dan magnetit. Batupasir yang tersingkap di sebelah selatan Maela terkarsikkan, hijau, kompak, mengandung feldspar serta sedikit pirit dan kalkopirit. Di daerah sebelah selatan Dumisili ditemukan batupasir yang kearah samping berganti menjadi batugamping (*Tmts1*). Serpih berwarna kelabu-hitam, mengandung fosil *Spaerodinella subdehiscens*, *Spaerodinella seminulina* dan *Globorotalia costensis* sehingga umurnya adalah Miosen Awal-Miosen Akhir (Kadar, 1979).

8. Anggota Batugamping Formasi Tapadaka (Tmtl) : merupakan batugamping kelabu terang, pejal, mengandung pecahan batuan gunung api hijau. Batugamping ini sebagian membentuk lensa-lensa di dalam Formasi Tapadaka dan sebagian berganti fasies ke arah samping menjadi batupasir. Fosil-fosil yang dikandung adalah *Lepidocyclina (Eulepidina) sp.*, *Lepidocyclina parva* (OPPENOORTH), *Lepidocyclina sumatrensis* (BRADY), *Lepidocyclina eppioides* (JONES & CHAPMAN), *Myogypsinoides sp.*, *Spiroclypeus sp.*, *Operculina sp.*, dan ganggang gampingan. Umur satuan ini adalah Miosen Awal-Miosen Akhir.
9. Batuan Gunung Api Bilungala (Tmbv) : terdiri atas breksi tufa dan lava bersusunan andesit, dasit dan riolit. Zeolite dan kalsit sering dijumpai pada penyusun breksi. Tufa umumnya bersifat dasitan, agak kompak dan berlapis buruk di beberapa tempat. Di daerah pantai selatan dekat Bilungala satuan ini dikuasai oleh lava dan breksi yang umumnya bersusunan dasit dan dicirikan oleh warna alterasi kuning sampai coklat, mineralisasi pirit, perekahan yang intensif serta banyak dijumpai batuan terobosan diorite. Propilitisasi, kloritisasi dan epidotisasi banyak dijumpai pada lava. Tebal satuan diperkirakan lebih dari 1000 meter, sedang umurnya berdasarkan kandungan fosil dalam sisipan batugamping adalah Miosen Bawah-Miosen Akhir.

10. Formasi Tinombo Fasies Sedimen (Tets) : tersusun atas serpih dan batupasir dengan sisipan batugamping dan rijang. Serpih kelabu dan merah, sebagian gampingan. Rijang mengandung radiolarian. Batupasir berupa Greywacke dan Batupasir kuarsa berwarna kelabu-hijau, pejal, berbutir halus-sedang, sebagian mengandung pirit. Sisipan batugamping di sungai Mayambak berwarna merah, pejal, dan berlapis baik. Satuan ini diterobos oleh granit, diorite dan trakit seperti yang terlihat di sungai Bayau. Satuan ini mempunyai hubungan menjemari dengan formasi Tinombo fasies gunung api (Ahlburg, 1913). Umur formasi ini menurut Ratman (1976) adalah Eosen-Oligosen Awal, sedangkan menurut Sukanto (1973) dan Brower (1934) adalah Kapur Akhir-Eosen Awal. Tebal formasi ini diduga lebih dari 1000 meter, sedang lingkungan pengendapannya adalah laut dalam.
11. Formasi Tinombo Fasies Gunung Api (Tetv) : tersusun atas lava basal, lava andesit, selingan batupasir hijau, sedikit konglomerat dan batugamping merah-kelabu. Lava basal umumnya berstruktur bantal, mengandung zeolite, barik-barik silica serta batulumpur merah gampingan yang mengisi antara struktur bantal. Lava bantal tersingkap dengan baik di Sungai Sogitia Kiki, di daerah dekat pantai utara dan banyak tersingkap di daerah Tilamuta. Struktur sedimen yang dijumpai pada batupasir dan batulanau antara lain berlapis sejajar, laminasi konvolut, laminasi sejajar dan laminasi

silang silur. Batugamping merah banyak mengandung fosil radiolarian. Berdasarkan asosiasi litologi dan struktur sedimennya maka satuan ini diduga terendapkan pada lingkungan laut dalam. Selingan batuan sedimennya diduga merupakan fasies turbidit. Umur satuan ini berdasarkan penarikan radiometri lava basal di beberapa tempat di lembar Kotamobagu oleh Villeneuve, drr. (1990) adalah sekitar 50 juta tahun atau Eosen. Satuan ini diterobos oleh retas-retas kecil batuan andesitan-basalan.



Gambar 3.1 Korelasi Satuan Peta Lembar Kotamobagu

3.2.1.3 Struktur Geologi Regional

Zona utara terdiri dari busur gunung api pengaruh subduksi berumur miosen akhir, hasil dari subduksi lempeng laut maluku dengan arah *dip* yang cenderung ke barat. Zona ini merupakan hasil dari lempeng samudra di utara, dan blok mikrokontinental berumur paleozoikum, kompleks metamorfisme Malino yang berasal dari perbatasan Australia -

New Guinea dari Gondwanaland dari Gondwanaland (Maulana et al., 2013).

Hamilton (1979) dan Katili (1975) menginterpretasikan bahwa tunjaman Sulawesi Utara sebagai zona subduksi konvergen antara laut Sulawesi dan lengan utara Sulawesi. Katili menganggap hanya bagian barat yang aktif bergerak, namun Hamilton (1979) menunjukkan bahwa bagian timur juga aktif. Weissel (1980) mengidentifikasi anomali magnetik berumur eosen di laut Sulawesi yang semakin muda kearah tunjaman Sulawesi Utara, menyiratkan subduksi eosen akhir dibawah tunjaman (Silver et al, 1983).

Struktur geometri dari tunjaman Sulawesi Utara telah telah dijelaskan dapat dijelaskan dengan rotasi negatif (searah jarum jam) dengan kutub terletak di ujung timur lengan utara (Silver et al, 1983).

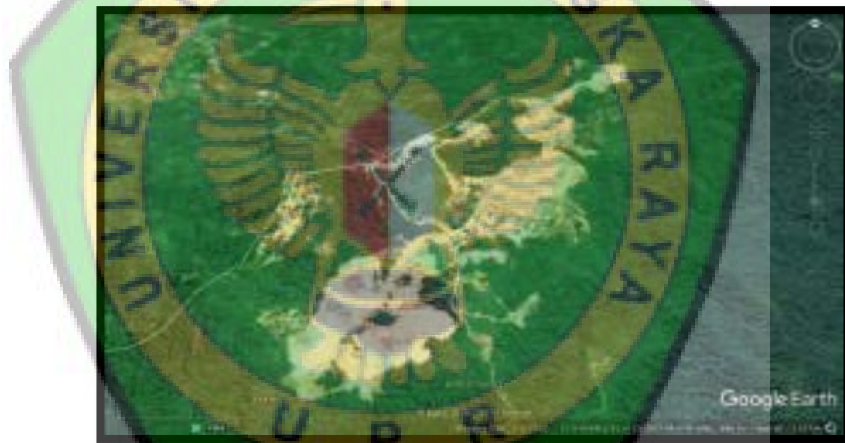
Menurut Surmont et al (1994), bagian barat dari utara Sulawesi mengalami rotasi searah jarum jam $20-25^{\circ}$ pada kala miosen. Rotasi ini tidak lain disebabkan oleh pengaruh sesar Palu-Matano yang memotong bagian barat lengan utara Sulawesi (Surmont et al, 1994).

3.2.2 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

3.2.2.1 Wilayah Penelitian

PT. J Resources Bolaang Mongondow (JRBM) adalah entitas anak dari PT. J Resources Nusantara (JRN) dan memiliki Kontrak Karya (KK) yang mencakup total area seluas 58.150 Ha yang terbagi kedalam dua blok terpisah: Blok Bakan dan Blok Lanut, keduanya berada di Provinsi

Sulawesi Utara, Indonesia. Blok Bakan merupakan tambang emas Bakan yang telah berproduksi sejak Desember 2013. Untuk tahun 2016 PT. JRBM memiliki target produksi 116.000 oz emas yang terbagi ke dalam empat *pit* yaitu *Pit Durian*, *Pit North-Osela*, *Pit South-Osela*, dan *Pit Main Ridge*. Terdapat tiga lokasi *dumping point* untuk material *waste mined*: *Waste Dump Durian 1*, *Waste Dump Durian Kanan*, dan *Waste Dump Durian 2*. Terdapat dua lokasi *dumping point* untuk material *ore mined*: *Stockpile Transisi* dan *Stockpile Oxide*. Berikut wilayah penambangan dari citra satelit (Gambar 3.2)



Gambar 3.2 Wilayah Penambangan PT. JRBM Melalui Citra Satelit
(Sumber : Google Earth, 2016)

3.2.2.2 Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi daerah penelitian termasuk morfologi Peninsula Minahasa yang tersusun dari rangkaian pegunungan vulkanik dengan ketinggian 200m-900m. Topografi didominasi oleh beberapa gejala geologi yang penting dengan bukti sebagai berikut :

1. Hampan vulkanik *resen* (Gunung Soputan) yang menunjukkan pola kerucut yang sangat jelas dan pola *drainase radial* menutupi batuan yang lebih tua.
2. Blok-blok vulkanik tua yang terangkat dan tererosi yang ditunjukkan oleh aliran air sungai yang sangat deras. Beberapa terdiri dari batu gamping yang membentuk topografi *karst*.
3. Runtuhan atau depresi tektonik yang paralel dengan busur yang menciptakan Lembah Dumoga yang sangat luas di bagian barat Kotamobagu.
4. Sesar-sesar normal yang menunjukkan kontrol terhadap sistem sungai-sungai besar yang berumur Resen.

Daerah ini kebanyakan tertutupi oleh hutan primer kecuali pada daerah vulkanik muda dimana lahan tersebut telah digunakan untuk penanaman cengkeh dan perkebunan.

3.2.2.3 Lithologi Daerah Penelitian

1. Tipe Endapan Bakan

Di daerah prospek Bakan, pembentukan mineral ubahan hidrotermal disertai oleh mineralisasi bijih. *Pirit* merupakan mineral bijih yang paling dominan dijumpai pada zona ubahan, sebagai urat halus (*vein*) maupun dalam bentuk tersebar (*disseminated*). Mineral sulfida lainnya seperti *kalkopirit*, *sphalerit*, dan *arsenopirit* hadir pada tipe ubahan *propilitik*. *Pirit*, *sphalerit*

dan *galena* hadir pada tipe ubahan *advance argillic*. *Pirit*, *sphalerit*, *limonit*, *hematit* dan *magnetit* hadir pada tipe ubahan silisifikasi. *Pirit* dan mineral oksida seperti *limonit*, *magnetit*, dan *hematit* hadir pada tipe ubahan intermediet *argillic* temperatur tinggi.

Tipe ubahan intermediet *argillic* temperatur rendah merupakan zona yang paling sedikit mengandung mineral sulfida maupun oksida yaitu *pirit* dan *magnetit*. Mineralisasi bijih sebagian besar membentuk tekstur *colloform* dan *disseminated* yang menempati rekahan atau ruang antar butiran. Tipe ubahan dan mineralisasi di daerah Bakan, menunjukkan banyak kesamaan dengan endapan bijih tipe epitermal, khususnya sistem sulfidasi tinggi yang terdapat di beberapa tempat (Heald, 1987, Giggenbach, 1992 dan Hedenquist, 1995).

Kehadiran tipe ubahan silisifikasi, *advance argillic*, intermediet *argillic* temperatur tinggi, intermediet *argillic* temperatur rendah dan tipe ubahan *propilitik*, dan kehadiran kelompok mineral ubahan *kuarsa*, *alunit*, *kaolinit*, *dickit*, *smectit*, *illit*, *halloysit*, *purohillit*, dan lempung, yang diikuti dengan mineralisasi bijih, mendukung bahwa lingkungan sistem mineralisasi di daerah penelitian adalah tipe endapan epitermal sistem sulfida tinggi. Hal ini lebih diperkuat oleh pola dan tekstur mineralisasi, yang didominasi oleh *breksiasi*, *vuggy* dan *silika*

masif serta kenampakan tekstur *colloform* dan *disseminated* yang dominan.

Tipe endapan epitermal sistem sulfidasi tinggi terbentuk pada lingkungan hidrotermal yang berhubungan dengan kegiatan vulkanisme aktif, pada sistem ini, komponen-komponen yang reaktif berasal dari sumber oksida magmatik yang naik ke permukaan dan beraksi dengan air tanah di sekitar batuan sehingga terbentuk larutan yang bersifat asam.

2. Cadangan Bijih Emas

Berdasarkan evaluasi pada studi kelayakan yang dilakukan, diketahui bahwa sumberdaya yang ada di area penambangan di bakau sebesar 604.300 oz dengan *cut-off grade* 0.3 g/t dan cadangan yang terdapat di area penambangan sebesar 8.241.500 gr (1 oz = 31,10 gr) pada *cut-off grade* 0.3 g/ton emas.

3.2.2.4 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi daerah penelitian merupakan zona tumpang tindih antara patahan berarah timur laut dan barat laut. Daerah diantara Amurang Belang dan Inobonto Nuangan adalah zona struktur transisi. Struktur timur laut dan barat laut saling tumpang tindih pada arah utara barat laut dan merupakan kontrol struktur yang dominan. Patahan berarah timur laut yang terdapat di Minahasa, telah menghasilkan struktur *graben* besar terutama di Lembah Dumoga ke arah barat. Batas dari *graben* ini menjadi fokus dari vulkanisme Post Miosen dan sebagai zona

patahan/struktural yang merupakan pengontrol utama kontak antar batuan dan ubahan pada daerah penelitian. Prospek emas di *Pit Durian*, *Osela*, *Main Ridge*, dan *Camp Site*, hanyalah contoh beberapa *silica ledge* yang berlokasi di distrik emas Bakan. *Silika ledge* ini merupakan zona alterasi terdiri dari *vuggy silica* sebagai intinya, dikelilingi oleh *silica-alunit*, *kaolinit-alunit*, dan *ilit-smektit assemblage*. Inti *silica* membentuk punggung karena ketahanannya terhadap pelapukan dan erosi. Daerah prospek emas di Bakan diidentifikasi pada awalnya melalui punggung-punggungan tersebut.

3.2.2.5 Curah Hujan Daerah Penelitian

Iklm di daerah penelitian yaitu tropis dengan dua musim per tahun, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Berdasarkan data iklim Kabupaten Bolaang Mongondow, daerah penelitian mempunyai curah hujan rata-rata 174,30 mm dengan suhu rata-rata 25,89° Celcius dan kelembapan mencapai 89%. Seperti pada umumnya daerah tropis, jenis hujan yang terjadi pada umumnya adalah hujan konvektif yang mempunyai ciri intensitas hujan yang tinggi dengan durasi hujan yang pendek. Dari data curah hujan PT. J Resources Bolaang Mongondow, dapat dilihat bahwa daerah penelitian memiliki intensitas curah hujan yang tinggi.

3.3 Alat dan Bahan

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Palu geologi (palu beku)

2. Kompas geologi (brunton)
3. Alat tulis lengkap
4. Meteran
5. Kamera
6. Patok penanda segmen
7. Pita penanda segmen

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Rock Mass Cell Mapping Sheet*
2. *Rock Mass Discontinuity Survey Data Sheet*

3.4 Tata Laksana Penelitian

3.4.1 Metode Penelitian

Di dalam melaksanakan penelitian ini, penulis menggunakan metode Kuantitatif, dan Deskriptif Kualitatif. Metode kuantitatif yaitu data yang dianalisis berupa angka-angka. Sedangkan metode Deskriptif Kualitatif yaitu menganalisis data-data yang ada dengan menggunakan deskripsi kata-kata dan juga gambar.

Metode pengambilan data yang dilakukan sebagai referensi penyusunan skripsi sebagai berikut:

a. Studi Pustaka

Pemahaman mengenai teori kekuatan massa batuan RMR serta teori kestabilan lereng SMR. Selain itu pemahaman lebih dalam terkait konsep klasifikasi lereng yang menyangkut elemen-elemen

yang berpengaruh terhadap massa batuan pada lereng dan jenis-jenis longsoran yang terjadi baik dari buku, jurnal, internet, dan lain-lain.

b. Tinjauan Lapangan

Tahap orientasi awal di lapangan yang dilakukan setelah tiba di lokasi penelitian agar mendapatkan gambaran awal dan rencana yang menjadi acuan hingga akhir.

c. Pengumpulan Data

Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan semua data yang telah di peroleh dari lapangan maupun data dari pihak perusahaan, data dokumentasi berupa foto-foto maupun data hasil pengukuran yang diperoleh langsung dari lapangan.

d. Pengolahan Data

Metode ini dilakukan dengan mengolah data yang telah dikumpulkan sebelumnya dan melakukan analisis data.

Adapun rencana pengolahan data yang dilakukan yaitu :

1. Menghitung nilai *Rock Mass Rating* (RMR) sesuai dengan parameternya (*Rock Mass Condition, Rock Quality Designation, Joint Conditon, Water*).
2. Melakukan proyeksi data kekar (*dip dan dip direction*) pada *software Dips*.
3. Menganalisis hasil proyeksi *software Dips* sesuai persyaratan umum longsoran.

4. Menghitung nilai *Slope Mass Rating* (SMR) sesuai dengan parameteranya.
 5. Dari hasil analisis kemudian dibuat *output* berupa peta zonasi tiap analisis yang dilakukan yaitu Peta Zonasi RMR, Peta Zonasi SMR dengan menggunakan *software* Surpac dan Arcgis.
- e. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini data-data yang telah didapatkan baik itu berupa hasil pengamatan maupun pengujian langsung dilapangan, disusun dalam bentuk laporan dan dipresentasikan di Jurusan.

3.4.2 Langkah Kerja

1. Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan dalam penyusunan Skripsi ini adalah dengan mempelajari literatur-literatur baik yang didapatkan melalui buku, laporan, jurnal ataupun dari internet yang berkaitan dengan klasifikasi *Rock Mass Rating* dan *Slope Mass Rating*.
2. Tahapan pengambilan data
 - a. Hal yang pertama kali dilakukan adalah orientasi lapangan, hal ini berguna untuk mengetahui bagaimana kondisi daerah penelitian yang diharapkan dapat mempermudah dalam pengambilan data saat penelitian.
 - b. Pengambilan data

Pengambilan data oleh penulis terdiri dari dua jenis yaitu data primer dan sekunder. Data primer terdiri atas parameter-

parameter yang diperlukan untuk klasifikasi *Rock Mass Rating* dan *Slope Mass Rating*. Data Primer didapatkan di lokasi penelitian menggunakan metode *Windows Mapping* (Wyllie & Mah, 2004).

Windows Mapping merupakan metode dengan pengambilan data sifat keteknikan batuan beserta orientasi-orientasi struktur dan lereng dengan interval wilayah horizontal tiap 10 meter (segmen) dengan memasang patok-patok sebagai penanda wilayah dari titik awal hingga titik akhir penelitian. Adapun secara vertikal, data yang diambil menyesuaikan dengan ketinggian *bench* dan keterdapatannya akses untuk mengambil data di *bench* tersebut. Data sekunder didapatkan dengan menggunakan data dan hasil penelitian yang telah ada sebelumnya.

Data Primer

Data yang dibutuhkan dalam klasifikasi RMR terdiri dari :

1. Kekuatan *Intact Rock Strength* (IRS) yang didapat melalui ketahanan batuan dalam menerima pukulan palu geologi hingga hancur dengan melakukan pengujian langsung di lapangan (*Direct Method*).
2. Spasi Bidang Diskoninuitas (*Joint*) yaitu jarak antar dua bidang diskontinuitas yang saling berdekatan dalam satu cell sejajar dengan arah normal atau tegak lurus bidang

diskontinuitas pada set yang sama dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan (*Direct Method*).

3. *Joint Condition* (*aperture, roughness, persistence, infilling* dan *weathering*) dengan pengukuran langsung di lapangan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan (*Direct Method*).
4. Kondisi air tanah (*Ground Water*) yang didapat dari kondisi kelembapan pada batuan dan diskontinuitas yang diamati di lapangan dengan metode langsung yaitu meraba permukaan lereng dengan tangan (*Direct Method*).

Data yang dibutuhkan dalam klasifikasi SMR meliputi:

1. RMR_{basic} yaitu total nilai gabungan parameter *Rock Mass Rating* yang telah disebutkan sebelumnya yang dilakukan dengan metode langsung di lapangan (*Direct Method*).
2. Orientasi lereng tiap 10 meter yang diukur dengan kompas brunton meliputi *dip* dan *dip direction* dengan metode langsung (*Direct Method*) dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan.

Data Sekunder

1. Data *coring* untuk menghitung nilai RQD yang didapatkan dari database *Mine Geology Department*.

2. RQD (*Rock Quality Designation*) didapat dengan pengukuran panjang batuan yang memiliki panjang lebih dari 10 cm pada batuan hasil *coring*. Pada penelitian ini nilai RQD didapatkan dengan menggunakan data sekunder dari *Mine Geology Departement*.
3. *Update Plant Site Bakan*.

3. Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. *Rock Mass Rating (RMR)*

1. Menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung *Rating* dari tiap parameter RMR dengan Ms. Excel.
2. Menggunakan metode kualitatif dengan mengklasifikasikan tiap kualitas *rating* dari lereng dengan mengeplot kedalam bentuk peta dengan menggunakan *Software Surpac* dan ArcGIS dengan *output* berupa peta Zonasi RMR.

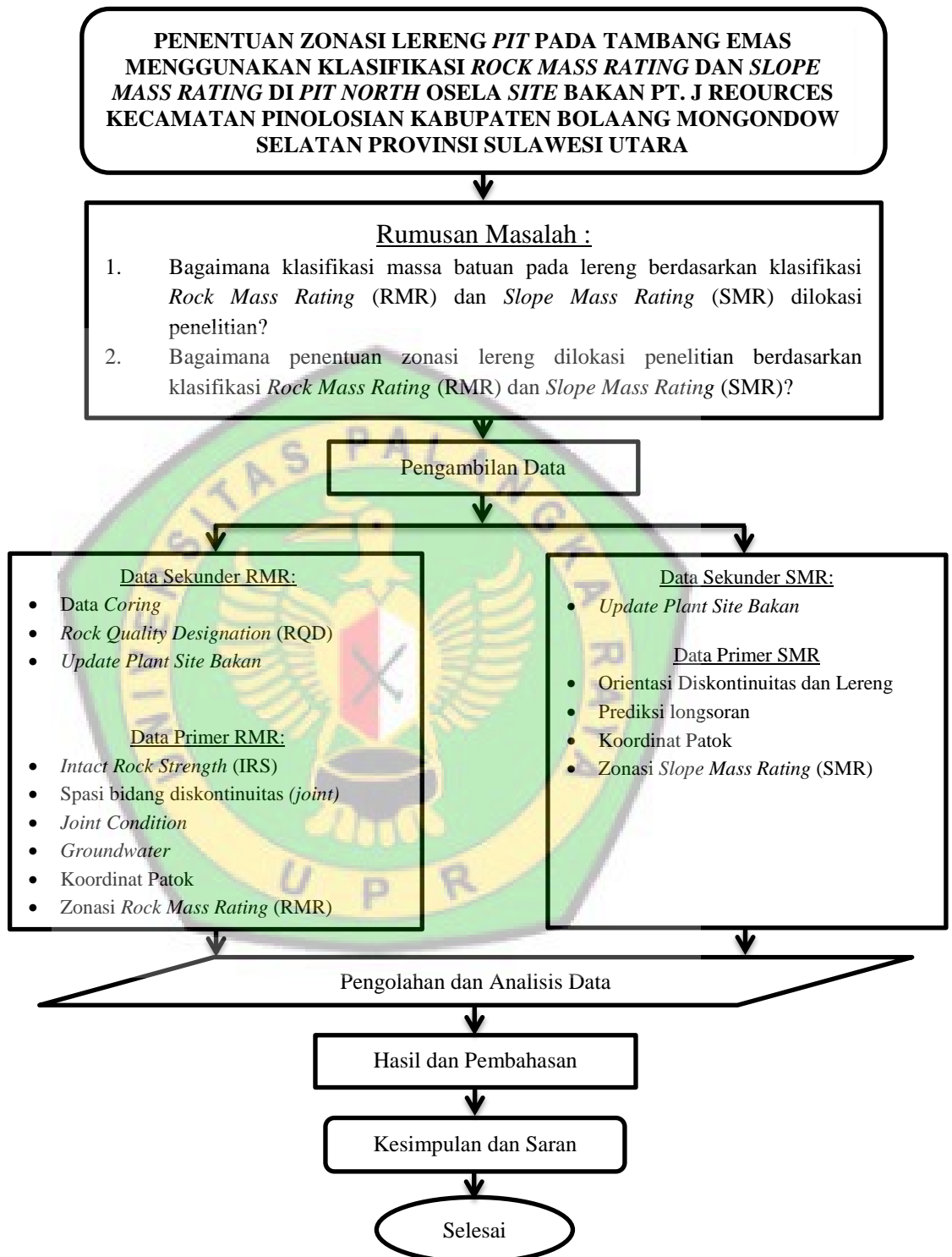
b. *Slope Mass Rating (SMR)*

1. Menggunakan metode streografis untuk mengetahui jenis longoran yang terjadi dengan memasukkan nilai *Dip* dan *Dip Direction* dari diskontinuitas dan lereng yang telah diukur sebelumnya dengan metode langsung (*Direct method*) dengan menggunakan kompas Brunton.

2. Dengan metode kuantitatif setelah mengetahui jenis longsoran dengan menggunakan Ms.Excel dan menghitung *rating* dari tiap parameter SMR.
3. Menggunakan metode kualitatif dengan mengklasifikasikan tiap kualitas *rating* dari lereng dengan mengeplot kedalam bentuk peta dengan menggunakan *Software* Surpac dan ArcGIS dengan *output* berupa peta Zonasi SMR.



3.5 Diagram Alir Pelaksanaan Skripsi



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil dan pengolahan data dari lapangan mengenai penentuan zonasi lereng tambang emas berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) pada bulan November 2018 di PT. J Resources Bolaang Mongondow didapatkan hasil dan pembahasan sebagai berikut :

4.1 Hasil

4.1.1 Klasifikasi Massa Batuan

Dalam penentuan klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini. Klasifikasi massa batuan dibuat berdasarkan sifat keteknikan dari masing-masing batuan. Tujuan dibuat klasifikasi adalah untuk aplikasi batuan dalam kepentingan keteknikan sehingga dapat diketahui penggunaan suatu batuan untuk kepentingan tertentu. Dalam hal ini, untuk mengetahui kestabilan lereng tambang yang tersusun atas batuan-batuan yang bisa berbeda-beda jenisnya sehingga akan berbeda kekuatannya.

4.1.1.1 *Rock Mass Rating* (RMR)

Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) mempertimbangkan faktor seperti yang telah dijelaskan di bab sebelumnya. Parameter seperti *Intact Rock Strength* (IRS), Spasi bidang diskontinuitas (*Joint*), kemenerusan

kekar (*Persistence*), lebar bukaan kekar (*Fill Width*), kekasaran kekar (*Roughness*), material pengisi (*Fill Strength*), tingkat kelapukan (*Weathering*), kondisi air tanah (*Ground Water*) dan nilai *Rock Quality Designation* (RQD).

Klasifikasi nilai *Rock Mass Rating* (RMR) dengan menggunakan parameter diatas sebagai berikut :

1. *Intact Rock Strength* (IRS)

Dalam menentukan kekuatan batuan utuh di lapangan, penulis menggunakan pendekatan dengan palu geologi yang berdasarkan tabel *field estimate of Uniaxial Compressive Strength of Intact Rock* (Hoek-Brown, 1981). Untuk nilai R0 (*Extremely Weak*) dimana batuan dapat dihancurkan dengan kuku ibu jari (*indented by thumbnail*), R1 (*Very Weak*) dimana batuan remuk dibawah pukulan ujung runcing palu geologi atau dapat dikupas dengan pisau saku (*crumbles under firm blow of geologic hammer pick, peeled by pocket knife*), R2 (*Weak*) dimana lekukan dangkal dibawah pukulan ujung runcing palu geologis (*shallow indentation under firm blow of pick end of geologic hammer*), R3 (*medium strong*) dimana batuan hancur dengan satu pukulan palu geologis (*fracture with single firm blow of geologic hammer*), R4 (*Strong*) dimana batuan membutuhkan lebih dari satu pukulan palu untuk patah (*Requires more than one blow of hammer to fracture*), R5 (*Very Strong*) dimana batuan membutuhkan banyak pukulan palu untuk patah (*Requires many blows of hammer to fracture*), R6 (*Extremely Strong*)

dimana batuan hanya dapat sumbing dengan pukulan kuat palu geologi (*can only chipped with strong blows of hammer*). Tabel *Intact Rock Strength* dengan hasil uji batuan dilapangan (*direct method*) dengan palu geologi sebagai berikut.

Tabel 4.1 *Intact Rock Strength*

Segmen	<i>Intact Rock Strength (IRS)</i>	Rating	Jenis
TPA 750 A-B	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 B-C	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 C-D	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 C-D	R1	1	Argilik
TPA 750 D-E	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 D-E	R1	1	Argilik
TPA 750 E-F	R1	1	Argilik
TPA 750 F-G	R1	1	Argilik
TPA 750 G-H	R1	1	Argilik
TPA 750 H-I	R1	1	Argilik
TPA 750 I-J	R1	1	Argilik
TPA 750 J-K	R1	1	Argilik
TPA 750 K-L	R1	1	Argilik
TPA 750 L-M	R3	4	Argilik
TPA 750 M-N	R3	4	Argilik
TPA 750 N-O	R1	1	Argilik
TPA 750 O-P	R3	4	Adv. Argilik
TPA 750 P-Q	R3	4	Adv. Argilik
TPA 750 P-Q	R1	1	Argilik
TPA 750 Q-R	R1	1	Argilik
TPA 750 R-S	R1	2	Argilik
TPA 750 S-T	R2	2	Argilik
TPA 750 T-U	R1	1	Argilik
TPA 750 U-V	R0	0	Argilik
TPA 750 V-W	R0	0	Argilik
TPA 750 W-X	R0	0	Argilik
TPA 750 X-Y	R0	0	Argilik
TPA 750 Y-Z	R0	0	Argilik
TPA 750 Z-A'	R0	0	Argilik

TPA 750 A'-B'	R0	0	Argilik
TPA 750 B'-C'	R1	1	Argilik
TPA 750 C'-D'	R1	1	Argilik
TPA 750 D'-E'	R1	2	Argilik
TPA 750 E'-F'	R3	4	Argilik
TPA 750 F'-G'	R3	4	Argilik
TPA 750 G'-H'	R3	4	Argilik
TPA 750 H'-I'	R3	4	Argilik
TPA 750 I'-J'	R1	1	Argilik
TPA 750 J'-K'	R1	1	Argilik
TPA 750 K'-L'	R1	1	Argilik
TPA 750 L'-M'	R1	1	Argilik
TPA 750 M'-N'	R1	1	Argilik
TPA 750 N'-O'	R1	1	Argilik
TPA 750 O'-P'	R1	1	Argilik
TPA 750 P'-Q'	R1	1	Argilik
TPA 750 Q'-R'	R1	1	Argilik
TPA 750 S'-T'	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 T'-U'	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 U'-V'	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 V'-W'	R1	1	Argilik
TPA 750 W'-X'	R3	1	Argilik
TPA 750 X'-Y'	R3	2	Argilik
TPA 750 Y'-Z'	R2	1	Argilik
TPA 750 Z'-A''	R2	1	Argilik
TPA 750 A''-B''	R3	1	Argilik
TPA 750 B''-C''	R3	4	Argilik
TPA 750 C''-D''	R3	4	Argilik
TPA 750 D''-E''	R1	1	Argilik
TPA 750 E''-F''	R4	7	Adv. Argilik
TPA 750 F''-G''	R4	7	Adv. Argilik
TPA 750 F''-G''	R2	2	Argilik
TPA 750 G''-H''	R1	1	Argilik
TPA 750 H''-I''	R1	1	Argilik
TPA 750 I''-J''	R1	1	Argilik
TPA 750 I''-J''	R4	7	Adv. Argilik
TPA 750 J''-K''	R4	7	Adv. Argilik
TPA 750 J''-K''	R1	1	Argilik
TPA 750 K''-L''	R4	7	Adv. Argilik

TPA 750 K"-L"	R2	2	Argilik
TPA 750 L"-M"	R1	1	Argilik
TPA 750 M"-N"	R1	1	Argilik
TPA 750 N"-O"	R1	1	Argilik
TPA 750 O"-P"	R1	1	Argilik
TPA 750 P"-Q"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 Q"-R"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 R"-S"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 S"-T"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 T"-U"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 U"-V"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 V"-W"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 W"-X"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 X"-Y"	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 Y"-Z'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 Z'''-A'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 A'''-B'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 B'''-C'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 C'''-D'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 D'''-E'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 E'''-F'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 765 F'''-G'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 G'''-H'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 H'''-I'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 I'''-J'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 J'''-K'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 K'''-L'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 L'''-M'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 M'''-N'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 N'''-O'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 O'''-P'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 P'''-Q'''	R0	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 Q'''-R'''	R0	0	<i>Top Soil</i>

2. Spasi Bidang Diskontinuitas (*Joint*)

Spasi Bidang Diskontinuitas yang dihitung di lapangan merupakan jarak kekar merupakan jarak antar dua bidang diskontinuitas yang saling

berdekatan dalam satu *cell* sejajar dengan arah normal atau tegak lurus bidang diskontinuitas (Priest dan Hudson, 1976 dalam Rumansara, 2007), sehingga Pengukuran jarak antar diskontinuitas dilakukan pada set yang sama. Bieniawski (1989) tidak menjelaskan bagaimana cara menghitung spasi diskontinuitas apabila terdapat lebih dari satu set diskontinuitas pada suatu massa batuan. Namun, mengacu kepada Edelbro (2003 op cit. Palmstrom, 2005) yang intinya menyatakan bahwa apabila terdapat lebih dari satu set diskontinuitas dalam massa batuan, maka jarak diskontinuitas yang digunakan adalah jarak diskontinuitas yang memiliki nilai rata-rata terkecil (Endartyanto, 2007). Berikut tabel Spasi Bidang Diskontinuitas yang telah diukur di lapangan dengan menggunakan meter.

Tabel 4.2 Spasi Bidang Diskontinuitas

Segmen	Av. FF/m (<i>Spacing</i>)	Rating	Jenis
TPA 750 A-B	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 B-C	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 C-D	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 C-D	>2m	20	Argilik
TPA 750 D-E	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 D-E	>2m	20	Argilik
TPA 750 E-F	>2m	20	Argilik
TPA 750 F-G	>2m	20	Argilik
TPA 750 G-H	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 H-I	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 I-J	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 J-K	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 K-L	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 L-M	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 M-N	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 N-O	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 O-P	0.2-0.6m	10	Adv. Argilik
TPA 750 P-Q	<0.06m	5	Adv. Argilik

TPA 750 P-Q	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 Q-R	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 R-S	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 S-T	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 T-U	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 U-V	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 V-W	0.2-0.6m	10	Argilik
TPA 750 W-X	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 X-Y	>2m	20	Argilik
TPA 750 Y-Z	>2m	20	Argilik
TPA 750 Z-A'	>2m	20	Argilik
TPA 750 A'-B'	>2m	20	Argilik
TPA 750 B'-C'	0.2-0.6m	10	Argilik
TPA 750 C'-D'	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 D'-E'	0.6-2m	15	Argilik
TPA 750 E'-F'	0.6-2m	15	Argilik
TPA 750 F'-G'	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 G'-H'	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 H'-I'	>2m	20	Argilik
TPA 750 I'-J'	0.6-2m	15	Argilik
TPA 750 J'-K'	0.6-2m	15	Argilik
TPA 750 K'-L'	<0.06m	5	Argilik
TPA 750 L'-M'	0.6-2m	15	Argilik
TPA 750 M'-N'	0.2-0.6m	10	Argilik
TPA 750 N'-O'	0.6-2m	15	Argilik
TPA 750 O'-P'	>2m	20	Argilik
TPA 750 P'-Q'	>2m	20	Argilik
TPA 750 Q'-R'	>2m	20	Argilik
TPA 750 S'-T'	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 T'-U'	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 U'-V'	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 750 V'-W'	>2m	20	Argilik
TPA 750 W'-X'	>2m	20	Argilik
TPA 750 X'-Y'	0.2-0.6m	10	Argilik
TPA 750 Y'-Z'	>2m	20	Argilik
TPA 750 Z'-A''	0.2-0.6m	10	Argilik
TPA 750 A''-B''	>2m	20	Argilik
TPA 750 B''-C''	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 C''-D''	<0.06m	5	Argilik

TPA 750 D"-E"	>2m	20	Argilik
TPA 750 E"-F"	<0.06m	5	Adv. Argilik
TPA 750 F"-G"	0.06-0.2m	8	Adv. Argilik
TPA 750 F"-G"	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 G"-H"	>2m	20	Argilik
TPA 750 H"-I"	>2m	20	Argilik
TPA 750 I"-J"	0.6-2m	15	Argilik
TPA 750 I"-J"	0.6-2m	15	Adv. Argilik
TPA 750 J"-K"	0.06-0.2m	8	Adv. Argilik
TPA 750 J"-K"	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 K"-L"	0.06-0.2m	8	Adv. Argilik
TPA 750 K"-L"	0.06-0.2m	8	Argilik
TPA 750 L"-M"	>2m	20	Argilik
TPA 750 M"-N"	>2m	20	Argilik
TPA 750 N"-O"	>2m	20	Argilik
TPA 750 O"-P"	>2m	20	Argilik
TPA 750 P"-Q"	-	0	Top Soil
TPA 765 Q"-R"	-	0	Top Soil
TPA 765 R"-S"	-	0	Top Soil
TPA 765 S"-T"	-	0	Top Soil
TPA 765 T"-U"	-	0	Top Soil
TPA 765 U"-V"	-	0	Top Soil
TPA 765 V"-W"	-	0	Top Soil
TPA 765 W"-X"	-	0	Top Soil
TPA 765 X"-Y"	-	0	Top Soil
TPA 765 Y"-Z"	-	0	Top Soil
TPA 765 Z"-A"	-	0	Top Soil
TPA 765 A"-B"	-	0	Top Soil
TPA 765 B"-C"	-	0	Top Soil
TPA 765 C"-D"	-	0	Top Soil
TPA 765 D"-E"	-	0	Top Soil
TPA 765 E"-F"	-	0	Top Soil
TPA 765 F"-G"	-	0	Top Soil
TPA 775 G"-H"	-	0	Top Soil
TPA 775 H"-I"	-	0	Top Soil
TPA 775 I"-J"	-	0	Top Soil
TPA 775 J"-K"	-	0	Top Soil
TPA 775 K"-L"	-	0	Top Soil
TPA 775 L"-M"	-	0	Top Soil

TPA 775 M'''-N'''	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 N'''-O'''	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 O'''-P'''	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 P'''-Q'''	-	0	<i>Top Soil</i>
TPA 775 Q'''-R'''	-	0	<i>Top Soil</i>

3. *Rock Quality Designation (RQD)*

Nilai *Rock Quality Designation* merupakan nilai kualitas massa batuan secara kualitatif. Didaerah penelitian terdapat inti bor (*core*) yang bisa digunakan untuk menghitung nilai RQD. Untuk menghitung nilai RQD batuan teralterasi argilik dan *advance* argilik menggunakan rumus Deere (1970) dengan memasukkan data panjang *core* lebih besar sama dengan 10 cm dibagi dengan panjang total *core* (lubang bor).

$$RQD = \frac{\text{Panjang } core \geq 10 \text{ cm}}{\text{Panjang total } core \text{ (lubang bor)}}$$

Tabel 4.3 Hasil *Coring* OSD629

OSD 629	<i>Depth From</i>	<i>Depth To</i>	Panjang <i>Core</i> (M)	RQD (Cm)
	64.9	66.4	1.5	80
	66.4	67.9	1.5	80
	67.9	69.4	1.5	60
	69.4	70.9	1.5	120
	70.9	72.4	1.5	150
	72.4	73.7	1.3	50
	73.7	74.1	0.4	15
	75	76.4	1.4	10
	76.4	76.9	0.5	20
	76.9	78.4	1.5	10
	79.9	81.4	1.5	80
	81.4	82.9	1.5	130
	82.9	83.4	0.5	40
	83.4	84.9	1.5	50
Total			17.6	895

$$RQD = \frac{\text{Pajang core} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Panjang total core (lubang bor)}}$$

$$RQD = \frac{8.95 \text{ m}}{17.6 \text{ m}}$$

$$RQD = 0.508$$

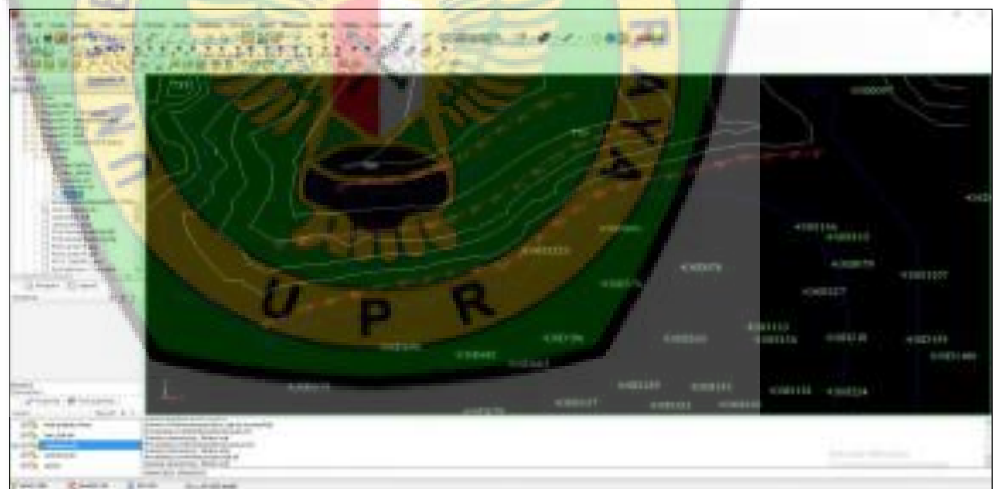
$$RQD = 0.508 \times 100\%$$

$$RQD = 50.8\%$$

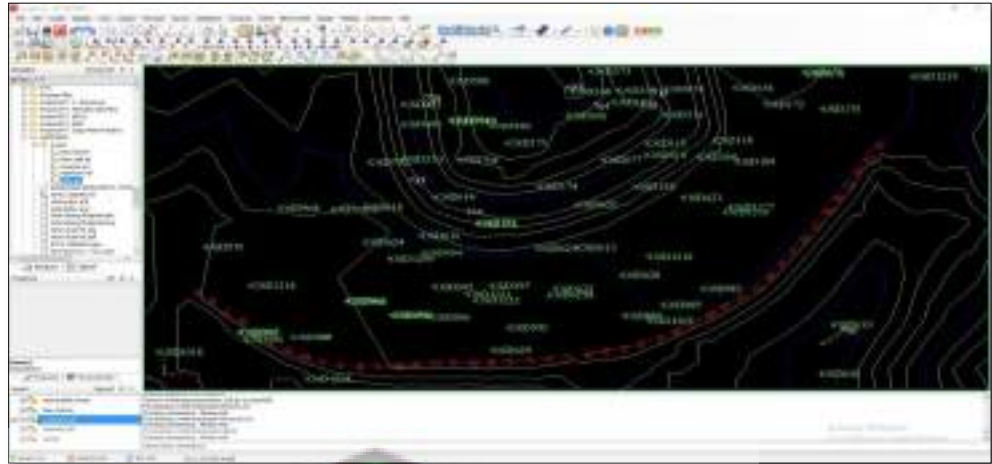
$$RQD = 51\%$$

Tabel 4.4 *Rock Quality Designation (RQD)*

BHID	X	Y	Z	RQD%	Rating
OSD996	646698.5	64366.837	766.711	66.6	13
OSD100	646786.9	64334.517	776.669	86.6	17
OSD629	646966.2	64755.934	767.77	50.8	13
OSD985	646919.6	64387.698	769.253	60	13
OSD983	646940.9	64398.111	768.058	86.6	17
OSD097	647154.3	64868.793	747.339	65	13
OSD200	647054	64808.004	783.366	76.6	13



Gambar 4.1 Penampakan BHID pada segmen S'-Q''' dengan Surpac 6.5.1



Gambar 4.2 Penampakan BHID pada segmen A- R' dengan Surpac 6.5.1

4. *Joint Condition* (Kondisi Diskontinuitas)

Keadaan bidang diskontinuitas didapatkan dari deskripsi secara langsung dilapangan berupa tingkat kemenerusan bidang diskontinuitas, lebar bukaan, kekasaran bidang diskontinuitas, material pengisi bidang diskontinuitas, dan tingkat pelapukan. Berdasarkan pengamatan di lapangan kondisi diskontinuitas berupa panjang diskontinuitas, lebar bukaan, halus-kasar, material pengisi, tingkat pelapukan diskontinuitas, dan kondisi diskontinuitas untuk masing-masing lereng (Lampiran G).

Tabel *Joint Conditon* (kondisi diskontinuitas) sebagai berikut.

Tabel 4.5 *Rating Joint Condition* (kondisi diskontinuitas)

Segmen	Persistense	Fill Width	Roughness	Fill Strength	Weathering
TPA750 A-B	0	0	0	0	0
TPA 750 B-C	0	0	0	0	0
TPA 750 C-D _(TS)	0	0	0	0	0
TPA 750 C-D _(Ar)	6	6	1	6	1
TPA 750 D-E _(TS)	0	0	0	0	0
TPA 750 D-E _(Ar)	6	6	1	6	1
TPA 750 E-F	6	6	1	6	1
TPA 750 F-G	6	6	1	6	1
TPA 750 G-H	2	1	1	6	1
TPA 750 H-I	6	5	1	6	1
TPA 750 I-J	4	1	1	6	1
TPA 750 J-K	4	1	1	6	1
TPA 750 K-L	6	0	1	6	1

TPA 750 L-M	6	0	5	6	3
TPA 750 M-N	6	0	5	6	3
TPA 750 N-O	6	1	1	6	1
TPA 750 O-P	4	1	5	6	3
TPA 750 P-Q _(Adv.Ar)	6	1	5	6	3
TPA 750 P-Q _(Ar)	6	1	1	6	1
TPA 750 Q-R	6	0	1	6	1
TPA 750 R-S	6	1	3	6	3
TPA 750 S-T	6	1	3	6	3
TPA 750 T-U	6	0	1	6	1
TPA 750 U-V	4	0	1	6	1
TPA 750 V-W	4	0	1	6	1
TPA 750 W-X	4	0	1	6	1
TPA 750 X-Y	6	6	0	6	0
TPA 750 Y-Z	6	6	0	6	0
TPA 750 Z-A'	6	6	0	6	0
TPA 750 A'-B'	6	6	0	6	0
TPA 750 B'-C'	4	1	1	6	1
TPA 750 C'-D'	6	0	1	6	1
TPA 750 D'-E'	6	1	3	6	3
TPA 750 E'-F'	6	1	3	6	3
TPA 750 F'-G'	6	5	3	6	3
TPA 750 G'-H'	6	1	3	6	3
TPA 750 H'-I'	4	0	3	6	3
TPA 750 I'-J'	4	1	1	6	1
TPA 750 J'-K'	6	1	1	6	1
TPA 750 K'-L'	6	5	1	6	1
TPA 750 L'-M'	6	1	1	6	1
TPA 750 M'-N'	6	1	1	6	1
TPA 750 N'-O'	2	0	1	6	1
TPA 750 O'-P'	6	6	1	6	1
TPA 750 P'-Q'	6	6	1	6	1
TPA 750 Q'-R'	6	6	1	6	1
TPA 750 S'-T'	-	-	-	-	-
TPA 750 T'-U'	-	-	-	-	-
TPA 750 U'-V'	-	-	-	-	-
TPA 750 V'-W'	6	1	1	6	1
TPA 750 W'-X'	6	1	1	6	1
TPA 750 X'-Y'	6	6	1	6	1
TPA 750 Y'-Z'	6	6	1	6	1
TPA 750 Z'-A''	6	0	1	6	1
TPA 750 A''-B''	6	6	1	6	1
TPA 750 B''-C''	4	1	3	6	5
TPA 750 C''-D''	2	1	3	6	5
TPA 750 D''-E''	6	6	1	6	1
TPA 750 E''-F''	6	1	5	6	5
TPA 750 F''-G'' _(Adv.Ar)	4	1	5	6	5
TPA 750 F''-G'' _(Ar)	4	1	3	6	3
TPA 750 G''-H''	6	6	1	6	1
TPA 750 H''-I''	6	6	1	6	1
TPA 750 I''-J'' _(Ar)	6	1	1	6	1
TPA 750 I''-J'' _(Adv.Ar)	6	1	5	6	5
TPA 750 J''-K'' _(Adv.Ar)	4	1	5	6	5
TPA 750 J''-K'' _(Ar)	4	1	1	6	1
TPA 750 K''-L'' _(Adv.Ar)	4	1	5	6	5
TPA 750 K''-L'' _(Ar)	4	1	3	6	3
TPA 750 L''-M''	6	6	1	6	1
TPA 750 M''-N'''	6	6	1	6	1
TPA 750 N''-O''	6	6	1	6	1
TPA 750 O''-P''	6	6	1	6	1
TPA 750 P''-Q''	0	0	0	0	0
TPA 765 Q''-R''	0	0	0	0	0
TPA 765 R''-S''	0	0	0	0	0
TPA 765 S''-T''	0	0	0	0	0
TPA 765 T''-U''	0	0	0	0	0
TPA 765 U''-V''	0	0	0	0	0

TPA 765 V"-W"	0	0	0	0	0
TPA 765 W"-X"	0	0	0	0	0
TPA 765 X"-Y"	0	0	0	0	0
TPA 765 Y"-Z"	0	0	0	0	0
TPA 765 Z"-A"	0	0	0	0	0
TPA 765 A"-B"	0	0	0	0	0
TPA 765 B"-C"	0	0	0	0	0
TPA 765 C"-D"	0	0	0	0	0
TPA 765 D"-E"	0	0	0	0	0
TPA 765 E"-F"	0	0	0	0	0
TPA 765 F"-G"	0	0	0	0	0
TPA 775 G"-H"	0	0	0	0	0
TPA 775 H"-I"	0	0	0	0	0
TPA 775 I"-J"	0	0	0	0	0
TPA 775 J"-K"	0	0	0	0	0
TPA 775 K"-L"	0	0	0	0	0
TPA 775 L"-M"	0	0	0	0	0
TPA 775 M"-N"	0	0	0	0	0
TPA 775 N"-O"	0	0	0	0	0
TPA 775 O"-P"	0	0	0	0	0
TPA 775 P"-Q"	0	0	0	0	0
TPA 775 Q"-R"	0	0	0	0	0

5. *Groundwater* (Kondisi Airtanah)

Debit aliran air tanah atau tekanan airtanah akan mempengaruhi kekuatan massa batuan. Pengamatan kondisi airtanah dilakukan secara visual tiap segmen pada lereng penelitian. Menurut (Bienawski, 1973) tentang kondisi air tanah semakin besar kandungan airtanah (*groundwater*) di dalam batuan, maka tekanan pori akan menjadi lebih besar. Dengan demikian kuat geser batuan semakin kecil sehingga kemantapan lereng akan berkurang. Untuk mengetahui kondisi airtanah di lapangan dapat dilakukan dengan meraba batuan. Pada daerah penelitian kondisi airtanah sebagai Tabel berikut ini.

Tabel 4.6 *Rating Groundwater* (Kondisi Airtanah)

Segmen	Rating
TPA 750 A-B	10
TPA 750 B-C	10
TPA 750 C-D	10
TPA 750 D-E	10
TPA 750 E-F	10
TPA 750 F-G	10
TPA 750 G-H	10

TPA 750 H-I	10
TPA 750 I-J	10
TPA 750 J-K	10
TPA 750 K-L	10
TPA 750 L-M	10
TPA 750 M-N	10
TPA 750 N-O	10
TPA 750 O-P	10
TPA 750 P-Q	10
TPA 750 P-Q	10
TPA 750 Q-R	7
TPA 750 R-S	10
TPA 750 S-T	10
TPA 750 T-U	10
TPA 750 U-V	10
TPA 750 V-W	10
TPA 750 W-X	10
TPA 750 X-Y	10
TPA 750 Y-Z	10
TPA 750 Z-A'	7
TPA 750 A'-B'	10
TPA 750 B'-C'	10
TPA 750 C'-D'	10
TPA 750 D'-E'	10
TPA 750 E'-F'	10
TPA 750 F'-G'	10
TPA 750 G'-H'	10
TPA 750 H'-I'	10
TPA 750 I'-J'	10
TPA 750 J'-K'	10
TPA 750 K'-L'	10
TPA 750 L'-M'	10
TPA 750 M'-N'	10
TPA 750 N'-O'	10
TPA 750 O'-P'	10
TPA 750 P'-Q'	10
TPA 750 Q'-R'	10
TPA 750 S'-T'	10
TPA 750 T'-U'	10
TPA 750 U'-V'	10
TPA 750 V'-W'	10
TPA 750 W'-X'	10
TPA 750 X'-Y'	10
TPA 750 Y'-Z'	10
TPA 750 Z'-A''	10
TPA 750 A''-B''	10
TPA 750 B''-C''	10
TPA 750 C''-D''	10
TPA 750 D''-E''	10
TPA 750 E''-F''	10
TPA 750 F''-G''	10
TPA 750 F''-G''	10
TPA 750 G''-H''	10

TPA 750 H''-I''	10
TPA 750 I''-J''	10
TPA 750 J''-K''	10
TPA 750 K''-L''	10
TPA 750 L''-M''	10
TPA 750 M''-N''	10
TPA 750 N''-O''	10
TPA 750 O''-P''	10
TPA 750 P''-Q''	10
TPA 750 Q''-R''	10
TPA 765 R''-S''	10
TPA 765 S''-T''	10
TPA 765 T''-U''	10
TPA 765 U''-V''	10
TPA 765 V''-W''	10
TPA 765 W''-X''	10
TPA 765 X''-Y''	10
TPA 765 Y''-Z''	10
TPA 765 Z''-A'''	10
TPA 765 A'''-B'''	10
TPA 765 B'''-C'''	10
TPA 765 C'''-D'''	10
TPA 765 D'''-E'''	10
TPA 765 E'''-F'''	10
TPA 765 F'''-G'''	10
TPA 775 G'''-H'''	10
TPA 775 H'''-I'''	10
TPA 775 I'''-J'''	10
TPA 775 J'''-K'''	10
TPA 775 K'''-L'''	10
TPA 775 L'''-M'''	10
TPA 775 M'''-N'''	10
TPA 775 N'''-O'''	10
TPA 775 O'''-P'''	10
TPA 775 P'''-Q'''	10
TPA 775 Q'''-R'''	10

6. Kelas Massa Batuan Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR)

Pembobotan massa batuan untuk tiap lereng dicatat dalam *Rock Mass Cell Mapping Sheet*, dilakukan perhitungan dan analisis *Rock Mass Rating* dengan menggunakan lima parameter yang dikembangkan oleh Bieniawski (1989) sebagai berikut.



Gambar 4.3 *Rock Mass Cell Mapping Sheet*

Pembobotan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dihitung dengan penjumlahan parameter yang dikembangkan Bieniawski setelah dilakukan pengamatan dan pengukuran langsung dilapangan (Lampiran F). Berdasarkan Bieniawski (1989) dapat dibuat pembobotan kelas batuan pada lereng baik itu material *top soil*, argilik, dan *advance* argilik. Untuk *rating* alterasi *advance* argilik ditandai dengan warna orange dan kuning untuk alterasi argilik dan *top soil*. Untuk warna hijau dimana dalam satu segmen lereng terdapat dua jenis batuan penyusun dinding lereng yang biasanya dalam satu segmen lereng terdapat alterasi argilik dan alterasi *advance* argilik dengan *rating* yang sama *soil* (Lampiran J). Kelas massa batuan sebagai tabel berikut.

Tabel 4.7 Kelas Massa Batuan Klasifikasi *Rock Mass Rating (RMR)*

Segmen	RMR	Kelas	Kualitas	Jenis
TPA 750 A-B	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 750 B-C	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 750 C-D	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 750 C-D	64	II	Baik	Argilik
TPA 750 D-E	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 750 D-E	64	II	Baik	Argilik
TPA 750 E-F	64	II	Baik	Argilik
TPA 750 F-G	64	II	Baik	Argilik
TPA 750 G-H	43	III	Sedang	Argilik
TPA 750 H-I	51	III	Sedang	Argilik
TPA 750 I-J	45	III	Sedang	Argilik
TPA 750 J-K	46	III	Sedang	Argilik
TPA 750 K-L	47	III	Sedang	Argilik
TPA 750 L-M	56	III	Sedang	Argilik
TPA 750 M-N	59	III	Sedang	Argilik
TPA 750 N-O	51	III	Sedang	Argilik
TPA 750 O-P	60	III	Sedang	Adv. Argilik
TPA 750 P-Q	57	III	Sedang	Adv. Argilik
TPA 750 P-Q	48	III	Sedang	Argilik
TPA 750 Q-R	44	III	Sedang	Argilik
TPA 750 R-S	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 S-T	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 T-U	46	III	Sedang	Argilik
TPA 750 U-V	35	IV	Buruk	Argilik
TPA 750 V-W	37	IV	Buruk	Argilik
TPA 750 W-X	32	IV	Buruk	Argilik
TPA 750 X-Y	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 Y-Z	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 Z-A'	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 A'-B'	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 B'-C'	47	III	Sedang	Argilik
TPA 750 C'-D'	46	III	Sedang	Argilik
TPA 750 D'-E'	59	III	Sedang	Argilik
TPA 750 E'-F'	65	II	Baik	Argilik
TPA 750 F'-G'	62	II	Baik	Argilik
TPA 750 G'-H'	58	III	Sedang	Argilik
TPA 750 H'-I'	67	II	Baik	Argilik
TPA 750 I'-J'	56	III	Sedang	Argilik
TPA 750 J'-K'	58	III	Sedang	Argilik
TPA 750 K'-L'	52	III	Sedang	Argilik
TPA 750 L'-M'	58	III	Sedang	Argilik
TPA 750 M'-N'	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 N'-O'	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 O'-P'	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 P'-Q'	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 Q'-R'	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 S'-T'	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 750 T'-U'	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 750 U'-V'	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 750 V'-W'	63	II	Baik	Argilik
TPA 750 W'-X'	63	II	Baik	Argilik
TPA 750 X'-Y'	61	II	Baik	Argilik
TPA 750 Y'-Z'	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 Z'-A''	52	III	Sedang	Argilik
TPA 750 A''-B''	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 B''-C''	58	III	Sedang	Argilik
TPA 750 C''-D''	53	III	Sedang	Argilik
TPA 750 D''-E''	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 E''-F''	62	II	Baik	Adv. Argilik
TPA 750 F''-G''	63	II	Baik	Adv. Argilik
TPA 750 F''-G''	54	III	Sedang	Argilik
TPA 750 G''-H''	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 H''-I''	68	II	Baik	Argilik

TPA 750 I"-J"	58	III	Sedang	Argilik
TPA 750 I"-J"	69	II	Baik	Adv. Argilik
TPA 750 J"-K"	63	II	Baik	Adv. Argilik
TPA 750 J"-K"	49	III	Sedang	Argilik
TPA 750 K"-L"	60	III	Sedang	Adv. Argilik
TPA 750 K"-L"	51	III	Sedang	Argilik
TPA 750 L"-M"	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 M"-N"	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 N"-O"	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 O"-P"	68	II	Baik	Argilik
TPA 750 P"-Q"	10	V	Sangat Buruk	Argilik
TPA 765 Q"-R"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 R"-S"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 S"-T"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 T"-U"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 U"-V"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 V"-W"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 W"-X"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 X"-Y"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 Y"-Z"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 Z"-A"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 A"-B"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 B"-C"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 C"-D"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 D"-E"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 E"-F"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 765 F"-G"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 G"-H"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 H"-I"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 I"-J"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 J"-K"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 K"-L"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 L"-M"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 M"-N"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 N"-O"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 O"-P"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil
TPA 775 P"-Q"	10	V	Sangat Buruk	Top Soil

4.1.1.2 Slope Mass Rating (SMR)

Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) dapat memberikan rekomendasi awal mengenai kondisi kestabilan dan memprediksi kemungkinan kelongsoran yang akan terjadi pada lereng. Diketahui terdapat beberapa ahli yang merumuskan persamaan untuk klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR), seperti Laubscher, Orr, Hall dan Romana. Namun hanya Romana yang memperhitungkan potensi jenis longsoran dalam mengkoreksi nilai bobot SMR, sehingga pada penelitian ini digunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Romana, setelah

diperoleh nilai klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dengan faktor koreksi yang diwakilkan oleh nilai F1, F2, F3, dan F4.

1. 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).

2. Sudut Geser Dalam

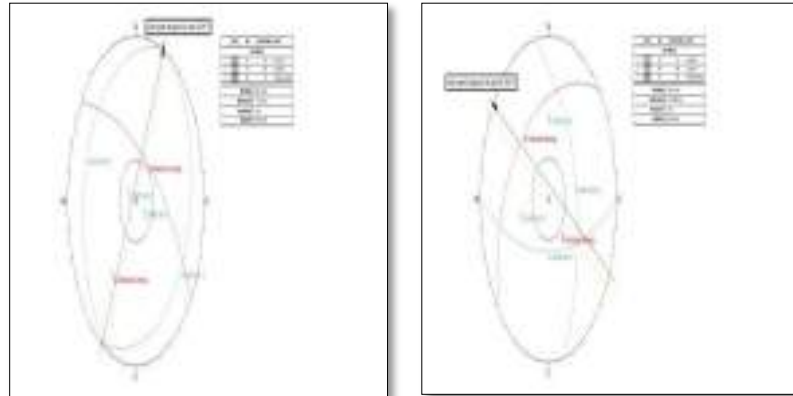
Sudut geser dalam batuan adalah besar sudut (ϕ) ketika tubuh batuan berada pada permukaan miring akan melebihi gaya gesek dan mulai bergerak, diukur dari bidang normal terhadap permukaan dan gaya-gaya yang bekerja pada tubuh batuan.

Tabel 4.8 Nilai uji lab material penyusun lereng *North Osela*

Jenis material	Unit Weight (kN/m ³)	Saturated Unit Weight (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Gesek Dalam (°)
Top Soil	20	22	22	18
Argilic	22	24	38	28.14
Advanced Argillic	20	22	100	31.2

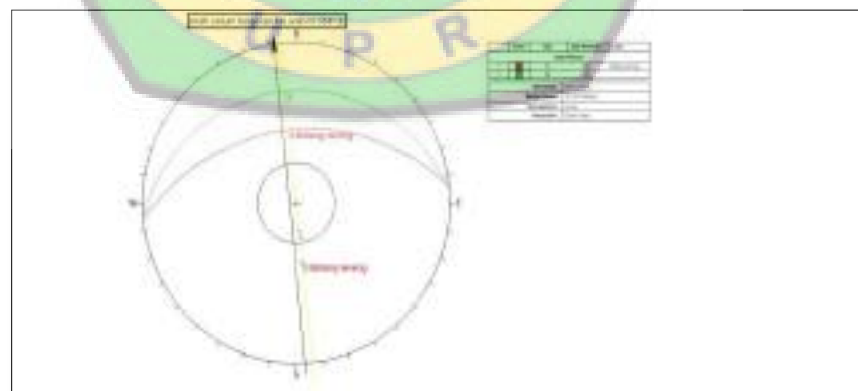
3. Analisis Potensi Longsor (Stereografis)

Analisis Stereografis dibutuhkan untuk mengetahui tipe-tipe longsor yang dapat terjadi pada lereng dan juga sebagai data *input* untuk menentukan nilai *Slope Mass Rating* (SMR) pada tahap selanjutnya. Dalam menginterpretasikan dan mengelompokan set diskontinuitas utama digunakan metode stereografis dengan bantuan *software Dips 6.0*. Tipe longsor sebagai gambar berikut.



Gambar 4.4 Tipe longsoran Baji pada RL 750 segmen AB dan B'C'

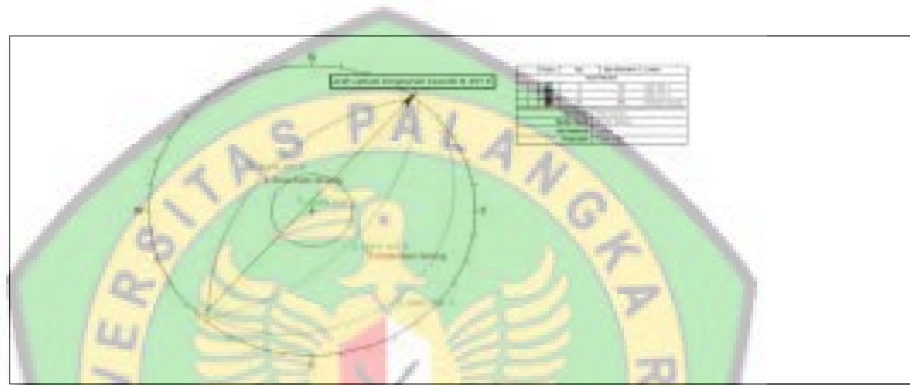
Pada gambar 4.4 menurut Hoek and Bray (1981) jika terdapat lebih dari satu bidang lemah yang bebas dan saling berpotongan dengan arah dan kemiringan tertentu dan garis perpotongan memiliki arah kemiringan ke arah muka lereng serta kemiringan garis perpotongan bidang lemah lebih besar dari sudut geser dalam dimana kemiringan segmen AB 89° , segmen B'C' 55° dan sudut geser dalam 28.14° maka kemungkinan akan terjadi longsoran baji (*wedge failure*).



Gambar 4.5 Tipe longsoran Bidang pada RL 750 segmen RS

Pada gambar 4.5 menurut Hoek and Bray (1981) jika terdapat jurus bidang gelincir paralel atau hampir sejajar terhadap jurus lereng,

kemiringan bidang gelincir harus lebih kecil dari pada kemiringan permukaan lereng dimana *dip* bidang gelincir 20° dan *dip* lereng 41° , kemiringan bidang gelincir lebih besar dari sudut geser dalam dimana *dip* bidang gelincir 20° dan sudut geser dalam 28.14° belum memenuhi, bagian atas bidang gelincir memotong bagian atas bidang lereng pada RL 750 segmen RS maka kemungkinan akan terjadi longsoran bidang (*Plane*).



Gambar 4.6 Tipe longsoran Toppling pada RL 750 segmen G'H'

Pada gambar 4.6 menurut Hoek and Bray (1981) jika *jointset* (diskontinuitas) berlawanan dengan muka lereng dengan kemiringan $\pm 10^\circ$ terhadap arah berlawanan tersebut dimana *dip* arah berlawanan 39° , kemiringan *jointset* (ψ) $54^\circ <$ penjumlahan 90° dengan sudut geser dalam dikurang kemiringan lereng ($90^\circ + \phi - \alpha$) 70° belum terpenuhi. Kemungkinan akan terjadi longsoran guling (*toppling*) dengan syarat pertama terpenuhi pada RL 750 segmen G'H'. Tabel potensi tipe longsor sebagai berikut.

Tabel 4.9 Potensi tipe longsor

LERENG			Jenis Longsoran	DISKONTINUITAS	
Segmen	DIP DIRECTION	DIP ANGLE		DIP DIRECTION	DIP ANGLE
TPA 750 A-B	37	58	No Structure	-	-
TPA 750 B-C	31	51	No Structure	-	-
TPA 750 C-D	35	44	No Structure	-	-
TPA 750 D-E	38	43	No Structure	-	-
TPA 750 E-F	29	42	No Structure	-	-
TPA 750 F-G	19	45	No Structure	-	-
TPA 750 G-H	11	41	Wedge	153	25
TPA 750 H-I	11	38	Wedge	57	86
TPA 750 I-J	10	44	Wedge	191	88
TPA 750 J-K	5	43	Wedge	318	86
TPA 750 K-L	8	39	No Structure	-	-
TPA 750 L-M	2	41	Wedge	238	88
TPA 750 M-N	1	39	Wedge	186	17
TPA 750 N-O	7	41	Wedge	224	39
TPA 750 O-P	359	45	Wedge	121	40
TPA 750 P-Q	358	37	Wedge	48	14
TPA 750 Q-R	356	37	Wedge	214	40
TPA 750 R-S	354	41	Plane	355	20
TPA 750 S-T	347	41	Wedge	19	75
TPA 750 T-U	344	31	Toppling	165	33
TPA 750 U-V	349	41	No Potency	-	-
TPA 750 V-W	350	40	Toppling	170	56
TPA 750 W-X	350	37	Wedge	266	75
TPA 750 X-Y	350	33	No Structure	-	-
TPA 750 Y-Z	335	34	No Structure	-	-
TPA 750 Z-A'	335	31	No Structure	-	-
TPA 750 A'-B'	321	33	No Structure	-	-
TPA 750 B'-C'	318	33	Wedge	302	54
TPA 750 C'-D'	315	33	Wedge	326	44
TPA 750 D'-E'	317	39	Wedge	315	68
TPA 750 E'-F'	319	46	No Potency	-	-
TPA 750 F'-G'	309	46	No Potency	-	-
TPA 750 G'-H'	309	48	Toppling	131	54
TPA 750 H'-I'	302	41	Wedge	72	62
TPA 750 I'-J'	303	37	No Potency	-	-
TPA 750 J'-K'	307	38	No Potency	-	-
TPA 750 K'-L'	294	33	Wedge	251	27
TPA 750 L'-M'	305	34	Wedge	258	45
TPA 750 M'-N'	305	34	Wedge	290	30
TPA 750 N'-O'	300	36	Wedge	278	36
TPA 750 O'-P'	267	42	No Structure	-	-

TPA 750 P'-Q'	307	36	No Structure	-	-
TPA 750 Q'-R'	306	43	No Structure	-	-
TPA 750 S'-T'	170	38	No Structure	-	-
TPA 750 T'-U'	171	31	No Structure	-	-
TPA 750 U'-V'	169	34	No Structure	-	-
TPA 750 V'-W'	167	37	Wedge	214	84
TPA 750 W'-X'	167	37	No Potency	-	-
TPA 750 X'-Y'	161	33	No Structure	-	-
TPA 750 Y'-Z'	88	39	No Structure	-	-
TPA 750 Z'-A''	155	39	Wedge	13	74
TPA 750 A''-B''	155	34	No Structure	-	-
TPA 750 B''-C''	145	32	Wedge	136	20
TPA 750 C''-D''	127	45	Wedge	101	62
TPA 750 D''-E''	132	38	No Structure	-	-
TPA 750 E''-F''	129	41	Wedge	101	48
TPA 750 F''-G''	150	32	Wedge	184	89
TPA 750 G''-H''	165	38	No Structure	-	-
TPA 750 H''-I''	167	37	No Structure	-	-
TPA 750 I''-J''	161	37	Wedge	357	11
TPA 750 J''-K''	169	38	No Potency	-	-
TPA 750 K''-L''	172	38	Wedge	22	26
TPA 750 L''-M''	161	28	No Structure	-	-
TPA 750 M''-N''	162	36	No Structure	-	-
TPA 750 N''-O''	171	30	No Structure	-	-
TPA 750 O''-P''	159	30	No Structure	-	-
TPA 750 P''-Q''	160	28	No Structure	-	-
TPA 765 Q''-R''	162	28	No Structure	-	-
TPA 765 R''-S''	175	28	No Structure	-	-
TPA 765 S''-T''	174	28	No Structure	-	-
TPA 765 T''-U''	163	28	No Structure	-	-
TPA 765 U''-V''	168	30	No Structure	-	-
TPA 765 V''-W''	161	30	No Structure	-	-
TPA 765 W''-X''	159	35	No Structure	-	-
TPA 765 X''-Y''	154	31	No Structure	-	-
TPA 765 Y''-Z''	138	32	No Structure	-	-
TPA 765 Z''-A'''	150	32	No Structure	-	-
TPA 765 A'''-B'''	141	22	No Structure	-	-
TPA 765 B'''-C'''	132	28	No Structure	-	-
TPA 765 C'''-D'''	141	39	No Structure	-	-
TPA 765 D'''-E'''	144	34	No Structure	-	-
TPA 765 E'''-F'''	164	34	No Structure	-	-
TPA 765 F'''-G'''	169	38	No Structure	-	-
TPA 775 G'''-H'''	142	35	No Structure	-	-
TPA 775 H'''-I'''	140	32	No Structure	-	-
TPA 775 I'''-J'''	149	32	No Structure	-	-
TPA 775 J'''-K'''	139	33	No Structure	-	-

TPA 775 K'''-L'''	147	42	No Structure	-	-
TPA 775 L'''-M'''	143	32	No Structure	-	-
TPA 775 M'''-N'''	163	32	No Structure	-	-
TPA 775 N'''-O'''	174	34	No Structure	-	-
TPA 775 O'''-P'''	136	32	No Structure	-	-
TPA 775 P'''-Q'''	133	35	No Structure	-	-

4. Kelas Massa Batuan Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR)

Dalam klasifikasi massa batuan ini nilai SMR ditentukan jenis longsor dari perpotongan satu atau dua bidang diskontinuitas hasil Proyeksi Streografis sebelumnya. Nilai *Slope Mass Rating* (SMR) dapat dihitung dengan Rumus Romana (1985) sebagai berikut.

$$SMR = RMR_{basic} + (F1.F2.F3) + F4$$

- Longsor Segmen TPA 750 J – TPA 750 K (*Wedge*)

$$RMR_{basic} = 46$$

$$F1 = dipR \text{ Perpotongan Baji } (\alpha_{il}) - dipR \text{ lereng}$$

$$= 318^{\circ} - 5^{\circ}$$

$$= 312^{\circ}$$

$$F1 = 0.15$$

$$F2 = dip \text{ Baji } (\beta_{il})$$

$$= 86^{\circ}$$

$$F2 = 1$$

$$F3 = dip \text{ Baji } (\beta_{il}) - dip \text{ lereng } (\beta_s)$$

$$= 86^{\circ} - 43^{\circ}$$

$$= 43^{\circ}$$

$$= 0$$

$$F4 = 0 \text{ (Metode penggalian dengan } \textit{blast or mechanical})$$

SMR = 46 (Sedang)

- Longsor Segmen TPA 750 R – TPA 750 S (*Plane*)

$$RMR_{basic} = 53$$

$$F1 = dipR J_s (\alpha_d) - dipR \text{ lereng } (\alpha_s)$$

$$= 355^\circ - 354^\circ$$

$$= 1^\circ$$

$$F1 = 1$$

$$F2 = dip J_s (\beta_d)$$

$$= 20^\circ$$

$$F2 = 0.4$$

$$F3 = dip J_s (\beta_d) - dip \text{ lereng } (\beta_s)$$

$$= 20^\circ - 41^\circ$$

$$= -21^\circ$$

$$F3 = -60$$

$$F4 = 0 \text{ (Metode penggalian dengan } \textit{blast or mechanical})$$

SMR = 29 (Buruk)

- Longsor Segmen TPA 750 V – TPA 750 W (*Toppling*)

$$RMR_{basic} = 37$$

$$F1 = dipR J_s (\beta_d) - dipR \text{ lereng } (\beta_s) - 180^\circ$$

$$= 170^\circ - 350^\circ - 180^\circ$$

$$F1 = 0^\circ$$

$$F1 = 1$$

$$F2 = \text{dip lereng } (\beta_s)$$

$$= 40^\circ$$

$$F2 = 1$$

$$F3 = \text{dip lereng } (\beta_s) + \text{dip kekar } (\beta_d)$$

$$= 40^\circ + 56^\circ$$

$$F3 = 96^\circ$$

$$F3 = 0$$

$$F4 = 0 \text{ (Metode penggalian dengan } \textit{blast or mechanical})$$

SMR = 37 (Buruk)

Tabel 4.10 Kelas Massa Batuan Klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)*

SEGMENT	SMR	KELAS	DESKRIPSI
TPA 750 A-B	10	V	Sangat Buruk
TPA 750 B-C	10	V	Sangat Buruk
TPA 750 C-D	10	V	Sangat Buruk
TPA 750 C-D	64	II	Baik
TPA 750 D-E	10	V	Sangat Buruk
TPA 750 D-E	64	II	Baik
TPA 750 E-F	64	II	Baik
TPA 750 F-G	64	II	Baik
TPA 750 G-H	39	IV	Buruk
TPA 750 H-I	51	III	Sedang
TPA 750 I-J	45	III	Sedang
TPA 750 J-K	46	III	Sedang
TPA 750 K-L	47	III	Sedang
TPA 750 L-M	56	III	Sedang
TPA 750 M-N	58	III	Sedang
TPA 750 N-O	45	III	Sedang
TPA 750 O-P	18	V	Sangat Buruk
TPA 750 P-Q	48	III	Sedang
TPA 750 P-Q	47	III	Sedang
TPA 750 Q-R	39	IV	Buruk

TPA 750 R-S	29	IV	Buruk
TPA 750 S-T	53	III	Sedang
TPA 750 T-U	46	III	Sedang
TPA 750 U-V	35	IV	Buruk
TPA 750 V-W	37	IV	Buruk
TPA 750 W-X	32	IV	Buruk
TPA 750 X-Y	53	III	Sedang
TPA 750 Y-Z	53	III	Sedang
TPA 750 Z-A'	53	III	Sedang
TPA 750 A'-B'	53	III	Sedang
TPA 750 B'-C'	47	III	Sedang
TPA 750 C'-D'	46	III	Sedang
TPA 750 D'-E'	59	III	Sedang
TPA 750 E'-F'	65	II	Baik
TPA 750 F'-G'	62	II	Baik
TPA 750 G'-H'	58	III	Sedang
TPA 750 H'-I'	67	II	Baik
TPA 750 I'-J'	56	III	Sedang
TPA 750 J'-K'	58	III	Sedang
TPA 750 K'-L'	32	IV	Buruk
TPA 750 L'-M'	58	III	Sedang
TPA 750 M'-N'	33	IV	Buruk
TPA 750 N'-O'	32	IV	Buruk
TPA 750 O'-P'	68	II	Baik
TPA 750 P'-Q'	68	II	Baik
TPA 750 Q'-R'	68	II	Baik
TPA 750 S'-T'	68	II	Baik
TPA 750 T'-U'	68	II	Baik
TPA 750 U'-V'	68	II	Baik
TPA 750 V'-W'	63	II	Baik
TPA 750 W'-X'	63	II	Baik
TPA 750 X'-Y'	61	II	Baik
TPA 750 Y'-Z'	68	II	Baik
TPA 750 Z'-A''	52	III	Sedang
TPA 750 A''-B''	68	II	Baik
TPA 750 B''-C''	34	IV	Buruk
TPA 750 C''-D''	53	III	Sedang
TPA 750 D''-E''	68	II	Baik
TPA 750 E''-F''	62	II	Baik
TPA 750 F''-G''	63	II	Baik
TPA 750 F''-G''	54	III	Sedang

TPA 750 G"-H"	68	II	Baik
TPA 750 H"-I"	68	II	Baik
TPA 750 I"-J"	57	III	Sedang
TPA 750 I"-J"	68	II	Baik
TPA 750 J"-K"	63	II	Baik
TPA 750 J"-K"	49	III	Sedang
TPA 750 K"-L"	40	IV	Buruk
TPA 750 K"-L"	31	IV	Buruk
TPA 750 L"-M"	68	II	Baik
TPA 750 M"-N"	68	II	Baik
TPA 750 N"-O"	68	II	Baik
TPA 750 O"-P"	68	II	Baik
TPA 750 P"-Q"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 Q"-R"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 R"-S"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 S"-T"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 T"-U"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 U"-V"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 V"-W"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 W"-X"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 X"-Y"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 Y"-Z"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 Z"-A"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 A"-B"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 B"-C"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 C"-D"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 D"-E"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 E"-F"	10	V	Sangat Buruk
TPA 765 F"-G"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 G"-H"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 H"-I"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 I"-J"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 J"-K"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 K"-L"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 L"-M"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 M"-N"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 N"-O"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 O"-P"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 P"-Q"	10	V	Sangat Buruk
TPA 775 Q"-R"	10	V	Sangat Buruk

4.1.2 Zonasi Klasifikasi Massa Batuan

Sebelum menentukan zonasi persebaran massa batuan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) perlu diperhatikan hal berikut.

1. Pengukuran dan Pengamatan Karakteristik Batuan

Pengukuran dan pengamatan dilakukan untuk mengetahui karakteristik batuan dari lereng pada daerah penelitian. Dari hasil pengukuran dan pengamatan karakteristik batuan maka dapat mengklasifikasikan kelas massa batuan pada lereng yang diamati. Dalam pengambilan data diskontinuitas dicatat didalam *Rock Mass Cell Mapping Sheet* dan *Rock Mass Discontinuity Survey Data Sheet*.

Pengambilan data dilakukan dengan faktor JSA (*Job Safety Analisis*) dengan maksimal pengambilan data pada dinding lereng dimana kaki bisa bertumpu dan dapat dijangkau oleh tangan untuk melakukan pengukuran. Dalam pengambilan data ditandai dengan patok penanda.



Gambar 4.7 Patok Penanda

Area pengamatan dan pengukuran pada lereng ditandai dengan warna merah pada Gambar 4.8. Pengambilan data berupa parameter yang dibutuhkan untuk pengklasifikasian dan selanjutnya digunakan sebagai data penentuan zonasinya.



Gambar 4.8 Lintasan Lereng Pada lokasi Penelitian dengan Surpac 6.5.1

Koordinat patok penanda segmen yang digunakan sebagai pembuatan zonasi klasifikasi massa batuan disajikan sebagai tabel berikut.

Tabel 4.11 Koordinat Patok Penanda Segmen

Segmen	X Start	Y Start	Z start	X End	Y End	Z End
TPA 750 A-B	646671.272	64396.023	758.211	646679.137	64389.896	758.029
TPA 750 B-C	646679.137	64389.896	758.029	646686.978	64383.391	758.414
TPA 750 C-D	646686.978	64383.391	758.414	646695.378	64378.07	759.182
TPA 750 D-E	646695.378	64378.07	759.182	646702.678	64371.107	758.972
TPA 750 E-F	646702.678	64371.107	758.972	646710.409	64364.519	758.057
TPA 750 F-G	646710.409	64364.519	758.057	646719.083	64360.221	757.418
TPA 750 G-H	646719.083	64360.221	757.418	646728.225	64356.339	757.00
TPA 750 H-I	646728.225	64356.339	757.00	646737.832	64353.527	756.113
TPA 750 I-J	646737.832	64353.527	756.113	646747.493	64350.977	755.589
TPA 750 J-K	646747.493	64350.977	755.589	646757.341	64350.35	754.822
TPA 750 K-L	646757.341	64350.35	754.822	646767.272	64350.632	753.441

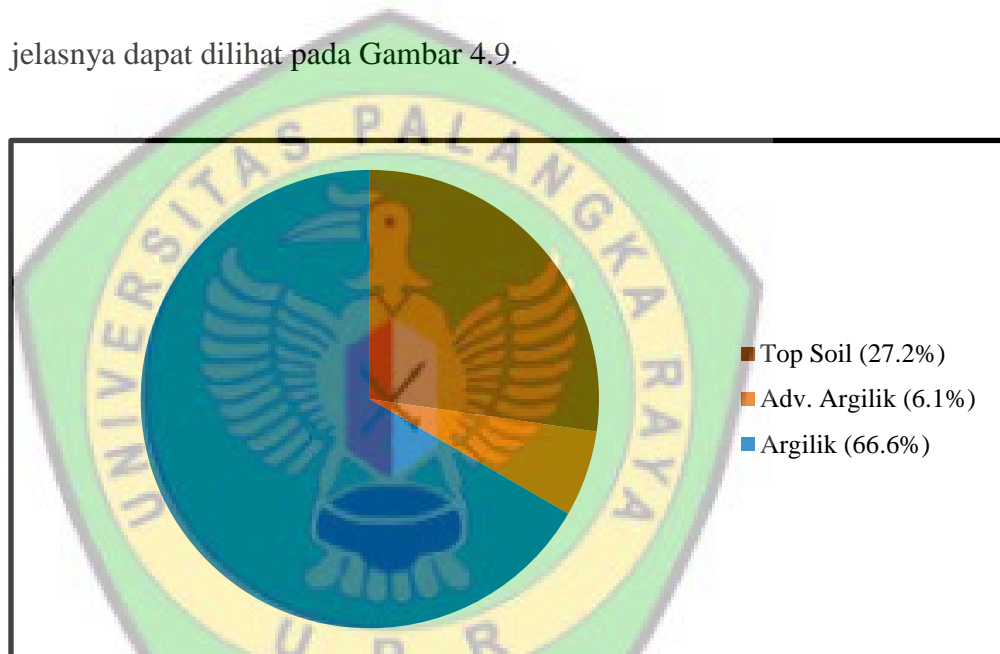
TPA 750 L-M	646767.272	64350.632	753.441	646777.175	64350.741	753.013
TPA 750 M-N	646777.175	64350.741	753.013	646787.138	64351.500	752.528
TPA 750 N-O	646787.138	64351.500	752.528	646797.057	64352.367	752.014
TPA 750 O-P	646797.057	64352.367	752.014	646807.14	64352.455	751.882
TPA 750 P-Q	646807.14	64352.455	751.882	646817.062	64352.724	751.36
TPA 750 Q-R	646817.062	64352.724	751.36	646827.013	64352.992	750.936
TPA 750 R-S	646827.013	64352.992	750.936	646837.046	64353.518	751.318
TPA 750 S-T	646837.046	64353.518	751.318	646857.437	64354.928	751.169
TPA 750 T-U	646857.437	64354.928	751.169	646867.326	64355.899	751.616
TPA 750 U-V	646867.326	64355.899	751.616	646877.365	64357.126	752.002
TPA 750 V-W	646877.365	64357.126	752.002	646886.953	64359.45	751.175
TPA 750 W-X	646886.953	64359.45	751.175	646896.798	64361.031	751.053
TPA 750 X-Y	646896.798	64361.031	751.053	646906.412	64363.813	751.268
TPA 750 Y-Z	646906.412	64363.813	751.268	646915.736	64367.657	751.545
TPA 750 Z-A'	646915.736	64367.657	751.545	646925.077	64371.272	751.909
TPA 750 A'-B'	646925.077	64371.272	751.909	646933.503	64376.748	751.558
TPA 750 B'-C'	646933.503	64376.748	751.558	646942.208	64381.584	751.177
TPA 750 C'-D'	646942.208	64381.584	751.177	646950.903	64386.596	751.16
TPA 750 D'-E'	646950.903	64386.596	751.16	646959.386	64391.856	751.064
TPA 750 E'-F'	646959.386	64391.856	751.064	646967.39	64397.85	751.115
TPA 750 F'-G'	646967.39	64397.85	751.115	646974.045	64405.184	751.006
TPA 750 G'-H'	646974.045	64405.184	751.006	646980.772	64412.739	751.349
TPA 750 H'-I'	646980.772	64412.739	751.349	646986.918	64420.63	751.396
TPA 750 I'-J'	646986.918	64420.63	751.396	646992.81	64428.559	751.468
TPA 750 J'-K'	646992.81	64428.559	751.468	646998.892	64436.233	751.72
TPA 750 K'-L'	646998.892	64436.233	751.72	647004.26	64444.872	751.149
TPA 750 L'-M'	647004.26	64444.872	751.149	647009.729	64453.066	750.739
TPA 750 M'-N'	647009.729	64453.066	750.739	647015.815	64460.799	750.645
TPA 750 N'-O'	647015.815	64460.799	750.645	647021.251	64469.136	751.088
TPA 750 O'-P'	647021.251	64469.136	751.088	647026.973	64477.283	750.886
TPA 750 P'-Q'	647026.973	64477.283	750.886	647032.684	64485.279	750.753
TPA 750 Q'-R'	647032.684	64485.279	750.753	647138.138	64840.869	751.597
TPA 750 S'-T'	647138.138	64840.869	751.597	647118.229	64839.587	751.109
TPA 750 T'-U'	647118.229	64839.587	751.109	647108.227	64838.712	751.21
TPA 750 U'-V'	647108.227	64838.712	751.21	647098.752	64836.026	750.827
TPA 750 V'-W'	647098.752	64836.026	750.827	647089.101	64833.245	750.495
TPA 750 W'-X'	647089.101	64833.245	750.495	647079.298	64830.698	750.133
TPA 750 X'-Y'	647079.298	64830.698	750.133	647069.499	64829.244	750.071
TPA 750 Y'-Z'	647069.499	64829.244	750.071	647060.062	64826.474	750.09

TPA 750 Z'-A''	647060.062	64826.474	750.09	647050.94	64822.609	750.202
TPA 750 A''-B''	647050.94	64822.609	750.202	647042.503	64815.819	750.05
TPA 750 B''-C''	647042.503	64815.819	750.05	647034.874	64810.43	750.19
TPA 750 C''-D''	647034.874	64810.43	750.19	647027.639	64803.456	749.994
TPA 750 D''-E''	647027.639	64803.456	749.994	647020.725	64796.272	750.048
TPA 750 E''-F''	647020.725	64796.272	750.048	647011.876	64791.511	749.897
TPA 750 F''-G''	647011.876	64791.511	749.897	647002.168	64789.634	749.986
TPA 750 G''-H''	647002.168	64789.634	749.986	646992.225	64787.899	750.059
TPA 750 H''-I''	646992.225	64787.899	750.059	646982.928	64785.016	750.153
TPA 750 I''-J''	646982.928	64785.016	750.153	646973.1	64783.485	750.21
TPA 750 J''-K''	646973.1	64783.485	750.21	646963.223	64781.796	750.274
TPA 750 K''-L''	646963.223	64781.796	750.274	646953.569	64778.796	749.933
TPA 750 L''-M''	646953.569	64778.796	749.933	646943.727	64775.642	749.759
TPA 750 M''-N'''	646943.727	64775.642	749.759	646934.195	64772.841	749.524
TPA 750 N''-O''	646934.195	64772.841	749.524	646934.2	64772.86	749.426
TPA 750 O''-P''	646934.2	64772.86	749.426	646925.67	64768.063	749.132
TPA 750 P''-Q''	646925.67	64768.063	749.132	646918.066	64765.634	749.217
Segmen	X Start	Y Start	Z start	X End	Y End	Z End
TPA 765 Q''-R''	646923.25	64800.943	763.983	646933.229	64802.404	764.395
TPA 765 R''-S''	646933.229	64802.404	764.395	646942.99	64803.792	764.429
TPA 765 S''-T''	646942.99	64803.792	764.429	646952.882	64804.93	764.994
TPA 765 T''-U''	646952.882	64804.93	764.994	646962.97	64806.193	765.04
TPA 765 U''-V''	646962.97	64806.193	765.04	646972.888	64807.269	765.17
TPA 765 V''-W''	646972.888	64807.269	765.17	646982.701	64808.975	765.493
TPA 765 W''-X''	646982.701	64808.975	765.493	646992.238	64811.95	765.644
TPA 765 X''-Y''	646992.238	64811.95	765.644	647001.352	64815.883	765.879
TPA 765 Y''-Z'''	647001.352	64815.883	765.879	647010.028	64820.938	766.102
TPA 765 Z''-A'''	647010.028	64820.938	766.102	647018.353	64826.626	766.211
TPA 765 A'''-B'''	647018.353	64826.626	766.211	647026.22	64832.591	766.023
TPA 765 B'''-C'''	647026.22	64832.591	766.023	647033.8	64839.087	765.752
TPA 765 C'''-D'''	647033.8	64839.087	765.752	647042.423	64844.23	765.554
TPA 765 D'''-E'''	647042.423	64844.23	765.554	647052.004	64847.926	765.642
TPA 765 E'''-F'''	647052.004	64847.926	765.642	647061.684	64850.512	766.21
TPA 765 F'''-G'''	647061.684	64850.512	766.21	647071.414	64852.316	766.109
Segmen	X Start	Y Start	Z start	X End	Y End	Z End
TPA 775 G'''-H'''	647037.664	64866.197	775.684	647028.669	64861.881	776.197
TPA 775 H'''-I'''	647028.669	64861.881	776.197	647020.5	64856.151	776.095
TPA 775 I'''-J'''	647020.5	64856.151	776.095	647011.928	64851.068	776.311
TPA 775 J'''-K'''	647011.928	64851.068	776.311	647004.263	64844.637	775.785

TPA 775 K'''-L'''	647004.263	64844.637	775.785	646996.046	64838.98	775.387
TPA 775 L'''-M'''	646996.046	64838.98	775.387	646987.266	64834.211	775.253
TPA 775 M'''-N'''	646987.266	64834.211	775.253	646977.697	64831.355	775.089
TPA 775 N'''-O'''	646977.697	64831.355	775.089	646967.905	64829.417	774.585
TPA 775 O'''-P'''	646967.905	64829.417	774.585	646957.946	64828.327	774.51
TPA 775 P'''-Q'''	646957.946	64828.327	774.51	646948.138	64825.99	774.387

2. Litologi

Persebaran litologi penyusun dinding lereng di area penelitian lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.9.



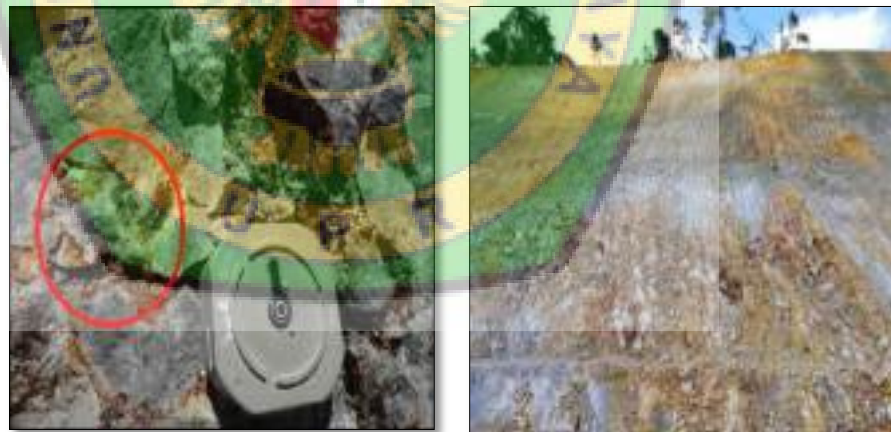
Gambar 4.9 Persentase penyusun dinding lereng

Persebaran alterasi argilik ditemukan tersebar paling meluas di area penelitian dengan persentase 66.6%. Pada Gambar 4.10 merupakan kenampakan alterasi argilik dilapangan.



Gambar 4.10 Kenampakan alterasi argilik di lapangan

Alterasi argilik lanjut ditemukan paling sedikit dibanding alterasi yang lainnya di area penelitian dengan persentase 6.1%. Pada Gambar 4.11 merupakan kenampakan alterasi argilik lanjut dilapangan.



Gambar 4.11 Kenampakan Alterasi argilik lanjut di lapangan

Material *top soil* ditemukan dengan persentase 27.2% di area penelitian.



Gambar 4.12 Kenampakan material *top soil*

4.2 Pembahasan

4.2.1 Klasifikasi Massa Batuan

Umumnya klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) digunakan pada batuan dengan litologi batuan sedimen pada tambang batubara (*coal*). Pada penelitian ini dilakukan pada tambang emas dimana litologi batuan telah terjadi proses alterasi (ubahan) sehingga terjadi perubahan sifat fisik batuan dan proses pelapukan (*weathering*) pada batuan sehingga dapat dilakukan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) pada lokasi penelitian.

4.2.1.1 *Rock Mass Rating* (RMR)

1. *Intact Rock Strength*

Litologi mempengaruhi nilai parameter *Intact Rock Strength* (IRS) dimana batuan dengan alterasi *advance* argilik memiliki *rating* lebih baik dibandingkan dengan material alterasi argilik dan *top soil* dimana

material *advance* argilik berada pada *rating* R3 dan R4 sedangkan material teralterasi argilik dan *top soil* berada pada *rating* R0, R1, dan R2. Hal ini dipengaruhi oleh komposisi mineral silika yang terdapat pada alterasi *advance* argilik lebih banyak dan sedikit ditemukan komposisi *clay* dibanding dengan alterasi argilik dan *top soil*. Berdasarkan metode estimasi lapangan dengan palu geologi (Hoek-Brown, 1981) *Intact Rock Strength* (IRS) batuan di lokasi penelitian umumnya berada pada nilai R0-R1 dan sebagian berada pada nilai R2-R4 dengan intensitas yang lebih sedikit.

2. Spasi Bidang Diskontinuitas (*Joint*)

Jarak antar kekar yang dihitung di lapangan merupakan jarak antar spasi yang berada dalam satu *joint set (family)*. Di daerah penelitian didapatkan pengukuran jarak antar kekar yang bervariasi mulai dari lebih kecil dari 0.06m, 0.06-0.2m, 0.2-0.6m, 0.6-2m, dan lebih besar dari 2m. *Spacing* didominasi pada 0.06-0.2m.

3. *Rock Quality Designation* (RQD)

Untuk tiap segmen dibagi menjadi beberapa BHID (*Bor Hole ID*) yang ditentukan dengan *software* surpac 6.3 ditinjau dari elevasi dan koordinat dari tiap segmen yang akan dihitung nilai *Rock Quality Designation* (RQD). Untuk segmen TPA 750 C sampai TPA 750 J diwakili oleh BHID OSD996, segmen TPA 750 K sampai TPA 750 T diwakili oleh BHID OSD 100, segmen TPA 750 U sampai TPA 750 A' diwakili oleh BHID OSD629, segmen TPA 750 B' sampai TPA E'

diwakili oleh OSD985, segmen TPA 750 F' sampai TPA 750 R' diwakili oleh BHID OSD983, segmen TPA 750 S' sampai TPA 750 W' diwakili oleh BHID OSD097, segmen TPA 750 X' sampai TPA 750 P'' diwakili oleh BHID OSD200. Pada segmen TPA 750 Q'' sampai TPA 780 Q''' dan beberapa segmen yang material penyusunnya berupa *soil* diberikan *rating* 0 dan alterasi argilik bukan batuan masif (*massive rock*) diberikan *rating* 5 (<25%). Pada daerah penelitian kualitas *Rock Quality Designation* (RQD) pada kelas sangat buruk, buruk, sedang, dan baik sedangkan untuk kelas sangat baik tidak ditemukan. Hasil perhitungan nilai RQD pada lokasi penelitian secara umum berada pada *rating* 13 (51-75%) dengan persentase 11.6%, *rating* 17 (75-90%) dengan persentase 45.2%, *rating* 5 (25-50%) dengan persentase 7.4% dan pada material *top soil* dengan *rating* RQD 0 karena bukan merupakan batuan masif (*massive rock*) dengan persentase 35.8%.

4. *Joint Condition* (Kondisi Diskontinuitas)

Pada daerah penelitian yang telah diamati dan dilakukan pengukuran, diketahui bahwa kemenerusan (*persitence*) berkisar dari 0-1 m dan 1-3 m, dan beberapa segmen dengan kemenerusan kekar 3-10 m. Hasil pengukuran kemenerusan kekar (*persistence*) yang tersingkap di dinding lereng dominan berada pada nilai kurang dari 1m. Lebar isian (*fill width*) ditemukan beragam mulai dari 0.1-1mm, 1-5mm, dan >5mm. 1-5mm mendominasi lebar isian. Kondisi umum diskontinuitas yang tergolong rapat (*close diskontinu*) sehingga sedikit ditemukan adanya

faktor pengisi (*infilling gounges*) pada orientasi diskontinuitas. Tingkat kekasaran kekar (*roughness*) didominasi lembut (*smooth*), sedikit kasar (*slightly rough*), sangat kasar (*very rough*). Untuk kuat isian (*fill strength*) didominasi oleh *rating* 6 (*none*), dan tingkat pelapukan (*weathering*) setelah dilakukan pengamatan didominasi pada kelas terlapukkan seluruhnya (*decompose*), pelapukan tinggi (*high*), sebagian (*moderate*), dan sedikit lapuk (*slight*).

5. **Groundwater (Kondisi Airtanah)**

Pengamatan kondisi airtanah dilakukan secara visual tiap segmen pada lereng penelitian. Untuk mengetahui kondisi airtanah di lapangan dapat dilakukan dengan meraba batuan. Berdasarkan pengamatan secara visual didapatkan bahwa kondisi air pada lereng penelitian adalah lembab (*damp*) dan basah (*wet*). Pada daerah penelitian kondisi airtanah tergolong lembab.

6. **Kelas Massa Batuan Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR)**

Nilai *Rock Mass Rating* (RMR) banyak terkonsentrasi pada 41-60 (kelas III) dan *range* 61-80 (kelas II) batuan sedang dan batuan baik. Diluar *range* nilai tersebut terdapat beberapa segmen dengan nilai *Rock Mass Rating* (RMR) berkisar pada *range* 21-40 (kelas IV) atau termasuk batuan buruk dan pada *range* 0-20 (V) seluruhnya didominasi material *top soil* dengan kategori batuan sangat buruk. Pada *Pit North* Osela terdapat orientasi struktur yang relatif sedikit ditemukan dan intensitas yang rendah dan sangat mempengaruhi spasi dan kondisi diskontinuitas,

sedangkan litologi mempengaruhi nilai parameter *Intact Rock Strength* (IRS) menjadi relatif buruk karena di daerah penelitian terdapat banyak lereng dengan batuan lunak. Persebaran nilai *Rock Mass Rating* (RMR) di lokasi penelitian terdiri dari 4 kelas RMR, yaitu kelas II (Baik) dengan persentase 26% , kelas III (Sedang) dengan persentase 37%, kelas IV (Buruk) dengan persentase 3%, dan kelas V (Sangat Buruk) dengan persentase 34%. Menurut ISRM, pada material *top soil* dan kondisi air mengalir merupakan RMR 0. Klasifikasi tanah terkadang lebih mudah dan lebih tepat untuk memberikan wawasan tentang perilaku dan sifat material. *Unified Soil Classification System* (USCS) adalah pilihan yang paling mungkin untuk klasifikasi material *soil*. dengan tingkat pelapukan (*weathering*) tinggi.

4.2.1.2 *Slope Mass Rating* (SMR)

Nilai-nilai F1, F2, F3, dan F4 diketahui dengan menentukan tipe jenis longsor dan arah kelongsoran yang diprediksi serta orientasi arah dan kemiringan lereng berdasarkan analisis stereografis. Keseluruhan pembobotan untuk nilai faktor koreksi F1, F2 dan F3 serta dipertimbangkan dengan faktor luar yaitu hasil *sloping* (F4) yang dihasilkan dengan teknik peledakan atau dengan hasil excavator (Lampiran I).

1. **Orientasi Lereng**

Orientasi lereng dilakukan dengan mengambil sudut lereng diukur dengan menggunakan kompas geologi brunton (Lampiran G).

2. Sudut Geser Dalam

Nilai sudut geser dalam batuan didapatkan melalui pengujian batuan di laboratorium menggunakan metode *direct shear test* dan *triaxial test*. Semakin besar nilai sudut geser dalam, maka semakin besar nilai kestabilan massa batuan. Nilai sudut geser dalam yang digunakan 31.2° untuk alterasi *advanced* argilik, 28.14° untuk alterasi argilik, dan 18° untuk material *top soil*.

3. Analisis Stereografis

Analisis stereografis di *Pit North* Osela dianalisis pada setiap segmen, berdasarkan litologi dan orientasi lereng sehingga terdapat 93 segmen yang akan dianalisis tipe longsornya. Segmen yang tidak dapat dilakukan analisis stereografis seluruhnya berada pada material *top soil* dan sebagian pada alterasi argilik yang memiliki komposisi dominan mineral lempung (*clay*) dan porositas yang tinggi, yang menyebabkan struktur geologi (diskontinuitas) tidak terbentuk.

Analisis stereografis dilakukan berdasarkan metode analisis stereografis yang telah dijelaskan di sub-bab sebelumnya menggunakan parameter orientasi struktur geologi (diskontinuitas), orientasi lereng dan sudut geser dalam proyeksi stereografis. Hasil proyeksi stereografis kemudian dianalisis kinematika kelongsorannya untuk menentukan tipe longsor yang mungkin terjadi dengan memperhitungkan syarat-syarat untuk semua tipe longsor. Proyeksi stereografis hanya dilakukan pada area yang memiliki potensi longsor. Indikasi terjadinya potensi longsor

pada lereng terdapat 32 lereng dari 93 lereng (Lampiran H). Keterdapatannya potensi longsor tersebut berupa 1 longsor bidang (*Planar failure*), 28 longsor baji (*Wedge failure*), dan 3 longsor guling (*Toppling failure*). Sesuai dengan kriteria untuk menentukan potensi longsor diantaranya tidak terindikasi atau adanya bidang lemah (diskontinuitas) dan tidak dapat dikategorikan jenis longsor karena tidak sesuai dengan syarat longsor (*failure*).

4. Kelas Massa Batuan Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR)

Berdasarkan faktor-faktor yang telah dijelaskan sebelumnya yang mempengaruhi klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) yang telah diamati dan dihitung, nilai *Slope Mass Rating* (SMR) banyak terkonsentrasi pada 41-60 (kelas III) dan *range* 61-80 (kelas II) kondisi sedang dan baik. Diluar *range* nilai tersebut terdapat beberapa segmen dengan nilai *Slope Mass Rating* (SMR) berkisar pada *range* 21-40 (kelas IV) atau termasuk kondisi buruk dan pada *range* 0-20 (V) seluruhnya didominasi material *top soil* dengan kategori sangat buruk. Persebaran nilai *Slope Mass Rating* (SMR) di lokasi penelitian terdapat 4 kelas SMR, yaitu kelas II (Baik) dengan persentase 24% , kelas III (Sedang) dengan persentase 26%, kelas IV (Jelek) dengan persentase 12%, dan kelas V (sangat jelek) dengan persentase 38%. Terdapat beberapa segmen dengan kondisi batuan sedang pada analisis RMR menjadi buruk dan sangat buruk pada analisis SMR. Hal ini dipengaruhi oleh faktor longsor yang diprediksi pada analisis stereografis yang didominasi oleh longsor baji (*wedge*).

4.2.2 Zonasi Klasifikasi Massa Batuan

Penentuan Zonasi persebaran massa batuan berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) dengan pengamatan dan pengukuran secara *direct method* dilapangan. Tujuan dilakukan penentuan zonasi adalah memberikan gambaran persebaran kelas massa batuan berdasarkan kualitas massa batuanya dan litologi batuan.

1. Pengukuran dan Pengamatan Karakteristik Batuan

Lereng yang diamati difokuskan pada elevasi RL750, RL765, dan RL775 yang terbagi beberapa segmen sesuai yang telah ditentukan dengan patok penanda. Pengamatan dan pencatatan data diskontinuitas menggunakan metode *window mapping* (Wyllie and Mah, 2004) dengan titik awal jarak pengukuran diskontinuitas pada satu *cell* awal, dalam pengambilan data diskontinuitas terdapat dua pengambilan data yaitu data *Rock Mass Cell Mapping Sheet* dan *Rock Mass Discontinuity Survey Data Sheet*.

Berdasarkan penelitian dengan metode *Window Mapping* yang telah dilakukan, diperoleh data sebanyak 93 segmen yaitu 66 segmen pada RL 750, 16 segmen pada RL 765, dan 11 segmen pada RL 775 dengan ukuran *Window Mapping* 10 meter per-segmen. Penandaan patok dibuat dengan pita berwarna hijau dengan rincian sebagai berikut.

1. Sektor *South* elevasi RL750, dengan panjang 440 meter.
2. Sektor *North* elevasi RL750, dengan panjang 220 meter

3. Sektor *North* elevasi RL765, dengan panjang 160 meter.
4. Sektor *North* elevasi RL780, dengan panjang 110 meter.

2. Litologi

Pada area penelitian yang berlokasi di *Pit North* Osela, terdapat material *top soil* sebagai material penyusun dinding lereng dan 2 tipe alterasi yaitu alterasi argilik dan argilik lanjut (*advance* argilik). Penentuan alterasi-alterasi tersebut didasarkan pada kenampakan tekstur batuan dan komposisi mineral penyusun batuan yang menjadi penciri alterasi. Alterasi argilik dicirikan oleh mineral *clay* yang ditemukan dominan dengan sedikit mineral silika dengan kenampakan warna putih keabu-abuan. Mineral *clay* diantara smektit, ilit, dan kaolinit. Mineral *clay* yang memiliki ciri lunak dan lembab (*damp*) menjadikan yang terkena alterasi ini memiliki tekstur yang serupa. Batuan terkena alterasi argilik dengan tingkat alterasi lemah hingga kuat menyebabkan sebagian batuan ada yang masih mempertahankan tekstur aslinya.

Batuan yang terkena alterasi *advanced* argilik memiliki kenampakan warna kuning dan coklat. Alterasi *advanced* argilik dicirikan dengan komposisi mineral silika dan alunit yang dominan dengan sedikit mineral *clay*. Mineral alunit memiliki ciri khas berbentuk *bladed* seperti serat-serat yang mengisi rongga-rongga. Tekstur *vuggy* terkadang ditemukan di alterasi ini, namun intensitas *vuggy* pada alterasi argilik lanjut tidak terlalu dominan. Batuan terkena alterasi argilik lanjut dengan tingkatan intensitas kuat-sangat kuat sehingga kenampakan batuan dengan alterasi

ini tidak seberagam pada alterasi argilik dan sulit untuk mengidentifikasi batuan asalnya.

Material *top soil* memiliki kenampakan warna coklat. Tingkatan intensitas material *top soil* sangat lemah dengan kenampakan seragam.

a. Zonasi Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR)

Alterasi argilik lanjut (*advance argilik*) merupakan alterasi paling sedikit persebarannya di lokasi penelitian dengan *range* nilai *Rock Mass Rating* (RMR) yang tidak seberagam alterasi argilik. Persebarannya alterasi argilik lanjut berada pada kelas II dan kelas III dengan kecenderungan batuan baik dan sedang. Pada alterasi argilik persebarannya pada kelas II dan kelas III dan IV dengan kecenderungan batuan baik, sedang, dan buruk. Pada material *top soil* seluruhnya berada pada kelas V dengan kecenderungan batuan sangat buruk disebabkan pada semua parameter yang ada berada pada *rating* yang sangat buruk. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh persebaran zonasi *Rock Mass Rating* (RMR) dengan memperhatikan pembobotan kelas dari tiap parameter yang telah diukur dan dihitung berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) serta karakteristik dan litologi batuan yang telah diamati dan dicatat dilapangan pada *Rock Mass Cell Mapping Sheet*. Sketsa zonasi *Rock Mass Rating* (RMR) secara megaskopis dengan memperhatikan koordinat patok penanda dilapangan dengan metode *window mapping* dan diplot sebagai peta berikut (Lampiran C).

b. Zonasi Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR)

Alterasi argilik lanjut (*advance argilik*) yang persebarannya sedikit di lokasi penelitian dengan nilai *Slope Mass Rating* (SMR) yang cukup beragam. Persebarannya alterasi argilik lanjut berada pada kelas II, III, IV, dan kelas V dengan kecenderungan kondisi baik, sedang, buruk, dan sangat buruk. Pada alterasi argilik persebarannya pada kelas II dan kelas III dan IV dengan kecenderungan batuan baik, sedang, dan buruk. Pada material *top soil* seluruhnya berada pada kelas V dengan kecenderungan kondisi sangat buruk dikarenakan massa batuan pada analisis RMR sangat buruk dan tidak berpengaruh pada analisis SMR dikarenakan tidak ditemukan struktur. *Unified Soil Classification System* (USCS) adalah pilihan yang paling mungkin untuk klasifikasi material *soil* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh persebaran zonasi *Slope Mass Rating* (SMR) dengan memperhatikan pembobotan kelas dari tiap parameter yang telah dihitung berdasarkan klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) serta karakteristik dan litologi batuan yang telah diamati dan dicatat dilapangan. Sketsa Zonasi secara megaskopis dengan memperhatikan koordinat patok penanda dilapangan dengan metode *window mapping* dan diplot sebagai peta berikut (Lampiran D).

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat menyimpulkan :

1. Pada *pit North* Osela RL 750, 765, dan 775 terdapat kelas massa batuan yang beragam sebagai berikut :
 - Kelas massa batuan klasifikasi RMR di area penelitian terdapat 4 kelas yaitu kelas II, III, IV, dan V. RMR II Batuan Kuat (61 – 80) sebanyak 26%, RMR III Batuan Sedang (41 – 60) sebanyak 37%, RMR IV Batuan buruk (20 – 40) sebanyak 3%, dan RMR V batuan sangat buruk (0-20) sebanyak 34%.
 - Indikasi terjadinya potensi longsor pada lereng terdapat 32 lereng dari 93 lereng. Keterdapatn potensi longsor tersebut berupa 1 longsor bidang (*Planar failure*), 28 longsor baji (*Wedge failure*), dan 3 longsor guling (*Toppling failure*). Sesuai dengan kriteria untuk menentukan potensi longsor diantaranya tidak terindikasi atau adanya bidang lemah (diskontinuitas) dan tidak dapat dikategorikan jenis longsor karena tidak sesuai dengan syarat longsor (*failure*).
 - Kelas Massa Batuan klasifikasi SMR di area penelitian terdapat 4 kelas yaitu kelas II, III, IV, dan V. SMR II kondisi baik (61 – 80) sebanyak

24%, SMR III kondisi sedang (41 – 60) sebanyak 26%, SMR IV kondisi buruk (20 – 40) sebanyak 12% dan SMR V kondisi sangat buruk (0-20) sebanyak 38%.

2. Pada *pit North* Osela RL 750, 765, dan 775 zonasi klasifikasi massa batuan berdasarkan pengukuran dan pengamatan karakteristik batuan serta litologi batuan di lokasi penelitian sebagai berikut :

- Zonasi klasifikasi massa batuan dengan metode *Window Mapping* dengan pengukuran dan pengamatan pada lokasi penelitian diperoleh data sebanyak 93 segmen yaitu 66 segmen pada RL 750, 16 segmen pada RL 765, dan 11 segmen pada RL 775 dengan ukuran *Window Mapping* 10 meter per-segmen. Sektor *South* elevasi RL750, dengan panjang 440 meter. Sektor *North* elevasi RL750, dengan panjang 220 meter. Sektor *North* elevasi RL765, dengan panjang 160 meter. Sektor *North* elevasi RL780, dengan panjang 110 meter.
- Zonasi klasifikasi berdasarkan litologi diperoleh data Alterasi argilik lanjut (*advance argilik*) merupakan alterasi paling sedikit persebarannya di lokasi penelitian dengan *range* nilai *Rock Mass Rating* (RMR) yang tidak seberagam alterasi argilik. Persebarannya alterasi argilik lanjut berada pada kelas II dan kelas III dengan kecenderungan batuan baik dan sedang. Pada alterasi argilik persebarannya pada kelas II dan kelas III dan IV dengan kecenderungan batuan baik, sedang, dan buruk. Pada material

top soil seluruhnya berada pada kelas V dengan kecenderungan batuan sangat buruk disebabkan pada semua parameter yang ada berada pada *rating* yang sangat buruk. Kelas massa batuan klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) cukup beragam juga. Persebarannya alterasi argilik lanjut berada pada kelas II, III, IV, dan kelas V dengan kecenderungan kondisi baik, sedang, buruk, dan sangat buruk. Pada alterasi argilik persebarannya pada kelas II dan kelas III dan IV dengan kecenderungan batuan baik, sedang, dan buruk. Pada material *top soil* seluruhnya berada pada kelas V dengan kecenderungan kondisi sangat buruk dikarenakan massa batuan pada analisis RMR sangat buruk dan tidak berpengaruh pada analisis SMR dikarenakan tidak ditemukan struktur.

5.2. Saran

1. Perlu diberikan perhatian khusus dan kewaspadaan pada area dinding lereng pit dengan karakter massa batuan lemah zonasi rawan kelas III, IV, dan V berdasarkan klasifikasi Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR). Himbauan untuk meningkatkan kewaspadaan jika sedang melakukan aktivitas di area *pit* yang berada pada kelas *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR) buruk.
2. Pembuatan toe ditch di bawah area dinding lereng dengan zonasi rawan berada di kelas RMR dan SMR III, IV, dan V supaya apabila terjadi longsor tidak langsung mengganggu akses yang dilalui manusia.

3. Perlu dilakukan suatu upaya perkuatan pada zonasi rawan berada pada RMR dan SMR III, IV, dan V. Perkuatan dapat dilakukan dengan 126 pemasangan *gravity/anchored wall* atau ekskavasi ulang dengan metode *digging* (penggalian).
4. Perlu dibuat peta rembesan airtanah untuk memberikan penilaian lebih akurat terhadap klasifikasi RMR.
5. Penelitian ini sebagai *input* desain bukaan tambang sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kemantapan lereng pada lokasi penelitian.



DAFTAR PUSTAKA

- ABM, 2007. *Unpublished PT. Avocet Bolaang Mongondow internal report*, Resource Development Group, Bakan Geology Report.
- Ahlburg, J.1913. *Versuch einer Geologischen darstellung der Insel Celebes*;Tijdschr. Nederl. Aardrijsk. Gen. 30, p. 611-618.
- Akin, DE., Rigsby, LL., Sethuaman, A., Morrison, WH., Gamble, GR., Eriksson, KEL. 1995. *Alteration in structure, chemistry, and biodegradability of grass lignocelluloses treated with the white rot fungi Ceriporiopsis subvermispora and Cyathus stercoreus*. Appl Environ Microbiol 61: 1591- 1598.
- Anbalagan. 1992. *Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain*. Eng. Geol, 32, 263-277.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. AA, Balkema, Netherland.
- Billings, M. P. 1954. *Structural Geology*: Prentice Hall, Engledwood Cliffs, New Jersey.
- Carlile, J.C., Digdowirogo S., dan Darius K., 1990. *Geological Setting, Characteristics and Regional Exploration for Gold in the Volcanic Arcs of North Sulawesi, Indonesia*, *Journal of Geochemical Exploration*, 35, p. 105 - 140.
- Corbett, G.J., and Leach, T.M., 1996. *Southwest Pacific Rim Gold-Cooper Systems: Structure, Alteration and Mineralization*. Workshop Manual: 186pp.
- Duncan C. Wyllie., dan Cristopher W. Mah, 2004. *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. Spon Press, London and New York.
- Duncan, C. W. dan Christopher, W. M. 2003. *Rock Sloping Engineering*. New York: Spon Press.
- Goel, R.K., dan Singh, B. 2011. *Engineering Rock Mass Classification*. UK : Elsevier.
- Guilbert, G.M & Park, C.F., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Hedenquist, J. W., Aribas, A. R., dan Urien E. G. 2000. *Exploration for Epithermal Gold deposits*, *Economic Geology*, vol. 13, p. 245-277.

- Hedenquist, J.W. dan Houghton, B. F. 1996. *Epithermal gold mineralisation and its volcanic environments*, 50, Elsevier, Amsterdam, 423pp.
- Hoek, E. and Bray, J. W., 1981. *Rock Slope Engineering*. The institution of menning an metallurgy. 3rd edition : London.
- ISRM, 2015. *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monittingoring* :2007-2014.page. 115. Springer.
- J Resources, 2015. *Annual Report PT J Resources Asia Pasifik Tbk*.
- Karnawati, D. 2003. *Manajemen Bencana Gerakan Tanah*. Diktat Kuliah.Yogyakarta : Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada. Di Dalam : Suranto,J.P. 2008. *Kajian Pemanfaatan Lahan Pada Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor di Gununglurah, Cilongok, Banyumas*. Tesis, UNDIP. Magister teknik pengembangan wilayah dan kota. UNDIP.tesis.
- Pearson, D.F. and Cairn, N.M., 1999. *The Geology and Metallogeny of Central North Sulawesi*. In: *PACRIM '99 Congress*. Australian Institute of Mining and Metallurgy, 4/99, p.311 - 326.
- Reyes, A.G. 1990. *Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment*. J. Volc. Geoth. Res.
- Romana, M. 1985. *New adjustment ratings for application of Bieniawski classifications to slopes*. *Proceeding of Rock Mechanics*. Zacatecas, Mexico, 49-53pp.
- Romana, M.R., 1993, *A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating*, Pergamon Press, Oxford - New York Seoul Tokyo, 45p.
- Sarasin, F. & Sarasin, P. 1901. *Entwurf Einer Geologischen Beschreibung Der Insel Celebes*. Wiesbaden, 1901.
- Skempton, A.W., and Hutchinson, J.N.1969. *Stability of natural slopes and embankment foundations*. State-of-the-Art Report. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico, 291335.
- Thompson, G.R., dan turk, J., 1997. *Introduction to Physical Geology*. Brooks Cole, Pp.
- Trail, D. S., John, T. V., Bird, M. C., Obial, R. C., Petzel, B. A., Abiong, D. B., Parwoto and Sabagio. 1974. *The general geological survey of block 2, Sulawesi Utara*. Indonesia, P.T. Tropic Endeavour Indonesia.

White N. C. and Hedenquist J. W. (1990). *Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration*. *Journal of Geochemical Exploration* 36(1-3): 445-474.

