

SKRIPSI

ANALISIS KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA BATUBARA PADA BATUAN LEMAH PIT A MUSI BANYUASIN SUMATRA SELATAN



Oleh

Kevin Akbar Adi Cahya 03021181520031

**JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

SKRIPSI

ANALISIS KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA BATUBARA PADA BATUAN LEMAH PIT A MUSI BANYUASIN SUMATRA SELATAN

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas
Teknik Universitas Sriwijaya**



Oleh

Kevin Akbar Adi Cahya 03021181520031

**JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA BATUBARA PADA BATUAN LEMAH PIT A MUSI BANYUASIN SUMATRA SELATAN

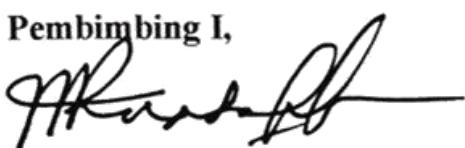
SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
KEVIN AKBAR ADI CAHYA
03021181520031

Indralaya, Agustus 2020

Pembimbing I,



Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA
NIP. 195811111985031007

Pembimbing II,



Ir. Muhammad Amin, MS.
NIP. 195808181986031006



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

Dr. Hj. Rr. Harminuke Iko Handayani, S.T., M.T.
NIP. 196902091997032001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kevin Akbar Adi Cahya
NIM : 03021181520031
Judul : Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara pada Batuan Lemah Pit A Musi Banyuasin Sumatera Selatan

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

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

Indralaya, Agustus 2020



(Kevin Akbar Adi Cahya)
NIM. 03021181520031

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kevin Akbar Adi Cahya
NIM : 03021181520031
Judul : Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara pada Batuan Lemah Pit A Musi Banyuasin Sumatera Selatan

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan atau *plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

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



, Agustus 2020

(Kevin Akbar Adi Cahya)
NIM. 03021181520031

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Berkah dan Anugerah-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara Pada Batuan Lemah Pit A Kabupaten Musi Banyuasin Provinsi Sumatra Selatan”.

Penelitian dilakukan mulai dari 18 Januari 2019 hingga 9 Maret 2019 di Sanga Desa Musi Banyuasin Sumatera Selatan dan Puslitbang Tekmira Jawa Barat. Penyelesaian penyusunan laporan ini dapat terjadi karena bantuan dari berbagai pihak, oleh sebab itu, diucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya Bapak Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA., dan Ir. Muhammad Amin, MS., selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II, selain itu juga diucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Ir. Subriyer Nasyir, MS., PhD, Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Hj. Rr. Harminuke Eko Handayani, ST., MT., Ir. Bochori, MT., Ketua Jurusan, dan Sekretaris Jurusan, Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya.
3. Bapak dan ibu Dosen yang telah memberikan ilmunya dan semua staf dan karyawan Jurusan Teknik Pertambangan yang telah membantu menyukseskan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Ir. Zulfami, M.T selaku pembimbing lapangan, Dr. Miftahul Huda M.T kepala KP3 tambang, beserta seluruh pegawai dan staf Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara

Menyadari bahwa substansi laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Indralaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| Halaman Judul | i |
| Halaman Pengesahan | iii |
| Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi | iv |
| Halaman Pernyataan Integritas | v |
| Riwayat Penulis | vi |
| Halaman Persembahan..... | vii |
| Kata Pengantar | viii |
| Abstrak..... | ix |
| <i>Summary</i> | x |
| Daftar Isi | xi |
| Daftar Gambar | xii |
| Daftar Tabel | xiii |
| Daftar Lampiran..... | xiv |
| | |
| BAB 1. PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Ruang Lingkup..... | 2 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5. Manfaat Penulisan | 3 |
| | |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. Analisis <i>Rock Mass Rating</i> | 4 |
| 2.1.1. Kuat tekan batuan..... | 4 |
| 2.1.2. <i>Rock quality designation</i> | 5 |
| 2.1.3. Jarak kekar | 5 |
| 2.1.4. Kondisi bidang diskontinuitas..... | 6 |
| 2.1.5. Kondisi umum air tanah | 9 |
| 2.2. Analisis <i>Slope Mass Rating</i> | 10 |
| 2.3. Kestabilan Lereng | 12 |
| 2.3.1. Kondisi geologi | 12 |
| 2.3.2. Perumusan desain lereng..... | 12 |
| 2.3.3. Jenis Longsoran..... | 14 |
| 2.3.4. Faktor – faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng | 17 |
| 2.3.5. Metode Analis kestabilan lereng | 19 |
| | |
| BAB 3. METODE PENELITIAN | |
| 3.1. Waktu dan Tempat | 23 |
| 3.2. Tahapan Penelitian | 23 |
| | |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1. Hasil Pengamatan Lokasi Penelitian | 26 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Analisis Klasifikasi <i>Rock Mass Rating</i> | 26 |
| 4.3. Analisis <i>Slope Mass Rating</i> | 28 |
| 4.4. Analisis Faktor Keamanan <i>Bishop</i> | 30 |
| 4.4.1. Perhitungan Variasi Geometri lereng | 30 |
| 4.4.2. Pengolahan Penampang dan Lapisan Batuan..... | 30 |
| 4.4.3. Hasil Analisis Kestabilan Lereng | 31 |
| 4.4.4. Pembahasan Kestabilan Lereng | 34 |
| 4.4.4.1. Pengaruh Struktur Geologi Terhadap Kestabilan Lereng | 34 |
| 4.4.4.2. Pengaruh Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng | 35 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1. Kesimpulan | 38 |
| 5.2. Saran..... | 38 |

**DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN**

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| 2.1. Mekanisme kerja uji <i>Uniaxial Compressive Strength</i> | 5 |
| 2.2. <i>Aperture</i> atau pemisah antar bidang diskontinuitas..... | 7 |
| 2.3. Material pengisi atau <i>infilling gouge</i> | 7 |
| 2.4. Profil kekasaran bedang permukaan..... | 6 |
| 2.5. Komponen desain lereng tambang terbuka..... | 13 |
| 2.6. Klasifikasi batuan berdasarkan nilai kuat tekan. | 14 |
| 2.7. Longsoran bidang | 16 |
| 2.8. Longsoran baji | 16 |
| 2.9. Longsoran busur | 17 |
| 2.10. Longsoran guling..... | 17 |
| 2.11. Gaya yang bekerja pada metode Bishop..... | 22 |
| 3.1. Bagan Alir Penelitian..... | 25 |
| 4.1. Grafik faktor keamanan pada kondisi kering..... | 32 |
| 4.2. Grafik faktor keamanan pada kondisi setengah jenuh | 33 |
| 4.3. Grafik faktor keamanan pada kondisi jenuh | 34 |
| 4.4. Korelasi air tanah dengan faktor keamanan..... | 35 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|----------------|
| 2.1. <i>Rock mass rating classification</i> | 4 |
| 2.2. Klasifikasi jarak antar bidang diskontinuitas..... | 6 |
| 2.3. Klasifikasi <i>persistence</i> | 6 |
| 2.4. Klasifikasi <i>aperture</i> | 7 |
| 2.5. Pembobotan kondisi air tanah..... | 9 |
| 2.6. Bobot analisis <i>rock mass rating classification</i> | 11 |
| 2.7. Bobot penyesuaian orientasi bidang lemah dengan orientasi lereng | 11 |
| 2.8. Bobot penyesuaian metode penggalian..... | 11 |
| 2.9. Kelas <i>slope mass rating</i> | 11 |
| 2.10. Rekomendasi <i>pit slope</i> | 19 |
| 2.11. Nilai faktor keamanan lereng tambang | 22 |
| 4.1. Pembobotan parameter klasifikasi <i>rock mass rating</i> lereng pit a | 26 |
| 4.2. Kualitas batuan berdasarkan <i>rock mass rating</i> dilokasi penelitian..... | 28 |
| 4.3. Perhitungan klasifikasi <i>slope mass rating</i> pada lokasi penelitian..... | 29 |
| 4.4. Klasifikasi SMR pada daerah penelitian..... | 30 |
| 4.5. Faktor keamanan pada kondisi kering | 31 |
| 4.6. Faktor keamanan pada kondisi setengah jenuh..... | 32 |
| 4.7. Faktor keamanan pada kondisi jenuh..... | 33 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|----------------|
| A. Data Penyelidikan Geoteknik | 42 |
| A.1.Peta Geologi Regional | 42 |
| A.2.Peta Topografi dan Sebaran Bor | 43 |
| A.3.Penampang Sayatan 1 | 44 |
| B. Hasil Uji Laboratorium..... | 46 |
| B.1. Ringkasan Hasil Uji Sifat Fisik..... | 46 |
| B.4. Ringkasan Hasil Uji <i>Unconfined Compression Test</i> | 46 |
| B.5. Ringkasan Hasil Uji <i>Direct Shear</i> | 47 |
| C. Litologi Batuan Daerah Penelitian..... | 48 |
| D. Kondisi Bidang Lemah | 49 |
| D.1. Lereng Pit A | 49 |
| D.2. Kondisi Bidang Lemah | 50 |
| E. Data Kondisi Kekar | 51 |
| F. Perhitungan <i>Rock Quality Designation</i> (RQD)..... | 54 |
| F.1. Hasil Pengukuran <i>Scanline</i> | 54 |
| G. Data Orientasi Lereng dan <i>Joint Set</i> | 55 |
| G.1. Orientasi Lereng Pit A | 55 |
| G.2. Arah Umum <i>Joint Set</i> Pit A | 55 |
| H. Perhitungan <i>Slope Mass Rating</i> (RMR)..... | 56 |
| H.1. Klasifikasi <i>Slope Mass Ratio</i> pada pit A <i>joint set 1</i> | 58 |
| H.2. Klasifikasi <i>Slope Mass Ratio</i> pada pit A <i>joint set 2</i> | 59 |
| H.3. Klasifikasi <i>Slope Mass Ratio</i> pada pit A <i>joint set 3</i> | 60 |
| H.4. Klasifikasi <i>Slope Mass Ratio</i> pada pit A <i>joint set 4</i> | 61 |
| H.5. Klasifikasi <i>Slope Mass Ratio</i> pada pit A <i>joint set 5</i> | 62 |
| H.6. Klasifikasi <i>Slope Mass Ratio</i> pada pit A <i>joint set 6</i> | 63 |
| I. Perhitungan Variasi Geometri Lereng | 64 |
| I.1. Ringkasan Perhitungan Geometri Lereng..... | 64 |
| J. Spesifikasi Alat..... | 66 |
| J.1. Dimensi <i>Terex Dump Truck TR50</i> | 66 |
| J.2. <i>Komatsu PC-400</i> | 67 |

RINGKASAN

ANALISIS KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA BATUBARA PADA BATUAN LEMAH PIT A MUSI BANYUASIN SUMATRA SELATAN
Karya tulis ilmiah berupa laporan Skripsi, Juli 2020

Kevin Akbar Adi Cahya, Dibimbing oleh Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA., dan Ir. Muhammad Amin, MS.

Analysis of coal mine slope stability on low strength rock pit a musi banyuasin south sumatra.

xi + 67 halaman, 16 gambar, 18 tabel, 10 Lampiran

RINGKASAN

Perusahaan tambang sebelum melakukan kegiatan eksplorasi harus memiliki kajian geoteknis yang mendukung desain penambangan. Penelitian ini dilatar belakangi oleh adanya perubahan atau pergeseran material yang terjadi di pit A dan banyaknya kekar yang diakibatkan dari struktur geologi yang mengakibatkan longsoran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui klasifikasi batuan, deskripsi, kelongsoran, serta kestabilan lereng untuk mengatasi longsoran pada lokasi penelitian, maka dari itu digunakan metode Rock Mass Rating (RMR), Slope Mass Rating (SMR) dan Bishop dalam menganalisis dan mengevaluasi kestabilan lereng. Analisis klasifikasi massa batuan menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) menunjukkan hasil bahwa kondisi batuan di daerah penelitian termasuk dalam klasifikasi kelas IV dengan deskripsi buruk, tidak stabil, dan memiliki jenis longsoran bidang atau bajih. Untuk menanggulangi terjadinya longsoran, berdasarkan hasil perhitungan dan analisis kestabilan lereng, maka desain lereng yang paling optimal dan stabil adalah dengan tinggi lereng tunggal (H_s) 6 m, sudut kemiringan lereng tunggal (β) 45° , Lebar jenjang 15,75 m. Nilai faktor keamanan yang didapat 1,440 sesuai dengan kriteria lereng stabil.

Kata Kunci : Bishop, Lereng, RMR, SMR
Kepustakaan : 16 (1955 – 2016)

SUMMARY

ANALYSIS OF COAL MINE SLOPE STABILITY ON LOW STRENGHT ROCK PIT A MUSI BANYUASIN SOUTH SUMATRA.

Scientific paper in the form of Final Projects, July 2020

Kevin Akbar Adi Cahya, Guided by Dr. Ir. H. Marwan Asof, DEA., and Ir. Muhammad Amin, MS.

Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara pada Batuan Lemah Pit A Musi Banyuasin Sumatra Selatan.

xi + 67 halaman, 16 gambar, 18 tabel, 10 Lampiran

SUMMARY

Mining companies must carry geotechnical studies that support mining designs before exploitation activities. This research is motivated by the changes material that occur in pit A and geological structures that cause landslide. The purpose of this research to classify rocks, get description, landslide information, and slope stability to resolve landslide problems on the site, therefore Rock Mass Rating (RMR) , Slope Mass Rating (SMR) and Bishop methods are used in analyzing and evaluating the stability of these slopes. Analysis of rock mass classification using the Rock Mass Rating (RMR) and Slope Mass Rating (SMR) methods shows the results that the rock conditions in area are included in the class IV classification with description bad, not stable, and has plane or block landslide type. To resolve landslide, based on the results of calculations and analysis of slope stability, the most optimal and stable slope design is with a single slope height (Hs) 6 m, single slope angular angle (β) 45°, bench width 15,75 m. Safety factor value obtained is 1.440 according to the criteria for stable slope.

Keywords : Bishop, RMR, Slope, SMR
Literature : 16 (1955 – 2016)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perusahaan tambang sebelum melakukan kegiatan eksplorasi harus memiliki kajian geoteknis yang mendukung desain penambangan.

Desain lereng bertujuan untuk menentukan keseimbangan kemiringan lereng bagi perusahaan tambang. Lereng yang semakin curam akan memaksimalkan perolehan penambangan, namun meningkatkan risiko kestabilan lereng (lereng cenderung tidak stabil). Lereng yang dibuat dengan kemiringan dan ketinggian yang berbeda akan menimbulkan distribusi tegangan baru karena mengganggu distribusi tegangan lereng alamiah yang ada. Salah satu akibat dari distribusi tegangan baru ini itu berupa keruntuhan jenjang sebagai salah satu sifat alamiah lereng untuk mencari kesetimbangan baru dengan cara pengurangan beban yang ditanggungnya. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh karakteristik material di daerah penelitian yang memiliki kekuatan batuan lemah dan terjadi kelongsoran pada lokasi penelitian. Longsoran seringkali terjadi pada saat hujan lebat. Air hujan yang mengalami infiltrasi ke dalam tanah akan membuat tanah menjadi jenuh sehingga bertambahnya berat unit tanah yang akan menambah beban lereng mengakibatkan meningkatnya gaya dorong material untuk longsoran, kemudian adanya tekanan air pori akan menimbulkan gaya angkat air dan melemahkan kohesi antar butir tanah tersebut sehingga mengurangi kuat geser lereng untuk menahan longsoran.

Gangguan terhadap keamanan lereng akan menganggu kelancaran pelaksanaan penambangan dan keselamatan kerja. Adanya desain lereng yang aman dan ideal dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas penambangan yang maksimal. Dalam menentukan keamanan lereng dikenal istilah faktor keamanan. Hasil analisis dari faktor keamanan akan memberikan penilaian terhadap kondisi suatu lereng yang dinyatakan stabil atau tidak stabil.

Berdasarkan hal tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara pada Batuan Lemah Pit A Musi Banyuasin Sumatra Selatan”.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rekomendasi desain lereng pit A yang optimal dan stabil ?
2. Bagaimana cara mengatasi masalah kelongorsoran pada pit A Musi Banyuasin, Sumatera Selatan ?

1.3. Ruang Ligup

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini dibatasi pada kajian sebagai berikut :

1. Data yang digunakan untuk membuat desain lereng dan untuk menentukan parameter dalam analisis kestabilan lereng merupakan data hasil penyelidikan geoteknik serta hasil uji lab geoteknik yang dilakukan Puslitbang Tekmira;
2. Pengujian contoh geoteknik di Laboratorium Geomekanika Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara di Bandung, dengan jumlah contoh yang diuji adalah 42 sampel batuan;
3. Pengolahan data geoteknik, yaitu merinci dan menyajikan data hasil penyelidikan lapangan data hasil uji laboratorium berupa Sifat fisik dan mekanik batuan yang menjadi sumber input data untuk pemodelan dan analisis kemantapan lereng;
4. Pemodelan lereng tambang, yaitu membuat variasi model geometri lereng tambang terbuka pada pit A menggunakan *software AutoCAD 2016*, tidak membahas *pit limit, stripping ratio, dan break even stripping ratio*.
5. Analisis kestabilan lereng dilakukan terhadap variasi model geometri dengan asumsi kondisi air tanah pada keadaan kering, setengah jenuh, dan jenuh menggunakan *software RocScience Slide 6.0*

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat desain lereng pit A Sumatera Selatan yang optimal dan stabil.

2. Mengurangi kemungkinan keterjadian longsor berdasarkan analisis *Rock Mass Ratio*, *Slope Mass Ratio* dan Menganalisis faktor keamanan pada pit A Sumatera selatan dengan metode *Bishop*.

1.5. Manfaat Penulisan

Adapun manfaat yang didapatkan dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

1. Sebagai pendekatan untuk memecahkan masalah kemungkinan longsor yang akan terjadi pada pit A sumatra selatan.
2. Sebagai rekomendasi untuk desain akhir penambangan yang optimal dan stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Atmaja, D. 2014. Kajian Klasifikasi Massa Batuan Dan Analisis Stereografis Terhadap Stabilitas Lereng Pada Operasi Penambangan Tambang Batubara Air Laya, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. *Geological Engineering EJournal*, 6(2), 570 - 586.
- Barton, C. 1973. Review Of New Strength Criterion For Rock Joints. *Engineering Geology*, Vol. 7, Co, 4: 287-332.
- Bieniawski, Z.A. 1984. *Rock Mechanics Design in Open pit Mining*. Boston: A.A. Balkema
- Bishop, A.W. 1955. The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes. *Journal of general theory of stability of slope geotechnique* Vol 5, Co 1: 7- 12
- Bowles, J. E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Foils*. USA: McEraw-Hill Book Company
- DAS, B.M., 1993. *Principles of Geotechnical Engineering*. New York : PWS Publishing Company
- Domana, M. 1985. *New adjustment rating for application of Bieniawski classification to slope, in: Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works*. Zacatecas : International Society of Rock Mechanics. Page 49-53
- Ferry, H. 1996. *Engineering Geology*. Michigan: Universitas Michigan
- Gratchev, I. 2019. *Rock Mechanics Through Project-Based Learning*. Leiden: CRC Press, LLC.
- Hartman, H.L. 1987. *Introductory Mining Engineering*. New York: John Wiley and Sons.

Heriyadi, B. 2015. Analisis Kestabilan Lereng Untuk Menentukan Geometri Lereng Pada Area Penambangan Pit Muara Tiga Besar Selatan PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan, *Jurnal Bina Tambang*, 2(1), 145 – 153.

Hoek and Bray. 1981. *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy : CDC Press

Hudson, J.A. 1976. *Engineering Rock Mechanics Introduction to The Principles*. United Kingdom: Elsevier Science Ltd

Mah, C. W. and Wyllie, D. C. 2004. *Rock Slope Engineering: Aivil and Mining 4th edition (Based on the 3rd edition by Hoek and Bray. The Institute of Mining and Metallurgy)*. New York: Taylor and Francis

Zhang, L. 2016. Determination and Applications of Rock Quality Designation (RQD), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 8(3), 389 – 397.