

# **Evaluasi Faktor Keamanan Lubang Bukaannya Tambang Bawah Tanah dengan Metoda Analisis Deterministik pada Perangkat Lunak RocSupport 3.0 pada Mine Haulage Level L-500**

(Studi Kasus PT Aneka Tambang, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat)

<sup>1</sup>Muhammad Rendy Yusuf, <sup>2</sup>Yuliadi, <sup>3</sup>Dono Guntoro

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,

Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116

Email: <sup>1</sup>muhammad.rendy.yusuf@gmail.com

**Abstract.** Gold Mining Business Unit (UBPE) Pongkor, PT Aneka Tambang is one of the mines in Indonesia under the auspices of PT. Aneka Tambang, Tbk, which applies underground mining system with cut and fill method. The underground mine is a complex activity mainly related to the unloaded rock force for tunnel making. Underground mining methods are closely related to the stability of openings. This is also due to the presence of different rock characteristics and allows the emergence of weak areas of rock that will lead to rock instability. Classification of rock mass is useful to provide an initial estimate of the need for buffers, as well as to estimate the strength and shifting mass of rocks. There are two methods of rock mass classification are often used, namely Q-System and Rock Mass Rating (RMR). The Research location at mine haulage level I-500, is an underground mine access which is very important for production activity in PT. Antam, Tbk, UBPE, Pongkor. Almost all mining activities pass through the access. Then, the evaluation of factor of safety in this area is so important, to prevent the decrease in the stability of the tunnel and to reduce probability of failure. The research process is based on Rock Mass Rating and Q-System methods, which will be used as input data in RocSupport 3.0 software. Classification of rock mass with RMR method obtained average rating of 59,889 (class III) required support in the form of rockbolts, wiremesh and shotcrete and with method of Q-System obtained average rating equal to 13.01 belonging to medium mass rock group, support needed with using rockbolts. This is evidenced by the results of security factors obtained from GSI (Geological Strength Index) data of  $> 2$ .

**Keywords:** RMR, Q-System, GSI, and Factor of Safety

**Abstrak.** PT Aneka Tambang merupakan salah satu tambang di Indonesia yang berada di bawah naungan PT. Aneka Tambang, Tbk, yang menerapkan sistem penambangan bawah tanah dengan metode cut and fill. Tambang bawah tanah merupakan kegiatan yang kompleks terutama terkait dengan kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan terowongan. Metode penambangan bawah tanah sangat erat kaitannya dengan kestabilan lubang bukaan. Hal ini juga dikarenakan adanya karakteristik batuan yang berbeda-beda dan memungkinkan munculnya bidang lemah batuan yang akan menyebabkan terjadinya ketidakstabilan batuan. Klasifikasi massa batuan bermanfaat untuk memberikan perkiraan awal kebutuhan penyangga, serta untuk memperkirakan kekuatan dan perubahan bentuk massa batuan. Terdapat dua metode klasifikasi massa batuan yang sering digunakan, yaitu Q-System dan Rock Mass Rating (RMR). Lokasi penelitian yang berada di mine haulage level I-500, merupakan suatu akses lubang bukaan tambang bawah tanah yang sangat penting bagi berjalannya kegiatan operasi produksi di PT Antam, Tbk, UBPE, Pongkor. Hampir keseluruhan kegiatan melewati akses tersebut. Maka, dilakukannya pengevaluasian faktor keamanan pada akses tersebut, untuk mencegah terjadinya penurunan kestabilan lubang bukaan hingga terjadinya ambruk. Proses penelitian ini dilakukan berdasarkan klasifikasi massa batuan (Rock Mass Rating & Q-System) yang nantinya digunakan untuk dijadikan sebagai data masukan pada perangkat lunak RocSupport 3.0. Klasifikasi massa batuan dengan metode RMR diperoleh rating rata-rata sebesar 59,889 (kelas III) dibutuhkan penyanggaan berupa rockbolts, wiremesh dan shotcrete dan dengan metode Q-System diperoleh rating rata-rata sebesar 13.01 yang termasuk ke dalam kelompok massa batuan sedang, dibutuhkan penyanggaan dengan menggunakan rockbolts. Hal ini dibuktikan pada hasil faktor keamanan yang didapatkan dari data GSI (Geological Strength Index) sebesar  $> 2$ .

**Kata Kunci:** RMR, Q-System, GSI, dan Faktor Keamanan

## A. Pendahuluan

### Latar Belakang

Secara garis besar, Tambang bawah tanah merupakan kegiatan yang kompleks terutama terkait dengan kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan terowongan. Metode penambangan bawah tanah sangat erat kaitannya dengan kestabilan lubang bukaan, yang berupa lubang bukaan produksi maupun lubang bukaan akses seperti pada lokasi penelitian. Besarnya tingkat kestabilan lubang bukaan dipengaruhi oleh kondisi batuan. Kondisi batuan pada lubang bukaan umumnya berkaitan dengan sifat mekanik massa batuan serta struktur geologi berupa kekar, lipatan dan sesar (patahan), yang mengakibatkan tingginya *displacement* massa batuan. *Displacement* massa batuan adalah pemicu utama terjadinya ambruk pada suatu lubang bukaan.

Bertitik tolak pada masalah di atas, perlu adanya penguatan terhadap massa batuan berupa klasifikasi massa batuan dan penentuan sistem penyanggaan lubang bukaan akses yang optimal, untuk selanjutnya diaplikasikan pada lokasi penelitian berdasarkan studi terhadap kondisi batuan dengan menggunakan analisis empirik *Rock Mass Rating* dan *Q-System*, sehingga lubang bukaan pada lokasi penelitian tetap stabil.

### Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kondisi geologi secara umum pada lokasi penelitian.
2. Menentukan klasifikasi massa batuan dan sistem penyanggaan dengan menggunakan metoda *Rock Mass Rating & Q-System* pada lubang bukaan.
3. Menentukan nilai FK pada lubang bukaan.

## B. Landasan Teori

Tambang bawah tanah merupakan kegiatan yang kompleks terutama terkait dengan kekuatan batuan yang dibongkar untuk pembuatan terowongan. Besarnya tingkat kestabilan lubang bukaan dipengaruhi oleh kondisi batuan. Kondisi batuan pada lubang bukaan umumnya berkaitan dengan sifat mekanik massa batuan serta struktur geologi berupa kekar, lipatan dan sesar (patahan), yang mengakibatkan tingginya *displacement* massa batuan. *Displacement* massa batuan adalah pemicu utama terjadinya ambruk pada suatu lubang bukaan. Kemantapan suatu bukaan bawah tanah tak hanya tergantung pada faktor geologi, namun juga tergantung pada hubungan tegangan dan kekuatan di dalam massa batuan. Pada bukaan yang dekat dengan permukaan, pengaruh yang paling kuat adalah kondisi struktur geologi dan derajat pelapukan massa batuan. Sedangkan bukaan yang jauh dari permukaan faktor yang lebih berpengaruh adalah reaksi massa batuan terhadap tegangan yang ada di sekitar lubang bukaan. Hal yang cukup kompleks dalam penentuan model bukaan bawah tanah adalah memperkirakan kekuatan dan deformabilitas massa batuan. Selain instrumentasi yang digunakan tidak sederhana, biayanya pun cukup besar. Klasifikasi massa batuan adalah pengelompokan massa batuan atas penilaian yang diberikan berdasarkan berbagai informasi tentang batuan. Informasi berupa karakteristik batuan, tegangan, kondisi hidrologi, dan komposisi batuan. Klasifikasi massa batuan bermanfaat untuk memberikan perkiraan awal kebutuhan penyangga, serta untuk memperkirakan kekuatan dan perubahan bentuk massa batuan.

Terdapat dua metode klasifikasi massa batuan yang paling sering digunakan, yaitu *Q-System* atau *Rock Tunneling Quality Index* (Barton et al., 1974) dan *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1989). Persamaan kedua metode klasifikasi ini adalah, dalam pemberian nilai kuantitatif terhadap kualitas massa batuan sama-sama memasukkan keadaan geologi, geometri, dan beberapa parameter teknik. Sementara

perbedaannya terletak pada jangkauan total nilai klasifikasi yang diberikan, dimana *Q-System* memberikan rentang nilai 0,001 – 1000 sementara RMR memberikan rentang nilai 0 – 100. Selain itu, *Q* memperhitungkan kuat tekan yang dialami massa batuan untuk mengkuantifikasi pengaruh tegangan, serta *Stress Reduction Factor*, sementara RMR mempertimbangkan faktor kuat tekan uniaksial sebagai salah satu parameter, namun tidak memasukkan tegangan sebagai salah satu parameternya.

Berikut ini merupakan 6 parameter dalam menentukan klasifikasi massa batuan berdasarkan RMR menurut Z.T Biniawski, 1979:

1. Uji kuat tekan batuan (*Uniaxial compressive strength*) ( $\sigma_c$ )
2. *Rock Quality Designation* (RQD)
3. Spasi Bidang Diskontinu (*Spacing of Discountinuities*)
4. Kondisi Bidang Diskontinu (*Condition of Discountinuities*)
5. Kondisi Air Tanah (*Groundwater Condition*)
6. Faktor Koreksi Orientasi Bidang Diskontinu (*Rating of Adjustment for Discountinuity Orientations*)

Berikut enam parameter yang digunakan dalam klasifikasi *Q-System*:

1. *Rock Quality Designation* (RQD)
2. Jumlah family kekar ( $J_n$ )
3. Kekasaran permukaan bidang diskontinu ( $J_r$ )
4. Tingkat alterasi bidang diskontinu ( $J_a$ )
5. Kondisi hidrologi bidang diskontinu ( $J_w$ )
6. *Stress Reduction Factor*

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### *Rock Mass Rating*

1. *Uniaxial Compressive Strength* (UCS)

Berdasarkan hasil pengamatan dengan dilakukannya pengujian UCS pada sample batuan diperoleh nilai rata – rata UCS batuan pada 42,02 – 69,95 MPa. Hal ini dikarenakan batuan penyusun pada terowongan Mine Haulage Level L-500 ini merupakan tufa breksi terutama disusun oleh tufa, tufa lapili, tufa breksi, aglomerat, dan sisipan lempung dengan urat kuarsa.

2. *Rock Quality Designation* (RQD)

Berdasarkan hasil pengamatan langsung pada bidang diskontinuitas dalam hal ini kekar, maka diperoleh nilai RQD rata – rata pada lokasi pengamatan sebesar 90.426 %, dengan demikian perolehan RQD pada lokasi pengamatan ini dinyatakan sangat baik. Hal ini dikarenakan terdapat lokasi pengamatan tertentu yang cukup banyak perolehan bidang discontinuitas pada massa batuan. Tinggi dan rendahnya nilai RQD yang diperoleh, merupakan suatu parameter singkat yang dapat menyatakan bahwa cukup baik atau tidaknya massa batuan pada lokasi penelitian.

3. Spasi Bidang Diskontinu (*Spacing of Discountinuities*)

Berdasarkan hasil pengamatan dengan cara dilakukannya pengukuran pada spasi bidang kekar, maka diperoleh dua spasi bidang kekar yang sangat dominan sebesar 60 – 200 cm dan 200 – 600 cm. Cukup tingginya nilai spasi antar kekar tentunya berkaitan dengan perolehan nilai RQD pada point sebelumnya yang menunjukkan cukup baiknya % RQD dan berkaitan dengan nilai UCS batuan yang menyatakan kuat tekan batuan utuh dengan perolehan yang baik. Dengan demikian ketiga data tersebut dikatakan tepat.

4. Kondisi Bidang Diskontinu (*Condition of Discountinuities*)

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan secara langsung pada bidang discontinuitas, yaitu:

a. Panjang Diskontinu (*Discontinuity Length*)

Panjang bidang diskontinu yang didapatkan pada 15 stasiun secara dominan memiliki panjang dibawah 1 meter. Hal ini merupakan keuntungan bagi lubang bukaan dikarenakan bidang diskontinu yang terdapat di lokasi penelitian memiliki kemenerusan yang rendah.

b. Separasi Bidang Diskontinu (*Separation*)

Pada umumnya jarak antar kedua bidang diskontinu (*separation*) di lokasi penelitian ini memiliki jarak yang cukup beragam, diantaranya sebesar <1mm, >1mm dan juga 1 – 5mm. Berkaitan dengan beberapa poin sebelumnya, dengan demikian *separation* merupakan parameter berikutnya yang membuktikan cukup baiknya batuan penyusun pada lokasi penelitian, karena semakin kecil nilai *separation* maka kualitas batuan kemungkinan akan lebih baik.

c. Kekasaran Bidang Diskontinu (*Joint Roughness*)

Secara keseluruhan, massa batuan pada lokasi pengamatan memiliki karakteristik kekasaran bidang diskontinu yang dinyatakan sangat kasar hingga cukup kasar, bahkan di beberapa stasiun terdapat bidang diskontinu yang halus. Hal ini dibuktikan dengan kondisi batuan yang butirannya dapat dirasakan, terlihat jelas sehingga akan dengan mudah untuk membedakannya.

d. Material Pengisi (*Material Infilling*)

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, didapat rata – rata tebal infilling atau material pengisi kekar sebesar 0,01 mm namun ditemukan satu material pengisi pada satu kekar dengan tebal >50mm. Rata – rata infilling yang memiliki tebal yang kecil menunjukan bahwa cukup baiknya kualitas batuan di lokasi penelitian. Karena material pengisi pada kekar ini mempengaruhi stabilitas lubang bukaan. Ini dibuktikan dengan ketebalan material pengisi, sifatnya material pengisi dan konsistensi posisi material pengisi pada kekar tersebut.

e. Tingkat Pelapukan

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan secara visual keseluruhan, bahwa lokasi penelitian dengan kondisi batuan yang mengalami tingkat pelapukan yang cukup. Terdapat bidang kekar yang sedikit terlapukan dan tidak terlapukan. Hal ini dikarenakan secara keseluruhan, batuan mengalami perubahan warna menjadi kehitaman menyerupai tanah, namun tekstur batuan masih utuh meskipun butiran batuan telah terdekomposisi menjadi tanah. Namun terdapat pula yang tidak terlapukan pada beberapa stasiun. Tinggi atau rendahnya tingkat pelapukan akan mempengaruhi kualitas batuan tersebut.

5. Kondisi Air Tanah (*Groundwater Condition*)

Berdasarkan pengamatan secara visual dilapangan, maka dapat dirata – ratakan bahwa kondisi general air tanah pada lokasi penelitian berada pada kondisi lembab. Kondisi air tanah yang lembab tentunya akan mengurangi kekuatan massa batuan sehingga kualitas batuan akan menurun.

6. Faktor Koreksi Orientasi Bidang Diskontinu (*Rating of Adjustment for Discontinuity Orientations*)

Berdasarkan pengamatan di lapangan, maka didapatkan data kedudukan bidang diskontinu yang memotong atau tegak lurus terhadap lubang bukaan, namun strike memotong arah lubang bukaan menjadi cukup dominan secara keseluruhan. dengan dip antara 45 - 90°. Hal ini cukup baik dikarenakan kondisi bidang diskontinu memiliki kemiringan yang cukup besar sehingga akan menambah kekuatan massa batuan.

## ***Q-System***

### 1. *Rock Quality Designation (RQD)*

Berdasarkan hasil pengamatan langsung pada bidang discontinuitas dalam hal ini kekar, maka diperoleh nilai RQD rata – rata pada lokasi pengamatan sebesar 92.333 %, dengan demikian perolehan RQD pada lokasi pengamatan ini dinyatakan sangat baik. Hal ini dikarenakan terdapat lokasi pengamatan tertentu yang cukup banyak perolehan bidang diskontinuitas pada massa batuan. Tinggi dan rendahnya nilai RQD yang diperoleh, merupakan suatu parameter singkat yang dapat menyatakan bahwa cukup baik atau tidaknya massa batuan pada lokasi penelitian.

### 2. *Jumlah Keluarga Kekar (Joint Sets Number/Jn)*

Berdasarkan hasil pengamatan dengan cara dilakukannya pengamatan secara visual di lapangan, maka diperoleh jumlah keluarga kekar yang berkisar di antara 2 *joint sets* – 3 *joint sets* + *random*. Cukup tingginya jumlah keluarga kekar pada suatu lokasi pengamatan akan menjadikan semakin tidak kompetennya batuan tersebut dan berkaitan dengan nilai UCS batuan yang menyatakan kuat tekan batuan utuh dengan perolehan yang baik. Dengan demikian ketiga data tersebut dikatakan tepat.

### 3. *Kekasaran Bidang Kekar (Joint Roughness/Jr)*

Secara keseluruhan, pada lokasi pengamatan ini memiliki karakteristik kekasaran bidang kekar yang kasar, tidak beraturan, dan bergelombang. Terdapat pula pada lokasi tertentu yang memiliki karakteristik bidang kekar yang rata dan halus. Hal ini dibuktikan dengan kondisi batuan yang butirannya dapat dirasakan, terlihat jelas sehingga akan dengan mudah untuk membedakannya. Semakin kasarnya permukaan bidang akan semakin baik bagi massa batuannya.

### 4. *Alterasi Pada Kekar (Joint Alteration Number/Ja)*

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, secara umum kekar tidak terisi material yang dominan, namun didapat rata – rata tebal infilling atau material pengisi kekar sebesar 0,01 mm dan juga ditemukan satu material pengisi pada satu kekar dengan tebal >50mm. Rata – rata infilling yang memiliki tebal yang kecil menunjukkan bahwa cukup baiknya kualitas batuan di lokasi penelitian. Karena material pengisi pada kekar ini mempengaruhi stabilitas bidang diskontinu. Ini dibuktikan dengan ketebalan material pengisi, sifatnya material pengisi dan konsistensi posisi material pengisi pada kekar tersebut.

### 5. *Kondisi Air Tanah Pada Kekar (Joint Water Reduction/Jw)*

Berdasarkan pengamatan secara visual dilapangan, maka dapat dirata – ratakan bahwa kondisi general air tanah pada lokasi penelitian berada pada kondisi dry excavation / < 5 lt/min. Kondisi air tanah yang lembab tentunya akan mengurangi kekuatan massa batuan sehingga kualitas batuan akan berubah.

### 6. *Faktor Koreksi Akibat Tegangan (Stress Reduction Factor/SRF)*

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengolahan data, maka dapat diketahui bahwa kondisi tegangan pada lubang bukaan di lokasi pengamatan ini dalam keadaan tegangan cukup tinggi. Hal ini dikarenakan kekuatan batuan cukup rendah walaupun lokasi lubang bukaan yang berdekatan dengan permukaan dan tinggi atau rendahnya nilai tegangan tentunya berpengaruh pada kualitas batuan.

## **Rekomendasi Penyanggaan RMR & Q-System**

### 1. Menurut RMR

Berdasarkan beberapa kondisi lubang bukaan *Mine Haulage Level L-500* pada beberapa poin parameter klasifikasi batuan di atas, maka diperoleh nilai rata – rata RMR (*Rock Mass Rating*) sebesar 59,889 yang menyatakan kondisi batuan pada kelas III

dengan deskripsi *fair rock* dan memiliki *stand up time* atau kemampu-tahanan batuan tanpa menggunakan penyangga selama *1 week for 5 m*. Kondisi ini menyatakan bahwa adanya kemungkinan untuk jatuhnya massa batuan dengan sifat yang tidak lokal/setempat, namun masih memiliki kemungkinan untuk massa batuan dalam menyangga dirinya sendiri pada span 5 meter mampu bertahan selama 1 minggu tanpa menggunakan penyangga. Dengan demikian, lokasi penelitian ini dapat dinyatakan cukup stabil. Dengan hasil pengklasifikasian massa batuan berdasarkan metoda RMR, maka dengan demikian rekomendasi penyangga yang tepat yang dapat diterapkan pada lokasi pengamatan menurut tabel petunjuk penyanggan RMR yaitu pemasangan kombinasi jenis penyangga, yaitu penyangga dinamis *systematic rock bolt* dengan panjang 4 meter, spasi 1,5 – 2 meter pada atap dan dinding terowongan dengan ditambah *wiremesh* serta jenis penyangga statis yaitu aplikasi *shotcrete* dengan tebal 50 – 100 mm pada atap terowongan dan 30 mm pada kedua sisi atau dinding terowongan.

## 2. Menurut *Q-System*

Berdasarkan beberapa kondisi lubang bukaan *Mine Haulage Level L-500* pada beberapa poin parameter klasifikasi batuan di atas, maka diperoleh nilai *Quality* batuan pada lubang bukaan dengan perolehan rata – rata sebesar 13.01 dan *Equivalent Dimension* sebesar 3.1. Hal ini menyatakan kondisi batuan dengan deskripsi *good rock*. Dengan demikian, lokasi penelitian ini dapat dinyatakan cukup stabil.

Dengan hasil pengklasifikasian massa batuan berdasarkan metoda *Q-System*, maka dengan demikian rekomendasi penyangga yang tepat yang dapat diterapkan pada lokasi pengamatan yaitu pemasangan kombinasi jenis penyangga, yaitu jenis penyangga dinamis *systematic rockbolt* dengan spasi 2 – 3 meter dengan ditambah *wiremesh*.

## Nilai Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan yang didapatkan di setiap stasiun, mendapatkan nilai  $>2$  dengan menggunakan data GSI maupun menggunakan data *mechanical properties* hasil perhitungan dengan *Q-System*. Namun sistem penyanggaan yang digunakan berbeda-beda, sesuai yang dibutuhkan di setiap stasiun. Nilai faktor keamanan yang dihasilkan semuanya menyatakan lubang bukaan aman ( $>2$ ) dengan sistem penyanggaan tertentu.

## D. Kesimpulan

Berikut ini merupakan beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengamatan, pengolahan dan analisis data:

1. Berdasarkan hasil korelasi data pengamatan langsung dilapangan dengan peta geologi regional, dapat dikatakan bahwa formasi batuan gunung pongkor merupakan satuan batuan tufa breksi yang diterobos dan terpotong oleh urat kuarsa yang mengandung mineral berharga emas dengan orientasi bidang kekar mengarah Barat Daya.
2. Klasifikasi Massa Batuan dan Sistem Penyanggaan:
  - a. Rock Mass Rating (RMR)

Berdasarkan Berdasarkan hasil pengklasifikasian massa batuan dengan metoda RMR diketahui bahwa massa batuan pada lubang bukaan *Mine Haulage Level L-500* termasuk ke dalam klasifikasi batuan sedang (Kelas III) dengan rata – rata RMR sebesar 59,889 dan *stand up time 1 week for 5 m*. Rekomendasi penyangga yang tepat berdasarkan RMR yaitu pemasangan *systematic rock bolt* dengan panjang 4 m, spasi 1,5 m – 2 m pada Atap dan Dinding Terowongan dengan ditambah *wiremesh* serta *shotcrete* dengan tebal 50 mm – 100 mm pada Atap Terowongan dan 30 mm pada kedua sisi atau Dinding Terowongan.

- b. *Q-System*

Berdasarkan hasil pengklasifikasian massa batuan dengan metoda *Q-System*, diketahui bahwa massa batuan pada lubang bukaan *Mine Haulage Level L-500* termasuk kedalam klasifikasi batuan sedang (Kelas V) dengan nilai rata - rata *Quality* sebesar 13.01 dan *Equivalent Dimension* sebesar 3,1 serta *span* 5 m. Rekomendasi penyangga yang tepat berdasarkan *Q-System* yaitu penerapan *systematic bolting* dengan spasi 2 – 3 m dan panjang *bolt* 1,8 – 2 m.

3. Nilai faktor keamanan yang didapatkan di setiap stasiun, mendapatkan nilai  $>2$  dengan menggunakan sistem penyanggaan yang sesuai dengan kondisi batuanya.

### Daftar Pustaka

- Annavarapu, Srikant. 2005. *Rock Mass Classification Using The Q-System*. Underground Geotech
- Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Clasification*. Wiley, NewYork/Chichester/Brisbane/Toronto/Singapore.
- Desfrayona. 2009. *Analisa Kestabilan Rencana Cross cut Access 10 S Ciurug di UBPE Pongkor, PT ANTAM, Tbk, Bogor, Jawa Barat*. Tugas Akhir Universitas Islam Bandung.
- Ghasemzadeh, Hasan. 2009. *Rock Mechanics Rock Classification*. K.N. Toosi University of Technology
- Hadiwidjoyo, P. 1993. *Menyusun Laporan Teknik*. ITB. Bandung.
- Hoek, Evert., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F. 1995. *Support Of Underground Excavation In Hard Rock*. AA Balkema/Rotterdam/Brookfield,1995.
- Katili, A. J., Mark. 1963. *Geologi*. Departemen Urusan Research Jakarta. Jakarta.
- Matodjojo, S. 2003. *Evolusi Cekungan Bogor, Jabar*. ITB. Bandung
- Nasrudin, Dita, Hikmah. 2014. *Penentuan Penyanggaan Tambang Bawah Tanah Dengan Metoda RMR Dan Q-System Di Tambang Ciurug, Levell 703, Access Sill Drift Utara, Lokasi PT KSP, PT Antam, Tbk. UBPE, Pongkor, Bogor, Jawa Barat*. Tugas Akhir Universitas Islam Bandung.
- Palmstrom, A. 2005 (362-377). *Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)*. Norconsult as. Norway.
- Perdana, P. 2004. *Analisa Klasifikasi Massa Batuan Dengan Menggunakan Metoda RMR dan Q-System Untuk Mengevaluasi Penyanggaan Pada Level 500 di PT ANTAM, (Persero) Tbk. UPBT Cikidang Kabupaten Lebak Provinsi Banten*. Tugas Akhir Universitas Islam Bandung.
- Popov, P. E. 1991. *Mekanika Teknik*. Erlangga. Jakarta.
- Rai Made, A. 1988. *Mekanika Batuan*. Laboratorium Geoteknik, Pusat Antar Universitas-Ilmu Rekayasa, ITB. Bandung.
- Wattimena Kresna Ridho., Kramadibrata Suseno., Rai Astawa Made. 2012. *Mekanika Batuan*. Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang. ITB. Bandung.