

# **PENENTUAN PENGARUH AIR TERHADAP KOHESI DAN SUDUT GESEK DALAM PADA BATUGAMPING**

Oleh:

Singgih Saptono, Raden Hariyanto, Hasywir Thaib s  
dan M. Dadang Wahyudi

Program Studi Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta

## **Ringkasan**

Keberadaan air pada batuan dapat mempengaruhi sifat mekanik batuan seperti kuat tekan, kuat tarik dan karakteristik kuat geser batuan. Pada operasi penambangan, baik tambang terbuka maupun tambang bawah tanah, hal ini sangat penting untuk diperhatikan karena perubahan sifat mekanik tersebut dapat menyebabkan penurunan faktor keamanan baik pada lereng maupun terowongan tambang. Penurunan faktor keamanan ini dapat menyebabkan terjadinya longsoran ataupun runtuh yang mengakibatkan kerusakan lingkungan, terancamnya keselamatan jiwa serta kerugian dari segi ekonomi dan waktu.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap kohesi dan sudut gesek dalam yang berdampak pada kekuatan geser batuan. Contoh batuan berupa batugamping diambil dari lokasi penambangan batugamping di daerah Dusun Diran Desa Sidorejo Kecamatan Lendah Kabupaten Kulonprogo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Uji geser langsung dilakukan pada contoh batugamping dengan tiga kondisi yaitu kondisi jenuh, natural dan kering, pada contoh batugamping yang telah dipatahkan (uji geser sisa).

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa peningkatan kadar air pada batugamping menyebabkan nilai kohesi sisa dan sudut gesek dalam sisa hasil uji geser langsung mengalami penurunan. Penurunan nilai kohesi sisa dan sudut gesek dalam sisa hasil uji geser langsung disebabkan karena adanya penambahan kandungan air yang menyebabkan ikatan antar partikel pada batugamping akan melemah seiring dengan meningkatnya kadar air yang terkandung pada batugamping.

Kata kunci : Kohesi, Sudut Gesek Dalam, Kuat Geser

## **1. PENDAHULUAN**

Pada lereng tambang biasanya kelongsoran terjadi setelah hujan, sedangkan pada terowongan keruntuhan atap terjadi karena adanya aliran air pada rekahan. Kelongsoran dan keruntuhan pada terowongan tambang diakibatkan karena parameter kekuatan geser

batuan berupa kohesi dan sudut gesek dalam terganggu karena adanya perubahan kandungan air pada batuan tersebut. Untuk mengetahui penyebab terganggunya kekuatan geser batuan karena perubahan kandungan air, maka dilakukan penelitian mengenai

penentuan pengaruh air terhadap kohesi dan sudut gesek dalam. Perubahan pada kekuatan batuan sangat penting untuk diperhatikan karena dapat menyebabkan penurunan faktor keamanan yang berdampak pada kelongsoran dan keruntuhan yang mengakibatkan kerusakan lingkungan, termasuk keselamatan jiwa serta kerugian dari segi ekonomi.

## 2. TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Membuktikan adanya pengaruh air terhadap kohesi dan sudut gesek dalam
- b. Mendapatkan besarnya penurunan nilai kohesi dan sudut gesek dalam akibat peningkatan kadar air.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan bahan-bahan yang dibutuhkan selama proses penelitian, misalnya teori-teori yang terkait, pengujian-pengujian apa saja yang harus dilakukan, variabel-variabel apa saja yang harus diukur, perhitungan apa saja yang harus dilakukan dan sebagainya.

### 3.2 Tinjauan lokasi

Tinjauan lokasi dilakukan untuk menentukan tempat pengambilan contoh batuan yang akan diuji di Laboratorium. Dalam penelitian ini, contoh batugamping yang digunakan berasal dari lokasi penambangan batugamping di daerah Dusun Diran Desa Sidorejo Kecamatan Lendah Kabupaten Kulonprogo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

### 3.3. Pengambilan contoh

Contoh batugamping yang akan diuji di laboratorium diambil dalam bentuk bongkahan batugamping yang berasal dari lokasi penambangan batugamping di daerah Dusun Diran Desa Sidorejo Kecamatan Lendah Kabupaten Kulonprogo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

### 3.4. Eksperimen

Eksperimen dimulai dari pemboran inti pada bongkah batuan kemudian dilakukan preparasi untuk memperoleh dimensi contoh sesuai dengan persyaratan pengujian di laboratorium. Setelah itu dilakukan pengujian di laboratorium. Pengujian-pengujian yang dilakukan antara lain :

- Pengujian sifat fisik, kuat tekan uniaksial, dan kuat tarik di Laboratorium Mekanika Batuan Program Studi Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta
- Pengujian kuat geser langsung di Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta
- Pengujian sayatan tipis di Laboratorium Petrografi Program Studi Teknik Geologi UPN "Veteran" Yogyakarta

### 3.5. Analisis data

Hasil pengujian laboratorium dianalisis dengan menggunakan metode sebagai berikut :

1. Membandingkan hasil pengujian contoh yang kering, natural, dan jenuh untuk mengetahui pengaruh air terhadap kohesi dan sudut gesek dalam
2. Mengukur parameter sifat-sifat fisik dan mekanik contoh batuan dan melakukan generalisasi

- terhadap hasil pengukuran tersebut pada massa batuan
- Melakukan studi kasus dengan menentukan faktor keamanan lereng tunggal pada kondisi jenuh, natural, dan kering.

#### 4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Uji Sayatan Tipis

Dari analisa sayatan tipis diketahui batugamping yang diuji adalah *sandy limestone* (menurut klasifikasi Gilbert, 1982) dan *packstone* (menurut klasifikasi Dunham, 1962).

Tabel 1  
Hasil Pengujian Sayatan Tipis

| Komposisi Mineral |        |        |        |      |      | Nama Batugamping          |                          |
|-------------------|--------|--------|--------|------|------|---------------------------|--------------------------|
| Bioklastik        | Kalsit | Mikrit | Sparit | Opaq | Pori | Klasifikasi Gilbert, 1982 | Klasifikasi Dunham, 1962 |
| 65%               | 8%     | 10%    | 6%     | 1%   | 10%  | <i>sandy limestone</i>    | <i>packstone</i>         |

Berdasarkan hasil uji sayatan tipis pada Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa contoh batugamping tersusun dari berbagai fragmen dengan ukuran

butiran yang bervariasi. Ukuran butiran serta bentuk yang variatif memungkinkan terdapatnya rongga di antara butiran batugamping.

##### 4.2. Uji Sifat Fisik

Data hasil pengujian sifat fisik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2  
Hasil Pengujian Sifat Fisik

| No | Kode Contoh | $\rho_s$<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_n$<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_d$<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | $w_s$<br>% | $w_n$<br>% | n<br>% |
|----|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|--------|
| 1  | Contoh 1    | 2,22                              | 2,09                              | 2,00                              | 10,98      | 4,18       | 22,01  |
| 2  | Contoh 2    | 2,38                              | 2,28                              | 2,20                              | 8,02       | 3,54       | 17,64  |
| 3  | Contoh 3    | 2,32                              | 2,19                              | 2,12                              | 9,49       | 3,47       | 20,07  |
| 4  | Contoh 4    | 2,33                              | 2,25                              | 2,16                              | 8,09       | 4,34       | 17,45  |
| 5  | Contoh 5    | 2,34                              | 2,27                              | 2,15                              | 8,96       | 5,43       | 19,26  |
|    | Minimum     | 2,22                              | 2,09                              | 2,00                              | 8,02       | 3,47       | 17,45  |
|    | Maksimum    | 2,38                              | 2,28                              | 2,20                              | 10,98      | 5,43       | 22,01  |
|    | Rata-rata   | 2,31                              | 2,21                              | 2,12                              | 9,11       | 4,19       | 19,28  |

Berdasarkan hasil pengujian uji sifat fisik, dapat dilihat bahwa porositas batugamping cukup besar yaitu sekitar 20% . Ini menunjukkan bahwa sekitar 20% dari volume merupakan rongga atau celah – celah kecil (pre-existing cracks) yang

sangat mempengaruhi kuat geser batugamping.

Berdasarkan hasil pengujian, juga dapat dilihat bahwa nilai rata-rata peningkatan bobot isi batugamping dari kondisi kering ke jenuh adalah sekitar 0,19 gr/cm<sup>3</sup>.

Peningkatan ini disebabkan oleh masuknya air ke dalam pori-pori batugamping ketika jenuh. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan beban geser akibat berat batugamping yang terisi oleh air tersebut sehingga lereng lebih mudah longsor pada saat basah atau jenuh daripada dalam kondisi kering

### 4.3. Uji Kuat Tekan Uniaksial Dan Uji Kuat Tarik Tidak Langsung

Hasil pengujian kuat tarik dihubungkan dengan hasil uji kuat tekan uniaksial untuk menentukan harga  $c_p$  dan  $\phi_p$  dengan menggambarkan lingkaran Mohr-Coloumb pada suatu kurva tegangan-regangan.

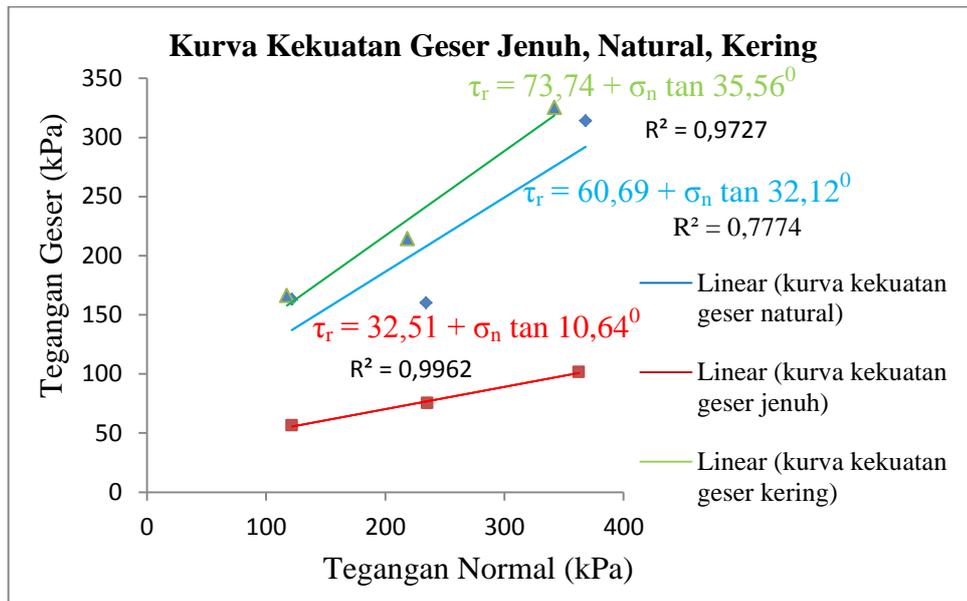
Tabel 3  
Nilai Kohesi Dan Sudut Gesek Dalam Dari Lingkaran Mohr-Coloumb

| Kondisi Batugamping | Kadar Air (%) | Mohr-Coloumb                                |                           |
|---------------------|---------------|---|---------------------------|
|                     |               | Sudut Gesek Dalam Puncak $\phi_p(^{\circ})$ | Kohesi Puncak $c_p$ (MPa) |
| Jenuh               | 9,11          | 31  | 2,08                      |
| Natural             | 4,19          | 33  | 2,36                      |
| Kering              | 0             | 37  | 3,06                      |

Nilai kohesi puncak dan sudut gesek dalam puncak yang diperoleh dari lingkaran Mohr-Coloumb mengalami penurunan secara berurutan dari kondisi kering – natural – jenuh. Penurunan nilai  $c_p$  dan  $\phi_p$  ini disebabkan karena adanya penambahan kandungan air yang menyebabkan ikatan antar partikel pada batugamping akan melemah seiring dengan meningkatnya kadar air yang terkandung pada batugamping.

### 4.4. Uji Geser Langsung

Pengujian pada penelitian ini dilakukan terhadap contoh batugamping pada tiga kondisi yaitu natural, jenuh dan kering, serta contoh batugamping dalam keadaan kondisi pecah (*residual*). Masing-masing set pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga contoh dengan penerapan gaya normal masing-masing 0,2 kN ; 0,4 kN; dan 0,6 kN. Data dari hasil uji geser diplot menjadi kurva kekuatan geser pada kondisi jenuh, natural, serta kering.



Gambar 1  
Kurva Kekuatan Geser Jenuh, Natural, Kering

Berdasarkan kurva kekuatan geser jenuh, natural, dan kering (Gambar 1) diperoleh persamaan kuat geser kering adalah  $\tau_r = 73,74 + \sigma_n \tan 35,56^\circ$  dan korelasi  $R^2 = 0,972$ . Kuat geser Natural adalah  $\tau_r = 60,69 + \sigma_n \tan 32,12^\circ$  dan korelasi  $R^2 = 0,777$ . Kuat geser Jenuh adalah  $\tau_r = 32,51 + \sigma_n \tan 10,64^\circ$  dan korelasi  $R^2 =$

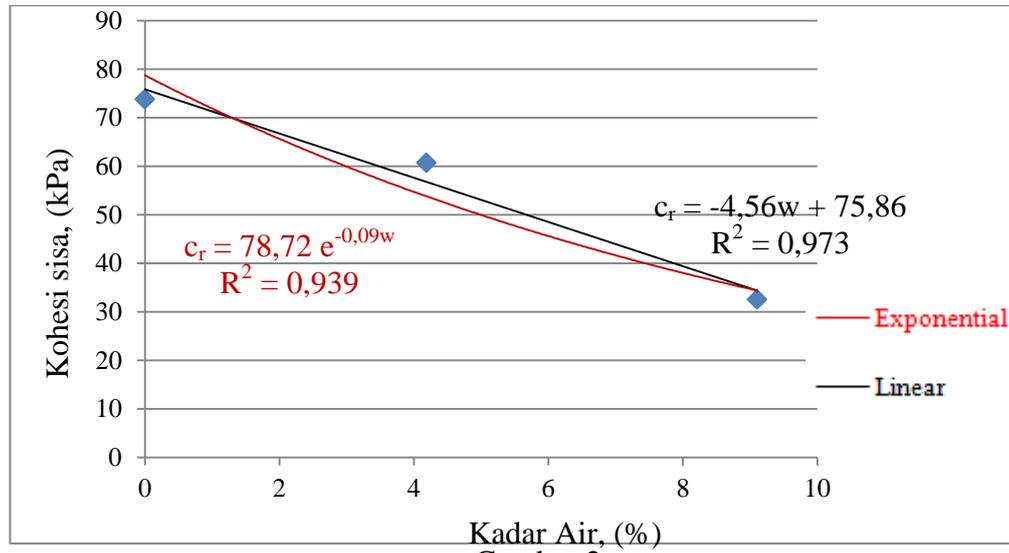
0,996. Jadi terlihat semakin banyak kandungan air dalam batuan (jenuh) maka semakin kecil kekuatan/tegangan geser batuan.

Beberapa parameter kuat geser langsung batugamping pada kondisi jenuh, natural, dan kering seperti pada Tabel 4.

Tabel 4  
Parameter-Parameter Hasil Uji Geser Langsung

| Parameter                  | Kondisi |         |        |
|----------------------------|---------|---------|--------|
|                            | Jenuh   | Natural | Kering |
| Kadar Air (%)              | 9,11    | 4,19    | 0      |
| Sudut gesek dalam sisa (°) | 10,64   | 32,12   | 35,56  |
| Kohesei sisa ( kPa )       | 32,51   | 60,69   | 73.74  |

#### 4.5. Pengaruh Air Terhadap Kohesi Sisa Pada Batugamping



Gambar 2  
Pengaruh Kadar Air Terhadap Kohesi Sisa Pada Batugamping

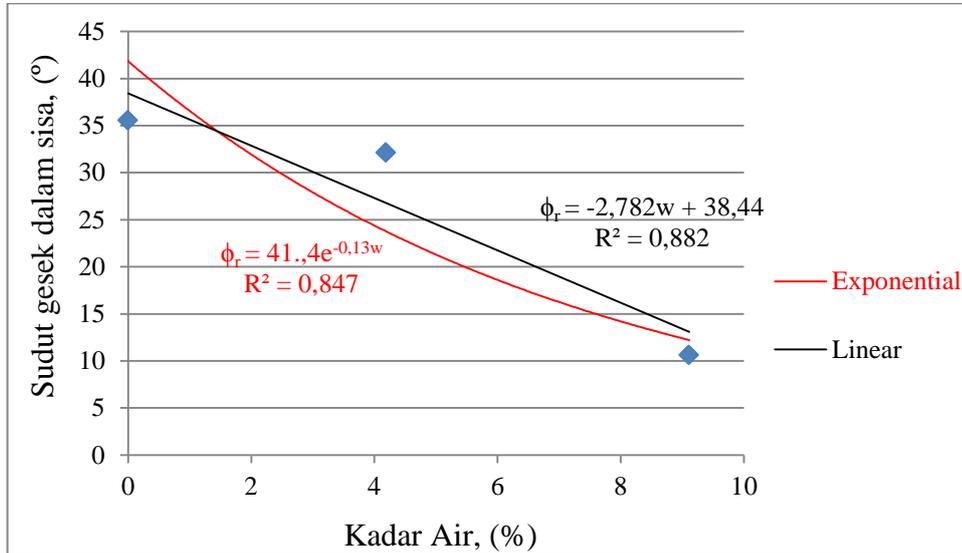
Tabel 5  
Hubungan Nilai Kadar Air Dengan Nilai Kohesi Sisa Pada Persamaan Linear

| Kadar Air<br>w (%) | Persamaan<br>Linear<br>c <sub>r</sub> (kPa) |
|--------------------|---|
| 7                  | 43,94                                       |
| 6                  | 48,5  |
| 5                  | 53,06                                       |
| 4                  | 57,62                                       |

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kohesi sisa akibat peningkatan kadar air, penurunan yang terjadi sebesar 4,56 kPa karena peningkatan kadar air dari 6% ke 7%, 5% ke 6%, 4% ke

5%. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa setiap peningkatan kadar air sebesar 1 % mengakibatkan penurunan nilai kohesi sisa sebesar 4,56 kPa.

#### 4.5. Pengaruh Air Terhadap Sudut Gesek Dalam Sisa Pada Batugamping



Gambar 3

Pengaruh Kadar Air Terhadap Sudut Gesek Dalam Sisa Pada Batugamping

Tabel 6  
Hubungan Nilai Kadar Air Dengan Nilai Sudut Gesek Dalam Sisa Pada Persamaan Linear

| Kadar Air<br>w (%) | Persamaan<br>Linear<br>$\phi_r$ (°) |
|--------------------|-------------------------------------|
| 7                  | 18,97                               |
| 6                  | 21,75                               |
| 5                  | 24,53                               |
| 4                  | 27,31                               |

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa terjadi penurunan sudut gesek dalam sisa akibat peningkatan kadar air, penurunan yang terjadi sebesar  $2,78^\circ$  karena peningkatan kadar air dari 6% ke 7%, 5% ke 6%, 4% ke 5%. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa setiap peningkatan kadar air sebesar 1 % mengakibatkan penurunan nilai sudut gesek dalam sisa sebesar  $2,78^\circ$ .

#### 4.6. Hasil Simulasi

Untuk mengetahui lebih jauh mengenai pengaruh air terhadap kohesi dan sudut gesek dalam, maka dibuat simulasi kasus terhadap stabilitas lereng tunggal dengan menggunakan perangkat lunak *slide*. Berdasarkan data bobot isi, kohesi dan sudut gesek dalam batugamping yang diperoleh dari pengujian sifat fisik dan pengujian geser langsung, dapat digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng untuk mendapatkan nilai faktor

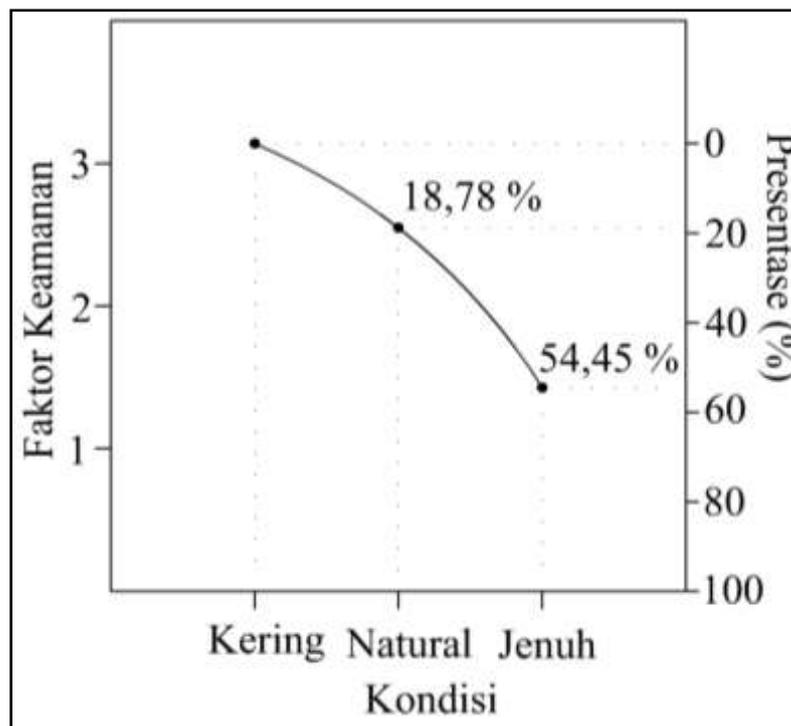
keamanan (FK) seperti tersaji pada tabel 7.

Tabel 7  
 Nilai Faktor Keamanan (FK) Pada Berbagai Kondisi

| Kondisi air | FK   |
|-------------|------|
| Jenuh       | 1,43 |
| Natural     | 2,55 |
| Kering      | 3,14 |

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 7 dapat dilihat peningkatan kadar air menyebabkan terjadinya penurunan nilai faktor keamanan dari kondisi kering ke kondisi natural sebesar 18,78 % dan dari kondisi kering ke kondisi jenuh sebesar 54,45 % (Gambar 4). Penurunan nilai

faktor keamanan membuktikan bahwa keberadaan air sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng di lapangan. Oleh karena itu perlu dilakukan penyaliran yang baik di lapangan untuk menjaga agar air tetap mengalir keluar dari lereng terutama dalam kondisi hujan.



Gambar 4  
 Perbandingan Faktor Keamanan Pada Berbagai Kondisi Pengujian

**KESIMPULAN**

1. Peningkatan kadar air pada batugamping menyebabkan terjadinya penurunan nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

2. Setiap peningkatan kadar air sebesar 1 % mengakibatkan penurunan nilai kohesi sisa sebesar 4,56 kPa dan sudut gesek dalam sisa sebesar 2,78°.

3. Peningkatan kadar air menyebabkan terjadinya penurunan nilai faktor keamanan (FK). Kondisi kering FK = 3,14. Kondisi kadar air natural FK = 2,55. Kondisi kadar air jenuh, FK = 1,43.
4. Penurunan faktor keamanan dari kondisi kering ke kondisi natural sebesar 18,78 % dan dari kondisi kering ke kondisi jenuh sebesar 54,45 %.

#### SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian pada batugamping di daerah lain, untuk mengetahui apakah keberadaan air berpengaruh terhadap kohesi dan sudut gesek dalam pada daerah tersebut.
2. Perlu dilakukan penelitian pada jenis batuan yang lain, sehingga dapat diketahui apakah keberadaan air juga mempengaruhi kohesi dan sudut gesek dalam pada jenis batuan yang lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Astawa Rai, M., Kramadibrata, S., and Wattimena, R.K., 2012, *Mekanika Batuan*, Penerbit Institut Teknologi Bandung, Bandung.
2. Barton, N., 1976, The Shear Strength of Rock and Rock Joints, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Service*, Vol.13, pg 255-279.
3. Brown, E.T., 1981, *Rock Characterization Testing and Monitoring : ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, England.
4. Hoek, E and Bray, J.W., 1981, *Rock Slope Engineering Revised third edition*, Spon Press, London.
5. Jumikis, J.C., 1979, *Rock Mechanics*, Trans Tech Publication, New York.
6. Kramadibrata, S., Saptono, S., Wicaksana, Y., Prasetyo H. S., 2009, Soft Rock Behavior with Particular Reference to Coal Bearing Strata, *The 2<sup>nd</sup> International Symposium of Novel Carbon Resource Science and Technology, Joint Symposium Kyushu University – Institut Teknologi Bandung, Bandung*.
7. Lama, R.D and Vutukuri, V.S., 1974, *Mechanical Properties of Rocks Volume I*, Trans Tech Publications, USA and Canada.
8. Lefond, S.J., Bates, R., Bradbury, J.C., Buie, B.F., Foose, R.M., Grogan, R.M., Hoy, R.B., Husted, J.E., McCarl, H.N., Murphy, T.D., Roe, L., Rooney, L.F., 1975, *Industrial Minerals and Rocks*, Port City Press, New York.
9. Saptono, S., 2009, Pengaruh Ukuran Conto Terhadap Kekuatan Batuan, *JTM*, No. 1/2009, Vol. XVI, hlm. 1-6.