

# ANALISIS PERUBAHAN KEKUATAN BATUAN AKIBAT BIDANG DISKONTINU DAN SEMEN GROUTING

## *Rock strength analysis due to discontinuity and grouting*

Nur Alam Syah Rahman<sup>1</sup>, Ganda Marihot Simangunsong<sup>2</sup>, Irwandi Arif<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Institut Teknologi Bandung

Artikel masuk : 02-03-2020 ,Artikel diterima : 22-08-2020

**Kata kunci:**

Kekuatan Batuan, Kekar, Grouting, Kuat geser, UCS

**Keywords:**

Rock strength, joint, grouting, shear strength, UCS

**ABSTRAK**

Ketidakstabilan yang terjadi pada batuan salah satunya diakibatkan oleh kehadiran bidang diskontinu berupa kekar. Kekar dapat menurunkan kekuatan batuan, semakin banyak jumlah kekar yang dimiliki batuan maka kekuatan batuan tersebut semakin lemah. Oleh karena itu salah satu metode perkuatan yang dapat dilakukan adalah grouting. Penelitian ini dilakukan pada sampel batuan buatan yang terbuat dari Moldano Tara yang diberikan kekar buatan dengan orientasi 60° dari arah aksial dengan jumlah kekar sebanyak 1 dan 2. Selanjutnya kekar tersebut diinjeksi dengan material grouting berupa semen dengan perbandingan rasio air dan semen sebesar 4C:5W selama 28 hari. Uji triaksial dilakukan pada sampel batuan utuh, sampel batuan berkekar dan sampel batuan yang telah diinjeksikan dengan material grouting dengan tekanan pemampatan yang berbeda. Hasil uji triaksial berupa kekuatan batuan selanjutnya dianalisis dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dan Hoek-Brown. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan kekar pada batuan memberikan kontribusi negatif terhadap kekuatan batuan utuh, penurunan kekuatan geser pada sampel berkekar jumlah 1 dan 2 sebesar 66% dan 73% dari batuan utuh, serta penurunan kuat tekan uniaksial sebesar 47% dan 56%. Sebaliknya injeksi *grouting* dengan suspensi semen pada komposisi material 4C:5W pada sampel berkekar jumlah 1 dan 2 berhasil meningkatkan nilai kuat geser batuan dari sampel berkekar sebesar 166% dan 188%, serta kuat tekan uniaksial sebesar 47% dan 61% secara berurutan.

\*Nur Alam Syah R: [nuralamsyah.nat@gmail.com](mailto:nuralamsyah.nat@gmail.com)

Doi : <https://doi.org/10.36986/impj.v2i1.20>

## ABSTRACT

*Instability in rocks can be caused by the presence of joint. Rock mass strength decreases as the number of joints increases. Reinforcement technique such as cement grouting can be used as an alternative to increase the strength of jointed rock mass. This research was carried out in laboratory. Specimens made of Moldano Tara were given artificial joints of one and two with dip direction of 60°. Cement grouting with composition of cement to water ratio of 4 to 5 was injected inside the joint and allowed to dry for 28 days. Triaxial tests were performed to all specimens including intact (no joint), jointed and grouted. The test results were analyzed with Mohr-Coulomb and Hoek Brown failure criteria. The test results revealed that the presence of joint obviously decreases the shear strength as well as the uniaxial compressive strength. On the other hand, giving cement grouting to jointed specimens of 1 and 2 significantly increase the shear strength by 166% and 188%, respectively. The test results also show that uniaxial compressive strength increased by 47% and 61% after injecting cement grouting to jointed specimens of 1 and 2 respectively.*

## PENDAHULUAN

Ketidakstabilan yang terjadi pada batuan salah satunya diakibatkan oleh kehadiran bidang diskontinu berupa kekar. Semakin banyak jumlah kekar yang dimiliki batuan maka kekuatan batuan tersebut semakin lemah.

Dalam industri pertambangan kekar dapat menjadi masalah terkait kestabilan lereng maupun lubang bukaan terowongan. Oleh karenanya dibutuhkan metode perkuatan batuan salah satunya adalah *grouting*. *Grouting* merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memperbaiki sifat fisik dan mekanik batuan dengan memasukkan (injeksi) material berupa padatan dan cairan contohnya semen kedalam rekahan, pori ataupun bukaan yang terdapat pada batuan.

*Grouting* dapat menurunkan permeabilitas batuan, meningkatkan kekuatan batuan dan menurunkan deformasi secara keseluruhan (Nonveiller, 1989).

Salimian.dkk,2017 melakukan uji kuat geser pada sampel batuan Moldano Tara yang terkekarkan kemudian diberikan material *grouting* menggunakan semen, hasil penelitian meningkatkan nilai sudut gesek dalam batuan dalam rentang 36%-48% dan meningkatkan nilai kohesi dalam rentang 145%-282%.

Pada penelitian ini uji triaksial akan dilakukan pada sampel batuan buatan yang terbuat dari Moldano Tara untuk menganalisis pengaruh kekar terhadap batuan dan pengaruh kekuatan batuan setelah injeksi semen *grouting* pada kekar tersebut.

## METODE

### Sampel Batuan dan Material Grout

Sampel batuan terbuat dari material Moldano Tara (Dental Plaster tipe 3) dengan komposisi perbandingan antara Moldano Tara dan air adalah 2:1. Sampel batuan dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter 54 mm. Setelah sampel dilakukan pencetakan maka sampel dikeringkan selama 7 hari agar sampel mencapai kekuatan maksimal sebelum dilakukan pengujian sampel utuh dan pembuatan kekar.

Material *grouting* berupa campuran semen PCC (Portland Composite Cement) dan air dengan perbandingan rasio semen dan air yaitu 4:5 diinjeksikan pada sampel batuan berkekar, kemudian dikeringkan selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian.

### Kekar buatan

Sampel buatan berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 12 cm dan 5,4 cm akan diberikan kekar buatan dengan orientasi kemiringan 60° dari arah aksial dengan jumlah kekar yaitu 1 dan 2 buah (lihat Gambar 1). Kemiringan 60° dipilih karena paling baik mempertimbangkan dimensi sampel. Bidang kekar mendekati permukaan atas dan bawah sampel bila kemiringan kekar >60°. Sebaliknya bila kemiringan kekar <60°, jarak antara bidang kekar ke permukaan atas dan bawah sampel terlalu jauh dibandingkan spasi kekarannya. Pembuatan model kekar ini dilakukan dengan memotong sampel buatan dengan menggunakan *saw-cut*, agar permukaannya bidang potongan memiliki kekasaran permukaan yang halus (JRC 0) dari hasil pemotongan tersebut selanjutnya berikan garis arsir berbentuk kotak dengan setiap kotaknya berukuran 1 x 1 cm dengan kedalaman 1 mm. Garis arsir ini dilakukan untuk memberikan kekuatan bidang geser, sehingga sampel tidak mudah tergelincir ketika diuji tanpa *grouting*.

### Injeksi Material Grouting

Proses injeksi dilakukan dengan peralatan sederhana berupa spatula dan plastisin sebelum dilakukan injeksi sampel batuan diberikan pin antara satu pecahan dengan pecahan yang lainnya guna mengontrol tebal material injeksi yang diberikan sebesar 3 mm. Tebal material injeksi 3 mm dipilih berdasarkan pertimbangan praktis kemudahan pembuatan sampel.

### Uji Kuat Tekan Uniaksial dan Uji Triaksial

Pengujian kuat tekan uniaksial dilakukan pada sampel batuan dan sampel material injeksi, ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan *Poisson Ratio*. Pengujian dilakukan

pada sampel batuan buatan yang terbuat dari Moldano Tara yang berbentuk silinder utuh.

Pengujian triaksial dilakukan di Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung, alat uji triaksial yang digunakan merujuk pada peralatan dan perlengkapan pengujian triaksial yang dikembangkan oleh Von Karman. Dalam pengujian ini sampel yang berbentuk silinder kemudian dimasukkan kedalam sel triaksial dengan 5 jenis tekanan pemampatan (*confinement*) yang berbeda. Pada pengujian ini tekanan pemampatan yang digunakan adalah 1,5 MPa, 3 MPa, 4,5 MPa, 6 MPa, dan 7,5 MPa.

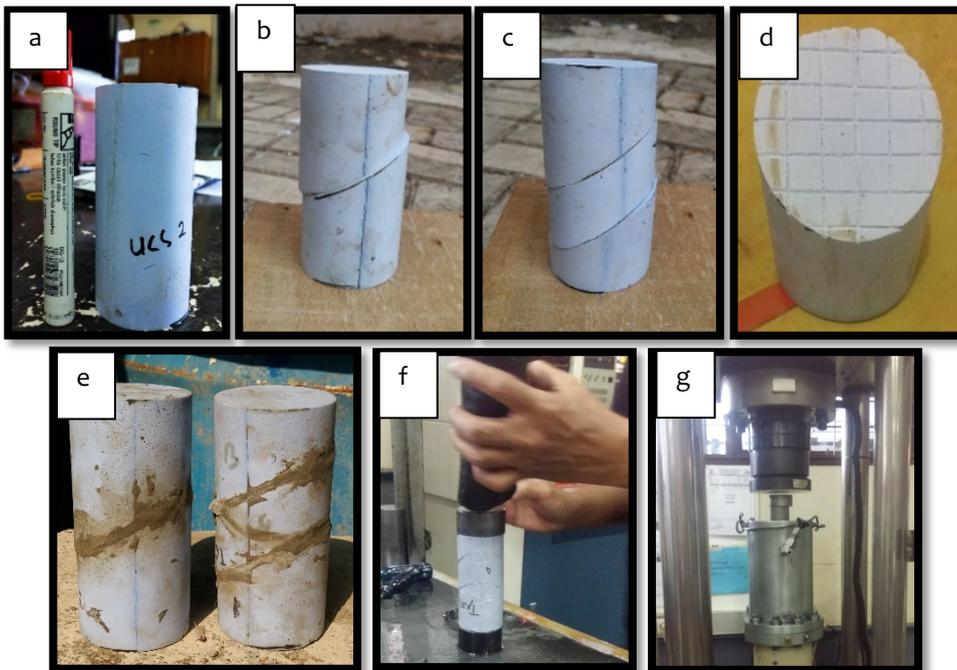
**Kriteria Keruntuhan Batuan**

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb digunakan pada penelitian ini untuk mengkuantifikasi kekuatan geser batuan ( $\tau$ ) berdasarkan parameter nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) sampel batuan pada tegangan normal ( $\sigma_n$ ) tertentu. Secara matematis kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dinyatakan sebagai berikut

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \dots\dots\dots(1)$$

Kriteria Hoek - Brown digunakan untuk menentukan perubahan kekuatan material batuan berupa nilai konstanta  $m$ ,  $s$  dan  $a$ , dan nilai kuat tekan uniaksial ( $\sigma_c$ ), berdasarkan model matematis sebagai berikut,

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \dots\dots\dots(2)$$



**Gambar 1**

a) Sampel Moldano Tara utuh, b) Sampel berkekar dengan jumlah 1, c) sampel berkekar dengan jumlah kekar 2, d) Permukaan kekar pada sampel yang telah diarsir, e) Sampel berkekar yang telah diinjeksi dengan material grouting, f) Melapisi sampel dengan karet sebelum dimasukkan ke dalam sel triaksial, g) Pengujian triaksial dilakukan

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Sifat Fisik Dan Mekanik**

Indratna dan Haque (2000) menyatakan bahwa Moldano Tara yang digunakan dalam penelitian dapat diasumsikan mewakili batuan lunak (*soft rock*) dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kekuatan maksimum 7 hari. Hasil uji sifat fisik dan mekanik

sampel Moldano Tara dan material grout ditunjukkan pada Tabel 2 & 3.

**Parameter Kekuatan Batuan**

Dalam Rai dkk (2014), ekspresi utama dari kriteria runtuh adalah memperkirakan kekuatan batuan dan ditentukan berdasarkan hasil percobaan atau eksperimen. Ekspresi tersebut dinyatakan dalam

parameter kekuatan batuan berdasarkan kriteria keruntuhan batuan yang digunakan.

Berdasarkan pengolahan data triaksial pada Tabel. 3, parameter kekuatan batuan berdasarkan model kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dan Hoek-Brown pada sampel batuan dapat dilihat pada Gambar 2 & 3.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa batuan utuh mempunyai kekuatan paling besar dari sampel batuan

lainnya hal ini ditunjukkan dengan parameter kekuatan batuan yang direpresentasikan garis teratas pada model keruntuhan Mohr-Coulomb dan Hoek-Brown (Gambar 2 & 3). Sebaliknya pada sampel batuan dengan 2 kekar menunjukkan kekuatan batuan terendah. Hal ini mengindikasikan bahwa kekar memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kekuatan batuan.

**Tabel. 1 Hasil Pengujian Triaksial pada Sampel**

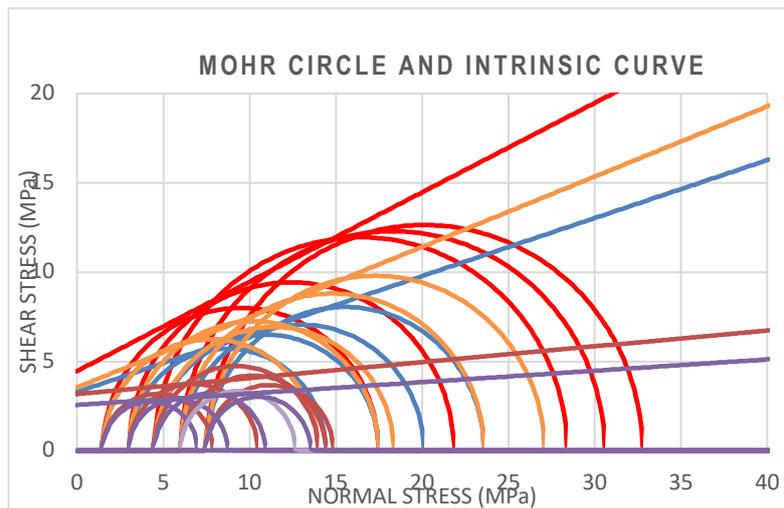
Jenis Sampel	Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	$\sigma_2$ (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)
Sampel Utuh	TXU1	54	120	1,5	16,84
	TXU2	54	120	3	21,06
	TXU3	54	120	4,5	27,16
	TXU4	54	120	6	29,37
	TXU5	54	120	7,5	31,53
Sample Jn 1	TJN11	54	120	1,5	7,86
	TJN12	54	120	3	10,48
	TJN13	54	120	4,5	13,98
	TJN14	54	120	6	14,42
	TJN15	54	120	7,5	14,85
Sample Jn 2	TJN21	54	120	1,5	6,99
	TJN22	54	120	3	8,74
	TJN23	54	120	4,5	10,92
	TJN24	54	120	6	12,67
	TJN25	54	120	7,5	13,11
Grouted Jn 1	TXG11	54	122	1,5	13,98
	TXG12	54	123	3	17,47
	TXG13	54	123	4,5	18,35
	TXG14	54	124	6	23,59
	TXG15	54	122	7,5	27,09
Grouted Jn 2	TXG21	54	124	1,5	12,23
	TXG22	54	125	3	14,42
	TXG23	54	124	4,5	17,47
	TXG24	54	124	6	20,10
	TXG25	54	125	7,5	23,59

**Tabel.2 Hasil Uji Sifat Fisik**

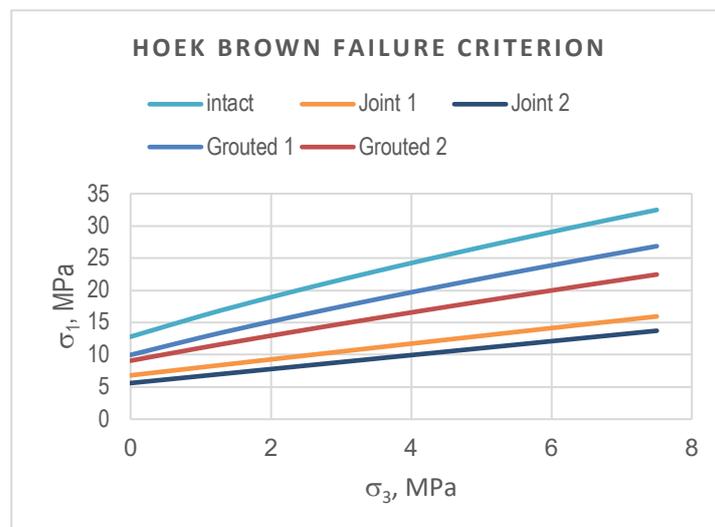
Name	Moldano Tara	4W:5C
Natural density (ton/m <sup>3</sup> )	1.47	1,5
Dry density (ton/m <sup>3</sup> )	1.30	1,2
Saturated density (ton/m <sup>3</sup> )	1.66	1,6
Natural Water Content (%)	13%	17%
Saturated Water Content (%)	27%	31%
Degree of Saturation (%)	47%	56%
Porosity (%)	16%	40%
Void Rasio	0.204	1,508

Keterangan:

Jn = Jumlah kekar dalam sampel batuan



**Gambar 2. Model Kriteria Keruntuhan Batuan Mohr-Coulomb**



**Gambar 3. Model Kriteria Keruntuhan Batuan Hoek-Brown**

### Perubahan Kekuatan Batuan Akibat Adanya Bidang Diskontinu dan Semen Grouting

#### Kuat Geser Batuan

Untuk mempermudah representasi penurunan kekuatan geser ketika sampel berkekar atau kenaikan kekuatan geser Ketika sampel diberikan grouting. Pada penelitian ini, nilai kekuatan geser dihitung berdasarkan asumsi tegangan normal 20 MPa.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat geser batuan utuh yaitu 14,47 MPa. Ketika batuan ini berkekar terjadi penurunan kekuatan geser secara sebesar 66% dan 73% secara berurutan untuk jumlah kekar 1 dan 2 (lihat Gambar 4a).

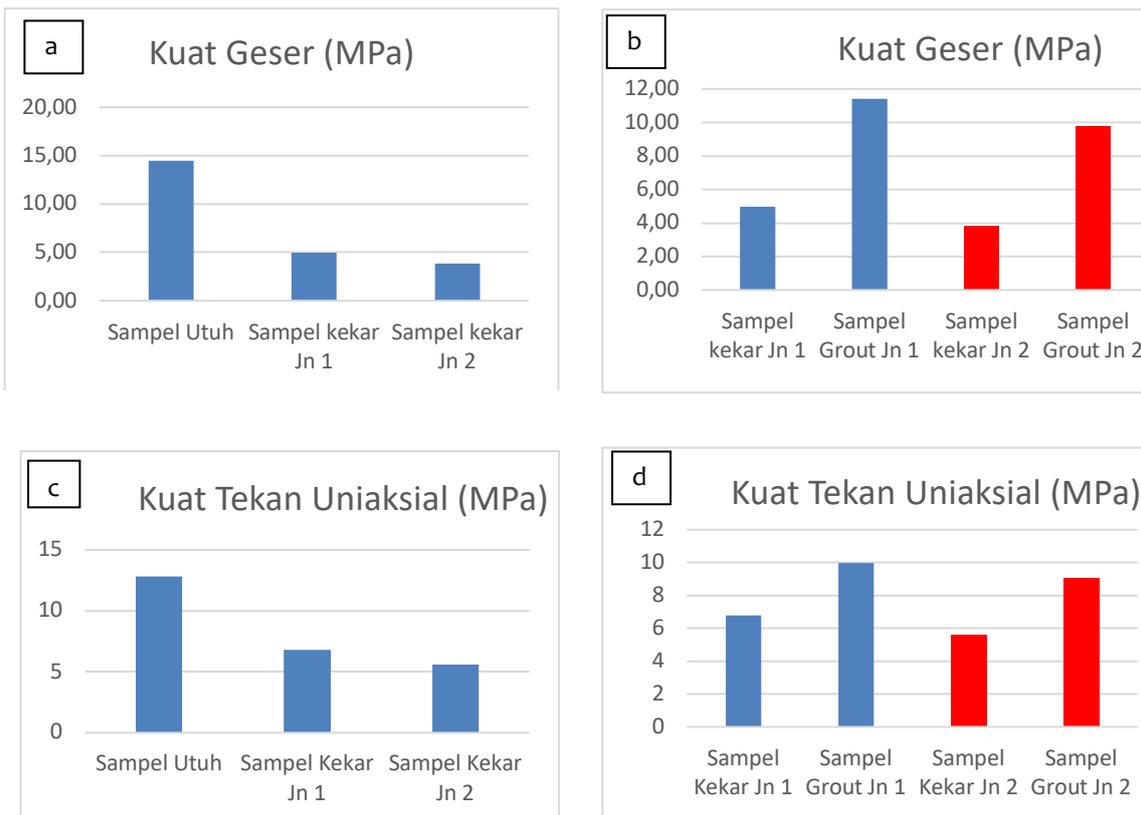
Gambar 4b menunjukkan bahwa pemberian injeksi *grouting* berhasil meningkatkan kekuatan geser sebesar 4,95 MPa menjadi 11,41 MPa atau peningkatan sebesar kekuatan geser sebesar 166% pada sampel berkekar dengan jumlah kekar 1,

sedangkan untuk batuan berkekar dengan jumlah kekar 2 terjadi kenaikan kekuatan geser senilai 3,84 MPa menjadi 9,78 MPa atau peningkatan sebesar 188%. Hal ini mengindikasikan bahwa aktifitas *grouting* meningkatkan kekuatan geser sebesar 166% - 188% namun belum mampu mengembalikan kekuatan batuan seperti batuan utuh

#### Kuat Tekan Uniaksial

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan uniaksial sampel batuan utuh yaitu 12,8 MPa. Keberadaan kekar menurunkan kuat tekan uniaksial sebesar 47% dan 56% untuk jumlah kekar 1 dan 2 secara berurutan (lihat Gambar 4c).

Ketika dilakukan injeksi grouting, terjadi kenaikan nilai kuat tekan uniaksial menjadi 9,97 MPa dan 9,08 MPa secara berurutan untuk kekar 1 dan 2 (lihat Gambar 4d). Hasil ini menunjukkan aktivitas *grouting* berhasil meningkatkan kuat tekan uniaksial sebesar 47% dan 61% secara berurutan untuk kekar 1 dan



Gambar 4. Grafik perubahan kekuatan batuan meliputi kuat geser dan kuat tekan uniaksial sampel batuan

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter kekuatan batuan dengan menggunakan kriteria Mohr-Coulomb menunjukkan keberadaan kekar dan aktifitas *grouting* memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter kohesi dan sudut gesek dalam.
2. Keberadaan kekar pada batuan memberikan kontribusi negatif terhadap kekuatan batuan utuh, penurunan kekuatan geser sebesar 66% dan 73% serta penurunan kuat tekan uniaksial sebesar 47% dan 56%.
3. Aktivitas *grouting* dengan campuran semen dan air 4:5 pada sampel berkekar jumlah 1 dan 2 berhasil meningkatkan nilai kuat geser batuan sebesar 166% dan 188%, serta kuat tekan uniaksial sebesar 47% dan 61% secara berurutan.

Rock based on Mohr-Coulomb Criterion. International Symposium on Earth Science & Technology, 2018.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Teknisi Laboratorium Geomekanika & Peralatan Tambang, Fakultas Teknik Pertambangan & Perminyakan ITB yang telah membantu selama pengujian di laboratorium. .

## DAFTAR PUSTAKA

- Indrarata B, Haqua A., 2000 Shear behaviour of rock joints, CRC Press; (ISBN 10:9058093077, ISBN 13: 9789058093073).
- Nonveiller E. 1989 Grouting theory and practice, Academic Press, Elsevier;.
- Rai, M.A., Kramadibrata, S., dan Watimena, R.K. 2014. *Mekanika Batuan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Salimian M.H., A. Baghbanan, H. Hashemolhosseini, M. Dehghanipoodeh, and S. Norouzi, Effect of grouting on shear behavior of rock joint, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol. 98, pp. 159–166, 2017.
- Zakri R.S, G.M Simangunsong, N.P. Widodo. Effect of Cement Injection on Shear Behaviour of Jointed

