

# Analisis Pengaruh Penguatan *Rockbolt* Terhadap Kekuatan Pilar Persegi Di Tambang Bawah Tanah Dengan Pengujian Skala Laboratorium.

Jufrizal<sup>1\*</sup>, and Kopa Raimon<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\*jufrizal2598@gmail.com

\*\*raimonkopa@ft.unp.ac.id

**Abstract.** *In underground mining using the room and pillar method, one way to increase the strength of the pillars is to use rockbolt reinforcement, where rockbolt reinforcement can be used if the pillar consists of compact rock, not too soft and not too hard. Because rockbolt has a significant effect on pillars, this study aims to analyze the effect of rockbolt reinforcement on square pillars by using laboratory testing of the physical and mechanical properties of pillar samples and performing numerical modeling of unreinforced and rockbolt-reinforced pillar samples. From the results of the study, it was found that the pillars without reinforcement showed an average strength value of 10.73 MPa, while the pillars with rockbolt reinforcement showed an average strength value of 12.70 MPa, so that the addition of rockbolt reinforcement showed an increase in pillar strength of 18.36%. Pillar modeling without reinforcement shows a strength factor value of 1,05, while pillar modeling with rockbolt reinforcement shows a strength factor value of 1,2, so there is an increase in the strength factor value of 14,3 %. Pillar modeling without reinforcement shows a horizontal displacement value of  $5,8x \times 10^{-2}$  m, while pillar modeling with rockbolt reinforcement shows a horizontal displacement value of  $2,2 \times 10^{-2}$  m, so there is decrease in horizontal displacement value by 37,93 %.*

**Keywords :** *Pillar, Rockbolt, Physical Properties, Mechanical Properties, Modeling.*

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan dunia industri akan hasil tambang yang sangat tinggi menyebabkan dibutuhkan suatu teknologi baru yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Hal ini semakin diperparah dengan semakin menipisnya cadangan mineral dan batubara yang terdapat di permukaan bumi sehingga tidak memungkinkan lagi untuk dilakukan kegiatan penambangan *surface mining*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode untuk mendukung kegiatan penambangan dalam mengatasi endapan mineral dan batubara yang tidak memungkinkan menggunakan metode *surface mining*, salah satunya adalah dengan menggunakan sistem penambangan bawah tanah (*Underground Mining*).

Salah satu metode penambangan bawah tanah yang sering digunakan adalah metode penambangan *room and pillar* yang merupakan metode yang dilakukan dengan cara meninggalkan kolom massa batuan. Kolom batuan yang ditinggalkan berfungsi sebagai penyangga alami (*natural support*).

Sebagai penyangga, tentu pilar harus memiliki kekuatan yang cukup besar untuk dapat menjaga kondisi kestabilan lubang bukaan dibawah permukaan. Kekuatan pilar sangat tergantung pada material penyusun pilar serta dipengaruhi kondisi tegangan yang bekerja pada pilar. Pilar yang ditinggalkan biasanya dalam kondisi yang

kritis, yaitu kondisi dimana pilar belum runtuh namun telah hampir mencapai titik runtuhnya. Ketika pilar mengalami gangguan akibat dari kegiatan peledakan ataupun getaran lain yang disebabkan oleh aktifitas alat angkut dan alat muat, maka tegangan yang bekerja pada pilar akan berubah dan menyebabkan terjadinya regangan pada pilar. Regangan sendiri memiliki suatu batas elastisitas sehingga apabila kondisi regangan yang terjadi pada massa batuan melebihi batas elastisitas, maka akan menyebabkan pilar mengalami keruntuhan.

Salah satu cara untuk menambah kekuatan pada pilar adalah dengan menggunakan *rockbolt*, prinsip kerja dari *rockbolt* adalah memberi tahanan terhadap pilar, sehingga dapat mengurangi deformasi batuan untuk mencegah terjadinya keruntuhan

Berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dibutuhkan suatu penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *rockbolt* terhadap kekuatan pilar, penelitian akan dilakukan pada laboratorium dengan membuat sampel pilar berbentuk persegi dari campuran semen dan pasir. Adapun alasan pemilihan pilar dari campuran semen dan pasir adalah agar pilar benar-benar homogen sehingga perubahan kekuatan yang terjadi pada pilar memang disebabkan oleh pemasangan *rockbolt*. Sampel pilar yang dibuat mendekati nilai dari kekuatan batubara indonesia di lapangan (La Ode Zakir,2018) Selanjutnya dilakukan

pengujian sifat fisik dan mekanik dari sampel pillar yang digunakan.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Rockbolt

*Rockbolt* merupakan batang baja yang ditancapkan di dalam batuan. *Rockbolt* merupakan sistem ankur dalam terowongan yang bila digunakan akan menjadi kesatuan bagian dari massa batuan. Fungsi *rockbolt* yaitu memberi penguatan massa batuan dengan tujuan memperkecil deformasi atau menjaga kestabilan terowongan. Penggunaan *rockbolt* sebagai perkuatan penyangga harus memperhatikan kondisi batuan. *Rockbolt* tidak dapat digunakan pada batuan/tanah yang terlalu lunak atau terlalu keras.

#### 2.1.1 Pengaruh Penggunaan *Rockbolt*

2.1.1.1 Pengaruh suspensi.

2.1.1.2 Merekatkan lapisan

2.1.1.2 Menaikan kemampuan dukung.

#### 2.1.2 Fungsi *Rockbolt*

2.1.2.1 Fungsi penahan

2.1.2.2 Fungsi penguat (Reinforcement)

#### 2.1.3 Keuntungan Penggunaan *Rockbolt*

2.1.3.1 Lebih fleksibel,

2.1.3.2 Memberikan reaksi penyangga yang cepat.

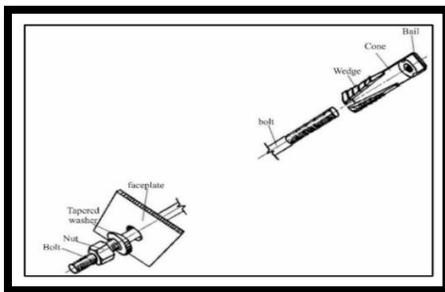
2.1.3.2 Tahan terhadap korosi dan relatif lebih murah

#### 2.1.4 Cara Pemasangan *Rockbolt*

Ada dua jenis cara pemasangan *rockbolt* atau baut batuan yang biasa digunakan pada kegiatan perkuatan atau penyanggaan terowongan tambang ataupun terowongan sipil bawah tanah yang dibagi menurut penjangkarannya terhadap batuan yaitu sebagai berikut :

##### 2.1.4.1 *Rockbolt* tanpa *cement grout*

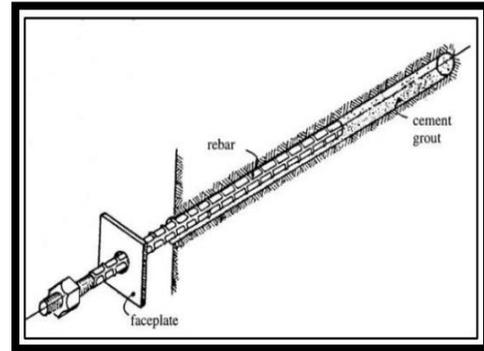
Cara ini digunakan bila kondisi batuan di sekitar lubang bukaan berada dalam keadaan baik atau tidak banyak terdapat bidang lemah di sekitar lubang bukaan.



Gambar 2. Rockbolt tanpa cement grout (Hoek dkk, 1995)

##### 2.1.4.2 *Rockbolt* dengan *cement grout*

Pemasangan *rockbolt* dengan *cement grout* digunakan bila kondisi batuan yang berada dalam keadaan buruk dimana penjangkaran sulit dilakukan oleh baut batuan karena kondisi batuan yang banyak memiliki bidang lemah serta keterdapatannya air tanah yang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada baut batuan



Gambar 3 Rockbolt dengan cement grout (Hoek dkk, 1995)

## 2.2 Kekuatan Pillar

Kekuatan pillar batubara tergantung pada ukuran dan bentuk dari spesimen yang diuji. Hubungan itu akan didiskusikan pada bagian ini.

### 2.2.1 Efek Ukuran (*Size Effect*)

Kekuatan batubara dapat ditentukan dari laboratorium dan uji in-situ. Kekuatan batubara yang diperoleh dari uji laboratorium biasanya lebih besar ketika ukuran spesimen makin kecil. Hal ini menunjukkan fakta bahwa umumnya semakin besar ukuran spesimen, maka makin banyak kekar dan atau fractures, itu menunjukkan hasil kekuatan yang lebih kecil. Uji kekuatan in-situ dari pillar bawah tanah, dapat menghilangkan atau mengurangi masalah ukuran dan hasilnya lebih mewakili, tetapi itu sangat mahal dan memakan waktu. Oleh karena itu memerlukan usaha yang lebih untuk memprediksi kekuatan in-situ pillar dari hasil uji laboratorium. Hubungan antara ukuran dan kekuatan dari spesimen dapat digeneralisasikan oleh persamaan (Evans et al., 1961).

$$S_1 = k_1 d^{-a} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

S = Uniaxial compressive strength dari kubikal pillar,

d = panjang sisi dari spesimen,

k = konstanta

a = konstanta.

2.2.2 Efek Bentuk (*Shape Effect*)

Pada penambahan efek ukuran, kekuatan batubara juga tergantung pada geometri spesimen dan efek bentuk. Bahwa rasio dari diameter atau lebar dan tinggi dari spesimen (Evans et al., 1961). Banyak perumusan kekuatan pilar rata-rata puncak itu telah memperkenalkan efek bentuk. Hal tersebut dapat dikelompokkan kedalam dua tipe, yaitu :

$$S_2 = S_1 \left( A + B \frac{W_p}{H} \right) \dots \dots \dots (2)$$

$$S_2 = S_1 \frac{w_p^\alpha}{H^\beta} \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

- S2 = kekuatan pilar dan akibat efek bentuk,
- S1 = UCS dari kubikal pilar
- A, B,  $\alpha$ ,  $\beta$  = konstanta
- Wp = lebar pilar
- H = tinggi pilar

2.3 Pengujian Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan adalah sifat yang terdapat pada suatu batuan setelah dilakukan pengujian tanpa melakukan pengrusakan. Sifat-sifat fisik antara lain bobot isi, berat jenis, porositas, absorpsi dan void ratio. Pengujian sifat fisik batuan yang ditentukan, antara lain :

2.3.1 Bobot isi asli (natural density),  $\gamma_n$

$$\text{Bobot isi asli} = \frac{W_n}{W_w - W_s} \dots \dots \dots (4)$$

2.3.2 Bobot isi kering (dry density),  $\gamma_0$

$$\text{Bobot isi kering} = \frac{W_o}{W_w - W_s} \dots \dots \dots (5)$$

2.3.3 Bobot isi jenuh (saturated density),  $\gamma_w$

$$\text{Bobot isi jenuh} = \frac{W_w}{W_w - W_s} \dots \dots \dots (6)$$

2.3.4 Berat jenis semu (apparent specific gravity)

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{W_o}{\frac{W_w - W_s}{\text{Bobot isi air}}} \dots \dots \dots (7)$$

2.3.5 Berat jenis nyata (true specific gravity)

$$\text{Berat jenis nyata} = \frac{W_o}{\frac{W_o - W_s}{\text{Bobot isi air}}} \dots \dots \dots (8)$$

2.3.6 Kadar air asli (natural water content)

$$\text{Kadar air asli} = \frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100 \% \dots \dots \dots (9)$$

2.3.7 Kadar air jenuh (absorption)

$$\text{Kadar air jenuh} = \frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100 \% \dots \dots \dots (10)$$

2.3.8 Derajat kejenuhan (s)

$$\text{Derajat kejenuhan} = \frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100 \% \dots \dots \dots (11)$$

2.3.9 Porositas (n)

$$\text{Porositas} = \frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100 \% \dots \dots \dots (12)$$

2.3.10 Void ratio

$$\text{Void Ratio} = \frac{n}{1-n} \dots \dots \dots (13)$$

Dimana :

Wn = berat contoh asli

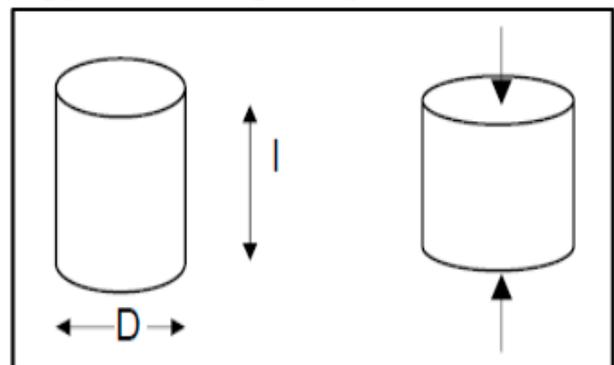
Wo = berat contoh kering (setelah dikeringkan dengan oven selama 24 jam, dengan temperature kurang lebih 90o C

Ww = berat contoh jenuh ( setelah Dijenuhkan selama 24 jam)

Ws = berat contoh melayang ( sampel ditimbang dengan kondisi tergantung/ melayang )

2.4 Uji Kuat Tekan (*Unconfined Compressive Strength Test*)

Uji ini menggunakan mesin tekan (*compression machine*) untuk menekan sampel batuan yang berbentuk silinder dari satu arah (uniaxial). Penyebaran tegangan di dalam sampel batuan secara teoritis adalah searah dengan gaya yang dikenakan pada sampel tersebut. Tetapi dalam kenyataannya arah tegangan tidak searah dengan gaya yang dikenakan pada sampel tersebut karena ada pengaruh dari plat penekan mesin tekan yang menghimpit sampel, sehingga bentuk pecahan tidak terbentuk bidang pecah yang searah dengan gaya melainkan berbentuk kerucut cone. Perbandingan antara tinggi dan diameter sampel (l/d) mempengaruhi nilai kuat tekan batuan. Untuk pengujian kuat tekan digunakan yaitu  $2 < l/d < 2,5$ .



Sumber :Made Astawa Rai dkk, 2010  
Gambar 4. Sampel Uji Kuat Tekan Batuan

Persamaan Umum

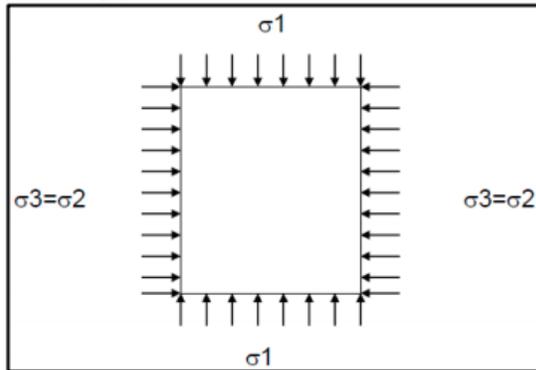
$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan :

- D = Diameter (m)
- l = Panjang (m)
- $\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)
- F = Besarnya gaya yang bekerja pada percontohan batuan pada saat terjadi keruntuhan (failure) sehingga pada grafik merupakan keadaan yang paling puncak (N).
- A = Luas penampang percontohan batuan yang diuji (m<sup>2</sup>)

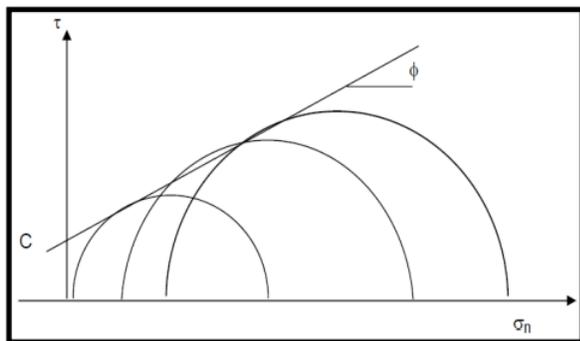
## 2.5 Uji Triaksial

Pengujian ini adalah salah satu pengujian yang terpenting dalam mekanika batuan untuk menentukan kekuatan batuan di bawah tekanan triaksial. Percontohan yang digunakan berbentuk silinder dengan syarat-syarat sama pada pengujian kuat tekan.



Sumber :Made Astawa Rai dkk, 2010

Gambar 5.Kondisi Tegangan Pada Uji Triaksial



Sumber :Made Astawa Rai dkk, 2010

Lingkaran Mohr dan Kurva Intrinsik Hasil Pengujian Triaksial

Dari hasil uji triaksial dapat ditentukan :

Strength envelope (kurva intrinsik), yaitu kurva yang menunjukkan kekuatan batuan terhadap tahanan batuan yang berada di atasnya dimana terdapat kohesi dan sudut geser dalam sebagai parameter keruntuhan batuan.

Kuat geser (shear strength), yaitu gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa batuan untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam masa batuan tersebut.

Sudut geser dalam ( $\phi$ ), yaitu sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya.

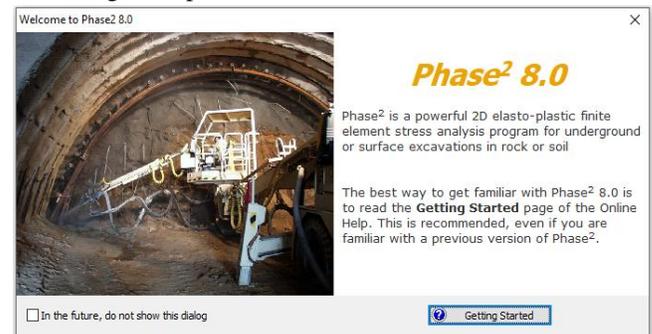
Kohesi (C), yaitu gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi batuan akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar.

## 2.6 Elemen Hingga

Diskretisasi telah menjadi metode yang digunakan manusia dalam menyelesaikan suatu permasalahan yang kompleks. Penyelesaian masalah ini dapat dilakukan dengan membagi permasalahan menjadi beberapa komponen yang lebih kecil dan sederhana untuk dianalisa lanjut. Kemudian diurai dan dirangkai kembali solusi-solusi dari permasalahan yang kecil tersebut menjadi bentuk kompleks seperti asalnya.

Konsep dari metode elemen hingga (finite element method) adalah dengan cara membagi model yang akan dianalisis menjadi berhingga yang meliputi bagian-bagian kecil yang disebut elemen. Analisis permasalahan dilakukan pada elemen-elemen ini. Tiap titik simpul (nodul) dari elemen-elemen akan membentuk rangkaian yang secara keseluruhan mendekati bentuk nodul semula.

## 2.7 Program Aplikasi Phase 2



Phase2 adalah bagian dari Rocscience yang menggunakan analisis 2D elastoplastic dengan menganalisis tegangan elemen hingga untuk penggalian bawah tanah atau permukaan batuan maupun tanah. Hal ini dapat digunakan untuk berbagai proyek rekayasa dan termasuk support design, stabilitas lereng elemen hingga, rembesan air tanah dan analisis probabilistic. Program Phase2 ini dapat menyajikan hasil output berupa tabel dan grafik berdasarkan hasil analisis input.

Model multi-tahap yang kompleks dapat dengan mudah dibuat dan dianalisis dengan cepat seperti terowongan di batuan lemah atau bersendi, gua-gua pembangkit tenaga listrik bawah tanah, tambang terbuka dan lereng tanggul, struktur bumi yang distabilkan, dan lebih banyak lagi. Kegagalan progresif, interaksi dukungan, dan berbagai masalah lain dapat diatasi. Phase2 menawarkan berbagai opsi permodelan *support design* seperti shotcrete beton, sistem set baja, dinding penahan, tiang pancang liner komposit multilayer, geotekstil, dan lain-lain.

## 2.8 Lokasi Penelitian

Penelitian berbasis pengujian laboratorium adapun pengujian sampel dilakukan pada Laboratorium Tambang Jurusan Teknik Pertambangan, Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil, dan Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimen (percobaan). Penelitian eksperimen merupakan bentuk penelitian percobaan yang berusaha untuk mengisolasi dan melakukan kontrol setiap kondisi-kondisi yang relevan dengan situasi yang diteliti kemudian melakukan pengamatan terhadap efek atau pengaruh digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independent (treatment/perlakuan) terhadap variabel dependent (hasil) dalam kondisi yang terkendali. Dimana pada penelitian ini variabel independent (treatment/perlakuan) adalah penambahan rockbolt pada sampel pilar sedangkan variabel dependent (hasil) adalah besarnya perubahan kekuatan pilar setelah ditambahkan rockbolt.

### 3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah dengan melakukan pengujian sampel di laboratorium. Pengujian sampel dilakukan untuk mendapatkan data-data yang akan digunakan untuk pemodelan dan analisa pengaruh dari perkuatan rockbolt pada sampel pilar. Adapun pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

#### 3.2.1 Pengujian Kekuatan Material

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan komposisi campuran semen : pasir, yang akan digunakan untuk pembuatan sampel pilar yang representative dengan kuat tekan batubara 13 mpa sampai dengan 43 mpa (Bieniawski,1973)

#### 3.2.2 Pengujian kuat Tarik Rockbolt

Pengujian kuat Tarik Rockbolt untuk memperoleh nilai kuat Tarik dan modulus young (E) dari material Rockbolt yang digunakan pada penelitian ini

#### 3.2.3 Pengujian Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik material merupakan tahapan yang harus dilakukan untuk memperoleh data sifat fisik dari metrial berupa bobot isi asli ( $\rho_n$ ), bobot ini kering ( $\rho_d$ ), bobot isi jenuh ( $\rho_s$ ), kadar air asli (w) derajat kejenuhan (S), porositas (n) dan void ratio (e) dari material pilar.

#### 3.2.3 Pengujian Kuat Tekan Uniaksial

Pengujian kuat tekan uniaksial untuk memperoleh propertis material yang berupa kuat tekan ( $\sigma_c$ ), modulus young (E) dan nisbah Poisson ( $\nu$ ) dari sampel material yang di uji.

#### 3.2.4 Pengujian triaksial

Pengujian triaksial untuk menentukan nilai kohesi (C) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dari sampel pilar.

#### 3.2.5 Pengujian Kekuatan Pilar

Pengujian kekuatan pilar dilakukan pada pilar tanpa penguatan dan pilar dengan perkuatan rockbolt, akan didapatkan nilai kekuatan dari pilar yang akan digunakan untuk melihat pengaruh pemasangan rockbolt terhadap kekuatan pilar.

### 3.3 Teknik Analisis Data

Teknik yang dilakukan dalam analisis data yaitu dengan menggabungkan antara teori dengan data-data hasil pengujian laboratorium, sehingga dari keduanya didapat pendekatan penyelesaian masalah. Setelah data didapatkan maka selanjutnya adalah pengelompokan dan pengolahan data. Adapun yang dilakukan pada tahapan ini adalah:

3.3.1 Pengolahan data hasil pengujian sampel di laboratorium.

3.3.2 Pemodelan numerik sampel pilar tanpa perkuatan dan sampel pilar dengan perkuatan rockbolt.

3.3.1 Analisis pengaruh perkuatan rockbolt pada sampel pilar berdasarkan hasil pengujian dan pemodelan numerik.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Pengujian Mortar

Uji Mortar dilakukan untuk mendapatkan parameter kekuatan mortar dari beberapa komposisi perbandingan semen dan pasir, pengujian dilakukan pada sampel yang memiliki komposisi perbandingan semen dan pasir, 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, dan 1 : 4. Sampel material pilar yang di uji berbentuk silinder, setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Komposisi dan Kekuatan Mortar

No	Komposisi		$\sigma_c$ (MPa)
	Semen	Pasir	
1	1	1	13,00
2	1	2	10,62
3	1	3	4,96
4	1	4	1,31

Untuk campuran yang digunakan untuk pembuatan sampel pilar adalah komposisi semen : pasir sebesar 1: 2, dengan kekuatan material pilar sebesar 10.62 MPa karena

nilai kekuatan batubara di sawahlunto sebesar 8.81 Mpa (Alvi Rahman,2018), sehingga yang paling mendekati kekuatan batubara sawah lunto adalah komposisi 1 : 2.

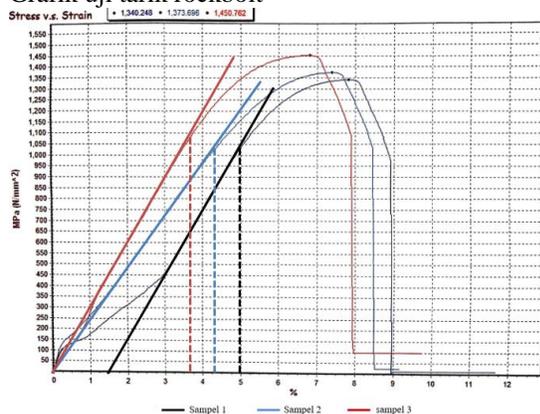
4.2 Pengujian Kuat Tarik Rockbolt

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat dari rockbolt, sampel yang di uji berbentuk silinder, didapatkan nilai max force rata-rata 4361.67 N, nilai yield strength rata-rata 1388,24 MPa, dan nilai tensile strength rata-rata 1288,77 Mpa.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tarik Rockbolt

NO	Diameter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Max Force (N)	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)
1	2	3.14	4,211	1,340.25	1,259.98
2	2	3.14	4,316	1,373.70	1,267.12
3	2	3.14	4,558	1,450.76	1,339.21
Rata-rata	2	3.14	4361.67	1388.24	1288.77

Grafik uji tarik rockbolt



4.3 Pengujian Sifat Fisik Mortar

Uji sifat fisik dilakukan untuk mendapatkan nilai bobot isi asli,bobot isi kering,bobot isi jenuh,berat jenis jemu,berat jenis nyata,kadar air asli,kadar air jenuh,derjad kejenuhan,porositas, dan void ratio. Adapun untuk hasil uji sifat fisik sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Uji Sifat Fisik Mortar

NO	Berat Natural (gram)	Berat Jenuh (gram)	Berat Melayang (gram)	Berat Kering (gram)
1	48,14	51,91	25,24	43,37
2	50,25	53,52	25,93	44,71
3	38,01	40,49	19,87	34,94
4	41,25	44,8	21,92	37,45
5	34,75	37,44	18,25	31,21
Rata-rata	42,48	45,632	22,242	38,336

Dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan nilai sifat fisik batuan untuk perhitungan sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil Pengolahan Data Uji Sifat Fisik

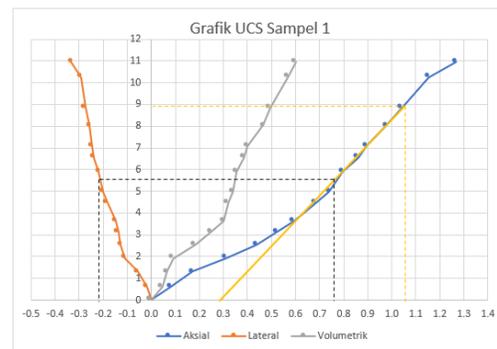
NO	Parameter	Komposisi 1: 2
1	Bobot Isi Asli (gram/cm <sup>3</sup> )	1,82
2	Bobot Isi Jenuh (gram/cm <sup>3</sup> )	1,95
3	Bobot isi kering (gram/cm <sup>3</sup> )	1,64
4	Berat Jenis Nyata	2,38
5	Berat jenis semu	1,64
6	kadar air asli (%)	10,73
7	kadar air jenuh (%)	18,97
8	Derjad Kejenuhan (%)	56,51
9	Porositas (%)	31,09
10	Void Ratio	0,45

4.4 Pengujian UCS Mortar

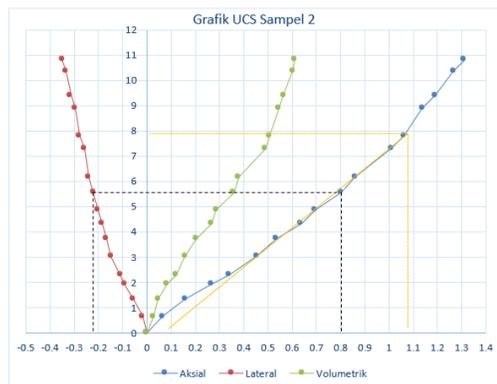
Pengujian UCS dilakukan untuk mendapatkan nilai modulus young (E), Nisbah Poisons (ν), dan mendapatkan grafik stress-strain. Setelah dilakukan pengujian UCS didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa sampel memiliki nilai kuat tekan uniaksial sebesar 10,86 Mpa, Modulus Young sebesar 1.012,72 Mpa dan nisbah poissons sebesar 0,28

Tabel 9. Hasil Uji UCS Mortar

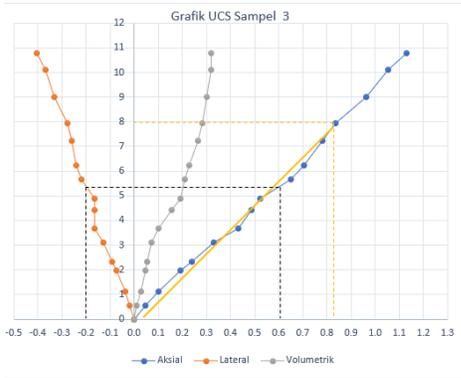
No	Sampel	D (cm)	H (cm)	σ1 (MPa)
1	Sampel 1	5,55	11,1	10,97
2	Sampel 2	5,53	11,06	10,82
3	Sampel 3	5,57	11,14	10,78
Rata-rata		5,55	11,1	10,86



Grafik UCS Sampel 1



Grafik UCS Sampel 2



Grafik UCS Sampel 3

Dari grafik diatas didapatkan nilai modulus young dan nisbah poissons seperti tabel di bawah

Tabel 10. Hasil Analisa UCS Mortar

No	Sampel	E (MPa)	v
1	Sampel 1	1164,47	0,28
2	Sampel 2	821,05	0,27
3	Sampel 3	1052,63	0,3
Rata-rata		1012,72	0,28

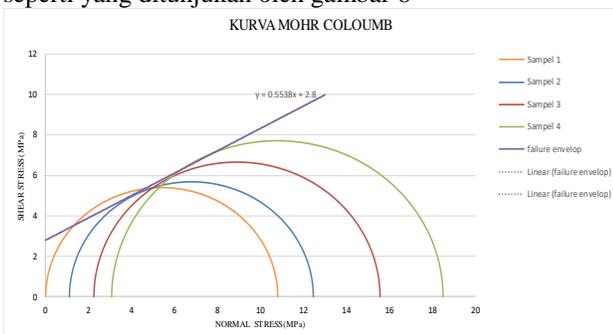
4.5 Pengujian Triaksial Mortar

Uji triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai  $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$  yang digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi (C) dan sudut geser dalam ( $\theta$ ) dengan menggunakan diagram mohr coulomb. Adapun nilai kohesi dan sudut geser dalam akan digunakan untuk data input pada pemodelan pilar, hasil uji triaksial sebagai berikut :

Tabel 11. Hasil Uji Triaksial Mortar

No	Sampel	D (cm)	A (cm)	$\sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_3$ (Mpa)	$\sigma_1$ (Mpa)
1	Sampel 1	5.57	24.35	0.0	110.7	0	10.86
2	Sampel 2	5.57	24.35	11.4	126.9	1.12	12.45
3	Sampel 3	5.54	24.09	23.0	158.6	2.26	15.55
4	Sampel 4	5.56	24.27	31.4	188.5	3.08	18.49

Nilai kohesi dan sudut gesek dalam yang diperoleh dari hasil pengujian triaksial, kemudian dimasukan ke dalam sebuah kurva hubungan antara tegangan normal ( $\sigma$ ) dan tegangan Geser ( $\tau$ ) atau disebut juga dengan istilah kurva Mohr Coloumb, maka akan diperoleh gambar seperti yang ditunjukkan oleh gambar 8



Gambar 8. Kurva Mohr Coloumb Mortar

Setelah dilakukan Analisa didapatkan nilai sebagai berikut

Tabel 12. Hasil Uji Triaksial

C (Mpa)	$\phi$ (..°)
3,3	25,1

4.6 Geometri Sampel Pilar

Untuk mnenetukan geometri pilar yang akan di uji dilakukan penskalaan ukuran pilar di lapangan dengan yang tersedia pada pemodelan sehingga didapatkan perbandingan yang tepat, sehingga saat sampel dilakukan pengujian dapat merepresentasikan kondisi di lapangan, adapun untuk penskalaan sebagai berikut :

Tabel 13. Penskalaan Ukuran Rockbolt

NO	Keterangan	Ukuran (mm)	Perbandingan
1	Rockbolt di lapangan	35	1 : 17,5
2	Sampel rockbolt	2	

Dari tabel di atas didapatkan perbandingan 1 : 17,5 ,selanjutnya untuk menentukan ukuran sampel pilar yang akan digunakan dengan cara menskalakan tinggi pilar di lapangan dengan tinggi sampel pilar di laboratorium, tinggi pilar di tambang bawah tanah adalah sebesar 2,5 meter, diskalakan dengan skala 1 : 17,5 sehingga didapatkan tinggi sampel pilar di laboratorium sebesar 14,29 cm selanjutnya dilakukan penskalaan sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 14. Penskalaan Ukuran Sampel Pilar

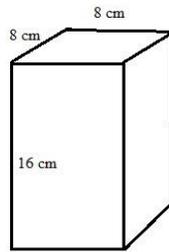
No	Keterangan	Ukuran (cm)	Perbandingan
1	Tinggi Pilar Lapangan	250	1 : 17,5
2	Tinggi Sampel Pilar	14,29	

Dari tabel di atas didapatkan ukuran tinggi sampel 14,29 cm untuk tinggi sampel pilar, karena tinggi sampel pilar sama dengan 2 kali lebar pilar,maka di dapatkan lebar sampel pilar sebesar 7,15 cm. Untuk sampel pilar ukuran dibuat mendekati penskalaan di atas,ukuran sampel pilar yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 15. Geometri Sampel Pilar

NO	Keterangan	Ukuran (cm)
1	Sisi 1	8
2	Sisi 2	8
3	Tinggi	16

Adapun bentuk sampel pilar seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini



Gambar 9. Geometri Sampel Pilar

4.7 Pengujian Kekuatan Pilar

Uji kekuatan pilar dilakukan untuk melihat pengaruh pemasangan rockbolt terhadap penambahan kekuatan pilar, adapun perbandingan semen : pasir yang dipakai adalah 1: 2, pilar yang di uji terdiri dari 5 sampel pilar tanpa perkuatan dan 5 sampel pilar dengan perkuatan rockbolt, adapun hasil pengujian adalah sebagai berikut :

4.7.1 Kekuatan Pilar Tanpa Penyangga

Dari hasil pengujian kekuatan pilar tanpa penyangga didapatkan rata-rata kekuatan pilar adalah 10,73 Mpa, adapun untuk hasil pengujian ditunjukkan oleh tabel dibawah

Tabel 16. Kekuatan Pilar Tanpa Perkuatan

No	Kode	Beban (kg)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Kekuatan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan (MPa)
1	1A	7373	8,24	8,34	16,19	107,3	10,73
2	2A	7015	8,1	8,28	16,23	104,6	10,46
3	3A	7246	8,17	8,16	16,40	108,7	10,87
4	4A	7322	8,28	8,28	16,29	106,8	10,68
5	5A	7631	8,35	8,37	16,05	109,2	10,92
Rata-rata		7317	8,228	8,28	16,23	107,32	10,73

4.7.1 Kekuatan Pilar Dengan Perkuatan *Rockbolt*

Dari hasil pengujian kekuatan pilar tanpa penyangga didapatkan rata-rata kekuatan pilar dengan perkuatan rockbolt adalah 12,70 Mpa, adapun untuk hasil pengujian ditunjukkan oleh tabel dibawah

Tabel 17. Kekuatan Pilar Dengan Perkuatan *Rockbolt*

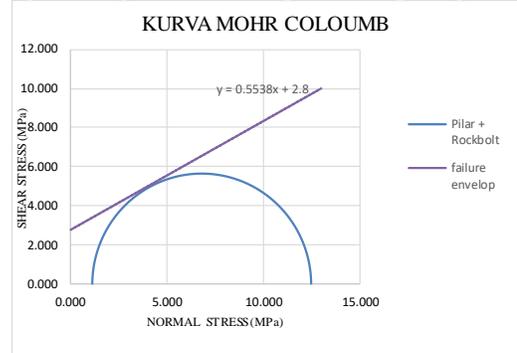
No	Kode	Beban (kg)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Kekuatan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan (MPa)
1	1B	8520	8,23	8,17	16,32	126,71	12,67
2	2B	8326	8,17	8,24	16,21	123,66	12,37
3	3B	8899	8,31	8,34	16,17	128,4	12,84
4	4B	8513	8,17	8,21	16,13	126,32	12,69
5	5B	8733	8,24	8,19	16,27	129,4	12,34
Rata-rata		8598	8,23	8,23	16,22	127,02	12,70

4.8 Tekanan penahan ekuivalen

Tekanan penahan ekuivalen ( $\sigma_3'$ ) merupakan tekanan yang salah-olah bekerja di permukaan dinding pilar akibat pemasangan sistem Pemasangan perkuatan pada pilar. Tekanan penahan ekuivalen juga merupakan salah satu penyebab terjadinya peningkatan kekuatan pilar. Tekanan penahan Ekuivalen muncul Karena pemasangan rockbolt pada pilar dapat diketahui dengan mengguankan selubung kekuatan Mohr Coloumb dari

pilar. Tekanan ( $\sigma_3'$ ) dapat ditentukan dengan mengguankan nilai kuat tekan uniaksial ( $\sigma_c$ ) pilar yang sama dengan  $\sigma_1$  ( $\sigma_c = \sigma_1$ ) pada saat pilar pecah, dengan cara membuat garis setengah lingkaran mohr dari titik  $\sigma_1$  sampai menyinggung selubung kekuatan ( karena pilar dalam kondisi pecah), Kemudian diperoleh kaki sebelah kiri dari setengah lingkaran mohr tersebut merupakan besar  $\sigma_3'$  yang muncul akibat pemasangan material penguat pada pilar. (Rai 1981; Wojtkowiak, Rai and Bonvallet 1985).

Tekanan penahan ekuivalen ( $\sigma_3'$ ) yang muncul akibat pemasangan rockbolt dapat dilihat pada gambar



Gambar 10. Tekanan Pemampatan Ekuivalen Setelah Pemasangan Rockbolt

Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui bahwa rockbolt yang di pasang pada pilar menyebabkan tekanan penahan ekuivalen ( $\sigma_3'$ ) sebesar 1.2 MPa, nilai ini diperoleh setelah membuat garis setengah lingkaran Mohr dari titik  $\sigma_1$  sampai menyinggung selubung kekuatan dari pilar dengan kohesi (c) 2.8 MPa dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) 29<sup>o</sup>.

4.9 Pemodelan Numerik

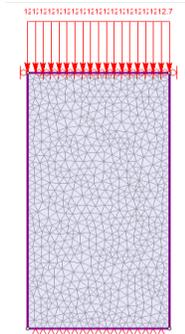
Pemodelan numerik dillakukan dengan Software Rockscience Phase2, dimana pemodelan dilakukan dengan membuat 2 model pilar, yaitu model pilar tanpa perkuatan dan model pilar dengan perkuatan *rockbolt*.

4.9.1.Kondisi Batas

Kondisi batas merupakan hal yang sangat penting dalam pemodelan numerik, karena kondisi batas akan sangat mempengaruhi hasil yang diperoleh dari pemodelan numerik. Kondisi batas sendiri akan meniru kondisi yang dialami sampel oleh sampel pada pengujian laboratorium. Berikut ini adalah kondisi batas yang diterapkan pada masing-masing model pilar.

4.9.1.1 Model Pilar Tanpa Penguatan

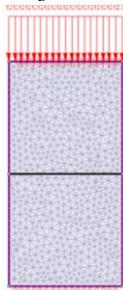
Kondisi batas yang diberikan pada pilar tanpa penguatan yaitu permukaan pilar bagian bawah diberiri tanda segitiga, yang menunjukkan bahwa pilar tidak dibolehkan untuk bergerak kearah X (horizontal) maupun kearah Y (vertikal). Sedangkan pada permukaan , atas pilar diberi tanda roda yang dibolehkan bergerak kearah Y, namun tidak dibolehkan bergerak kearah X, seperti yang ditunjukkan pada gambar



Gambar 9. Kondisi batas pilar tanpa penguatan

4.9.1.2. Model dengan Penguatan *Rockbolt*

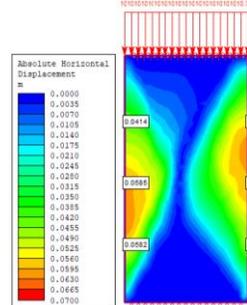
Kondisi batas yang diberikan pada permukaan atas dan bawah pilar sama dengan yang diberikan pada model pilar tanpa penguatan. Namun yang berbeda adalah adanya penambahan material berupa *rockbolt*, dimana pada kedua ujung dari *rockbolt* yang diberi plat penahan. Dimana plat penahan tersebut ditahan untuk tidak bergerak kearah X, sehingga perpindahan horizontal yang terjadi pada plat penahan *rockbolt* tersebut sama dengan nol. Sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar



Gambar 10. Kondisi batas pilar dengan penguatan *rockbolt*

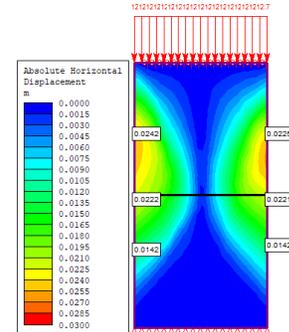
4.9.1.3 Perpindahan Horizontal

Perpindahan horizontal menunjukkan besarnya pergerakan pilar kearah horizontal akibat pengaruh dari gaya tekan yang diberikan pada pilar, adapun hasil pemodelan dari pilar meneunjukkan pergerakan horizontal pilar seperti yang ditunjukkan oleh gambar dibawah. Pada pilar tanpa penguatan pergerakan horizontal terbesar ditunjukkan oleh warna merah yang berarti pilar memiliki pergerakan horizontal sebesar  $5,8 \times 10^{-2}$  m



Gambar 11. Pergerakan horizontal pilar tanpa penguatan

Pada pilar dengan penguatan *rockbolt* terjadi penurunan pergerakan pilar, pergerakan horizontal pada area pengaruh *rockbolt* ditunjukkan oleh warna biru yang berarti pilar memiliki pergerakan horizontal sebesar  $2,2 \times 10^{-2}$  m

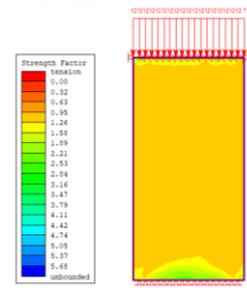


Gambar 12. Pergerakan horizontal pilar dengan penguatan *rockbolt*

5.9.1.4. *Strength Factor (SF)*

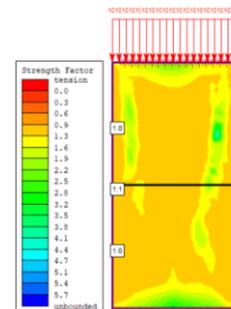
*Strength factor* menunjukkan besarnya rasio gaya pendorong dan gaya penahan yang bekerja, yang mana apabila rasio SF memiliki nilai kurang dari 1 berarti model pilar sudah runtuh, apabila sama dengan 1 berarti dalam kondisi kritis, dan apabila lebih dari 1 berarti dalam kondisi aman. Adapun untuk pemodelan sampel pilar memiliki nilai sebagai berikut

Pada pilar tanpa perkuatan *strength factor* dominan ditunjukkan oleh warna jingga yang menunjukkan nilai 1,05



Gambar 13. *Strength factor* pilar tanpa penguatan

Pada pilar tanpa perkuatan *strength factor* pada bagian sisi pilar ditunjukkan oleh warna kuning yang menunjukkan nilai 1,2



Gambar 14. *Strength factor* pilar dengan penguatan *rockbolt*

## 5. Penutup

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan mengenai pengaruh penambahan penguatan rockbolt terhadap pilar persegi, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 5.1.1 Berdasarkan pengujian didapatkan perbandingan campuran semen dan pasir yang representatif dengan kekuatan batubara di sawahlunnto sebesar 8,81 Mpa sehingga campuran semen dan pasir yang paling mendekati adalah 1 : 2 dengan kekuatan rata-rata sebesar 10,16 Mpa. (Alvi Rahman,2018).
- 5.1.2 Bentuk pilar yang digunakan adalah pilar persegi dengan panjang sisi-sisinya sebesar 8 cm dan tinggi sampel 16 cm, ukuran pilar didapatkan setelah melakukan penyekalaan dan penyesuaian dengan alat pengujian di laboratorium.
- 5.1.3 Dari pengujian kekuatan pilar didapatkan kekuatan pilar tanpa perkuatan sebesar 10,73 Mpa dan nilai rata-rata kekuatan pilar dengan perkuatan rockbolt sebesar 12.70 Mpa.
- 5.1.4 Pengaruh pemasangan rockbolt pada pilar menyebabkan terjadinya peningkatan kekuatan pilar, berdasarkan hasil pengujian kekuatan pilar didapatkan penambahan kekuatan pilar sebesar 18,36 % pada sampel pilar dengan perkuatan rockbolt.
- 5.1.4 Hasil pemodelan numerik menggunakan Phase 2 menunjukkan pengaruh pemasangan penguatan rockbolt pada pilar menyebabkan terjadinya peningkatan nilai strength factor serta penurunan nilai horizontal displacement pada model pilar.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk melanjutkan penelitian adalah sebagai berikut :

- 5.2.1 Untuk mendapatkan pengaruh pemasangan rockbolt yang lebih significant, sebaiknya memasukan pengaruh adanya bidang lemah pada pilar.
- 5.2.2 Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya tidak hanya berfokus pada pilar batubara, tapi juga bisa melakukan penelitian terhadap jenis batuan lainnya.
- 5.2.2 Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya metode penguatan yang digunakan tidak terbatas hanya pada penguatan rockbolt, tapi bisa menggunakan berbagai jenis perkuatan lainnya atau melakukan kombinasi dengan beberapa jenis penguatan.

### Daftar Pustaka :

- [1]. Arif, I. (2015) Geoteknik Tambang, Penerbit ITB, Bandung
- [2]. Astawa, Made R., Kramadibrata Suseno, and Kresna, Ridho W.(2010). Mekanika Batuan. Bandung : ITB.
- [3]. Bieniawski, Z. T. (1973), Engineering classification of jointed rock masses. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Engrs.
- [4]. Bieniawski, Z T (1986). The effects of spesimen size on the compressive strength Of coal. J. Rock Mech. Min sci. vol. 5, pp.325-335
- [5]. Bieniawski,Z.T.,(1968).The effects of specimen size on the compressive strength of coal.Int.J.Rock Mech.Min Sci Vol.5
- [6]. Budiawan.,(2018).Young Modulus Material,Scientific Jurnal of Engineering Science. Vol.3 No. 2
- [7]. Rahman, Alvi., & Heriyadi, B. (2019). Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dan Pillar saat Proses Mining Blok Development pada Penambangan Bawah Tanah Metoda Room and Pillar PT. Allied Indo Coal (AIC) Jaya. Bina Tambang, 4(1), 333-343.
- [8]. Salamon, M.D.G and Munro, A>H. 1967. A Study Of The Strength Of Coal Pillars Journal Of South African Institutes Of Mining And Metallurgy. Vol 68, No 2.pp. 55-67
- [9]. Wojtkowiak, F., Rai, M.A and Bonvallet, J. (1985). Rock and soil reinforcement and Support. CIM Bull 78 (884), P63-68
- [10]. Zakir,La Ode.(2018) Analisis Pengaruh Sistem Penguatan (Rock Bolt Dan Shotcrete) Terhadap Kekuatan Pilar Di Tambang Bawah Tanah Dengan Pengujian Model Fisik Di Laboratorium