

# ANALISIS PENGARUH PERKUATAN *WIRE MESH* TERHADAP KEKUATAN PILAR DI TAMBANG BAWAH TANAH DENGAN PENGUJIAN SKALA LABORATORIUM

Aldo Azzana Zuhuri<sup>1\*</sup>, Raimon Kopa<sup>1\*\*</sup>

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

\*[azzanaaldo1@gmail.com](mailto:azzanaaldo1@gmail.com)

\*\*[raimonkopa@ft.unp.ac.id](mailto:raimonkopa@ft.unp.ac.id)

**Abstract.** Pillars are natural support that serve to hold the material load on it. The development of deeper mines causes the burden received by the pillars will be greater so as to encourage an increase in the dimensions of the pillars to maintain the stability of the work area this will be a challenge to carry out the mandate of Annex VII of the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 1827.K/30/MEM/2018 on Guidelines for the Implementation of Mineral and Coal Conservation. Therefore the pillar requires special reinforcement so as not to collapse during underground mining activities and also maximize recovery. In this study the reinforcement used is wire mesh with a diameter of 0.8 mm then the pillar sample is made of a homogeneous cylindrical material from a mixture of cement and sand with a composition of 1:2, the pillar sample is made close to the strength of coal. The results of this study showed that the installation of strengthening (wiremesh) caused an increase in the strength value on the pillar that was originally a pillar without buffering has a strong uniaxial press of 10.4 MPa and after strengthening the wire mesh obtained 14.65 MPa or increased by 42.5%. This is evidenced by the results of numerical modeling model II shows an increase in strength factor value from the original 1 to 1.3 and decreased horizontal displacement that was originally as far as 0.00024 m to 0.000063 m, the results of pillar strength testing in the laboratory and numerical modeling showed that the increase in strength occurred due to horizontal displacement in the pillar held by wire mesh so that the pillar seemed to experience pressure. Anchoring thus causes horizontal displacement to be smaller compared to horizontal displacement on pillars without wire mesh strengthening.

**Keywords:** Pillar, Reinforcement, Wire Mesh, Coal, and Underground Mining

## 1. Pendahuluan

Keberadaan cadangan mineral dan batubara yang berada dekat dengan permukaan semakin menipis sehingga tidak dimungkinkan untuk melakukan kegiatan tambang terbuka, oleh karena itu penyelesaian masalah ini dengan menggunakan sistem penambangan bawah tanah. Hal ini menjadikan Kecenderungan umum di masa yang akan datang, sistem tambang bawah tanah akan menjadi pilihan utama eksploitasi mineral dan energi<sup>[9]</sup>. Kegiatan penambangan bawah tanah memiliki resiko yang tinggi dibandingkan dengan penambangan di permukaan, oleh sebab itu kegiatan penambangan bawah tanah harus mempertimbangkan kekuatan masa batuan, kondisi stress dan strain, kondisi struktur geologi, dan kondisi air tanah.

Penambangan bawah tanah memiliki beberapa metode yang dapat dilakukan tergantung pada kondisi struktur geologi batuan. salah satu metode yang sering digunakan adalah metode penambangan room and pillar. Metode room dan pilar kebanyakan digunakan untuk penambangan batubara karena dirancang untuk

penambangan endapan yang relatif datar dan berlapis dengan ketebalan terbatas. Metode ini akan meninggalkan blok batuan yang berfungsi sebagai penyangga alami.

Berdasarkan Lampiran VII Keputusan Menteri ESDM No 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Konservasi Mineral dan Batubara, optimalisasi *recovery* penambangan sistem bawah tanah mineral dan batubara perlu tetap menjaga kestabilan pilar sesuai rekomendasi kajian teknis.

Dengan menjalankan salah satu objek konservasi mineral dan batubara yaitu *recovery* penambangan yang artinya upaya Perencanaan dan pelaksanaan *recovery* penambangan secara maksimal, efisien, bertanggung jawab dan berkelanjutan. Oleh karena itu penambangan batubara dengan metode *room and pillar* diharuskan untuk meninggalkan pilar seoptimal mungkin dengan ketentuan pilar harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menjaga kondisi kestabilan *front* kerja di bawah permukaan

Pengembangan tambang yang lebih dalam menyebabkan beban yang diterima pilar akan semakin besar ditambah batubara tergolong pada batuan yang lemah

(*weak*)<sup>[2]</sup>, sehingga mendorong peningkatan dimensi pilar<sup>[6]</sup>. untuk menjaga kestabilan area kerja. Hal ini akan menjadi tantangan untuk menjalankan amanah Lampiran VII Keputusan Menteri ESDM No 1827.K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Konservasi Mineral dan Batubara.

Kekuatan pilar sangat tergantung pada kondisi tegangan yang bekerja pada pilar. Kekuatan pilar dapat di definisikan sebagai ketahanan maksimum pilar terhadap tekanan aksial<sup>[3]</sup>. Tekanan pilar adalah faktor penting yang mempengaruhi stabilitas pilar dan perhitungan stress pilar adalah aspek penting dari desain tambang. Ketika pilar batubara mengalami gangguan akibat tekanan yang diberikan oleh beban diatas pilar maupun dari kegiatan peledakan maupun getaran lain yang disebabkan oleh aktifitas alat angkut dan alat muat, maka tegangan yang bekerja pada pilar sendiri memiliki suatu batas elastisitas sehingga apabila kondisi regangan melewati batas elastis maka akan menyebabkan pilar batubara mengalami keruntuhan. Salah satu cara pencegahan agar pilar tidak mengalami keruntuhan adalah dengan memberikan penguatan terhadap pilar salah satunya menggunakan rock bolt dan *wire mesh* namun peneliti hanya berfokus ke pada pengaruh perkuatan menggunakan *wire mesh* terhadap pilar.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dibutuhkan suatu penelitian untuk meningkatkan kekuatan pilar dan mencegah terjadinya keruntuhan pada pilar. Dengan menjalankan prinsip konservasi pertambangan sehingga dapat memaksimalkan *recovery* batubara tanpa mengabaikan keamanan dan kesehatan kerja. Penelitian akan dilakukan di laboratorium dengan membuat sampel pilar menggunakan material homogen berbentuk silinder dari campuran semen dan pasir, sampel pilar yang dibuat mendekati kekuatan batubara. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik dari pilar yang digunakan.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Pilar

Pilar merupakan bagian dari endapan bahan galian yang ditinggalkan (tidak ditambang) untuk menyangga beban batuan yang ada di atasnya dan menjaga keamanan lubang bukaan bawah tanah agar tidak mengalami keruntuhan Karena berfungsi sebagai penyangga, maka kekuatan pilar sangat berperan pada kondisi kestabilan lubang bukaan bawah tanah. *Metode room and pillar* memiliki *recovery* yang rendah umumnya maksimal 60%, disamping itu memerlukan kondisi lapisan batubara yang landai (*flat*) dan relatif tebal, metode ini yang hanya diterapkan pada penambangan lapisan batubara yang dekat dengan permukaan tanah karena tekanan batuanannya tidak begitu besar. Meskipun sering digunakan pada penambangan batubara metode ini juga banyak digunakan pada penambangan endapan bahan galian lainnya terutama

mineral yang terdapat pada batuan yang relatif kompak. Keadaan Struktur Geologi

### 2.2 Pengaruh Ukuran dan Bentuk Pilar

Kekuatan pilar sangat tergantung pada ukuran (*size effect*) dan bentuk (*shape effect*) pilar.

#### 2.2.1. Efek Ukuran

Kekuatan pilar dapat ditentukan dengan uji laboratorium dan Kekuatan batubara yang diperoleh di laboratorium biasanya lebih besar Kekuatan pilar dapat ditentukan dengan uji laboratorium dan Kekuatan batubara yang diperoleh di laboratorium biasanya lebih besar karena ukuran sampelnya yang lebih kecil disebabkan adanya kenyataan bahwa semakin besar ukuran sampel, maka semakin banyak terdapat bidang diskontinu yang menyebabkan menurunnya kekuatan pilar<sup>[1]</sup>. melakukan pengukuran insitu dan memperoleh hasil bahwa untuk sampel pilar berbentuk kubus. kekuatan akan menurun dengan membesarnya ukuran sampel dan menjadi konstan Saat mencapai ukuran kritis, yaitu sekitar 1,5 meter. Ini berarti bahwa kekuatan sampel kritis akan menggambarkan kekuatan insitu pilar batubara<sup>[7]</sup> melakukan eksperimen dengan menggunakan berbentuk kubus dengan ukuran 1 - 60 inchi (0, 0254 - 1,524 m), Hasilnya bahwa kekuatan dari uji laboratorium kira-kira 7 kali kekuatan insitunya yang sama juga didapat Bieniawski.

#### 2.2.2. Efek Bentuk

Selain efek ukuran, kekuatan batubara juga bergantung pada geometri sampel atau efek bentuk, yaitu perbandingan diameter atau lebar terhadap tinggi sampel

Berikut adalah formula yang biasa digunakan untuk menentukan kekuatan<sup>[11]</sup>.

$$\sigma_p = \sigma_{cp} w^\alpha H^\beta \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma_p$  = Kekuatan Pilar (MPa)

$\sigma_{cp}$  = Nilai ekstrapolasi kekuatan pilar insitu dari kekuatan hasil uji laboratorium = 7.176 MPa (untuk pilar dengan kekuatan 9 MPa)

W = Lebar Sampel Pilar Batubara

H = Tinggi Sampel Pilar Batubara

$\alpha$  = 0.46

$\beta$  = 0.66

$\alpha \beta$  = Kondisi Geostruktur dan geomekanik dalam tubuh batuan

### 2.3 Wire Mesh

*Wire mesh* adalah besi fabrikasi yang terdiri dari dua lapis kawat baja yang saling bersilangan tegak lurus. Setiap titik persilangan dilas secara otomatis menjadi satu, menghasilkan penampang yang homogen, tanpa kehilangan kekuatan dan luas penampang yang konsisten. Jarak antar

kawatnya yang sama, seragam dan konsisten membuat besi *Wire mesh* tidak akan pernah berkurang serta semua susunan selalu berada di posisinya masing-masing<sup>[4]</sup>.

**2.4 Uji Sifat Fisik**

Uji sifat fisik merupakan pengujian sampel tanpa menghancurkan sampel tersebut atau biasa disebut dengan pengujian *non destructive*. Sifat batuan yang didapat dari hasil pengujian sifat fisik batuan adalah bobot isi alami, bobot isi kering, bobot isi jenuh, angka pori, porositas, derajat kejenuhan, kadar air asli, *true specific gravity*, *apparent specific gravity*<sup>[10]</sup>.

$$\text{Bobot isi natural} = \frac{W_n}{W_w - W_s} \tag{2}$$

$$\text{Bobot isi jenuh} = \frac{W_w}{W_w - W_s} \tag{3}$$

$$\text{Bobot isi kering} = \frac{W_o}{W_w - W_s} \tag{4}$$

$$\text{Kadar air asli} = \frac{W_n - W_o}{W_w} \times 100 \% \tag{5}$$

$$\text{Kadar air jenuh} = \frac{W_o - W_s}{W_o} \times 100 \% \tag{6}$$

$$\text{Apperent specific gravity} = \frac{W_o}{W_w - W_s} : \text{Massa jenis air} \tag{7}$$

$$\text{True specific gravity} = \frac{W_o}{W_o - W_s} : \text{Massa jenis air} \tag{8}$$

$$\text{Porositas} = \frac{W_o - W_s}{W_o} \times 100 \% \tag{9}$$

$$\text{Void Ratio} = \frac{n}{1 - n} \tag{10}$$

Keterangan :

- W<sub>n</sub> : berat contoh asli
- W<sub>o</sub> : berat contoh kering (setelah dikeringkan dengan oven selama 24 jam, dengan temperature kurang lebih 90° C
- W<sub>w</sub> : berat contoh jenuh (setelah dijenuhkan selama 24 jam)

**2.5 Uji Sifat Mekanik**

Uji Sifat mekanik adalah uji sifat yang terdapat pada suatu batuan dan bersifat *destructive test*. Setelah batuan selesai dipreparasi kemudian setiap sample yang diperoleh diukur diameter dan tingginya kemudian dihitung luas permukaannya. Adapun uji sifat mekanik pada batuan meliputi :

**2.5.1. Uji Kuat Tekan Uniaksial**

Menurut ISRM (1981), syarat contoh batuan uji laboratorium mekanika batuan berbentuk silinder dengan ratio antara tinggi dan diameter contoh silinder yang umum digunakan adalah 2-2,5 contoh batuan yang memiliki ratio  $L/D > 2$  ukuran diameter tidak kurang dari ukuran NX yaitu 54mm. contoh batuan yang memiliki ratio  $L/D > 2,5$  menghasilkan nilai UCS lebih kecil dan lebih cepat mengalami kegagalan dibandingkan dengan contoh batuan yang memiliki ratio  $L/D < 2$ . Untuk kondisi  $L/D = 1$  maka tegangan akan asling bertemu dalam skema segitiga gaya, sehingga akan memperbesar nilai kuat tekan sampel batuan tersebut.

**2.5.1.1. Kuat Tekan Batuan ( $\sigma_c$ )**

*Tujuan* utama uji kuat tekan uniaksial adalah untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari contoh batuan. Harga tegangan pada saat contoh batuan hancur didefinisikan sebagai kuat tekan uniaksial batuan dan diberikan oleh hubungan :

$$\sigma_c = F/A \tag{11}$$

Keterangan :

- $\sigma_c$  : Kuat tekan uniaksial batuan (MPa)
- F : Gaya aksial pada saat contoh batuan hancur (N)
- A : Luas permukaan awal contoh batuan yang tegak lurus arah gaya (mm<sup>2</sup>)

**2.5.1.2. Modulus Young (E)**

*Modulus Young* atau modulus elastisitas merupakan faktor penting dalam mengevaluasi deformasi batuan pada kondisi pembebanan yang bervariasi.

$$E = \Delta\sigma / \Delta\epsilon \tag{12}$$

Keterangan:

- E : Modulus elastisitas (MPa)
- $\Delta\sigma$  : Perubahan tegangan (MPa)
- $\Delta\epsilon$  : Perubahan regangan aksial (%)

**2.5.1.3. Nisbah Poisson (*Poisson's Ratio*)**

Nisbah *Poisson* didefinisikan sebagai ratio negatif antara regangan lateral dan regangan aksial.

$$\nu = - \epsilon_l / \epsilon_a \tag{14}$$

Keterangan:

- $\nu$  = Nisbah Poisson
- $\epsilon_l$  = Regangan lateral (%)
- $\epsilon_a$  = Regangan aksial (%)

### 2.5.2. Uji Triaksial

Salah satu uji yang terpenting di dalam mekanika batuan untuk menentukan kekuatan batuan di bawah tiga komponen tegangan adalah uji triaksial melalui persamaan kriteria keruntuhan. Kriteria keruntuhan yang sering digunakan dalam pengolahan data uji triaksial adalah kriteria Mohr-Coulomb.

## 2.6 Deformasi Batuan

Tegangan (*stress*) adalah gaya yang bekerja pada suatu luasan permukaan dari suatu material. Sementara regangan (*Strain*) adalah ukuran deformasi ataupun perubahan bentuk material. Bila batuan mengalami penambahan stress akan terdeformasi melalui 3 tahap secara berurutan :

### 2.5.3. Elastic Deformation

Deformasi sementara tidak permanen atau dapat kembali ke bentuk awal (*reversible*). Begitu stress hilang, batuan kembali terbentuk dan volume seperti semula.

### 2.5.4. Ductile Deformation

Deformasi dimana elastic limit dilampaui dan perubahan bentuk dan volume batuan tidak kembali ke bentuk semula.

### 2.5.5. Fracture

Tejadi apabila elastic limit dan ductile deformasi dilampaui. Kurva *stress-strain* berlanjut sampai batuan akan pecah melalui rekahan.

## 2.7 Uji kuat Tarik Wire Mesh

### 2.7.1. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kekuatan yang biasanya ditentukan dari suatu hasil uji tarik adalah kekuatan luluh dan kekuatan tarik adalah kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimum adalah beban maksimum yang di bagi luas penampang awal benda uji.

$$(\sigma) = P_{max}/A_0 \quad (15)$$

Keterangan:

P = beban maksimum/putus  
A<sub>0</sub> = luas *wire mesh*

### 2.7.2. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah kemampuan suatu material untuk menyerap energi dan kembali ke bentuk semula atau kembali ke sifat keelastisitasannya, makin besar modulus makin kecil regangan *elastic* yang di dihasilkan akibat pemberian tegangan.

$$E = \sigma/\epsilon \quad (17)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan

$\epsilon$  = Renggangan

## 2.8 Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik dengan metode elemen hingga (*finite elemen method*) merupakan salah satu metode numerik yang menggunakan konsep persamaan diferensial dalam menentukan hubungan tegangan regangan dalam suatu material. Pada metode ini domain dari suatu material dibagi kedalam sejumlah zona kecil yang disebut elemen. Elemen-elemen saling berkaitan pada sejumlah titik simpul. Perpindahan pada setiap titik simpul dihitung terlebih dahulu, kemudian dengan sejumlah fungsi interpolasi yang diasumsikan perpindahan pada sembarang titik dapat dihitung berdasarkan nilai perpindahan pada masing-masing titik simpul. Selanjutnya regangan yang terjadi pada setiap elemen dihitung berdasarkan besarnya perpindahan pada masing-masing titik simpul. Berdasarkan nilai regangan tersebut dapat dihitung tegangan yang bekerja pada setiap elemen. Mesh dengan elemen hingga

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Jenis Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini termasuk penelitian eksperimental. Metode penelitian eksperimen termasuk dalam metode penelitian kuantitatif. Fraenkel dan Wallen (2009) menyatakan bahwa eksperimen berarti mencoba, mencari, dan mengkonfirmasi. Gordon L Patzer (1996) menyatakan bahwa hubungan kausal atau sebab akibat adalah inti dari penelitian eksperimen. Hubungan kausal adalah hubungan sebab akibat, hal ini berarti bila variabel independen diubah-ubah nilainya maka akan merubah nilai dependen. Selanjutnya, metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan <sup>[12]</sup>.

### 3.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada laboratorium tambang jurusan Teknik pertambangan, Laboratorium Manufaktur Jurusan Teknik Mesin, laboratorium Pengujian Bahan Bangunan Dan Mekanika Tanah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Adapun tahapan pengumpulan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Tahap persiapan dimana pada tahap ini dilakukan studi literatur terhadap laporan penelitian sebelumnya maupun buku-buku penunjang yang berhubungan dengan pelaksanaan kegiatan penelitian
- Pembuatan dan preparasi sampel penentuan komposisi semen dan pasir untuk mortar, *wire mesh*, sampel uji sifat fisik mortar, sampel UCS mortar, sampel uji triaksial, Sampel Uji Kuat tekan Pilar

- tanpa penguatan dan dengan penguatan *wire mesh* yang nantinya akan digunakan dalam pengujian
- c. Pengujian dilakukan pada tahap ini adalah seperti (a) Pengujian kuat Tarik *Wire mesh*, (b) Pengujian kekuatan mortar untuk menentukan komposisi mortar, (c) Pengujian Sifat Fisik Mortar, (d) Pengujian Kuat Tekan UCS Mortar, (e) Pengujian triaksial mortar dan (f) Pengujian kekuatan pilar tanpa penguatan dan dengan penguatan *wire mesh*.
  - d. Tahapan Pengolahan data dilakukan dengan menghitung data-data yang telah dilakukan pengujian sebelumnya seperti (a) Data komposisi mortar (semen:pasir), (b) Data uji sifat Fisik material beton, (c) Kohesi dan Sudut Geser Dalam, (d) Kuat tekan uniaksial dan *Modulus Young* mortar, (e) Diameter *wire mesh* skala laboratorium, (f) Kuat tarik *wire mesh*, (g) Kuat tekan Pilar tanpa penguatan dan dengan penguatan *wire mesh*.
  - e. Pemodelan numerik menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui proses yang dialami oleh pilar pada saat dilakukan pengujian di laboratorium. Dalam pemodelan ini akan dilakukan analisis terhadap *strength factor* dan perpindahan horizontal yang terjadi pada pilar.

### 3.3 Teknik Analisis Data

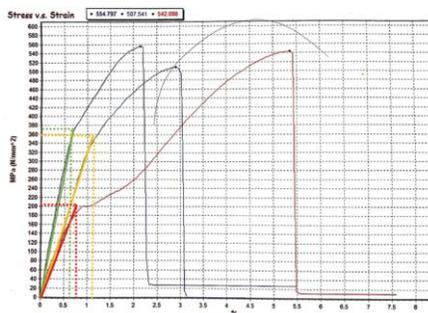
Analisis data dilakukan dengan membandingkan pengaruh dari sistem penguatan terhadap elemen material di dalam pilar seperti distribusi tegangan, perpindahan horizontal dan *strength factor* yang terjadi pada pilar dan juga kekuatan pilar sebelum diberi penguatan dengan setelah diberi penguatan (*wire mesh*) sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh yang diberikan oleh akibat pemasangan *wire mesh*.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Uji Laboratorium

#### 4.1.1. Uji Kuat Tarik *Wire mesh*

Dari Hasil pengujian kuat Tarik *wire mesh* Yang dilakukan di Laboratorium Manufaktur Jurusan Teknik Mesin didapatkan nilai kuat tarik rata-rata dari sampel *wire mesh* yang digunakan adalah 534,81 MPa dan nilai *modulus young* rata-rata sebesar 40595 MPa.



Gambar 1. Grafik Uji Kuat Tarik *Wire Mesh*

Tabel 1. Uji Kuat Tarik *Wire mesh*

No	Diameter (mm)	Luas (mm)	Max Force (N)	Tensile strength (MPa)	Modulus Young (MPa)
1	8	0,502	279	554,80	62500
2	8	0,502	255	507,54	30000
3	8	0,502	272	542,10	29285
Rata - rata				534,81	40595

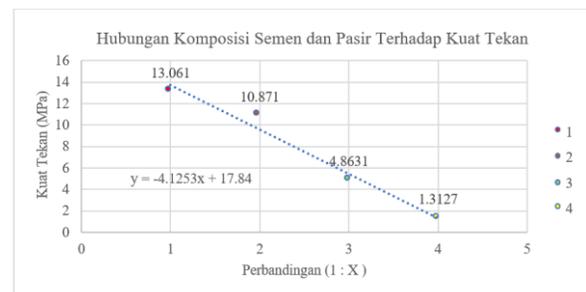
#### 4.1.2. Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Untuk Penentuan Komposisi Mortar

Uji kuat tekan uniaksial megacu pada ISRM *Suggested Method for Detemining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*. Conto untuk kuat tekan uniaksial berbentuk silinder dengan perbandingan antara panjang dan diameternya antara 2-2,5 kali diameternya. Dari hasil pengujian kuat tekan dengan kompisisi (semen:pasir) 1:1; 1:2; 1:3 dan 1:4 terhadap kuat tekan mortar.

Tabel 2. Hubungan Komposisi Semen dan Pasir Terhadap Kuat Tekan

No	Komposisi (Semen : Pasir)	Kuat Tekan (MPa)
1	1:1	13,061
2	1:2	10,871
3	1:3	4,863
4	1:4	1,313

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari uji kuat tekan UCS material pilar dengan komposisi 1:1, 1:2, 1:3, dan 1:4 mengalami perubahan nilai kuat tekan secara linear seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Komposisi Semen dan Pasir Terhadap Kuat Tekan

Berdasarkan kekuatan batubara sawahlunto hasil pengujian yang dilakukan oleh Alfi Rahman (2018) didapatkan kuat tekan batubara rata-rata adalah 8,81 MPa jadi peneliti akan menggunakan komposisi (1:2) yang mendekati nilai 8,81 MPa untuk sampel – sampel pengujian berikutnya.

4.1.3.Sifat Fisik Mortar

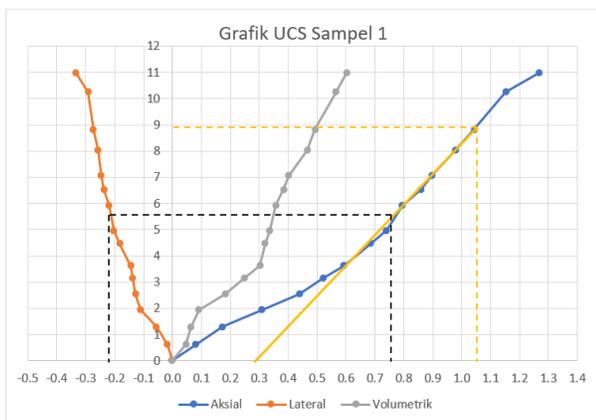
Setelah didapatkan komposisi mortar 1:2 maka selanjutnya adalah pengujian sifat fisik mortar yang dilakukan untuk memperoleh data sifat fisik dari metrial pilar.

Tabel 3. Nilai Rata-Rata Uji Sifat Fisik

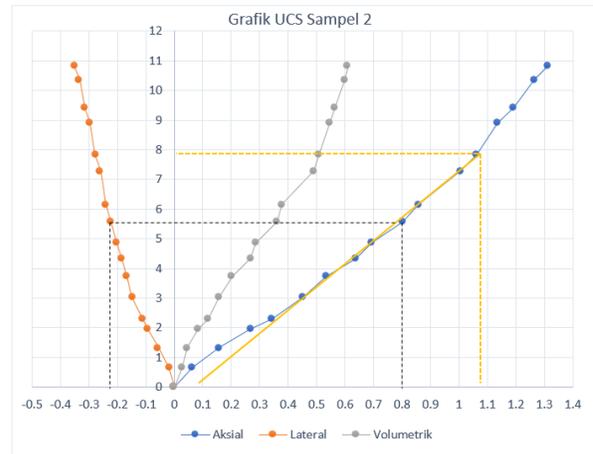
No	Parameter	Komposisi 1:2
1	Bobot isi asli (gr/cm3)	1,82
2	Bobot isi jenuh (gr/cm3)	1,95
3	Bobot isi kering (gr/cm3)	1,64
4	True specific gravity	2,38
5	Apperent specific gravity	1,64
6	Kadar air asli (%)	10,73
7	Kadar air jenuh (%)	18,97
8	Derajat kejenuhan (%)	56,51
9	Porositas (%)	31,09
10	Angka pori	0,45

4.1.4. Uji Kuat tekan Uniaksial Mortar

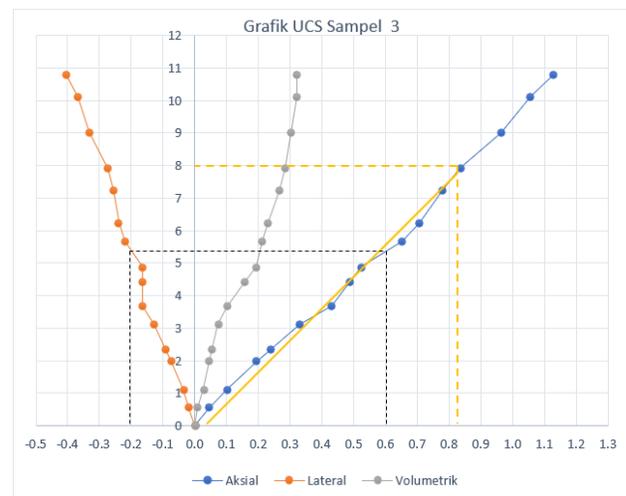
Pengujian sampel mortar ini dilakukan dengan uji kuat tekan uniaksial. Uji kuat tekan uniaksial megacu pada ISRM *Suggested Method for Detemining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials*. Conto untuk kuat tekan uniaksial berbentuk silinder dengan perbandingan antara panjang dan diameternya antara 2-2,5 kali diameternya untuk memperoleh propertis mortar yang berupa kuat tekan ( $\sigma_c$ ), modulus young (E) dan nisbah Poisson ( $\nu$ ) dari material yang digunakan. Untuk sampel yang digunakan menggunakan komposisi 1:2. Dari hasil uji laboratorium maka didapatkan grafik sebagai berikut



Gambar 3. Grafik Sampel 1 Kuat Tekan Uniaksial Mortar



Gambar 4. Grafik Sampel 2 Kuat Tekan Uniaksial Mortar



Gambar 5. Grafik Sampel 3 Kuat Tekan Uniaksial Mortar

Dari hasil garfik di atas maka dapat diketahui nilai modulus young dan poisson ratio pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

No	$\sigma_c$ (Mpa)	E (MPa)	$\nu$
1	10,97	1164,47	0,28
2	10,82	821,05	0,27
3	10,78	1052,63	0,3
Rata- rata	10,85	1012,71	0,256

Hasil pengujian Kuat tekan uniaksial pada mortar menunjukkan bahwa pilar memiliki nilai kuat tekan uniaksial sebesar 10,85 MPa, modulus young sebesar 606,163 MPa dan nisbah poisson sebesar 0,32.

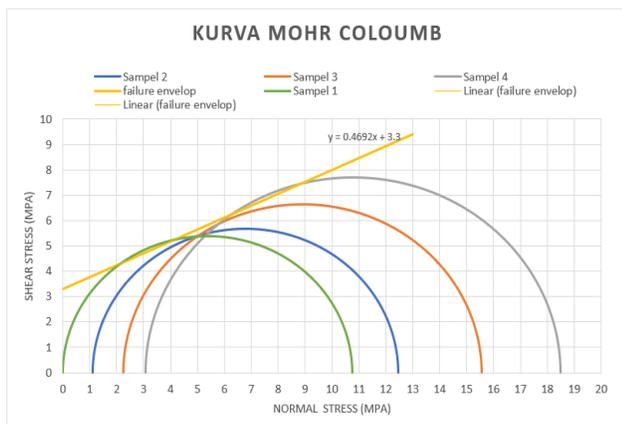
4.1.5.Uji Triaksial Mortar

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

**Tabel 5.** Uji Triaksial Mortar

No	$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_1$ (MPa)
1	0	10,85
2	1,12	12,45
3	2,26	15,56
4	3,08	18,50

Setelah hasil uji triaksial didapatkan selanjutnya adalah pembuatan selubung kekuatan Mohr kemudian dengan cara memasukan hasil uji triaksial ke dalam sebuah kurva hubungan antara tegangan normal ( $\sigma$ ) dan tegangan geser ( $\tau$ ) atau disebut juga dengan istilah kurva Mohr Coloumb.

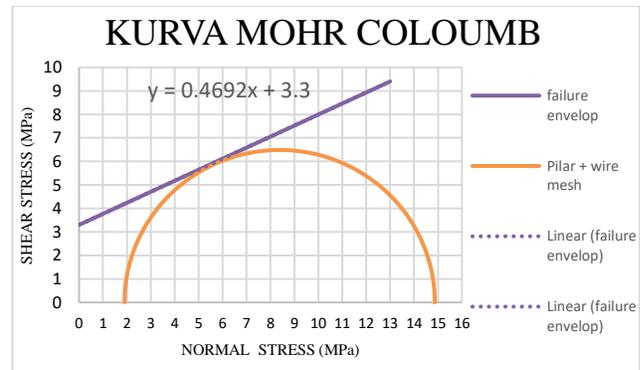


**Gambar 6.** Kurva Mohr Coloumb Mortar

Maka akan didapatkan data nilai kohesi sebesar 3,3 MPa dan sudut gesek dalam 25,1 °.

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 wire mesh pada pilar dapat diketahui dengan mengguankan selubung kekuatan Mohr Coloumb dari pilar. Tekanan ( $\sigma_3'$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan 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.

Tekanan penahan ekuivalen ( $\sigma_3'$ ) yang muncul akibat pemasangan wire mesh dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 7.** Tekanan Penahan Pemampatan

Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui bahwa wire mesh yang di pasang pada pilar menyebabkan tekanan penahan ekuivalen ( $\sigma_3'$ ) sebesar 1,9 MPa, nilai ini diperoleh setelah membuat garis setengah lingkaran Mohr dari titik  $\sigma_1$  sampai menyinggung selubung kekuatan dari pilar dengan kohesi (c) 3,3 MPa dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) 25,1 °.

**4.1.6. Uji Kuat Tekan Pilar**

Uji kuat tekan pilar tanpa penguatan dan dengan penguatan (*wire mesh*) dengan menggunakan geometri pilar dengan tinggi 220 mm dan diameter pilar 108 mm. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan

**Tabel 6.** Hasil Kuat Tekan Pilar Tanpa Penguatan

Pilar Tanpa Penguatan		
No	Luas (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)
1	9156,24	10,66
2		10,23
3		10,14
4		10,90
5		10,05
Rata-rata		10,40

Dari Tabel 6 dilakukan perhitungan nilai kuat tekan sehingga didapatkan hasil perhitungan nilai kuat tekan Pilar rata-rata sebesar 10,40 MPa.

**Tabel 7.** Hasil Kuat tekan Pilar penguatan (*wire mesh*)

Pilar Dengan Penguatan		
No	Luas (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)
1	9156,24	15,24
2		15,03
3		14,45
4		14,62
5		13,91
Rata-rata		14,65

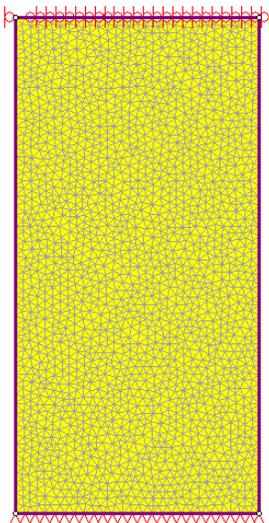
Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kekuatan pilar yang diberi penguatan (*wire mesh*) yang semula pilar tanpa penguatan memiliki nilai kuat tekan rata-rata 10,4 MPa mengalami peningkatan setelah dipasang *wire mesh* menjadi 14,65 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 42,5 %.

### 4.2 Pemodelan Numerik

Pada penelitian ini pemodelan numerik menggunakan metode elemen hingga. Dimana pemodelan tersebut dilakukan dengan cara membuat dua model yang berbeda untuk melihat pengaruh dari pemasangan *wire mesh* terhadap peningkatan kekuatan pilar. Model I dibuat sesuai dengan model pilar saat pengujian laboratorium, dimana pilar dibedakan menjadi 2 perlakuan berbeda yaitu pilar tanpa penguatan dan pilar dengan penguatan (*wire mesh*), sedangkan model II dibuat dengan cara memasukan nilai  $\sigma^3$  yang muncul akibat pemasangan penguatan (*wire mesh*).

#### 4.2.1. Kondisi Batas

Penentuan kondisi batas perlu dilakukan dalam pemodelan numerik agar ada Batasan pergerakan dari massa batuan sebagaimana yang terjadi pada kondisi sebenarnya dilapangan ataupun pada saat dilakukan pengujian laboratorium. Kondisi batas dilakukan pada external boundary dari model yang dibuat dimana pemberian kondisi batas ini bertujuan untuk menentukan bagian-bagian yang boleh bergerak dan bagian-bagian yang tidak boleh bergerak. pada sisi bagian bawah model, tidak dibolehkan untuk bergerak ke arah X maupun kearah Y yang ditandai dengan symbol segitiga, sedangkan pada sisi atas, dibolehkan untuk bergerak ke arah Y namun tidak dibolehkan untuk bergerak ke arah X ditandai dengan roda yang ditahan untuk bergerak ke arah X seperti yang terlihat pada gambar 8.



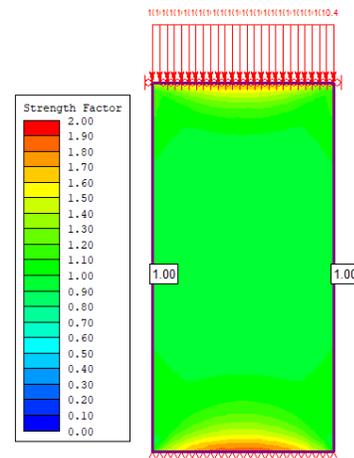
Gambar 8. Kondisi batas Pilar

### 4.2.2. Hasil Pemodelan Numerik

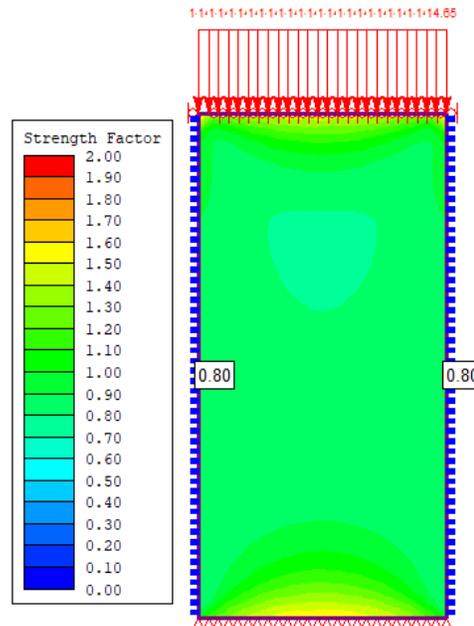
#### 4.2.2.1. Model I

##### 4.2.2.1.1. Strength factor

Hasil pemodelan numerik dengan perangkat lunak RS2 untuk pilar tanpa penguatan menunjukan bahwa nilai kuat tekan ( $\sigma_1$ ) sama dengan nilai kuat tekan uniaksial ( $\sigma_1$ ) yang diperoleh dari pengujian laboratorium. Hal ini dibuktikan dengan nilai *strength factor* yang diperoleh oleh pilar yang menunjukkan nilai = 1. Sedangkan untuk pilar dengan penguat (*wire mesh*) menunjukkan nilai ( $\sigma_1$ ) yang berbeda dibandingkan dengan ( $\sigma_1$ ) yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium. Hal ini dibuktikan dengan nilai *strength factor* yang diperoleh oleh pilar dengan penguatan (*wire mesh*) yang menunjukkan nilai  $\neq 1$  seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Strength Factor Pilar Tanpa Penguatan



Gambar 10. Strength Factor Pilar Dengan Penguatan (*Wire mesh*)

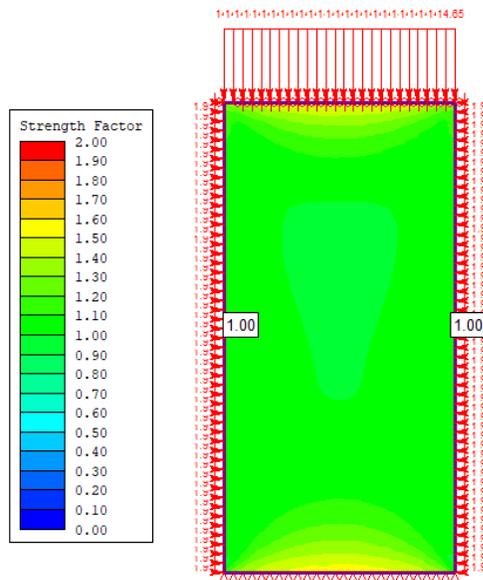
Sesuai dengan alur penelitian yang telah dibuat maka hasil dari model I untuk pilar dengan Penguatan tidak memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh karena itu pemodelan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan model II.

4.2.2.2. Model II

Pemodelan numerik model II ini dilakukan karena hasil pilar dengan penguatan (wire mesh) yang didapatkan pada model I tidak memenuhi syarat yaitu *strength factor* = 1. Pada model II ini, pilar dengan penguatan dimodelkan dengan cara memasukan nilai tekanan penahan ekuivalen sebesar 1,9 MPa yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium. Berikut adalah hasil yang diperoleh dari pemodelan numerik pada model II.

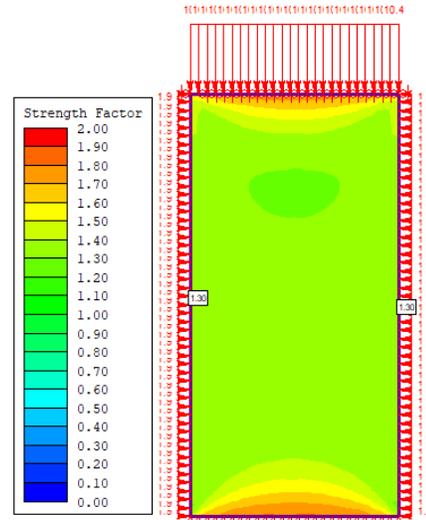
4.2.2.2.1. *Strength Factor*

Hasil pemodelan numerik untuk pilar penguatan menunjukan bahwa nilai kuat tekan ( $\sigma_1$ ) sama dengan nilai kuat tekan uniaksial ( $\sigma_1$ ) yang diperoleh dari pengujian laboratorium. Hal ini dibuktikan dengan nilai *strength factor* yang diperoleh oleh pilar yang menunjukkan nilai = 1 ditunjukan dengan warna hijau. Hasil yang diperoleh dari pemodelan numerik ini membuktikan bahwa nilai tekanan penahan ekuivalen yang diperoleh dari pengujian laboratorium sesuai dengan tekanan penahan yang dialami oleh pilar dengan penguatan (*wire mesh*) seperti yang terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. *Strength factor* Saat Diberikan Tekanan Penahan ( $\sigma_3'$ )

Selanjutnya adalah membuat model pilar dengan penguatan (*wire mesh*) dengan menggunakan nilai kuat tekan ( $\sigma_1$ ) dari pilar tanpa penguatan sehingga dapat dilihat perbandingan *strength factor* sebelum dan setelah diberi penguatan (*wire mesh*). Hasil pemodelan dapat dilihat di gambar 12.

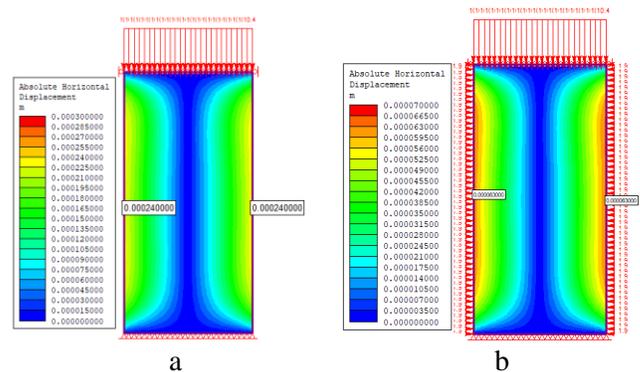


Gambar 12. *Strengh factor* Saat Diberikan Tekanan Penahan ( $\sigma_3'$ ) Dengan  $\sigma_1$  Pilar Tanpa Penguatan

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan *strength factor* yang semula bernilai 1 menjadi 1,3.

4.2.2.2.2. Perpindahan Horizontal

Selanjutnya adalah membuat model pilar dengan penguatan (*wire mesh*) dengan menggunakan nilai kuat tekan ( $\sigma_1$ ) dari pilar tanpa penguatan sehingga dapat dilihat perbandingan Perpindahan Horizontal sebelum dan setelah diberi penguatan (*wire mesh*). Hasil pemodelan dapat dilihat di gambar 13.



Gambar 13. Perpindahan Horizontal (a. Pilar Tanpa Penguatan, b. Pilar Dengan Penguatan (*Wire mesh*))

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan perpindahan horizontal yang semula 0.000240 m menjadi 0.000063 m.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

1. Dari berbagai komposisi campuran antara semen dan pasir didapatkan komposisi 1:2 mendekati

nilai kuat tekan uniaksial batubara sebesar 10.871 MPa.

2. Ukuran sampel pilar yang digunakan dalam penelitian ini setelah di lakukan penskalaan di dapatkan bahwa tinggi pilar 220 mm dan diameter pilar 108 mm.
3. Dari hasil uji yang dilakukan di laboratorium di dapatkan bahwa pilar tanpa penguatan (*wire mesh*) memiliki kekuatan sebesar 10,4 MPa dan pilar dengan penguatan (*wire mesh*) mengalami kenaikan menjadi 14,65 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 42,5 %.
4. Berdasarkan hasil penelitian yang di lakukan di laboratorium. Pemasangan penguatan (*wire mesh*) menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kuat tekan Uniaksial ( $\sigma_1$ ) pada pilar dan penurunan perpindahan horizontal pada pilar. Hal ini dibuktikan dari hasil pemodelan numerik model II dengan perangkat lunak RS2 untuk pilar tanpa penguatan menunjukan terjadinya kenaikan nilai *strength factor* dari yang semula 1 menjadi 1,3 dan mengalami penurunan perpindahan horizontal yang semula sejauh 0.000240
5. Berdasarkan hasil pemodelan dari kedua model dapat diketahui bahwa model II dapat mendekati hasil pengujian yang telah di lakukan di laboratorium dengan memasukan nilai tekanan penahan ekuivalen ( $\sigma_3'$ ) dari hasil pengujian laboratorium menunjukan bahwa nilai  $\sigma_1$  yang diperoleh dari pemodelan numerik sama dengan  $\sigma_1$  diperoleh pada pengujian laboraorium.

## 5.2 Saran

1. Untuk melihat pengaruh pemasangan penguatan yang lebih kompleks sebaiknya menggunakan model pilar yang memiliki bidang diskontonu
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya pemodelan pilar ditambah dengan pemodelan 3D.
3. Untuk penelitian selanjutnya pilar yang diteliti bisa dilakukan dengan selain pilar batubara.

## Daftar Pustaka :

- [1]. 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.
- [2]. Bieniawski, Z. T. (1973), *Engineering classification of jointed rock masses*. *Trans. S. Afr. Inst. Civ. Engrs.*
- [3]. Brady BHG, Brown ET (1985). *Rock mechanics for underground mining*. London, England: George Allen and Unwin
- [4]. Dewantari P., (2010). Analisa Tegangan dan Regangan Dinding Panel Jaring Kawat Baja Tiga Dimensi Dengan Variasi Rasio Tinggi dan Lebar (Hw/Lw) Terhadap Beban Lateral Statik. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- [5]. Fraenkel, Jack. R., and Norman E. Wallen. (2012). *How to Design and Evaluate Research in Education 8th Edition*. Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- [6]. Gardiner, A. *System of Working of Coal in Newcastle and Maitland Districts*. *The Northern Engineering Institute of NSW* 1913. Pp 117-126.
- [7]. Greenwald, H.P, Howart, H.c, Hartman, I. (1941). Progress report : *Experiments on strength of small pillars of coal In the Pittsburgh bed*. USBM, R.I. 3375, June,1941
- [8]. Gordon L. Patzer .(1996). *Experiment-Research Methodology in Marketing:Types and Applications*
- [9]. Hartman, H.L. (1987). *Introductory Mining Engineering*. New York : John Willey and Sons
- [10]. Rai, M.A., dkk. (2014) : Mekanika Batuan, Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [11]. Salamon, M.D.G and Munro, A.H, (1967). A Study Of *Strenght Of Coal Pillars Journal Of South African Institute Of Mining And Metallurgy*. Vol 68, No2. Pp.55-67.
- [12]. Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung:Afabeta.