

Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya Dengan Menggunakan Data Dari Alat Ukur *Flat Jack* Pada Dinding Tambang Bawah Tanah PT. Nusa Alam Lestari, Sawahlunto

MuhammadNazri^{1*}, M.Giatman^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*Mnazribastian@gmail.com

**giat_5131@yahoo.co.id

Abstract. The geomechanical aspect is one of the important aspects that must be considered to maintain the stability of the opening hole. Other aspects that must be considered are geology, hydrogeology and technical regarding buffer. Geomechanics monitoring in underground mines includes: insitu stress measurement, rock deformation monitoring, and rock mass weighting. There are many insitu stress measurements including: overcoring techniques, hydraulic fracturing techniques, and Flat Jack methods. There are several things to do, such as determining the testing point, making a hole for the Flat position (test point), and checking the deformation that occurs at the test point. Then get the rock stress value using the calculation of gravity. Before calculating gravitational stress it is necessary to take some data. Next to get the value of rock compressive strength, the sample was tested in the laboratory using a point load index. Based on the test of the flat jack, the calculation of gravity, and the results of testing the sample is not greater in value than the sample testing, which means that the condition is able to withstand the voltage acting on the study site.

Kata kunci : *Flat jack, Geotechnical, Rock stress, Gravitational force calculation, Underground mine.*

1. Pendahuluan

Pertambangan merupakan salah satu elemen penting dalam pertumbuhan perekonomian Negara Indonesia. Dampak positif kegiatan pertambangan dapat dirasakan langsung oleh masyarakat Indonesia serta warga sekitar daerah lokasi pertambangan, yaitu peningkatan infrastruktur dan ekonomi warga setempat. Selain itu kegiatan pertambangan sangat penting dilakukan untuk memenuhi kebutuhan serta keberlangsungan hidup manusia dalam era yang serba modern.^[1]

Pengujian geomekanika merupakan hal yang sangat penting dalam industri pertambangan, baik tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Pengujian geomekanika bertujuan untuk mengetahui kekuatan batuan. Kekuatan batuan merupakan faktor utama penentu kestabilan lereng pada tambang terbuka atau lubang bukaan pada tambang bawah tanah.^[2]

Menyangkut pembuatan lubang bukaan pada sistem tambang bawah tanah selalu dihadapi dengan permasalahan kestabilan lubang bukaan. Semakin dalam aktivitas penggalian dilakukan, maka lubang bukaan cenderung akan mengalami ketidakstabilan. Penggalian suatu lubang bukaan pada massa batuan mengakibatkan keseimbangan massa batuan terganggu, sehingga batuan disekitar penggalian tersebut akan runtuh apabila batuan itu tidak mampu menyangga bebannya sendiri.^[3]

Aspek geomekanika merupakan salah satu aspek yang penting yang harus diperhatikan untuk menjaga kestabilan lubang bukaan. Aspek lain yang harus dipertimbangkan yaitu geologi, hidrogeologi dan teknis, mengenai penyanggaan.^[4]

Pemantauan geomekanika pada tambang bawah tanah diantaranya: pengukuran *insitu stress*, pemantauan deformasi batuan, dan pembobotan massa batuan. Ada banyak pengukuran *insitu stress* diantaranya dengan:

teknik *overcoring*, teknik *hydraulic fracturing*, dan metoda *Flat Jack*.^[5]

Metode *flat jack* adalah metode sederhana yang menggunakan plat stainless tipis yang dilas sekelilingnya dan dilengkapi dengan pintu sebagai tempat masuknya tekanan yang dihasilkan oleh hidrolik.

Flat jack ini bisa digunakan untuk mengukur tegangan dalam batuan pada tambang bawah tanah. PT. Nusa Alam Lestari memiliki beberapa tunnel atau terowongan di antaranya tunnel C1 dengan kedalaman ± 80 meter dan panjang ± 140 meter. Kedalaman terowongan berpengaruh pada tegangan insitu, semakin dalam terowongan maka semakin besar nilai stress. Maka dari itu diperlukan untuk menganalisis nilai tegangan insitu pada dinding tambang bawah tanah PT. Nusa Alam Lestari dengan menggunakan alat *flat jack*.^[6]

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul "Penggunaan Alat *Flat Jack* Dalam Pengukuran Tegangan Pada Dinding Tambang Bawah Tanah PT. Nusa Alam Lestari, Sawahlunto"

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Secara administratif konsesi penambangan PT. Nusa Alam Lestari termasuk dalam wilayah Parambahan, Kec. Talawi, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Jarak antara daerah penambangan dengan Kota Padang ± 90 km disebelah timur Kota Padang, ditempuh dengan kendaraan roda empat pada jalan Lintas Sumatra melalui Padang - Kota Solok - Kota Sawahlunto dengan waktu tempuh ± 3-4 jam. Secara geografis wilayah penambangan PT. Nusa Alam Lestari terletak pada koordinat 100°45'48" BT – 100°46'48" BT dan 00°36'45" LS – 00°37'12" LS.

2.2 Dasar teori

2.2.1 Tegangan di Sekitar Terowongan

Menurut asal mulanya tegangan dalam batuan dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Tegangan alamiah (*natural stresses*)
2. Tegangan terinduksi (*induced stresses*)

Tegangan alamiah adalah tegangan dalam massa batuan sebelum penggalian dilakukan, dimana tegangan tersebut terdiri atas tegangan gravitasi, tegangan tektonik, tegangan sisa dan tegangan termal. Sedangkan tegangan induksi merupakan tegangan yang terjadi jika sebuah lubang bukaan bawah tanah dibuat pada massa batuan^[5].

a. Tegangan Alamiah

Tegangan alami terdiri atas beberapa tegangan diantaranya:

b. Tegangan gravitasi

Tegangan gravitasi adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya gravitasi bumi. Tegangan gravitasi sering juga dikenal dengan tegangan vertical (*vertical stress*). Untuk tegangan gravitasi dapat ditentukan sebagai berikut^[6]:

$$\sigma = \rho g h \quad (1)$$

Keterangan:

ρ = bobot isi batuan (ton/ m³)
 g = percepatan gravitasi (m/s²)
 h = kedalaman (m)
 $\rho = 2670 \text{ kg/ m}^3$

Bobot isi rata-rata batuan (*sandstone, clay, silt, sandstone*) Maka tegangan *insitu vertical* jika pada kedalaman 180 m ialah:

$\sigma = \rho g h$
 $\sigma = (2670 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 180 \text{ m})$
 $\sigma = 4.709.880 \text{ N/m}^2$
 $\sigma = 4,7 \text{ Mpa}$
 $\sigma = 681,677 \text{ psi}$
 $\sigma = 47,926 \text{ kg/cm}^2$

2.2.2 Pengukuran Tegangan

Tegangan In-situ merupakan parameter penting untuk merencanakan dan merancang sebagian besar proyek rekayasa yang menerapkan penggalian pada batuan. Pengukuran tegangan in-situ tujuannya adalah untuk mengetahui keadaan tegangan di dalam massa batuan dan dapat menentukan parameter-parameter penting untuk mengetahui perilaku massa batuan di tempat asalnya^[5, 6].

Pengukuran tegangan in-situ dijumpai seperti: pada proyek pertambangan, geoteknik, rekayasa tenaga air, teknik perminyakan, kereta api dan rekayasa jalan. Ada banyak jenis-jenis pengukuran tegangan insitu diantaranya: teknik *overcoring*, teknik *hidraulic fracturing*, dan teknik *flat jack*.

1. Pengujian *Flat-Jack*

Pengujian *flat jack* adalah metode pengujian langsung dan *in-situ* yang hanya membutuhkan pembuatan *slot* pada dinding. Hal ini dianggap tidak merusak karena kerusakan bersifat sementara dan mudah diperbaiki setelah pengujian. Pengujian *flat jack* dapat digunakan untuk masalah teknik guna mengevaluasi struktur, dimana metode ini juga digunakan untuk menentukan *insitu stress* dan *compressive strength*. Oleh karena itu pengukuran *flat jack* adalah suatu teknik pengukuran yang sifatnya *insitu test* atau langsung di lapangan yang bertujuan untuk mengetahui *stress* dan deformasi struktur batuan pada terowongan dan tambang^[7].

Kelebihan teknik *flat jack*:

- a) Pengukuran dilakukan setelah bukaan atau penggalian.
- b) Pengujiannya sederhana dan relatif murah.
- c) *Non destruktif* (kerusakan sifatnya sementara dan dapat diperbaiki).
- d) *Moving* alat dapat dilakukan dengan mudah.

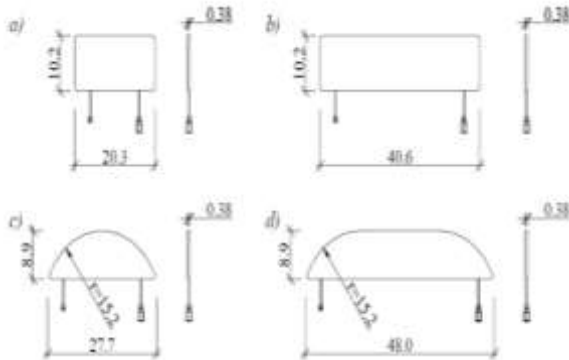
Kelemahan teknik *flat jack*, dapat terjadi kesalahan dalam pembacaan hasil pengukuran karena pembacaan dilakukan secara manual

2. Deskripsi *Flat Jack*

Flat jack adalah metode sederhana yang menggunakan plat *stainless* tipis yang dilas sekelilingnya dan dilengkapi dengan pintu sebagai tempat masuknya tekanan yang dihasilkan oleh hidrolik. Sebuah *flat jack*

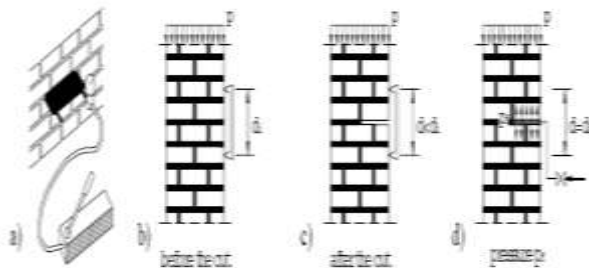
dapat diproduksi dalam berbagai bentuk dan ukuran. Dimensi yang sebenarnya ditentukan oleh fungsi, teknik persiapan slot dan sifat dari batu yang akan diuji^[7].

Flat jack dengan tepi melengkung dirancang cocok untuk slot yang dipotong oleh gergaji. *Flat jack* persegi panjang dirancang cocok digunakan pada slot yang dibuat dengan bor tangan. Terlepas dari bentuk, *flat jack* harus sesuai dengan slot yang dibuat. Ketebalan *flat jack* ditentukan oleh fungsi spesifik. Sebuah *flat jack* yang ideal akan mengisi slot dengan pas. Perbedaan konfigurasi *flat jack* dapat terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Perbedaan Konfigurasi Flat Jack

3. Pengujian *In-situ Stress* dengan (*Flat Jack Tunggal*)
 Pengujian ini didasarkan pada prinsip pelepasan tegangan parsial dan melibatkan penghilangan tekanan lokal, yang di ikuti dengan pengontrolan kompensasi tegangan. Tahapan pengujian *flat jack* terlihat pada gambar 2^[9].



Gambar 2. Tahap Pengujian Flat Jack

Perpindahan pertama ditentukan dengan mengukur jarak antara titik ukur yang ditetapkan di permukaan dinding. Kemudian, slot dipotong dalam arah normal sesuai arah tekanan yang diukur. Hal ini memungkinkan deformasi setelah pembuatan slot. Jarak penurunan antara titik ukur lebih kecil dari jarak mula-mula. Pemotongan slot menyebabkan stres parsial pada bantuan di atas dan di bawah.

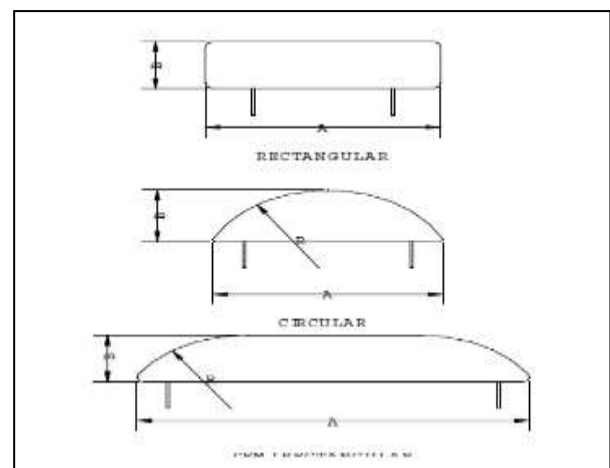
Setelah itu, *flat jack* tipis dimasukkan ke dalam slot. Dengan bantuan perangkat hydraulic, tekanan diterapkan pada dinding. Hal ini menyebabkan pengembalian bidang perpindahan awal, yang mereka capai yaitu nilai yang terukur sebelumnya, sebelum mengalami perpindahan. Tekanan Hidrolik di *flat jack* yang diperlukan untuk mengembalikan keadaan itulah yang dimaksud dengan *stress*^[6, 8].

Penafsiran pengujian didasarkan pada asumsi sebagai berikut:

- a) *Stress* di tempat pengujian dianggap adalah homogen.
- b) Keadaan tekanan di tempat pengukuran ini seragam; Nilai tekanan dibandingkan dengan kuat tekan memungkinkan batuan bekerja dalam keadaan elastis.

4. Dimensi dan Bentuk Flat Jack

Flat jack berguna untuk mengevaluasi batuan yang biasanya terbuat dari *stainless steel* dengan lapisan dilas disepanjang tepinya. *Flat jack* dihubungkan port inlet. Dengan memasok cairan ke port, maka *flat jack* akan menekan. Beberapa *flat jack* dilengkapi hanya dengan satu port. Bentuk *flat jack* tergantung dari peralatan yang digunakan untuk membuat slot, Ukuran *flat jack* tergantung pada aplikasi, mulai dari beberapa sentimeter hingga lebih dari satu meter. Bentuk-bentuk *flat jack* terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Bentuk Flat Jack

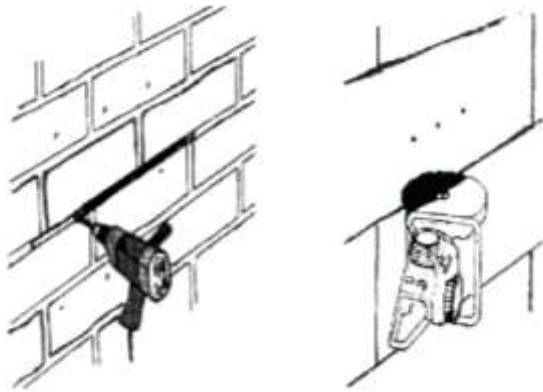
Untuk pengujian *stress*, standar ASTM membutuhkan dimensi A harus sama atau lebih besar dari panjang B yaitu 8 in (20,3 cm). Lebar *flat jack* (dimensi B) harus tidak kurang dari 3 in (7,6 cm). Menurut RILEM, baik untuk pengujian *stress* dan uji *deformabilitas*. Jika *flat jack* adalah persegi panjang maka panjangnya harus sama dengan dua kali lebar.^[10]

5. Sistem Hidrolik

Tekanan yang diberikan oleh pompa hidrolik dapat diukur dengan menggunakan alat pengukur tekanan, dengan kisaran yang sama dengan tekanan maksimum operasi dari *flat jack*. Sistem ini harus mampu mempertahankan tekanan konstan untuk waktu setidaknya 5 menit. Tekanan operasi maksimum untuk *flat jack* adalah 6,9 MPa (1000 psi).

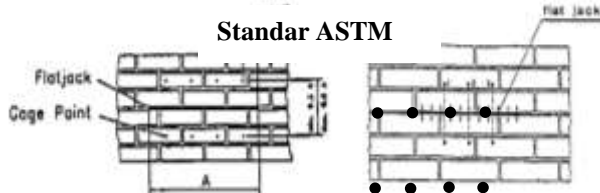
6. Persiapan Slot

Pengeboran *Stitch* hanya sesuai untuk batuan lemah. Penggunaan palu tidak dianjurkan karena akan terjadi gangguan yang mungkin terjadi pada sekitar batuan. Dikasu batuan yang kuat, batu yang tidak teratur, tebal, membutuhkan gergaji batu untuk memotong. Gergaji biasanya dilengkapi dengan air pendingin pisau. Metode pemboran dan penggergajian slot terlihat pada gambar 4.^[11]



Gambar 4. Metode Pemboran dan Penggergajian Slot
 Tidak diperbolehkan untuk mengecor permukaan *flat jack* karena coran itu akan mengalir ke dalam rongga-rongga yang menyebabkan retak dan mengakibatkan perubahan perilaku batuan lokal. Untuk memastikan *transfer* tekanan seragam *flat jack* harus rapat di dalam *slot*. Standar ASTM memungkinkan perbedaan dalam dimensi *flat jack* dengan *slot* hingga 1/2 in. (1,25cm). Beberapa tes (3-5) di setiap daerah tertentu harus dilakukan untuk mendapatkan sampel yang signifikan secara statistik.

7. Posisi Titik Referensi dan Jarak Slot
 Untuk pengujian *stress*, baik RILEM dan standar ASTM merekomendasikan penempatan titik referensi simetris dengan (*slot*) atas dan di bawah *slot*. ASTM merekomendasikan penempatan setidaknya 4 pasang titik sama spasinya dan RILEM merekomendasikan bahwa setidaknya 3 pasang, ditempatkan di bagian tengah *flat jack*. Untuk tes *deformabilitas*, kedua standar mengharuskan titik referensi ditempatkan simetris tepat di atas dan di bawah *slot*. Perbedaan posisi titik referensi menurut ASTM dan RILEM terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Posisi titik referensi regangan untuk Pengujian *stress* Acuan ASTM dan RILEM

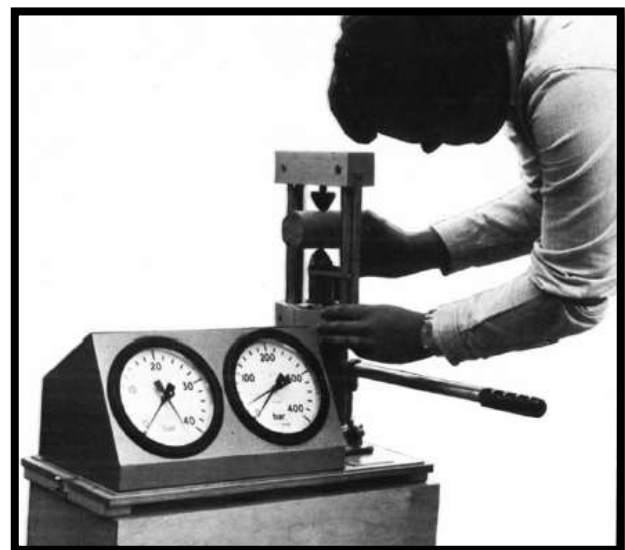
8. Uji Laboratorium Mekanika Batuan

a. Kuat Tekan Batuan Utuh (UCS)
 Pengujian kuat tekan uniaksial (*Unconfined Compressive Strength Test - UCS Test*) merupakan pengujian kuat tekan dalam satu arah dengan contoh geometri batuan yang beraturan, baik berbentuk silinder, balok dan prisma. Pada tambang bawah tanah pengukuran kuat tekan menjadi parameter yang penting dalam kestabilan *pillar*. Uji ini menggunakan mesin tekan (*compression machine*) dan dalam pembebanannya mengikuti standard *International Society Rock Mechanics (ISRM, 1981)*^[10].



Gambar 6. Mesin Tekan

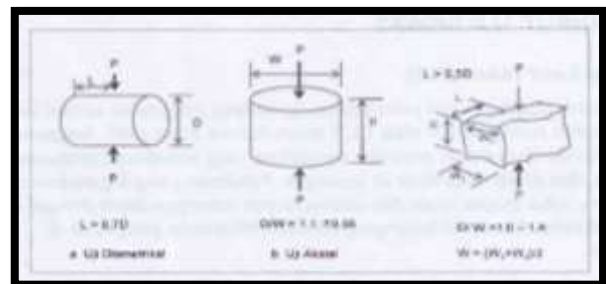
b. Point Load Index
 Pengujian point load merupakan pengujian yang telah dikenal untuk memprediksi nilai UCS suatu batuan secara tidak langsung di lapangan. Hal ini disebabkan prosedur pengujiannya sederhana, preparasi contohnya mudah dan dapat dilakukan dilapangan.



Gambar 7. Pengujian Point Load Index
 Menurut Broch dan Franklin Index point load (I_s) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$I_s = \frac{P}{D^2} \tag{2}$$

tetapi untuk sampel yang diameternya bukan 50 mm serta sampel tidak teratur (*irregular*) seperti gambar berikut:



Gambar 8. Tipe dan Syarat Contoh Uji PLI

Dibutuhkan faktor koreksi (F). Greminger menurunkan persamaan sebagai berikut:

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0,45} \quad (3)$$

Setelah faktor koreksi diperoleh maka faktor koreksi dimasukkan kedalam Indeks point load (Is):

$$I_s = F \frac{P}{D^2} \quad (4)$$

Sehingga jika Indeks point load telah didapat maka UCS dapat ditentukan dari persamaan:

$$\sigma_c = 23 \times I_s \quad (5)$$

Keterangan:

- F : Faktor Koreksi
 d : Diameter Contoh (mm)
 P : Beban maksimum contoh pecah (kg)
 D : Jarak antar konus penekan (cm)

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Menurut tujuannya penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (*applied research*) adalah penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah. Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka.^[11]

3.2 Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan penulis yaitu data primer berupa data. Data pembacaan alat *flat jack*, sampel contoh batuan, uji kuat tekan batuan. Data sekunder topografi daerah penelitian, peta lokasi daerah penelitian, *lay out* penambangan, dimensi lubang bukaan, dan studi literatur lainnya.

3.3 Pengolahan dan Analisa Data

3.3.1 Pembuatan Kedudukan Flat Pada titik Pengukuran

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan pembuatan kedudukan *flat* pada titik pengujian. Pengujian akan di lakukan pada 3 (tiga) titik. Pembuatan kedudukan di buat pada bidang yang kompak agar saat pembuatan tidak mudah hancur serta hasil yang didapatkan akan lebih maksimal^[8].

Pembuatan kedudukan *flat* dilakukan dengan menggunakan pahat dan palu. Hal ini dilakukan agar pembuatan *flat* bisa sepresisi mungkin dengan *flat*, selanjutnya dilakukan pengukuran awal yang di bantu dengan titik referensi. Kemudian setiap hari dilakukan pengecekan terhadap titik referensi yang sudah di buat untuk mengetahui deformasi yang terjadi^[8].

3.3.2 Pengujian

Setelah terjadi deformasi, selanjutnya dilakukan pengujian tegangan dengan alat *flat jack*. Semua alat yang dibutuhkan untuk pengujian di siapkan pada titik pengujian. Kemudian *flat* dihubungkan dengan hidrolik (*jack*), lalu pompa *jack* secara perlahan hingga

pompanya terasa keras. Kemudian baca hasil yang ada pada *dial gauge* yang terdapat pada slang *jack*. Selanjutnya buka kunci pompa lalu cabut *flat* dari kedudukan kemudian lepaskan *flat* dari *jack*^[10].

3.3.3 Uji Laboratorium Mekanika Batuan

Menganalisis sampel batuan yang nantinya di uji dilaboratorium mekanika batuan universitas negeri padanguntuk mengetahui karakteristik batuan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian tegangan insitu menggunakan alat flat jack

Dari hasil pengukuran pada tanggal 27 July 2018 pada kedalaman 69,160 m dengan alat *flat jack* diperoleh tegangan sebesar 5 kg/cm², pada kedalaman 74,759 m diperoleh tegangan sebesar 6,25 kg/cm², sedangkan pada kedalaman 79,882 m diperoleh tegangan sebesar 13,75 kg/cm². Hal ini seperti terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Pengukuran Nilai Stress Di Tambang Bawah Tanah

Nama Perusahaan	: PT. Nusa Alam Lestari
Lokasi	: PT. Nusa Alam Lestari
Tanggal Pengukuran	: 27 July 2018
Petugas	: Muhammad Nazri
Alat	: Flat Jack

Lokasi	Depth (m)	Measured Vertical Stress σ_c (kg/cm ²)
Cabang 1	68,160 m	5 kg/cm ²
Cabang 2	74,752 m	6,25 kg/cm ²
Cabang 3	81,882 m	13,75 kg/cm ²

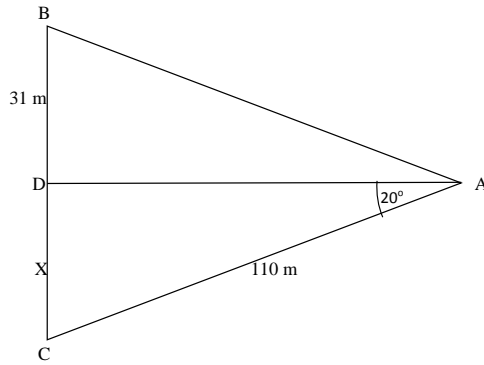
4.2 Measured Vertical Stress

Dari pengambilan data langsung di lapangan dengan menggunakan GPS Garmin, kompas geologi, dan uji laboratorium di dapatkan data sebagai berikut:

Kemiringan	= 20 derajat
Jarak pintu lubang ke cabang 1	= 110 m
Jarak antar cabang	= 15 m
Elevasi pintu lubang	= 184 mdp1
Elevasi top cabang 1	= 215 mdp1
Elevasi top cabang 2	= 216 mdp1
Elevasi top cabang 3	= 218 mdp1
Bobot isi claystone	= 2500 kg/m ³
Bobot isi sandstone	= 2780 kg/m ³
Bobot isi siltstone	= 2380 kg/m ³
Bobot isi rata-rata tanah penutup	= 2553 kg/m ³

Untuk mendapatkan data kedalaman titik pengujian masing-masing cabang, dapat dilakukan dengan perhitungan trigonometri dari data elevasi dan kemiringan yang sudah didapatkan. Berikut cara mendapatkan kedalaman masing-masing cabang titik pengujian dengan perhitungan trigonometri.

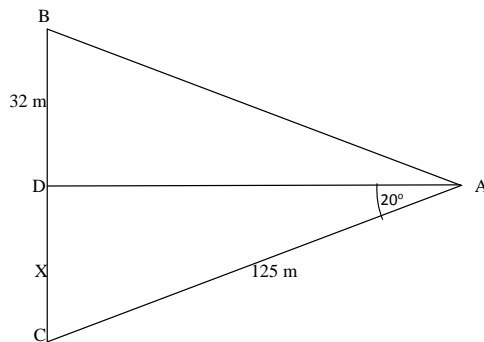
➤ Kedalaman cabang 1



Keterangan:

A = pintu lubang bukaan
 B = top lubang bukaan cabang 1
 C = titik pengujian cabang 1
 BD = didapat dari selisih elevasi A dan B
 AC = jarak pintu lubang ke titik pengujian
 BC = kedalaman titik pengujian cabang 1
 Maka kedalaman titik pengujian cabang 1:
 $\sin 20^\circ = X/AC$
 $X = \sin 20^\circ \times AC$
 $X = \sin 20^\circ \times 110 \text{ m}$
 $X = 37,160 \text{ m}$
 $BC = BD + X$
 $BC = 31 \text{ m} + 37,160 \text{ m}$
 $BC = 68,160 \text{ m}$

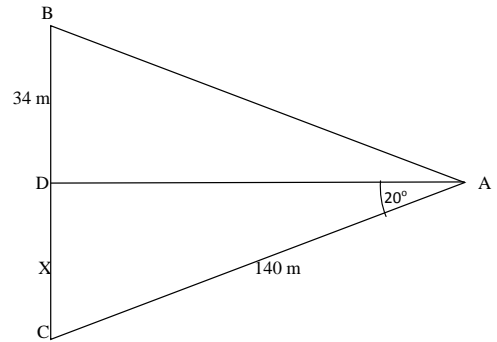
➤ Kedalaman cabang 2



Keterangan:

A = pintu lubang bukaan
 B = top lubang bukaan cabang 2
 C = titik pengujian cabang 2
 BD = didapat dari selisih elevasi A dan B
 AC = jarak pintu lubang ke titik pengujian
 BC = kedalaman titik pengujian cabang 2
 Maka kedalaman titik pengujian cabang 2:
 $\sin 20^\circ = X/AC$
 $X = \sin 20^\circ \times AC$
 $X = \sin 20^\circ \times 125 \text{ m}$
 $X = 42,752 \text{ m}$
 $BC = BD + X$
 $BC = 32 \text{ m} + 42,752 \text{ m}$
 $BC = 74,752 \text{ m}$

➤ Kedalaman cabang 3



Keterangan:

A = pintu lubang bukaan
 B = top lubang bukaan cabang 3
 C = titik pengujian cabang 3
 BD = didapat dari selisih elevasi A dan B
 AC = jarak pintu lubang ke titik pengujian
 BC = kedalaman titik pengujian cabang 3
 Maka kedalaman titik pengujian cabang 3:
 $\sin 20^\circ = X/AC$
 $X = \sin 20^\circ \times AC$
 $X = \sin 20^\circ \times 140 \text{ m}$
 $X = 47,882 \text{ m}$
 $BC = BD + X$
 $BC = 34 \text{ m} + 47,882 \text{ m}$
 $BC = 81,882 \text{ m}$

Jadi kedalaman titik uji setiap cabang:

- Kedalaman Cabang 1 = 68,160 m (16 m sandstone, 18 m *siltstone*, 34,160 m claystone)
- Kedalaman Cabang 2 = 74,752 m (17 m sandstone, 20 m *siltstone*, 37,752 m claystone)
- Kedalaman Cabang 3 = 81,882 m (19 m sandstone, 22 m *siltstone*, 40,882 m claystone)

1. Cabang 1

a. Lapisan *siltstone*

$\rho = 2.380 \text{ kg/m}^3$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$h = 18 \text{ m}$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 18 m ialah:

$\sigma = \rho g h$

$\sigma = (2.380 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 18 \text{ m})$

$\sigma = 419.832 \text{ N/m}^2$

$\sigma = 0,419832 \text{ MPa}$

$\sigma = 60,891483508 \text{ psi}$

$\sigma = 4,28109497125 \text{ kg/cm}^2$

b. Lapisan *claystone*

$\rho = 2.500 \text{ kg/m}^3$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$h = 34,160 \text{ m}$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 34,160 m ialah:

$\sigma = \rho g h$

$\sigma = (2.500 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 34,160 \text{ m})$

$\sigma = 836.920 \text{ N/m}^2$

$\sigma = 0,83692 \text{ MPa}$

$\sigma = 121,3849835 \text{ psi}$

$\sigma = 8,53420893217 \text{ kg/cm}^2$

c. Lapisan *sandstone*

$$\rho = 2.780 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 16 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 16m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.780 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 16 \text{ m})$$

$$\sigma = 435.904 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,435904 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 63,222530029 \text{ psi}$$

$$\sigma = 4,44498376101 \text{ kg/cm}^2$$

Jadi, *virgin vertical stress* pada cabang 1

$$= 4,281 \text{ kg/cm}^2 + 8,534 \text{ kg/cm}^2 + 4,444 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 17,259 \text{ kg/cm}^2$$

2. Cabang 2

a.Lapisan *siltstone*

$$\rho = 2.380 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 20 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 20 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.380 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 20 \text{ m})$$

$$\sigma = 466.480 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,466480 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 67,6572039 \text{ psi}$$

$$\sigma = 4,75677219043 \text{ kg/cm}^2$$

b.Lapisan *claystone*

$$\rho = 2.500 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 37,752 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 37,752 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.500 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 37,752 \text{ m})$$

$$\sigma = 924.924 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,924924 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 134,14888454 \text{ psi}$$

$$\sigma = 9,43159998602 \text{ kg/cm}^2$$

c.Lapisan *sandstone*

$$\rho = 2.780 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 17 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 17 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.780 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 17 \text{ m})$$

$$\sigma = 463.148 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,463148 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 67,173938156 \text{ psi}$$

$$\sigma = 4,72279524608 \text{ kg/cm}^2$$

Jadi, *virgin vertical stress* pada cabang 2

$$= 4,756 \text{ kg/cm}^2 + 9,431 \text{ kg/cm}^2 + 4,722 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 18,909 \text{ kg/cm}^2$$

3.Cabang 3

a.Lapisan *siltstone*

$$\rho = 2.380 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 22 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 22 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.380 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 22 \text{ m})$$

$$\sigma = 513.128 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,513128 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 74,422924288 \text{ psi}$$

$$\sigma = 5,23244940934 \text{ kg/cm}^2$$

b.Lapisan *claystone*

$$\rho = 2.500 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 40,882 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 40,882 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.500 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 40,882 \text{ m})$$

$$\sigma = 1.001.609 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 1,001609 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 145,27110345 \text{ psi}$$

$$\sigma = 10,2135693633 \text{ kg/cm}^2$$

c.Lapisan *sandstone*

$$\rho = 2.780 \text{ kg/ m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 19 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 19 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.780 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 19 \text{ m})$$

$$\sigma = 517.636 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,517636 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 75,07675441 \text{ psi}$$

$$\sigma = 5,27841821624 \text{ kg/cm}^2$$

Jadi, *virgin vertical stress* pada cabang 3

$$= 5,232 \text{ kg/cm}^2 + 10,213 \text{ kg/cm}^2 + 5,278 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 20,723 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Gaya Gravitasi

Titik pengujian	Kedalaman (m)	Hasil Perhitungan (kg/cm ²)
Cabang 1	68,160 m	17,259 kg/cm ²
Cabang 2	74,752 m	18,909 kg/cm ²
Cabang 3	81,882 m	20,723 kg/cm ²

4.2 Deformasi Titik Pengukuran

Tabel 3. Titik Pengukuran

No	Tanggal pengukuran	Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	20/07/2018	200		
2	21/07/2018	200	200	
3	22/07/2018	199,33	199,21	200
4	23/07/2018	199,05	198,87	199,12
5	24/07/2018	198,84	198,32	198,57
6	25/07/2018	198,45	197,06	197,25
7	26/07/2018	198,38	196,98	197,06
8	27/07/2018	198,33	196,91	196,37



Gambar 6. Garfik deformasi titik pengukuran

Dari hasil pengukuran pada 3 titik pengamatan di Lubang PT. Nusa Alam Lestari diperoleh:

1. Pada titik 1 yang ditunjukkan oleh (grafik biru), menjelaskan bahwa pada hari pertama tidak terjadi penurunan, penurunan terjadi di hari ke 3 dari 200 mm menjadi 199,33 mm dan sampai ke hari 8 dari 200 mm menjadi 198,33 mm (sebesar 1,67 mm)
2. Pada titik 2 (grafik orange) menunjukkan pada hari ke 2 setelah pembuatan sudah ada penurunan dari 200 mm ke 199,21 mm dan sampai ke hari pengukuran menjadi 196,91 mm (sebesar 3,09 mm)
3. Pada titik 3 (grafik abu abu) menunjukkan pada hari ke 2 setelah pembuatan terjadi penurunan dari 200 mm ke 199,12 mm sampai ke hari pengukuran menjadi 196,37 mm (sebesar 3,63 mm)

4.3 Kuat Tekan Point Load Index

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Point Load Index Di Jurusan Teknik Pertambangan FT UNP

No	Conto	Is (kg/cm ²)	σc = 23 Is (kg/cm ²)	σc = 23 Is (MPa)
1	Sampel 1	2,190	50,73	4,97
2	Sampel 2	3,095	71,185	6,98
3	Sampel 3	3,275	75,325	7,386

Dari hasil pengujian point load index di labor Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang diperoleh data sebagai berikut:

1. Sampel 1

Beban Maksimum conto pecah (P): 112,47 kg
 Jarak konus (D) : 5,3 cm
 Lebar samping (w) : 54,91 mm

Persamaan yang digunakan adalah :

$$D_e^2 = \frac{4}{\pi} WD$$

$$D_e^2 = \frac{4}{3,14} 54,91 \times 53$$

$$D_e^2 = 3707,29$$

$$D_e = \sqrt{3707,29}$$

$$D_e = 60,88$$

Maka faktor koreksi adalah:

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45}$$

$$F = \left(\frac{60,88}{50}\right)^{0,45}$$

$$F = 0,547$$

Untuk kuat tekan point load (Is) adalah:

$$I_s = F \frac{P}{D^2}$$

$$I_s = 0,547 \frac{112,47 \text{ kg}}{(5,3 \text{ cm})^2}$$

$$I_s = 2,190 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk kuat tekan UCS (σc) adalah:

$$\sigma_c = 23 \times I_s$$

$$\sigma_c = 23 \times 2,190 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 50,37 \text{ kg/cm}^2$$

2. Sampel 2

Beban Maksimum conto pecah (P): 157,54 kg

Jarak konus (D) : 5,3 cm

Lebar samping (w) : 55,73 mm

Persamaan yang digunakan adalah :

$$D_e^2 = \frac{4}{\pi} WD$$

$$D_e^2 = \frac{4}{3,14} 55,73 \times 53$$

$$D_e^2 = 3762,66$$

$$D_e^2 = \sqrt{3762,66}$$

$$D_e = 61,34$$

Maka faktor koreksi adalah:

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45}$$

$$F = \left(\frac{61,34}{50}\right)^{0,45}$$

$$F = 0,552$$

Untuk kuat tekan point load (Is) adalah:

$$I_s = F \frac{P}{D^2}$$

$$I_s = 0,552 \frac{157,54 \text{ kg}}{(5,3 \text{ cm})^2}$$

$$I_s = 3,095 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk kuat tekan UCS (σc) adalah:

$$\sigma_c = 23 \times I_s$$

$$\sigma_c = 23 \times 3,095 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 71,185 \text{ kg/cm}^2$$

3. Sampel 3

Beban Maksimum conto pecah (P): 172,28 kg

Jarak konus (D) : 5,3 cm

Lebar samping (w) : 52,18 mm

Persamaan yang digunakan adalah :

$$D_e^2 = \frac{4}{\pi} WD$$

$$D_e^2 = \frac{4}{3,14} 52,18 \times 53$$

$$D_e^2 = 3522,98$$

$$D_e^2 = \sqrt{3522,98}$$

$$D_e = 59,35$$

Maka faktor koreksi adalah:

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45}$$

$$F = \left(\frac{59,35}{50}\right)^{0,45}$$

$$F = 0,534$$

Untuk kuat tekan point load (Is) adalah:

$$I_s = F \frac{P}{D^2}$$

$$I_s = 0,534 \frac{172,28 \text{ kg}}{(5,3 \text{ cm})^2}$$

$$I_s = 3,275 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk kuat tekan UCS (σc) adalah:

$$\sigma_c = 23 \times I_s$$

$$\sigma_c = 23 \times 3,275 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 75,325 \text{ kg/cm}^2$$

Maka kuat tekan Point Load (Is) rata-rata untuk batubara adalah:

$$(Is) \text{ rata-rata} = \frac{2,190 \text{ kg/cm}^2 + 3,095 \text{ kg/cm}^2 + 3,275 \text{ kg/cm}^2}{3}$$

$$(Is) \text{ rata-rata} = 2,853 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2,8 \text{ MPa}$$

Maka bobotnya menurut tabel klasifikasi RMR Bieniawski adalah VII yaitu pada range (2-4) MPa.

4.4 Pembahasan

Dari hasil pengukuran dan perhitungan dapat di lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. Hasil pembahasan

Titik Pengujian	Kedalaman (m)	Hasil Pengujian Alat Flat jack (kg/cm ²)	Hasil Perhitungan Tegangan Gravitasi (kg/cm ²)	Hasil pengujian sampel (kg/cm ²)
Titik 1	68,160	5	17,259	50,73
Titik 2	74,752	6,25	18,909	71,185
Titik 3	81,882	13,75	20,723	75,325

Di lihat dari hasil tersebut dapat di simpulkan bahwa pada setiap pengukuran antara pengujian *flat jack*, perhitungan gravitasi, serta hasil pengujian sampel tidak lebih besar nilainya dari pengujian sampel yang artinya kondisi tersebut mampu menahan tegangan yang bekerja pada lokasi penelitian.

Untuk hasil pengujian *flat jack* dengan hasil perhitungan gravitasi Memiliki nilai yang berbeda di karenakan pada saat pembuatan *flat* menggunakan pahat dan palu sehingga terjadi deformasi lebih awal dan mengakibatkan alat hanya mampu membaca sebagian dari tegangan yang bekerja.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil pengukuran di lapangan dan pengujian di laboratorium, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran pada tanggal 27 July 2018 pada kedalaman 68,160 m dengan alat flat jack diperoleh tegangan sebesar 5 kg/cm², pada kedalaman 74,752 m diperoleh tegangan sebesar 6,25 kg/cm², sedangkan pada kedalaman 81,882 m diperoleh tegangan sebesar 13,75 kg/cm².
2. Berdasarkan hasil pengambilan data langsung di lapangan didapatkan hasil perhitungan gaya gravitasi pada kedalaman 68,160 m tegangan sebesar 17,259 kg/cm², pada kedalaman 74,752 m diperoleh tegangan sebesar 18,909 kg/cm², sedangkan pada kedalaman 81,882 m diperoleh tegangan sebesar 20,723 kg/cm².
3. Berdasarkan uji point load index dengan sampel batubara di dapatkan nilai 2,8 MPa yang terletak pada range (2-4) yang termasuk kedalam deskripsi kualitatif kuat.
4. Berdasarkan antara pengujian *flat jack*, perhitungan gravitasi, serta hasil pengujian sampel tidak lebih besar nilainya dari pengujian sampel yang artinya

kondisi tersebut mampu menahan tegangan yang bekerja pada lokasi penelitian

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Terus melakukan pengecekan berkala, jika terdapat penyangga yang mengalami kerusakan yang ditandai dengan retakan pada kayu, segera lakukan penyisipan agar kegiatan penambangan berjalan dengan aman.
2. Safety saat bekerja di dalam tambang bawah tanah sangat diwajibkan agar tidak terjadi kecelakaan kerja.
3. Penelitian pada skripsi ini dilakukan terbatas, oleh sebab itu di perlukan penyelidikan lanjutan karena sewaktu-waktu formasi dan jenis batuan daat berubah.

Daftar Pustaka

- [1] Hoek E. dan E. T. Brown. *Underground Excavation in Rock*. London: Institution of Mining and Metallurgy. **Vol. 1 No. 1** (1980)
- [2] Astawe, Made R., Kramadibrata Suseno, and Kresna, Ridho W. *Mekanika Batuan*. Bandung : ITB. **Vol. 3 No. 1** (2010)
- [3] Jefrianto Haris, *Desain Terowongan Development di Wilayah Ombilin ISawahluwung PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Unit Pertambangan Ombilin, Sawahlunto*. Padang: Universitas Negeri Padang. **Vol. 6 No. 5** (2017)
- [4] Anaperta. Yoszimingsih. *Studi Terowongan Jalan Raya Padang-Solok*. Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan. **Vol. 6, No. 1**(2013)
- [5] M. Giatman, Murad, Refki Adinata, Thamrin. *Flat Jack Equipment Development Measurement of Stone on Steam and Walls Settled Under Mine*. 4th International Conference on Vocation Education and Training, Padang **Vol. 6, No. 2** (2017)
- [6] Recky Fernando L, dkk. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dan Pillardalam Rancangan Pembuatan Tambang Bawah Tanah Batu Gamping dengan Metode Room and pillar* **Vol. 4, No. 2** (2015)
- [7] Parivallal, S.et. Al. *Development of a new Flatjack for hollow block masonry*. **Vol. 2, No. 2** (2011)
- [8] R. P. Koesoemadinata dan Th. Matasak. *Stratigraphy and Sedimentation: Ombilin Basin, Central Sumatra* **Vol. 1, No. 2**. (1979)
- [9] Bieniawski, Z.T., *Rock Mass Clasifications in Rock Engineering., Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering*, **Vol. 1, No. 2** (1976)
- [10] Gregorczyk, P. And Lourenco, P. *A review on flat-jack testing*. **Vol. 2, No. 2** (2000)
- [11] Sugiyono. *Metode Penelitian Pendidikan. Bandung. ALFABETA*. **Vol. 4, No. 2** (2014)
- [12] A.A. Balkema, *.Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling., The Pennsylvania State University*, **Vol. 1, No. 2** (1984)

- [13] Muh. Fathin Firaz, dkk. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaian Tambang Bawah Tanah* **Vol. 4, No. 2** (2015)
- [14] Faisal Akbar, dkk. *Kajian Geoteknik Terhadap Rancangan Penambangan Batubara Bawah Tanah Metode Shortwall di CV. Artha Pratama Jaya, Kutai Kertanegara. Jurnal Teknologi Pertambangan.* **Vol. 1, No. 1:** 37-45.(2015)
- [15] Muh. Fathin Firaz, dkk. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaian Tambang Bawah Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga. Prosiding Seminar Nasional ReTII:* **Vol. 6, No. 2.**(2015)