

Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya Dengan Pengujian Flat Jack Pada Dinding Tunnel 1 Tambang Bawah Tanah PT Allied Indo Coal Jaya, Sawahlunto.

Mhd Hafiz Diska N^{1*} and Murad MS^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*mhdn1010@gmail.com

**muradms@ft.unp.ac.id

Abstract. Geomechanical testing is very important in the mining industry, both open pit, and underground mining. Geomechanics testing aims to determine rock strength. Rock strength is a major determinant of slope stability in open mines or opening holes in underground mines. There are several geomechanical testing methods, based on their nature, geomechanical testing consists of non-destructive tests and destructive tests. Based on location, geomechanical testing consists of in situ tests and ex-situ tests. One example of in situ and non-destructive testing is flat jack testing. The flat jack method is a method based on the measurement of the pressure needed to restore the stress released. Flat Jack generates known stresses in rock mass. Flat jack testing is carried out on the underground mine wall to get the stress value. Based on the calculation of the safety factor of the underground mine of PT Allied Indo Coal Jaya, at location 1 the values of $f_k = 1.41$ (tensile stress) and $f_k = 1.89$ (compressive stress) are obtained. At location 2 the value of $f_k = 1.23$ (tensile stress) and $f_k = 1.63$ (compressive stress). At location 3 the value of $f_k = 1.23$ (tensile stress) and $f_k = 1.63$ (compressive stress).

Keywords: Flat Jack, Geotechnical, Rock Stress, Safety Factor, Underground Mining.

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.

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^[1].

Terdapat beberapa metode pengujian geomekanika. Berdasarkan sifatnya pengujian geomekanika terdiri dari non-destructive test dan destructive test. Berdasarkan lokasi, pengujian geomekanika terdiri dari insitu test dan eksitu test. Non-destructive test adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai parameter tertentu dari batuan tanpa merusak material batuan tersebut. In-situ test adalah salah satu metode pengujian geomekanika yang

pelaksanaannya dilakukan langsung di lapangan, tanpa pengambilan percontoh untuk laboratorium.

Salah satu contoh pengujian insitu dan non destructive test adalah pengujian metode flatjack. Metode flatjack adalah metode yang didasarkan pada pengukuran tekanan yang diperlukan untuk mengembalikan tegangan yang dibebaskan. Perhitungan kestabilan pekerjaan di bawah tanah memerlukan diketahuinya karakteristik elastisitas dari batuan. Flatjack menghasilkan tegangan yang diketahui besarnya di dalam massa batuan atau dapat dihitung pada daerah tertentu, sehingga dengan mengukur deformasi yang dihasilkan oleh tegangan tersebut, modulus deformasi dapat dihitung.

Alat flatjack adalah alat yang dikembangkan oleh laboratorium pertambangan FT UNP pada September 2017. Alat ini merupakan pengembangan dari alat sebelumnya. Alat uji flatjack hasil pengembangan tersebut belum pernah diuji pakai. Untuk itu perlu dilakukan pengujian dengan melakukan trial test pada lokasi-lokasi yang relevan dengan fungsi alat tersebut. Lokasi yang relevan dalam hal ini adalah lokasi penambangan yang membutuhkan data kekuatan batuan untuk kepentingan analisis kestabilan lubang bukaan.

Menyangkut pembuatan lubang bukaan pada sistem tambang bawah tanah selalu dihadapi dengan permasalahan kestabilan lubang bukaan. Semakin dalam aktivitas penggalan 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.

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. 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. Allied Indo Coal Jaya dengan menggunakan alat flat jack.

PT. Allied Indo Coal Jaya merupakan perusahaan yang bergerak di bidang tambang batubara menggunakan sistem penambangan terbuka dan tambang bawah tanah. PT. Allied Indo Coal merupakan salah satu lokasi yang cocok untuk pengambilan data modulus deformasi dan tegangan insitu. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian mengenai "Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Dengan Pengujian Flat Jack Pada Dinding Tunnel 1 Tambang Bawah Tanah PT Allied Indo Coal Jaya, Sawahlunto".

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Secara administrasi lokasi penambangan PT. Allied Indo Coal terletak di Parambahan, meliputi desa Batu Tanjung (sebelumnya desa Tigo Tanjung) dan Tumpuak Tengah Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto serta Jorong Bukik Bua Nagari V Koto Kecamatan Koto VII Kabupaten Sawahlunto/Sijunjung Propinsi Sumatera Barat.

Batas-batas lokasi kegiatan penambangan batubara PT. Allied Indo Coal adalah sebagai berikut:

- Sebelah Utara berbatasan dengan wilayah desa Batu Tanjung dan desa Tumpuak Tengah Kecamatan Talawi.
- Sebelah Selatan berbatasan wilayah Jorong Koto Panjang Nagari V Koto Kecamatan Koto VII Kabupaten Sawahlunto dan desa Salak Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto.
- Sebelah Timur berbatasan dengan wilayah Jorong Bukik Bua dan Koto Panjang Nagari V Koto Kecamatan Koto VII Kabupaten Sijunjung.
- Sebelah Barat berbatasan dengan wilayah desa Salak dan desa Sijantang Koto Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto.

2.2 Geomekanika

Geomekanika adalah bagian dari ilmu mekanika yang mempelajari tentang kerak bumi dan proses berkembang di dalamnya. Sebagai akibat dari berbagai efek fisik alami. Geoteknik merupakan perangkat lunak

(ilmu) untuk kepentingan manusia dalam mencapai keberhasilan pembangunan fisik infrastruktur melalui penyediaan bangunan (termasuk prasarana transportasi/jalan) yang kuat dan aman dari ancaman kerusakan. Ruang lingkup kajian dalam geoteknik berhubungan dengan studi:

- Batuan dan/atau tanah sebagai material bangunan (construction material).
- Massa batuan (rock mass) yang langsung berkaitan dengan tubuh bangunan.

Selanjutnya, sebagai massa batuan, batuanpun berfungsi sebagai media tempat bangunan dibuat, sehingga batuan berfungsi sebagai penyusun bangunan tersebut termasuk sebagai lingkungan bangunan yang bersangkutan, contoh Terowongan yang dibuat menembus massa batuan.

Mekanika batuan adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari perilaku batuan baik secara teoritis maupun terapan, merupakan cabang dari ilmu mekanika yang berkenaan dengan sikap batuan terhadap medan-medan gaya pada lingkungannya^[2].

2.3 Tegangan di Sekitar Terowongan

Menurut asal mulanya tegangan dalam batuan dibagi menjadi 2 yaitu:

- Tegangan alamiah (natural stresses)
- 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^{[1][3]}.

2.2.1 Tegangan Alami

Tegangan alami terdiri atas beberapa tegangan diantaranya:

- Tegangan gravitasi

Tegangan gravitasi adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya gravitasi bumi. Tegangan gravitasi sering juga dikenal dengan tegangan vertikal (vertical stress). Untuk tegangan gravitasi dapat ditentukan sebagai berikut^{[1][2]}:

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

Keterangan:

ρ = bobot isi batuan (ton/ m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = kedalaman (m)

σ = virgin vertical stress (kg/ cm²)

Sedangkan untuk tegangan horizontal dapat dihitung dengan persamaan^{[1][2]}:

$$\sigma_h = k \cdot \Sigma v \quad (2)$$

$$k = \tan^2 (45 - \phi/2) \quad (3)$$

Keterangan:

σ_v = Tegangan vertikal (kg/ cm²)

σ_h = Tegangan horizontal (kg/ cm²)

k = Rasio σ_v dan σ_h

ϕ = sudut geser dalam

b. Tegangan Tektonik

Tegangan tektonik adalah tegangan yang terjadi akibat geseran-geseran pada kulit bumi yang terjadi pada waktu yang lalu sampai saat ini. Tegangan tektonik ditunjukkan dengan terdapat sesar, lipatan dan patahan yang diakibatkan karena ada pergerakan didalam kerak bumi yang terjadi secara kontinu, seperti terjadi: gempa bumi, pergerakan lempeng dan pergerakan karena perbedaan panas antara inti bumi dan kerak bumi.

c. Tegangan Sisa

Tegangan sisa adalah tegangan yang masih tersisa, walaupun penyebab tegangan tersebut sudah hilang yang berupa panas atau pembengkakan dikulit bumi. Tegangan sisa terjadi karena pendinginan yang tidak merata atau karena proses fisika dan kimia yang tidak merata dalam material.

d. Tegangan Termal

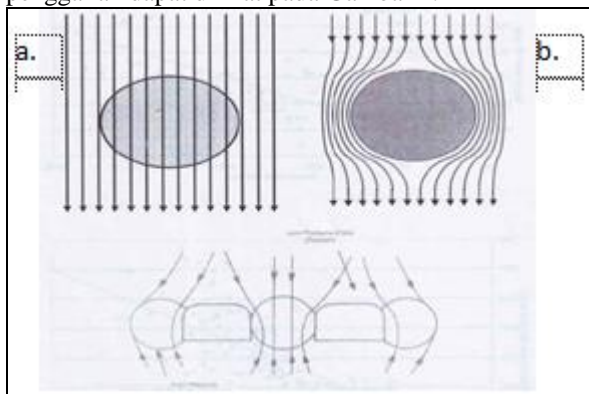
Tegangan termal adalah tegangan yang terjadi karena pemanasan dan pendinginan batuan dan terjadi didekat permukaan yang terkena panas matahari, atau sebagai hasil pemanasan bagian dalam bumi karena bahan-bahan radioaktif dan proses geologi lainnya.

2.2.2 Tegangan Tereduksi

Menurut Made Astawa Rai sebuah lubang bukaan bawah tanah yang dibuat pada massa batuan maka akan terjadi kondisi sebagai berikut:

- Batuan yang tidak tergal menerima beban lebih besar daripada saat sebelum digali karena bagian yang harus menerima beban tersebut telah hilang kondisi.
- Tegangan awal secara lokal akan berubah menjadi tegangan tereduksi.
- Distribusi tegangan di dinding terowongan berbeda dari tegangan sebelum batuan digali.

Maka tegangan tereduksi ialah tegangan yang terjadi pada batuan setelah proses penggalian atau bukaan^[2]. Distribusi tegangan sebelum dan sesudah penggalian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Distribusi Tegangan Sebelum dan Sesudah Penggalian

2.4 Stabilitas

Stabilitas dipengaruhi oleh dua buah gaya yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan agar tidak terjadi longsoran atau ambruk. Sedangkan gaya

penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak sehingga terjadi longsoran atau ambruk. Gaya penahan dapat diartikan sebagai dinding terowongan atau penyangga yang dipasang. Sedangkan gaya penggerak adalah besarnya beban yang didukung oleh dinding atau penyangga tersebut. Pada tambang bawah tanah jika tegangan batuan lebih tinggi daripada kuat tekan batuan maka kondisi ini dikatakan tidak stabil sehingga dapat menimbulkan ambruk (failure)^[4].

Struktur batuan akan stabil dalam keadaan kering dan akan menjadi tidak stabil bila kandungan airnya meningkat. Untuk kepentingan masalah kestabilan massa batuan pengukuran kekar juga perlu dilakukan secara detail, khususnya mengenai kualitas kekar yang terdapat pada singkapan massa batuan. Kestabilan massa batuan tidak saja tergantung pada frekuensi kekar tetapi juga tergantung kepada kemenerusan, lebar celahkekar, dan isian kekar.

2.5 Pengukuran Tegangan

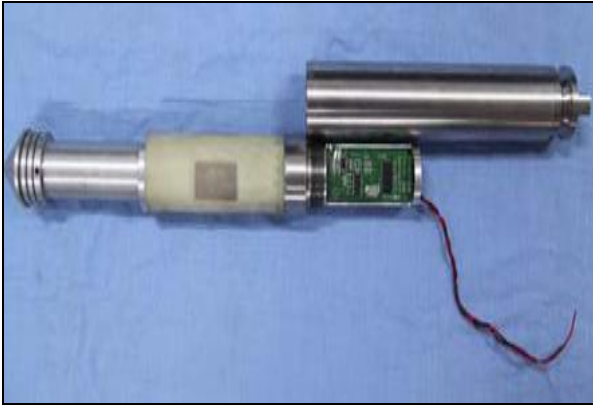
Tegangan In-situ merupakan parameter penting untuk merencanakan dan merancang sebagian besar proyek rekayasa yang menerapkan penggalian pada batuan. Pengukuran tegangan in-situ tujuannya adalah untuk mengetahui keadaan tegangan di dalam massa batuan dan dapat menentukan parameter-parameter penting untuk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

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 hydraulic fracturing, dan teknik flat jack.

2.5.1 Teknik Overcoring

Teknik overcoring pertama kali diadopsi oleh N.Hast pada pengukuran insitu stress di Skandinavia pada tahun 1950-an. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa 70 % - 80% dari data pengukuran insitu stress di dunia diperoleh dengan menggunakan teknik overcoring^[5].

Prinsip metode overcoring adalah membebaskan seluruh tegangan yang ada di massa batuan dengan memanfaatkan core dari hasil bor. Kemudian deformasi pada batuan yang disebabkan oleh pembebasan tegangan tersebut diukur dengan menggunakan sel yang berisi beberapa pasangan strain gauges. Dengan diketahuinya karakteristik deformasi batuan dari uji laboratorium maka keadaan tegangan in-situ dalam batuan dapat dihitung^[5]. Gambar alat Hollow Inclusion Strain Cell yang merupakan teknik overcoring dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Distribusi Alat *Hollow Inclusion Strain Cell* dengan Pengumpul Data Otomatis dari Teknik *Overcoring*

Kelebihan Teknik *Overcoring*:

- Pengujian dapat dilakukan dilaboratorium
- Penggunaan alat praktis, dimana dapat merekam data secara otomatis.
- Dapat ditentukan setiap kedalaman

Kelemahan Teknik *Overcoring*:

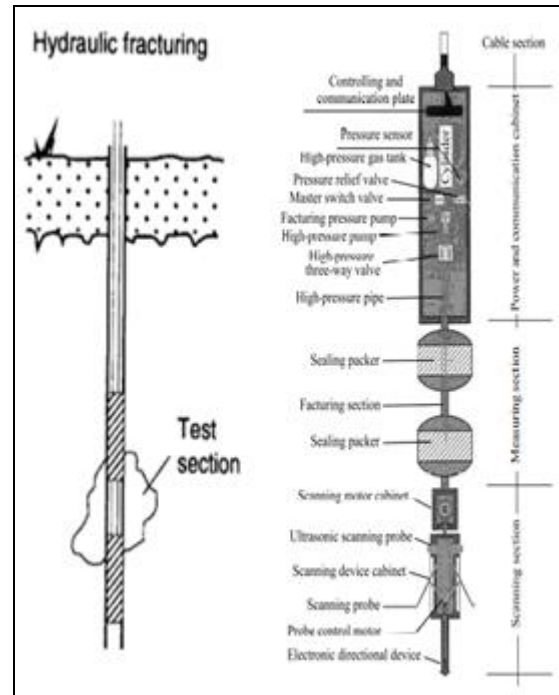
- Teknologinya relatif mahal
- Membutuhkan full coring untuk pengukuran yang representatif.

Keberhasilan pengukuran tergantung kepada hasil pemboran.

2.5.2 Teknik Hidraulik Fracturing

Teknik Hidraulik Fracturing adalah teknik pengukuran in-situ stress yang efektif digunakan pada pengukuran stress untuk daerah yang dalam. Terutama digunakan untuk pengukuran in-situ stress pada rekayasa tenaga air, rekayasa jalan, kereta api bawah tanah dan lain-lain. Tetapi jarang digunakan dalam teknik pertambangan. Namun dalam beberapa tahun terakhir, teknik ini digunakan dalam teknik pertambangan untuk estimasi in-situ stress pada tahap eksplorasi tambang. Teknik ini berguna pada tambang untuk mendapatkan informasi in-situ stress sebelum desain dan konstruksi tambang^[6].

Teknik Hidraulik Fracturing mengukur tegangan in-situ didalam massa batuan dengan cara menguji perilaku rekahan yang sudah ada atau rekahan yang baru dibentuk dengan injeksi air atau fluida lain sampai tekanan yang diperlukan untuk membuka kembali rekahan tersebut didalam lubang bor. Analisa dari data yang didapat berupa debit air dan tekanan dapat menentukan besarnya tegangan normal yang ada pada rekahan yang diuji. Dengan melakukan pengujian pada berbagai rekahan yang ada di dalam massa batuan maka keadaan tegangan di dalam massa batuan dapat diketahui. Jenis baru dari sistem pengukuran stress hydraulic fracturing dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis Baru Dari Sistem Pengukuran Stress *Hidraulik Fracturing*

Kelebihan Teknik Hidraulik Fracturing:

- Pengumpulan data dapat dilakukan secara otomatis.
- Umumnya dilakukan pada tahap eksplorasi.
- Untuk moving alat kini dapat dibongkar pasang secara mekanis sehingga lebih praktis.

Kelemahan Teknik Hidraulik Fracturing:

- Sifatnya destruktif.
- Membutuhkan fluida yang banyak dalam penentuan tegangan.
- Pengukuran relatif mahal dan terfokus pada rekahan pada lubang bor.

2.5.3 Teknik Flat-Jack

a. 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^[7].

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 trowongan dan tambang.

Kelebihan teknik *flat jack*:

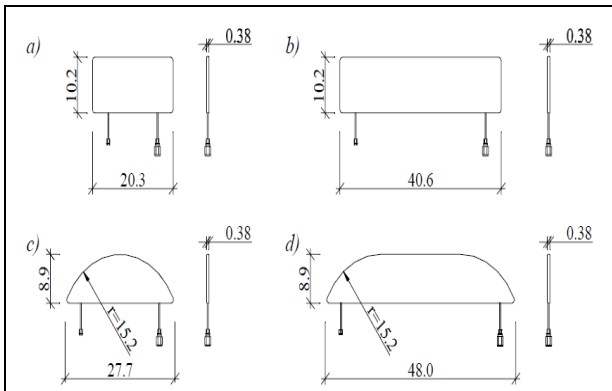
- Pengukuran dilakukan setelah bukaan atau penggalan.
- Pengujiannya sederhana dan relatif murah.
- Non destruktif (kerusakan sifatnya sementara dan dapat diperbaiki).
- Moving alat dapat dilakukan dengan mudah.

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

b. 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.

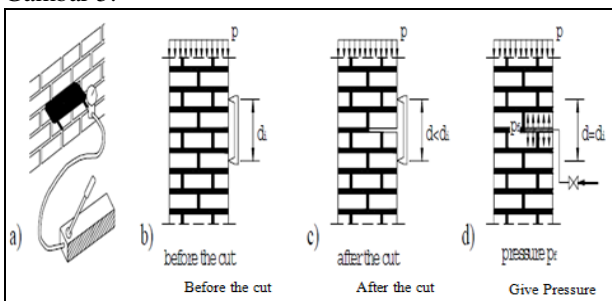
Flat jack dengan tepi melengkung dirancang cocok untuk slot yang dipotong oleh gergaji. *Flat jack* persegi panjang dirancang cocok digunakan pada slot yang dibuat dengan bor tangan. Terlepas dari bentuk, *flat jack* harus sesuai dengan slot yang dibuat. Ketebalan *flat jack* ditentukan oleh fungsi spesifik. Sebuah *flat jack* yang ideal akan mengisi slot dengan pas. Perbedaan konfigurasi *flat jack* dapat terlihat pada Gambar 4^[8].



Gambar 4. Jenis Perbedaan Konfigurasi *Flat Jack*

c. 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 5.



Gambar 5. Tahap Pengujian *Flat Jack*^[8]

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 hidraulic, 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*.

Penafsiran pengujian didasarkan pada asumsi sebagai berikut:

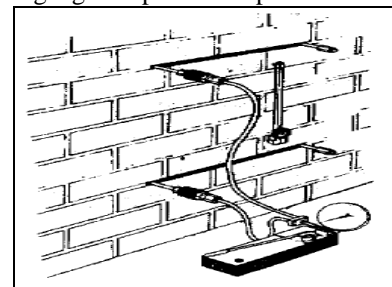
- 1) *Stress* di tempat pengujian dianggap adalah homogen.
- 2) Keadaan tekanan di tempat pengukuran ini seragam;
- 3) Nilai tekanan dibandingkan dengan kuat tekan memungkinkan batuan bekerja dalam keadaan elastis.

d. Pengujian *In-Situ Stress* dengan (*Flat Jack Ganda*)

Prinsip pengujian ini mirip dengan pengujian *flat jack* tunggal. Perbedaannya adalah bahwa pengujian dilakukan dengan dua buah *flat jack* yang digunakan untuk menerapkan beban. Dengan memotong dua slot paralel, bagian dari dinding batuan terisolasi dari batuan sekitarnya yang membentuk jarak (spesimen). *Flat jack* kemudian diterapkan pada ke kedua slot, dan jarak antara titik awal diukur. Oleh tekanan hidraulic, beban diterapkan pada spesimen ini akan menciptakan daerah sekitar tegangan.

Dengan peningkatan tekanan di *flat jack*, jarak antara titik ukur yang dipasang menurun. Dengan bertahap meningkatkan tekanan, hubungan tegangan-regangan dapat ditentukan. Kegiatan pemasangan dan pelepasan juga dapat dilakukan. Berdasarkan kurva percobaan tegangan-regangan, nilai tekan modulus young dapat dihitung. Jelas, ini hanya bisa dilakukan jika kekuatan batuan lebih rendah dari tekanan maksimum untuk *flat jack*.

Selama pengujian gambaran regangan dipantau, dan ketika pengujian menjadi sangat non linear atau menunjukkan tanda-tanda kegagalan, maka pemberian tekanan biasanya diakhiri. Bahkan dalam kasus ini untuk memperkirakan puncak kuat tekan yaitu dengan ekstrapolasi dari kurva tegangan-regangan yang diperoleh. Contoh pengukuran deformabilitas atau regangan dapat dilihat pada Gambar 6.



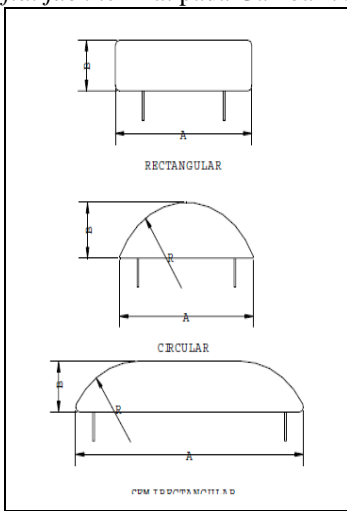
Gambar 6. Pengukuran Deformabilitas

Metode pengujian deformabilitas didasarkan pada asumsi sebagai berikut:

- 1) Batuan sekitar slot adalah homogen
- 2) Stress diterapkan pada batuan oleh flat jack seragam, dan
- 3) Keadaan stress dalam pengujian adalah uniaksial, yaitu efek pembatas lateral yang berdekatan pada batuan dapat diabaikan.

e. Pengujian *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 7.



Gambar 7. Bentuk *Flat Jack*

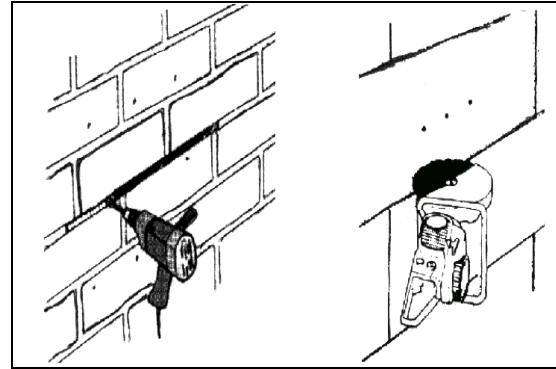
Untuk pengujian *stress*, standar ASTM membutuhkan dimensi *A* harus sama atau lebih besar dari panjang *B* yaitu 8 in (20,3 cm). Lebar *flat jack* (dimensi *B*) harus tidak kurang dari 3 in (7,6 cm). Menurut RILEM, baik untuk pengujian *stress* dan uji *deformabilitas*. Jika *flat jack* adalah persegi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

f. 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).

g. Persiapan Slot

Pengeboran *Slot* harus sesuai untuk batuan lemah. Penggunaan palu tidak dianjurkan karena akan terjadi gangguan yang mungkin terjadi pada sekitar batuan. Dikawatirkan 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 8.

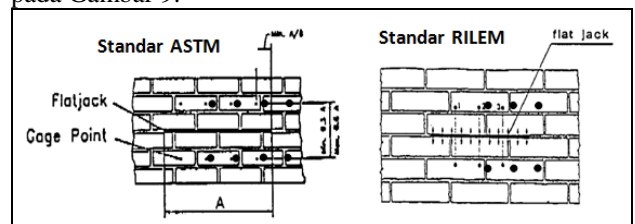


Gambar 8. Metode Pemboran dan Penggergajian *Slot*

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.

h. Posisi Titik Referensi dan Jarak *Slot*

Untuk pengujian *stress*, baik RILEM dan standar ASTM merekomendasikan menempatkan 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 9.



Gambar 9. Posisi titik referensi regangan untuk Pengujian *stress* Acuan ASTM dan RILEM

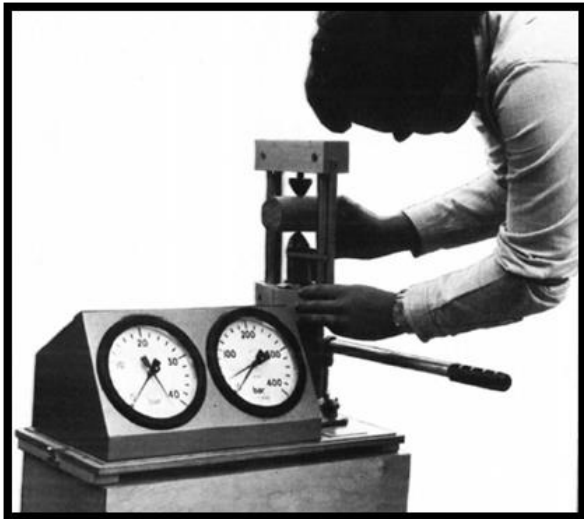
2.6 *Convergence*

Saat ini telah banyak teknologi yang dapat mengetahui perpindahan (*convergence*). Perpindahan (*convergence*) adalah perpindahan antara 2 titik pada batas galian^[9]. Pengawasan *convergence* di terowongan sangat diperlukan untuk mengetahui dan mengevaluasi keamanan konstruksi pada terowongan. Selain itu berfungsi sebagai peringatan dini sebelum terjadi runtuhnya pada batuan.

2.7 Uji Laboratorium Mekanika Batuan

2.7.1 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^{[2][10]}.

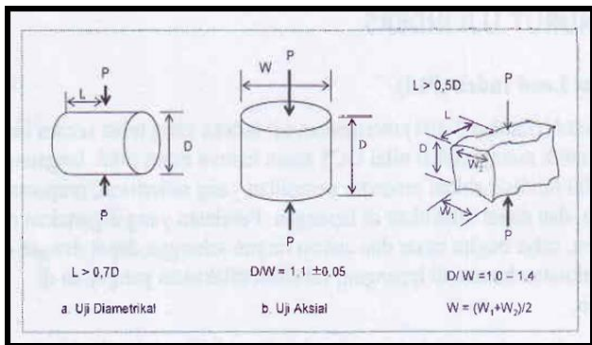


Gambar 10. Pengujian Point Load Index

Index point load (I_s) dapat dihitung menggunakan persamaan^{[1][2][10][11]}:

$$I_s = P/D^2 \tag{4}$$

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



Gambar 11. Tipe dan Syarat Contoh Uji PLI

Dibutuhkan faktor koreksi (F). Greminger menurunkan persamaan sebagai berikut^{[1][2][10][11]}:

$$F = (d/50)^{0,45} \tag{5}$$

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

$$I_s = F P/D^2 \tag{6}$$

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

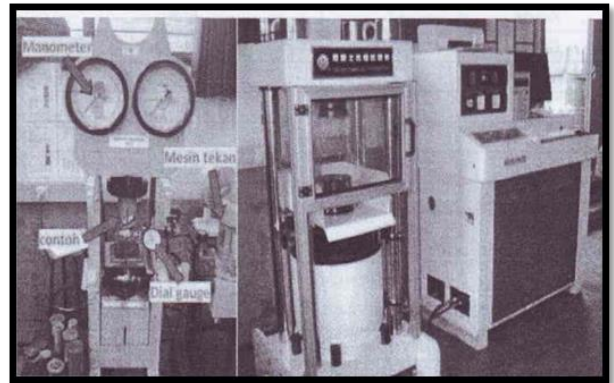
$$\sigma_c = 23 \times I_s \tag{7}$$

Keterangan:

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

2.7.2 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*^{[2][12]}.



Gambar 12. Mesin Tekan (Compression Machine)

3. Metode 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^[13]. Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka^[13].

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Tegangan Insitu Menggunakan Alat Flat Jack

Pengujian flat jack dilakukan pada dinding tambang bawah tanah untuk mendapatkan nilai tegangannya. Pengujian flat jack memerlukan sebuah lubang atau kedudukan untuk penempatan flat yang merupakan salah satu instrumen untuk pengujian ini. Pembuatan kedudukan flat ini dilakukan pada 3 (tiga) tempat atau lokasi pengambilan data yang telah dipilih sebelumnya.

Pembuatan kedudukan ini dilakukan dengan menggunakan pahat dan palu karena keterbatasan untuk menggunakan alat yang menggunakan listrik dari perusahaan untuk alasan keselamatan. Kedudukan dibuat sangat presisi dengan ukuran flat agar didapatkan hasil pengukuran yang akurat. Setelah pembuatan kedudukan selesai maka pada tahap selanjutnya bisa dilakukan pengecekan terhadap deformasi yang terjadi.

Setelah dilakukan pengecekan pada deformasinya, setelah itu dilakukan pengujian. Alat-alat yang dibutuhkan untuk pengujian disiapkan pada titik pengujian. Kemudian flat dihubungkan dengan

pompa hidrolik, lalu pompa secara perlahan hingga deformasinya dikembalikan ke posisi semula sebelum terjadinya deformasi. Kemudian baca hasil yang ada pada dial gauge. Setelah didapatkan hasil dari pengujian (tegangan) maka selanjutnya rangkaian alat ini dilepaskan satu per satu, mulai dari melepaskan flat dari kedudukan yang telah dibuat dan melepaskan flat dari pompa dengan menggunakan kunci inggris.

Dari hasil pengujian *flat jack* yang dilakukan pada dinding *tunnel* 1 tambang bawah tanah PT Allied Indo Coal Jaya kedalaman ± 69 m diperoleh tegangan sebesar ± 20 kg/cm², pada kedalaman ± 77 m diperoleh tegangan sebesar ± 22 kg/cm², sedangkan pada kedalaman ± 96 m diperoleh tegangan sebesar ± 25 kg/cm². Hal ini seperti terlihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Nilai Tegangan

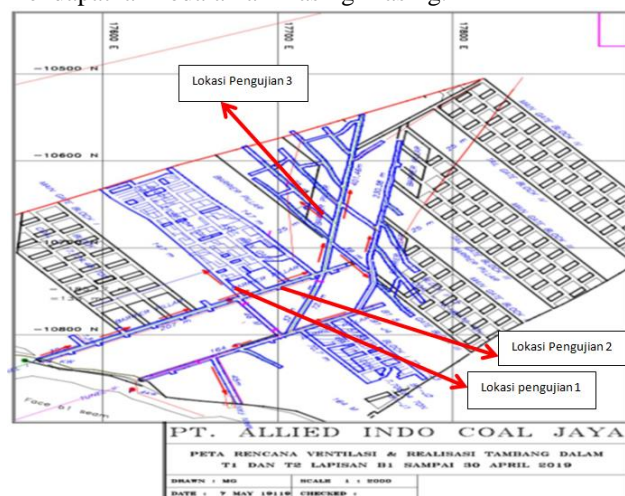
Lokasi	Kedalaman (m)	Nilai Tegangan σ_v (kg/cm ²)
Lokasi 1	± 69 m	20 kg/cm ²
Lokasi 2	± 77 m	22 kg/cm ²
Lokasi 3	± 96 m	25 kg/cm ²

4.2 Pengukuran Tegangan Awal (Initial Stress)

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

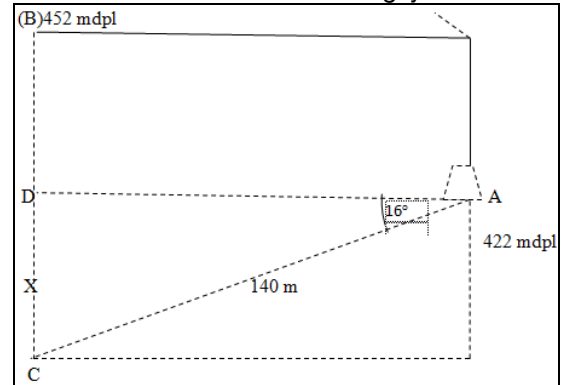
- a. Kemiringan = 16 derajat
- b. Elevasi pintu lubang = 422 mdpl
- c. Elevasi top = 452 mdpl
- d. Bobot isi rata-rata tanah penutup = 2550 kg/m³

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



Gambar 13. Lay out penambangan tambang bawah tanah PT.AIC Jaya

4.2.1 Kedalaman Lokasi Pengujian 1



Gambar 14. Kedalaman Lokasi Pengujian 1

Keterangan:

- A = pintu lubang bukaan
- B = top lubang bukaan lokasi pengujian
- C = Lokasi pengujian
- BD = didapat dari selisih elevasi A dan B
- AC = jarak pintu lubang ke lokasi pengujian
- BC = kedalaman lokasi pengujian

Maka kedalaman lokasi pengujian 1:

$$\sin 16^\circ = X/AC \tag{8}$$

$$X = \sin 16^\circ \times AC$$

$$X = \sin 16^\circ \times 140 \text{ m}$$

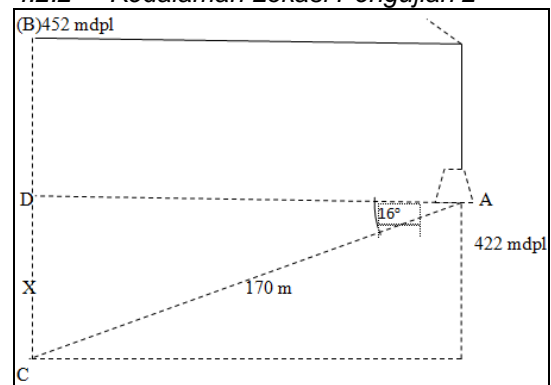
$$X = 38,589 \text{ m}$$

$$BC = BD + X$$

$$BC = 30 \text{ m} + 38,589 \text{ m}$$

$$BC = \pm 69 \text{ m}$$

4.2.2 Kedalaman Lokasi Pengujian 2



Gambar 15. Kedalaman Lokasi Pengujian 2

Keterangan:

- A = pintu lubang bukaan
- B = top lubang bukaan lokasi pengujian
- C = lokasi pengujian
- BD = didapat dari selisih elevasi A dan B
- AC = jarak pintu lubang ke lokasi pengujian
- BC = kedalaman lokasi pengujian

Maka kedalaman lokasi pengujian 2:

$$\sin 16^\circ = X/AC \tag{9}$$

$$X = \sin 16^\circ \times AC$$

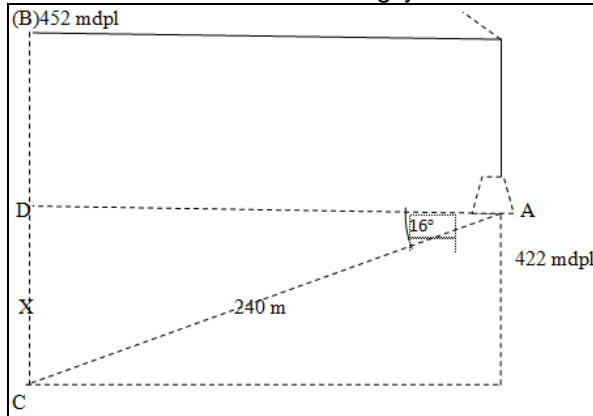
$$X = \sin 16^\circ \times 170 \text{ m}$$

$$X = 46,858 \text{ m}$$

$$BC = BD + X$$

BC = 30 m + 46,858 m
 BC = ± 77 m

4.2.3 Kedalaman Lokasi Pengujian 3



Gambar 16. Kedalaman Lokasi Pengujian 3

Keterangan:

- A = pintu lubang bukaan
- B = top lubang bukaan lokasi pengujian
- C = lokasi pengujian
- BD = didapat dari selisih elevasi A dan B
- AC = jarak pintu lubang ke lokasi pengujian
- BC = kedalaman lokasi pengujian

Maka kedalaman lokasi pengujian 3:

$$\sin 16^\circ = X/AC \tag{10}$$

$$X = \sin 16^\circ \times AC$$

$$X = \sin 16^\circ \times 240 \text{ m}$$

$$X = 66,152 \text{ m}$$

$$BC = BD + X$$

$$BC = 30 \text{ m} + 66,152 \text{ m}$$

$$BC = \pm 96 \text{ m}$$

Jadi kedalaman masing-masing lokasi pengujian :

- Kedalaman lokasi pengujian 1 = ± 69 m
- Kedalaman lokasi pengujian 2 = ± 77 m
- Kedalaman lokasi pengujian 3 = ± 96 m

4.2.4 Perhitungan Tegangan Vertikal

Tegangan vertikal pada sebuah terowongan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut^{[1][2]} :

$$\sigma_v = \gamma h = (\rho g) h \tag{11}$$

Keterangan:

- σ_v = tegangan vertikal (kg/ cm²)
- ρ = bobot isi batuan (kg/ m³)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- h = kedalaman (m)

Konversi satuan:

- 1 N/m² = 1.000.000. MPa
- 1 MPa = 145,03773773 psi
- 1 kg/cm² = 14,2233433071 psi

a. Lokasi Pengujian 1

- $\rho = 2550 \text{ kg/ m}^3$
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$
- $h = 69 \text{ m}$

Tegangan vertikal pada kedalaman 69 m adalah:

$$\sigma_v = \gamma h \tag{12}$$

$$\sigma_v = (2550 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2) \times 69 \text{ m}$$

$$\sigma_v = 1724310 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_v = 1,72431 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v = 250,09 \text{ psi}$$

$$\sigma_v = 17,58 \text{ kg/cm}^2$$

b. Lokasi Pengujian 2

- $\rho = 2550 \text{ kg/ m}^3$
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$
- $h = 77 \text{ m}$

Tegangan vertikal pada kedalaman 77 m adalah:

$$\sigma = \gamma h \tag{13}$$

$$\sigma = (2550 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2) \times 77 \text{ m}$$

$$\sigma = 1924230 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 1,92423 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 279,08 \text{ psi}$$

$$\sigma = 19,62 \text{ kg/cm}^2$$

c. Lokasi Pengujian 3

- $\rho = 2550 \text{ kg/ m}^3$
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$
- $h = 96 \text{ m}$

Tegangan vertikal pada kedalaman 96 m adalah:

$$\sigma = \gamma h \tag{14}$$

$$\sigma = (2550 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2) \times 96 \text{ m}$$

$$\sigma = 2399040 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 2,39904 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 347,951 \text{ psi}$$

$$\sigma = 24,46 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.5 Perhitungan Tegangan Horizontal

Tegangan horizontal pada sebuah terowongan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut^{[2][10][12]} :

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v \tag{15}$$

$$k = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

Keterangan :

- σ_h = tegangan horizontal (kg/ cm²)
- k = Faktor kekuatan massa batuan
- ϕ = sudut geser dalam (siltstone = 40°)

a. Lokasi pengujian 1

Tegangan Horizontal pada kedalaman 69 m adalah :

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v \tag{16}$$

$$k = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

$$= \tan^2 (45 - 40/2)$$

$$= 0,21$$

$$\sigma_h = 0,21 \times 20 \text{ kg/cm}^2$$

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

b. Lokasi pengujian 2

Tegangan horizontal pada kedalaman 77 m adalah :

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v \tag{17}$$

$$k = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

$$= \tan^2 (45 - 40/2)$$

$$= 0,21$$

$$\sigma_h = 0,21 \times 22 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 4,62 \text{ kg/cm}^2$$

c. Lokasi pengujian 3

Tegangan horizontal pada kedalaman 96 m adalah :

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v \tag{18}$$

$$k = \tan^2 (45 - \phi/2) \\ = \tan^2 (45 - 40/2) \\ = 0,21$$

$$\sigma_h = 0,21 \times 25 \text{ kg/cm}^2 \\ = 5,25 \text{ kg/cm}^2$$

4.3 Pengukuran tegangan awal (Initial Stress)

Tegangan θ merupakan tegangan maksimum yang terjadi pada dinding terowongan. Untuk mendapatkan besarnya tegangan θ pada terowongan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut^{[2][10][12]} :

$$\sigma_\theta = (\sigma_v + \sigma_h)/2 (1 + R^2/r^2) - (\sigma_v - \sigma_h)/2 (1 + 3 R^4/r^4) \cos 2\theta \tag{19}$$

Keterangan :

σ_θ = tegangan θ (kg/cm²)

R = jari-jari lingkaran terowongan = r

Tabel 2. Nilai Tegangan Awal

Lokasi Pengujian	Kedalaman (m)	Sudut 0° (kg/cm ²)	Sudut 45° (kg/cm ²)	Sudut 90° (kg/cm ²)
Lokasi 1	± 69 m	-7,4	24,2	55,8
Lokasi 2	± 77m	-8,14	26,62	61,38
Lokasi 3	±96 m	-9,25	30,25	69,75

4.4 Kekuatan Batuan

4.4.1 Sampel Batubara

Persamaan yang digunakan adalah^{[1][2][10][11]}:

$$F = (d/50)^{0,45} \tag{20}$$

Untuk kuat tekan point load (Is) adalah:

$$I_s = F P/D^2 \tag{21}$$

Untuk kuat tekan UCS (σ_c) adalah:

$$\sigma_c = 23 \times I_s \tag{22}$$

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

Tabel 3. Nilai Kekuatan Batuan

No	Diameter conto (mm)	Beban maksimum contoh pecah (kg)	Jarak conus (cm)	Pli (Is) kg/cm ²	σ_c (kg/cm ²)	Tegangan Tarik (kg/cm ²)
1	56	127,679	5,4	4,606	105,93	10,5
2	57	115,582	5,3	4,361	100,30	10,03
3	58	130,520	5,3	4,967	114,24	11,42

4.5 Faktor Keamanan (FK)

a. FK (pada lokasi 1)

Faktor keamanan pada sebuah terowongan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut^{[2][10][12]}

1) Tarik
 $\sigma_t = 10,5 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_\theta = 7,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = \sigma_t / \sigma_\theta \\ = 10,5 / 7,4 \\ = 1,41$$

2) Tekan

$$\sigma_c = 105,938 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_\theta = 55,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = \sigma_c / \sigma_\theta \\ = 105,938 / 55,8 \\ = 1,89$$

b. FK (pada lokasi 2)

1) Tarik

$$\sigma_t = 100,303 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_\theta = 8,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = \sigma_t / \sigma_\theta \\ = 100,303 / 8,14 \\ = 1,23$$

2) Tekan

$$\sigma_c = 100,303 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_\theta = 61,38 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = \sigma_c / \sigma_\theta \\ = 100,303 / 61,38 \\ = 1,63$$

c. FK (pada lokasi 3)

1) Tarik

$$\sigma_t = 11,42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_\theta = 9,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = \sigma_t / \sigma_\theta \\ = 11,42 / 9,25 \\ = 1,23$$

2) Tekan

$$\sigma_c = 114,243 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_\theta = 69,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$FK = \sigma_c / \sigma_\theta \\ = 114,243 / 69,75 \\ = 1,63$$

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- Dari hasil pengujian pada tanggal 5 agustus 2018 pada kedalaman ± 69 m dengan alat flat jack diperoleh tegangan sebesar 20 kg/cm², pada kedalaman ± 77 m diperoleh tegangan sebesar 22 kg/cm², sedangkan pada kedalaman ± 96 m diperoleh tegangan sebesar 25 kg/cm².
- Berdasarkan hasil pengambilan data langsung di lapangan didapatkan hasil perhitungan tegangan vertikal pada kedalaman ± 69 m diperoleh tegangan sebesar 17,58 kg/cm², tegangan horizontal sebesar 3,69 kg/cm². Pada kedalaman ± 77 m diperoleh tegangan sebesar 19,62 kg/cm², tegangan horizontal sebesar 4,12 kg/cm². Sedangkan pada kedalaman ± 96 m diperoleh tegangan vertikal sebesar 24,46 kg/cm², tegangan horizontal sebesar 5,13 kg/cm². Pada perhitungan tegangan θ pada sudut 0° di lokasi 1 = -7,4 kg/cm², lokasi 2 = -8,4 kg/cm², lokasi 3 = -9,25. Perhitungan tegangan θ pada sudut 90° di lokasi 1

= 55,8 kg/cm², lokasi 2 = 61,38 kg/cm², lokasi 3 = 69,75 kg/cm²

3. Berdasarkan uji point load index dan perhitungan kuat tekan ucs dengan sampel batubara didapatkan nilai rata-rata 106,828 kg/cm² dan rata-rata kekuatan siltstone adalah 319,516 kg/cm².
4. Berdasarkan perhitungan faktor keamanan pada lokasi 1 didapatkan nilai $f_k = 1,41$ (tegangan tarik) dan $f_k = 1,89$ (tekan). Pada lokasi 2 nilai $f_k = 1,23$ (tegangan tarik) dan $f_k = 1,63$ (tekan). Pada lokasi 3 nilai $f_k = 1,23$ (tegangan tarik) dan $f_k = 1,63$ (tekan).
5. Berdasarkan pengujian flat jack dan perhitungan tegangan vertikal, horizontal dan tegangan θ , hasilnya tidak lebih besar dari nilai kekuatan batuan yang terdapat pada tunnel 1 tambang bawah tanah PT Allied Indo Coal Jaya dimana kondisi tersebut dapat menggambarkan atau menjelaskan bahwa kekuatan batuan yang terdapat pada terowongan dapat menahan tegangan atau gaya yang bekerja pada lokasi tersebut. Nilai FK yang didapatkan dari perhitungan pada setiap lokasi nilainya juga lebih besar dari pada 1,5. Artinya terowongan tersebut dalam kondisi aman.

5.2 Saran

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.

Daftar Pustaka

- [1] Setiawan, R., & Murad, M. (2018). Keefektifan Penggunaan Alat Flatjack Dibandingkan Dengan Tegangan Gravitasi Untuk Menghitung Tegangan Batuan Pada Lubang Bukaannya Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Sawahlunto. *Bina Tambang*, 3(4), 1692-1702.
- [2] Astawa Rai, M., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2012). *Mekanika Batuan*. Bandung: Penerbit ITB.
- [3] Firaz, M. F., Lewier, S. E., Killo, Y. K., & Andrie, Y. (2015). Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya Tambang Bawah Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga. *ReTII*.
- [4] Brady, B. H. G., & Brown, E. T. (2004). *Rock Mechanics For Underground Mining* (Third edit.). Kluwer Academic Publisher: Boston, USA.
- [5] Haris, J. (2017). Desain Terowongan Development di Wilayah Ombilin I Sawahluwung PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Unit Pertambangan Ombilin, Sawahlunto.
- [6] Cai, M. (2011). *Rock Mechanics: Achievements And Ambitions*. CRC Press.
- [7] Parivallal, S., Kesavan, K., Ravisankar, K., Sundram, B. A., & Ahmed, A. F. (2011, December). Evaluation of in-situ stress in masonry structures by flat jack technique. In *Proc. of the National Seminar and Exhibition of Non-Destructive Evaluation*.
- [8] Lourenço, P., & Gregorczyk, P. (2000). Review on Flat-Jack Testing. *Engenharia Civil*, 9, 35-50.
- [9] Tobing, R. F. L., Pradani, D. I., & KP, R. H. (2015). Analisis Kestabilan Lubang Bukaannya Dan Pillar Dalam Rencana Pembuatan Tambang Bawah Tanah Batugamping Dengan Metode Room And Pillar Di Desa Sidorejo Kecamatan Lendah Kab. Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta. *ReTII*.
- [10] Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- [11] Putra, F. A., Saptono, S., & Rosadi, P. E. (2015). Kajian Geoteknik Terhadap Rancangan Penambangan Batubara Bawah Tanah Metode Shortwall Di Cv. Artha Pratama Jaya, Kecamatan Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 1(1).
- [12] Bieniawski, Z. T. (1984). *Rock mechanics design in mining and tunnelling* (No. Monograph).
- [13] Sugiono. (2010). Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta.