

Keefektifan Penggunaan Alat Flatjack Dibandingkan Dengan Tegangan Gravitasi Untuk Menghitung Tegangan Batuan Pada Lubang Bukaian Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Sawahlunto.

RahmadSetiawan^{1*}, Murad MS^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*rahmad.coy95@gmail.com

**muradms@ft.unp.ac.id

Abstract. Geomechanics testing is very important in mining industry, both open pit and underground mining. Geomechanics testing is aimed to determine the stress and the strength of the rocks. One example of insitu testing and destructive testing is the Flatjack testing method. The Flatjack tool is a tool developed by the FT UNP mining laboratory in September 2017. This tool is a development of the previous tool. The development Flatjack test results have never been tested and their effectiveness is unknown yet. The Flatjack tool needs to be tested by conducting a trial test at locations that are relevant to the function of the tool in order to obtain effectiveness. Based on the results of testing and direct observation in the field, the results of Flatjack tool test on branch 1 (10.5 kg / cm²), branch 2 (12.5 kg / cm²), and branch 3 (14 kg / cm²) were obtained. Based on the results of direct data collection in the field, the results of the calculation of gravitational forces on branch 1 (7.1285 kg / cm²), branch 2 (10.9859 kg / cm²), and branch 3 (14.583 kg / cm²) were obtained. Based on the results it can be concluded that the Flatjack tool needs to be calibrated so that the results obtained from the Flatjack tool test are more effective.

Keywords: Hole opening, rock stress, Flatjack tool test, calculation of gravitational force, effectiveness.

1. Pendahuluan

Pengujian geomekanika merupakan hal yang sangat penting dalam industri pertambangan, baik tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Pengujian geomekanika bertujuan untuk mengetahui tegangan dan kekuatan batuan. Tegangan dan kekuatan batuan merupakan faktor utama penentu kestabilan lereng pada tambang terbuka atau lubang bukaian 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 *exsitu 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 destructive test adalah pengujian metode *Flatjack*. Metode *Flatjack* adalah metode yang didasarkan pada pengukuran tegangan yang

diperlukan untuk mengembalikan tegangan yang dibebaskan. Perhitungan kestabilan pekerjaan di tambang terbuka atau tambang bawah tanah memerlukan diketahuinya karakteristik elastisitas dari batuan. *Flatjack* menghasilkan tegangan yang diketahui besarnya di dalam massa batuan atau dapat dihitung pada daerah tertentu^[2].

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 tegangan batuan untuk kepentingan analisis kestabilan lereng atau lubang bukaian.

CV. Tahiti Coal merupakan perusahaan yang bergerak di bidang tambang batubara menggunakan sistem penambangan tambang bawah tanah. Lubang bukaian tambang bawah tanah CV. Tahiti Coal tersusun atas batubara jenis antrasit dengan litologi overburden

siltstone dan *claystones*. CV. Tahiti Coal merupakan salah satu lokasi yang cocok untuk pengambilan data tegangan insitu. Untuk mengetahui efektif atau tidaknya penggunaan alat *Flatjack* di lapangan maka penulis membutuhkan perbandingan terhadap hasil yang telah didapatkan dari pengujian. Perbandingan akan dilakukan dengan membandingkan hasil tegangan batuan dari alat *Flatjack* dengan hasil tegangan gravitasi. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian mengenai “Keefektifan Penggunaan Alat *Flatjack* Dibandingkan Dengan Tegangan Gravitasi Untuk Menghitung Tegangan Batuan Pada Lubang Bukaian Tambang Bawah Tanah CV. Tahiti Coal, Sawahlunto”.

2.Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan CV. Tahiti Coal terletak di daerah Sangkar Puyuh kawasan bekas tambang Kandi-Tanah Hitam Desa Sijantang Koto, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. Lokasi penambangan CV. Tahiti Coal dapat dicapai dari kota Padang ke Kota Sawahlunto melalui jalur darat menggunakan kendaraan roda dua atau roda empat sejauh ±95 Km dengan jarak tempuh sekitar ± 3 jam. Dari Kota Sawahlunto perjalanan dilanjutkan ke arah Kandi yang berjarak sekitar ±15 Km dengan jarak tempuh sekitar 20 menit. Dan untuk sampai ke lokasi penambangan CV. Tahiti Coal harus melewati jalan rintis sepanjang ±2 Km.

Batas-batas lokasi kegiatan penambangan batubara CV. Tahiti Coal adalah sebagai berikut:

- Sebelah Utara berbatasan dengan lahan bekas tambang PT. BA-UPO yang diserahkan kepada pemda.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan lahan bekas tambang PT. BA-UPO yang diserahkan kepada pemda.
- Sebelah Timur berbatasan dengan lahan bekas tambang PT. BA-UPO yang diserahkan kepada pemda.
- Sebelah Barat berbatasan dengan lahan bekas tambang PT. BA-UPO yang diserahkan kepada pemda.

Secara Geografis, Wilayah Izin Usaha Penambangan CV. Tahiti Coal terletak pada koordinat 100°45'06" - 100°45'32" Bujur Timur (BT) dan 00°27'20" - 00°37'51" Lintang Selatan (LS).



Gambar 1.Peta IUP CV. Tahiti Coal

Koordinat wilayah batas IUP *eksploitasi* penambangan batubara CV. Tahiti Coal ditunjukkan pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Koordinat Batas Wilayah IUP *Eksplorasi* Penambangan Batubara CV. Tahiti Coal

No. Titik Koordinat	Bujur Timur			Bujur Selatan		
	°	'	“	°	'	“
1.	100	45	19,00	0	37	35,00
2.	100	45	19,00	0	37	20,00
3.	100	45	37,00	0	37	20,00
4.	100	45	37,00	0	37	38,00
5.	100	45	34,00	0	37	38,00
6.	100	45	34,00	0	37	39,00
7.	100	45	32,00	0	37	39,00
8.	100	45	32,00	0	37	49,80
9.	100	45	23,0	0	37	49,80
10.	100	45	23,0	0	37	40,20
11.	100	45	11,0	0	37	40,20
12.	100	45	11,0	0	37	35,00
13.	100	45	08,7	0	37	35,00
14.	100	45	08,7	0	37	28,00
15.	100	45	11,0	0	37	28,00
16.	100	45	11,0	0	37	25,00

CV. Tahiti Coal merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara. Lahan yang dikelola CV. Tahiti Coal adalah tanah Ulayat Kolok, Sijantang, dimana pada awal tahun 2005 PT. Bukit Asam sebagai perusahaan yang terlebih dahulu melaksanakan kegiatan penambangan melakukan kegiatan pelepasan lahan kepada Pemerintah Daerah Kota Sawahlunto. Berdasarkan keputusan Walikota NO. 05.29 PERINDAGKOP tahun 2005 tanggal 25 Desember 2005, CV. Tahiti Coal resmi memperoleh Izin Usaha Penambangan untuk melakukan kegiatan *eksploitasi* (KW. 05116 THC) dengan total luas IUP sebesar 53,80 Ha. Luas lahan yang dibuka sebagai areal penambangan hanya sekitar 37 Ha yang terletak di Desa Sijantang, tepatnya di daerah Sangkar Puyuh, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto.

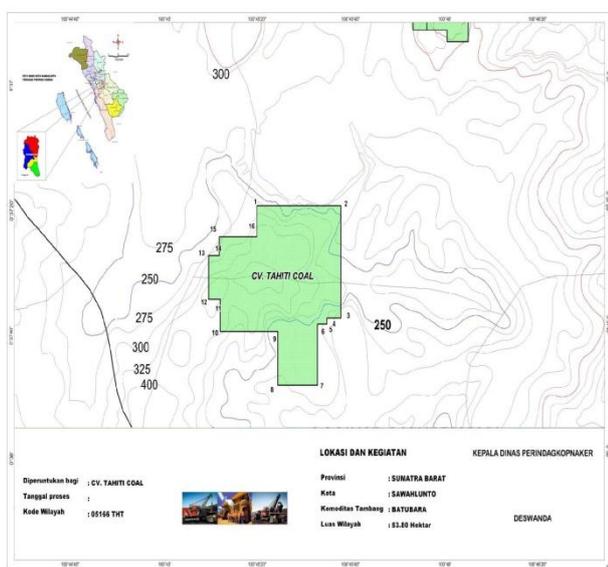
Karena wilayah IUP CV. Tahiti Coal merupakan bekas lahan tambang, maka CV. Tahiti Coal hanya perlu melakukan *eksploitasi* lanjutan. Perizinan yang dilakukan oleh CV. Tahiti Coal untuk melakukan kegiatan penambangan batubara diantaranya adalah surat keputusan No. 1958/INPERKOP-SWL/TAM/X-2002 tanggal 31 Oktober 2002 disini CV. Tahiti Coal diminta untuk melengkapi permohonan syarat-syarat yang diperlukan dalam pembuatan Izin Usaha Penambangan (IUP) tahap *eksploitasi* pada lahan seluas 53,80 Ha.

Bahan galian yang ditambang oleh CV. Tahiti Coal terbagi dalam tiga golongan diantaranya Arang A dan Arang B memiliki berat jenis 130 Kg/m³ dengan kalori 6000 kkal/Kg dan Arang C yang memiliki berat jenis 1250 Kg/m³ dengan kalorinya 6000 Kkal/Kg-7000 Kkal/Kg.

Secara topografi wilayah Kota Sawahlunto terletak pada daerah perbukitan dengan ketinggian antara ± 200-

650 mdpl. Wilayah ini terbentang dari utara ke selatan, bagian timur dan selatan mempunyai topografi yang relatif curam (kemiringan lebih dari 40%) yang luasnya 28,52% dari luas wilayah keseluruhan, sedangkan bagian utara bergelombang dan relatif datar. Kemiringan dan keterjalan bentang alam ini telah menjadi kendala atau faktor pembatas pengembangan wilayah Kota Sawahlunto.

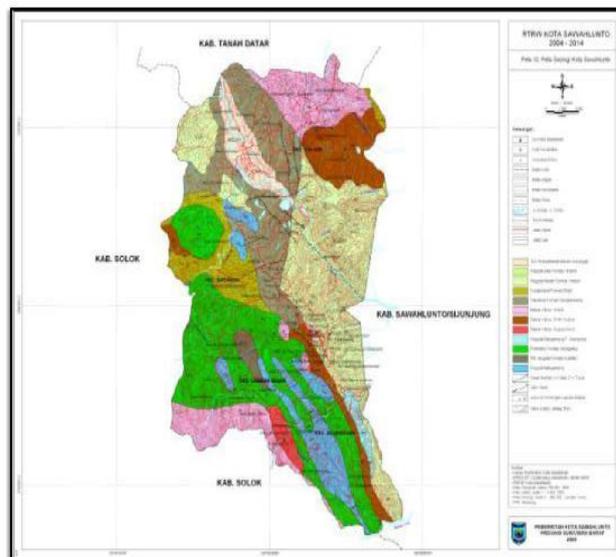
Bentang alam yang landai terletak hampir di tengah daerah Kota Sawahlunto, tetapi umumnya merupakan jalur-jalur sempit sehingga sulit untuk dikembangkan menjadi pemukiman perkotaan, posisinya memanjang sepanjang sesar Sawahlunto, memisahkan perbukitan terjal yang terletak di kedua sisinya. Dataran yang relatif landai sehingga memungkinkan berkembangnya pemukiman perkotaan hanya dijumpai di Talawi dan Kota Sawahlunto sendiri.



Gambar 2.Peta Topografi CV. Tahiti Coal

Endapan batubara terjadi pada kala oligosen diendapkan dalam cekungan antara gunung (*inter mountain basin*) yang dikenal dengan cekungan ombilindan mempunyai luas $\pm 800 \text{ km}^2$ yang berkembang sejak zaman awal tersier memanjang pada arah barat-tenggara, searah dengan struktur geologi yang banyak terdapat patahan (*fault*) dan lipatan (*fold*).

Batubara ini terletak dibagian barat cekungan ombilin dan terdapat pada formasi batuan yang dikenal dengan nama formasi sawahlunto. Secara umum lapisannya tanah penutup batubara terdiri dari batu lempung (*claystone*), batu pasir (*sandstone*) dan batu lanau (*siltstone*). Formasi sawahlunto ini terletak pada dua jalur yang terpisah yaitu jalur yang menjurus dari sawahlunto sampai sawah rasau dan dari tanah hitam terus ke timur dan kemudian ke arah utara yang disebut parambahan.



Gambar 3.Peta Geologi kota sawahlunto

Secara regional stratigrafi adalah sawahlunto dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu kelompok batuan pra-tercier dan kelompok batuan terciar.^[3]

2.1. Kelompok batuan pra-tercier terdiri dari:

- Formasi silungkang
Nama formasi ini mula-mula diusulkan oleh Klompe, Katili dan Sekunder pada tahun 1958. Secara petrografi formasi ini masih dapat dibedakan menjadi empat satuan yaitu: satuan lava andesit, satuan lava basalt, satuan tufa andesit dan satuan tufa basalt. Umur dan formasi ini diperkirakan perm sampai trias.
- Tuhur
Formasi ini dirincikan lempung abu-abu kehitaman, berlapis baik, dengan sisipan-sisipan batu pasir dan batu gamping hitam. Diperkirakan formasi ini berumur trias.

2.2. Kelompok batuan terciar terdiri dari:

- Formasi sangkarewang
Nama formasi ini pertama diusulkan oleh Kastowo dan Silitonga pada 1975. Formasi ini terutama terdiri dari serpih gamping sampai napal berwarna coklat kehitaman, berlapis halus dan mengandung fosil ikan serta tumbuhan. Formasi ini diperkirakan berumur Eosen Oligosen.
- Formasi sawahlunto
Nama formasi ini diusulkan oleh R.P.Koesoemadinata dan Th. Matasak pada 1979. Formasi ini merupakan formasi yang paling penting karena mengandung lapisan batubara. Formasi ini dicirikan oleh batu lanau, batu lempung, dan batubara yang berselingan satu sama lain. Diperkirakan formasi ini berumur oligosen.
- Formasi sawah tambang
Nama formasi ini pertama kali diusulkan oleh Kastowo dan Silitonga pada tahun 1975. Bagian bawah dari formasi ini dicirikan oleh beberapa siklus endapan yang terdiri dari batu pasir konglomerat, batu

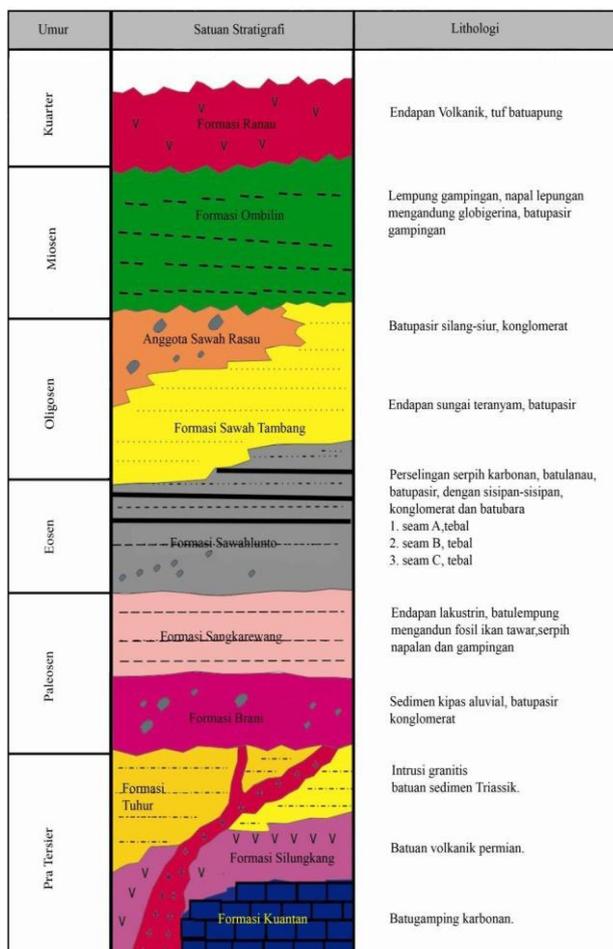
lunau dan batu lempung. Bagian atas didominasi pada umumnya oleh batu pasir konglomerat tanpa adanya sisipan lempung atau batu lunau, umur dari formasi ini diperkirakan lebih tua dari miosen bawah.

d. Formasi ombilin

Nama formasi ini diusulkan pertama kali oleh Kastowo dan Silitonga pada tahun 1975. Formasi ini terdiri dari lempung gamping, napal dan pasir gampingan yang berwarna abu-abu kehitaman, berlapis tipis dan mengandung fosil. Umur formasi ini diperkirakan Miosen bawah.

e. Formasi ranau

Nama ini diusulkan pertama kali oleh Marks pada tahun 1961. satuan ini terdiri dari batu apung berwarna abu-abu kehitaman. Umur dari formasi ini diperkirakan Pleistosen.



Gambar 4. Peta Statigrafi Sawahlunto

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli tahun 2018. Lokasi penelitian terletak di daerah Sangkar Puyuh kawasan bekas tambang Kandi-Tanah Hitam Desa Sijantang Koto, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat.

3.1. Desain 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^[4]. Metode analisis data yang digunakan adalah metode analisis kuantitatif berdasarkan teori perhitungan dan memberikan keluaran yang bersifat kuantitatif atau berbentuk angka^[5].

Pengambilan data dan penelitan dilaksanakan pada lubang bukaan THC-01 khususnya pada *tail gate* THC-01 B CV. Tahiti Coal, site Prambahan, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat.

Data penelitian dapat dibagi atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung sebagai hasil dari observasi lapangan dan pengujian langsung di lapangan, sedangkan data sekunder merupakan data-data yang disiapkan dan diperoleh dari perusahaan atau sumber lain.

a. Data primer meliputi:

- 1) Data dari pengujian alat *Flatjack*.
- 2) Data dari perhitungan tegangan gravitasi.

b. Data sekunder meliputi:

- 1) Peta geologi kota Sawahlunto
- 2) *Lay out* penambangan CV. Tahiti Coal
- 3) Studi literatur pendukung lainnya

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Adapun tahapan pengambilan data adalah sebagai berikut:

3.2.1. Persiapan

Kegiatan ini merupakan tahapan awal sebelum kegiatan lapangan yang meliputi:

- a. Persiapan administrasi dan pengurusan surat-surat izin di kampus dan perusahaan
- b. Konsultasi dengan pembimbing akademik
- c. Pengumpulan berbagai literatur

3.2.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari bahan-bahan pustaka yang menunjang, yang diperoleh dari instansi terkait (data perusahaan), dan perpustakaan (literatur).

3.2.3. Tahapan Pengambilan Data Lapangan

a. Orientasi di Lapangan

Melakukan peninjauan lapangan untuk melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi daerah penelitian dan kegiatan penambangan di lokasi tersebut.

b. Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data dilakukan setelah orientasi lapangan selesai dilaksanakan, data yang diambil berupa:

- 1) Data primer, mencakup pengamatan langsung yang akan dilakukan berupa pembacaan alat *Flatjack*, data perhitungan tegangan gravitasi lubang bukaan.
- 2) Data sekunder berupa peta geologi kota Sawahlunto, *Lay out* penambangan CV. Tahiti Coal dan studi literatur pendukung lainnya.

3.3 Teknik Analisis Data

Data yang telah terkumpul baik dari studi literatur maupun dari pengambilan langsung di lapangan, selanjutnya dikelompokkan berdasarkan jenis dan kegunaannya, sehingga akan terlihat apakah terjadi penyimpangan atau tidak. Jika terjadi penyimpangan data yang cukup tinggi maka pengambilan data harus semakin banyak sehingga dapat diambil rata-rata yang mewakili keadaan.

Data-data tersebut kemudian diolah dan dianalisis untuk mendapatkan suatu kesimpulan pertama/ sementara. Kemudian dilakukan pengecekan kembali apakah kesimpulan tersebut cukup baik. Dari kesimpulan pertama dan setelah dicek kembali baru ditarik/didapatkan penyelesaian dari permasalahan yang timbul dari penelitian ini.

4. Hasil dan Pembahasan

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^[6]. 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^[7].

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^[8].

4.1. Tegangan Alami

Tegangan alami terdiri atas beberapa tegangan diantaranya:

4.1.1. 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:

$$\sigma = \rho g h$$

Keterangan:

ρ = bobot isi batuan (ton/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = kedalaman (m)

σ = *virgin vertical stress* (kg/cm^2)

Bobot isi rata-rata batuan (*quartz, sandstone, clay, silt, limestone quartz-rich magnetic rocks*) adalah $2.670 \text{ kg}/\text{m}^3$. Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 180 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2670 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 9,8 \text{ m}/\text{s}^2 \times 180 \text{ m})$$

$$\sigma = 4.709.880 \text{ N}/\text{m}^2 = 4,7 \text{ MPa} = 681,677 \text{ psi} = 47,926 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

4.1.2. 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.

4.1.3. 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.

4.1.4. 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.

4.2. Tegangan Terinduksi

Sebuah lubang bukaan bawah tanah yang dibuat pada massa batuan maka akan terjadi kondisi sebagai berikut:

- Batuan yang tidak tergalai 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 terinduksi.

- c. Distribusi tegangan di dinding terowongan berbeda dari tegangan sebelum batuan digali.

Maka tegangan terinduksi ialah tegangan yang terjadi pada batuan setelah proses penggalian atau bukaan.

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^[9].

Pengukuran tegangan in-situ dijumpai seperti: pada proyek pertambangan, geoteknik, rekayasa tenaga air, teknik perminyakan, kereta api dan rekayasa jalan.

4.3. Teknik Flatjack

4.3.1. Pengujian Flatjack

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 *Flatjack* dapat digunakan untuk masalah teknik guna mengevaluasi struktur, dimana metode ini juga digunakan untuk menentukan *insitu stress* dan *compressive strength*^[10].

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.

Kelebihan teknik *Flatjack*:

- 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 *Flatjack*, dapat terjadi kesalahan dalam pembacaan hasil pengukuran karena pembacaan dilakukan secara manual.

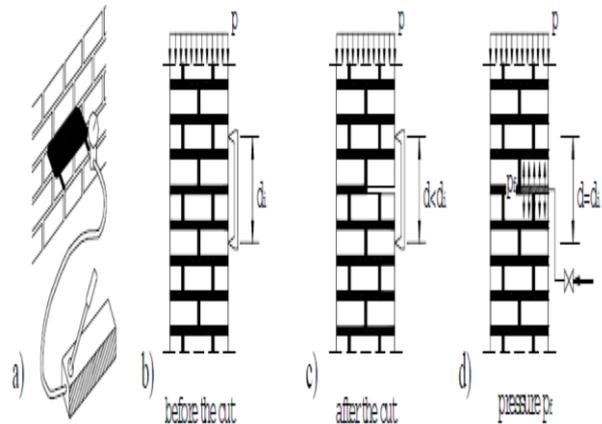
4.3.2. Deskripsi Flatjack

Flatjack adalah metode sederhana yang menggunakan plat *stainless* tipis yang dilas sekelilingnya dan dilengkapi dengan pintu sebagai tempat masuknya tekanan yang dihasilkan oleh hidrolik. Sebuah *Flatjack* dapat diproduksi dalam berbagai bentuk dan ukuran. Dimensi yang sebenarnya ditentukan oleh fungsi, teknik persiapan *slot* dan sifat dari batu yang akan diuji^[11].

Flatjack dengan tepi melengkung dirancang cocok untuk *slot* yang dipotong oleh gergaji. *Flatjack* persegi panjang dirancang cocok digunakan pada *slot* yang dibuat dengan bor tangan. Terlepas dari bentuk, *Flatjack* harus sesuai dengan *slot* yang dibuat. Ketebalan *Flatjack* ditentukan oleh fungsi spesifik. Sebuah *Flatjack* yang ideal akan mengisi *slot* dengan pas.

4.3.3. Pengujian In-situ Stress dengan (Flatjack 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 *FlatJack* (Gregorczyk, P and Lourenco, P. 2000)

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^[12].

Setelah itu *Flatjack* tipis dimasukkan ke dalam *slot*. Dengan bantuan perangkat hidrolik, 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 *Flatjack* yang diperlukan untuk mengembalikan keadaan itulah yang dimaksud dengan *stress*.

Penafsiran pengujian didasarkan pada asumsi sebagai berikut:

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

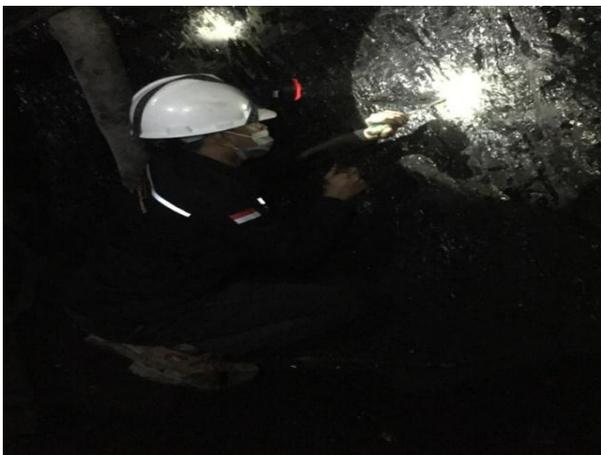
4.4. Pengujian Tegangan Batuan Dengan Alat Flatjack

4.4.1. Pembuatan Kedudukan Flat Pada Titik Pengujian.

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan pembuatan kedudukan Flat pada titik pengujian. Pengujian akan dilakukan pada 3 titik. Tentukan terlebih dahulu titik pembuatan kedudukan. Pembuatan kedudukan Flat dibuat pada bidang yang kompak dan

tidak ada rekahan di sekitar kedudukan Flat, hal tersebut dilakukan supaya dalam pembuatan kedudukan Flat tidak akan mudah hancur serta hasil yang didapat saat pengujian akan lebih maksimal dan akurat.

Pembuatan kedudukan Flat dilakukan dengan menggunakan pahat dan palu saja. Hal ini dilakukan supaya dalam pembuatan kedudukan Flat bisa dibuat sepresisi mungkin kedudukan dengan Flatnya. Setelah kedudukan Flat selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengukuran lebar awal kedudukan Flat. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap kedudukan Flat tersebut untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada kedudukan Flat. Untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada kedudukan Flat, pengamatan dilakukan setiap hari. Kalau belum terjadi deformasi pada kedudukan Flat, pengujian belum bisa dilakukan dan harus menunggu sampai terjadi deformasi. Apabila telah terjadi deformasi pada kedudukan Flat, maka pengujian baru bisa dilakukan. Proses pembuatan kedudukan Flat dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Proses Pembuatan Kedudukan Flat

4.4.2. Pengujian

Setelah terjadi deformasi pada kedudukan Flat, selanjutnya dilakukan pengujian tegangan dengan alat Flatjack. Semua alat – alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian dipersiapkan di titik pengujian. Sebelum pengujian dilakukan pengukuran lebar Flat awal. Kemudian Flat dihubungkan dengan Jack. Setelah terhubung Flat dimasukkan ke dalam kedudukan yang sudah dibuat dan kunci pompa Jack, lalu pompa Jack secara perlahan sampai pompanya keras. Kemudian baca hasil yang didapatkan pada dial gauge yang terdapat pada slang jack. Selanjutnya buka kucian pompa lalu cabut Flat dari kedudukan dan lepaskan Flat dari Jack, setelah itu ukur lebar Flat akhir. Lokasi titik pengujian yaitu pada cabang 1 (C1), cabang 2 (C2), dan cabang 3 (C3) dapat dilihat pada lampiran layout penambangan CV. Tahiti Coal.

Dari pengujian dan pengamatan langsung di lapangan dengan alat *Flatjack* didapat data tegangan insitu lubang bukaan *tail gate* THC-01 B cabang1 (C1), cabang2 (C2), cabang3 (C3) terlihat dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Alat Flatjack

Titik Pengujian	Kedalaman (m)	Hasil Pengujian (Kg/cm ²)
Cabang 1	27,6	10,5
Cabang 2	42,5	12,5
Cabang 3	56,4	14

4.5. Hasil Perhitungan Tegangan Gravitasi

4.5.1. Pengambilan Data

Sebelum melakukan perhitungan tegangan gravitasi terlebih dahulu dilakukan pengambilan data–data yang diperlukan dalam perhitungan. Data–data yang diambil berupa data elevasi di pintu lubang bukaan *tail gate* TC-01 B, elevasi top cabang 1, elevasi top cabang2, elevasi top cabang 3, kemiringan lubang bukaan, jarak dari pintu lubang ke titik pengujian, dan bobot isi rata rata tanah penutup. Pengambilan data elevasi dilakukan dengan menggunakan GPS Garmin dengan cara marking dan untuk mendapatkan data kedalaman titik pengujian setiap cabang menggunakan rumus trigonometri. Sedangkan data kemiringan diambil dengan menggunakan kompas geologi. Untuk data jarak dari pintu lubang ke titik pengujian didapat dari data perusahaan. Data bobot isi rata-rata tanah penutup didapat dari uji laboratorium sampel yang diambil langsung di lapangan. Setelah semua data yang diperlukan sudah didapatkan, maka perhitungan tegangan gravitasi dapat dilakukan.

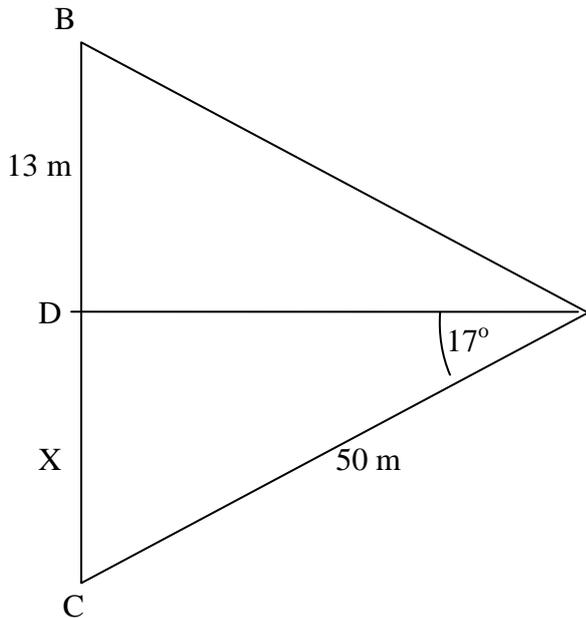
Dari pengambilan data langsung di lapangan dengan menggunakan GPS Garmin, kompas geologi, dan uji laboratorium di dapatkan data sebagai berikut:

- Kemiringan = 17 derajat
- Jarak pintu lubang ke cabang 1 = 50 m
- Jarak antar cabang = 27 m
- Elevasi pintu lubang = 201 mdpl
- Elevasi top cabang 1 = 214 mdpl
- Elevasi top cabang 2 = 221 mdpl
- Elevasi top cabang 3 = 227 mdpl
- Bobot isi siltstone = 2600 kg/m³
- Bobot isi claystone = 2564 kg/m³
- Bobot isi rata-rata tanah penutup = 2582 kg/m³
- Tebal siltstone cabang 1 = 4m
- Tebal siltstone cabang 2 = 11m
- Tebal siltstone cabang 3 = 17 m
- Tebal claystone cabang 1 = 23,6 m
- Tebal claystone cabang 2 = 31,5 m
- Tebal claystone cabang 3 = 39,4 m

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.

a. 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:

$$\sin 17^\circ = X/AC$$

$$X = \sin 17^\circ \times AC$$

$$X = \sin 17^\circ \times 50 \text{ m}$$

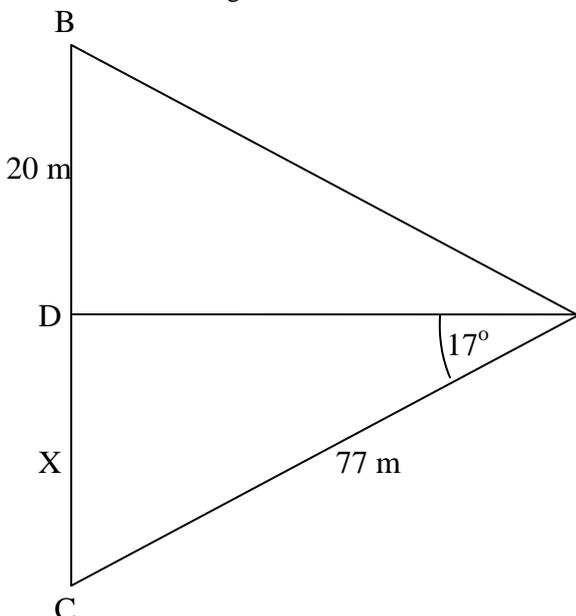
$$X = 14,6 \text{ m}$$

$$BC = BD + X$$

$$BC = 13 \text{ m} + 14,6 \text{ m}$$

$$BC = 27,6 \text{ m}$$

b. 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:

$$\sin 17^\circ = X/AC$$

$$X = \sin 17^\circ \times AC$$

$$X = \sin 17^\circ \times 77 \text{ m}$$

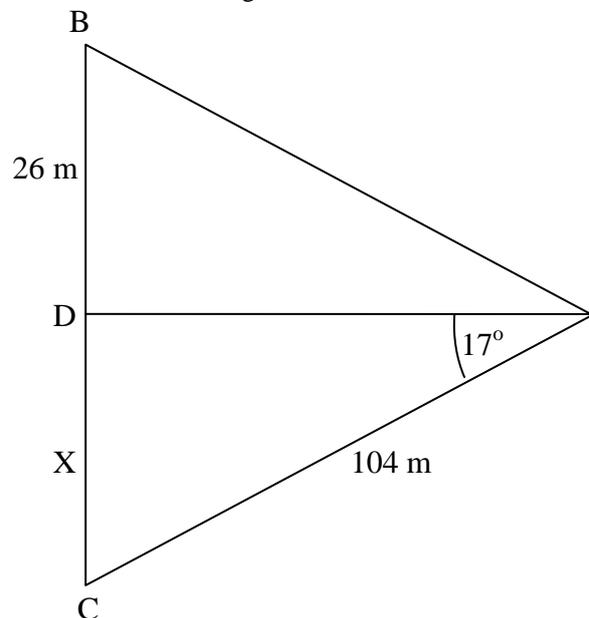
$$X = 22,5 \text{ m}$$

$$BC = BD + X$$

$$BC = 20 \text{ m} + 22,5 \text{ m}$$

$$BC = 42,5 \text{ m}$$

c. 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:

$$\sin 17^\circ = X/AC$$

$$X = \sin 17^\circ \times AC$$

$$X = \sin 17^\circ \times 104 \text{ m}$$

$$X = 30,4 \text{ m}$$

$$BC = BD + X$$

$$BC = 26 \text{ m} + 30,4 \text{ m}$$

$$BC = 56,4 \text{ m}$$

Jadi kedalaman titik uji setiap cabang:

- Kedalaman Cabang 1 = 27,6 m (4 m siltstone, 23,6 m claystone)
- Kedalaman Cabang 2 = 42,5 m (11 m siltstone, 31,5 m claystone)

- Kedalaman Cabang 3 = 56,4 m (17 m siltstone, 39,4 m claystone)

4.5.2. Perhitungan Tegangan Gravitasi

Untuk tegangan gravitasi dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\sigma = \rho g h$$

Keterangan:

ρ = bobot isi batuan (ton/ m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = kedalaman (m)

σ = *virgin vertical stress* (kg/ cm²)

Konversi satuan:

1 N/m² = 1.000.000. MPa

1 MPa = 145,03773773 psi

1 kg/cm² = 14,223433071 psi

a. Cabang 1

1) Lapisan siltstone

$$\rho = 2.600 \text{ kg/ m}^3$$

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

$$h = 4 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 4 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.600 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 4 \text{ m})$$

$$\sigma = 101.920 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,10192 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 14,7822 \text{ psi}$$

$$\sigma = 1,0392 \text{ kg/cm}^2$$

2) Lapisan claystone

$$\rho = 2.582 \text{ kg/ m}^3$$

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

$$h = 23,6 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 23,6 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.582 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 23,6 \text{ m})$$

$$\sigma = 597.164,96 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,59716469 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 86,6114 \text{ psi}$$

$$\sigma = 6,0893 \text{ kg/cm}^2$$

Jadi, *virgin vertical stress* pada cabang 1

$$\sigma = 1,0392 \text{ kg/cm}^2 + 6,0893 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 7,1285 \text{ kg/cm}^2$$

b. Cabang 2

1) Lapisan siltstone

$$\rho = 2.600 \text{ kg/ m}^3$$

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

$$h = 11 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 11 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.600 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 11 \text{ m})$$

$$\sigma = 280.280 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,28028 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 40,6511 \text{ psi}$$

$$\sigma = 2,8580 \text{ kg/cm}^2$$

2) Lapisan claystone

$$\rho = 2.582 \text{ kg/ m}^3$$

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

$$h = 31,5 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 31,5 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.582 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 31,5 \text{ m})$$

$$\sigma = 797.063,4 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,7970634 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 115,6042 \text{ psi}$$

$$\sigma = 8,1277 \text{ kg/cm}^2$$

Jadi, *virgin vertical stress* pada cabang 2

$$\sigma = 2,8580 \text{ kg/cm}^2 + 8,1277 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 10,9859 \text{ kg/cm}^2$$

c. Cabang 3

1) Lapisan siltstone

$$\rho = 2.600 \text{ kg/ m}^3$$

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

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

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

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.600 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 17 \text{ m})$$

$$\sigma = 433.160 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,43316 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 62,8245 \text{ psi}$$

$$\sigma = 4,4169 \text{ kg/cm}^2$$

2) Lapisan claystone

$$\rho = 2.582 \text{ kg/ m}^3$$

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

$$h = 39,4 \text{ m}$$

Maka *virgin vertical stress* pada kedalaman 39,4 m ialah:

$$\sigma = \rho g h$$

$$\sigma = (2.582 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 39,4 \text{ m})$$

$$\sigma = 996.961,84 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,99696184 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 144,5970 \text{ psi}$$

$$\sigma = 10,1661 \text{ kg/cm}^2$$

Jadi, *virgin vertical stress* pada cabang 3

$$\sigma = 4,4169 \text{ kg/cm}^2 + 10,1661 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 14,583 \text{ kg/cm}^2$$

Dari data–data yang diambil dilapangan, dapat dilihat hasil perhitungan gaya gravitasi pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Gaya Gravitasi

Titik pengujian	Kedalaman (m)	Hasil Perhitungan (kg/cm ²)
Cabang 1	27,6	7,1285
Cabang 2	42,5	10,9859
Cabang 3	56,4	14,583

4.6. Perbandingan Nilai Hasil Tegangan Batuan Berdasarkan Uji Alat Flatjack Dengan Hasil Perhitungan Tegangan Gravitasi.

Untuk melihat keefektifan dari alat Flatjack dapat dilakukan yaitu dengan cara membandingkan hasil uji alat Flatjack dengan hasil perhitungan gaya gravitasi. Dari pengujian, pengamatan dan perhitungan langsung di lapangan didapatkan kedua hasil tersebut. Untuk membandingkan kedua hasil tersebut, dapat dilihat pada tabel berikut.

Titik Pengujian	Kedalaman (m)	Hasil Pengujian Alat Flatjack (kg/cm ²)	Hasil Perhitungan Tegangan Gravitasi (kg/cm ²)
Cabang 1	27,6	10,5	7,1285
Cabang 2	42,5	12,5	10,9859
Cabang 3	56,4	14	14,583

Dilihat dari kedua hasil pengujian dan perhitungan tersebut, hasilnya berbeda. Tetapi dilihat berdasarkan beda kedalaman, alat Flatjack sudah bekerja dengan benar karena hasil yang didapatkan berbeda setiap kedalaman. Semakin dalam kedalaman titik uji, hasil yang didapatkan semakin besar. Maka dari alat Flatjack perlu dilakukan kalibrasi agar hasil yang didapatkan dari uji alat Flatjack lebih efektif.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- Berdasarkan hasil pengujian dan pengamatan langsung di lapangan didapatkan hasil uji alat Flatjack pada cabang 1 (10,5 kg/cm²), cabang 2 (12,5 kg/cm²), dan cabang 3 (14 kg/cm²).
- Berdasarkan hasil pengambilan data langsung di lapangan didapatkan hasil perhitungan gaya gravitasi pada cabang 1 (7,1285kg/cm²), cabang 2 (10,9859 kg/cm²), dan cabang 3 (14,583 kg/cm²).
- Berdasarkan hasil Pengujian dan perhitungan tegangan batuan bahwa alat Flatjack perlu dilakukan kalibrasi agar hasil yang didapatkan dari uji alat Flatjack lebih efektif.

5.2 Saran

- Perhitungan tegangan dan tekanan batuan dalam lubang bukaan dilakukan lebih akurat lagi agar tidak terjadi ambrukan.
- Perhatikan batuan atap dan dinding disekitar lubang bukaan untuk keselamatan bagi pekerja yang bekerja didalam lubang bukaan.
- Melakukan kajian lebih lanjut terhadap batuan atap dan dinding pada cabang-cabang lubang bukaan yang

telah selesai ditambang atau yang tidak beroperasi lagi.

Daftar Pustaka

- Anaperta. Yoszimingsih. *Studi Terowongan Jalan Raya Padang-Solok*. Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan. Vol. 6, No. 1: 65-86. 2013.
- Arif Irwandi. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. 2016
- R. P. Koesoemadinata dan Th. Matasak. *Stratigraphy and Sedimentation: Ombilin Basin, Central Sumatra*. 1979.
- Sugiono. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta. (2010).
- Lufri. *Kiat Memahami Metodologi dan Melakukan Penelitian*. Padang: UNP Press (2007).
- 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. <http://download.portalgaruda.org/article>. Diakses pada 21 Oktober 2018. 2015.
- Astawa Made R., Kramadibrata Suseno, and Kresna Ridho W. *Mekanika Batuan*. Bandung : ITB. 2012.
- Bieniawski, Z.T. *Rock Mass Clasifications in Rock Engineering.*, Proceeding Symposium on Exploration for Rock Engineering, Ed. Z.T. Bieniawski, A.A. Balkema, Rotterdam, p.97-106. 1976.
- Brady, B. and Brown, E. *Rock Mechanics: For underground mining*. 2004.
- Murad, Refki Adinata. *Stand Up Time In Tunnel Base In Rock Mass Rating* Bieniawski 1989. <https://aip.scitation.org/toc/apc/1903/1?windowStart=100&expanded=1903>. Diakses pada 18 Oktober 2018. 2017.
- Hoek E. dan E. T. Brown. *Underground Excavation in Rock*. London: Institution of Mining and Metallurgy. 1980.
- Gregorczyk, P. And Lourenco, P. *A review on flatjack testing*. 2000.
- Cai, M. and Peng, H. *Rock Mechanics: Achievements and Ambitions*. 2011.
- Dhatu Kamajati, dkk. *Rock Mass Evaluation of Eko-Remaja Uranium Exploration Tunnel, Kalan, West Kalimantan*. Eksplorium. Vol. 37, No. 2:89-100. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/eksplorium/article/view/3110>. Diakses pada 21 Oktober 2018. 2016.
- Eli Ambarini, Febri Hernawan, Dono Guntoro. *Sistem Stabilitas Lubang Bukaan Pengembangan Dengan Menggunakan Baut Batuan (Rockbolt) dan Beton Tembak (Shotcrete) di SBlok Cikoneng PT. Cibaliung Sumberdaya, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten*. Prosiding Teknik Pertambangan. Gel. 2: 168-177. <http://repository.unisba.ac.id/handle/123456789/5269>. Diakses pada 21 Oktober 2018. 2013.
- Jefrianto Haris, *Desain Terowongan Development di Wilayah Ombilin I*

- Sawahluwung PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Unit Pertambangan Ombilin, Sawahlunto.* Padang: Universitas Negeri Padang. <https://www.scribd.com/document/390726052/Jurnal-Jefrianto-Haris>. Diakses pada Oktober 2018. 2017.
- [17] Kastowo dan Silitonga. Bulletin of the Geological Research and Development Centre. 1975.
- [18] Muh. Fathin Firaz, dkk. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Tambang Bawah Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga.* Prosiding Seminar Nasional ReTII: 316-325. <https://journal.sttnas.ac.id/ReTII/article/view/295>. Diakses pada 21 Oktober 2018. 2015.
- [19] Murad MS, Indah Sulistia Ningsih. Analisis kuat tekan terhadap waktu stand-up C1-G pertambangan bawah tanah PT. Nal sawahlunto sumaterabarat. <http://ojs.sttind.ac.id/ojs/index.php/Sain/article/view/94>. Diakses pada 23 Oktober 2018. 2018.
- [20] Parivallal, S.et. Al. Development of a new Flatjack for hollow block masonry. 2011.
- [21] Recky Fernando L, dkk. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dan Pillar dalam Rancangan Pembuatan Tambang Bawah Tanah Batu Gamping dengan Metode Room and Pillar di Desa Sidorejo Kecamatan Lendah Kab. Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta.* Prosiding Seminar Nasional ReTII: 332-338. <https://journal.sttnas.ac.id/ReTII/article/view/297>. Diakses pada 21 Oktober 2018. 2015.