

## **Studi Pengaruh *Thermal* terhadap Kekuatan Batuan di Lokasi Underground Coal Gasification, Desa Macang Sakti, Kecamatan Sanga Desa, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan**

Study of Thermal Effect on Rock Strength at Underground Coal Gasification Site,  
Macang Sakti Village, Sanga Desa Sub-District, Musi Banyuasin Regency, South  
Sumatera Province

<sup>1</sup>Reynaldi, <sup>2</sup>Yuliadi, <sup>3</sup>Bagaraja Sirait

<sup>1,2,3</sup>Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,

Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116

e-mail: <sup>1</sup>reynalditanjung1@gmail.com, <sup>2</sup>yuliadi\_MS@yahoo.com, <sup>3</sup>bagaraja.sirait@gmail.com

**Abstract.** The Technology Underground Coal Gasification method is a technology will do the in-site coal extraction in form of gass, by direct combustion at the coal seam. However, environmental concerns arise as the combustion process might cause land subsidence due to the occurrence of cavities in the coal seam after combustion. This study was carried out by an experimental method and focused on side rocks surrounding the coal seam which consisted of sandstone, siltstone and claystone. Rock samples were heated in temperatures that vary from 50°C, 100°C - 600°C for 24 hours in the furnace. Uniaxial Compressive Strength test was performed on the samples afterward to determine the changes in rock strength after combustion process is complete. Based on the results, rock sample's physical condition shows a deflationary trend towards rock density after heating, due to the loss of water content that causes fractures on samples. That condition will cause changes in rock strength and lead to land subsidence around the coal gasification site. The most significant changes in rock strength occurred in sample 3 which is sandstone sample where the rock strength before heating is 15,64 MPa and enhance to 41,70 MPa after being heated. Sample 5 which is claystone sample also shows strength enhancement from 6,76 MPa to 20,40 MPa. The results of rock displacement test performed in before-heated-sample show the highest rock displacement of 18,40 cm and 1,60 cm at the lowest. As in after-heated-sample, the results show the highest rock displacement of 9,45 cm and 0,45 cm at the lowest.

**Keywords:** Underground Coal Gasification, Subsidence Land, Rock Strength

**Abstrak.** Teknologi Underground Coal Gasification merupakan teknologi untuk mengekstraksi batubara menjadi gas yang dilakukan secara in-situ, dengan melakukan pembakaran langsung pada lapisan batubara. Tetapi muncul kekhawatiran pada bidang lingkungan, yaitu terjadinya penurunan tanah yang diakibatkan dari terbentuknya rongga pada lapisan batubara yang telah selesai proses pembakaran. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen dan terfokus pada lapisan pengapit batubara yaitu batupasir, batulanau dan batulempung. Sampel batuan akan dipanaskan dari suhu 50°C, 100°C - 600°C selama 24 jam di dalam furnace. Setelah di lakukan pemanasan, di lakukan pengujian Uniaxial Compressive Strength untuk mengetahui perubahan kekuatan batuan yang terjadi setelah selesai pembakaran. Berdasarkan hasil penelitian, kondisi fisik pada sampel setelah dipanaskan memiliki trend penurunan terhadap nilai density, hal tersebut di akibatkan dari hilangnya kadar air dan menimbulkan retakan kecil hingga besar pada sampel. Hal tersebut akan mengakibatkan perubahan kekuatan batuan, dalam penelitian ini karena kekuatan batuan mengalami penurunan sehingga akan terjadi penurunan tanah di sekitar lokasi penambangan dengan metode Underground Coal Gasification. Perubahan kekuatan batuan yang paling signifikan pada sampel 3 pada litologi batupasir sampel sebelum di panaskan memiliki kekuatan batuan sebesar 15,64 MPa dan meningkat menjadi 41,70 MPa, selain itu pada sampel 5 dengan litologi batulempung terjadi peningkatan dari 6,76 MPa menjadi 20,4 MPa, sehingga ketika analisis perpindahan batuan sampel yang sebelum dipanaskan akan memiliki perpindahan batuan yang besar dengan nilai perpindahan tertinggi 18,40 cm, terendah 1,60 cm sedangkan untuk batuan setelah dipanaskan perpindahan terbesar 9,45 cm dan terendah 0,45 cm.

**Kata Kunci :** Underground Coal Gasification, Penurunan Tanah, Kekuatan Batuan

**A. Pendahuluan**

**Latar Belakang**

Batubara merupakan sumber daya yang ketersediaannya lebih

melimpah dibandingkan dengan minyak bumi dan gas alam. Penambangan batubara dapat dilakukan secara konvensional yaitu menggunakan metode tambang terbuka

maupun metode tambang bawah tanah dan disesuaikan dengan rasio pengupasan batubara yang ekonomis, namun tidak akan semua cadangan batubara akan tertambang akibat dari posisi batubara yang terlalu dalam maupun kualitas batubara yang rendah sehingga tidak layak menggunakan metode tambang terbuka maupun tambang bawah tanah.

Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan untuk pemanfaatan batubara yaitu *Underground Coal Gasification* (UCG), merupakan teknologi yang mengekstraksi batubara menjadi gas yang dilakukan secara *in-situ*, dengan melakukan pembakaran langsung pada lapisan batubara tanpa melakukan penggalan *overburden*.

Namun demikian, dengan teknologi ini akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, antara lain terjadinya penurunan permukaan tanah (*subsidence*) akibat terbentuknya rongga reaktor dari pemanasan batubara dengan temperatur yang sangat tinggi, kekuatan batuan akan berubah dan kemungkinan akan mengakibatkan penurunan permukaan tanah pada lapisan pengapit batubara yang dipanaskan.

### Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kondisi batuan terhadap peningkatan suhu.
2. Mengetahui pengaruh perubahan kekuatan batuan akibat pemanasan.
3. Mendapatkan prediksi perpindahan batuan secara vertikal menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*) pada penambangan batubara dengan metode *Underground Coal Gasification*.

## B. Landasan Teori

### Uji Kuat Tekan Uniaksial

Tujuan uji tekan adalah untuk mengukur kuat tekan uniaksial sebuah contoh batuan dalam geometri yang beraturan, baik dalam bentuk silinder, balok atau prisma dalam satu arah (uniaksial). Tujuan utamanya uji ini adalah untuk klasifikasi kekuatan dan karakterisasi batuan utuh. Hasil uji ini menghasilkan beberapa informasi yaitu kurva tegangan regangan, kuat tekan uniaksial, modulus young dan nisbah poisson.

Uji ini menggunakan mesin tekan dan dalam pembebanannya mengikuti standar dari Internasional Society Rock Mechanics (ISRM, 1981). Laju tegangan didefinisikan sebagai perkalian antara laju regangan dengan modulus young (konstanta elastik), dan menurut standar laju tegangan adalah antara 0,5-1,0 MPa/detik. Uji kuat tekan terhadap batuan kuat dan getas (*brittle*) dalam waktu singkat cenderung menghasilkan nilai yang besar.

1. Kuat tekan batuan, dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial. Kuat tekan batuan merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung contoh batuan uji sesaat sebelum runtuh atau hancur dengan kondisi tidak adanya pengaruh tegangan pemampatan. Kuat tekan batuan dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

$\sigma_c$  : Kuat tekan batuan (Mpa)

F : Gaya maksimum sesaat sebelum contoh batuan uji runtuh (kN)

A : Luas permukaan contoh batuan uji yang kontak dengan plat penekan (mm<sup>2</sup>)

2. Modulus young atau modulus elastis adalah kemampuan batuan untuk mempertahankan kondisi elastisnya. Pada uji kuat

tekan uniaksial, contoh batuan yang diberi tekanan akan mengalami beberapa tahap deformasi yakni deformasi elastik dan deformasi plastik. Nilai modulus young diturunkan dari kemiringan kurva tegangan – regangan pada bagian yang linier karena pada saat inilah contoh mengalami deformasi elastis. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai modulus young adalah :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a} \dots\dots\dots (2)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :

E : Modulus young (MPa)

$\Delta\sigma$  : Perbedaan tegangan aksial (MPa)

$\Delta\epsilon_a$  : Perbedaan regangan aksial (%)

$\Delta l$  : Perubahan Panjang contoh batuan uji (mm)

l : Panjang awal contoh batuan uji (mm)

3. Nisbah poisson adalah nilai mutlak dari perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial. Jika suatu material di regangkan pada satu arah, maka material tersebut cenderung mengkerut (jarang mengembang) pada dua arah lainnya. Sebaliknya jika suatu material ditekan, maka material tersebut akan mengembang pada dua arah lainnya pula. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai nisbah poisson yaitu :

$$\nu = \frac{\epsilon_l}{\epsilon_a} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan :

$\nu$  : Nisbah Poisson

$\epsilon_l$  : Regangan lateral (mm)

$\epsilon_a$  : Regangan aksial (mm)

### Pengaruh Kekuatan Batuan Terhadap Temperatur

Kekuatan batuan ditentukan berdasarkan faktor-faktor seperti komposisi mineral, karakteristik struktural dan tekstur termasuk ukuran butir, porositas, rekahan, kekuatan unsur mineral yang diberikan dan sifat ikatannya, faktor-faktor yang disebutkan tadi memiliki kesamaan untuk menentukan kekuatan batuan dalam pengaruh temperatur (Dimitriyev et al. 1969; Chmura, Chudek 1992; Pinińska 2007; Małkowski, Kamiński, Skrzypkowski 2012).

Dalam penelitian oleh Anna Sygala, 2014 menyatakan bahwa efek dari pemanasan dengan temperatur yang tinggi pada batuan akan adanya faktor tambahan yang mempengaruhi kekuatan yaitu ekspansi termal mineral termasuk dalam komposisi batuan yang diberikan. Di bawah pengaruh temperatur, tergantung pada koefisien ekspansi termal, komponen mineral akan terjadi peningkatan kontak permukaan antar partikel, hal ini akan menyebabkan perubahan struktural yang berdampak pada perubahan nilai kuat tekan batuan dan density pada batuan tersebut. Selain deformasi struktural, terjadi perubahan sifat fisik (perubahan bentuk, volume, massa, kecepatan gelombang elastik melalui medium batuan) yang disebabkan dikarbonisasi batuan.

### Underground Coal Gasification

*Underground Coal Gasification* (UCG) mengkonversi batubara secara in-situ menjadi produk gas, umumnya dikenal sebagai gas sintesis (CO dan H<sub>2</sub>) atau syngas melalui reaksi kimia yang sama dengan gasifiers permukaan. Gasifikasi mengubah hidrokarbon menjadi syngas pada suhu dan tekanan tinggi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar cair. Gasifikasi memberikan banyak kesempatan untuk

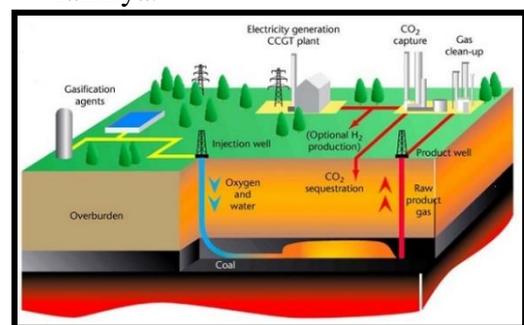
mengendalikan pencemaran, terutama berkenaan dengan emisi sulfur, oksida, nitrat dan merkuri. UCG dapat meningkatkan sumber daya batubara yang tersedia untuk pemanfaatan batubara yang tak mungkin ditambang karena kondisi geologi dan keekonomisan (Burton, dkk, 2004).

Gambar 1 merupakan gambaran umum penerapan teknologi UCG ini dan terdapat enam tahapan yang dapat dilakukan, yaitu:

1. Eksplorasi batubara, tahap ini dilakukan pencarian batubara yang berpotensi untuk dilakukan penerapan teknologi UCG dan sesuai dengan persyaratan untuk penerapan teknologi UCG ini.
2. Pengeboran, tahap ini dianggap salah satu langkah utama dalam eksploitasi batubara dengan UCG. Pengeboran ini membuat dua lubang bor yang mana berfungsi sebagai sumur injeksi (*injection wells*) dan sumur produksi (*production wells*)
3. Menghubungkan dua lubang bor (*linkage*), tahap ini dilakukan penyatuan sumur injeksi (*injection wells*) dan sumur produksi (*production wells*) dengan dua cara yaitu, pertama *linked vertikal wells* (LVW) dimana injeksi dan sumur produksi langsung dihubungkan.
4. Pembakaran batubara, tahap pembakaran dilakukan dengan memasukan panas, oksigen atau nitrogen ataupun steam kedalam rongga melalui sumur injeksi. Pada proses pembakaran ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *reverse combustion* dan *forward combustion*. Pembakaran dilakukan pada suhu  $700^{\circ}\text{C}$  –  $1000^{\circ}\text{C}$ , sehingga pembakaran ini menghasilkan gas yang disalurkan melalui sumur

produksi berupa hidrogen ( $\text{H}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ).

5. Injeksi oksigen atau udara dan uap air, tahap ini saling berkaitan dengan proses pembakaran. Injeksi oksigen dan uap air ini yang menjadi sumber untuk proses pembakaran.
6. Ekstraksi gas sintesis, proses ini dilakukan pada reaktor-reaktor yang berfungsi untuk menyaring gas agar tidak terkontaminasi dengan ash dan kontaminasi lainnya.



Sumber : Linc Energy dalam Campbell Gemmel, 2016

**Gambar 1.** Proses Produksi Underground Coal Gasification

Ada beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan sebagai bahan untuk pemilihan teknologi UCG di Indonesia, yaitu :

1. Lapisan atas dan bawah yang *impemeable*
2. Ketebalan batubara > 5 meter
3. Kedalaman lapisan batubara > 200 meter
4. Cadangan batubara harus lebih dari 150 juta ton
5. Kondisi struktur geologi tidak kompleks
6. Kadar abu + air < 60%

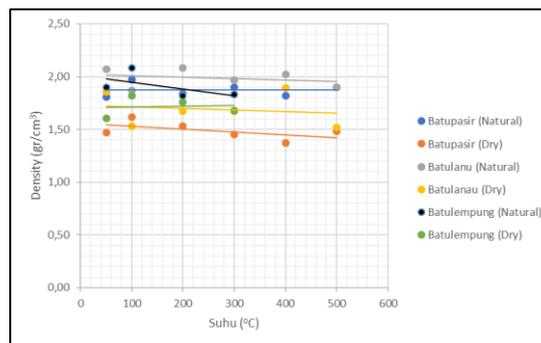
### Penurunan Tanah Akibat Gasifikasi Batubara Bawah Tanah

Proses gasifikasi bawah tanah merupakan kegiatan yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan

massa batuan. Dampak negatif yang akan timbul pada lingkungan yaitu subsidence. Pada lapisan permukaan di sekitar UCG, potensi penurunan akan sangat kecil dibandingkan dengan aktifitas tambang bawah tanah. Menurut Friedman (2005) kasus penurunan tanah untuk kedalaman tertentu belum pernah ditemukan dan hal ini dapat diabaikan. Meskipun demikian resiko penurunan tanah mungkin saja terjadi, seperti dalam pemodelan numerik yang diteliti oleh Ren, dkk., (2003). Pada saat proses UCG, rongga-rongga bawah tanah akan terbuka akibat pembakaran lapisan batubara yang menyebabkan terjadinya tekanan massa batuan di sekitarnya dan tekanan ini akan membentuk rongga baru yang akan didistribusikan kembali. Sebelum rongga tersebut terbuka, tegangan insitu terdistribusi secara merata disekitar area batuan. Setelah hilangnya lapisan batubara dan membentuk rongga, tekanan yang berada disekitar rongga seketika berubah dan tekanan baru terjadi dan terdistribusi mengikuti pola rongga yang muncul (Van der Riet, 2008). Nilai-nilai tegangan ini bervariasi tergantung pada kedalaman, kondisi struktur dan sifat-sifat geoteknik dari massa batuan sekitar rongga UCG. Tekanan yang muncul adalah kuat tarik dan tekan dari massa batuan yang menjadi penyebab keruntuhan dan berpotensi menyebabkan perluasan ke arah horizontal dan vertikal dari rongga dan akhirnya akan dapat menyebabkan subsidence di atas rongga (Hoek 2000, Navarro, dkk., 2011). Secara umum apabila proses ekstraksi semakin dalam, maka terjadinya penurunan permukaan akan menurun.

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

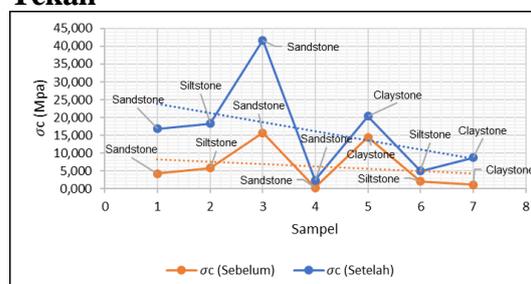
#### Analisa Karakteristik Batuan



**Gambar 2.** Pengaruh *Density* Terhadap Suhu

Pada Gambar 2, nilai density memiliki penurunan di setiap litologi, hal tersebut akan terjadi akibat dari air yang menguap dari pori-pori batuan, menurut Tian (2013) penguapan air pori tidak lebih dari 200°C, sehingga penurunan massa batuan pada pengaruh termal di atas 200°C dapat disebabkan oleh perubahan komposisi kimia batuan yang mengalami disintegrasi menjadi oksida bebas, karbon dioksida atau uap air.

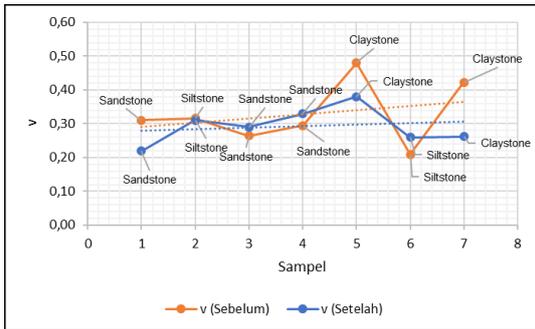
#### Pengaruh *Thermal* Terhadap Kuat Tekan



**Gambar 3.** Nilai Kekuatan Batuan Sebelum dan Setelah Pemanasan

Pada Gambar 3, terlihat trend keduanya menurun. Nilai kuat tekan setelah dilakukan pemanasan terjadi peningkatan kekuatan dibandingkan nilai kuat tekan sebelum dilakukan pemanasan. Peningkatan kekuatan batuan ini terjadi akibat kondisi batuan ketika sebelum pemanasan dan setelah pemanasan terjadi penurunan density, sehingga batuan yang memiliki kadar air yang rendah akan mengalami peningkatan kekuatan batuan.

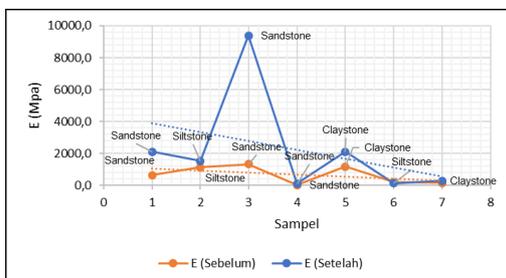
### Pengaruh Thermal Terhadap Nilai Poisson's Ratio



**Gambar 4.** Nilai v Sebelum dan Setelah Pemanasan

*Poisson's ratio* merupakan gambaran kekuatan yang dimiliki pada conto uji. Pada Gambar 4 terlihat kecenderungan nilainya berbanding terbalik dengan nilai kuat tekan batuan, kedua sampel sebelum dan sesudah dipanaskan memiliki kecenderungan naik. Ukuran butir merupakan faktor utama yang dapat mempengaruhi.

### Pengaruh Thermal Terhadap Nilai Modulus Elastisitas

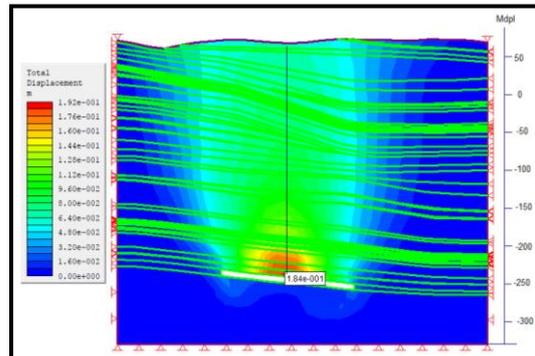


**Gambar 5.** Nilai Modulus Elastisitas Sebelum dan Setelah Pemanasan

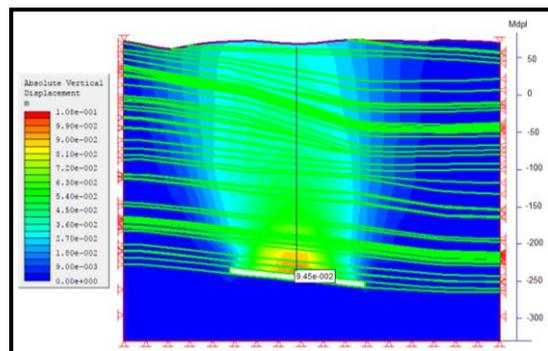
Besarnya nilai modulus elastisitas dipengaruhi oleh tegangan yang mampu diterima serta regangan yang terjadi akibat tegangan tersebut. Pada gambar 5, terlihat seluruh kondisi batuan memiliki kesamaan dengan kekuatan batuan ( $\sigma_c$ ), maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan batuan akan berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas.

### Nilai Perpindahan Batuan Secara Vertikal

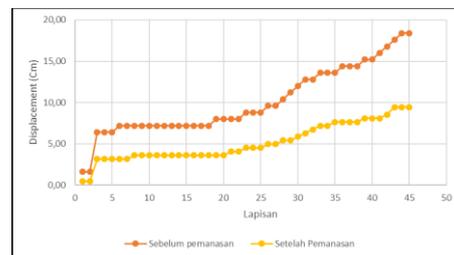
Titik pengamatan untuk melihat perpindahan batuan sebanyak 45 titik yang berada di atas lubang reaktor dan garis tengah menandakan posisi pengamatan. Gambar 6 dan Gambar 7 merupakan hasil model perpindahan batuan.



**Gambar 6.** Hasil Pemodelan Sebelum Pemanasan



**Gambar 7.** Hasil Pemodelan Setelah Pemanasan



**Gambar 8.** Nilai Perpindahan Batuan Sebelum dan Setelah Pemanasan

Pada Gambar 8, terlihat terjadinya penurunan perpindahan batuan pada sampel setelah dilakukan pemanasan. Untuk sampel sebelum dilakukan pemanasan terjadi penurunan tanah paling besar 18,4 cm pada lapisan 45 dengan litologi batulempung,

sedangkan untuk sampel setelah dilakukan pemanasan penurunan tanah berkurang menjadi 9,45 cm pada lapisan yang sama. Penurunan nilai ini terjadi karena pengaruh kekuatan batuan dimana sampel yang telah dipanaskan memiliki kekuatan batuan yang lebih besar di dibandingkan dengan sampel sebelum dipanaskan, sehingga penurunan tanah tidak akan begitu besar.

#### D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi fisik batuan memiliki perubahan warna, dimana semakin tinggi pemberian panas pada sampel maka kondisi sampel batuan akan memiliki warna yang lebih cerah dan semakin tinggi pemanasan pada sampel, nilai density batuan akan menurun, maka kerusakan pada batuan akan terlihat jelas seperti retakan-retakan halus sampai retakan besar karena hilangnya kadar air pada sampel tersebut. Dari ketiga litologi yang diteliti batupasir cenderung terlihat tidak banyak retakan dibandingkan dengan litologi lainnya.
2. Dalam penelitian ini di dapatkan bahwa, suhu berpengaruh terhadap nilai kuat tekan, untuk lapisan 1 litologi batupasir sampel sebelum pemanasan kuat tekan sebesar 4,23 MPa dan setelah pemanasan menjadi 16,83 MPa, lapisan 2 litologi batulanau sampel sebelum pemanasan, kuat tekan sebesar 5,75 MPa dan setelah pemanasan menjadi 18,31 MPa, lapisan 3 litologi batupasir sampel sebelum pemanasan 15,64 MPa menjadi 41,70 MPa, lapisan 4 litologi batupasir

sampel sebelum pemanasan 0,23 MPa menjadi 2,37 MPa, lapisan 5 litologi batulempung sebelum pemanasan 14,40 MPa menjadi 20,4 MPa, lapisan 6 litologi batulanau sebelum pemanasan 2,06 MPa menjadi 4,92 MPa dan lapisan 7 litologi batulempung dengan sampel sebelum pemanasan 1,11 MPa menjadi 8,69 MPa.

3. Hasil dari pemodelan numerik untuk memprediksi nilai penurunan permukaan tanah yang akan terjadi akibat proses Underground Coal Gasification, didapatkan nilai perpindahan batuan paling besar pada lapisan 45 dengan litologi batulempung sebesar 18,40 cm untuk sampel sebelum dipanaskan dan 9,45 cm untuk sampel setelah dipanaskan, untuk lapisan paling atas terjadi penurunan tanah sebesar 1,60 cm untuk sampel sebelum dipanaskan dan 0,45 cm untuk sampel setelah dipanaskan. Ketebalan batuan pengapit batubara dan kekuatan batuan sangat berpengaruh terjadinya penurunan tanah.

#### E. Saran

1. Diperlukan penelitian lanjut mengenai dampak terhadap lingkungan.
2. Diperlukan penelitian lanjut untuk menambah keyakinan terhadap kekuatan batuan pada lokasi penelitian terutama pada litologi batulempung.

#### Daftar Pustaka

- Zulfahmi, Huda M, dkk, 2014, "Pengembangan Aplikasi Teknologi Underground Coal Gasification (UCG) di Indonesia Tahap 1". Puslitbang tekMIRA, Bandung.
- Rai, M.D, Ridho H.W, Karmadirata S,

- 2014, "Mekanika Batuan". Institut Teknologi Bandung.
- Tian, H, 2013, "Development of a thermo-mechanical model for rocks exposed to high temperatures during underground coal gasification". Thesis, RWTH Aachen University, Aachen, Germany.
- Zulfahmi, 2018, "Model Kekuatan Batuan Pengapit Batubara Sebagai Respon Termal Pada Proses Underground Coal Gasification (UCG) Studi Kasus Batuan Dari Formasi Muara Enim Cekungan Sumatera Selatan". Disertasi, Universitas Padjadjaran.
- Ranjith, P.G, Daniel R.V, dkk, 2012, "Transformation Plasticity and the Effect of Temperature on the Mechanical Behaviour of Hawkesbury Sandstone at Atmospheric Pressure". *Engineering Geology Elsevier* B.V. 151:120-127.
- Su, H.J, Jing H.W, dkk, 2015, "Size Effect of Sandstone after High Temperature Under Uniaxial Compression". *J. Cent. South University*.
- Yilmaz, G, 2011, "The Effect of Temperature on the Characteristics of Kaolinite and Bentonite". *Scientific Research and Essays* 6(9): 1928-1939.
- International Society for Rock Mechanics. 1981. "Methods to Determine The Uniaxial Compressive Strength of Rocks". Norway: *J. Appl. Sci.*
- Badra, L.M, 2015, "Studi Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Termal, Fisik dan Mekanik Pada Contoh Batuan Uji di Laboratorium", Skripsi, Institut Teknologi Bandung.
- Tian, H, Kempka, T, dkk, 2011, "Study on Ground Subsidence Development During and After Underground Coal Gasification. RWTH Aachen University, EGU2011-1277.
- Sirdesai, N.N, Singh T.N, dkk, 2015, "Numerical and Experimental Study of Strata Behavior and Land Subsidence in an Underground Coal Gasification Project", Research Gate.
- Moein, S.E, 2016, "Geomechanical Modeling of Underground Coal Gasification". Thesis, University of Calgary. Canada.
- Anna, S, Miroslawa B, dkk, 2013, "High Temperature Versus Geomechanical Parameters of Selected Rocks". *Journal of Sustainable Mining*, Vol.12(2013) 45-51.
- Aramide, F, 2012, "Effect of Firing Temperature on Mechanical Properties of Fired Masonry Bricks Produced from Ipetumodu Clay" *Leonardo Journal of Sciences*, ISSN 1583-0233 Hal:70-82.
- Whittaker, B.N, Reddish D.J, 1989, "Subsidence: Occurrence, prediction and Control", Elsevier.