

**Studi Pengaruh Thermal terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas
Batuan di Lokasi Underground Coal Gasification, Desa Macangsakti,
Kecamatan Sanga Desa, Kabupaten Musi Banyuasin,
Provinsi Sumatera Selatan**

Study of Thermal Effect to Rocks Permeability Coefficient Value in Location
Underground Coal Gasification, Macang Sakti Village, Sanga Desa District, Musi
Bayuasin Regency, South Sumatera Province

¹Adi Sutrisno, ²Dudi Nasrudin Usman, ³Nendaryono Mediotomo

^{1,2,3} Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung

Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

email : ¹adisutrisno22@gmail.com, ²nendar@tekmira.esdm.go.id, ³dudi.nasrudin.usman@gmail.com

Abstract : Underground coal gasification (UCG) is a nonkonvensional technology that converts coal into a synthetic gas directly below the ground. The process of burning coal directly underneath the ground will have an impact against the rock condition around the combustion cavity. This research aims to analyze the effect of thermal coefficient of permeability of rocks in coal gasification underground location. The test variables to support a study of the influence of the thermal coefficient of permeability rocks are litologi and temperature. Type litologinya consists of sandstones, siltstone and claystone with temperature 100°-600°C. Falling head permeameter tests performed on samples before and after being heated. The process of heating a sample done for four hours with variations of temperature 100° - 600°C. Based on the test results, in general the value of the coefficient of permeability with litologi sandstones, siltstone and claystone decline. Change the value of the coefficient of permeability most significant occurred on the litologi sandstones with heating temperature 100 ° C, where it is heated before of 1,244E-02 cm/s and after being heated 2.377E-6 cm/s with changes in the value of the coefficient of permeability of 99.98%. While the increase in the value of the coefficient of permeability occurs when samples of the rocks reach the limits of resilience against thermal, thermal resistance of rocks against the limits with litologi sandstones occur at a temperature of 600 ° C, siltstone (500 ° C) and claystone (100 ° C). Changes the value of the coefficient of permeability of this impact against potential groundwater intrusion discharge that will enter into the combustion cavity UCG. The potential groundwater intrusion discharge in the greatest LB-15 occurred when the heating is carried out at a temperature of 600°C with a time of four hours, i.e. warming of 7.127E-02 m³/s and the smallest discharge potential of 4.127E-04 m³/s occur when the heating temperature of 300°C with a time of four hours of warming.

Key words: thermal, coefficient permeability, underground coal gasification

Abstrak : *Underground coal gasification* (UCG) adalah suatu teknologi nonkonvensional yang mengkonversi batubara menjadi gas sintesis secara insitu. Proses pembakaran batubara secara langsung di bawah tanah akan berdampak terhadap kondisi batuan di sekitar rongga pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *thermal* terhadap nilai koefisien permeabilitas batuan di lokasi *underground coal gasification*. Variabel pengujian untuk mendukung studi pengaruh *thermal* terhadap nilai koefisien permeabilitas batuan antara lain adalah litologi dan temperatur. Jenis litologinya terdiri dari batupasir, batulanau dan batulempung dengan temperatur (suhu) 100°- 600°C. Pengujian *falling head permeameter* dilakukan pada sampel sebelum dan setelah dipanaskan. Proses pemanasan sampel dilakukan selama empat jam dengan variasi suhu 100°- 600°C. Berdasarkan hasil pengujian, secara umum nilai koefisien permeabilitas dengan litologi batupasir, batulanau dan batulempung mengalami penurunan. Perubahan nilai koefisien permeabilitas paling signifikan terjadi pada litologi batupasir dengan suhu pemanasan 100°C, dimana sebelum dipanaskan sebesar 1.244E-02 cm/s dan setelah dipanaskan menjadi 2.377E-06 cm/s dengan perubahan nilai koefisien permeabilitas sebesar 99.98%. Sedangkan peningkatan nilai koefisien permeabilitas terjadi ketika sampel batuan mencapai batas ketahanannya terhadap *thermal*, batas ketahanan batuan terhadap *thermal* dengan litologi batupasir terjadi pada suhu 600°C, batulanau (500°C) dan batulempung (100°C). Perubahan nilai koefisien permeabilitas ini berdampak terhadap potensi debit intrusi air tanah yang akan masuk ke dalam rongga pembakaran UCG. Potensi debit intrusi air tanah pada terbesar LB -15 terjadi ketika pemanasan dilakukan pada suhu 600°C dengan waktu pemanasan empat jam yaitu sebesar 7.127E-02 m³/s dan potensi debit terkecil sebesar 4.127E-04 m³/s terjadi pada saat pemanasan suhu 300°C dengan waktu pemanasan empat jam.

Kata Kunci : *thermal, koefisien permeabilitas, underground coal gasification*

A. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumberdaya alam yang sangat melimpah, salah satunya adalah batubara. Potensi sumberdaya batubara di Indonesia memiliki jumlah yaitu 161 miliar ton dan apabila dihitung sampai kedalaman 1000 mdpl maka diperkirakan jumlah total sumberdaya batubara yang ada di Indonesia yaitu 280 miliar ton (Badan Geologi, 2012). Namun dengan jumlah sumberdaya yang begitu banyak, 119 milyar ton batubara tersebut tidak layak untuk di tambang secara konvensional tambang terbuka maupun tambang bawah tanah (Puslitbang tekMIRA, 2014). Potensi sumberdaya batubara yang tidak layak menggunakan metode tambang terbuka dan bawah tanah ini dapat dikembangkan dengan teknologi *underground coal gasification* (UCG). Proses pembakaran batubara secara langsung di bawah tanah akan mempengaruhi kondisi batuan di sekitar area pembakaran sehingga dapat merubah nilai koefisien permeabilitas dari batuan sekitarnya.

Tujuan dalam penelitian ini diantaranya adalah :

1. Mengetahui dan membandingkan nilai koefisien permeabilitas pada suhu kamar dan pada suhu 100-600°C
2. Mengetahui kondisi batuan setelah mengalami pengaruh *thermal* pada variasi suhu 100-600°C
3. Mengetahui jenis akuifer yang berada di sekitar batubara target berdasarkan batuan pengapitnya.
4. Menghitung potensi debit intrusi air tanah pada variasi suhu 100-600°C

B. Landasan Teori

Teknologi Underground Coal Gasification

Teknologi UCG merupakan teknologi nonkonvensional yang mengkonversi batubara menjadi gas sintetis atau *syngas* secara insitu sehingga tidak memerlukan proses penggalan batuan penutup yang memakan banyak biaya jika batubara berada jauh di bawah permukaan. Selain itu, teknologi ini pula memiliki banyak keunggulan diantaranya yaitu tidak memerlukan lahan yang luas, infrastruktur tidak banyak, ramah lingkungan dan tidak memerlukan sumberdaya manusia sebanyak tambang konvensional. Penerapan teknologi UCG terdiri dari tahapan pemilihan lokasi, *vertical drilling*, *well linking*, pembakaran dan produksi. Pemilihan lokasi merupakan tahapan yang memegang peranan penting dalam penerapan UCG dimulai dari kecocokan daerah yang sesuai dengan persyaratan penerapan UCG dan juga pemilihan lokasi yang tepat dapat meminimalisir biaya pengelolaan lingkungan. Penerapan teknologi ini memiliki resiko yang dapat mempengaruhi lingkungan sekitar, dampak utamanya ialah penurunan permukaan tanah (*subsidence*) dan pencemaran air tanah (*ground water pollutant*).

Untuk melakukan teknologi UCG terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, adapun persyaratan tersebut dapat dilihat pada tabel 1 :

Tabel 1. Persyaratan Penerapan Teknologi UCG

No.	Persyaratan Penerapan UCG
1	Kondisi geologi struktur yang tidak kompleks
2	Batubara memiliki kedalaman lebih dari > 250 meter
3	Batubara memiliki ketebalan minimal 5 m

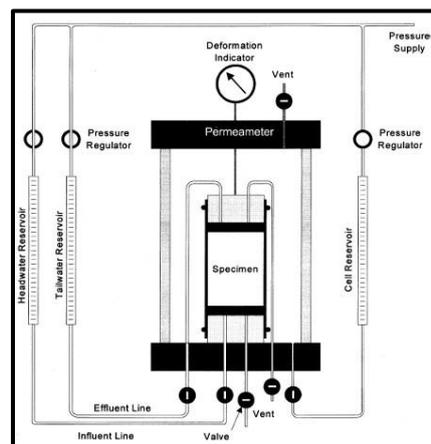
4	Batuan pengapit batubara harus kuat
No.	Persyaratan Penerapan UCG
5	Batubara memiliki kadar abu + air < 60%
6	Terisolasi dari lapisan akuifer yang berharga

Sumber: Puslitbang tekMIRA, 2014

Koefisien Permeabilitas

Koefisien permeabilitas merupakan suatu nilai konstan suatu media berpori pada satu satuan gradien hidrolis, konduktivitas hidrolis memiliki satuan panjang/waktu (L/T). Pada Hukum Darcy dijelaskan tentang kemampuan air untuk mengalir pada rongga-rongga (pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang mempengaruhinya, dengan simbol K dinyatakan sebagai konduktivitas hidrolis dari media berpori.

Nilai koefisien permeabilitas suatu batuan dapat diuji di lapangan dan dapat pula dilakukan di laboratorium. Pengujian permeabilitas di laboratorium dapat dilakukan dengan menggunakan *falling head permeameter*. Permeabilitas dapat ditentukan nilai granularnya dengan cara membandingkan antara tinggi awal muka air dengan tinggi akhir setelah mengalami perubahan tinggi muka air. Pengujian permeabilitas dengan menggunakan *falling head permeameter* ini dilakukan pada volume air yang kecil mengalir pada sampel. Lama penurunan muka air yang terjadi pada saat pengujian dihitung sehingga didapat nilai koefisien permeabilitas sampel yang di uji tersebut.



Sumber : American Standard Test Material D 5084 – 03, 2008

Gambar 1. Falling Head Permeameter

Adapun rumus yang digunakan untuk permeabilitas ini adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{2,30 aL}{At} \times \log \frac{h_1}{h_2}$$

Keterangan

- k : Koefisien permeabilitas (cm/det)
- L : Tinggi sampel (cm)
- A : Luas permukaan sampel (cm²)
- t : Waktu penurunan muka air (s atau detik)
- h₁ : Tinggi muka air awal (cm)
- h₂ : Tinggi muka air akhir (cm)

a : (Q_{out}/h_1-h_2)

Akuifer Tertekan

Akuifer tertekan (*confined aquifer*), akuifer ini memiliki lapisan akuiklud yang mengapit pada lapisan bawah dan atas akuifer, sehingga air akan tertahan pada akuifer. Untuk mencari nilai debit ataupun permeabilitas pada akuifer tertekan ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

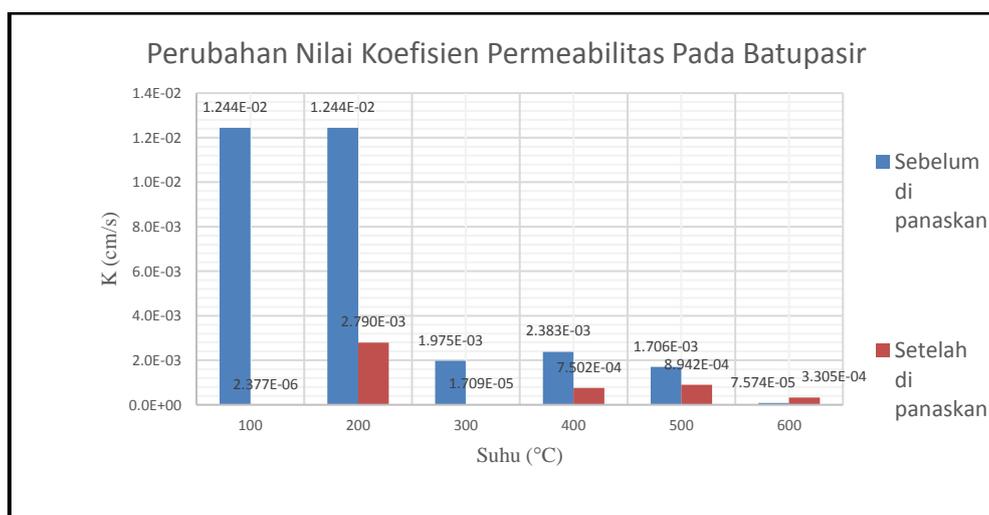
$$Q = K \times b \left(\frac{h_A - h_B}{L} \right) \times w$$

Keterangan

Q : Debit (m³/det)
 K : Konduktivitas hidrolik (m/det)
 b : Tebal (m)
 h_A - h_B : Perbedaan tinggi tekanan (m)
 L : Jarak tempuh aliran (m)
 w : Lebar akuifer (m)

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

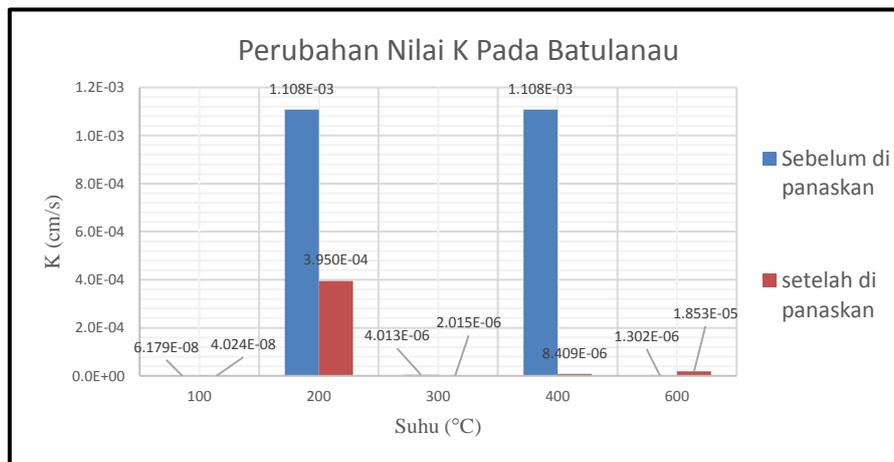
1. Pengaruh Thermal Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas Pada Batupasir



Gambar 2. Perubahan Nilai Koefisien Permeabilitas Pada Batupasir

Berdasarkan gambar 2 terlihat bahwa nilai koefisien permeabilitas batupasir sebelum dipanaskan lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien permeabilitas setelah dilakukan pemanasan. Perubahan nilai koefisien permeabilitas yang menjadi semakin kecil, membuktikan bahwa pengaruh *thermal* membuat batuan menjadi lebih kuat dan sulit dilalui oleh fluida, karena ikatan butir (kohesi) pada batuan menjadi semakin besar. Perubahan nilai koefisien permeabilitas signifikan terjadi pada saat pemanasan pada suhu 100°C. Sedangkan pada pemanasan suhu 600°C, nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien permeabilitas pada saat sebelumnya. Hal ini disebabkan batupasir sudah melewati batas ketahanannya terhadap *thermal*, sehingga ikatan butir (kohesi) saling terlepas dan terjadi retakan-retakan pada batuan yang dapat menjadi media bagi fluida untuk mengalir.

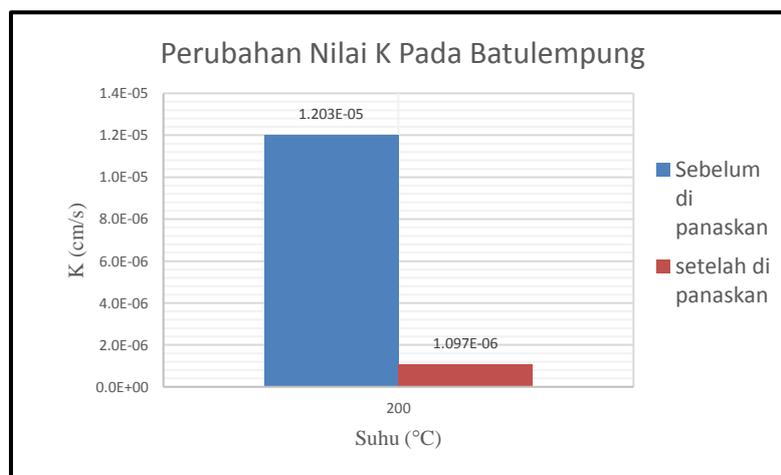
2. Pengaruh *Thermal* Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas Pada Batulanau



Gambar 3. Perubahan Nilai Koefisien Permeabilitas Pada Batulanau

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa nilai koefisien permeabilitas batulanau sebelum dipanaskan lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien permeabilitas setelah dilakukan pemanasan. Perubahan nilai koefisien permeabilitas yang menjadi semakin kecil, membuktikan bahwa pengaruh *thermal* membuat batuan menjadi lebih kuat dan sulit dilalui oleh fluida, karena ikatan butir (kohesi) pada batuan menjadi semakin besar. Perubahan nilai koefisien permeabilitas signifikan terjadi pada saat pemanasan pada suhu 200°C dan 400°C . Sedangkan pada pemanasan suhu 100°C dan 300°C nilai koefisien permeabilitas relatif sama. Pada suhu 500°C tidak terdapat data nilai koefisien permeabilitas setelah dipanaskan karena sampel sudah hancur akibat panas. Pada pemanasan suhu 600°C, nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien permeabilitas pada saat sebelum dipanaskan. Hal ini disebabkan batulanau sudah melewati batas ketahanannya terhadap *thermal* (500°C), sehingga ikatan butir (kohesi) pada batuan saling terlepas dan terjadi retakan-retakan pada batuan yang dapat menjadi media bagi fluida untuk mengalir.

3. Pengaruh *Thermal* Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas Pada Batulempung



Gambar 4. Perubahan Nilai Koefisien Permeabilitas Pada Batulempung

Pengaruh thermal terhadap batulempung sangat terlihat dari banyaknya batuan yang hancur setelah dipanaskan, dimana batulempung yang berasal dari LB-15 hancur semua setelah dipanaskan. Hal ini menunjukkan bahwa batulempung pada LB-15 memiliki daya tahan terhadap panas yang sangat rendah. Namun pada LB-07 terdapat batulempung yang dapat di uji *falling head permeameter* walaupun mengalami retakan-retakan kecil pada batuananya. Perubahan nilai koefisien permeabilitas pada suhu 200°C menjadikan nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih kecil dibandingkan dengan keadaan semula.

4. Pengaruh Thermal Terhadap Ketahanan Batupasir, Batulanau dan Batulempung

Berdasarkan gambar 1,2 dan 3 dapat diketahui ketahanan masing-masing batuan. Dimana semakin kecil ukuran butir suatu batuan maka semakin rendah pula daya tahan batuan tersebut terhadap *thermal*. Hal ini dapat dilihat dari batupasir yang retak pada suhu 600°C, batulanau pada suhu 500°C dan batulempung pada suhu 100°C pada LB-15. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin kecil ukuran butir suatu batuan maka semakin rendah pula daya tahannya terhadap panas.

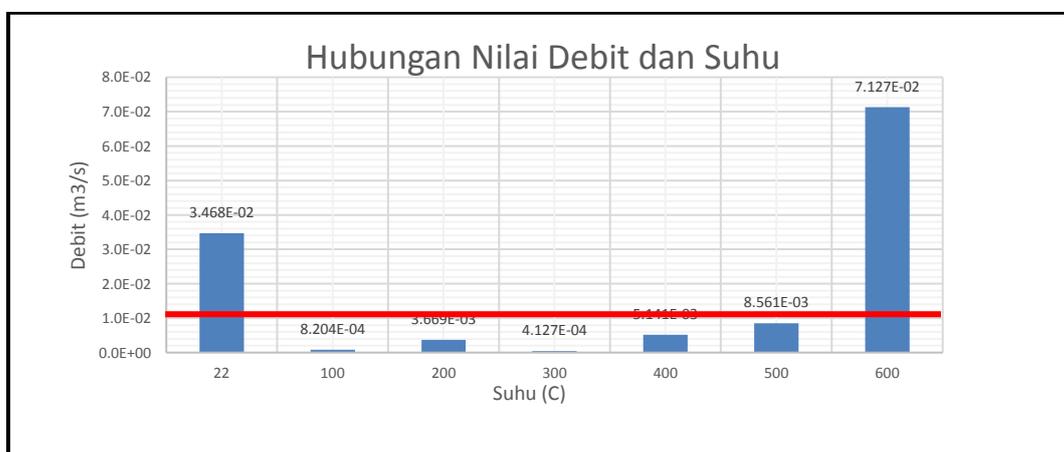
5. Pengaruh Thermal Terhadap Intrusi Air Tanah

Perubahan nilai koefisien permeabilitas akibat thermal dapat pula merubah debit intrusi air tanah yang akan masuk ke dalam reaktor UCG.

Tabel 2. Potensi Debit Pada Variasi Suhu

Suhu	K (m/s)	Debit (m ³ /s)
22	1.159E-05	3.468E-02
100	1.041E-06	8.204E-04
200	9.599E-07	3.669E-03
300	3.817E-07	4.127E-04
400	1.345E-06	5.141E-03
500	2.239E-06	8.561E-03
600	1.865E-05	7.127E-02

Berdasarkan table diatas dapat diketahui bahwa debit intrusi air tanah paling besar terjadi pada keadaan pemanasan suhu 600°C yaitu sebesar 7.127E-02 m³/s dan potensi debit terkecil terjadi pada pemanasan suhu 300°C dengan lama waktu pemanasan empat jam yaitu sebesar 4.127E-04 m³/s.



Gambar 6. Grafik Hubungan Debit dan Suhu

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa secara umum peningkatan suhu menyebabkan potensi debit intrusi air tanah menjadi semakin kecil dibandingkan dengan keadaan normal (suhu kamar) dimana pada grafik diatas potensi debit intrusi air tanah pada suhu kamar ditandai dengan garis berwarna merah. Hal ini menandakan batuan menjadi lebih sulit untuk meloloskan air sehingga debit yang akan masuk menjadi semakin kecil. Namun pada *thermal* suhu 600°C, potensi debit intrusi air tanah lebih besar dibandingkan dengan debit pada suhu kamar. Hal ini disebabkan karena batupasir dan batuan lainnya sudah melewati batas ketahanannya terhadap *thermal* sehingga struktur batuan mulai mengalami retakan-retakan yang dapat menjadi media yang dapat dilalui oleh air sehingga debit pada suhu ini meningkat signifikan

D. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil pengamatan studi pengaruh thermal terhadap nilai koefisien permeabilitas pada batuan di lokasi sekitar UCG, yaitu :

1. Pengaruh thermal terhadap nilai koefisien pada (1) Litologi batupasir, pada thermal suhu 100-500°C nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih kecil dan pada suhu 600°C nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih besar. (2) Litologi batulanau, pada thermal suhu 100-400°C nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih kecil dan pada suhu 600°C nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih besar. (3) Litologi batulempung, pada thermal suhu 200°C perubahan nilai K menurun dari 1.203E-05 cm/s menjadi 1.097E-06 cm/s
2. Perubahan fisik kondisi batuan setelah pemanasan sangat terlihat dari perubahan warna menjadi lebih gelap terbakar sampai menjadi lebih terang dan struktur batuan yang menjadi terdapat retakan-retakan. Berdasarkan ketahanannya terhadap panas batupasir menjadi batuan yang lebih tahan terhadap panas dibandingkan dengan batulanau dan batulempung pada lokasi pengamatan.
3. Berdasarkan batuan pengapitnya target batubara reaktor UCG merupakan akuifer tertekan.
4. Intrusi air tanah yang masuk ke dalam rongga pembakaran UCG yaitu sebesar 3.468E-02 m³/s (suhu kamar), 8.204E-04 m³/s (100°C), 3.669E-03 m³/s (200°C), 4.127E-04 m³/s (300°C), 5.141E-03 m³/s (400°C), 8.561E-03 m³/s (500°C), 7.127E-02 m³/s (600 C).

E. Saran

1. Sebaiknya conto uji harus terjaga agar terhindar dari kerusakan fisik atau hancur. Agar data yang diperoleh menjadi lebih akurat.
2. Sebaiknya conto uji untuk pengujian nilai koefisien permeabilitas memiliki diameter dan tebal yang sama agar sesuai dengan ketentuan.

Daftar Pustaka

- Anonim A, 2008, "Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter", American Standard Test Material D 5084 – 03, Pennsylvania
- Bennet, Gordon D, 1989, "Introducing To Ground-Water Hydraulics", US Geological Survey, Denver.
- Gemmell, Campbell, 2016, "Independent Review of Underground Coal Gasification Report", A Report to The Scottish Government, Edinburgh.
- Fetter ,C.W,2001. "Applied Hydrogeology 4th Edition". New Jersey : Practice Hall, inc.
- Jin Yu, dkk, 2015, "Experimental Investigation On Mechanical Properties and

Permeability Evolution Of Red Sandstone After Heat Treatments”, Journal of Zheijang University.

Nendaryono M, Zulfahmi, dkk, 2014, Pengembangan Aplikasi Teknologi Underground Coal Gasification (UCG) di Indonersia Tahap I”, Puslitbang Tekmira, Bandung,

Nendaryono M, Zulfahmi, dkk, 2016, Pengembangan Aplikasi Teknologi Underground Coal Gasification (UCG) di Indonersia Tahap II”, Puslitbang Tekmira, Bandung,

Wulansari, Ismaria Endah, 2016, “Kajian Pengaruh Permeabilitas Batuan Terhadap Intrusi Air Tanah pada Reaktor Underground Coal Gasification (UCG) di Spot 2”, Universitas Islam Bandung, Bandung