

Pengaruh Pengurangan *Setting Time (Wait on Cement)* pada Semen Tahan Api dengan Penambahan *Oil Well Cement*

The Effect of Reducing *Setting Time (Wait on Cement)* on Fire Mortar by Increasing *Oil Well Cement*

Bayu Rahmadika¹, Irvani¹, Yayuk Apriyanti²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Bangka Belitung

Abstract

Underground Coal Gasification (UCG) is a technology to extract coal deposits in the form of gas from mineral deposit without disassembling of overburden. There are some initial processes in UCG, one of them is cementing to glue the casing into the formation. This research-based laboratory using cement mixture that consists of Fire Mortar as the main ingredients with added Oil Well Cement (OWC) by 40%, 42.5%, 45%, 47.5%, 50%, 52.5%, 55%, 57.5% and 60% of the total weight of the cement mixture. Cement samples were then tested with hydration heat test, furnace test at temperatures of 300°C to 900°C and UCS test of a sample at normal temperature as well as samples that have undergone combustion at a certain temperature. Composition of OWC > 50% have faster setting time on the 29th to 40th hours with maximum hydration temperature of 34.4°C on the 11th to the 12th hour as well as getting the optimal composition of Fire Mortar which is 42.5% and OWC which is 57.5%. Composition of 50-60% Fire Mortar have a heat resistance to a maximum of 900°C so they don't experience failure and cracks which make a sample split. Other than that, composition of 50-60% OWC on average have a greater compressive strength with the highest compressive strength value of 1.75 MPa at a temperature of 500°C.

Keywords: *Underground Coal Gasification (UCG), Cementing, Setting Time.*

1. Pendahuluan

HP: 0821-7571-8268

Underground Coal Gasification (UCG) atau gasifikasi batubara bawah tanah merupakan teknologi untuk mengekstraksi endapan batubara dalam bentuk gas dari suatu cebakan tanpa harus dilakukan penambangan. Dalam proses gasifikasi reaksi antara batubara dengan gas pereaksi dilakukan dalam sebuah reaktor yang disebut *gasifier*. Sedangkan dalam proses gasifikasi batubara bawah tanah ini, reaksi antara batubara dengan gas pereaksi langsung dilakukan di dalam lapisan batubara bawah tanah. Pada UCG terdapat beberapa proses awal yang harus dilakukan yaitu pemboran dan penyemenan (*cementing*) untuk merekat *casing* ke formasi.

Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam proses penyemenan dan semen yang dibutuhkan untuk sumur UCG harus memiliki ketahanan terhadap suhu yang tinggi serta tidak mudah rusak ataupun retak. Semen yang baik memiliki *setting time* atau waktu ikat yang maksimal dan sesuai agar partikel yang terkandung dalam semen dapat mengikat dengan baik dan erat.

Semen Tahan Api memiliki sifat tahan terhadap panas yang tinggi tetapi memiliki *setting time* yang sangat lama namun dapat ditingkatkan dengan menambah campuran pada semen, seperti menggunakan *Oil Well Cement*. *Oil Well Cement* biasanya digunakan untuk *well cementing* yang memiliki kandungan dan karakteristik yang berbeda serta memiliki ketahanan terhadap panas dan *setting time* yang cukup tinggi sehingga cocok untuk digunakan dalam proses penyemenan sumur UCG.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kecepatan pengerasan (*setting time*) Semen Tahan Api pada berbagai variasi campuran *Oil Well Cement* dan mendapatkan campuran semen yang optimal pada proses *cementing* untuk sumur UCG. Selain itu juga untuk menganalisis pengaruh karakteristik Semen Tahan Api jika ditambahkan *Oil Well Cement*. Sehingga campuran semen ini dapat dijadikan salah satu alternatif untuk proses *cementing* sumur UCG.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (Puslitbang tekMIRA), Kota Bandung, Propinsi Jawa Barat.

* Korespondensi Penulis:
(Bayu Rahmadika) Jurusan Teknik Pertambangan,
Universitas Bangka Belitung.
E-mail: bayu.rahmadika@yahoo.co.id

Tinjauan Pustaka

Penyemenan (*Cementing*)

Penyemenan merupakan proses yang sangat penting dalam UCG. Penyemenan adalah salah satu faktor yang sangat penting dalam suatu operasi pemboran. Berhasil atau tidaknya suatu pemboran, salah satu diantaranya adalah tergantung dari penyemenan sumur tersebut (Schlumberger, 1984).

Pada penelitian ini menggunakan Semen Tahan Api sebagai bahan utama dengan ditambahkan *Oil Well Cement* (OWC). Semen Tahan Api merupakan material *refractory* yang berfungsi sebagai perekat batu tahan api seperti pada tanur untuk kegiatan metalurgi.

Sedangkan *Oil Well Cement* adalah semen Portland yang dicampur dengan bahan *retarder* khusus seperti asam borat, casein, lignin, gula atau *organic hidroxid acid* yang sering digunakan untuk pembuatan sumur minyak dan gas bumi. *Oil Well Cement* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe menurut API (API spec. 10, 4th edition, 1988).

Sifat Fisik Semen

Sifat fisik semen yang mempengaruhi kualitas pada semen berdasarkan standar API 10.4, diantaranya adalah :

a. Waktu Ikat

Waktu pengikatan pada pasta semen ada 2 macam, yaitu waktu ikat awal (*setting time*) dan waktu ikat akhir (*final setting*). Waktu ikat awal menurut ASTM C 266 minimum 45 menit, sedangkan waktu ikat akhir maksimum 360 menit. Waktu ikat awal tercapai apabila masuknya jarum *vicat* ke dalam sampel dalam waktu 30 detik sedalam 25 mm.

b. Tahan Terhadap Suhu Tinggi

Untuk mengetahui ketahanan semen terhadap suhu yang tinggi dilakukan pembakaran atau uji *furnace*. Uji bakar (*furnace*) bertujuan untuk mengetahui ketahanan dan perubahan karakteristik sampel terhadap panas.

c. Kuat Tekan

Hasil yang diinginkan dari uji kuat tekan ini adalah untuk klasifikasi kekuatan dan karakteristik sampel utuh (Rai dkk, 2013). Nilai tegangan pada saat sampel batuan hancur didefinisikan sebagai kuat tekan uniaksial batuan dan diberikan oleh hubungan:

$$\sigma_c = F/A \quad (1)$$

2. Metode Penelitian

Objek Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian eksperimental menggunakan objek berupa bubur semen (*slurry*) dan sampel silinder semen yang terdiri dari campuran Semen Tahan Api sebagai bahan utama dengan penambahan *Oil Well Cement* sebesar 0%, 42,5%, 45%, 47,5%, 50%, 52,5%, 55%, 57,5% dan 60% dari berat total campuran semen. Campuran semen tersebut kemudian ditambahkan air dengan komposisi air sebesar 35% *Ratio of Cement*. Bubur semen (*slurry*) digunakan dalam pengujian panas hidrasi sedangkan sampel silinder semen digunakan dalam uji bakar dan uji kuat tekan.

Sampel silinder dibuat dengan memasukkan campuran semen ke dalam pipa PVC berukuran tinggi 4 in dan diameter 2 in sesuai standar ASTM C31 yang kemudian dikeringkan pada suhu ruangan selama 14 hari. Adapun komposisi campuran semen yang digunakan dalam pembuatan *slurry* dan sampel silinder semen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang berbasis laboratorium, yang dimana pada sebelumnya harus mengetahui apa yang harus diuji dan diteliti. Adapun langkah penelitian secara umum adalah sebagai berikut :

1. Preparasi serta pembuatan *slurry* dan sampel silinder semen sesuai standar ISRM (1981).



Gambar 1. Cetakan silinder semen

2. Proses pengujian panas hidrasi untuk mengetahui kecepatan pengerasan semen menggunakan alat termokopel terhadap *slurry*. Untuk mengukur panas hidrasi dari sampel, terdapat 9 buah kabel yang dihubungkan kemudian tiap kabel dimasukkan ke dalam *slurry*. Kabel-kabel termokopel tersebut dihubungkan ke *Data Taker* yang telah terhubung dengan komputer, sehingga pembacaan data yang berupa laju kenaikan dan penurunan suhu semen.



Gambar 2. Alat uji panas hidrasi

Sampel	Semen Tahan	Oil Well	...	Jumlah Sampel		
				Silinder	Semen Tanpa Bakar	Bubur Semen
1	40%	60%	35% Ratio of Cement	7	1	1
2	42,5%	57,5%		7	1	1
3	45%	55%		7	1	1
4	47,5%	52,5%		7	1	1
5	50%	50%		7	1	1
6	52,5%	47,5%		7	1	1
7	55%	45%		7	1	1
8	57,5%	42,5%		7	1	1
9	60%	40%		7	1	1
Total				63	9	9

Gambar 4.

- Proses pembakaran (*furnace*) dengan mengukur tinggi dan berat sampel. Kemudian memasukkan sampel ke dalam alat *furnace* merk *Carbolite* CWF 1100 dengan pembakaran pada suhu 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C dengan waktu pembakaran yang dicapai selama 2 jam kemudian dipertahankan hingga dilakukan penurunan suhu secara bertahap. Setelah uji bakar selesai dilaksanakan, sampel tersebut kemudian dilakukan uji kuat tekan yang bertujuan untuk menentukan kekuatan sampel pasca bakar.



Gambar 3. Alat uji bakar (*furnace*)

- Pengujian kuat tekan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) untuk mengetahui perbandingan kuat tekan yang dihasilkan dari sampel yang belum atau sudah mengalami uji bakar (*furnace*). Adapun urutan atau tahap pengerjaan UCS berdasarkan buku panduan dengan nomor SNI 2825-2008.



3. Hasil dan Pembahasan

Kecepatan Pengerasan Semen dan Campuran Semen Optimal

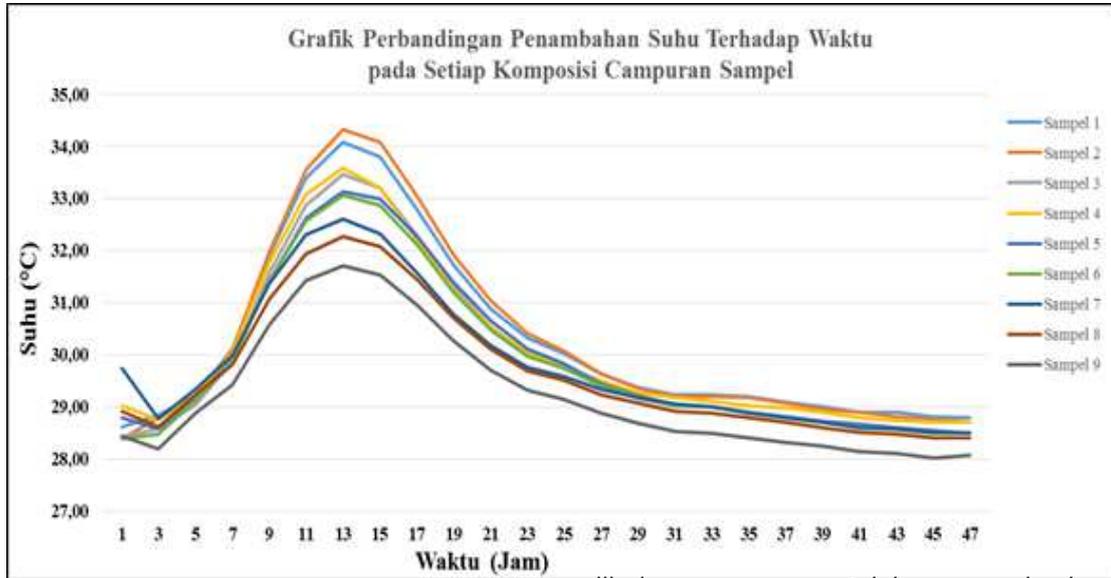
Uji panas hidrasi bertujuan untuk mengetahui lama waktu pengikatan (*setting time*) dari semen. Lama waktu yang dibutuhkan pada uji ini yaitu ± 47 jam guna mendapatkan reaksi hidrasi yang maksimal. Hasil dari reaksi tersebut berupa grafik yang menunjukkan batas suhu maksimal yang dihasilkan campuran semen dan dapat diketahui pada waktu keberapa semen tersebut mencapai titik puncak.

Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, terdapat perbedaan diantara masing-masing campuran semen. Terlihat dari grafik hasil uji pada Gambar 5, masing-masing campuran semen memiliki suhu maksimal dan *setting time* yang berbeda antar satu sama lain. Campuran dengan perbandingan Semen Tahan Api sebesar 42,5% dan *Oil Well Cement* sebesar 57,5% memiliki peningkatan suhu maksimal yang paling tinggi dibandingkan dengan campuran semen yang lain yaitu sebesar 34,4°C, selain itu juga campuran semen ini memiliki *setting time* yang lebih baik. Sementara itu campuran Semen Tahan Api sebesar 60% dan *Oil Well Cement* sebesar 40% memiliki suhu maksimal terendah dengan suhu 31,8°C serta memiliki *setting time* yang lebih lama.

Berdasarkan Tabel 2, dapat ditarik kesimpulan bahwa campuran semen yang memiliki lebih banyak kandungan *Oil Well Cement* (> 50%)

memiliki *setting time* yang lebih cepat dibandingkan dengan campuran semen yang memiliki kandungan Semen Tahan Api yang lebih banyak. Sehingga komposisi yang paling optimal untuk proses *cementing* sumur gasifikasi batubara

bawah tanah berdasarkan pengujian adalah Semen Tahan Api sebesar 42,5% dan *Oil Well Cement* sebesar 57,5% dengan mencapai suhu maksimal sebesar 34,4°C pada jam ke-12 serta mendapatkan *setting time* pada jam ke-29.



Gambar 5. Grafik perbandingan penambahan suhu terhadap waktu pada setiap komposisi campuran sampel

Tabel 2. Pengaruh campuran semen terhadap *setting time*

No	Campuran Semen		Suhu maks. dan waktu (jam ke-)	Setting time (jam ke-)
	Semen Tahan Api	Oil Well Cement		
1	40%	60%	34,1°C (12)	30
2	42,5%	57,5%	34,4°C (12)	29
3	45%	55%	33,5°C (12)	30
4	47,5%	52,5%	33,6°C (11)	30
5	50%	50%	33,2°C (12)	30
6	52,5%	47,5%	33,1°C (12)	31
7	55%	45%	32,6°C (12)	31
8	57,5%	42,5%	32,2°C (11)	31
9	60%	40%	31,8°C (11)	40

Karakteristik Campuran Semen

Uji Bakar (*Furnace*)

Uji bakar atau uji *furnace* merupakan uji untuk mengetahui ketahanan panas dari sampel semen yang telah mengalami proses pembakaran pada suhu 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C dengan waktu pembakaran yang dicapai selama 2 jam kemudian dipertahankan hingga dilakukan penurunan suhu secara bertahap serta didinginkan dengan cara didiamkan pada suhu ruangan normal. Setelah itu akan terlihat apakah terjadi perubahan pada sampel silinder tersebut yang ditandai dengan munculnya retakan ataupun mengalami kehancuran.

Berdasarkan uji yang telah dilakukan terdapat beberapa variasi retakan yang terjadi pada sampel

Terlihat pada Gambar 6 yaitu pada suhu 300°C, sampel semen tidak mengalami retakan pada tiap jenis sampel yang memiliki kandungan yang berbeda sesuai dengan perbandingan komposisi semen yang telah ditentukan, sama halnya juga dengan sampel pada suhu 400°C



Gambar 6. Uji *furnace* suhu 300°C

Pada suhu 500°C, terdapat dua jenis sampel yang mengalami retakan yaitu sampel berkomporsi STA 60% : 40% OWC dan STA 52,5% : 47,5% OWC, retakan tersebut berada di bagian samping sampel. Sedangkan sampel yang lain tidak memiliki retakan sama sekali. Panjang retakan yang terdapat pada kedua sampel lebih dari 1 cm namun masih tergolong retakan halus karena tidak membuat sampel menjadi hancur atau terbelah.



Gambar 7. Sampel retak pada suhu 500°C

Pada suhu 600°C, semua jenis sampel silinder semen mengalami retakan. Terlihat pada Gambar 8 dan 9 terdapat sampel yang memiliki retakan berbentuk seperti lingkaran, sedangkan pada sampel yang lainnya memiliki retakan yang berada di bagian samping sampel. Namun sama seperti pada suhu 500°C, retakan yang terjadi tidak membuat sampel menjadi hancur dan terbelah.

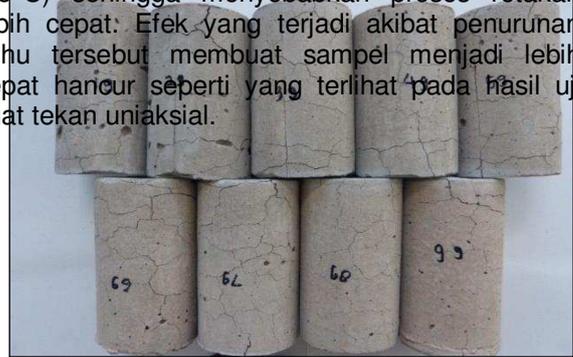


Gambar 8. Sampel retak pada suhu 600°C



Gambar 9. Retakan berbentuk lingkaran

Pada suhu 700°C, semua sampel silinder semen mengalami retakan. Namun pada sampel ini terjadi penurunan suhu yang drastis sehingga terjadi retakan yang hampir menyeluruh di semua bagian sampel seperti yang terlihat pada Gambar 11, tetapi tidak membuat sampel menjadi hancur. Retakan tersebut terjadi ketika sampel yang mengalami penurunan suhu pada 100°C langsung dikeluarkan dari alat *furnace* dan sampel tersebut mengalami penyesuaian terhadap suhu ruangan (25°C) sehingga menyebabkan proses retakan lebih cepat. Efek yang terjadi akibat penurunan suhu tersebut membuat sampel menjadi lebih cepat hancur seperti yang terlihat pada hasil uji kuat tekan uniaksial.



Gambar 10. Sampel retak pada suhu 700°C

Pada suhu 800°C, semua sampel silinder semen terdapat retakan setelah mengalami proses pendinginan selama semalam (kurang lebih 15 jam). Retakan yang terjadi berada di bagian samping sampel, namun terdapat satu sampel yang memiliki retakan berbentuk vertikal sepanjang tiga inci yaitu pada sampel 8.



Gambar 11. Sampel retak pada suhu 800°C

Pengujian *furnace* yang terakhir dilakukan pada suhu 900°C, semua sampel yang diuji masih utuh dan tidak hancur meskipun terdapat beberapa

Proses pendinginan atau penurunan suhu dilakukan secara bertahap dan stabil sehingga sampel yang memiliki kandungan Semen Tahan Api yang lebih dominan tidak memiliki retakan >1 cm ketika sampel dikeluarkan dari alat *furnace*.



Gambar 12. Sampel retak pada suhu 900°C

Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, sampel silinder semen yang memiliki kandungan Semen Tahan Api yang lebih dominan memiliki ketahanan terhadap panas yang lebih tinggi. Hal tersebut ditunjukkan pada suhu pembakaran sebesar 900°C, sampel yang berkomposisi Semen Tahan Api sebesar 50% - 60% tidak mengalami keruntuhan dan retakan yang membuat sampel terbelah. Namun pada penelitian ini diperlukan komposisi penambahan *Oil Well Cement* yang tepat sehingga sampel semen yang dihasilkan memiliki sifat ketahanan terhadap panas dan nilai kuat tekan yang tinggi serta waktu ikat (*setting time*) yang optimal.

Uji Kuat Tekan (*Uniaxial Compressive Strength*)

Pada penelitian ini dilakukan uji kuat tekan terhadap dua jenis sampel yaitu sampel yang tanpa mengalami pembakaran dan sampel yang telah mengalami pembakaran. Pengujian ini hanya untuk melihat besar beban yang dapat ditanggung oleh masing-masing sampel semen silinder.

Pada proses *cementing* untuk sumur gasifikasi batubara bawah tanah, pengujian kuat tekan terhadap semen sangat penting dilakukan. Tujuan utama uji kuat tekan uniaxial pada proses *cementing* yaitu untuk mengukur kekuatan semen dalam menahan tekanan-tekanan yang berasal dari formasi atau *casing*. Sedangkan fungsi utama *cementing* dalam gasifikasi batubara bawah tanah adalah untuk menguatkan formasi atau *casing* agar tidak terjadi *failure*.

Berdasarkan grafik pada Gambar 13, setiap sampel silinder semen memiliki kuat tekan yang berbeda antar satu sama lain. Pada suhu normal,

retakan yang terjadi yang berada di bagian samping sampel khususnya sampel yang berkomposisi STA 42,5% : 57,5% OWC dan STA 40% : 60% OWC.

sampel berkomposisi STA 55% : 45% OWC memiliki tegangan paling besar dibandingkan dengan sampel berkomposisi lain yaitu sebesar 1,59 MPa.

Pada sampel yang telah mengalami pembakaran suhu sebesar 300°C, sampel berkomposisi STA 57,5% : 42,5% OWC memiliki tegangan sebesar 1,66 MPa. Pada suhu 400°C, sampel berkomposisi STA 42,5% : 57,5% OWC memiliki tegangan sebesar 1,35 MPa. Pada suhu 500°C, sampel berkomposisi STA 40% : 60% OWC memiliki tegangan sebesar 1,75 MPa. Pada suhu 600°C, sampel berkomposisi STA 40% : 60% OWC memiliki tegangan sebesar 1,28 MPa. Pada suhu 700°C, sampel berkomposisi STA 50% : 50% OWC memiliki tegangan sebesar 0,12 MPa. Pada suhu 800°C, sampel berkomposisi STA 40% : 60% OWC memiliki tegangan sebesar 0,54 MPa. Sedangkan pada suhu tertinggi yaitu 900°C, sampel berkomposisi STA 42,5% : 57,5% OWC memiliki tegangan terbesar yaitu 0,61 MPa.

Tabel 3. Hasil uji kuat terbesar

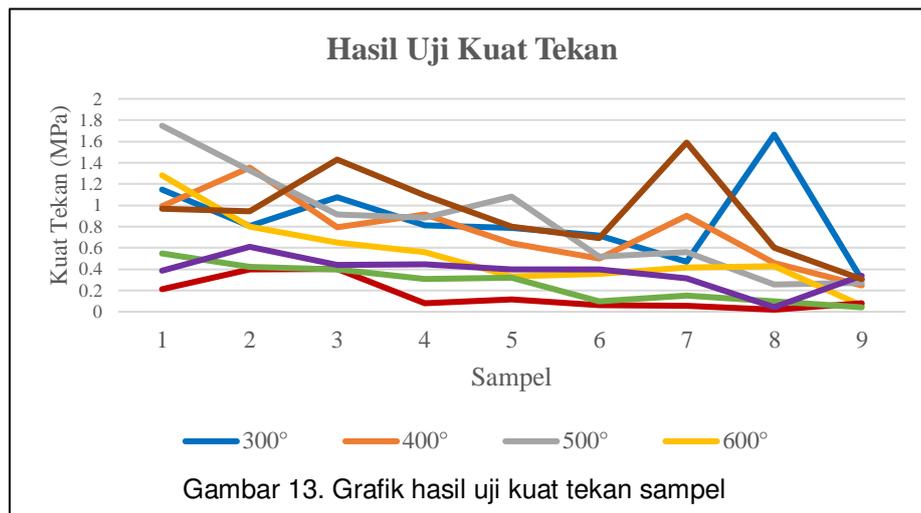
Suhu	Sampel	Kuat Tekan (MPa)
Normal	STA 55% : 45% OWC	1,59
300°C	STA 57,5% : 42,5% OWC	1,66
400°C	STA 42,5% : 57,5% OWC	1,35
500°C	STA 40% : 60% OWC	1,75
600°C	STA 40% : 60% OWC	1,28
700°C	STA 45% : 55% OWC	0,40
800°C	STA 40% : 60% OWC	0,54
900°C	STA 42,5% : 57,5% OWC	0,61

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian kuat tekan terhadap sampel semen silinder seperti yang terlihat pada Tabel 3, bahwa suhu atau temperatur akan mempengaruhi hasil uji kuat tekan. Sampel yang telah mengalami pembakaran pada temperatur tertentu akan berbeda hasil kuat tekannya dengan temperatur yang lain. Semakin tinggi suhu atau temperatur pengujian terhadap sampel, maka akan membuat sampel semakin duktil dan mengurangi kekuatan batuan.

Sehingga dari hasil pengujian dapat ditarik kesimpulan bahwa sampel yang berkomposisi *Oil Well Cement* lebih dominan yaitu >50-60%, secara rata-rata berdasarkan grafik yang dihasilkan

memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dengan menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 1,75 MPa pada suhu 500°C. Selain itu juga, semakin tinggi suhu pembakaran sampel pada proses pengujian sebelumnya, maka

semakin kecil pula nilai kuat tekan yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan *Oil Well Cement* memiliki berat jenis yang lebih besar dibandingkan dengan Semen Tahan Api.



4. Kesimpulan

Waktu kecepatan pengerasan semen dalam mencapai suhu hidrasi maksimal berkisar antara jam ke-11 sampai 12 dan mendapatkan *setting time* pada jam ke-29 sampai 40 dari total waktu keseluruhan. Sedangkan, komposisi yang paling optimal untuk proses *cementing* pada sumur gasifikasi batubara bawah tanah adalah Semen Tahan Api sebesar 42,5% dan *Oil Well Cement* sebesar 57,5% dengan mencapai suhu maksimal sebesar 34,4°C pada jam ke-12 serta mendapatkan *setting time* pada jam ke-29.

Sampel dengan komposisi Semen Tahan Api 50-60% pada proses pembakaran memiliki ketahanan terhadap panas yang paling tinggi sebesar 900°C, dimana sampel tidak mengalami keruntuhan dan retakan yang membuat sampel terbelah. Melalui uji kuat tekan, sampel berkomporsi *Oil Well Cement* 50-60% rata-rata memiliki kuat tekan lebih besar pada setiap suhu dengan menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 1,75 MPa pada suhu 500°C.

Daftar Pustaka

Anonim. 1998. *Apeccification for Material and Testing for Well Cement*. API 10.4.
Anonim. 2008. *SNI 2825-2008 Cara Uji Kuat Tekan Batu Uniaksial*. Badan Standarisasi Nasional.
Anonim. 2015. *ASTM C 266 Standard Test Method for Time of Setting Time of Hydraulic Cement*

Paste by Glimore Needles. United State : ASTM Internasional.
Brown, E.T. 1981. *ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring*. Pergamon Press, Oxford.
Daulay. 2012. *Teknologi Gasifikasi Batubara dan Underground Coal Gasification(UCG)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. Bandung.
Hartman and Howard, L. 1987. *Underground Gasification*. Introductory Mining Engineering, pp. 526-529.
Jumikis, A. R. 1979. *Rock Mechanics*. USA : Tranch Tech Publications.
Nelson, E.B. 1990. *Well Cementing*. Saint - Etienne, France.
Rai, M.A., Kramadibrata,S., Wattimena, R.K. 2013. *Mekanika Batuan*. Penerbit ITB, Bandung.
Schlumberger, Dowell. 1984. *Cementing Technology*. Scslumberger Educational Series, Houston - Texas.