

# PERUBAHAN SERAPAN AIR DAN KUAT KEJUT BETON MENGUNAKAN AGREGAT KASAR PECAHAN GENTENG BERSERAT ALUMINIUM PASCA BAKAR DENGAN VARIASI WAKTU RENDAMAN AIR

Hisyam Sibarani<sup>1)</sup>, Antonius Mediyanto<sup>2)</sup>, Mukahar<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami No. 36A surakarta 57126

E-mail : hisyamsibarani@gmail.com

## Abstract

One of the weakness concrete is the concrete has a high density, that is equal to  $2400 \text{ kg/m}^3$ . To lighten the weight of the contents, it is used as a replacement tile fragments of coarse aggregate. The addition of aluminum fibers into the concrete mix aims to increase the value of a absorption of water and impact resistance concrete. The results of research the water absorption testing uptake at 10 + 5 minutes and 24 hours on the concrete without fibers aluminum pre, post-combustion and after re-assigned the treatment for  $28 \times 24$ ,  $42 \times 24$  and  $56 \times 24$  consecutive hours are 3.468% and 9.096 %; 4.889% and 11.133%; 2.304% and 7.435%; 1.503% and 8.516%; 1.153% and 4.841%. For aluminum fibrous concrete on concrete water absorption value of pre, post-burn and after getting water curing of 4.448% and 11.336%; 5.656% and 12.777%; 2.583% and 10.548%; 2.195% and 11.809%; 5.283% and 9.654%. The impact resistance test results of concrete without fibers at first crack and collapse in total with the same treatment are 4079.00 4697.03 J and J; 1389.10 J and 1618.65 J; 1536.25 J and 1842.32 A; 2042.44 J and 2254.34 J; 2095.42 J and 2419.15 J. While impact resistance test results of concrete with aluminum fibers are 4585.19 5833.03 J and J; 2183.71 J and 2401.49 J; 2230.79 J and 2572.18 J; 2272.00 J and 2678.13 J; 2260.22 J and 2689.90 J. Based on the above results the addition of aluminum fibers can only improve the impact resistance of concrete. Combustion of the sample results in a decrease in strength due to water evaporation and decomposition concrete at CSH compounds. With water curing is done to increase the value of water absorption and impact resistance concrete, because the cavities being filled back empty due to the evaporation of water due to combustion and formation of new CSH crystals derived from the reaction of curing water that has not been repeated with hydrated cement in the concrete.

**Keywords:** concrete, post-burn, water absorption, impact resistance, water curing.

## Abstrak

Salah satu kelemahan beton adalah memiliki berat isi yang tinggi, yaitu sebesar  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Untuk meringankan berat isi tersebut, maka digunakan pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar. Penambahan serat aluminium ke dalam campuran beton bertujuan meningkatkan nilai serapan air dan kuat kejut beton. Hasil penelitian pengujian serapan air pada menit ke 10+5 dan 24 jam pada beton tanpa serat aluminium pra, pasca pembakaran dan setelah mendapatkan perawatan ulang selama  $28 \times 24$ ,  $42 \times 24$ , dan  $56 \times 24$  jam berturut-turut adalah 3,468% dan 9,096%; 4,889% dan 11,133%; 2,304% dan 7,435%; 1,503% dan 8,516%; 1,153% dan 4,841%. Untuk beton berserat aluminium nilai serapan air pada beton pra, pasca bakar dan setelah mendapatkan *water curing* sebesar 4,448% dan 11,336%; 5,656% dan 12,777%; 2,583% dan 10,548%; 2,195% dan 11,809%; 5,283% dan 9,654%. Hasil pengujian kuat kejut beton tanpa serat pada retak pertama dan runtuh total dengan perlakuan yang sama adalah 4079,00 J dan 4697,03 J; 1389,10 J dan 1618,65 J; 1536,25 J dan 1842,32 J; 2042,44 J dan 2254,34 J; 2095,42 J dan 2419,15 J. Sedangkan hasil pengujian kuat kejut beton dengan serat aluminium adalah 4585,19 J dan 5833,03 J; 2183,71 J dan 2401,49 J; 2230,79 J dan 2572,18 J; 2272,00 J dan 2678,13 J; 2260,22 J dan 2689,90 J. Berdasarkan hasil di atas penambahan serat aluminium hanya dapat meningkatkan kuat kejut beton. Pembakaran sampel mengakibatkan penurunan kekuatan karena terjadinya penguapan air beton dan terjadi dekomposisi pada senyawa CSH. Dengan dilakukan *water curing* dapat meningkatkan nilai serapan air dan kuat kejut beton, karena terisinya kembali rongga-rongga kosong akibat penguapan air akibat pembakaran dan terbentuknya kristal-kristal CSH baru yang berasal dari reaksi air curing ulang dengan semen yang belum terhidrasi pada beton tersebut.

**Kata kunci :** beton, pasca bakar, serapan air, kuat kejut, usaha, *water curing*.

## PENDAHULUAN

Beton merupakan material utama yang sering digunakan dalam sebuah konstruksi karena disamping beton memiliki kuat tekan yang tinggi, material penyusun beton mudah didapatkan. Akan tetapi, beton juga memiliki kelemahan, yaitu tidak tahan terhadap kebakaran. Kebakaran dapat menyebabkan kerusakan material pada beton, sehingga beton mengalami penurunan kekuatan. Oleh karena itu, diperlukan

penelitian terhadap serapan air dan kuat kejut beton pra dan pasca bakar serta waktu minimal yang dibutuhkan untuk meningkatkan kekuatan beton pasca bakar yang maksimal sehingga bangunan tersebut dapat digunakan kembali.

## LANDASAN TEORI

Partowiyatmo dan Sudarmadi (2004) melaporkan bahwa kekuatan sisa dari beton struktur yang habis mengalami pendinginan setelah terbakar akan tergantung dari suhu tertinggi selama kebakaran berlangsung, campuran yang digunakan dan kondisi pembebanan selama mengalami kebakaran. Disamping itu, karena karakteristik dari perpindahan panas maka hanya temperature di bagian terluar yang meningkat sangat drastis sementara dibagian dalam temperature lebih rendah, tergantung dari kedalaman dari kulit terluar.

*Water curing* adalah metode perawatan beton dengan tujuan untuk menjaga kelembaban beton. Pembasahan air (*water curing*) pada beton pasca bakar dapat mengembalikan kekuatan dengan membangun  $\beta$ CSH dalam kristalnya (Partowiyatmo dan Sudarmadi, 2004; Kusno dan Mediyanto, 2008).

Durabilitas beton adalah ketahanan beton terhadap proses-proses yang dapat merusak beton, yang terjadi akibat hasil interaksi dengan lingkungan (*eksternal*), atau antar material penyusun dengan bahan-bahan pencemar dalam beton atau pada permukaan beton (*internal*). (Jackson dan Dhir, 1996)

Mekanisme masuknya air ke dalam beton berlangsung melalui 3 cara:

1. Absorpsi (penyerapan), terjadi dengan cara masuknya air melalui pipa kapiler/pori-pori beton. Sering terjadi pada bangunan air, khususnya di pelabuhan.
2. Permeabilitas, terjadi akibat adanya perbedaan tekanan baik cairan maupun gas. Contohnya adalah pada bangunan yang selalu berkaitan dengan tekanan air, misalnya bangunan penahan air, atau bangunan dalam air yang dalam.
3. Difusi, terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi baik cair, gas, maupun ion. (Fajar S. Handayani, 2010)

Menurut Gere dan Timoshenko (2000), beban kejut termasuk ke dalam beban dinamik, dimana beban diterapkan dan dihilangkan secara tiba-tiba. Pengertian beban kejut itu sendiri adalah beban yang dihasilkan apabila dua buah benda uji bertumbukan, atau apabila suatu benda jatuh dan mengenai suatu struktur.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilakukan laboratorium. Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode ini yaitu pengujian bahan yang akan digunakan dalam pembuatan sampel. Pembuatan benda uji dan pembakaran benda uji hingga suhu ruangan 500<sup>o</sup> C di laboratorium keramik Bayat, Klaten. Perawatan *water curing* ulang pada sampel setelah dilakukan pembakaran dengan variasi waktu 28, 42, 56 hari. Pengujian serapan air dan kuat kejut beton sebelum dan sesudah di bakar dan curing ulang. Melakukan analisis hasil pengujian untuk mendapatkat penurunan kekuatan pasca pembakaran dan data waktu minimal untuk mendapatkan pemulihan serapan air dan kuat kejut yang maksimal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian yang telah dilakukan disajikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan Zat Organik	Kuning muda	Kuning	Memenuhi syarat
Kandungan Lumpur	2 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2.57 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk Specific SSD</i>	2.5 gr/cm <sup>3</sup>	-	2,5 – 2,7
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.57 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Absorbtion</i>	2,04 %	-	-
Modulus Halus	3.02	2.3 – 3.1	Memenuhi syarat

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar meliputi pengujian gradasi agregat kasar, *specific gravity* dan abrasi agregat. Hasil pengujian pengujian tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk Specific Gravity</i>	1.86 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk Specific SSD</i>	2.1 gr/cm <sup>3</sup>	-	2,5 – 2,7
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.42 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Absorbtion</i>	12.33 %	-	-
Abrasi	47%	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus Butir	5.66	5 - 8	Memenuhi syarat

Dari pembuatan campuran adukan beton akan didapat nilai *slump* yang diperlukan untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton. *Workability* yang memadai sangat diperlukan untuk memudahkan proses pengadukan, pengangkutan, penuangan dan pemadatan. Nilai *slump* yang diperoleh untuk beton ringan normal adalah 10 cm.

Perhitungan rancang campur adukan beton menggunakan metode *Dreux –Corrise*. Kebutuhan bahan untuk 1 m<sup>3</sup> beton ringan adalah:

Semen	: 400 kg
Pasir	: 634.9 kg
Pecahan genteng	: 644.064 kg
Air	: 160 liter
Serat aluminium	: 0,75 % dari berat 1 buah silinder benda uji
Superplasticizer 1	: 4 kg (1% dari berat semen)

Pengujian serapan air dilakukan pada benda uji yang memiliki ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm yang berumur 28 hari. Pada pengujian ini didapatkan berat benda uji pada kondisi normal, kering oven, dan kondisi *SSD* (setelah perendaman pada interval waktu tertentu). Data hasil pengujian serapan air beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 3, untuk beton setelah dibakar dengan suhu 500°C dapat dilihat pada Tabel 4, dan untuk beton setelah mendapatkan perawatan water curing dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Hasil Analisis Perhitungan Serapan Air Beton Tanpa Serat dan Berserat Aluminium

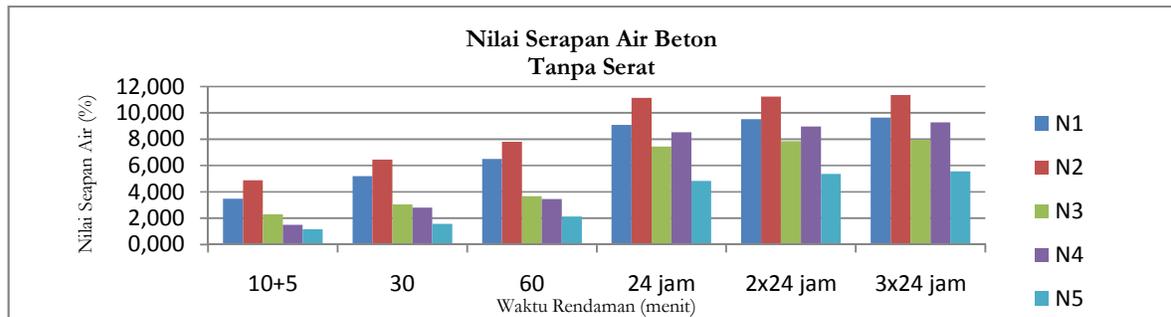
Benda Uji	Nilai Serapan Air (%)					
	Menit 10+5	Menit 30	Menit 60	24 jam	2x24 jam	3x24 jam
N1	3,468	5,199	6,496	9,096	9,528	9,635
AL1	4,448	6,447	8,225	11,336	11,779	11,892

Tabel 4. Hasil Analisis Perhitungan Serapan Air Beton tanpa Serat dan Berserat Aluminium Setelah Dilakukan Pembakaran

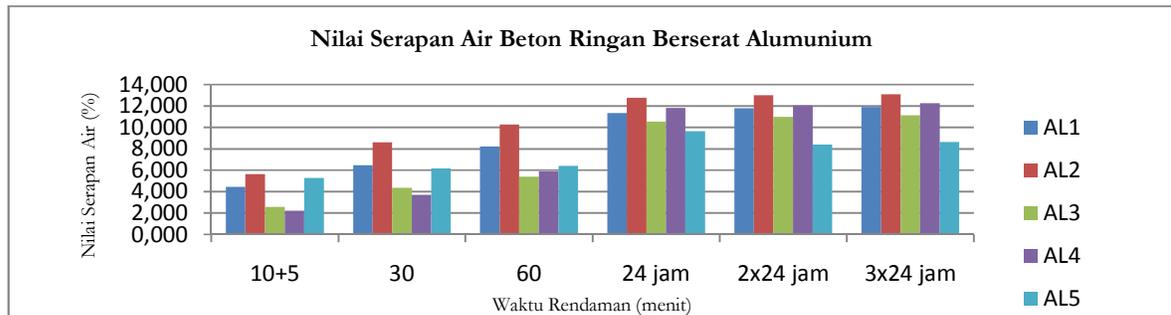
Benda Uji	Nilai Serapan Air (%)					
	Menit 10+5	Menit 30	Menit 60	24 jam	2x24 jam	3x24 jam
N2	4,889	6,451	7,785	11,133	11,243	11,357
AL2	5,656	8,594	10,294	12,777	13,005	13,116

Tabel 5. Hasil Analisis Penghitungan Serapan Air Beton Tanpa Serat dan Berserat Aluminium Setelah Mendapat Perawatan Ulang

Benda Uji	Nilai Serapan Air (%)					
	Menit 10+5	Menit 30	Menit 60	24 jam	2x24 jam	3x24 jam
N3	2,304	3,036	3,665	7,435	7,853	7,957
N4	1,503	2,803	3,450	8,516	8,950	9,273
N5	1,153	1,574	2,103	4,841	5,364	5,572
AL3	2,583	4,371	5,392	10,548	10,994	11,110
AL4	2,195	3,694	5,895	11,809	12,040	12,274
AL5	5,283	6,174	6,395	9,654	8,420	8,647



Gambar 1. Grafik Perubahan Kuat Desak Beton Ringan Tanpa Serat dan Berserat Aluminium



Gambar 2. Grafik Perubahan Berat Beton Ringan Tanpa Serat dan Berserat Aluminium

Pengujian kuat kejut beton ini menggunakan alat tradisional yang bernama *Impact Testing Machine*. Dari pengujian ini didapat jumlah pukulan yang diterima beton saat retak pertama dan saat runtuh.

Tabel 6. Hasil Analisis Perhitungan Serapan Air Beton tanpa Serat dan Berserat Aluminium

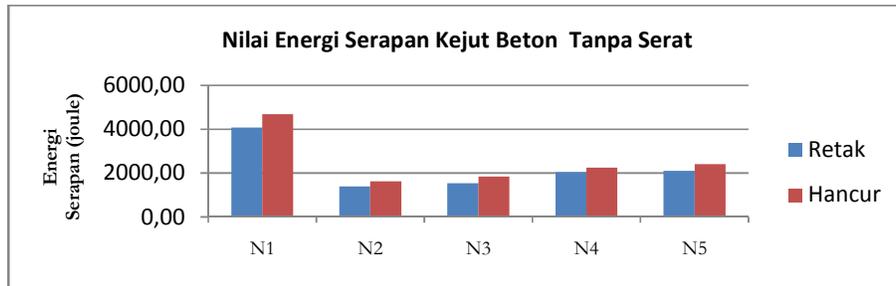
Benda Uji	Emaks (Joule)	
	Rerata	Rerata
N1	4078,998	4697,028
AL1	4585,194	5833,026

Tabel 7. Hasil Analisis Perhitungan Kuat Kejut Beton tanpa Serat dan Berserat Aluminium Setelah Dilakukan Pembakaran

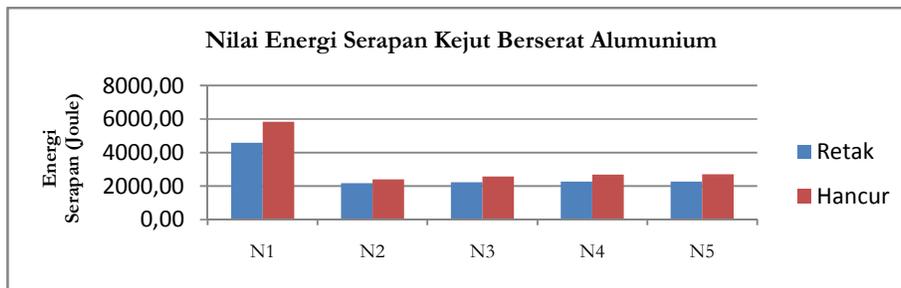
Benda Uji	Emaks (Joule)	
	Rerata	Rerata
N2	1389,096	1618,65
AL2	2183,706	2401,488

Tabel 8. Hasil Analisis Perhitungan Kuat Kejut Beton tanpa Serat dan Berserat Aluminium Setelah Mendapat Perawatan Ulang

Benda Uji	Emaks (Joule)	
	Rerata	Rerata
N3	1536,246	1842,318
N4	2042,442	2254,338
N5	2095,416	2419,146
AL3	2230,794	2572,182
AL4	2271,996	2678,13
AL5	2260,224	2689,902



Gambar 3. Grafik Perubahan Nilai Kuat Kejut Beton Tanpa Serat



Gambar 4. Grafik Perubahan Nilai Kuat Kejut Beton Berserat Aluminium

### Pembahasan

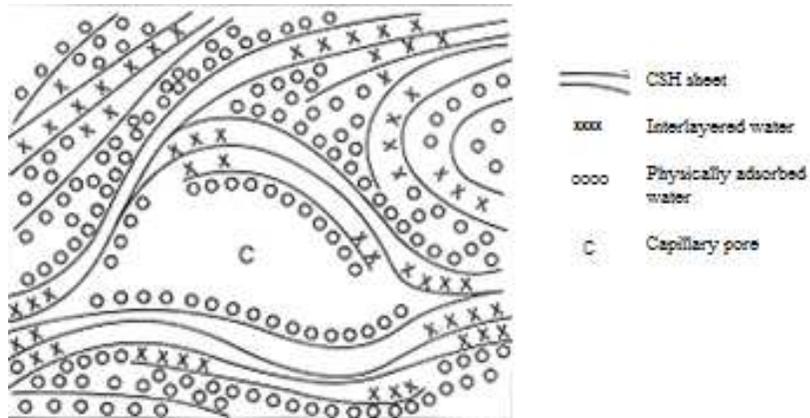
Berdasarkan hasil percobaan dan analisis serapan air di atas menunjukkan bahwa dengan penambahan serat aluminium sangat berpengaruh pada nilai serapan air dan kuat kejut beton. Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai serapan air beton normal lebih bagus dibandingkan dengan beton dengan serat aluminium, yaitu 3,468% dan 4,448% pada menit 10+5, dan sebesar 9,096% dan 11,336% pada rendaman selama 24 jam. Hal ini disebabkan karena terjadinya peningkatan volume pori akibat penambahan serat aluminium. Menurut SNI 03-2914-1990 nilai serapan air tersebut tidak memenuhi persyaratan, karena di dalam SNI tersebut dijelaskan bahwa besar nilai serapan air pada menit 10+5 adalah  $\leq 2,5\%$  dan pada rendaman 24 jam sebesar  $\leq 6,5\%$ .

Untuk pengujian kuat kejut beton, penambahan serat aluminium meningkatkan energi serapan kuat kejut beton. Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa energi serapan beton tanpa serat, yakni 4079 J pada retak pertama dan 4697,03 J pada runtuh total lebih rendah dibandingkan dengan beton dengan serat aluminium, yakni 4585,19 J pada retak pertama dan 5833,03 J pada runtuh total. Hal ini disebabkan karena peran aluminium sebagai tulangan mikro dalam memberikan kekuatan, sehingga nilai kuat kejut lebih kuat dibandingkan beton tanpa serat aluminium.

Setelah dilakukan pembakaran pada suhu ruang 500°C, nilai serapan air dan kuat kejut beton menurun. Pada Tabel 4 nilai serapan air pasca bakar untuk beton tanpa serat adalah 4,889% pada menit 10+5 dan

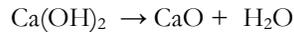
11,133% pada rendaman 24 jam, untuk beton dengan serat aluminium nilai serapan air sebesar 5,656% pada menit 10+5 dan 12,777% pada rendaman 24 jam. Pada Tabel 7 nilai energi kuat kejut untuk beton tanpa serat pada retak pertama dan runtuh total adalah sebesar 1389,10 J dan 1618,65 J, untuk beton dengan serat aluminium sebesar 2183, 71 J dan 2401,49 J. Hal ini dapat diasumsi bahwa setelah pembakaran, unsur H<sub>2</sub>O dalam beton tersebut berkurang karena menguap sehingga menyebabkan melemahnya ikatan semen dengan material-material lain dan akhirnya rusak. Kondisi ini dapat menyebabkan bertambahnya pori-pori di dalam beton sehingga daya serap terhadap air meningkat.

Teori ini didukung oleh penelitian dari Feldman dan Sereda (1968). Dalam penelitian tersebut, terdapat sebuah model yang menggambarkan pemodelan CSH yang telah terhidrasi.

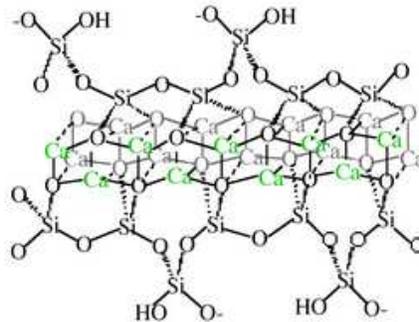


Gambar 5. CSH Model oleh Feldman dan Sereda (1968)

Pada gambar tersebut jelas sekali terlihat berbagai peran air di dalam beton yang telah terhidrasi. Hager (2013) menjelaskan bahwa beton pada suhu 20-200°C *capillary water* (berukuran 2,5-5 mm) akan perlahan menguap, pada suhu 150-170°C *physically adsorbed water* akan menghilang, dan pada suhu 374°C seluruh air di dalam pori akan menguap atau pada tahap ini disebut *critical temperature of water*. Kemudian pada suhu 400-500°C kristal portlandite akan terdekomposisi atau terurai. Reaksi karbonisasi dan kalsinasi tidak terjadi, karena reaksi tersebut membutuhkan suhu lebih dari 800 °C, sedangkan penelitian ini hanya mencapai suhu ruang 500 °C.

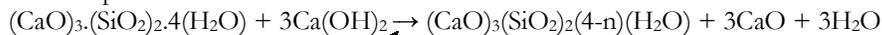


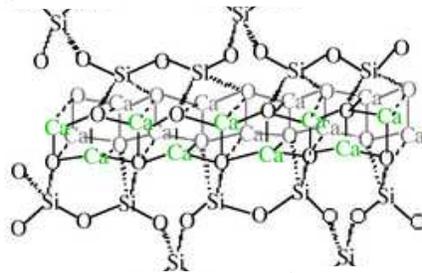
Sebelum pembakaran :



Gambar 6. Pemodelan CSH

Sesudah pembakaran :





Gambar 7. Pemodelan CSH Setelah Dibakar

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 dijelaskan bahwa H<sub>2</sub>O pada kristal CSH yang semula berjumlah 4 kemudian setelah dibakar H<sub>2</sub>O akan berkurang sebanyak 'n' sehingga kristal CSH tidak stabil dan mengalami penurunan kekuatan. Senyawa *portlandite* juga terdekomposisi menjadi kapur aktif dan uap air, proses ini juga dapat menurunkan kekuatan beton.

Menurut Kurtis, penurunan nilai serapan air dan kuat kejut beton ini dikarenakan selama proses hilangnya air tersebut menghasilkan penyusutan sehingga CSH *sheet* mengalami kerusakan sehingga jumlah pori akan bertambah dan beton mengalami penurunan kekuatan. Hal ini dapat dibuktikan dengan berkurangnya berat volume beton tersebut

Water curing dilakukan setelah proses pembakaran pada suhu ruang 500°C. Pada Tabel 5 nilai serapan air pada beton semakin membaik (menurun mendekati syarat SNI 03-2914-1990). Kemudian nilai energi kuat kejut pada Tabel 8 juga mengalami peningkatan berturut-turut setelah proses perendaman selama 28 hari, 42 hari, dan 56 hari. Hal ini dapat diasumsi bahwa setelah mendapatkan *water curing* H<sub>2</sub>O dalam senyawa CSH terisi kembali, sehingga H<sub>2</sub>O yang setelah dibakar berjumlah (4-n) maka setelah mendapatkan perawatan *water curing* jumlah H<sub>2</sub>O menjadi (4-n+m) dengan 'm' adalah H<sub>2</sub>O yang didapat dari setelah proses perawatan dengan *water curing*. Dengan kembalinya H<sub>2</sub>O ini dapat menjadikan senyawa CSH lebih stabil.

Pada Tabel 5 juga didapat bahwa nilai serapan air setelah mendapatkan perawatan *water curing* menjadi lebih baik daripada nilai serapan air semula (sebelum dibakar). Hal ini dapat diasumsi bahwa dengan memakai agregat kasar dari pecahan genteng akan menyebabkan terjadinya *unhydrated* semen. Karena air yang seharusnya terhidrasi dengan semen diserap oleh pecahan genteng tersebut (mengingat genteng adalah material yang sangat porous sehingga dapat menyerap air lebih banyak daripada kerikil). Dengan dilakukan perawatan ulang dengan metode *water curing*, maka semen yang belum terhidrasi akan bereaksi dengan air dan dapat menutup celah atau pori yang ada pada beton.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa nilai serapan air pada menit ke 10+5 dan 24 jam pada beton tanpa serat aluminium pra, pasca pembakaran dan setelah mendapatkan perawatan ulang selama 28 x 24, 42 x 24, dan 56 x 24 jam berturut-turut adalah 3,468% dan 9,096%; 4,889% dan 11,133%; 2,304% dan 7,435%; 1,503% dan 8,516%; 1,153% dan 4,841%. Sedangkan untuk beton berserat aluminium nilai serapan air dengan perlakuan yang sama adalah sebesar 4,448% dan 11,336%; 5,656% dan 12,777%; 2,583% dan 10,548%; 2,195% dan 11,809%; 5,283% dan 9,654%.

Untuk hasil pengujian kuat kejut beton tanpa serat pada retak pertama dan runtuh total dengan perlakuan yang sama adalah 4079,00 J dan 4697,03 J; 1389,10 J dan 1618,65 J; 1536,25 J dan 1842,32 J; 2042,44 J dan 2254,34 J; 2095,42 J dan 2419,15 J. Sedangkan hasil pengujian kuat kejut beton dengan serat aluminium adalah 4585,19 J dan 5833,03 J; 2183,71 J dan 2401,49 J; 2230,79 J dan 2572,18 J; 2272,00 J dan 2678,13 J; 2260,22 J dan 2689,90 J.

Nilai serapan air beton tanpa serat dan dengan serat aluminium setelah dibakar mengalami penurunan, yaitu sebesar 40,97%; 27,154% pada menit ke 10+5 dan 22,393%; 12,712% pada rendaman ke 24 jam. Setelah mendapatkan perawatan *water curing* selama 28, 42, dan 56 hari, nilai serapan air dapat diperbaiki,

yaitu sebesar 52,885%; 54,323%, 69,262%; 61,196%, dan 76,42%; 6,487% pada menit ke 10+5 dan 33,218%; 17,45, 23,501%; 7,575%, dan 56,519%; 24,442% pada rendaman 24 jam.

Nilai kuat kejut beton tanpa serat dan dengan serat aluminium setelah dibakar mengalami penurunan, yaitu sebesar 65,95%; 52,37% pada retak pertama dan 65,54%; 58,83% pada runtuh total. Setelah mendapatkan perawatan water curing selama 28, 42, dan 56 hari, nilai kuat kejut dapat meningkat, yaitu sebesar 10,59%; 2,16%, 47,03%; 4,04%, dan 50,85%; 3,5% pada retak pertama dan 13,82%; 7,11%, 39,27%; 11,52%, dan 49,45%; 12,01% pada runtuh total.

Pada reaksi pembakaran terjadi proses penguapan air dan dekomposisi senyawa  $\text{Ca(OH)}_2$ , akan tetapi tidak terjadi proses kalsinasi dan karbonasi karena menurut I. Hager, 2013, proses tersebut terjadi pada suhu antara 800°C sampai 1000°C. Setelah dilakukan perawatan *water curing*, terjadi pemulihan nilai serapan air dan kuat kejut beton. Pemulihan nilai serapan air dan kuat kejut beton tanpa serat dan dengan serat aluminium maksimal terjadi pada hari ke-56.

## REFERENSI

- Anonim. 1990. *Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Feldman, R.F., and Sereda.1968. A Model For Hydrated Portland Cemenr Paste As Deduced From Sorption-Length Change and Mechanical Properties. *Material and Structures 1*
- Gere, J. M., and Timoshenko, S. P. *Mechanics of Material*, MA: PWS Engineering, Massachusetts, 2000
- Gutaferro (1966), *Fire Resistance of Prestressed Concrete*, Bauverlag GmbH, Berlin.
- Hager, I. 2013. *Behaviour of Cement Concrete At High Temperature*. Institute of Building Materials and Strucuture, Cracow University of Technology. Poland
- Handayani, Fajar S. 2010. Pengaruh Serat Polytelene Terhadap Sifat Serapan dan Penetrasi Air pada Beton Ringan. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
- Jackson and Dhir, R.K. 1996, *Near-Surface Characteristics Of Concrete Permeability*, Magazine of concrete research.
- Kurtis, Kimberly. Porland Cement Hydration. Presentation. Georgia: School of Civil Engineering Georgia Institute if Technology, Atlanta
- Partowiyatmo, A. and Sudarmadi, 2004. *Strength Recovery of Fire Concrete*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Quality in Research (QIR), University of Indonesia, Jakarta. 6 pp.