

PERUBAHAN KUAT DESAK DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR PECAHAN GENTENG BERSERAT ALUMINIUM PASCA BAKAR DENGAN VARIASI WAKTU RENDAMAN AIR

Tatas Yukrisdam, Antonius Mediyanto, Mukahar

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami No. 36A surakarta 57126

E-mail : tatasjukrisdam@gmail.com

Abstract

One of the power structure parameters is compressive strength and modulus of elasticity of the structural elements. Fire causes damage structural because of materials. It is necessary to study how much decline compressive strength and modulus of elasticity of concrete, as well as the maximum power that can be restored after fired. Results of the study showed compressive strength concrete without fiber aluminum pre, post-combustion and after recuring for 28, 42, 56 days in a row is 20.3718 MPa, 19.0514 MPa, 19.2041 MPa, 21.3150 MPa and 24.7103 MPa. The addition of aluminum fibers can increase the compressive strength concrete pre, post-combustion and after getting re curing of 23.7671 MPa, 21.8809 MPa, 25.0875 MPa, 25.4648 MPa and 26,0307 MPa. The Results of modulus elasticity of concrete without fibers with the same treatment was 13 129 MPa, 11442.3334 MPa, 12138.3334 MPa, 12 283 MPa and 15 619 MPa. The test results of concrete modulus of elasticity with aluminum fibrous is 16741.6667 MPa, 13508.6667 MPa, 14778.6667 MPa, 17436.6667 MPa and 17 582 MPa. Based on the results, addition of aluminum fibers can increase the compressive strength and modulus of elasticity concrete. Burning the sample can decrease the strength of concrete because water evaporation and decomposition water in CSH. With the re curing can increase back compressive strength and modulus of elasticity concrete, as being filled back empty cavities because of water evaporation from burning with water curing and new CSH crystals from curing reaction from water with the unhydrated cement in concrete.

Keywords: *compressive strength, concrete post-burn, modulus of elasticity, water curing.*

Abstrak

Salah satu parameter dari kekuatan sebuah struktur adalah kuat desak dan modulus elastisitas dari elemen struktur tersebut. Kebakaran menyebabkan kerusakan struktural akibat kerusakan material penyusunnya. Perlu dilakukan penelitian seberapa besar penurunan kuat desak dan modulus elastisitas beton, serta kekuatan maksimal yang dapat di pulihkan pasca kebakaran. Hasil penelitian pengujian kuat desak menunjukkan beton ringan tanpa serat aluminium pra, pasca pembakaran dan setelah mendapatkan perawatan ulang selama 28, 42, 56 hari berturut-turut adalah 20,3718 MPa, 19,0514 MPa, 19,2041 MPa, 21,3150 MPa, dan 24,7103 MPa. Penambahan serat aluminium dapat meningkatkan kuat desak beton pra, pasca bakar dan setelah mendapatkan curing ulang sebesar 23,7671 MPa, 21,8809 MPa, 25,0875 MPa, 25,4648 MPa, dan 26, 0307 MPa. Hasil pengujian modulus elastisitas beton ringan tanpa serat dengan perlakuan yang sama adalah 13129 MPa, 11442,3334 MPa, 12138,3334 MPa, 12283 MPa, dan 15619 MPa. Sedangkan hasil pengujian modulus elastisitas beton berserat aluminium adalah 16741,6667 MPa, 13508,6667 MPa, 14778,6667 MPa, 17436,6667 Mpa, dan 17582 MPa. Berdasarkan hasil di atas penambahan serat aluminium dapat meningkatkan kuat desak dan modulus elastisitas beton. Pembakaran sampel mengakibatkan penurunan kekuatan karena terjadinya penguapan air beton dan hilangnya air pada senyawa CSH. Dengan dilakukan curing ulang dapat meningkatkan kembali kuat desak dan modulus elastisitas beton ringan, karena terisinya kembali rongga-rongga kosong akibat penguapan air akibat pembakaran oleh air curing dan kristal-kristal CSH baru yang berasal dari reaksi air curing ulang dengan semen yang belum terhidrasi pada beton tersebut.

Kata kunci : beton pasca bakar, kuat desak, modulus elastisitas, redaman air.

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan sebuah bangunan syarat utama yang harus di penuhi adalah keamanan dan kenyamanan dari sebuah bangunan. Salah satu parameter dari kekuatan sebuah struktur adalah kuat desak dan modulus elastisitas dari elemen struktur tersebut. Kebakaran menyebabkan kerusakan baik struktural maupun material penyusunnya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian terhadap kuat desak dan modulus elastisitas 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

Menurut Zacoeb dan Anggraini (2005), perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan membawa dampak pada struktur beton. Karena pada proses tersebut akan terjadi suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, yang akan menyebabkan adanya perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks. Hal ini akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton tersebut. Pada beton normal mutu tinggi dengan suhu 1200°C terjadi penurunan kekuatan tekan sampai tinggal 40% dari kekuatan awal.

Sedangkan pada beton mutu tinggi dengan Silikafume dan Superplasticizer akan mengalami perubahan yang cukup berarti pada suhu tinggi dimana kekuatannya tinggal 35%.

Perubahan warna permukaan beton yang dipanaskan dipengaruhi temperatur karena kandungan logam. Hubungan antar suhu, warna dan kondisi beton disajikan dalam table 1

Tabel 1. Hubungan antar suhu warna dan kondisi beton terbakar

Suhu	Warna	Kondisi beton
0°C – 300°C	Normal	Tidak mengalami penurunan kekuatan
300°C – 600°C	Merah jambu	Mengalami penurunan kekuatan
600°C – 900°C	Putih keabu-abuan	Tidak mempunyai kekuatan lagi
>900°C	Kuning muda	Tidak mempunyai kekuatan lagi

(Sumber : Nugraha 1989)

Secara umum tingkat pemulihan ke-kuatan beton pasca bakar dengan perendaman berhubungan dengan mutu beton ya-itu dengan melihat perbandingan air dan semennya. Semakin kecil kadar air berarti jumlah semen yang belum bereaksi semakin banyak sehingga tingkat pemulihan beton akan semakin tinggi dan cepat. Se-lain itu semakin lama beton terbakar berarti panas yang diterima beton akan semakin tinggi. Akibatnya proses pemulihan yang harus dilakukan semakin lama dan tingkat pemulihan beton justru tidak terlalu tinggi (Partowiyatmo, 2005).

Fenomena kembalinya *strength* setelah *post-fire-recurring* dilaporkan pertama kali oleh Crook (1970), yang melakukan pembakaran blok-blok beton pada suhu 620°C. Kekuatan beton mengalami penurunan oleh karena suhu yang tinggi, tetapi ketika blok-blok beton dibasahi dalam air untuk waktu yang singkat maka kekuatan yang sebenarnya dapat kembali. Disimpulkan bahwa blok *capillaries* awal oleh gel *C-S-H* dibuka dalam proses pembakaran / pemanasan dan diisi oleh hasil rehidrasi yang lebih kecil yang dihasilkan oleh proses karbonasi dalam keadaan basah. Proses *rehydration* ini mengurangi tingkat porositas atau daya serap dari beton dan berakibatkan pada kembalinya kekuatan beton.

METODE

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 ruang 500° C di laboratorium keramik Bayat, Klaten. Perawatan ulang yang dilakukan adalah dengan cara merendaman sampel dengan air setelah dilakukan pembakaran dengan variasi waktu 28, 42, 56 hari. Pengujian kuat desak dan modulus elastisitas sebelum dan sesudah di bakar dan perawatan ulang. Melakukan analisis hasil pengujian untuk mendapatkan penurunan kekuatan pasca pembakaran dan data waktu minimal untuk mendapatkan peningkatan kuat desak dan modulus elastisitas yang maksimal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian agregat halus yang telah dilakukan disajikan dalam Tabel 2

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standart	Kesimpulan
1	Kadar lumpur	2%	< 5%	memenuhi
2	Kadar zat organik	Kuning muda	Kuning muda	memenuhi
3	Bluk specific gravity (SSD)	2,5	-	-
4	Bluk specific gravity	2,57	-	-
5	Modulus kehalusan	3,02	2,3 - 3,1	memenuhi

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar meliputi pengujian gradasi agregat kasar, *specific gravity* dan abrasi agregat. Hasil pengujian pengujian tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standart	Kesimpulan
1	Keausan/Abrasi	47 %	< 50 %	memenuhi
2	Bluk specific gravity (SSD)	2,1013	-	-
3	Bluk specific gravity	1,8656	-	-
4	Modulus kehalusan	5,66	5-8	memenuhi

Penghitungan rancang campuran adukan beton menggunakan metode *Dreux –Corrise*. Kebutuhan bahan untuk 1 m³ beton beragregat kasar pecahan genteng adalah:

- Semen : 400 kg
- Pasir : 634.9 kg
- Pecahan genteng : 644.064 kg
- Air : 160 liter
- Serat alumunium : 0,1073 kg (setiap 1 buah benda uji silinder)
- Superplasticizer 1 % dari berat semen : 4 kg

Pengujian kuat desak beton menggunakan CTM (*Compression Taesting Machine*) merk *Controls* pada benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm didapat beban maksimum (P_{maks}). Dengan beban maksimum tersebut dapat diperoleh kuat desak beton. Hasil pengujian kuat desak beton dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini :

Tabel 4. Data Hasil Analisis Penghitungan Kuat Desak Beton tanpa Serat Alumunium dan Berserat Alumunium

No	Jenis Beton				Keterangan
	Tanpa Serat		Serat Alumunium		
	Berat (kg)	f'cr (MPa)	Berat (kg)	f'cr (MPa)	
1	11,4	20,3718	11,0667	23,7671	Tanpa Pembakaran
2	10	19,0514	10,55	21,8809	Pembakaran 500° C
3	11,2167	19,2401	11,3667	25,0875	Perendaman 28 Hari
4	11,4667	21,315	11,3667	25,4648	Perendaman 42 Hari
5	11,5167	24,7103	11,3	26,0307	Perendaman 56 Hari

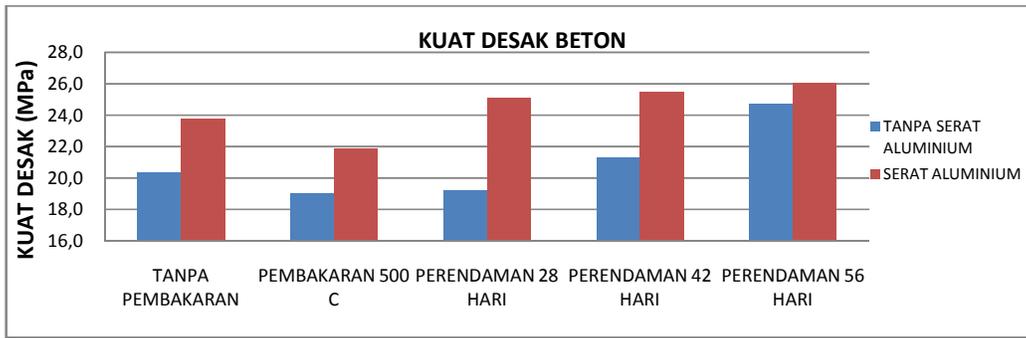
Hasil yang terdapat pada tabel 4. menunjukkan perbedaaan hasil kuat tekan antara beton tanpa serat aluminium dengan beton berserat aluminium. Beton berserat aluminium memiliki kuat desak sebesar 23,7671 MPa dan 20,3718 MPa untuk beton tanpa serat aluminium. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat aluminium memberikan efek penambahan kuat desak pada beton beragregat kasar pecahan genteng. Berdasarkan tabel 5 terjadi penurunan kuat desak beton, baik beton tanpa serat aluminium dan berserat aluminium. Beton tanpa serat aluminium dan berserat aluminium mengalami penurunan kuat desak setelah mengalami pembakaran pada suhu 500° C. Setelah mengalami perawatan ulang, kuat desak beton tanpa serat dan berserat aluminium mengalami peningkatan kekuatan secara bertahap. Perubahan nilai kuat desak sebelum dan setelah pembakaran, dapat dilihat pada Tabel 5 dan perubahan nilai kuat desak setelah perawatan ulang dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 5. Perubahan Nilai Kuat Desak Beton Tanpa Pembakaran dan Setelah Pembakaran

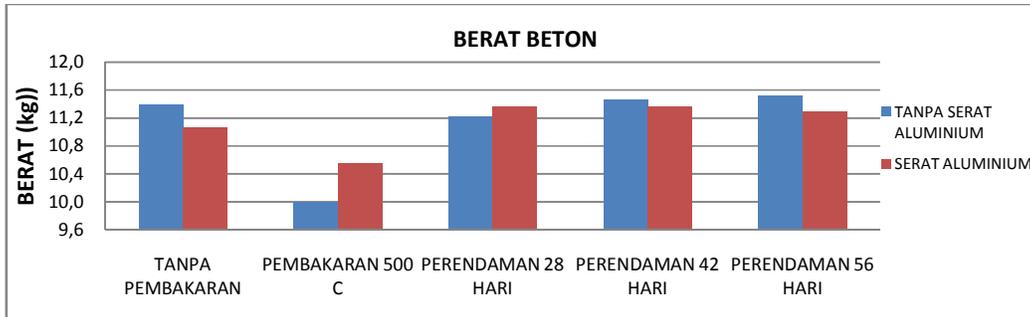
No	Jenis Beton		Perubahan Kuat Desak (%)		Keterangan
	Tanpa Serat	Serat Alumunium	Tanpa Serat	Serat Alumunium	
	f'cr (MPa)	f'cr (MPa)			
1	20,3718	23,7671	-	-	Tanpa Pembakaran
2	19,0514	21,8809	-6,48	-7,94	Pembakaran 500° C

Tabel 6. Perubahan Nilai Kuat Desak Beton Setelah Perawatan Ulang

No	Jenis Beton		Perubahan Kuat Desak(%)		Keterangan
	Tanpa Serat	Serat Alumunium	Tanpa Serat	Serat Alumunium	
	f'cr (MPa)	f'cr (MPa)			
1	19,0514	21,8809	-	-	Pembakaran 500° C
2	19,2401	25,0875	+0,9901	+14,6552	Perendaman 28 Hari
3	21,3150	25,4648	+11,8812	+16,3793	Perendaman 42 Hari
4	24,7103	26,0307	+29,7030	+18,9655	Perendaman 56 Hari



GAMBAR 3. Grafik Perubahan Kuat Desak Beton Tanpa Serat dan Berserat Aluminium



GAMBAR 4. Grafik Perubahan Berat Beton Tanpa Serat dan Berserat Aluminium pada Pengujian Kuat desak

Gambar 4 menunjukkan perubahan berat benda uji setelah pembakaran dan mengalami curing ulang. Setelah mengalami pembakaran berat sampel turun dan kembali naik setelah mengalami perawatan ulang.

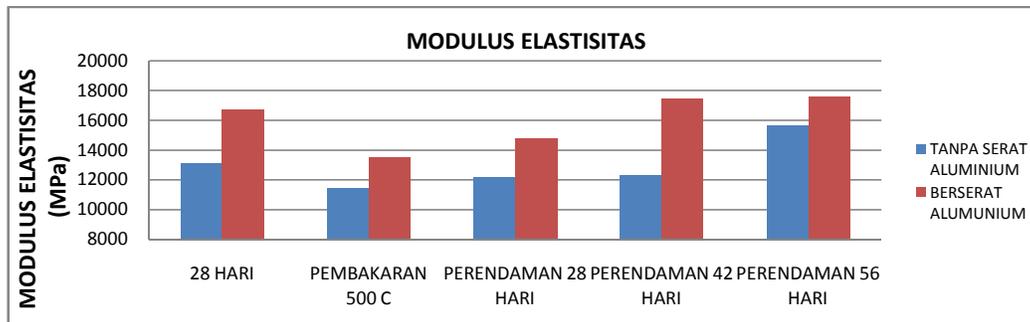
Pengujian tegangan regangan aksial beton ini menggunakan *CTM (Compression Testing Machine)* dan alat ukur regangan (*ekstensometer*). Pengambilan tegangan dan regangan aksial data dilakukan setiap penambahan beban dengan laju yang konstan. Hasil perhitungan modulus elastisitas beton tanpa serat sebelum pembakaran, setelah dibakar dan setelah dilakukan perawatan ulang dapat dilihat dalam Tabel 7 berikut:

Tabel 7 Data Hasil Analisis Penghitungan Modulus Elastisitas Beton tanpa Serat Aluminium dan Serat Aluminium Sebelum Pembakaran, Setelah Pembakaran 500°C dan Setelah mendapat Perawatan Ulang

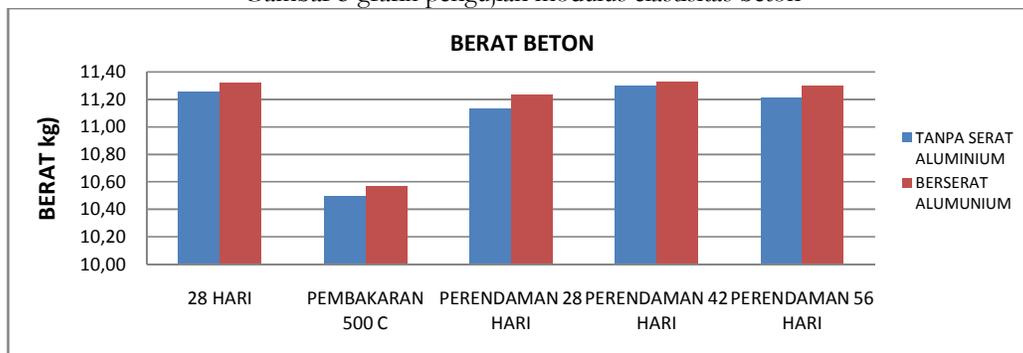
No	Tanpa Serat Aluminium		Berserat Aluminium		Keterangan
	E_c (MPa)	E_c Rata-Rata (MPa)	E_c (MPa)	E_c Rata-Rata (MPa)	
1	13827		18344		Tanpa Pembakaran
2	11919	13129	15128	16741,667	
3	13641		16753		
4	11682		13557		
5	11198	11442,333	13749	13508,667	Pembakaran 500° C
6	11447		13220		
7	12254		14621		Perendaman 28 Hari
8	11620	12138,333	14832	14775,667	
9	12541		14874		
10	11221		18364		
11	14178	12283	16429	17436,667	Perendaman 42 Hari
12	11450		17517		
13	11235	15619,333	19906	17582	Perendaman 56 Hari
14	21411		17023		

Tabel 8. Perubahan Nilai Modulus Elastisitas Beton Setelah Perawatan Ulang

No	Jenis Beton		Perubahan MOE (%)		Keterangan
	Tanpa Serat (MPa)	Serat Aluminium (MPa)	Tanpa Serat	Serat Aluminium	
1	11442	13509	-	-	Pembakaran 500° C
2	12138	14776	+6,0827	+9,3792	Perendaman 28 Hari
3	12283	17437	+7,3469	+29,0776	Perendaman 42 Hari
4	15619,3333	17582	+36,5048	+30,1535	Perendaman 56 Hari



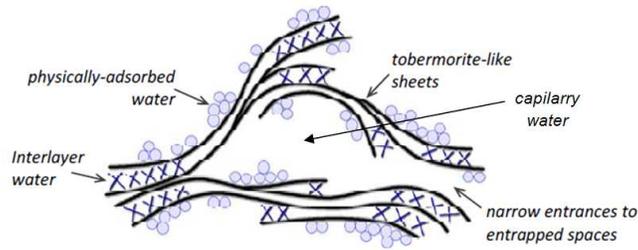
Gambar 5 grafik pengujian modulus elastisitas beton



GAMBAR 6. Grafik Perubahan Berat Beton Tanpa Serat dan Berserat Aluminium pada Pengujian MOE

Pembahasan

- Beton berserat aluminium memiliki kuat desak dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa serat. Pengaruh serat yang ditambahkan pada beton ringan tersebut adalah
 - Serat aluminium bersama pasta beton akan membentuk matrik komposit, dimana serat aluminium akan menahan beban yang ada sesuai dengan modulus elastisitasnya. Dengan modulus elastisitas beton, maka jelas bahwa serat aluminium dapat meningkatkan kuat tekan beton
 - Pasta beton akan semakin kokoh/stabil dalam menahan beban karena aksi serat aluminium (*fiber bridging*) yang ada disekelilingnya.
 - Serat aluminium akan berfungsi sebagai pasak sehingga pasta yang sudah retak tetap stabil/kokoh menahan beban
- Penurunan nilai kuat desak dan modulus elastisitas pada beton paska bakar disebabkan karena saat beton dipanaskan, air didalamnya akan menguap dan pada temperatur 150°C, Air pada senyawa Kalsium Silikat Hidrat mulai lepas. Penguapan air pada semen terhidrasi secara berurutan di mulai dari *capillary water*, *absorbed water* dan *interlayer water*. Pelepasan air menyebabkan rongga pada beton.



Gambar 7. Pemodelan Bentuk Fisik Hidrasi Semen (Laila Raki, 2010)

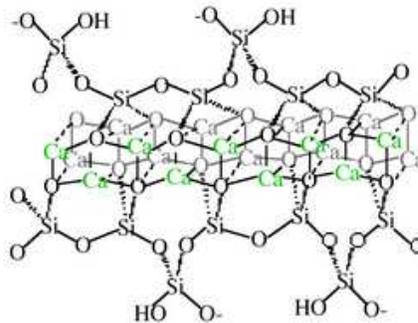
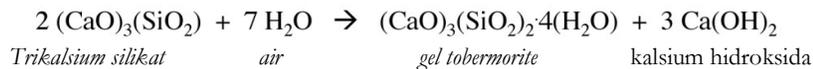
Pada gambar tersebut jelas sekali terlihat susunan air di dalam beton yang telah terhidrasi. I. Hager (2013) menjelaskan bahwa beton pada suhu 20-200°C *capillary water* akan perlahan menguap, pada suhu 150-170°C *physically adsorbed water* akan ikut menguap, dan pada suhu 374°C seluruh air di dalam pori akan menguap. Kemudian pada suhu 400-500°C kristal portlandite akan terdekomposisi atau terurai.



Pada suhu 500°C belum terjadi kalsinasi dan karbonisasi. Hal tersut terjadi pada suhu 800°C – 1000°C (Hager, 2013).

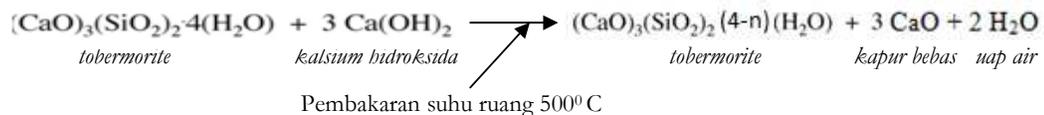
Dari Tabel 4, hasil pengujian kuat desak beton dari suhu kamar dan 500°C mengalami penurunan sebesar 6,48% dan 7,94%, penurunan ini disebabkan keluarnya air yang terkandung dalam pori-pori beton dan terdekomposisinya kristal portlandite. Panas yang diterima beton pada permukaan akan berbeda dengan panas yang di terima pada inti beton, sehingga kerusakan yang terjadi hanya pada permukaan beton. Penguapan air pori pada beton akan meninggalkan rongga sehingga kepadatan akan berkurang. beton akan semakin porus dan akan menurunkan kuat desak dan modulus elastisitas

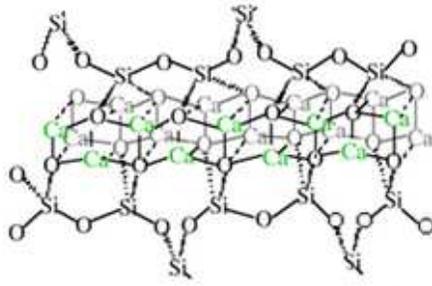
Sebelum pembakaran :



Gambar 8. Pemodelan CSH

Sesudah pembakaran :





Gambar 9. Pemodelan CSH Setelah Dibakar

Pembakaran juga akan mengurangi H_2O pada kristal CSH, yang semula berjumlah 4 molekul untuk bereaksi agar CSH stabil, dengan adanya pembakaran akan mengurangi molekul H_2O sebanyak n sehingga CSH tidak stabil dan kekuatannya akan berkurang.

3. Berdasarkan tabel 4.7 perubahan kuat desak beton setelah perendaman air adalah

- a. Beton tanpa serat aluminium
 - Perendaman air 24 hari = + 0,9901 %
 - Perendaman air 42 hari = +11,8812 %
 - Perendaman air 56 hari = + 29,7030 %
- b. Beton serat aluminium
 - Perendaman air 24 hari = +14,6552 %
 - Perendaman air 42 hari = +16,3793 %
 - Perendaman air 56 hari = +18,9655 %

Hasil pengujian modulus elastisitas beton setelah dilakukan perendaman air terjadi perubahan sebesar :

- a. Beton tanpa serat
 - Perendaman air 24 hari = +6,0826 %
 - Perendaman air 42 hari = +7,3469 %
 - Perendaman air 56 hari = +36,5047 %
- b. Beton serat aluminium
 - Perendaman air 24 hari = +9,3791 %
 - Perendaman air 42 hari = +29,0776 %
 - Perendaman air 56 hari = +30,1534 %

Kenaikan ini terjadi karena pada saat terjadi pembakaran akan menguapkan air yang berada pada beton, sehingga akan meninggalkan rongga kosong. Hal ini dibuktikan dengan penurunan berat dari beton tersebut setelah mengalami pembakaran sebesar $500^{\circ}C$. Dengan dilakukannya perendaman air ulang, air akan mengisi kembali rongga-rongga yang ditinggalkan oleh *capillary water*, *absorbed water* dan *interlayer water*, sehingga kekuatan beton tersebut akan pulih kembali. Molekul air yang berada pada CSH yang terbakar berkurang sebanyak n , dengan adanya curing ulang maka molekul yang berkurang akan terisi kembali. Perawatan pada 28 hari akan mengisi air kristal pada CSH dan rongga pada beton sebanyak n , sedangkan pada hari ke 42 jumlah air yang masuk ke pori dan CSH akan semakin banyak dan pada hari ke 56 jumlah air yang masuk akan bertambah banyak dari pada hari ke 28 dan 42 hari.

Perendaman menggunakan air juga akan mengaktifkan kembali semen yang belum terhidrasi dan akan mengisi rongga-rongga yang kosong akibat pembakaran. Dengan terisinya kembali rongga-rongga kosong tersebut dengan kristal hidrasi semen yang baru maka kepadatan beton bertambah sehingga akan menambah kuat desak dan modulus elastisitas beton tersebut.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pertama, penambahan serat aluminium pada beton beragregat kasar pecahan genteng dapat menambah kuat desak beton sebesar 16,6667 % dan modulus elastisitas sebesar 27,5167 % sebelum pembakaran .

Kedua, terjadi penurunan kuat desak dan modulus elastisitas beton setelah mengalami pembakaran pada suhu ruang 500^o C. Hal ini disebabkan karena menguapnya air dalam pori beton dan CSH sehingga akan menurunkan kekuatan beton. Selain itu pada suhu 400-500^oC kristal portlandite akan terdekomposisi atau terurai.

Ketiga, perlakuan perendaman air selama 28, 42, 56 hari pada beton pasca bakar dapat meningkatkan kuat desak beton tanpa serat aluminium sebesar +0,9901%, +11,8812 %, +29,7030 % dan untuk beton berserat aluminium sebesar +14,6552%, +16,3793%, +18,9655%. Peningkatan kuat desak akibat perendaman air juga diiringi dengan peningkatan modulus elastisitas dengan perlakuan sama sebesar +6,0827%, +7,3469%, +36,5048% untuk beton tanpa serat aluminium, sedangkan beton dengan serat aluminium sebesar +9,3792%, +29,0776, dan +30,1535.

Keempat, belum dapat ditentukan waktu minimal untuk mendapatkan peningkatan maksimal karena pada perendaman air 28, 42, 56 hari masih mengalami kenaikan.

REFERENSI

- Aswani, Irma dkk. 2009. *Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Kuat Tekan Beton*. Makassar : Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar
- Barron, Andrew R. *Chemistry of the Main Group Elements*. Rice University
- Hager. 2013. *Behaviour of Cement Concrete at High Temperature*. Poland : Cracow University of Technology
- Mediyanto. A. 2005, *Kuat Desak Dan Modulus Elastisitas Beton Ringan Berserat Aluminium*. Surakarta : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret
- Mediyanto. A dkk. 2010, *Kajian Kuat tekan Beton Ringan Metakolin Berserat Aluminium Pasca Bakar*. Surakarta : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret
- Nugroho, Paulus.1989, *Teknologi Beton*, Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- Phillip, Gerry dkk, 2013. *Pengaruh Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Parsial Semen Dalam Campuran Beton Ditinjau dari Kuat arik Lentur dan Modulus Elastisitas*. Manado : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi
- Raki, Laila dkk. 2010. *Cement and Concrete Nanoscience and Nanotechnology*. Canada : Institute for Research in Construction.
- Riyadi, Muhtahrom, 2005. *Teknologi Bahan I*. Jakarta : Politeknik Negeri Jakarta Jurusan Teknik Sipil
- Sambowo, K.A., dan Mediyanto,A.,2008, *Model prediksi kapasitas balok beton ringan-metakaolin berserat aluminium paska bakar*. Surakarta : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret
- Setyowati, dkk. 2012. *Micro Structure Effect of Concrete Degradation for Compressive Strength of Concrete burned in High Temperature*. Malang : Universitas Brawijaya Malang
- Sidik, M. 2010. *Kajian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan Pasca Bakar*. Surakarta : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret
- Sutapa, Gede dkk. 2011. *Pemulihan Kekuatan Tarik Belah Beton dengan Durasi Perawatan Pasca Bakar*. Denpasar : Universitas Udayana
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wahyudi, Edhi dkk. 2010. *Pengaruh Perbedaan Proses Pendinginan Terhadap Perubahan Fisik dan Kuat Tekan Beton Pasca Bakar*. Malang : Universitas Brawijaya Malang.